دانشگاه گیلان

دانشکده علوم پایه

پایان‌نامه دکتری

بهبود کمی سنجی در SPECT

از

پیوند طاهرپرور

استاد راهنما

دکتر علیرضا صدرممتاز

شهریور ماه ۱۳۹۲

یا مَن هُوَ رَبُّ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ اِلٰهُ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ خالِقُ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ صانِعُ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ قَبْلَ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ بَعْدَ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ فَوْقَ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ عالِمٌ بِکُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ قادِرٌ عَلیٰ کُلِّ شَیْءٍ یا مَن هُوَ یَبْقیٰ وَ یَفْنیٰ کُلُّ شَیْءٍ.

ای که پروردگار هر چیز اوست ای که معبود هر چیز اوست ای که آفریننده هر چیز اوست ای که سازنده هر چیز اوست ای که او پیش از هر چیز بوده و ای که او پس از هر چیز خواهد بود و ای که او برتر از هر چیز است ای که او به هر چیز دانا است ای که او به هر چیزی توانا است ای که تنها او بماند و هر چیز دیگر فانی گردد.

دانشگاه گیلان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

(گرایش فیزیک هسته‌ای)

بهبود کمی سنجی در SPECT

از

پیوند طاهرپرور

استاد راهنما

دکتر علیرضا صدرممتاز

شهریور ماه ۱۳۹۲

سپاس بیکران به درگاه حق

که قطره ای از اقیانوس بی‌کران علم خود را بر ما عنایت فرمود تا پیوسته مشتاق بهره‌گیری از قطره ای دیگر باشیم.

تقدیم می کنم به پدر عزیزم:

او که قلبش صداقت را، نگاهش صلابت را و اندرزهایش تلاش و استقامت را در مدرسه زندگی به من آموخت و مشوق اصلی‌ام در تمام سال های زندگی و تحصیلی‌ام بوده و هست...

به مادر عزیزم:

فرشته مهربانی که لحظه لحظه زندگی و دوران تحصیلم آکنده از مهر و محبت های بی دریغ و بی منت او بوده و هست و وسعت بی‌کرانه قلبش ساحل امن من است...

به همسر عزیزم:

او که صبورانه در لحظه لحظه زندگی همراهم بوده و هست تا سنگینی و دشواری راه را تا سر منزل مقصود به تنهایی بر دوش نکشم و وجودش همواره امید بخش است...

و تقدیم به یگانه خواهر مهربانم و برادران عزیزم

تشکر و قدردانی

اینک که توفیق جمع آوری و تهیه این مجموعه ناچیز را با یاری حضرت حق یافته‌ام بر خود واجب می‌دانم از تمامی سروران و عزیزانی که مرا در طی انجام این رساله همراهی نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا از جناب آقای **دکتر علیرضا صدرممتاز**، استاد فرزانه که بر من منت نهاده و راهنمایی این پایان نامه را عهده‌دار شدند و همواره با راهنمایی‌های دلسوزانه خود در کلیه زمینه‌های علمی و غیر علمی راه‌گشا و روشنایی بخش اینجانب بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم و با تقدیم این رساله ناچیز به ایشان اندکی از زحماتشان را سپاس می‌گویم.

از اساتید گران‌قدر جناب آقایان **دکتر مسعود وهابی مقدم** و **دکتر عباس قاسمی‌زاد** که افتخار شاگردی آن‌ها را در طی سال‌های تحصیلی‌ام داشته‌ام، و زحمت قبول داوری این رساله را به عنوان داوران داخلی، عهده‌دار شده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از استاد فرزانه و دانشمند جناب آقای **دکتر جواد رحیقی** به سبب قبول زحمت داور خارجی سپاسگزاری می‌نمایم و افتخار شاگردی در خدمت ایشان همواره مایه مباهات من است.

انجام این پروژه جز به کمک آقایان **دکتر فرزاد عباسپور**، **مهندس بری و مهندس ایزدی** در **مرکز پزشکی هسته ای گاما اسکن مروارید شهر رشت** میسر نبود که تمامی آزمایشات عملی انجام شده در این مرکز صورت پذیرفت. زحمات بی دریغ آن‌ها در کمک به انجام این پروژه انکار ناپذیر است، که بدین وسیله از همه این دوستان گرامی تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ر
فهرست شکل‌ها ..... ز
چکیده فارسی ..... غ
چکیده انگلیسی ..... ف
مقدمه ۱

فصل اول

برش‌نگاری گسیل تک فوتون

۱-۱- مروری بر تاریخچه پزشکی هسته ای ۴
۱-۲- تصویربرداری رادیونوکلئیدی ۵
۱-۲-۱- مفاهیم عمومی تصویربرداری رادیونوکلئیدی ۵
۱-۳- دوربین گاما ۷
۱-۳-۱- اجزای دوربین گاما ۷
۱-۳-۱-۱- سر آشکار ساز ۷
۱-۳-۱-۱-۱- آشکارسازهای سوسوزن ۷
۱-۳-۱-۱-۲-۱- کریستال سوسوزن ۸
۱-۳-۱-۱-۲-۲- آرایه ای از لامپ‌های فوتون افزا ۹
۱-۳-۱-۱-۲- باریکه ساز ۹
۱-۳-۱-۱-۲-۱- انواع باریکه سازها بر حسب انرژی، حساسیت و توان تفکیک فضایی ۹
۱-۳-۱-۲- الکترونیک سامانه، پردازش و ثبت نتایج ۱۱
۱-۳-۱-۲-۱- پیش تقویت کننده ۱۱
۱-۳-۱-۲-۲- تقویت کننده ۱۲
۱-۳-۱-۲-۳- تحلیل گر ارتفاع پالس ۱۲
۱-۳-۱-۲-۴- مدار الکترونیکی موقعیت یاب ۱۲
۱-۴- برش‌نگاری رایانه‌ای گسیل تک فوتون (SPECT) ۱۳
۱-۴-۱- سامانه‌های دوربین گامای SPECT ۱۴
۱-۴-۲- تصویربرداری به کمک سامانه SPECT ۱۵
۱-۴-۲-۱- اثرات حجم- جزئی ۱۶

۱-۴-۳- پارامترهای عملکرد دوربین‌های SPECT ۱۷
۱-۴-۳-۱- توان تفکیک فضایی سامانه ۱۸
۱-۴-۳-۲- حساسیت ۱۹
۱-۴-۳-۳- توان تفکیک انرژی ۲۰
۱-۴-۳-۴- کارایی در آهنگ شمارش بالا ۲۰
۱-۴-۴- کاربردهای بالینی SPECT ۲۱
۱-۵- کیفیت تصویر در پزشکی هسته ای ۲۲
۱-۵-۱- روش‌های اصلی برای تشخیص و ارزیابی کیفیت تصاویر ۲۲
۱-۵-۱-۱- مطالعات کارایی بر پایه مشخصه‌های فیزیکی ۲۲
۱-۵-۱-۱-۱- توان تفکیک فضایی ۲۲
۱-۵-۱-۱-۱-۱- روش‌های ارزیابی توان تفکیک فضایی ۲۳
۱-۵-۱-۱-۲- کنتراست ۲۳
۱-۵-۱-۱-۳- نوفه ۲۴
۱-۵-۱-۲- مطالعات کارایی بر پایه مشاهده گر ۲۶
۱-۶- کنترل کیفیت در SPECT ۲۶
۱-۶-۱- فانتوم های فیزیکی ۲۷
۱-۷- SPECT قلب ۲۹
۱-۷-۱- آناتومی قلب ۲۹
۱-۷-۱-۱- عملکرد قلب (فیزیولوژیکی) ۳۱
۱-۷-۲- بیماری عروق قلبی (CAD) ۳۱
۱-۷-۳- تصویربرداری قلب به روشSPECT ۳۱
۱-۷-۳-۱- حالت استرس ۳۲
۱-۷-۳-۲- حالت استراحت ۳۴
۱-۷-۳-۳- تفسیر و گزارش پاسخ پویش ۳۵

فصل دوم

بازسازی برش‌نگاری در پزشکی هسته‌ای

۲-۱- مفاهیم عمومی بازسازی تصویر در پزشکی هسته‌ای ۳۹
۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها ۳۹
۲-۲-۱- بازسازی تصویر ۴۱
۲-۲-۱-۱- نگاره برگشتی ساده ۴۱
۲-۲-۱-۲- فیلتر کردن نگاره برگشتی ۴۶
۲-۲-۱-۳- نگاره برگشتی فیلتر شده ۴۶

۲-۳- نوفه و سیگنال ۴۹
۲-۳-۱- روش شبه-معکوس ۵۰
۲-۳-۲- تنظیم تیخونف ۵۰
۲-۳-۳- فیلتر وینر ۵۱
۲-۳-۴- فیلترهای هموارسازی ۵۲
۲-۳-۴-۱- انواع فیلترهای هموارسازی ۵۲
۲-۳-۴-۱-۱- فیلترهای بالا گذر ۵۳
۲-۳-۴-۱-۲- فیلترهای پایین گذر ۵۳
۲-۳-۴-۱-۲-۱- فیلترهای هن و همینگ ۵۵
۲-۳-۴-۱-۲-۲- فیلتر پارزن ۵۵
۲-۳-۴-۱-۲-۳- فیلتر شپ-لوگان ۵۵
۲-۳-۴-۱-۲-۴- فیلتر کسینوسی ۵۶
۲-۳-۴-۱-۲-۵- فیلتر باترورت ۵۶
۲-۳-۴-۱-۲-۶- فیلتر گاوسی ۵۷
۲-۳-۴-۱-۳- فیلترهای باند گذر یا فیلترهای ترکیبی ۵۷
۲-۳-۵- چگونگی تعیین پارامترهای فیلتر ۵۷
۲-۴- الگوریتم‌های بازسازی به روش تکرار ۶۱

فصل سوم

تبدیل موجک

۳-۱- تاریخچه موجک ۶۴
۳-۲- تجزیه و تحلیل زمان-فرکانس ۶۵
۳-۲-۱- تبدیل فوریه داخل پنجره ای ۶۵
۳-۳- تجزیه چند تفکیکی ۶۶
۳-۳-۱- موجک‌ها ۶۸
۳-۳-۱-۱- روابط مقیاسی ۷۱
۳-۳-۱-۲- تجزیه یک سیگنال به اجزای اولیه به روش تبدیل موجک ۷۲
۳-۳-۱-۳- توصیف تبدیل موجک با استفاده از فیلترهای رقمی ۷۳
۳-۳-۱-۴- بازسازی در تبدیل موجک ۷۴
۳-۳-۱-۵- تبدیل موجک دوبعدی ۷۵
۳-۳-۱-۶- نوفه زدایی به کمک تبدیل موجک ۷۶
۳-۳-۱-۶-۱- روش‌های آستانه‌گذاری ۸۰
۳-۳-۱-۶-۱-۱- VisuShrink ۸۲

۳-۳-۱-۶-۱-۲- SUREShrink ۸۲
۳-۳-۱-۶-۱-۳- BayesShrink ۸۳
۳-۳-۱-۶-۲- روش‌های کاهش ۸۴
۳-۳-۱-۶-۲-۱- تقریب زننده MMSE خطی ۸۴
۳-۳-۱-۶-۲-۲- کاهش دومتغیره وابسته به مرحله ۸۵
۳-۳-۲- نسبت سیگنال به نوفه نسبت و ریشه میانگین مربعات خطا ۸۵

فصل چهارم

روش مونت کارلو

۴-۱- روش مونت کارلو ۸۷
۴-۲- شبیه سازی به کمک روش مونت‌کارلو ۸۹
۴-۲-۱- روش تابع توزیع ۸۹
۴-۲-۲- روش عدم پذیرش ۹۰
۴-۲-۳- روش‌های ترکیبی ۹۰
۴-۳- تئوری و محاسبات در سامانه های تصویربرداری ۹۱
۴-۳-۱- انتقال فوتون ۹۲
۴-۴- طبقه بندی کدها بر پایه روش مونت‌کارلو ۹۴

فصل پنجم

نرم‌افزار GATE و فانتوم‌های دیجیتال

۵-۱- نرم افزارها و کدهای شبیه ساز ۹۸
۵-۱-۱- نرم افزار SIMIND ۹۸
۵-۱-۲- نرم افزار SimSET ۹۸
۵-۱-۳- نرم افزار GATE ۹۹
۵-۱-۳-۱- ساختار و خصوصیات نرم افزار GATE ۹۹
۵-۱-۳-۲- روند شبیه سازی در نرم افزار GATE ۱۰۰
۵-۱-۳-۲-۱- مجسم سازی و شرح جزئیات ۱۰۰
۵-۱-۳-۲-۲- تعریف هندسه ۱۰۱
۵-۱-۳-۲-۳- رقمی کننده ۱۰۱

۵-۳-۱-۲-۴- فیزیک شبیه سازی ۱۰۱
۵-۳-۱-۲-۴-۱- فهرست فرآیندهای تعریف شده ۱۰۲
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۱- فیزیک مربوط به فوتون‌های کم انرژی ۱۰۲
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۱-۱- اثر فوتوالکتریک ۱۰۳
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۱-۲- اثر کامپتون ۱۰۳
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۱-۳- اثر رایلی ۱۰۳
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۲- فیزیک مربوط به الکترون و پوزیترون ۱۰۴
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۲-۱- پراکندگی چندگانه ۱۰۴
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۲-۲- یونش ۱۰۵
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۲-۳- تابش ترمزی ۱۰۵
۵-۳-۱-۲-۴-۱-۲-۴- نابودی پوزیترون ۱۰۶
۵-۳-۱-۲-۵- تعاریف مربوط به چشمه ۱۰۶
۵-۳-۱-۲-۶- خروجی ۱۰۸
۵-۳-۱-۲-۷- آزمایش ۱۰۸
۵-۳-۱-۳- تولید اعداد تصادفی در GATE ۱۰۸
۵-۲- فانتوم‌های دیجیتال ۱۰۹
۵-۲-۱- فانتوم زوبال ۱۱۱
۵-۲-۲- فانتوم 4D MCAT ۱۱۱
۵-۲-۳- فانتوم 4D NCAT ۱۱۲
۵-۲-۴- فانتوم 4D XCAT ۱۱۲

فصل ششم

نتایج و بررسی نتایج

۶-۱- چشمه‌های خطی ۱۱۶
۶-۱-۱- طراحی و ساخت فانتوم چشمه های خطی ۱۱۶
۶-۱-۲- آزمایش‌های مربوط به چشمه‌های خطی ۱۱۷
۶-۱-۳- نتایج و بررسی نتایج مربوط آزمایش‌های مربوط به چشمه‌های خطی ۱۱۷
۶-۲- ساخت فانتوم چشمه‌های نقطه ای ۱۲۲
۶-۲-۱- آزمایش مربوط به فانتوم چشمه‌های نقطه‌ای ۱۲۴
۶-۲-۲- نتایج و بررسی نتایج مربوط به آزمایش مربوط به چشمه‌های نقطه‌ای ۱۲۵
۶-۳- فانتوم کارلسون ۱۳۱

۶-۳-۱- آزمایش مربوط به فانتوم کارلسون ۱۳۱
۶-۳-۲- نتایج و بررسی نتایج مربوط به آزمایش مربوط به فانتوم کارلسون ۱۳۳
۶-۳-۲-۱- بررسی FWHM تصویر مربوط به حفره‌های بزرگ ۱۳۳
۶-۳-۲-۲- نتایج مربوط به پیکسل مرکزی حفره جانبی زیرین ۱۳۳
۶-۳-۲-۳- نتایج مربوط به میزان مشاهده پذیری حفره‌های کوچک ۱۳۴
۶-۳-۲-۴- نتایج مربوط به میزان همواری تصویر ۱۳۵
۶-۴- SPECT قلب ۱۳۸
۶-۴-۱- ساخت فانتوم قلب ۱۳۸
۶-۴-۲- بررسی اثرات تغییر پنجره انرژی بر تشخیص توده‌های قرار گرفته در نواحی مختلف قلب ۱۴۱
۶-۴-۲-۱- نحوه آزمایش ۱۴۱
۶-۴-۲-۲- نتایج و بررسی نتایج ۱۴۲
۶-۴-۲-۱-۲- نتایج حاصل از کنتراست ۱۴۳
۶-۵- بررسی کمی و کیفی نتایج مربوط به SPECT قلب ۱۴۵
۶-۵-۱- برش عرضی ۱۴۶
۶-۵-۱-۱- توده سمت چپ ۱۴۶
۶-۵-۱-۲- توده سمت راست ۱۴۸
۶-۵-۱-۲- توده فوقانی ۱۴۹
۶-۵-۱-۳- توده زیرین ۱۵۰
۶-۵-۲- برش کورونال ۱۵۱
۶-۵-۲-۱- توده سمت چپ ۱۵۱
۶-۵-۲-۲- توده سمت راست ۱۵۲
۶-۵-۲-۳- توده زیرین ۱۵۳
۶-۵-۳- برش سژیتال ۱۵۴
۶-۵-۳-۱- توده سمت راست ۱۵۴
۶-۵-۳-۲- توده سمت چپ ۱۵۵
۶-۵-۳-۳- توده زیرین ۱۵۶
۶-۵-۴- بحث و بررسی ۱۵۷
۶-۵-۵- نتایج بالینی ۱۶۱
۶-۵-۶- مقایسه نتایج تجربی با نتایج آزمایشگاهی SPECT قلب ۱۶۲
۶-۶- نوفه زدایی به کمک تبدیل موجک ۱۶۴
۶-۶-۱- شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار GATE ۱۶۴
۶-۶-۲- نوفه زدایی از تصاویر مسطح به کمک تبدیل موجک ۱۶۸
۶-۶-۲-۱- نتایج و بررسی نتایج مربوط به نوفه زدایی از تصاویر مسطح به کمک تبدیل موجک ۱۶۸
۶-۶-۲-۲- معرفی شیوه نوفه زدایی شده ترکیبی پیشنهاد شده ۱۷۴

۶-۶-۳- استفاده از تبدیل موجک در نوفه‌زدایی از تصاویر برش‌نگاری ۱۷۶
۶-۶-۳-۱- شبیه‌سازی تصاویر مربوط به فانتوم کارلسون به کمک نرم‌افزار GATE ۱۷۶
۶-۶-۳-۲- استفاده از تبدیل موجک در نوفه زدایی از تصویر فانتوم کارلسون ۱۷۷
۶-۶-۴- بحث و بررسی ۱۸۲
۶-۷- نتیجه‌گیری ۱۸۳
۶-۸- پیشنهادات برای ادامه کار ۱۸۴

مراجع

مراجع ۱۸۷

پیوست

پیوست (الف) مشخصات دستگاه SPECT ADAC EPIC ۱۹۴
پیوست (ب) گزیده ای از مقالات چاپ شده و ارائه شده در کنفرانس‌ها وسمینارها ۱۹۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول

جدول ۱- ۱. انواع باریکه سازها بر حسب انرژی، حساسیت و توان تفکیک فضایی و مشخصات فیزیکی این باریکه سازها..... ۱۲

فصل سوم

جدول ۳- ۱. طبقه بندی روش‌های نوفه زدایی تصویر توسط دیدگاه‌های تقریب ضرایب موجک..... ۸۰

فصل چهارم

جدول ۴-۱. طبقه بندی کدهای مورد استفاده در تصویربرداری پزشکی هسته‌ای که براساس روش مونت‌کارلو عمل می‌کنند و ویژگی‌های کلیدی آن‌ها ۹۵

فصل ششم

جدول ۶- ۱. نتایج مربوط به PSNR تصویر نوفه زدایی شده به کمک روش‌های Visushrink، Bayseshrink و Sureshrink و آستانه‌گذاری‌های Stein، نرم و سخت بدون نوفه زدایی از باند LL..... ۱۷۲

جدول ۶- ۲. نتایج مربوط به PSNR تصویر نوفه زدایی شده به کمک روش‌های Visushrink، Bayseshrink و Sureshrink و آستانه‌گذاری‌های Stein، نرم و سخت با نوفه زدایی از باند LL..... ۱۷۵

پیوست الف

جدول الف-۱. مشخصات دستگاه SPECT ADAC EPIC ۱۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول

شکل ۱- ۱. نمایی از دوربین گاما و اجزای تشکیل دهنده آن و نحوه تشکیل تصویر توسط آن [۱]..... ۸

شکل ۱- ۲. (راست) اجزای داخلی لامپ PM. (چپ) قسمت‌های آشکارساز سوسوزن دوربین گاما شامل سوسوزن، هادی نور، PMTهایی با سطح مقطع دایره‌ای، محفظه‌ای مغناطیسی PMT ها و پردازش کننده پالس‌های الکترونیکی..... ۱۰

شکل ۱- ۳. (الف) حجم‌هایی از بافت که توسط شکاف باریکه ساز در دو زاویه متفاوت که به صورت ۱۸۰ درجه‌ای جدا می‌شوند، رصد می‌شود. تفاوت در حجم‌های دیده شده منجر به نگاره‌های متفاوت از دو زاویه دید مختلف می‌شود. (ب)، تضعیف منجر به تفاوت بیشتر در این دو نگاره می‌شود، فعالیتی که نزدیک به دو دوربین گاما است در قیاس با فعالیتی که دورتر قرار دارد دریافت بیشتری نفوذ می‌یابد تا به دوربین گاما برسد. مقادیر برای تضعیف پرتوهای گامای ۱۴۰keV از 99mTc در آب، نشان داده شده‌اند [۱]..... ۱۶

شکل ۱- ۴. بازدهی آشکارسازی فوتوپیک بر حسب انرژی اشعه گاما برای آشکارساز NaI(TI) با ضخامت‌های متفاوت..... ۲۰

شکل ۱- ۵. تأثیر بازسازی چشمه نقطه ای با انحراف ۶ پیکسلی، ۲ پیکسلی و بدون انحراف از مرکز چرخش. با انحراف مرکز چرخش بزرگ، تصویر برش نگاری فرا محوری چشمه نقطه‌ای به صورت حلقه تشکیل می‌شود (تصویر راست)..... ۲۷

شکل ۱- ۶. تصویر فانتوم کارلسون به همراه اجزای داخلی آن [۲۵]..... ۲۸

شکل ۱- ۷. (راست) ساختار آناتومیک قلب و نمایش ارتباطات داخلی بین حفره‌ها، (چپ) نمایش طرحوار بطن چپ و راست [۲۹]..... ۳۰

شکل ۱- ۸. نمایش طرحوار مسیرهای شارش در میان قلب در حین انقباض و انبساط آن [۳۰]..... ۳۰

شکل ۱- ۹. الف) یک شریان سالم با خون رسانی طبیعی، ب) یک شریان باریک شده به علت رسوب پلاک [۳۱]..... ۳۲

شکل ۱- ۱۰. نمایش چرخش دوربین در SPECT قلب..... ۳۴

شکل ۱- ۱۱. چپ) تصویر SPECT قلب و نمایش بخش‌های مختلف آن، راست) برشی از قلب و نمایش بطن چپ قلب..... ۳۴

شکل ۱- ۱۲. تصاویر پرفیوژن قلب در جهت گیری‌های مختلف. چهار ردیف‌های بالا نشان دهنده بخش‌های محور کوتاه مربوط به حالت آرامش و استرس، دو ردیف وسطی نشان دهنده بخش‌های محور کوتاه مربوط به حالت آرامش و استرس و دو ردیف زیرین نشان دهنده بخش‌های محور افقی مربوط به حالت آرامش و استرس. تصاویر بالا سمت راست مربوط به تصویر قطبی و سه بعدی قلب است..... ۳۶

شکل ۱- ۱۳. الف) جهت گیری قلب در بدن، ب) نحوه برش مربوط به محور کوتاه، ج) نحوه برش مربوط به محور عمودی بلند، د) نحوه برش مربوط به محور افقی بلند..... ۳۷

شکل ۱- ۱۴. نمایش تصویر قطبی از قلب و امتیازدهی خودکار به تصاویر مربوط به دیواره های قلبی بر اساس بخش بندی به ۲۰ برش در شخصی با بیماری قلبی..... ۳۷

فصل دوم

شکل ۲- ۱. سطح مقطعی از مشخصات پاسخ یک دوربین گامای ایده آل ۴۰

شکل ۲- ۲. چرخش دوربین گاما پیرامون جسم و ثبت نگاره‌هایی یک بعدی برای ایجاد تصویر دو بعدی از توزیع ماده پرتوزا در جسم [۱] ۴۱

شکل ۲- ۳. هندسه ای برای توزیع تصویر سه بعدی. نگاره یک بعدی در زاویه$\emptyset$ ، $p(x_r, \emptyset)$، آرایشی از تمام توزیع جسم $f(x, y)$ در امتداد جهت x_r است که عمود بر سطح آشکارساز است [۳] ۴۱

شکل ۲- ۴. نمایش دوبعدی شدت از مجموعه ای از نمای نگاره ای، که به عنوان سینوگرام شناخته می‌شود [۲]..... ۴۲

شکل ۲- ۵. نمایش مراحل در نگاره برگشتی ساده. ۱) نمای نگاره ای برای یک چشمه نقطه ای پرتوزا برای زوایای متفاوت از نگاره‌ها. ۲) نگاره برگشتی یک نمای شدت در طول زاویه مربوط به زاویه ای خاص (این امر برای تمامی نگاره‌ها تکرار می‌گردد). ۴۲

شکل ۲- ۶. مفهوم تئوری اسلایس نگاره ای [۳] ۴۵

شکل ۲- ۷. نمایش مراحل در FBP [۱] ۴۷

شکل ۲- ۸. فیلتر رمپ در فضای فرکانس (چپ) ، فیلتر رمپ در فضای مختصه (راست) ۴۸

شکل ۲- ۹. تصحیح یک تصویر به کمک فیلتر بالا گذر ایده آل. شکل‌های موجود در سطرهای بالا و پایین نشان دهنده عملکرد فیلتر در فضای دکارتی و فرکانسی می‌باشند. ستون سمت چپ تصویر ورودی و تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهد. ستون میانی تقارن دایره ای PSF و تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهد. تصاویر در ستون سمت راست، تصویر خروجی و اندازه تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهد. ۵۴

شکل ۲- ۱۰. تصحیح یک تصویر به کمک فیلتر پایین گذر ایده آل. شکل‌های موجود در سطرهای بالا و پایین نشان دهنده عملکرد فیلتر در فضای دکارتی و فرکانسی می‌باشند. ستون سمت چپ تصویر ورودی و میزان تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهد. ستون میانی تقارن دایره ای PSF و تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهد. تصاویر در ستون سمت راست، تصویر خروجی و اندازه تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهد. ۵۴

شکل ۲- ۱۱. نمودار فیلترهای همینگ، هن، پارزن، شپ-لوگان، رمپ و باترورت با ضرب در یک فیلتر رمپ ۵۶

شکل ۲- ۱۲. نمودار فیلتر باترورت (چپ) نمودار فیلتر باترورت به ازای فرکانس‌های قطع مختلف، (راست) نمودار فیلتر باترورت به ازای شیب‌های مختلف ۵۸

شکل ۲- ۱۳. نمودار فیلتر گاوسی به ازای انحراف معیارهای متفاوت ($\sigma = D0$) برای آن ۵۸

شکل ۲- ۱۴. فیلتر گذر باند انتخابی که ترکیبی از فیلتر رمپ و باترورت است ۵۸

شکل ۲- ۱۵. تأثیر فیلتر رمپ و فیلترهای پایین گذر بر روی داده‌های سیگنال، نوفه و دگردیسی ستاره ای [۲] ۶۰
شکل ۲- ۱۶. روند بازسازی یک تصویر به همراه فیلتر کردن آن ۶۰
شکل ۲- ۱۷. نمایش طرحوار مراحل بازسازی به روش تکرار ۶۲

فصل سوم

شکل ۳- ۱. توابع اصلی تبدیل فوریه و الگوی توان تفکیک مربوط به تبدیل فوریه زمان کوتاه (توان تفکیک‌های زمانی و فرکانسی که با پهنای تابع پنجره تعیین می‌شوند در تمام نمودار زمان فرکانس یکسان هستند) [۵۲]..... ۶۵
شکل ۳- ۲. فضاهای تابعی تودرتو که توسط یک تابع مقیاس گذاری در برگرفته شده‌اند. ۶۹
شکل ۳- ۳. شباهات و اختلافات میان تحلیل چند تفکیکی و تبدیل فوریه پنجره ای ۶۹
شکل ۳- ۴. الف) نمایش سیگنال با تابع(f(t)=sin (t2. ب) نمایش تبدیل فوریه داخل پنجره ای سیگنال. ج) تبدیل چند تفکیکی سیگنال فوق [۴۹] ۶۹
شکل ۳- ۵. رابطه بین فضاهای تابعی مقیاس گذاری و موجک ۷۰
شکل ۳- ۶. الگوی توان تفکیک تبدیل موجک. اگرچه مساحت کاشی‌های شکل دهنده صفحه زمان-فرکانس ثابت است اما شکل آن‌ها تغییر می‌کند. موجک‌های بزرگ توان تفکیک زمانی ضعیفی دارند اما دارای توان تفکیک فرکانسی خوبی هستند. برای موجک‌های کوچک نیز عکس مطالب فوق صادق است (موجک‌های نشان داده شده در شکل از نوع دابشیز است)..... ۷۱
شکل ۳- ۷. توابع مقیاس کننده هار (سمت راست) و دابشیز (سمت چپ) ۷۲
شکل ۳- ۸. نمایش طرحوار (الف) بانک فیلترهای تجزیه و تحلیل تک مرحله ای به کمک تبدیل موجک و (ب) بانک فیلترهای بازسازی ۷۴
شکل ۳- ۹. نمایش توابع موجک‌های «هار»، «دابشیز»، «بی‌اورتوگونال»، «کویفلت»، «سیملت»، «مورلت»، «کلاه مکزیکی» و «میر» ۷۵
شکل ۳- ۱۰. تبدیل موجک دوبعدی. الف) بانک فیلتر تجزیه و تحلیل تک مرحله‌ای، ب) تجزیه حاصله (سه مرحله‌ایی)، ج) بانک فیلتر بازسازی ۷۷
شکل ۳- ۱۱. نحوه نوفه زدایی تصویر به کمک تبدیل موجک ۷۷
شکل ۳- ۱۲. نمایش توابع مربوط به آستانه‌گذاری سخت، نرم و Stein ۸۱

فصل چهارم

شکل ۴- ۱. نقش روش مونت‌کارلو در علوم پایه [۹۱] ۸۸
شکل ۴- ۲. نقش روش مونت‌کارلو در علوم کاربردی [۹۱] ۹۰

شکل ۴- ۳. اصول شبیه سازی مونت‌کارلو در یک سامانه تصویربرداری [۹۳] ۹۲

شکل ۴- ۴. مؤلفه های سطح مقطع‌های فوتون برای بافت‌های مختلف (آب و استخوان) و مواد مورد استفاده در آشکارساز گاما [۹۰] ۹۴

فصل پنجم

شکل ۵- ۱. ساختار نرم‌افزار GATE [۹۷] ۱۰۰

شکل ۵- ۲. شمای خروجی تولید شده توسط فهرستی از دستورات مربوط به بخش رقمی کننده (علایم دیسک مانند نشانگر ثبت داده‌ها در خروجی نرم‌افزار GATE می‌باشد) [۹۹] ۱۰۲

شکل ۵- ۳. ساختار شبیه‌سازی در نرم‌افزار GATE [۱۰۰] ۱۱۰

شکل ۵- ۴. شبیه‌سازی تصویربرداری پزشکی بر اساس رایانه ۱۱۰

شکل ۵- ۵. (چپ) نمای مقابل فانتوم 4D MCAT، (راست) شبیه‌سازی تابش‌های گسیلی و انتقالی انجام گرفته با استفاده از فانتوم ۱۱۲

شکل ۵- ۶. (چپ) نمای از مقابل فانتوم 4D XCAT، (وسط) مدل‌های حرکت قلبی و تنفسی فانتوم XCAT. (راست) شبیه‌سازی تابش گسیلی و انتقالی انجام گرفته توسط فانتوم ۱۱۳

شکل ۵- ۷. (چپ) بسط اولیه‌ی آناتومی فانتوم 4D XCAT، (راست) تصاویر x-raسی تی قفسه سینه شبیه‌سازی شده از بسط اولیه‌ی آناتومی فانتوم 4D XCAT. (سطر بالا) تصاویر هاله ای، (دو سطر پایین) تصاویر فرا محوری بازسازی شده از فانتوم، تصاویر بسیار واقعی‌تر از آنچه که در شکل ۵-۶ نشان داده شده است مشاهده می‌شوند. ۱۱۴

فصل ششم

شکل ۶- ۱. فانتوم طراحی شده به منظور مطالعه اثرات چشمه ثانویه بر تابع گسترش خطی دستگاه SPECT ۱۱۶

شکل ۶- ۲. مقادیر FWHM تصاویر چشمه خطی (چپ) و دو-خطی (راست) با اعمال فیلترهای پارزن، همینگ، هن و شپ-لوگان به ازای مقادیر متفاوت فرکانس قطع (تصاویر برگرفته از دوربین SPECT تجهیز شده با باریکه ساز LEHR) ۱۱۹

شکل ۶- ۳. مقادیر FWHM برای تصاویر چشمه خطی (چپ) و دو-خطی (راست) با اعمال فیلتر باترورت به ازای مقادیر متفاوت شیب و فرکانس قطع (تصاویر برگرفته از دوربین SPECT تجهیز شده با باریکه ساز LEHR) ۱۲۰

شکل ۶- ۴. مقادیر FWHM برای چشمه خطی (چپ) و دو-خطی (راست) با اعمال فیلتر گاوسی به ازای مقادیر متفاوت شیب و فرکانس قطع (تصاویر برگرفته از دوربین SPECT تجهیز شده با باریکه ساز LEHR)..... ۱۲۰

شکل ۶- ۵. مقادیر FWHM برای چشمه خطی حاشیه ای با اعمال فیلترهای پارزن، همینگ، هن و شپ-لوگان (چپ) و با اعمال فیلتر باترورت (راست) به ازای مقادیر متفاوت شیب و فرکانس قطع (تصاویر برگرفته از دوربین SPECT تجهیز شده با باریکه ساز LEHR)..... ۱۲۱

شکل ۶- ۶. مقادیر FWHM برای چشمه خطی (چپ) و دو-خطی (راست) با اعمال فیلتر گاوسی به ازای مقادیر متفاوت شیب و فرکانس قطع (تصاویر برگرفته از دوربین SPECT تجهیز شده با باریکه ساز LEGP)..... ۱۲۲

شکل ۶- ۷. تصویر ظروف شیشه ای ساخته شده و سرنگی که توسط آن ماده پرتوزا به داخل این ظرف‌ها وارد می‌شود (چپ)، تصویر طرحوار فانتوم چشمه‌های نقطه ای (راست)..... ۱۲۵

شکل ۶- ۸. سامانه‌های تصویربرداری SPECT تک سر که در تصویربرداری چشمه‌های نقطه ای مورد استفاده قرار گرفت (گاما اسکن مروارید رشت)..... ۱۲۶

شکل ۶- ۹. نمایش تغییرات پیکسل مرکزی اندازه‌گیری شده برای هفت چشمه نقطه ای که تصویر آن‌ها به کمک روش «نگاره برگشتی فیلتر شده» و به همراه فیلتر رم-لک بازسازی گشت. تصویربرداری‌ها با باریکه‌سازهای (۱) LEHR و (۲) LEGP صورت پذیرفته است..... ۱۲۷

شکل ۶- ۱۰. نمایش تغییرات پیکسل مرکزی اندازه‌گیری شده برای هفت چشمه نقطه ای که تصویر آن‌ها به کمک روش «نگاره برگشتی فیلتر شده» و به همراه فیلتر شپ-لوگان بازسازی گشت. تصویربرداری‌ها با باریکه‌سازهای (۱) LEHR و (۲) LEGP صورت پذیرفته است..... ۱۲۸

شکل ۶- ۱۱. مقادیر FWHM تصویر چشمه‌های نقطه ای در بازسازی با فیلتر رم-لک. تصویربرداری با SPECT تجهیز شده با باریکه‌ساز LEHR (چپ) و LEGP (راست)..... ۱۳۰

شکل ۶- ۱۲. مقادیر FWHM تصویر چشمه‌های نقطه ای در بازسازی با فیلتر شپ-لوگان. تصویربرداری با SPECT تجهیز شده با باریکه‌ساز LEHR (چپ) و LEGP (راست)..... ۱۳۰

شکل ۶- ۱۳. (چپ) پر کردن فانتوم کارلسون با مخلوطی از آب و تکنسیوم پرتوزا، (راست) قرار دادن فانتوم کارلسون به کمک نگهدارنده آن بر روی تخت دوربین SPECT (گاما اسکن مروارید). ۱۳۲

شکل ۶- ۱۴. (۱) نمایش فانتوم کارلسون با بخش‌های متفاوت آن که برای ارزیابی کنتراست و توان تفکیک فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، (۲) فانتوم سرهم شده، (۳) نمودار طرحوار مربوط به ۸ زوج حفره و نمایش ۴ خط نمایه A، B، Cو D رسم شده بر تصویر آن..... ۱۳۳

شکل ۶- ۱۵. نمایش تغییرات میانگین FWHM، اندازه گیری شده برای تصویر دو چشمه جانبی (۱) و مکان پیکسل مرکزی برای تصویر چشمه جانبی بالایی (۲) در فرکانس‌های قطع مختلف تحت اعمال فیلترهای پارزن، همینگ، هن، کسینوسی و شپ-لوگان..... ۱۳۵

شکل ۶- ۱۶. نمایش خط نمایه مربوط به خط گذرنده از هشت حفره هم-خط برای تصاویر بازسازی شده با فیلترهای (۱) هن، (۲) کسینوسی، (۳) شپ-لوگان و (۴) رم-لک با فرکانس‌های قطع مختلف..... ۱۳۶

شکل ۶- ۱۷. نمایش داده‌های تولیدی از خط نمایه گذرنده از ناحیه سرد تصاویر بازسازی شده با فیلترهای هن، کسینوسی، شپ-لوگان و رم-لک با فرکانس‌های قطع مختلف..... ۱۳۶

شکل ۶- ۱۸. نمایش تصاویر بخش مربوط به ناحیه داغ فانتوم کارلسون بازسازی شده با فیلترهای (۱) کسینوسی، (۲) همینگ، (۳) هن (فرکانس‌های قطع ۰/۹)، (۴) هن (فرکانس‌های قطع ۰/۴)، (۵) شپ-لوگان و (۶) رم-لک با فرکانس‌های قطع نشان داده شده ۱۳۷

شکل ۶- ۱۹. کنتراست مربوط به تصاویر نشان داده شده در شکل ۶-۱۸ ..... ۱۳۸

شکل ۶- ۲۰. تصویری از نمای فانتوم قلب ساخته شده در داخل محفظه نگهدارنده آن، قرار دادن فانتوم قلب بر روی تخت دستگاه SPECT دو-سر و قرار گرفتن سرهای دستگاه به صورت عمود بر هم مطابق پروتکل توصیه شده در تصویربرداری از قلب ۱۴۰

شکل ۶- ۲۱. نمای فانتوم قلب و نحوه قرار گرفتن و مکان توده‌ها در فانتوم قلب ۱۴۱

شکل ۶- ۲۲. نمایش رابطه بین پنجره انرژی ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ در طیف انرژی 99m Tc و تعداد نسبی شمارش‌های ثبت شده ۱۴۲

شکل ۶- ۲۳. نمایش چهار ROI مربع شکل، رسم شده بر ناحیه‌ای که توده‌ها قرار دارد (چپ)، نمایش چهار بلوک کمان رسم شده بر ناحیه مجاور توده‌ها در تصویر SPECT قلب (راست) ۱۴۲

شکل ۶- ۲۴. نمودار کنتراست تصاویر مربوط به توده‌های Anterior (بالا)، Septal (سمت راست)، توده Inferoposterior (پایین) و Lateral (سمت چپ) بدست آمده به کمک پنجره عرض انرژی (۱) ۲۰٪، (۲) ۲۵٪ و (۳) ۱۵٪ در مدار کسب ۱۸۰°، و در مدار کسب ۳۶۰° (د) ۱۴۴

شکل ۶- ۲۵. نمونه ای از داده های تولید شده در برش‌های (۱) عرضی، (۲) کورونال و (۳) سژیتال و نمایش خطوط نمایه (خطوط مشکی صلب) ترسیم شده بر نواحی مربوط به توده‌ها ۱۴۶

شکل ۶- ۲۶. نمونه ای از منحنی‌های برازش یافته بر خطوط نمایه در فرکانس‌های قطع متفاوت برای فیلتر شپ-لوگان..... ۱۴۶

شکل ۶- ۲۷. (۱) نمایش تصویر کانتور از برش عرضی تصویر SPECT قلب. نمودار مربوط به تغییرات (۲) ابعاد توده، (۳) کنتراست و (۴) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت چپ تصویر در برش عرضی ۱۴۷

شکل ۶- ۲۸. نمودار مربوط به تغییرات (۱) ابعاد توده، (۲) کنتراست و (۳) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت راست تصویر در برش عرضی ۱۴۸

شکل ۶- ۲۹. نمودار مربوط به تغییرات (۱) ابعاد توده، (۲) کنتراست و (۳) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت بالای تصویر در برش عرضی ۱۴۹

شکل ۶- ۳۰. نمودار مربوط به تغییرات (۱) ابعاد توده، (۲) کنتراست و (۳) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت پایین تصویر در برش عرضی ۱۵۰

شکل ۶- ۳۱. (۱) نمایش تصویر کانتور از برش کورونال تصویر SPECT فانتوم قلب. نمودار مربوط به تغییرات (۲) ابعاد توده، (۳) کنتراست و (۴) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت چپ تصویر در برش کورونال ۱۵۲

شکل ۶- ۳۲. نمودار مربوط به تغییرات (۱) ابعاد توده، (۲) کنتراست و (۳) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت راست تصویر در برش کورونال..... ۱۵۳

شکل ۶- ۳۳. نمودار مربوط به تغییرات (۱) ابعاد توده، (۲) کنتراست و (۳) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت پایین تصویر در برش کورونال..... ۱۵۴

شکل ۶- ۳۴. (۱) نمایش تصویر کانتور از برش کورونال تصویر SPECT فانتوم قلب. نمودار مربوط به تغییرات (۲) ابعاد توده، (۳) کنتراست و (۴) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت راست تصویر در برش سژیتال..... ۱۵۵

شکل ۶- ۳۵. نمودار مربوط به تغییرات (۱) ابعاد توده، (۲) کنتراست و (۳) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در سمت چپ تصویر در برش سژیتال..... ۱۵۶

شکل ۶- ۳۶. نمودار مربوط به تغییرات (۱) ابعاد توده، (۲) کنتراست و (۳) SNR نسبت به فرکانس قطع برای فیلترهای همینگ، هن، شپ-لوگان، کسینوسی و باترورت برای توده قرار گرفته در پایین تصویر در برش سژیتال..... ۱۵۷

شکل ۶- ۳۷. (بالا) نمایش برش عرضی از تصویر SPECT فانتوم قلب بازسازی شده با فیلتر باترورت با فرکانس‌های قطع ۰/۲ تا ۰/۹ که در بالای تصاویر مربوطه نشان داده شده است. (پایین) نمایش مربوط به هیستوگرام تصاویر ۳ (چپ) و ۹ (راست)..... ۱۶۰

شکل ۶- ۳۸. نتایج مربوط به مقایسه روش SPECT با آنژیوگرافی در گرفتگی کرونر قلبی، و میزان تشخیص درست (چپ) و نادرست (راست) روش SPECT برای توده‌های قرار گرفته در نواحی LAD، RCA و LCX..... ۱۶۲

شکل ۶- ۳۹. نمایی از چندین نگاره برگرفته از فانتوم NCAT توسط سامانه شبیه‌سازی شده به کمک GATE ۱۶۶

شکل ۶- ۴۰. شمایی از کل مجموعه شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار GATE به همراه فانتوم شبیه‌سازی شده در داخل ۱۶۶

شکل ۶- ۴۱. نتایج حاصل از شبیه‌سازی فانتوم کارلسون پس از بازسازی به کمک فیلتر شپ-لوگان با فرکانس‌های قطع نشان داده شده در بالای هر تصویر ۱۶۷

شکل ۶- ۴۲. نمایی از تصویر (۱) مرجع و (۲) نوفه آلود بخش مربوط به نقاط داغ فانتوم کارلسون شبیه‌سازی شده به کمک نرم‌افزار GATE ۱۷۰

شکل ۶- ۴۳. نمایش نحوه تغییرات (۱) PSNR و (۲) RMSE نسبت به مقادیر آستانه برای تصویر نوفه زدایی شده به کمک آستانه‌گذاری‌های سخت، Stein و نرم ۱۷۰

شکل ۶- ۴۴. نمایش نحوه تغییرات (۱) PSNR و (۲) RMSE نسبت به مقادیر آستانه برای تصویر نوفه زدایی شده به کمک آستانه‌گذاری بلوکی نرم با اندازه‌های متفاوتی از بلوک‌ها ۱۷۱

شکل ۶- ۴۵. نمایش نحوه تغییرات (۱) PSNR و (۲) RMSE نسبت به مقادیر آستانه برای تصویر آزمایشی نوفه زدایی شده به کمک آستانه‌گذاری بلوکی نرم در تبدیل موجک ناوردا و متعامد..... ۱۷۲

شکل ۶- ۴۶. مقایسه تصویری عملکرد نوفه زدایی‌های (۱) متعامد و (۲) ناوردا به کمک آستانه‌گذاری بلوکی نرم در تصویر آزمون و مقایسه با تصویر مرجع (۳)..... ۱۷۲