بررسی اثر جهت دید ماهواره در شناسایی بهینه پارامترهای گسل مسبب زلزله اسفند ۱۳۸۳ زرند، مبتنیبر روش تداخلسنجی راداری

محمدصادق پاکدامن<sup>ا\*</sup>، زینب گلشادی<sup>۲</sup>، مهدی رضاپور<sup>۳</sup>

۱ - گروه سنجشازدور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
 ۲ - موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
 ۳ - موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

پذیرش: ۱۵/ ۱۳۹۷ (۱۳۹۷

دریافت: ۱۷/ ۱۰/ ۱۳۹۶

#### چکیدہ

در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳ زمین لرزمای با بزرگی Mw=۶/۵ زرند کرمان را به لرزه در آورد. درک ویژگی و استخراج پارامترهای گسل مسبب این زمین لرزه و تعیین و تحدید ارقام، به منظور دستیابی به رقم اعتمادبرانگیز از این پارامترها مسئله عددی بسیاری از محققین است. دادههای ماهوارهای راداری به جهت برخورداری از تکنیک برداشت در دو گذر متفاوت (روبه بالا و پایین) قادرند اطلاعات متفاوتی از شرایط فیزیکی و هندسی یک گسل ارائه دهند؛ این خود امکان استخراج بهینه پارامتر گسل مسبب زمین لرزه را فراهم میآورد. بدین منظور با استفاده از روش کاتورهای گسل محدود و شبیه سازی شتاب نگاشت مصنوعی، پارامترهای گسل مسبب در هر مدار به دست آمد و نتایج هر ایستگاه، در هر دو مدار بالاگذر و پایین گذر، با مقادیر مشاهدهای مقایسه گردید. نتایج نشان داد کمترین میزان اختلاف بیشینه شتاب ثبت شده در هر مدار، به نتایج به دست آمده از مدل سازی پارامترهای ماهوارههای مدار پایین گذر به میزان ٪۵/۳۶، در مقایسه با مدار بالاگذر به میزان ٪۷/۸ تعلق داشت. بدین ترتیب می توان گفت دسته پارامترهای گسل محاسبه شده برای زلزله مذکور، از دادههای مدار پایین گذر دقت بالاتری

واژگان کلیدی: زرند، InSAR، جنبش نیرومند زمین.

Pakdaman.rs@gmail.com

\* نویسنده مسئول:

برنامهریزی و آمایش فضا

#### ۱– مقدمه

مطالعه گسلهای فعال بهمنظور شناخت فیزیک زلزلهها و بهبود امکان پیشبینی آنها موضوع موردتوجه محققین علوم زمین است. ازطرفی امکان برآورد تغییر شکل سطحی زمین توسط مشاهدات راداری با دقت بالا (شریفی کیا، ۱۳۹۶؛ شریفی کیا، ۱۳۹۱) و ثبت شتابنگاشت<sup>۱</sup>های مربوط به یک زلزله، مرجعهای مناسبی برای بررسی پدیدههای مختلف ژئودینامیکی را فراهم کرده است. جابجایی صفحات گسلی که ممکن است بهصورت امتدادلغز و یا شیبلغز و یا ترکیبی از این دو باشد، میتواند به سطح زمین برسد و خود را بهصورت جابجایی در سه جهت نشان دهد. این جابجایی با استفاده از مشاهدات ماهوارههای راداری و روش تداخل سنجی رادار روزنه مصنوعی<sup>۲</sup> قابلاندازه گیری است. ازاینروش برای ترسیم تغییرشکلهای ایجادشده در سطح زمین در اثر زلزله میتوان استفاده کرد (اکادا<sup>۳</sup>، ۱۹۸۵). مدلهای متفاوتی بهمنظور برآورد تغییر شکل سطح زمین با معلومبودن ویژگیهای هندسی گسل مسبب زمینلرزه و چگونگی و میزان نابرجایی اتفاقافتاده بر سطح گسل ارائه شده است (طالبیان<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

به منظور استخراج مقادیر مربوط به پارامترهای گسل، با درنظر گرفتن فرضیاتی در مورد رفتار و خصوصیات لیتوسفر منطقه اطراف گسل، میتوان از میدان جابجایی به دست آمده از مشاهدات راداری به عنوان مسئله مقدار مرزی مدل های الاستیک و ویسکوالاستیک بهره جست و با حل معکوس به پارامترهای ژئوفیزیکی و زمین شناسی منطقه دست یافت. جابجایی در سطح زمین ناشی از تغییر شکل صورت گرفته در کانون زلزله است. مدل سازی این جابجایی، ما را در جهت شناخت پارامترهای گسل مسبب زمین لرزه یاری می کند. این پارامترها شامل امتداد، شیب، ریک، موقعیت جغرافیایی، طول، عرض، عمق و لغزش در صفحه گسل است که علاوه بر اینکه نوع گسل را برای ما آشکار می سازد، ویژگیهای ساختارهای مؤثر بر زمین ساخت منطقه که از دسترس خارج هستند را نیز مشخص می کند (نیسن<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰).

پژوهش حاضر با استفاده از مشاهدات تداخل سنجی راداری در دو مدار بالاگذر و پایین گذر، دودسته پارامتر برای گسل مسبب زمین لرزه زرند کرمان بهدست می آورد. برای بهدست آوردن بهترین پارامترها برای گسل مسبب زمین لرزه، از دادههای شتاب نگاشت استفاده شد.

5- Nissen

<sup>1-</sup> Accelerometer

<sup>2-</sup> Synthetic Aperture Radar Interferometrery

<sup>3-</sup> Okada

<sup>4</sup> Talebian

d. حمدصادق یاکدامن و همکاران \_\_\_\_\_پررسی اثر جهت دید ماهواره در شناسایی بهینه پارامترهای گسل ... یکی از روشهای مطالعه زمینلرزهها با استفاده از شتابنگاشتها، شبیهسازی جنبش نيرومند زمين مىباشد. بزركى زمين لرزه، طول و عرض كسل، راستا و شيب كسل، ابعاد المان، سرعت امواج برشی، سرعت گسیختگی و نقطه شروع گسیختگی، پارامترهایی هستند که برای شبیهسازی موردنیاز می باشند. در این پژوهش، دودسته پارامتر گسل مسبب زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ زرند استان کرمان با بزرگی Mw=۶/۵ که با استفاده از مشاهدات تداخلسنجی راداری در دور مدار بالاگذر ۲ و پایین گذر ۳ ماهواره بهدست آمده، بهعنوان ورودی برنامه شبیهسازی مورداستفاده قرار گرفت و نتایج شبیهسازی با شتابنگاشتهای ثبتشده توسط ۲۸ ایستگاه شتابنگاری سازمان تحقیقات ساختمان و مسکن به روش کاتورهای گسل محدود<sup>۴</sup> موردبررسی و مقایسه قرار گرفت. اساس روش کاتورهای بر این اصل استوار است که می توان مدل های ارائه شده برای طیف دامنه حرکات زمین را با توجه به تصادفی بودن حرکات با فرکانس بالا ترکیب نمود. مدل گسل محدود یک ابزار مهم برای پیشبینی حرکات زمین در نزدیکی مرکز زمینلرزههای مهم بهشمار میرود. در روش گسل محدود، شبیهسازی حرکات تعدادی زمینلرزه کوچک ناشی از ریزگسلها که تشکیلدهنده یک گسل میباشند، بهعنوان روشی برای پیشبینی حرکات در میدان نزدیک مطرح گردیده است. در این تحقیق پس از دستیابی به دودسته پارامتر (مدارهای بالاگذر و پایین گذر ماهواره) برای گسل مسبب زمینلرزه زرند استان کرمان، با استفاده از روش گسل محدود، شتابنگاشتهای مربوط به دودسته پارامتر شبیه سازی شدند و درنهایت با شتاب نگاشتهای ثبت شده در ایستگاههای سازمان تحقیقات ساختمان و مسکن مقایسه و بهترین دسته پارامتر برای گسل مسبب زمین لرزه زرند ارائه شدند. درنهایت اهداف این پژوهش بهصورت زیر قابل بیان است:

- بهدست آوردن دودسته پارامتر برای گسل مسبب زمین لرزه زرند ۱۳۸۳ استان کرمان با
   استفاده از مشاهدات تداخل سنجی راداری در دو مدار بالاگذر و پایین گذر؛
- استفاده از نتایج تداخل سنجی راداری بهعنوان دادههای ورودی برای مدلسازی مستقیم دادههای شتابنگاشت مصنوعی؛
- مقایسه نتایج مدلسازی شتابنگاشتهای ثبتشده در ایستگاههای شتابنگاری و مقایسه آن با دادههای مشاهدهای؛
- بررسی اثر دید ماهواره در شناسایی پارامترهای گسل مسبب زمین لرزه زرند استان کرمان.

<sup>1-</sup> Strong Ground Motion Simulation

<sup>2-</sup> Ascending

*<sup>3</sup>*- Descending

<sup>4</sup> Stochastic Finite Fault

۲- روش تحقيق

شهرستان زرند در استان کرمان، یکی از مناطق زلزلهخیز محسوب می شود که متأثر از دهها گسل مختلف است که از گسل کوهبنان آغاز و این گسلها به سمت کرمان و شهرستانهای جنوبی کشیده می شود.

در ساعت ۵۵:۵۵:۲۳، سهشنبه ۴ اسفند ۱۳۸۳ (۲۲ فوریه ۲۰۰۵، ساعت ۲۵:۵۵:۲۳) زمینلرزهای با بزرگی Mw=۶/۵ منطقه زرند کرمان را به لرزه درآورد. مرکز این زمینلرزه در مختصات ۳۰/۷۵۴ شمالی و ۵۶/۸۱۶ شرقی ثبت گردیده است. این زمینلرزه در ۲۸ ایستگاه شتابنگار به ثبت رسید. رومرکز زمینلرزه در شرق شهرستان زرند و در غرب روستای هجدک قرار دارد (شکل ۱).



**شکل ۱:** نقشه منطقه موردبررسی به همراه گسلهای اصلی در منطقه و محل مرکز زلزله

این منطقه دارای زلزلههای تاریخی فراوانی در ۱۰۰۰ سال گذشته بوده است (امبرسیز و ملویل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). براساس دادههای GPS در این منطقه صفحه عربستان بهسمت اوراسیا با نرخ ۲±۲۲ میلیمتر در سال در مسیر E<sup>3</sup>N13 همگراست (ورنانت<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به این جابجایی، تغییر شکل و لرزهخیزی در مرزهای بلوکهای ایران مرکزی و لوت متمرکز شده است (واکر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). تغییرات مشاهدهشده در مطالعات میدانی مربوط به این زمینلرزه، پیچیدگی فراوانی را در انتشار گسیختگی گسل نشان میدهد (جعفری و موسوی<sup>1</sup>،

<sup>1-</sup> Ambraseys & Melville

<sup>2-</sup> Vernant

<sup>3-</sup> Walker

<sup>4</sup> Jafari & Moosavi

محمدصادق پاکدامن و ممکاران \_\_\_\_\_ررسی اثر جهت دید مامراره در شناسایی بهینه پارامترمای گسل ... ۲۰۰۸). زارع<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) فعال شدن این گسل را مربوط به فعالیت دوباره گسل داهویه نسبت می دهد که درنهایت به گسل کوهبنان می رسد. طالبیان و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از امواج حجمی لرزهای، تداخل سنجی رادار و بررسی های میدانی منبع این زمین لرزه را مور دبررسی قرار دادند. طبق این تحقیقات این گسل، گسلی معکوس با امتداد شرقی غربی است که به سمت شمال شیبی به اندازه ۶۰ درجه دارد و در عمق ۱۰ کیلومتری قرار دارد.

براساس تحقیقات صورت گرفته توسط نیسن و همکاران (۲۰۱۴) عمق مرکز گسیختگی این گسل حدود ۲ کیلومتر از عمق بهدستآمده از تداخلسنجی رادار (طالبیان و همکاران، ۲۰۰۴) کمتر است. نیکنام<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷) پارامترهای منبع این زلزله اعم از جهت صفحه گسل، هندسه، نقطه گسیختگی، افت تنش و میانگین لغزش را با استفاده از تابع تجربی گرین (ایریکورا، ۱۹۸۶) به دست آوردند. در این پژوهش از دادههای جنبش نیرومند زمین (BHRC) استفاده شد. براساس تخمین پراکندگی عمق ریزلرزهها، با توجه به شبکههای لرزهای محلی، خخامت زون لرزه خیز در این منطقه حداکثر ۲۰ کیلومتر تخمین زده شد (نعمتی و قیطانچی<sup>۳</sup>، ۱۲۰۱۱). نعمتی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از توزیع پسلرزههای این منطقه، عمق ۱۶/۱ کیلومتر را برای گسل مسبب این زمینلرزه به دست آورند. روحاللهی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از معکوسسازی شکل موج جنبش نیرومند زمین در میدان نزدیک تاریخچه گسلش و توزیع لغزش را به دست آوردند.

زعفرانی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از روش کاتورهای گسل محدود (برسنو و آتکینسون<sup>۷</sup>، ۱۹۹۷)، جنبش نیرومند زمین را پس از این زلزله شبیهسازی کرد و پارامترهای گسل مسبب این زمینلرزه را به دست آوردند. ماهانی<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۷) سعی کردند که جنبش نیرومند زمین را شبیهسازی کنند و پسازآن پارامترهای مربوط به گسل را به دست آورند. آنها نتیجه گرفتند که شکست گسل از غرب به شرق و با شیب ۶۰ درجه به سمت شمال است و درواقع گسلی معکوس با مؤلفه امتدادلغز است.

- 1-Zare
- 2- Nicknam
- 3- Nemati & Gheitanchi
- 4 Nemati
- *5* Rouhollahi *6*- Zafarani
- 7- Beresnev & Atkinson
- 8- Mahan

۲-۱- حل مسئله معکوس با استفاده از مشاهدات تداخلسنجی راداری بهمنظور مدلسازی گسل مسبب زمینلرزه

۲–۱–۱– دادهها و مشاهدات تداخلسنجی راداری ناشی از رویداد ۱۳۸۳/۱۲/۴ زرند پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی مناسب تصاویر راداری و دقت قابلقبول، روش تداخلسنجی راداری را بهعنوان ابزار نیرومندی برای مطالعه پدیدههای مختلف ژئودینامیکی همچون زمین لرزه، فرونشست، زمین لغزش و غیره مطرح کرده است؛ اما به هر صورت این روش محدودیتهایی مانند حساسیت بالا به عدم همبستگی فاز تصاویر، بازیابی فازها<sup>۱</sup> و اندازه گیری در جهت خط دید ماهواره را دارد. از طرفی، به این دلیل که این روش قادر بهاندازه گیری حداکثر جابهجایی نسبی بین دونقطه متناظر، بهاندازه نصف طول موج حاصله برای یک فرینچ است، ممکن است بعضی فرینجها در مکانی که گرادیان جابهجایی بیش از نصف یک طول موج است، از دست برود (ماسونت و فیگل<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸). در این تحقیق از میدان جابجایی بهدستآمده از مشاهدات تداخل سنجی راداری در راستای خط دید ماهواره به صورت ۲ تصویر بالاگذر و دو ترمیهای تعاده میشود (جدول ۱). در این ۲ محدوده برداشت<sup>۳</sup> تصاویر مورداستفاده برای تعیین جابجایی آورده شده است.

J 0				• • •	
تاريخ	مدار تصویربرداری	طولموج	سنجنده	نام ماهواره	
تصويربردارى	ماهواره	رادارى			
1888/11/18	ASC	С	ASAR	ENVISAT	1
1888/12/28	ASC	С	ASAR	ENVISAT	۲
1888/11/18	DSC	С	ASAR	ENVISAT	٣
1886/01/06	DSC	С	ASAR	ENVISAT	۴

**جدول ۱**: مشخصات تصاویر مورداستفاده برای بهدستآوردن جابجایی بالاگذر و پایین گذر

- 1- Phase Unwrapping
- 2- Massonnet & Feigl
- 3- Footprint



شکل ۲: محدوده اثر تصاویر مورداستفاده مدارهای بالاگذر و پایین گذر در منطقه موردبررسی و محل مرکز زلزله

# ۳- مبانی نظری تداخلسنجی SAR

یک تصویر SAR ماتریسی متشکل از اعداد مختلط میباشد. مقادیر فاز ثبتشده در این تصاویر با فاصله سنجنده تا هدف، توپوگرافی سطح زمین، شرایط اتمسفری، پارامترهای مداری ماهواره، جابجایی سطح زمین، پوشش سطح زمین و نویز ناشی از سنجنده ارتباط تنگاتنگی دارد. مقدار فاز (¢) ثبتشده در یک پیکسل (P) تصویر راداری را میتوان به چهار مؤلفه جزئی تقسیم بندی نمود (فرتی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴):

- 1- Ferretti
- 2- Scatterers
- 3- Reflectivity Phase

\_\_\_\_ دورهٔ بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

0 : مقدار نویز فاز از دیگر منابع احتمالی میباشد. از مهم ترین عوامل ایجاد 
 ۷ نویز حرارتی 
 حاصل از سیستمهای سیگنال برداری راداری و متعاقباً نسبت سیگنال به نویز 
 میباشد. به طور کلی می توان گفت هرگاه اکوی باز گشتی هر پالس راداری از اهداف روی 
 سطح زمین ضعیف گردد، منجر به افزایش 
 ۰ می شود.

برنامهریزی و آمایش فضا \_

[۲]

حال فرض کنید از یک منطقه ثابت در دو زمان مختلف، دو تصویر SAR که از یک سنجنده با پارامترهای مداری مشخص برداشت شده است، در اختیار داریم. برای استخراج اطلاعات دقیق و کامل از هر عارضه (جابجایی یا ارتفاع) در منطقه مذکور، میبایست میزان اختلاففاز  $\Delta (P)$  را در هر دو تصویر به صورت پیکسل به پیکسل محاسبه کنیم که اختلاففاز اینترفرومتریک نامیده می شود (فرتی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴):

$$\Delta \phi(P) = \Delta \phi + \frac{4\pi}{\lambda} \Delta r + \Delta a + \Delta \upsilon$$

با محاسبه اختلاففاز در هر دو تصویر امکان تولید تداخلنما برای ما ایجاد می گردد. به عبارت دقیقتر یک تداخلنما یا تداخلنگار از ضرب مختلط مقادیر فاز تصویر اول (معروف به تصویر پایه Master) در تصویر دوم (معروف به تصویر پیرو Slave) محاسبه می گردد:  $I = Z_M Z_S^* = A_M A_S e^{j(\Phi_M - \Phi_S)}$ 

۳–۱– سناریوی مدلسازی فاز تداخلسنجی برای محاسبه جابجایی سطح زمین در سناریوی پیش رو که هدف محاسبه جابجایی سطح زمین میباشد، استفاده از تصاویر چندزمانه راداری که در گذرهای مختلف ماهواره بهدستآمده است، بسیار متداول میباشد. این نوع از تحلیل، تداخلسنجی با گذرهای تکرارشونده<sup>۴</sup> نامیده میشود.

<sup>1-</sup> Conventional Interferometry

<sup>2-</sup> SNR

<sup>3-</sup> Ferretti

<sup>4</sup> Repeat Pass Interferometry

<sup>5-</sup> Normal Spatial Baseline

[۴]

# $\Delta \varphi_{int} = \Delta \varphi_{def} + \Delta \varphi_{topo} + \Delta \varphi_{atm} + \Delta \varphi_{noise}$

در اینجا چون هدف بازیابی اختلاففاز جابجایی زمین ( $\Delta \varphi_{def}$ ) میباشد میبایست سایر عوامل را به نحوى اصلاح و يا حذف نمود تا در انتها صرفاً اختلاف فاز جابجايي زمين محاسبه گردد. بدینمنظور برای اصلاح فاز توپوگرافی ( $\Delta \phi_{topo}$ ) سطح زمین از یک مدل ارتفاعی  $(\Delta \Phi_{atm})$  رقومی دقیق استفاده می گردد. در مورد اختلافاز در اثر شرایط اتمسفری ( می بایست این نکته را مدنظر قرارداد که در صورت امکان باید از محصولات بخارآب سایر سنجندهها که حتی الامکان در زمان تصویربرداری SAR در دو تصویر پایه و پیرو وجود دارند، استفاده کرد و اقدام به محاسبه فاز اتمسفری<sup>۱</sup> نمود (فرتی، ۲۰۱۴). اما در عمل دستیابی به محصولات بخار آب همزمان با تصاویر SAR بسیار مشکل میباشد. برای حل این مشکل میبایست با درنظرگرفتن طول موج راداری مورداستفاده، تصاویر پایه و پیرو را در زمان هایی سفارش داد که از وضعیت فصلی مشابه و شرایط اتمسفری (ابری و بارانی بودن) مناسبی برخوردار باشند. در تحقیق پیش رو به دلیل خشک و کویری بودن منطقه، پایین بودن پوشش گیاهی و رطوبت خاک و همچنین انتخاب تصاویر فاقد ابر، بهطورکلی میتوان انتظار همدوسی بالا بین فازها را داشت و ز اختلاففاز ایجادشده در اثر اتمسفر چشمپوشی کرد. اختلاففاز در اثر سایر نویزهای باقیمانده معمولاً با اطلاعات مداری جانبی و یا فیلترگذاریهای محدود و مشخص قابل اصلاح مىباشند. پس از حذف اختلاف فازهاى مذكور مى توان اختلاف فاز باقيمانده را به جابجایی سطح زمین در اینترفروگرام نسبت داد



**شکل ۳**: تداخلنما از فاز اینترفرومتریک، اگر خط مبنای مکانی صفر باشد (B=0) و سطح زمین دچار تغییر شکل شده باشد، تداخلنما مقادیر فاز غیر صفر را در ناحیه دچار تغییر شکل با سیکلی از تغییر رنگها<sup>۲</sup> نشان میدهد.

<sup>1-</sup> Atmospheric Phase Screen

<sup>2-</sup> Fringe

هر سیکل تغییرات رنگی در اینترفروگرام معادل جابجایی در سطح زمین به میزان نصف طولموج (λ/2) در راستای دید سنجنده<sup>۱</sup> میباشد (ماسونت و فیگل، ۱۹۹۸). محدودهای که دچار تغییر شکل شده ازلحاظ مکانی با یک الگوی مشخصی از فرینجها که شبیه خطوط منحنی میزان میباشند، مشخص میشود (ماسونت و فیگل،۱۹۹۸).

فازهای محاسبه شده در اینترفرو گرام برای هر پیسکل فازهایی Wrapped هستند که مقادیر آن بین  $\pi - e$  محصور شده اند. اما همان طور که می دانیم بالطبع پیسکل هایی هستند که میزان اختلاف فاز جابجایی در آن ها بیش از  $\pi 2$  می باشد. بنابراین ما نیاز داریم تعداد کو میزان اختلاف فاز جابجایی در آن ها بیش از  $\pi 2$  می باشد. بنابراین ما نیاز داریم تعداد که میزان ما نیاز داریم تعداد میزان اختلاف فاز جابجایی در آن ها بیش از  $\pi 2$  می باشد. بنابراین ما می دانیم تعداد که میزان اختلاف فاز جابجایی در آن ها بیش از  $\pi 2$  می باشد و ان ما نیاز داریم تعداد این عملیات محصور را شمرده و آن ها را از حالت Wrapped به می فازهای محصور (شکل ۴). کنیم که در ادامه این عملیات منجر به تغییر بازه فازها از  $\pi - e$  ج به  $\pi$  می شود (شکل ۴).

پس از عملیات واکاوی فازها در هر تداخلنگار، حال میتوان فازهای موجود را به میزان جابجایی سطح زمین در جهت دید سنجنده تبدیل نمود:

$$D = \frac{\phi_{uw} * \lambda}{-4\pi}$$

D فاز واکاوی شده و h طول موج سنجنده راداری میباشد. مقادیر منفی حاصله برای b  $\phi_{uw}$  در معادله h نشان دهنده دور شدن سطح زمین از سنجنده و مقادیر مثبت به معنای نزدیک شدن به ماهواره میباشد.



<sup>1-</sup> Line of Sight

[۵]

استروی از میکاران میکاران \_\_\_\_\_ررس از جهت دید مامراره در شناسایی بهینه پارامترمای کسل ... ۲-۳- مدلسازی ویژگی های زمین ساخت زمین لرزه زرند بر مبنای مشاهدات راداری از آنجاکه تغییر شکل هم لرز زمین لرزه، تغییر شکلی الاستیک به شمار می آید، در این مدلسازی سطح زمین مسطح و متناظر با صفحه محدود شده نیم فضای الاستیک است. این مدل، جابه جایی سطحی ناشی از یک نابر جایی که توسط بردار لغزش روی سطح گسلی مستطیلی، مشخص می شود را محاسبه می کند. این گسل مستطیلی نیز توسط پارامترهای طول و عرض و ژرفای گسل، شیب و آزیموت آن و مختصات مرکز گسل مشخص می شود. در این مدلسازی الگوریتم مار کوارت استفاده شده است (مارکوارت / ۱۹۶۳). جدول ۲ مشخصات تداخل نگارهای شکل ۵ تداخل نگار بالاگذر و پایین گذر و تداخل نگارهای حاصل از مدل سازی و بردار باقی مانده آنها را نشان می دهد که بیانگر و تداخل نگارهای حاصل از مدل سازی و بردار باقی مانده آنها را نشان می دهد که بیانگر برازش مناسب میدان جابه جایی به دست آمده از الگوریتم مار کوارت با مشاهدات تداخل سنجی زاداری است.

میانگین همدوسی فازها	فاصله زمانی (روز)	خط مبنای مکانی (متر)	تاريخ تصوير پيرو	تاريخ تصوير پايه	مدار	
• / ۶ \	۳۵	۳۱۳	1774/17/22	١٣٨٣/١١/١٨	بالاگذر	١
• /84	۳۵	YY	1784/•1/•4	1774/11/14	پايين گذر	٢
Ar	C					

جدول ۲: مشخصات تداخل نگارهای تولیدی

1- Marquardt

www.SID.ir

برنامهریزی و آمایش فضا \_\_\_\_\_ دوره، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷



پس از محاسبه جابجایی سطح از مشاهدات راداری ماهوارهای در دو مدار مختلف و مدلسازی معکوس مارکورات، پارامترهای گسل مسبب زمینلرزه زرند استان کرمان مطابق جدول ۳ گزارش شدند. همانگونه که مشخص است تفاوت عمده پارامترهای استخراجشده

www.SID.ir

+π

الم برای گسل محمدصادق پاکدامن و ممکاران \_\_\_\_\_پررسی اثر جهت دید مامواره در شناسایی بهینه پارامترهای گسل ... برای گسل مسبب در دو مدار مختلف مربوط به زاویه ریک<sup>۱</sup> گسلها میباشد. ازاینرو برای بررسی صحت پارامترهای بهدستآمده از مدار ماهواره نیاز به مقایسه نتایج با مقادیر ثبتشده در ایستگاههای شتابنگاشت بوده که در بخش بعدی به تفضیل بحث خواهد شد.

بهطورکلی در روش تداخلسنجی راداری جهت اندازه گیری جابجایی سطح زمین، هرگاه راستای جابجایی سطح زمین عمود بر جهت پرواز (موازی با جهت دید) ماهواره باشد، این روش توانایی ناچیزی در ثبت جابجاییهای سطح زمین دارد. درحالی که راستای جابجایی موازی با جهت پرواز (عمود بر جهت دید) ماهواره، ایدهآل ترین حالت ممکن برای اندازه گیری جابجاییهای سطحی می باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل-۵، زاویه راستای جابجایی بهدست آمده (خط شکست گسل) در شکل e (مربوط به مدار پایین گذر) نسبت به جهت پرواز، مقدار بسیار کمتری نسبت به زاویه راستای جابجایی به دست آمده (خط شکست گسل) در شکل b (مربوط به مدار بالاگذر) نسبت به جهت پرواز در همان مدار دارد. با توجه به استدلال بیان شده می توان انتظار نتایج حاصل از داده های مدار پایین گذر نتایج دقیق تری ارائه دهد.

جدول ۳: پارامترهای گسل مسبب زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ زرند با استفاده از جابجایی های بالاگذر و پایین گذر

پارامتر	عرض (km)	طول (km)	عمق (km)	۔ امتداد (درجه)	شيب (درجه)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ریک (درجه)	لغزش (متر)
بالاگذر	۶/۵	14	۵	208	٨۶	414.46/2	86.5688	184	$\gamma/\gamma$
پايينگذر	۶/۵	10	۵	۲۷۹	٩٠	£XTTTT/F	84.5488	۵۵	۲/۹

۳–۳– مدلسازی جنبش نیرومند زمین به روش کاتورهای گسل محدود همانگونه که ذکر گردید، برای تعیین قطعیت پارامترهای گسل مسبب زمین لرزه زرند که به روش تداخل سنجی و مدل سازی آن به دست آمد و تعیین بهترین دسته پارامتر به شبیه سازی جنبش نیرومند زمین و مقایسه آن با ایستگاههایی که این زلزله را ثبت کرده اند می پردازیم. این زلزله توسط ۲۸ ایستگاه شتاب نگاری سازمان تحقیقات ساختمان و مسکن ثبت شد و برای پردازش و مقایسه نتایج شبیه سازی مورداستفاده قرار گرفت (شکل ۶).

برنامهریزی و آمایش فضا

\_ دورهٔ بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷



**شکل ۶**: ایستگاههای شبکه شتابنگاری که زلزله زرند ۱۳۸۳ را ثبت کردهاند به همراه موقعیت و مرکز زلزله

جنبشهای فرکانس بالای زمین به صورت کاتورهای رفتار می کنند. روشهای کاتورهای به صورت گسترده ای در پیش بینی جنبشهای زمین استفاده شده اند. روشهای کاتوره ای بر دو نوع اند: یک نوع از چشمه لرزه ای نقطه ای و نوع دیگر از چشمه لرزه ای گسل محدود استفاده می کند. نوع چشمه نقطه ای از مدل چشمه <sup>w2</sup> با یک فرکانس گوشه (fc) و یک افت تنش ثابت ۵۵ استفاده می کند.

مدل گسل محدود ابزاری مهم برای پیشبینی حرکات زمین در نزدیکی مرکز زمین لرزههای مهم به شمار می رود. برای شبیه سازی با استفاده از گسل محدود از روش تأخیر زمانی و جمع شتاب نگاشتهای مربوط به یک شبکه دوبعدی از المانها استفاده می شود. در این مدل که بعدا توسط ایریکورا<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) مورداستفاده عملی قرار گرفت، برای توصیف فرآیند لغزش گسل از مدل چشمه سینماتیکی استفاده می شود. مدل چشمه سینماتیکی شامل هندسه شکست گسل (مساحت شکست خورده، راستای گسل و شیب گسل)، نقطه شروع شکست و سرعت شکست می باشد. در این روش یک صفحه مستطیلی برای گسل در نظر گرفته می شود و صفحه گسل

1- Irikura

محمدصادق پاکدامن و ممکاران \_\_\_\_\_پررسی اثر جهت دید مامواره در شناسایی بهینه پارامترمای گسل ... المان ها شروع شده و به صورت شعاعی انتشار می یابد. سرعت انتشار شکست معمولاً ۸۰ درصد سرعت موجبرشی در نظر گرفته می شود. وقتی که شکستگی به مرکز هر خرد گسل می رسد، به صورت چشمه ای کوچک مستقل لرزه ای عمل کرده و شروع به تشعشع انرژی لرزه ای می کند. تاریخچه زمانی شتاب با درنظر گرفتن روابط زمانی تجربی وابسته به فاصله، میرایی هندسی و مدل های میرایی Q به نقطه مشاهده انتشار می یابد.

بزرگی، طول و عرض گسل، راستا و شیب گسل، ابعاد المان، سرعت امواج برشی، سرعت گسیختگی و نقطه شروع گسیختگی، پارامترهای موردنیاز برای شبیهسازیاند. نگاشت ثبتشده، حاصل از همآمیخت تابع چشمه، تابع انتشار و اثر ساختگاه است که در حوزه بسامد بهصورت معادله ۶ نمایش داده می شود:

$$A_{S}(f,r) = S(f).D_{geo}(r).D_{An}(f,r).P(f).Z(f)$$
[9]

که  $D_{seo}(r)$  تابع چشمه،  $D_{geo}(r)$  ضریب کاهیدگی هندسی،  $D_{An}(f,r)$  ضریب کاهیدگی مسیر،  $D_{geo}(r)$  تابع چشمه،  $D_{geo}(r)$  اثر ساختگاه است. معتضدیان و آتکینسون<sup>1</sup> (۲۰۰۵) روشی P(f) ضریب پوسته بالایی و Z(f) اثر ساختگاه است. معتضدیان و آتکینسون در این روش از مدل سازی نگاشتهای نزدیک گسل به صورت برنامه Tail M عرضه کردند. در این روش از مدل سازی کاتورهای گسل محدود براساس بسامد گوشه دینامیکی استفاده شده است. در این روش از مدل سازی کاتورهای گسل محدود براساس بسامد گوشه دینامیکی استفاده شده است. در این روش از مدل سازی کاتورهای گسل محدود براساس بسامد گوشه دینامیکی استفاده شده است. نوش از مدل سازی کاتورهای گسل محدود براساس بسامد گوشه دینامیکی استفاده شده است. در این روش جنبشهای نیرومند زمین در هر ریزگسل با استفاده از روش کاتورهای چشمه نقطهای محاسبه و سپس در نقطه موردنظر (در این تحقیق محل ایستگاههای شتابنگاری) با یک تأخیر زمانی مناسب، برای به دست آوردن جنبش زمین در کل گسل، جمع می شوند:

$$a(t) = \sum_{j=1}^{nw} \sum_{i=1}^{nl} a_{ij}(t + \Delta t_{ij})$$
[V]

که nw و nl تعداد ریزگسلها در امتداد طول و پهنای گسل اصلی است و  $\Delta t_{ij}$  تأخیر inb و nw و aij(t) تأخیر زمانی مربوط به امواج منتشرشده از ing امین ریزگسل به نقطه موردنظر است. مقدار محاسبه شده به روش کاتورهای نقطهای است.

### ۳-۴- پارامترهای موردنیاز برای شبیهسازی

در این پژوهش، با توجه به نبود مدل پوسته مناسب برای زرند از مدل بم استفاده شد و سرعت موج برشی در ناحیه زرند را میتوان به طور میانگین حدود ۳/۲ کیلومتر بر ثانیه در نظر گرفت. نگاشتهای جنبش نیرومند زمین اغلب دارای مشکل انحراف از خط مبنا (خط صفر) هستند.

<sup>1-</sup> Motazedian & Atkinson

<sup>2-</sup> EXtended fault SIMulation

در این تحقیق، شتابنگاشتهای زمینلرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ زرند با استفاده از نرمافزار seismosignal تصحیح خط مبنا شدهاند. بیشتر نگاشتها با برازش چندجملهای درجهیک، بهتر تصحیح میشوند. البته چون همزمان فیلتر باتروورث ۱/۰ تا ۲۵ هرتز نیز اعمال میشود، در بیشتر موارد حذف بسامدهای کم، کار تصحیح خط مبنا را عملی می کند. پارامتر أفت طیفی و رابطه وابستگی بسامدی ضریب کیفیت امواج برشی ازجمله پارامترهای ورودی بهمنظور شبیه سازی جنبش نیرومند زمین به روش کاتوره ای گسل محدود هستند. این پارامترها با توجه به نزدیکی منطقه زرند به منطقه ریگان از کار صفرشاهی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) استخراج شد. پارامترهای موردنیاز دیگر برای شبیه ازی جنبش نیرومند زمین و تهیه شتابنگاشتها، از نتایج مدل سازی تداخل سنجی SAR (جدول ۳) به دست آمد. ایستگاه زرند با توجه به نزدیک بودن به کانون زلزله بیشترین مقادیر را ثبت نموده، از طرفی به دلیل نزدیکتر بودن این ایستگاه میتوان انتظار داشت که مقادیر دقیقتری را نسبت به سایر ایستگاهها ثبت نماید. نتایج شتابنگاشت مشاهده ای در ایستگاه زرند به همراه نتایج شتابنگاشت ها، از ایستگاه میتوان انتظار داشت که مقادیر دقیقتری را نسبت به سایر ایستگاهها ثبت نماید. نیا شتابنگاشت مشاهده ای در ایستگاه زرند به همراه نتایج شتابنگاشت شبیه ازی شده در شکل و مدل سازی با مقادیر ثبت شده دقت بالای مقادیر شبیه سازی شده دار مشاهر ای ۲۰ کار و مدل سازی با مقادیر ثبت شده واقعی در ایستگاه زرند میباشد.

۴- تفسیر و بررسی نتایج

پس از تهیه شتابنگاشتهای مصنوعی و شبیهسازی شتابنگاشت در ۲۸ مکان ایستگاه شبکه شتابنگاری به بررسی شباهت بیشینه شتاب ثبتشده در هر ایستگاه با مقدار مشاهدهشده در زمان وقوع زلزله میپردازیم (بولتون<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۷۶). این مقادیر به همراه درصد اختلاف از مقادیر مشاهدهای واقعی در جدول ۴ آورده شده است.

<sup>1-</sup> Safarshahi

<sup>2-</sup> Bolton



یمدصادق پاکدامن و همکاران \_\_\_\_\_یرامترهای اثر جهت دید ماهواره در شناسایی بهینه پارامترهای گسل ...



براساس نتایج بهدست آمده در جدول ۴، بیشترین مقدار شتاب مشاهدهای ثبت شده برای نزدیک ترین ایستگاه یعنی زرند به میزان (۲۰۶ش ۳۰۹ و کمترین آن برای ایستگاه دربهشت به میزان (۳/۳) ۳ میباشد. بدون درنظر گرفتن شرایط الاستیکی زمین می توان گفت که با دور شدن از مرکز زمین لرزه، میزان شتاب ثبت شده در هر ایستگاه کاهش می یابد؛ اما در واقعیت بعضاً مشاهده می گردد که لزوماً فاصله کمتر متضمن ثبت مقادیر بالاتر شتاب نیست. بعنوان مثال در ایستگاههای حرجند و دشت خاک با درنظر گرفتن فاصله کمتر نسبت به مرکز زمین لرزه، در مقایسه با ایستگاه راور انتظار می رود که مقادیر شتاب بالاتری ثبت شود اما مشاهده می گردد که اثر عوامل زمین ساخت باعث شده تا ایستگاه راور علی رغم فاصله بیشتر مقادیر بالاتری را ثبت نماید.

بیشترین مقادیر شتاب مدلسازی شده در هر دو مدار بالاگذر و پایین گذر به ترتیب به میزان (۴۹۶ (m/s<sup>2</sup>) و (۳/s<sup>2</sup>) ۳۰۴ نیز متعلق به ایستگاه زرند و کمترین آن به میزان (m/s<sup>2</sup>) برای هر دو مدار برای ایستگاه مهریز می باشد. برای بررسی دقت مقادیر شتاب نگاشتهای مدل سازی شده و مقادیر مشاهده ای در هر ایستگاه، می بایست مقادیر بیشینه شتاب در هر اکوی دریافتی ایستگاه و مدل سازی شده با هم مقایسه گردد (بولتون و همکاران، ۱۹۷۶). از این رو هرچقدر مقادیر بیشینه با یکدیگر اختلاف کمتری داشته باشند نشان دهنده دقت بالاتر سیگنال های شتاب نگاشت شبیه سازی شده با توجه به مقادیر مشاهده ای می باشد. این مقایسه در تمامی ایستگاه ا برای تمامی مقادیر مدل سازی شده داده های بالاگذر و پایین گذر ماهواره

برنامهریزی و آمایش فضا \_

\_ دورهٔ بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

جهت تدقيق مقايسه يک ضريب وزني که براساس فاصله هر ايستگاه به مرکز زلزله مي باشد، نیز اعمال گردید. در مدار بالاگذر ماهواره، بیشترین دقت سیگنالهای شتاب شبیهسازی شده با مقادیر ثبتشده در ایستگاههای بیاض، انار، بهاباد و دربهشت به دست آمد؛ اما در مدار پایین-گذر ماهواره، بیشترین دقت سیگنالهای شتاب شبیهسازیشده با مقادیر ثبتشده در ايستگاههاي بهاباد، دربهشت، پاريز و بافق ميباشد. جهت بررسي دقت كلي مقادير مدلسازی شده براساس تحلیل های تداخل سنجی راداری مدار بالاگذر و پایین گذر اقدام به میانگین گیری از محاسبات گردید که مقادیر سیگنالهای شتاب شبیهسازی شده با استفاده از دادههای ماهوارهای پایین گذر با دقت اختلاف ٪۵/۳۶ دارای دقت بالاتری نسبت به مقادیر سیگنالهای شتاب شبیهسازی شده با استفاده از دادههای ماهوارهای بالاگذر با دقت اختلاف ./۷/۵۱ می باشد. این تفاوت در دقت محاسبات مدل سازی را می توان به وضعیت توپوگرافی منطقه، زاویه دید سنجنده و درنتیجه مقادیر مشاهدهای متفاوت در راستای LOS در هر مدار مرتبط دانست. همچنین با توجه به فاصله زمانی یکسان (۳۵ روز) بین هر دو تصویر پایه و پیرو در هر دو مدار بالاگذر و پایین گذر، می توان گفت دلیل اصلی بهبود مقادیر همدوسی فازها در مدار پایین گذر و درنتیجه بهبود دقت اختلاف بهدست آمده از تحلیلها، کم بودن میزان فاصله خط مبنای مکانی بین دادههای مدار پایین گذر (۷۷ متر) نسبت به مدار بالاگذر (۳۱۳ متر) میباشد (جدول-۲).

بهدستامده از مدلسازی	دودسته پارامتر	، و شبیهسازیشده برای	شتاب مشاهدهای	<b>جدول ۴:</b> مقادير بيشينه
	بين گذر)	نج راداری (بالاگذر و پای	تداخلس	

درصد اختلاف مقادیر مشاهدهای و محاسبهای در مدار پایین گذر	بیشینه شتاب مدلسازیشده در مدار پایینگذر ( <sup>2</sup> 2m)	درصد اختلاف مقادیر مشاهدهای و محاسبهای در مدار بالاگذر	بیشینه شتاب مدلسازیشده در مدار بالاکذر ( <sup>2</sup> s/m)	بیشینه شتاب مشاهدهای ( <sup>2</sup> s/m)	وزندهي براساس فاصله از مركز	نام ایستگاه	رديف
7.7	۳۰۴	7.81	498	۳۰۹	١	زرند	١
۴./	۱۰۰	<u>٪</u> ۱۰	١٠٨	٩۵	• / Y • A	چترود	٢
717	۵۸	7.18	47	٧۴	۰/۳۷۱	راور	٣
·/.۶	٧٢	۲.۲	۶۰	54	•/۴٧۶	حرجند	۴
۳۶.	١	<u>%</u> 1Y	٧٩	۶.	• /۵۳۳	دشت خاک	۵

محمل	ø

گسل	بهينه پارامترهای	ماهواره در شناسایی	بررسی اثر جهت دید	.صادق پاکدامن و همکاران
-----	------------------	--------------------	-------------------	-------------------------

7.1	40	7.11	۶۳	48	• / ٣ • ۶	داوران	۶			
7.17	48	·/.۲	۳۵	٣٣	•/797	کرمان ۱	۷			
۳./	٣۴	۲ <u>/</u> ۲	۲۹	۳۱	۰/۳۱۸	هينمان	٨			
7.1	۲۵	7.1	۲۵	75	•/۲۹١	کرمان ۲	٩			
·/.۶	۲۸	·/.۶	۲۸	۲۳	•/771	باغين	١٠			
7.1	۲۲	`/ <b>.</b> 9	۲۸	۲۳	• /788	طرز	11			
۳./	۱۸	'/ <b>.</b> λ	۲۹	۲۱	•/71٣	رفسنجان	17			
·/.۶	18	۲.۳	14	١٢	•/١٨۵	بردسير	۱۳			
·/.٢	١٣	۲ <u>/</u> ۲	11	١٢	•/114	سيرچ	14			
777./	۲۲	<u>/</u> Y•	۲۱	11	•/77٣	كوهبنان	۱۵			
Y./	۴	`/ <u>.</u> 9	۵	11	•/١•۶	شهربابک	18			
·/.۶	۶	<u>'/</u> .•	١٠	١.	•/140	بياض	١٧			
·/. •	٨	· <u>/.</u> •	٨	٨	•/١٣٠	انار	١٨			
·/.۴	۴	<u>٪۴</u>	۴	۷	•/•٩٩	بهادران	۱۹			
·/.•	۷	/.	Y	۷	•/184	بهاباد	۲۰			
·/. •	۶	7.7	۷	۶	•/١٣•	پاريز	۲۱			
·/.•	۵	7.7	۶	۵	•/\)Y	بافق	77			
·/.٢	۴	·/.Y	۶	۵	•/١١٨	ملااسماعيل	۲۳			
۴./	٣	`/ <u>.</u> 9	٢	۵	•/•97	نايبند	74			
·/.۶	١	·/.۶	١	۴	•/• ٧٨	مهريز	۲۵			
/.٣	٣	`/ <u>.</u> 9	۶	۴	•/17٣	چشمه سبز	79			
۲.۳	۵	<u>٪</u> ۹	۷	۴	•/\\\	سعادتآباد	۲۷			
·/.•	٣	' <u>/.</u> •	٣	٣	•/١•٣	دربهشت	۲۸			
7.0/89		7.7/21	.ده برای	مدلسازىش	ف شتاب	گین درصد اختلا	ميان			
			مدارهای بالاگذر و پایین گذر							

\_ دورهٔ بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

برنامهریزی و آمایش فضا \_\_\_\_\_

پس از تعیین پارامترهای دقیق گسل با استفاده از دادههای مدار پایینگذر، سایر پارامترهای گسل مسبب زلزله مذکور که در سایر تحقیقات محاسبه شده است نیز موردبررسی قرار گرفت (جدول ۵).

لغزش (m)	طول جغرافيايي	عرض جغر افيا يي	عمق (km)	بزرگا	امتداد ( <sup>0</sup> )	شيب (°)	ريک (°)	عرض (km)	طول ( <b>km</b> )	منبع
_	۵۶/۷۳	۳۰/۸۰	١.	۶/۴	_	-	_	-	_	مرکز تحقیقات را، مسکن و شهرسازی <sup>۱</sup>
-	۵۶/۹	۳۰/۷۹	-	۶/۴	-	-	-	-	C	موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران <sup>۲</sup>
-	۵۶/۸۰	۳۰/۷۵	١٢	-	۲۷۹	49	174	-	_	سازمان نقشهبرداریهای زمینشناسی آمریکا <sup>۳</sup>
_	۵۶/۷۴	۳۰/۷۶	_	۶/۴	_	-	-		-	پژوهشکده بینالمللی زلزله- شناسی و مهندسی زلزله <sup>۴</sup>
-	56/73	۳۰/۷۷	۷	۶/۴	۲۷۰	۶.	1.4	-	-	طالبیان و همکاران (۲۰۰۶)
• /٨	59/V9	۳۰/۷۶	١.	۶/۴	۲۷۰	۶.	1.4	11	۱۵/۴	نیکنام و همکاران (۲۰۰۷)
-	۵۶/۹	۳۰/۷۶	١٢	۶/۴	1771	۵١	٩٧	-	-	کاتالوگ CMT <sup>۵</sup>
-	۵۶/۷۹	۳۰/۷۱	-	1	1	-	-	I	-	مرکز لرزهنگاری بینالمللی <sup>°</sup>
۲/۴	-	-	17-8	۶/۴	78.	۶.	1.4	14	۱۸	روحاللهی و همکاران (۲۰۱۲)
_	۵۶/۷۳	۳۰/۸۰	q	F	۲۷۰	٧۶	٩٠	۱.	14	زعفرانی و همکاران (۲۰۰۷)
۲/۹	۵۶/۸۳	۳۰/۷۹	٨	-	۲۷۹	٩٠	۵۵	۶/۵	۱۵	مقاله حاضر: مدار پایین گذر

جدول ۵: پارامترهای گسل مسبب زلزله زرند، ارائه شده توسط سایر منابع

براساس پارامترهای ارائهشده میتوان گفت که عمق مرکز زلزله که در این پژوهش ۸ کیلومتر ارائهشده با عمق ۷ کیلومتر توسط طالبیان و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی دارد اما عمق ۱۲ کیلومتری ارائهشده توسط CMT و USGS با پارامترهای بهدستآمده از محاسبات InSAR و مدلسازی معکوس تفاوت دارد. طول گسل مسبب که در این پژوهش ۱۵ کیلومتر محاسبه گردیده با طولهای ارائهشده توسط نیکنام و همکاران (۲۰۰۷)، روحاللهی و همکاران

- 1- BHRC
- 2- IGTU
- 3- USGS
- 4 IIEES
- 5- Centroid-Moment-Tensor
- 6- ISC

محمدصادق پاکدامن و ممکاران \_\_\_\_\_پررسی اثر جهت دید مامراره در شناسایی بهینه پارامترمای کسل ... (۲۰۱۲) و همچنین زعفرانی و همکاران (۲۰۰۷) همگی در یک محدوده قرار دارند. البته در محاسبات تداخل سنجی راداری و مدلسازی معکوس صورت گرفته توسط طالبیان و همکاران (۲۰۰۶) طول گسل محاسبه نگردیده است. عرض گسل محاسبه شده در این پژوهش با عدد ۶/۵ کیلومتر علی رغم تفاوت با اعداد ارائه شده توسط سایر مطالعات مشابه، به دلیل بررسی صحت و همبستگی قطعی با داده های شتاب نگاشت از دقت بالایی نسبت به سایر محاسبات مشابه برخوردار بوده است.

## ۵- نتیجه گیری

شناسایی پارامترهای مسبب هر زمینلرزه بخشی از فرآیند درک صحیح از فعالیتهای تکتونیکی در مناطق لرزهخیز میباشد. ایران با قرارگیری بر روی کمربند زلزله همواره در معرض این پدیده طبیعی بوده و هست. ازاینرو استفاده از روشهای نوین و دقیق جهت شناسایی پارامترهای گسل مسبب هر زلزله همواره مورد تأکید متخصصان بوده است. روشهای اندازه گیری ماهوارهای با هزینه پایین و دقت قابل قبول به همراه اندازه گیریهای زمینی، دقت محاسبات در تخمین مشخصههای هر گسل مسبب زلزله را به مقدار قابل توجهی افزایش داده است. روش تداخلسنجی راداری و استفاده از روشهای مدلسازی معکوس از سریعترین متدهای مطالعات تکتونوفیزیکی میباشد که دقت قابل قبولی را به کاربر ارائه میدهد. مقایسه نتایج بهدستآمده از این روشها با دادههای شتابنگاشت ثبتشده در ایستگاه زمینی، بیشازپیش به بالا رفتن دقت تحلیل کمک میکند. در این پژوهش با درنظر گرفتن هندسه تصویربرداری تصاویر راداری در دو مدار بالاگذر و پایین گذر، اثر جهت تصویربرداری در شناسایی پارامترهای مسبب زلزله زرند موردبررسی قرار گرفت و نتایج با دادههای شتابنگاشت ثبتشده در ایستگاههای زمینی مقایسه گردید. با توجه به فاصله خط مبنای مکانی جفت تصویر مدار پایین گذر (۷۷ متر) نسبت به مدار بالاگذر (۳۱۳ متر) و درنتیجه میانگین همدوسی بالاتر نتایج تحلیل دادههای پایین گذر نسبت به بالاگذر و همچنین راستای جابجایی (خط شکست گسل) بهدستآمده، پارامترهای گسل بهدستآمده از دادههای پایین گذر دارای دقت بالاتری نسبت به دادههای بالاگذر بودند.

\_ دورهٔ بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

برنامهریزی و آمایش فضا \_\_\_\_\_

#### تقدیر و تشکر

پژوهش پیش رو حاصل تحقیق و مطالعات علمی نگارندگان مقاله می باشد. نویسندگان مقاله سپاس فراوان خود را از سازمان فضایی اروپا به جهت در اختیار قراردادن دادههای ماهوارهای موردنیاز اعلام می دارند. همچنین از سازمان تحقیقات ساختمان و مسکن به دلیل در اختیار قراردادن دادههای شتابنگاشت ثبتشده زلزله ۱۳۸۳ زرند استان کرمان بسیار سپاس گذاریم.

منابع

شریفی کیا، محمد (۱۳۹۶) «تحلیل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ناشی از احداث سد طالقان بر پایه تفاضل سنجی زمانی دادههای سنجش ازدوری»، مجله برنامهریزی و آمایش فضا، دوره ۲۱، شماره ۲، صص ۱۳۹–۱۱۹. شریفی کیا، محمد (۱۳۹۱)، «تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (DInSAR) در دشت نوق -بهرمان»، مجله برنامهریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۷۷–۵۵.

- Ambraseys, N. N., & Melville, C. P. (2005). A History of Persian Earthquakes, Cambridge University Press. doi.org/10.1002/eqe.4290110412
- Beresnev, I. A., & Atkinson, G. M. (1997). "Modeling finite-fault radiation from the on spectrum", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87.
- BHRC. *Building and House Research Center accelerometer network*. Retrieved from www.bhrc.gov.ir
- Bolton Seed, H., Murarka, R., Lysmer, J., & Idriss, I. M. (1976). "Relationships of maximum acceleration, maximum velocity, distance from source, and local site conditions for moderately strong earthquakes", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66(4), 1323-1342.
- CMT. Harvard Un. catalogue, Department of Geological Sciences, *Centroid Moment Tensor catalogue*. Retrieved from http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.
- Feigl, K. (2002). "Estimating Earthquake Source Parameters from Geodetic Measurements". In H. K. P. C. J. William H.K. Lee & K. Carl (Eds.), *International Geophysics* (Vol. Volume 81, Part A, pp. 607-cp601): Academic Press.
- Ferretti, A. (2014). Satellite InSAR Data: Reservoir Monitoring from Space, EAGE Publications. DOI: 10.1109/MGRS.2015.2398392
- IGTU. Institute of Geophysics, the University of Tehran. Retrieved from http://irsc.ut.ac.ir.
- IIEES. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. Retrieved from http://www.iiees.ac.ir.
- Irikura, K. (1986). "Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function", Paper presented at the *7th Japan Earthquake Engineering Symposium*, Tokyo.
- Irikura, K. (1992). "The construction of large earthquake by a superposition of small events. Paper presented at the Proc", *10th World Conf. Earthq. Eng.*

*بمدصادق پاکدامن و همکاران* \_\_\_\_\_*بررسی اثر جهت دید ماهواره در شناسایی بهینه پارامترهای گسل* ...



ISC. International Seismological Center, Engdahl Catalougue. Retrieved from http://:www.isc.ac.uk.

- Jafari, M. K., & Moosavi, S. M. (2008). "Lessons to be Learned from Surface F ault Ruptures in I ran Earthquakes". Paper presented at the *Sixth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*.
- Mahani, A. B., & Kazemian, J. (2007). "Strong Ground Motion Parameters Of February 22, 2005 Dahuiyeh (Zarand) Earthquake In Central Iran", *international earthquake symposium kocaeli 2007*.
- Marquardt, D. (1963). "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters", Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11(2), 431-441. doi:10.1137/0111030
- Massonnet, D., & Feigl, K. L. (1998). "Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface", *Reviews of Geophysics*, 36(4), 441-500. G03139. doi.org/10.1029/97RG03139
- Motazedian, D., & Atkinson, G. M. (2005). "Stochastic Finite-Fault Modeling Based on a Dynamic Corner Frequency", Bulletin of the Seismological Society of America, 95(3), 995-1010. DOI: 10.4236/ojer.2016.52009
- Nemati, M. (2015). "Insights into the Aftershocks and Inter-Seismicity for Some Large Persian Earthquakes", *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, University of Tehran, 26, 35 48.
- Nemati, M., & Gheitanchi, M. (2011). "Analysis of 2005 Dahuieh (Zarand) aftershocks sequence in Kerman province southeast of Iran", *journal of Earth and Space Physics*, Institute of Geophysics, University of Tehran, 37, 1-9.
- Nicknam, A., Eslamian, Y., & Bozorgnasab, M. (2007). "Modification of seismological parameters of Zarand earthquake (2005 February 22), in central Iran ,Using Empirical Green's function method", Paper presented at the Australian Conference.
- Nissen, E., Jackson, J., Jahani, S., & Tatar, M. (2014). "Zagros "phantom earthquakes" reassessed—The interplay of seismicity and deep salt flow in the Simply Folded Belt?", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(4), 3561-3583. doi:10.1002/2013JB010796
- Nissen, E., Yamini-Fard, F., Tatar, M., Gholamzadeh, A., Bergman, E., Elliott, J. R., . . Parsons, B. (2010). "The vertical separation of mainshock rupture and microseismicity at Qeshm island in the Zagros fold-and-thrust belt, Iran", *Earth* and Planetary Science Letters, 296(3–4), 181-194. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2010.04.049
- Okada, Y. (1985). "Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 1135-1154.
- Rouhollahi, R., Ghayamghamian, M. R., Yaminifard, F., Suhadolc, P., & Tatar, M. (2012). "Source process and slip model of 2005 Dahuiyeh-Zarand earthquake (Iran) using inversion of near-field strong motion data", *Geophysical Journal International*, 189(1), 669-680. doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05387.x
- Safarshahi, M., Rezapour, M., & Hamzehloo, H. (2013). "Stochastic Finite Fault Modeling of Ground Motion for the 2010 Rigan Earthquake, Southeastern Iran", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(1), 223-235. DOI:10.1785/0120120027

#### \_ دورهٔ بیست و دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

- Sharifikia, Mohammad (2012) "Subsidence Value Estimation Through Differntial Interferometric SAR in Nough-Bahreman Plain", *The Journal of Spatial Planning*. [In Persian]
- Sharifikia, Mohammad (2017) "River Morphologic Analysis Caused by Taleghan Dam Construction Based on Temporal Diffrential of Remote Sensing Data", *The Journal of Spatial Planning*. [In Persian]
- Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A., Ghassemi, A., Ghorashi, M., ... Saiidi, A. (2006). "The Dahuiyeh (Zarand) earthquake of 2005 February 22 in central Iran: reactivation of an intramountain reverse fault", *Geophysical Journal International*, 164(1), 137-148. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02839.x
- Talebian, M., Fielding, E. J., Funning, G. J., Ghorashi, M., Jackson, J., Nazari, H., Wright, T. J .(2004) ."The 2003 Bam (Iran) earthquake: Rupture of a blind strike-slip fault", *Geophysical Research Letters*, 31(11), n/a-n/a. doi:10.1029/2004GL020058
- USGS. United State Geological Survey. Retrieved from http://www.neic.usgs.gov.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abassi, M., Vigny, C., Masson, F., Chéry, J. (2004). "Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman", *Geophysical Journal International*, 157, 381-398. doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x
- Walker, R., Jackson, J., & Baker, C. (2003). "Surface expression of thrust faulting in eastern Iran: source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences", *Geophysical Journal International*. doi:10.1046/j.1365-246X.2003.01886.x
- Zafarani, H., Noorzad, A., & Bargi, K. (2007). "Stochastic Finite-Fault Strong Ground-Motion Simulation Of The 22 February 2005 (Mw 6.4) Zarand (Central Iran) Earthquake", Paper presented at the 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.
- Zare, M. (2005). "The Dahuiyeh (Zarand, Iran) Earthquake of 22 February 2005", Ms6.5, A preliminary Field and Seismological Observation.