پژوهشهای دانش زمین، سال دوم، شماره ۶ ، تابستان ۱۳۹۰ ، صفحات ۹۳- ۱۱۴

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز واستان – ساری

پرویز گرایی*
کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۰
تأیید نهایی مقاله: ۸ /۱۳۹۰/۱۲

چکیده

پدیده لغزش یکی از انواع ناپایداری دامنه‌ها می باشد که هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را بـر زنـدگی انسانها وارد می‌کند. در حوضه‌های شمالی ایران، ترکیب عوامل طبیعی و انسانی، سبب تشـدید ایـن پدیـده و خسارات زیاد ناشی از آن شده است. یکی از راهکارهای اساسی جهـت کـاهش خسـارت‌هـای ناشـی از وقـوع زمین‌لغزش، دوری جستن از این مناطق می‌باشد. بدین منظور لازم است نقشه پهنه‌بندی خطر زمـین لغـزش تهیه گردد. در این مطالعه پس از بررسی‌های میدانی در حوضه واستان، ۹ عامل موثر از جمله شـیب دامنـه، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصـله از شـبکه زهکشـی، کـاربری اراضی و زمین‌شناسی به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه تشخیص داده شد. پـس از تهیـه لایه‌های اطلاعاتی این ۹ عامل در محیط GIS، با استفاده از نرم افزار Arcview، هر کدام از ایـن لایـه هـا بـا لایه پراکنش زمین‌لغزش ها قطع داده شدند، تا نقش طبقات مربوط به عوامل مختلف مشخص شـوند. سـپس پهنه بندی با ۵ روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها، روش پیشنهادی گوپتـا- جوشی(Lnrf) و رگرسیون چند متغیره انجام گرفت. در پایان به منظور ارزیابی صحت نقشه‌هـای پهنـه‌بنـدی، وزن‌های به‌دست آمده از روش‌های ذکر شده در حوضه واستان، برای حوضه آبخیز مجاور (حوضه ورکی) که از بسیاری لحاظ مشابه این حوضه بود، به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که روش آماری رگرسیون چند متغیره، نسبت به سایر روش‌ها در تفکیک کلاسه‌های خطر، نتایج بهتری را ارائه نموده است. بنابراین روش رگرسـیون چند متغیره، به عنوان مدل نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردید.

واژگان کلیدی : زمین لغزش، پهنه بندی خطر زمین لغزش، رگرسیون چند متغیره، حوضه آبخیز واستان

*- نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۲۰۸۲۲۵
Email: parviz_graee@yahoo.com

مقدمه

زمین لغـزش‌هـا هـر سـاله موجـب خسـارت‌هـای سنگینی می‌گردند که بعضا جبران این خسارت‌هـا ممکن نیست و یا نیازمنـد صـرف وقـت و هزینـه بسیار می‌باشد. لذا برنامه‌ریزی بـرای جلـوگیری از این خسارت‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخـوردار مـی-باشد. نقشه پهنه‌بندی خطـر زمـین‌لغـزش، بـرای دستگاههای اجرایی ذی‌ربط ایـن امکـان را فـراهم می‌سازد که منـاطق حسـاس بـه زمـین‌لغـزش را شناسایی و درباره برنامه‌هـای مـورد نظـر تصـمیم گیـری نماینـد (مهـدیفر و همکـاران، ۱۳۷۶). در سال‌هـای اخیرمطالعـات گسـترده‌ای در رابطـه بـا زمین لغزش‌ها صـورت گرفتـه اسـت. دهـه ۱۹۹۰، توسط سازمان یونسکو بـه عنـوان دهـه مقابلـه بـا بلایای طبیعی معرفی گردید. به مناسبت این دهه، مراکز مختلف تحقیقاتی و دانشگاهی، فعالیت‌هایی را در زمینه شناخت لغزش‌هـا بـه عنـوان یکـی از بلایای طبیعی به انجام رساندند.

کارارا و همکاران (Carrara, 1997) درحوزه آبخیـز کوچکی در مرکز ایتالیا برای ارزیابی خطر زمـین-لغزش از تکنیـک سـامانه اطلاعـات جغرافیـایی و مدلهای آماری استفاده نمودند و زمـین شناسـی و عوامل ژئومرفولوژیکی را عمده‌ترین عوامل زمـین-لغزش دانست. آیالیو و یاماگیشـی (Ayalew and Yamagishi, 2005) با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و سیسـتم اطلاعـات جغرافیـایی نقشـه حساسیت به زمین‌لغزش را در کوههـای کـاکودا-یاهیکو[1] در مرکز ژاپن تهیه کردند و اظهار داشتند که شبکه‌هـای جـاده نقـش اساسـی در تعیـین و توزیع زمین لغزشـها بـازی مـی‌کننـد و در میـان پارامترهای ژئومرفولوژیکی، شیب نقـش بیشـتری در وقوع زمـین لغزشـها در منطقـه داشـته اسـت.

کماک (Komac, 2006)، با استفاده از آنالیز آماری چند متغیره، در مرکز اسلوونی نشان داد که شیب، سنگ‌شناسی و نـوع پوشـش، نقـش مهمـی را در حساسیت زمین لغزش‌های منطقه دارند. فانیولیو (Fanyu, 2007)، نقشه پهنـه بنـدی خطـر زمـین لغـزش را بـا اسـتفاده از روشLNRF[2] و ارزش اطلاعاتی در محیط سـامانه اطلاعـات جغرافیـایی، برای منطقه لانگنن در استان گانسو چـین، تهیـه نمود. نتایج نشان داد که این دو روش برای پهنـه-بندی خطر زمین لغزش، در این منطقه می توانند مـورد اسـتفاده قـرار گیرنـد، ولـی روش ارزش اطلاعاتی، مکان های را که دارای زمین لغزش‌های فعـالی بودنـد بهتـر نشـان داده اسـت. یلسـین (Yalcin, 2008) نقشه حساسیت زمـین لغـزش را در حوضـه آردیـس ترکیـه بـا سـه روش تحلیـل سلسـله مراتبـی سیسـتم‌هـا (AHP[3])، فـاکتور وزنـی(Wf) و شـاخص آمـاری (Wi) تهیـه نمـود. یلسین (Yalcin, 2008) معتقد است روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها نسبت به سـایر روش‌هـا دقت بـالاتری داشـته و عـواملی از جملـه زمـین-سناسی، پوشش‌زمین و شیب، به عنوان مهم‌تـرین عوامل در رخداد زمین لغزش‌ها می باشند.

سفیدگری (۱۳۸۱)، در حوضـه آبخیـز دماونـد، ۸ روش را جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مـورد ارزیابی قرار داده و در نهایت به این نتیجـه رسـید که روش آماری، رگرسیون چند متغیره نتایج قابل قبول و رضایت‌بخشی را نسبت بـه سـایر روش‌هـا ارائـه نمـود. احمـدی و همکـاران (۱۳۸۱) حـوزه آبخیز گرمـی‌چـای اردبیـل را بـا اسـتفاده از روش رگرسیون چند متغیره پهنه‌بندی نموده‌اند و بیـان نموده‌اند که در وقـوع زمـین لغـزش‌هـای رخ داده

1 -Kakuda-Yahiko

2 - Landslide Normal Risk Factor

3 - Analytical Hierarchy Process (AHP)

پژوهشهای دانش زمین، سال دوم، شماره ۶ ، تابستان ۱۳۹۰ ، صفحات ۹۳- ۱۱۴

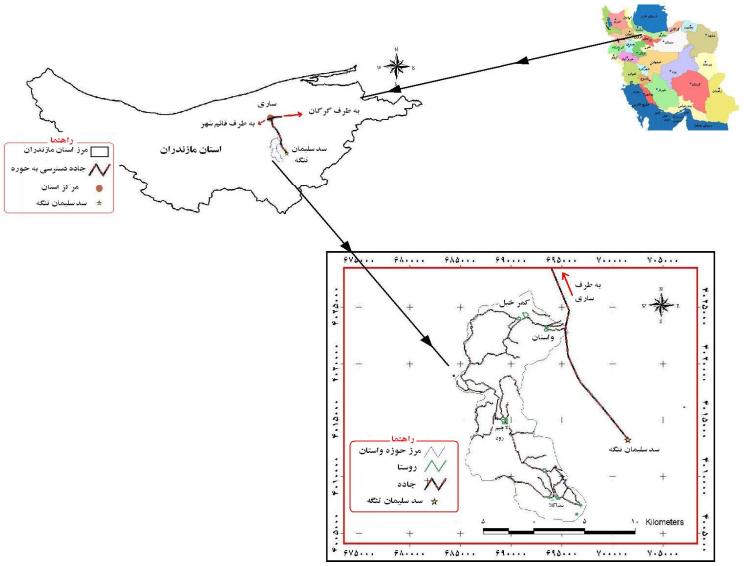
کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و شیب به ترتیب بیشترین تاثیر را در این منطقه داشته اند.

شادفر و همکاران (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش را با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرود انجام دادند و پس از ارزیابی به این نتیجه رسیدند که روش تراکم سطح در مقایسه با دو روش دیگر بیشترین صحت را نشان داده است.

با توجه به سوابق ارائه شده برای هر منطقه با توجه به شرایط آن روشی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استفاده گردیده است . هدف اصلی از این تحقیق تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و تعیین عوامل‌موثر در وقوع زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته در حوزه آبخیز واستان می‌باشد.

ویژگیهای منطقه مورد مطالعه:

حوضه آبخیز واستان مربوط به استان مازندران و شهرستان ساری می‌باشد (شکل۱)، که در عرض جغرافیایی شمالی ″۲۲ ′۱۰ °۳۶ تا″۱۵ ′۲۲ °۳۶ و طول جغرافیایی شرقی ″۱۴ ′۳ °۵۳ تا″۴۵ ′۱۱ °۵۳ واقع گردیده است. مساحت حوضه مورد مطالعه ۱۴۱ کیلومتر مربع میباشد و بیشترین سطح حوضه توسط اراضی جنگلی پوشیده شده است. از نظر زمین شناسی، بیشتر سازندها مربوط به دوران سنوزوئیک می باشند که به دلیل داشتن سنگ‌های مارنی و سیلتی، نسبت به لغزش حساس می باشند.



شکل ۱- موقعیت حوضه واستان در استان مازندران و ایران

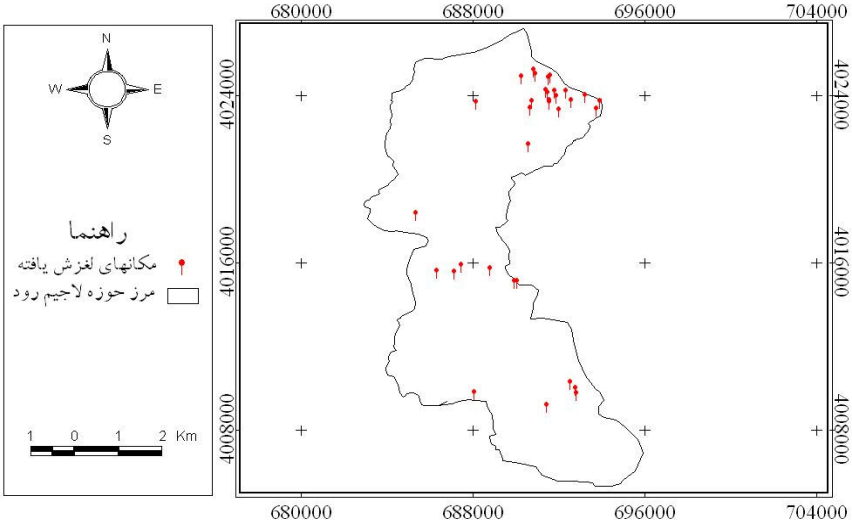
روش تحقیق:

در این مطالعه پس از عملیات صحرایی، مشخصات هریک از لغزش‌ها در پرسشنامه‌هایی که توسط دفترمطالعات و ارزیابی آبخیزها تهیه شده است ثبت گردید. در نهایت ۳۲ زمین‌لغزش در منطقه ثبت شد. که تعیین موقعیت آنها توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) انجام شد. پس از تهیه مختصات جغرافیایی زمین لغزش‌ها، این مختصات توسط نرم افزارهای Arc view و DNR Garmin رقومی و وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شد. (شکل۲) نقشه پراکنش زمین

لغزش‌ها و نام و مساحت لغزش‌های به وقوع پیوسته را نمایش می‌دهند (جدول۱).

جدول۱- نام و مساحت لغزشهای رخ داده در حوزه آبخیز واستان

ردیف	نام لغزش	مساحت لغزیده شده (هکتار)
۱	پی‌ته ۲۰۰ متری شمال مرز رودبار	۰/۹۸
۲	چولاسره-۲/۵ کیلومتری شرق قارن سرا	۰/۹۲
۳	پایین پور-روستای آق مشهد	۲/۸
۴	۱۰۰۰متری شمال غرب روستای واستان-شماره ۱۴	۱/۲
۵	لغزش شماره ۵ واستان	۰/۳۳
۶	لغزش شماره ۶ واستان	۲/۷
۷	اول سه‌راهی واستان در جهت شمال	۱/۹۵
۸	جاده سنگ بن-۶ کیلومتری ۲ راهی لاجیم	۰/۸۶
۹	لغزش شماره ۱۲ واستان	۲/۳
۱۰	لغزش شماره ۸ واستان	۰/۶۸
۱۱	۳/۷ کیلومتری شمال تلمبه‌خانه مرزبان	۰/۱۹
۱۲	لغزش شماره ۱۳ واستان	۱/۱
۱۳	لغزش شماره ۱۵ واستان	۰/۳۲
۱۴	لغزش شماره ۱۱ واستان	۰/۴۲
۱۵	لغزش شماره ۱۰ واستان	۰/۹
۱۶	لغزش شماره ۹ واستان	۰/۶
۱۷	۳ کیلومتری شمال تلمبه‌خانه مرزبان	۰/۶۷۶
۱۸	۲ کیلومتری شرق روستای قارن‌سرا	۰/۷۲
۱۹	۲۰۰ متری غرب تلمبه خانه مرزبان	۱/۱۸
۲۰	لغزش شماره ۷ واستان-شمال غرب روستا	۰/۶۳
۲۱	لغزش شماره ۴ واستان-۶۵۰ متری شرق روستا	۲/۷۴
۲۲	۱ کیلومتری جنوب روستای قارن سرا	۰/۸۲
۲۳	۲ کیلومتری جنوب غرب قارن سرا	۰/۹۳
۲۴	۳۰۰ متری شمال روستای لاجیم	۰/۸۷
۲۵	۱۲۰۰ متری شمال غرب روستای لاجیم	۰/۹۵
۲۶	۱۰۰۰ متری شرق روستای واستان- شماره ۳	۱/۸
۲۷	۱۳۰۰ متری شرق روستای واستان-شماره۲	۱/۵
۲۸	۲ کیلومتری جنوب شرق روستای واستان-شماره ۱	۰/۹۲
۲۹	۳/۲ کیلومتری شرق روستای قارن سرا	۰/۹۲
۳۰	۶۰۰ متری شمال روستای لاجیم	۲/۸۶
۳۱	۲/۵ کیلومتری شرق روستای قارن سرا	۰/۸۲
۳۲	قهوه خانه واستان	۱/۱۸



شکل۲- نقشه پراکنش زمین لغزشها

بر اساس نتایج به دست آمده از پرسشنامه‌ها و همچنین بررسی مطالعات انجام شده در مناطق مشابه و استفاده از تجربیات افراد بومی منطقه، ۹ عامل شیب دامنه، طبقات ارتفاعی، جهت دامنه، زمین‌شناسی، کاربری‌اراضی، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از شبکه هیدروگرافی، به عنوان عوامل موثر اولیه در ایجاد زمین‌لغزش تشخیص داده شدند. پس از تهیه لایه‌های عوامل موثر اولیه، این لایه‌ها کلاسه‌بندی گردیدند و در مرحله بعد به منظور تعیین نرخ هر کلاس (که در پهنه بندی از اهمیت بالایی برخوردار است) از قطع دادن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با هر کدام از لایه های اطلاعاتی استفاده شد سپس با استفاده از پنج روش پهنه-بندی به روش ارزش اطلاعاتی، پهنه بندی به روش تراکم سطح، پهنه بندی به روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها، پهنه‌بندی به روش LNRF و پهنه‌بندی به روش رگرسیون چند متغیره پهنه‌بندی انجام شد.

الف) پهنه بندی به روش ارزش اطلاعاتی:

در این روش از رابطه (۱) استفاده می گردد.

$$WINF = LN\left(\frac{\frac{A}{B}}{\frac{C}{D}}\right)$$

رابطه (۱)

در این رابطه Winf، نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل. A، تعداد زمین‌لغزش در هر کلاس، B، مساحت هر کلاس به کیلومتر مربع، C، تعداد کل زمین‌لغزش‌های حوضه، D، مساحت کل حوضه به کیلومترمربع می باشد.

سپس با توجه به نرخ‌های به دست آمده از رابطه بالا، لایه‌ها تهیه شده و با جمع کردن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف و با فاصله ۵ طبقه مساوی، نقشه پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی در محیط GIS تهیه می گردد(فیض نیا و همکاران، ۱۳۸۳).

ب) پهنه بندی به روش تراکم سطح

نرخ مربوط به هریک از کلاس‌های عوامل مختلف در این روش از رابطه (۲) به دست می آید (فتاحی اردکانی،۱۳۷۹).

$$Wa = 1000\left(\frac{A}{B}\right) - 1000\left(\frac{C}{D}\right)$$

رابطه (۲)

ذر این رابطه Wa، نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل، A، تعداد زمین‌لغزش در هر کلاس. B، مساحت هر کلاس به کیلومتر مربع. C، تعداد کل زمین‌لغزش‌های حوضه. D، مساحت کل حوضه به کیلو متر مربع می‌باشد.

در این روش نیز پس از تهیه نرخ‌های مربوط به کلاسه‌های عوامل مختلف، نقشه پهنه‌بندی با جمع ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف و کلاسه-بندی آنها در محیط GIS تهیه می‌گردد.

ج) پهنه بندی به روش تحلیل سلسله مراتبی سیستمها (AHP).

این روش برای اولین بار توسط ساعتی ارائه شده است و بر پایه مقایسه زوجی عوامل مختلف استوار می‌باشد (فرجی سبکبار، ۱۳۸۴) .در این روش، ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی، از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) استفاده می‌شود (جدول ۲). و در نهایت نتیجه این مقایسه‌ها به صورت یک ماتریس در می‌آید.

جدول۲- نحوه قضاوت شفاهی برای مقایسه زوجی، در روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (قدسی پور، ۱۳۷۹).

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عدد
کاملا مطلوب‌تر	۹
مطلوب خیلی قوی	۷
مطلوب قوی	۵
کمی مطلوب تر	۳
کمی مهم تر	۱
ترجیحات بین فواصل	۲،۴،۶،۸

واضح است که با توجه به جدول۲ محدوده اعداد کمی در ماتریس، بین ۱ الی ۹ می باشد. پس از تشکیل ماتریس مورد نظر، برای تک تک عوامل، جمع هر ستون در زیر آن نوشته می‌شود. سپس برای محاسبه وزن هر عامل، مقادیر هر عنصر از ماتریس را به جمع کل ستون‌های همان لایه تقسیم کرده و در جدول دیگری نوشته می‌شود. در این جدول از اعداد موجود در هر کدام از سطرها میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن هر لایه در نظر گرفته می‌شود. بعد از به دست آمدن وزن هر کدام از لایه‌ها، در مرحله بعد بایستی نرخ هر کدام از کلاسه‌های عوامل مختلف(σ) را مشخص نمود. برای انجام این عمل، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها را بر روی لایه‌های مختلف انداخته و درصد سطح لغزش یافته در هر کلاس محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن امتیاز ۱۰۰ برای طبقه‌ای که بیشترین درصد سطح لغزش یافته را دارد، برای سایر کلاسه‌ها، متناسب با آن ارزش‌های متفاوتی داده می‌شود. پس از امتیاز دهی به کلاسه‌های عوامل منطقه مورد مطالعه(σ)، می‌توان مقادیر امتیازهای مربوط به عوامل در نظر گرفته شده را در ضریب وزنی به دست آمده (σ) ضرب کرده و آن‌ها را با هم جمع نمود که در نهایت رابطه (۳) به دست خواهد آمد.

$$M=\alpha_1\chi_1+\alpha_2\chi_2+\alpha_3\chi_3+\alpha_4\chi_4+\dots$$ رابطه(۳)

در این رابطه M عامل حساسیت، فاکتور X مربوط به عوامل مختلف و σ مربوط به مقادیر وزنی هر کدام از طبقات لایه‌های مختلف میباشد. نقشه پهنه‌بندی، بر اساس مدل به دست آمده، تهیه می‌گردد و در نهایت برای تفکیک مقادیر M به

کلاسه‌های مختلف حساسیت به ۵ قسمت مساوی (جدول۳) تقسیم‌بندی می‌گردد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴).

د) پهنه بندی به روشLNRF

این روش به وسیله کوپتا و جوشی (۱۹۹۰) ارائه گردید و نرخ هر کلاس از عوامل مختلف از رابطه ۴ به دست می‌آید. با توجه به رابطه ۴، وزن هر یک از طبقات عوامل مختلف (جدول۴) به دست می آید.

رابطه(۴) میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای نقشه عامل÷ لغزش رخ داده در یک واحد از نقشه عامل=$LNRF$

جدول ۳- کلاسه بندی خطر حرکات توده ایی بر اساس روشAHP

کلاس درجه بندی (M)	امتیاز	مقدار خطر
۱	۰-۲۰	خیلی کم خطر
۲	۲۰-۴۰	کم خطر
۳	۴۰-۶۰	خطر متوسط
۴	۶۰-۸۰	خطر زیاد
۵	۸۰-۱۰۰	خطر بسیار زیاد

جدول ۴- وزن مربوط به مقدار LNRF

مقدار LNRF	LNRF <1	۱< LNRF <2	LNRF >2
وزن (Weight)	Weight=0	Weight=1	Weight=2

پس از تعیین وزن مربوط به هر عامل، با جمع کردن نقشه وزن‌های عوامل مختلف و کلاسه‌بندی آن در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست می‌آید (شادفر و همکاران، ۱۳۸۴).

ر) پهنه بندی به روش رگرسیون چند متغیره:

این روش به وسیله کارارا (Carara, 1997)، در ایتالیا توسعه یافت (Campus and Scavia, 2000). در این روش ابتدا پس از تهیه لایه‌های مختلف، موثرترین عوامل روی هم انداخته و واحدهای همگن به دست آمد. برای تجزیه و تحلیل آماری و وزن‌دهی به کلاسه‌های مختلف هر کدام از متغیرها و ایجاد رگرسیون چند متغیره بین عوامل، لازم است عوامل در نظر گرفته شده را کمی نمود تا قابل مقایسه با همدیگر باشند. کمی کردن عوامل و وزن‌دهی کلاسه‌های مختلف با توجه به درصد سطح لغزش یافته در واحدهای همگنی صورت می گیرد که از نظر تمامی عوامل در نظر گرفته شده مشابه بوده و تنها به واسطه تغییر کلاس‌های یکی از عوامل متفاوت می‌باشند. به این منظور ابتدا نقشه واحدهای همگن و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها را روی هم انداخته و مساحت زمین لغزش‌های موجود در هر واحد همگن به دست می‌آید. نسبت این مساحت به مساحت واحد همگن به عنوان Y در نظر گرفته می‌شود که درصد سطح لغزیده شده در هر واحد همگن می‌باشد. به منظور کد دهی به کلاسه‌های عوامل مختلف، واحدهای همگنی که تنها به واسطه کلاسه‌های یکی از عوامل متفاوت می‌باشند و از نظر سایر عوامل مشابه می‌باشند، در نظر گرفته و مقدارY در آن‌ها مقایسه می شود. در این عامل که عامل تفاوت گزار است و هدف کمی

کردن کلاسه‌های آن می‌باشد، با اختصاص کد ۱۰ برای کلاسی از آن عامل که بیشترین مقدار Y را داشته است، برای سایر کلاسه‌ها نیز به صورت تناسبی از آن امتیاز داده می‌شود. این عمل برای تمامی عوامل انجام می‌شود. پس از دستیابی به کد مربوط به کلاسه‌های هر یک از عوامل، این اطلاعات برای واحدهای همگن، به صورت تعداد تکراری برابر با تعداد واحدهای همگن و به تعداد تیماری برابر با تعداد عوامل موثر نهایی به محیط نرم افزار SPSS منتقل می‌شود. برای رگرسیون چند متغیره از روش گام به گام استفاده گردید. پس از به دست آوردن مدل در نرم افزار SPSS این مدل در کلیه لایه ها با توجه به وزن آن‌ها اعمال شده و نقشه پهنه‌بندی به دست می‌آید.

ارزیابی صحت نقشه های پهنه بنـدی خطـر زمین لغزش

برای این کار از حوضه‌ای که از نظر خصوصیات آب و هوایی، سنگ‌شناسی، کاربری‌اراضی و ... مشابه حوضه مورد مطالعه است، به عنوان منطقه آزمایش مدل استفاده گردید. به این صورت که ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های و لایه‌های مورد نظر حوضه مورد آزمایش با انجام بازدیدهای صحرایی تهیه و رقومی گردید. سپس مدل‌های به دست آمده بر روی این حوزه اعمال می‌شود . مدلی کارآمدتر است که تعداد بیشتری زمین-لغزش در کلاسه‌های با خطر بالا در آن اتفاق افتاده باشد.

در راستای روش تحقیق، نتایج به ترتیب آورده شده اند.

پس از تهیه عوامل مختلف موثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبخیز واستان، این لایه‌ها کلاسه‌بندی شده و هر کدام از کلاس‌ها آنها با کد نمایش داده شدند (جدول۵). سپس از قطع دادن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با لایه‌های مختلف، اثرات طبقات مربوط به هر کدام از عوامل مشخص گردید. تراکم زمین‌لغزش در جهت‌های مختلف حوضه آبخیز واستان، در (جدول ۶) به عنوان نمونه آورده شده است.

بعد از مشخص شدن تاثیر کلاسه‌های عوامل مختلف در وقوع زمین لغزش‌ها، با ۶ روش ذکر شده در بالا، پهنه‌بندی انجام می گیرد.

جدول۵- کد کلاسه های عوامل مختلف

عامل کد کلاس	زمین شناسی	شیب	فاصله از جاده	کاربری	بارش	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت دامنه	فاصله از رودخانه
۱	M,m, s,l	۰-۵	۰-۵۰	جنگل	۳۰۰-۳۵۰	۰-۵۰۰	۲۴۰-۴۰۰	شمال	۰-۵۰
۲	Plqc,s	۵-۱۰	۵۰-۱۰۰	اراضی کشاورزی	۳۵۰-۴۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۴۰۰-۵۶۰	شرق	۵۰-۱۰۰
۳	other	۱۵- ۱۰	۱۵۰- ۱۰۰	باغات و اراضی تخریب شده	۴۰۰-۴۵۰	۱۰۰۰<	۱۰۴۰- ۵۶۰	جنوب	۱۰۰-۱۵۰
۴	-	۲۰- ۱۵	۲۰۰- ۱۵۰	-	۴۵۰-۶۰۰	-	۱۳۵۰- ۱۰۴۰	غرب	۱۵۰-۲۰۰
۵	-	۳۰- ۲۰	۲۵۰- ۲۰۰	-	۶۰۰-۶۵۰	-	۱۷۰۰- ۱۳۵۰	-	۲۰۰-۲۵۰

۶	-	>۳۰	-۳۰۰ ۲۵۰	-	۶۵۰-۷۰۰	-	-	-	۲۵۰-۳۰۰
۷	-	-	-۳۵۰ ۳۰۰	-	-	-	-	-	۳۰۰-۳۵۰

جدول۶- تراکم زمین لغزش در جهت های مختلف حوضه آبخیز واستان

ردیف	جهت دامنه	مساحت	درصد	تعداد لغزش	تعداد لغزش در واحد سطح
۱	شمال	۴۹/۶۳	۳۵	۶	۰/۱۲
۲	شرق	۲۸/۰۵	۲۰	۲	۰/۰۷۱
۳	جنوب	۳۴/۹۶	۲۵	۲۰	۰/۵۷۲
۴	غرب	۲۸/۶۵	۲۰	۵	۰/۱۷۴
جمع کل	-	۱۴۱	۱۰۰	۳۳	۰/۹۳۷

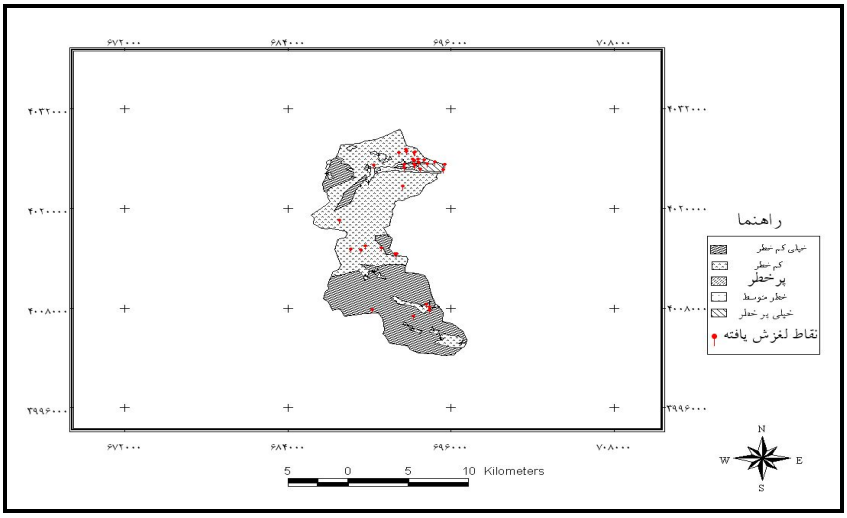
پهنه بندی به روش ارزش اطلاعاتی (winf):

در روش ارزش اطلاعاتی نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل از رابطه (۱) به دست می‌آید، نتایج این قسمت در جدول (۷) آورده شده است.

جدول۷- نرخ کلاسه‌های عوامل وقوع زمین‌لغزش حوضه آبخیز واستان به روش ارزش اطلاعاتی

عامل کلاس	زمین شناسی	کاربری	بارندگی	فاصله از جاده	شیب	ارتفاع از سطح دریا	فاصله از گسل	فاصله از رودخانه	جهت دامنه
۱	۱/۲	۱.۸۵	۲/۶۵	۰/۴۷۵	۰/۵۸۳	۲/۱۲	۰/۳۶	-۰/۴۶۸	-۰/۶۶
۲	۱/۶۵	۲.۱۰۶	۱/۱۲۴	-۰/۸۸	-۰/۵۶	۰/۵۶	-/۱۰۹	-۰/۴۱	-۱/۱۸۸
۳	-۰/۲۵	۲/۱۴۱	۰/۱۶۵	۰/۵۵	۰/۲۳۱	۰/۴۹	-۲/۱۸	۰/۳۲۸	۰/۸۹
۴	-	-	-۰/۵۶	۰/۳۲۷	۰/۱۶۲	-۰/۷۲۴	-	۰/۱۰۸	-۰/۲۹
۵	-	-	-۱/۰۳۴	۰/۶۶۲	۰/۱۱	-۰/۰۹۹	-	۰/۹۳۴	-
۶	-	-	۱/۵۵	۰/۰۰۸۸	-۰/۱۵۱	۰	-	۰/۲۱۷	-
۷	-	-	-	-۰/۴۹	-	-	-	-۰/۱۲۱	-

سپس لایه‌ها با توجه به نرخ‌های به دست آمده از جدول (۵) تهیه شده و با روی هم‌اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل‌ها برای عوامل مختلف، نقشه نهایی به دست می‌آید. برای کلاسه‌بندی، آن را به ۵ قسمت مساوی تقسیم کرده و به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش ارزش اطلاعاتی به دست می‌آید (شکل۲).



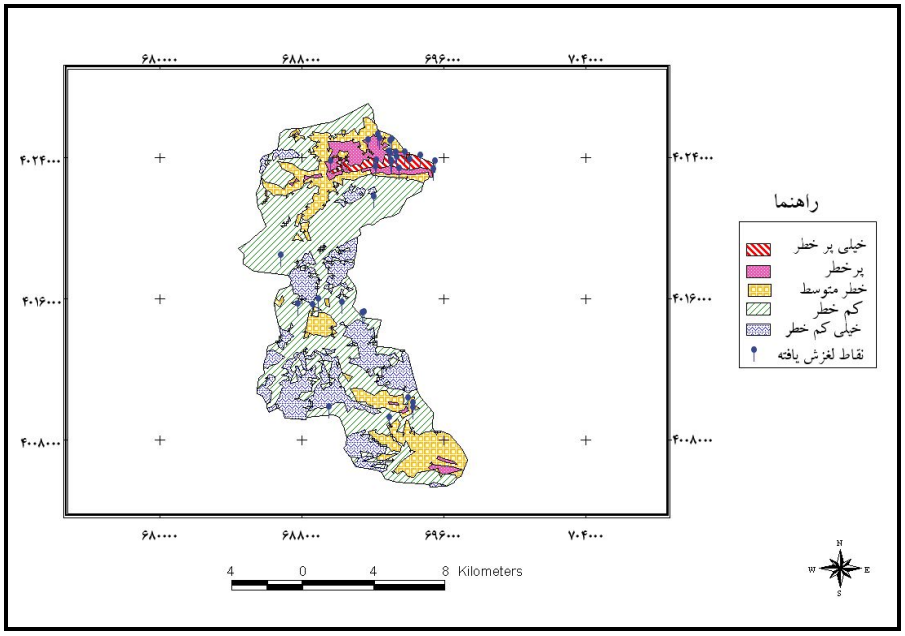
شکل۲- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز واستان به روش ارزش اطلاعاتی

پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح(wa):

نرخ مربوط به هر یک از کلاسه‌های عوامل مختلف در این روش از رابطه (۲) به دست می‌آید، که در جدول ۸ ذکر شده است. برای تهیه نقشه‌پهنه بندی در روش تراکم سطح مانند روش ارزش اطلاعاتی عمل می‌شود (شکل ۳).

جدول۸- نرخ کلاسه‌های عوامل وقوع زمین لغزش حوضه آبخیز واستان به روش تراکم سطح

عامل کلاس	زمین شناسی	کاربری	بارندگی	فاصله از جاده	شیب	ارتفاع از سطح دریا	فاصله از گسل	فاصله از رودخانه	جهت دامنه
۱	۵۴۴/۱۶	-۱۳۴/۶۳	۳۰۸۵/۴۵	۳۳۰/۹۲	۱۸۵/۲۴	۱۷۲۸/۲۸	۱۰۱/۷۳	-۸۷/۵۲	-۱۱۳/۱۵
۲	۹۸۳/۳۵	۲۶۸	۴۸۶	۲۵۰/۹۲	-۱۰۰/۴۲	۱۷۳/۸۸	-۲۴/۱۷	-۷۸/۷۶	-۱۶۲/۷۴
۳	-۵۱/۹۴	۱۶۸۹	۴۱/۷۴	۱۷۱/۶۳	۶۰/۸	-۱۲۰/۶	-۲۰۷/۶۲	۹۱/۱۶	۳۳۸
۴	-	-	-۱۰۰/۱۱	۹۰/۶۳	۴۱/۳۱	-۲۲/۲۴	-	۲۶/۸۲	-۵۹/۵۲
۵	-	-	-۱۵۰	۲/۰۸۴	-۹۶/۱۱	-۲۳۴	-	-۱۴۲/۱۳	-
۶	-	-	-۱۸۴/۴	-۷/۰۲۸	-۲۳۴	-	-	۵۶/۹۳	-
۷	-	-	-	-۱۰۲/۶	-	-	-	-۲۶/۷۸	-



شکل۳- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز واستان به روش تراکم سطح

پهنه بندی به روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP):

در این روش همان‌طور که گفته شد، مقایسات زوجی بین هر جفت از عوامل از طریق قضاوت شفاهی (جدول ۲) در نظر گرفته می‌شود و نتیجه مقایسات به صورت ماتریس در می‌آید که مجموع هر ستون در زیر آن نوشته می‌شود (جدول ۹).

جدول ۹- محاسبه وزن عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (مرحله اول)

	زمین	کاربری	جاده	شیب	بارندگی	گسل	ارتفاع	جهت	رودخانه
زمین	۱	۲	۳	۴	۵	۷	۷	۹	۹
کاربری	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۶	۶	۸	۸
جاده	۰/۳۴	۰/۵	۱	۳	۴	۶	۶	۷	۸
شیب	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۳۴	۱	۲	۴	۵	۶	۷
بارندگی	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۳	۵	۶
گسل	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۴	۵
ارتفاع	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲	۰/۳۴	۰/۵	۱	۳	۴
جهت	۰/۱۱	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۴	۱	۳
رودخانه	۰/۱۱	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۴	۱
مجموع	۲/۸	۴/۶۸	۷/۱۹۵	۱۲/۲۶	۱۸/۲۱	۲۶/۹۵	۳۰/۵۹	۴۳/۳۴	۵۱

در مرحله بعد، اعداد هر ستون بر عدد مجموع آن ستون تقسیم و در جدول دیگری نوشته می‌شود. سپس از اعداد موجود در هر کدام از ردیف‌ها میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن نهایی هر عامل در نظر گرفته می‌شود (جدول۱۰).

جدول۱۰- محاسبه وزن عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی سیستمها (مرحله دوم)

	ژئولوژی	کاربری	جاده	شیب	بارندگی	گسل	ارتفاع	جهت	رودخانه	متوسط سطر
زمین	۰/۳۵۷	۰/۴۲۷	۰/۴۱۶	/۰۳۲۶ ۰	۰/۲۴۷	۰/۲۶	۰/۲۲۸	۰/۲۰۷	۰/۱۷۶	۰/۲۹۳
کاربری	۰/۱۷۸	۰/۲۱۳	۰/۲۷۷	۰/۲۴۴	۰/۲۱۹	۰/۲۲	۰/۱۹۶	۰/۱۸۴	۰/۱۵۶	۰/۲۰۸
جاده	۰/۱۲۱	۰/۱۰۶	۰/۱۳۸	۰/۲۴۴	۰/۲۱۹	۰/۲۲	۰/۱۹۶	۰/۱۶۱	۰/۱۵۶	۰/۱۷۳
شیب	۰/۰۹	۰/۰۷۱	۰/۰۴۷	۰/۰۸۱	۰/۱۰	۰/۱۴۸	۰/۱۶۳	۰/۱۳۸	۰/۱۳۷	۰/۱۰۸
بارنـــدگی	۰/۰۷۱	/۰۵۳۴ ۰	/۰۳۴۷ ۰	۰/۰۴	۰/۰۵۴	۰/۰۷۴	۰/۰۹۸	۰/۱۱۵	۰/۱۱۷	۰/۰۷۳
گسل	۰/۰۵	۰/۰۳۶	/۰۲۳۶ ۰	۰/۰۲	۰/۰۲۷	۰/۰۳۷	۰/۰۶۵	/۰۹۲۲ ۰	۰/۰۹۸	۰/۰۵
ارتفاع	۰/۰۵	۰/۰۳۶	/۰۲۳۶ ۰	/۰۱۶۳ ۰	۰/۰۱۸	/۰۱۸۵ ۰	۰/۰۳۲	۰/۰۶۹	۰/۰۷۸	/۰۳۷۸ ۰
جهت	۰/۳۹۲	/۰۲۶۷ ۰	۰/۰۱۹	/۰۱۳۸ ۰	۰/۰۱	/۰۰۹۲ ۰	۰/۰۱۱	۰/۰۲۳	۰/۰۵۸	/۰۲۲۳ ۰
رودخانه	/۰۳۹۲ ۰	/۰۲۶۷ ۰	/۰۱۷۳ ۰	/۰۱۱۴ ۰	/۰۰۹۳ ۰	/۰۰۷۴ ۰	/۰۰۸۱ ۰	/۰۰۷۸ ۰	/۰۱۹۶ ۰	/۰۱۶۲

همان گونه که در جدول ۹ مشخص است وزن عوامل مختلف به صورت زیر می باشد؛
زمین شناسی= ۰/۲۹، کاربری=۰/۲۰۸، جاده=۰/۱۷۳، شیب=۰/۱۰۸، بارندگی=۰/۰۷۳، گسل=۰۵/ ، ارتفاع =۰/۰۳۷۸، جهت = ۰/۰۲۳۳، رودخانه = ۰/۰۱۶۲

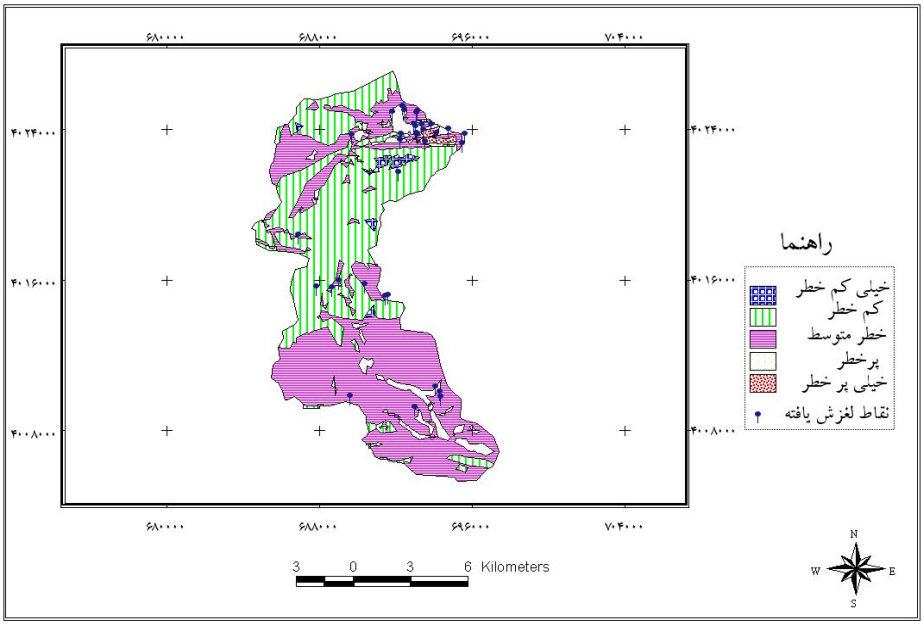
نرخ کلاسه‌های عوامل مختلف نیز با توجه به تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در کلاسه‌های مختلف بین ۱۰۰-۰ در نظر گرفته می‌شود که هر کدام از لایه‌ها بر اساس این نرخ‌ها تهیه می‌گردند (جدول۱۱).

جدول۱۱- نرخ کلاسه‌های عوامل وقوع زمین لغزش حوضه واستان به روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها(AHP).

	ژئولوژی	کاربری	جاده	شیب	بارندگی	گسل	ارتفاع	جهت	رودخانه
۱	۹۰	۵	۱۰۰	۶۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۱	۳۷
۲	۱۰۰	۲۶	۸۹	۳۱	۱۲	۶۲	۲۱	۱۲	۳۹
۳	۲۸	۱۰۰	۷۱	۱۰۰	۸	۸	۶	۱۰۰	۱۰۰
۴	–	–	۵۷	۸۱	۴	–	۱۱	۳۰	۶۶
۵	–	–	۴۳	۶۶	۲.۵	–	–	–	۲۳
۶	–	–	۴۳	۰	–	–	–	–	۷۴
۷	–	–	۲۳	–	–	–	–	–	۱۰

پس از انجام عملیات فوق نقشه نهایی پهنه‌بندی بر اساس رابطه ۵ تهیه می گردد. در نهایت نقشه به‌دست آمده، همانند روش‌های قبلی به ۵ طبقه مساوی تقسیم گردیده و نقشه پهنه‌بندی نهایی به‌دست می‌آید (شکل۴).

رابطه (۵) Finall =جاده ×۰/۱۷۳ + کاربری اراضی ×۰/۲۰۸ + زمین شناسی ×۰/۲۹ +...



شکل۴- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز واستان به روش (AHP)

پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش LNRF:

پس از تعیین عوامل دخیل در وقوع زمین لغزش-های منطقه و کلاسه‌بندی و کدبندی لایه-ها(جدول ۵)، هر کدام از عوامل ذکر شده با نقشه پراکنش زمین لغزش قطع داده شدند، در ادامه میزان لغزش در هر طبقه به‌دست آمد و با استفاده از روش LNRF (رابطه ۴)، وزن هر طبقه محاسبه گردید (جداول ۱۲ و ۱۳). سپس نقشه هر یک از عوامل بر اساس وزن‌های به‌دست آمده از جدول۱۳ تهیه شد. آن‌گاه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه وزن‌ها را با هم جمع کرده و نقشه به دست آمده طبقه‌بندی شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به پنج کلاس مساوی تقسیم بندی گردید (شکل ۵).

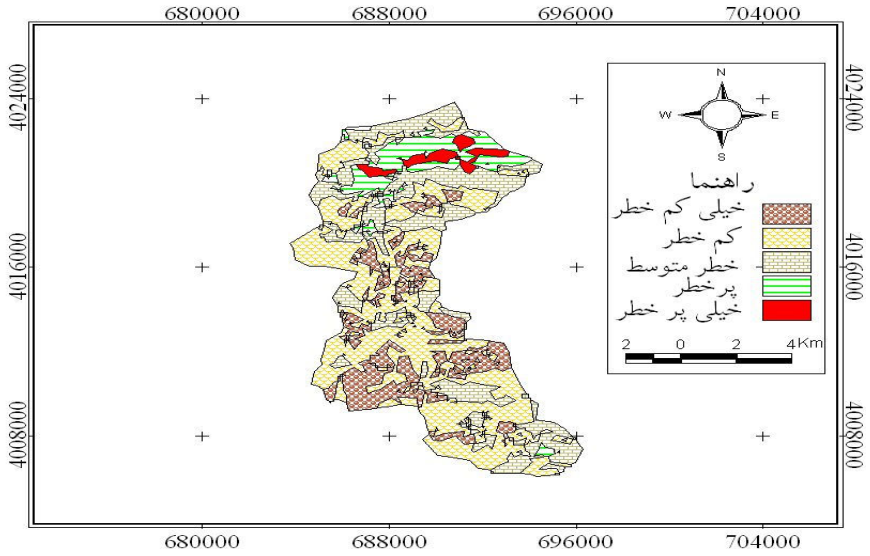
جدول ۱۲- مقدار LNRF برای عوامل مختلف در حوضه آبخیز واستان

عامل کلاس	ژئولوژی	شیب	فاصله از جاده	کاربری	بارش	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت دامنه	فاصله از رودخانه
۱	۲/۹۷	۰/۵۴۵	۰/۴۶۱	۰	۱/۵	۲/۵	۰/۸۴۷	۰/۴۳۳	۰/۳۹
۲	۴/۹۵	۲/۲۹	۰/۱۱۵	۲/۵۶	۱/۶۱	۰/۳۳	۲/۷۶	۰/۱۶۵	۰/۸۵۳
۳	۰/۹۷	۱/۱۲۰	۲/۶	۱/۰۴۵	۴	۰/۱۷۱	۰/۷۸۸	۳/۲۱	۱/۲۱
۴	-	۱/۵۳	۰/۹۹	-	۰/۴۳	-	۰/۶۰۵	۰/۱۸۶	۰/۴۲۹

۵	–	۰/۴۹۴	۱/۰۵۹	–	۰/۲۹۵	–	۰	–	۳/۵۲
۶	–	۰	۰/۶۲	–	۰/۹	–	–	–	۰/۴۴۵
۷	–	–	۱/۱۵۷	–	–	–	–	–	۳/۱۹۴

جدول ۱۳- وزن طبقات عوامل مختلف در حوضه آبخیز واستان

عامل کلاس	ژئولوژی	شیب	فاصله از جاده	کاربری	بارش	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت دامنه	فاصله از رودخانه
۱	۲	۰	۰	۰	۱	۲	۰	۰	۰
۲	۲	۲	۰	۲	۱	۰	۲	۰	۰
۳	۰	۱	۲	۱	۲	۰	۰	۲	۱
۴	–	۱	۰	–	۰	–	۰	۰	۰
۵	–	۰	۱	–	۰	–	۰	–	۲
۶	–	۰	۰	–	۰	–	–	–	۰
۷	–	–	۱	–	–	–	–	–	۲



شکل ۵- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش LNRF

پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش رگرسیون چند متغیره (MR)

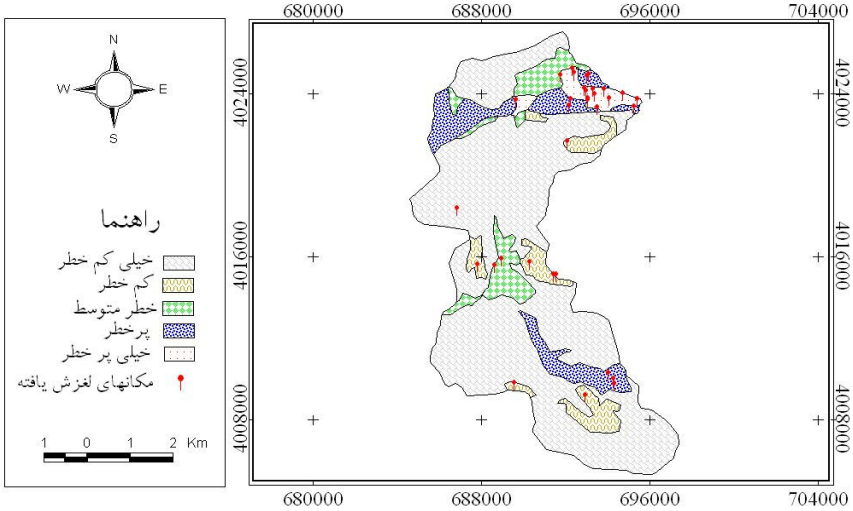
برای انجام این روش در ابتدا باید موثرترین عوامل در وقوع زمین لغزش‌های حوضه را مشخص نمود. این عمل بدان دلیل است که جون از واحدهای همگن برای انجام پهنه بندی استفاده می‌گردد، جهت جلوگیری از افزایش تعداد واحدهای همگن، باید مهمترین عوامل انتخاب نمود که به طبع آن حجم کار نیز کاهش یابد. معمول‌ترین روش بررسی عوامل موثر، استفاده از پرسشنامه، انجام عملیات میدانی و استفاده از تجربیات افراد بومی منطقه است. بنابراین با در نظر گرفتن این موارد،

نتایجی برای هر کدام از عوامل به شرح زیربه‌دست آمد.

در مورد عامل جهت شیب، بیشتر زمین لغزش،ها در جهت جنوبی اتفاق افتاده‌اند با توجه به این‌که وقوع زمین لغزش از نظر طبیعی باید در جهت شمال بیشتر باشد، معلوم گردید که شرایط غیرطبیعی عامل جهت، تحت تاثیر عوامل انسانی نظیر تغییر کاربری زمین و ایجاد راه‌ها بوده است. با توجه به این‌که هر کدام از این عوامل به صورت جداگانه در نظر گرفته شده‌اند به این منظور از عامل جهت شیب در مرحله پهنه‌بندی نهایی چشم پوشی گردید. در مورد عامل فاصله از شبکه هیدروگرافی، نتایج نشان داد که روند نزولی درصد سطح لغزیده شده با دورشدن از رودخانه رعایت نشده و این در حالی بود که در مورد دو عامل خطی دیگر جاده و گسل، این روند رعایت شده است. لذا عامل فاصله از شبکه هیدروگرافی از مرحله پهنه‌بندی حذف گردید. در مورد حذف عامل ارتفاع از سطح دریا، این موضوع باز هم به دخالت‌های غیر اصولی انسان بر می‌گردد زیرا در ارتفاعات پایین‌تر بدلیل شیب کمتر و مساعد بودن شرایط آب و هوایی، امکان کشت و زرع، احداث منازل مسکونی و تخریب جنگل، به‌راحتی برای روستاییان امکان پذیر می‌باشد. تمرکز اکثر زمین لغزش‌ها، روستاها و اراضی کشاورزی در ارتفاع ۳۰۰ تا ۵۵۰ متری از سطح دریا (پایین‌ترین طبقه) در منطقه مورد مطالعه، تاییدی بر این بیان می‌باشد. همچنین وزن‌های به‌دست آمده از چهار روش قبلی پهنه‌بندی، موید این امر است که جهت دامنه، شبکه زهکشی و ارتفاع از سطح دریا، تاثیر چندانی در وقوع لغزش‌های حوضه مورد مطالعه ندارند. در نهایت ۶ عامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، بارش و شیب دامنه به عنوان عوامل موثر برای پهنه‌بندی به روش رگرسیون چند متغیره تشخیص داده شدند. از روی هم اندازی ۶ عامل ذکر شده، نقشه واحدهای همگن تهیه گردید، که در نهایت ۹۶ واحد همگن به‌دست آمد. این واحدهای همگن واحدهایی هستند که دارای خصوصیات مشترکی از نظر شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و بارش می‌باشند و به واسطه داشتن اختلاف با واحدهای مجاور خود، حداقل از نظر یکی از عوامل ذکر شده، از آن‌ها متمایز می شوند. پس از دستیابی به کدهای مربوط به کلاسه‌های هر یک از این عوامل، این اطلاعات برای واحدهای همگن به صورت ۹۶ تکرار و ۶ تیمار کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شیب، فاصله از گسل، بارش و فاصله از جاده، به محیط نرم افزار SPSS منتقل گردید. در انتخاب روش رگرسیون چند متغیره، روش گام به گام با درصد اطمینان بیش از ۹۵ درصد انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصل، برای عامل بارش و فاصله از گسل، ضریب معنی داری کمتر از ۹۰ درصد به‌دست آمد. این ضریب نشان دهنده آن است که از نظر آماری، رابطه قوی با درصد سطح لغزش یافته در واحدهای همگن نداشته‌اند و از معادله نهایی حذف گردیدند ولی عوامل سنگ شناسی، کاربری اراضی، شیب دامنه، فاصله از جاده، در سطح اعتماد بین ۹۵ تا ۱۰۰درصد معنادار بوده و مقدار R معادله نهایی ۰/۷۵ درصد به دست آمد. با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مدلی به صورت رابطه ۶ به دست آمد. جدول۱۴ نتایج تجزیه و تحلیل آماری را نشان می‌دهد.

$$Y = 15\,x_1 + 0.127\,x_2 + 0.092\,x_3 + 0.062\,x_4 - 1.255$$ رابطه (۶)

در این فرمول Y، عامل حساسیت، X_1، عامل لیتولوژی، X_2، عامل کاربری اراضی، X_3، عامل شیب دامنه و X_4 عامل فاصله از جاده می باشد. رابطه (۶) برای تهیه نقشه پهنه‌بندی در کلیه لایه‌های عوامل موثر، اعمال گردید. نقشه حاصله به ۵ طبقه مساوی تقسیم و نقشه پهنه‌بندی، بر اساس روش رگرسیون چند متغیره به‌دست آمد (شکل۶).



شکل۶- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز واستان به روش MR

جدول۱۴(A,B,C)- نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره با روش Step wise

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.603[a]	.364	.356	1.0428286
2	.727[b]	.528	.516	.9039903
3	.757[c]	.573	.556	.8661305
4	.773[d]	.598	.576	.8458644

a. Predictors: (Constant), GEO

b. Predictors: (Constant), GEO, LAND

c. Predictors: (Constant), GEO, LAND, SLOP

d. Predictors: (Constant), GEO, LAND, SLOP, ROAD

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	.106	.152		.696	.489
	GEO	.182	.027	.603	6.639	.000
2	(Constant)	-.367	.161		-2.281	.025
	GEO	.155	.024	.515	6.388	.000
	LAND	.148	.029	.415	5.145	.000
3	(Constant)	-.842	.230		-3.666	.000
	GEO	.155	.023	.514	6.652	.000
	LAND	.128	.028	.359	4.500	.000
	SLOP	.091	.033	.218	2.791	.007
4	(Constant)	-1.255	.295		-4.253	.000
	GEO	.150	.023	.498	6.571	.000
	LAND	.127	.028	.358	4.591	.000
	SLOP	.092	.032	.220	2.879	.005
	ROAD	.062	.029	.160	2.153	.035

a. Dependent Variable: Y

Excluded Variables[e]

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics: Tolerance
1	SLOP	.306[a]	3.614	.001	.383	.996
	LAND	.415[a]	5.145	.000	.508	.955
	HIG	-.001[a]	-.012	.990	-.001	.753
	ROAD	.160[a]	1.771	.081	.199	.990
2	SLOP	.218[b]	2.791	.007	.307	.934
	HIG	-.024[b]	-.266	.791	-.031	.751
	ROAD	.157[b]	2.028	.046	.228	.990
3	HIG	-.004[c]	-.045	.964	-.005	.746
	ROAD	.160[c]	2.153	.035	.243	.990
4	HIG	-.030[d]	-.341	.734	-.040	.732

a. Predictors in the Model: (Constant), GEO

b. Predictors in the Model: (Constant), GEO, LAND

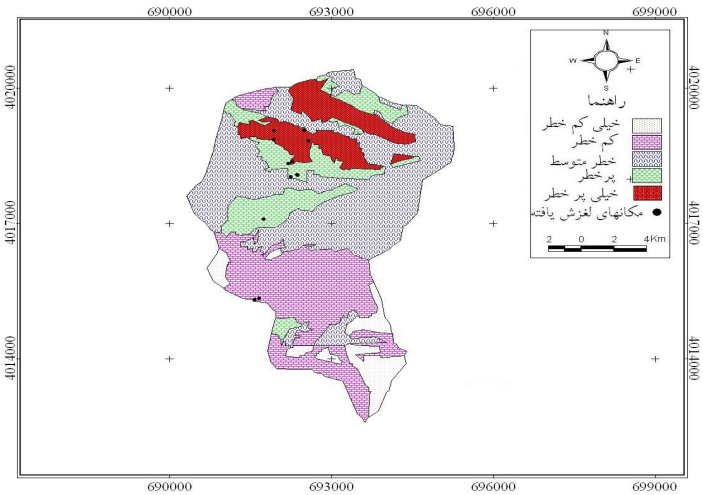
c. Predictors in the Model: (Constant), GEO, LAND, SLOP

d. Predictors in the Model: (Constant), GEO, LAND, SLOP, ROAD

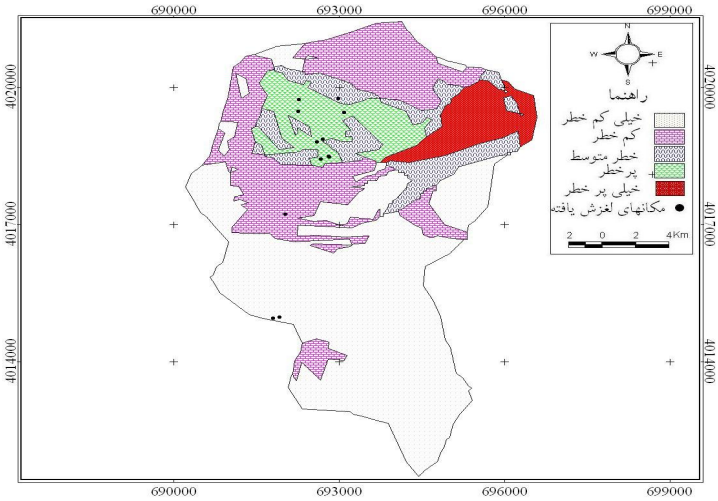
e. Dependent Variable: Y

ارزیابی صحت نقشه های پهنه بنـدی خطـر زمین لغزش

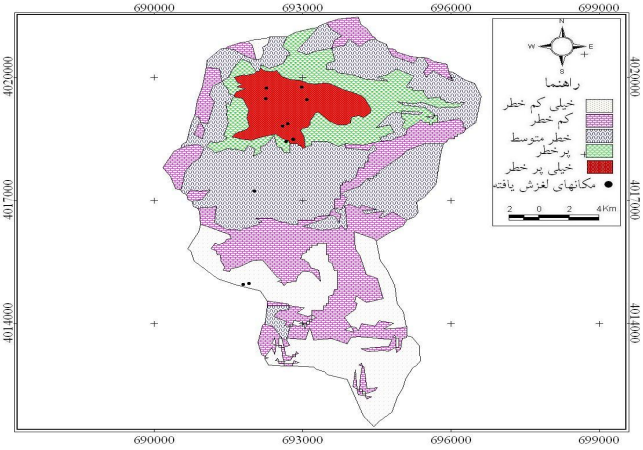
به منظور ارزیابی صحت نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش، از حوضه آبخیز ورکی در عرض جغرافیایی شمالی″۴۸ ′۱۳ °۳۶ تا ″۳۶ ′۱۸ °۳۶ و طول جغرافیایی شرقی ″۱۲ ′۷ °۵۳ تا ″۲۴ ′۱۱ °۵۳، در شرق حوضه واستان با مساحت۳۰ کیلومترمربع، به عنوان منطقه آزمایش مدل استفاده گردید. این حوضه از نظر خصوصیات آب و هوایی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و ... مشابه حوضه مورد مطالعه می‌باشد. ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه ورکی، با انجام بازدیدهای صحرایی تهیه و رقومی گردید. سپس نقشه عوامل موثر نهایی برای حوضه ورکی، مشابه حوضه واستان تهیه شد و وزن‌های به‌دست آمده از ۵ روش بالا در حوضه واستان، بر روی نقشه‌های حوضه ورکی اعمال گردید. و در ادامه کلاس‌های حساسیت مشابه حوضه واستان تعریف و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه ورکی به‌دست آمد. در پایان، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده در حوضه ورکی روی هم انداخته شدند و تعداد لغزش در هر یک از کلاسه‌های حساسیت محاسبه گردید(شکل ۷ تا۱۱). به طور کلی مدلی کارآمدتر است که تعداد بیشتری زمین لغزش در کلاسه‌های با خطر بالا اتفاق افتاده باشد. همان‌گونه که از جدول ۱۵ مشخص است، بیشترین مقدار زمین لغزش‌های رخ داده در کلاسه‌های خطرناک، در روش رگرسیون چند متغیره (MR) رخ داده است. بنابراین از بین ۵ روش مورد استفاده، مدل رگرسیون چند متغیره به دلیل توانایی در تفکیک کلاسه‌های خطر، مناسب‌ترین روش برای پهنه-بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز واستان تشخیص داده شد.



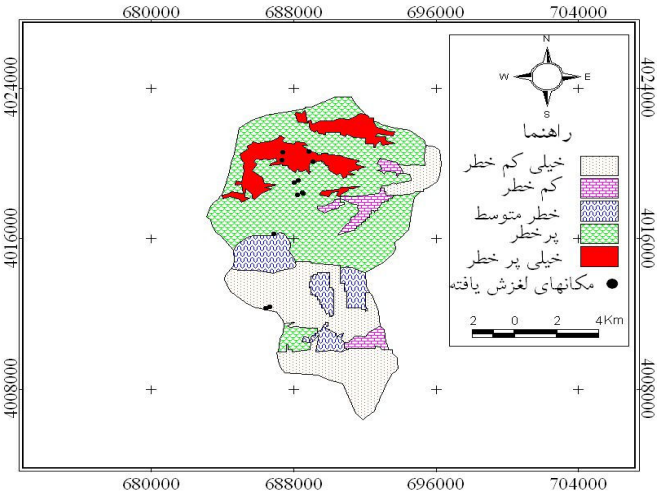
شکل۷- نقشه ارزیابی روش ارزش اطلاعاتی با استفاده از حوضه مجاور (حوضه ورکی)



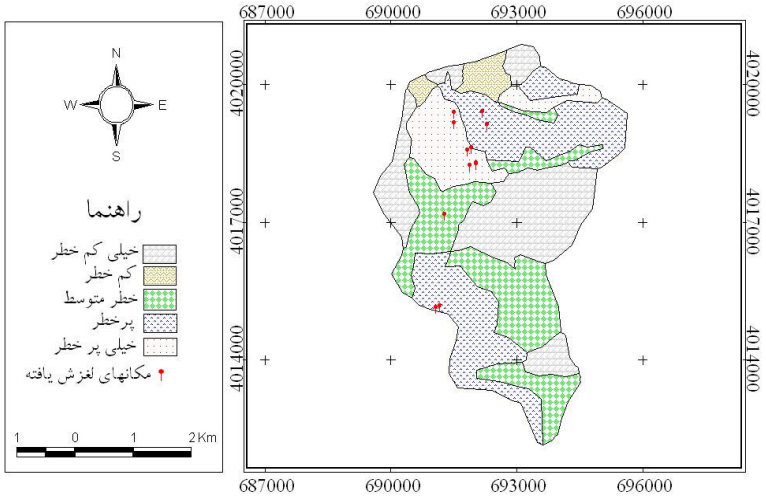
شکل۸- نقشه ارزیابی روش تراکم سطح با استفاده از حوضه مجاور (حوضه ورکی)



شکل۹- نقشه ارزیابی روش تحلیل سلسله مراتبی سیستمها با استفاده از حوضه مجاور (حوضه ورکی)



شکل ۱۰- نقشه ارزیابی روش LNRF با استفاده از حوضه مجاور (حوضه ورکی)



شکل۱۱- نقشه ارزیابی روش رگرسیون چند متغیره با استفاده از حوضه مجاور (حوضه ورکی)

جدول ۱۵- ارزیابی کارایی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز واستان

مدلهای پهنه بندی پهنه های خطر	Winf	Wa	AHP	LNRF	MR
خیلی پر خطر	۶	۰	۷	۴	۷
پر خطر	۴	۸	۲	۵	۴
خطر متوسط	۰	۱	۱	۱	۱
کم خطر	۲	۱	۰	۰	۰
خیلی کم خطر	۰	۲	۲	۲	۰

بحث و نتیجه گیری:

در مورد پهنه بندی با ۵ روش ذکر شده در حوضه واستان، همان گونه که از جدول ۱۵ مشخص

است روش رگرسیون چند متغیره و روش ارزش اطلاعاتی، مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشند. سفیدگری (۱۳۸۱)، در مطالعات خود در حوضه آبخیز دماوند، از بین ۸ روش مورد استفاده برای پهنه بندی خطر زمین لغزش، روش رگرسیون چند متغیره و ارزش اطلاعاتی نتایج قابل قبول و رضایت بخشی نسبت به سایر روش‌ها ارائه نموده است. روش رگرسیون چند متغیره، یک روش کمی بوده و با توجه به خصوصیات منطقه مورد مطالعه، مدل منطقه‌ای ارائه می‌شود. ثانیا در روش رگرسیون چند متغیره، رابطه بین تک تک عوامل با متغیر وابسته Y و نسبت به یکدیگر به صورت رگرسیون خطی در نظر گرفته می‌شود و تغییر در عوامل مختلف بر روی همدیگر تاثیرگذار خواهد بود. در نهایت برای مدلی که برآورد می شود عواملی که ضریب معنی داری بالایی با متغیر وابسته(Y) دارند انتخاب و عواملی با ضریب معنی-دار کمتر که سبب کاهش دقت کار پهنه‌بندی می‌شد از معادله حذف می‌گردند. همچنین فتاحی اردکانی (۱۳۷۹)، در حوضه سد لتیان در ارزیابی ۴ روش پهنه‌بندی بیان نمود که روش ارزش اطلاعاتی، نسبت به سایر روش‌ها نتیجه قابل قبول‌تری را ارائه نموده است.

روش تراکم سطح همچنین کمترین نتیجه قابل قبول را در منطقه ارائه نمود. که این نتیجه با تحقیقات شادفر و همکاران (۱۳۸۴) که بیان نمودند روش تراکم سطح در حوضه چالکرود در مقایسه با روش‌های ارزش اطلاعاتی و LNRF نتایج بهتری را ارائه نموده است، همخوانی ندارد. روش‌های سلسله مراتبی سیستم‌ها و مدل پیشنهادی گوپتا-جوشی نیز متوسط ارزیابی گردیدند.

در مدل آماری رگرسیون چند متغیره، عامل زمین‌شناسی مهم‌ترین عامل در وقوع زمین لغزش‌های منطقه می‌باشد (رابطه ۶ و جدول۱۴). کماک (Komac, 2006)، نیز عامل زمین‌شناسی را از عمده‌ترین عوامل در وقوع حرکت‌های توده‌ای می‌داند. بنابراین با توجه به مدل ارائه شده (عامل زمین‌شناسی نسبت به سایر عوامل وزن بیشتری را به خود اختصاص داده) و تمرکز بسیار بالای زمین لغزش‌ها در سازندهای حساس میوسن و تعداد کم آنها در دیگر سازندها، می‌توان گفت عامل زمین‌شناسی به دلیل ایجاد اختلاف در نفوذپذیری و مقاومت (استحکام) سنگ‌ها، توزیع زمین لغزش‌ها را به‌طور گسترده تحت تاثیر قرار داده و عمده‌ترین عامل در وقوع زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه می‌باشد.

افزایش جمعیت انسانی در سه دهه گذشته، از طریق افزایش ساختمان‌سازی، استخراج معادن، تشویق کشاورزان به کشت در نواحی جنگلی و... تاثیر مستقیمی بر فعالیت زمین لغزش‌ها داشته است. به دلیل مدیریت غیر اصولی اراضی، تخریب جنگل به شدت زیاد شده و سبب نفوذ آب بیشتری به داخل سازندهای حساس شده و زمینه را برای به وجود آوردن زمین لغزش‌ها در مناطق شمالی فراهم نموده است. با توجه به وزن‌های به دست آمده از رابطه (۶) می‌توان گفت بعد از عامل زمین‌شناسی، تغییر کاربری اراضی، دومین عامل مهم در وقوع زمین لغزش‌های منطقه منطقه محسوب می گردد. حسن زاده (۱۳۷۹)، در مطالعه‌ای که در حوضه شلمانرود گیلان انجام داد، عامل تبدیل کاربری اراضی از جنگل به باغ‌های چای را دلیل عمده اکثر زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه دانست.

شیب جریان آب زیرزمینی و تمرکز رطوبت، خاک را در وقوع زمین لغزش‌ها تحت تاثیر قرار می دهد (Carrara, 1996). یک واحد سنگ‌شناسی هر چند حساس، اگر در شیب بسیار کمی قرار داشته

باشد، زمینه وقوع لغزش را ندارد. به عنوان مثال واحدهای کواترنر اگر چه از رسوبات مناسب برای حرکت تشکیل شده‌اند ولی به‌دلیل قرارگیری در شیب‌های بسیارکم، زمینه لغزش در آنها مشاهده نمی‌شود. کماک(Komac, 2006)، در مطالعه‌ای در مر کز اسلوونی، عامل شیب را یکی از دلایل اصلی زمین لغزش‌ها مطرح نمود. بنابراین با توجه به ضریب مدل ارائه شده می‌توان گفت سومین عامل مهم در وقوع زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه آبخیز واستان، شیب دامنه بوده است.

به طور کلی اگر چه احداث جاده‌های مناطق کوهستانی برای توسعه اقتصادی این مناطق ضروری هستند اما احداث غیر اصولی ممکن است سبب ایجاد ناپایداری در دامنه‌ها گردند و زیان-هایی را به تاسیسات مناطق کوهستانی وارد نمایند. بریدگی‌های جاده معمولا مکان‌هایی هستند که به وسیله انسان ناپایدار گشته‌اند. ساختن بافر(حریم) در اطراف جاده روش سنتی است که برای تاثیر جاده بر روی زمین لغزش‌ها استفاده می‌شود (Larsen and Parks, 1997). با توجه به مطالعه انجام گرفته درحوضه واستان و تعداد زیاد زمین لغزش‌ها در اطراف جاده‌ها (در فاصله حدود۲۰۰-۰ متری متمرکز گردیده‌اند) و ضریب مدل به‌دست آمده می‌توان گفت چهارمین عامل در وقوع زمین لغزش‌ها (در حوضه‌های شمال کشور عامل بسیار مهمی است) احداث غیر اصولی جاده می‌باشد. احداث جاده سبب از بین رفتن تکیه‌گاه در شیب‌های تند شده و در صورت مساعد بودن توده از نظر جنس سازند، وقوع زمین لغزش قطعی خواهد بود. آیالیو و یاماگشی (Ayalew and Yamagishi, 2005)، در مطالعه خود در حوضه کاکودای ژاپن بیان نمودند اکثر زمین لغزش‌ها در فاصله ۱۰۰ متری از جاده متمرکز شده‌اند و تفاسیر ضرایب که با استفاده از رگرسیون لجستیک به دست آمده بود نشان داد که شبکه‌های جاده، نقش اساسی در تعیین و توزیع زمین لغزش‌ها دارند.

عامل ارتفاع از سطح دریا، به دلیل همبستگی کم، از معادله توسط نرم افزار SPSS حذف گردید. این موضوع نیز به دخالت‌های غیر اصولی انسان می-شود، در ارتفاعات پایین‌تر به دلیل شیب کمتر و مساعد بودن شرایط آب و هوایی، امکان کشت و زرع، احداث منازل مسکونی و تخریب جنگل به راحتی برای روستاییان امکان‌پذیر می‌باشد. تمرکز اکثر زمین لغزش‌ها، روستاها و اراضی کشاورزی در ارتفاع ۳۰۰ تا ۵۵۰ متری از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه، تاییدی بر این بیان می،باشد.

بنابراین با توجه به مطالعات انجام گرفته در مورد زمین لغزش‌های حوضه آبخیز واستان، علاوه بر عوامل طبیعی مانند حساسیت سازند مارنی و شیب، دخالت‌های نابجای انسان و استفاده از اراضی بدون توجه به قابلیت‌های آن‌ها، به صورت غیر طبیعی سبب این پدیده شده است. زیرا ایجاد باغات و اراضی کشاورزی جدید علاوه بر سبب به-وجود آوردن زمین لغزش‌های جدید مخصوصا در انتهای حوضه شده بلکه سبب فعالیت مجدد زمین لغزش‌های قدیمی گردیده است. درکنار این عوامل، باید نقش جاده‌ها، که باعث وقوع زمین لغزش‌های جدید در حوضه شده‌اند را متذکر گردید.

با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش رگرسیون چند متغیره به عنوان بهترین مدل برای منطقه مورد مطالعه، در مکان‌هایی که دارای کلاس‌های پر خطر و خیلی پر خطر هستند باید در همه کارهای عمرانی درون حوضه اعمال مدیریت گردد.

با توجه به این‌که سطح بسیار زیادی از منطقه در کلاسه‌های با خطر کم قرار گرفته‌اند، پیشنهاد

می‌شود از قطع و تخریب درختان جنگلی ممانعت به عمل آورد تا در آینده شاهد وجود زمین لغزش‌های زیادی در منطقه نباشیم.

منابع

-احمدی، ح.، محمدخان، ش.، فیض نیا، س.، و قدوسی، ج.، ۱۳۸۴. ساخت مدل منطقه ای خطر حرکتهای توده ای با استفاده از ویژگیهای کیفی و سلسله مراتبی سیستمها (AHP). مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان مجله منابع طبیعی ایران جلد ۵۸. شمار۱ ، ص۱۴-۳.

-احمدی، ح.، اسمعیلی عوری، ا.، فیض نیا، س.، و شریعت جعفری، م.، ۱۳۸۲. پهنه بندی خطر حرکتهای توده ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی سیستمها(AHP) مطالعه موردی حوزه آبخیز گرمی چای اردبیل .مجله منابع طبیعی ایران. جلد۵۶. شماره۴ ، ص۳۳۵-۳۲۳.

-سفید گری، ر.، ۱۳۸۱. ارزیابی روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز دماوند، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۹ ص.

-شادفر، ص.، نوروزی، ع.، قدوسی، ج.، و غیومیان، ج.، ۱۳۸۴. پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاکتراشان.نشریه علمی ترویجی حفاظت آب و خاک.سال اول شماره ۱ ، ص ۱۰-۱.

-شادفر، ص.، یمانی، م.، و نمکی، م.، ۱۳۸۴. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدلهای ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرود. نشریه علمی-پژوهشی آب و آبخیز شماره ۳، ص۶۹-۶۲

-حسن زاده نفوتی، م.، ۱۳۷۹. پهنه بندی خطر زمین لغزش درحوزه آبخیز شلمانرود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۳۸ص.

-فتاحی اردکانی، م.، ۱۳۷۹. بررسی و ارزیابی کارایی مدل های پهنه بندی خطر زمین لغزش،حوضه آبخیز سد لتیان. پایان نامه کارشناسی ارشد،مرکز آموزش امام خمینی، ۱۸۱ص.

-فرجی سبکبار، ح.، ۱۳۸۴. مکان یابی واحدهای خدمات بازرگانی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی سیستمها.نشریه علمی-پژوهشی پژوهشهای جغرافیایی دانشگاه تهران.شماره ۵۱، ص ۳۷-۲۰.

-قدسی پور، ح.، ۱۳۷۹. فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)،انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۲۸۵ص.

-فیض نیا، س .، کلارستاقی، ع.، احمدی، ح.، و صفایی، م.، ۱۳۸۳. بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشها و پهنه بندی خطر زمین لغزش(مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین رود- - سد تجن). مجله منابع طبیعی ایران، جلد۵۷،شماره۱، ص ۵۳-۴۷

-مهدویفر، م.، ارومیه ای، ر.، فاطمی و عقدا، س.، ۱۳۷۶. پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه خورش رستم شهرستان خلخال،مجموعه مقالات دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارتهای آن،موسسه بین المللی زازله شناسی و مهندسی زلزله، جلد اول، ۱۴۸ ص.

- Ayalew, L ., and Yamagishi, H., 2005.The application of GIS–based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, v.65, p.15-31

- Campus, F., and Scavia, C., 2000. Preliminary study for landslide hazard assessment :GIS techniques and a Multivariate statistical approach landslides. Proceeding of the 8TH International Symposium on Landslides, v. 1, p.215-220

- Carrara,A., 1997. Multivariate models for landslide hazard elevation .Mathematical Geology, v.15, p. 403-427.

- Fanyu liu, Z., 2007. Study on landslide susceptibility mapping based GIS and with bivariate statistics, a Case Study in Longnan Area Highway 212. Science paper online.

- Komac, M., 2006. A landslide suscepility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. Geomorphology, v. 24(17), p.28-43.

- Larsen, M., and Parks, J., 1997. How wide is a road? The association of roads and mass movements in a forested montane environment. Earth Surface Processes and Landforms, v.22, p.835-845.

- Gupta, R.P., and Joshi, B.C., 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach- A case study from the Ramganga catchment, Himalayas. Engineering Geology, v.28 , p.119-131.

- Saaty, T., 1980. The Analytical Hierarchy Process.Mc Graw Hill , Newyork , 350 p.

- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. CATENA, v. 72 , p. 1-12.