

## مدل‌سازی ناپایداری دامنه‌ای در حوضه آبریز تسوج با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

جمشید یاراحمدی\* - استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی  
شهرام روستائی - استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز  
مالک رفیعی - کارشناس بخش تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۶/۰۲      تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۲/۲۰

### چکیده

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 به منظور کاهش تأثیرات 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 فرآیندی SINMAP در محیط نرم‌افزاری GIS و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) مستخرج از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که احتمال وقوع ناپایداری در منطقه نسبتاً بالا می‌باشد. واسنجی شبیه‌سازی از طریق مقایسه نتایج حاصله با داده‌های مشاهده‌ی در قالب نتایج تفسیر عکس‌های هوایی و مشاهدات صحرایی نشان داد که نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل با ضریب اطمینان بالایی قابل‌قبول است. همچنین، همپوشانی نتایج حاصل از مدل با نقشه‌های شیب و لیتولوژی منطقه نشان داد که زمین‌لغزش‌های منطقه عمدتاً نیز در روی سازندهای زمین‌شناسی ماسه‌سنگ، شیل و مارن و در شیب‌های ۲۰-۵۰ درصد رخ داده‌اند. گسترش سازندهای حساس به فرسایش و تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر آن‌ها باعث شده تا حجم وسیعی از مواد واریزه‌ای در دامنه‌ها تشکیل شده و به علت شیب بالای حوضه و فقر پوشش گیاهی آن شاهد حرکات توده‌ای فعال در این ناحیه باشیم. بطوریکه انتقال این مواد سالانه خسارات هنگفتی به سازه‌های هیدرولوژیکی موجود در عرصه آبخوان تسوج وارد می‌سازد. با توجه به تطابق و همخوانی مطلوب نتایج مدل با مشاهدات صحرایی پیشنهاد می‌گردد 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.

واژگان کلیدی: ناپایداری دامنه‌ای، مدل SINMAP، حوضه آبریز تسوج، زمین‌لغزش.

## مقدمه

معمولاً زمین لغزش‌ها را می‌توان به‌عنوان حرکات توده‌ای از سنگ، مواد واریزه‌ای و یا بخشی از زمین در جهت شیب دامنه تعریف کرد (دای و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲؛ کرودن، ۱۹۹۱). این حالت مربوط به مناطقی است که در آن تنش برشی مواد بیشتر از مقاومت برشی آن می‌باشد و در قالب واژه رایج ناپایداری یا گسیختگی دامنه‌ای<sup>۲</sup> از آن یاد می‌شود (وان وستن و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). گسیختگی‌های دامنه‌ای از جمله حوادث طبیعی پیچیده‌ای به حساب می‌آیند که می‌توانند هر دو سیستم طبیعی و انسانی را متأثر سازند. این مکانیسم در قالب شاخص‌های ژئومورفیکی موجب فرسایش در پروسه زمانی مختلف و در گستره مکانی وسیعی از مناطق بالادست حوزه آبخیز شده و منابع عمده تحویل رسوب به سیستم شبکه زهکشی را تشکیل می‌دهند (ویتهد<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰).

از نظر اهمیت جهانی، زمین لغزش‌ها در ردیف سوم اهمیت در میان انواع مخاطرات طبیعی قرار دارند و بسته به شرایط طبیعی، میزان تأثیرات و فعالیت‌های انسانی می‌تواند خسارات مالی و جانی متعددی داشته باشند (گوزتی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۰). گزارش بانک اطلاعاتی حوادث غیرمترقبه<sup>۶</sup> از آمار خسارات زمین لغزش‌ها در کشورهای مختلف جهان در دوره (۲۰۰۷-۱۹۰۳) نشان می‌دهد که در این دوره زمین لغزش‌ها در مجموع باعث مرگ بیش از ۵۷ هزار نفر و متأثر شدن بیش از ده میلیون انسان در سراسر دنیا شده است (کاستلانوس<sup>۷</sup>، ۲۰۰۸). درحالی که احتمال وقوع زمین لغزش‌ها در اکثر مناطق جهان دور از انتظار نیست اما متأسفانه تا به حال هیچ نقشه یا متدولوژی واحدی جهت ارزیابی مناطق مستعد چنین رخدادهای وجود ندارد. به همین خاطر، هنوز هم پیش‌بینی مکانی و زمانی آن مشکل است (سها و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۵).

کشور ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی، فقدان مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه‌های محیطی به‌عنوان یک کشور پرمخاطره بشمار می‌رود. بطوریکه اگر برای دیگر بلایای طبیعی احتمال وقوع هر از چندگاهی قائل شویم، پتانسیل وقوع زمین لغزش در کشور را باید هر لحظه در نظر گرفت (کمک پناه و همکاران، ۱۳۷۳). هر ساله وقوع زمین لغزش‌ها در مناطق مختلف کوهستانی آن خسارات و صدمات قابل توجهی به بار می‌آورد (قائم‌مقامی و همکاران، ۱۳۸۶). بر اساس برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق وقوع زمین لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود. البته این رقم تنها به خسارات مستقیم اشاره دارد. خسارات غیرمستقیم زمین لغزش‌ها مانند هدر رفتن خاک، افزایش حجم رسوبات در پشت سدها، تغییر اکوسیستم مناطق لغزشی و از بین رفتن جنگل‌ها و ... خساراتی بسیار بیشتر از رقم یادشده بر اقتصاد کشور تحمیل می‌کند (پارسایی و علی‌محمدی، ۱۳۹۱). خسارات ناشی از وقوع زمین لغزش‌ها در ایران که با ثبت ۴۹۰۰ مورد از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۷ در سراسر کشور در قالب پروژه بانک اطلاعات زمین لغزش‌های کشور بر اساس تفسیر عکس-های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ صورت گرفته بیش از ۱۲۷ هزار میلیارد ریال برآورد شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱). این امر بر اهمیت شناخت هر چه دقیق‌تر و مطالعه بیشتر ابعاد مختلف زمین لغزش‌ها افزوده و مسئولیت سنگین متولیان امر را گوشزد می‌کند.

در عرصه آبخوانداری تسوج، حجم وسیعی از عملیات سازه‌ای با صرف هزینه هنگفتی به‌منظور مهار سیلاب‌های مخرب و تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی احداث شده است که با شروع بارش‌های رگباری و سیلاب‌های ناشی از آن، شاهد انتقال حجم وسیعی از رسوبات به داخل این سازه‌های هیدرولیکی هستیم. بدون شک، فعالیت‌های مورفودینامیک دامنه-

1. Dai et al

2. Slope fauiler

3. Van Westen et al

4. Whitehead

5. Guzzetti

6. Emergency Disaster Database(EM-DAT)

7. Castellanos

8. Saha et al

ای و حرکات توده‌ای مناطق بالادست حوضه آبریز تسوج منبع اصلی مواد رسوبی وارده به داخل کانال‌های یادشده می‌باشد. (رفیعی، ۱۳۸۹) در همین راستا، تحقیق حاضر باهدف شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در حوضه آبریز تسوج انجام گرفته است تا از طریق مدل‌سازی فرایندی، ضمن شناسایی مناطق مستعد ناپایدار دامنه‌ای، احتمال وقوع آتی آن‌ها را مدل‌سازی کرد. یافته‌های این تحقیق منجر به شناخت لازم از مکانیسم تولید رسوب، انتقال و نحوه رسوب‌گذاری در کانال‌های عرصه آبخوانداری شده و از این طریق می‌توان با ارائه راهکارهای علمی و اتخاذ تدابیر لازم اقدامات مؤثری در جهت افزایش بازدهی و طول عمر مفید سازه‌های آبی موجود در عرصه آبخوانداری به عمل آورد.

تاکنون دیدگاه‌های زیادی در زمینه ارزیابی پایداری شیب و خطرات زمین‌لغزش‌ها ارائه شده است از آن جمله می‌توان به کارهای سیدل و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۵)، دیتریچ و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۶، ۱۹۹۲، ۱۹۹۶)، دیتریچ و مونتجومری<sup>۳</sup> (۱۹۸۸، ۱۹۹۴، ۱۹۸۹)، کاررا و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۹۱)، وو و سیدل<sup>۵</sup> (۱۹۹۲) و Pack<sup>۶</sup> (۱۹۹۵) اشاره کرد. در این میان کاربرد دیدگاه دیتریچ و مونتجومری (۱۹۹۴) رایج‌تر از بقیه در این زمینه می‌باشد (پک و همکاران، ۲۰۰۵).

اخیراً، دسترسی به مدل رقومی زمین (DEM<sup>۶</sup>) باعث بهبود در توسعه روش‌های شده است که با استفاده از امکانات موجود در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS<sup>۷</sup>) متغیرهای توپوگرافی<sup>۸</sup> مربوط به ناپایداری شیب و زمین‌لغزش‌ها را به صورت کمی بررسی می‌کنند. یکی از مدل‌های ارائه شده در این زمینه مدل فرایندی SINMAP می‌باشد. ساختار مدل یادشده ترکیبی از مدل عددی نامحدود پایداری شیب<sup>۹</sup> و مدل هیدرولوژیکی با فرض جریان ماندگار<sup>۱۰</sup> است. فرایند کاری مدل SINMAP مشابه روش دیتریچ و مونتجومری (۱۹۹۴) بوده که در سال ۱۹۹۸ از طرف پک و همکاران وی به منظور برآورد احتمال میزان ناپایداری دامنه‌ای توسعه یافته است. این مدل، مؤلفه‌های ناپایدار کننده (نیروی ثقل) و پایدار کننده (نیروی اصطکاک و چسبندگی خاک) شیب را بر روی یک سطح گسیخته به موازات سطح زمین شبیه‌سازی می‌کند و بر اساس داده‌های ورودی یعنی شیب، سطح ویژه حوضه آبخیز، ویژگی‌های خاک و خصوصیات اقلیمی (رطوبت هیدرولوژیک) عمل پهنه‌بندی زمین‌لغزش را بر اساس میزان پایداری آن در قالب هر سلول از شبکه انجام می‌دهد. البته متغیرهای ورودی مدل دارای یک نوع عدم قطعیت<sup>۱۱</sup> بوده و به همین خاطر به صورت حدود بالا و پائین به صورت احتمال بیان می‌شوند. خروجی مدل نیز در دامنه‌ای از صفر تا یک بیان می‌شود بدین صورت که عدد صفر نشان‌دهنده حداکثر پایداری و عدد یک نیز حداقل ناپایداری را نشان می‌دهد و جایی که ناپایدار کننده‌ترین مجموعه از پارامترهای مدل هنوز قادر به ناپایدار کردن شیب نیستند ارزش عددی شاخص پایداری بیشتر از یک خواهد بود و در این حالت این شاخص به عنوان ضریب اطمینان<sup>۱۲</sup> تعریف می‌شود. در همین راستا، تعداد ۶ کلاس پایداری به واسطه مدل ارائه می‌شود که بر مبنای مقادیر ضریب اطمینان (SI) خواهند بود. کلاس‌های پایداری یادشده عبارت‌اند از: ۱- کلاس پایدار<sup>۱۳</sup> ( $SI > 1.5$ ) - ۲ نیمه پایدار<sup>۱۴</sup> ( $1.5 > SI > 1.25$ ) - ۳ شبه پایدار<sup>۱</sup> ( $1.25 > SI > 1.0$ ) - ۴ آستانه پائین<sup>۲</sup> ( $0.5 > SI > 0.0$ ) - ۵ آستانه بالا<sup>۳</sup> ( $1.0 > SI > 0.5$ ) و ۷- شیب حفاظتی<sup>۴</sup> ( $0 > SI$ )

1. sidle et al.

2. Dietrich

3. Montgomery and Dietrich

4. Carrera

5. wu and sidle

6 Digital Elevation Model

7 Geographical Information System (GIS)

8 Topographic attributes

9 Infinite slope stability model

10 Steady-state hydrology assumption

11 Uncertainty

12 Safety factor

13 Stable

14 Moderately Stable

### معرفی منطقه

عرصه آبخوانداری تسوج بین طول جغرافیایی "۲۰، ۱۸، ۴۵° تا ۳۲، ۴۵° شرقی و عرض جغرافیایی '۲۰° تا ۳۰'۳۰، ۳۸° شمالی در شمال دریاچه ارومیه در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است (شکل شماره ۱). کل محدوده مطالعاتی دارای مساحت ۳۰۰۰ هکتار 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 می‌گردد. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۱۳۵ متر در قله علمدار و حداقل آن ۱۳۸۰ متر در ناحیه دشتی منطقه قرار گرفته است. مطابق اطلاعات هواشناسی ایستگاه کلیماتولوژی تسوج که در داخل محدوده مطالعاتی قرار گرفته، متوسط دمای سالانه منطقه در حدود ۱۳/۴۲ درجه سانتیگراد است. متوسط تعداد روزهای یخبندان در دوره آماری مذکور ۸۳ روز بوده که از اوایل آبان ماه شروع و تا اواسط فروردین ماه سال دیگر ادامه می‌یابد. میانگین سالانه بارش در همین مدت ۲۶۰ میلی‌متر گزارش شده است. از نظر زمین ساختی منطقه تسوج در واحد البرز-آذربایجان در زون ماکو-تبریز قرار گرفته است (نبوی، ۱۳۵۵) و در آن سازندهای مختلف زمین‌شناسی گسترش دارند که بیشترین سطح مربوط به ماسه‌سنگ (۲۲/۵ کیلومتر مربع)، مارن و شیل و ماسه‌سنگ هرکدام با ۱۷ کیلومتر مربع می‌باشد و از نظر تکتونیکی نیز با وجود گسل‌های فراوان از جمله گسل تسوج یک منطقه نکتونیزه فعال به حساب می‌آید (حبیب زاده، ۱۳۷۶). خاک‌های مناطق مرتفع منطقه به علت شیب زیاد و حاکمیت اقلیم سرد کمتر تکامل یافته و دارای عمق کم بوده و در رده خاک‌های انتی سول<sup>۱</sup> قرار دارند این مناطق دارای پوشش گیاهی فقیری هستند. خاک‌های ناحیه مخروط افکنه دارای عمق مناسبی است و فعالیت‌های کشاورزی نیز عمدتاً محدود به همین ناحیه می‌شود (خانی، ۱۳۷۶). ارتفاعات منطقه دارای پوشش گیاهی مرتعی با تیپ غالب فرقیون، فستوکا، گون و قانقال می‌باشد که مطابق مطالعات صورت گرفته دارای گرایش نزولی و قهقرائی می‌باشد. کشاورزی و باغداری به صورت خیلی محدود در سطح مخروط افکنه و مناطق دشتی انجام می‌گیرد. البته در سال‌های 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 در گردشی به منظور پخش سیلاب و تغذیه سفره آبریز زمینی می‌باشد (رفیعی، ۱۳۸۹).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

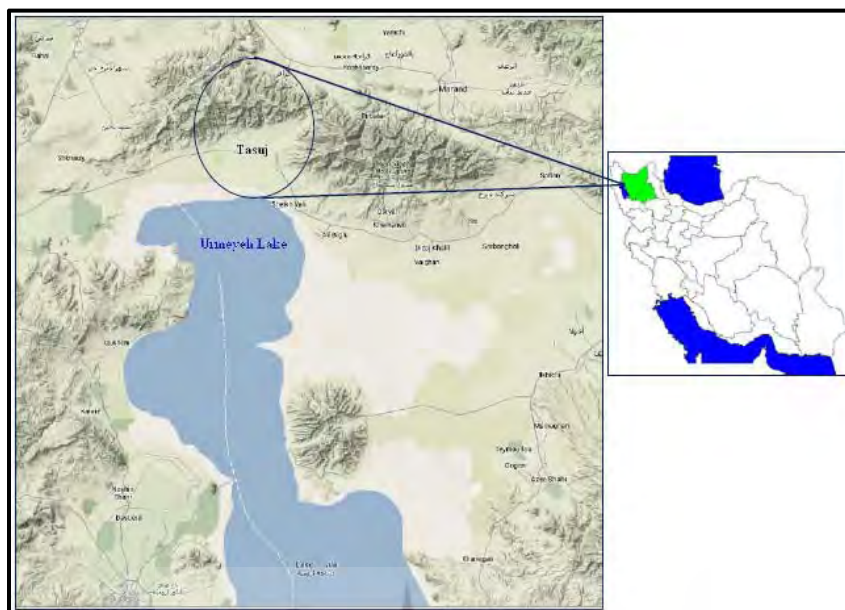
1. Quasi Satable

2. Lowe Threshold

3. Upper Threshold

4. Defended Slope Zone

5. Entisols



شکل شماره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

### روش تحقیق

این تحقیق با استفاده از داده‌های زیرانجام گرفته است:

- نقشه‌های توپوگرافی رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به منظور تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)
- نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی و شناسایی اولیه توزیع مکانی زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه
- عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ به منظور تهیه زوج‌های استریوئی و تفسیر آن‌ها جهت استخراج محدوده زمین‌لغزش‌های موجود
- نرم‌افزار ArcGIS 10.2 جهت تهیه نقشه‌ها و انجام تحلیل‌های مکانی
- برنامه جانبی Hydro-mod. در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 9.3 به منظور مدل‌سازی هیدرولوژیکی
- اکستنشن<sup>۱</sup> 2.0 SINMAP جهت مدل‌سازی ناپایداری دامنه‌ای و تعیین توزیع مکانی آن‌ها
- مدل GPS گارمین به منظور تعیین موقعیت مکانی لغزش‌های موجود و کنترل نتایج مدل SINMAP در حین عملیات صحرایی

در تحقیق حاضر، به منظور شناسایی مناطق مستعد ناپایداری در منطقه مورد مطالعه، از مدل‌سازی فیزیکی بر مبنای مدل فرایندی SINMAP در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.2 استفاده شده است. مراحل اجرای تحقیق حاضر در شکل شماره ۲ نشان داده شده است: در گام نخست، نقشه‌های توپوگرافی رقومی منطقه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با فاصله منحنی تراز ۲۰ متری تهیه شد. در محیط نرم‌افزاری ArcGIS با استفاده از امکانات تحلیل‌گر 3D مدل رقومی زمین (DEM) به عنوان اولین لایه اطلاعاتی مورد نیاز مدل SINMAP تهیه شد. هرچند که مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده در این مرحله می‌تواند مستقیماً توسط مدل SINMAP بکار گرفته شود؛ ولی با توجه به تجارب عملی قبلی‌تر ارتباط با اینکه شبکه هیدروگرافی مستخرج از اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی در محیط نرم‌افزاری GIS کاملاً با واقعیات زمینی منطبق نبوده و احتمالاً دقت نتایج حاصله را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در همین راستا، ضروری به نظر رسید که قبل از استفاده از مدل رقومی زمین توسط

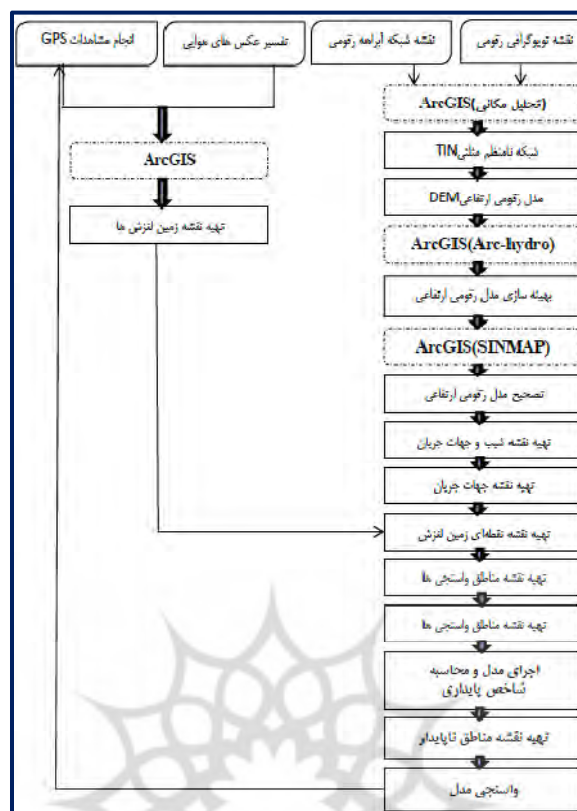
مدل SINMAP نقشه یادشده با استفاده از شبکه هیدروگرافی مستخرج از نقشه‌های توپوگرافی و با بکارگیری برنامه جانبی Hydro-mode در محیط نرم‌افزاری ArcGIS بهینه‌گردد تا شبکه هیدروگرافی مستخرج از اجرای مدل SINMAP مطابقت بیشتری با واقعیات زمینی خواهد داشت. مدل رقومی ارتفاعی بهینه‌شده به محیط مدل احضار گردید تا تحلیل ناپایداری دامنه‌ای بر اساس آن صورت گیرد. از این به بعد قسمت عمده فعالیت تحلیلی ما در محیط مدل SINMAP صورت گرفته است. دومین اقدام اساسی در این زمینه، ایجاد لایه واسنجی<sup>۱</sup> بوده که در تحقیق حاضر بر اساس مقادیر پیش‌فرض خود برنامه صورت گرفته است. در ادامه، نقشه توزیع مکانی زمین‌لغزش‌های موجود بر اساس تفسیر استریوئی عکس‌های هوایی تهیه‌شده و ضمن کنترل از طریق مشاهدات صحرائی نهایتاً به‌عنوان یک لایه اطلاعاتی به محیط تحلیلی مدل SINMAP اضافه گردید. اساس طبقه‌بندی انواع زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده مدل پیشنهادی Cruden و Varnez (۱۹۹۶) بوده است. تصحیح چاله‌های هیدرولوژیکی<sup>۲</sup> در قالب پیکسل‌های منفرد در مدل رقومی زمین اقدام اساسی بعدی در این کار بوده است. وجود این پیکسل‌ها می‌تواند ناشی از طبیعت گسسته مدل رقومی زمین باشد که احتمالاً در اثر خطاهای آماده‌سازی و یا میانبایی خطوط میزان توپوگرافی به وجود آمده است. این مسئله با استفاده از دستور Pit Filling برنامه جانبی SINMAP انجام گرفت. در ادامه، لایه‌های مختلف اطلاعاتی از قبیل: نقشه شیب زمین، نقشه جهات جریان و سطح ویژه حوضه آبریز تهیه شدند. تا این قسمت از کار، تمامی لایه‌های اطلاعاتی که مبنای محاسبات شاخص پایداری شیب در مدل SINMAP بوده آماده‌شده‌اند. آخرین مرحله کار، تهیه نقشه پهنه‌بندی میزان حساسیت لغزش‌پذیری منطقه مورد مطالعه بوده که مطابق با آستانه‌های موجود در این زمینه می‌باشد. 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 می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

11 Optimization

2 Calibration

3 Pit Filling



شکل شماره ۲:فلوچارت فرایند شبیه‌سازی توسط مدل SINMAP

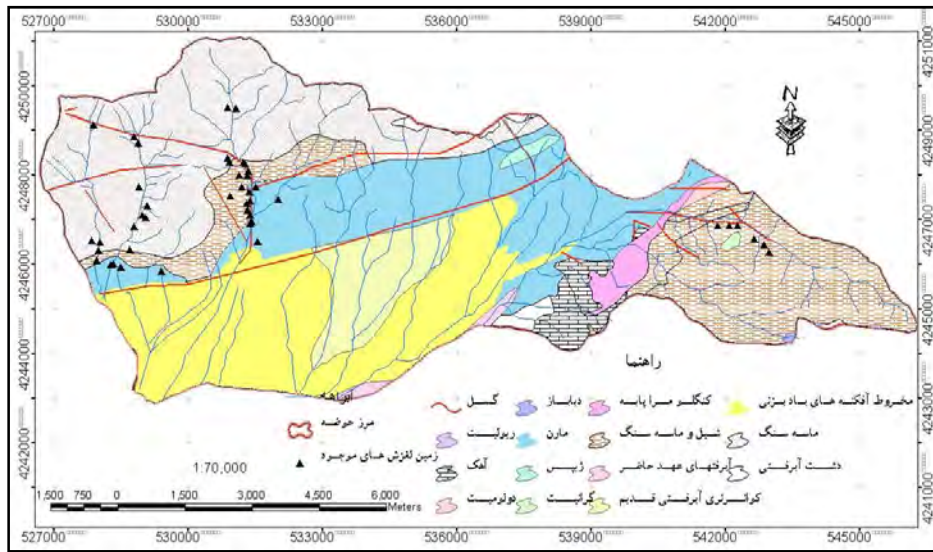
## نتایج

انواع زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه و همچنین پراکنش مکانی آن‌ها از طریق تفسیر زوج‌های استریوئی عکس‌های هوایی و مشاهدات صحرائی مورد شناسایی قرار گرفتند. نتایج تفسیر استریوئی حاکی از وجود ۴۴ نقطه لغزشی در منطقه بود. انواع زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در این مرحله مطابق مدل پیشنهادی از طرف Cruden و Varnez (۱۹۹۶) بدین صورت تعیین شدند: جریان واریزه‌ای<sup>۱</sup> ۳۰ مورد، لغزش واریزه‌ای<sup>۲</sup> ۴ مورد، ۲ مورد بصورت افتان سنگی<sup>۳</sup> و ۸ مورد نیز در قالب لغزش‌های چرخشی بوده است. در قالب تحلیل مکانی، همپوشانی این نقشه با نقشه لیتولوژی منطقه نشان داد که قسمت عمده زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در روی سازندهای ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ و شیل و مارن اتفاق افتاده است (شکل شماره ۳). این سازندها بخاطر حساسیت بالائی که در مقابل تخریب و هوازگی دارند منبع خوبیاز مواد واریزه‌ای دامنه‌ای محسوب می‌شوند که می‌توانند تحت تأثیر نیروی ثقل و جریانات سطحی دامنه‌ای به داخل دره‌ها انتقال یافته (شکل‌های ۴ و ۵) و در ادامه موجب پرشدگی و تخریب سامانه‌های آبگیر و سازندهای هیدرولوژیکی موجود در عرصه پخش سیلاب شوند.

1 Debris flow

2 Debris slide

3 Rock fall

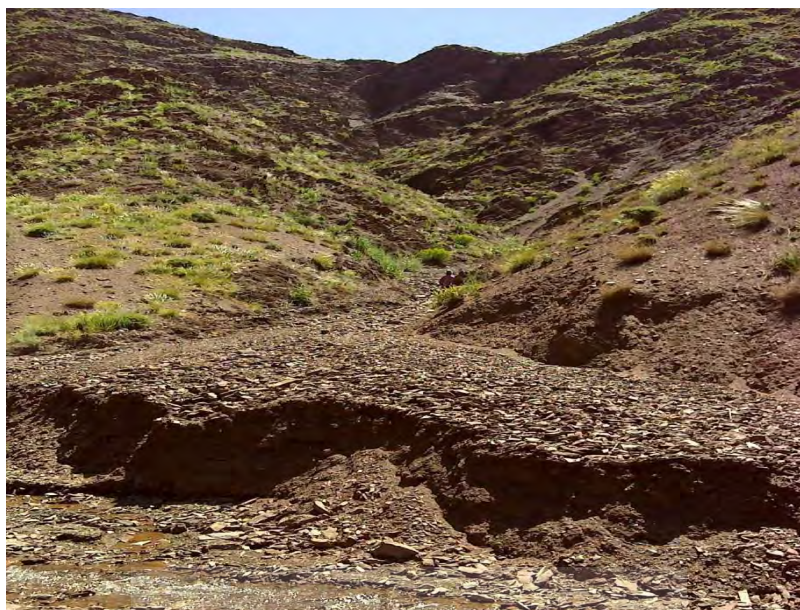


شکل شماره ۳: نقشه زمین شناسی و پراکنش زمین لغزش های موجود در منطقه



شکل شماره ۴: حرکات توده ای در قالب لغزش واریزه ای (Debris Slide)

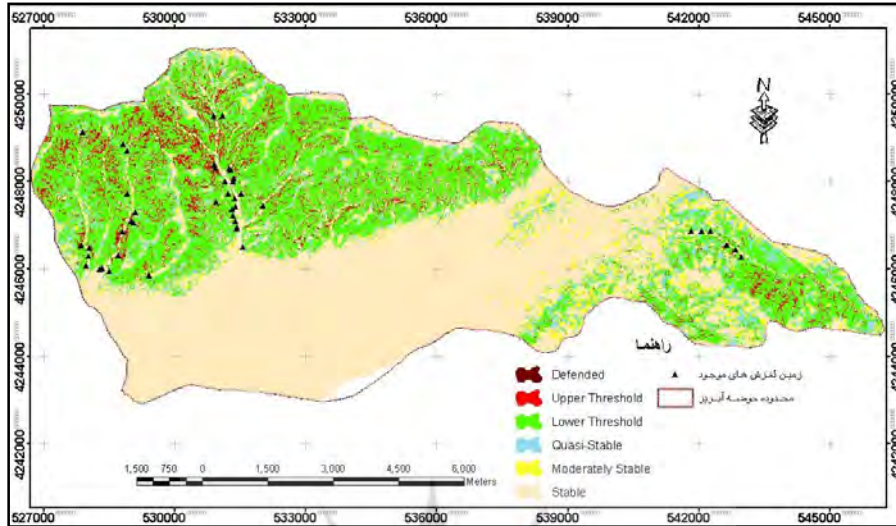




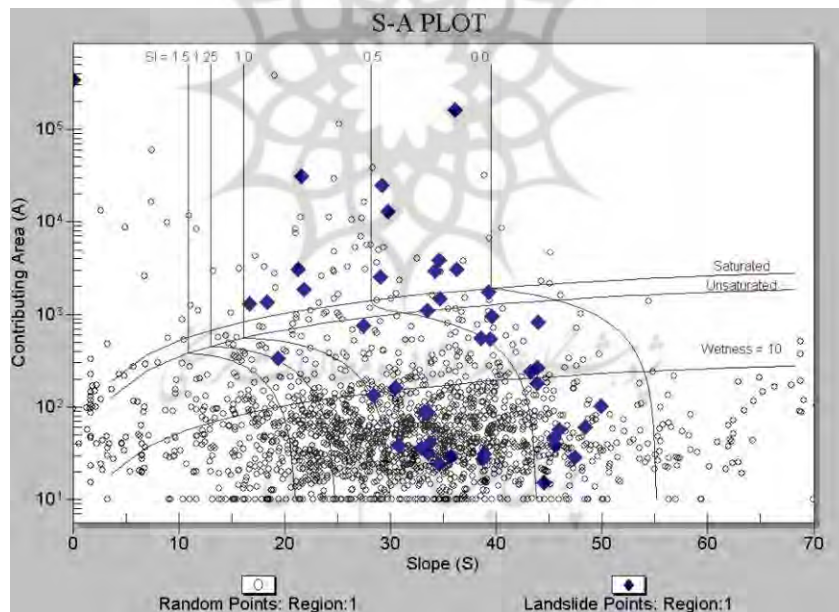
شکل شماره ۵: نمونه‌ای از لغزش جریان (Debris flow)

همانطوریکه پیش‌تر نیز اشاره شد تهیه نقشه شاخص ناپایداری دامنه‌ای و تعیین محدوده پهنه‌های مستعد لغزشی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.2 و با استفاده از مدل SINMAP بر اساس مدل رقمی ارتفاعی و نقشه پراکنش مکانی زمین لغزش‌های موجود در منطقه صورت گرفته است. نتیجه پهنه‌بندی حساسیت ناپایداری دامنه‌ای شاخص پایداری بر اساس مقادیر ضریب اطمینان (SI) برای منطقه مورد مطالعه در شکل شماره (۶) ارائه شده است. به منظور درک بهتر و تفسیر هرچه دقیق‌تر، نتایج شاخص ناپایداری در ارتباط با درصد شیب دامنه‌ای در یک فضای دوبعدی و در قالب نمودار شیب-سطح ویژه حوضه ( $S-A^1$ ) در شکل شماره (۷) نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می‌شود توزیع مناطق ناپایدار تطابق خوبی با درصد شیب منطقه دارد. بطوریکه اکثر زمین لغزش‌های شناسایی شده موجود در محدوده شیب ۳۰-۵۰ درصد توزیع شده‌اند. از طرف دیگر، توزیع مکانی زمین لغزش‌های موجود از لحاظ فاکتور سطح ویژه حوضه آبریز نشان می‌دهد که مخروط جریانات واریزه‌ای و همین‌طور لغزش‌های واریزه‌ای در داخل و یا مجاورت دره‌ها واقع شده‌اند. این مواد توسط جریانات سطحی دامنه‌ای و تحت تأثیر نیروی ثقل در جهت شیب زمین حرکت کرده و به داخل دره‌ها انتقال یافته و در مراحل بعدی، با افزایش قدرت رواناب‌ها در داخل شبکه هیدروگرافی، به عنوان منبع تحویل رسوب در حجم بالایی به داخل کانال‌های احداثی وارد شده‌اند. در نهایت، ادامه این فرایند موجب تخریب سازه‌های آبی موجود در پروژه پخش سیلاب تسوج می‌گردد. 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 دره‌ها بوده و ۴۰ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده و کمترین تراکم (۰/۰۵ درصد) زمین لغزش‌ها مربوط به این ناحیه می‌باشد. مخروط‌های تراکمی لغزشی موجود در این ناحیه در اثر فرایند انتقال واریزه‌های دامنه‌ای از مناطق بالادست آبراهه ایجاد شده است. بیشترین درصد زمین لغزش‌های شبیه‌سازی شده به ترتیب در دو کلاس آستانه پائین (۴۳/۱۸ درصد) و آستانه بالا (۳۶/۴ درصد) واقع شده است. این پهنه‌ها مربوط به مناطقی هستند که در آن‌ها احتمال ناپایداری دامنه‌ای به ترتیب کمتر و بیشتر از ۵۰ درصد بوده و در این مناطق نیازی به وجود عوامل خارجی تشدیدکننده جهت ناپایداری شیب نیست. کلاس شیب حفاظتی منطبق است با رخنمون‌های سنگی شیب‌های بسیار بالا بوده و در

این پهنه، هرگونه تغییر در دامنه عددی پارامترهای ورودی مدل نمی‌تواند از ناپایداری آن‌ها جلوگیری کند. در این تحقیق، تعداد ۲ مورد افتان سنگی منطبق با این مناطق شناسایی شد.



شکل شماره ۶: نقشه شاخص پایداری منطقه مورد مطالعه با استفاده مدل SINMAP



شکل شماره ۷: نمودار شیب-سطح برای منطقه مورد مطالعه

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

مناطق	مساحت (km <sup>2</sup> )	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
آستانه 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 و نتیجه گیری

پروژه آبخوانداری تسوج در حوضه آبریز تسوج چای به عنوان یکی از پروژه‌های ملی در سطح استان بوده که به منظور تغذیه مصنوعی آب سفره زیرزمینی احداث شده است و در آن سازه‌های هیدرولوژیکی مهمی نظیر: کانال‌های ذخیره سیلاب، ابنیه‌های فنی کنترل رسوب با صرف هزینه زیادی طراحی و احداث شده است. متأسفانه بخاطر فعالیت‌های مورفونیز فعال در قالب حرکات توده‌ای دامنه‌های مشرف به عرصه پخش سیلاب و به تبع آن ورود حجم وسیعی از رسوبات واریزه‌ای به داخل سازه‌های آبی موجود در منطقه، هر ساله شاهد صرف هزینه هنگفتی جهت لایروبی و برداشت رسوبات وارده به داخل کانال‌ها و سازه‌های آبی هستیم. بنابراین، تعیین مناطق حساس به وقوع زمین لغزش و مدل سازی احتمال وقوع آن‌ها جهت امکان برآورد حجم رسوبات وارده و رفتار سنجی توده‌های لغزشی جهت کاهش خسارات وارده از اهمیت بسزایی برخوردار است. در همین راستا، تحقیق حاضر به منظور بررسی میزان حساسیت و تعیین احتمال وقوع ناپایداری دامنه‌ای در حوضه آبریز تسوج در شمال دریاچه ارومیه با بکارگیری مدل فرایندی SINMAP انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که منطقه مورد مطالعه از پتانسیل ناپایداری نسبتاً بالایی برخوردار است. یافته‌های تحلیل مکانی در قالب همپوشانی نتایج شبیه‌سازی شده با نقشه‌های لیتولوژی و شیب منطقه نشان می‌دهد که همبستگی بالایی از نظر تطابق مکانی پهنه‌های ناپایداری شناسایی شده با سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش و درصد شیب منطقه وجود دارد. با این وجود، با توجه به حساسیت زیاد مدل SINMAP به دقت مدل رقومی ارتفاعی که از طرف Pack و همکاران (۲۰۰۵) و Legorreta و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأکید شده است پیشنهاد می‌شود که در صورت دسترسی از مدل رقومی زمینی ۱۰ متری و کوچک‌تر استفاده گردد. ضمناً ضروری است که مدل رقومی ارتفاعی زمین قبل از استفاده در مدل SINMAP، با استفاده از شبکه هیدروگرافی از طریق مدل هیدرولوژیکی موجود در نرم‌افزارهای GIS بهینه گردد تا تطابق بالایی با شرایط طبیعی منطقه داشته باشد.

به استناد به نتایج به دست آمده می‌توان پذیرفت که امکان پیش‌بینی میزان ناپایداری زمین با استفاده از مدل SINMAP در منطقه وجود دارد. همانطوریکه اخیراً نیز قابلیت بکارگیری مدل یاد شده توسط محققان دیگری از جمله: کارتر

ویت<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، مسی نا<sup>۲</sup> و اسکارابلی<sup>۳</sup> (۲۰۰۷)، هاوچیانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۱) و آرنون<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۱) گزارش و تأیید شده است.

تعیین احتمال واقعی وقوع ناپایداری دامنه‌ای، مستلزم تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر در ایجاد آن و بکارگیری مدل‌های پیچیده‌ای می‌باشد. در اکثر موارد هم برقراری ارتباط روشنی بین این عوامل و وقوع حرکت‌های توده‌ای به راحتی میسر نخواهد بود. بنابراین اکثر نقشه‌های پهنه‌بندی 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، برحسب اهداف مطالعاتی می‌توان با استفاده از مدل‌های مختلف انواع گوناگون نقشه‌های پهنه‌بندی 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

1. 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](http://www.elsevier.com/locate/geomorph)
2. Castellanos Abella, Ar., 2008, Multi-scale landslide risk assessment in Cuba, PhD thesis, ITC, Enschedeh, the Netherlands <http://www.itc/library/papers2008/phd/casellanous.pdf>
3. 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.
4. 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
5. 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.
6. Dai, F. C., Lee, C.F. and Nagai, Y. Y., 2002, *Landslide riske assessment and management: an overview*, *engineering geology*, 64(1): 65-87
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Ghaem maghami, Sh., Moafi, H., Zolfaghari, M., 2007, Using of Nilson method and GIS for landslide risk zonation in Baft basin, 3end conference for watershed, natural resources and soil and water managements, 11-12 November, Kerman, Iran
11. Guzzetti, F., 2000, *Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy*, *Engineering Geology*, 58(2): 89-107
12. Habibzadeh, A., Yarahmadi, J., 1997, *Final report of Geology and geomorphology for Tasuj flood spreading project*, East Azerbaijan natural resources research Center.
13. 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](http://www.elsevier.com/locate/geomorph)
14. Khani, M., 1997, *Final report of soil for Tasuj flood spreading project*, East Azerbaijan natural resources research Center.
15. Komakpanah, A., Motazerghaem, S., Chodani, A., 1994, *Landslides and review of landslides in Iran*, 1th volume, International institute for seismology, Tehran, Iran

1 CARTER WITT

2 Meisina

3 Scarabelli

4 Hao Chiang

5 Arnone

16. 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](http://www.elsevier.com/locate/pce)
17. 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](http://www.elsevier.com/locate/geomorph)
18. Montgomery, D. R. and W. E. Dietrich, (1988), "Where do channels begin," *Nature*, 336: 232-234.
19. Montgomery, D. R. and W. E. Dietrich, (1989), "Source Areas, Drainage Density and Channel Initiation," *Water Resources Research*, 25(8): 1907-1918.
20. 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.
21. Moradi, H. R., Mohammadi, M., Pourghasemi, H., R., 2012, Mass movement with emphasis to landslide occur analysis by quantitative methods, 1th ed., Samat publication, Tehran. Iran
22. Nabavi, M. H., 1976, Introduction to Iran's geology, Iran geological Organization, Tehran. Iran
23. Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N., 2005. SINMAP: a Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping. User's Manual. 68 pp. <http://hydrology.neng.usu.edu/sinmap>
24. 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>)
25. 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
26. 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.
27. Parsaei, L., Alimohamadi, S., 2012, Landslide in Iran, First edition, publication of Jihad-e-Daneshgahi organization, Tehran, Iran
28. Rafaei, M., 2010, Investigation of slope instability of North parts of Tasuj flood spreading project sub basins on hydrological foundations by GIS & RS, MSc thesis, geomorphology Department of Tehran Markazi unit of Azad university, Tehran, Iran
29. Sidle, R., (1992), "A Theoretical Model of the Effects of Timber harvesting on Slope Stability," *Water Resources Research*, 28(7): 1897-1910.
30. 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
31. 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.
32. Varnes, D. (1984). *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*. Paris' UNESCO, 63 pp
33. Van Westen, C., Kerel, N., Damen, M., Lubysnska, M., 2009, Multi-hazard risk assessment: guide book, Enschede, The Netherlands, ITC, [www.itc.nl](http://www.itc.nl)
34. 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
35. Wu, W. and R. C. Sidle, (1995), "A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Watersheds," *Water Resources Research*, 31(8): 2097-2110