

فیزیک در پزشکی هسته‌ای

(جلد دوم)

تالیف

سایمون چری

جیمز سورنسون

مایکل فلیس

ترجمه

پیوند طاهر پرور

دانشجوی دکتری فیزیک هسته‌ای دانشگاه گیلان

دکتر علیرضا صدرممتاز

عضو هیات علمی دانشکده علوم دانشگاه گیلان

انتشارات دانشگاه گیلان

۱۳۹۰

سرشتاه	: چری، سایمون	Cherry, Simon R.
عنوان و پدیدآور	: فیزیک در پزشکی هسته‌ای / تألیف سایمون چری، جیمز سورنسون، مایکل فلپس؛ ترجمه علیرضا صدر ممتاز، پیوند طاهرپرور	
مشخصات نشر	: رشت: دانشگاه گیلان، ۱۳۸۹-	
مشخصات ظاهری	: ۵۱۶ ص، معبر.	
شابک	: ۶۷۰۰۰ ریال (ج ۲)	۹۷۸-۶۰۰-۱۵۳-۰۲۷-۲
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا	
یادداشت	: عنوان اصلی: Physics in Nuclear Medicine, 3rd ed	
یادداشت	: فهرست نویسی بر اساس جلد دوم، ۱۳۹۰	
موضوع	: فیزیک پزشکی	
موضوع	: پزشکی هسته‌ای	
شناسه افزوده	: سورنسون، جیمز	Sorenson, James A.
شناسه افزوده	: فلپس، مایکل	Phelps, Michael E.
شناسه افزوده	: صدر ممتاز، علیرضا، مترجم	
شناسه افزوده	: طاهرپرور، پیوند، مترجم	
شناسه افزوده	: دانشگاه گیلان	
رده بندی شکره	: ۴۴۰/ج ۴/۸۹۵ R	
رده بندی دیویی	: ۶۱۶/۰۷۵۷۵	
شماره کتابخانه ملی	: ۱۲۱۷۲۳۲	



دانشگاه گیلان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۵۳-۰۲۷-۲

انتشارات دانشگاه گیلان

نام کتاب	: فیزیک در پزشکی هسته‌ای (جلد دوم)
مؤلفان	: سایمون چری، جیمز سورنسون، مایکل فلپس
مترجمان	: دکتر علیرضا صدر ممتاز، پیوند طاهرپرور
ویراستار علمی و ادبی	: هوشنگ سپهری
حروفچینی و صفحه‌آرایی	: فاطمه حیدری
طرح روی جلد	: زهرا فره‌وشی
نوبت چاپ	: اول، ۱۳۹۰
چاپ جلد و متن	: شرکت چاپ پیام سبحان
ناشر	: انتشارات دانشگاه گیلان
شمار	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۶۷۰۰۰ ریال

* هر گونه چاپ و تکثیر فقط در اختیار انتشارات دانشگاه گیلان است.*

فیزیک و ابزار سنجش، تمامی زمینه‌های تخصصی پزشکی هسته‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دلیل اهمیت اساسی، آنها معمولاً به عنوان یک درس مجزا در برنامه‌های پزشکی هسته‌ای جای گرفته‌اند. اگرچه ما در این ویراست تغییرات گسترده‌ای را اعمال کرده‌ایم که رشد و توسعه پزشکی هسته‌ای در طی ۱۵ سال اخیر را انعکاس می‌دهد، هدف این کتاب همانند دو ویراست نخست آن: ایجاد یک متن پایه‌ای برای چنین درس‌هایی است، که فیزیک و ابزار سنجش در پزشکی هسته‌ای را با ژرفای مناسبی و به صورت مدون برای دانشجویان و کارآموزان بیان می‌دارد، اما برای متخصصان ابزار سنجش و فیزیک از عمق و ژرفای مورد انتظار آنان برخوردار نیست. این کتاب در راستای بکارگیری در برنامه‌های آموزشی برای پزشکان، فزانشناسان و پژوهشگرانی که خواهان تخصص در پزشکی هسته‌ای هستند، مناسب است و همچنین مرجعی برای پزشکان و پژوهشگران در زمینه‌های مربوطه، محسوب می‌شود.

برخی تغییرات مهم در این ویراست صورت گرفته است که در نگاه اول دو جنبه آن روشن است. نخست اینکه ما در این ویراست از صفحات بزرگ‌تر و به صورت دو ستونی استفاده کرده‌ایم.⁺ این امر به منظور جای دادن افزایش قابل توجه متن در محتوی کتاب (که با رشد فناوری و کاربردهای پزشکی هسته‌ای ضرورت داشت) صورت پذیرفت. دوم: کتاب از نویسنده دیگری بهره جست، که Dr. Simon Cherry است. دکتر Cherry تجارب گران‌بهای کاربردی و دانشگاهی را در این زمینه، به خصوص در تصویربرداری PET، اضافه کرد.

تغییر سوم، افزایش قابل توجه در پوشش سامانه‌های پرتونگاری پزشکی هسته‌ای و روش‌های آنان، به ویژه SPECT و PET است. این دو روش تصویربرداری تا حدی نسبت به روش‌های متداول پزشکی هسته‌ای در چند دهه قبل ارجحیت دارد. این امر به ویژه برای PET مصداق دارد. اما امروزه، آنها نقطه اتکای پزشکی هسته‌ای مدرن بالینی و آزمایشگاهی محسوب می‌شوند. درک واضح اصول این روش‌ها، امروزه برای علم و کاربرد پزشکی هسته‌ای ضروری است.

چهارمین تغییر، افزایش متعادل در عمق ریاضیات مورد استفاده در این کتاب است که به ویژه در مباحث بازسازی پرتونگاری مطرح است. با این وجود، همانند دو ویراست نخست، تنها فرض کرده‌ایم که دانشجویان و کارورزان تنها درس‌های مقدماتی در فیزیک و ریاضیات پایه شامل مقدماتی بر مبنای جبر پایه را گذرانیده‌اند. به استثنای تحلیل با جزئیات بیشتر ارائه شده در دو ضمیمه، آگاهی از حسابان مورد نیاز

⁺ این ویژگی در متن اصلی وجود دارد (یادداشت مترجم).

نیست. در تمامی اوقات، کوشیده‌ایم تا آنچه ارائه کرده‌ایم ساده و قابل درک باشد که این امر با ارائه ریاضیات پیچیده به صورت توصیفی شهودی میسر شده است. از سوی دیگر، همچنین تلاش کرده‌ایم تا در تمامی مباحث و مفاهیم اصلی، دقیق باشیم زیرا معتقدیم که باور به این دیدگاه بسیار با ارزش‌تر و اثرگذارتر از دیدگاهی سطحی و بسیار ساده‌سازی شده است تا مباحث پیچیده به صورت مطبوع برای دانشجو و یا کارآموز طراحی شود.

تغییر نهایی در سازماندهی و ترتیب فصول صورت گرفته است. این تغییرات بر اساس تجربه عملی به دست آمده توسط نویسنده در بهره‌گیری از دو ویراست نخست و همچنین پیشنهادات مفید دیگر کاربران، شکل گرفته است.

سازماندهی متن این کتاب از اصول اساسی تا جنبه‌های عملی‌تر حرکت می‌کند. پس از مقدمه‌ای در پزشکی هسته‌ای (فصل ۱)، به ارائه بازبینی فیزیک اتمی و هسته‌ای (فصل ۲) و اصول اساسی پرتوزایی و واپاشی پرتوزا (فصل ۳ و ۴) پرداخته‌ایم. روش‌های تولید رادیونوکلئید در فصل ۵ بررسی شده و توسط برهمکنش تابش در فصل ۶ پیگیری شده است. اصول اساسی آشکارسازهای تابش (فصل ۷)، الکترونیک شمارش تابش (فصل ۸) و آمار (فصل ۹) به ترتیب بحث شده است.

۹ فصل اول، مبانی جزئی‌تر سامانه‌های پزشکی هسته‌ای و کاربردهای آن را ارائه می‌دهد. طیف سنجی ارتفاع پالس (که نقش مهمی در بیشتر روش‌های پزشکی هسته‌ای ایفا می‌کند) در فصل ۱۰ توصیف شده است که توسط مسائل عمومی در شمارش تابش هسته‌ای در فصل ۱۱ پیگیری شده است. فصل ۱۲ به نوع‌های مشخصی از ابزارهای سنجش شمارش تابش هسته‌ای برای اندازه‌گیری‌های *in vivo*[†] و *in vitro*^{††} اختصاص یافته است.

فصول ۱۳ تا ۱۸ مباحثی را در مورد تصویربرداری رادیونوکلئیدی پوشش می‌دهد، که با توصیف اصول و شاخصه‌های کاربردی دوربین‌های گاما (فصل ۱۳ و ۱۴) آغاز می‌شود. تأکید بر روی دوربین گاما به دلیل استفاده بسیار از آن در بیشتر آزمایشگاه‌های پزشکی هسته‌ای است. سپس مفاهیم عمومی کیفیت تصاویر در پزشکی هسته‌ای (فصل ۱۵) توصیف شده و توسط مقدمه‌ای بر مفاهیم اساسی پرتونگاری بازسازی (فصل ۱۶) پیگیری شده است. ابزار سنجش و پیاده‌سازی پرتونگاری بازسازی برای تصویربرداری تک فوتون (SPECT) در فصل ۱۷ و برای پرتونگاری گسیل پوزیترون (PET) در فصل ۱۸ بحث شده است. خلاصه‌ای از روش‌های پردازش تصویر دیجیتال (فصل ۱۹)، مبحث تصویربرداری رادیونوکلئیدی را کامل

[†] در درون موجود زنده

^{††} به طور آزمایشگاهی

می‌کند. بحث ما بر روی ابزار و روش‌های تصویربرداری به موضوع‌هایی که امروزه جالب هستند یا به نظر می‌رسند که پتانسیلی برای دستیابی پذیرش بالینی دارند، محدود می‌شوند. تنها ابزارهایی که از دیدگاه تحقیقاتی، جالب به نظر می‌رسند، توصیف نمی‌شوند، اگرچه بیشتر اصولی را که این وسایل را برجسته می‌سازد می‌توان در این متن یافت.

سپس فصلی را به معرفی مفاهیم و برخی از کاربردهای مدل‌سازی جنبش ردیاب (فصل ۲۰) اختصاص داده‌ایم. مدل‌سازی جنبشی ردیاب و کاربردهای آن، دو توانایی مهم روش‌های پزشکی هسته‌ای را مجسم می‌سازد. توانایی انجام مطالعاتی با کمیت‌های ناچیز از مولکول‌های نشان‌دار و توانایی استخراج اطلاعات کمیت‌های زیستی از این مطالعات، از این موارد هستند. اگرچه به صورت مشخص وابسته به فیزیک و ابزار سنجش نیستند و از ریاضیات مشابه‌ای بهره می‌برند و موضوع مهمی در تصویربرداری مولکولی در پزشکی هسته‌ای محسوب می‌شوند.

دو فصل انتهایی، دوز تابشی و نظریات حفاظتی را بیان می‌دارد. دوزسنجی تابش داخلی در فصل ۲۱ ارائه شده و فصل نهایی به مقدمه‌ای از مسائل حفاظت تابشی و فیزیک بهداشت (فصل ۲۲) اختصاص یافته است. ما در این کتاب با مسائل عمومی در بیولوژی تابش سر و کار نداریم، زیرا معتقدیم این موضوع اهمیت کافی دارد تا به صورت مستقل (همانند آنچه که در چندین کتاب عالی در مورد این مبحث وجود دارد) به آن پرداخته شود.

مطالب خواندنی اضافی با جزئیات بیشتر در انتهای هر فصل پیشنهاد شده است. همچنین مسائل نمونه‌ای با پاسخ آن، برای نشان دادن ارتباط کمیت‌های مشخص و نمایش محاسبات استاندارد که در کاربردهای پزشکی هسته‌ای مورد نیاز است، ارائه شده است. واحدهای (SI) در تمامی این متن استفاده شده‌اند، اگرچه واحدهای قدیمی‌تر نیز در بعضی قسمت‌های کتاب به چشم می‌خورد، زیرا این واحدها، هنوز در آزمایش‌های روزانه در بسیاری از آزمایشگاه‌ها متداول هستند. ضمیمه (الف) خلاصه‌ای از ضرایب تبدیل میان واحدهای SI و قدیمی‌تر را در بر دارد.

ضمیمه‌های (و) و (ز) مباحثی با جزئیات بیشتر از تبدیل فوری و همگردش[†] را نشان می‌دهد که مواردی ضروری در تصویربرداری پزشکی هسته‌ای پیشرفته و به خصوص بازسازی پرتونگاری محسوب می‌شوند. این بخش تنها قسمتی از کتاب محسوب می‌شود که کاربرد وسیعی از حسابان را به همراه دارد. با چنین تجدید نظری، تعداد کثیری از دوستان و همکاران برای مساعدت در جمع‌آوری اطلاعات، داده‌ها و تصاویر دعوت شدند. بسیاری از آنها اهتمام زیادی برای تهیه این موارد به خرج دادند.

[†] Convolution

با توجه به کمبود کتب مربوط به بررسی دستگاه‌های تصویربرداری پزشکی هسته‌ای در کشور، نیاز به تالیف و ترجمه چنین کتبی به شدت در سطح دانشگاهی کشور محسوس است و این امر مشوق اصلی ما در جهت ترجمه این کتاب بوده است. خداوند متعال را که فرصت این ترجمه را به ما عطا فرمود شاکریم در جلد دوم کتاب فیزیک در پزشکی هسته‌ای، با توجه به مبانی طرح شده در جلد اول توصیف کاملی از دستگاه‌های تصویربرداری پزشکی هسته‌ای و ارزیابی تصاویر آنها ارائه شده است و با توجه به تجربه و تبخیر نویسندگان کتاب و همچنین گذشت سه ویرایش از چاپ اول این کتاب (متن اصلی کتاب)، بسیاری از مسائل موجود در این زمینه پوشش داده شده است. به علاوه خواننده علاقمند به پیگیری بحث به صورت پیشرفته‌تر را به مراجع طبقه‌بندی شده در انتهای فصول سوق می‌دهد.

مباحث موجود در جلد دوم کتاب فوق، به گونه‌ای است که آن را بیشتر برای دانشجویان کارشناسی ارشد و حتی دکتری مناسب ساخته است (هر چند که با مطالعه کامل جلد اول این محدودیت نیز مرتفع می‌شود) و با طرح مباحث باز می‌تواند راهگشای آنها برای انتخاب رساله‌ای مناسب باشد.

در این جلد با توجه به مباحث طرح شده در جلد اول و ارائه مبانی آشکارسازی و طیف‌سنجی و ایجاد زمینه لازم برای ورود به مباحث تخصصی‌تر، اصول پردازش تصویر، دستگاه‌های تصویربرداری و مولفه‌های آن به صورت پیشرفته‌تر مطرح شده است. بدین صورت که ابتدا در فصول ۱۳ و ۱۴ با توجه به اهمیت دوربین گاما در پزشکی هسته‌ای، جزئیات آن با ظرافت بیشتری توصیف شده است، سپس در فصل ۱۵ به بررسی کیفیت تصاویر برگرفته از دوربین گاما و نحوه ارزیابی آن و فاکتورهای دخیل در میزان کیفیت تصویر پرداخته شده است. فصل ۱۶ به نحوه تشکیل تصویر از نگاره‌های متفاوت در زوایای متفاوتی از بدن و چگونگی تجمع آنها برای تشکیل تصویر کامل و سه بعدی از جسم و همچنین چگونگی بهره‌گیری از روش‌های ریاضی (علی‌الخصوص تبدیل فوریه) برای بهبود آن، تخصص یافتن است سپس نویسندگان کتاب در فصول ۱۷ و ۱۸ با توجه به طرح مباحث اساسی در فصول پیشین، به بررسی و طرح مبانی دستگاه‌های تصویربرداری پزشکی هسته‌ای SPECT و PET می‌پردازند که شاید یکی از اصلی‌ترین اهداف نویسندگان کتاب در طرح مبانی یاد شده در فصول اولیه باشد. در ادامه و در فصل ۱۹، روش‌های پردازش تصویر دیجیتال به بحث و بررسی کشیده شده است تا به نحوی مباحث تصویربرداری در پزشکی هسته‌ای را کامل سازد.

در ادامه فصل‌بندی کتاب، بحث‌های مدل‌سازی جنبش ردیاب بررسی شده است که در واقع برای درک خواننده از چگونگی توزیع فضایی ردیاب در بدن و عوامل دخیل در این توزیع است و در نهایت در

دو فصل انتهایی این کتاب به دوز تابشی و مسائل حفاظت در برابر پرتوها پرداخته شده است تا بتواند اصول حفاظت را در هنگام سر و کار داشتن با مواد پرتوزا به نحوی موجز بیان دارد، مسائلی که نیاز هر کتاب کاربردی هسته‌ای محسوب می‌شود در انتهای کتاب نیز مطالب و جداول مورد نیاز در متن کتاب در قالب ضمیمه ارائه شده است و علاوه بر آن در ضمیمه‌های «و» و «ز» نیز مباحث ریاضی تبدیل و فوریه و همگردش که بیشتر وابسته به فصل ۱۶ کتاب می‌باشد، به صورت کاملاً ساده اما کاربردی مطرح شده است. در پایان لازم می‌دانیم که از جناب آقای سپهری که ویرایش علمی و ادبی این کتاب را بر عهده داشتند و همچنین از سرکار خانم حیدری که با دقت و حوصله فراوان کار تایپ متن را انجام داده‌اند و از کلیه همکاران اداره چاپ و انتشارات حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه گیلان تشکر و قدردانی نمائیم.

علیرضا صدرممتاز

پیوند طاهرپرور

www.ketab.ir

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

پیشگفتار مولفین الف

پیشگفتار مترجمین د

فصل سیزدهم: دوربین گاما: مبانی اساسی

الف- مفاهیم عمومی تصویربرداری رادیونوکلئیدی ۱

ب- اصول اساسی دوربین سوسون ۴

۱- اجزای سامانه ۴

۲- سامانه آشکارسازی و الکترونیک ۶

۳- باریک‌سازها ۱۴

۴- آشکارسازی رویدادها در دوربین گاما ۲۱

ج- انواع دوربین‌های گاما و کاربردهای بالینی آنها ۲۵

فصل چهاردهم: دوربین گاما: کارایی و مشخصه‌ها

الف- اصلی‌ترین مشخصه‌های کارایی ۳۳

۱- توان تفکیک فضایی ذاتی ۳۳

۲- بازده آشکارسازی ۳۷

۳- توان تفکیک انرژی ۳۹

۴- کارایی در آهنگ شمارش‌های بالا ۴۱

ب- محدودیت‌های آشکارساز: غیر یکنواختی و غیر خطی بودن ۴۷

۱- غیر خطی بودن تصاویر ۴۷

۲- غیر یکنواختی تصویر ۴۹

۳- شیوه‌های تصحیح غیر یکنواختی ۵۱

۴- تنظیم دوربین گاما ۵۴

ج- طراحی و مشخصه‌های کارآیی باریکه‌سازها با حفره‌های موازی	۵۶
۱- محدودیت‌های اساسی در کارایی باریکه‌ساز	۵۶
۲- ضخامت سپتال	۵۷
۳- هندسه حفره‌های باریکه‌ساز	۶۰
۴- توان تفکیک سامانه	۶۷
د- مشخصه‌های کاربردی باریکه‌سازهای شکافی، واگرا و همگرا	۶۹
ه- اندازه‌گیری کارآیی دوربین گاما	۷۳
۱- توان تفکیک ذاتی	۷۴
۲- توان تفکیک سامانه	۷۵
۳- خطی بودن فضایی	۷۵
۴- بک‌گراوند	۷۶
۵- کارایی آمیگ شمارش	۷۷
۶- توان تفکیک انرژی	۷۸
۷- حساسیت سامانه	۷۸

فصل پانزدهم: کیفیت تصویر در پزشکی هسته‌ای

الف- روش‌های اصلی برای تشخیص و ارزیابی کیفیت تصاویر	۸۱
ب- توان تفکیک فضایی	۸۲
۱- عوامل تأثیرگذار بر توان تفکیک فضایی	۸۲
۲- روش‌های ارزیابی توان تفکیک فضایی	۸۴
ج- کنتراست	۹۴
د- نوفه	۹۹
۱- انواع نوفه تصاویر	۹۹
۲- نوفه‌های تصادفی و نسبت کنتراست به نوفه (CNR)	۱۰۰
ه- مطالعات کارایی بر پایه مشاهده‌گر	۱۱۱
۱- مطالعات کنتراست - جزئیات (C-D)	۱۱۱
۲- مطالعات مشخصات اجرایی دریافت کننده (ROC)	۱۱۴

فصل شانزدهم: بازسازی قطع‌نگاری در پزشکی هسته‌ای

الف- مفاهیم عمومی، نمادها و اصطلاحات علمی.....	۱۲۳
ب- نگاره برگشتی و روش‌های بر پایه فوریه.....	۱۲۸
۱- نگاره برگشتی ساده.....	۱۲۸
۲- بازسازی توسط روش تبدیل فوریه مستقیم.....	۱۳۱
۳- نگاره برگشتی فیلتر شده.....	۱۳۴
۴- تصویربرداری چند قسمتی.....	۱۳۹
ج- کیفیت تصویر در تبدیل فوریه و روش‌های نگاره برگشتی فیلتر شده.....	۱۴۰
۱- اثرات نمونه‌برداری بر روی کیفیت تصویر.....	۱۴۰
۲- پوشش‌دهی نمونه‌برداری و شرایط سازگاری.....	۱۴۶
۳- انتشار نوفه، نسبت سیگنال به نوفه و نسبت کنتراست به نوفه.....	۱۴۸
د- الگوریتم‌های بازسازی به روش تکرار.....	۱۵۴
۱- مفاهیم عمومی بازسازی به روش تکرار.....	۱۵۵
۲- بازسازی بالاترین حد مورد انتظار.....	۱۵۹
هـ - بازسازی اطلاعات باریکه مخروطی و باریکه چتری.....	۱۶۱
فصل هفدهم: قطع‌نگاری رایانه‌ای گسیل تک فوتون	
الف- سامانه‌های SPECT.....	۱۶۷
۱- سامانه‌های دوربین گاما SPECT.....	۱۶۷
۲- سامانه‌های SPECT پیشرفته.....	۱۶۹
۳- سامانه‌های ترکیبی.....	۱۷۴
ب- بکارگیری عملی SPECT.....	۱۷۵
۱- اثرات تضعیف و شمارش وابسته.....	۱۷۸
۲- تصحیح تضعیف.....	۱۸۶
۳- پوشش‌های انتقالی و نقش‌های تضعیف.....	۱۸۹
۴- تصحیحات پراکندگی.....	۱۹۳
۵- اثرات حجم- جزئی.....	۱۹۷
ج- مشخصه‌های کارایی سامانه‌های SPECT.....	۲۰۱
۱- توان تفکیک فضایی.....	۲۰۱

۲۰۳	۲- حساسیت حجمی
۲۰۴	۳- سنجش‌های دیگر کارایی
۲۰۴	۴- اطمینان کیفی در SPECT
۲۰۷	د- کاربردهای بالینی SPECT

فصل هجدهم: قطع‌نگاری گیل پوزیترون

۲۱۴	الف- آشکارساز همفرودی نابودی
۲۱۴	۱- اصول اساسی آشکارسازی همفرودی نابودی
۲۱۷	۲- زمان پرواز PET
۲۱۸	۳- توان تفکیک فضایی: آشکارساز
۲۲۰	۴- توان تفکیک فضایی: فیزیک پوزیترون
۲۲۹	۵- توان تفکیک فضایی: اثرات عمق بر هم کنش
۲۳۱	۶- توان تفکیک فضایی: نمونه‌برداری
۲۳۴	۷- توان تفکیک فضایی: فیلترهای بازسازی
۲۴۰	۹- حساسیت
۲۴۴	ب- آشکارساز PET و طرح‌های پوشگر
۲۴۵	۱- آشکارسازهای بلوک
۲۴۸	۲- آشکارسازی بلوک اصلاح شده
۲۵۰	۳- سامانه‌های PET اختصاصی
۲۵۶	۴- سامانه‌های دوربین گاما برای PET
۲۵۸	ج- اکتساب داده‌ها برای PET
۲۵۸	۱- اکتساب دو بعدی داده‌ها
۲۶۱	۲- اکتساب سه بعدی داده‌ها
۲۶۳	۳- اکتساب داده‌ها برای مطالعات پویا و پوش‌های تمام بدن
۲۶۴	د- تصحیح داده‌ها و جنبه‌های کیفی PET
۲۶۴	۱- بهنجارسازی
۲۶۶	۲- تصحیحات برای همفرودهای تصادفی
۲۶۷	۳- تصحیح برای تابش‌های پراکنده

۲۶۹	۴- تصحیح تضعیف
۲۷۲	۵- تصحیحات زمان مرگ
۲۷۳	۶- تعیین خواص مطلق تصاویر PET
۲۷۴	هـ - کاربردهای تحقیقاتی و بالینی PET

فصل نوزدهم: پردازش تصویر دیجیتال در پزشکی هسته‌ای

۲۸۱	الف- تصاویر دیجیتال
۲۸۱	۱- مشخصه‌های اصلی و اصطلاحات
۲۸۵	۲- توان تفکیک فضایی و ابعاد ماتریس
۲۸۸	۳- نمایش تصاویر
۲۹۰	۴- مدهای اکتساب داده‌ها
۲۹۲	ب- شیوه‌های پردازش تصاویر دیجیتال
۲۹۲	۱- تجسم تصویر
۲۹۶	۲- نواحی و حجم‌های مورد نظر
۲۹۹	۳- منحنی‌های فعالیت- زمان
۳۰۱	۴- هموارسازی تصویر
۳۰۲	۵- آشکارسازی لبه‌ها و تقسیم‌سازی
۳۰۴	۶- ثبت با هم تصاویر
۳۰۷	ج- محیط پردازش

فصل بیستم: مدل‌سازی جنبش ردیاب

۳۱۱	الف- مفاهیم اولیه
۳۱۴	ب- ردیاب‌ها و قسمت‌ها
۳۱۴	۱- تعریف ردیاب
۳۱۷	۲- مفهوم یک بخش
۳۱۷	۳- حجم توزیع و ضریب تفکیک
۳۲۰	۴- شار
۳۲۰	۵- ثابت‌های نرخ

۳۲۴	۶- حالت پایا.....
۳۲۶	ج- تحویل ردیاب و انتقال.....
۳۲۶	۱- جریان خون، استخراج و زدایش.....
۳۳۲	۲- انتقال.....
۳۳۴	د- فرمول بندی مدل تقسیم کننده.....
۳۳۷	ه- نمونه های تصویربرداری پویا و مدل های جنبشی ردیاب.....
۳۳۸	۱- عملکرد قلبی و کسر برون ریزی.....
۳۴۰	۲- مدل های جریان خون.....
۳۴۱	۳- جریان خون: رادیورادیاب های به دام افتاده.....
۳۴۴	۴- جریان خون: روش های زدایش.....
۳۴۸	۵- جنبش آنزیم: سوخت و ساز گلوکز.....
۳۵۹	۶- سنجش های لیگاند گیرنده.....
۳۶۱	خلاصه.....

فصل بیست و یکم: دوزسنجی تابش داخلی

۳۶۶	الف- دوز تابش و دوز معادل: کمیت ها و ابعاد.....
۳۶۸	ب- محاسبه دوز تابشی (روش MIRD).....
۳۶۸	۱- روش اصلی و بعضی از مسائل عملی.....
۳۷۰	۲- فعالیت انباشته $\bar{A}$
۳۷۶	۳- ثابت دوز جذبی تعادلی، Δ
۳۷۸	۴- کسر جذب شده، ϕ
۳۸۲	۵- کسر جذبی ویژه Φ و قضیه عمل متقابل دوز.....
۳۸۳	۶- دوز متوسط در هر فعالیت انباشته، S
۳۸۶	۷- دوز تمام بدن، دوز موثر و دوز موثر معادل.....
۳۸۹	۸- محدودیت های روش MIRD.....

فصل بیست و دوم: ایمنی تابش و فیزیک بهداشت

الف- کمیت‌ها و یکاها.....	۴۰۳
۱- عوامل مشخص کننده دوز.....	۴۰۳
۲- پرتوگیری و گرمای هوا.....	۴۰۴
ب- مقررات مربوط به استفاده از رادیونوکلئیدها.....	۴۰۶
۱- صدور پروانه و آئین‌نامه‌های کمیسیون نظارت هسته‌ای.....	۴۰۷
۲- مناطق محدود شده و محدود نشده.....	۴۰۸
۳- محدودیت‌های دوز.....	۴۰۸
۴- غلظت پرتوزایی هوابرد در مناطق محصور.....	۴۰۹
۵- غلظت‌های محیطی و غلظت برای دفع فاضلاب.....	۴۱۰
۶- شرایط نگهداری و ثبت نتایج.....	۴۱۱
۷- پیشنهادات اعضای مشورتی.....	۴۱۲
ج- جا به جایی امن مواد پرتوزا.....	۴۱۳
۱- مفهوم ALARA.....	۴۱۳
۲- کاهش دوزهای تابشی از منابع خارجی.....	۴۱۴
۳- کاهش دوزهای تابشی از چشمه‌های داخلی.....	۴۱۹
۴- طراحی آزمایشگاه.....	۴۲۲
۵- مراحل برای کنترل ریزش ناشی از محل مواد پرتوزا.....	۴۲۲
د- دفع زباله‌های پرتوزا.....	۴۲۴
هـ- نمایش تابش.....	۴۲۵
۱- سنجشگرهای پیمایشی و نمایشگرهای آزمایشگاه.....	۴۲۵
۲- دوزسنج‌های کارکنان.....	۴۲۶
۳- آزمون رویشی.....	۴۲۸
ضمائم.....	۴۳۳