

آشکار سازی خطواره های مرتبط با گسل دهشیر با داده های سنجش از دور اپتیک و رادار

افشین امیری^۱، عطا اله عبدالهی کاکرودی^{۲*}، مهرنوش قدیمی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
afshinamiriii@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
{*a.a.kakroodi, ghadimi}@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۷، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۸)

چکیده

گسل به شکستگی های سنگ های پوسته زمین گفته می شود که سنگ های دو طرف شکستگی نسبت به همدیگر حرکت کرده باشند. این جابجایی می تواند از چند میلیمتر تا صدها متر باشد. انرژی آزاد شده به هنگام حرکت سریع گسل های فعال عامل وقوع اغلب زمین-لرزه ها است. گسل دهشیر یکی از گسل های فعال در ایران مرکزی است و با روند تقریبی شمال غرب- جنوب شرق و طول بیش از ۳۵۰ کیلومتر یکی از بزرگترین گسل های فعال ایران می باشد. نقشه خطواره ها در مطالعات گوناگون از جمله زمین شناسی، هیدروژئولوژی، توپوگرافی و غیره نقش مهمی ایفا می کند. امروزه با پیشرفت های گسترده در فنون سنجش از دور، بهتر می توان خطواره ها را شناسایی نمود. هدف این مطالعه بررسی قابلیت داده های لندست ۵، لندست ۷، لندست ۸، استر، سنتینل ۱، آلوس پالسا و مدل رقومی ارتفاع در آشکار سازی خط گسل و بالا آمدگی سطوح پیرامون آن می باشد. روش کار مبتنی بر الگوریتم تشخیص لبه است. در این تحقیق پارامتر های بهینه برای استخراج اتوماتیک خطواره برای منطقه مورد مطالعه تعیین شد. مقایسه و ارزیابی نتایج به دست آمده نشان داد که برای آشکار سازی خط گسل، مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن ۱۲/۵ متر با دقت ۹۱/۶۱ درصد و ضریب کاپای ۸۱/۹۱ درصد بهترین نتیجه را داشته است. داده های سنتینل ۱ نیز نسبت به تصاویر اپتیکال قابلیت بیشتری در تشخیص خطواره های مرتبط با گسل داشته است.

واژگان کلیدی: استخراج اتوماتیک خطواره، گسل دهشیر، سنجش از دور، رادار

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

داده های ماهواره ای سنجنش از دور برای تهیه نقشه خطواره در مقیاس منطقه ای به طور گسترده ای به عنوان منبع اطلاعات برای زمین شناسان استفاده شده است. ساختارهای زمین شناختی مانند ساختارهای خطی (گسل) یا منحنی (تاقدیس و ناودیس) از جمله عواملی هستند که در کمک به حفاری معادن، مطالعات هیدروژئولوژیکی [۱ و ۲] و مطالعات زمین شناسی برای تعریف واحدهای اصلی ساختاری، تجزیه و تحلیل الگوهای تغییر شکل ساختاری و شناسایی مرزهای زمین شناسی، می تواند استفاده شود [۳-۷]. خطواره های روی سطح زمین به صورت چشمی یا به صورت خودکار شناسایی می شوند. آشکار سازی خطواره ها به وسیله سنجنش از دور در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی که در آن سنگ بستر کاملاً نمایان است می تواند نتایج بهتری دربر داشته باشد. خطواره ها را می توان با توجه به ویژگی های فیزیوگرافی که باعث تغییر تن رنگ پستی و بلندی ها، الگو و بافت تصاویر ماهواره ای می شود، شناسایی کرد. دو نوع خطواره معمولاً با داده های سنجنش از دور قابل تشخیص است، یعنی: ۱- خطواره های مثبت که شامل برآمدگی های خطالرأس و دایک است و ۲- خطواره های منفی که از درز و ترک ها و گسل ها تشکیل شده است [۸]. روش های استخراج خطواره های زمین شناسی از داده های سنجنش دور می تواند به سه دسته اصلی تقسیم بندی شود: ۱- استخراج دستی [۹، ۲]، استخراج نیمه اتوماتیک [۱۰، ۳]، استخراج اتوماتیک [۱۱]. اطلاعات از روش های دستی و نیمه اتوماتیک تا حد زیادی تحت تاثیر تجربه مفسر است، در حالی که استخراج خودکار، به کارایی الگوریتم و همچنین محتوای اطلاعات در تصویر بستگی دارد [۱۲]. در نتیجه روش های اتوماتیک نسبت به روش های دستی که دشوار، زمان بر و وابسته کیفیت تفسیر است، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

در [۱۳] از تفسیر دیداری باندهای L، C و X داده های SIRC برای تشخیص خطواره ها با فاصله های ۳۶ درجه-ای در منطقه نیمه خشک موریتانی استفاده شده است. این تحقیق بدون در نظر گرفتن قطبش بهترین نتایج را برای باند L نشان داده است در حالی که باند C با قطبش HH کارآمد تر است. همچنین [۱۳] با استفاده از تفسیر دیداری اجزای اصلی تصاویر رادارست ۱ در ایالت آلبرتای مرکزی (کانادا) نشان داد که استفاده از باند C- با قطبش

HH بهترین نتایج استخراج خطواره ها را داشته است. در [۱۴] تحقیقی روی داده های رادارست ۱ در زمان ها و زاویه های مختلف و در یک ناحیه نیمه خشک در آفریقا انجام شد. هدف اصلی آن پتانسیل سنجنی داده های تصاویر این سنجنده در ترکیب با داده های زمینی در سیستم اطلاعات مکانی و استفاده از داده های اپتیکی لندست ۷ برای استخراج خطواره های حوزه های آبی بود. در این تحقیق برای بهبود خطواره ها از شروط هندسی بر پایه دانش متخصصان استفاده شده است برای فاصله اتصال خطواره ها حد آستانه ۱۰۰ متر و برای اختلاف زاویه اتصال خطواره ها حد آستانه ۱۵ درجه در نظر گرفته شد. در [۱۴] خطواره های منطقه سومویی ویتنام به روش های اتوماتیک از تصاویر سنجنده های استر و لندست ۷ با استفاده از ابزار LINE در نرم افزار PCI Geomatica استخراج کردند. همچنین مقایسه ای بین باندهای مختلف برای یافتن بهترین باند جهت استخراج خطواره ها انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که باند VNIR-باند ۳ استر و ترکیب باند ۳ ETM لندست مناسب هستند. همچنین نتایج نشان دهنده مناسب بودن داده های استر برای استخراج جزئیات دقیق در مقیاس ۵۰،۰۰۰:۱ است. هدف این تحقیق آشکار سازی خطواره های مرتبط با گسل دهشیر، یکی از گسل های فعال در ایران مرکزی، با استفاده از داده های سنجنش از دور اپتیک، رادار و داده های ارتفاعی است.

۲- منطقه مطالعاتی و داده های مورد نظر

گسل دهشیر در شرق کفه ابرقو که جزئی از افتادگی بزرگ دریاچه ارومیه- تزلوگل- گاوخونی- سیرجان می باشد، کشیده شده است [۱۵]. منطقه مورد مطالعه بین عرض های جغرافیایی $30^{\circ}49'7''$ تا $31^{\circ}41'53''$ شمالی و طول های جغرافیایی $49^{\circ}32'53''$ تا $51^{\circ}1'54''$ شرقی می باشد. وسعت این محدوده ۳۴۴۰ کیلومتر مربع است و دارای ارتفاع متوسط ۱۷۸۸ متر از سطح آب های آزاد می باشد. شکل ۱ موقعیت گسل دهشیر را نشان می دهد. گسل دهشیر در دامنه جنوبی رشته شیکوه واقع شده است و روند آن از روند گسل اصلی زاگرس تبعیت می کند. این گسل منطقه مهمی از نظر ظهور سنگ های آمیزه رنگین است. به سمت غرب و جنوب غربی این گسل، چاله های گاوخونی، ابرکوه و سیرجان

سنسور به نام های OLI^۱ و TIRS^۲ را حمل می کند. سنسور اول دارای ۹ باند طیفی به شرح زیر است: ۴ باند در محدوده مرئی (طول موج های ۰/۴۳-۰/۶۷ میکرومتر) ، یک باند در محدوده مادون قرمز نزدیک (طول موج ۰/۸۵-۰/۸۸ میکرومتر)، دو باند در محدوده مادون قرمز میانی (طول موج های ۱/۵۷-۲/۲۹ میکرومتر) و یک باند سیروس (طول موج های ۱/۳۶-۱/۳۸ میکرومتر)، (قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر). همچنین یک باند پانکروماتیک (طول موج ۰/۵۰-۰/۶۸ میکرومتر) با قدرت تفکیک ۱۵ متر دارد. سنجنده دوم دارای دو باند حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر است و در طول موج های ۱۰/۶۰-۱۱/۱۹ میکرومتر و ۱۱/۵-۱۲/۵۱ میکرومتر تصویر برداری می کند. داده های لندست ۸ توان تفکیک رادیومتریکی بالا (۱۶ بیت) دارند و هر تصویر ۱۸۵ کیلومتر در ۱۸۵ کیلومتر از سطح زمین را پوشش می دهد و به صورت رایگان در دسترس هستند [۱۸]. در این پژوهش پس از بررسی باندهای مختلف این سنجنده، باند دو به عنوان باند مناسب جهت شناسایی خطواره های تصویر استفاده شده است.

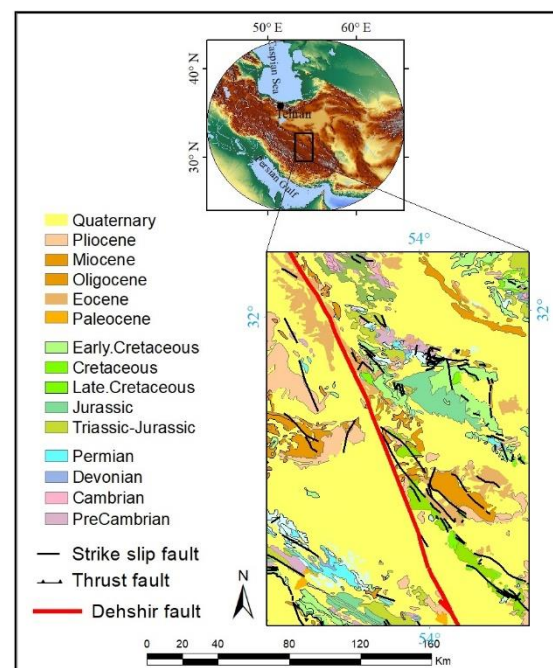
۲-۱-۲-۲- لندست ۷

لندست ۷ در پانزدهم آوریل سال ۱۹۹۹ توسط موشک دلتای ۱۱ به فضا پرتاب شد و حاوی سنجنده ETM+ می باشد. در این سنجنده توان تفکیک زمینی باند ترمال به ۶۰ متر بهبود یافته است [۱۹]. در این تحقیق از باند یک برای استخراج خطواره استفاده شده است.

۲-۱-۲-۳- لندست ۵

سنجنده نقشه بردار موضوعی TM لندست ۵ در تاریخ اول مارس ۱۹۸۴ به فضا پرتاب شد. این سنجنده در واقع یک پوششگر اپتیکال- مکانیکال بوده که انرژی دریافتی در نواحی مرئی، مادون قرمز انعکاسی و حرارتی طیف الکترومغناطیسی را ثبت می کند. داده های لندست TM دارای توان تفکیک زمینی ۳۰*۳۰ متر برای باندهای ۱ تا ۵ و ۷ بوده و باند مادون قرمز حرارتی (باند ۶) دارای توان تفکیک زمینی ۱۲۰*۱۲۰ متر می باشد [۱۹]. در این مطالعه باند یک این سنجنده مورد استفاده قرار گرفته است.

به وجود آمده اند. گسل دهشیر به طول حدود ۳۵۰ کیلومتر با جهت شمال غربی-جنوب شرقی از نایین آغاز می شود و تا حوالی سیرجان ادامه دارد. مهمترین ویژگی این گسل به فعالیت نئوتکتونیک آن مربوط می شود [۱۶]. گسل دهشیر، از دیدگاه لرزه شناسی، دارای ویژگی لرزه ای ساکن است که نشانه ای از زمین لرزه بزرگ مقیاس در محدوده آن مشاهده نمی شود [۱۷]. از نظر ژئومورفولوژی ناهمواری های این منطقه را می توان به سه دسته کوه ها و ارتفاعات، دشت ها و جلگه ها و کفه ها تقسیم نمود. کوه ها و ارتفاعات در بخش شرقی گسل دهشیر مشاهده می شود. در این قسمت بلند ترین نقطه از سطح دریا ۴۰۶۰ متر ارتفاع دارد. نوع سنگ ها در راستای شرق به غرب از گرانیب به سنگ های رسوبی تغییر می کند [۱۶]. دشت ها و جلگه ها در غرب گسل دهشیر واقع شده اند. دشت ابرکوه با ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا و وسعتی بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتر مربع از نهشته های کوهپایه ای درشت به صورت قله سنگ، شن و ماسه پوشیده شده است [۱۶].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی گسل دهشیر در ایران مرکزی و نقشه زمین شناسی گسل دهشیر

۲-۱-۲-۱- داده های استفاده شده

۲-۱-۲-۱-۱- لندست ۸

لندست ۸ که در سال ۲۰۱۳ راه اندازی شد، نسل جدیدی از سری ماهواره های لندست است. این ماهواره دو

^۱ Operational Land Imager
^۲ Thermal Infrared Sensor

۴-۱-۲- استر

یک سنسور چند طیفی است که در دسامبر سال ۱۹۹۹ در پلت فرم ترا^۱ راه اندازی شد. این سنجنده تابش الکترو مغناطیسی بازتاب و گسیل شده را در ۱۴ باند طیفی به شرح زیر ثبت می کند: سه باند در محدوده مرئی و مادون قرمز طیف الکترو مغناطیس با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و قدرت تفکیک طیفی ۸ بیت، ۶ باند در محدوده مادون قرمز میانی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و قدرت تفکیک طیفی ۸ بیت، و ۵ باند حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر و قدرت تفکیک طیفی ۱۲ بیت. یکی از مزایای سنجنده استر این است که با داشتن دید استریوسکپی توانایی تولید مدل رقومی ارتفاع را دارد. هر تصویر استر وسعت ۶۰ کیلومتر در ۶۰ کیلومتر از سطح زمین را پوشش می دهد [۲۰]. با توجه به این ویژگی ها، سنجنده استر به طور گسترده ای در مطالعات زمین شناسی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۶]. در این تحقیق با بررسی باندهای مختلف، باند یک برای استخراج خطواره های مربوط به گسل انتخاب شد. جدول ۱ مشخصات تصاویر اپتیک به کار گرفته شده در این مطالعه را نمایش می دهد.

۲-۱-۵- سنتینل ۱

این سنجنده نسل جدید رادار آژانس فضایی اروپا است که هدف اصلی آن پایش سطح زمین و اقیانوس ها است و پیوستگی داده های رادار با دریچه مصنوعی^۲ در باند C را تضمین می کند [۲۱]. سنتینل ۱ به تازگی در آوریل ۲۰۱۴ راه اندازی شده است و شامل رادار با دریچه مصنوعی در باند C است (باند C در طول موج ۴-۸ سانتیمتر و بسامد ۴-۸ گیگا هرتز فعالیت می کند). [۲۱]. این سنجنده در چند حالت مختلف داده ها را به دست می آورد، مهمترین آن ها IW^۳ حالت اصلی اخذ تصویر در سطح زمین است [۲۱]. در این حالت تصویربرداری هر تصویر پهنای ۲۵۰ کیلومتر از سطح زمین را با قدرت تفکیک مکانی ۵ در ۲۰ متر پوشش می دهد، قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱ دسی بل و زاویه فرود بین ۲۹/۱ تا ۴۶ درجه است [۲۱] هر تصویر می تواند

قطبش های HH و HV، VV و VH، HH یا VV را داشته باشد (H:افقی، V: عمودی) [۲۱]. در نتیجه، این ویژگی ها به سنتینل ۱ اجازه می دهد از آن به عنوان تصویر بسیار مناسب برای کاربردهای مختلف، به ویژه زمین شناسی استفاده کرد. در این مطالعه برای تشخیص و استخراج خطوط گسل از تصویر IW-SLC با قطبش VV و VH استفاده شده است. قطبش، جهت بردار الکتریکی یک موج الکترو مغناطیسی است. آنتن یک سیستم رادار، می تواند طوری طراحی شود که تابش الکترومغناطیس را با قطبش عمودی و یا افقی ارسال و دریافت کند. قطبش HH زمانی است که امواج به صورت افقی ارسال و دریافت می شوند. قطبش VV زمانی است که امواج به صورت عمودی ارسال و دریافت می شوند. وقتی که قطبش موج دریافتی در جهت عمود بر موج ارسالی است، غیرهم قطبی می گویند (HV، VH). امواج با قطبش عمودی، تداخل بیشتری با ساختار عمودی پوشش گیاهی دارند. امواج با قطبش افقی، نفوذ بیشتری در خاک زیر سطحی دارند. امواج غیر هم قطب، حساسیت بیشتری به پخش حجمی دارند.

۲-۱-۶- آلوس پالسار

ماموریت آلوس در تاریخ ۲۴ ژانویه ۲۰۰۶ راه اندازی شد و تا ۲۲ آوریل ۲۰۱۱ عمل کرد [۲۲]. این سنجنده در باند L تصویربرداری می کند (باند L در طول موج ۱۵-۳۰ سانتیمتر و بسامد ۱/۲ گیگا هرتز کار می کند). تصاویر پردازش شده و به S⁰ تبدیل شده است. رزولوشن تصاویر پردازش شده به ۳۰ متر تبدیل شد. با استفاده از نرم افزار Mapready ASF و مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری (SRTM)، تصاویر تصحیح هندسی شدند. در این مطالعه از تصاویر با قطبش HH و HV استفاده شده است. علاوه بر تصاویر رادار، از مدل رقومی ارتفاع استخراج شده از این سنجنده نیز برای بررسی تغییرات ارتفاعی صفحات دو طرف گسل استفاده شده است. رزولوشن مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ متر می باشد. جدول ۲ مشخصات داده های راداری مورد استفاده را نشان می دهد.

۲-۱-۷- مدل رقومی ارتفاع استر

با تناظر یابی تصاویری که سنجنده استر از نادیر و دید به عقب اخذ کرده است می توان مدل رقومی ارتفاع با

^۱ Terra^۲ SAR^۳ Interferometric Wide Swath

متر استفاده شده است. پس از پیش پردازش مدل رقومی ارتفاع، لایه جریان تجمعی تولید شد و پس از آن آبراهه-های منطقه استخراج گردید.

۸-۱-۲- مدل رقومی ارتفاع SRTM

SRTM محصول مشترک ناسا و مؤسسه NGA و با مشارکت مؤسسه فضانوردی آلمان و ایتالیا، جهت تولید داده‌های سه بعدی با پوشش تقریباً کامل از سطح زمین می‌باشد.

دقت بالا و بدون نقاط کنترل زمینی تولید کرد [23]. مدل رقومی ارتفاع جهانی محصولی از تصاویر سنجنده استر است که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با تکنیک های استریو-فوتوگرامتری جمع آوری شده است. این مدل رقومی ارتفاع پوشش جهانی دارد و از ۸۳ درجه عرض شمالی تا ۸۳ درجه عرض جنوبی را پوشش می‌دهد. تصاویر آن به صورت قطعات یک درجه در یک درجه با قدرت تفکیک یک arc-second در دسترس است. به منظور تولید لایه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه از GDEM با رزولوشن ۳۰

جدول ۱- مشخصات تصاویر اپتیک استفاده شده

تاریخ اخذ تصویر	قدرت تفکیک رادیومتری (بیت)	قدرت تفکیک مکانی (m)	باند	ماهواره
2016/09/10	۱۶	۳۰	آبی	Landsat 8
2002/09/12	۸	۳۰	آبی	Landsat 7
2009/09/07	۸	۳۰	آبی	Landsat 5
2003/09/15	۸	۱۵	سبز	Aster

جدول ۲- مشخصات تصاویر راداری استفاده شده

قدرت تفکیک برد	قدرت تفکیک آزمون	طول موج (cm)	باند	ماهواره
۲/۳۲	۱۳/۹۲	۵/۶	VV, VH	Sentinel 1
۱۲/۵	۱۲/۵	۲۳/۶۲	HH, HV	Alos Palsar

تصویر سنتینل ۱ استفاده شده در این مطالعه، در تاریخ ۳ نوامبر ۲۰۱۷ برداشت شده که به صورت SLC^۱ است. این تصویر در سطح IW اخذ شده و دارای قطبش‌های VV و VH می‌باشد. ارزش پیکسل‌های این تصویر به صورت ارزش رقومی است و باید به ضریب بازپخش تبدیل شود [۱]. در مرحله بعد اعوجاج‌های هندسی مربوط به تغییرات توپوگرافی در صحنه مورد تصویربرداری، و همچنین نوسان سنجنده رادار تصحیح شد. این اعوجاج‌ها به صورت در سایه شیب‌های با زاویه بسیار تند، مشکلات کوتاه شدگی تصویر و هم پوشانی (به دلیل اینکه پدیده های نزدیک زودتر از پدیده‌های دورتر تابش رادار را بازپخش می‌کنند) مشخص می‌شوند. در نتیجه، تصحیح هندسی ضروری است به طوری که تصویر نزدیک به واقعیت نمایش داده می‌شود و پس از آن برای استفاده آماده می‌شود. از این رو روش Range Doppler terrain correction که برای تصاویر رادار توصیه شده است به کار

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- پیش پردازش

تصویر OLI لندست ۸ مورد استفاده در این کار مربوط به ۱۰ سپتامبر ۲۰۱۶، سیستم تصویر UTM و سیستم مختصات WGS84 است. باند دو در این تحقیق استفاده شد. تصویر ETM+ لندست ۷ از موزاییک تصاویر اخذ شده در تاریخ های ۱۰ ژوئیه ۲۰۰۲ و ۱۲ سپتامبر ۲۰۰۲ به دست آمده است. تصویر TM لندست ۵ نیز از موزاییک دو تصویر مربوط به تاریخ ۷ سپتامبر ۲۰۰۹ حاصل شده است. ردیف و گذر تمام تصاویر استفاده شده در سنجنده لندست یکسان و به ترتیب ۳۸ و ۱۶۲ برای تصویر اول و ۳۹ و ۱۶۲ برای تصویر دوم است. داده اپتیک استر استفاده شده در این پژوهش در تاریخ ۲۸ دسامبر ۲۰۱۲ اخذ شده و سیستم تصویر و سیستم مختصات آن مشابه با تصاویر لندست است.

^۱ Single Look Complex

برده شد (با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری استر). علاوه بر این اسپیکل در تصاویر راداری که به صورت الگوی فلفل نمکی شناخته می شود وجود دارد. اسپیکل باعث دشواری تفسیر تصاویر راداری می شود. بنابراین برای برطرف نمودن این مشکل از فیلتر Lee استفاده شده است [۱].

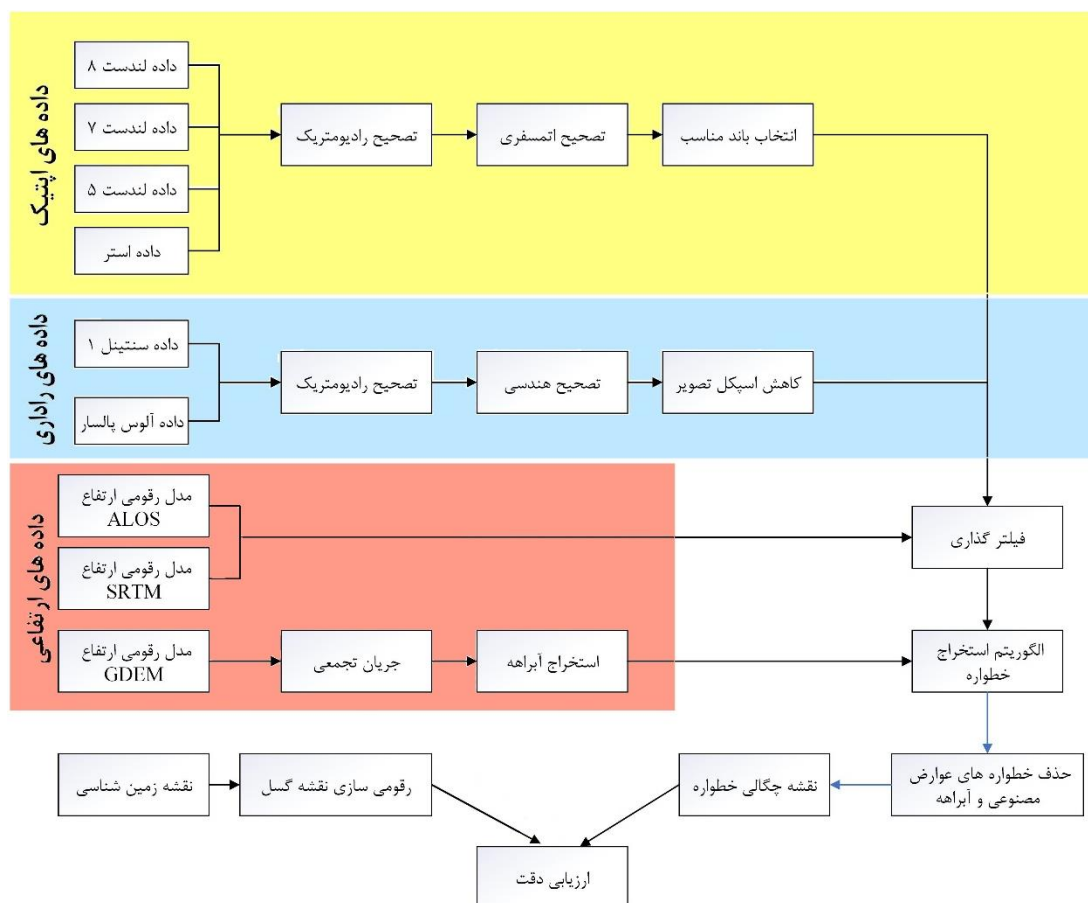
تصاویر آلوس پالسار مورد استفاده دارای قطبش HH و HV می باشد. این تصاویر در سطح ۱/۵ می باشند که پردازش و تصحیح هندسی لازم بر روی آن ها انجام شده است. با بررسی باندهای مختلف ماهواره لندست ۸ به منظور انتخاب باند مناسب برای استخراج خطواره، این نتیجه حاصل شد که کوتاه ترین طول موج به دلیل نفوذ بیشتر و بر هم کنش بهتر با پدیده های سطح زمین دقت بالاتری خواهد داشت (جدول ۳). در نتیجه از باند هایی که طول

موج نزدیک به طول موج باند ۲ لندست ۸ داشته اند استفاده شده است.

جدول ۳- دقت باند های لندست ۸

باند	دقت کل	ضریب کاپا
باند ۱	۸۲/۵	۵۸/۲
باند ۲	۸۰/۸	۵۱/۳۳
باند ۳	۷۳/۹۲	۴۰/۸۷
باند ۴	۷۰/۰۸	۳۳/۲۷
باند ۵	۷۵/۹	۴۶/۲۴
باند ۶	۷۳/۴۲	۴۵/۵۳
باند ۷	۷۷/۰۸	۵۶/۲۵

فلوچارت روش پیشنهادی در این تحقیق در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- فلوچارت روش پیشنهادی در این پژوهش

دقیق (حتی در مناطق با کنتراست کم) استفاده می شود و به طور قابل توجهی نویز تصویر را کاهش می دهد. فیلتر local sigma از انحراف معیار محلی محاسبه شده برای جعبه فیلتر به منظور تعیین پیکسل های معتبر درون

پس از انجام پیش پردازش های لازم، عمل فیلترگذاری انجام گرفت، فیلتر local sigma روی تمام تصاویر (استر، لندست ۸، مدل رقومی ارتفاع آلوس و SRTM اعمال گشت. از فیلترهای local sigma برای حفظ جزئیات

گذاری می‌شود و در مرحله استخراج منحنی، از تصویر باینری منحنی‌ها استخراج می‌شوند.

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

در این رابطه $G(x)$ فیلتر گوسین و σ انحراف معیار می‌باشد.

در مطالعه حاضر، استخراج اتوماتیک خطوط را بر اساس دو محاسبه اصلی انجام شده است: نخست، استفاده از فیلتر برای تشخیص لبه‌ها (خطوط کنتور)، دوم، اطلاعاتی که از تغییرات ناگهانی ارزش پیکسل‌های همسایه به ما می‌دهد که معمولاً مربوط به خطوط‌ها است. مرحله دوم خطوط‌ها را آشکار می‌کند [۲۵ و ۱] فرآیند استخراج خطوط بر اساس شش مرحله اصلی در محیط نرم افزار PCI Geomatica انجام گرفته است:

۳-۲-۱- آشکار سازی خطوط تراز

شعاع فیلتر^۴ پیکسل که در تشخیص خطوط تراز مورد استفاده قرار می‌گیرد، کوچکترین سطح جزئیات را در تصویر ورودی تعیین می‌کند و ارزش بین ۳ تا ۸ (در واحد پیکسل) توصیه می‌شود تا از ایجاد نویز جلوگیری شود. در این بررسی از مقدار ۱۰ برای شعاع فیلتر استفاده شد. آستانه شیب لبه^۵ مقدار گرادیان آستانه که در تشخیص کانتور ها باید در نظر گرفته شود (بین ۰-۲۵۵). ارزش های بین ۱۰ تا ۳۰ برای تشخیص خطوط در تصاویر با کیفیت رادیومتری متوسط قابل قبول می باشد. مقادیر کمتر فقط برای داده های با کیفیت رادیومتریکی بالا مناسب است. در این مطالعه از مقدار ۱۰ استفاده شده است.

۳-۲-۱- آشکار سازی خط ها

آستانه انحنای منحنی^۶ حداقل طولی است که باید یک منحنی داشته باشد تا به عنوان خطوط شناخته شود. در مطالعه حاضر به دلیل بررسی گسل، مقدار ۳۰ (پیکسل) برای آن در نظر گرفته شده است تا خطوط های کوچک که به گسل ارتباط ندارد، کاهش یابد.

پنجره فیلتر استفاده می کند. این فیلتر ارزش پیکسل را با میانگین محاسبه شده از پیکسل‌های معتبر داخل جعبه فیلتر جایگزین می کند [۲۴].

علاوه بر این بر روی تصاویر راداری سنتینل ۱ و آلوس پالسار فیلتر لی^۱ اعمال شد. اسپکل تصاویر راداری را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$I(t) = R(t) V(t) \quad (1)$$

که در آن $I(t)$ سیگنال تحت تاثیر نویز، $R(t)$ بازپخش راداری بدون نویز و $V(t)$ نویز اسپکل است که از بازپخش رادار مستقل می‌باشد [۳۱].

فیلتر لی یکی از انواع فیلترها برای کاهش نویز اسپکل بر اساس ویژگی‌های آماری پیکسل‌های محلی است. فیلتر لی با مدل زیر و با اعمال حداقل میانگین مربعات خطا^۲ در رابطه (۱) به صورت زیر است [۳۱]:

$$R'(t) = I'(t) + W(t) (I(t) - I'(t)) \quad (2)$$

که در آن $R'(t)$ تصویر بعد از اعمال فیلتر لی، $I'(t)$ میانگین سیگنال تحت تاثیر نویز و $W(t)$ تابع وزندار است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W(t) = 1 - \frac{C_v}{C_I} \quad (3)$$

در رابطه (۳) $C_v = \frac{\sigma_v}{\bar{v}}$ ضریب واریانس تصویر تحت تاثیر نویز، و $C_I = \frac{\sigma_I}{\bar{I}}$ ضریب واریانس تصویر بدون نویز است [۳۱].

۳-۲- پردازش

فرآیند استخراج خطوط شامل سه مرحله است: تشخیص لبه، حد آستانه و استخراج منحنی. برای استخراج لبه، الگوریتم تشخیص لبه کنی^۳ به کار برده شد و یک تصویر Edge strength تولید شد. در الگوریتم تشخیص لبه کنی تصویر با یک تابع گوسین فیلتر می‌شود (رابطه ۴) [۳۰]. سپس از تصویر فیلتر شده گرادیان محاسبه می‌شود. در مرحله آستانه‌گذاری، تصویر Edge strength برای به دست آوردن تصویر باینری آستانه

^۴ Filter Radius
^۵ Edge Gradient Threshold
^۶ Curve Length Threshold

^۱ Lee
^۲ Minimum Mean Square Error
^۳ Canny Edge Detection Algorithm

آستانه تناسب خط^۱ حدی (در واحد پیکسل) است که به خطوط منحنی مرحله قبل اجازه می دهد به عنوان خط شناخته شوند. مقادیر بین ۲ تا ۵ برای این فاکتور توصیه شده است. به دلیل اینکه مقادیر کوچک تر تناسب بیشتری ایجاد می کند، در این پژوهش مقدار آن ۳ در نظر گرفته شده است.

آستانه اختلاف زاویه ای^۲ زاویه ای است که دو خط برای مرتبط شدن به هم نباید از آن تجاوز کنند. مقادیر بین ۳ تا ۲۰ قابل پذیرش می باشد. برحسب بررسی های مکرر، مقدار ۳۰ در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

آستانه فاصله متصل شدن^۳ به عنوان حداکثر فاصله ای که دو خط می توانند داشته باشند تا به هم متصل شوند. معمولاً مقادیر بین ۱۰ تا ۴۵ قابل پذیرش است. اما در این مطالعه براساس بررسی های متعدد مقدار ۵۰ در نظر گرفته شده است. جدول ۴ پارامترهای به کار رفته در استخراج اتوماتیک خطواره ها را نمایش می دهد.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای به کار رفته در استخراج اتوماتیک خطواره ها

شماره	نام	واحد	دامنه	مقدار
۱	RADI	پیکسل	۱۰۰-۰	۱۰
۲	GTHR		۲۵۵-۰	۱۰
۳	LTHR	پیکسل	۱۰۰-۰	۳۰
۴	FTHR	پیکسل	۱۰۰-۱	۳
۵	ATHR	درجه	۹۰-۰	۳۰
۶	DTHR	پیکسل	۱۰۰-۰	۵۰

پس از اجرای الگوریتم، خطواره های تصاویر استخراج شد. هدف ما یافتن خطواره هایی است که خط گسل را نشان دهد. لایه خطواره استخراج شده شامل تمامی عوارض طبیعی و مصنوعی ناشی از فعالیت انسان می باشد. برای ایجاد تمایز بین این عوارض و گسل، باید خطوطی که به خط گسل مربوط نمی شود را شناسایی نماییم. بنابراین ابتدا لایه مناطق مسکونی، خطوط ارتباطی و لایه های خطی شامل جاده ها و خطوط راه آهن و کانال با کمک قوانین توپولوژی شناسایی و از لایه خطواره ها حذف شدند تا با خطواره هایی که گسل را نشان می دهند اشتباه

نشوند. بسیاری از خطوط تشخیص داده شده در تصاویر به آبراهه های موجود در منطقه ارتباط دارد. در نتیجه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، لایه آبراهه های منطقه مورد مطالعه ایجاد شد. با استفاده از قوانین توپولوژی در محیط ArcGIS، آبراهه، رودخانه و مسیل ها از خطوط باقی مانده حذف شدند. در نهایت خطوط باقی مانده معرف شکستگی ها و گسل های منطقه خواهد بود.

۳-۳- ارزیابی کمی نتایج

برای ارزیابی اولیه از درجه شکستگی توده ای، از شاخص تراکم خطواره استفاده شد. این شاخص به عنوان مجموع طول خطوط در واحد سطح محاسبه می شود. رابطه آن به صورت زیر است:

$$L_L = \frac{\sum_{i=0}^n Li}{S} \quad (5)$$

L_L طول خطواره ای منفرد در واحد سطح محاسبه شده و S محدوده محاسبه شده [26]. برای ارزیابی کمی نتایج این تحقیق از شاخص های عارضه مبنا استفاده شد. شاخص های مورد استفاده کامل بودن یا دقت، صحیح بودن یا صحت، کیفیت و ضریب کاپا هستند.

۳-۳-۱- کامل بودن یا دقت^۴

این شاخص به این مفهوم است که چند درصد از عوارض که در داده های مرجع به عنوان گسل وجود داشته در نتیجه کار به عنوان گسل تشخیص داده شد است. در این شاخص واحد عوارضی که مربوط به عوارض دیگر هستند و به اشتباه تشخیص داده شده اند، تاثیری در مقدار این شاخص ندارند؛ بنابراین این شاخص به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$Completeness = TP / (TP + FN) * 100 \quad (6)$$

که در آن:

TP = تعداد واحد عوارضی که موفق به تشخیص درست

آن به عنوان عارضه گسل شده ایم

FN = تعداد واحد عوارض (گسل) که در داده های مرجع

وجود دارد ولی در نتایج کار تشخیص داده نشده است.

^۱ Line Fitting Error Threshold

^۲ Angular Difference Threshold

^۳ Linking Distance Threshold

^۴ Completeness

۳-۳-۲- صحت^۱

این شاخص به منظور درستی و صحت قطعه‌بندی و طبقه‌بندی بکار گرفته می‌شود. این شاخص بدین مفهوم است: چند درصد عوارض که در نتایج به عنوان گسل تشخیص داده شده‌اند در داده‌های مرجع هم همان عوارض هستند. در این شاخص واحد عوارضی که در داده‌های مرجع بودند اما در نتیجه کار تشخیص داده نشده‌اند، تاثیری بر مقدار این شاخص ندارند؛ این شاخص به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\text{Correctness} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) * 100 \quad (۷)$$

که در آن:

FP = تعداد واحد عوارضی که در داده‌های مرجع وجود ندارد ولی در نتیجه کار به عنوان عارضه گسل تشخیص داده شده است.

۳-۳-۳- کیفیت^۲

این شاخص معیاری است برای ارزیابی نتایج که هم شاخص صحیح بودن و هم شاخص کامل بودن را در نظر می‌گیرد.

$$\text{Quality} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP} + \text{FN}) * 100 \quad (۸)$$

۳-۳-۴- دقت کلی^۳

نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد [۲۷]. رابطه‌ی آن به صورت زیر است:

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i}{N} \quad (۹)$$

که در آن:

$\sum_{i=1}^k X_i$ جمع قطری ماتریس خطا

N جمع کل پیکسل‌ها در ماتریس خطا.

۳-۳-۵- ضریب کاپا^۴

آنالیز کاپا یک روش چند متغیره گسسته است که در ارزیابی دقت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش در سال

۱۹۸۱ به جامعه سنجش از دور معرفی گشت و در برای نخستین بار در سال ۱۹۸۳ در مجله سنجش از دور چاپ شد [۲۸ و ۲۹]. ضریب کاپا توافق یا دقت بین نقشه طبقه بندی شده به دست آمده از داده‌های سنجش از دور و داده‌های مرجع است [۲۷].

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k x_i * x + j}{N^2} \quad (۹)$$

که در آن:

k تعداد ردیف‌ها در ماتریس خطا،

X_{ii} تعداد مشاهدات در ردیف i و ستون i،

x + j و xi + مجموع نهایی برای ردیف i و ستون j،

مجموع نمونه‌ها.

مقادیر K بزرگتر از ۰/۸ بیانگر دقت یا توافق قوی بین نقشه طبقه‌بندی شده و داده‌های زمینی است، مقادیر بین ۰/۴ تا ۰/۸ نشانگر توافق متوسط و کمتر از ۰/۴ نیز توافق ضعیف را نشان می‌دهد.

۴- بحث و نتایج

پس از ارزیابی دقت تصاویر مختلف، نتایج آن‌ها در جدول ۵ آورده شده است. نتایج از دو جنبه اندازه پیکسل و ویژگی‌های طیفی قابل بررسی است. مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر بهترین دقت را در میان سایر داده‌ها داشته است. داده‌های راداری سنتینل ۱ با قدرت تفکیک مکانی ۵*۲۰ متر، دقت قابل توجهی در شناسایی خط گسل داشته‌اند. تصاویر راداری آلوس پالسار با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر نسبت به تصاویر سنتینل ۱ دقت کمتری داشته‌اند. در میان تصاویر اپتیک داده‌های سنجنده OLI لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر توانایی بیشتری در تشخیص گسل داشته است. مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ متری در میان داده‌های استفاده شده بهترین نتیجه را به دست داده است که علاوه بر رزولوشن بالا، از قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۶ بیتی نیز برخوردار است. تصاویر راداری سنتینل ۱ با قطبش VV با اختلاف اندک نسبت به قطبش VH دقت بالاتری را نشان داده است. تصاویر سنتینل ۱ که در باند C تصویر برداری می‌کند در مقایسه با تصاویر راداری آلوس پالسار با قطبش HH و HV و باند L، قابلیت بیشتری دارند. در میان تصاویر اپتیک، لندست ۸ با قدرت تفکیک رادیومتری

^۱ Correctness

^۲ Quality

^۳ Overall Accuracy

^۴ KAPA COEFICIENT

۱۶ بیتی نسبت به داده های ماهواره های لندست ۵ و لندست ۷ برتری دارد. داده استر به علت قدرت تفکیک طیفی ۸ بیتی، با وجود قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر نتیجه ضعیف تری از لندست ۸ ایجاد کرده است. در جمع بندی کلی برای تشخیص گسل، تصاویر رادار از تصاویر اپتیک نتیجه بهتری به دست داده اند. گسل دهشیر با توجه به طول زیاد و تفاوت بخش های مختلف آن، در برخی از مناطق از میان سازند های سنگی و در برخی مناطق از میان رسوبات عبور می کند. این باعث می-

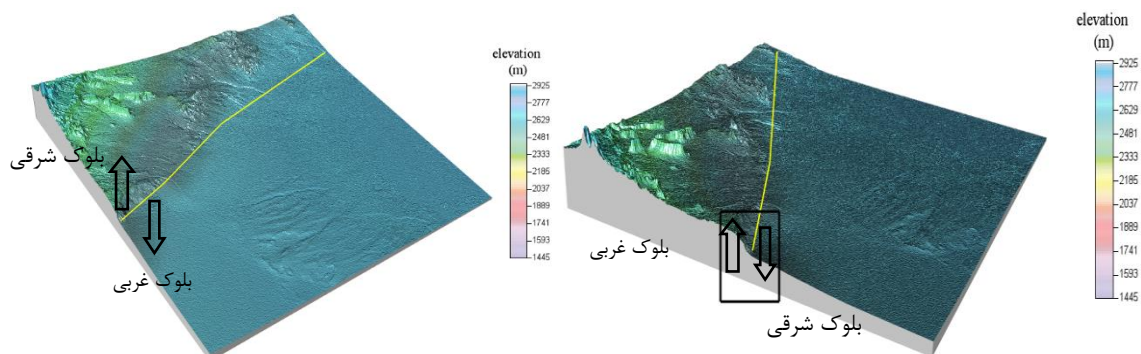
شود گسل در مناطقی که با رسوبات پوشیده شده در تصاویر ماهواره ای با دشواری بیشتری تشخیص داده شود. تصاویر اپتیک آن بخش از گسل که از میان سنگ عبور می کند را شناسایی کرده است، اما در بخش هایی که رسوبات گسل را پوشانده اند توانایی زیادی برای آشکار کردن گسل نداشته است. اما از سوی دیگر تصاویر رادار به ویژه سنتینل ۱، چه در مناطق پوشیده شده با رسوبات و چه در قسمت های سنگی خط گسل را به خوبی آشکار کرده است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی دقت تصاویر و داده ها

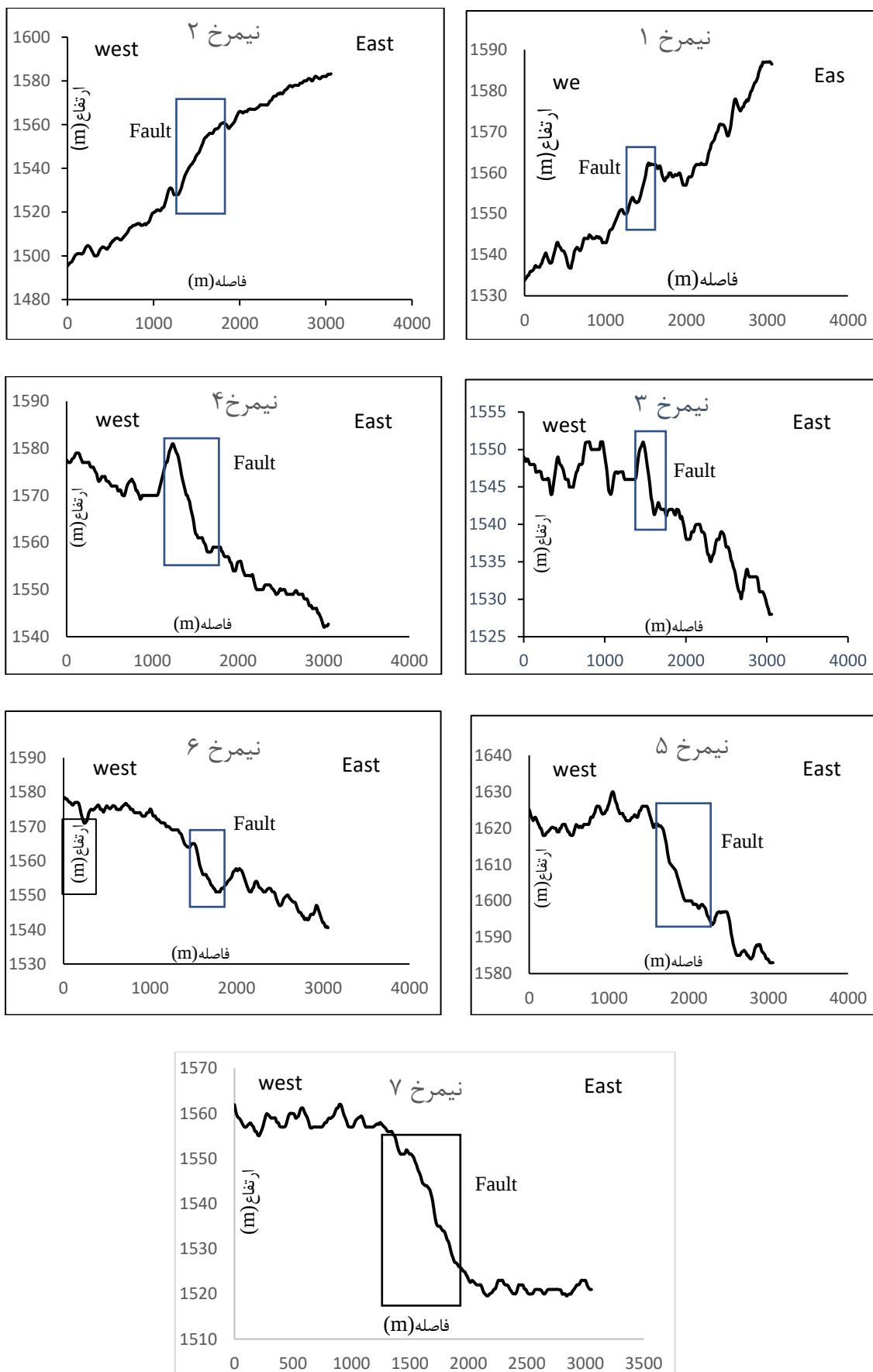
سنجنده	دقت	صحت	کیفیت	دقت کل	ضریب کاپا
OLI (Landsat 8)	۹۳/۴۸	۵۵/۱۶	۵۳/۱۲	۸۲/۵	۵۸/۲
ETM+ (Landsat 7)	۹۴/۱	۵۴/۴	۴۴/۸۷	۸۰/۵۴	۵۱/۳
TM (Landsat 5)	۹۷/۵۵	۳۰/۸۸	۳۰/۶۴	۷۸/۹۸	۴۰/۸۴
Aster	۹۳/۶۲	۴۷/۷۶	۴۶/۲۵	۷۴/۷	۴۶/۹۳
Sentinel 1 (VH)	۹۷/۱۴	۷۲/۶۲	۱۷/۱۱	۸۹/۳۷	۶۷/۸۱
Sentinel1(VV)	۹۷/۱	۷۳/۵۱	۷۱/۹۴	۹۰/۴۹	۷۷/۱۶
Alos Palsar DEM	۹۶/۹۴	۸۱/۱۹	۷۹/۱۶	۹۱/۶۳	۸۱/۹۱
SRTM 30m	۹۴/۳۹	۵۶/۷۷	۵۴/۹۲	۷۲/۰۶	۴۷/۰۵
Alos (HH)	۹۵/۵۳	۲۱/۵۳	۵۰/۹۶	۷۶/۴۷	۵۱/۴۵
Alos (HV)	۹۳/۴۴	۶۲/۵۵	۵۳/۵۳	۸۰/۸۵	۵۷/۰۱

گسل دهشیر در طول خود به صورت یکنواخت حرکت نمی کند. صفحات دو طرف گسل به دلیل فعالیت گسل، علاوه بر جابجایی های افقی به صورت عمودی نیز جابجا شده است. از مدل رقومی ارتفاع برای بررسی رفتار گسل در بخش های مختلف استفاده شد. نیمرخ های عرضی در مدل رقومی ارتفاع جابجایی های عمودی را نشان می دهد. با توجه به نمودارهای شکل ۳ و شکل ۴، در بخش های شمالی گسل، صفحه شرقی گسل دهشیر یک بالا آمدگی را نشان می دهد. در بخش های جنوبی گسل در حوالی

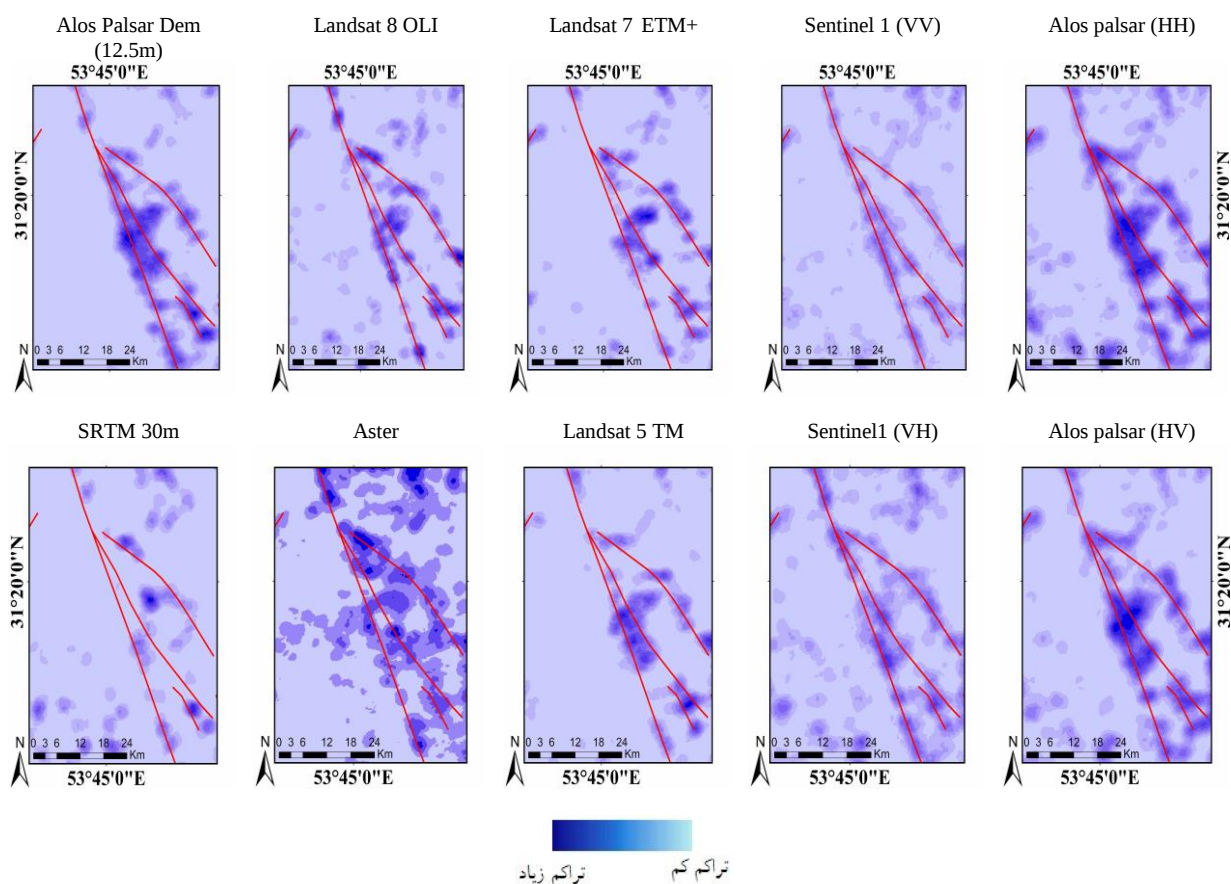
مروست، برعکس حالت قبل صفحه غربی گسل بالا آمدگی دارد. با بررسی دقیق تر می توان نوع گسل را در بخش های مختلف شناسایی نمود. از مدل رقومی ارتفاع می توان به این نکته پی برد که گسل علاوه بر حرکت راست گرد، حرکات عمودی نیز دارد که باعث تغییرات مورفولوژی در بخش های مختلف آن شده است. شکل ۵ نتایج حاصل از استخراج خطواره را برای داده های مختلف به کار رفته در این تحقیق نشان می دهد.



شکل ۴- مدل سه بعدی بالا آمدگی بلوک های گسل دهشیر در بخش میانی (راست) و شمالی (چپ)



شکل ۳- نیمرخ های توپوگرافی مدل رقومی ارتفاع آلبوس در امتداد گسل دهشیر



شکل ۵- نقشه های تراکم خطواره استخراج شده از داده های اپتیک، رادار و ارتفاعی. خطوط قرمز رنگ نشان دهنده گسل دهشیر است.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از داده های سنجش از دور اپتیک، رادار و مدل رقومی ارتفاع، گسل دهشیر که یک گسل امتداد لغز فعال است آشکار سازی شده است. سنجنده های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و قابلیت هر کدام از آن ها نشان داده شد:

داده های سنجش از دور به ویژه در بخش رادار برای استخراج عوارض زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی اهمیت دارند. تصاویر سنتینل ۱ با قطبش VV و VH دقت زیادی داشتند، اما قطبش VV کارایی بالاتری را نشان داد. تصاویر آلوس پالسر با دو قطبش HH و HV دقت کمتری از تصاویر سنتینل ۱ داشته ولی قطبش HV نسبت به HH دقت بیشتری داشته است. داده های رادار به دلیل برهم کنش بهتر با پدیده های سطح زمین، خط گسل را تقریباً در تمامی بخش های آن به خوبی شناسایی کرده است.

در میان تصاویر اپتیک، سنجنده OLI لندست ۸ با توان تفکیک رادیومتریکی ۱۶ بیتی بیشترین دقت را داشت. داده های سنجنده های TM و ETM+ و استر با

توان تفکیک ۸ بیتی، دقت تقریباً یکسانی را نشان دادند. داده های اپتیک به خوبی تصاویر راداری توانایی استخراج خط گسل را ندارند و فقط در مناطقی که گسل از میان سازند های سنگی عبور کرده توانسته گسل را آشکار کند، اما در بخش هایی که گسل توسط رسوبات و آبرفت پوشیده شده قابلیت زیادی ندارد.

مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن ۱۲/۵ متر و توان تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیتی بالاترین دقت و کمترین خطا را در میان داده های استفاده شده داشته است. مدل رقومی ارتفاع SRTM با رزولوشن ۳۰ متر کمترین دقت را در میان داده ها داشته است. علاوه بر این، کاربرد مدل رقومی ارتفاع در بررسی بالآمدگی سطوح پیرامون گسل بررسی شد. مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی بالا، پتانسیل بالایی برای تشخیص عوارض زمین شناسی به خصوص گسل ها دارند. همچنین می توان با بررسی های دقیق تر به نوع گسل پی برد.

به دلیل طول زیاد گسل دهشیر (حدود ۴۰۰ کیلومتر)، نقشه برداری زمینی و فعالیت های میدانی زمان بر، دشوار و دارای محدودیت است. اما داده های سنجش از

سپاسگزاری

نویسندگان از آژانس فضایی اروپا و سازمان زمین شناسی آمریکا به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های رادار، تصاویر اپتیک و داده‌های ارتفاعی تشکر و قدردانی دارند.

دور با توجه به پوشش زیاد از سطح زمین و تنوع در نوع داده‌ها، عملیات نقشه‌برداری را بسیار آسان می‌کند. از ترکیب روش‌های سنجش از دور با کارهای میدانی می‌توان به نتایج مطلوب با هزینه پایین‌تر و دقت بهتر رسید.

مراجع

- [1] "Corgne S, Magagi R, Yergeau M, Sylla D. An integrated approach to hydro-geological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS. Remote Sensing of Environment. 2010 Sep 15;114(9):1863-75."
- [2] "Ramadan TM, Fattah MF. Characterization of gold mineralization in Garin Hawal area, Kebbi State, NW Nigeria, using remote sensing. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2010 Dec 1;13(2):153-63."
- [3] "Ekneligoda TC, Henkel H. Interactive spatial analysis of lineaments. Computers & Geosciences. 2010 Aug 1;36(8):1081-90."
- [4] "Marghany M, Hashim M. Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data. International Journal of Physical Sciences. 2010 Sep 4;5(10):1501-7."
- [5] "Mountrakis G, Luo L. Enhancing and replacing spectral information with intermediate structural inputs: A case study on impervious surface detection. Remote Sensing of Environment. 2011 May 15;115(5):1162-70."
- [6] "Ramli MF, Yusof N, Yusoff MK, Juahir H, Shafri HZ. Lineament mapping and its application in landslide hazard assessment: a review. Bulletin of engineering Geology and the Environment. 2010 May 1;69(2):215-33."
- [7] "Salati S, van Ruitenbeek FJ, van der Meer FD, Tangestani MH, van der Werff H. Lithological mapping and fuzzy set theory: Automated extraction of lithological boundary from ASTER imagery by template matching and spatial accuracy assessment. International j".
- [8] "Leech DP, Treloar PJ, Lucas NS, Grocott J. Landsat TM analysis of fracture patterns: a case study from the Coastal Cordillera of northern Chile. International Journal of Remote Sensing. 2003 Jan 1;24(19):3709-26."
- [9] "Jordan G, Schott B. Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models. A case study. Remote Sensing of Environment. 2005 Jan 15;94(1):31-8."
- [10] "Jordán G, Meijninger BM, Van Hinsbergen DJ, Meulenkamp JE, Van Dijk PM. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. International journal of applied earth observation and geoinfor".
- [11] "Saadi NM, Zaher MA, El-Baz F, Watanabe K. Integrated remote sensing data utilization for investigating structural and tectonic history of the Ghadames Basin, Libya. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2011 Oct 1;13(5):77"
- [12] "Al-Dossary S, Marfurt KJ. Lineament-preserving filtering. Geophysics. 2006 Nov 27;72(1):P1-8."
- [13] "Baghdadi N, Grandjean G, Lahondère D, Paillou P, Lasne Y. Apport de l'imagerie satellitaire radar pour l'exploration géologique en zones arides. Comptes Rendus Geoscience. 2005 Jun 1;337(8):719-28."
- [14] "Hung LQ, Batelaan O, De Smedt F. Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. In Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V 2005 Oc".
- [15] "Berberian M. Evaluation of the instrumental and relocated epicentres of Iranian earthquakes. Geophysical Journal International. 1979 Sep 1;58(3):625-30."
- [16] "Mehrnahad H., Mehrshahi D. Structural and seismotectonic analysis of dehshir fault (yazd). Geographical Research. 2005 Sep 20;3(78):118-127"
- [17] Berberian M. Contribution to the seismotectonics of Iran (part II-III): In commemoration of the 50th anniversary of the Pahlavi dynasty. Ministry of Industry and Mines, Geological Survey of Iran, Tectonic and Seismotectonic Section; 1976.
- [18] "Roy DP, Wulder MA, Loveland TR, Woodcock CE, Allen RG, Anderson MC, Helder D, Irons JR, Johnson DM, Kennedy R, Scambos TA. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. Remote sensing of Environment. 2014 Apr 5;145:154-72."

- [19] "Alavipanah S, Ehsani A, Matinfar H, Rafiei A, Amiri R. Comparison of information content of tm and ETM+ bands in arid and urban areas. *Geographical Research Quarterly*. 2006 Jun 38;56:47-64".
- [20] "Abrams M. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *international Journal of Remote sensing*. 2000 Jan 1;21(5):847-59."
- [21] "ESA, 2014. <http://www.esa.int/>. Sentinel-1 User Handbook, 2013. Agence Spatiale Europe'enne (ESA).".
- [22] "Shimada M, Itoh T, Motooka T, Watanabe M, Shiraishi T, Thapa R, Lucas R. New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007–2010). *Remote Sensing of Environment*. 2014 Dec 1;155:13-31."
- [23] "Iwasaki A, Fujisada H. ASTER geometric performance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2005 Dec;43(12):2700-6."
- [24] "ELIASON E, MCEWEN A. Adaptive box filters for removal of random noise from digital images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1990 Apr 1;56(4):453-8."
- [25] "Hashim M, Ahmad S, Johari MA, Pour AB. Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery. *Advances in Space Research*. 2013 Mar 1;51(5):874-90."
- [26] "Zhumabek Z, Assylkhan B, Alexandr F, Dinara T, Altynay K. Automated lineament analysis to assess the geodynamic activity areas. *Procedia Computer Science*. 2017 Dec 31;121:699-706."
- [27] "Congalton RG, Green K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC press; 2008 Dec 12."
- [28] "Congalton RG. The use of discrete multivariate analysis for the assessment of Landsat classification accuracy. Mater thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA. 1981 Sep."
- [29] Congalton RG, Oderwald RG, Mead RA. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 1983 Dec;49(12):1671-8.
- [30] Green, B., 2002. Canny edge detection tutorial. Retrieved: March, 6, p.2005. Hanssen, R.F., 2001. Radar interferometry: data interpretation and error analysis (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- [31] Zhu, J., Wen, J. and Zhang, Y., 2013, December. A new algorithm for SAR image despeckling using an enhanced Lee filter and median filter. In 2013 6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP) (Vol. 1, pp. 224-228). IEEE.