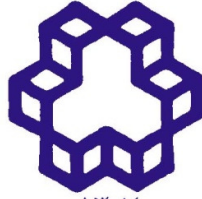


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده ژئوماتیک و ژئودزی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سنجش از دور

بهبود الگوریتم تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش کننده‌های دائمی به منظور اندازه‌گیری
میزان جابجایی سطح زمین

توسط:

زهرا صادقی

اساتید راهنما:

دکتر محمد جواد ولدان زوج

دکتر مریم دهقانی

تابستان ۱۳۹۰

تقدیم به:

منجی عالم بشریت (عج)

که هرگاه کوهر عشقش را در زندگی از صدف صدق و صفا به ساحت قدس خداوندی بر دم، با کامیابی و

توفیق عجبین شدم.


و

پدر و مادر عزیزم

دو دریای بیکران فداکاری که وجودم برایشان همه رنج است و وجودشان برایم همه مهر، به پاس عاطفه

سرسار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است.


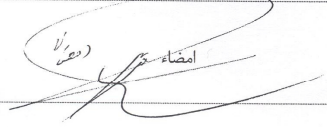
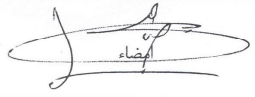

بسمه تعالی

شماره: تاریخ:	تأییدیه هیأت داوران	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
------------------	---------------------	---


هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان :

"پهبود الگوریتم تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش کننده های دائمی
به منظور اندازه گیری میزان جابجایی سطح زمین"

توسط ^{خانم} آقای زهرا صادقی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته گرایش سنجش از دور در تاریخ ۹۰/۶/۲۳ مورد تأیید قرار می دهند.

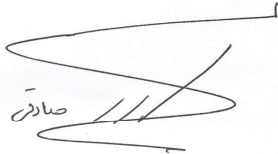
 امضاء	جناب آقای دکتر محمدجواد ولدان زوج	۱- استاد راهنمای اول
 امضاء (دکتر)	سرکار خانم دکتر مریم دهقانی	۲- استاد راهنمای دوم
امضاء	-	۳- استاد مشاور
 امضاء	جناب آقای دکتر محمودرضا صاحبی	۴- ممتحن داخلی
 امضاء	جناب آقای دکتر احد توکلی	۵- ممتحن خارجی
 امضاء	جناب آقای دکتر محمدرضا ملک	۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

بسمه تعالی

شماره: تاریخ:	اظهارنامه دانشجو	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
------------------	------------------	---

اینجانب زهرا صادقی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته عمران
گرایش نصب از دور دانشکده رکتوری در کوی آیت دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی
می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان
بهبود آلوریتم توازن سنج راداری مبتنی بر بردارین همبستگی‌های داخلی به منظور
اندازه‌گیری میزان جابجایی سطح زمین

صاحب آقای دکتر محمدجواد ولدان ریج
با راهنمایی استاد محترم جناب آقای / سرکار خانم دکتر سید محمد علی حسینی، توسط شخص اینجانب انجام
شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد
استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی
توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل
رعایت کرده‌ام.



امضاء دانشجو:

تاریخ:

۱۳۹۰، ۷، ۱۸

حق چاپ و تکثیر و مالکیت نتایج این پایان نامه متعلق به نویسنده می باشد. هرگونه کپی برداری و یا استفاده از تمام یا بخشی از پایان نامه می بایست با اجازه مولف و یا دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی صورت پذیرد.

تقدیر و تشکر

خداوند! بچون بلبل غزل خوان ثناگوی تو، ستم که هر توفیقی از جانب توست و هر تلاشی به اراده تو شمرنش، با تمام وجود غنچه‌لیدار رو به سوی تویی برم و سکر اتمام این کوشش علمی را به بارگاهت عرضه می‌دارم. هر چند که...

کوته نظیریم و مدیحه‌ی ما
زینده‌ی سرو بلند تو نیست

والله حکم ساگردان کتب علم، ساکزار استاد ارجمند و مهربانم، جناب دکتر محمد جواد ولدان زوج، ستم که گلشن سرای علم و دانش وجودم را با راهبانی‌های کارساز خود بارور ساختند و این سبب افتخار من بود که حیاتهای بی‌شائبه و پدران‌های ایشان نه تنها در آغاز و به انجام رساندن این رساله، بلکه در کل مدت تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد، مایه‌ی دلگرمی و آرایش من بود. همچنین ساکزار سرکار خانم دکتر مریم دهبانی، ستم به عنوان استاد ارجمند و عزیزم که بار، نمودهای سازنده علمی و الطاف بی‌دریغ، گام برداشتن در مسیر پر فراز و نشیب این کوشش علمی را برایم تسهیل کردند و به عنوان بهترین دوست زندگی ام به دلیل تعبیر عظیم و انسانی شان از واژه‌ی دوستی و محبت. و این دوزرگوارم ادب علی این ایام آموختند که...

الف هزار به نیروی صغری کردد
بیایه هم نشسته تخرار هم باشیم

والله حکم "من لم یسکر الخلق لم یسکر الخلق" سترامی، بینم که خنجای سیدی بر سرم را که حاصل از ابر حیاتهای بی‌دریغ و دو تکیه‌گاه حکم زندگی ام، پدر و مادر عزیزم می‌باشد ساگر باشم که با سرانگشتان محبت خود محنت این سالها تلاش علمی به خصوص در این پیمان نامه را از خاطر م زودند و قرار و راحت ذهن را برایم بی‌منت به خدمت آوردند. به پاس اینار و از خود کد گمگمتی دلوزانه شان، رفتارهای عاشقانه و صبورانه شان و حیات‌های مشوقانه شان و دیگر صفات فرشته‌گونه‌ای که زبانم از بیانشان قاصر است، دستانشان را می‌بوسم و بر رسم کودکان، بچنان امید به نوازششان دارم چرا که هر بهار موفیقی با روی گل آنها برایم نوبهار می‌شود.

در پیمان تمام فروغ علمی این رساله را مدیون تلاش ما و الطاف تمام اساتیدم در طول دوران تحصیل خصوصاً جناب دکتر محمود محمد کریم، جناب دکتر حمید عبادی و دیگران عزیزان و دوستانی که یادشان در قلم حک شده است می‌دانم. همچنین از استاد محترم جناب دکتر محمود رضا صاحبی به پاس فراهم آوردن شرایط مناسب در آزمایشگاه طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای برای اینجانب قدر دانی می‌کنم و دعاگوی سعادت کبلی آن بزرگواران، ستم.

چکیده

عدم همبستگی مکانی و زمانی تصاویر راداری در دسترس، استفاده از روش تداخل سنجی راداری سنتی را به منظور پایش جابجایی سطح زمین محدود می‌کند. روشهای تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش کننده های دائمی معرفی شده به جهت کاهش محدودیتهای روش سنتی که از آنالیز دامنه و مدل جابجایی از پیش تعیین شده برای انتخاب پیکسلهای پراکنش کننده دائمی استفاده می‌کنند، قادر به پایش جابجایی در مناطق خارج شهری نیستند. از طرف دیگر روش نوین تداخل سنجی راداری بر پایه پراکنش کننده های دائمی (StaMPS)، که از آنالیز دامنه و فاز بدون نیاز به دانش رفتار جابجایی در منطقه برای انتخاب پیکسل های پراکنش کننده دائمی استفاده می‌کند، به علت نرخ بالای جابجایی در بعضی مناطق و نقض شرط مورد نیاز مرحله بازیابی فاز دچار خطاهای بزرگ بازیابی فاز شده و نرخ جابجایی بسیار کمتر از واقعیت برآورد می‌کند. بنابراین ما در این پایان نامه دو روش به منظور پایش جابجایی در مناطق غیر شهری با نرخ جابجایی بالا و رفتار نسبتاً خطی و با استفاده از تصاویر راداری با توزیع زمانی نامناسب ارائه کردیم. روش اول با عنوان الگوریتم بهبود یافته بر پایه پراکنش کننده دائمی، گامی مؤثر در روشهای پردازشی پراکنش کننده های دائمی است که از مزایای روشهای متفاوت تداخل سنجی راداری بر پایه پراکنش کننده های دائمی در انتخاب پیکسل های پراکنش کننده دائمی و بازیابی فاز استفاده می‌کند. پیکسل های پراکنش کننده دائمی بر اساس اطلاعات دامنه و استحکام فاز شناسایی می‌شوند که اثر اتمسفر و خطای مداری و جابجایی با رفتار غیر خطی از طریق اعمال فیلتر در فضای زمان از هم تفکیک شده و از روی فاز آنها کسر می‌شود. مرحله بازیابی فاز و برآورد سرعت جابجایی خطی با استفاده از روش LAMBDA انجام می‌شود که این روش در برآورد مجهولات روشی بهینه است و سرعت پردازشی بالایی دارد. این روش بر روی تصاویر ENVISAT ASAR در جنوب غربی دشت تهران بمنظور پایش فرونشست اجرا شد و نتایج آن از طریق روش و داده های کاملاً مستقل، داده های ترازایی دقیق اعتبار سنجی شد. همچنین از طریق داده های شبیه سازی شده موفقیت الگوریتم پیشنهادی در برآورد نرخ جابجایی با صحت بالا به اثبات رسید و عوامل مؤثر بر روی صحت نتایج شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت. در روش پیشنهادی دوم با تقریب فاز جابجایی خطی به روش پرپودوگرام و حذف آن از فاز اولیه پیش از بازیابی فاز به روش StaMPS، شرط نمونه برداری مورد نیاز در عملیات بازیابی فاز برقرار می‌شود. روش مذکور نیز بر روی تصاویر ENVISAT ASAR در منطقه مورد مطالعه اجرا شد. اعتبارسنجی نتایج آن با روش و داده مستقل و روش ترازایی دقیق مؤید موفقیت این روش در برآورد جابجایی بود.

کلید واژه: پراکنش کننده های دائمی، StaMPS، LAMBDA، پرپودوگرام.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل ها	د
فهرست جداول	ح
فصل ۱- مقدمه	۱
۱-۱- پیشگفتار	۱
۱-۲- طرح مسئله	۱
۱-۳- ضرورت انجام تحقیق	۲
۱-۴- اهداف تحقیق و روش پیشنهادی	۴
۱-۵- ساختار پایان نامه	۶
فصل ۲- مروری بر تحقیقات انجام گرفته	۸
۱-۲- مروری بر روشها و مطالعات متفاوت تکنیک تداخل سنجی راداری	۸
۲-۲- مروری بر معایب و مزایای روش های متفاوت تکنیک تداخل سنجی راداری به منظور پایش جابجایی	۲۵
فصل ۳- پایش جابجایی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری	۲۸
۱-۳- اصول اولیه تکنیک تداخل سنجی راداری	۲۸
۲-۳- برآورد جابجایی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری سنتی	۳۰
۳-۳- برآورد جابجایی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری بر پایه پراکنش کننده های دائمی	۳۲
۱-۳-۳- برآورد جابجایی با استفاده از روش DePSI	۳۳
۲-۳-۳- برآورد جابجایی با استفاده از روش StaMPS	۳۴
۳-۳-۳- برآورد جابجایی با استفاده از روش تلفیقی	۳۶
فصل ۴- روشهای پیشنهادی به منظور بهبود الگوریتم تداخل سنجی راداری بر پایه پراکنش کننده های دائمی	۳۸
۱-۴- الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی	۳۸

۴۱	۱-۱-۴- تقریب اولیه مولفه خطی جابجایی
۴۷	۲-۱-۴- تقریب المان غیر خطی جابجایی و APS
۴۸	۳-۱-۴- تقریب نهایی مولفه خطی جابجایی
۴۹	۲-۴- افزایش کارایی الگوریتم StaMPS
۵۴	۳-۴- نتیجه گیری
۵۶	فصل ۵- مطالعه موردی: پایش فرونشست دشت تهران
۵۶	۱-۵- الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی
۵۶	۱-۱-۵- معرفی منطقه
۵۷	۲-۱-۵- معرفی داده های راداری
۵۸	۳-۱-۵- نتایج
۶۷	۲-۵- افزایش کارایی StaMPS
۷۱	فصل ۶- ارزیابی نتایج
۷۱	۱-۶- الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی
۷۱	۱-۱-۶- اعتبارسنجی نتایج با استفاده از اندازه گیریهای ترازیبی دقیق
	۲-۱-۶- اعتبار سنجی نتایج با استفاده از نتایج حاصل از روش SBAS اعمال شده بر روی داده های مسیر
۷۲	مجاور
	۳-۱-۶- ارزیابی عملکرد الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی با استفاده از داده های شبیه سازی
۷۷	شده و بررسی فاکتورهای مؤثر در صحت نتایج
۹۷	۲-۶- افزایش کارایی الگوریتم StaMPS
۹۷	۱-۲-۶- اعتبارسنجی نتایج با استفاده از اندازه گیریهای ترازیبی دقیق
	۲-۲-۶- اعتبار سنجی نتایج با استفاده از نتایج حاصل از روش SBAS اعمال شده بر روی داده های مسیر
۹۸	مجاور
۱۰۱	فصل ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۱	۱-۷- نتیجه گیری
۱۰۵	۲-۷- پیشنهادات
۱۰۷	ضمیمه أ- برآورد جابجایی به روش DePSI

ضمیمه ب - برآورد جابجایی به روش StaMPS ۱۱۶

ضمیمه ج - بازیابی فاز در فضای زمان به روش LAMBDA ۱۳۴

فهرست مراجع ۱۳۹

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	شکل ۱-۲ نقشه کوه‌رنسی با طول متفاوت خط مبنای مکانی و زمانی
۱۵	شکل ۲-۲ جابجایی بین ۱۹۹۲/۵/۶ و ۱۹۹۸/۱۰/۳۱ در طول خط ترازیبی که توسط تیم‌های PS متفاوت و ترازیبی در مقابل فاصله تا نقطه اول مشاهده شده است [۳۵]
۱۷	شکل ۳-۲ نتایج PSIC4: نقشه PS‌های انتخاب شده توسط هشت گروه شرکت کننده در این پروژه که هر کدام در مرکز منطقه جابجایی واقع شده است. رنگها جابجایی خطی سالانه از ۲۵ cm/yr - (قرمز) تا ۹ cm/yr (آبی) را نشان می‌دهد [۳۶]
۲۱	شکل ۴-۲ توزیع پیکسل‌های PS در منطقه مطالعه شناسایی شده توسط DePSI (a) و StaMPS (b). تصویر ارتوفوتو با رزولوشن ۰٫۵ متری در پیش زمینه قرار گرفته است.
۲۸	شکل ۱-۳ اندازه گیری تفاوت فاز: (a) رابطه بین تفاوت فاز و تفاوت در فاصله سنسور تا شی. (b) قاعده مشابه برای اندازه گیریهای ماهواره و جابجایی زمین [۳۶]
۳۳	شکل ۲-۳ پیکسلهایی با ویژگیهای پراکنشی متفاوت. بالا: یک پیکسل با پراکنش کننده‌های توزیع یافته، وسط: یک پیکسل با پراکنش کننده ی نقطه ای، پایین: یک پیکسل با پراکنش کننده نقطه ای غالب. پلاتنار رفتار فاز پیکسل با ویژگی پراکنشی متفاوت برای ۱۰۰ شبیه سازی را نشان می‌دهد [۳۶]
۴۱	شکل ۱-۴ مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی در برآورد نرخ صحیح فرونشست
۵۰	شکل ۲-۴ مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی در برآورد نرخ صحیح فرونشست
	شکل ۱-۵ موقعیت دشت تهران که تحت تاثیر پدیده فرونشست می‌باشد. مسیرهای مختلف داده‌های راداری که منطقه فرونشست را می‌پوشاند (مربعهای سیاه رنگ) به همراه موقعیت منطقه فرونشست (پلیگون سفید رنگ) که در بالا شکل سمت راست نشان داده شده است. در شکل پایین سمت راست تصویر ETM^+ منطقه مورد نظر با ترکیب رنگی ۴،۷ و ۲ در کانالهای قرمز، سبز و آبی به تصویر کشیده شده است. کادر سیاه رنگ

- (a) منطقه مورد مطالعه توسط الگوریتم بهبودیافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی و کادر سیاه رنگ (b) منطقه مورد مطالعه توسط روش افزایش کارایی الگوریتم StaMPS را نشان می دهد. ۵۷
- شکل ۲-۵ خط مبنای زمانی نسبت به خط مبنای مکانی ۵۸
- شکل ۳-۵ تراکم پیکسلهای پراکنش کننده دائمی انتخابی (نقطه های سیاه) با شاخص پراکنندگی دامنه برابر ۰،۴ در منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ETM^+ منطقه مورد نظر با ترکیب رنگی ۷، ۴ و ۲ در کانالهای قرمز، سبز و آبی به تصویر کشیده شده است. ۶۲
- شکل ۴-۵ تراکم پیکسلهای پراکنش کننده دائمی انتخابی (نقطه های سیاه) با شاخص پراکنندگی دامنه برابر ۰،۵۲۳ در منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ETM^+ منطقه مورد نظر با ترکیب رنگی ۷، ۴ و ۲ در کانالهای قرمز، سبز و آبی به تصویر کشیده شده است. ۶۳
- شکل ۵-۵ شبکه مکانی تشکیل شده از پیکسلهای پراکنش کننده دائمی در منطقه مورد مطالعه ۶۴
- شکل ۶-۵ منطقه مورد مطالعه، جنوب غربی دشت تهران: سیگنال اتمسفر برآورد شده برای پیکسل های پراکنش کننده دائمی در اینترفروگرام ششم ۶۶
- شکل ۷-۵ منطقه مورد مطالعه، جنوب غربی دشت تهران: نرخ متوسط جابجایی در جهت خط دید ماهواره به ازای پیکسلهای پراکنش کننده دائمی در بازه زمانی ۱۸ جولای ۲۰۰۳ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸ با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و داده های مسیر ۱۴۹. دایره قرمز در مرکز منطقه نشاندهنده موقعیت نقطه مرجع می باشد، دایره های بنفش A, B, C, D, E, F موقعیت پیکسلهای پراکنش کننده دائمی آنالیز شده در شکل ۶-۵ را نشان می دهد، نقاط مثلثی تعیین کننده موقعیت ایستگاههای ترازبایی دقیق می باشد. ۶۷
- شکل ۸-۵ منطقه مورد مطالعه، جنوب غربی دشت تهران: نرخ متوسط جابجایی در جهت خط دید ماهواره به ازای پیکسلهای پراکنش کننده دائمی در بازه زمانی ۱۸ جولای ۲۰۰۳ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸ با استفاده داده های مسیر ۱۴۹ (الف) با اجرای الگوریتم پیشنهادی (ب) الگوریتم StaMPS استاندارد. ۶۹
- شکل ۶-۱ مقایسه نرخ فرونشست برآورد شده به کمک روش ترازبایی دقیق (خط قرمز) و الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی (خط آبی). ۷۲

شکل ۶-۲ منطقه مورد مطالعه، جنوب غربی دشت تهران: نرخ متوسط جابجایی در جهت خط دید ماهواره به ازای پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی در بازه زمانی ۳ آگوست ۲۰۰۳ تا ۲۴ آپریل ۲۰۰۵ با استفاده از روش SBAS و داده های مسیر ۳۷۸. دایره قرمز در مرکز منطقه نشاندهنده موقعیت پیکسل مرجع در شکل ۵-۷ می باشد، دایره های بنفش موقعیت پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی آنالیز شده در شکل ۶-۵ را نشان می دهد، نقاط مثلثی تعیین کننده موقعیت ایستگاههای تراز یابی دقیق می باشد. ۷۳

شکل ۶-۳ منطقه مورد مطالعه، جنوب غربی دشت تهران: اختلاف نرخ متوسط برآورد شده به ازای پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی از الگوریتم پیشنهادی و با استفاده از تصاویر مسیر ۱۴۹ از نرخ متوسط برآورد شده از روش SBAS و با استفاده از تصاویر مسیر ۳۷۸. ۷۴

شکل ۶-۴ هیستوگرام اختلاف نرخ متوسط برآورد شده به ازای پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی از الگوریتم پیشنهادی و با استفاده از تصاویر مسیر ۱۴۹ از نرخ متوسط برآورد شده از روش SBAS و با استفاده از تصاویر مسیر ۳۷۸. ۷۵

شکل ۶-۵ سری زمانی حاصل از الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی (دوایر آبی رنگ)، نرخ برآورد شده فرونشست حاصل از الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر پراکنش کننده دائمی (خطوط قرمز رنگ) و نرخ برآورد شده از روش SBAS (خطوط سبز رنگ) برای پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی نشان داده شده در شکل ۵-۷. اختلاف نرخ متوسط برآوردی الگوریتم پیشنهادی از نرخ متوسط برآوردی روش SBAS در قسمت فوقانی نمودار هر پیکسل پراکنش کننده دائمی ذکر شده است. ۷۶

شکل ۶-۶ سرعت جابجایی شبیه سازی شده به ازای کل پیکسل های شبیه سازی شده. ۸۲

شکل ۶-۷ هیستوگرام تغییرات روزانه اتمسفر (انحراف از معیار) برای ۱۱۴ ایستگاه EUREF. خط تیره نشاندهنده میانگین توابع توزیع مشاهداتی و خط چین نشاندهنده بهترین توزیع برازش داده شده به آن است. ۸۴

شکل ۶-۸ سیگنال اتمسفر شبیه سازی شده برای اتمسفر آرام در تصویر ۵۵ ام. ۸۴

شکل ۶-۹ سیگنال اتمسفر شبیه سازی شده برای اتمسفر معمولی در تصویر ۵۵ ام. ۸۵

شکل ۶-۱۰ سیگنال اتمسفر شبیه سازی شده برای اتمسفر نسبتا ناپایدار در تصویر ۵۵ ام. ۸۵

- شکل ۶-۱۱ سیگنال اتمسفر شبیه سازی شده برای اتمسفر ناپایدار در تصویر ۵۵ ام ۸۵
- شکل ۶-۱۲ هیستوگرام اختلاف نرخ برآورد شده از نرخ واقعی در کلیه پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی بر حسب متر در الف) حالت تراکم خوب ب) حالت تراکم عالی با شرایط اتمسفر نسبتاً ناپایدار ۸۹
- شکل ۶-۱۳ هیستوگرام اختلاف نرخ برآورد شده از نرخ واقعی در کلیه پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی بر حسب متر در الف) نمونه اتمسفر آرام ب) نمونه اتمسفر معمولی ج) نمونه اتمسفر نسبتاً ناپایدار د) نمونه اتمسفر ناپایدار ۹۲
- شکل ۶-۱۴ هیستوگرام اختلاف نرخ برآورد شده از نرخ واقعی در کلیه پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی بر حسب متر در الف) نمونه برداری زمانی واقعی ب) نمونه برداری زمانی بهینه ۹۴
- شکل ۶-۱۵ هیستوگرام اختلاف نرخ برآورد شده از نرخ واقعی در کلیه پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی بر حسب متر در نمونه داده شبیه سازی شده شبه واقعیت ۹۵
- شکل ۶-۱۶ مقایسه نرخ فرونشست برآورد شده به کمک روش ترازبایی دقیق (خط قرمز) و روش افزایش کارایی الگوریتم StaMPS (خط آبی) ۹۸
- شکل ۶-۱۷ منطقه مورد مطالعه، جنوب غربی دشت تهران: الف) نرخ متوسط جابجایی در جهت خط دید ماهواره به ازای پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی در بازه زمانی آگوست ۲۰۰۳ تا ۲۴ آپریل ۲۰۰۵ با استفاده از روش SBAS و داده های مسیر ۳۷۸. ب) نرخ متوسط جابجایی در جهت خط دید ماهواره به ازای پیکسل‌های پراکنش کننده دائمی در بازه زمانی ۱۸ جولای ۲۰۰۳ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸ با استفاده از الگوریتم پیشنهادی داده های مسیر ۱۴۹ ۹۹
- شکل ۶-۱۸ هیستوگرام اختلاف نرخ برآوردی روش پیشنهادی و تصاویر مسیر ۱۴۹ از نرخ برآوردی روش SBAS و تصاویر مسیر ۳۷۸ برای تمام پراکنش کننده های دائمی ۱۰۰

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۵ مشخصات مسیر گذر پایین در منطقه مورد مطالعه	۵۸
جدول ۲-۵ مشخصات اینترفروگرامها	۵۹
جدول ۱-۶ تصاویر شبیه سازی شده و طول خط مبنای زمانی آنها نسبت به تصویر پایه	۷۹
جدول ۲-۶ نتایج اجرای نمونه های متفاوت بررسی تراکم با شرایط اتمسفر آرام	۸۷
جدول ۳-۶ نتایج اجرای نمونه های متفاوت بررسی تراکم با شرایط اتمسفر معمولی	۸۸
جدول ۴-۶ نتایج اجرای نمونه های متفاوت بررسی تراکم با شرایط اتمسفر نسبتا ناپایدار	۸۸
جدول ۵-۶ نتایج اجرای نمونه های متفاوت بررسی اتمسفر	۹۰
جدول ۶-۶ نتایج اجرای نمونه های متفاوت بررسی نمونه برداری زمانی	۹۳
جدول ۷-۶ نتایج اجرای نمونه شبه واقعی	۹۵

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

از دیرباز سعی بر آن بوده است که علم و دانش بشری به عنوان ابزاری جهت امنیت وی به خدمت گرفته شود. یکی از مهمترین رویداد های تهدید کننده ی امنیت بشر پدیده جابجایی زمین است. در حال حاضر تکنیکهای متفاوتی به منظور اندازه گیری جابجاییهای سطح زمین وجود دارد. عملیات ترازیابی از گذشته به منظور اندازه گیری جابجایی ها در جهت قائم استفاده می شود. همچنین شبکه سیستم مکان یابی جهانی به عنوان تکنیکی دیگر جهت اندازه گیری جابجاییهای سطح زمین شناخته شده است.

با ورود ماهواره های راداری از دهه ۱۹۹۰، تکنیک تداخل سنجی راداری ماهواره ای به عنوان ابزاری مفید در پایش جابجاییهای سطح زمین معرفی شد. دقت مشاهدات و اندازه گیری ها نیز در این روش قابل مقایسه با دقت اندازه گیری سیستم مکان یابی جهانی و ترازیابی می باشد. همچنین این روش از نقطه نظر صرفه جویی در هزینه و زمان در مقایسه با روشهای دیگر از قابلیت بسیار بالایی برخوردار است. از طرفی فراوانی مکانی (هر ۲۰ متر یک مشاهده) در پهنه ای با ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ کیلومتر و همچنین فراوانی نسبتا خوب زمانی (مثلا هر ۳۵ روز مشاهده) مشاهدات رادار در مقایسه با ترازیابی و سیستم مکانی جهانی در سالهای اخیر دیدگاهی گسترده را برای پایش تغییرات سطح زمین فراهم کرده است. نسل جدید ماهواره های راداری مانند Radarsat-2 و TerraSAR-X قادر به اخذ داده با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالاتر نیز خواهند بود که امکان پایش تغییر شکلهای محلی کوچک را فراهم می کنند.

علاوه بر فراوانی مکانی و زمانی مشاهدات، استفاده از این روش باعث صرفه جویی در زمان و هزینه می گردد. امروزه استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری سنتی به جای ترازیابی و سیستم مکان یابی جهانی در اندازه گیریهای سطح زمین بسیار متداول است. در ایران نیز از چند سال اخیر از این تکنیک در پایش تغییر شکل های مختلف سطح زمین استفاده شده است.

۱-۲- طرح مسئله

رشد روز افزون جمعیت منجر به استفاده بی رویه از آب در مصارف صنعتی و کشاورزی شده و به تبع آن ایجاد اثرات نامطلوب کمی و کیفی در منابع آب بوده است. افزایش استفاده از آبهای زیرزمینی بویژه در

حوضه هایی که با نهشته های آبرفتی، دریایی کم عمق یا دریاچه های تحکیم نیافته^۱ انباشته گشته اند و شامل میان لایه های ریزدانه با تراکم پذیری بالا می باشند، باعث ایجاد فرونشست^۲ میشود [۱]. با توجه به این که در ایران به دلیل برداشت و مصرف بی رویه آب در فعالیتهای کشاورزی و صنعتی، پدیده فرونشست در بسیاری از دشتهای از مهمترین رویدادهای جابجایی سطح زمین است، به منظور شناسایی و کاهش پیامدهای ناشی از پدیده فرونشست نیاز به یک سیستم پایش فرونشست بیش از پیش در کشور احساس می شود. علی رغم مزیت های روش تداخل سنجی راداری نسبت به دیگر روشهای پایش جابجایی، این روش دارای عوامل محدودکننده ای است که کارایی آن را در بعضی موارد کاهش می دهد. به طور کلی در دسترس نبودن تصاویر راداری با توزیع زمانی مناسب نسبت به نرخ جابجایی در منطقه فاکتوری است که کلیه روشهای موجود در تکنیک تداخل سنجی راداری را در صحیح برآورد کردن نرخ جابجایی محدود می کند. همچنین علاوه بر نامناسب بودن توزیع زمانی تصاویر مورد استفاده، نرخ بالای جابجایی در منطقه روشهای نوین تکنیک تداخل سنجی راداری را در برآورد جابجایی ناکارآمد می کند.

بنابراین با توجه به مزیت های تکنیک تداخل سنجی راداری و ناکارآمدی روشهای این تکنیک در مناطق با نرخ جابجایی بالا با در دسترس بودن تصاویر راداری با توزیع زمانی نامناسب، مسئله اصلی اندازه گیری میزان جابجایی ناشی از پدیده فرونشست در مناطق دشتی با نرخ جابجایی بالا و با استفاده از تصاویر راداری در دسترس به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری می باشد.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

سفره های آب زیرزمینی به عنوان یکی از منابع طبیعی پر اهمیت در هر کشور محسوب می شوند. استفاده بی رویه از این ذخیره طبیعی باعث ایجاد پدیده فرونشست و ایجاد خطرات زیانبار آن نیز می گردد. این پدیده به بسیاری از سازه ها و زیرساختارها در مناطق شهری و حومه آن مثل ساختمانها، خیابانها، بزرگراهها، پلها و خطوط انتقال نیرو آسیبهای جبران ناپذیری می رساند و با کاهش تخلخل خاکهای حاصلخیز کشاورزی باعث تخریب آنها می شود. علاوه بر آن با رخداد این پدیده ناهنجاریهای بسیاری در محیط زیست ایجاد می گردد که از آن جمله می توان به تغییر در توپوگرافی و خصوصیات هیدرولوژیکی یک منطقه، افزایش درجه سیل خیزی

¹ Unconsolidated

² Subsidence

با کاهش درجه نفوذپذیری خاک و تغییر در وضعیت زمین شناختی از قبیل جهت و سرعت جریانهای آب زیرزمینی اشاره نمود.

تکنیک تداخل سنجی راداری به موازات تواناییهای بالا دارای محدودیتهایی است که استفاده از آن را در برخی موارد ناممکن می‌سازد. از جمله عوامل محدودکننده تکنیک تداخل سنجی راداری سنتی، کمبود کوهرنسی ناشی از عدم همبستگی زمانی و هندسی^۳ است. عدم همبستگی زمانی مربوط به تغییر سریع در شکل ظاهری و ویژگی های پراکنشی سطح زمین در بازه زمانی بین تصویر پایه^۴ و تصویر پیرو^۵ و عدم همبستگی هندسی ناشی از هندسه متفاوت تصویر پایه و پیرو است. در سالهای اخیر روشهای خاصی بر اساس تکنیک تداخل سنجی راداری ارائه شده اند که تنها از نقاطی که در طول زمان دارای ویژگی های بازپراکنشی^۶ نسبتاً ثابتی هستند با عنوان پراکنش کننده های دائمی^۷ برای پایش جابجایی استفاده می‌کنند [۹,۸,۷,۶,۵,۴,۳,۲]. این پیکسل های پراکنش کننده دائمی با وجود خط مبنای زمانی و مکانی بزرگ کوهرنسی بالایی دارند و از عدم همبستگی تصاویر SAR کمتر تاثیر می‌پذیرند. گرچه ارائه این روشها گامی موثر در کاهش محدودیت های تکنیک تداخل سنجی راداری بوده اند، لیکن هریک از روشهای پردازش پراکنش کننده های دائمی دارای معایبی است که استفاده بهینه از آنها را در شرایط مختلف با مشکل مواجه می‌سازد. تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش کننده های دائمی برای اولین بار توسط Ferretti در سال ۲۰۰۰ ارائه شد و الگوریتم های پردازشی مشابهی در سالهای بعد بهبود داده شد. نیاز به دانش مدل جابجایی از پیش تعیین شده نسبت به زمان و وجود تعداد زیادی ساختارهای دست ساز بشر در منطقه مورد مطالعه، عوامل محدود کننده این الگوریتمها و الگوریتم ارائه شده توسط دانشگاه Delft (که اصطلاحاً DePSI^۸ گفته میشود) هستند. الگوریتم^۹ StaMPS توسط Hooper در سال ۲۰۰۶ معرفی شد که به کمک آن میتوان در مناطق غیر شهری و بدون نیاز به دانش رفتار جابجایی نسبت به زمان پیکسلهای پراکنش کننده دائمی را تعیین و نرخ جابجایی را برآورد کرد این در حالیست که در مناطق با نرخ جابجایی بالا این الگوریتم موفق عمل نمی‌کند [۱۰]. دهقانی و همکاران در سال ۲۰۰۹ به منظور افزایش کارایی الگوریتم

³ Temporal and Geometrical decorrelation

⁴ Master

⁵ Slave

⁶ Back-scatterer

⁷ Persistent Scatterer

⁸ Delft implementation of Persistent Scatterer InSAR

⁹ Stanford Method for Persistent Scatterer

StaMPS در مناطق با نرخ جابجایی بالا، روش تلفیقی^{۱۰} را ارائه کردند [۱۰]. در این روش که تلفیق روش تداخل سنجی راداری سنتی و الگوریتم StaMPS است، تشکیل اینترفروگرام های همبسته به وسیله ماتریس کوهرنسی [۱۱] جهت برآورد مولفه جابجایی با نرخ ثابت در زمان (که در منطقه مولفه اصلی جابجایی میباشد) ضروری و عامل محدود کننده این روش است. از طرفی Wegmuller و همکاران در سال ۲۰۱۰ به منظور اجرای الگوریتم پراکنش کننده دائمی جهت پایش جابجاییهای سریع و غیر یکنواخت، از تصاویر با رزولوشن بالا TerraSAR-X با فواصل کوتاه ۱۱ روز و اینترفروگرامهایی با تصاویر پایه متفاوت استفاده کردند که دسترسی به تصاویر TerraSAR-X با حداقل فواصل زمانی رمز موفقیت این روش است [۱۲].

با در نظر گرفتن ضرورت بررسی و مطالعه فرونشست در دشتهای ایران با شرایط حاکم، ارائه روشی نوین بر پایه تکنیک پراکنش کننده دائمی در پایش فرونشست در قالب پایان نامه حاضر ضروری به نظر رسید.

۱-۴- اهداف تحقیق و روش پیشنهادی

نرخ بالای جابجایی (بیش از ۱۵ سانتیمتر در سال) و نیز تغییر سریع سیمای ظاهری سطح زمین که منجر به کاهش همبستگی بین تصاویر راداری میگردد، از خصوصیات بارز پدیده فرونشست در بیشتر مناطق ایران است. همچنین در بسیاری از موارد، مجموعه داده راداری مناسب با طول خطوط مبنای زمانی و مکانی کوتاه که از شروط لازم در پردازشهای تداخل سنجی راداری سنتی محسوب میگردد، در اختیار نمیباشد. بنابراین در پایش فرونشست در مناطقی که دچار عدم همبستگی زمانی هستند و یا مجموعه مناسبی از داده های راداری در اختیار نباشند، روش تداخل سنجی راداری سنتی روش مناسبی نیست در حالی که روش مبتنی بر پراکنش کننده های دائمی می تواند مورد استفاده قرار گیرد و به کمک این روش می توان دقت اندازه گیری سیگنال جابجایی را به کمک برآورد مولفه های مختلف خطا از جمله خطای اتمسفری و توپوگرافی بهبود بخشید. تکنیک DePSI به علت کمبود ساختارهای دست ساز بشر در مناطق دارای پوشش گیاهی در مرحله انتخاب پیکسلهای پراکنش کننده دائمی دچار مشکل می شود این در حالی است که مدل جابجایی منطقه می بایست از پیش تعیین شده باشد. از طرفی دیگر در مناطق دارای نرخ جابجایی بالا مرحله بازیابی فاز تکنیک StaMPS به علت نقض شرط مورد نیاز دچار خطا می شود و نرخ جابجایی بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد می شود. تکنیک تلفیقی نیاز به داشتن اینترفروگرام های همبسته دارد و در تکنیک Wegmuller استفاده از تصاویر TerraSAR-X الزامی است.

¹⁰ Hybrid method