نشریه

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هفتم- شماره ۲۱- تابستان ۱۳۹۲ Vol. 7, No. 21, Summer 2013

بررسی امکان استفاده از روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» در ارزیابی و تدقیق روش‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها

ضیاءالدین شعاعی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۰۹

چکیده

روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر و ریسک وقوع لغزش‌ها ارائه گردیده است که در دهه اخیر بکارگیری روش‌های نوین تا حدود زیادی توانسته دقت این مدل‌ها را افزایش دهد. مرور کارهای انجام شده حکایت از این واقعیت دارد که بدلیل تأثیر مستقیم قضاوت‌های کارشناسی و عدم استفاده از اطلاعات دقیق در نقشه‌های کوچک مقیاس، به طور معمول تطابق نقشه‌ها با وقایع اتفاق افتاده در سطح مطلوب نیست. از سویی دیگر تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس که تاحدودی دارای دقت قابل قبول‌تر هستند، مستلزم استفاده از اطلاعات دقیق‌تر نظیر داده‌های ژئوتکنیکی بوده که به طور معمول یا در دسترس نبوده و یا تهیه آن‌ها به روش‌های رایج از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

در این مطالعه برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها، روش «دیرین‌ریخت‌شناسی[۲]» که بر اساس شبیه‌سازی ریخت‌شناسی قدیمی و شناخت منشاء رسوبات، بوده پیشنهاد گردیده است. در این روش پس از بازسازی ریخت‌شناسی اولیه منطقه، منشا رسوبات بر جای گذاشته شده امروزی شناسائی و بر اساس درصد مشارکت سازندها در شکل‌گیری این رسوبات، خواص ژئوتکنیکی آن‌ها ارزیابی می‌گردد. با استفاده از نتایج این ارزیابی، روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» بخوبی قادر خواهد بود تا با هزینه کم و زمانی مناسب، نقشه پهنه‌بندی بزرگ مقیاس را در اختیار کاربران قرار دهد. گر چه این روش هم یک روش مبتنی بر قضاوت کارشناسی بوده ولی به دلیل استفاده از اصولی ساده و قابل درک برای کارشناسان زمین‌شناسی مهندسی، براحتی برای هر رده کارشناسی قابل استفاده می‌باشد. جهت ارزیابی این روش یک منطقه مستعد لغزش در منطقه هراز در شمال تهران انتخاب گردیده و ابتدا با روش آنبالاگان که در آن عامل‌های زمین‌شناسی مورد توجه ویژه است، پهنه‌بندی گردید. سپس با استفاده از روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» نحوه وزن‌دهی این مدل اصلاح و توسط آن، منطقه مورد مطالعه دوباره پهنه‌بندی گردیده و با نتایج مدل آنبالاگان و نقشه واقعیت زمینی مقایسه شد. نتایج حاصل حکایت از ارتقاء چشم‌گیر قابلیت اعتماد به مدل اصلاح شده با روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» دارد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی و دیرین‌ریخت‌شناسی

مقدمه

رشد جمعیت و بدنبال آن توسعه مناطق صنعتی و مسکونی و همچنین شریان‌های حیاتی، باعث گردیده که توسعه به سمت مناطق مرتفع و کوهستانی با سرعت بالائی صورت پذیرد. عدم توجه به ضرورت مطالعات شناسائی قبل از هر توسعه، باعث گردیده که امروزه شاهد بروز معضلات متعددی از جمله ناپایداری زمین‌ها و وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد در مناطق تازه توسعه یافته باشیم. در دهه ۱۹۹۰ زمین لغزش‌ها به عنوان یکی از بلایای طبیعی، منجر به بروز میلیاردها دلار خسارات به مناطق مسکونی، مناطق توسعه صنعتی و شریان‌های حیاتی گردیده است [۵]

پژوهش‌ها و مطالعات پیرامون علل وقوع زمین‌لغزش‌ها در دهه‌های اخیر یکی از اهداف زمین‌شناسی مهندسی بوده که همزمان با رشد فن‌آوری‌های مرتبط، تحول چشم‌گیری پیدا نموده است. یکی از ابزارهای مناسب جهت مطالعات و انتخاب مناطق مناسب جهت توسعه مناطق مسکونی و صنعتی، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش بوده که با استفاده از اطلاعات منطقه‌ای و در مقیاس‌های متناسب با نیازهای برنامه‌ریزان تهیه می‌گردند. این مطالعات به طور معمول در دو مقیاس محلی و منطقه‌ای انجام می‌پذیرد. در مطالعات محلی که نقشه‌ها، با مقیاس بزرگ تهیه می‌گردند، هدف اصلی پاسخگویی به نیازهای یک یا چند پروژه محلی نظیر احداث مجتمع‌های مسکونی و یا تجاری است، ولی در مطالعات منطقه‌ای که نقشه‌ها کوچک مقیاس تهیه می‌گردد، هدف شناخت نقاط مناسب طرح‌های کلان و تدوین برنامه‌های توسعه منطقه‌ای است.

از ابتدای دهه ۷۰ میلادی روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطروقوع زمین لغزش‌ها معرفی گردیده است. اساس کار در روش‌های معرفی شده این است که ابتدا لغزش‌های اتفاق افتاده در

۱- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، zshoaei@gmail.com

2- Paleomorphology

منطقه شناسائی و نقشه زمین‌لغزش‌های منطقه[1] تهیه می‌گردد. سپس با استفاده از اطلاعات پایه نظیر وضعیت زمین‌شناسی، ریخت‌شناختی، بارش، آب زیرزمینی و همچنین براساس قضاوت‌های مبتنی بر تجارب، عوامل مؤثر بر ناپایداری شیب‌ها در منطقه مورد مطالعه شناسایی می‌گردد. سپس با تشکیل لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر عامل در کل منطقه و استفاده از روش‌های مختلف از جمله قضاوت کارشناسی، میزان مشارکت و وزن هر عامل در ناپایداری شیب‌ها تعیین می‌گردد. در مرحله بعد با تعریف یک سری ضوابط (Rules)، مشخصات هر واحد کاری(Pixels) تهیه و براساس وزن داده شده برای واحدهای کاری یک عدد کمی محاسبه می‌گردد. در مرحله نهایی با تطابق محاسبات انجام شده با نقشه زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه وزن‌های تخصیص داده شده هر پیکسل در کلاس‌های «به طور کامل ناپایدار» تا به «طور کامل پایدار» کلاسه‌بندی شده و نقشه پهنه‌بندی تهیه می‌گردد [١٤]. این نقشه‌ها در مقیاس‌های متفاوت تهیه گشته که متناسب با بزرگ شدن مقیاس نقشه، اطلاعات مورد نیاز نیز بیشتر و دقیق‌تر می‌گردد. انجمن بین‌المللی مکانیک خاک و مهندسی پی مقیاس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش را به همراه روش مطالعه ارائه نموده است [٦]. در این رده بندی مقیاس نقشه‌های خروجی به سه دسته از ۱/۱۰۰۰۰۰ تا ۱/۵۰۰۰۰، از ۱/۵۰۰۰۰ تا ۱/۲۵۰۰۰ و از ۱/۲۵۰۰۰تا ۱/۵۰۰۰ طبقه‌بندی گردیده است. در نقشه‌های با مقیاس‌های کوچک، از اطلاعات کلی منطقه، زلزله‌های تاریخی و نقشه‌های کوچک مقیاس زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی استفاده شده در حالی‌که در نقشه‌های بزرگ مقیاس اطلاعات دقیقتر نظیر اطلاعات ژئوتکنیکی، و حتی ضریب ایمنی پایداری شیب‌ها نیز مورد استفاده قرا می‌گیرد.

مروری بر روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

در سال‌های اخیر در کنار روش‌های قضاوت کارشناسی که جهت ارزیابی تأثیر عواملی نظیر پستی و بلندی، فیزیوگرافی و اشکال ژئومورفولوژیکی زمین، شیب زمین، چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی، به عنوان خصوصیات ذاتی زمین و فاکتورهائی نظیر بارش، آب زیرزمینی و زلزله به عنوان متغیرهای خارجی بر وقوع لغزش‌ها توصیه شده است، استفاده از مدل‌های ریاضی جدید و روش‌های تجزیه و تحلیل آماری نظیر منطق فازی و شبکه‌های عصبی نیز تا حدود زیادی توانسته دقت مدل‌ها را افزایش دهد. مرور کارهای انجام شده حکایت از این واقعیت دارد که به دلیل تأثیر مستقیم قضاوت کارشناسی و عدم دسترسی به اطلاعات کافی در مورد لغزش‌های رخ داده در یک منطقه، معمولاً تطابق نقشه‌های پهنه‌بندی با لغزش‌های اتفاق افتاده در سطح مطلوب نیست. در برخی نقشه‌های کوچک مقیاس این تطابق در سطح کمتر از ۵۰ درصد است [١١]. از سویی دیگر تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس که تا حدودی دارای دقت قابل قبول‌تر هستند، مستلزم استفاده از اطلاعات دقیق‌تر نظیر داده‌های ژئوتکنیکی بوده که به طور معمول یا در دسترس نبوده و یا تهیه آن‌ها به روش‌های رایج از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. مدل‌های ارائه شده دارای توانمندی‌های متفاوتی بوده که متناسب با نیازهای منطقه‌ای، عوامل متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته است.

راد براچ و ونت‌ورث [١٠] مدلی را برای پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش‌ها ارائه دادند که بر اساس آن سطح رخنمون‌های زمین‌شناسی محاسبه و در ٦ کلاسه رده‌بندی می‌گردد. سپس با استفاده از نقشه زمین‌لغزش‌های منطقه، میزان سطح تحت پوشش لغزش‌ها در هر رده محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد نقشه شیب و نقشه خطوط هم‌باران تهیه و در نهایت نقشه پهنه‌بندی براساس زمین‌شناسی، شیب و میزان بارش تولید می‌گردد. در روش پهنه‌بندی راد براچ، عرصه‌های با شیب متوسط کمتر از ۵ درجه و بارندگی‌های کمتر از ۱۰ اینچ، پایین‌ترین امتیاز را به خود اختصاص می‌دهند.

براب [٣] در مدل پهنه‌بندی خود واحدهای زمین‌شناسی را تفکیک، و پس از تهیه نقشه لغزش‌های منطقه دو نقشه را با هم قطع داده و تعداد لغزش‌های موجود در هر واحد زمین‌شناسی را بدست می‌آورد. با توجه به تعداد لغزش‌ها در هر واحد، رده ٦ به پیکسل‌های دارای بیشترین لغزش و رده ۱ به پیکسل‌های بدون لغزش تخصیص داده می‌شود. سپس با تلفیق این نقشه با نقشه شیب و تطابق کلاس شیب با فراوانی لغزش، نقشه نهایی خطر وقوع با تقسیم‌بندی عددی ۱ با احتمال وقوع کم و ۳ با احتمال وقوع بالا تهیه می‌گردد.

استیونسن [١٣] مدل برآورد ریسک خود را اندکی توسعه داد و به عامل زمین‌شناسی مهندسی مواد تشکیل دهنده یعنی رس‌ها اشاره نمود و یک رابطه ترکیبی ارائه داد. در این رابطه عامل رس (P)، آب(W)، زاویه شیب(S) ، ترکیب و پیچیدگی شیب[2] (C)، کاربری زمین(U) در نظر گرفته شد و سپس برای محاسبه ریسک فرمول زیر پیشنهاد گردید:

$$Risk = (P + 2W) \times (S + 2C) \times (U) \qquad (1)$$

دو پرانتز اول خطر و حاصل‌ضرب آن‌ها در (U) ریسک را برآورد می‌کند. برای عدد ریسک ٦٠ یا بیشتر گسیختگی ، برای عدد ریسک ۵۰ حالت بحرانی و اخطار و برای عدد ریسک کمتر از ۵۰ حالت پایدار در نظر گرفته می‌شود.

منرود [٧] در مدل خود به عوامل ساختمانی زمین‌شناسی شامل ناپیوستگی در سنگ‌ها، جهت‌یابی، زاویه شیب و بازشدگی درزه‌ها توجه نمود. این عامل و پنج عامل دیگر شامل پستی و بلندی، پوشش گیاهی، وجود دیوارها و سازه‌های کنترلی، گسیختگی‌های بارز و جابجایی مشهود و آب‌شناختی را بین ۰ تا ۲ درجه‌بندی نمود. در روش او برای تعیین سطح نهایی ریسک یا احتمال وقوع، امتیازها با هم جمع شده و نقشه‌های مورد نیاز تهیه می‌شود.

نیلسن [٩] نیز مدلی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش ارائه داد که در مدل او معمولا نقشه‌های با مقیاس ۱/۱۲۵۰۰۰ تهیه

1- Inventory map

2- Slope Complexity

می‌شود. در مدل نیلسن نقشه‌های شیب با ۳ رده کمتر از ۵ درصد، بین ۵ تا ۱۵ درصد و بیش از ۱۵ درصد، نقشه توزیع لغزش‌های اتفاق افتاده، رسوبات لغزشی در منطقه و نقشه حساسیت واحدهای زمین‌شناسی به لغزش تهیه و سپس این نقشه‌ها باهم قطع[1] داده می‌شود. در مرحله نهائی با استفاده از جدول وزن‌دهی، منطقه از نظر خطر وقوع لغزش به ٦ کلاس تقسیم‌بندی می‌گردد.

روش ماتریس[2] که توسط باروس و همکاران [٤] پیشنهاد گردید، یک روش کمی برای برآورد اندیکس ناپایداری می‌باشد. در این روش ویژگی‌های هر واحد کاری بصورت یک ماتریس از ویژگی‌های زمین‌شناسی، شیب، رسوبات سطحی و کابری اراضی تعریف و برای هر مجموعه یک میزان حساسیت به لغزش تعریف می‌گردد. بعنوان مثال ماتریس سنگ گنیس، زوایه شیب بین ۳۵ تا ٤۵، خاک انتقالی و کاربری زراعی، منطقه‌ای با حساسیت بالا نسبت به لغزش، ماتریس سنگ گرانیت، شیب بیش از ٤۵، قطعات سنگی و کاربری جنگلی، منطقه با حساسیت متوسط و ماتریس سنگ گرانیت، شیب۲۰-۳۰ کاربری مسکونی، معرف حساسیت پائین برآورد می‌گردد.

در مدل مورا و وارسون [۸] برای تهیه نقشه‌های خطر وقوع با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ نمایانه مربوط به سه عامل ذاتی منطقه شامل نمایانه پستی و بلندی نسبی (Sr)[3]، شرایط سنگ‌شناسی (SL)[4] و رطوبت خاک (Sn) [5] بعنوان عوامل اصلی مورد توجه قرار می‌گیرد. Sr در ٦ کلاس تقسیم و امتیاز ۰ الی ۵ را به آن اختصاص داده می‌شود. در این مدل سنگ‌شناسی(Sl) به ۵ کلاس شامل سنگ‌های سخت تا به طور کامل هوازده و خاک تقسیم و به ترتیب امتیازهای ۱ الی۵ به آن‌ها اختصاص داده می‌شود. عامل رطوبت خاک بر اساس متوسط بارش در هر ماه به سه دسته تقسیم و امتیاز داده شده در یک سال مبنای تعیین نمایانه رطوبت (Sn) قرار می‌گیرد. سپس دوعامل شدت زلزله و مقدار بارش در امتیازدهی لحاظ می‌گردد. بطوری‌که عامل تأثیر شدت زلزله (Ts) براساس شدت زلزله در مقیاس مرکالی از III الی XII امتیاز ۱ الی۱۰ را به خود اختصاص می‌دهد.

شدت بارندگی (Tp) را با کلاسه‌بندی میزان متوسط بارش در هر منطقه از۵۰ میلیمتر تا ٤۰۰ میلیمتر به ۵ کلاس ۱ الی ۵ تقسیم می‌گردد. در نهایت با استفاده از فرمول زیر خطر وقوع زمین‌لغزش براساس امتیاز کل جمع‌بندی می‌گردد:

$$(HL)=(S_r\times S_L\times S_n)\times(T_s+T_P) \qquad (۲)$$

با استفاده از رقم محاسبه شده برای HL، ٦ پهنه خطر وقوع ناچیز (۰- ٦)، خطر وقوع خیلی‌کم (۷-۳۲)، خطر وقوع کم (۳۳-۱٦۲)، خطر وقوع متوسط (۱٦۳-۵۱۲)، خطر وقوع زیاد (۵۱۳-۱۲۵۰) و خطر وقوع بسیار زیاد (۱۲۵۰<) معرفی می‌گردد. این مدل برای منطقه پر باران تهیه شده و نسبت به عامل بارش دارای حساسیت خوبی می‌باشد.

در روش معرفی شده توسط آنبالاگان [۲] ابتدا ٦ عامل مؤثر در وقوع لغزش‌ها وزن‌دهی شده و به هریک از آن‌ها یک حداکثر امتیاز تخصیص داده می‌شود (جدول ۲)، بطوری که امتیاز سنگ‌شناسی۲، ناپیوستگی ۲، هندسه شیب ۲، پستی و بلندی۱، کاربری و پوشش زمین۲، و شرایط آب زیرزمینی ۱ و جمعاً ۱۰ امتیاز در نظر گرفته شده است.

با توجه به اینکه در این پژوهش روش آنبالاگان جهت بررسی کارایی روش اصلاحی «دیرین‌ریخت‌شناسی» انتخاب گردیده است، این روش با جزئیات بیشتری در این بخش مرور می‌گردد. در روش آنبالاگان عامل اول سنگ‌شناسی است که به سه زیر رده تقسیم می‌گردد: تیپ ۱، سنگ‌های فوق‌العاده سخت (کوارتزیت، گرانیت و گنیس) بین ۰/۲ تا ۰/٤ امتیاز، تیپ۲، سنگ‌های رسوبی خوب سیمانی شده تا سیمان ضعیف (ماسه سنگ با سیمان خوب و لایه نازک سنگ رس، تا ماسه‌سنگ سیمان ضعیف و لایه نازک شیل و رس) بین ۱ تا ۱/۳ امتیاز، تیپ ۳، شامل سنگ‌های نرم (اسلیت و پیلیت، شیست و شیل با لایه‌های رسی و غیر رسی، شیل و شیست بسیار هوازده) امتیاز ۱/۲ الی ۲/۰، تیپ ٤، خاک‌ها (تجمع خاک‌های فلوویال[6] و آلوویال[7] متراکم شده، خاک‌های رسی، خاک ماسه‌ای با سطح طبیعی[8]، واریزه‌های متشکل از قطعات سنگی، خاک رسی یا ماسه‌ای[9]، خاک متراکم شده قدیمی، خاک‌های سست جوانتر) بین ۰/۸ تا ۲/۰.

پس از این امتیازدهی، جهت اعمال تأثیر هوازدگی، ضرایبی در امتیاز سنگ‌شناسی ضرب می‌گردد، به‌طوری‌که برای هوازدگی شدید، متوسط و کم برای تیپ ۱ بترتیب ضریب ٤، ۳ و ۲ و برای تیپ ۲ بترتیب ضریب ۱/۵، ۱و ۱/۲۵ به امتیاز سنگ شناختی اعمال می‌گردد.

عامل دوم ناپیوستگی است که با توجه به ارتباط شیب و زاویه ناپیوستگی حاکم، ارتباط صفحه‌ای یا گوه‌ای، عمق خاک بر روی شیب امتیاز بین ۰/۲ تا ۰/۸۵ و استثنائاً با عمق خاک بیش از ۱۵ متر امتیاز ۱/۳ در نظر گرفته می‌شود.

عامل سوم ریخت‌شناسی یا هندسه شیب است که با کلاسه‌بندی پرتگاه/صخره، شیب نسبتاً تند، شیب آرام، شیب نسبتا آرام و شیب بسیار آرام دارای امتیاز به ترتیب ۰/۲، ۱/۷، ۱/۲، ۰/۸ و ۰/۵ امتیازدهی می‌گردد.

عامل چهارم اختلاف پستی و بلندی نسبی است که با کلاس‌های ۱۰۰>، ۱۰۱ الی ۳۰۰ و ۳۰۰< متر به ترتیب ۰/۳، ۰/٦ و ۱/۰ امتیازدهی می‌گردد.

عامل پنجم کاربری اراضی است که در این مدل مورد توجه قرار

1- Cross
2- Matrix Method
3- Relative relief index
4- Lithology condition
5- Soil moisture
Landslide Hazard Index

6- Flluvial
7- Alluvial
8- Elluvial
9- Collovial

می‌گیرد. به‌طوری‌که عرصه‌ها به کلاس‌های کاربری‌های کشاورزی و مسکونی پر جمعیت، جنگلی انبوه، پوشش گیاهی متوسط، پوشش گیاهی پراکنده، بدون هرگونه پوشش تقسیم و به ترتیب ۰/٦۵، ۰/۸، ۱/۲، ۱/۵ و ۲/۰ امتیازدهی می‌گردند.

عامل ششم و آخرین عامل مورد نظر در این مدل وضعیت آب در بدنه شیب‌ها است که در رده‌های دارای جریان، اشباع، مرطوب، نم‌دار، و خشک با امتیازهای۱/۰، ۰/۸، ۰/۵ ، ۰/۲ و۰/۰۰ لحاظ می‌گردند.

در مرحله نهایی با جمع امتیازات، خطر وقوع لغزش در ۵ رده تقسیم‌بندی می‌گردد. نتایج حاصله بر اساس جمع امتیاز به‌صورت: کمتر از ۳/۵ خطر خیلی‌کم یا بدون خطر، ۳/۵ تا ۵/۰ خطر کم، ۵/۱ تا ٦/۰ خطر متوسط، ٦/۱ تا ۷/۵ خطر بالا و بزرگتر از ۷/۵ خطر خیلی بالا دسته‌بندی و نقشه پهنه‌بندی بر اساس این کلاسه‌ها ارایه می‌گردد.

گرچه امروزه استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل اطلاعات توسعه روزافرونی داشته است، ولی همانطور که ملاحظه گردید استفاده از قضاوت کارشناسی همچنان در امتیازدهی به عامل‌های موثر، اساس کار تعدادی از روش‌های تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها و ریسک خطر وقوع است. بدیهی است که در صورت فراهم آوردن امکان استفاده از اطلاعات صحرایی بیشتر جهت تدقیق قضاوت‌های کارشناسی، نقشه‌های با قابلیت اعتماد بیشتری قابل ارائه خواهد بود. روش ارائه شده در این مطالعه روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» است که براساس شبیه‌سازی ریخت‌شناسی قدیمی و شناخت منشاء رسوبات پیشنهاد گردیده است [۱۱].

این روش بخوبی قادر خواهد بود تا با هزینه و زمانی کم، نقشه پهنه‌بندی بزرگ مقیاس را در اختیار کاربران قرار دهد. گرچه این روش هم یک روش مبتنی بر قضاوت کارشناسی بوده ولی به‌دلیل استفاده از اصولی ساده و قابل درک برای کارشناسان زمین‌شناسی مهندسی به‌راحتی برای هر رده کارشناسی قابل استفاده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

همانطور که ملاحظه گردید، فاکتورهای مؤثر اصلی در کلیه روش‌های معرفی شده شامل پستی بلندی، زمین‌ریخت‌شناسی، سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی و همچنین عوامل محیطی نظیر بارندگی، آب زیرزمینی و زلزله بوده و روش امتیازدهی به این عوامل نیز که جهت کمی کردن آن‌ها صورت می‌پذیرد، برای اغلب آن‌ها به طور تقریب مشابه می‌باشد. این وزن‌دهی‌ها تابعی از میزان تأثیر آن‌ها در بروز لغزش‌ها در مناطق مختلف است. مرور روش‌های معرفی شده گویای این واقعیت است که در مدل‌هایی که ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مواد تشکیل دهنده شیب‌ها با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، تطابق بیشتری بین نتایج پهنه‌بندی و لغزش‌های اتفاق افتاده وجود دارد. لذا به‌نظر می‌رسد که در صورت تدقیق روش‌های متکی به ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی، می‌توان خروجی‌های قابل انطباق‌تر با شرایط منطقه و نتایج پهنه‌بندی قابل اعتمادتری را بدست آورد. روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» یک سری دستورالعمل کلی بوده که جهت اصلاح و تدقیق اکثر مدل‌هایی که در آن‌ها به عامل‌های زمین‌شناسی توجه بیشتری شده دارای کارآئی خوبی است. به کمک این روش، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی مواد تشکیل دهنده توده‌های مستعد لغزش ارزیابی دقیق‌تری می‌گردد.

روش دیرین‌ریخت‌شناسی

در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی نظیر چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی، ریخت‌شناسی قدیمی منطقه بازسازی می‌گردد. سپس با مقایسه شرایط ریخت‌شناسی قدیم با ریخت‌شناسی عهد حاضر، خواص ژئوتکنیکی رسوبات بر جای گذاشته شده که حاصل فرسایش لایه‌های حذف شده از نقشه ریخت‌شناسی قدیم هستند، خواص زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی این نهشته‌ها رده‌بندی می‌گردد. همین روش برای رده‌بندی و وزن‌دهی به سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز بکار گرفته می‌شود. به همین سبب این روش، روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» [۱۱] نامگذاری شده است.

اساس کار و خلاصه‌ای از مفروضات بکار گرفته شده در این روش به شرح زیر است:

۱- ویژگی‌های ژئوتکنیکی سازندهای زمین‌شناسی در هر منطقه تابعی از میزان حضور کانی‌های غیر مقاوم نظیر رس‌ها در ترکیب سازندهای اصلی و واحدهای سنگی بین لایه‌ای است،

۲- رسوبات تجمع یافته در پای دامنه‌ها و برجای گذاشته شده در دشت‌های سیلابی حاصل هوازدگی فیزیکی و شیمیائی تشکیلات زمین‌شناسی بالادست و فرایندهای فرسایش هستند،

۳- ویژگی‌های ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی مهندسی این رسوبات تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی، شیمیائی و کانی‌شناسی سازندهای زمین‌شناسی منشاء است،

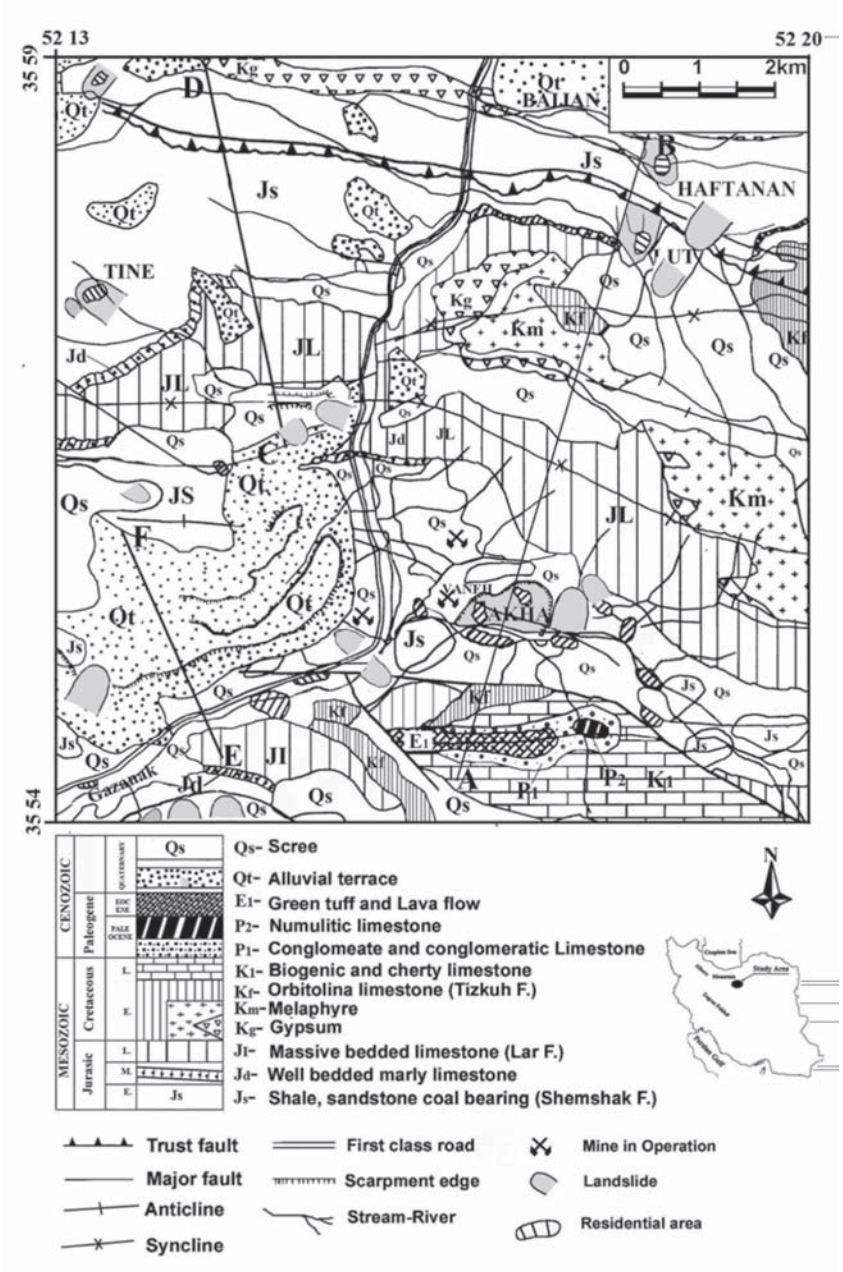
٤- با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی سطحی، زمین‌شناسی زیرسطحی و زمین‌شناسی ساختمانی منطقه و تجزیه و تحلیل اطلاعات صحرایی، ریخت‌شناسی قدیمی و اولیه زمین می‌تواند شبیه‌سازی گردد،

۵- با لحاظ لایه‌های حذف شده که منشاء رسوبات پایین‌دست می‌باشند، میزان تقریبی درصد مشارکت هر واحد سنگی برآورد و با استفاده از قضاوت‌های کارشناسی، ویژگی‌های ژئوتکنیکی واحد مورد نظر ارزیابی گردد.

مراحل اجرائی کار در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» به‌طورکلی بشرح زیر می‌باشد:

۱- انتخاب محدوده مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات پایه منطقه،

۲- انتخاب دقیق‌ترین نقشه‌های زمین‌شناسی از منطقه و پیاده



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه امیری جاده هراز

کردن کلیه اطلاعات مرتبط و همچنین تدقیق نقشه‌ها به کمک اطلاعات صحرائی،

۳- تهیه مقاطع زمین‌شناسی در چند امتداد اصلی به نحوی که کلیه ساختارهای زمین‌شناسی سطحی و زیرسطحی را به خوبی پوشش دهد،

٤- بازسازی ریخت‌شناسی قدیمی و اولیه منطقه شامل چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی در امتداد این مقاطع،

۵- استفاده از اطلاعات مقاطع تهیه شده و شرایط بازسازی شده و مقایسه آن با شرایط امروزی به منظور ارزیابی منشاء رسوبات نهشته شده در زمان حاضر که از فرسایش سازندهای حذف شده حاصل گردیده‌اند،

٦- ارزیابی و رده‌بندی خواص ژئوتکنیکی سازندهای موجود و رسوبات حاصله بر اساس میزان حضور مواد با مقاومت برشی پایین تا بالا، و تعیین ضریب ژئوتکنیکی واحدهای کاری

همان‌طور که اشاره گردید. در این پژوهش روش آنبالاگان که به عامل زمین‌شناسی مهندسی و جنس سازندهای زمین‌شناسی توجه ویژه دارد، انتخاب و با کمک آن منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی گردید. سپس بمنظور ارزیابی کارآیی روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» وزن‌دهی

جدول ۱- امتیازدهی کلی در روش آنبالاگان و اصلاح شده با روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»

ردیف	عوامل مؤثر در ناپایداری	حداکثر امتیاز		ردیف	عوامل مؤثر در ناپایداری	حداکثر امتیاز	
		آنبالاگان	«دیرین‌ریخت‌شناسی»			آنبالاگان	«دیرین‌ریخت‌شناسی»
۱	سنگ‌شناسی	۲	٦	٤	پستی و بلندی نسبی	۱	۱
۲	هندسه شیب	۲	۲	٥	کاربری اراضی	۲	۲
۳	ناپیوستگی	۲	-	٦	شرایط آب	۱	۱
		جمع کل امتیازات				۱۰	۱۲

جدول ۲- طبقه‌بندی سنگ‌شناسی و ضریب ژئوتکنیکی در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»

عوامل مؤثر در ناپایداری	تیپ	امتیاز اصلی	ضریب ژئوتکنیکی		امتیاز اصلی × ویژگی‌های ژئوتکنیکی
سنگ‌شناسی	تیپ ۱- سنگ‌های فوق‌العاده سخت (کوارتزیت، گرانیت و گنیس) متناسب با وجود ویا عدم وجود بین لایه‌های هوازده نرم	۱	با توجه به قابلیت پائین استعداد هوازدگی در این گروه	۱	۱
	تیپ ۲- سنگ‌های رسوبی خوب سیمانی شده تا سیمان ضعیف (ماسه‌سنگ با سیمان خوب و لایه نازک سنگ رس، تا ماسه سنگ سیمان ضعیف و لایه نازک شیل و رس)	۲	با توجه به امکان وجود وجود رس در ترکیب سنگ‌ها و وجود میان لایه‌های رسی و با توجه به درصد تقریبی رس‌ها و پیشرفت هوازدگی	۱-۱/٥	۳
	تیپ ۳- شامل سنگ‌های نرم (اسلیت و پیلیت، شیست و شیل با لایه‌های رسی و غیر رسی، شیل و شیست بسیار هوازده).	۳	متناسب با درصد تقریبی رس‌ها و پیشرفت هوازدگی	۱-۱/٥	٤/٥
	تیپ ٤- خاک‌ها (تجمع خاک‌های Flluvial و Alluvial متراکم شده، خاک‌های رسی Elluvial، خاک ماسه‌ای با سطح طبیعی، واریزه‌های متشکل از قطعات سنگی، خاک رسی یا ماسه‌ای Collovial، خاک متراکم شده قدیمی، خاک‌های سست جوانتر.	٤	برای خاک‌ها و سازندهائی که در ترکیب خود کمتر از ٥٪ رس دارند.	۱	٤
			برای خاک‌هائی که دارای ٥-۲۰٪ رس بوده و یا دارای سازندهائی باشد که واجد ٥-۲۰٪ واحدهای بین لایه‌ای رس‌دار است.	۱/۲٥-۱	٥
			برای خاک‌ها که دارای ۲۰-٤۰٪ رس بوده ویا دارای سازندهائی باشد که واجد ۲۰-٤۰٪ واحدهای بین لایه‌ای رس‌دار است.	۱/۲٥-۱	٥/٥
			برای خاک‌ها و سنگ‌های نرم با حدود تقریبی بیشتر از ٥۰٪ رس و یا مجموعه سازندهائی که دارای بیشتر از ٥۰٪ تشکیلات رس بین لایه‌ای هستند.	۱/٥-۱/۲٥	٦

جدول ۳- طبقه‌بندی عامل ریخت شناسی در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»

عوامل مؤثر در ناپایداری	تیپ	امتیاز
شیب (هندسه شیب)	پرتگاه/صخره	۲
	شیب تا حدودی تند	۱/۵
	شیب متوسط	۱
	شیب آرام	۰/۷۵

جدول ٤- طبقه‌بندی اختلاف ارتفاع نسبی در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»

عوامل مؤثر در ناپایداری	تیپ	امتیاز
اختلاف ارتفاع نسبی	<۱۰۰	۰/۵
	۱۰۱ الی ۳۰۰	۱/۵
	>۳۰۰	۲

سنگ‌شناسی با اعمال ضریب ژئوتکنیکی در مدل اعمال و پهنه‌بندی تکرار گردید. قابل ذکر است که در سایر روش‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش نیز استفاده از روش «دیرین ریخت‌شناسی» و تدقیق عامل‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی می‌تواند منجر به افزایش دقت کار و تولید نقشه‌های با قابلیت اعتماد بالاتری گردد.

منطقه مورد مطالعه

با هدف بررسی و مقایسه کارآئی روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»، منطقه‌ای با وسعت ۱۰۰ کیلومترمربع انتخاب گردید. منطقه مورد مطالعه در جاده هراز و در منطقه‌ای موسوم به منطقه امیری با مختصات عرض شمالی '۳۵°٥٤ تا '۵۹ °۳۵ و طول شرقی '۱۳°۵۲ تا '۲۰ °۵۲ قرار دارد[۱]، (شکل ۱).

بر اساس دستورالعمل پیشنهادی در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»، ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه بررسی و با استفاده از اطلاعات موجود و اطلاعات صحرایی یک نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس برای منطقه تهیه گردید. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد زمین‌شناسی منطقه بخشی از یال جنوبی البرز مرکزی بوده که بطور کلی شامل سازندها و واحدهای سنگ‌شناسی زیر است:

سازندهای ژوراسیک شامل سازند شمشک، که از شیل، ماسه سنگ‌های تیره با مواد آلی و لایه‌های مرجانی تشکیل گردیده‌است. ژوراسیک فوقانی در منطقه سازند لار است که شامل آهک‌های ضخیم لایه با ضخامت ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر است.

کرتاسه در منطقه مورد مطالعه شامل سازند تیزکوه است که از واحدهای سنگی ماسه‌سنگ دانه‌ریز رنگ روشن تشکیل شده است. ریخت شناسی این سازند در منطقه شامل دیواره‌های با شیب زیاد و شبیه سازند لار است.

اقلیم منطقه بر اساس آمار ۱۱ ساله ایستگاه اقلیم‌شناسی آن مورد بررسی قرار گرفت. حداکثر میزان بارندگی سالانه در منطقه برابر ۷۲۰/۹ میلی‌متر بوده که مربوط به سال ۱۹۹٦ و کمترین به میزان ۳٤۷/۱ میلی‌متر مربوط به سال ۱۹۹۰ بوده است. میزان بارش در زمستان از بهار و تابستان بیشتر بوده و با متوسط بارش ماهانه در حدود ٤٥/۵ میلی‌متر جزو مناطق پربارش کشور محسوب می‌گردد [۱] و به همین دلیل توسعه ناپایداری شیب‌ها در منطقه قابل توجه است. لغزش‌های متعددی در منطقه اتفاق افتاده است که در روستای آخازیر و آخابالا هرساله موجب بروز خسارات زیادی به به اموال مردم می‌گردد (شکل۱). ترک‌های کششی در سطح مزارع و جاده‌ها، ترک‌های متعدد در ساختمان‌های مسکونی و خدمات عمومی، کج‌شدگی ستون‌های انتقال برق و درختان و به‌هم‌ریختگی ریخت‌شناسی در منطقه از شواهد بارز فعال بودن زمین‌لغزش‌ها در منطقه است. جهت سهولت مقایسه نتایج خروجی‌های مدل آنبالاگان با روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» رده‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در سه کلاس طبقه‌بندی گردید. بطوری که کلاس بدون خطر و خطر کم در کلاس پایدار یا خطر کم(L)، کلاس خطر متوسط (M)، و کلاس خطر بالا تا خیلی بالا در کلاس خطر بالا (H) رده‌بندی گردید. سپس با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و استفاده از مدل آنبالاگان نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه برای محدوده شکل ۱ تولید گردید. (شکل ۲).

در مرحله دوم، نحوه وزن‌دهی در روش آنبالاگان با استفاده از روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» اصلاح و مجددا منطقه با استفاده از ضرائب اصلاحی پهنه‌بندی گردید. با توجه به عدم کارائی عامل ناپیوستگی در رسوبات آبرفتی امتیاز این عامل به امتیاز عامل سنگ‌شناسی اضافه و سرجمع این عامل به ٦ ارتقاء داده شد. مقایسه امتیاز پارامترها در روش آنبالاگان و روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین نحوه توزیع امتیازها به طبقه‌بندی سنگ‌شناسی و

جدول ۵- طبقه‌بندی کاربری اراضی در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»

عوامل مؤثر در ناپایداری	تیپ	امتیاز
کاربری اراضی	کشاورزی	۱
	مسکونی پر جمعیت	۰/۷۵
	جنگلی انبوه	۰/۵
	پوشش گیاهی متوسط	۰/۳
	پوشش گیاهی پراکنده	۰/۱

جدول ٦- طبقه‌بندی وضعیت آب در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»

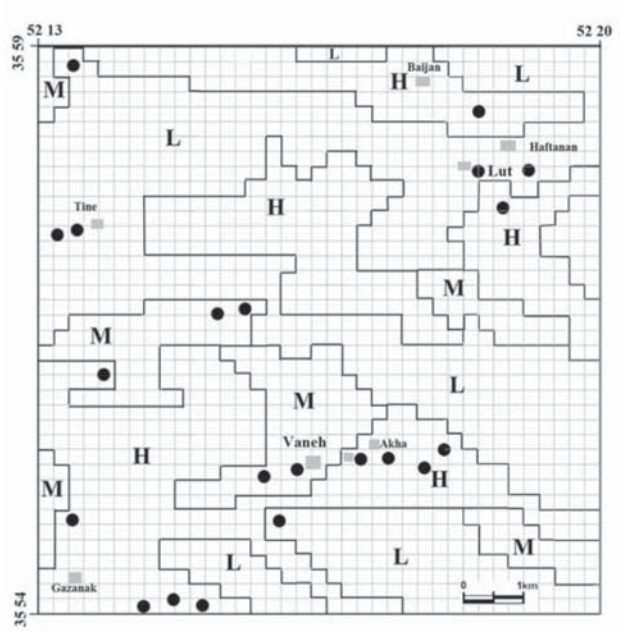
عوامل مؤثر در ناپایداری	تیپ	امتیاز
وضعیت آب	دارای جریان	۱
	اشباع	۰/۷۵
	مرطوب	۰/۵
	نم‌دار	۰/۲۵
	خشک	۰/۰۰

ضریب ژئوتکنیکی در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» در جدول شماره ۲ ارائه گردیده است. امتیازدهی به عامل‌های شیب، اختلاف ارتفاع نسبی، کاربری اراضی و شرایط آب در جداول ۳ تا ٦ نشان داده شده است. با لحاظ جمع امتیازات داده شده به عوامل مختلف، خطر وقوع لغزش در ۳ رده طبقه‌بندی می‌گردد. بطوری که در نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش، برای پیکسل‌های با جمع امتیاز کمتر از ٤ خطر کم (L)، جمع امتیاز ٤ تا ۸ خطر متوسط (M) و جمع امتیاز ۸ تا ۱۲ خطر زیاد (H)، لحاظ می‌گردد.

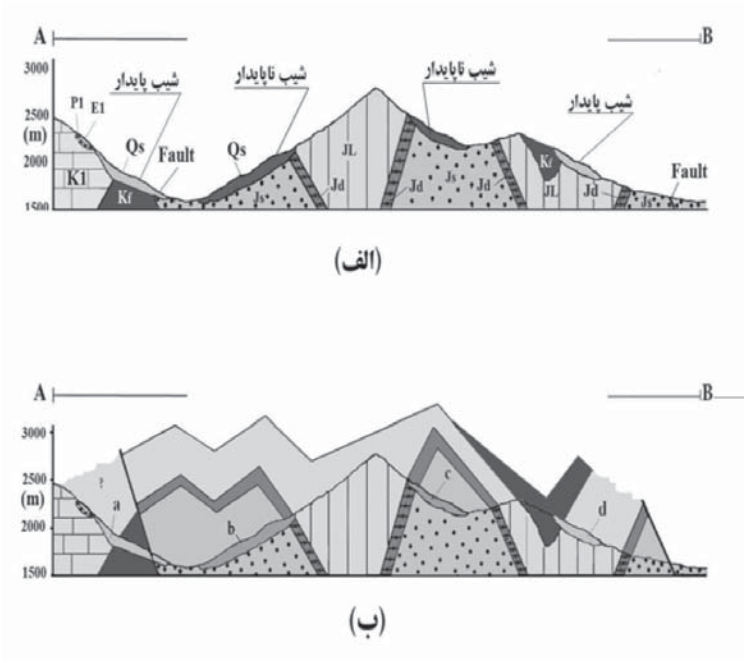
براساس روش تحقیق، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز بر اساس روش آنبالاگان ایجاد ونقشه پهنه‌بندی خطروقوع زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید که نتیجه کار درشکل ۲ نشان داده شده است. سپسزبر اساس مراحل کار تعریف شده در روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»، ابتدا مرحله تدقیق نقشه‌های زمین‌شناسی و تبدیل آن به نقشه با مقیاس مناسب با استفاده از اطلاعات تکمیلی انجام پذیرفت [۱۲] (شکل۱). دومین مرحله پس از تدقیق نقشه زمین‌شناسی، تهیه مقاطع زمین‌شناسی از منطقه است که امتداد و جهت این مقاطع باید به نحوی انتخاب گردد تا بیشترین اطلاعات ممکن را در دسترس کارشناسان قرار دهد. به طور معمول این مقاطع باید عمود بر محور ساختارهای زمین‌شناسی تهیه شده و حتی‌الامکان از مناطقی که در قبل دچار لغزش گردیده عبور نماید. موقعیت مقاطع تهیه شده از منطقه مطالعه در شکل۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان ملاحظه می‌گردد، ابتدا با کمک اطلاعات توپوگرافی و در دسترس مقطع پستی و بلندی و زمین شناسی تهیه گردید (شکل۳- الف). سپس با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی تدقیق شده شامل چینه شناسی، زمین‌شناسی ساختمانی، نقشه و مقاطع «دیرین‌ریخت‌شناسی» بازسازی گردید (شکل۳- ب). با استفاده از اطلاعات قابل استخراج از مقاطع تهیه شده، درصد حضور لایه‌های با خواص ژئوتکنیکی ضعیف در تشکیلات زمین‌شناسی و میزان مشارکت آن‌ها در تشکیل رسوبات پای دامنه‌ای و حمل شده توسط عوامل فرسایش شناسایی و بر اساس آن و همچنین استفاده از جدول ۲ و اطلاعات جمع‌آوری شده صحرایی، ضریب ژئوتکنیکی پهنه‌ها تعیین و عامل سنگ‌شناسی به زیر کلاس‌های کوچک‌تر تقسیم گردید. به عنوان مثال با توجه به اینکه منشاء رسوبات در منطقه b از تشکیلات JD و JS بوده که این تشکیلات دارای رس بیشتری می‌باشند، امتیاز ۵ در فاکتور سنگ‌شناسی به آن اختصاص داده شده و رسوبات نقطه a که از منشاء تشکیلات K۲ و KT بوده و فراوانی کانی‌های رسی در آن کمتر است، امتیاز۳/۷۵ به آن داده شده است. درحالی‌که امتیاز اختلاف پستی و بلندی در نقطه a مقدار ۲ و در نقطه b مقدار ۱/۲۵ را به خود اختصاص می‌دهد. با استفاده از این امتیازات و امتیازات تخصیص یافته به سایر پارامترها مجددا نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» تهیه گردید که در شکل ٤ نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده



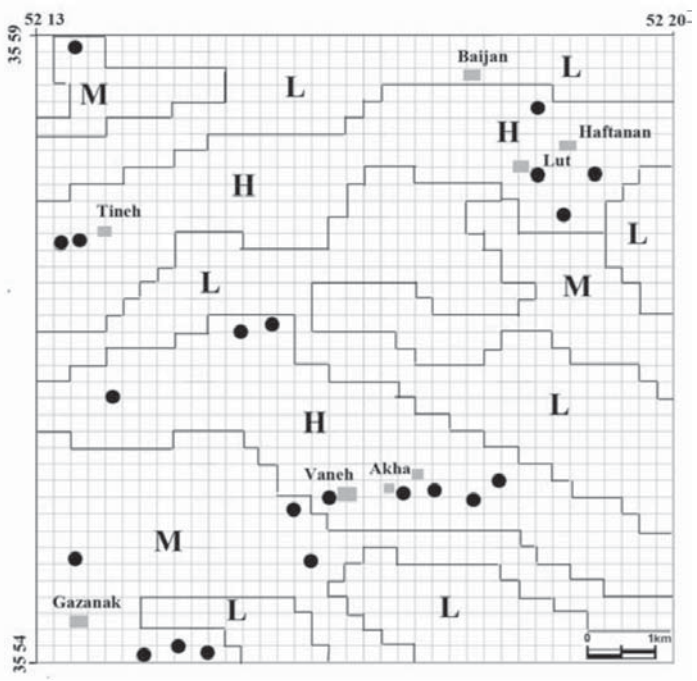
شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی خطروقوع لغزش به روش آنبالاگان، خطر کم: (L)، خطر متوسط: (M)، خطر بالا: (H)،دوایر مشکی محل لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه رانشان می‌دهد.



شکل ۳- یک نمونه از مقاطع پستی و بلندی تهیه شده از منطقه مطالعاتی (مقطع AB) و شبیه‌سازی ریخت‌شناسی قدیمی منطقه (دیرین‌ریخت‌شناسی)

از روش آنبالاگان (شکل ۲) نشان می‌دهد که از تعداد ۲۱ مورد زمین‌لغزش اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۱۱ زمین‌لغزش یعنی ۵۲٪ در پهنه‌های با خطر بالا و تعداد ٤ لغزش یعنی ۱۹٪ در پهنه‌های با خطر متوسط و تعداد ٦ لغزش یعنی ۲٦/۵٪ در پهنه‌های بدون خطر یا با خطر پایین واقع گردیده است که در عین داشتن دقت تا حدودی خوب در مقایسه با سایر روش‌های معمول، نتایج دارای دقت قابل قبولی نیست.

در حالی‌که نقشه پهنه‌بندی تهیه شده به کمک روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» (شکل ٤) نشان می‌دهد که از مجموع ۲۱ مورد زمین‌لغزش در این منطقه تعداد ۱٤ زمین‌لغزش یعنی ٦٦/٦٪ در



شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی خطروقوع لغزش به روش «دیرین‌ریخت‌شناسی»، خطر کم: (L)، خطر متوسط: (M)، خطر بالا: (H)، دوایر مشکی محل لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج مقایسه‌ای دقت پهنه‌بندی با استفاده از مدل آنبالاگان ومدل «دیرین‌ریخت‌شناسی»

توزیع زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده / روش به کار گرفته شده	لغزش‌های واقع شده در پهنه‌های با خطر بالا(H)	لغزش‌های واقع شده در پهنه‌های باخطر متوسط (M)	لغزش‌های واقع شده در پهنه‌های باخطر پائین(L)
روش آنبالاگان (Anbalagan, ۱۹۹۲)	٪۵۲	٪۱۹	٪۲٦,۵
روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» Paleomorphology	٪٦٦/٦	٪۳۳/۳	٪۰

مناطق پهنه‌بندی شده با خطر بالا و ۷ لغزش یعنی ٪۳۳/۳ در منطقه خطر متوسط و هیچیک از لغزش‌های اتفاق افتاده در پهنه‌های با خطر پائین قرار نگرفته است. جهت مقایسه بهتر، نتایج مدل آنبالاگان و روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» در جدول ۷ ارائه گردیده است.

مقایسه نتایج پهنه‌بندی با این دو روش به‌خوبی نشان می‌دهد که خروجی‌های بدست آمده از مدل «دیرین‌ریخت‌شناسی» نسبت به خروجی‌های به‌دست آمده از مدل آنبالاگان که در بین مدل‌های موجود یکی از مناسب‌ترین مدل‌هائی است که به عامل زمین‌شناسی و ویژگی‌های ژئوتکنیکی توجه ویژه داشته، بسیار قابل قبول‌تر است. بطوری که دقت در مدل «دیرین‌ریخت‌شناسی» برای لغزش‌های واقع شده در پهنه خطر پایین از ٪۲٦/۵ به صفر درصد، در پهنه‌های خطر متوسط از ٪۱۹ به ٪۳۳/۳ و خطر بالا از ٪۵۲ به ٪٦٦/٦ نسبت به روش آنبالاگان ارتقاء یافته است.

به بیان دیگر، حذف شدن لغزش‌های واقع شده در منطقه بدون خطر و افزوده شدن تعداد لغزش‌های واقع شده در پهنه‌های با خطر متوسط و بالا از نشانگرهای ارتقای صحت خروجی‌های روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» می‌باشد که می‌تواند با همین روش در سایر مدل‌ها به ویژه مدل‌هایی که نقشه‌های بزرگ مقیاس را ارائه می‌دهند نیز مورد استفاده قرار گیرد.

از مزیت‌های دیگر روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» عدم نیاز به انجام آزمایشات ژئوتکنیکی پرهزینه و انجام عملیات صحرایی زیاد بوده که به سهولت با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل اطلاعات زمین‌شناسی حال و قدیم و اطلاعات کلی از میزان تاثیر عوامل موثر در ویژگی‌های مکانیکی مواد تشکیل دهنده سازندهای زمین‌شناسی و خاک‌ها حاصل از آن قابل بکارگیری است. روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» که بر اساس شبیه‌سازی ریخت‌شناسی قدیمی و شناخت منشاء رسوبات

عهد حاضر پیشنهاد گردیده است به‌خوبی قادر خواهد بود تا با هزینه و زمانی مناسب نقشه پهنه‌بندی بزرگ مقیاسی را در اختیار کاربران قرار دهد. گرچه روش «دیرین‌ریخت‌شناسی» نیز به قضاوت کارشناسی متکی است ولی متناسب با تسلط قضاوت‌کننده می‌تواند نتایج دقیقی را ارائه نماید و به‌دلیل استفاده از اصولی ساده و قابل درک برای کارشناسان زمین‌شناسی مهندسی براحتی برای هر رده کارشناسی قابل استفاده می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی که این پروژه را در مراحل مختلف پشتیبانی نموده تشکر می‌نمایم. از همکاران عزیز آقایان دکتر غلامرضا شعاعی، مهندس محسن شریعت جعفری و مهندس سیدرضا امام‌جمعه که در هنگام انجام کارهای صحرایی همکاری صمیمانه داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع

1-Farzamjud Miandehi, A. 198. Slope Stability Analysis in Natural Slopes of Vaneh-Haraz, Central Albrz, Iran Using Structural and Seimic Componeent, MSc. Thesis, Earth Science Institute, Iran Geological Survey (In persian).

2-Anbalagan, R. 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain. *Engineering Geology*, 32, (4), 269-278.

3-Brabb, E.E. 1972. Landslide susceptibility in San Mateo County, California, USGS Miscellaneous Field Studies Map MF360, Scale 1:62500.

4-Barros, W.T., C. Amaral and R.N. D'Orsi. 1992. Landslide susceptibility map of Rio de Janeiro. In Proc. 6th Inter. Sym. on Landslides. D.H. Bell (editor). Christchurch, N.Z., pp. 869-871.

5-International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. World disaster report 2001: focus on recovery.http://www.ifrc.org/publicat/wdr2001/index.asp

6-ISSMGE, TC4, 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard, 54-57.

7-Menroud, J.D. 1978. Landslide hazard zonation. UNESCO report 1984.

8-Mora, S. and Vahrson, W., (1993), "Microzonation Methodology for Landslide Hazard Determination", Bulletin of International Association of Engineering Geology.

9-Nilson D.S. 1979. Relative Slope Stability and Land-use Planning in the San Francisco Bay Region., California, USGS Paper 944.

10-Radbruch, D.H. & Wentworth. K. 1971. Estimated Relative Abundance of Landslide in the San Francisco Bay Region, California, USGS (San Francisco Bay Region Environment and Resource Planning Study, Basic Data Contribution No. 11.

11-Shoaei Z., S. R. Emamjomeh, G. R. Shoaei, M. Shariatjafari. 2006. Application of Engineering Geology Parameter to Improve Scrutinization of Landslide Zoning Method, 10th IAEG Congress, Nottingham, United Kingdom, 6-10 September.

12-Shoaei, Z. 2001. Landslide along Weathered Layers of Shemshak (Jurassic) Formation, Proceeding, 3rd Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment (ASEGE) September 2-4.

13-Stevenson, P. C. 1977. An Empirical Method for the Environment of Relative Landslide Risk. Bulletin Int. Assoc. of Engineering Geology IAEG, 16, 69-72

14-Westen, C. J. Van 1993. Training Package for Geographic Information System in Slope Instability Zonation, ITC Publication No. 15.