

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالی



دانشگاه گیلان
دانشکده علوم ریاضی

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای ابراهیم زارعی زفره رشته علوم کامپیوتر به شماره دانشجویی ۸۸۵۲۷۳۱۰۰۲ تحت عنوان: «بازسازی تصاویر توموگرافی کامپیوتری با الگوریتم های تکرار شونده» را از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آن را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مورد تأیید قرار دادند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر فرزاد دیده‌ور	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر علی رجایی	استادیار	
۳- استاد ناظر داخلی	دکتر موسی گل‌علی‌زاده	استادیار	
۴- استاد ناظر خارجی	دکتر سیدحمید حاج‌سیدجوادی	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر موسی گل‌علی‌زاده	استادیار	

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته علوم کامپیوتر است که در سال

۱۳۹۵ در دانشکده علوم ریاضی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار

کرامت/جناب آقای دکتر فرزاد زبیر، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر علی حایبی

و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجناب ابراهیم زاری زهره دانشجوی رشته علوم کامپیوتر مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:
ف.ز.
تاریخ و امضا:
۱۳۹۵/۹/۱۲

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

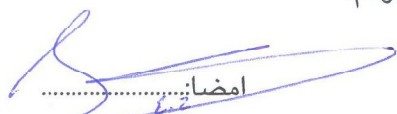
تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب ابراهیم علی زفسه دانشجوی رشته علوم کامپیوتر و رودی سال تحصیلی ۸۸ مقطع دانشکده علوم ریاضی دانشگاه تربیت مدرس متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: 
تاریخ: ۱۳۹۴/۹/۱۲



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم ریاضی

پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد علوم کامپیوتر

عنوان:

بازسازی تصاویر توموگرافی کامپیوتری با الگوریتم‌های تکرارشونده

نگارنده:

ابراهیم زارعی زفره

استاد راهنما:

دکتر فرزاد دیده‌ور

استاد مشاور:

دکتر علی رجایی

سرآغاز حمد و سپاس پروردگار کریم را که یاری بخش این بنده حقیر بود

تقدیم به او که جهان در انتظار اوست

تقدیم به مهربانترین پدر و تقدیم به صبورترین مادر

آنانکه توانشان رفت تا به توان برسم و مویشان سپید کشت تا رویم سپید باند آنانکه راستی قائم در شگفتی قامتشان بقاء

یافت

تقدیم به آنانکه وجودم برایشان همه نبح بود و وجودشان برایم همه مهر

مشکر و قدردانی

هواداران کوش را چون خویشان دارم

مرا عیدی ست با جانان که تا جان در بدن دارم

از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر فرزاد دیده‌ور، به خاطر راه‌نمایی‌های ارزنده ایشان و به خاطر انتقال تجارب کرات قدرشان به اینجانب در طول دوران تحصیل، کمال تشکر و قدردانی را دارم که افزون بر مسیر علم، مسیر زندگی را نیز بر اینجانب روشن و میسر نمودند.

از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر علی رجایی که برایم مشاوره‌ی ارزشمند بودند و با ارائه‌ی مشاهدات رک‌گشای خود مراد امر پایان‌نامه‌ی یرای گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

هم‌چنین، بر خود فرض می‌دارم که از اساتید گران‌قدر و محترم گروه ریاضی دانشگاه تربیت مدرس و یزد و همچنین آقایان دکتر سید حمید حاج سید جوادی، دکتر موسی گل‌علی زاده، دکتر محمد انزلی، دکتر محمد خوش‌نویسان، دکتر منصور رزقی، دکتر کلاتری صمیمانه قدردانی نمایم. همواره خود را مدیون زحمات ارزنده آنان می‌دانم و سربلندی و توفیق روزافزون آنان را از خداوند منان مسئلت می‌نمایم.

از خانواده عزیزم، بسیار سپاس گزارم که حمایت‌های همه‌جانبه و بی‌دریغ‌شان، همواره همراه و یاورم بوده است. سلامتی و سربلندی‌شان را از خداوند متعال خواستارم. از همه هم‌کلاسی‌ها و هم‌اطاقی‌های و دوستان عزیزم نیز بخاطر کلیه زحماتشان صمیمانه تشکر می‌کنم.

ابراهیم زارعی زفره

پاییز ۱۳۹۰

چکیده

توموگرافی کامپیوتری بطور گسترده در تصویربرداری پزشکی، میکروسکوپ الکترونیکی، ژئوفیزیک و دیگر حوزه‌های علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های بازسازی تکراری، ابزار قدرتمندی برای بازسازی تصاویر توموگرافی کامپیوتری است به‌ویژه زمانی که روش‌های تحلیلی در دسترس نباشد، داده‌ها کامل نباشد یا در مواردی که مدلسازی نویز و تصویر باید در نظر گرفته شود. نقاط ضعف اصلی روش‌های تکراری بار سنگین محاسباتی و همگرایی آهسته‌ی آن است. البته می‌بایست در نظر داشت که با پیشرفت تکنولوژی محاسبات فوق سریع، دیگر محاسبات مانع سختی به‌شمار نمی‌آید. در این پایان‌نامه به منظور تسریع همگرایی روش‌های تکراری و بهبود کیفیت تصاویر بازسازی‌شده توانسته‌ایم با استفاده از مفاهیم تصویر، پیکسل، همسایگی مجاور و عمل درونیابی به منظور کوچک و بزرگ کردن تصویر و با پیدا کردن نقطه‌ی شروع مناسب، زمان و حجم محاسبات را بطور چشمگیری کاهش داده و سرعت همگرایی روش‌های بازسازی تکراری همزمان را افزایش دهیم.

برای هر روش تکراری، تعدادی استراتژی برای انتخاب پارامتر تنشزدایی ارائه و پیاده‌سازی شده است. پارامتر تنشزدایی می‌تواند به عنوان یک پارامتر ثابت یا متغیر در هر تکرار انتخاب شود. بعلاوه شبیه‌سازی‌ها و آزمایشات صورت گرفته برای نشان دادن عملکرد روش‌های بازسازی ارائه و مورد بحث قرار گرفته است.

همه‌ی روش‌های بازسازی تحلیلی و تکراری و توابع مورد نیاز برای انجام محاسبات، مقایسات و شبیه‌سازی‌ها در نرم افزار MATLAB نسخه 7.10 تحت عنوان بسته آموزشی بازسازی تصاویر توموگرافی کامپیوتری (CTIRec) پیاده‌سازی شده است. بعلاوه بسته فوق حاوی راهنمایی برای روش‌های پیاده‌سازی شده است.

کلید واژه: توموگرافی کامپیوتری، روش‌های بازسازی تکراری، روش‌های بازسازی تحلیلی، پارامتر تنشزدایی.

- 23..... دریافت داده‌ها 3-5-2
- 23..... پردازش داده‌ها و اعداد سی‌تی 4-5-2
- 24..... بازسازی و نمایش تصویر 5-5-2

فصل 3- مروری بر روش‌های بازسازی تحلیلی 26

- 26..... مقدمه 1-3
- 26..... تبدیل رادون و افکنش 2-3
- 30..... تئوری بخش‌بندی فوریه 3-3
- 33..... الگوریتم بازسازی برای افکنش‌های موازی 4-3
- 34..... الگوریتم پس‌افکنش فیلترشده 1-4-3
- 38..... پیاده‌سازی کامپیوتری الگوریتم پس‌افکنش فیلترشده 2-4-3
- 43..... درونیایی 3-4-3
- 44..... هزینه‌ی الگوریتم پس‌افکنش فیلترشده 4-4-3

فصل 4- مروری بر روش‌های بازسازی تکراری 45

- 45..... مقدمه 1-4
- 46..... مسائل بد وضع گسسته 2-4
- 47..... تصویر و نمایش افکنش 3-4
- 50..... بازسازی با استفاده از تجزیه مقادیر تکین 4-4
- 51..... روش‌های بازسازی تکراری 5-4
- 52..... روش‌های بازسازی تکراری ترتیبی 1-5-4
- 52..... روش کُرمارز 1-1-5-4
- 54..... روش بازسازی جبری ضربی 2-1-5-4
- 55..... روش کُرمارز متقارن 3-1-5-4
- 56..... روش کُرمارز تصادفی 4-1-5-4
- 56..... روش‌های بازسازی تکراری همزمان 2-5-4
- 57..... روش لندوبر 1-2-5-4
- 57..... روش سیمینوز 2-2-5-4
- 59..... روش متوسط اجزا 3-2-5-4
- 60..... روش افکنش ساده شده‌ی قطری 4-2-5-4
- 61..... روش بازسازی جبری همزمان 5-2-5-4
- 62..... روش‌های بازسازی تکراری بلوکی 3-5-4
- 62..... هزینه الگوریتم‌های تکراری 6-4
- 63..... شبه همگرایی 7-4
- 67..... انتخاب پارامتر تنش‌زدایی 8-4
- 67..... استراتژی انتخاب بهینه 1-8-4
- 67..... جستجوی خطی 2-8-4

69	تنشزدایی برای کنترل انتشار نویز	۳-۸-۴
69	قانون توقف	9-4
71	فصل 5- روش پیشنهادی	
71	مقدمه	1-5
72	تصویر و مبانی آن	2-5
75	روش پیشنهادی	3-5
76	الگوریتم 1	1-3-5
76	الگوریتم 2	2-3-5
78	الگوریتم 3	3-3-5
80	الگوریتم 4	4-3-5
82	فصل 6- شبیه‌سازی‌ها	
82	مقدمه	1-6
82	بسته‌ی آموزشی CTIRec	2-6
84	نتایج آزمایشات	3-6
84	آزمایش 1: همگرایی	1-3-6
95	آزمایش 2: داده‌های نویزی	2-3-6
107	آزمایش 3: داده‌های ناقص	3-3-6
135	فصل 7- نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
135	نتیجه‌گیری	1-7
136	پیشنهادات	2-7
138	فصل 8- ضمایم	
138	مفاهیم پردازش تصویر	1-8
139	مدل ساده‌ی تشکیل تصویر	1-1-8
140	همسایه‌های پیکسل	2-1-8
140	عملیات در حوزه‌ی مکان	3-1-8
141	مبانی فیلتر کردن مکانی	1-3-1-8
143	عملیات در حوزه‌ی فرکانس	4-1-8
144	تبدیل فوریه	1-4-1-8
145	ضربه و خاصیت غربال کردن	2-4-1-8
146	کانولوشن	3-4-1-8
146	نمونه‌برداری	4-4-1-8
148	تئوری نمونه‌برداری	5-4-1-8
151	مبانی فیلتر کردن در حوزه‌ی فرکانس	6-4-1-8
151	تبدیل فوریه سریع (FFT)	7-4-1-8

153.....	فهرست مراجع
158.....	واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی
161.....	واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ماتریس ضرایب	A
i امین سطر ماتریس A	a^i
j امین ستون ماتریس A	a_j
عنصر سطر i ام، ستون j ام ماتریس A	a_{ij}
سمت راست معادله (بردار افکنش)	$p = (p_1, p_2, \dots, p_m)^T$
سمت راست دقیق معادله (بردار افکنش عاری از خطا)	$\bar{p} = (\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_m)^T$
i امین عنصر از بردار افکنش p	p_i
بردار جواب (تصویر)	$f = (f_1, f_2, \dots, f_n)^T$
بردار جواب در k امین تکرار	f^k
بردار جواب دقیق	\bar{f}
سطح نویز	δ
ماتریس واحد	I
تعداد تکرار	k
پارامتر تنش‌زدایی	λ
ابعاد ماتریس ضرایب	m, n
خطای نویز	$\Psi^k(\sigma, \lambda)$
خطای تکرار	$\Phi^k(\sigma, \lambda)$
ابر صفحه‌ی i ام	H_i
ماتریس‌ها معین مثبت متقارن در کلاس روش‌های SIRT	M, T
ماتریس قطری با مقادیر تکین	Σ
مقادیر تکین ماتریس	σ_i
ماتریس حاوی بردارهای تکین چپ	U
i امین بردار تکین چپ	u_i
ماتریس حاوی بردارهای تکین راست	V
i امین بردار تکین راست	v_i
نرم-2	$\ \cdot\ _2 \quad Ex: \ f\ _2 = \sqrt{f^T f}$
نرم اقلیدسی وزندار	$\ f\ _M = \sqrt{f^T M f}$
ضرب نقطه‌ای	$\langle \cdot, \cdot \rangle$

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول 1-2: نگرشی به گسترش دستگاه‌های سی‌تی‌اسکن از آغاز تا کنون.....	16
جدول 1-5: روش‌های موجود در کلاس SIRT.....	75
جدول 2-5: روش‌های موجود در کلاس SIRT بر اساس انتخاب ماتریسهای T و M.....	76
جدول 1-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان با روش‌های تحلیلی.....	86
جدول 2-6: نتایج حاصل از بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش Landweber بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2	87
جدول 3-6: نتایج حاصل از بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش Cimmino's بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2	88
جدول 4-6: نتایج حاصل از بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش CAV بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2	88
جدول 5-6: نتایج حاصل از بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش DROP بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2	89
جدول 6-6: نتایج حاصل از بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش SART بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2	89
جدول 7-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش‌های تحلیلی در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08.....	96
جدول 8-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش Landweber در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08.....	97
جدول 9-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش Cimmino's در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08.....	99
جدول 10-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش CAV در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08.....	101
جدول 11-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش DROP در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08.....	103
جدول 12-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش SART در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08.....	105
جدول 13-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با روش‌های تحلیلی برای داده‌های افکنش ناقص.....	108
جدول 14-6: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 1 و روش Landweber برای داده‌های افکنش ناقص.....	110

جدول 6-15: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 4 و روش Landweber	111
برای داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-16: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 1 و روش Cimmino's	115
برای داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-17: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 4 و روش Cimmino's	116
برای داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-18: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 1 و روش CAV برای	120
داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-19: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 4 و روش CAV برای	121
داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-20: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 1 و روش DROP برای	125
داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-21: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 4 و روش DROP برای	126
داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-22: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 1 و روش SART برای	130
داده‌های افکنش ناقص.....	
جدول 6-23: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 256×256 و 512×512 با الگوریتم 4 و روش SART برای	131
داده‌های افکنش ناقص.....	

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
3.....	شکل 1-1: نمایش دستگاه سی‌تی‌اسکن با پرتوهای موازی.....
8.....	شکل 2-1: نمایش یک برش ساده و بازسازی آن.....
11.....	شکل 2-2: نمایشی از طیف الکترومغناطیس.....
12.....	شکل 2-3: (الف) دستگاه تولید اشعه ایکس، (ب) چگونگی تولید اشعه ایکس از طریق جذب الکترون از سطوح بالا، (پ) چگونگی تولید اشعه ایکس از طریق تغییر مسیر الکترون‌های آزاد.....
19.....	شکل 2-4: (الف) دستگاه سی‌تی‌اسکن نسل اول، (ب) دستگاه سی‌تی‌اسکن نسل دوم، (ج) دستگاه سی‌تی‌اسکن نسل سوم، (د) دستگاه سی‌تی‌اسکن نسل چهارم، (ه) دستگاه سی‌تی‌اسکن اسپیرال.....
21.....	شکل 2-5: رفتار نمایی تضعیف اشعه ایکس با ضخامت جسم.....
22.....	شکل 2-6: نمایش جسم غیریکنواخت با اجزاء، ضرایب تضعیف و ضخامت‌های متفاوت.....
23.....	شکل 2-7: تقسیم جسم غیریکنواخت به قطعاتی به ابعاد L که ضرایب تضعیف هر یک ثابت باشد.....
25.....	شکل 2-8: اجزای کوچکتر جسم برای بررسی در سی‌تی‌اسکن که شامل اسلایس، وکسل و پیکسل هستند.....
27.....	شکل 3-1: (الف) مقطع فرضی، (ب) انتگرال خط در راستای خط L
28.....	شکل 3-2: انتگرال‌های خط در راستای خطوط موازی با خط L
29.....	شکل 3-3: (الف) تصویر یک چهار گوش و سینوگرام آن، (ب) تصویر فانتوم شیپ لوگان و سینوگرام آن.....
31.....	شکل 3-4: نمایش تئوری بخش‌بندی فوریه برای افکنش در زاویه 0°
32.....	شکل 3-5: تئوری بخش‌بندی فوریه.....
33.....	شکل 3-6: استفاده از تئوری بخش‌بندی فوریه برای حل مسئله معکوس توموگرافی کامپیوتری.....
33.....	شکل 3-7: برآورد تبدیل فوریه از شیء دو بعدی. هر خط شعاعی، FFT از افکنشی است که نقطه‌چین‌ها موقعیت واقعی تبدیل فوریه شیء را نشان می‌دهد.....
35.....	شکل 3-8: نمایش ویژگی تقارن در افکنش موازی.....
36.....	شکل 3-9: نمایش فرایند پس‌افکنش.....
37.....	شکل 3-10: نمایش مفهوم پس‌افکنش فیلتر شده (الف) داده‌های فرکانسی ایده‌آل از افکنش، (ب) داده‌های فرکانسی واقعی از یک افکنش، (پ) تابع توزین در حوزه فرکانس برای تقریب زدن شرایط ایده‌آل.....
38.....	شکل 3-11: حل مسئله معکوس توموگرافی کامپیوتری با استفاده از روش پس‌افکنش فیلتر شده.....
39.....	شکل 3-12: نمونه‌برداری از افکنش $p(t, \theta)$. خطوط سیاه نمونه‌برداری‌های $p(m\tau, \theta)$ را نشان می‌دهد.....
39.....	شکل 3-13: نمونه‌برداری از تبدیل فوریه $P_\theta(\omega)$. خطوط سیاه نمونه‌برداری‌های $P_\theta(m2W/N)$ را نشان می‌دهد.....
40.....	شکل 3-14: (الف) فیلتر Ram-Lak، (ب) پنجره همینگ.....

- شکل 3-15: پاسخ ضربه‌ی فیلتر رام-لک 42
- شکل 4-1: الف) مسائل مستقیم، ب) مسائل معکوس 46
- شکل 4-2: تصویر با شبکه‌ای که بر روی آن قرار گرفته است 48
- شکل 4-3: فرایند بازسازی تکراری 52
- شکل 4-4: روش کزمارز برای حل کردن معادلات جبری برای حالتی از دو متغیر را نشان می‌دهد. با شروع از یک حدس اولیه، این نقطه بر روی خط اول و سپس نتیجه بر روی خط دوم تصویر می‌گردد. فرایند فوق تا رسیدن به همگرایی ادامه می‌یابد. 53
- شکل 4-5: روش Cimmino's 58
- شکل 4-6: مفهوم پایه از شبه همگرایی 63
- شکل 4-7: رفتار $\Phi^k(\sigma, \lambda)$ و $\Psi^k(\sigma, \lambda)$ برای مقدار ثابت λ و σ به عنوان تابعی از اندیس تکرار k 66
- شکل 4-8: نمایش از جستجوی خطی 68
- شکل 5-1: تصویر دیجیتالی 72
- شکل 5-2: مقادیر شدت در بخشی از فانتوم شیپ لوگان 74
- شکل 5-3: فانتوم شیپ لوگان 512×512 که با حذف سطرها و ستون‌ها به تصاویری با اندازه‌ی کوچکتر تبدیل شده است. 74
- شکل 5-4: بلوک‌بندی تصویر برای کوچک کردن اندازه‌ی آن 78
- شکل 6-1: مدل گسسته برای بازسازی تصاویر توموگرافی کامپیوتری 83
- شکل 6-2: فانتوم شیپ‌لوگان 84
- شکل 6-3: تصاویر بازسازی‌شده توسط روش پس‌افکنش و پس‌افکنش فیلترشده برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 87
- شکل 6-4: نمودارهای زمان، خطا و ضریب همبستگی روش Landweber در الگوریتم 1 و 4 و تصاویر بازسازی شده بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 90
- شکل 6-5: نمودارهای زمان، خطا و ضریب همبستگی روش Cimmino's در الگوریتم 1 و 4 و تصاویر بازسازی شده بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 91
- شکل 6-6: نمودارهای زمان، خطا و ضریب همبستگی روش CAV در الگوریتم 1 و 4 و تصاویر بازسازی شده بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 92
- شکل 6-7: نمودارهای زمان، خطا و ضریب همبستگی روش DROP در الگوریتم 1 و 4 و تصاویر بازسازی شده بر اساس پارامتر تنش‌زدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 93

شکل 6-8: نمودارهای زمان، خطا و ضریب همبستگی روش SART در الگوریتم 1 و 4 و تصاویر بازسازی شده بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 94

شکل 6-9: بازسازی فانتوم شیپ لوگان 512×512 . با روش پس افکنش و پس افکنش فیلترشده در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08 96

شکل 6-10: تصاویر بازسازی شده با روش Landweber با الگوریتم 1 و 4 در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 98

شکل 6-11: تصاویر بازسازی شده با روش Cimmino's با الگوریتم 1 و 4 در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 100

شکل 6-12: تصاویر بازسازی شده با روش CAV با الگوریتم 1 و 4 در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 102

شکل 6-13: تصاویر بازسازی شده با روش DROP با الگوریتم 1 و 4 در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 104

شکل 6-14: تصاویر بازسازی شده با روش SART با الگوریتم 1 و 4 در سه سطح نویز 0.01، 0.05 و 0.08 برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 106

شکل 6-15: نمایش ناحیه بازسازی شده در تصاویر توموگرافی کامپیوتری 108

شکل 6-16: نمودارهای زمان، خطا و ضریب همبستگی روش پس افکنش و پس افکنش فیلترشده و تصاویر بازسازی شده با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم 512×512 109

شکل 6-17: نمودارهای تعداد تکرار، زمان، خطا و ضریب همبستگی روش Landweber در الگوریتم 1 و 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 112

شکل 6-18: تصاویر بازسازی شده با روش Landweber در الگوریتم 1 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 113

شکل 6-19: تصاویر بازسازی شده با روش Landweber در الگوریتم 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 114

شکل 6-20: نمودارهای تعداد تکرار، زمان، خطا و ضریب همبستگی روش Cimmino's در الگوریتم 1 و 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 117

شکل 6-21: تصاویر بازسازی شده با روش Cimmino's در الگوریتم 1 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 118

شکل 6-22: تصاویر بازسازی شده با روش Cimmino's در الگوریتم 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 119

شکل 6-23: نمودارهای تعداد تکرار، زمان، خطا و ضریب همبستگی روش CAV در الگوریتم 1 و 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 122

شکل 6-24: تصاویر بازسازی شده با روش CAV در الگوریتم 1 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 123

شکل 6-25: تصاویر بازسازی شده با روش CAV در الگوریتم 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 124

شکل 6-26: نمودارهای تعداد تکرار، زمان، خطا و ضریب همبستگی روش DROP در الگوریتم 1 و 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 127

شکل 6-27: تصاویر بازسازی شده با روش DROP در الگوریتم 1 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 128

شکل 6-28: تصاویر بازسازی شده با روش DROP در الگوریتم 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 129

شکل 6-29: نمودارهای تعداد تکرار، زمان، خطا و ضریب همبستگی روش SART در الگوریتم 1 و 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 132

شکل 6-30: تصاویر بازسازی شده با روش SART در الگوریتم 1 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 133

شکل 6-31: تصاویر بازسازی شده با روش SART در الگوریتم 4 بر اساس پارامتر تنشزدایی ثابت، خطی، مبتنی بر Ψ_1 و مبتنی بر Ψ_2 با انتخاب 1، 2، 4، 8، 16، 32، 48 و 64 افکنش برای فانتوم شیپ لوگان 512×512 134

شکل 8-1: تصویر دیجیتال..... 139

شکل 8-2: همسایگی 3×3 برای نقطه (x,y) در یک تصویر در حوز مکان. همسایگی از پیکسل به پیکسل دیگر در تصویر حرکت می کند تا تصویر خروجی تولید شود..... 141

- شکل 8-3: عملکرد فیلتر مکانی خطی با استفاده از نقاب 3×3 . شکل انتخاب شده برای نمایش مختصات ضرایب نقاب فیلتر، نوشتن عبارات را برای فیلتر کردن خطی، ساده می کند..... 142
- شکل 8-4: روش کلی برای کار کردن در حوزه فرکانس..... 144
- شکل 8-5: الف) ضربه ی گسسته واحد در $x = x_0$ ، ب) ترن ضربه..... 145
- شکل 8-6: الف) تابع پیوسته ب) ترن ضربه استفاده شده برای مدلسازی فرآیند نمونه برداری پ) تابع نمونه برداری شده که به صورت حاصلضرب (الف) و (ب) ایجاد شده است ت) مقادیر نمونه که با انتگرالگیری و با استفاده از خاصیت غربال کردن ضربه به دست آمد..... 147
- شکل 8-7: تبدیل فوریه مربوط به تابع با باند محدود. (ب) تا (ت) تبدیلات تابع نمونه برداری شده متناظر تحت شرایط نمونه برداری مازاد، نمونه برداری حیاتی و نمونه برداری کم..... 149
- شکل 8-8: الف) تبدیل تابع با باند محدود. ب) تبدیل حاصل از نمونه برداری حیاتی از همان تابع..... 150
- شکل 8-9: استخراج یک تناوب از تبدیل تابع با باند محدود با استفاده از فیلتر پایین گذر..... 150
- شکل 8-10: عملیات فیلترینگ در حوزه فرکانس..... 151