جغرافیا و توسعه شماره ۴۸ پاییز ۱۳۹۶
وصول مقاله : ۱۳۹۵/۰۵/۲۶
تأیید نهایی : ۱۳۹۶/۰۲/۱۴
صفحات : ۷۸-۵۹

نقش زون گسله منطقه‌ی خضرآباد یزد در ایجاد حرکت‌های توده‌ای

دکتر احمدعلی زارع مهرجردی[۱]

چکیده

یکی از عوامل ایجادکننده‌ی حرکت‌های توده‌ای وجود گسل می‌باشد. حوضه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق، حوضه‌ی خضرآباد بوده که یکی از زیر حوضه‌های دشت یزد- اردکان در دامنه‌ی شمالی رشته‌کوه‌های شیرکوه یزد بین ً۳۰-َ۴۱-ْ۵۳ تا ۰۰-َ۱۲-ْ۵۴ طول شرقی و ۰۰-َ۴۶-ْ۳۱ تا ۰۰-َ۰۶-ْ۳۲ عرض شمالی واقع گردیده است و بالغ بر ۴۱۸ کیلومتر گسل در این حوضه وجود دارد. این حوضه بخشی از شهرستان صدوق بوده و در جنوب این شهرستان واقع شده است. همچنین مساحت حوضه برابر ۱۰۵۹۹۵ هکتار می‌باشد. در این پژوهش زون گسله از طریق شاخص‌های ژئومورفیک مورد شناسایی قرار گرفته و برای اثبات فعال بودن منطقه از شاخص سینوزیته جبهه کوهستان و با تشخیص خطوارگی سازندهای سنگی از طریق عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای (سنجش از دور) و نقشه‌های زمین‌شناسی اقدام شد که این شاخص در پهنه‌ی شرقی ۱/۲ و در پهنه‌ی غربی۱/۳ شد که نشان از فعال بودن حوضه از نظر مورفوتکتونیکی می‌باشد. سپس با شناسایی زون گسله در منطقه و شناخت گسل‌های اصلی و فرعی و تهیه‌ی نقشه‌ی گسل‌ها در محیط Arc GIS تأثیر زون گسله در ایجاد حرکت‌های توده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین با تهیه‌ی نقشه DEM منطقه و تلفیق آن با لایه‌های دیگر و تهیه نقشه‌های شیب و جهت در نهایت تعداد ۴۴ مورد ریزش سنگی و ۱۲ مورد ریزش بلوکی که همگی در نزدیکی گسل‌های منطقه می‌باشد شناسایی شده که نشان از نقش زون‌های گسله و گسله‌ی اصلی در ایجاد حرکت‌های توده‌ای می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: حرکت‌های توده‌ای، گسل، ریزش سنگی، ریزش بلوکی، حوضه‌ی خضرآباد.

۱- استادیار زمین‌شناسی ساختمانی گرایش زلزله، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، یزد، ایران iau_az@Yahoo.com

مقدمه

لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها *(محمودی، ۱۳۸۲: ۷۰)*.بنا به تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌لغزش عبارت است از جابجایی به سمت پایین توده‌ای از مواد بر روی یک شیب *(نصیری، ۱۳۸۳: ۴۵)*؛ و بنا به تعریفی دیگر حرکت‌های توده‌ای مواد، فرآیند ژئومورفیک طبیعی هستند که بر اساس ویژگی‌های خاص محیطی یک محل اتفاق می‌افتند *(Glade,2003:56)*. این پدیده‌ها که بخشی از فرآیندهای فرسایش دامنه‌ای هستند، سبب انتقال حجم زیادی از مواد دامنه‌ای، مانند سنگریزه‌ها، واریزه‌ها و غیره به دره‌ها می‌شوند *(Larsen & Parkes, 1997: 836)* بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیر قابل بازگشت به حساب آورده نشوند *(نصیری، ۱۳۸۳: ۳۳)*. آمار ثبت شده توسط وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸، وقوع حدود ۲۵۹۰ حرکت توده‌ای و لغزش در کشور باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ خانه، ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶ هکتار جنگل و تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شده است *(صالحی‌پور، ۱۳۸۰: ۳۸۰-۲۲۱)*.

از جمله عواملی که در ایجاد حرکت‌های توده‌ای مؤثر است وجود گسل‌ها می‌باشد. وجود انواع متفاوت گسل و نوع سازندهای هر منطقه می‌تواند تأثیرات متفاوتی را بر روی زمین ایجاد نموده و درصورتی که گسل‌ها فعال باشند باعث تکتونیزه بودن منطقه شده و موجب خردشدگی و فرو ریزش قطعات سنگی در نزدیکی خود گردیده که می‌تواند موجب خسارات مالی و جانی فراوان شود. لذا با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و همچنین مشاهدات پیمایش صحرایی در منطقه، نسبت به وجود حرکت‌های توده‌ای و میزان خطرپذیری و تعیین محدوده‌ی خطر، به واسطه‌ی وجود گسل‌های فراوانی که در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد پی برده و راهکارهای مناسبی برای به حداقل رسیدن خسارات ارائه شده‌است *(زارع‌مهرجردی، ۱۳۷۳: ۱۰۷-۹۵)*.

طرح مسأله

منطقه‌ی خضرآباد یکی از زیر حوضه‌های دشت یزد- اردکان در دامنه‌ی رشته‌کوه‌های شیرکوه، از جمله مناطقی است که زمین‌لغزش در آن به وقوع می‌پیوندد. در منطقه‌ی خضرآباد به‌دلیل وجود چندین گسل اصلی و فرعی هر ساله حرکات توده‌ای که عمدتاً به صورت ریزش می‌باشد رخ می‌دهد که جاده‌ها، راه‌های کوهستانی منطقه، زمین‌های زراعی و خصوصاً محل‌های مسکونی مردم، همچنین مردمی که به صورت گذرا از منطقه عبور می‌نمایند را مورد تهدید قرار می‌دهد *(فیض‌نیا،۱۳۸۰: ۲۱۹-۲۰۷)*. بنابراین شناخت و شناسایی این گسل‌ها و اثر آنها بر روی زمین‌لغزش در سطح منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفت و سپس راهکارهای اساسی ارائه گردید.

اهداف تحقیق

در این پژوهش اهداف متعددی دنبال می‌گردد که مهمترین آنها به شرح ذیل می‌باشد:

۱. شناسایی زون گسله و ارزیابی مکانیسم آن و ارتباط آن با نوع، میزان، پراکنش و توسعه‌ی حرکت‌های توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه.
۲. بررسی عوامل ایجاد کننده حرکت‌های توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه.
۳. ارائه‌ی‌راهکارها و پیشنهادات برای جلوگیری،کنترل و کاهش خسارات وارده در منطقه‌ی مورد مطالعه.

پیشینه‌ی تحقیق

عبدالخانی و جمالی *(۱۳۸۸: ۲۳)* در پژوهش خود برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز منشاد یزد به روش سلسله مراتبی، عوامل مختلفی را در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد بررسی قرار داده و پس از وزن‌دهی به آنها، به این نتیجه دست یافتند که عامل فاصله از گسل، پس از شیب، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی در ایجاد زمین لغزش در حوضه‌ی مورد مطالعه مؤثر بوده است.

زارع مهرجردی *(۱۳۸۹: ۱۷۲)* در تحقیق خود در حوضه‌ی البرز باختری در محدوده‌ی دو گسل منجیل و قزل‌اوزن و برای پهنه‌بندی این منطقه و بررسی فعالیّت این دو گسل با استفاده از شاخص سینوزیته جبهه‌ی کوهستان و همچنین شاخص گرادیان رودخانه نسبت به اثبات فعال بوده دو گسل اقدام نموده که این دو شاخص، فعال بودن منطقه را از نظر جنبایی و زلزله‌خیزی اثبات نموده و با توجه به فعال بودن منطقه در اثر عبور گسل‌های ذکر شده، زمینه‌ی مناسبی برای خردشدگی سازندهای نزدیک آنها شده و موجبات زلزله‌خیزی و در نهایت ایجاد زمین‌لغزش‌ها و حرکت‌های توده‌ای را فراهم آورده است *(پورحسن، ۱۳۸۹؛ پورحسین، ۱۳۸۸)*.

حسن‌زاده نفوتی و همکاران *(۱۳۹۰: ۱۰۶)* در پژوهش خود در حوضه‌ی آبخیز شلمان‌رود در استان گیلان با توجه به اینکه حوضه‌ی مذکور دارای استعداد زیاد زمین‌لغزش می‌باشد به روش ارزیابی چندمعیاره مکانی و در محیط SMCE[1] و با وزن‌دهی، عواملی چون جهت دامنه، شیب منطقه، نوع کاربری اراضی، واحدهای زمین‌شناسی، بارندگی و فاصله از گسل، جاده و رودخانه را مورد ارزیابی قرار داده که عامل گسل از لحاظ عامل ایجادکننده زمین‌لغزش پس از کاربری اراضی، زمین‌شناسی و شیب قرار گرفت *(Cacon, 2009: 331-338; Cooper, 2007: 348-377 Evans, 2007: 89-101)*.

1 -Spatial Multi Cterriia Evaluation

سؤال تحقیق

چه ارتباطی بین حرکت‌های توده‌ای و گسلش در سطح منطقه وجود دارد؟

فرضیات

۱- حرکت‌های توده‌ای در سطح منطقه از مکانیسم گسلش و نوع حرکت گسل‌ها تبعیت می‌کند.

۲- گسل‌های منطقه باعث خردشدگی سنگ‌ها در محل سطوح گسلش شده و این پدیده زمینه‌ی ایجاد حرکت‌های توده‌ای را فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی خضرآباد یکی از زیرحوضه‌های دشت یزد-اردکان در دامنه‌ی شمالی رشته‌کوه‌های شیرکوه بین ″۳۰′۴۱-۵۳ درجه تا ″۰۰′۱۲-۵۴ درجه طول شرقی و ″۰۰′۴۶-۳۱ درجه تا ″۰۰′۰۶-۳۲ درجه عرض شمالی واقع گردیده است (شکل۱). این منطقه بخشی از شهرستان صدوق بوده و در جنوب این شهرستان واقع شده و مساحت آن برابر ۱۰۵۹۹۵ هکتار می‌باشد. در این پژوهش زون گسله از طریق شاخص‌های ژئومورفیک مورد شناسایی قرار گرفته و برای اثبات فعال بودن منطقه، از شاخص سینوزیته جبهه کوهستان و با تشخیص خطوارگی سازندهای سنگی از طریق عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی خصوصاً نقشه‌ی رقومی زمین‌شناسی اقدام شد. پس از شناسایی زون گسله در منطقه و شناخت گسل‌های اصلی و فرعی و تهیه‌ی نقشه‌ی تکتونیک یا گسل‌ها در محیط ArcGIS به ارزیابی حرکت‌های توده‌ای ایجاد شده توسط گسل‌ها پرداخته، سپس تأثیر زون گسله در ایجاد حرکت‌های توده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت *(مرتضوی چمچالی، ۱۳۸۸: ۱۰۳-۸۷)*.لذا ابتدا نقشه‌های توپوگرافی

حوضه‌ی مورد مطالعه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه و اسکن شده و توسط نرم‌افزار ArcGIS با مختصات UTM[1] ژئورفرنس و رقومی گردید. سپس مرز حوضه‌ی مورد مطالعه، بر اساس خطوط توپوگرافی، خط‌الرأس ارتفاعات و آبراهه‌ها ترسیم شده و برای اطمینان از صحت مرز ترسیمی، آن را به صورت فرمت kmz بر روی گوگل‌ارث منتقل گردید. سپس با ترسیم توپوگرافی،لایه‌هایی چون DEM[2](مدل رقومی ارتفاع)، شیب و جهت تهیه شد. مدل رقومی ارتفاع این امکان را می‌دهد که با توجه به مختصات، بتوان عکس‌های هوایی منطقه را به سهولت با مختصات زمینی بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی، تطبیق داد *(Bouissou,2011:157-166)*.

برای جهت دید مناسب‌تر، تصویر سنجنده ETM+ یا لندست۷ نیز تهیه و استفاده شد*(مطهری‌نیا، ۱۳۹۰)*.

پس از آن لایه‌هایی چون آبادی‌ها و راه‌ها و با رقومی نمودن نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه لایه‌هایی چون زمین‌شناسی حوضه و گسل‌ها ایجاد شده تا فاصله‌ی روستاها و راه‌ها از گسل‌های اصلی و فرعی مشخص و میزان آسیب‌پذیری هر کدام در برابر حرکت‌های توده‌ای ایجاد شده توسط گسل‌های منطقه‌ی مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس با توجه به اطلاعات به دست آمده از تصاویر گوگل ارث، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه، نسبت به شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش و سنگ افت که اغلب در نزدیکی گسل‌های اصلی بوده، اقدام شد. همچنین با بازدیدهای میدانی مشخص و مناطقی که ریزش‌های سنگی در آن اتفاق افتاده مشخص و با استفاده از دستگاه GPS طول و عرض نقاط برداشت شده و ورود کلیه‌ی این نقاط به نرم‌افزار ArcGIS، لایه‌هایی چون، ریزش‌های سنگی، محدوده‌ی پتانسیل زمین-لغزش و محدوده‌ی خطر گسل‌های اصلی حوضه ایجاد شده بررسی و نهایتاً با تلفیق لایه‌های ایجاد شده و گرفتن خروجی به صورت نقشه و جدول و گراف، نسبت به تفسیر و ارائه نتایج اقدام شده است *(Blachowski, 2010: 349-354)*

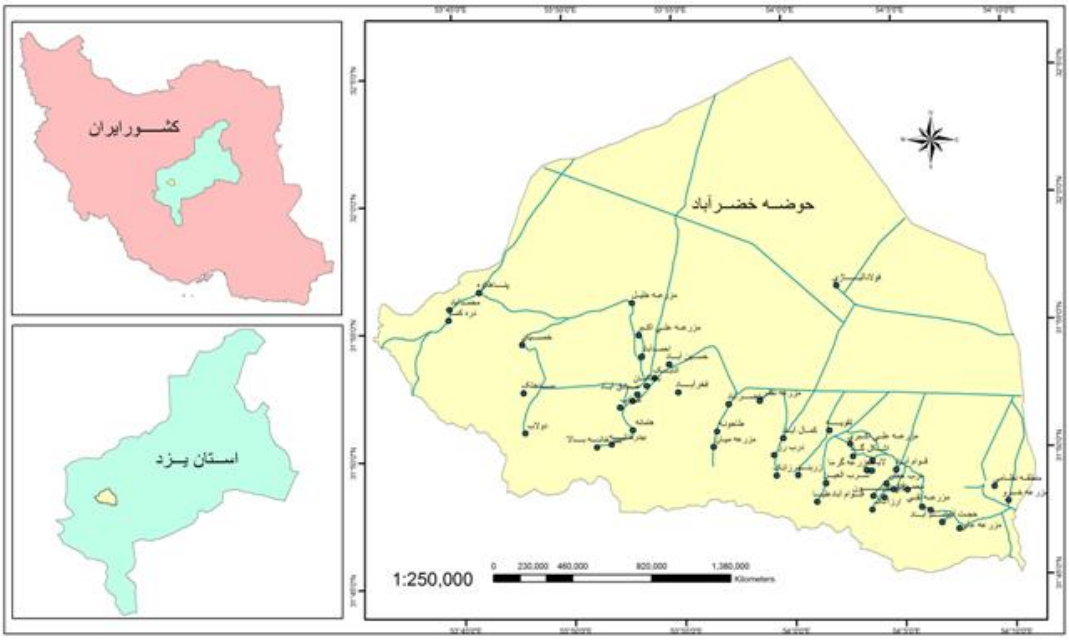
شاخص سینوزیته جبهه کوهستان

این شاخص به ارتباط میان قدرت رودخانه و نشیب جبهه کوهستان می‌پردازد. بدین‌ترتیب که جبهه‌های کوهستانی که در پیشانی آنها گسل‌های فعال وجود داشته و دائماً در حال بالاآمدگی است، شکل‌مستقیمی داشته که به صورت خطواره در تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی کاملاً مشخص است. در پهنه‌هایی که میزان بالاآمدگی و جنبایی ناچیز باشد، فرسایش اثر کرده و جبهه کوهستانی شکل سینوسی به‌خود می‌گیرد. بر پایه‌ی این دیدگاه شاخص سینوزیته به صورت زیر تعریف شده است

در این رابطه :

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

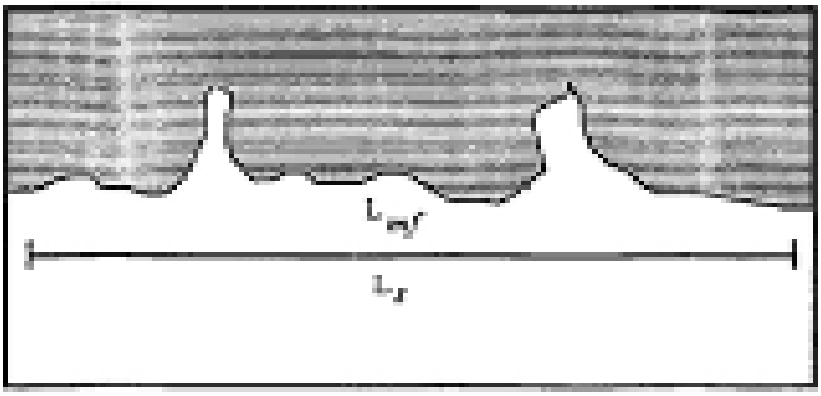
1-Universal Transverse Mercator
2-Digital Elevation Model



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه نسبت به استان یزد وایران

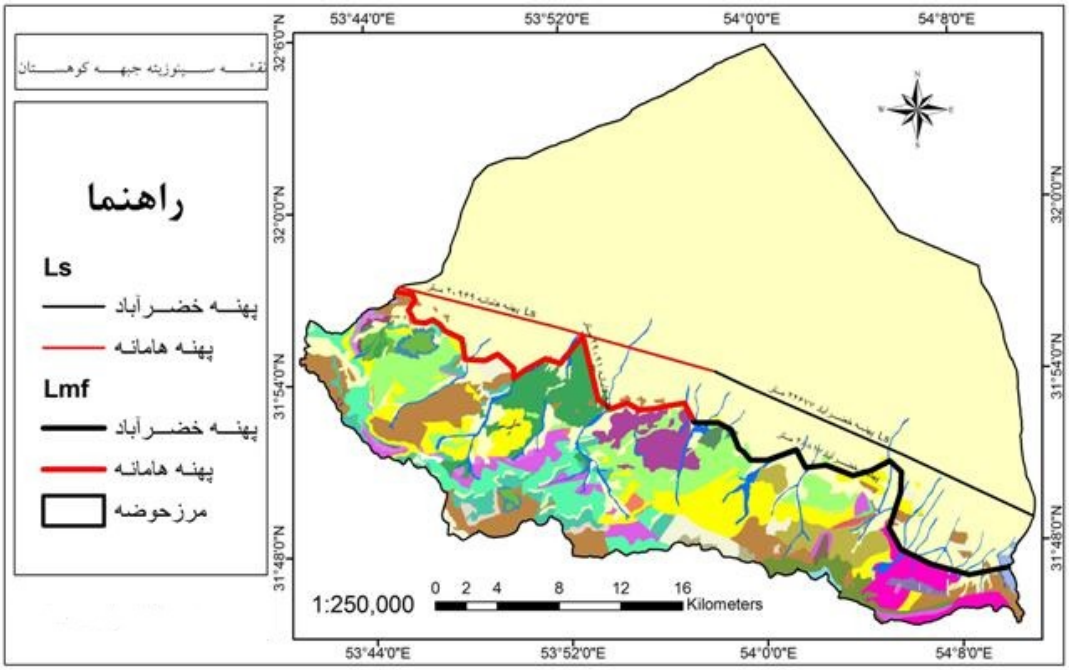
تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

Lmf طول جبهه‌ی کوهستان در فاصله بین کوهستان و کوهپایه و Ls که طول مستقیم جبهه کوهستان است (شکل ۲و۳). پهنه‌ی حوضه‌ی مورد مطالعه به دو جبهه‌ی شرقی و غربی تقسیم و شاخص سینوزیته جبهه‌ی کوهستان در آن اندازه‌گیری شده که در جدول شماره‌ی ۱ آمده است.



شکل۲: نمایی شماتیک از طول جبهه کوهستان (Lmf) و طول مستقیم جبهه کوهستان (Ls)

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴



شکل۳: نقشه سینوزیته جبهه کوهستان در حوضه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۴

جدول ۱: نتایج اندازه‌گیری شاخص Smf در پهنه‌های حوضه‌ی مورد مطالعه

نام پهنه	Lmf (متر)	Ls (متر)	Smf
پهنه خضرآباد (شرقی)	۲۸۸۱۷	۲۲۶۷۷	۱/۲
پهنه هامانه (غربی)	۲۹۰۹۱	۲۰۹۶۹	۱/۳

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۴

بر اساس نظریه سامرفیلد که در کتاب Global Geomorphology آورده شده است رابطه بین Smf و وضعیت حوضه از نظر فعالیّت زمین‌ساخت به صورت زیر می‌باشد: اگر Smf برابر ۱ باشد منطقه بسیار فعال، Smf بین ۱ تا ۱/۵ باشد منطقه فعال، Smf بین ۱/۵ تا ۲ احتمال فعالیت، Smf بیش از ۲ باشد غیر فعال. بنابراین با توجه به این‌که شاخص سینوزیته جبهه‌ی کوهستان در پهنه‌ی خضرآباد (شرقی) برابر ۱/۲ و برای پهنه‌ی هامانه (غربی) برابر ۱/۳ شده است پس نشان‌دهنده‌ی فعال‌بودن‌منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر فعالیت‌های زمین‌شناسی و زمین‌لغزش‌ها می‌باشد *(Sumerfield, 1999: 56)*.

گسل‌های حوضه

در حوضه‌ی مورد مطالعه گسل‌های فراوان دیده می‌شودکه همگان از دو روند مخالف پیروی‌می‌نمایند. گسل‌هایی با راستای شمال غربی، جنوب شرقی از نوع امتداد لغز راست گرد و گسل‌هایی با راستای شمال شرقی، جنوب غربی که جوان‌تر از گسل‌های نوع اول است و دارای حرکات چپ‌لغز هستند. گسل‌ها یکی از عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های

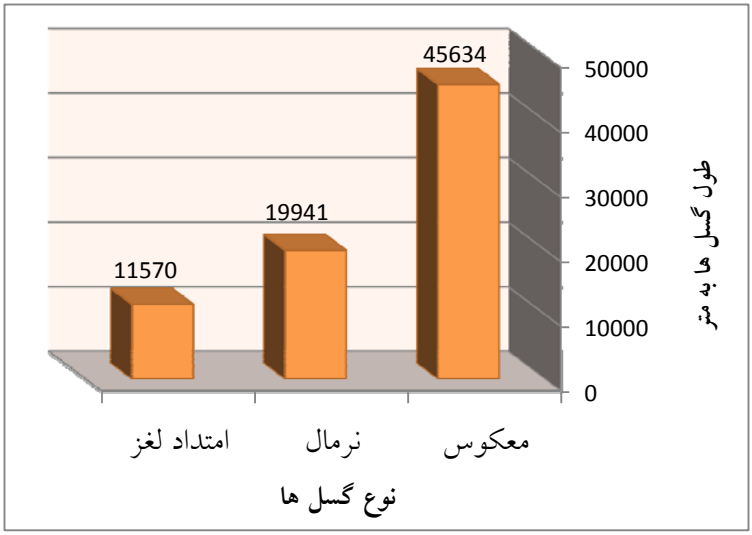
ایجاد شده در حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد از این رو به بررسی دقیق آن پرداخته شده است. (شکل۱۱)

بر اساس نظر برخی محققان در صورتی که مجموع طول گسل‌های معکوس (گسل‌هایی که با گسل اصلی زاویه‌ای بین ۳۰ تا ۸۹ درجه دارد) در حوضه تنش گسل اصلی، بیشتر از مجموع طول گسل‌های نرمال (گسل‌هایی که زاویه‌ی آن‌ها با گسل اصلی بین ۰ تا ۲۹ درجه است) باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که منطقه از لحاظ تکتونیکی فعال بوده و در حال بالا آمدن می‌باشد و این بالاآمدگی زمینه‌ی حرکت‌های توده‌ای خصوصاً ریزش‌های سنگی و بلوکی را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، شاخص سینوزیته جبهه‌ی کوهستان نیز بر این مدعا که منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی فعال می‌باشد، صحه گذاشته است. لذا با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، لایه‌های گسل‌های معکوس و نرمال را در محدوده‌ی تنش هر یک از گسل‌های اصلی ایجاد نموده و طول هر یک از گسل‌ها را محاسبه و به صورت نمودار نشان داده است.

- گسل‌های اصلی حوضه

- گسل اصلی تفت

این گسل در بخش‌های جنوب شرقی حوضه مستقر و بالغ بر ۱۸۴۲۰ متر طول دارد ولی طول آن در حوضه‌ی مورد مطالعه ۱۱۵۷۰ متر بوده و مابقی آن در حوضه‌ی مجاور یعنی حوضه‌ی تفت می‌باشد. این گسل بر روی سازندهای نایبند، باروت، تناوب کنگلومرا و ماسه‌سنگ و سازند تفت اثر می‌گذارد.



نمودار ۱: طول گسل اصلی تفت و گسل‌های فرعی آن - گسل اصلی خضرآباد

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

این گسل که در جنوب روستای خضرآباد واقع گردیده و بالغ بر ۱۰۴۵۵ متر طول دارد دارای روند جنوب شرقی- شمال غربی و سازندهای نایبند، سلطانیه و سازند کهر در حوضه عملکرد این گسل قرار دارند.

شکل ۴: نمای قسمتی از گسل اصلی خضرآباد

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

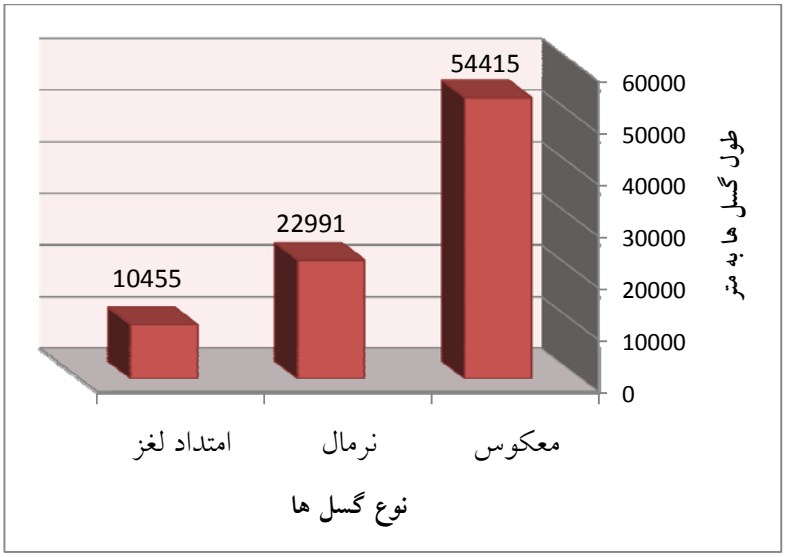
شکل ۵: نمایی از ریزش‌های سنگی در زمین‌های کشاورزی روستای درب رز نزدیک گسل فرعی خضرآباد

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

شکل ۶: نمای گسل معکوس و واریزه‌های سنگی و بلوکی اطراف آن در حوضه تنش گسل خضرآباد

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

طول گسل‌های معکوس بالغ بر ۵۴۴۱۵ متر و طول گسل‌های نرمال برابر ۲۲۹۹۱ متر می‌باشد (نمودار ۲).



نمودار ۲: طول گسل اصلی خضرآباد و گسل‌های فرعی آن

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

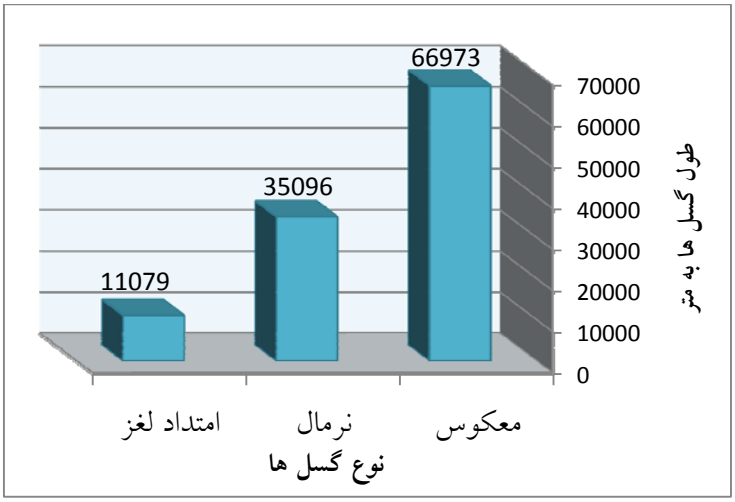
- گسل هامانه

این گسل در بخش‌های جنوبی حوضه قرار داشته و از دره هامانه تا جنوب روستای خضرآباد ادامه دارد و بالغ بر ۱۱۰۷۹ متر طول و سازندهای آهک و آهک دولومیتی، سازند نایبند، سازند شتری، شیل ماسه سنگ کوارتزیتی و سازند سلطانیه را تحت تأثیر و تنش خود قرار می‌دهد.

شکل ۷: نمای قسمتی از گسل اصلی هامانه نزدیک روستای هامانه

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

طول گسل‌های معکوس در حوضه‌ی تنش گسل اصلی هامانه برابر ۶۶۹۷۳ متر و طول گسل‌های نرمال برابر ۳۵۰۹۶ متر می‌باشد (نمودار ۳).

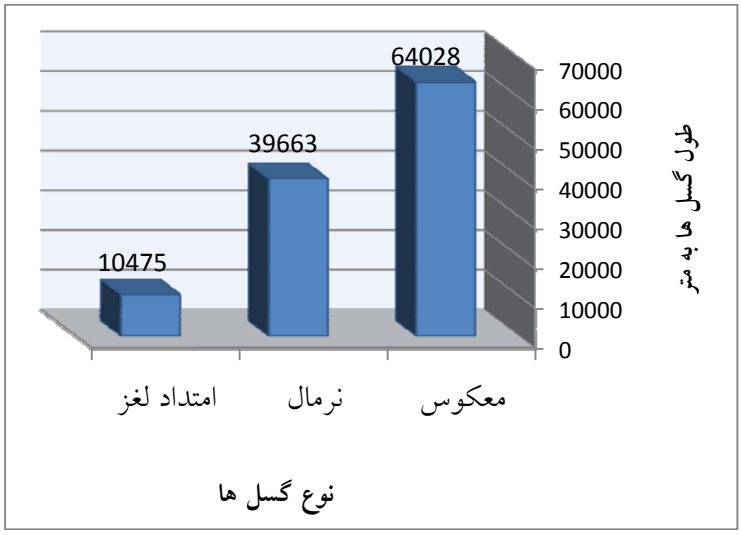


نمودار ۳: طول گسل اصلی هامانه وگسل‌های فرعی آن

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

- گسل میل سفید

این گسل در غرب حوضه قرار دارد و طول آن ۱۰۴۷۵ متر می‌باشد و سازندهای شتری، سنگ‌های آتشفشانی داسیت،سنگ‌های آتشفشانی توف داسیت، تراس‌های‌بلند و قدیمی، سازند سلطانیه، سازند لالون، آهک و آهک دولومیتی و سازند نایبند را تحت تأثیر و تنش خود قرار می‌دهد. طول گسل اصلی میل سفید ۱۰۴۷۵ متر و طول گسل‌های معکوس برابر ۶۴۰۲۸ متر و طول گسل‌های نرمال برابر ۳۹۶۶۳ متر می‌باشد (نمودار ۴).



نمودار ۴: طول گسل اصلی میل سفید و گسل‌های فرعی آن

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

شکل ۸: قسمتی از گسل میل سفید

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

- گسل‌های فرعی

این گسل‌ها بالغ بر ۳۴۸ کیلومتر طول دارند و سازندهای زاگون ولالون، سازند تفت، شیل ماسه سنگ کوارتزیتی با میان لایه‌های آهک ماسه‌ای، سازند کهر و مراد-شیل و ماسه‌سنگ، سازند سلطانیه- دولومیت با گروهک‌های چرتی شیل‌دار و سازند نایبند را تحت تأثیر قرار می‌دهند که خود به دو دسته گسل‌های نرمال و گسل‌های معکوس تقسیم‌بندی می‌شوند. سازندهای مستقر در محل‌های عبوری گسل‌های معکوس معمولاً از خردشدگی بیشتری برخوردارند لذا انجام عملیات سازه‌ای و آبخیزداری در این‌مناطق بایستی از دقت و ملاحظات بیشتری برخوردار باشد.

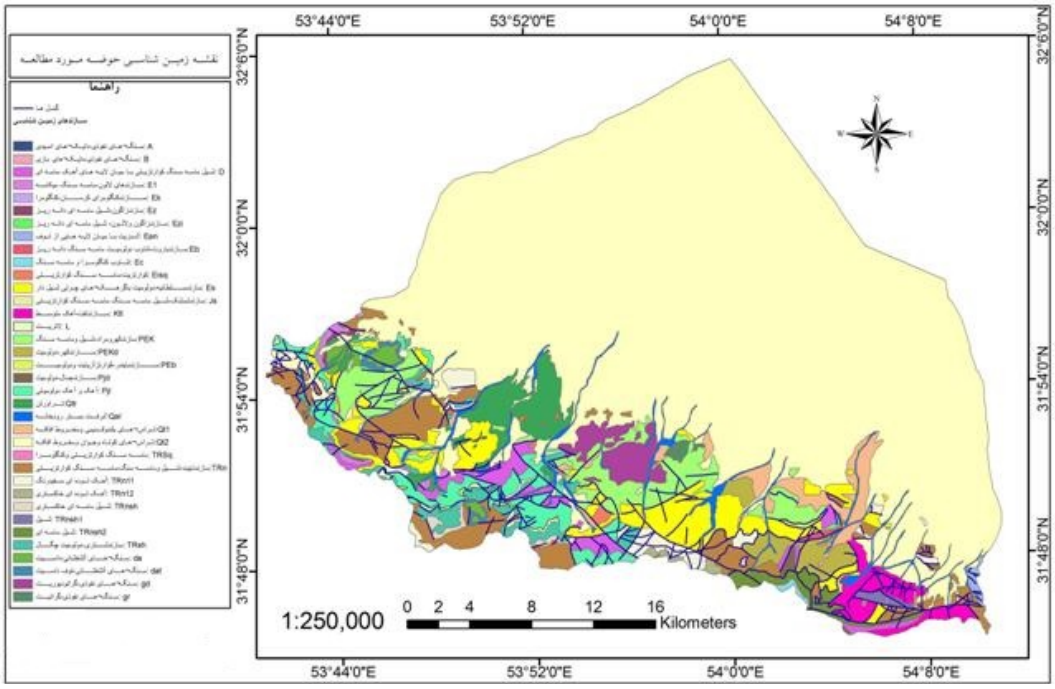
شکل ۹: نمای طرح آبخیزداری در نزدیکی گسل فرعی خضر آباد

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

-گسل‌های راندگی

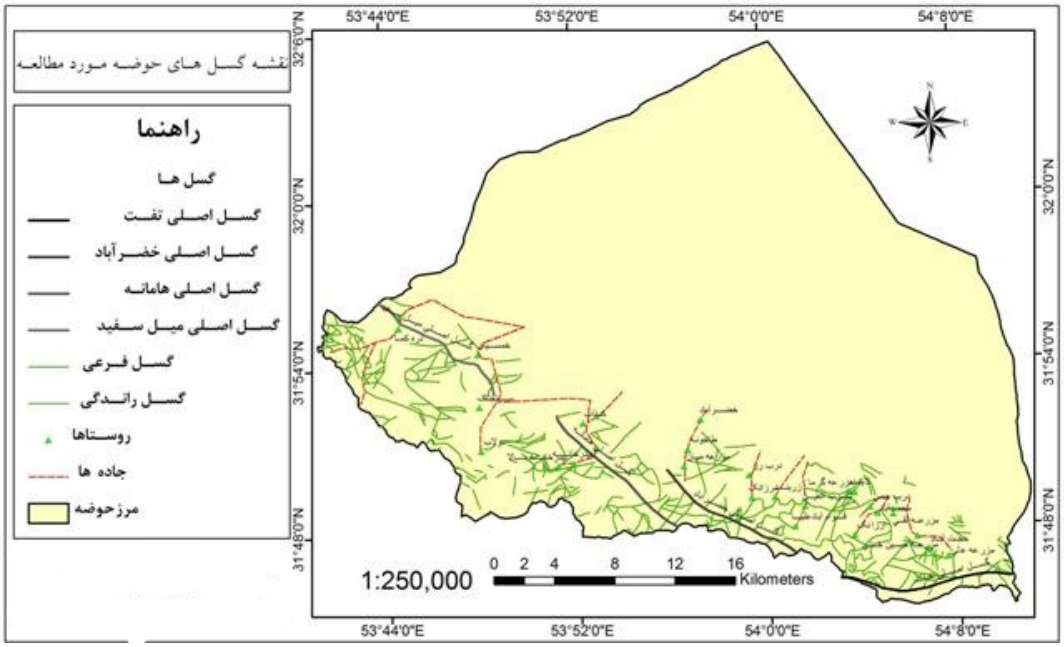
طول این گسل‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه بالغ بر ۲۹ کیلومتر بوده که دارای شیب حدود ۶۵-۷۰ درجه می‌باشد و سازندهای کهن (باروت) و جوان (آواری‌های ائوسن) را روی سنگ‌های پالئوزوئیک و مزوزوئیک رانده است.

در هر منطقه بسته به شرایط محیطی یک یا چند عامل نقش اصلی را در وقوع ناپایداری و گسیختگی شیب دارند و عوامل دیگر وجودشان می‌تواند تسریع-کننده ناپایداری باشد. عواملی که به دست انسان و در طبیعت اعمال می‌شود و باعث ایجاد زمین‌لغزش می‌گردد، عوامل مصنوعی نام دارند.



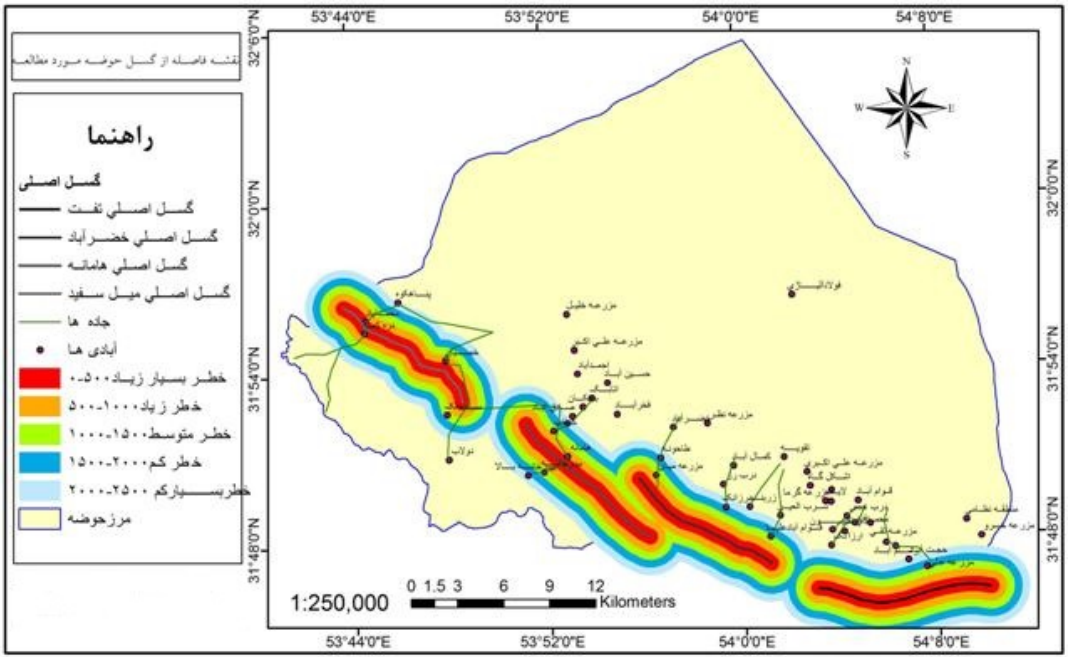
شکل ۱۰: نقشه زمین‌شناسی حوضه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴



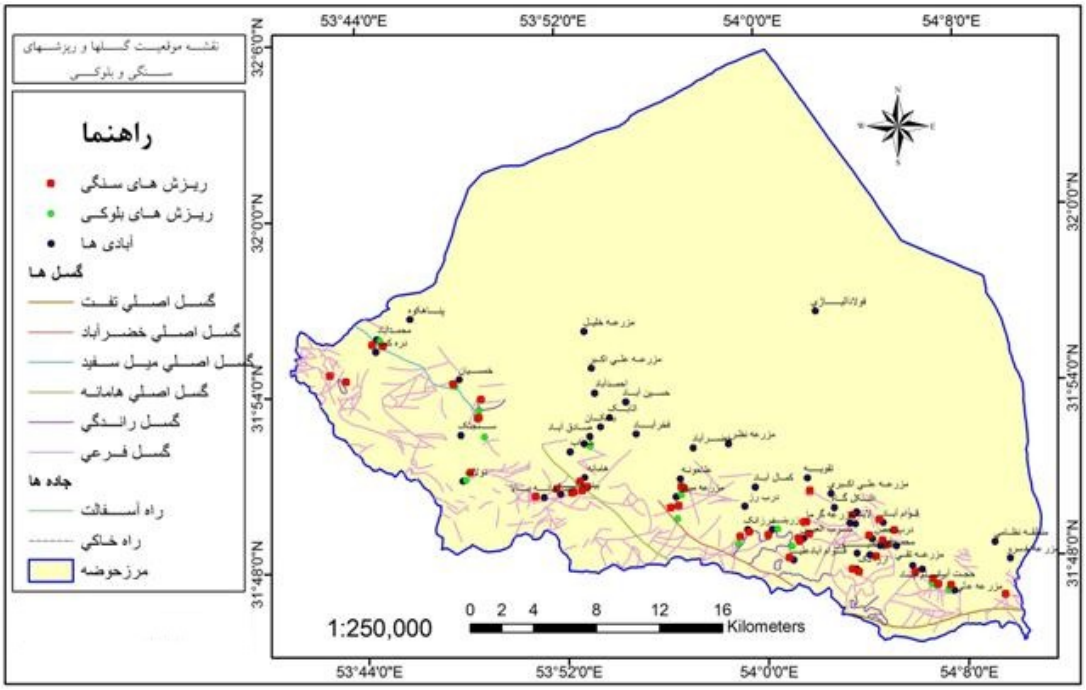
شکل ۱۱: نقشه گسل های حوضه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴



شکل ۱۲: نقشه فاصله از گسل (محدوده تحت تنش گسل‌های اصلی) حوضه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴



شکل ۱۳: نقشه موقعیت گسل‌ها و ریزش‌های سنگی و بلوکی

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

- سایر عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری و لغزش

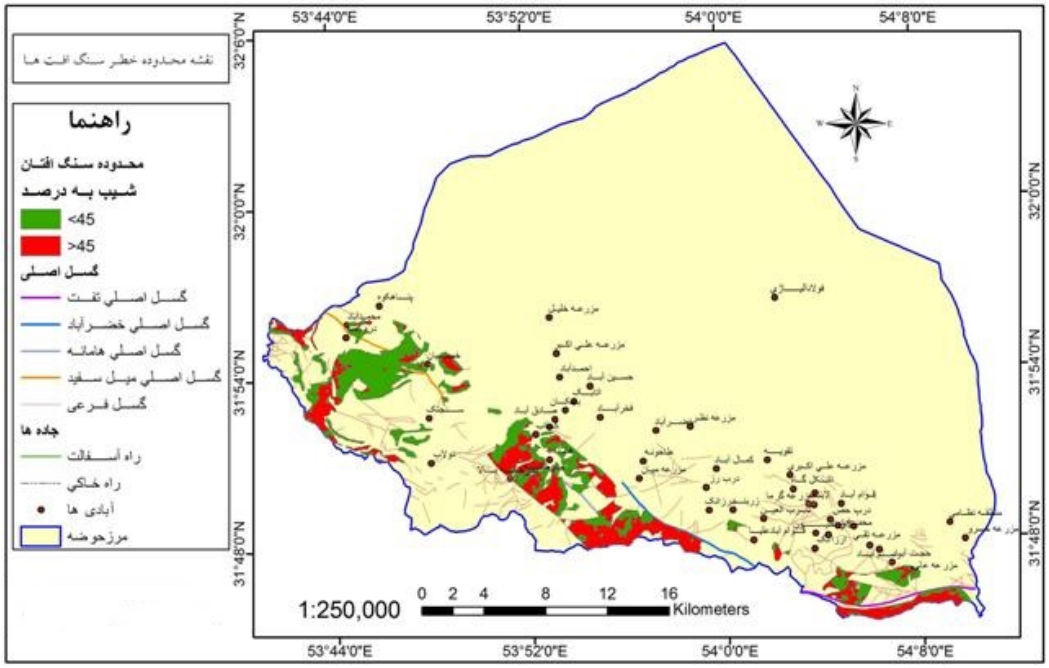
-تأثیر شرایط لیتولوژیکی در گسیختگی و لغزش منطقه

پارامترهای مقاومت برشی مواد تشکیل‌دهنده‌ی شیب‌ها شامل چسبندگی و ضریب اصطکاک داخلی (φ-C) نشان داده می‌شود، ارتباط بسیار نزدیک با نوع لیتولوژی مواد دارند. در دو شیب تحت شرایط تنشی مشابه شیبی که مقاومت برشی کمتر دارد زودتر و سریع‌تر گسیخته می‌شود و میزان هوازدگی می‌تواند نقش تعیین کننده در تغییر این پارامترها داشته باشد. از طرف دیگر پارامترهای فیزیکی خاک همانند وزن، حجم (V) میزان تخلخل و پوکی نیز که به نحوی از لیتولوژی و بافت تبعیت می‌کنند، نقش مؤثری در پایداری شیب دارند. شدت هوازدگی رابطه‌ی معکوس با مقدارC یا چسبندگی مواد تشکیل‌دهنده‌ی شیب دارد. هر چه C کمتر باشد سنگ یا خاک سست‌تر و کم مقاومت‌تر، تأثیر هوازدگی که باعث فرسایش و ناپایداری سطحی و عمقی توده می‌شوند، بیشتر خواهد بود. آن‌چه مسلم است تجارب علمی و عملی نشان می‌دهد که سنگ‌های رسوبی و تبخیری به دلیل شرایط خاص تشکیل بافت و ساخت نسبت به اغلب سنگ‌های دگرگونی و آذرین سست‌تر و کم مقاومت‌تر هستند و گستره مقاومت برشی آن‌ها نسبتاً پایین است و لذا برای گسیختگی و لغزش با فرض ثابت گرفتن دیگر شرایط مؤثر در ناپایداری، مستعدتر می‌باشد.

-عامل میزان‌شیب و تأثیر آن در بروز ناپایداری

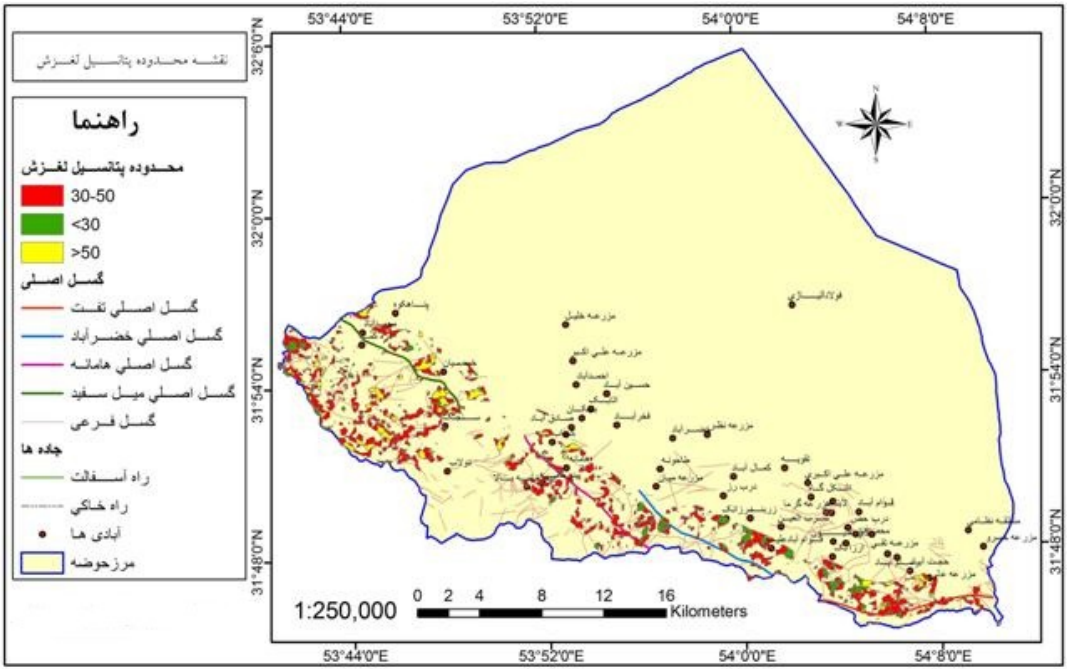
عامل شیب نیز از عوامل مؤثر عمده در بروز ناپایداری‌ها در حوضه‌ی موردمطالعه می‌باشد. افزایش شیب دامنه موجب افزایش نیروهای مخرب و ناپایداری و گسیختگی شیب‌ها می‌گردد. بر این اساس زمین لغزش‌ها بر روی شیب‌های کمتر از ۲۵ درجه پدید نمی‌آیند و ۹۰ درصد لغزش‌ها بر روی دامنه‌هایی با شیب ۳۰-۵۰ درجه اتفاق افتاده‌اند. بیش از ۶۶/۳ کیلومتر مربع که بالغ بر ۶/۲۶ درصد از حوضه می‌باشد، دارای شیب ۵۰-۳۰ درجه است.

در شیب‌های بسیار بالا (معمولاً بالاتر از ۴۵ درجه) بیشتر احتمال وقوع نوعی ناپایداری سنگی به نام سنگ‌افتان است. مساحت تشکیل‌دهنده‌ی شیب‌های بالای ۴۵درجه بالغ بر ۱۲۳/۲۵ کیلومترمربع می‌باشد که ۱۱/۶ درصد از حوضه را می‌پوشاند. بنابراین شرایط وقوع سنگ‌افت در حوضه‌ی موردمطالعه کاملاً مهیاست که منجر به ریزش‌های سنگی گردیده است. این پدیده معمولاً در سنگ‌های سخت آهکی که دارای شکستگی فراوان هستند و در شیب‌های تند واقع شده‌اند، اتفاق می‌افتد. بدیهی است پارامتر زلزله نیز می‌تواند به عنوان عامل تحریک کننده سبب تشدید و تسریع وقوع این پدیده شود. البته قابل ذکر است که پارامترهای دیگر علاوه بر آن‌چه ذکر شد ممکن است در وقوع سنگ افت تأثیر داشته باشند، مثلاً ضعیف بودن و یا فرسایش یافتن لایه‌های زیرین طبقات سنگی و هوازدگی و یخبندان را در این رابطه می‌توان برشمرد. به هر حال با توجه به ریزشی بودن حوضه نقش پارامترهای مؤثر در پدیده‌ی سنگ افتان‌ها، می‌توان با تلفیق نقش پارامترهای لیتولوژی، شیب، زلزله و حضور گسل‌های اصلی و فرعی، پهنه‌های مستعد ریزش‌های سنگی را شناسایی کرد.



شکل۱۴: نقشه‌ی محدودهی خطر سنگ افت‌های حوضه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴



شکل ۱۵: نقشه محدوده‌ی پتانسیل زمین لغزش حوضه‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارنده، ۱۳۹۴

شرایط وقوع سنگ افت در حوضه

این شرایط در حوضه کاملاً مهیاست که منجر به ریزش‌های سنگی گردیده است. این پدیده معمولاً در سنگ‌های سخت آهکی که دارای شکستگی فراوان هستند و در شیب‌های‌تند واقع شده‌اند، اتفاق می‌افتد. بدیهی است پارامتر زلزله نیز می‌تواند به عنوان عامل تحریک‌کننده‌ی سبب تشدید و تسریع وقوع این‌پدیده شود. البته قابل ذکر است که پارامترهای دیگر علاوه بر آن‌چه ذکر شد ممکن است در وقوع سنگ افت تأثیر داشته باشند، مثلاً ضعیف بودن و یا فرسایش یافتن لایه‌های زیرین طبقات سنگی و هوازدگی و آلتراسیون و غیره را در این رابطه می‌توان برشمرد.

به هر حال با توجه به ریزشی بودن حوضه نقش پارامترهای مؤثر در پدیده سنگ افت‌ها می‌توان با تلفیق نقش پارامترهای لیتولوژی،شیب، زلزله و حضور گسل‌های اصلی، پهنه‌های مستعد ریزش‌های سنگی را شناسایی کرد (شکل ۱۴).

دخالت دیگر عوامل مؤثر در فرسایش و هوازدگی سنگ‌ها و خاک‌ها می‌تواند به شدت بر روی مقاومت برشی یک توده سنگ یا خاک تأثیر جدی بگذارد. شدت درزه‌داری و حضور خردشدگی‌های تکتونیکی که عامل اصلی نفوذ آب به داخل توده‌هاست می‌توانند به شدت، مقاومت برشی یک سنگ یا خاک را کاهش دهند

نتایج حاصل از عامل زلزله و تأثیر آن در وقوع زمین لغزش

سرعت وقوع ناپایداری و لغزش دامنه‌ها بستگی به سرعت و میزان بار اعمال شده و اختلاف آن با نیروهای مقاومت سطح لغزش دارد. زمین لغزش‌های زلزله‌ای دارای سرعت وقوع بسیار بالا هستند که علت اعمال نیروهای ناگهانی ناشی از شتاب زلزله و ایجاد اختلاف زیاد بین میزان بار اعمال شده و نیروهای مقاومت سطح لغزش می‌باشد. بر اساس تغییر پتانسیل لرزه‌زایی و با استفاده از فرمول‌های ذکر شده در فصل قبل، بزرگی زمین لرزه، شدت تخریب، شتاب در محل کانون زلزله و میزان جابه‌جایی در اثر حرکت احتمالی گسل‌های محدوده‌ی مورد مطالعه، دوره تناوب و مدت نوسان زمین لرزه محاسبه شده و با توجه به اینکه عمر مفید سازه‌های آبخیزداری کمتر از ۵۰ سال (۳۰ سال) درنظر گرفته می‌شود مقادیر شدت و شتاب ثقل زمین در حوضه به‌شرح جدول ذیل‌می‌باشد (جدول۱).

فرمول‌های مورد استفاده در برآورد زلزله

$$Ms=5.4+\text{Log } L$$

(Mohajer Ashjai & Norouzi, 1978)

L = طول گسلش زمین لرزه بر حسب کیلومتر و برابر با ۵۰ درصد طول گسل فرض شده است.

$$Ms=1.259+1.244\text{Log } L$$ *(Norouzi, 1978)*

L = طول گسلش برحسب متر

توان لرزه‌ای گسل‌های اساسی گستره طرح که بر اساس دو فرمول فوق محاسبه شده اختلاف کمی با یکدیگر دارند *(Ambraseys, 1974: 85)* که در این‌جا از فرمول اولی استفاده گردیده است. بین بزرگی و شدت زمین لرزه سه رابطه زیر را می‌توان نام برد:

$$Io=1.7Ms-2.8$$ *(Norouzi, 1978)*

$$M=0.77Io-0.07$$ *(Ambraseys, 1982)*

$$I=Io+3.44-0.002D-3.10\text{Log } D$$

نتیجه

بر اساس شاخص سینوزیته جبهه کوهستان که در دو پهنه خضرآباد و هامانه با توجه به اندازه‌گیری دو کمیّت Lmf وLs مقادیر Smf برای پهنه‌ی خضرآباد برابر ۱/۲ و پهنه‌ی هامانه برابر ۱/۳ مشخص گردید که

این منطقه از نظر شاخص مزبور به عنوان منطقه‌ی فعال تقسیم‌بندی گردید

با توجه به خطوارگی ساختارهای زمین‌شناسی و عملکرد گسل‌ها که از طریق عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ی توپوگرافی و زمین‌شناسی کاملاً مورد ارزیابی قرار گرفت مشخص گردید که پهنه‌های خضرآباد و هامانه از این نظر نیز جزء پهنه‌های فعال مطرح می‌باشد و حرکت‌های توده‌ای اتفاق افتاده رابطه‌ی مستقیمی با گسلش در سطح منطقه دارد.

با عنایت به کوهستانی بودن حوضه‌ی مورد مطالعه و وجود گسل‌های فراوان که با توجه به نقشه‌ی مدل ارتفاعی یا DEM[1] حوضه، ارتفاع بین ۱۸۵۰ تا ۲۷۵۰ متر معادل ۲۷۸ کیلومترمربع بوده که ۲۶ درصد مساحت حوضه‌ی مورد مطالعه را در بر می‌گیرد و بالغ بر ۹۵ درصد گسل‌ها قرار داشته و اغلب حرکت‌های توده‌ای حادث شده در این ارتفاعات رخ داده است و با توجه به وجود گسل‌های معکوس بیشتر نسبت به گسل‌های نرمال در حوضه‌ی عملکرد گسل‌های اصلی، فعال بودن منطقه و در نتیجه‌ی آن ایجاد حرکت‌های توده‌ای را باعث گردیده است.

بر اساس نظر ریدل[2] (۱۹۲۹) در این مورد که بیشتر بودن گسل‌های معکوس نسبت به گسل‌های نرمال نشان از فعال بودن منطقه دارد این نظریه را به اثبات می‌رساند که حوضه‌ی مورد مطالعه فعال بوده و حرکت‌های توده‌ای اتفاق افتاده در این حوضه، از مکانسیم گسلش نشأت می‌گیرد و این گسل‌ها باعث خرد شدن سنگ‌های سطوح خود شده و زمینه‌ی ایجاد حرکت‌های توده‌ای را در سطح منطقه باعث گردیده است.

1-Digital Elevation Model
2-Riedel

منابع

- پورحسن، علی؛ حسن حاجی‌حسینلو (۱۳۸۹). بررسی پدیده زمین‌لغزش در جنوب غربی خوی، شمال باختری ایران، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین. دانشگاه ارومیه.
- پورحسین، سپیده؛ مرضیه قاسمی؛ عاطفه منتظم (۱۳۸۸).ارزیابی‌کارایی مدل‌پهنه‌بندی‌خطرزمین‌لغزش حائری- سمیعی در حوزه‌ی آبخیز قورچای رامیان. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- حسن‌زاده نفوتی، محمد؛ مسلم چابک؛ زهره ابراهیمی خوسفی (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره مکانی (SMCE) (مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز شلمان‌رود)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد نوزدهم. شماره اول. صفحات ۱۱۶-۹۹.
- زارع‌مهرجردی، احمدعلی (۱۳۷۳). تحلیل دگر شکلی گسل دهشیر- بافت در عرض جغرافیایی ۳۲/۳۰-۳۰، پایان نامه کارشناسی ارشد. صفحات ۱۰۷- ۹۵.
- زارع مهرجردی، احمدعلی (۱۳۸۹). پهنه‌بندی ناحیه البرز باختری براساس شاخص‌های‌ریخت زمین‌ساخت. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۱. صفحات ۱۸۷- ۱۶۷.
- صالحی‌پور، علیرضا (۱۳۸۰). بررسی پارامترهای هیدرومورفیک مؤثر در حرکات دامنه‌ای حوضه‌ی آبریز قوری‌چای با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- عبدالخانی، علی؛ علی‌اکبر جمالی (۱۳۸۸). کاربرد GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و مقایسه ارجحیت عوامل مؤثر در ایجاد لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد یزد)، همایش و نمایشگاه ژئوماتیک.

- فیض‌نیا، سادات؛ حسن احمدی؛ محمد حسن‌زاده‌نفوتی (۱۳۸۰). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه‌ی آبخیز شلمان‌رود در استان گیلان، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۴. شماره ۴. صفحات ۲۱۹-۲۰۷.
- محمودی، فرج ا... (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه تهران.
- مرتضوی‌چمچالی، منوچهر؛ شهروز حق‌نظر (۱۳۸۸). بررسی خطر حرکات دامنه‌ای و زمین‌شناسی مهندسی روستای دولت‌آباد در شمال‌شرق رودبار، فصلنامه تخصصی زمین و منابع. پیش شماره ۲. صفحات ۱۰۳- ۸۷.
- مطهری‌نیا، محمدمهدی (۱۳۹۰). بررسی وضعیت و عوامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای در منطقه سانیج یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.
- نصیری، شهرام (۱۳۸۳). نگرشی بر زمین‌لغزش‌های ایران (بررسی موردی ناپایداری شیب‌ها در جاده هراز)، پایگاه ملی علوم زمین کشور. آدرس سایت: www.ngdir.com .
- Ambraseys N. N (1974) . Historical seismicity of North-Centeral Iran . In materials for the study of seismotectonics of Iran، North-Centeral Iran Geol,Surv,Iran, Rep,29. PP:47-95.
- Blachowski J, Milczark W,and Cacon S (2010). Project of a rock mass surface deformation monitoring system in the Walbrzych coal basin. Acta Geodyn , Geomater, Vol ,7,No.3,349-354.
- Bouissou S, Darnault R. Chemenda A. Rolland Y (2011). Evolution of gravity-driven rock slope failure and associated fracturing: Geological analysis and numerical modeling . journal Tectonophysics, 526, 157-166.
- Cacon S, Wojewoda J, and Kaplon J (2009). Geodynamic studies in the gory stolowe national park area. Acta Geodyn, Geomater, Vol .6, No 3, 331- 338.
- Cooper R.G (2007). Mass Movements in Great Britain.Geological Conservation Review Series. No.33, 348-377.
- Evans S.G. , Guthrie R. H. , Roberts N. J., and Bishop N.F (2007). The disastrous 17 February 2007 rockslide-debris avalanche on Leyte Island, Philippines: a catastrophic landslide in tropical mountain terrain . Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,7, 89-101.
- Glade T (2003). Vulnerability assessment in landslide risk analysis.DIE ERDE134,123-146.
- LarsenM.G,Parkes J.E (1997). The association of roads and mass wasting in a forested mountaion,Ear.Sur,Pro & Abstract: Landforms, Vol, 22, 836.