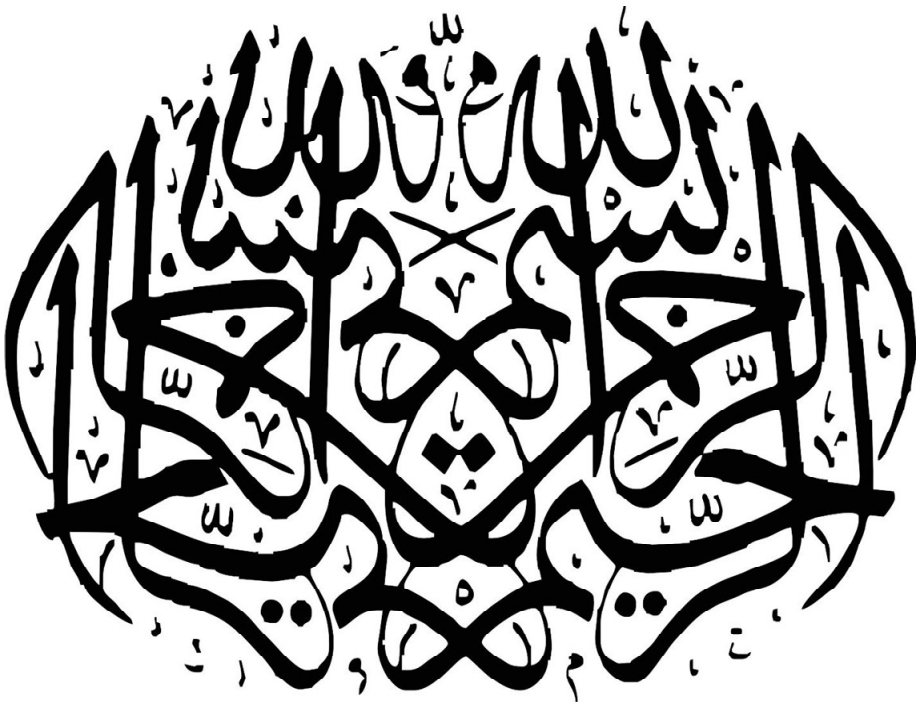


دانشکده مهندسی نقشه برداری

پایان نامه کارشناسی ارشد-گرایش سنجش از دور

اندازه‌گیری جابه‌جایی سطح زمین بکمک تصاویر سنجنده TerraSAR-X

با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی‌راداری

استاد راهنما:

دکتر محمدجواد ولدان زوج

نگارش:

فاطمه السادات میرشاهی

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالی

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

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

" اندازه گیری جابجایی سطح زمین به کمک تصاویر سنجنده TerraSAR-X با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری "

توسط خانم **فاطمه سادات میرشاهی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته گرایش **سنجش از دور** در تاریخ **۹۱/۱۱/۲۸** مورد تأیید قرار می‌دهند.

۱- استاد راهنمای اول	جناب آقای دکتر محمدجواد ولدان زوج	امضاء
۲- استاد راهنمای دوم	-	امضاء
۳- استاد مشاور	-	امضاء
۴- ممتحن داخلی	جناب آقای دکتر یاسر مقصودی	امضاء
۵- ممتحن خارجی	جناب آقای دکتر جلال امینی	امضاء
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	جناب آقای دکتر محمد کریمی	امضاء

بسمه تعالی

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

اینجانب فاطمه السادات میرساطی دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی نقشه برداری گرایش سنجش از دور دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان

اندازه گیری جابجایی سطح زمین بکمک تصاویر سنجنده TerraSAR-X با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای / سرکار خانم دکتر دلیر محمد ولدان زوج ، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت 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 پایان نامه 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:

فرم حق چاپ و تکثیر

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صحفه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به همسر عزیزم

و

خانواده ام بخصوص مادر مهربانم که در سخت ترین شرایط زندگی ام همراهم بوده اند

در ابتدا لازم می‌دانم تا از زحمات بی‌دریغ اساتید محترم خویش جناب آقای محمد جواد ولدان زوج و خانم دکتر دهقانی قدردانی نماییم که با راهنماییهای خویش اینجانب را در پیشبرد این تحقیق یاری نمودند. همچنین تشکر ویژه‌ای از همسر عزیزم داشته باشم که محبت و تلاش او در این زمینه کمک بسیاری در انجام کار داشته است. همچنین مساعدت‌های دوستان عزیزم خانم مهندس صادقی و خانم مهندس حقیقت‌مهر در طول دوران تحقیق قابل ستایش است. در انتها از خانواده عزیزم بخصوص مادر مهربانم تشکر می‌کنم که محبت‌هایشان همواره مایه دلگرمی و امید من بوده است.

چکیده

هدف از این تحقیق بهبود عملکرد تکنیک بازپراکنش‌کننده دائمی StaMPS با استفاده از داده‌های با نمونه‌برداری مکانی و زمانی بالای TerraSAR-X است. با ظهور چنین داده‌هایی تحولی عظیم در زمینه‌ی تداخل‌سنجی‌راداری صورت گرفته است. استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر بازپراکنش‌کننده های دائمی در سال های اخیر در زمینه تداخل‌سنجی‌راداری بدلیل دارا بودن مزیت‌های فراوان نسبت به روش‌های متداول افزایش یافته است. در این میان تکنیک StaMPS دارای خصوصیاتی است که بنوعی آن را از سایر روش‌های موجود متمایز می‌نماید. عدم استفاده از پیش فرض‌های اولیه در مورد روند تغییر شکل و امکان استفاده از آن حتی در مناطق شهری از مزیت‌های قابل توجه این روش می‌باشد. اما در مناطقی که گرادیان تغیر شکل بالا است تکنیک StaMPS در مرحله بازیابی فاز دچار خطا گشته و تخمین درستی از نرخ جابه‌جایی و الگوی آن در اختیار نمی‌گذارد. این خطا ناشی از نقض شرط نایکوئیست در این مرحله، بدلیل فاصله زیاد نمونه‌برداری در بعد زمان و مکان داده‌های مورد استفاده، است. تاکنون روش‌های زیادی بمنظور بهبود الگوریتم ارائه گردیده است. اما بنوعی هرکدام محدودیت‌هایی را وارد روند پردازش می‌نمایند. از این رو برآنیم تا بتوانیم بجای تغییر در الگوریتم با تغییر داده مورد استفاده محدودیت‌ها و مشکلات موجود را از میان برداریم. استفاده از داده‌های TerraSAR-X بدلیل برخی ویژگی‌های خاص این نوع داده‌ها می‌تواند تاثیر بسزایی در حل نمودن این مشکل داشته باشد. نرخ نمونه‌برداری بالا چه در بعد مکان و چه در بعد زمان کمک بسیاری در رفع مشکل بازیابی فاز در روش StaMPS می‌نماید. در این پروژه ابتدا تکنیک StaMPS برروی داده‌های TerraSAR-X اعمال گردید. سپس نتایج بدست آمده از آن با نتایج حاصل از داده‌های ENVISAT موجود در منطقه مقایسه شد. سپس داده‌های TerraSAR-X با استفاده از روش متداول تداخل‌سنجی‌راداری مورد پردازش قرار گرفتند. نتایج حاصل از دو روش StaMPS و تداخل‌سنجی‌راداری متداول با یکدیگر مقایسه گردید. در انتها بمنظور ارزیابی صحت نتایج از داده‌های ترازیابی موجود در منطقه استفاده شد. پس از بررسی‌های انجام گرفته نتایج نشان می‌دهند که داده‌های TerraSAR-X بمیزان قابل توجهی نتایج بدست آمده از میزان نرخ جابه‌جایی را نسبت به داده‌های ENVISAT موجود، در

تکنیک StaMPS بهبود بخشیده‌اند و تا حد زیادی با نتایج بدست آمده از روش تداخل‌سنجی‌متداول همخوانی دارند. همچنین مقایسه نتایج بدست آمده از دو روش با داده‌های ترازیابی موجود صحت نتایج را تائید می‌نماید.

کلید واژه: تداخل سنجی راداری، StaMPS ، TerraSAR-X، ENVISAT ، بازیابی فاز، شرط نمونه‌برداری نایکوئیست.

فهرست مطالب

۱) پیشگفتار..... ۱

۱-۱)مقدمه..... ۲

۱-۲)تاریخچه ظهور تکنیک تداخل‌سنجی‌راداری و روش های مختلف ارائه شده در این زمینه..... ۴

۱-۳)ضرورت انجام تحقیق..... ۱۳

۱-۴)سوالات تحقیق..... ۱۵

۱-۵)اهداف تحقیق..... ۱۶

۱-۶)روش تحقیق..... ۱۷

۱-۷) ساختار تحقیق..... ۱۸

۲)مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۹

۲-۱) تحقیقات انجام شده در زمینه پایش جابه‌جایی‌های سطح زمین بکمک سنجنده TerraSAR-X..... ۲۰

۲-۲) بحث و نتیجه‌گیری..... ۲۷

۳)روش تداخل سنجی متداول و اعمال آن برروی داده هایTSX..... ۲۸

۳-۱) معرفی منطقه..... ۲۹

۳-۲) داده های مورد استفاده..... ۳۰

۳-۳) روند پردازش داده‌ها.....۳۲

۳-۳-۱) تشکیل اینترفروگرام‌ها.....۳۲

۳-۳-۲) پردازش SBAS.....۳۵

۳-۴) بررسی نتایج حاصل.....۳۶

۴)اعمال تکنیک StaMPS برروی تصاویر TerraSAR-X و بررسی نتایج ۳۸

۴-۱) روند پردازش.....۳۹

۴-۲) اعمال تکنیک StaMPS برروی داده های TerraSAR-X و نتایج حاصل از آن.... .....۴۱

۴-۳)) مقایسه نتایج حاصل از اعمال تکنیک تداخل سنجی راداری StaMPS برروی داده های ENVISAT و TerraSAR-X.....۴۲

۵) بحث و بررسی و ارزیابی نتایج.....۴۶

۵-۱) مقایسه نتایج حاصل از داده های TSX و ENVISAT در تکنیک تداخل‌سنجی راداری StaMPS.....۴۷

۵-۲) مقایسه نتایج بدست آمده از اعمال روش متداول و تکنیک StaMPS برروی داده های TerraSAR-X و بحث و بررسی.....۴۹

۵-۳) ارزیابی نتایج بدست آمده از هر دو روش در مقایسه با داده های ترازیابی موجود در منطقه.....۵۳

۶)نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....۵۵

۶-۱) نتیجه‌گیری.....۵۶

۶-۲) پیشنهادات.....۵۷

پیوست ۱-تحلیل سری زمانی بکمک روش SBAS.....۵۹

پیوست ۲- روش StaMPS ۶۱

مراجع

فهرست تصاویر

تصویر ۱-۱) مراحل روش تداخل‌سنجی‌راداری.....۶

تصویر۱- ۲) نحوه‌ی تغییر تعداد پراکنش‌کننده‌های دائمی شناسایی شده با تغییر زاویه برخورد.....۲۱

تصویر۲- ۲) تاثیر زاویه برخورد در تعداد PSهای شناسایی شده برروی ساختمان‌ها.....۲۱

تصویر ۳- ۲) تاثیر حد تفکیکی مکانی بالای سنجنده TerraSAR-X در نرخ نمونه برداری، ۲۳

تصویر ۱-۳) منطقه مطالعاتی در این تحقیق.....۳۰

تصویر ۲-۳) هندسه اخذ تصاویر. محور قائم خط مبنای مکانی و محور افقی خط مبنای زمانی است. خطوطی که تصاویر را بهم وصل می کند نشان دهنده اینترفروگرام‌های تشکیل شده است.....۳۲

تصویر ۳-۳) تصویر سرعت متوسط جابه‌جایی. محور افقی و عمودی شماره سطر و ستون می‌باشد.....۳۶

تصویر ۴-۳) نمایش سری زمانی چند نقطه در مکان‌های مختلف منطقه تحت مطالعه...۳۷

تصویر۱-۴) تصویر سری زمانی ناشی از اعمال روش StaMPS بر روی داده های TerraSAR-X. اثر مربوط به توپوگرافی و خطای مداری از اینترفروگرام‌های فوق کسر گردیده است.....۴۱

تصویر ۲-۴) نرخ تغییرات متوسط سالیانه به ازای هر پیکسل.....۴۲

تصویر ۳-۴) نتایج حاصل از داده‌های ENVISAT و TerraSAR-X.....۴۴

تصویر ۱-۵) تصویر اختلاف بین نتایج حاصل از پردازش داده‌های TerraSAR-X و ENVISAT با استفاده از تکنیک StaMPS.....۴۸

تصویر ۲-۵) هیستوگرام اختلاف نتایج بدست آمده از دو روش تداخل‌سنجی‌راداری متداول و بازپراکنش‌کننده دائمی StaMPS ۴۹

تصویر ۳-۵) قسمتی از یک اینترفروگرام که در روش متداول تداخل‌سنجی‌راداری بازیابی فاز گردیده است...۵۱

تصویر ۴-۵) تصویر اختلاف نرخ متوسط تغییرات در دو روش متداول و StaMPS.....۵۲

تصویر ۵-۵) مقایسه نتایج حاصل از ترازیابی دقیق، روش تداخل‌سنجی متداول و روش StaMPS.....۵۳

فهرست جداول

جدول ۱-۳) محدوده جغرافیایی پوشش داده شده توسط تصاویر TerraSAR-X.....۳۱

جدول ۲-۳) زمان اخذ تصاویر، خط‌مبنای مکانی و زمانی آنها نسبت به تصویر اول.....۳۱

جدول ۳-۳) مجذور متوسط مربع خطای ناشی از عدم انطباق داده‌ها با بهترین صفحه برازش داده شده برای هر اینترفروگرام.....۳۴

جدول۱-۵) نتایج حاصل از اعمال تکنیک StaMPS برروی داده‌های TerraSAR-X و ENVISAT.....۴۹

جدول ۲-۵) مقایسه نتایج حاصل از دو روش تداخل‌سنجی متداول وStaMPS.....۵۰

جدول ۳-۵)مختصات مربوط به نقاط ترازیابی استفاده شده در ارزیابی.....۵۴

فهرست نمودارها

نمودار ۱-۱) روش تحقیق.....۱۷

۱) پیشگفتار

۱-۱) مقدمه

پدیده‌های مختلف طبیعی از دیرباز برروی کیفیت زندگی بشر تاثیر بسزایی داشته‌اند. بررسی این پدیده‌ها، شناسایی الگوی رفتاری آنها و پی بردن به چگونگی جلوگیری از آسیب‌های احتمالی ناشی از آنها امری مهم در تامین آسایش و زندگی بهتر بمنظور افزایش کیفیت زندگانی بشری می‌باشد. یکی از این نوع پدیده‌های طبیعی پدیده تغییرشکل و جابه‌جایی سطح زمین است. این پدیده بعلت عوامل گوناگون حادث می‌گردد.

با گذشت زمان به دلالیل مختلفی چون ذوب یخ‌ها، حرکات آرام پوسته و خروج گاز از پوسته جامد زمین و یا فعالیت‌هایی نظیر معدن‌کاری، برداشت آب‌های زیر زمینی و یا نفت و ... پدیده تغییر شکل بر روی سطح زمین مشاهده می‌شود.

با بررسی نرخ جابجایی و گستره وقوع آن نه‌تنها می‌توان میزان پیشرفت این پدیده را شناسایی و از آن جلوگیری کرد بلکه می‌توان بررسی‌های زمین شناسی نیز در منطقه انجام داد.

یکی از انواع جابه‌جایی‌ها ، فرونشست[1] است. وقوع چنین پدیده‌ای بخصوص در مناطق شهری می‌تواند تاثیرات مخرب قابل توجهی را برروی زیرساخت‌های شهری داشته باشد. همچنین زندگانی بسیاری از افراد تحت تاثیر چنین پدیده‌ای در خطر است. علت پیدایش فرونشست در مناطق شهری می‌تواند در اثر عواملی چون حفر تونل‌های متروی شهری، برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی و ... باشد. بنابراین پایش پدیده فرونشست در منطقه شهری امری ضروری است.

از دیرباز روش ترایازیابی دقیق برای بررسی تغییر شکل متدوال بوده است. بعلت تاریخچه‌ی طولانی ترازیابی نوع و هزینه‌ی ناشی از خطاها بخوبی دراین روش شناخته شده است. اگرچه ترازیابی یک تکنیک بسیار

[1] Subsidence

خوب برای پایش جابه‌جایی است اما بسیار پرزحمت و پرهزینه می‌باشد. همچنین در مواردی که اندازه‌گیری در مناطق پرخطر انجام می‌گیرد امنیت را تهدید می‌کند. (مانند اندازه‌گیری در مسیر حرکت وسایل نقلیه).

ظهور سنجنده‌های ماهواره‌ای تحولی عظیم در علم سنجش‌ازدور به وجود آورد. امکان دسترسی به داده‌هایی با سطح پوشش بالاتر، دسترسی آسان‌تر، سطح اطلاعات بیشتر و با پوشش زمانی بسیار بهتر امکان بررسی‌های بهتری برروی پدیده‌های مختلف را در اختیار محققین سنجش‌ازدوری قرار داده است. در این میان ظهور سنجنده‌های راداری (بخصوص سنجنده‌های فعال) در دهه‌های اخیر سطح دسترسی به داده‌ها را بیش از پیش نموده است. امکان ثبت اطلاعات در هر شرایط آب و هوایی، در حضور ابرها و حتی در شب این فرصت را در اختیار قرار می‌دهد تا بتوان دسترسی بیشتری به اطلاعات داشته باشیم.

سادگی پایش جابه‌جایی از فضا با ظهور تکنیک تداخل‌سنجی‌راداری[2] در سال ۱۹۹۰ بر همگان ثابت گردید. گردید. متعاقبا ماهواره‌های راداری گوناگونی عملیاتی شدند. برای مثال ماهواره‌های سنجش‌ازدوری اروپایی ERS-1 و ERS-2 که تصاویر SAR را در محدوده‌ای به وسعت ۱۰۰*۱۰۰کیلومترمربع با فاصله زمانی ۳۵ روزه اخذ می‌نمود. فرکانس بالای مشاهدات مکانی و زمانی روش تداخل‌سنجی‌راداری در مقایسه با ترازیابی می‌تواند دید جامعی از مکانیسم تغییر شکل را در اختیار بگذارد. همچنین یک تصویر SAR امکان بررسی این پدیده را در سطحی وسیع و در هر نوع منطقه از جمله مناطق صعب العبور و کوهستانی در اختیار می‌گذارد.

[2] Interfrometry

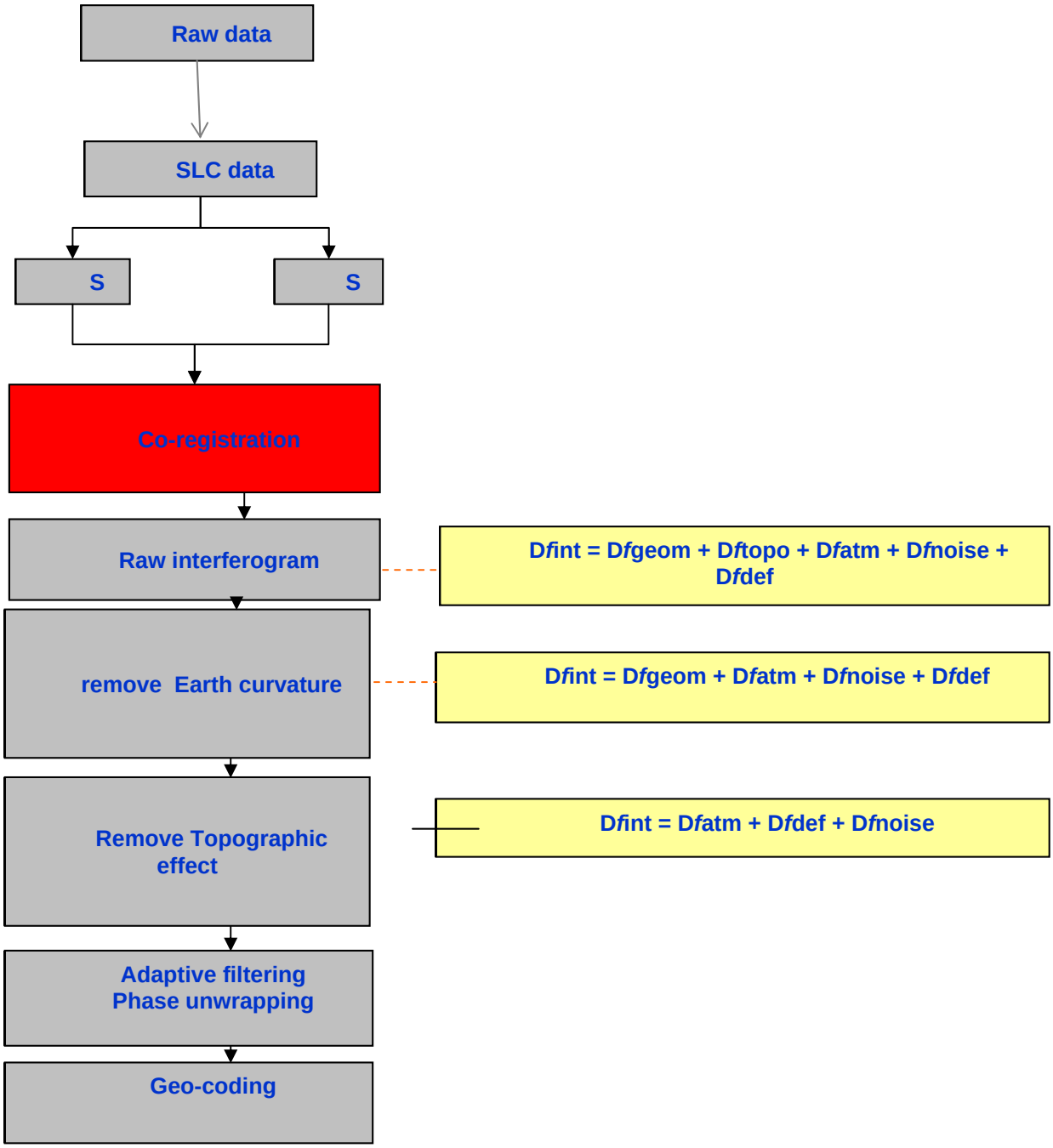
۱-۲)تاریخچه ظهور تکنیک تداخل‌سنجی‌راداری و روش های مختلف ارائه شده در این زمینه

هر پیکسل یک تصویر راداری منتسب به یک عدد مختلط است که قسمت حقیقی آن مربوط به دامنه و قسمت مجازی آن مربوط به فاز اطلاعات سیگنال می‌باشد. اگر دو تصویر راداری در اختیار باشد از ضرب تصویر اول در مختلط مزدوج تصویر دوم تصویری حاصل می‌گردد که اینترفروگرام نامیده می‌شود. اولین اینترفروگرام در سال ۱۹۸۶ توسط Goldstein و Zebker ارائه گردید. با گذشت زمان کاربردهای مهمتر این تکنیک کشف شد. Gabriel و همکارانش در سال ۱۹۸۹ متوجه گردیند که با کمک روش تکرار مدار (که در آن دو تصویر در دو زمان مختلف از یک منطقه اخذ می‌گردند) می توان جابه‌جایی نسبی پراکنش کننده‌ها را در امتداد خط دید راداری نسبت به یک نقطه مرجع در تصویر بصورت کسری از طول موج با دقتی در حدود سانتیمتر تا میلیمتر اندازه گیری نمود. هر اینترفروگرام در این روش شامل اطلاعات مربوط به تغییرات فاز ناشی از تغییرات منطقه در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. در روش تداخل سنجی متدوال یک تصویر بعنوان مرجع در نظر گرفته شده و سایر تصاویر نسبت به آن ثبت[۳] می‌گردند. همراه با فاز مربوط به فرونشست فازهای دیگری مانند فاز ناشی از تأخیر اتمسفری، فاز ناشی از خطاهای مداری، فاز مربوط به توپوگرافی و نویز نیز در فاز اندازه‌گیری شده وجود دارد. بنابر این باید بگونه‌ای این فازها را شناسایی و از فاز اندازه‌گیری شده کسر نمود تا بتوان به فاز جابه‌جایی دسترسی پیدا نمود. همچنین در مشاهدات راداری تنها کسری از فاز مشاهده می‌گردد و تعداد سیکل‌های صحیح بین ماهواره تا سطح زمین ناشناخته است. دراینترفروگرام‌های تشکیل شده فازهای مربوط به تغییرات بصورت فرینج‌های جداگانه وکسری از فاز بوده و برای یافتن جابه‌جایی باید تعداد آن‌ها را شمرده و با هم جمع نمود. در مناطقی که گرادیان تغییر شکل بسیار زیاد است فرینج‌ها در هم رفته و امکان شمارش آن‌ها وجود

[3] Coregistration

نخواهد داشت، بنابراین بطور قطع نیازمند انجام یک مرحله بازیابی فاز[۴] خواهیم بود. برای رفع اثر توپوگرافی موجود در فاز برآورد شده با استفاده از اطلاعات مدل ارتفاعی رقومی[۵] منطقه ویا با در نظر گرفتن یک ارتفاع مشخص برای منطقه (در مواقعی که تغییرات ارتفاعی قابل توجهی در منطقه موجود نیست و یا این تغییرات مشخص است) اینترفروگرامی مربوط به فاز توپوگرافی در هندسه رادار شبیه‌سازی شده و از اینترفروگرام محاسبه شده کسر می‌گردد. اما همچنان اثر مربوط به اتمسفر در فاز برآورد شده باقی می‌ماند. همچنین فاز مربوط به باقیمانده اثر توپوگرافی نیز، که بعلت خطای موجود در DEM مورد استفاده و یا جدایی مدل ارتفاعی در نظر گرفته شده از مدل ارتفاعی واقعی منطقه بوجود می‌آید، در فاز تخمین زده شده وجود دارد. اگر این مقادیر کوچک باشند در اکثر موارد از آنها چشم‌پوشی شده و در نظر گرفته نمی‌شوند. مراحل کلی روش تداخل‌سنجی راداری در تصویر ۱-۱ آورده شده است.

[4] Unwrapping
[5] DEM(Digital Elevation Model



تصویر ۱-۱) مراحل روش تداخل‌سنجی‌راداری

از مزایای‌این روش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: