



DOZUN DOĞRULANMASINDA KULLANILAN DOZİMETRELER

Dr. Fiz. Nezahat OLACAK

Dozun Doğrulanmasında;

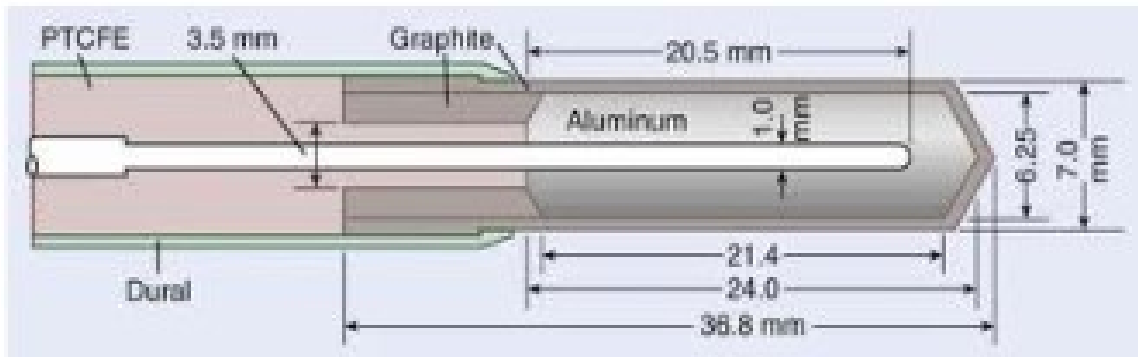
- İyon odaları
- Diod dedektörler
- 2D array
- Film dozimetreler
- Termolüminesans dozimetreler (TLD)
- Elektronik portal görüntüleme dozimetre (EPID)
- Üç boyutlu dozimetreler
- jel dozimetreler

İdeal Dozimetreler

- ❑ Küçük boyut
- ❑ Kesin ve doğru olmalı
- ❑ Doza lineer cevap göstermeli
- ❑ Kısa ve uzun dönem kararlılık
- ❑ Enerjiden bağımsız
- ❑ Yüksek uzaysal ayırma gücü (çözünürlük)
- ❑ Doz hızından bağımsız
- ❑ Yöne bağımlılığı minimal
- ❑ Sinyalizasyonu yüksek ve paraziti düşük
- ❑ Perturbasyonu düşük
- ❑ İyon rekombinasyon kaybı minimum olmalıdır.

1. İYON ODALARI (Ionization chamber)

- ❑ Genellikle silindirik şekildedir. İçleri hava ile doldurulmuştur.
- ❑ İçlerinde iki elektrot bulunur. Ortadaki elektrod genellikle Al, Si gibi elementlerinden yapılmış olup pozitif kutba bağlıdır (anot).
- ❑ Negatif elektrot ise, grafit, perspex bakalit, veya iletken plastikten (A-150) gibi atomik numarası küçük olan elementlerden yapılmış olup iyon odasının iç duvarlarını oluşturur (katot).



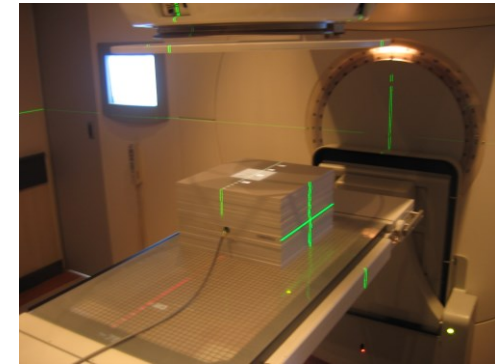
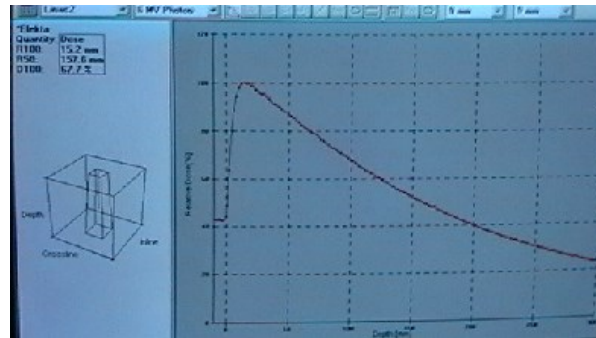
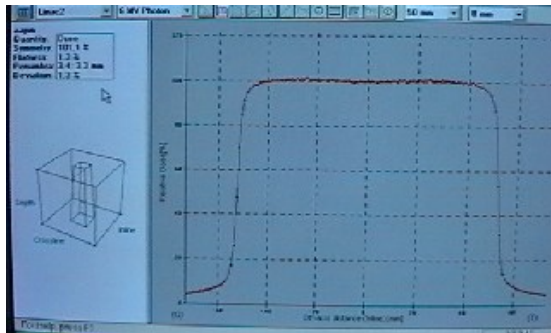
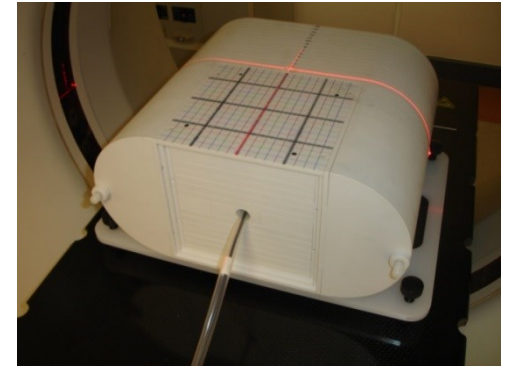
- ❑ İyon odasına radyasyon geldiği zaman içerdeki havayı iyonize eder, elektrodlar arasında belli bir elektrik akımı geçer.
- ❑ Akım doz hızı ile doğru orantılıdır.
- ❑ İyon odası hacmindeki hava kütlesindeki değişim nedeniyle ortamın basınç ve sıcaklık düzetmeleri yapılır.
- ❑ Havadaki ölçümlerde hava ya da doku benzeri atom numaralı maddelerden yapılmış kepler kullanılır (Build – up kep)
- ❑ Yön bağımlılığı minimum
- ❑ Işın enerjisine bağımsız.



- ❑ İyon odaları ideal olarak hem yüksek hem de düşük doz bölgelerinin düşük doz gradiyentinde kullanılır (Homojen doz bölgelerinde).
- ❑ İyon odası ışınının merkezine yerleştirilmeli.
- ❑ Penumbra bölgesine veya segment dışına yerleştirildiğinde %10'lara kadar doz hatalarına neden olur.
- ❑ İyon odası ölçümleri $\pm\%2$ sınırları içinde olmalıdır.
- ❑ İyon odaları elektrometre ile birlikte kullanılır.



- Tedavi cihazlarının dozimetrik ölçümlerinde (Doz verimi, doz profilleri, yüzde derin doz gibi)
- MLC ölçüm ve kontrol testleri,
- Hasta dozu kontrolünde kullanılır.



- ☐ Küçük alanlarda ($0.5-3 \text{ cm}^2$) küçük volümlü (0.015, 0.1, 0.13cc vb.) iyon odaları kullanılır.
- ☐ Tedavi sahası büyüdükçe iyon odalarının volüm etkisi artmaktadır.
- ☐ Küçük alanlarda büyük hacimli iyon odaları lateral elektron denge eksikliklerine neden olur.
- ☐ Toplanan iyonların aktif hazne hacmi boyunca olması nedeniyle tüm iyonizasyon odaları, bir miktar hacim ortalamasına sahiptir.
- ☐ Hacim ortalaması, yüksek kavisli bölgelerdeki doz ölçümlerinde perturbasyonlara neden olur.
- ☐ Statik ve dinamik IMRT alanlarında büyük iyonizasyon odaları (6 mm çaplı, 23 mm uzunluğunda aktif hacim) için perturbasyon faktörleri $>10\%$

- ☐ Kaçak sızıntı $> \%2$ ise hata düzeltmeleri uygulanmalıdır.
($> \%5$ ise kullanılmamalı)
- ☐ Output faktörleri için, ışınlam alanı iyonizasyon odasının etkin uzunluğundan 1,5 cm daha geniş olmalıdır.
- ☐ İyon odası elektrodu düşük Z (atom numarası) malzemelerden (örneğin, alüminyum) tercih edilmelidir.
- ☐ Yüksek Z elektrotları kullanıldığında, foton spektrum farklarını en aza indirgeyen (örn., aynı derinlik ve alan boyut farklarını en aza indirgeyen) koşullarda çapraz kalibre edilmelidir.

- ☐ **Düşük Z veya alüminyum elektrotlu iyon odaları için K_q değerleri 0.1% doğruluktadır.**
- ☐ **Çelik orta elektrot perturbasyonu arttırır (PTW PinPointTM ve Wellhofer / Scanditronix CC01).**
- ☐ **Çok küçük odacıklar için, iyonizasyon sinyalini arttırmak için, merkezi elektrot yüksek Z malzeme maddelerinden oluşur ve alan boyutu ve derinliklerinde önemli hassasiyet değişikliklerine neden olur.**
- ☐ **Yüksek Z iyon odaları geniş alanlarda düşük enerjili saçılan fotonlara karşı aşırı tepkimeye neden olur.**
- ☐ **Küçük hacimli bir iyonizasyon odacığından gelen sinyal, büyük hacimli bir iyon odacıktan çok daha zayıf olduğu için, relative sap etkisi daha önemli olabilir.**

1.1. Farmer chamber 0.6 cm³ iyon odaları

Foton ve elektron dozimetresi için absolute doz ölçümünde kullanılır.

Iba FC-65G

- ☐ Nominal hassas volüm: 0.65 cm³
- ☐ Volüm yarıçapı: 3.1
- ☐ Volüm uzunluğu: 23.1
- ☐ Duvar materyeli ve kalınlığı: Grafit, 0.4 mm
- ☐ İç elektrod materyeli ve çapı: Alüminyum, 1 mm
- ☐ Radyasyon kalitesi: 1.3 MeV-50 MV
- ☐ Duyarlılık (nominal cevap): 21 nC/Gy



1.2.Semiflex iyon odası

- ❑ Yüksek enerjili foton ve elektron radyasyon ölçümleri için en yaygın kullanılan su geçirmez iyon odasıdır.
- ❑ Yöne bağımlılığı minimumdur.
- ❑ Uzaysal çözünürlüğe yüksek



- ❑ **Nominal hassas volüm: 0.125 cm³**
- ❑ **Volüm yarıçapı: 2.75 mm**
- ❑ **Volüm uzunluğu: 6.5 mm**
- ❑ **Duvar materyeli ve kalınlığı: Grafit 0.15 mm, PMMA 0.55 mm**
- ❑ **İç elektrod materyali ve çapı: Alüminyum, 1.1 mm**
- ❑ **Radyasyon kalitesi: 66 kV-50 MV foton, 10-45 MeV elektron ve 50-270 MeV proton**
- ❑ **Duyarlılık (nominal cevap): 3.3 nC/Gy**
- ❑ **Reference nokta: Odacık eksenini üzerinde, odacık ucundan 4.5 mm**
- ❑ **Field size: 3 x 3- 40 x 40 cm²**



1.3. PinPoint iyon odaları

- ❑ PinPoint iyon odaları küçük alanlarda doz ölçümleri için idealdir (IMRT ve stereotaktik).
- ❑ Hava, katı ve su fantomlarında kullanılabilir.
- ❑ Uzaysal çözünürlüğü yüksek



- ❑ **Nominal hassas volüm: 0.015 ve 0.03 cm³**
- ❑ **Volüm yarıçapı: 1mm ve 1.45 mm**
- ❑ **Volüm uzunluğu: 5 mm**
- ❑ **Duvar materyeli ve kalınlığı: 0.57mm**
PMMA, 0.09 mm graphite
- ❑ **İç elektrod materyali ve çapı: Alüminyum,**
0.3 mm
- ❑ **Radyasyon kalitesi: ⁶⁰Co - 50 MV foton**
- ❑ **Duyarlılık: 400 pC/Gy, 800 pC/Gy**
- ❑ **Referans nokta: Oda eksenini üzerinde, oda**
ucundan 3,4 mm
- ❑ **Alan boyutu: 2 x 2 - 30 x 30 cm²**



1.4. PinPoint 3D iyon odası

- ❑ Dozimetri yüksek enerjili foton ışınları için 3D özellikli ultra küçük boyutlu iyon odası
- ❑ Yön bağımlılığı minimum.
- ❑ Uzaysal çözünürlüğü yüksek
- ❑ Su geçirmez, tamamen korunmuş iyon odası hava, katı fantom ve suda kullanılabilir.

- ❑ Nominal hassas volüm: 0.016 cm^3
- ❑ Volüm yarıçapı: 1.45 mm
- ❑ Volüm uzunluğu: 2.9 mm
- ❑ Duvar materyeli ve kalınlığı: 0.57 mm PMMA, 0.09 mm graphite
- ❑ İç elektrod materyali ve çapı: Alüminyum, 0.3 mm
- ❑ Radyasyon kalitesi: ^{60}Co - 50 MV foton
- ❑ Duyarlılık: (Nominal response): 400 pC/Gy
- ❑ Referans nokta: Oda ekseninde, oda ucundan 2.4 mm
- ❑ Alan boyutu: $2 \times 2 - 30 \times 30 \text{ cm}^2$



1.5. MicroLion Chamber

- ☐ MicroLion odaları doz ölçümleri ve PDD'ler için eksenel yönde ve en yüksek hassasiyetli penumbra ölçümleri için radyal oryantasyonda kullanılabilir.
- ☐ Mutlak doz ve output faktörü ölçümleri için uygundur.
- ☐ Yüksek mekansal çözünürlüğe sahip radyoterapide doz dağılım ölçümleri için sıvı dolgulu iyon odası
- ☐ Suda kullanım için uygun
- ☐ Özellikle stereotaktik alan ölçümlerinde uygundur.
- ☐ Hem keV hem de MeV foton enerji bölgesinde çok iyi bir su eşdeğerliliğine sahiptirler
- ☐ Doz hızı bağımlılıkları var.

- ❑ Sıvı dolumdan dolayı, çok küçük hassas hacmi nedeniyle yüksek bir sinyal iletir.
- ❑ Nominal hassas volüm: 0.002 cm³
- ❑ Volüm yarıçapı: 1.25 mm
- ❑ Volüm derinliği: 0.35 mm
- ❑ Merkezi elektrod: Grafit
- ❑ Radyasyon kalitesi: ⁶⁰Co -25 MV foton
- ❑ Duyarlılık: 9.8 nC/Gy
- ❑ Referans nokta: Oda ekseninde, giriş penceresinden 0.975 mm
- ❑ Giriş penceresi: 0.5 mm polystyrene, 0.28mm graphite, 0.02mm varnish
- ❑ Alan boyutu: 1x 1- 20 x 20 cm²



2. DIAMOND DEDEKTÖRLER

- ☐ Küçük hassas hacmi nedeniyle, detektör IMRT, stereotaktik ışınlar, brakiterapi ve su fantomu taraması için uygulanır.
- ☐ Özellikle çok küçük alan boyutlarına veya dik fluence gradyanlarına sahip ışınlar için çok uygundur.
- ☐ Profil ve PDD ölçümleri için tercih edilen detektördür. Mutlak doz ve output faktörü ölçümleri için de uygundur.
- ☐ Doku eşdeğerli
- ☐ Yüksek uzaysal çözünürlük
- ☐ Enerji cevabı keV'nin yanı sıra MeV aralığında da mükemmeldir.
- ☐ 50 veya 100 V'tan farklı voltajlar uygulandığında bozulabilir.

- ❑ Volume etkisi minimal
- ❑ Doz hızı bağımlılıkları var.
- ❑ Duyarlılığı yüksek,
- ❑ Yöne bağımlılılığı minimal

❑ Nominal hassas volüm: 1-6 mm³

❑ Volüm yarıçapı: $\leq 2\text{mm}$

❑ Volüm derinliği: 0.1-0.4 mm

❑ Duyarlı alan: (3 ... 15) mm²

❑ Dış boyut çapı: 7.3 mm

❑ Radyasyon kalitesi: 100 keV - 20 MV foton, 4 -20 MeV elektron

❑ Duyarlılık: (50 - 500) nC/Gy

❑ Referans nokta: Dedektör ekseninde nokta, dedektör ucundan 1 mm



Ionisation chamber	Wellhöfer/IBA CC13	Wellhöfer/IBA CC13-S	Wellhöfer/IBA CC08	Wellhöfer/IBA CC04	Wellhöfer/IBA CC01
					
Measurement (active) volume	0.13 cm ³	0.13 cm ³	0.08 cm ³	0.04 cm ³	0.01 cm ³
	Ø 6.0 mm Length 5.8 mm	Ø 6.0 mm Length 5.8 mm	Ø 6.0 mm Length 4.0 mm	Ø 4.0 mm Length 3.6 mm	Ø 2.0 mm Length 3.6 mm
Wall thickness, materials, density	0.4 mm (0.07 g/cm ³) Shonka C552 1.76 g/cm ³	0.154 g/cm ³ PEEK/ Shonka C552 1.32 g/cm ³ / 1.76 g/cm ³	0.4 mm (0.07 g/cm ³) Shonka C552 1.76 g/cm ³	0.4 mm (0.07 g/cm ³) Shonka C552 1.76 g/cm ³	0.5 mm (0.088 g/cm ³) Shonka C552 1.76 g/cm ³
Electrode	Shonka C552 (air equivalent plastic) Ø 1.0 mm	Shonka C552 (air equivalent plastic) Ø 1.0 mm	Shonka C552 (air equivalent plastic) Ø 1.0 mm	Shonka C552 (air equivalent plastic) Ø 1.0 mm	Steel Ø 0.35 mm
Outer dimensions	Ø 6.8 mm	Ø 8.0 mm	Ø 6.8 mm	Ø 4.8 mm	Ø 3.0 mm
Reference (effective) point of measurement	3.5 mm from distal end	4.1 mm from distal end	2.6 mm from distal end	2.3 mm from distal end	2.3 mm from distal end
Bias Voltage [V]	+/-300 Max +/- 500	+/-300 Max +/- 500	+/-300 Max +/- 500	+/-300 Max +/- 500	+/-300 Max +/- 500

3. DİYOT DEDEKTÖRLER

- ☐ Diodtan geçen iyonize partiküller, elektron-boşluk çifti oluşturarak elektrik akımı meydana getirirler.
- ☐ Işınlama esnasında ortaya çıkan akım farkı dedektörün sinyalidir. Bu sinyali ölçmek için elektrometreye bağlanır.
- ☐ IMRT ve stereotaktik tedavilerde küçük alanlarındaki doz ölçümleri için idealdir.
- ☐ Genellikle çok az aktif hacim ve radyasyona karşı yüksek hassasiyete sahiptir.
- ☐ Basınç, sıcaklık değişiminden bağımsızdırlar ve ihmal edilebilir.

- ☐ Rekombinasyon özellikleri vardır.
- ☐ Enerji bağımlılığı vardır.
- ☐ Si diyotlar yüksek atom numarasına sahip olduklarından, enerji bağımlılıkları vardır ve radyasyon hasarından dolayı hassasiyetleri değişebilir.
- ☐ Yön bağımlılıkları vardır ve diyot eksenine dik ışınlandıkları zaman, hassasiyetleri %3'e kadar değişebilir.
- ☐ Işın diyot eksenini yakınında yönlendirildiğinde diyot hassasiyeti % 15'e kadar değişebilir.
- ☐ Penumbra modellemek için idealdir.
- ☐ Düşük enerjili saçılan fotonlara tepkileri ideal değildir.

- 
- ☐ **Düşük enerjili fotonların etkisini azaltmak için, bazen diyotlar, korumalı (shielded) olarak tasarlanır.**
 - ☐ **Shielded diyotlarda yoğunluğa bağlı olarak perturbasyon artar.**
 - ☐ **Shielded küçük alanlarda sinyali arttır ve küçük alanlarda düşük enerjili saçılım katkısı az olduğu için korumasız diyotlar önerilir.**

Dosimetry Diode P (p-type silicon diode)

- ❑ **Nominal duyarlı volüme:** 0.03 mm³
- ❑ **Duyarlı volüm:** 1 mm² dairesel, 30 µm kalınlık
- ❑ **Dış boyutlar:** Çapı 7 mm, uzunluk 47mm
- ❑ **Referans nokta:** Dedektör ekseninde, dedektör ucundan 2 mm
- ❑ **Duyarlılık:** 9 nC/Gy
- ❑ **Radyasyon kalitesi:** ⁶⁰Co- 25 MV foton
- ❑ **Alan boyutu:** 1x1 cm²- 40x40 cm²
- ❑ **Shielded**
- ❑ **Detektör bias voltaj:** 0
- ❑ **Enerjiye bağımlı**
- ❑ **Uzaysal çözünürlük yüksek**
- ❑ **Doz hızı bağımlılığı yok**
- ❑ **Volum etkisi yok**



Dosimetry Diode E (p-type silicon diode)

- ❑ **Nominal duyarlı volüm:** 0.03 mm³
- ❑ **Duyarlı volüm:** 1 mm² dairesel, 30 µm kalınlık
- ❑ **Dış boyutlar:** Çapı 7 mm, uzunluk 45.5 mm
- ❑ **Referans nokta:** Dedektör ekseninde, dedektör ucundan (0.5 mm)
- ❑ **Duyarlılık:** 9 nC/Gy
- ❑ **Radyasyon kalitesi:** ⁶⁰Co - 25 MV foton, 6-25 MeV elektron
- ❑ **Alan boyutu:** 1x1- 40x40 cm², elektronlar 1x1 - 10x10 cm²
- ❑ **Unshielded**
- ❑ **Su geçirmez dedektör hava, katı fantomlar ve suda kullanılabilir.**
- ❑ **Uzaysal resulasyonu yüksek**
- ❑ **Enerjiye bağımlı**



Dosimetri Diode SRS (p-type silicon diode)

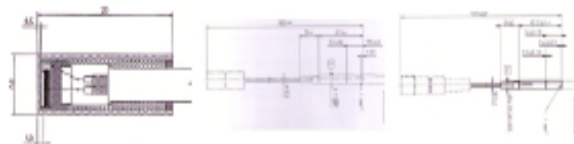
- ☐ Dozimetri Diyot SRS, maksimum alan boyutu 10 cm x 10 cm olan ve maksimum 6 MV enerji ile foton alanlarındaki doz ölçümleri için uygundur.
- ☐ Stereotaktik radyo cerrahisi (SRS) için ışın profili ölçümü için idealdir.
- ☐ Uzaysal çözünürlük yüksek ve çok düşük gürültü sinyali
- ☐ Yüzey ve arayüzlerin çevresindeki ölçümler için ince giriş penceresi



- ❑ **Nominal duyarlı volüm: 0.3 mm³**
- ❑ **Duyarlı volüme: 1 mm² dairesel 250 µm kalınlık**
- ❑ **Dış boyutlar: Çap 7 mm, uzunluk 45.5 mm**
- ❑ **Referans nokta: Dedektör ekseninde, dedektör ucundan 0.74 mm**
- ❑ **Duyarlılık: 175 nC/Gy**
- ❑ **Radyasyon kalitesi: ⁶⁰Co - 6 MV foton**
- ❑ **Alan boyutu: 1x1- 10x10 cm²**
- ❑ **Unshielded**
- ❑ **Yüksek tepki**

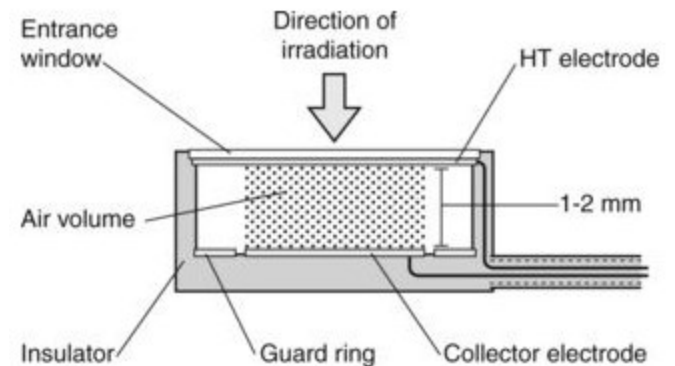
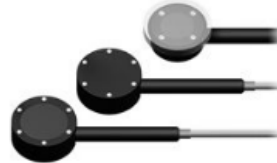
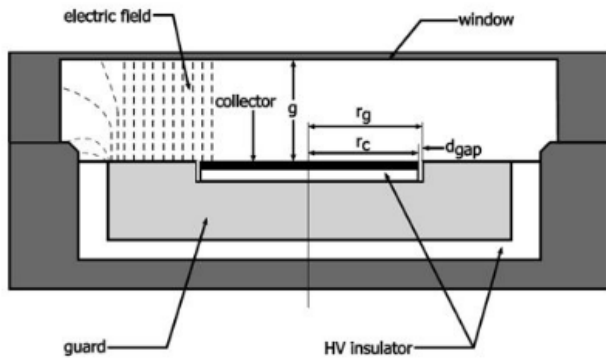


Type of detector	Diamond	Si-diode	Si-diode	Si-diode	Si-diode	Si-diode	Sun Nuclear diode
	PTW Diamond 60003	PTW Diode P 60008	PTW Diode E 60012	Scanditronix/IBA PFD [®] Photon diode	Scanditronix/IBA EFD [®] Electron diode	Scanditronix/IBA SFD Stereotactic diode	Edge Detector
							
Sensitive volume	(1... 6) mm ³	0.0025 mm ³	0.0025 mm ³	0.19 mm ³	0.19 mm ³	0.017 mm ³	0.0019 mm ³
Sensitive area	(3... 15) mm ²	Ø 1.12 mm	Ø 1.12 mm	Ø 2.0 mm	Ø 2.0 mm	Ø 0.6 mm	0.8 mm x 0.8 mm
Thickness of sensitive area	(0.1... 0.4) mm ~3.5 g/cm ²	depth 2.5 µm	depth 2.5 µm	0.06 mm	0.06 mm	0.06 mm	0.03 mm
Outer dimensions of detector	Ø 7.3 mm	Ø 7.0 mm length: 47 mm	Ø 7.0 mm length: 45.5 mm	Ø 7.0 mm length 75 mm	Ø 7.0 mm length 75 mm	Ø 5.0 mm length 75 mm	3.8 mm x 5.5 mm x 38 mm
Cover thickness, material	Polystyrene	Entrance window: 2.2 mm 1.0 mm RW3 (1.045 g/cm ³) 1.0 mm epoxy	Entrance window: 0.7 mm 0.3 mm RW3 (1.045 g/cm ³) 0.3 mm epoxy	Epoxy resin (with tungsten at the back)	Epoxy resin	Epoxy resin	0.13 mm, Brass
Density of cover material	~1.05 g/cm ³	Total window area density 221 mg/cm ²	Total window area density 68 mg/cm ²	2.0 g/cm ³ at back	1.2 g/cm ³	1.2 g/cm ³	Brass
Depth of effective point of measurement	1.0 mm from tip with detector axis // CAX	2.0 mm from tip with detector axis // CAX	0.6 mm from tip with detector axis // CAX	0.5 ± 0.15 mm	0.45 ± 0.1 mm	0.5 ± 0.15 mm	0.5 mm
Bias voltage [V]	+100	0	0	0	0	0	0



4. PARALEL PLATE/PLAN İYON ODALARI

- Paralel plan iyon odaları penceresi radyasyon kaynağına bakacak şekilde dizayn edilmiştir,
- Hava hacmi giriş penceresinin oluşturduğu disk biçimindeki düz bir yüzeyden ve dairesel bir silindirden meydana gelir.
- Giriş penceresinin iç yüzeyi elektriksel iletken ve dışı elektrot biçimindedir.
- İç elektrot, giriş penceresi karşısındaki silindirin diğer düz yüzünde yalıtkan gövdeye eklenmiş iletken dairesel bir diskidir.



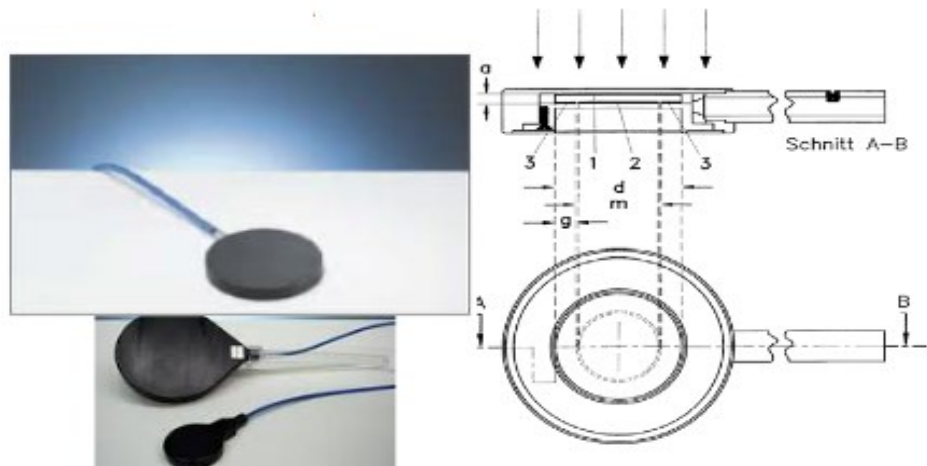
- ❑ Duyarlı hacim, iç ve dış elektrotlar arasında elektriksel kuvvet çizgilerinin geçtiği toplam hava hacminin bir kısmıdır.**
- ❑ Duyarlı hacim 0.05 ile 0.5 arasındadır.**
- ❑ Kutuplaşma potansiyeli dış elektroda uygulanır ve gelen sinyali iç elektrot toplar.**

Genellikle,

- Giriş penceresi kalınlığı 1 mm veya daha azdır.**
- İç ve dış elektrot arasındaki mesafe 2 mm veya daha azdır.**
- İç toplama elektrot çapı 20 mm veya daha azdır.**

PPC40 Paralel Plate iyon odası

- ❑ Havada, su ve katı fantom absolut doz ve derin doz ölçümlerinde kullanılır.
- ❑ İyon odasının dış ve iç elektrotu PMMA materyallerinden yapılmış olup iyon odası aktif hacim 0.40 cc'dir.
- ❑ Radyasyon kalitesi Co-60-50 MV foton, 2-50 MeV elektron
- ❑ Duyarlılık değeri yaklaşık olarak; 12 nC/Gy dir.

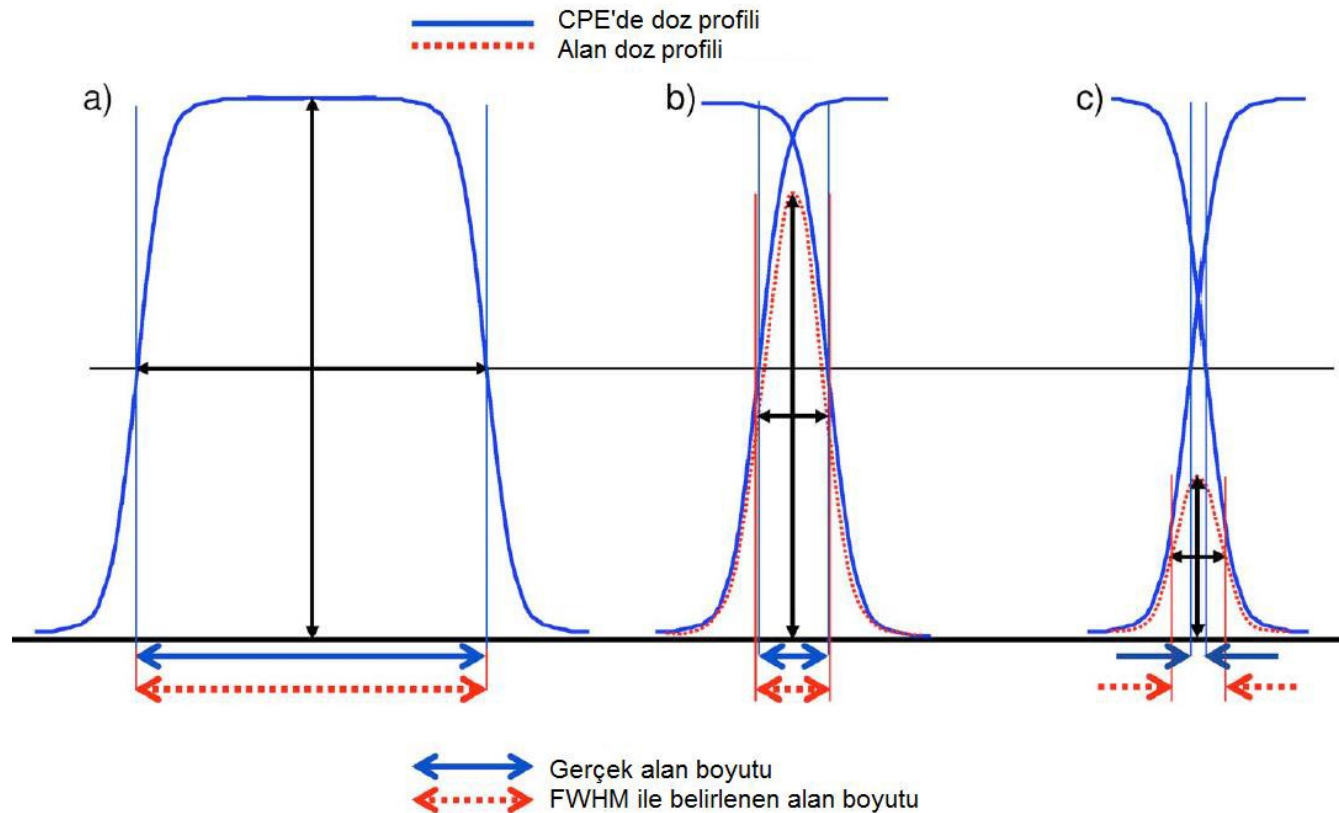


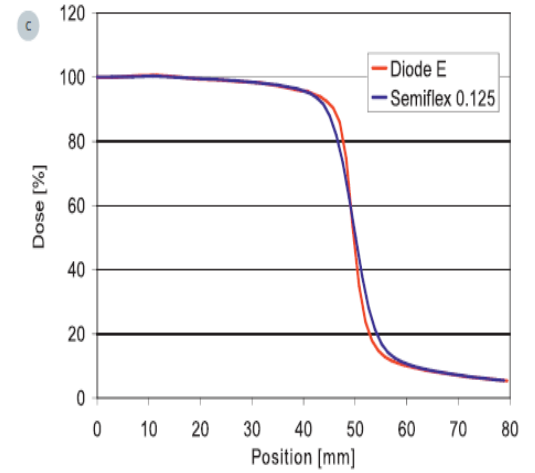
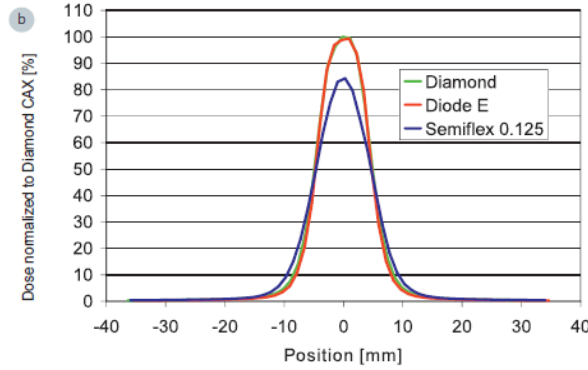
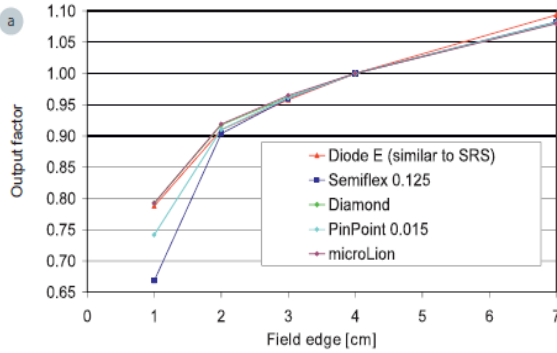
Advanced Markus Elektron Chamber 0.02 cm³

- ❑ Su ve katı fantomlarda relatif ve mutlak elektron dozimetresi için kullanılır.
- ❑ Suda 0.87 mm kalınlığında (1mm su eşdeğeri) koruyucu akrilik kapak ile birlikte kullanılır.
- ❑ Perturbasyon içermez.
- ❑ Yüksek uzaysal çözünürlük
- ❑ Nominal duyarlı volüm: 0.02 cm³
- ❑ Enerji aralığı: 2-45 MeV
- ❑ Nominal cevap: 0.67 nC/Gy
- ❑ Referans nokta: Giriş folyosu üzerinde oda merkezinde veya koruma kapağının yüzeyinin 1.3 mm altında



- ❑ Küçük alanlarda $<4 \text{ cm}^2$ ve yüksek doz hızlarında iyon rekombinasyon etkisi daha belirgin olabilir.
- ❑ Küçük alanlarda büyük hacimli iyon odaları lateral elektron denge eksikliklerine neden olur.





- a) 1cmx1 cm alan için, Semiflex ve PinPoint odası ile ölçülen dozdaki azalma b) 1cmx1cm'lik bir alanda bir profil ölçümü. Semiflex odasının alan merkezindeki dozu azaltması belirgindir.
- c) Semiflex odasının 10 cm x 10 cm'lik bir alandaki penumbra genişlemesi görülebilir.

- ❑ Dedektörün boyutu alan genişliğinin% 25'inden fazlaysa, bir volüm etkisi görülür.**

Örneğin,

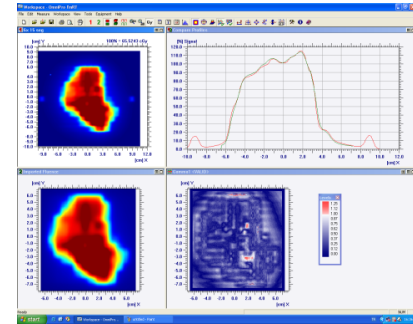
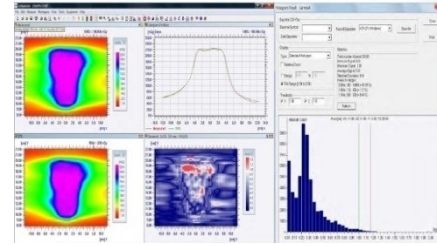
- ❑ 20x20cm² den küçük veya eşit alanlardaki hassas penumbra ölçümleri için, semiflex 0.125'den daha küçük bir dedektör kullanılır.**
- ❑ 1x1cm² 'den küçük alan için tüm foton enerjileri için Diyot E (T60017) ve 6 MV ve altındaki foton enerjileri için Diode SRS (T60018).**
- ❑ Küçük alanlarda ışın ve detektör hizalaması geniş alan boyutlarına göre çok daha önemlidir.**

5. İKİ BOYUTLU DOZİMETRELER

- ☐ **2D array (MatriXX, MapCHECK, PTW Seven29, PTW Octavius Fantom)**
- ☐ **EPID (Elektronik portal görüntüleme cihazı)**
- ☐ **Film (Radyografik, Radyokromik)**

2D array (MatriXX, MapCHECK, PTW Seven29, PTW Octavius Fantom)

- Standart Linak QA ve IMRT'de tedavi öncesinde 0^0 de (koronal planda) her bir ışın için yoğunluk haritası (fluence map) elde edilmesinde kullanılır.
- Hesaplanan ve ölçülen doz dağılımları 2B olarak karşılaştırılır.
- Linak QA (profiller, MLC)



MatriXX (Iba)

- ❑ 1020 adet iyon odası
- ❑ Grid:32x32
- ❑ Çember hacmi: 0.08 cm³
- ❑ Maks. Alan boyutu: 24x24 cm²
- ❑ Efektif ölçüm noktası: yüzeyden 3 mm aşağıda
- ❑ Çözünürlüğü: 0.42 Gy/nC veya 2.4 nC/Gy'dir.
- ❑ Dedektörler üstünde 3.6 mm su eşdeğeri malzeme
- ❑ Aktif ışınlama alanı 24x24 cm² olan paralel düzlem iyon odaları merkezi arası uzaklık 7.62 mm olup, her biri 5 mm yükseklik ve 4.5 mm çapa sahiptir (hacmi 0.08 cm³).



MapCheck (Diode array)

- ❑ 26x32'lik alanda 1527 diyod dedektör
- ❑ Diyotlar, eşit mesafede 7.07 mm'lik gr $\ddot{u}$ 0.019 mm³ aktif hacimde dağıtılmıştır.
- ❑ Aktif dedektör alanı: 0.64 mm²
- ❑ Doz rate bağımlılığı: %1 75-250 cm SSD



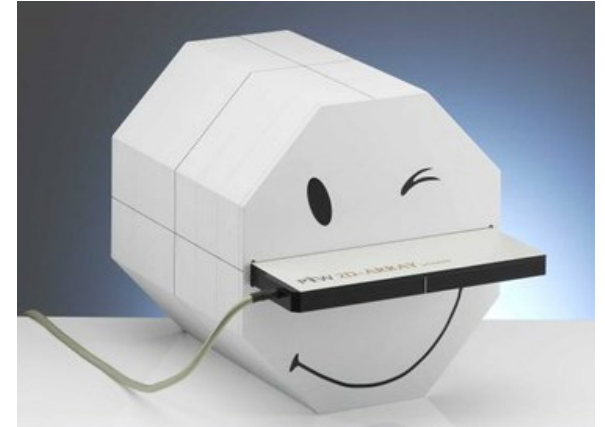
Seven29 (PTW)

- ❑ 729 adet hava dolgulu iyon odası 0.125 cc iyon odası içermektedir
- ❑ Her iyon odasının boyutları $5 \times 5 \text{ mm}^2$ olup, hava dolgusu (yüksekliği) 7.5 mm'dir.
- ❑ Çember boyutu: $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$
- ❑ Maks. Alan boyutu: $27 \times 27 \text{ cm}^2$
- ❑ İyon odalarının merkezlerinin birbirinden uzaklığı 10 mm'dir.
- ❑ Referans nokta yüzeyin 5 mm arkası



PTW Octavius Fantom

- ❑ Seven-29 2D array iyon odası ile kullanılmak üzere rotasyonel tedavi kalite kontrolüne yönelik yapılmış bir fantomdur ve tekli iyon odası ölçümlerine de imkan sağlamaktadır.
- ❑ Fiziksel yoğunluğu 1.04gr/cm^3
- ❑ Rölatif elektron yoğunluğu 1.00gr/cm^3 olan polystyrene'den yapılmıştır.
- ❑ Fantom 32 cm boyunda ve 32 cm genişliğindedir.
- ❑ Merkezinde Seven-29 2D array ile ölçüm yapabilmek için $30\times30\times2.2\text{ cm}^3$ lük bir boşluk mevcuttur.

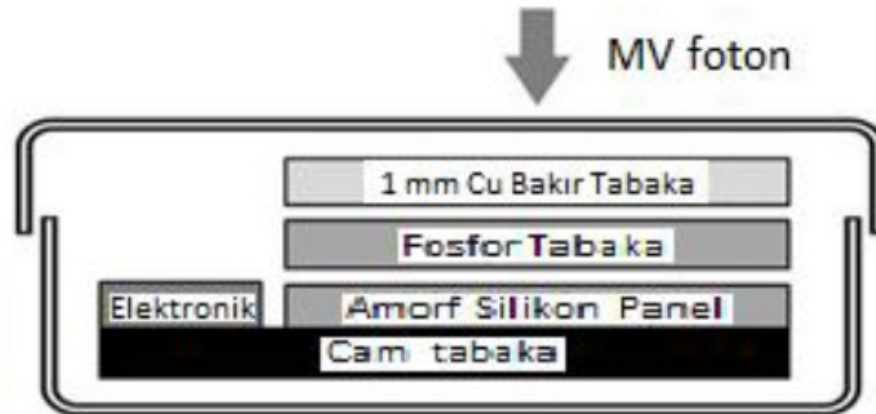


6. EPID (Elektronik portal görüntüleme cihazı)

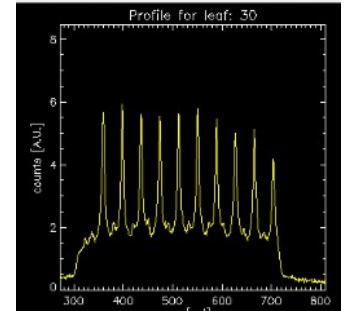
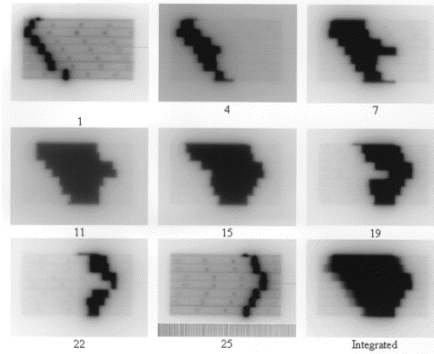
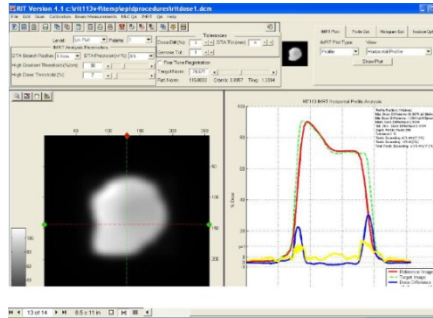
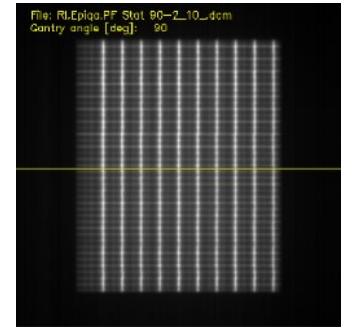
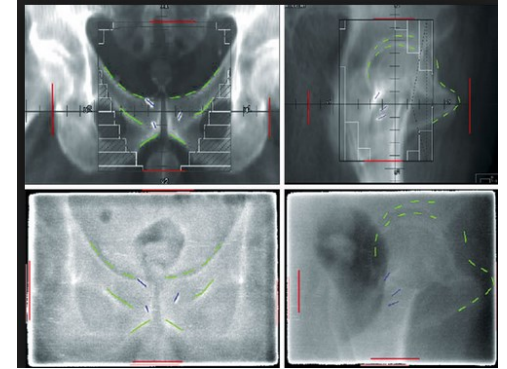
- ❑ **CCD (Charged Coupled Device)** kamera sistemleri, **SLIC (Scanning Liquid Ion Chamber)**, **AMFPD (Amorphous Silicon Flat Panel Dedector)** ve **AMFPI (Active Matrix Flat Panel Imagers)** gibi farklı sistemler üzerine tasarlanmıştır.



- Foton ilk olarak 1 mm'lik bakır tabakadan geçer.
- Düşük enerjili fotonları ve hastada oluşan elektronları soğurular gelen ışınlar fosfor tabakaya geldiğinde görünür ışık oluşur.
- Okuma sırasında, 1mm'lik cam yüzeyin üzerindeki ince film transistörlerden oluşan fotodiyotlar, iletken hale gelir, akım geçişine olanak sağlar ve gelen ışığı yüke çevirir.
- Okunan akım sonucunda EPID görüntüsü elde edilir.

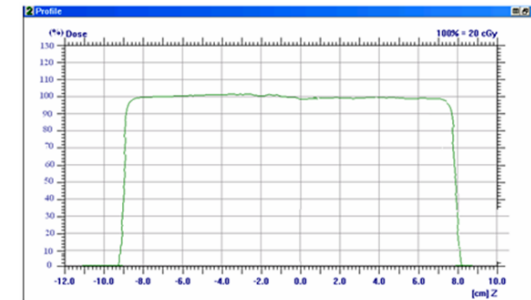
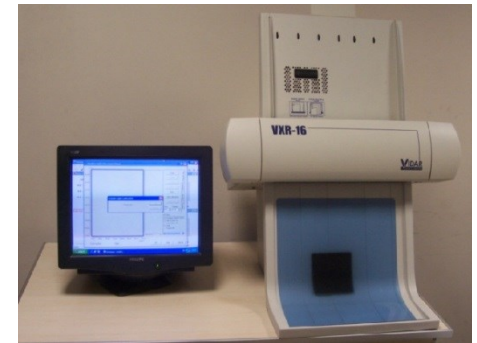
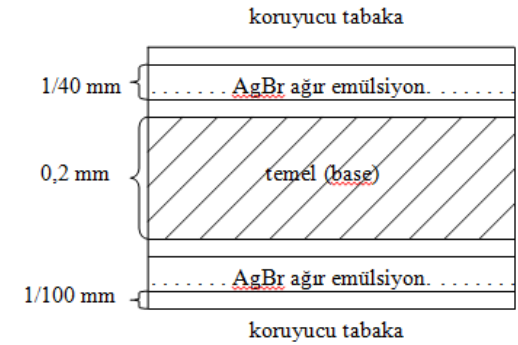


- ❑ Tedavi öncesi hasta set-up düzeltmelerinde
- ❑ Tedavi öncesi IMRT verifikasyonunda
- ❑ MLC testlerinde
- ❑ Radyasyon alanı içinde transmisyon dozu (giriş , çıkış veya midline) ölçümlerinde kullanılır.



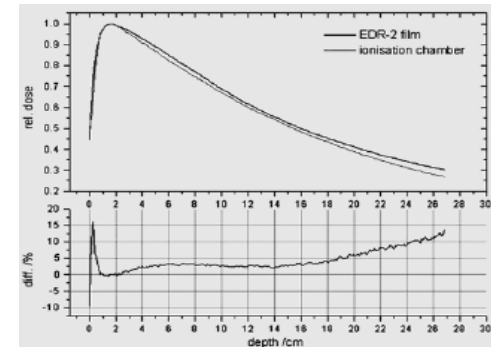
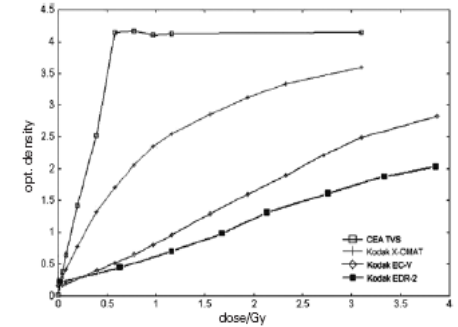
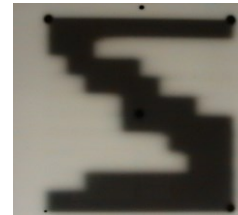
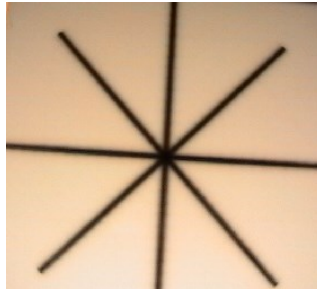
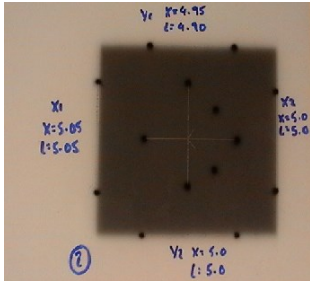
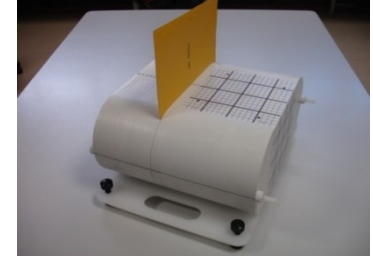
7. FİLM DOZİMETRELER

- Radyografik (Kodak X-omat, Kodak EDR-2)
- Raradyokromik filmler (EBT)
- ❑ Filmi, merkezin her iki tarafı veya tek tarafı radyasyona duyarlı bir emülsiyonla (AgBr) kaplanmıştır.
- ❑ Esasını film emülsiyonunun kararma derecesi teşkil eder.
- ❑ Kararma derecesi absorblanan radyasyon dozuna bağlıdır.



- 
- ☐ **Optik yoğunluk okuyucuları, film dansitometreleri, lazer dansitomereleri ve otomatik film tarayıcıları içerir.**
 - ☐ **Filmin kararma miktarı densitometrik metotlarla ölçülür.**
 - ☐ **Optik densite ile doz arasında eğriler çizilerek doz tayini yapılır.**
 - ☐ **Sensometrik eğri ve ölçüm filmleri aynı gün ışınlanmalı ve taranmalıdır.**

- ❑ Cihazların mekanik testlerinde
- ❑ Hesaplanan ve ölçülen hasta planının 2D dozimetrik karşılaştırmalarda
- ❑ MLC testlerinde
- ❑ IMRT ışın penumbrasını modellemek için kullanılacak ışın profillerini ölçmek
- ❑ Küçük alanların relative output faktörlerini ölçmek için kullanılır.



Kodak EDR-2

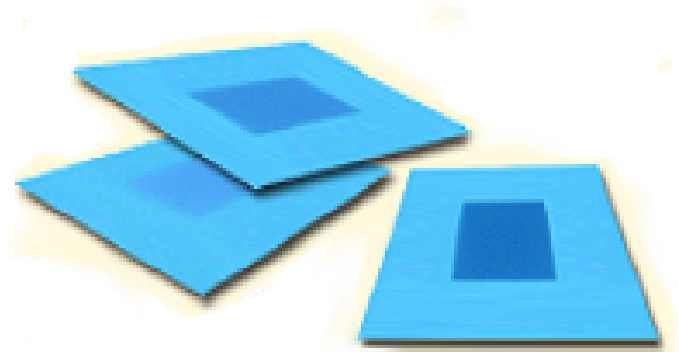
- ☐ **Dinamik doz aralığı oldukça geniştir (0-7 Gy).**
- ☐ **Enerjiye bağımlılığı azdır.**
- ☐ **Derinlik, alan boyutu ve fantom büyüklüğü film hassasiyetini etkiler ayrıca filmin koyulduğu yön de önemlidir.**
- ☐ **Radyografik filmler yüksek Z materyallerine sahip olduklarından düşük enerjili foton saçılmasına sebep olur.**

Duyarlılığı

- ☐ Foton enerjisi,
- ☐ Alan boyutları,
- ☐ Işın yönüne,
- ☐ Farklı kutular arasındaki emülsiyon farklılıklarına,
- ☐ Banyo koşullarına
- ☐ Dansitometrenin tipine bağlıdır.

Radyokromik (Gafchromic® EBT: External Beam Therapy) film duyarlılığı

- ☐ **Tabakaları carbon, hidrojen, oksijen ve nitrojenden oluşur.**
- ☐ **Dose range 1cGy – 800cGy**
- ☐ **Enerjiden bağımsız**
- ☐ **Doz lineer**
- ☐ **Uzaysal çözünürlüğü yüksek**
- ☐ **Tekrarlanabilir ve esnektir**
- ☐ **Işınlamadan sonra banyo gereksinimi göstermemektedir**
- ☐ **Yüzey hassasiyeti fazladır.**
- ☐ **Işığa duyarlı değil**



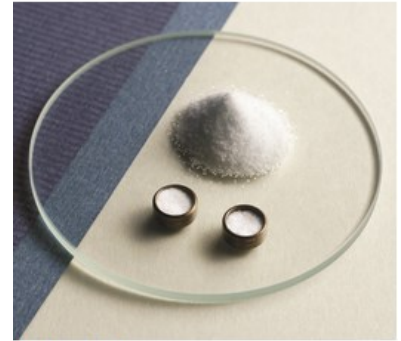
- ☐ **Doku eşdeğeri ve su geçirmez**
- ☐ **Double exposure tekniği uygulanabilir.**
- ☐ **Hassasiyetleri düşük**
- ☐ **Işınlamadan sonra polimer tabakada renk değişimi izlenir.**
- ☐ **Radyocromic filmler 2-4 Gy/dk aralığında doz hızından bağımsızdırlar.**
- ☐ **IMRT ve stereotaktik tedavi planlarının doğrulanması, MLC kalite kontrolü, penumbra değerlendirmeleri, yüzey dozu ve build-up bölgesi dozu ölçümleri, HDR brakiterapi kaynaklarının doz dağılımlarının karakterizasyonu ve intravasküler kaynakların yollanmasının doğrulanmasında kullanılmaktadır.**

8. TERMOLÜMİNESAN DOZİMETRELER (TLD)

- ❑ Termolüminesans; kristale verilen enerjinin, kristal ısıtıldığı zaman ışık fotonları (optik radyasyon) olarak geri yayılması olayıdır.
- ❑ TLD dozimetreler LiF (Mg, Ti), $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaSO_4 , ve CaF_2 gibi kimyasal maddelerden yapılmıştır.
- ❑ LiF' ün etkin atom numarası 8.14 (dokunun 7.42)
- ❑ Genellikle çubuk (silindir) ya da Çip (kare) şeklinde kullanılır. Toz şeklinde de vardır.
- ❑ Çip 3x3 kalınlık <1 mm
- ❑ Silindir 1x1x6 mm³



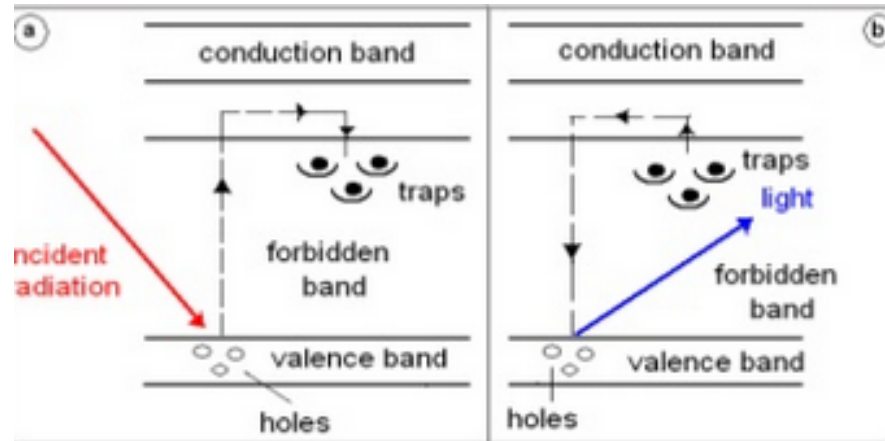
TLD elements



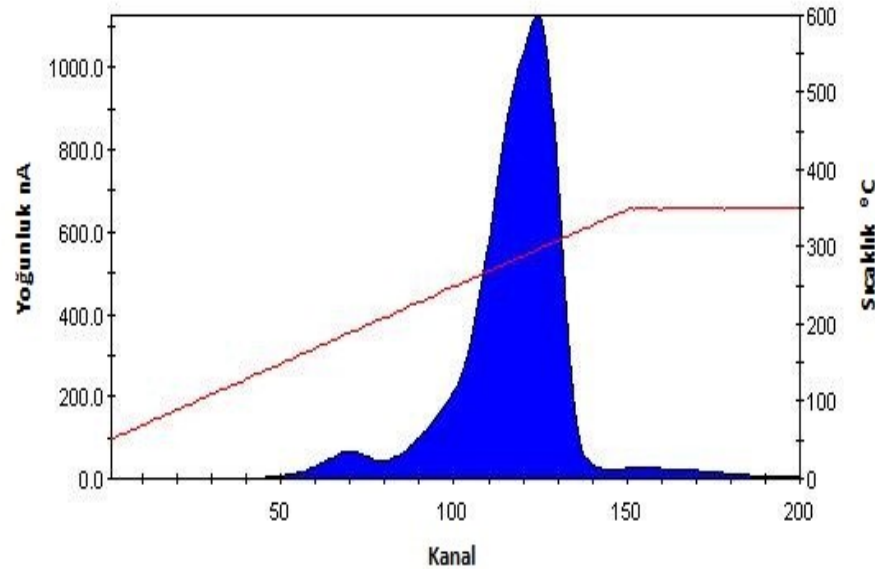
TLD powder



- ❑ TLD'ler radyasyonlara maruz bırakıldığında kristal içindeki atomların elektronlarını bulundukları bandtan iletkenlik bandına ve oradan da kristal içinde bulunan yabancı ortamlar tarafından yakalanmaktadır.
- ❑ Kristaller ısıtıldığında tuzaklardan kurtulan elektronlar eski enerji seviyelerine düşerken iki seviye arasındaki enerjiye eşit enerjili görünür ışık yayınlamaktadır.
- ❑ Bu ışık şiddeti kristal tarafından absorblanan radyasyon dozu ile orantılıdır.

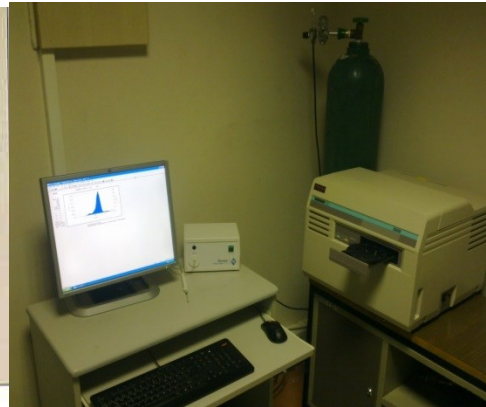
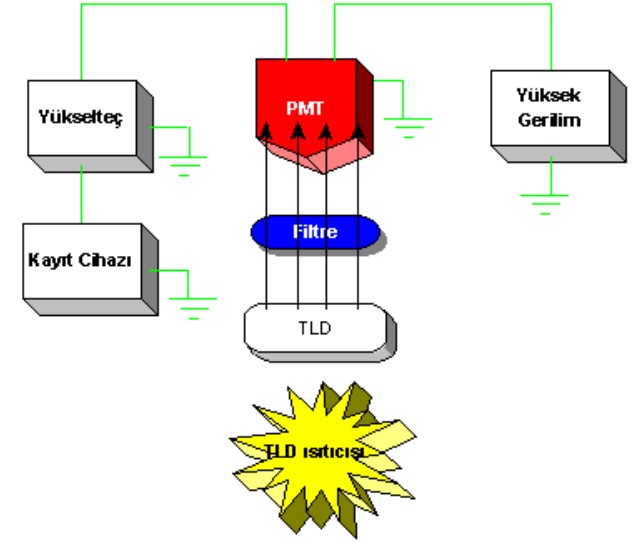


- Yayınlanan ışık şiddetinin sıcaklığa veya zamana karşı değişim grafikleri ışınlama eğrilerini verir.
- Bir ışıma eğrisinin altında kalan toplam alan, kristalin maruz kaldığı radyasyon ile ve aynı zamanda kristalin ısıtılması sonucu yayınlanan toplam ışık ile orantılıdır.



❑ Doz ölçümleri için özel bir okuyucu cihaza ihtiyaç vardır.

❑ TLD okuyucusu: TLD içerisinde soğurulan dozu ısı yolu ile açığa çıkaran TLD fırını, fotoçoğaltıcı tüp (PMT) yazıcı (ekran)' dan oluşan bir sistemdir.



Bazı avantajları,

- ☐ **Fiziksel boyutlarının küçük**
- ☐ **Uzun bir doz aralığına sahip (miliröntgen- 10^5 Röntgen)**
- ☐ **Doza orantılı cevaplar verirler**
- ☐ **İn vivo dozimetri olarak kullanılabilir.**

Dezavantajları ise,

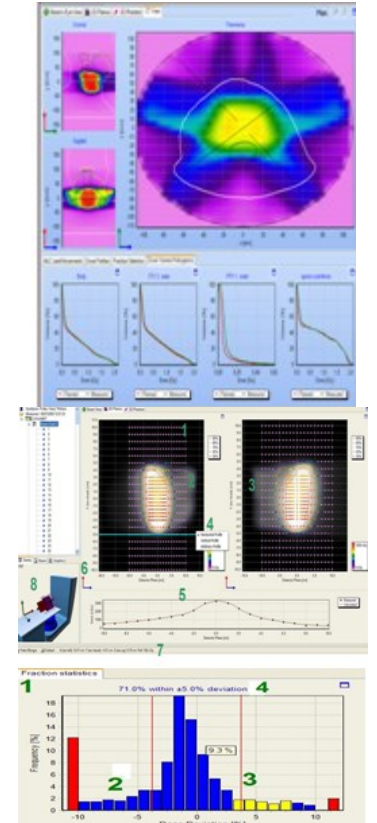
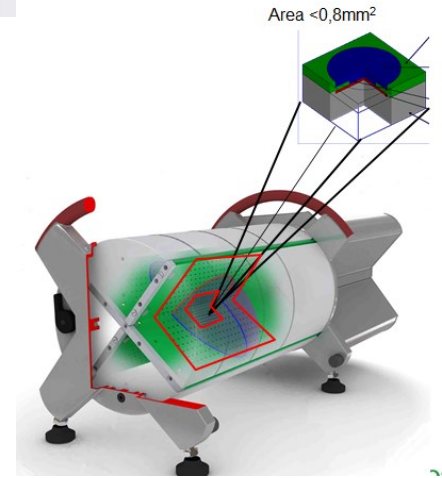
- ☐ **Okuma işlemi dedektör üzerindeki doz etkisini sileceğinden, her doz bir kez okunur.**
- ☐ **Ultraviyole ışınlarına duyarlıdır.**
- ☐ **Her doz ölçüm periyodu öncesi sıfırlanması gereklidir.**

Genellikle cilt dozu ve radyasyon alan kenarlarındaki doz ölçümlerinde tercih edilir.

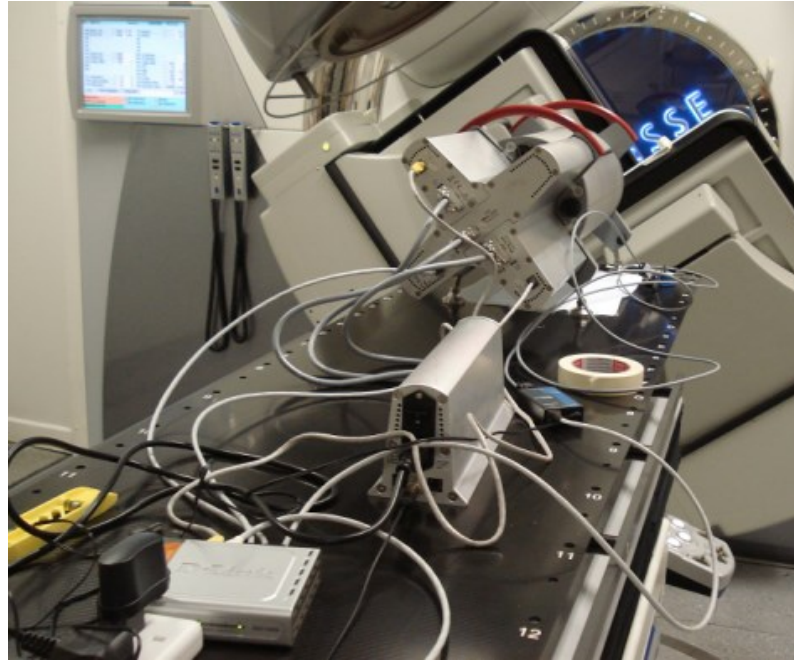
9. 3D/4D DOZİMETRELER

Delta4 (Scandidos, Upsala, Sweden)

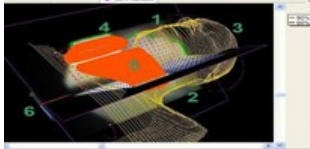
- ❑ Silindirik PMMA (polimetil metakralet) (rölatif elektron yoğunluğu 1.147) silindirik, 4 bölümlü
- ❑ 22 cm çapında, 40 cm uzunluğunda
- ❑ 2 ortagonal detektör düzlemi (1069 diyet)
- ❑ Herbir dedektörün kalınlığı 0.05 mm ve aktif alanları 0.78 mm²
- ❑ Dedektörler merkezde 6x6 cm² alanda 0.5 cm, diğer yerlerde ise 1cm aralıklarla sıralanmıştır.
- ❑ Aktif alan 20x20 cm²



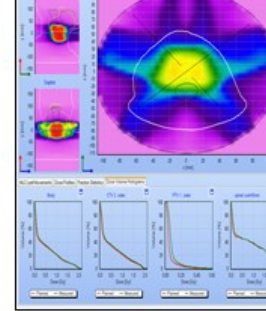
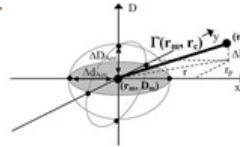
- ❑ Yüksek uzaysal çözünürlük
- ❑ Mutlak doz
- ❑ Gantri açılarını ölçmek için inklonometre kullanılır.
- ❑ Yılda bir kez kalibrasyonu yapılır.
- ❑ Sistem Linak pulslarıyla senkronizedir
- ❑ Ölçüm linak'ın ST (Signal Trigger) terminali ile eşzamanlı yapılır.



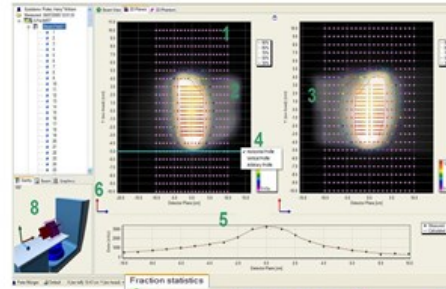
- Linak QA (MLC, profil ve yüzde derin doz)
- Tedavi öncesi hasta spesifik QA (gamma değerlendirmesi),



Araçlar Analizi

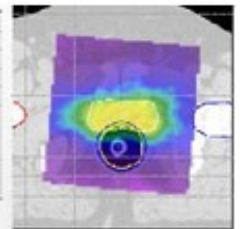
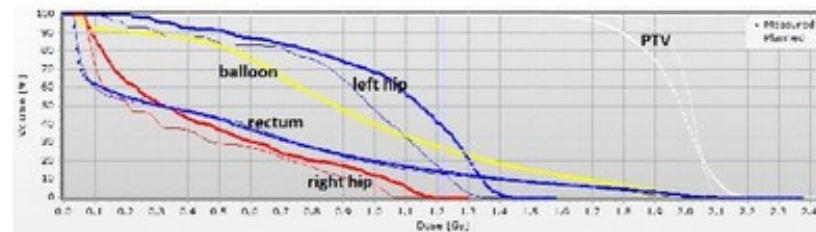
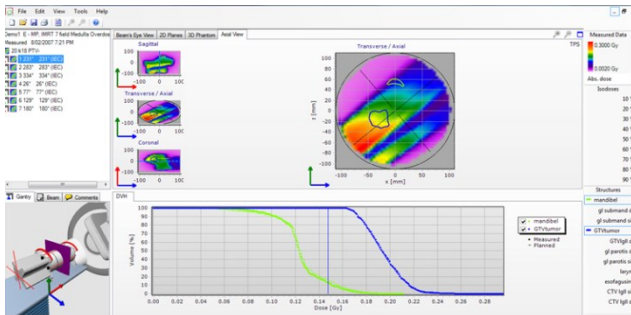
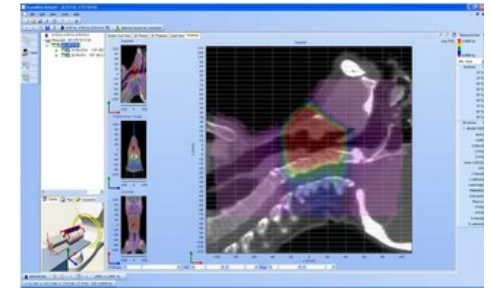
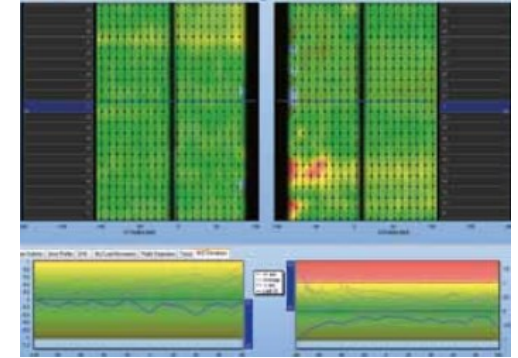


- Algoritmalar
 - 3D Gamma,
 - 3D DTA,
 - Doz deviyasyon
- Ekran getirilenler
 - 3D,
 - 2D,
 - 1D,
 - Histogramlar
 - Tablolar
 - Hasta yapıları
 - MLC yapıları
- Yeni opsiyon: DVH, 3D semi-measured data ve transvers görüntüler



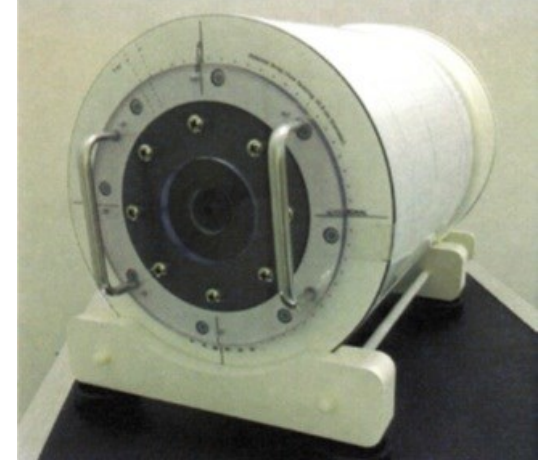
□ Delta4 Discover'in Express Measure, otomatik olarak ve bağımsız olarak monitör ünitelerini, MLC yaprak pozisyonunu, gantri ve kolimatör açısını ve hasta pozisyonunu doğrular.

□ Delta4 Discover fantomlar gerçekte ölçülen verilere dayanarak 3D dozu ve hasta DVH'lerini hesaplayan 4D QA cihazıdır.

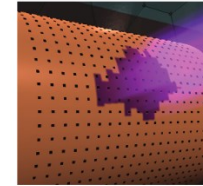


ArcCheck (Sun Nuclear)

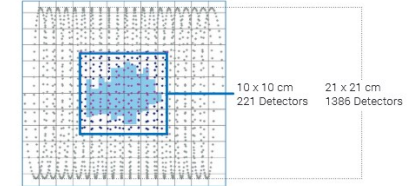
- ❑ 21 cm uzunluğunda helikal olarak dizili 1386 adet diyot (0.019 mm^3)
- ❑ Diyotlar 2.9 cm'lik bir derinlikte ve 1cm aralıklarla düzgün biçimde yerleştirilmiştir.
- ❑ Fantom 15cm'lik merkezi bir kaviteye sahiptir.
- ❑ Diyotlar 15 cm'den daha geniş alanlar için %1 açısal bağımlılığa sahiptir.



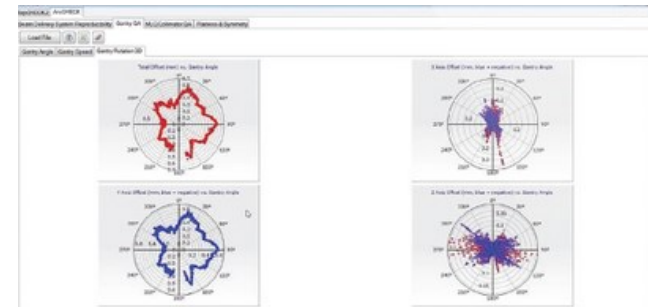
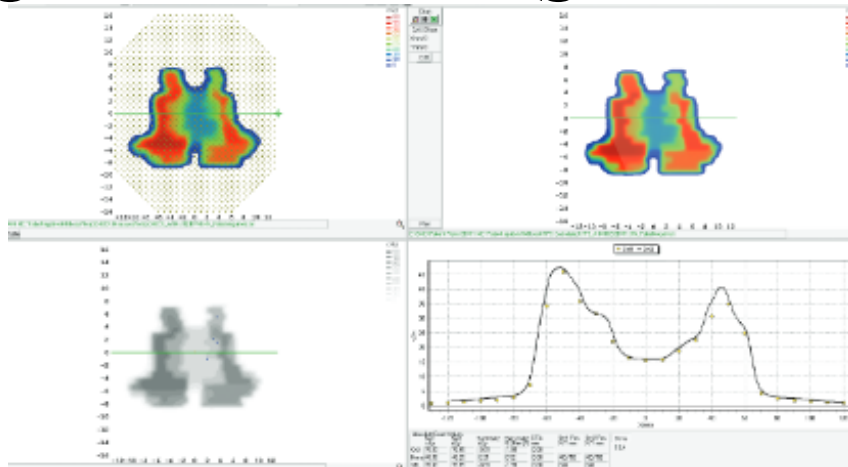
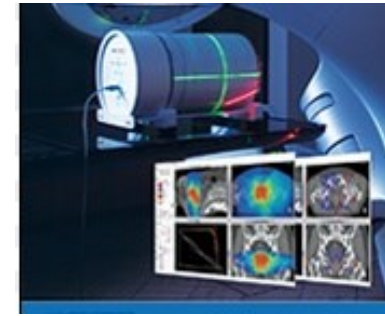
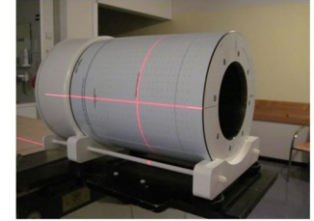
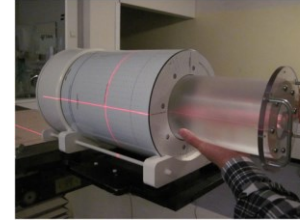
Beam Delivery



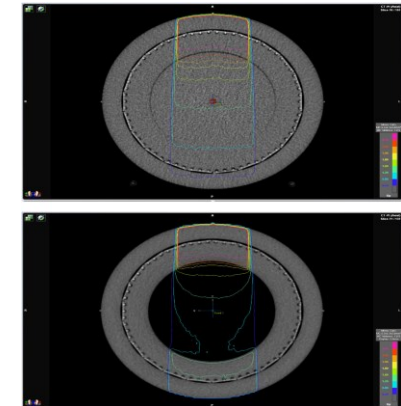
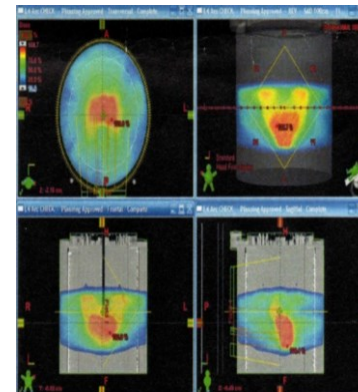
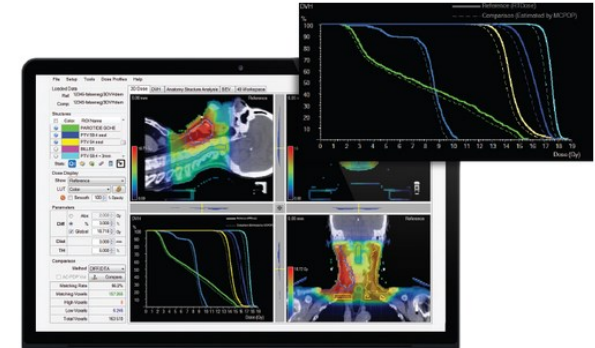
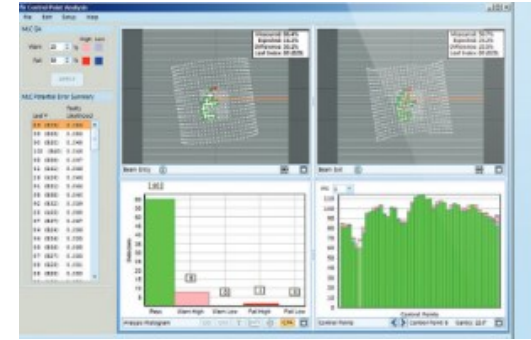
ArcCHECK Detector BEV



- ❑ Kaviteye homojen akrilik bir insert yerleştirilebilir.
- ❑ İnsert içine izosentırda doz ölçümü için iyon odaları yerleştirilebilir.
- ❑ Dinamik gantrinin rotasyon, açı ve hız QA, simetri ve flatness
- ❑ Hesaplanan ve ölçülen doz değerlendirilmesinde (gamma analizi)

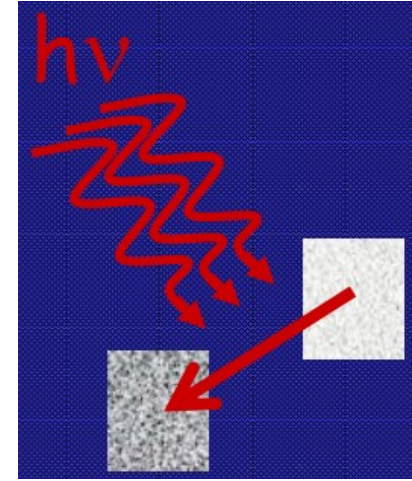


- ❑ MLC QA
- ❑ Hedef ve OAR DVH QA için 3D doz rekonstrüksiyonu.
- ❑ ArcCheck sistemi silindirdeki giriş ve çıkış dozlarını hızlı bir şekilde ölçüp analiz edebilmektedir.
- ❑ Silindirik ve izotropik dizaynı, tüm gantri açıları için uygun dedektör görüntülerini oluşturmaya yöneliktir.
- ❑ ArcCheck ile inhomojenite tayini de yapılabilenekte.

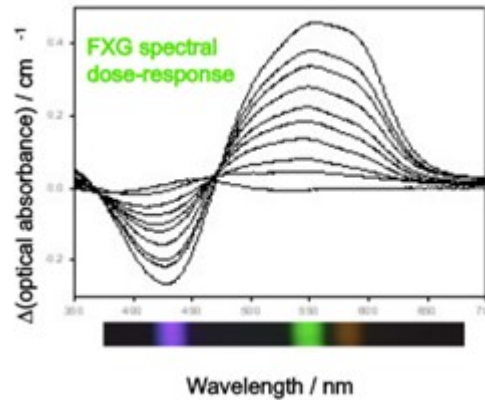


Polymer Jel Dozimetreler

- %89 bulk water, %5 jelatin
- Radyasyonla jelatinin %5 gibi küçük miktarı değişir.



Işınlanmış jel



Işınlanmış jelin dozla değişimi

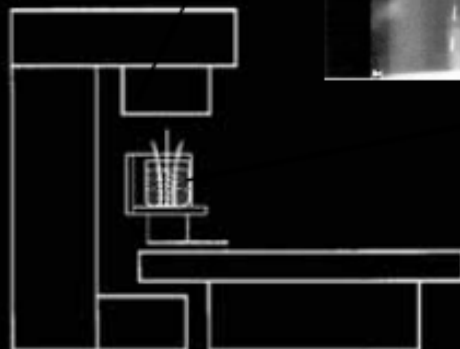


Işınlamadan önce ve sonra

Gel dosimetry



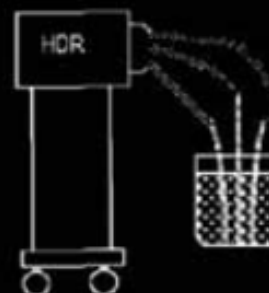
preparation



simulator films



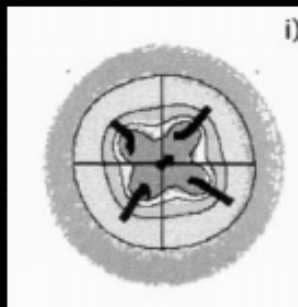
planning



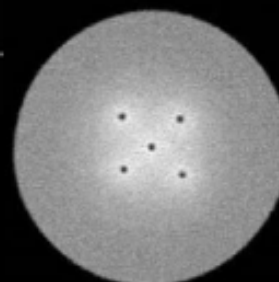
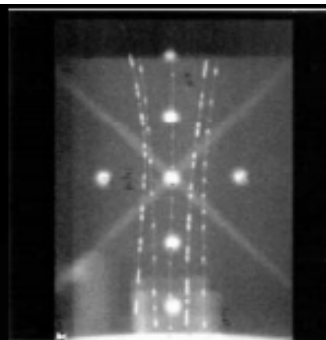
irradiation



MR imaging

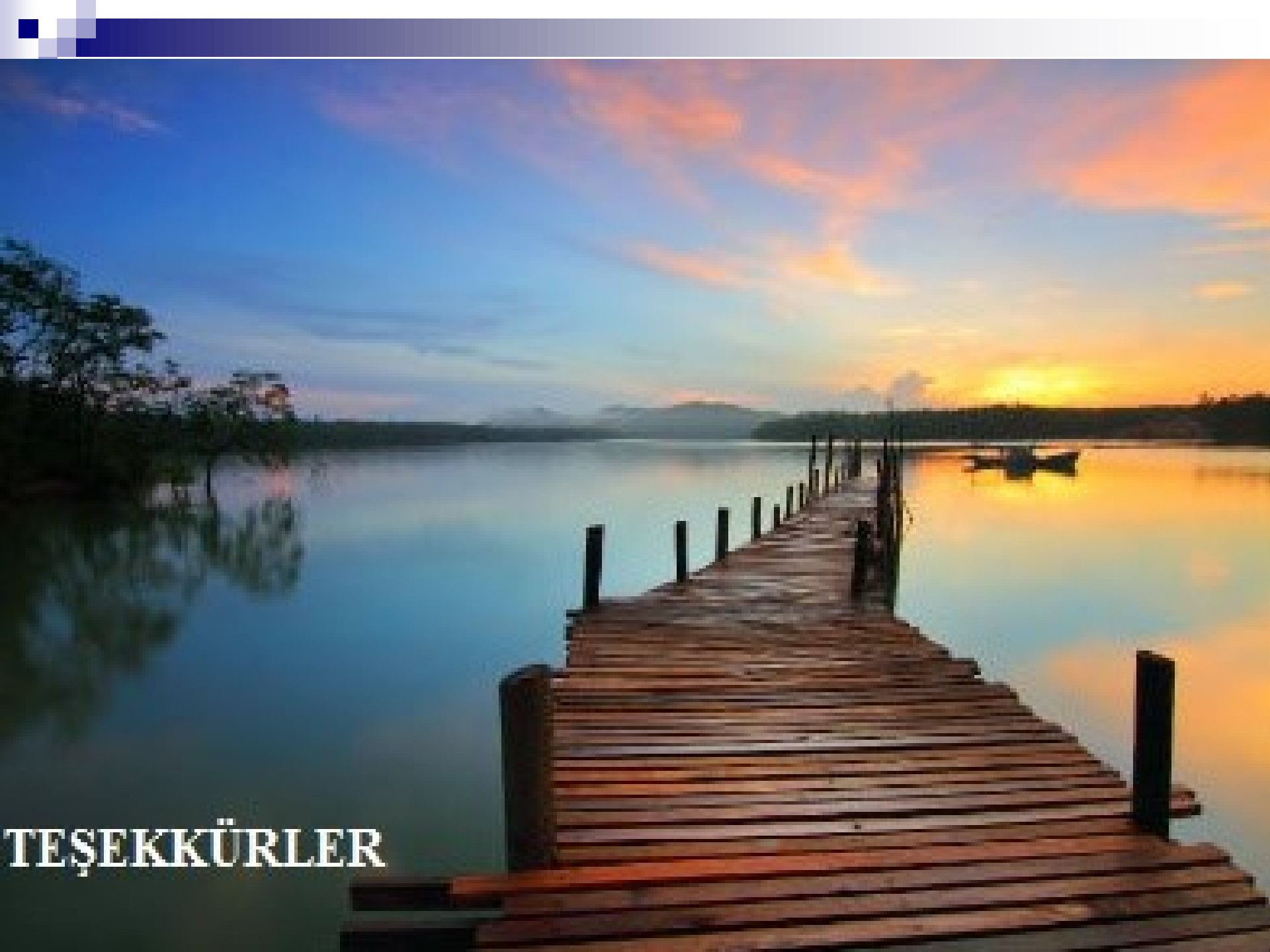


dose calculation



Özellikleri

- ☐ Bütünleşmiş dozun (radyasyon dozunu biriktirerek) ölçümü,
- ☐ ± 1 mm 3D uzaysal çözünürlük ,
- ☐ Dozimetrik doğruluk $\pm \% 2$
- ☐ Hazırlanma ve analizlerin total zamanı ± 2 gün
- ☐ 3D doz dağılımını haritalandırma
- ☐ Enerji ve doz hızından bağımsızdır.
- ☐ Yeniden kullanılamaz
- ☐ Suyu eşdeğerlik
- ☐ İsteğe göre dozimetre şekli ve boyutu.
- ☐ Doz değerlendirilmesinde MRG ve optik BT görüntüleme yöntemleri kullanılır.
- ☐ Jel hazırlanması sırasında oksijen kontaminasyonu oluşur.



TEŞEKKÜRLER