

نمایش نشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با

استفاده از روش SAR اینترفرومتری در سنجش از دور

مهدی آخوندزاده، پژوهشگر مرکز تحقیقات نقشه برداری سازمان نقشه برداری کشور
m.akhoondzadeh@ncc.neda.net.ir

چکیده

استفاده از فناوری سنجش از دور در علوم مختلف زمین به دلیل پوشش وسیع تصاویر ماهواره ای، بهنگام بودن تصاویر و هزینه پایین آن نسبت به روشهای زمینی بسیار متداول شده است. یکی از کاربردهای اخیر سنجش از دور استفاده از روش SAR اینترفرومتری (InSAR) جهت نمایش و کنترل جابجاییهای پوسته زمین در اثر عواملی مثل زلزله، رانش، نشست زمین و ... می باشد. در این مقاله نگارنده به کمک پردازش تصاویر راداری مربوط به قبل و بعد از استخراج نفت، نشست زمین را با استفاده از پیاده سازی روش اینترفرومتری نمایش میدهد. بدلیل عدم دسترسی به تصاویر رادار مربوط به یک منطقه نفت خیز در ایران با شرایط مورد نظر، تصاویر سنجنده Radarsat-1 مربوط به قبل و بعد از استخراج مواد نفتی در یک منطقه نفت خیز در کالیفرنیا مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر مورد استفاده، دو تصویر راداری خام (Single look Complex) از ماهواره Radarsat-1 در سال ۲۰۰۱ با اختلاف زمانی ۲۴ روز بودند. همچنین برای حذف خطای توپوگرافی از DEM منطقه که قبلا از زوج تصاویر ERS1/2 بدست آمده بود استفاده شد. برای پردازش تصاویر و تهیه DEM و نقشه تغییرات منطقه (اینترفروگرام) از نرم افزار Earthview3.1 استفاده شد. نتیجه تحقیق کاملا رضایتبخش بود و تغییر شکل پوسته زمین در اثر استخراج مواد نفتی با روش اینترفرومتری با دقت بالایی نمایش داده شد. روش کار، الگوریتم و نرم افزار مورد استفاده طوری طراحی شدند که در صورت در اختیار قرار گرفتن تصاویر راداری از ایران با شرایط مورد نظر امکان بدست آمدن نتایج بهتر حاصل شود.

واژگان کلیدی: اینترفرومتری، اینترفروگرام، SAR و نشست زمین.

۱- مقدمه

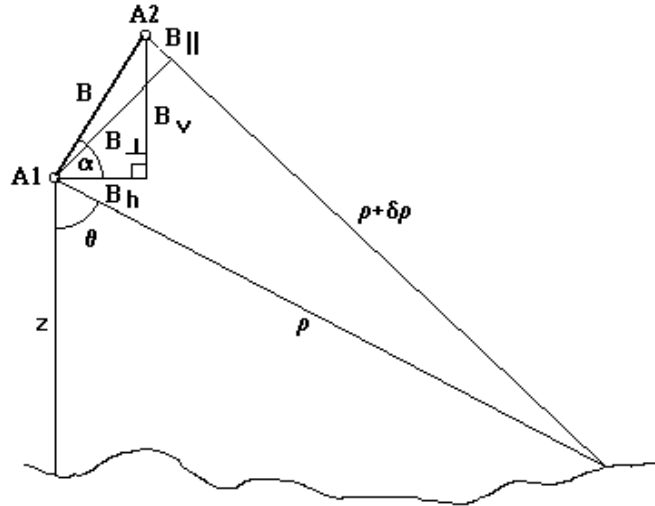
در حال حاضر GPS کاربرد زیادی در نمایش جابجایی پوسته زمین در مقیاسهای بزرگ دارد. به کمک آن می توان جابه جایی نسبی صفحات زمین و تغییر شکلهای بزرگ مقیاس در صفحات زمین را محاسبه نمود. بنابراین اگر در یک منطقه شبکه ای از نقاط کنترل در مقیاس بزرگ با دقت بالا موجود باشد می توان جابجاییهای پوسته زمین را در اثر نشست، زلزله، رانش و... نمایش داد. اما باید توجه داشت که به دلیل محدودیت در ایستگاههای گیرنده زمینی این روش فقط در مورد مناطقی که به تعداد کافی دارای این ایستگاهها باشند، کاربرد دارد.

تکنیک اینترفرامتری (InSAR) مزایای زیادی در اندازه گیری و نمایش جابه جاییهای پوسته زمین دارد. از جمله حساسیت بالا به تغییرات دینامیکی، قدرت تفکیک مکانی بالا و پوشش وسیع از مزایای این روش است. با استفاده از چند تصویر SAR از تغییرات دینامیک یک منطقه ما می توانیم اینترفروگرام تغییرات را با دقتی در حدود میلیمتر بدست آوریم. علاوه براینکه به کمک این روش می توان جابجاییهای قائم و افقی بعد از نشست زمین را محاسبه نمود، امکان نمایش تغییر شکلهای آهسته پوسته در طول نشست نیز تحت شرایط خاص وجود دارد. برخی مزایا و معایب InSAR نسبت به GPS در اندازه گیری تغییرات پوسته زمین را می توان اینطور بیان کرد.

مزایا	معایب
پوشش وسیعتر عدم نیاز به نقطه کنترل زمینی قابلیت کار در هر شرایط آب و هوایی	دقت کمتر قدرت تفکیک زمانی بیشتر ناسازگاری تصاویر خطاهای توپوگرافی، مداری و اتمسفری امکان اندازه گیری جابه جاییها در امتداد دید ماهواره

۲- اینترفرامتری (Interferometry)

اینترفرامتری روش استفاده از فازهای سیگنال برگشتی از زمین در دو تصویر SAR گرفته شده با تاخیر زمانی یا دارای پارالاکس از یک منطقه جهت استخراج ارتفاع و یا اطلاعات مربوط به تغییرات سطح زمین است. این اختلاف فاز می تواند شامل اثرات اتمسفری، توپوگرافی و مداری نیز باشد. بنابراین برای رسیدن به نتیجه دقیقتر در بدست آوردن نقشه تغییرات سطح زمین باید این عوامل شناخته شده و حذف گردند. شکل ۱ نمایش هندسه تصویربرداری سیستم SAR می باشد. سیستم SAR یک دستگاه راداری است که امواج میکروویو را به سمت هدف ارسال می کند و دامنه و فاز سیگنال برگشتی از سطح زمین را اندازه گیری می کند.



شکل ۱. هندسه تصویربرداری SAR a

اختلاف فاز بین دو تصویر جهت تولید اینترفروگرام و تغییرات ارتفاع بین دو پیکسل متناظر به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\phi = \frac{4\pi \delta\rho}{\lambda} \quad (1)$$

λ : طول موج، $\delta\rho$: اختلاف فاصله بین تارگت و سنجنده، ϕ : اختلاف فاز ارتفاع اندازه گیری شده،

اختلاف ارتفاع اندازه گیری شده در نقطه a:

$$h_a = \frac{\rho \lambda \sin \theta}{2B \cos(\theta - \alpha)} \quad (2) \quad \theta: \text{زاویه دید در نادیر} \quad \alpha: \text{زاویه توجیه Baseline}$$

کاربرد روش اینترفراامتری در تهیه نقشه توپوگرافی و تغییرات سطح زمین است. مراحل مختلف این روش برای بدست آوردن این تغییرات عبارتند از:

Registration - 1-2

در این مرحله خطاهای هندسی که مربوط به اختلاف موقعیت آنتن سنجنده در هنگام تهیه تصویر از یک منطقه است، حذف می شود. در این مرحله لازم است که مراحل زیر انجام پذیرد:

- محاسبه میزان همپوشانی دو تصویر رادار

- محاسبه مختصات یکسری نقاط در منطقه مشترک دو تصویر، در تصویر slave
- تعیین مختصات تصویری همان نقاط در تصویر master با استفاده از روشهای تناظریایی
- تعیین تابع انتقال جهت ارتباط دو تصویر
- انتقال نقاط تصویر slave به تصویر master
- Resample کردن که منظور همان درونیابی در فضای تصویر master است تا این نقاط در شبکه گرید منظم در یک تصویر master در نزدیکترین node قرار گیرند.

۲-۲- تولید اینترفروگرام و فیلتر گذاری

اینترفروگرام همان تصویر حاصل از اختلاف فاز دو تصویر رادار است که بیانگر تغییرات می باشد. همچنین در این مرحله برای حذف مقداری از نویزها از فیلترگذاری تصاویر استفاده می شود. در این مرحله در صورت وجود یک DEM خارجی فازهای مربوط به توپوگرافی زمین و مسطح بودن زمین حذف می شوند.

۲-۳- محاسبه میزان همبستگی فاز دو تصویر (Coherence)

Coherence بیانگر میزان همبستگی فاز بین دو تصویر می باشد. مقدار آن بین ۰ تا ۱ تغییر می کند و فاصله ۰/۷-۱ بهترین مقدار برای آن است. همچنین به عنوان پارامتری برای تشخیص عوارض نیز می تواند به کار رود. Coherence خیلی پایین معمولا نشاندهنده آب، Coherence متوسط اغلب نشاندهنده گیاهان در حال رشد و Coherence بالا نمایشگر شهرها و بیابانها می باشد.

۲-۴- phase unwrapping

در این مرحله ناپیوستگیهای موجود در فاز در مناطق با coherence بالا از بین می رود. به عبارت دیگر فاز اینترفروگرام که به صورت دوره ای (... -۳۶۰ -۱۸۰ -۳۶۰ -۱۸۰ -۰) می باشد به صورت پیوسته (... -۷۲۰ -۵۴۰ -۳۶۰ -۱۸۰ -۰) در می آید.

۲-۵- تولید نقشه تغییرات (اینترفروگرام)

در این مرحله مطابق با معادله (۲) با استفاده از اختلاف فاز دو تصویر مقدار جابجایی بدست می آید.

۳- اجرای عملی روش SAR اینترفرامتری جهت نمایش جابجاییهای پوسته زمین

بدلیل عدم دسترسی به تصاویر راداری مربوط به یک منطقه نفت خیز در ایران که دارای شرایط مورد نظر باشند (یعنی مربوط به قبل و بعد از استخراج نفت باشند) از تصاویر اخذ شده توسط سنجنده Radarsat در سال ۲۰۰۱ از زمینهای نفتی منطقه Belridge در کالیفرنیا، استفاده شد (شکل ۳ و ۲).

اختلاف زمانی بین دو تصویر master, slave ۲۴ روز است و در این مدت انتظار دیدن تغییراتی در نقشه اینترفروگرام منطقه را به علت نشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی داریم. پیش پردازشهای اولیه انجام گرفت و پس از مرحله Registration و محاسبه اختلاف فاز بین دو تصویر اینترفروگرام (شکل ۴) تهیه شد.



شکل ۳. تصویر رادار دوم slave



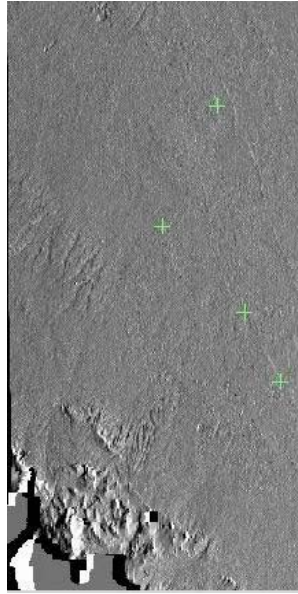
شکل ۲. تصویر رادار اول master

بعد از تولید اینترفروگرام از دو تصویر رادار چند نکته مهم قابل ذکر است:

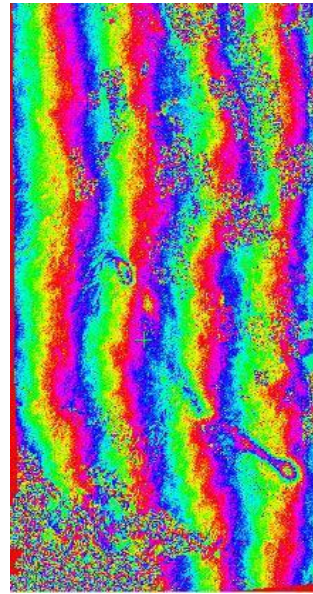
- بیضیهای کشیده شده در اینترفروگرام نشاندهنده تغییرات سطح زمین در فاصله زمانی بین اخذ دو تصویر است. هر رنگین کمان در اینترفروگرام نمایشگر تغییراتی در حدود ۲۸ میلیمتر در سطح زمین می باشد. در این مناطق زمین در اثر استخراج مواد نفتی دچار نشست شده است.
- نوارهای باریک مربوط به مسطح بودن زمین هستند و در مرحله تولید اینترفروگرام به طور کامل حذف نمی شوند.
- مناطق آشفته و همراه با نویز که مربوط به مناطق با coherence پایین هستند.

به طور کلی فاز اندازه گیری شده (معادله ۳) شامل اثرات مربوط به نویز و اتمسفر می باشد که معمولاً مقدار آنها ناچیز می باشد و برای بدست آوردن فاز ناشی از تغییرات زمین باید فازهای ناشی از توپوگرافی زمین و مسطح بودن زمین را حذف نمود.

$$\phi_{meas} = \phi_{topographic} + \phi_{deformation} + \phi_{flat-earth} + \phi_{atmosphere} + \phi_{noise} \quad (3)$$



شکل ۵. DEM خارجی



شکل ۴. اینترفروگرام قبل از تصحیح

۳-۱- حذف فازهای ناشی از مسطح بودن زمین

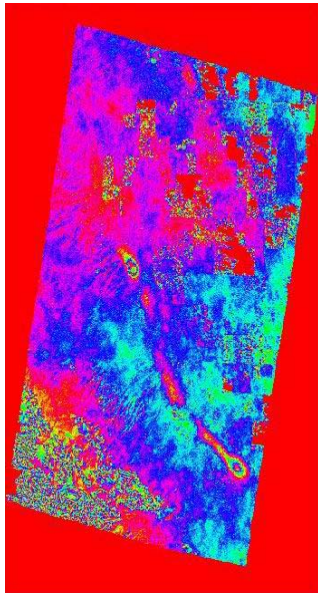
برای حذف این خطا دو راه حل وجود دارد. یکی اینکه مناطقی را که انتظار وجود فاز ناشی از مسطح بودن زمین نداریم را مشخص کنیم و با حذف فاز مربوط به آنها با یک درونیایی مجدد مقادیر فاز را برای آن منطقه با در نظر گرفتن مناطق اطراف آن محاسبه کنیم که این روش نیازمند اطلاعات دقیقی از منطقه است. راه حل دوم تصحیح فاصله اصلی بین دو موقعیت تصویر در فضا می باشد. زیرا مقداری از خطای فاز ناشی از مسطح بودن زمین به این علت است که ما در مرحله registration از اطلاعات مداری ماهواره استفاده می کنیم که دارای دقت بالایی نیستند و در نتیجه موقعیت مکانی دو تصویر را در فضا به درستی نمی دهند. این باعث می شود که محاسبه فاصله اصلی بین دو موقعیت تصویر در فضا همراه با خطا باشد. برای این منظور محاسبه این فاصله اصلی با تصحیح پارامترهای مربوط به آن مجددا انجام می پذیرد. خوشبختانه این پارامترها به همراه تصویر در اختیار ما قرار گرفت و به دلیل اینکه موقعیت این تصاویر مربوط به ایران نبود و شناختی از منطقه نداشتیم از روش دوم برای حذف این خطا استفاده شد.

۳-۲- حذف فازهای ناشی از توپوگرافی زمین

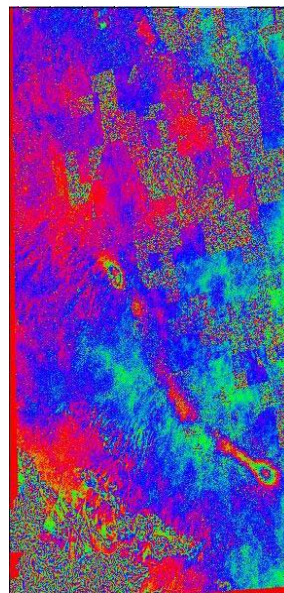
برای حذف اثرات ناشی از توپوگرافی زمین در تهیه اینترفروگرام معمولا از دو روش استفاده می شود. یک روش استفاده از یک DEM مربوط به منطقه است که از روشهای زمینی یا فتوگرامتری بدست آمده باشد. روش

دیگر که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است استفاده از DEM است که از یک زوج داده راداری دیگر بدست آمده باشد. برای حذف اثرات ناشی از توپوگرافی زمین در اینترفروگرام از یک DEM بدست آمده از زوج تصویر ERS-1 (شکل ۵) از همان منطقه استفاده شد. این DEM نیز به همراه تصاویر راداری مربوط به منطقه در اختیار ما قرار گرفت.

روش کار بدین صورت است که تصویر DEM را با نمونه برداری مجدد به فضای تصویر اول (master) می بریم و در حقیقت یک تصویر رادار شبیه سازی شده از آن می سازیم. سپس ارتفاع مربوط به هر پیکسل را به فاز تبدیل می کنیم و مقدار عددی بدست آمده را از فاز اینترفروگرام بدست آمده از دو تصویر کم می کنیم. حال تغییراتی که در اینترفروگرام مشاهده می شود ناشی از جابجاییهای پوسته زمین در فاصله زمانی بین دو تصویر گرفته شده است (شکل ۶).



شکل ۷. اینترفروگرام ژئوکد شده



شکل ۶. اینترفروگرام بعد از تصحیح

۳-۳- تولید نقشه تغییرات

نکته ای که به آن باید توجه داشت آن است که تغییرات مشاهده شده در اینترفروگرام در جهت دید ماهواره (slant range) است و بایستی تغییرات را در دو راستای عمودی و افقی نسبت به سطح زمین نمایش داد. برای این منظور نیاز به زاویه دید ماهواره (incident angle) برای هر پیکسل می باشد. پس از اینکه مرحله unwrapping انجام شد فازها را به مقداری که نشاندهنده جابجایی پوسته زمین باشد تبدیل می کنیم. این تغییرات هم در جهت دید ماهواره و هم در جهت های افقی و عمودی محاسبه می شود. با مشاهده نقشه تغییرات متوجه می شویم که در مناطقی که دچار نشست شده اند هرچه از اطراف به سمت مرکز آن منطقه می رویم

مقدار تغییرات منفی تر می شود که نشاندهنده نشست زمین می باشد. برای اینکه هر پیکسل در تصویر دارای موقعیت مکانی صحیح بر روی زمین باشد نقشه تغییرات بدست آمده با کمک اطلاعات مداری ماهواره تصحیح هندسی می شود. در نهایت اینترفروگرام بدست آمده را بعد از حذف خطاهای Foreshortening (در تصاویر رادار به دلیل اینکه ماهواره به صورت مایل تصویر تهیه می کند نوک عوارض بلندی مانند کوهها جلوتر از دامنه شان در تصویر به نظر می آیند) و سایه به صورت ژئوکد شده نمایش داده می شود (شکل ۷).

۴- نتیجه گیری

قابلیت روش اینترفرومتری در نمایش و اندازه گیری نشست زمین در اثر استخراج نفت در منطقه ای در کالیفرنیا مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از این روش بدلیل پوشش وسیع تصاویر ماهواره ای و بهنگام بودن آنها و ویژگیهای خاص تصاویر راداری توصیه می شود. در صورت در اختیار قرار گرفتن تصاویر راداری از مناطق نفت خیز ایران استفاده از این روش برای نمایش نشست زمین در یک دوره زمانی پیشنهاد می شود. باید در هنگام سفارش تصاویر توجه داشت که اگر فاصله بین موقعیت اخذ تصاویر در فضا (baseline) زیاد می باشد برای حذف خطاهای توپوگرافی بایستی DEM منطقه موجود باشد. تهیه تصاویر ماهواره Envisat از منطقه مورد مطالعه بدلیل در اختیار داشتن پارامترهای مداری دقیق در موقع سفارش تصویر پیشنهاد می شود.

تشکر و قدردانی:

در اینجا لازم است از حسن نظر شرکت Earthview به خاطر در اختیار قرار دادن نرم افزار و تصاویر ماهواره Radarsat جهت انجام این تحقیق تشکر و قدردانی نمایم.

منابع

- 1-Aydoner C., D.Maktav, E.Alparslan,2004, "Ground Deformation Mapping Using InSAR", 20nd ISPRS Conference.
- 2-Bitelli G., R.Camassi, L.Gusella, A.Mogonol,2004, "Image Change Detection on Urban Area: The Earthquake Case", 20nd ISPRS Conference.
- 3-Crosetto M.,2004 , "Deformation Measurement Using Interferometric SAR Data" , 20nd ISPRS Conference, Commission II, WG II/2.