

مدل سازی ناپایداری دامنه ای در حوضه آبخیز تسوج با استفاده GIS شهرام روستائی^۱ و جمشید یاراحمدی^۲

خلاصه

ناپایداری دامنه‌ای باعث ایجاد خسارات هنگفت اقتصادی و تلفات انسانی در سطح جهان می‌شوند. تهیه نقشه احتمال ریسک و تعیین مناطق مستعد وقوع آنها، یکی از راههای آمادگی بمنظور کاهش تاثیرات آتی چنین وقایع پرمخاطره محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق، بررسی میزان حساسیت و تعیین احتمال وقوع ناپایداری دامنه‌ای در حوضه آبریز تسوج می‌باشد، بدین منظور، از مدل فرایندی SINMAP در محیط نرم افزاری GIS با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی مدل با مشاهدات صحرایی و تفسیر عکس های هوایی در قالب واسنجی مدل نشان داد که نتایج مدل از دقت مطلوبی برخوردار است. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که احتمال وقوع ناپایداری در منطقه نسبتاً بالا می‌باشد. همچنین همپوشانی نتایج حاصل از مدل با نقشه های شیب و لیتولوژی منطقه نشان داد که اکثر زمین لغزش‌ها در شیب های ۲۰-۵۰ درصد اتفاق افتاده و عمدتاً نیز در روی سازندهای زمین شناسی ماسه سنگ و ماسه سنگ و شیل و مارن بوده است. گسترش سازندهای حساس به فرسایش و تاثیر فعالیت های تکتونیکی بر آنها باعث شده تا حجم وسیعی از مواد واریزه‌ای در دامنه‌ها شکل شود. بعداً بعلت شیب بالای حوضه و فقر پوشش گیاهی آن شاهد حرکات توده‌ای فعال در این ناحیه باشیم. بطوریکه انتقال این مواد سالانه خسارات هنگفتی به سازه های هیدرولوژیکی موجود در عرصه آبخوان تسوج وارد می سازد. باتوجه به تطابق و همخوانی مطلوب نتایج مدل با مشاهدات صحرایی پیشنهاد می گردد تا مطالعات مشابهی برای تعیین مناطق دارای ریسک بالای ناپایداری دامنه‌ای قبل از شروع عملیات سازه‌ای مخصوصاً در مناطق ناهموار صورت گیرد. این امر می‌تواند خسارات ناشی از انتقال رسوب به این سازه‌ها را کاهش داده و عمر مفید آنها را افزایش دهد.

کلمات کلیدی: ناپایداری دامنه‌ای، مدل SINMAP، حوضه آبریز تسوج، زمین لغزش

مقدمه

معمولاً زمین لغزش ها را می توان بعنوان حرکات توده‌ای از سنگ، مواد واریزه‌ای و یا بخشی از زمین در جهت شیب دامنه تعریف کرد (Cruden, 1991 و Dai et al, 2002) و این حالت مربوط به مناطقی است که در آن تنش برشی مواد بیشتر از مقاومت برشی آن باشد و در قالب واژه معمول ناپایداری یا گسیختگی دامنه‌ای از آن یاد می شود. (Van Westen et al, 2009) گسیختگی‌های دامنه‌ای از جمله حوادث طبیعی پیچیده‌ای بحساب می‌آیند که می‌توانند هر دو سیستم طبیعی و انسانی را متاثر سازند. این مکانیسم در قالب شاخص‌های ژئومورفیکی موجب فرسایش در پروسه زمانی مختلف و در گستره مکانی وسیع مناطق بالادست حوزه آبخیز شده و منابع عمده تحویل رسوب به سیستم شبکه زهکشی را تشکیل می‌دهند. (Whitehead, 2010)

زمین لغزش‌ها از نظراهمیت جهانی در ردیف سوم اهمیت در میان انواع مخاطرات طبیعی قرار دارند (Zillman, 1999) که بسته به شرایط طبیعی، میزان تاثیرات و فعالیت‌های انسانی می‌توانند خسارات مالی و جانی متعددی داشته باشند. (Guzzetti, 2000) گزارش بانک اطلاعاتی حوادث غیرمترقبه از آمار خسارات زمین لغزش‌ها در کشورهای مختلف جهان در دوره (۲۰۰۷-۱۹۰۳) نشان می دهد که در این دوره زمین لغزش‌ها در مجموع باعث مرگ بیش از ۵۷ هزار نفر و متاثر شدن بیش از ده میلیون انسان در سراسر شده است. (Castellanos, 2008) در اکثر مناطق جهان زمین لغزش‌ها اغلب اتفاق می‌افتند اما متأسفانه در حال حاضر هیچ

^۱ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

نقشه یا متدولوژی واحدی در جهان جهت ارزیابی مناطق مستعد چنین رخدادهای وجود ندارد بهمین خاطر، هنوز هم پیش بینی مکانی و زمانی آن مشکل است. (Saha et al, 2005)

بررسی های صورت گرفته نشان می دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸ حدود ۲۵۹۰ مورد زمین لغزش در ایران اتفاق افتاده است این تعداد باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ باب واحد مسکونی، ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ایجاد رسوب سالانه به مقدار ۹۶۳۸۰۷ مترمکعب شده است. (میرصانعی و کاردان، ۱۳۷۸)

با توجه به وجود حجم وسیعی از عملیات سازه ای در عرصه آبخوانداری تسوج که باهدف تغذیه مصنوعی سفره آب زیر زمینی و مهار سیلاب های مخرب با صرف هزینه هنگفت صورت گرفته است با شروع رگبارها و سیلاب های ناشی از آن، شاهد انتقال حجم وسیعی از رسوبات به داخل این سازه های هیدرولیکی هستیم. بدون شک مواد رسوبی وارده به داخل کانال های یادشده نتیجه فعالیت های مورفودینامیک دامنه ای و حرکات توده ای مناطق بالادست حوضه آبریز محدوده طرح می باشد. در همین راستا، تحقیق حاضر با هدف شناسایی انواع و اشکال ناپایداری های دامنه ای موجود در منطقه انجام گرفته است تا با مدل سازی فیزیکی، ضمن شناسائی مناطق مستعد ناپایداری، احتمال وقوع آتی آنها را مدل سازی کرده و بدین وسیله به مکانیسم انتقال و نحوه رسوبگذاری آنها پی ببرد و با اتخاذ تدابیر لازم و ارایه راهکارهای علمی اقدام موثری در جهت افزایش بازدهی و طول عمر مفید سازه های آبی موجود بعمل آورد.

تاکنون دیدگاه های زیادی در زمینه ارزیابی پایداری شیب و خطرات زمین لغزش ها ارائه شده است از آن جمله می توان به کارهای Sidle و همکاران (۱۹۸۵)، Dietrich و همکاران (۱۹۸۶)، Dietrich و Montgomery (۱۹۸۸ و ۱۹۸۹)، Carrera و همکاران (۱۹۹۱)، Dietrich و همکاران (۱۹۹۲)، Sidle (۱۹۹۲)، Dietrich و همکاران (۱۹۹۳)، Montgomery و Dietrich (۱۹۹۴)، Wu و Sidle (۱۹۹۵) و Pack (۱۹۹۵) اشاره کرد. در این میان کاربرد دیدگاه Montgomery و Dietrich (۱۹۹۴) رایج تر از بقیه در این زمینه می باشد. (Pack و همکاران، ۲۰۰۵)

اخیراً، دسترسی به مدل رقومی زمین (DEM^۱) باعث بهبود در توسعه روش های شده است که بااستفاده از امکانات موجود درسیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS^۲) متغیرهای توپوگرافی^۳ مربوط به ناپایداری شیب و زمین لغزش ها را بصورت کمی بررسی می کنند. فعالیت های قابل توجه عمده در دهه اخیر مربوط به Montgomery و Dietrich (۱۹۹۴) و Wu و Sidle (۱۹۹۵) می باشد. محققان گروه اول، مدل هیدرولوژیکی جریان ماندگار^۴ مستخرج از منحنی میزان های نقشه توپوگرافی و مدل نامحدود پایداری شیب را بمنظور تعیین کلاس های پایداری شیب براساس شیب و سطح ویژه حوضه آبخیز ترکیب کردند. گروه بعدی نیز از ادغام مدل هیدرودینامیکی و مدل نامحدود پایداری شیب یک فرم کاملاً پیچیده ای را ارائه کردند که این مدل چسبندگی خاک و چسبندگی ریشه گیاه را نیز شامل می شد.

1 Digital Elevation Model

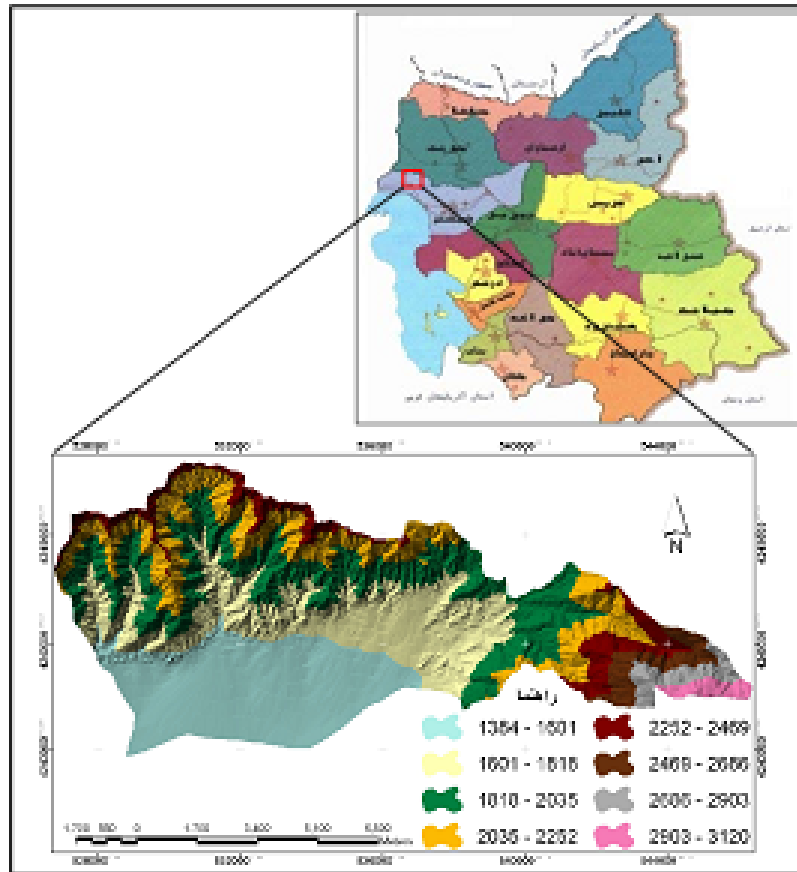
2 Geographical Information System (GIS)

3 Topographic attributes

4 Steady-stead

معرفی منطقه:

منطقه مطالعاتی بین طول های جغرافیایی "۲۰، ۱۸'، ۴۵° تا ۳۲'، ۴۵° شرقی و عرض های جغرافیایی '۲۰° ۳۸ تا ۳۰' ۲۴، ۳۸° شمالی در شمال غربی استان آذربایجان شرقی در شمال دریاچه ارومیه قرار گرفته است. (شکل شماره ۱) کل محدوده مطالعاتی دارای مساحت ۸۷/۷ کیلومتر مربع بوده که در منطقه تسوج (تسوج، امستجان، انگشتجان) واقع شده است. محدوده عرصه مطالعاتی از شمال به خط الراس ارتفاعات میشوداغ، از شرق به کوه علمدار، از غرب به روستای امستجان و چهرگان و از جنوب به دشت حاشیه دریاچه ارومیه محدود می گردد. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۱۳۵ متر در قله علمدار و حداقل آن ۱۳۸۰ متر در ناحیه دشتی منطقه قرار گرفته است. مطابق آمار ده ساله (۸۸-۱۳۷۹) ایستگاه کلیماتولوژی تسوج که در داخل محدوده مطالعاتی قرار گرفته، متوسط دمای سالانه آن در حدود ۱۳/۴۲ درجه سانتیگراد است. حداکثر مطلق دما در طی دوره آماری یاد شده ۳۹/۶۰ درجه سانتیگراد بوده که در تیرماه مشاهده شده است. درمقابل، حداقل مطلق دما ۱۷/۵- بوده که در دی ماه ثبت شده است. متوسط تعداد روزهای یخبندان در دوره آماری مذکور ۸۳ روز بوده که از اوایل آبانماه شروع و تا اواسط فروردین ماه سال دیگر ادامه می یابد. میانگین سالانه بارش در همین مدت ۲۶۰ میلیمتر گزارش شده است. مطابق نظر نبوی (۱۳۵۵) منطقه تسوج از نظر زمین ساختی در واحد البرز-آذربایجان در زون ماکو-تبریز قرار گرفته است و در آن سازندهای مختلف زمین شناسی گسترش دارند که بسترین سطح مربوط به ماسه سنگ (۲۲/۵ کیلومترمربع)، مارن و شیل و ماسه سنگ هرکدام با ۱۷ کیلومترمربع می باشد و از نظر تکتونیکی نیز با وجود گسل های فراوان از جمله گسل تسوج یک منطقه تکتونیزه فعال بحساب می آید (حبیب زاده، ۱۳۷۶) خاک های مناطق مرتفع منطقه بعلت شیب زیاد و حاکمیت اقلیم سرد کمتر تکامل یافته و داری عمق کم بوده و در رده خاک های انتی سول ها^۱ قرار دارند این مناطق دارای پوشش گیاهی فقیری هستند. خاک های ناحیه مخروط افکنه دارای عمق مناسبی است و فعالیت های کشاورزی نیز عمدتاً محدود به همین ناحیه می شود. (خانی، ۱۳۷۶) ارتفاعات منطقه دارای پوشش گیاهی مرتعی با تیپ غالب فرفیون، فستوکا، گون و قانقال می باشد که مطابق مطالعات صورت گرفته دارای گرایش نزولی و قهقرائی می باشد. کشاورزی و باغداری بصورت خیلی محدود در سطح مخروطه افکنه و مناطق دشتی انجام می گیرد. البته در سال های اخیر (۱۳۷۶) از طرف مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان پوشش گیاهی دست کاشت در سطح ۷۶۰ هکتار در منطقه احداث شده است که شامل درختان انگور، پسته، بادام، گردو سرو و سایر درختان غیرمثمره بصورت کشت غلام درگردشی بمنظور پخش سیلاب و تغذیه سفره آب زیرزمینی می باشد. (رفیعی، ۱۳۸۹)



شکل شماره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق:

این تحقیق با استفاده از مواد مشروحه زیرانجام پذیرفته است:

- نقشه های رقومی توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بمنظور تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)
- نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بمنظور تهیه لایه های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی و شناسایی پراکنش لغزش های موجود در منطقه
- عکس های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ بمنظور تهیه زوج های استریوئی و مطالعه مناطق لغزشی موجود
- نرم افزار ArcGIS9.3
- برنامه جانبی Hydro-mod در محیط نرم افزاری ArcGIS9.3 بمنظور مدل سازی هیدرولوژیکی
- اکستنشن^۱ SINMAP 2.0 جهت مدل سازی ناپایداری دامنه ای و تعیین توزیع مکانی آنها
- نرم افزار ILWIS3.7 بمنظور تهیه زوج استریوئی عکس های هوایی و تفسیر رقومی آنها
- مدل GPS گارمین بمنظور تعیین موقعیت مکانی لغزش های موجود و واسنجی نتایج مدل SINMAP

در این تحقیق بمنظور تعیین پتانسیل مناطق مستعد لغزشی منطقه مورد مطالعه، از مدل سازی فیزیکی برمبنای مدل فرایندی SINMAP در محیط نرم افزاری ArcGIS9.3 استفاده شده است. ساختار مدل یاد شده ترکیبی از مدل عددی نامحدود پایداری شیب^۲ و مدل هیدرولوژیکی با فرض جریان ماندگار^۱ می باشد. پروسه

1 Extension

2 Infinite slope stability model

کاری مدل SINMAP مشابه روش Montgomery و Dietrich (۱۹۹۴) بوده که در سال ۱۹۹۸ از طرف Pack و همکاران وی بمنظور برآورد احتمال میزان ناپایداری دامنه‌ای ارائه شده است. این مدل مولفه‌های ناپایداری کننده (نیروی ثقل) و پایدار کننده (نیروی اصطکاک و چسبندگی خاک) شیب را بر روی یک سطح گسیخته بموازات سطح زمین شبیه سازی می‌کند و براساس داده‌های ورودی یعنی شیب، سطح ویژه حوضه آبخیز، ویژگی های خاک و خصوصیات اقلیمی (رطوبت هیدرولوژیک) عمل پهنه بندی زمین را براساس میزان پایداری آن در قالب هر سلول از شبکه انجام می‌دهد. البته متغیرهای ورودی مدل دارای یک نوع عدم قطعیت^۲ بوده و بهمین خاطر بصورت حدود بالا و پائین بصورت احتمال بیان می شوند. خروجی مدل نیز در دامنه‌ای از صفر تا یک بیان می شود بدین صورت که عدد صفر نشان دهنده حداکثر پایداری و عدد یک نیز حداقل ناپایداری را نشان می دهد و جایی که ناپایدار کننده ترین مجموعه از پارامترهای مدل هنوز قادر به ناپایدار کردن شیب نیستند ارزش عددی شاخص پایداری بیشتر از یک خواهد بود که در این حالت این شاخص بعنوان ضریب اطمینان^۳ تعریف می شود. در همین راستا، تعداد ۶ کلاس پایداری بواسطه مدل ارائه می شود که برمبنای مقادیر ضریب اطمینان (SI) خواهند بود. کلاس های پایداری یاد شده عبارتند از: ۱- کلاس پایدار^۴ ($SI > 1.5$) - نیمه پایدار^۵ ($1.25 < SI < 1.5$) - شبه پایدار^۶ ($1.0 < SI < 1.25$) - آستانه پائین^۷ ($0.5 < SI < 1.0$) - آستانه بالا^۸ ($0.5 < SI < 1.0$) و ۷- شیب حفاظتی^۹ ($SI > 0.0$)

مراحل اجرای تحقیق حاضر بدین صورت بوده است که در مرحله نخست، نقشه های رقومی توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با فاصله منحنی تراز ۲۰ متری منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. بعد از انتقال این لایه اطلاعاتی به محیط GIS بایستی مدل رقومی زمین (DEM) که اولین لایه اطلاعاتی مورد نیاز و ضمناً بعنوان ورودی اصلی مدل SINMAP نیز می باشد تهیه می شد. این قسمت از کار در محیط نرم افزاری GIS و با استفاده از امکانات تحلیلگر 3D نرم افزار ArcGIS 9.3 صورت گرفت. بدین منظور، ابتدا مدل شبکه نامنظم مثلثی (TIN^{۱۰}) منطقه برمبنای نقشه های توپوگرافی تهیه شد تا اینکه با استفاده از آن مدل رقومی ارتفاعی زمین که قابل استفاده در مدل SINMAP نیز باشد با اندازه پیکسلی ۱۰ متری تهیه گردد. مدل رقومی زمین که بدین ترتیب تهیه شده می تواند مستقیماً توسط مدل SINMAP مورد استفاده قرار گیرد. ولی با توجه به تجارب و مشاهدات قبلی مبنی بر اینکه شبکه هیدروگرافی مستخرج از اجرای مدل های هیدرولوژیکی در محیط نرم افزاری GIS کاملاً با واقعیات زمینی منطبق نبوده و این امر بنوبه خود می تواند بردقت نتایج حاصله تاثیر منفی داشته باشد بنابراین برای نخستین بار در این قبیل تحقیقات، تصمیم گرفته شد که قبل از فراخوانی مدل رقومی زمین به محیط نرم افزاری مدل SINMAP، با استفاده از شبکه هیدروگرافی واقعی موجود در نقشه های توپوگرافی و با استفاده از برنامه جانبی Hydro-mode اقدام به بهینه سازی^{۱۱} مدل رقومی زمین گردد.

1 steady-state hydrology assumption

2 Uncertainty

3 Safety factor

4 Stable

5 Moderately Stable

6 Quasi Stable

7 Low Threshold

8 Upper Threshold

9 Defended Slope Zone

10 Triangulated Irregular Network

11 Optimization

خروجی حاصله از این مرحله که تطابق مکانی مناسبی با واقعیات طبیعی داشته مستقیماً به محیط مدل احضار گردید تا تحلیلی ناپایداری دامنه براساس آن صورت گیرد. از این به بعد قسمت عمده فعالیت تحلیلی ما در محیط مدل SINMAP صورت گرفته است. ایجاد لایه واسنجی دومین قدم در این قسمت می باشد که با تعیین مقادیر پارامترهای مختلف صورت می گیرد. در ادامه لازم است که لایه اطلاعاتی پراکنش مکانی نقاط زمین لغزشی موجود در منطقه به محیط تحلیلی مدل SINMAP اضافه گردد. این امر با براساس مشاهدات صحرایی از منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است بطوریکه نقشه رقومی زمین لغزش های موجود منطقه با انجام عملیات میدانی و ثبت موقعیت شان بتفکیک انواع آنها مطابق با مدل پیشنهادی Cruden و Varnez (۱۹۹۶) با استفاده از یک دستگاه GPS مدل گارمین تهیه گردید. این اطلاعات بعد از برداشت و تکمیل اطلاعات توصیفی آنها به محیط نرم افزاری GIS انتقال یافته و بصورت یک تم نقطه ای در این قسمت از کار مورد استفاده قرار گرفت. تصحیح تصحیح چاله های هیدرولوژیکی^۱ در قالب پیکسل های منفرد در مدل رقومی زمین اقدام بعدی ما در این قسمت بوده است. وجود این پیکسل ها می تواند ناشی از طبیعت گسسته مدل رقومی زمین باشد که احتمالاً در اثر خطاهای آماده سازی و یا میانمایی خطوط میزان توپوگرافی بوجود آمده است. این مسئله با استفاده از دستور Pit Filling موجود در منوی پروسه رستری ابزار مدل. انجام گرفت. مرحله بعدی این روند، ایجاد لایه های اطلاعاتی مختلفی از قبیل: نقشه شیب زمین، نقشه جهات جریان و سطح ویژه حوضه آبریز می باشد که در ادامه روند محاسباتی شاخص پایداری توسط مدل SINMAP مورد استفاده قرار خواهند گرفت. تا این قسمت از کار، تمامی لایه های اطلاعاتی که مبنای محاسبات شاخص پایداری شیب در مدل SINMAP بوده آماده شده اند. آخرین مرحله کار، تهیه نقشه پهنه بندی میزان حساسیت لغزش پذیری منطقه مورد مطالعه بوده که مطابق با آستانه های موجود در این زمینه می باشد. این کار توسط خود مدل صورت گرفته و نتایج کار بصورت گرافیکی در قالب نقشه شاخص پایداری و جداول مربوط به سطح پوشش هر کدام از طبقات تعیین شده ارائه شده است.

نتایج:

انواع زمین لغزش های موجود در منطقه مورد مطالعه و همچنین پراکنش مکانی آنها از طریق تفسیر زوج های استریوئی عکس های هوایی و مشاهدات صحرایی مورد شناسائی قرار گرفتند سپس موقعیت هر یک از لغزش های شناسائی شده توسط یک دستگاه GPS مدل گارمین ثبت شد و برای تحلیل های بعدی به محیط GIS منتقل شدند. نتایج این قسمت از کار نشان داد که در مجموع تعداد ۴۴ مورد زمین لغزش در منطقه اتفاق افتاده است. مطابق مدل پیشنهادی Cruden و Varnez (۱۹۹۶)، از مجموع انواع زمین لغزش های مشاهده شده، تعداد ۳۰ مورد مربوط به جریان واریزه ای^۲، ۴ مورد نیز لغزش واریزه ای^۳، ۲ مورد بصورت افتان سنگی^۴ و و بقیه نیز در قالب لغزش های چرخشی شناسائی و طبقه بندی شدند. در ادامه، تحلیل مکانی این نقشه بصورت همپوشانی آن با نقشه لیتولوژی منطقه نشان داد که قسمت عمده زمین لغزش های شناسائی شده در روی سازندهای ماسه سنگ، ماسه سنگ و شیل و مارن اتفاق افتاده است. (شکل شماره ۲) این سازندها

1 Pit Filling

2 Debrisflow

3 Debris slide

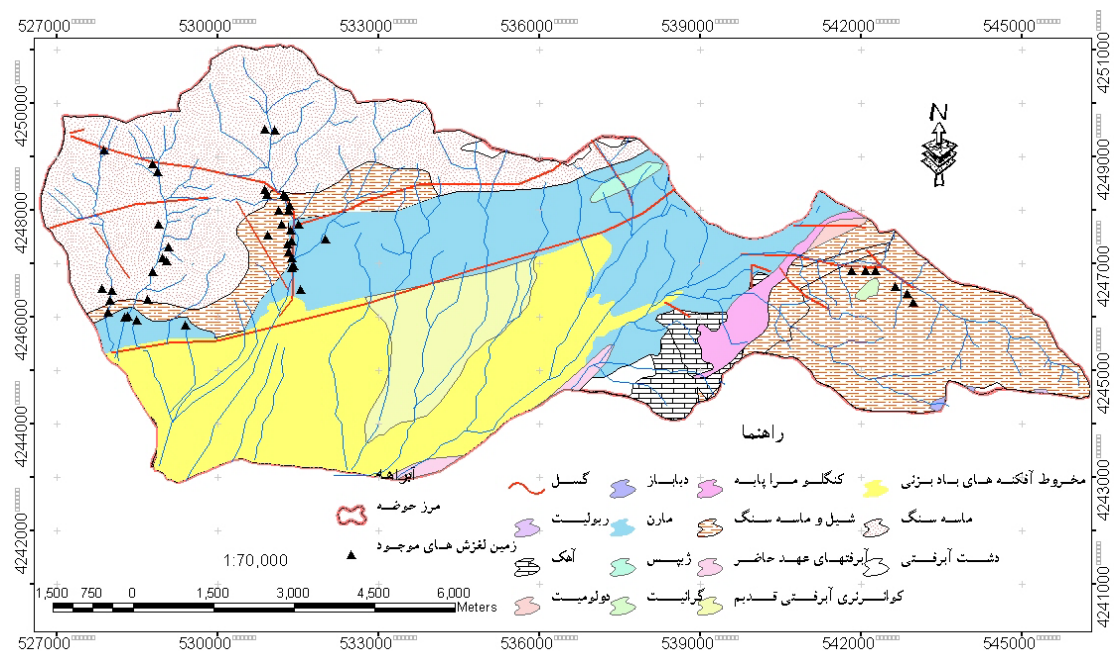
4 Rock fall

بخاطر حساسیت بالائی که در مقابل تخریب و هوازدگی دارند منبع خوبی از مواد واریزه‌ای دامنه‌ای بحساب می‌آیند مواد حاصله تحت تاثیر نیروی ثقل و جریانات سطحی دامنه‌ای به داخل دره جریان می‌یابند(اشکال ۲-۵ پیوست) و نهایتاً موجب تخریب و پرشدگی سامانه های آبگیر و سازندهای هیدرولوژیکی پخش سیلاب احداث شده در منطقه می‌شوند بطوریکه هر بار لایروبی این کانال‌ها هزینه هنگفتی رو متوجه دست اندرکارن ایستگاه تحقیقاتی آبخوانداری تسوج می‌سازد.

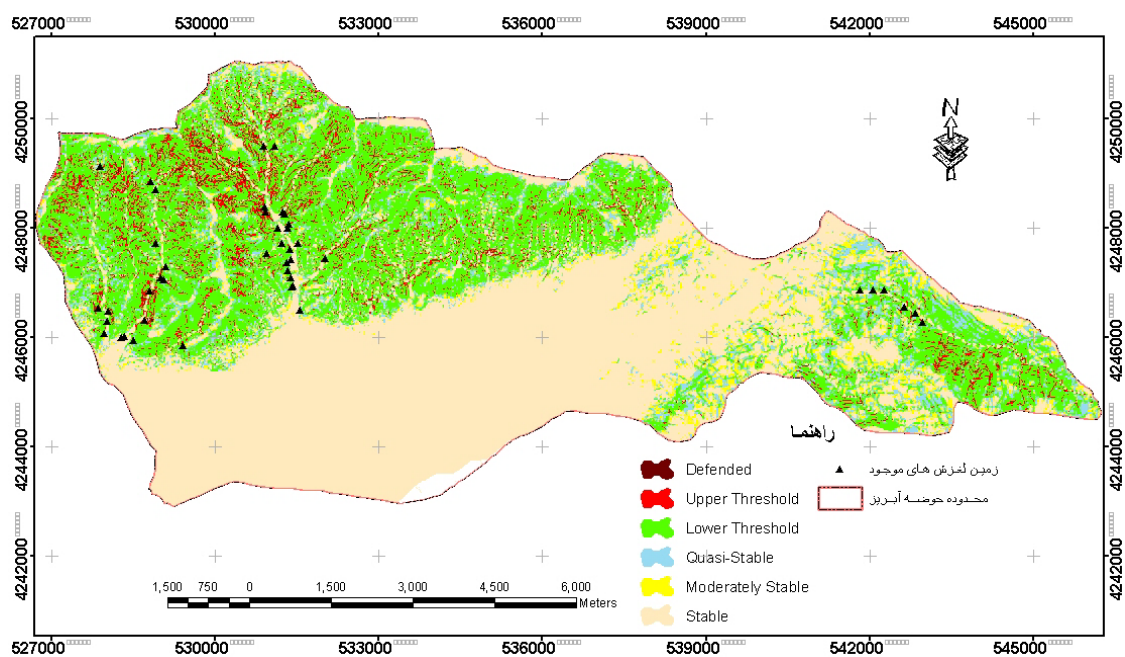
گسل های بیشماری در منطقه وجود دارند که حتی آبرفت های دوران چهارم را گسسته و فعال می باشند برخی از این گسلها خیلی ژرف بوده و تا پی سنگ کشیده می شوند. از مهمترین این گسلها می توان گسل تسوج، قزلجه، و انگشتجان را نام برد. این گونه فعالیت های تکتونیکی باعث شده تا سازندهای موجود در حوضه بشدت تکتونیزه شده و خرد شوند بطوریکه درزهای متعددی در آنها ظاهر شده و همین امر تخریب فیزیکی آنها را تسریع کرده تا بدین صورت مواد واریزه ای کافی در محل تاثیر تکتونیکی فراهم گردد همانگونه که در شکل شماره (۲) نیز مشاهده می گردد زمین لغزشی موجود عمدتاً در مجاورت خطوط گسل پراکنش دارند.

نقشه شاخص پایداری دامنه‌ای و تعیین پهنه‌های مستعد به زمین لغزش در منطقه بر مبنای مدل رقومی زمین و نقشه پراکنش مکانی زمین لغزش های موجود با استفاده از مدل SINMAP و در محیط نرم افزاری ArcGIS9.3 صورت گرفت. پهنه بندی حساسیت به وقوع زمین لغزش بر اساس مقادیر ضریب اطمینان(SI) مطابق جدول شماره (۲) صورت گرفته است. نتیجه محاسبات شاخص پایداری مدل SINMAP برای منطقه مورد مطالعه در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. نتایج تحلیلی بر مبنای محاسبات شاخص پایداری مدل SINMAP بصورت شماتیکی در شکل شماره (۴) در فضای دو بعدی در قالب نمودار شیب-سطح ویژه حوضه (S-A¹) نشان داده شده است. این شکل بمنظور درک دقیق تر و تفسیر هرچه بهتر نتایج بدست آمده از تحلیل میزان ناپایداری منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. همانطوریکه مشاهده می گردد توزیع مناطق ناپایدار مطابقت متناسبی با درصد شیب منطقه دارد. بطوریکه اکثر زمین لغزش های شناسائی شده موجود در محدوده شیب ۳۰-۵۰ درصد پراکنش دارند. از طرف دیگر، توزیع مکانی زمین لغزش های موجود از لحاظ فاکتور سطح ویژه حوزه آبریز نشان می دهد که مخروط جریانات واریزه‌ای و همینطور لغزش های واریزه‌ای در داخل و یا مجاورت دره‌ها واقع شده‌اند. این مواد در اثر نیروی ثقل و توسط جریانات سطحی دامنه‌ای در جهت شیب زمین حرکت کرده و در داخل دره ها تجمع یافته اند و در مراحل بعدی، با افزایش قدرت رواناب در داخل شبکه هیدروگرافی بعنوان منبع تحویل رسوب در حجم بالائی به داخل کانال های احداثی وارد شده و نهایتاً موجب تخریب سازه های آبی موجود در پروژه پخش سیلاب تسوج می گردد. نتایج آماری حاصل از محاسبه شاخص پایداری و واسنجی آن با نقاط لغزشی موجود در منطقه در جدول شماره (۱) ارائه شده است. همانطوریکه مشخص است توزیع جغرافیایی مناطق کاملاً پایدار محدود به مناطق دشتی و داخل دره ها بوده و ۴۰ درصد از مساحت منطقه را بخود اختصاص داده است و کمترین تراکم (۰/۰۵ درصد) زمین لغزش ها مربوط به این ناحیه می‌باشد و مخروط های تراکمی لغزشی موجود در این ناحیه در اثر فرایند انتقال واریزه های دامنه‌ای از مناطق بالادست آبراهه ایجاد شده‌اند. بیشترین درصد زمین لغزش های موجود به ترتیب در دو کلاس آستانه پائین (۴۳/۱۸ درصد) و آستانه بالا (۳۶/۴ درصد) واقع شده است اینها مناطقی هستند که در آنها

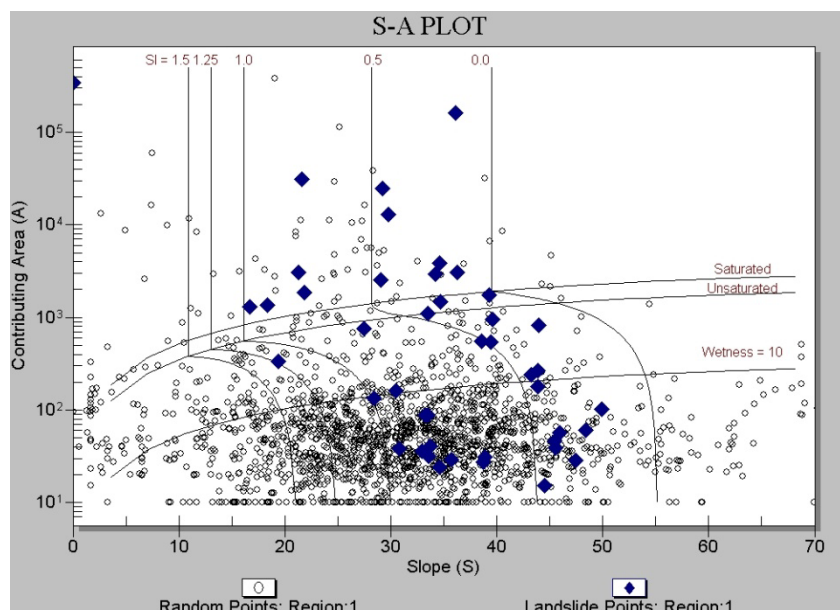
احتمال ناپایداری دامنه‌ای بترتیب کمتر و بیشتر از ۵۰ درصد می‌باشد و در این مناطق نیازی به وجود عوامل خارجی تشدید کننده جهت ناپایداری شیب نیست. کلاس شیب حفاظتی منطبق است با رخنمون های سنگی شیب های بسیار بالا که در این ناحیه هرگونه تغییر در دامنه عددی پرامترهای ورودی مدل نمی تواند از ناپایداری آنها جلوگیری کند و در این تحقیق تعداد ۲ مورد افتان سنگی منطبق با این مناطق شناسائی شد.



شکل شماره ۲: نقشه زمین شناسی و پراکنش زمین لغزش های موجود در منطقه



شکل شماره ۳: نقشه شاخص پایداری منطقه مورد مطالعه با استفاده مدل SINMAP



شکل شماره ۴: نمودار شیب-سطح برای منطقه مورد مطالعه

جدول شماره ۱: خلاصه آماری در هر کلاس پایداری در منطقه مورد مطالعه

مناطق	مساحت (km ²)	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش	درصد زمین لغزش	تراکم زمین لغزش
پایدار	۴۰/۰۱	۴۵/۶۳	۲	۴/۵۵	۰/۰۵
نیمه پایدار	۶/۰۷	۶/۹۲	۲	۴/۵۵	۰/۳۳
شبه پایدار	۹/۷۲	۱۱/۰۹	۳	۶/۸۲	۰/۳۱
آستانه پائین	۲۷/۷۵	۳۱/۶۴	۱۹	۴۳/۱۸	۰/۶۸
استانه بالا	۳/۸۸	۴/۴۲	۱۶	۳۶/۳۶	۴/۱۲
شیب حفاظتی	۰/۲۷	۰/۳۱	۲	۴/۵۵	۷/۴۲
جمع	۸۷/۷۰	۱۰۰	۴۴	۱۰۰	۰/۵

بحث:

نتایج تحقیق حاضر که از طریق بکارگیری مدل فرایندی SINMAP در تهیه نقشه حساسیت نسبت به وقوع زمین لغزش بدست آمده و با مشاهدات صحرایی در قالب نقشه پراکنش مکانی زمین لغزش های موجود منطقه واسنجی شده نشان داد که منطقه از پتانسیل ناپایداری نسبتاً بالایی برخوردار است. نتایج تحلیلی حاصل از همپوشانی نتایج مدل یاد شده با نقشه های لیتولوژی و شیب منطقه نشان داد که تطابق خوبی از نظرموقعیت پهنه های ناپایدار با حساست فرسایش پذیری سازندهای زمین شناسی و درصد شیب منطقه وجود دارد. با این وجود، با توجه به حساسیت زیاد مدل یاد شده به دقت مدل رقومی زمین (DEM) که از طرف Pack و همکاران (۲۰۰۵) و Legorreta Paulin و همکاران (۲۰۱۰) پیشنهاد می شود در صورت دسترسی از مدل رقومی زمینی ۱۰ متری و کوچکتر استفاده گردد تا نتایج دقیق تری گرفته شود. ضمناً بعنوان یک اقدام اضافی در این زمینه، حتماً قبل از استفاده مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه در مدل SINMAP، مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از شبکه هیدروگرافی و با بکارگیری مدل های هیدرولوژیکی موجود در نرم

افزارهای GIS بهینه سازی گردد تا تطابق بالایی با شرایط طبیعی داشته باشد چرا که مدل SINMAP در این مورد قابلیت زیادی ندارد.

باستناد به نتایج بدست آمده می توان پذیرفت که امکان پیش بینی میزان ناپایداری زمین با استفاده از مدل SINMAP در منطقه وجود دارد البته قابلیت بکارگیری مدل یاد شده اخیراً نیز توسط کارتر ویت^۱ (۲۰۰۵)، مسی نا^۲ و اسکارابلی^۳ (۲۰۰۷)، هاوچیانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۱) و آرنون^۵ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده است.

تعیین احتمال واقعی وقوع ناپایداری دامنه‌ای، مستلزم تجزیه و تحلیل عوامل موثر در ایجاد آن و بکار گیری مدل‌های پیچیده‌ای می باشد. در اکثر موارد هم برقراری ارتباط روشنی بین این عوامل و وقوع حرکت‌های توده‌ای براحتی میسر نخواهد بود. بنابراین اکثر نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش، میزان حساسیت یا پتانسیل وقوع زمین لغزش را در پهنه‌های مختلف و با عبارتی همچون خطر بالا، متوسط و پایین نمایش می‌دهند. به طور کلی، بر حسب اهداف مطالعاتی می‌توان با استفاده از مدل‌های مختلف انواع گوناگون نقشه‌های پهنه بندی را تهیه نمود. این اطلاعات می‌تواند در امر برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در برخورد با مسائل و مشکلات ناشی از آن در مقیاس‌های کاری مختلف بکار گرفته شوند.

منابع

۱. حبیب زاده، ا. و یاراحمدی، ج.، ۱۳۷۶، گزارش تکمیلی زمین شناسی و ژئومورفولوژی عرصه پخش سیلاب ابخوانداری تسوج، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی
۲. خانی، م. و همکاران، ۱۳۷۶، گزارش تکمیلی خاکشناسی عرصه پخش سیلاب ابخوانداری تسوج، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی
۳. رفیعی، م.، ۱۳۸۹، بررسی تاثیر ناپایداری دامنه‌های حوضه شمالی طرح آبخوانداری تسوج بر سازه‌های هیدرولوژیکی با استفاده از GIS&RS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی
۴. میرصانعی، ر.، کاردان، ر.، ۱۳۷۸، نگرشی تحلیلی بر زمین لغزش‌های کشور، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی محیط زیست ایران، چاپ اول، دانشگاه تربیت معلم، تهران
۵. نبوی، م.ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی ایران، تهران
6. Arnone, E., Noto, L.V., Lepore, C. Aand Bras, R.L. 2011, Physically-based and distributed approach to analyze rainfall-triggered landslides at watershed scale, *Geomorphology* 133 (2011) 121–131, www.elsevier.com/locate/geomorph
7. Castellanos Abella, Ar., 2008, Multi-scale landslide risk assessment in Cuba, PhD thesis, ITC, Enschede, the Netherlands <http://www.itc library/papers2008/phd/casellanos.pdf>
8. Carrera, A. M., M. Cardinali, R. Detti F. Guzzetti, V. Pasqui and P. Richenback, (1991), "GIS Techniques and statistical models in evaluating landslide hazard," *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 427-445.
9. Carter witt, A., 2005, using a GIS to model slope instability and debris flow hazards in the French broad river watershed, north Carolina, MSc Thesis, North Carolina State University
10. Cruden, D., Varnes, D.J., 1996 Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides Investigation and Mitigation*. : Special Report, 247. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C, pp. 36–75.

1 CARTER WITT

2 Meisina

3 Scarabelli

4 Hao Chiang

5 Arnone

11. Dai, F. C., Lee, C.F. and Nagai, Y. Y., 2002, Landslide risk assessment and management: an overview, *engineering geology*, 64(1): 65-87
12. Dietrich W. E., C. J. Wilson, D. R. Montgomery and J. McKean, (1993), "Analysis of erosion thresholds, channel networks, and landscape morphology using a digital terrain model," *The Journal of Geology*, 101: 259-278.
13. Dietrich, W. E., C. J. Wilson, D. R. Montgomery, J. McKean and R. Bauer, (1992), "Erosion Thresholds and Land Surface Morphology," *Geology*, 20: 675-679.
14. Dietrich W. E., C. J. Wilson and S. L. Reneau, (1986), "Hollows, colluvium, and landslides in soil-mantled landscapes," chapter 17 in *Hillslope Processes*, Edited by A. D. Abrahams, Allen & Unwin, Boston, p.361-388.
15. Guzzetti, F., 2000, Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy, *Engineering Geology*, 58(2): 89-107
16. Hao Chiang, Sh., Tsung C., K., Mondini, A.C., Tsai, B.W., Yu Chen, C., 2011, Simulation of event-based landslides and debris flows at watershed level, *Geomorphology* 138 (2011) 306–318, www.elsevier.com/locate/geomorph
17. Legorreta Paulin, G., Bursik, M., Lugo-Hubp, G., Zamorano Orozco, J.J., 2010, Effect of pixel size on cartographic representation of shallow and deep-seated landslide, and its collateral effects on the forecasting of landslides by SINMAP and Multiple Logistic Regression landslide models, *Physics and Chemistry of the Earth* 35 (2010) 137–148, www.elsevier.com/locate/pce
18. Meisina, C., Scarabelli, S., 2007, A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in colluvial soils, *Geomorphology* 87 (2007) 207–223, www.elsevier.com/locate/geomorph
19. Montgomery, D. R. and W. E. Dietrich (1988), "Where do channels begin," *Nature*, 336: 232-234.
20. Montgomery, D. R. and W. E. Dietrich (1989), "Source Areas, Drainage Density and Channel Initiation," *Water Resources Research*, 25(8): 1907-1918.
21. Montgomery, D. R. and W. E. Dietrich (1994), "A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding," *Water Resources Research*, 30(4): 1153-1171.
22. Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N., 2000a. SINMAP: a Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping. User's Manual. 68 pp. <http://hydrology.neng.usu.edu/sinmap>
23. Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N., 1998b, Terrain stability mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00: Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, B.C., Canada, Report Number 4114-0, 68 p. (Report and software available online: <http://moose.cce.usu.edu/sinmap/sinmap.htm>)
24. Pack, R. T., D. G. Tarboton, and C. N. Goodwin. "The SINMAP approach to terrain stability mapping." 8th Congress of the International Association of Engineering Geology. Vancouver, British Columbia, Canada, 2004. 331-351
25. Pack, R.T., (1995), "Statistically-based terrain stability mapping methodology for the Kamloops Forest Region, British Columbia", *Proceedings of the 48th Canadian Geotechnical Conference*, Canadian Geotechnical Society, Vancouver, B.C.
26. Sidle, R., (1992), "A Theoretical Model of the Effects of Timber harvesting on Slope Stability," *Water Resources Research*, 28(7): 1897-1910.
27. Sidle, R.C., A.J. Pearce and C.L. O'Loughlin, (1985), *Hillslope Stability and Land Use*, Water Resources Monograph 11 Edition, American Geophysical Union, 140p
28. Tarboton, D. G., (1997), "A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models," *Water Resources Research*, 33(2): 309-319.
29. Varnes, D. (1984). *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*. Paris' UNESCO 63 pp
30. Van Westen, C., Kerel, N., Damen, M., Lubysynska, M., 2009, *Multi-hazard risk assessment: guide book*, Enschede, The Netherlands, ITC, www.itc.nl
31. Whitehead, K. A., 2010, *Spatial Analysis of Topographic and Geologic Controls on Hillslope Stability in the Ridge Basin Area, Northwestern Los Angeles County, CA*, MSc Thesis, Department of Geosciences, Idaho State University
32. Wu, W. and R. C. Sidle, (1995), "A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Watersheds," *Water Resources Research*, 31(8): 2097-2110
33. Zillman, J., 1999, *The physical impact of disaster*. In: J. Ingleton (Editor), *Natural disaster management*, Tudor Rose Holding Ltd., Leicester, pp. 320



شکل شماره ۱ حرکات توده‌ای در قالب لغزش واریزه‌ای (Debris Slide)



شکل شماره ۲: نمونه ای از لغزش جریان (Debris flow)



شکل شماره ۳: انتقال واریزه دامنه ای ناشی از هوازدگی در جهت شیب زمین