

به نام خدا

## جلسه 8

دوز در رادیو تراپی ابزاری است که درمان با استفاده از آن صورت می گیرد و هدف این است که بیشترین دوز را به تومور بدهیم . این دوز می تواند ریسک عوارض جانبی را زیاد کند پس باید با دقت زیاد این دوز به بیمار داده شود .

### ◆ Dose in radiotherapy

➤ Is the therapeutic agent

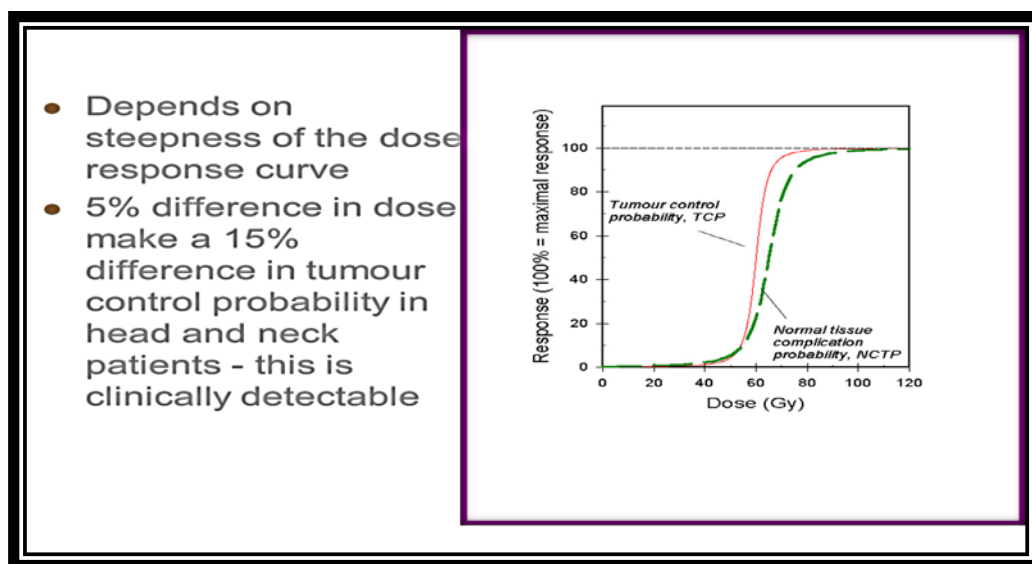
➤ Is high - radiotherapy means putting as much dose into the target as possible

➤ Carries some risk of severe complications

➤ Must be delivered very accurately

### Required dose accuracy

این منحنی اهمیت کار تکنولوژیست های رادیو تراپی را نشان می دهد در واقع این منحنی دقت لازم در پرتو دهی به بیمار را نشان می دهد . محور عمودی پاسخ بیمار به درمان می باشد و محور افقی دوز بر حسب Gy است .



در این نمودار دو منحنی داریم منحنی قرمز بیانگر TCP (احتمال کنترل تومور) و منحنی سبز بیانگر NCTP (احتمال ایجاد عوارض برای بافت نرمال)

به دلیل همجواری بافت نرمال و بافت تومورال میزان دوز با محدودیت مواجه است پس احتمال آسیب به بافت نرمال از بالا بردن میزان دوز جلوگیری می کند با توجه به منحنی برای مثال اگر

برای یک تومور باید 60Gy دوز بدهیم با ایجاد 5% تفاوت در مقدار دوز ، کنترل تومور 15% تغییر می کند ولی این یک رابطه خطی نمی باشد و در واقع چون شیب زیاد است تغییرات زیاد است. در نتیجه همواره سعی بر آن است که در کنار بیشترین احتمال کنترل تومور کمترین میزان آسیب به بافت مجاور در نظر گرفته شود. در این نمودار دوز بین 60 تا 70 Gy به احتمال زیاد انتخاب شود چون هم بیشترین دوز به بافت تومور داده و هم بافت نرمال کمترین آسیب را می بیند پس باید بیشترین کنترل را همراه با کمترین آسیب داشته باشیم .

### Absolute and relative dosimetry

دوزیمتری مطلق و نسبی

دوزیمتر مطلق :

دوزیمتر مطلق ، دوزیمتری است که با آن می توان دوز یک نقطه را به طور دقیق اندازه گیری نمود. انواع دوزیمترهای مطلق: chamber ، فریک سولفات ، کالیمومتری (با اندازه گیری اختلاف دما ماده تابیده شده دوز را اندازه گیری می کنند )

**Absolute dosimetry is a technique that yields information directly on absorbed dose in Gy. This absolute dosimetric measurement is also referred to as calibration. All further measurements are then compared to this known dose under reference conditions. This means ...** ♦

دوزیمترنسبی : فیلم یک دوزیمتر نسبی است اگر یک محدوده از فیلم را اشعه بدهیم آن محدوده سیاه می شود . با یک دانسیتومتر سیاهی ها را می خوانیم که یک سری عدد بدست می آوریم . این اعداد فقط بیانگر تفاوت دوز یک نقطه با یک نقطه دیگر است و میزان دوز یک نقطه را بیان نمی کند به این معنا که این اعداد دوز مطلق آن نقطه نیست . بعنوان مثال دانسیتومتر اعداد 100-120-156-180 این را نشان می دهد که به آن معنا نیست که دوز یک نقطه مثلا 100 است و برای فهمیدن دوز یک نقطه باید یک دوزیمتر مطلق را در شرایط یکسان با فیلم (فاصله تا منبع ، فاصله تا ماده ) در میدان قرار دهیم ، پس از اندازه گیری یک نقطه خاص و بدست آوردن نسبت بین دوز آن نقطه در دوزیمتر مطلق و دوزیمتر نسبی میتوان میزان دوز دیگر نقاطی که دوزیمتر نسبی اندازه گیری کرده است را بدست آورد . مثلا جایی که در فیلم دوز 200 داشته در دوزیمتر مطلق دوز 100 دارد پس اگر تمام جوابهای دوزیمتر نسبی را بر 2 تقسیم کنیم میزان دوز آن نقاط بدست می آید .

در واقع یک دوزیمتر نسبی یک سری عدد به ما می دهد که نسبت به هم درست هستند ولی مقدار واقعی دوز را مشخص نمی کند مگر اینکه از یک دوزیمتر مطلق در کنار دوزیمتر نسبی استفاده کنیم .

انواع دوزیمتر های نسبی : به غیر از دوزیمتر های مطلق (chamber ، فریک سولفات ، کالیمومتری) مابقی دوزیمترها ، دوزیمترهای نسبی هستند .

◆ **relative dosimetry** is performed. In general no conversion coefficients or correction factors are required in relative dosimetry since it is only the comparison of two dosimeter readings, one of them being in reference conditions.

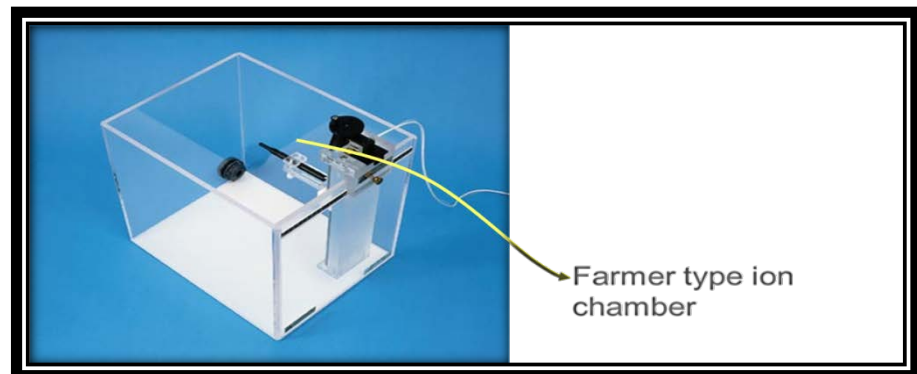
پس برای اندازه گیری دوزیمتر های نسبی باید از یک دوزیمتر مطلق استفاده شود که معمولاً از chamber استفاده می شود . چون فریک سولفات و کالیمتری بیشتر در آزمایشگاهها کارائی دارند .

دوزیمتری مطلق بسیار حساس است و اگر اشتباهی رخ دهد تمام بخش رادیو تراپی دچار اشتباه می شود پس توصیه می شود چند بار و توسط چند نفر اندازه گیری گردد .

Of tremendous importance: If the absolute dosimetry is incorrect EVERYTHING will be wrong

### Absolute dosimetry for therapy beams

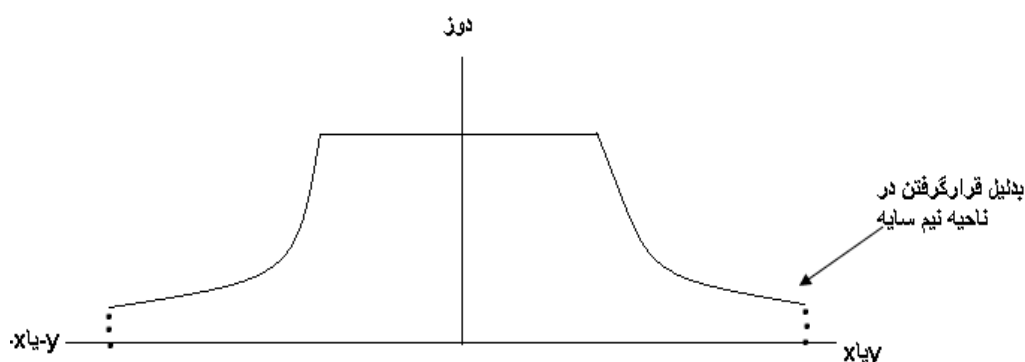
این شکل یک فانتوم آب را نشان می دهند که chamber داخل آن قرار دارد اگر chamber ضد آب باشد آن را داخل آب می گذارند و در غیر اینصورت آن را داخل یک پوشش پلاستیکی قرار می دهند . chamber باید در وسط میدان قرار بگیرد و بطور استاندارد 5 سانتیمتر زیر سطح فانتوم آب قرار می گیرد .



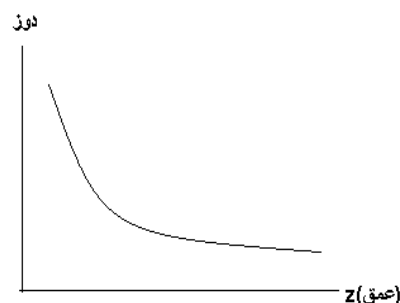
در بخش رادیو تراپی یک سیستم دوزیمتری وجود دارد که با قابلیت جابجائی در طول محور x,y,z ( افقی ، عمودی ، عمق ) برای ما تمام دوزها را ثبت می نماید .



اگر chamber در جهت  $x$  و  $y$  حرکت کند منحنی بدست می آید که به آن پرو فایل می گویند و مشابه شکل زیر است .



اگر chamber در جهت  $z$  حرکت کند منحنی درصد دوز عمقی را نشان می دهد .



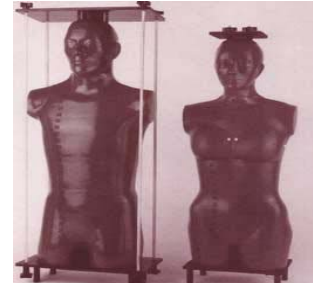
تعریف فانتوم : یک محیط که ما اندازه گیریها را به جای بدن داخل آن انجام می دهیم .

آب بهترین فانتوم است چون اندازه گیری دوز راحت ، در دسترس ، ارزان و عدد اتمی آن نزدیک به بدن انسان می باشد .

**Slab phantom** : مزیت این فانتوم این است که می توان بین **Slab** های مختلف فیلم گذاشته و فیلم ها دوزیمتری کنیم .

**Rando phantom** : مزیت این فانتوم این است که از بدن انسان شبیه سازی شده است و مواردی شامل حفره ها (ریه ، سینوس ها و .... ) استخوان ها و آناتومی زن و مرد در آن تعبیه شده ولی گرانقیمت می باشد . این فانتوم قطعه قطعه (slice) می باشد و یکپارچه نیست که داخل هر slice

سوراخهایی گذاشته اند که می توان TLD در آن قرار گیرد . در نتیجه دوز را می توان از طریق فیلم که بین slice ها قرار می گیرد یا TLD اندازه گیری نمود . با این فانتوم می توان مقدار دوز وارد بر یک قسمت از بدن را به صورت قطعه ای در فانتوم اندازه گیری نمود . این در حالی است فانتوم آب این قابلیت را ندارد .



دقت و صحت (Precision and accuracy)

Precision (دقت) :

نشان دهنده تکرار پذیری می باشد به این معنی که چه قدر احتمال دارد با هر بار اندازه گیری یک عدد جدید بدست آید . برای بدست آوردن Precision باید انحراف معیار استاندارد را بدست آوریم .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Precision: how likely is the measurement to agree with the expected value of the quantity being measured.

Estimated from repeated measurement

Standard deviation of the measurement indicates the precision of the instrument.

Important for *relative* and *absolute* measurements

مثال : Precision اعداد مقابل را به دست آورید : 60-60.5-61-59.5

$$\sigma = \sqrt{\frac{\frac{1}{16} + \frac{9}{16} + \frac{1}{16} + \frac{9}{16}}{3}} = 18\%$$

Precision = 18 درصد یعنی به احتمال 18 درصد در اندازه گیریهای مکرر دوز اعداد متفاوتی بدست می آوریم .

هر چه عدد Precision بیشتر باشد دقت ما کاهش می یابد در واقع Precision یعنی احتمال تکرار پذیری .

accuracy (صحت):

میزان نزدیک بودن دوز اندازه گیری شده به مقدار واقعی بیان می کند . که با فرمول زیر محاسبه می شود:

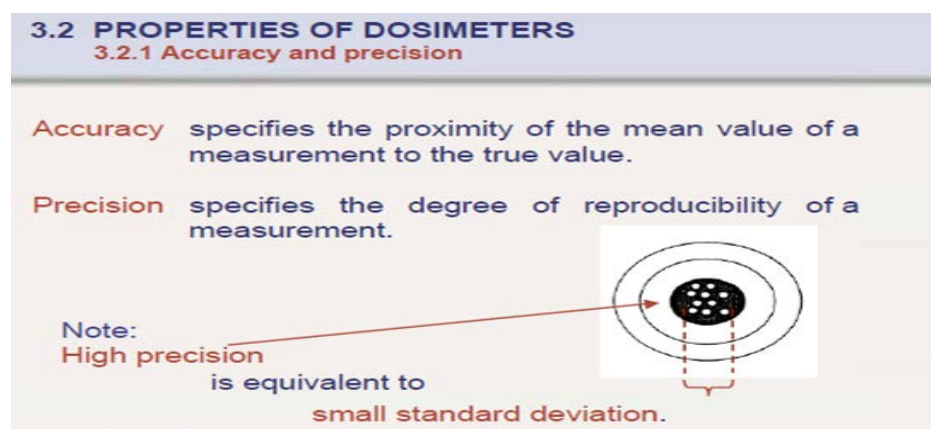
$$\frac{\text{مقدار متوسط} - \text{مقدار استاندارد}}{\text{مقدار استاندارد}}$$

Accuracy: how close is the instrument reading to the true value. Influenced by precision, but also by all other parameters that may affect the measurement. Important for *absolute* measurement.

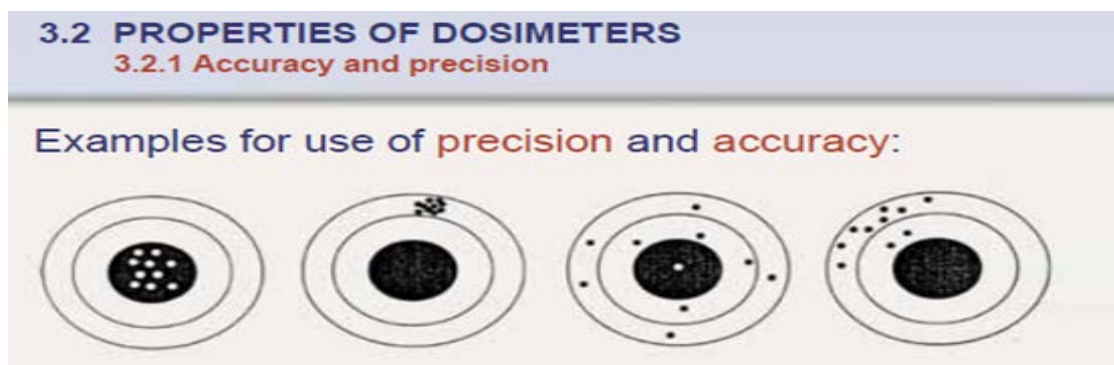
در مثال قبل صحت 0/5 درصد است پس عدد میانگین ما خیلی نزدیک به عدد واقعی می باشد .

Precision: نشان دهنده خطای تکرار

accuracy: بیانگر نزدیک بودن به مقدار واقعی



مثال: Precision و accuracy را در شکلهای زیر بررسی کنید.



پاسخ:



در مورد شکل سوم که دارای Precision پایین است اگر از نقاط میانگین بگیریم میانگین آنها نقطه وسط می باشد که بیانگر accuracy بالا می شود .

مجموعه accuracy و Precision بعنوان uncertainty (عدم قطعیت) تعریف می شود . بطور مثال وقتی می گوئیم low Precision و low accuracy یعنی عدم قطعیت بالا است . پس هر چه عدد عدم قطعیت بالاتر باشد دوزیمتر ما بدتر است و هر چه دوزیمتر ما قابل اعتمادتر باشد عدم قطعیت آن کمتر است .

**3.2 PROPERTIES OF DOSIMETERS**  
**3.2.1 Accuracy and precision**

**Note:** The accuracy and precision associated with a measurement is often expressed in terms of its **uncertainty.**

Dose range: هر دوزیمتر سیگنال مخصوص به خود را دارد .

انواع سیگنال در دوزیمترهای مختلف:

reading:chamber مقداری که در الکترومتر خوانده می شود .

فیلم : میزان سیاهی

کالیموتری : مقدار اختلاف گرما

شیمیایی (فریک سولفات) : مقدار  $Fe^{3+}$  تولید شده

در حالت ایده آل signal با dose متناسب است یعنی dose دوبرابر شود signal دو برابر می شود ولی همیشه این اتفاق نمی افتد .

توضیح در مورد نمودار

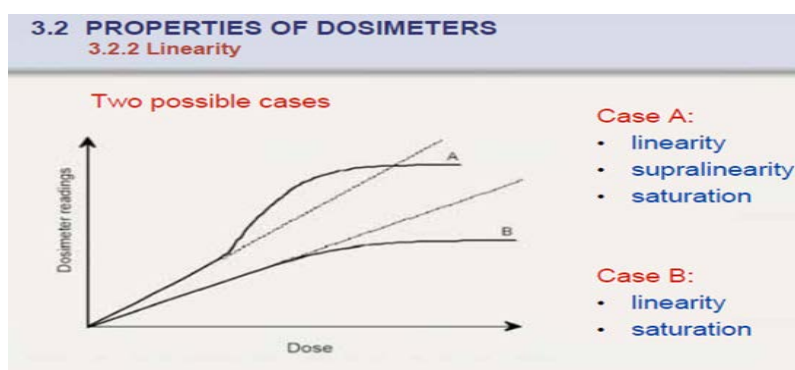
منحنی A و B

توضیح منحنی: دوزیمتر A دارای یک منطقه خطی می باشد در این منطقه اگر دوز دوبرابر شود پاسخ نیز دوبرابر (حالت ایده آل) می گردد. و بعد از منطقه خطی دارای یک منطقه فوق خطی (supralinearity) می باشد که در این منطقه افزایش دوز پاسخ دوزیمتر شدیدتر است و در ادامه دارای منطقه اشباع (saturation) می باشد که در این منطقه افزایش دوز سبب ایجاد پاسخ در دوزیمتر نمی شود. این منطقه اصلاً فایده ندارد مانند اینکه اگر یک فیلم سیاه شده را دوباره دوز بدهیم چیزی مشخص نمی شود.

در منطقه فوق خطی باید کالیبراسیون انجام گیرد این بدان معناست که با دادن دوز مشخص سیگنال را بدست آوریم که یک منحنی بدست می آید. پس هر وقت که دوز نامشخص است با استفاده از سیگنال دریافتی و منحنی بدست آمده مقدار دوز را بدست می آوریم.

در منحنی B یک منطقه خطی و اشباع داریم که فقط منطقه خطی مورد استفاده قرار می گیرد.

در نتیجه در فوق خطی با شرط کالیبره کردن از دوزیمتر می توان استفاده نمود.



Stability (پایداری):

1- قبل از تابش (Before irradiation):

به این معناست که اگر یک دوزیمتر در یک مدت طولانی استفاده نشود آیا حساسیت آن کاهش می یابد یا اینکه دوزیمترها مانند قبل قابل اعتماد است.

دیود: بعد از یک مدت حساسیتش کاهش می یابد و باید دوباره کالیبره گردد.

chamber: دارای Before irradiation می باشد چون به مرور زمان تغییر نمی کند پس

پایداری پیش از تابش آن بالاست.

2- بعد از تابش (After irradiation):

وقتی یک دوز به دوزیمتر می دهیم یک سیگنال بر روی آن ثبت می شود اینکه چه مدت این

سیگنال روی دوزیمتر ثابت باقی می ماند را پایداری بعد از تابش می گویند. در TLD

بمرور زمان سیگنال ناقص می گردد و همچنین در فیلم اگر یک مدت طولانی آن را ظاهر

نکنیم ممکن است مقداری از اطلاعات آن از بین برود.



در ژل نیز به مرور زمان مولکول ها حرکت کرده و ممکن است آنهایی که دوز دیده اند جابجا شوند .

پس tld و فیلم و ژل دارای After irradiation پایین هستند .

chamber : After irradiation ندارد . یعنی باید همان لحظه عدد را خواند .

بستگی به dose rate (dose rate dependence):

به این معنا که اگر dose rate تغییر کند در حالیکه دوز ثابت است سیگنال تغییر می کند در برخی دوزیمترها اگر 1Gy دوز در یک ثانیه داده شود یا در یک ساعت داده شود سیگنال متفاوت است مانند chamber چون ترکیب مجدد یون ها به dose rate بستگی دارد به این معنا که اگر dose rate پایین باشد سرعت اشعه پایین است و در نتیجه یون هایی که باید برای محاسبه شدن به دوزیمتر برسند با هم ترکیب می شوند و دوزیمتری تواند آنها را بخواند به همین دلیل chamber به dose rate بستگی دارد .

dose rate در رادیوتراپی مهمتر است چون اگر dose rate پایین باشد باعث بازگشت اثرات تومور می شود پس باید دوزپشت سرهم و با dose rate بالا به بافت تومور تابیده شود . پس dose rate یک شاخصه مهمی می باشد که در بعضی از دوزیمترها اهمیت بالایی دارد . برای از بین بردن حساسیت دوزیمتر نسبت به dose rate از منحنی کالیبراسیون استفاده میشود . بستگی به انرژی (energy dependence):

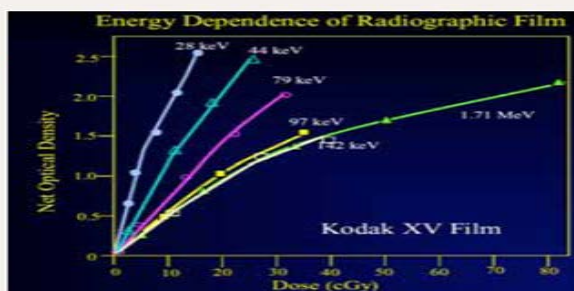
بستگی به انرژی به این معناست که با تغییر انرژی اشعه (kv) میزان دوز تغییر می کند و به اینگونه دوزیمترها وابسته به انرژی می گویند مانند فیلم

در این منحنی محور افقی دوز و محور عمودی سیاه شدگی فیلم است همانطور که در نمودار مشاهده می کنیم هنگامی که دوز 10 باشد میزان سیاه شدگی فیلم در اشعه با انرژیهای مختلف متفاوت است که این به دلیل تفاوت در برهم کنش ها در انرژیهای مختلف است بعنوان مثال : انرژی 1.71Mev در محدوده کامپتون قرار دارد که به Z بستگی ندارد و انرژی 28kv در محدوده فتوالکتریک قرار دارد که به Z بستگی دارد و متناسب با  $Z^3$  است . از آنجائیکه ساختار فیلم AgBr می باشد که دارای Z بالایی است ، در انرژیهای کم به دلیل اثر فتوالکتریک که متناسب با  $Z^3$  است شدت جذب زیاد است که موجب تفاوت در میزان سیاه شدگی فیلم می شود . به همین دلیل می گویند فیلم در انرژیهای کم over response دارد اما در واقع میزان سیاه شدگی به دلیل جذب بالاتر بیشتر می شود نه بخاطر دوز بیشتر . پس هر چه انرژی کمتر باشد اثر فوتو الکتریک و over response افزایش می یابد که تنها راه حل این مسئله نیز کالیبراسیون کردن می باشد که با استفاده از منحنی کالیبراسیون می توان دوز را اندازه گرفت .

### 3.2 PROPERTIES OF DOSIMETERS 3.2.4 Energy dependence

The response of a dosimetric system is generally a function of the radiation energy.

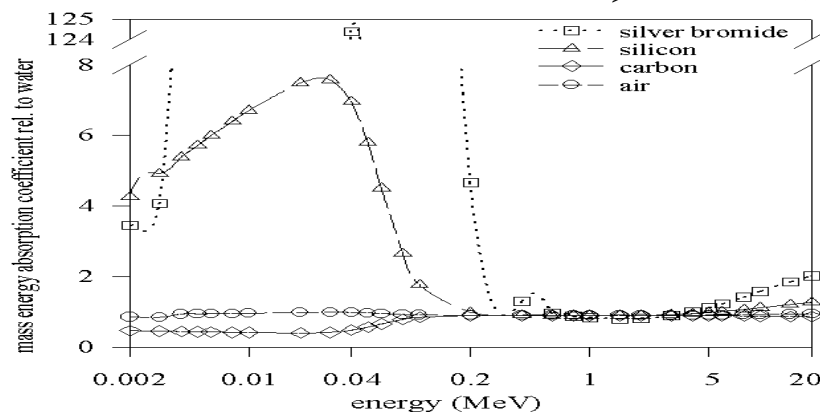
Example 1:  
Energy dependence of film dosimetry



توضیح منحنی : در این منحنی محور افقی انرژی و محور عمودی ضریب جذب است در این نمودار میزان بستگی به انرژی در چهار دوزیمتر فیلم ، سیلیکون ( دیود ) ، کربن و هوا ( chamber ) مقایسه شده است .

بر اساس نمودار chamber بستگی به انرژی ندارد و مستقل از انرژی است و در کربن (نزدیک به Z بافت) میزان بستگی به انرژی کم و Z پایین است .  
 دیود : به انرژی بستگی دارد

فیلم : بستگی به انرژی آن خیلی زیاد است



بستگی جهتی (directional dependence):

دوزیمترهایی که تقارن هندسی ندارند بستگی جهتی بالائی دارند بعنوان مثال chamber یک استوانه است بطوریکه از هر جهت استوانه اشعه بتابانیم فرقی ندارد اما paralel plate اینگونه نیست .

فیلم و paralel plate بستگی جهتی دارند .

راه حل این مسئله این است که برای یک زاویه ثابت دوزیمتری انجام بدهیم و یک منحنی بکشیم بعنوان مثال در زاویه 180 بجای عدد 100 ( میزان دوز مطلق ) دوزیمتر عدد 80 خوانده پس در زاویه 180 باید به تمام دوزهای بدست آمده 20 درصد اضافه کنیم .

**3.2 PROPERTIES OF DOSIMETERS**  
**3.2.5 Directional dependence**

- ☐ The variation in response as a function of the angle of the incidence of the radiation is called the **directional dependence** of a dosimeter.
- ☐ Due to construction details and physical size, dosimeters usually exhibit a certain directional dependence.

قدرت تفکیک مکانی (Spatial resolution):

به این معنا که حداقل فاصله دو نقطه که دوزیمتر می تواند دوز آن دونقطه را جدا از هم اندازه گیری کند که وابسته به حجم منطقه حساس است بعنوان مثال اگر دو نقطه در منطقه حساس chamber باشد دوزیمتر نمی تواند دوز آن دو نقطه را جدا از هم اندازه بگیرد. پس، از آن دو نقطه average می گیرد . هر چه حجم حساس کمتر باشد بهتر است .

دوزیمترهایی که دوز را در یک بعد اندازه گیری می کنند : chamber

دوزیمترهایی که دوز را در دو بعد اندازه گیری می کنند : فیلم ، linear array (یک مکعب مستطیل است که در زیر آن پر از chamber است که نیازی به حرکت دادن دوزیمتر در حین کار نیست )

دوزیمترهایی که دوز را در سه بعد اندازه گیری می کنند : ژل

### ◆ Spatial resolution

In general, the size of a dosimeter “averages” the measurement of dose.

The smaller the dosimeter, the better the resolution

Careful – small dosimeters produce small signals, and for small signals, noise can cause problems with accuracy and precision.

Resolution can be zero-D (a point)

Ion chamber=1-D

Linear array of chambers or diodes=2-D

Film

3-D=Gel dosimetry

راحتی استفاده ( convenience of use ):

راحتی استفاده در chamber زیاد است ولی در tld و فیلم کم است بعضی از دوزیمترها reusable نیستند مانند فیلم و ژل ولی دیود و chamber ، reusable هستند .

#### 3.2 PROPERTIES OF DOSIMETERS

##### 3.2.7 Convenience of use

- ☐ Ionization chambers are re-usable with no or little change in sensitivity.
- ☐ Semiconductor dosimeters are re-usable but with gradual loss of sensitivity.
- ☐ Some dosimeters are not re-usable at all:
  - Film
  - Gel
  - Alanine

#### 3.2 PROPERTIES OF DOSIMETERS

##### 3.2.7 Convenience of use

- ☐ Ionization chambers are re-usable dosimeters that are rugged and handling does not influence their sensitivity (exception: ionization chambers with graphite wall)
- ☐ TL dosimeters are re-usable but are sensitive to handling and they lose sensitivity with repeated use.
- ☐ Some dosimeters measure dose distribution in a single exposure:
  - Films
  - Gels

ویژگیهای یک دوزیمتر ایده آل :

1- Precision and accuracy بالا

2- خطی باشد

3- به dose rate بستگی کم داشته باشد .

4- به انرژی وابسته نباشد

5- بستگی جهتی آن کم باشد .

6- قدرت تفکیک مکانی بالایی داشته باشد .

7- در یک محدوده وسیع دوز را اندازه بگیرد .

ما چنین دوزیمتری نداریم و دوزیمتر مناسبمان را نسبت به کارمان انتخاب می کنیم .

**A useful dosimeter exhibits the following properties:**

- High accuracy and precision
- Linearity of signal with dose over a wide range
- Small dose and dose rate dependence
- Flat Energy response
- Small directional dependence
- High spatial resolution
- Large dynamic range

رادیولوژی 89 دانشگاه علوم پزشکی تهران



