

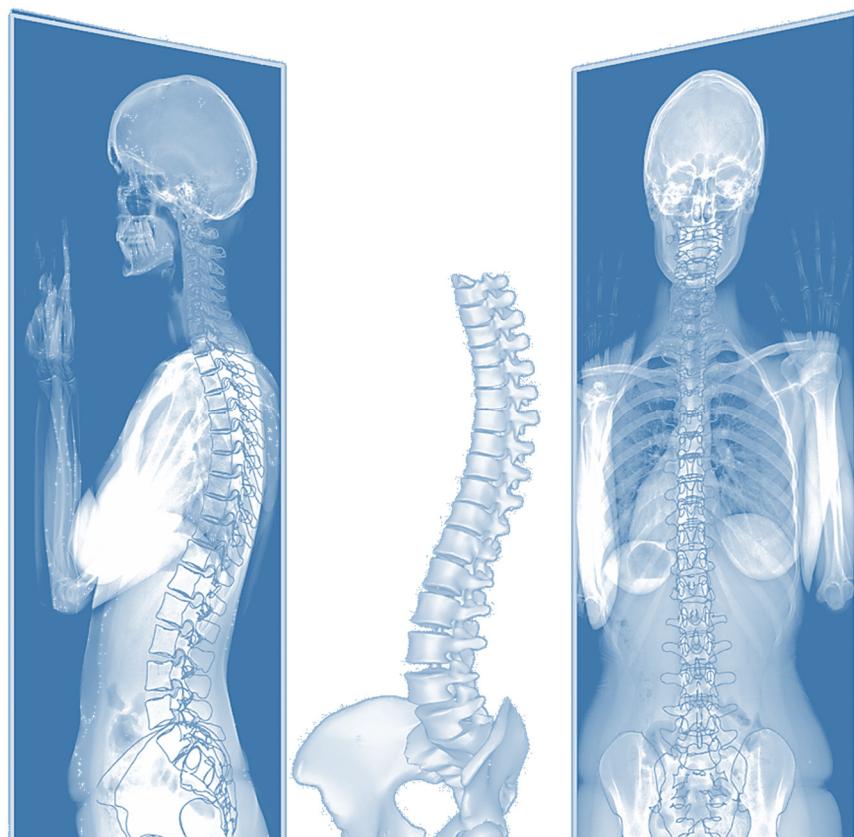


دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
پژوهشی



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

## تجهیزات تصویربرداری پزشکی و پزشکی هسته ای



**گردآورندگان مطالعه:** دانشجویان مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

با راهنمایی **وحید ابوالنیا** مدرس کرسی تجهیزات پزشکی (سال های ۹۷ تا ۹۶)

**ویرایش علمی:** دکتر مهرداد بخشایش

(متخصص رادیولوژی و استاد گروه رادیولوژی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی)

به نام خدای مهربان، خدای صلح و دوستی و آرامش

## گردآورندگان مطالب:

سمانه تقی زاده

ابوالفضل توفیق - یاشار روزبهانی - سید امیر حسینی

محمد کاظم انصارین - سوگل معصوم زاده - سید علی حسینی

طهورا ابراهیمی - نیره عظیمی جو - حسینیه یوسفی سعید

آرمن فروزانفر - شبانگ شایگان - هون من محمودی - رضا کریم زاده

## تقدیم به :

روح نخبگان جان باخته در سانحه هواپیمای اکراین که مظلومانه از بین ما پر کشیدند بالاخص

**خانم مهندس نسیم رحمانی‌فر**

که در پروژه کتاب تجهیزات پزشکی به تفکیک تخصص های پزشکی در کنار ما بود و الان جای او در بین ما بسیار خالی است.

**روحش شاد.**



# فهرست مطالب:

	فصل ۱۱: تجهیزات تصویربرداری و پزشکی هسته ای
۱۰	۱-۱۱ تاریخچه تصویربرداری
۱۰	۲-۱۱ معرفی تخصص رادیولوژی و تخصص پزشکی هسته ای
۱۶	۳-۱۱ موارد استفاده از پرتوهای تصویربرداری
۱۶	۴-۱۱ پرتو چیست؟
۱۷	۵-۱۱ موج - پرتو
۱۸	۶-۱۱ ویژگی موج های الکترومغناطیس
۱۸	۷-۱۱ ذره - پرتو
۲۰	۸-۱۱ دستگاه های اشعه ایکس
۲۱	۹-۱۱ رادیوگرافی
۲۱	۱۰-۱۱ رادیوگرافی ساده چندمنظوره
۲۱	۱۰-۱۱ تیوب اشعه ایکس
۲۲	۱۰-۱۱ میرایی فوتون ها
۲۳	۱۰-۱۱ برخورد با فیلم
۲۳	۱۰-۱۱ تأثیرات نوع بافت و ضخامت در میرایی فوتون
۲۴	۱۰-۱۱ تأثیر انرژی اشعه ایکس (و درنتیجه فوتون) در میرایی فوتون
۲۵	۱۱-۱۱ قسمت های اصلی یک سیستم رادیوگرافی
۲۶	۱۲-۱۱ تیوب مولد اشعه ایکس
۲۶	۱۳-۱۱ محفظه تیوب
۲۷	۱۴-۱۱ کالیماتور
۲۷	۱۵-۱۱ ژنراتور ولتاژ بالا
۲۷	۱۶-۱۱ وظایف ژنراتور

۲۷	۱۷-۱۱ آشکارساز و تشdiیدکننده تصویر
۲۸	۱۸-۱۱ میز فرمان اپراتور
۲۸	۱۹-۱۱ فیلم رادیولوژی
۳۰	۲۰-۱۱ تخت رادیولوژی
۳۰	۱-۲۰-۱۱ تختی ساده با رویه شناور
۳۰	R/F ۲۱-۱۱ تخت
۳۱	۲۲-۱۱ رادیوگرافی متحرک
۳۲	۲۳-۱۱ رادیوگرافی دیجیتال
۳۲	۲۴-۱۱ رادیولوژی رنگی
۳۳	۱۱-۲۵ تاریخچه آنژیوگرافی
۳۳	۱-۲۵-۱۱ نحوه انجام آنژیوگرافی
۳۴	۲-۲۵-۱۱ کاربرد آنژیوگرافی
۳۶	۱۱-۲۶ ونوجرافی
۳۶	۱۱-۲۷ میلوگرافی
۳۷	۱۱-۲۸ آرتروگرافی
۳۸	۱۱-۲۹ ماموگرافی
۳۸	۱۱-۳۰ قسمت‌های اصلی دستگاه ماموگرافی
۳۹	۱۱-۳۱ تاریخچه فلوروسکوپی
۳۹	۱۱-۳۲ فلوروسکوپی
۴۰	۱۱-۳۳ راهکارهای تقویت تصویر
۴۰	۱-۳۳-۱۱ راهکار اول
۴۱	۲-۳۳-۱۱ راهکار دوم
۴۱	۱۱-۳۴ رادیوگرافی دندان
۴۱	۱۱-۳۵ رادیوگرافی دیجیتالی دندان

۴۲	۱۱-۳۶ رادیوگرافی پانورامیک دندان
۴۳	۱۱-۳۷ تصویربرداری EOS
۴۴	۱۱-۳۸ موارد استفاده از تصویربرداری EOS
۴۵	۱۱-۳۹ دستگاه پروسسور رادیولوژی
۴۵	۱۱-۴۰ پریتر فیلم رادیولوژی
۴۵	۱۱-۴۱ محافظهای اشعه ایکس
۴۶	۱۱-۴۲ محافظ تیروئید
۴۶	۱۱-۴۳ محافظ چشم (عینک سربی)
۴۷	۱۱-۴۴ اولتراسوند
۴۸	۱۱-۴۵ دستگاه سونوگرافی
۴۹	۱۱-۴۵-۱ مانیتور
۴۹	۱۱-۴۵-۲ انواع پروب
۵۰	۱۱-۴۵-۳ یونیت اصلی دستگاه سونوگرافی
۵۱	۱۱-۴۵-۴ ژل اولتراسوند
۵۱	۱۱-۴۶ نحوه عملکرد اولتراسوند
۵۱	۱۱-۴۶-۱ A Scan
۵۲	۱۱-۴۶-۲ B Scan
۵۲	۱۱-۴۶-۳ Motion Scan
۵۳	۱۱-۴۶-۴ Doppler Scan
۵۴	۱۱-۴۷ تصویربرداری توموگرافیک
۵۴	۱۱-۴۸ CT Scan
۵۵	۱۱-۴۸-۱ اجزای دستگاه سی تی اسکن
۵۸	۱۱-۴۸-۲ مراحل عملکردی دستگاه سی تی اسکن
۵۸	۱۱-۴۸-۳ نسل‌های مختلف سی تی اسکن

۶۹	۴۹-۱۱ انواع اسکن در سی‌تی اسکن‌های امروزی
۶۹	۱-۴۹-۱۱ پایلوت اسکن
۶۹	۲-۴۹-۱۱ اسکن محوری
۷۰	۳-۴۹-۱۱ اسکن مارپیچی
۷۰	MRI ۵۰-۱۱
۷۱	۱-۵۰-۱۱ اجزای دستگاه MRI
۷۱	۱-۱-۵۰-۱۱ معناطیس آهنربا
۷۱	۲-۱-۵۰-۱۱ سیم‌پیچ‌های فرکانس رادیویی
۷۲	۳-۱-۵۰-۱۱ سیم‌پیچ‌های گرادیان
۷۲	۴-۱-۵۰-۱۱ کنسول اپراتور
۷۲	۵-۱-۵۰-۱۱ تخت بیمار
۷۳	۶-۱-۵۰-۱۱ نمایشگرهای تصویر
۷۳	۲-۵۰-۱۱ مراحل تصویربرداری به روشن MRI
۷۳	۳-۵۰-۱۱ مزایای تکنیک MRI نسبت به سایر روش‌های تصویرنگاری
۷۴	Functional Magnetic Resonance Imaging ۵۱-۱۱
۷۵	۵۲-۱۱ تصویربرداری توموگرافیک به کمک پزشکی هسته‌ای (مواد رادیواکتیو)
۷۵	۵۳-۱۱ کاربرد ماده رادیواکتیو
۷۵	PET ۵۴-۱۱
۷۶	۱-۵۴-۱۱ کاربرد PET در سرطان
۷۶	۲-۵۴-۱۱ کاربرد PET در نورولوژی
۷۷	۳-۵۴-۱۱ کاربرد PET در کار迪ولوژی
۷۷	۴-۵۴-۱۱ مزیت دستگاه پت اسکن نسبت به سی‌تی اسکن و ام‌آرآی
۷۷	۵۵-۱۱ ترکیب PET و CT (تصویربرداری CT/PET)
۷۸	Single photon emission computed tomography ۵۶-۱۱

۷۸	۵۷-۱۱ مقایسه دو روش پت اسکن و اسپیکت اسکن
۷۹	۵۸-۱۱ رادیوتراپی
۷۹	۵۹-۱۱ انواع رادیوتراپی
۷۹	۱-۵۹-۱۱ انواع رادیوتراپی خارجی
۸۰	۲-۵۹-۱۱ انواع رادیوتراپی داخلی
۸۱	۶۰-۱۱ دستگاههای منابع انرژی در رادیوتراپی خارجی
۸۱	۱-۶۰-۱۱ دستگاههای درمان سطحی
۸۱	۲-۶۰-۱۱ دستگاههای درمان نیمه عمقی
۸۱	۳-۶۰-۱۱ دستگاههای کبالت تراپی
۸۱	۴-۶۰-۱۱ دستگاههای شتابدهنده خطی
۸۱	۵-۶۰-۱۱ سیکلوترونها
۸۲	۶۱-۱۱ مراحل انجام رادیوتراپی
۸۲	۶۲-۱۱ دستگاه گاماناپیف(رادیوسرجری)
۸۳	۶۳-۱۱ دستگاه سایبرناپیف
۸۵	۶۴-۱۱ مراجع

## مقدمه :

مهندسی پزشکی برخلاف تصور عوام، فروش کالای پزشکی و تعمیر دستگاه های پزشکی نیست بلکه شاخه ای از علوم مهندسی است که به منظور ارتقاء سطح و کیفیت علوم پزشکی در تمامی حوزه ها ایجاد شده است تا با طراحی و تولید ابزار و امکانات تخصصی مطابق با نیاز بیمار و پزشک همچنین کمی سازی مطالعات و تحقیقات حوزه پزشکی که اساساً تجربی و کیفی است نقشی اساسی در ارتقاء سطح این حوزه ایفا نماید. اهمیت جایگاه این رشته در کشورهای پیشرفته بر هیچ کس پوشیده نیست و این نکته را نه تنها می توان به راحتی از تجهیزات پزشکی تولیدی جدید و پیشرفته در این کشورها پی برد بلکه از تحقیقات فوق پیشرفته پزشکی که تماماً با ابزارها و علوم پیشرفته مهندسی در این کشورها صورت می پذیرد نیز به راحتی می توان لمس کرد. البته این مهم صرفاً با تعامل قوی و همه جانبه پزشکان و مهندسان پزشک صورت می پذیرد که متاسفانه جای این تعامل در کشورهایی همچون کشور خودمان بسیار خالی است و این مهم سبب شده است که متاسفانه بعد از چندین دهه همچنان در زمینه تجهیزات پزشکی یکی از بزرگترین واردکننده ها در جهان باشیم. قطعاً این تعامل حمایت دولتی و اصلاح نگرش خصوصاً در حوزه پزشکی را می طلبد که شاید رسیدن با آن نقطه کار سهل و ساده ای نباشد ولی به هر حال تلاش های کوچک و امیدوارانه می تواند نقشی کوچک در رسیدن به این هدف بزرگ ایفا نماید و به قول معروف به از هیچ است. در این راستا در فرصتی که برای تدریس در دانشگاه صنعتی امیرکبیر پیدا کردم تلاش کردم تا با شکستن خیلی از چارچوب های سنتی سعی در برقراری این ارتباط نمایم و بکوشم تا در کنار این ارتباط نقشی کوچک در پیمودن این مسیر طولانی بردارم. این کتاب هرچند با گرداوری دانشجویان عزیزم امروز در اختیار شما عزیزان است ولی در خلال آن سعی شده است تا زمینه‌ی تعامل با پزشکان عزیز نیز دنبال شود که خوشبختانه این مهم حاصل شد و با وجود سختی های فراوان دانشجویان

عزیزم موفق به برقراری تعامل با پزشکان محترم در تمامی تخصص‌ها شدند و جا دارد در اینجا از پزشکان محترمی که با دیدی باز قبول زحمت کردند و ویرایش علمی این کتاب را عهده دار شدند کمال تشکر را داشته باشم. این کتاب به عبارتی یک فصل از کتاب اصلی ما یعنی کتاب "آشنایی با تجهیزات پزشکی به تفکیک تخصص‌های پزشکی" است که به صورت یک کتاب مجزا ارائه می‌شود. هر چند ادعای کامل بودن این کتاب ادعای گرافی است ولی سعی شده تا تجهیزات پزشکی مهم این تخصص در این کتاب معرفی شود. چارچوب کلی این کتاب معرفی تخصص، معرفی مختصر فیزیولوژی و آناتومی، معرفی بیماری‌ها و تجهیزات پزشکی مرتبط است. امیدوارم شما بزرگواری که از این کتاب استفاده می‌کنید دنباله رو اهداف این گروه بوده و سعی کنید تا با تعامل با پزشکان ولو بسیار محدود نقشی مهم در ارتقاء جایگاه واقعی مهندسی پزشکی در ایران ایفا نمائید.

ارادتمند همه شما خوبان

وحید ابوئی

۹۸ بهمن ۲۵

## ۱-۱۱ تاریخچه تصویربرداری

دانشمندان در اوخر قرن نوزدهم به دنبال راهی بودند تا بتوانند بدون جراحی از درون بدن انسان با خبر شوند. آنها با توجه به تجربه دوربین عکاسی که با نور فلش کار می‌کرد و سال‌ها پیش کشف شده بود با سازوکارهای تصویربرداری آشنا بودند. دوربین عکاسی بدین ترتیب کار می‌کرد که نور فلش از دستگاه (چشم) به محیط می‌تابید و از محیط بازتاب می‌کرد (بدون عبور) و به آشکارساز بازمی‌گشت و باعث باز شدن نقره روی فیلم عکاسی می‌شد. در این سازوکار چشم و آشکارساز روی یک دستگاه قرار داشت. دانشمندان می‌دانستند که اگر نور می‌توانست آنچنان‌که از درون مواد شفاف عبور می‌کند و از جسم کدر نمی‌تواند عبور کند از درون بافت نرم انسان عبور می‌کرد و از بافت سخت عبور نمی‌کرد آنها می‌توانستند با قرار دادن فیلم عکاسی در پشت بدن انسان تصویر بافت سخت را بگیرند؛ اما نور چنین ویژگی ندارد.

## ۲-۱۱ معرفی تخصص رادیولوژی و تخصص پزشکی هسته ای

### ۱-۲-۱۱ رادیولوژی

رادیولوژی نام یک رشته از تخصصهای پزشکی است که از پرتو ایکس و دیگر اقسام امواج و پرتوها برای تشخیص و درمان بیماری و حالات غیرطبیعی کمک می‌گیرد برخی از این تصویربرداری‌ها ساده است؛ مثل تصویربرداری از دست، پا و انگشتان، اما برخی از تصویربرداری‌ها تداخلی است؛ مثل تصویربرداری از سیستم گوارش، عروق و ادرار که این‌گونه تصویربرداری‌ها، اختصاصی و نسبتاً دشوار می‌باشد و نیاز به دانش ویژه دارد.

در تمام اینها، هدف تشخیص بیماری یا حالات غیرطبیعی بدن به کمک روش‌های پیشرفته تصویربرداری است. رادیولوژی از کلمه لاتین **Radius** به معنای پرتو مشتق شده است. رادیولوژی نوین با توجه به پیشرفت روزافزوون تکنولوژی در علم پزشکی، از جایگاه ویژه ای برخوردار است.

متخصصین این رشته باید در طی آموزش ، از دانش و مهارت کافی برای پاسخگویی به نیازهای تشخیصی بیماران کلیه رشته های تخصصی برخوردار شده و از این نظر بازوی توانایی برای سایر همکاران باشند تا بدین ترتیب در برآوردن نیازهای تشخیصی بیماران، توانایی لازم را کسب کنند.



شکل ۱-۱۱ عکس رادیولوژی

### ۱-۲-۱۱ تخصص های رشته‌ی رادیولوژی

این رشته معمولاً<sup>ا</sup> بصورت یک تخصص (دوره رزیدنسی) بعد از اتمام دوره پزشکی ارائه می‌گردد.

متخصصین رادیولوژی باید در زمینه های مختلفی توانایی داشته باشند و بر همین اساس آموزش های متنوعی هم می بینند . یک متخصص رادیولوژی باید در زمینه هایی چون :

۱- قفسه سینه

۲- سیستم استخوانی-عضلانی

۳- دستگاه گوارش

۴- دستگاه ادراری-تნاسلی

۵- دستگاه عصبی

۶- سروگردن

۷- کودکان

۸- پستان

۹- رادیولوژی مداخله ای

آموزش های لازم را ببیند . که در هر کدام از این بخش ها باید با آناتومی آن قسمت و فیزیولوژی و پاتوفیزیولوژی آن قسمت آشنا شود و بتواند یافته های رادیولوژیک آن قسمت ها را تفسیر کند . باید بتواند بر حسن انجام MRI و یا CT scan نظارت کند و در صورت لزوم پروتکل مناسب را پیشنهاد دهد .



شکل ۲-۱۱ عکس های مختلف رادیولوژی

## ۲-۲-۱۱ معرفی تخصص پزشکی هسته ای

پزشکی هسته‌ای شاخه‌ای از تصویربرداری پزشکی، فیزیک پزشکی و پرتونگاری مولکولی، است که از خواص هسته‌ای مواد (مثل رادیوایزوتروپ‌ها) برای تشخیص و درمان بیماری‌ها استفاده می‌کند. داروسازی هسته‌ای نیز به این شاخه از علوم پایه پزشکی کمک می‌کند.



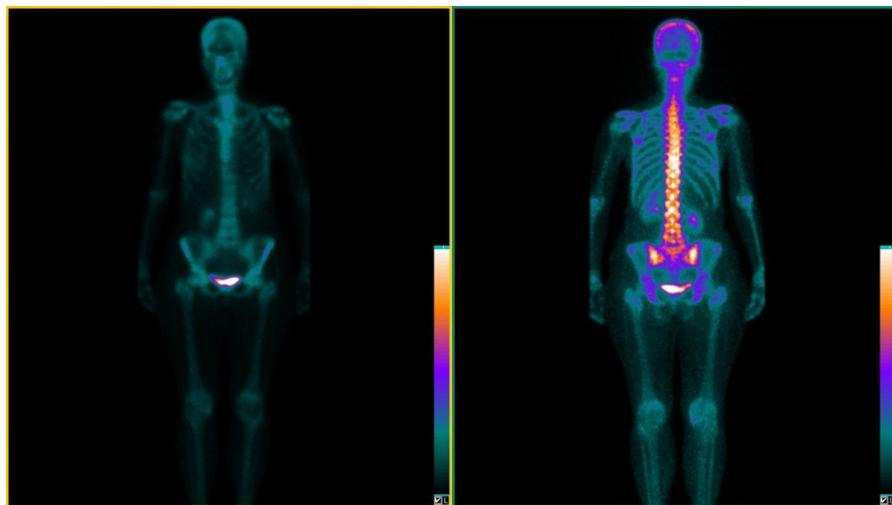
شکل ۳-۱۱ پزشکی هسته ای

ویژگی پزشکی هسته‌ای در این است که توانایی ارائه‌دادن اطلاعات تصویری از فرایندها و عملکردهای متابولیکی بدن را دارد در صورتیکه دیگر مدلیتهای تصویر برداری‌های پزشکی همانند مقطع نگاری رایانه‌ای و ام آر آی عموماً اطلاعات ساختاری و آناتومیکال تولید می‌کنند.



شکل ۴-۱۱ رادیوایزوتروپ‌ها

پرکاربردترین رادیوایزوتوپ در پزشکی هسته‌ای تکتیوم است؛ و از مDALIته های پر استفاده در پزشکی هسته‌ای می‌توان مقطع نگاری با نشر پوزیترون و مقطع نگاری رایانه ای تک فوتونی را نام برد. در حالت تلفیقی نیز سیستم‌های پت-سی تی و اپکت-سی تی بسیار پر مصرفند.



شکل ۱۱-۵ مقطع نگاری بدن

پزشکی هسته‌ای در کشورهای پیشرفته‌ی صنعتی عموماً در چند حرفه‌ی مختلف ظاهر می‌شود:

- به عنوان یک تخصص پس از اتمام دوره طبابت
- تکنولوژیست هسته‌ای که اغلب در سطح کارشناسی است
- مأمور محافظت از پرتو
- داروگر هسته‌ای که یک گرایش از رشته داروسازی است
- دکترای (PhD) پزشکی هسته‌ای که غالباً یک شغل آکادمیک است.

### ۱-۲-۱۱ التزامات رشته‌ی پزشکی هسته‌ای

اما متخصص در زمینه پزشکی هسته‌ای باید:

الف) دستگاه‌های پزشکی هسته‌ای را بشناسد.

ب) با روش های درمانی پزشکی هسته ای آشنا باشد

- درمان پرکاری تیروئید

- درمان سرطان های تمایز یافته تیروئید

- سایر درمان ها

پ) کاربرد پزشکی هسته ای در انکولوژی را بداند .

- نحوه تشخیص رادیو داروهای کاربردی در تشخیص تومور ها به روش های PET و SPECT

- کاربرد از روش های ایمونوستی گرافی و روش های درمانی ناشی از آن

ت) اصول کلی روش های پزشکی هسته ای In vivo و In vitro را بداند .

۱- روش های In vivo شامل بررسی موارد زیر است :

- سیستم مغز و اعصاب

- غدد مترشحه داخلی

- سیستم تنفسی

- سیستم گوارشی

- سیستم استخوانی - عضلانی

- سیستم کلیه و مجاري ادراري تناسلی

- سیستم قلبی عروقی و لنفاوی

- تومور های پستان

۲- روش های In vitro عبارتند از استفاده از روش های رادیو ایمونوآسی در اندازه گیری مقادیر

جزئی هورمونی و یا سایر مواد بیولوژیکی بدن

### ۱۱-۳ موارد استفاده از پرتوهای تصویربرداری

#### ۱-۳-۱۱ اولین استفاده

##### ایجاد تصویر

این آمادگی ذهنی آنها باعث شد تا رونتگن بلا فاصله پس از این که کشف کرد پرتو X از جنس نور است تصمیم گرفت آن را برای تصویربرداری استفاده کند. نتایج خیره کننده بود. او با تنظیم ولتاژ لوله کاتدی و آزمایش‌های مکرر توانست اولین تصویر رادیولوژی را ثبت کند.

#### ۱-۳-۱۱ دومین استفاده

##### از بین بردن ارگان‌های زنده

باید توجه شود که انرژی فوتون‌های تصویربرداری به اندازه‌ای است که به سلول‌ها آسیب زیادی نمی‌رسد. اگر این انرژی زیاد شود می‌تواند با ایجاد رادیکال‌های آزاد موجب متلاشی شدن DNA بشود. اما می‌توان از این خاصیت تخریب‌پذیری برای از بین بردن ارگان‌های زنده‌ی مضر استفاده کرد.

#### ۱۱-۴ پرتو چیست؟

بر اساس تعریف، انرژی گذرنده از محیط را پرتو گویند. دو گونه پرتو وجود دارد:

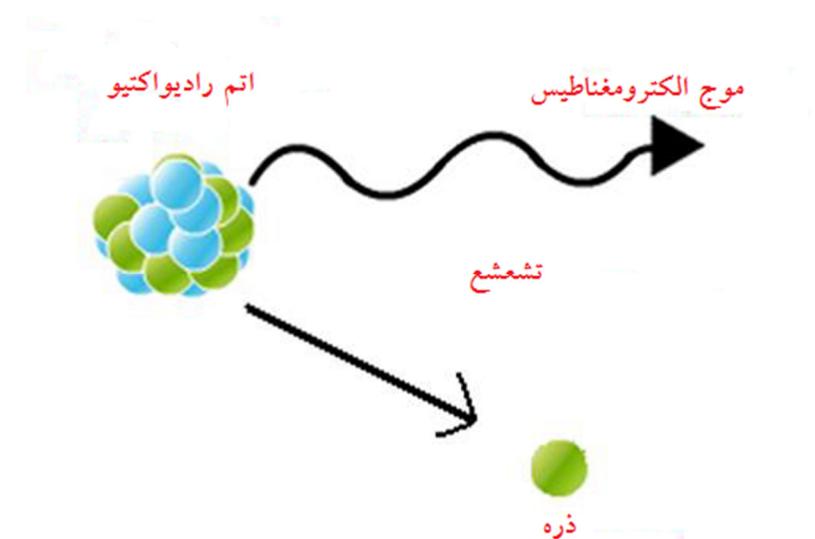
۱. یونی (انرژی کافی برای یونیزه کردن اتم)

۲. غیر یونی (رادیویی-نور)

حال این انرژی می‌تواند به دو صورت در فضا منتشر شود:

۱. موج (WAVE) : ارتعاش‌های حامل انرژی

## ۲. ذره (PARTICAL) : دارای جرم، سرعت و درنتیجه انرژی



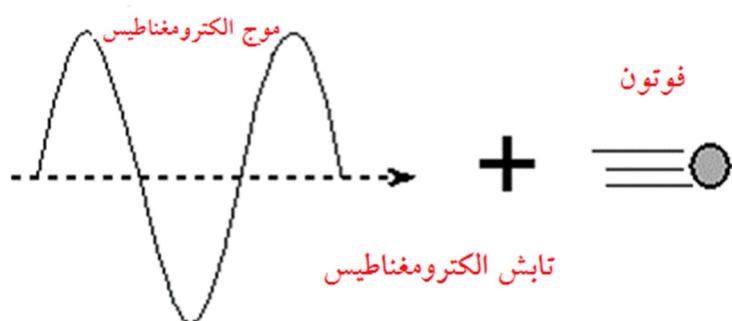
شكل ۶-۱۱

## ۵-۵ موج-پرتو

جرم ندارند و به دو نوع تقسیم می‌شوند:

۱) مکانیکی ۲) الکترومغناطیسی

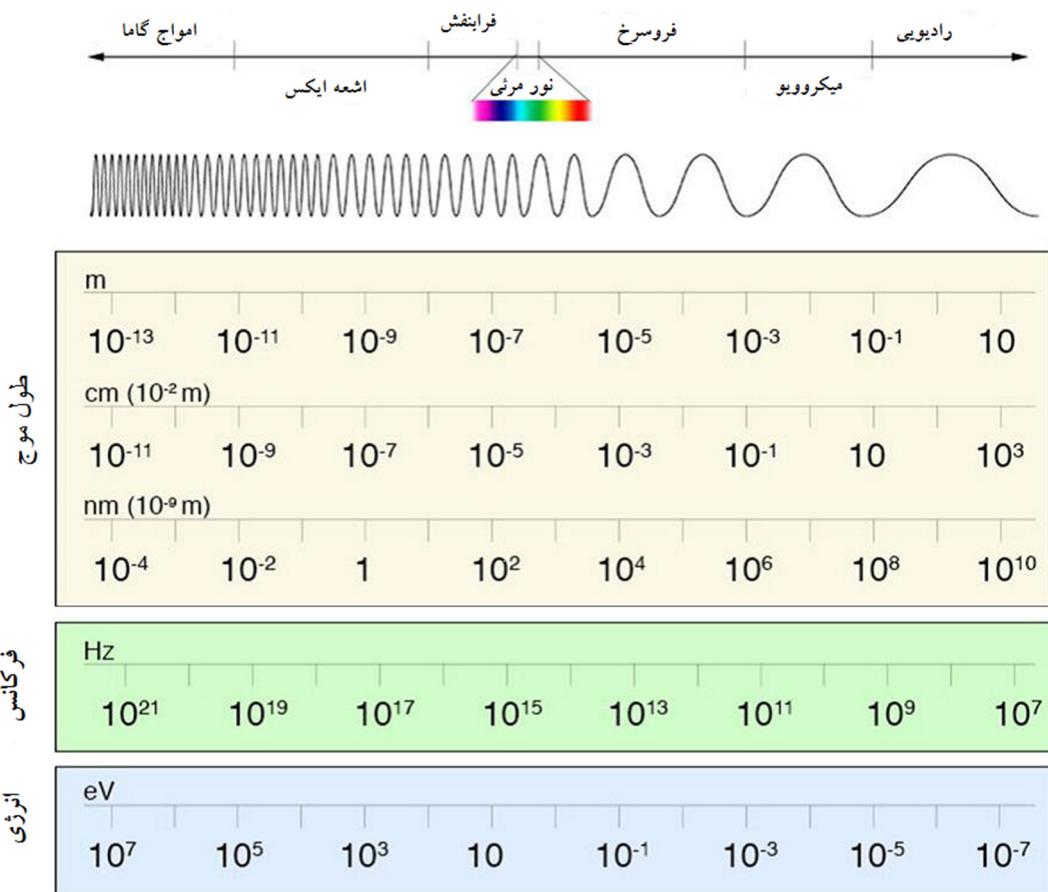
تنها موج مکانیکی که در این ارائه حضور دارد فراصوت است.



شكل ۷-۱۱

## ۱۱-۶ ویژگی موج های الکترومغناطیس

از ماده تشکیل نشده‌اند و انرژی محض هستند دو نوع تفسیر متفاوت دارند که با توجه به موقعیت، از یکی از آن‌ها برای تحلیل مسائل فیزیکی استفاده می‌شود: در تحلیل مسائل رادیولوژی از تفسیر دوم یعنی ذره‌های بدون جرم و دارای انرژی (فوتون) استفاده می‌شود.



شكل ۱۱-۸- طیف امواج الکترومغناطیس

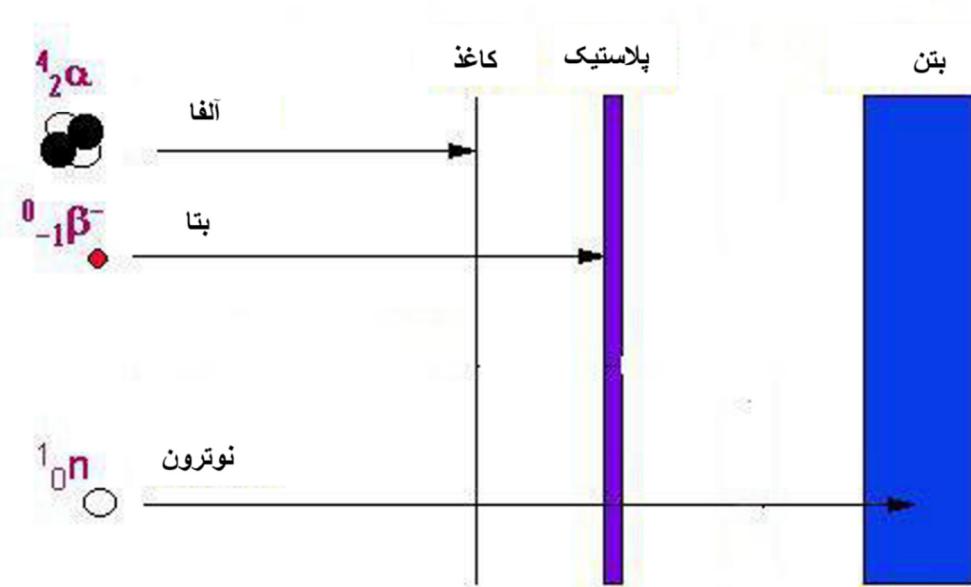
## ۱۱-۷ ذره-پرتو

انواع مختلفی از ذره پرتوها وجود دارد که بعضی در واپاشی طبیعی و بعضی مصنوعی به وجود می-آیند:

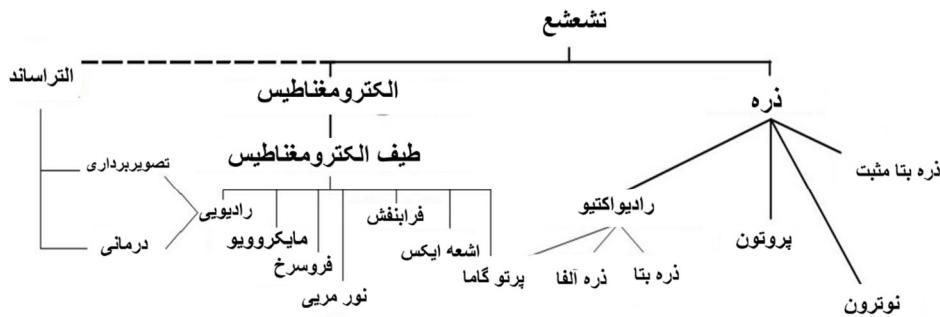
- آلفا (هسته هلیوم)

- بتا منفی (الکترون)
- بتا مثبت (پوزیترون)
- نوترون
- پروتون.

این پرتوها دارای انرژی‌های بسیار بالایی هستند به همین دلیل می‌توانند در ساختار پروتئین‌ها تغییرات محربی به وجود آورند و باعث آسیب‌رسانی جدی به سلول‌ها شوند. هرچه سرعتشان بیشتر شود انرژی‌شان بیشتر می‌شود. به دلیل یونیزاسیون‌کنندگی بالا در از بین بردن بافت‌های سرطانی و متلاشی نمودن ساختار DNA آن‌ها کاربرد دارند. (رادیوتراپی با استفاده از پرتو الکترون، پروتون، نوترون) در این میان تنها ذره پوزیترون است که برای تصویربرداری استفاده می‌شود.



شکل ۹-۱۱- مقایسه میزان نفوذ پرتوهای آلفا، بتا و نوترون



شکل ۱۰-۱۱- تقسیم‌بندی امواج الکترومغناطیس و کاربرد برخی از آن‌ها

## ۸-۱۱ دستگاه‌های اشعه‌ایکس

### اولین دستگاه رادیولوژی در ایران

پروفسور حسابی برای آن‌که بتواند پدیده‌های نوین را به دانشجویان خود تدریس نماید و آنان را با دست‌یافته‌های جدید جهانی آشنا کند اولین دستگاه پرتوایکس را در آزمایشگاه دانشسرای عالی با بعد بسیار کوچک، در سال ۱۳۰۹ ه.ش. راهاندازی نمود. ایشان حدود یک‌سال فقط به امر مطالعه، پژوهش، طراحی و محاسبه این دستگاه پرداختند و در این زمینه استادیشان در پلی‌تکنیک فرانسه و دانشگاه سوربن راهنمایی مهمی را دریافت کردند و حتی آن‌ها هریک چند قطعه از وسائل موردنیاز ساخت دستگاه رادیولوژی را از دانشگاه‌های خود برای استاد هدیه فرستادند. دکتر حسابی تصمیم به ساخت یک دستگاه رادیولوژی بیمارستانی (کاربردی) در کشور در ابعاد غیرآزمایشگاهی گرفتند. زیرزمین بیمارستان گوهرشاد که طول آن تقریباً ۴۵ متر و عرض آن تقریباً ۴ متر بود برای انجام پروژه ساخت اولین دستگاه رادیولوژی کاربردی بیمارستانی در نظر گرفته شد.

## ۹-۱۱ رادیوگرافی

شیوه بررسی بدن با تاباندن پرتوهای ایکس بر آن و تولید تصویرهایی بر روی پرده‌های حساس را گویند.

### ۱- گرافی ساده چندمنظوره

- گرافی متحرک
- گرافی دیجیتال
- گرافی رنگی

### ۲- ماموگرافی

### ۳- فلوئوروسکوپی

### ۴- رادیوگرافی دندان

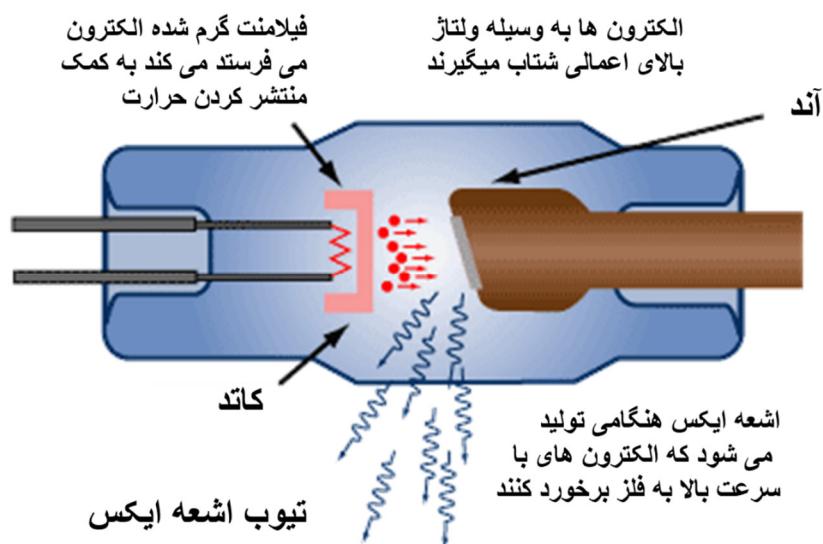
EOS -۵

## ۱۰-۱۱ رادیوگرافی ساده چندمنظوره

قبل از اینکه به معرفی انواع رادیوگرافی ساده پردازیم ابتدا لازم است مبانی تصویربرداری با اشعه ایکس را که در گرافی ساده به کار می‌رود مرور کنیم.

## ۱۱-۱۱ تیوب اشعه ایکس

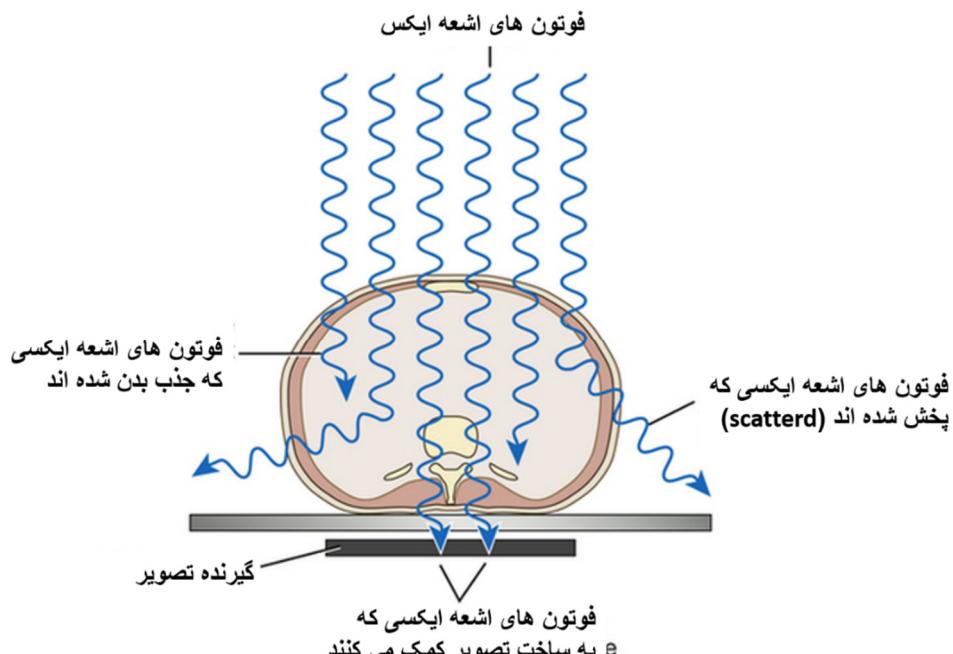
همان‌گونه که در شکل مشخص است با اعمال یک ولتاژ بالا بین کاتد و آند الکترون‌ها از کاتد جداشده و به سمت آند شتاب می‌گیرند و به اتم‌های آند برخورد کرده موجب تحریک الکترون‌های آن می‌شوند و آن‌ها را به لایه‌های بالاتر الکترونی می‌فرستند. این الکترون‌های تحریک شده به هنگام بازگشت به حالت اولیه مازاد انرژی خود را به صورت فوتون‌های پرانرژی اشعه ایکس منتشر می‌کنند.



## ۱۰-۱۱- میرایی فوتونها

فوتون‌های گسیل شده از تیوب در فضا منتشر شده و در مسیر خود با برخورد به اتم‌های ماده دچار میرایی (تضعیف انرژی) می‌شود. میرایی بدین معنا که یا به الکترون اتم برخورد کرده تمام انرژی خود را به آن الکترون داده و خود به اصطلاح جذب می‌شود و یا این‌که با الکترون برخورد کرده مقداری از انرژی خود را به آن داده و خود با زاویه‌ای منحرف می‌شود. در هر دو صورت انرژی آن دچار میرایی می‌شود.

**تذکر:** با توجه به این‌که میرایی اشعه ایکس در هوا بسیار کم است و اشعه ایکس در هوا تا چند ده متر پیش می‌رود، میرایی آن در هوا صفر در نظر گرفته می‌شود و به اصطلاح می‌گویند اشعه ایکس در هوا عبور می‌کند. پس وقتی فوتون به بافت بدن برخورد می‌کند یا جذب می‌شود یا منحرف می‌شود یا عبور می‌کند.



شکل ۱۲-۱۱- میرایی فوتون ها

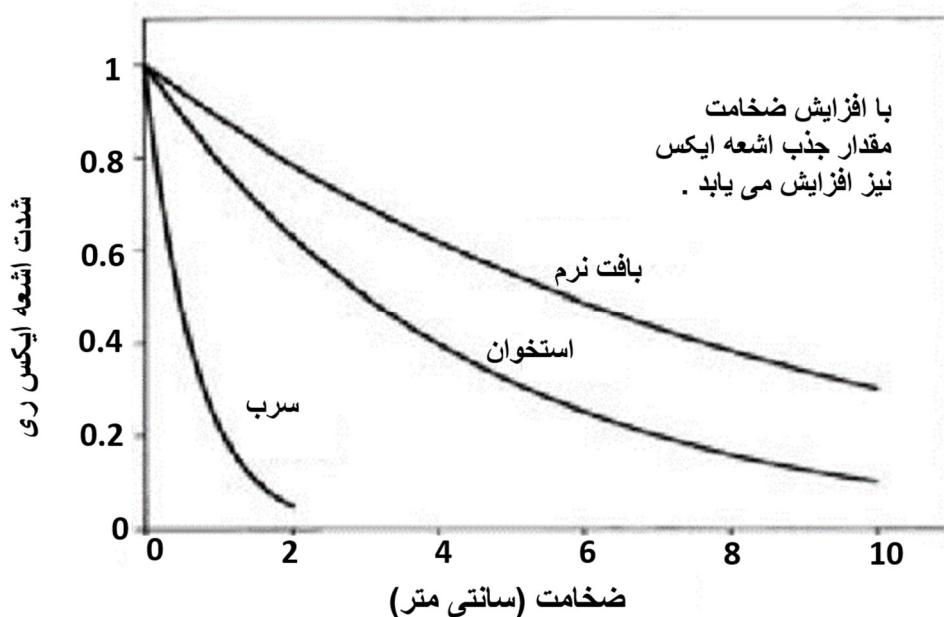
### ۱۰-۱۱-۳ برخورد با فیلم

در آخر فوتونهای عبوری به فیلم برخورد کرده و نقره آزاد می‌کنند. (البته بعضی فوتونهای منحرف-شده نیز به فیلم خورده و ایجاد خطای می‌کنند که مورد بررسی ما نیست)

### ۱۰-۱۱-۴ تأثیرات نوع بافت و ضخامت در میرایی فوتون

در شکل روی روبرو تأثیرات نوع بافت و ضخامت به طور همزمان نشان داده شده، مشاهده می‌کنیم که میرایی در بافت نرم کمتر است. پس در بافت نرم، فوتون کمتر میرا شده، بیشتر عبور می‌کند و بیشتر نقره آزاد می‌شود.

نکته مهم: این دو فاکتور دست ما نیست و در بیمار ثابت است.

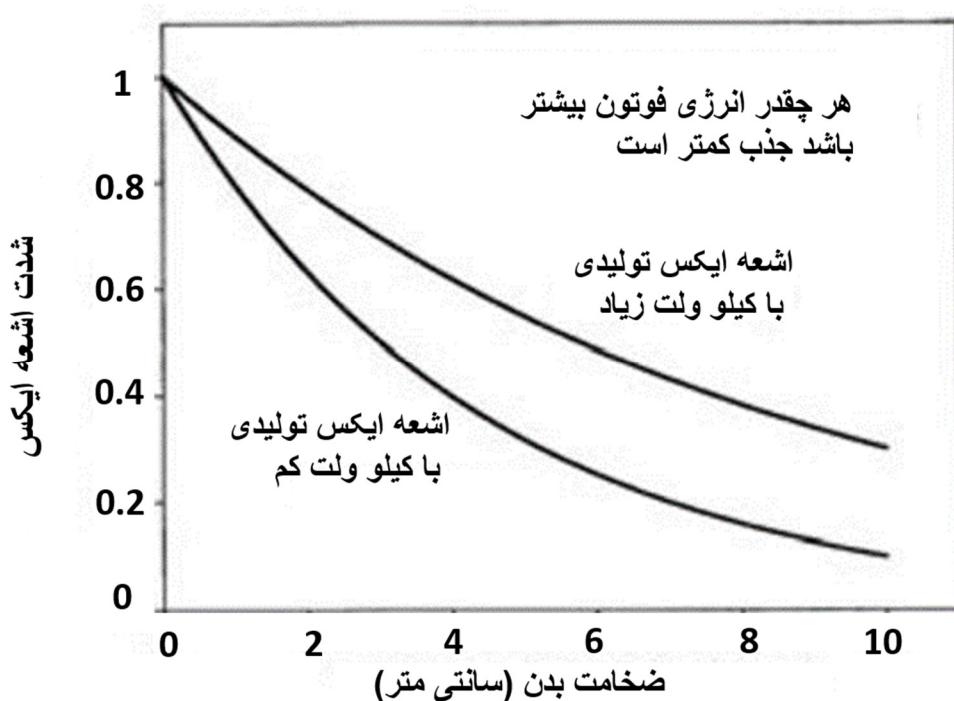


شکل ۱۳-۱۱- مقایسه میزان شدت موج نسبت به ضخامت در بافت نرم، استخوان و سرب

### ۱۰-۵-۵ تأثیر انرژی اشعه ایکس (و درنتیجه فوتون) در میرایی فوتون

هرچه انرژی اشعه ایکس بیشتر باشد میرایی فوتونها کمتر می‌شود (چه در استخوان چه بافت نرم) و بیشتر عبور می‌کنند و بیشتر سیاه می‌کنند.

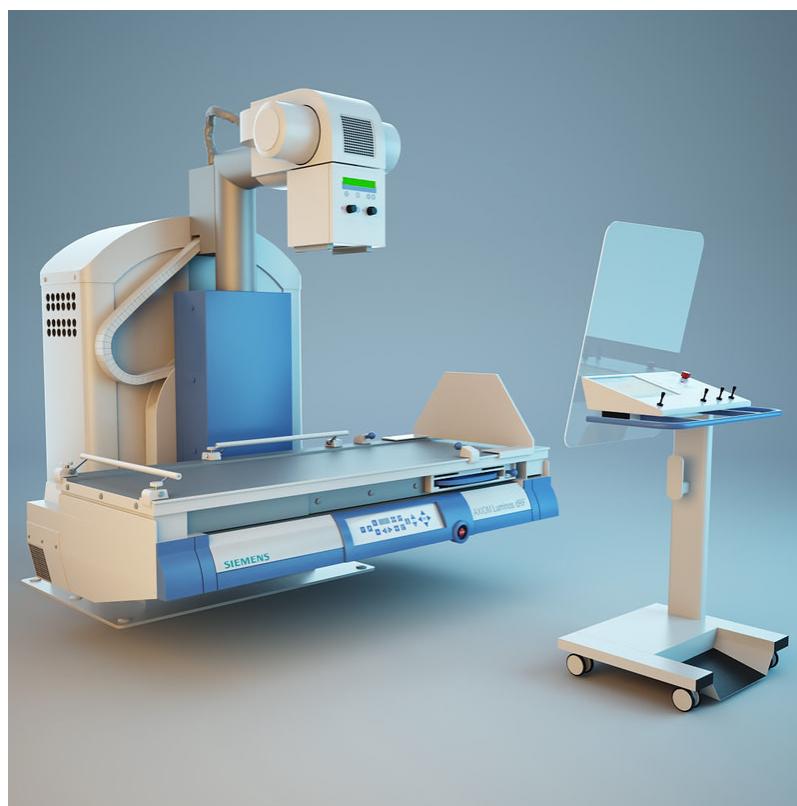
نکته مهم: این فاکتور دست اپراتور است و با تغییر ولتاژ تیوب (و درنتیجه انرژی فوتونها) میزان میرایی را برای بافت‌های مختلف تنظیم می‌کند.



شکل ۱۴-۱۱- افزایش میزان نفوذ با افزایش انرژی فوتون

### ۱۱-۱۱- قسمت‌های اصلی یک سیستم رادیوگرافی

- تیوب مولد اشعه X
- ستون نگهدارنده‌ی تیوب
- کالیماتور
- ژنراتور ولتاژ بالا
- آشکارسازها و تشدیدکننده‌های تصویر
- تخت رادیولوژی
- مدارات کنترلی دستگاه
- میز فرمان اپراتور



شکل ۱۵-۱۱- سیستم رادیوگرافی

## ۱۲-۱۱ تیوب مولد اشعه‌ایکس

حباب خلاً شیشه‌ای است که از شیشه مخصوص و محکم ساخته شده است و شامل:

- فیلامنت سیمی از جنس تنگستن

- متمرکزکننده از جنس مولیبدن یا فولاد

- آند مسی با هدفی از جنس تنگستن

در کنار تیوب، کالیماتور و محفظه نیز حضور دارند.

## ۱۳-۱۱ محفظه تیوب

از جنس فولاد بوده که مملو از روغن است و حباب شیشه‌ای را دربر می‌گیرد. این محفظه محلی برای اتصال کابل‌های فشارقوی داشته و دارای پایه‌ای است که تیوب را نگه می‌دارد.

**۱۴-۱۱ کالیماتور**

وسیله‌ای است برای محدود کردن اشعه‌ایکس به کار می‌رود. به خروجی تیوب اشعه‌ایکس در محفظه تیوب وصل می‌شود تا اندازه و شکل شعاع اشعه‌ایکس را تنظیم کند.

**۱۵-۱۱ ژنراتور ولتاژ بالا**

وظیفه تولید ولتاژ بالای لازم برای ایجاد اشعه‌ایکس را در تیوب بر عهده دارند. تغذیه این ژنراتورها از برق ۲۲۰ ولت شهر به گونه تکفاز و یا سه‌فاز می‌باشد که خروجی‌ای تاحد ۱۵۰ کیلوولت در مدت زمان کوتاهی تولید می‌کند.

**۱۶-۱۱ وظایف ژنراتور**

- تأمین اختلاف‌پتانسیل دو سر تیوب اشعه‌ایکس
- ملتهب کردن فیلامان برای تولید الکترون
- کنترل اختلاف‌پتانسیل دو سر تیوب

**۱۷-۱۱ آشکارساز و تشدید‌کننده تصویر**

صفحه‌ای از سلول‌های دریافت‌کننده اشعه‌ایکس که میزان فرکانس اشعه‌ها را پس از برخورد به بیمار محاسبه و به پردازشگر می‌فرستد.

## ۱۸-۱۱ میز فرمان اپراتور

بخشی از سیستم رادیولوژی است که در اتاق کنترل قرار گرفته و با اپراتور در ارتباط می‌باشد و ابزار کنترلی و نمایشی و انتخاب‌هایی را در اختیار اپراتور قرار می‌دهد.

### مدارات کنترلی دستگاه

سه پارامتر اصلی که در دستگاه‌های عکس‌برداری اشعه‌ایکس باید قابل انتخاب، اندازه‌گیری و کنترل باشند عبارتند از: ولتاژ تیوب، جریان تیوب و زمان تابش.

این سه پارامتر روی کیفیت تصویر اثر مستقیم دارند. در دستگاه‌های قدیمی این پارامترها با روش‌های بسیار ساده و غیردقیق کنترل و اندازه‌گیری می‌شدند. اما با پیشرفت علم الکترونیک، به خصوص بعد از ساخته شدن ریزپردازنده‌ها، عمل کنترل پارامترها با روش‌های دقیق‌تر و در حجم کمتر صورت گرفته و امکان انتخاب بیشتر در اختیار اپراتور قراردادند.

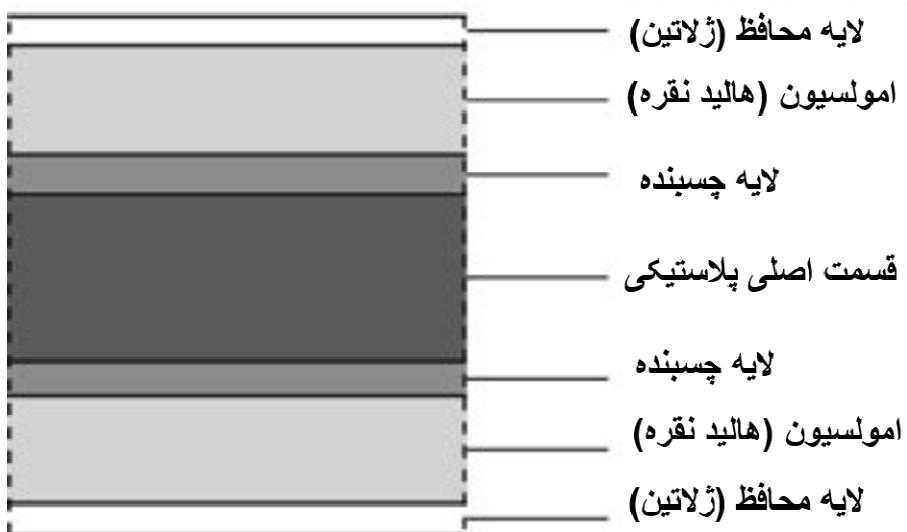
وظیفه مدارات کنترلی دستگاه دستگاه‌های عکس‌برداری اشعه‌ایکس، علاوه بر به وجود آوردن امکان انتخاب و کنترل دقیق سه پارامتر اصلی، حفاظت از قسمت‌های حساس دستگاه و یا افزایش بار دستگاه به میزان فراتر از حد مجاز و همین‌طور حفظ ایمنی الکتریکی اپراتور و بیمار است.

## ۱۹-۱۱ فیلم رادیولوژی

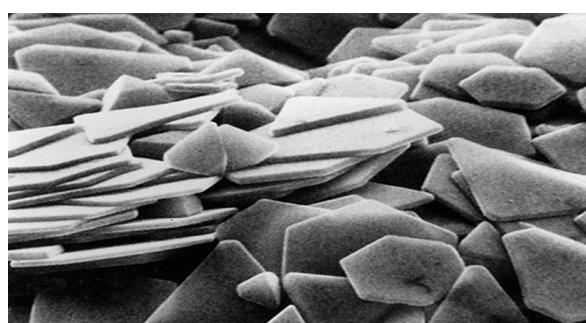
یک فیلم رادیوگرافی از هفت لایه تشکیل شده است:

- لایه پایه اصلی مت Shank از تریاستات‌سلولز و یا پلی‌استر که معمولاً به خاطر استحکام و پایداری ابعادی بیشتر از پلی‌استر استفاده می‌شود.
- یک لایه خیلی نازک که وظیفه الحاق لایه امولسیون را به لایه اصلی فیلم دارد و از جنس ژلاتین و مواد چسبنده تشکیل شده است.

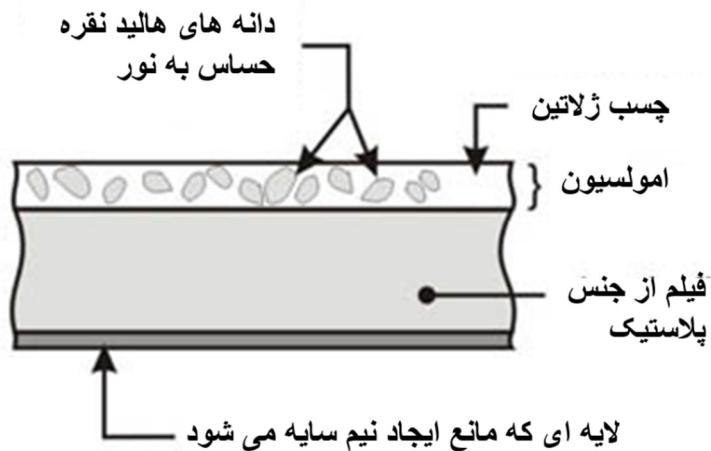
- یک لایه امولسیون که اساساً متشکل از کریستال‌های هالید نقره معلق شده در ژلاتین است. لایه امولسیون مهم‌ترین لایه فیلم می‌باشد و به پرتوایکس، پرتوگاما، نور، گرما، فشار و مواد شیمیایی بسیار حساس می‌باشد و در اثر برخورد اشعه به رنگ سیاه درمی‌آید. نرخ مخلوط‌کردن هالیدهای نقره و روش آن، مشخصات فیلم را تعیین می‌کند.
- یک لایه ژلاتین سخت شده به گونه‌ای که از ماده امولسیون محافظت نماید و آن را از صدمات مکانیکی نظیر خراش و سایش مصون بدارد.



شکل ۱۶-۱۱- لایه‌های فیلم رادیولوژی



شکل ۱۷-۱۱- لایه‌های فیلم رادیولوژی به صورت میکروسکوپی



شکل ۱۸-۱۱- لایه‌های فیلم رادیولوژی

## ۲۰-۱۱ تخت رادیولوژی

### ۱- تختی ساده با رویه شناور

درواقع یک میز ساده است که رویه آن قابل حرکت است. در حالت عادی رویه تخت توسط قفل‌های الکترومکانیکی ثابت است با فشار دادن یک کلید قفل‌ها رها شده و اپراتور می‌تواند رویه تخت را در جهات مختلف حرکت دهد. با رها کردن کلید قفل‌ها دوباره فعال می‌شوند و رویه تخت در حالت موردنظر ثابت می‌شود.

## ۲۱-۱۱ تخت R/F

هم امکان انجام رادیوگرافی و هم فلوروسکوپی را فراهم می‌کند. عمل فلوروسکوپی توسط تیوبی که در زیر تخت است، انجام می‌شود. برای رادیوگرافی، تیوب دیگری که بر روی ستون نگهدارنده است از بالا تخت را پوشش می‌دهد.

ویژگی‌های عمومی تخت R/F عبارتنداز:

- قابلیت حرکت چرخش تخت

- قابلیت حرکت رویه تخت

- مجهر بودن تیوب زیر تخت به کالیماتور نوع اتوماتیک

- ضریب جذب کم اشعه رویه تخت



شکل ۱۹-۱۱- تخت رادیولوژی R/F

## ۲۲-۱۱ رادیوگرافی متحرک

در موقع اورژانس یا هنگامی که امکان حمل بیمار به اتاق تصویربرداری وجود نداشته باشد، برای تصویربرداری از تجهیزات رادیوگرافی قابل حمل استفاده می شود. این دستگاهها در هر دو نوع رادیوگرافی و فلوروسکوپی وجود دارند و از آنها می توان در مکان های مختلف از جمله؛ محل حادثه، اتاق بیمار، بخش مراقبت های ویژه و حیاط بیمارستان استفاده کرد. در دستگاه های رادیوگرافی پرتابل هم می توان از فیلم های استاندارد رادیوگرافی و هم از صفحاتی شامل آشکارساز های مخصوص به منظور دیجیتال کردن تصویر برای نمایش بر صفحه کامپیوتر استفاده کرد. چرخ های موجود در زیر این تجهیزات امکان جابه جا کردن آن به مکان های دلخواه را فراهم می کند.



شکل ۲۰-۱۱- دستگاه رادیوگرافی متحرک

## ۱۱-۲۳ رادیوگرافی دیجیتال

در رادیوگرافی دیجیتال به جای فیلم فوتون‌ها به صفحه دتکتور برخورد کرده و هر پیکسل یک ولتاژ ایجاد می‌کند. هر ولتاژ در کامپیوتر به یک میزان گری اسکیل مربوط می‌شود. بنابراین به هر پیکسل یک رنگ تعلق می‌گیرد. هرچه تعداد پیکسل‌ها بیشتر باشد رزولوشن بالاتر می‌رود. هرچه حساسیت دتکتور به فوتون بیشتر باشد، کتراست بالا می‌رود. این دتکتورها که یکی از جدیدترین نوع آن‌ها دتکتورهای صفحه‌تحت است، بسیار گران هستند. دارای باتری و قابل شارژ هستند تا مصارف پرتاپل داشته باشند.



شکل ۱۱-۲۱- رادیوگرافی دیجیتال ثابت

## ۱۱-۲۴ رادیولوژی رنگی

در کنار رادیوگرافی ساده، نوعی رادیوگرافی مکمل به وجود آمده که به آن، عکس‌برداری رنگی می‌گویند. در این روش پزشک متخصص رادیولوژی ابتدا ماده خاصی را به بدن تزریق می‌کند یا این ماده به بیمار داده می‌شود تا خورده شود. به این ماده در اصطلاح پزشکی ماده حاجب می‌گویند. پس از آن از بیمار عکس‌برداری انجام می‌شود. ماده‌ی حاجب که به بیمار داده می‌شود، در ظاهر رنگی نیست بلکه از ماده‌ای ساخته شده که اشعه‌ایکس از آن عبور نمی‌کند. بنابراین در عکس‌برداری رنگی پزشک می‌تواند رنگ را به صورت سایه‌ای مجزا در تصویر ببیند. چون حاجب داده شده به بیمار شکل عضوی را می‌گیرد که در آن قرار گرفته است پزشک بدین وسیله می‌تواند شکل عضو را در تصویر ببیند. معمول‌ترین روش‌های عکس‌برداری رنگی:

۱- آنژیوگرافی ۲- ونوگرافی ۳- میلوگرافی ۴- آرتروگرافی

## ۱۱-۲۵ تاریخچه آنژیوگرافی

این روش که در ابتدا بر روی حیوانات آزمایشگاهی انجام شد، برای اولین بار در سال ۱۹۲۹ توسط ورنر فورسمن بر روی انسان صورت گرفت. هدف فورسمن ابداع روشی برای رساندن مستقیم داروها به درون قلب بود، اما قابلیت تکنیک فورسمن، به عنوان یک ابزار تشخیصی، توسط افراد دیگر، مورد توجه قرار گرفت. امروزه کاتتریزاسیون و آنژیوگرافی قلبی برای اهداف تشخیصی، مداخله درمانی و یا هردو انجام می‌پذیرند.

## آنژیوگرافی

کاتتریزاسیون و آنژیوگرافی قلب، روشی قطعی و استاندارد برای بررسی آناتومی عروق قلب می‌باشد.

## ۱-۲۵-۱ نحوه انجام آنژیوگرافی

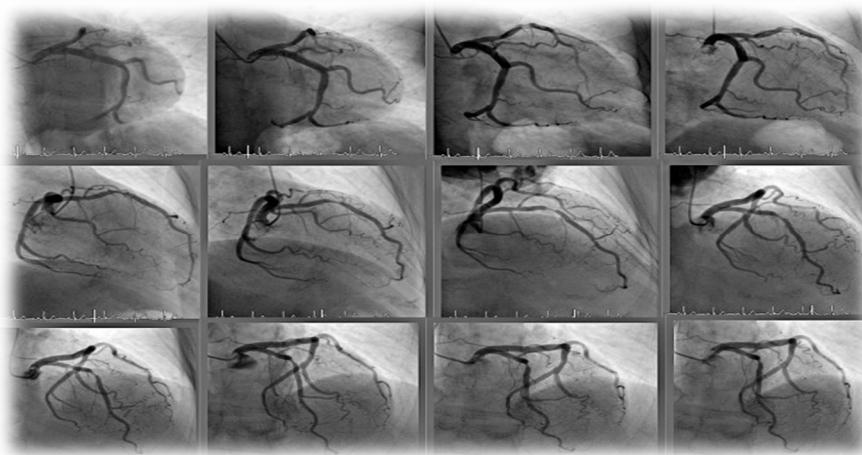
در آنژیوگرافی کاتتر از طریق سیاهرگ (برای ارزیابی قلب راست و سرخرگ ریوی) یا سرخرگ‌های پا یا دست (ارزیابی آئورت، قلب چپ و سرخرگ کرونری) به سمت قلب هدایت شده و مستقیماً اندازه‌گیری‌ها و تصویربرداری‌های لازم را انجام می‌دهد.



شکل ۲۲-۱۱-۲۵ کاربرد آنژیوگرافی همزمان با تصویربرداری

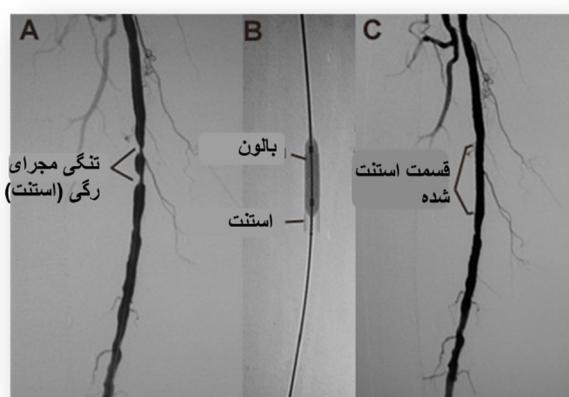
## ۲-۲۵-۱۱ کاربرد آنژیوگرافی

کاربرد معمول آنژیوگرافی شامل بررسی مشکلات اکتسابی (تنگی عروق کرونر)، تائید نا亨جاري های مادرزادی قلب (سوراخ های داخل قلب یا تنگی دریچه ها) و ... است. در صورت وجود شواهدی دال بر تنگی رگ ها یا مشکلات ساختمانی قلب، معمولاً متخصص قلب انجام عمل آنژیوگرافی را به فرد بیمار توصیه می کند و معمولاً قبل از هرگونه عمل جراحی روی رگ های کرونری یا اعمال جراحی مرتبط با مشکلات مادرزادی، ابتدا باید با آنژیوگرافی آناتومی موضع مربوطه را مشخص کرد.



شکل ۱۱-۲۳- تصویر آنژیوگرافی عروق کرونری

در آنژیوگرافی امکان اندازه‌گیری مستقیم فشارهای داخل قلب، مشاهده عروق کرونر، حفره‌های قلبی و عروق بزرگ و... فراهم می‌شود؛ همچنین اقدامات درمانی نیز در آنژیوگرافی امکان‌پذیر بوده که از جمله آن‌ها؛ آنژیوپلاستی به معنی ترمیم رگ است. در این روش رگ مسدود توسط بالون، متسع و چند ثانیه در این حالت نگه‌داری تا رگ باز شود؛ گاهی نیز برای جلوگیری از انسداد، داخل رگ مسدود استنت قرار داده می‌شود.



شکل ۱۱-۲۴- قراردادن استنت داخل رگ به‌وسیله بالون

## ۲۶-۱۱ ونوگرافی

ابتدا ماده حاجب به درون ورید یا سیاهرگی که قصد تصویربرداری از آن را داریم تزریق می‌کنیم. این ماده مانع از عبور اشعه‌ایکس شده و هنگامی که درون رگ است، باعث می‌شود خون هم مانع عبور اشعه شده و درنتیجه سایه ورید حاوی خون بر روی فیلم دیده شود. از این روش برای تشخیص لخته شدن خون در وریدهای عمقی استفاده می‌شود.

امروزه به جای استفاده از این روش عموماً از سونوگرافی داپلر استفاده می‌کنند.



شکل ۱۱-۲۵- تصویربرداری از رگ به روش ونوگرافی

## ۲۷-۱۱ میلوگرافی

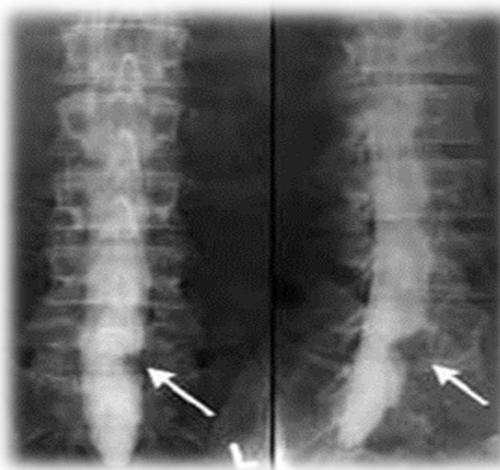
در این روش ابتدا ماده خاصی به درون کanal نخاعی تزریق می‌کنیم. این ماده مانع از عبور اشعه‌ایکس شده و درواقع موجب می‌شود فضای اطراف نخاع هم مانع عبور اشعه شده و درنتیجه سایه نخاع و ریشه‌های عصبی بر روی فیلم دیده شود. از این روش برای تشخیص فشار دیسک بر نخاع و ریشه‌های عصبی استفاده می‌شود. این روش امروزه جای خود را به MRI داده است.



شکل ۲۶-۱۱- تصویربرداری از نخاع به روش میلوگرافی

## ۲۸-۱۱ آرتروگرافی

در این روش ابتدا ماده حاچب را به همراه هوا به درون مفصل (معمولًاً زانو و یا شانه) تزریق می- کنیم. این ماده مانع از عبور اشعه ایکس شده و باعث می‌شود فضای داخل مفصل هم مانع عبور اشعه شده و درنتیجه سایه مینیسک در زانو و یا تاندون روتاتور کاف در شانه بر روی فیلم دیده شود. از این روش برای تشخیص آسیب‌های مینیسک و رباط‌های صلیبی در زانو و پارگی‌های روتاتور کاف در شانه استفاده می‌شود. البته استفاده از این روش امروزه تقریباً جای خود را به MRI داده است.



شکل ۲۷-۱۱- عکسبرداری از مفصل به روش آرتروگرافی

## ۲۹-۱۱ ماموگرافی

تکنیک دستگاه همان گرافی ساده است که برای عکسبرداری از سینه طراحی شده است. سینه روی دکتور فیکس می‌شود و از بالا پرتو تابانده می‌شود. چون بافت نرم است برای تنظیم میرایی از ولتاژ-های پایین استفاده می‌شود تا میرایی افزایش یابد. تصویر دریافتی خصوصاً در ماموگرافی آنالوگ بسیار بی‌کیفیت است. در مدل دیجیتال کیفیت تصویر در اثر پردازش تصویر توسط اپراتور ارتقاء می‌یابد.



شکل ۱۱-۲۸-۲۸- دستگاه ماموگرافی برای عکسبرداری از بافت سینه

## ۳۰-۱۱ قسمت‌های اصلی دستگاه ماموگرافی

- تیوب اشعه ایکس: شبیه به مولدهای دستگاه رادیوگرافی ساده است
- کمپرسور: وسیله‌ای شفاف، محکم و از جنس پلاستیک که برای فشرده کردن عضو به کار می‌رود.

• گیرنده‌های تصویر: معمول فیلم‌های رادیوگرافی ساده همراه با صفحات تشذیبد کننده است.



شکل ۱۱-۲۹-۱۱- دستگاه ماموگرافی

### ۱۱-۳۱ تاریخچه فلوروسکوپی

عکس زیر، اولین دستگاه فلوروسکوپی است که در آن اشعه ایکس به صورت مداوم گسیل شده و از بدن بیمار عبور می‌کند و به صفحه‌ی فلورسانس مقابل چشم جراح برخورد می‌کند. جراح ویدئو بافت بیمار را بدون واسطه می‌بیند. چون میزان اشعه ایکس بسیار ضعیف است؛ جراحان مجبور بودند در فضای نور شب جراحی کنند تا نور ضعیف فلورسانس را ببینند.

### ۱۱-۳۲ فلوروسکوپی

با استفاده از تکنیک فلوروسکوپی می‌توان از بافت به جای تصویر، تصاویر متحرک (ویدئو) دریافت کرد. در تکنیک فلوروسکوپی از دکتورهای فلورسانس به جای فیلم استفاده می‌شود. این دکتورها با برخورد فوتون نور تشعشع می‌کنند؛ به همین دلیل مواد فلورسانس این قابلیت را دارند تا تغییرات اشعه را در لحظه ثبت کنند. چون میزان دز دریافتی بیمار زیاد می‌شود؛ مجبور هستند اشعه ایکس را بسیار ضعیفتر از گرافی استفاده کنند. فلوئوروسکوپی به صورت گسترده در جراحی‌ها و برای کمک به پزشک استفاده می‌شود، هرچند ویژگی‌های تشخیصی هم دارد.

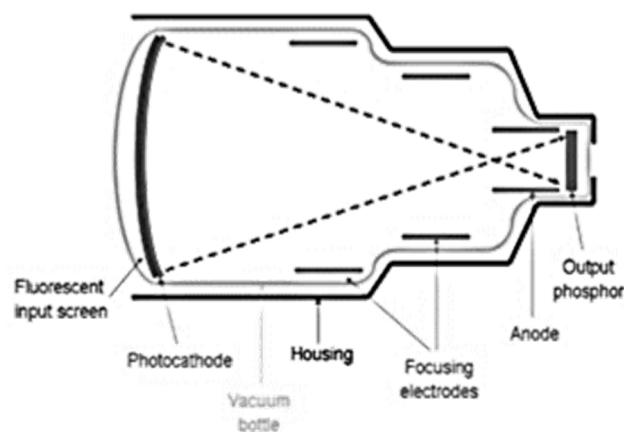


شکل ۱۱-۳۰- اولین دستگاه فلوروسکوپی

### ۱۱-۳۳- راهکارهای تقویت تصویر

#### ۱- راهکار اول:

استفاده از تقویت‌کننده تصویر: فوتون‌های کم انرژی  $X$  به صفحه فلورسنت برخورد کرده فوتون‌های نور مرئی متناسب تولید می‌کنند. فوتون‌های نور به صفحه فتوالکتریک برخورد کرده الکترون‌های متناسب تولید می‌کنند. الکترون‌ها در مسیر ورودی تا خروجی توسط ولتاژ اعمالی شتاب گرفته با صفحه فلورسنت عقبی برخورد کرده فوتون‌های نور تقویت‌شده تولید می‌کنند. فوتون‌های نور طبق سازوکارهای نوری-الکتریکی به خروجی تبدیل می‌شوند و به سمت کامپیوتر می‌رود.



شکل ۱۱-۳۱- تقویت‌کننده تصویر

## ۱۱-۳۳-۲ راهکار دوم

استفاده از فلوروسکوپی دیجیتال همراه با صفحه های فلت است که اشعه ایکس را بدون واسطه قرار دادن نور مرئی مستقیماً به سیگنال الکتریکی تبدیل کرده و تقویت می کند.



شکل ۱۱-۳۲-۲ فلوروسکوپی

## ۱۱-۳۴ رادیوگرافی دندان

از دستگاه رادیوگرافی دندان برای رادیوگرافی داخلی دهان و دندانها استفاده می شود. اساس آن تیوب خودیکسوکننده است. تیوب به نحوی نصب می شود که بیشترین قابلیت مانور را داشته باشد. یونیت های رادیوگرافی دندان برای تصویربرداری از دندانها، آناتومی یک دندان منفرد (تاج، گردن و ریشه) و مشکلات دندانی (مثل پوسیدگی) در بیماران بالغ و اطفال و نیز جهت برنامه ریزی و ارزیابی مربوط به ارتودنسی به کار می روند. سه نوع تصویربرداری قابل انجام است: رادیوگرافی داخل دهانی پانورامیک و سفالومتریک.

## ۱۱-۳۵ رادیوگرافی دیجیتالی دندان

سیستم های دیجیتال که امکان مشاهده فوری تصاویر را بدون به کار بردن فیلم فراهم، می کنند از یک سنسور داخل دهانی یا صفحه تصویربرداری، یک سیستم اشعه ایکس سخت افزار و نرم افزار کامپیوتری جهت پردازش تصویر و یک چاپگر تهیه کننده نسخه چاپی، تشکیل شده است. در

سیستم هایی که از یک سنسور داخل دهانی استفاده می کنند، هنگام تصویربرداری سنسور در داخل دهان بیمار قرار می گیرد و به صورت الکترونیک به سیستم کامپیوتر متصل می گردد.



شکل ۱۱-۳۳- رادیوگرافی دیجیتال دندان

نوع دیگری از سیستم دیجیتال تصویربرداری دندان، به جای سنسور داخل دهانی، از صفحات تصویربرداری استفاده می کند. صفحات تصویربرداری نازک و بدون سیم همانند فیلم های داخل دهانی معمولی، در دهان بیمار ثابت می شوند و همان منطقه تشخیصی فیلم ها را تحت پوشش قرار می دهند. پس از اینکه تابش انجام گرفت، صفحه تصویربرداری در یک اسکنر لیزری قرار می گیرد که تصویر را جهت اعمال تغییرات بر صفحه کامپیوتری، دیجیتالی می کنند. صفحات تصویربرداری به طور مکرر قابل استفاده می باشند و گیرهای پلاستیکی یکبار مصرفی که در هنگام رادیوگرافی صفحات را می پوشانند جهت جلوگیری از انتقال آلودگی میان بیماران به کاربرده می شوند. سیستم تصویربرداری دیجیتال می تواند همراه با یونیت رادیوگرافی داخل دهانی معمولی به کار رود.

## ۱۱-۳۶ رادیوگرافی پانورامیک دندان

یکی از تجهیزات پزشکی مورد استفاده در دندانپزشکی است. این دستگاه با چرخیدن دور سر بیمار یک عکس با زاویه  $200^{\circ}$  درجه از قسمت چشمها تا حنجره در اختیار دندانپزشک می گذارد. این قبیل عکس ها ارزش زیادی دارند؛ چراکه دارای اطلاعات مفیدی از قبیل تعداد کل دندان ها، وضعیت استخوان های هر دو فک و دندان های اضافی و نهفته هستند. OPG مخفف Ortho Pantomo Gram است.

است. این دستگاه به صورتی طراحی شده که تصویر X-RAY پانورامیک از دندان‌ها و فک و مفاصل در اختیار قرار می‌دهد. صفحه تصویربرداری OPG دارای انحنای مطابق با انحنای فک‌ها است. تصاویر حاصله یک نمای کلی از موقعیت دندان‌ها و اطلاعاتی از استخوان‌های فک، سینوس‌های فک فوقانی و مفاصل بین فک‌ها و جمجمه در اختیار قرار می‌دهد.

### ۳۷-۱۱ تصویربرداری EOS

این روش تصویربرداری توسط کمپانی فرانسوی imaging EOS تجاری شده است. EOS یک سیستم تصویربرداری سه‌بعدی از تمام بدن با دز بسیار پایینی از اشعه‌ی ایکس است که اطلاعاتی در مورد موقعیت بدن در حالت ایستاده و نشسته و نحوه تحمل وزن در سیستم اسکلتی عضلانی به خصوص ستون فقرات و اندام تحتانی به ما می‌دهد. مزیت بارز این دستگاه نسبت به دستگاه‌های ساده رادیولوژی استفاده از دز پایین اشعه‌ی ایکس همراه با کیفیت بالای عکس است؛ که در واقع میزان اشعه ایکس در این روش، تقریباً دو تا سه مرتبه کمتر از تصویربرداری معمولی اشعه ایکس و بیست مرتبه کمتر از سی‌تی‌اسکن است.

برای عکس‌برداری به روش EOS بیمار باید به مدت ۲۰ ثانیه در اتاقک مخصوص قرار بگیرد و به دلیل استفاده از دز پایین اشعه‌ی ایکس در این تصویربرداری نیازی به پوشیدن محافظ سربی نیست. در هنگام عکس‌برداری دو پرتوی ایکس به بدن فرد تابانده می‌شود که دستگاه قادر است به طور همزمان دو عکس از نمای جانبی و جلویی بدن بگیرد و به همین دلیل پزشک قادر است تمام سطوح بدن فرد را در یک عکس مشاهده کند و نیازی به کنار هم قرار دادن چندین عکس نیست.



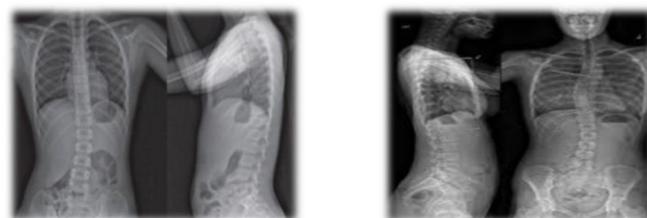
شکل ۱۱-۳۴- EOS imaging system

### ۱۱-۳۸- موارد استفاده از تصویربرداری EOS

- ارزیابی بیماران دارای اختلالات (بدفرمی) ستون فقرات و اندام تحتانی
- مناسب برای عکسبرداری از کودکان و عکسبرداری‌های مداوم به دلیل کم بودن دز اشعه ایکس

برای مواردی مثل شکستگی استخوان که با روش‌های معمولی تصویربرداری اشعه ایکس قابل تشخیص است

معمولًاً از این روش استفاده نمی‌شود



شکل ۱۱-۳۵- تصاویر حاصل از EOS imaging

### ۳۹-۱۱ دستگاه پروسسور رادیولوژی

دستگاهی است که در قسمت رادیولوژی جهت ظهور فیلم رادیولوژی به کار می‌رود. برای ظهور یک فیلم رادیولوژی لازم است که در محیطی تاریک معروف به تاریکخانه فیلم را ابتدا داخل محلول ظهور قرار داده و سپس از آن خارج کرده و وارد محلول ثبوت می‌کنیم. پس از گذشت زمان معینی آن را از داخل محلول ثبوت نیز خارج کرده و وارد مخزن حاوی آب کنیم و پس از آب کشیدن، فیلم را خشک می‌کنیم.



شکل ۱۱-۳۶- دستگاه پروسسور

### ۴۰-۱۱ پرینتر فیلم رادیولوژی

دستگاه ظهور و ثبت فیلم رادیوگرافی خودکار، وسیله‌ای شبیه به چاپگرهای معمولی است؛ با این تفاوت که نگاتیوهای رادیولوژی را ظاهر می‌کند.



شکل ۱۱-۳۷- دستگاه پرینتر فیلم

### ۴۱-۱۱ محافظه‌ای اشعه ایکس

روپوشهای سربی معمولاً جهت محافظت در برابر پرتوهای ثانویه و نشتی مورداستفاده قرار می‌گیرند و نیز بر اساس استانداردهای مورد تائید سازمان انرژی اتمی، ضخامت سرب معادل در این محافظه‌ها نیم میلی‌متر و در مواد خاص ۰،۷۵ میلی‌متر است. دو روش مؤثر در افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش وزن روپوش‌های سربی که امروزه توسط بسیاری از شرکت‌های پیشرو مورداستفاده قرار گرفته تولید

لاستیک‌های سربی بسیار مرغوب بانام "SUPER LIGHT" و یا طراحی پوشش بر اساس تکنیک LEAD FREE است. در این روش‌ها بجای تضعیف پرتو تابش شده توسط لایه سربی سعی می‌شود تا پرتوهای ایکس به اطراف منحرف شوند.



شکل ۱۱-۳۸- محفاظه‌های اشعه X در رادیوگرافی

## ۱۱-۴۲ محفظ تیروئید

جهت محافظت نواحی اطراف گردن در برابر پرتوهای یون‌ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محفظ نیز مانند روپوش سربی ضخامت ۰.۵ میلی‌متری است که می‌تواند دز جذبی را تا ۹۰٪ کاهش می‌دهد.



شکل ۱۱-۳۹- محافظ

## ۱۱-۴۳ محافظ چشم (عینک سربی)

استفاده از عینک سربی مناسب (نوع ۰.۵ میلی‌متر و یا نوع ۰.۷۵ میلی‌متر سرب) می‌تواند دز جذبی در چشمهای را تا ۹۸٪ کاهش دهد. در این موارد توصیه می‌شود پرتو کاران از عینک سربی استفاده نمایند. در طراحی عینک‌های سربی معمولاً از شیشه‌های سربی باکیفیت بسیار بالا دارای سرب معادل ۰.۵ میلی‌متر یا ۰.۷۵ میلی‌متر استفاده می‌شود علاوه بر این سطوح شیشه سربی این عینک‌ها با موادی پوشش داده شده تا از مات یا کدر شدن آن‌ها جلوگیری شود.



شکل ۴۰-۱۱

## ۴۰-۱۱ اولتراسوند (ultrasound)

### اصول اولتراسوند:

واژه‌ی اولتراسوند یا فرآصوت به امواج مکانیکی گفته می‌شود که فرکانس آن‌ها بالاتر از حد شنوایی انسان باشد. فرکانس‌هایی که در سونوگرافی مورداستفاده قرار می‌گیرند بین ۱ تا ۱۵ مگاهرتز هستند. انتخاب فرکانس در سونوگرافی با در نظر گرفتن قابلیت تفکیک و عمق نفوذ موج صوتی در بافت انجام می‌گیرد.

سرعت انتشار موج آکوستیکی در محیط مادی از رابطه زیر به دست می‌آید

$$c = \lambda f$$

$c$ : سرعت حرکت موج در محیط مادی برحسب متر بر ثانیه

$\lambda$ : طول موج برحسب متر

$f$ : فرکانس برحسب هرتز

سرعت امواج آکوستیکی در بافت‌های نرم تقریباً به هم نزدیک است در حالی که سرعت در استخوان بسیار زیادتر است.

هرچه چگالی محیط بیشتر باشد، سرعت انتشار موج بالاتر است

امپدانس آکوستیکی محیط طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$z=dc$$

$z$ : امپدانس

$d$ : چگالی محیط

$c$ : سرعت انتشار موج

وقتی یک موج آکوستیکی از یک محیط با امپدانس  $z_1$  به محیط دیگر با امپدانس  $z_2$  وارد شود، بخشی از موج منعکس شده و بخشی دیگر عبور می‌کند از طرفی هرچه اختلاف امپدانس بین بافت‌های مختلف بیشتر باشد، درصد بیشتری از موج منعکس می‌شود.



شکل ۱۱-۴۱- دستگاه سونوگرافی

## ۱۱-۴۵ دستگاه سونوگرافی

دستگاه سونوگرافی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است:

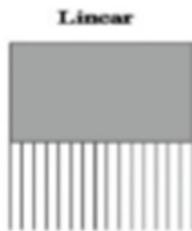
## ۱۱-۴۵-۱ مانیتور: وظیفه‌ی نمایش سیگنال‌های تصویری ارسالی از یونیت اصلی را بر عهده دارد

۱۱-۴۵-۲ پروب: وظیفه‌ی آن تولید و ارسال امواج اولتراسوند و نیز دریافت امواج بازگشته ECHO و تبدیل آن به علائم الکتریکی و انتقال آن به یونیت اصلی است. تولید این امواج به وسیله‌ی یک transducer (که ماده‌ای پیزوالکتریک است) انجام می‌گیرد. درواقع transducer امواج الکتریکی را به انرژی مکانیکی تولید می‌کند خصوصیاتی مانند ابعاد، ضخامت و نوع کریستال پیزوالکتریک، تعیین‌کننده مشخصات موج اولتراسوند تولیدی آن از جمله فرکانس آن است. عمق نفوذ و کیفیت تصویر بستگی به فرکانس مبدل دارد. به طورکلی مبدل‌های با فرکانس بالا، قدرت تفکیک خوبی برای تصاویر دارند، اما قدرت نفوذ آن‌ها کم است. در مبدل‌های با فرکانس پایین، کیفیت تصویر پایین آمده ولی عمق نفوذ بیشتر خواهد شد. به همین دلیل برای به دست آوردن تصویر از بافت‌های سطحی از فرکانس‌های بالا استفاده می‌کنند. به عنوان مثال برای سونوگرافی کبد و کلیه از پروب ۵,۳ مگاهرتز و برای سونوگرافی از سینه از پروب ۵,۷ مگاهرتز استفاده می‌گردد. تفاوت دیگر پروب‌ها در شکل ظاهری آن‌هاست تا قابلیت انطباق جهت سونوگرافی از قسمت‌های مختلف بدن را داشته باشند.

## ۱۱-۴۵-۲-۱ انواع پروب:

بر اساس ورودی‌های مختلف و میدان دید متفاوت می‌توان پروب‌ها را به انواع زیر تقسیم‌بندی کرد:

- **پروب خطی (linear):** به دلیل شکل چهارگوش‌های این پروب‌ها میدان دید حاصل از آن‌ها چهارگوش‌های است. معمولاً از تعداد زیادی کریستال (تا ۴۰۰ عدد) تشکیل شده است. برای به دست آوردن خطوط دید بیشتر کریستال‌ها باید بسیار کوچک باشند. به دلیل بزرگ بودن اندازه‌ی این پروب‌ها استفاده از آن‌ها در برخی نقاط آناتومیک مثلاً در فضاهای بین دنده‌ای مشکل‌آفرین است.



شکل ۱۱-۴۲-پروب

- **پروب محدب (convex):** نوع متغیری از مبدل خطی است. سرامیک‌های پیزوالکتریک به شکل محدب چیده شده‌اند. امواج صوتی به‌طور شعاعی از میدان ژئومتری خارج می‌شوند. از این پروب برای دیدن فضاهای بین دندنهای استفاده می‌شود ایراد پروب از دست دادن قدرت تفکیک جانبی در قسمت‌های سطحی‌تر میدان دید است.



شکل ۱۱-۴۳-مدل‌های مختلف از پروب

- **پروب‌های درون حفره‌ای (endocavity)** برای بررسی برخی از حفرات بدن مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱-۴۴-چند نمونه از پروب‌های درون حفره‌ای

### ۱۱-۴۵-۳-یونیت اصلی دستگاه سونوگرافی

یونیت اصلی دستگاه سونوگرافی شامل مدارهای پیچیده مجهر به نرم افزارهای تخصصی است. این قسمت سیگنال‌های الکتریکی را دریافت و پس از پردازش نرم افزاری آنها را به صورت تصویری در مانیتور نمایش می‌دهد.

#### ۴-۴۵-۱۱ ژل اولتراسوند

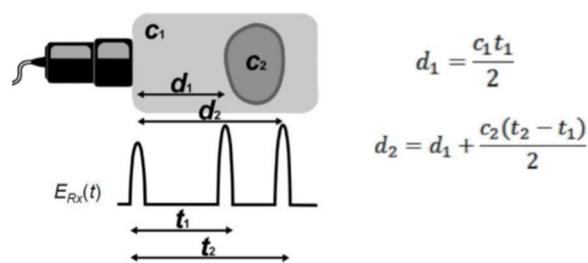
امواج اولتراسوند قدرت عبور از هوا را ندارند به همین خاطر از ژل مخصوصی برای پر کردن فضاهای خالی بین پوست و پروپ استفاده می‌کنند.



شکل ۱۱-۴۵-۱۱ ژل اولتراسوند

#### ۱۱-۴۶ نحوه عملکرد اولتراسوند

نحوه کار در این دستگاه از قانون ساده فیزیک استفاده شده است



شکل ۱۱

بهمنظور یافتن اطلاعات تشخیصی به کمک اولتراسوند، روش‌های تصویربرداری متفاوتی وجود دارد:

#### ۱-۴۶-۱۱ A Scan

- فرستادن امواج اولتراسوند به داخل بدن توسط ترانس迪سپر (۴۰۰-۱۰۰۰ هرتز)

- دریافت امواج منعکس شده توسط همان ترانسdiyosr. میزان بازتاب به اختلاف امپدانس دو ماده و نحوه استقرار سطح نسبت به پرتو بستگی دارد. بیشترین بازتاب در حالت عمود است و بیشترین جذب در عمق بیشتر
- اندازه گیری زمان لازم برای رفت و برگشت صوت و بازتاب از سطوح مختلف
- نمایش روی صفحه اسیلوسکوپ با محور عمودی ولتاژ و محور افقی زمان
- تبدیل زمان به فاصله با داشتن سرعت صوت در محیط بدن
- یافتن عمق قسمت های مختلف درون بدن برای استفاده تشخیصی
- عدم توانایی دستگاه در آشکارسازی پژواک های متفاوت از دو جسم نزدیک به هم: طول موج پایین و فرکانس بالا قابلیت تشخیص بهتری فراهم می کند

کاربرد: اکو آنسفالوگرافی، اسکن چشم

### B Scan ۴۶-۱۱

- دریافت تصاویر دو بعدی از بخش های بدن
- ترانسdiyosr متحرک (حرکت جابجایی و چرخشی)
- نمایش موج پژواک به صورت یک نقطه در محلی از اسیلوسکوپ مربوط به محل سطح بازتاب کننده
- هر چه بازتاب موج قوی تر نقاط روشن تر
- نمایش فضاهای خالی و بدون بازتاب به صورت نقاط تاریک

کاربرد در آگاهی از ساختمند درونی بدن: بررسی های تشخیصی کبد، قلب، کلیه، تشخیص بارداری، ناهنجاری های رحم

### Motion Scan ۴۶-۱۱

- بررسی حرکات در بدن مانند حرکت قلب و دریچه ها
- ثابت بودن ترانسdiyosr مانند A Scan
- نمایش نقطه ای پژواک ها روی اسیلوسکوپ مانند B Scan

- فرستادن سریع و پی درپی امواج

- امکان دیدن حرکت عضو با زمان

کاربرد: اکوکاردیوگرافی

### Doppler Scan ۱۱-۴۶

- عملکرد بر اساس اثر داپلر

- فرستادن امواج فراصوت به جسم متحرک

- دریافت موج صوتی بازتابی از جسم متحرک

- بررسی و اندازه گیری تغییر فرکانس موج بازتابی

- محاسبه سرعت حرکت جسم متحرک

- اندازه گیری غیرتهاجمی سرعت خون

- بررسی وضعیت قلب و خونرسانی به جنین

توجه: حرکت قلب به سمت ترانسدیوسر: بیشتر شدن فرکانس موج بازتابی و حرکت در خلاف

جهت ترانسدیوسر: کمتر شدن فرکانس موج بازتابی



شکل ۱۱-۴۷ - انواع اولتراسوند

مزایا:

- قابلیت حمل

- قیمت مناسب

- قابلیت تصویربرداری ۳۰ فریم در ثانیه

- اطلاعات عملیاتی در اختیار اپراتور می‌گذارد مثل محاسبه سرعت جریان خون در عروق

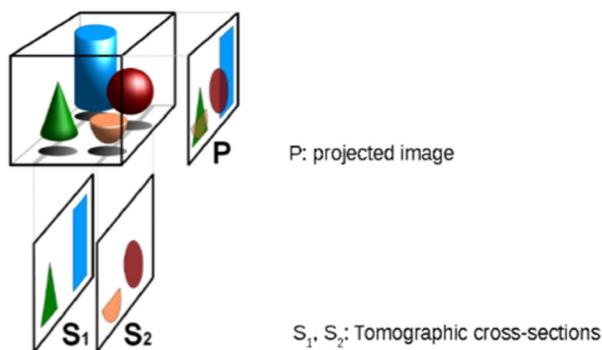
## معایب

- میدان دید محدود
- برای تصویربرداری از بافت استخوانی مناسب نیست
- به مهارت اپراتور نیازمند است
- تشخیص از روی آن دشوار

## ۴۷-۱۱ تصویربرداری توموگرافیک

نوعی تصویربرداری که تصویر به صورت مقطعی برداشته می‌شود.

- با استفاده از اشعه X (CT Scan)
- با استفاده از امواج الکترومغناطیس (MRI)
- با استفاده از اشعه گاما (Spect, PET)



شکل ۴۸-۱۱- تصویربرداری توموگرافیک

## CT Scan ۴۸-۱۱

سی‌تی اسکن با استفاده از اشعه ایکس و الگوریتم‌های محاسباتی کامپیوترا تصویری سه‌بعدی از بدن ایجاد می‌کند. در سی‌تی اسکن، یک تیوب اشعه ایکس، در مقابل یک دتکتور قرار می‌گیرد و با کمک

حلقه‌ای که به صورت یک دستگاه و به شکل چرخشی در اطراف بیمار حرکت می‌کند، تصویر کامپیوترا مقطعی به صورت برش یا مقطع عرضی تولید می‌شود. سی‌تی اسکن به دلیل داشتن قدرت تفکیک فضایی، کاهش زمان اسکن، قدرت تفکیک رنگ و تغییرات در توانایی تیوب‌ها امکان اسکن تمامی بدن با کیفیت بالا را فراهم می‌آورد.



شکل ۴۹-۱۱ دستگاه سی‌تی اسکن

### ۱-۴۸-۱۱ اجزای دستگاه سی‌تی اسکن

#### ۱-۴۸-۱۱-۱ گتري

اصلی‌ترین و مهم‌ترین بخش دستگاه است که مجموعه تیوب اشعه X و آشکارسازها (Detector) در آن قرار دارند

گتري دارای دو بخش کلی است:

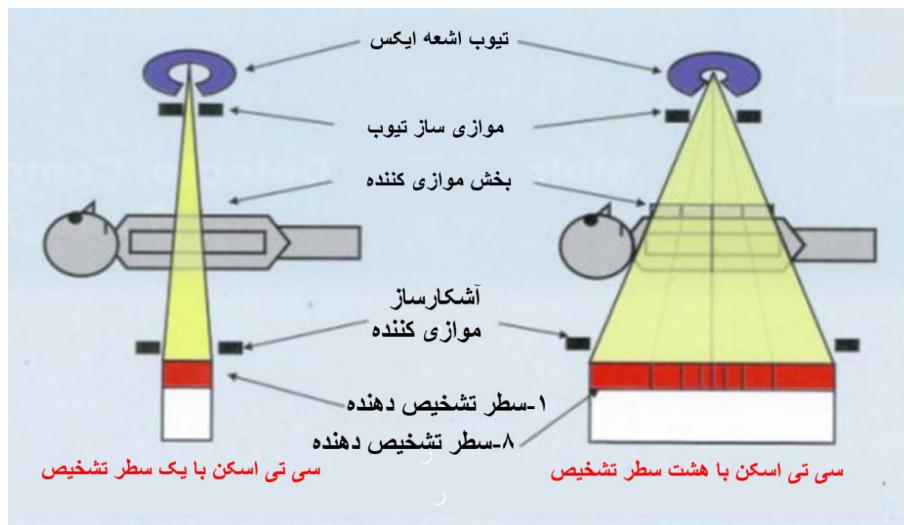
- قسمت دوار شامل تیوب آشکارسازها و ضمایم آن‌ها
- قسمت ثابت شامل کلیه مدارات رابط و مسیرهای ارتباطی بین بخش دوار با بخش‌های دیگر

#### ❖ نکات قابل توجه در طراحی گتري:

- ثابت ماندن سرعت چرخش در تمام طول مدت دوران و عدم ایجاد لرزش در چرخش گتري

## ۱۱-۴۸-۲ آشکارسازها

دستگاه سی تی اسکن متشکل از تعداد انبوهی دتکتور است که به صورت دو نوع تک ردیفی و چند ردیفی وجود دارند؛ که مدل تک ردیفی دارای یک ردیف آشکارساز و مدل چند ردیفی شامل مجموعه آشکارسازهای دو یا چهار یا هشت یا شانزده ردیفی است. تفاوتی که سی تی اسکن های تک ردیفی با چند ردیفی دارند، در تعداد تصویری است که به ازای هر دوران کامل به دست می آید. به عنوان مثال در چهار ردیفی چهار تصویر با هر چرخش آشکارسازها اشعه عبوری از بافت را دریافت می کنند. سپس سیگنال های دریافت شده توسط الگوریتم های مخصوصی به نام بازتابی فیلتر شده و بازسازی تکراری تصویر را بازسازی می کنند.



شکل ۱۱-۵۰-۱۱-۱۱-۴۸-۲-۱ آشکارساز تک ردیف و چند ردیف (تفاوت در تعداد تصاویری است که می گیرد)

**FBP :** یک روش متداول است که در آن تیوب های اشعه ایکس در زاویه های مختلف پرتوها را می فرستند.

**بازسازی تکرار:** هدف از این الگوریتم ها کاهش نویز بدون از دست رفتن قدرت تفکیک پذیری تصویر است. نقطه ضعف این روش سرعت پایین تر آن نسبت به FBP است.

### ۱۱-۴۸-۳ تخت بیمار

وظیفه‌ی عمدی تخت، حرکت دادن بیمار در زمان اسکن است. کاربر باید ارتفاع تخت را به گونه‌ای تنظیم کند که ناحیه موردنظرش در مرکز دایره گتری قرار بگیرد. جنس رویه تخت باید دارای حداقل ضریب تضعیف فوتونی باشد و معمولاً از جنس فیبرهای کربنی است.

### ۱۱-۴۸-۴ ژنراتور ولتاژ بالا

وظیفه ایجاد ولتاژ لازم برای تولید اشعه X در تیوب را به عهده دارد

### ۱۱-۴۸-۵ کنسول کاربردی

در دستگاه‌های قدیمی قسمت پردازش تصاویر به‌طور جداگانه در کابینت‌های مستقلی تعییه می‌شدند، ولی امروزه تمامی این اجزا در داخل کنسول قرار داده شده است. کنسول کاربری علاوه بر کنترل کل سیستم سی‌تی اسکن، وظیفه پردازش اطلاعات وارد شده از واحد دریافت داده و بازسازی تصاویر را به عهده دارد. همچنین واسطه‌ای است بین سیستم و کاربر به گونه‌ای که کاربر تمامی فرمان‌ها موردنظر خود اعم از مشخصات اسکن شامل: میزان سرعت اسکن، ضخامت اشعه و یا ضخامت تصویر، ناحیه‌ای که تصویر باید از آن گرفته شود و ... را از طریق آن انجام می‌دهد.



شکل ۱۱-۵۱- دستگاه سی‌تی اسکن

سی‌تی اسکن یا توموگرافی کامپیوتری (Computed Tomography scan) یکی از روش‌های پیشرفته تصویربرداری پزشکی است

## ۱۱-۴۸-۲ مراحل عملکردی دستگاه سی‌تی اسکن

۱. داده دریافت ۲. پردازش داده‌ها ۳. تصویر نمایش ۴. ذخیره‌سازی و مستندسازی اطلاعات

## ۱۱-۴۸-۳ نسل‌های مختلف سی‌تی اسکن

### ۱۱-۴۸-۳-۱ اسکنرهای نسل اول

در اسکنرهای CT نسل اول، باریکه پرتو X از کالیبراتور عبور می‌کرد و یک آشکار ساز یک حرکت انتقالی توام با چرخش بدوز بیمار انجام می‌داد. سیستم اصلی EMI نیاز به چرخش ۱۸۰ درجه داشته که هر چرخش با فاصله یک درجه از یکدیگر انجام می‌گرفت. این سیستم از دو آشکار ساز استفاده می‌کرد و باریکه پرتو X را به گونه‌ای تقسیم می‌کرد که دو برش در کنار هم را می‌توانست در طی اسکن به نمایش در آورد. عیب اصلی این یونیت‌ها زمان ۵ دقیقه‌ای بود که برای یک اسکن صرف می‌شد.

اسکنر نسل اول: آرایش انتقالی چرخشی، باریکه مداری شکل، یک آشکار منفرد، زمان اسکن ۵ دقیقه شماتیک ساختار یک پویشگر سی‌تی نسل اول از نوع EMI. این پویشگرها فقط از سر مقطع نگاری می‌کردند.

۱. تیوب مولد اشعه ایکس

۲. آشکارساز مرجع

۳. بدنی دهانه

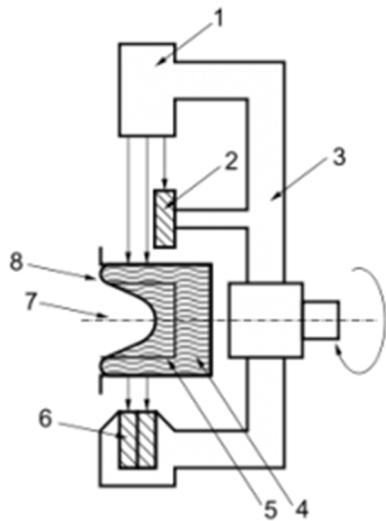
۴. آب

۵. بالشتک ضربه‌گیر

۶. یک جفت آشکارساز

۷. محل قرار گرفتن سر

۸. پلاستیک نرم



شکل ۱۱-۳-۴۸-۲ اسکنرهای نسل دوم

### ۱۱-۳-۴۸-۲ اسکنرهای نسل دوم

این اسکنرها نیز دارای نوع انتقالی - چرخشی هستند. این یونیت‌ها به جای یک آشکار ساز از چندین آشکار ساز استفاده می‌کنند و ضمناً باریکه پرتو X مدادی شکل نسل اول در این نسل بازبینی شکل بود. عیب دیگر آن نیز افزایش شدت لبه‌های باریکه به علت شکل بدن انسان بود. برای جبران این مشکل از فیلتر پاپیونی استفاده شد.

مزیت اصلی اسکنرهای نسل دوم آن سرعت آن‌ها بوده است این اسکنرها دارای ۵ تا ۳۰ آشکار ساز بودند و بنابراین زمان کمتری را برای اسکن کردن نیاز داشتند بدلیل استفاده از چندین آشکار ساز هر انتقال بوسیله افزایش ۵ درجه‌ای چرخش ازهم جدا می‌شدند مثلاً با اسکن گرفتن هر ۱۰ درجه چرخش برای اسکن ۱۸۰ فقط نیاز به ۱۸ حرکت انتقالی بود.

اسکنر نسل دوم: آرایش - انتقالی چرخشی، آرایه آشکار ساز، زمان اسکن ۳۰ ثانیه

### ۱۱-۳-۴۸-۳ اسکنرهای نسل سوم

محدودیت اصلی اسکنرهای نسل سوم CT زمان طولانی آزمون بود. به علت حرکت مکانیکی پیچیده انتقالی چرخشی و جرم زیادی که در گتری وجود دارد، بیشتر یونیت ها برای زمان های اسکن ۲۰ ثانیه یا بیشتر طراحی شده اند.

آشکار ساز بطور هم مرکز بدور بیمار می چرخد. این اسکنرهای همانند یونیت هایی که فقط حرکت چرخشی دارند می توانند در ظرف یک ثانیه یک تصویر تولید کنند. اسکنر نسل سوم CT از یک آرایه ی منحنی شکل خطی از آشکار سازها و باریکه بادبزنی شکل استفاده میکنند. تعداد آشکارسازها و عرض باریکه ی بادبزنی شکل بین ۳۰ تا ۶۰ درجه به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از اسکنرهای نسل دوم است. در اسکنرهای نسل سوم CT، باریکه بادبزنی شکل و آرایه آشکارساز در تمام زمان روبروی هم هستند. آرایه ی منحنی شکل خطی آشکارساز منجر به یک طول ثابت بین منبع تا آشکارساز می گردد که یک مزیت برای بازسازی خوب تصویر به حساب می آید. این ویژگی به کاهش پرتوهای منحرف شده نیز کمک می کند.

یکی از معاایب اسکنرهای نسل سوم آرتیفیکت های ناشی از حلقه است. این امر به دلایل زیادی اتفاق می افتد. هر آشکار ساز در مقابل یک حلقه مجاز از یک آناتومی قرار دارد. اگر یک آشکار ساز دچار عملکرد نامطلوب گردد، اثر آن بصورت یک حلقه بر روی تصویر بازسازی شده می افتد. الگوریتم هایی برای کاهش این نوع از آرتیفیکت ها بر روی تصویر مورد استفاده قرار میگیرند. که در تمام زمان رو به تمام بدن بیمار هستند مزیت برای بازسازی خوب تصویر حساب می آید.

اسکنرهای نسل سوم:

- آرایش چرخشی - چرخشی
- باریکه بادبزنی شکل
- آرایه آشکار ساز
- زمان اسکن ۱ ثانیه ای
- عیب: آرتیفیکت های حلقه ای

## ۱۱-۴-۳-۴۸-۱۱ اسکنرهای نسل چهارم

طراحی نسل چهارم برای اسکنرهای CT دارای ارایش چرخشی - ایستایی هستند منبع پرتو X می چرخد، اما مجموعه آشکار ساز نمی چرخد. آشکار سازی پرتوها توسط یک آرایه دایره ای شکل ثابت صورت میگیرند که شامل تقریبا ۸۰۰۰ عنصر مجزا است. باریکه پرتو X بصورت بادبزنی شکل مانند باریکه پرتو X بادبزنی شکل در نسل سوم است. این یونیت ها توانایی زمان های اسکن ۱ ثانیه ای را دارند و می توانند ضخامت های برش متغیری را ایجاد کنند.

آرایه آشکار ساز نسل چهارم آن منجر به مسیر باریکه ثابتی از منبع تا همه آشکار سازها نمی گردد، ولی این آرایش به هر آشکار ساز اجازه می دهد که بطور مجزا کالیبره گردد و سیگنال هر اشکارساز در طول اسکن همانند اسکنرهای نسل دوم نرمالیزه گردد.

عیب اصلی نسل چهارم اسکنرهای CT، افزایش دوز بیمار نسبت به نسل های دیگر است، همچنین قیمت این نوع از اسکنرهای بدلیل تعداد زیاد آشکارسازها تا حدی بیشتر است.

اسکنرهای نسل چهارم: آرایش چرخشی - ایستایی، باریکه بادبزنی شکل، آرایه آشکار ساز، زمان اسکن ۱ ثانیه

## ۱۱-۳-۴۵-۵ اسکنرهای نسل پنجم

پیشرفت های جدید در طراحی اسکنر CT امکان افزایش کیفیت تصویر رادر کنار کاهش دوز بیمار امکان پذیر ساخته اند.

### ROTATE-NUTATE SCANERS:

توشیبا یک طرح متفاوت از اسکنرهای نسل چهارم را تولید کرده است. در این اسکنرها برای اینکه منبع پرتو X در یک فاصله ثابت از بیمار و آشکار سازها قرار گیرد، منبع پرتو X آرایه آشکار ساز بطور یکنواخت حرکت می کند و می چرخد. این نوع از نوموگرافی که اولین بار بوسیله IMATRON برای تصویر برداری قلبی مورد استفاده قرار گرفت، از روشهای کاملاً متفاوت استفاده می شود که هم اکنون

برای اسکن کردن همه‌ی بافت‌ها مخصوصاً وقتی که نیاز به تصویربرداری بسیار سریع است EBCT مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در EBCT یک Waveguide یک باریکه الکترون متمرکز شده از طریق یک آهنربای خمیده شکل توسط یک هدف نیمه دایره‌ای از تنگستن متناسب پیدا می‌کند.

در حقیقت چهار هدف تنگستنی الکترون در گسترش EBCT حرکت نمی‌کنند. هدف که از جنس تنگستن است و آرایه آشکارساز ثابت هستند. تصاویر EBCT در زمان‌های کم ۵ میلی ثانیه قادر به تولید شدن هستند.

### ۶-۳-۴۵-۱۱ اسکنرهای نسل ششم

اضافه شدن حرکت مارپیچی یا اسپiral (spiral) برای این نوع سیستم‌ها، گام (pitch) قابل تعریف است.

### ۷-۳-۴۵-۱۱ اسکنرهای نسل هفتم

استفاده از آرایه‌های آشکارساز چندردیفی (Multi Detector Array) معروف به MDCT

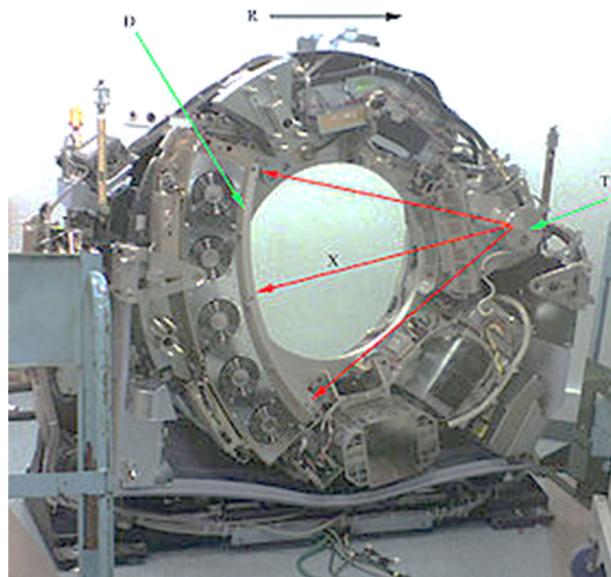
نمایی از داخل یک سی‌تی اسکن نسل هفتم.

T: منشا پرتو

R: جهت دوران

X: باریکه‌ی پهن پرتوها

D: آرایه آشکارسازها



شکل ۱۱-۵۳ نمایی از داخل یک سی‌تی اسکن نسل هفتم

امروزه پویشگرهای سی‌تی نسل هفتم بر اساس الگوی حرکتی سیستمهای نسل سوم کار می‌کنند، و سیستمهای نسل چهارم در واقع از رده خارج شدند. لذا منشا پرتوها و آشکارسازها هر دو حرکت دورانی دارند. همچنین با آمدن به بازار سی‌تی‌های نسل ششم و هفتم با آرایه  $64 \times 64$  برش، سیستمهای مقطع‌نگاری رایانه‌ای با پرتو الکترونی تقریباً از صحنه حذف شده‌اند، و امروزه بیشتر فقط برای پژوهش کاربرد دارند.

## \* آرتیفکت

آرتیفکت عبارت است از هر گونه ساختار، الگو یا اختلاف در عدد سی‌تی که در تصویر دیده شود؛ ولی غیرواقعی باشد (وجود خارجی نداشته باشد).

آرتیفکتها همیشه از کیفیت تصویر می‌کاهند و گاهی می‌توانند باعث تشخیص اشتباه (کاذب) شوند. بعضی از آرتیفکتها مانند آرتیفکت سخت‌شدگی پرتو (beam hardening) و partial volume، همواره در تصاویر سی‌تی اسکن دیده می‌شوند.

بعقیه آرتیفکتها در اثر محدودیتهای سخت‌افزاری بوجود می‌آیند مانند تشعشع خارج کانونی، تغییرات kVp، عدم پاسخ خطی آشکارساز و محدودیت در الگوریتم‌های بازسازی.

باید توجه داشت که هر چند بسیاری از آرتیفکت‌ها در اثر قوانین فیزیکی پایه و محدودیت‌های دستگاه بوجود می‌آیند، ولی می‌توان با استفاده از تکنیک‌های بالینی مناسب این آرتیفکت‌ها را کاهش داد همچنانی بعضی از آرتیفکت‌ها در نتیجه فرسودگی بعضی از قطعات دستگاه بوجود می‌آید که بایستی تعمیر شوند.

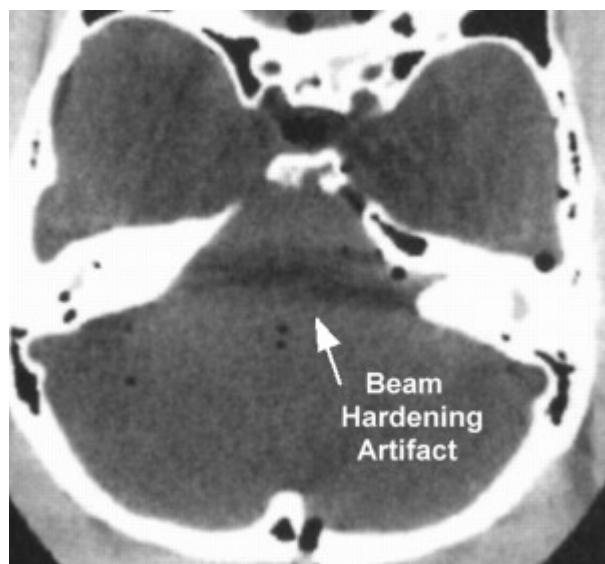
در دستگاه‌های امروزی آرتیفکت‌های ناشی از نقص و سایل ندرتاً دیده می‌شوند. علاوه براین، بعلت زمان اسکن کوتاه، آرتیفکت حرکتی بسیار کمتر از گذشته دیده می‌شوند.

## • انواع آرتیفکت در سی تی اسکن

### ۱- آرتیفکت سخت‌شدگی پرتو

در فرآیند بازسازی، فرض بر این است که از اشعه  $X$  تکرنگ استفاده می‌شود. اگر این فرض برقرار باشد، لگاریتم ضریب تضعیف اندازه‌گیری شده با ضخامت بافت رابطه خطی خواهد داشت. متأسفانه در عمل، پرتوهای  $X$  که استفاده می‌شوند، پلی‌کروماتیک بوده و دارای طیف وسیعی از انرژی‌های متفاوت‌اند. پرتوهای  $X$  با انرژی کمتر، بیشتر جذب می‌شوند بنابراین، در حین عبور از مواد جاذب، نسبت فوتون‌های با انرژی بالاتر افزایش خواهد یافت؛ در نتیجه، انرژی متوسط دسته پرتوی  $X$  زیاد می‌شود که در این حالت، میزان تضعیف اندازه‌گیری شده، رابطه خطی با ضخامت بافت نخواهد داشت. نتیجه نهایی این است که تضعیف، از مقدار واقعی آن کمتر برآورد می‌شود.

در الگوریتم بازسازی، روش تصحیح خطاهای بوجود آمده در اثر سخت‌شدگی پرتو پیش‌بینی شده است اما این روش‌ها حد در صد دقیق نیستند و این آرتیفکت‌ها ممکن است بوجود آیند. در اسکن از ناحیه سر، گاهی این آرتیفکت بصورت آرتیفکت فنجانی شکل مشاهده می‌شود.

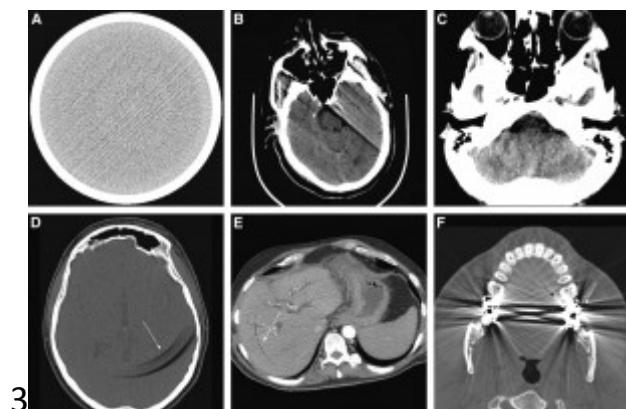


شکل ۱۱-۵۴-سخت شدگی پرتو

## ۲- آرتیفکت حرکتی

حرکت بیمار یا احساسی که حرکات غیر ارادی دارند، اثر مخربی بر تصویر دارند. بهمین دلیل است که برای تصویربرداری از نواحی مانند قلب، به دستگاه‌های سی‌تی اسکن بسیار سریع نیاز است. چون شکل حرکت بیمار غیرقابل پیش‌بینی است، نمی‌توان در الگوریتم بازسازی جایی را برای تصحیح اطلاعات غلط بدست‌آمده ناشی از حرکت بیمار در نظر گرفت. بنابراین تنها راه مقابله با آن، به حداقل رساندن حرکات (مانند حبس کردن نفس) و کاهش زمان اسکن می‌باشد.

دو نوع حرکت بیمار آرتیفکت‌ها را ایجاد می‌کند. یکی حرکت دورانی و دیگری عقب به جلو. آرتیفکت‌های ناشی از حرکت دورانی اثر ناگوارتری دارند.



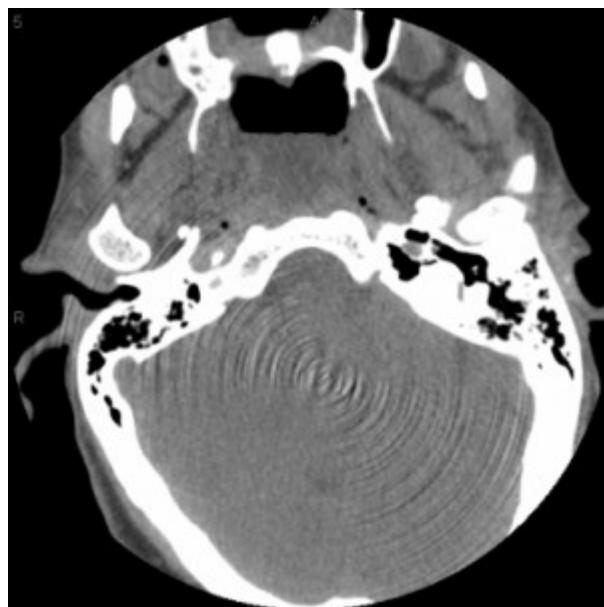
شکل ۱۱-۵۵ آرتیفکت حرکتی

### ۳- آرتیفکت مخطط

هنگامی که یک جسم با دانسیته بالا شدت اشعه را به شدت کاهش دهد، ممکن است آشکارساز هیچ سیگنالی را تولید نکند. از طرفی، یک فرض در دستگاه سی‌تی‌اسکن این است که هر آشکارساز در هر موقعیت، مقداری اشعه را دریافت خواهد کرد. بنابراین هنگامی که آشکارساز، سیگنال تولید نکند، در بازاری تصویر اشتباه رخ می‌دهد و در نتیجه آن، خطوطی روی تصویر پدیدار خواهد گشت.

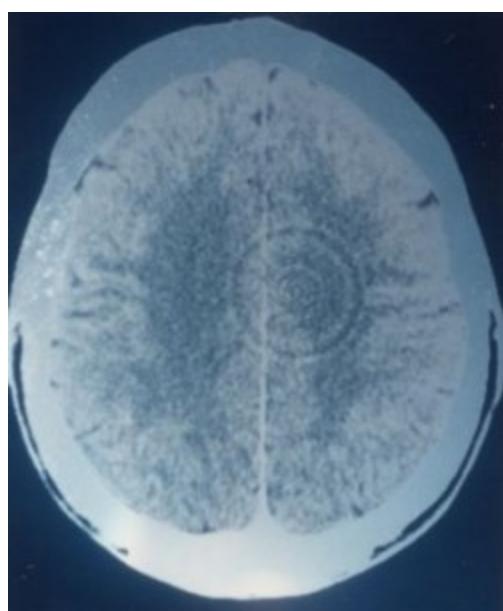
### ۴- آرتیفکت حلقوی

این نوع آرتیفکتها ناشی از تنظیم نبودن (یا نقص) یک یا چند آشکارساز در نسل سوم می‌باشد. هنگامی که آشکارساز تنظیم نباشد یا نقص داشته باشد، اطلاعاتی که به کامپیوتر می‌دهد نیز ناقص خواهد بود. از طرفی چون آشکارساز و تیوب دور بیمار می‌چرخند، اطلاعات مربوط به نقاط خاصی از بدن که روی دایره‌هایی هم مرکز قرار گرفته‌اند، ناقص ضبط خواهد شد که منجر به آرتیفکتها می‌شوند. با پیشرفت تکنولوژی سی‌تی‌اسکن، این نوع آرتیفکت عملاً در دستگاه‌های کنونی حذف شده است.



شکل ۵۶-۱۱ آرتیفکت حلقوی

یکی از عیوب عمده دستگاه‌های سی‌تی اسکن نسل سوم، احتمال بوجود آمدن آرتیفکت‌های حلقوی می‌باشد. این آرتیفکت زمانی بوجود می‌آید که یک یا چند آشکارساز معیوب باشند.



شکل ۵۷-۱۱ آرتیفکت حلقوی

در دستگاه‌های سی‌تی اسکن نسل چهارم، در صورتی که یک یا چند آشکارساز معیوب باشند، آرتیفکت حلقوی بوجود نمی‌آید، زیرا تعداد آشکارسازها زیاد است و هنگام اسکن، فقط تعدادی از آشکارسازها فعال هستند (در نسل سوم، در هر لحظه تمام آشکارسازها در حال کار هستند)

## ۵- آرتیفکت بخشی - حجمی

این آرتیفکت مربوط به اشیائی با دانسیته بالا است که بطور پارشیال به داخل مقطع اسکن برجسته می شوند. چون این شیء تنها بطور ناقص در مسیر اشعه قرار می گیرد، دانسیته آن پایین تر از حد واقعی آن نمایش داده می شود.

وقتی که دو یا چند شیء بطور پارشیال بداخل مقطع اسکن برجسته شوند، ایجاد آرتیفکت خطی streak می شوند که بعلت آن است که خطای اندازه گیری nonlinear است. اگر یک شیء باشد، خطای اندازه گیری در تمام مقطع یکسان دیده می شود. وقتی که دو یا چند شیء باشند، منجر به خطاهایی می شود که از نظر نمایشی بطور قابل توجه ای متغیر است. بصورت شعاع هایی است که از این اشیاء عبور می کند، دیده می شود. این اطلاعات غیریکنواخت ایجاد streak artifacts می کنند. این وضعیت بویژه در اسکن های مغز و در کف جمجمه دیده می شود که حاوی استخوان های کوچک زیادی از استخوان های صورت و تمپورال است. شدت این آرتیفکت را می توان با کاهش تعداد ساختمان های استخوانی که بطور پارشیال در مقطع اسکن دیده می شوند، کاهش داد. بنابراین، این آرتیفکت ها را می توان با مقاطع نازک کاهش داد؛ اما نمی توان آنها را حذف کرد. گاهی اوقات زاویه دادن به گانتری در این زمینه کمک کننده می باشد.

**مزایا:**

- برخلاف روش های تصویرگیری دیگر در سی تی جزیيات بیشتر از بافت هایی مانند ریه ها، استخوان ها، بافت نرم و رگ های خونی دیده می شود.
- سی تی بدون درد ، تهاجمی و دقیق است.
- آزمون سی تی سریع و آسان است و در موارد آسیب دیدگی ها، ضایعات داخلی و خونریزی ها را به سرعت آشکار می کند تا نجات جان بیمار آسان تر شود.
- سی تی نیاز به روش های تهاجمی مانند جراحی و نمونه برداری را کاهش می دهد.
- سی تی، نرمال و یا غیر نرمال بودن ساختارهای بدن را تشخیص می دهد و یک راهنمای دقیق برای رادیوتراپی، بیوپسی و دیگر روش های تهاجمی است.

- سی تی ، ابزاری ارزشمند برای طیف وسیعی از مشکلات بالینی است.

### خطرات:

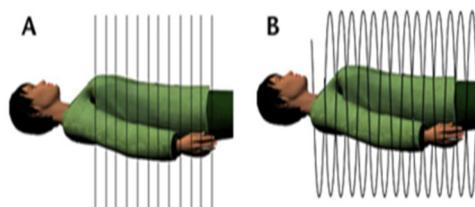
- در سی تی نیز مانند X-Ray از پرتو اشعه X استفاده می شود ، اما منافع تشخیص آن به مراتب بیشتر از زیان آن است. پرتوهای موثر در این آزمون در حد ۱۰ mSv است. که میانگین دریافت پرتوهای پراکنده در مدت سه سال است.
- زنان در صورت احتمال بارداری حتما باید پزشک یا تکنولوژیست را با خبر سازند.
- مادران شیرده باید تا ۲۴ ساعت پس از تزریق ماده کنتراست به فرزند خود شیر ندهند.
- عکس العمل های بدن به ماده کنتراست ید دار و خطرهای الرژیک جدی بسیار نادر است و بخش رادیولوژی به داروهای اورژانس مجهر می باشد و به این موارد سریعاً رسیدگی خواهد شد.

## ۱۱-۴۹-۱۱ انواع اسکن در سی تی اسکن های امروزی

**۱-۴۹-۱۱ پایلوت اسکن:** در این نوع اسکن گنتری دوران نمی کند و مجموعه تیوب و آشکارساز به طور ثابت در زاویه‌ای که کاربر تعیین کرده است، می‌ایستد و تنها تخت است که در تمام مدت اشعه دهی حرکت می‌کند تصویر به دست آمده، مشابه تصویر رادیولوژی است، چون تنها شمایی از بدن از یک جهت مشاهده می‌شود. تصاویر این نوع اسکن چندان جنبه تشخیصی ندارند. و تنها به کاربر کمک می‌کنند که به سیستم، محل موردنظری که باید توپوگرافی شود را اعلام کند.

**۲-۴۹-۱۱ اسکن محوری:** در تصویربرداری محوری تخت حرکتی ندارد و گنتری به دور ناحیه موردنظر یک دوران کامل کرده و از آن ناحیه یک تصویر تولید می‌کند. سپس تخت به طور اتوماتیک حرکت کرده و عملیات تصویربرداری محوری تکرار می‌شود تا تصاویر از برش‌های مختلف بدن به دست آید.

**۱۱-۴۹-۳ اسکن مارپیچی:** در این نوع اسکن تخت و گنتری به طور همزمان در اسکن حرکت می کنند تا تیوب و آشکارساز به صورت مارپیچی دور بیمار بچرخند. این روش تصویربرداری تنها در سی تی اسکن های اسپیرال امکان پذیر است.



شکل ۱۱-۵۸: اسکن محوری A: اسکن چرخشی B: اسکن محوری

## MRI ۱۱-۵۰

بدن انسان مانند تمام مواد دیگر از میلیون ها اتم ساخته شده است. هسته هر اتم به تنهایی همانند یک مغناطیس کوچک عمل می کند. در هسته هر اتم پروتون ها، به صورت زوج دارای اسپین های مخالف بوده و لذا خاصیت مغناطیسی یکدیگر را خنثی می کنند. لذا هسته هایی که دارای پروتون با تعداد فرد هستند، دارای اسپین یا ممتوTom زاویه در جهت خاص هستند. همچنین اتم هیدروژن تنها دارای یک پروتون بوده و دارای ممان مغناطیسی بزرگ می باشد؛ بنابراین وقتی اتم هیدروژن در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، اسپین های آن تمایل زیادی به هم جهت شدن با میدان مغناطیسی دارند. در اثر قرار گرفتن اتم هیدروژن در میدان مغناطیسی، آن علاوه بر حرکت چرخشی به دور خود می تواند تحت شرایط خاص، دارای حرکت گردش به دور محور میدان مغناطیسی B نیز بشوند. فرکанс گردش پروتون به دور محور B را فرکанс لارمور می گویند. برای اینکه پروتون ها با فرکанс لارمور شروع به گردش دور محور میدان مغناطیسی کنند، لازم است یک پالس (FREQUENCY RADIO) با فرکانسی دقیقاً برابر با فرکанс لارمور به آن تابیده می شود. در دستگاه MRI پالس RF دقیقاً به بخشی از بافت مورد نظر که قرار است تصویربرداری شود، ارسال می شود. این پالس باعث می شود پروتون های اتم هیدروژن آن ناحیه پس از جذب انرژی شروع به گردش دور محور میدان مغناطیسی با فرکанс لارمور کنند. وقتی که پالس RF قطع شد، پروتون های اتم هیدروژن شروع به برگشتند به حالت اولیه کرده و انرژی ذخیره شده در خود را با یک ثابت زمانی مشخص آزاد می کنند. به محض

انجام این کار، سیگنالی از آن‌ها ساطع می‌شود که این سیگنال ثبت شده و پس از تقویت و دیجیتال شدن برای پردازش به کامپیوتر ارسال می‌شود سپس با گرفتن تبدیل فوریه از سیگنال‌های دریافتی، دامنه آن در فرکانس‌های مختلف آشکارشده و پس از انجام پردازش این مقادیر به تصویر MRI تبدیل می‌شوند. مقدار انرژی که توسط پروتون‌های بافت هدف جذب می‌شود وابسته به شدت و مدت زمان موج RF متفاوت است. همچنین مقدار و مدت زمانی که از پروتون‌های بافت هدف انرژی آزاد می‌شود بستگی به ترکیبات شیمیایی و مواد اطراف آن دارد؛ بنابراین تصویر به دست آمده از هر بافت با بافت دیگر متفاوت خواهد بود.



شکل ۱۱-۵۹- دستگاه MRI

ام‌آر‌آی یا روش تصویربرداری با تشدید مغناطیس (Magnetic Resonance Imaging) یکی از روش‌های پیشرفته تصویربرداری پزشکی است.

## ۱۱-۵۰-۱- اجزای دستگاه MRI

### ۱۱-۵۰-۱-۱- مغناطیس آهنربا

### ۱۱-۵۰-۱-۲- سیم‌پیچ‌های فرکانس رادیویی

در میدان مغناطیسی ثابت نیاز به یک پالس RF برابر با فرکانس لارمور اتم هیدروژن است که در پروتون‌های آن ایجاد برانگیختگی کند. همچنین یک گیرنده RF نیز برای آشکارسازی سیگنال‌های پالس برگشتی از بدن بیمار لازم است. سیم‌پیچ‌های RF برای تولید فرکانس رادیویی، از دستگاه انتقال‌دهنده جریان که انرژی خود را به صورت ناگهانی آزاد می‌کند، پالس تحریکی دریافت می‌کنند.

سیگنال برگشتی از بدن بیمار نیز در سیم پیچ‌های RF پالس میکرو ولت کوچکی القاء می‌کند که سپس تقویت شده و به صورت دیجیتال تبدیل می‌شود و برای ارائه به کامپیوتر آماده می‌شود.

### ۱۱-۵۰-۳ سیم پیچ‌های گرادیان

علاوه بر میدان‌های مغناطیسی یکنواخت در MRI میدان‌های متغیر دیگری به نام گرادیان نیز وجود دارند. این سیم‌پیچ‌ها معمولاً الکترومگنت‌های مقاومتی هستند که توسط تقویت‌کننده‌هایی با قابلیت تنظیم دقیق و سریع جهت و اندازه میدان تغذیه می‌شوند. درواقع آن‌ها جهت میدان مغناطیسی اصلی را دریک سطح محلی تغییر می‌دهند. و این گرادیان است که صفحه تصویربرداری را تعیین می‌کنند. سرعت اسکن به عملکرد سیستم گرادیان وابسته است به طوری که گرادیان‌های قوی‌تر دارای سرعت تصویربرداری بیشتری هستند.

### ۱۱-۵۰-۴ کنسول اپراتور

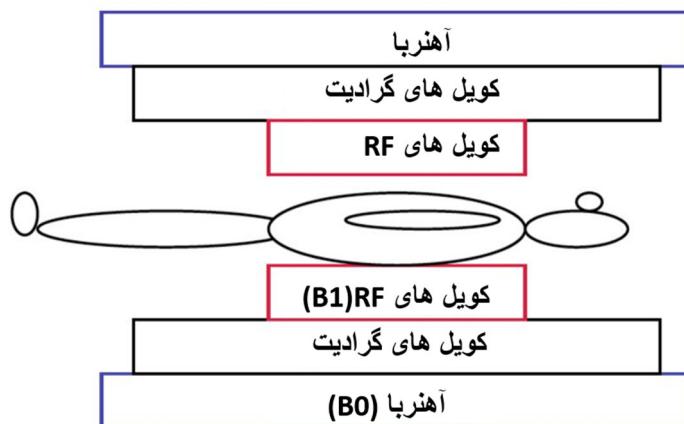
کلیه مدارات مربوط به پردازش داده و تبدیل آن به تصویر قابل فهم توسط کاربر در این بخش قرارداد. علاوه بر این کنترل کل سیستم MRI و نیز تنظیم تمام فرمان‌هایی که توسط کاربر تعیین می‌شود در این بخش انجام می‌شود.

### ۱۱-۵۰-۵ تخت بیمار

در دستگاه MRI برخلاف سی‌تی اسکن نیازی به حرکت دادن تخت بیمار حین اسکن نیست. وظیفه تخت فراهم کردن شرایط مناسب برای بیمار حین تصویربرداری می‌باشد به‌نحوی که بیمار حین عملیات حرکتی نداشته باشد.

### ۶-۱-۵۰-۱۱ نمایشگرهای تصویر

پس از اینکه سیگنال‌های RF توسط کامپیوتر دریافت و پردازش شدند نیاز به نمایش تصاویر بازسازی شده به کاربرمی باشد. این کار توسط نمایشگرهای مختلفی که در اختیار کاربر در اتاق جداگانه‌ای قرار داده شده‌اند انجام می‌شود.



شکل ۱۱-۶۰-۱۱- اجزاء دستگاه MRI

### ۱-۵۰-۱۱-۲ مراحل تصویربرداری به روشن

۱. قسمت موردنظر از بدن بیمار در یک میدان مغناطیسی ثابت و قوی قرار می‌گیرد.
۲. یک سری میدان‌های مغناطیسی متغیر با شدت کم به بیمار اعمال می‌شوند.
۳. در همان حال یک دسته امواج رادیویی با طول موج معین، به صورت پالس تابیده می‌شود.
۴. پس از هر پالس امواج رادیویی، از بدن بیمار سیگنال‌های الکترونیکی دریافت می‌گردد.
۵. این علائم توسط کامپیوتر پردازش شده و به صورت تصویر درروی صفحه نمایش ظاهر می‌شود.

### ۱-۵۰-۱۱-۳ مزایای تکنیک MRI نسبت به سایر روش‌های تصویرنگاری

۱. هیچ آمادگی قبلی خاصی، مثل تزریق ماده حاجب و... برای بیمار ضروری نیست. به کمک این سیستم، نه تنها آناتومی عضو موردنظر، بلکه بیوشیمی و فیزیولوژی آنها را نیز می‌توان بررسی کرد.

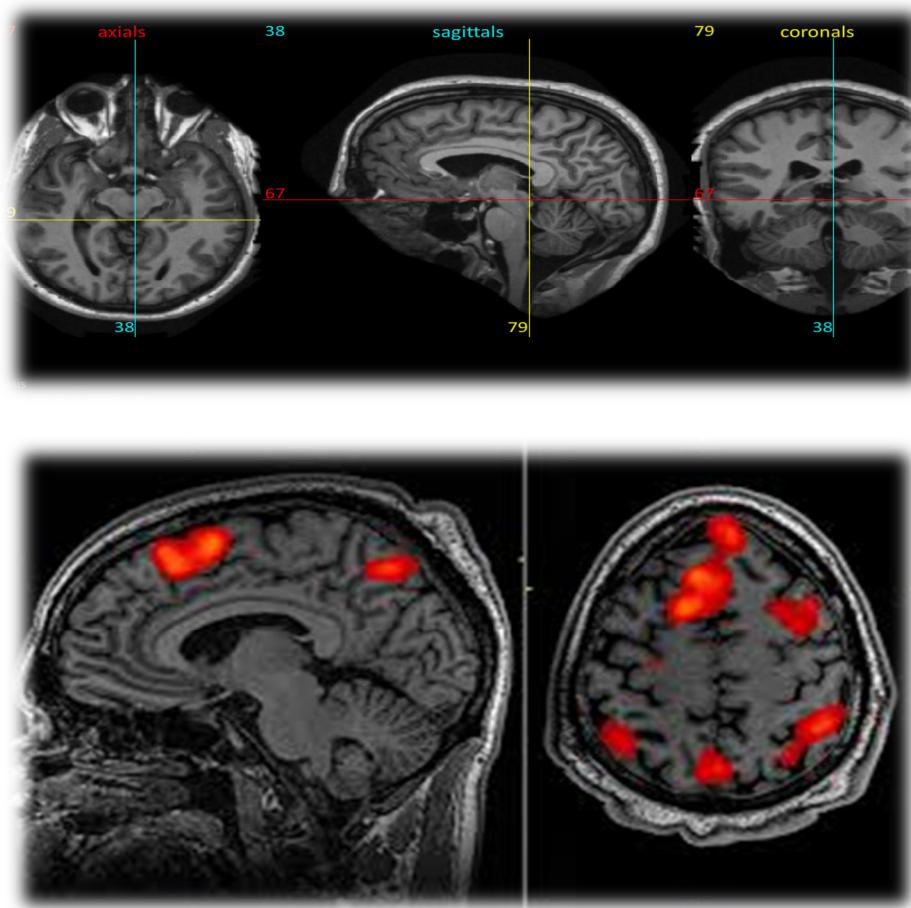
۲. به کمک این روش علاوه بر مقاطع عرضی می‌توان مقاطع Coronal، Sagittal و Axial را هر ناحیه موردنظر تهیه کرد.

۳. این تکنیک خطرات ناشی از اشعه X را به همراه ندارد.

۴. این سیستم ابعاد حقيقی عضو را در اختیار ما می‌گذارد

## Functional Magnetic Resonance Imaging ۵۱-۱۱

در این روش تصاویری متناوب از مغز در حال فعالیت و سپس در حال استراحت گرفته می‌شود و از یکدیگر به طور دیجیتالی به کمک نرم‌افزارهایی همانند FSL تفرق می‌گردند که حاصل این پردازش عملکرد مغزی در اثر تغییرات جریان خونی در مغز را از لحاظ فیزیولوژیکی نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۶- تصاویر متناوب مغز بخش‌های قرمز مرکز در حال فعالیت

## ۵۲-۱۱ تصویربرداری توموگرافیک به کمک پزشکی هسته‌ای (مواد رادیواکتیو)

۱. پت اسکن ۲. اسپکت اسکن



شکل ۶۲-۱۱- دستگاه تصویربرداری توموگرافیک

## ۵۳-۱۱ کاربرد ماده رادیواکتیو

تشخیص: تشعشعات حاصل از ماده رادیواکتیو باعث مرگ سلولی نشود. تشعشعات عبوری از بافت هدف بیشتر از مقدار جذب شده توسط آن باشد درمان: تشعشعات حاصل از ماده رادیواکتیو باعث آسیب به DNA و مرگ سلولی شود. جذب تشعشعات رادیواکتیو توسط بافت هدف بیشتر از عبور آنها از بافت باشد.

## PET ۵۴-۱۱

ابتدا ماده رادیواکتیو توسط سیکلوترون تولید می‌شود. سیکلوترون نوعی شتابدهنده است که انرژی جنبشی ذرات را بالابرده و مواد بالانرژی بالا تولید می‌کند. رادیو ایزوتوپ‌های مورداد استفاده در این روش عبارت‌اند از  $\text{F}^{18}$ ,  $\text{N}^{13}$ ,  $\text{C}^{11}$ ,  $\text{O}^{15}$ ,  $\text{S}^{35}$ . این رادیو ایزوتوپ‌ها توسط مواد شیمیایی مثل گلوکز که به‌طور طبیعی در بدن وجود دارند نشان‌دار می‌شوند. اکثر اوقات این رادیو ایزوتوپ نشان‌دار شده ( $\text{FDG}$ ) است. دلیل استفاده از گلوکز تشخیص نقاط با متابولیسم بالاست. زیرا این نقاط گلوکز را جذب می‌کنند. این رادیو ایزوتوپ‌های نشان‌دار شده وارد بدن می‌شوند از خود پوزیترون (ذره‌ای هم جرم با الکترون ولی با بار مثبت) آزاد می‌کنند. پوزیترون با الکترون‌های موجود در بدن برخورد می‌کند و حاصل این برخورد آزاد شدن دو

پرتوی گاما در دو جهت مخالف با زاویه ۱۸۰ درجه است. در دیواره‌ی دستگاه پت تعداد زیادی کریستال‌های آشکارساز ۸۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ وجود دارد که درواقع فوتون‌های انرژی را به سیگنال‌های الکترونیکی تبدیل می‌کنند و روش آشکارسازی در این دستگاه به صورت انطباقی است. دو آشکارساز در مقابل هم با زاویه ۱۸۰ درجه قرار دارند و زمانی تصویر ایجاد می‌شود که پرتوی گسیل شده به طور همزمان توسط هر دو آشکارساز مقابله هم دریافت گردد. تعداد این آشکارساز در کیفیت تصویر مؤثر است.

### ۱-۵۴-۱۱ کاربرد PET در سرطان

در بیشتر بیماری‌ها قبل از این‌که تغییرات آناتومیک در محل رخ دهد تغییرات متابولیک ایجاد می‌شود و ما به کمک پت اسکن می‌توانیم بیماری را در مراحل اولیه تشخیص دهیم و پیشگیری کنیم در حالی‌که به کمک روش‌های دیگر تصویربرداری امکان تشخیص توده در مراحل اولیه وجود ندارد.

از دیگر موارد می‌توان به رصد تومور بعد از عمل جراحی اشاره کرد گاهی اوقات پس از جراحی مشاهده می‌شود تومور دوباره پیش روی کرده است این اتفاق به این دلیل رخ می‌دهد که جراح به کمک تصویربرداری‌های ام‌آرآی و سی‌تی اسکن تنها توده را خارج می‌کند در حالی‌که می‌توان به کمک پت اسکن جهت و شرایط پیشروی تومور را مشخص کرد و دقت جراحی و میزان موثر بودن آن را افزایش داد. پت اسکن برای پی بردن به صحت و میزان اثرگذاری روش‌های درمانی مثل رادیوتراپی و شیمی‌درمانی نیز بسیار موثر است. (کاهش متابولیسم در بافت سرطانی نشان‌دهنده موثر بودن روش است).

### ۲-۵۴-۱۱ کاربرد PET در نورولوژی

به دلیل کاهش متابولیسم در بخش‌هایی از مغز در مراحل اولیه بیماری، پت اسکن قادر است چندین سال قبل از این‌که پزشکی بتواند توسط روش‌های مرسوم بیماری فراموشی را تشخیص دهد؛ نارسایی‌هایی را که شاخص این بیماری است نشان دهد. پت اسکن بیماری پارکینسون را نیز بهتر از بقیه دستگاه‌های تصویربرداری نشان می‌دهد. در کانون‌های حمله‌ای صرع در مغز کودکان متابولیسم

گلوكز کاهش می‌یابد فقط در تصاویر پت اسکن می‌توان تغییرات متابولیسم را مشاهده نمود. جراح مغز فقط با کمک تصاویر پت اسکن می‌تواند محل دقیق کانون‌های حمله صرع در مغز را مشخص نموده و برای خارج نمودن آن‌ها و مداوای بیمار اقدام نماید.

### ۱۱-۵۴-۳ کاربرد PET در کاردیولوژی

با استفاده از سیستم پت اسکن می‌توان جریان خون و متابولیسم ماهیچه قلب را بررسی نمود. پت اسکن دقیق‌ترین سیستم برای تشخیص وجود و یا عدم وجود بیماری کرنر می‌باشد و در عین حال با مطالعه متابولیسم ماهیچه قلب می‌توان به زندگوبودن بافت پی برد. چه بسیار بیمارانی که بخشی از بافت ماهیچه قلب آن‌ها مرده است و عمل بای پس و خونرسانی به آن موضع هیچ‌گونه منافعی برای بیمار ندارد و چنانچه متابولیسم ماهیچه قلب این بیماران قبل از عمل جراحی توسط سیستم پت اسکن بررسی شود می‌توان از یک عمل جراحی عمده که در کنار مخاطرات باعث رنجش بیمار و نیز صرف هزینه‌های بی‌مورد می‌شود جلوگیری نمود.

### ۱۱-۵۴-۴ مزیت دستگاه پت اسکن نسبت به سی‌تی اسکن و ام‌آرآی

پت اسکن سیگنال‌های متابولیسمی و میزان متابولیسم در بدن را معین می‌کند که این توانایی برای تشخیص تومورهای سرطانی که نسبت به سلول‌های سالم متابولیسم بیشتری دارند بسیار مفید است اما سی‌تی اسکن و ام‌آرآی جزئیات آناتومیک بدن را نشان می‌دهند و در واقع برای تشخیص تومور قبل از پیشروی کامل پت اسکن روش مناسب‌تری است. پت اسکن در ایران در ۲ بیمارستان مسیح دانشوری و شریعتی انجام می‌شود.

### ۱۱-۵۵ ترکیب CT / PET (تصویربرداری PET و CT)

ترکیب پیشنهاد ترکیب پت و سی‌تی اسکن در سال ۱۹۹۱ مطرح شد و از سال ۲۰۰۶ این دستگاه‌ها جایگزین دستگاه پت شدند. در این دستگاه بیمار ابتدا از میان اسکنر سی‌تی رد می‌شود و سپس وارد اسکنر پت می‌شود. در واقع اطلاعات سی‌تی به پت اضافه می‌شود در این مورد کافی است کیفیت

تصاویر سی تی اسکن در حدی باشد که ساختار مورفولوژیک را مشخص کند به همین دلیل یک سی تی اسکن با دز پایین بدون نیاز به ماده حاجب گرفته می شود. اما گاهی ممکن است سی تی اسکن برای دست یابی به اطلاعات تشخیصی و دقت مناسب جدا از پت انجام شود که در این صورت با دوز کامل و ماده حاجب تصویربرداری صورت می گیرد.

## Single photon emission computed tomography ۵۶-۱۱

کار دستگاه: رادیو ایزوتوپ‌ها (تکتنيوم-۹۹) را وارد بدن بیمار می‌کنند و سپس اشعه‌ی گاما از بدن بیمار ساطع می‌شود برای آشکارسازی این اشعه‌های گاما دوربین گاما در دستگاه تعییشده است که این دوربین گاما ممکن است دارای دو سر (با گردش ۱۸۰ درجه) یا سه سر (با گردش ۱۲۰ درجه) باشد. فوتون‌های آزادشده از بافت ابتدا از موازی‌ساز عبور می‌کند این موازی‌ساز امواج گاما، از یک صفحه ضخیم از جنس سرب به ضخامت حدود ۱ الی ۳ اینچ تشکیل شده است که صدھا سوراخ بر روی خود دارد و کار آن حذف اشعه‌هایی است که پراکندگی دارند و در جهت موردنظر نیستند. فوتون‌ها پس از عبور از موازی‌ساز در کریستال‌های به کار رفته در دستگاه ایجاد فلش نوری می‌کنند. فوتون‌های آزادشده از طریق فیبرهای نوری به تکثیرکننده نوری می‌رسند در تکثیرکننده‌های نور، فوتون‌ها در ورودی الکترون آزاد می‌نمایند. الکترون‌های آزادشده در یک میدان الکتریکی شتاب گرفته و انرژی آن‌ها افزایش می‌یابد. الکترون‌ها در اثر برخورد با (فوتو کاتد) که به کمک آن‌ها میدان الکتریکی ایجاد گشته است، تعداد بیشتری الکترون آزاد می‌نمایند و این روند چندین بار تکرار می‌گردد تا سطح انرژی الکترون‌ها به حد مطلوبی برسد. درنهایت پتانسیل‌های اندازه‌گیری شده، توسط تقویت‌کننده‌های با نویز کم، تقویت شده و درنهایت ثبت می‌گردند.

## ۱۱-۵۷ مقایسه دو روش پت اسکن و اسپکت اسکن

**۱۱-۵۷-۱ اسپکت اسکن:** رادیو ایزوتوپ‌ها اشعه گاما در بدن آزاد می‌کنند رادیو ایزوتوپ‌های استفاده شده نیمه عمر طولانی‌تری دارند (در حدود ۶ ساعت) و مدت بیشتری در بدن باقی می‌مانند. از لحاظ هزینه نسبت به پت اسکن ارزان‌تر هست.

**۱۱-۵۷-۲ پت اسکن:** رادیو ایزوتوب‌ها پوزیترون در بدن آزاد می‌کنند. رادیو ایزوتوب‌های

استفاده شده نسبت به روش اسپکت نیمه عمر کوتاهتری دارند. تغییرات متابولیک بافت را نشان می‌دهد در حالی که اسپکت تنها تغییرات فیزیولوژیک را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های مشترک هر دو روش: تهیهٔ تصویر ۳ بعدی، استفاده از مواد رادیواکتیو برای تصویربرداری و هر دو روش هستند

**۱۱-۵۸ رادیوتراپی**

رادیوتراپی یک روش درمان سرطان است که دز مشخصی از پرتوهای پرانرژی برای آسیب به سلول‌های سرطانی و توقف رشد و تقسیم آن‌ها مورداً استفاده قرار می‌گیرد. رادیوتراپی گاهی برای درمان و گاهی برای تسکین (کاهش اندازه تومور و کاهش علائم سرطان به همراه افزایش طول عمر) به تنها یی یا همراه با روش‌های درمانی دیگر نظیر شیمی‌درمانی مورداً استفاده قرار می‌گیرد. رادیوتراپی قبل از عمل جراحی برای کاهش اندازه تومور و پس از عمل جراحی برای از بین بردن بقایای تومور روش مؤثری است.

**۱۱-۵۹ انواع رادیوتراپی****۱۱-۵۹-۱ انواع رادیوتراپی خارجی**

تابش از خارج بدن و طی جلسات متعدد صورت می‌گیرد.

**۱۱-۵۹-۱-۱ رادیوتراپی حین عمل جراحی:** معمولاً پس از عمل جراحی و برداشتن تمام یا بخشی از تومور برای از بین بردن بقایای بافت تومورال از رادیوتراپی با دز بالا استفاده می‌شود و بافت‌های اطراف توسط پوشش‌های مخصوص حفاظت می‌شوند.

**۱۱-۵۹-۲-۲ رادیوتراپی تطبیقی ۳ بعدی:** در این روش هدف‌گیری دقیق به کمک کامپیوتر و عکس‌برداری‌های ۳ بعدی مثل ام آر آی و سی‌تی‌اسکن و پت اسکن صورت می‌گیرد و درواقع طراحی درمان دقیقی دارد.

**۱۱-۵۹-۳-۳ رادیوتراپی سنجش میزان:** یک نوع رادیوتراپی تطبیقی ۳ بعدی جدید است که معمولاً پرتوهای X را با شدت‌های متفاوت به محل تومور می‌تاباند. درواقع این تکنولوژی دزهای بالا را به تومور و دزهای کمتر را به بافت‌های سالم می‌رساند.

## ۱۱-۵۹-۲-۲ انواع رادیوتراپی داخلی

تابش از داخل بدن در یک مرحله یا تعداد دفعات محدود صورت می‌گیرد. روش درمان می‌تواند بسته به نوع تومور، محل آن، میزان گستردگی آن و سلامت عمومی بیمار متفاوت باشد. در این روش منبع تشعشع که در یک پوشش نگهدارنده کوچک پیچیده شده است در داخل تومور و یا بسیار نزدیک به آن قرار می‌گیرد در رادیوتراپی داخلی ممکن است بیمار نیاز به بستری داشته باشد.

رادیوتراپی داخلی معمولاً به یکی از روش‌های زیر انجام می‌شود:

**۱۱-۵۹-۱-۲ رادیوتراپی داخل نسجی:** در این روش ماده رادیواکتیو در داخل بافت یا نزدیک محل تومور قرار می‌گیرد.

**۱۱-۵۹-۲-۲ رادیوتراپی داخل حفره‌ای:** در این روش ماده رادیواکتیو مستقیماً در داخل تومور قرار می‌گیرد.

**۳-۲-۵۹-۱۱ رادیوتراپی سیستمیک:** یک نوع دیگر رادیوتراپی نیز وجود دارد به نام رادیوتراپی سیستمیک که در این روش مواد رادیواکتیو به صورت مایع هستند که به صورت نوشیدنی یا تزریقی وارد بدن بیمار می شوند و وظیفه درمانی خود را انجام می دهند.

## ۶۰-۱۱ دستگاه‌های منابع انرژی در رادیوتراپی خارجی

### ۱-۶۰-۱۱ دستگاه‌های درمان سطحی

این دستگاه‌ها با ولتاژ ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوولت پرتوی ایکس تولید می‌کنند و از فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری برای درمان تومورهای با عمق ۵ میلی‌متر استفاده می‌شوند.

### ۲-۶۰-۱۱ دستگاه‌های درمان نیمه عمقی

با ولتاژ ۳۰۰ کیلوولت در فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متری از پوست اشعه ایکس را می‌تابانند و محدودیت آن‌ها افزایش دز پوست است و تومورهای با عمق بیش از ۲ سانتی‌متر دز کافی دریافت نمی‌کنند.

### ۳-۶۰-۱۱ دستگاه‌های کبالت تراپی

در این دستگاه‌ها به جای استفاده از پرتوی ایکس از اشعه‌ی گاما کبالت ۶۰ استفاده می‌شود.

### ۴-۶۰-۱۱ دستگاه‌های شتاب‌دهنده خطی

این دستگاه‌ها ذرات الکترونی را توسط امواج رادیویی در مسیر مستقیم شتاب می‌دهند و با خروج پرتوهای الکترونی در یک مسیر مستقیم برای درمان تومورهای سطحی مثل سرطان پوست استفاده می‌شوند.

### ۵-۶۰-۱۱ سیکلotronها

نوعی شتاب‌دهنده هستند که علاوه بر تولید رادیوایزوتوپ‌های پوزیترون دهنده قادر به تولید پرتوهای پرانرژی نوترون و پروتون هستند که برای از بین بردن تومورها با حداقل آسیب به بافت‌های سالم استفاده می‌شوند.

## ۶۱-۱۱ مراحل انجام رادیوتراپی

### ۶۱-۱۱-۱ شبیه‌سازی

قبل از شروع درمان باید شبیه‌سازی برای هر بیمار به صورت دقیق و منحصر به فرد انجام شود که این کار به کمک دستگاه‌های شبیه‌ساز و تصویربرداری‌های سه‌بعدی مثل سی‌تی‌اسکن صورت می‌گیرد. باید حتی نحوه قرارگیری بیمار روی تخت قبل از درمان مشخص باشد و علامت‌گذاری بدن فرد به شکل کاملاً دقیقی صورت بگیرد.

### ۶۱-۱۱-۲ طراحی درمان

در هر بیمار طراحی درمان برای محافظت بافت‌های سالم اطراف توده تا حد امکان انجام می‌شود و هر بیمار طرح درمان مخصوص به خود را دارد و به دلیل تنوع روش‌های پرتودهی طراحی درمان یک گام اولیه و اساسی محسوب می‌شود.

در این مرحله گروه رادیوتراپی میزان دز لازم (دزیمتری) و نوع پرتوى دریافتی و طول مدت درمان را تعیین می‌کند و برای تعیین این موارد مراکز رادیوتراپی از نرم‌افزارهای طراحی سه‌بعدی نیز استفاده می‌کنند.

### ۶۱-۱۱-۳ فیکساسیون و انتقال دز

برای انجام پرتودرمانی در صورتی که تیم رادیوگرافی تشخیص دهد امکان حرکت بیمار در حین رادیوتراپی وجود دارد از وسایل فیکس کننده عضو برای ثابت نگهداشتن آن استفاده می‌کند و درنهایت پلان طراحی شده در سیستم سه‌بعدی در ناحیه درمان پیاده می‌شود و دز تعیین شده به بدن فرد می‌رسد.

## ۶۲-۱۱ دستگاه گامانايف(رادیوسرجری)

در سال ۱۹۶۸ اولین بار در سوئد از عمل گامانايف برای درمان استفاده شد. گامانايف نوعی روش عمل مغز با اشعه گاما بدون نیاز به جراحی باز مغز است. این تکنولوژی پیشرفته امکان از بین بردن

تومور در قسمت‌های عمیق مغزی که امکان دسترسی به آن‌ها وجود ندارد را فراهم می‌کند . در این روش از یک منبع کالت  $^{60}\text{Co}$  برای تولید اشعه‌ی گاما استفاده می‌شود و هزاران پرتوی گاما به صورت مرکز به تومور تابانده می‌شود که اثر تخریبی بسیار کمی بر بافت‌های مجاور دارد. از این روش درمانی برای درمان تومورهای خوش‌خیم و بدخیم مغزی و ناهنجاری‌های عروق مغزی استفاده می‌شود.

عمل گامانايف در ایران تنها در مرکز گامانايف ایران انجام می‌شود.



شکل ۶۳-۱۱- دستگاه گامانايف

### ۶۳-۱۱ دستگاه سایبرنايف

سایبرنايف یک نوع ربات رادیوتراپ است ، که از سال ۲۰۰۹ برای درمان سرطان مورداستفاده قرار گرفته است . می‌توان گفت این دستگاه نوعی شتاب‌دهنده خطی است که روی بازوی رباتیک نصب شده است. این دستگاه تشعشعات مختلف با دز بالا را دقیقاً در محل هدف منتقل می‌کند و برای درمان تومورهایی که در محل‌های حساس مثل نخاع هستند بسیار مفید و مؤثر است.

یک تکنولوژی که در این دستگاه وجود دارد و سبب آسیب کم به بافت‌های اطراف می‌شود سیستم همگام‌سازی است ، که در این روش الیاف اپتیکی روی شکم فرد قرار می‌گیرد که حرکت شکم حین پرتودهی را مشخص می‌کند و یک الگوریتم کامپیوتری میزان حرکت شکم را محاسبه می‌کند و به بازوی رباتیک دستور می‌دهد که متناسب با حرکت شکم تغییر جهت دهد و به همین دلیل این دستگاه حتی امکان نابودی هدف‌های متحرک مثل سرطان ریه را فراهم می‌کند.



شکل ۱۱-۶۰- دستگاه سایبرنایف

## ۶۴-۱۱ مراجع

1. [www.medicalexpo.com](http://www.medicalexpo.com)
2. [www.iranoloped.ir](http://www.iranoloped.ir)
3. [www.radiologyinfo.org](http://www.radiologyinfo.org)
4. [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)
5. [www.healthline.com](http://www.healthline.com)
6. [www.medicalnewstoday.com](http://www.medicalnewstoday.com)
7. [www.bmecenter.ir](http://www.bmecenter.ir)
8. [www.gehealthcare.com](http://www.gehealthcare.com)