

بررسی خطر زمین لغزش و تحلیل ریسک پذیری آن در نواحی روستایی

مطالعه موردی: دامنه شمالی توده کوهستانی سهند

دکتر فریبا کرمی^۱ و دکتر معصومه رجبی^۲

چکیده

زمین لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که در تحول و فرسایش اشکال زمین مشارکت دارد. این پدیده زمانی که جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد می‌تواند به حادثه خطرناکی تبدیل شود. با توجه به اینکه خطرپذیری جوامع انسانی در مطالعات مربوط به رویداد زمین لغزش کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، بنابراین این پژوهش سعی دارد ضمن ارائه نقشه خطر، به شناسایی روستاهای در معرض خطر زمین لغزش پرداخته و خطرپذیری جوامع انسانی شمال توده کوهستانی سهند را تحلیل و بررسی کند. برای دستیابی به این هدف با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم افزار Arc /View، روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ۵ پهنه بسیار پرخطر، پرخطر، متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر، ترسیم شد. برای تحلیل ریسک پذیری، یافته‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با داده‌های محیط انسانی ترکیب شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ۴۱/۶۸ درصد از مساحت دامنه شمالی کوهستان سهند از نظر وقوع زمین لغزش در پهنه خطر متوسط تا بسیار پرخطر قرار دارد. ۶۰ درصد آبادی‌های این منطقه با ۱۷۵۳۱ نفر جمعیت در نواحی با خطر متوسط و ۲۰ درصد روستاها با ۲۳۴۸ نفر جمعیت در محدوده‌های با خطر زیاد وقوع زمین لغزش زندگی می‌کنند.

کلیدواژگان: خطر زمین لغزش، تحلیل ریسک پذیری، مدل وزنی شاهد، نواحی روستایی، دامنه شمالی کوهستان سهند

1. استادیار گروه پژوهشی جغرافیا، دانشگاه تبریز
2. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تبریز

مقدمه

به فرآیندهای ژئومورفولوژیکی که به حرکت رو به پایین مواد سازنده دامنه، اعم از سنگ، خاک یا مخلوطی از این مواد، منجر شود زمین لغزش اطلاق می‌کنند (Goudie, 2004). زمین لغزش‌ها بطور ساده از عملکرد نیروی گرانش زمین بر روی دامنه‌ها ناشی می‌شوند. تا زمانی که مقاومت توده سنگ یا خاک مساوی یا بزرگتر از نیروهای گرانش باشد، نیروها در حال تعادل بوده و حرکتی رخ نمی‌دهد. در غیر اینصورت دامنه گسیخته شده و به یکی از اشکال زمین لغزش (ریزش، لغزش، خزش یا جریان) جابجا می‌شود (معماریان، ۱۳۸۱، ۵۶۵). (Dahal et al, 2008, 496) عوامل اصلی وقوع زمین لغزش را زمین‌شناسی سنگ بستر، توپوگرافی (شیب، جهت و انحنا شیب)، ارتفاع، عمق و نوع خاک، کاربری زمین و شبکه‌های زهکشی معرفی کرده‌اند. بارش‌های شدید، زمین‌لرزه و فعالیت‌های آتشفشانی از متغیرهای اتفاقی هستند که در وقوع انواع زمین لغزش نقش دارند.

کشور ایران ششمین کشور مستعد بلایای طبیعی در جهان است. زیرا از بین ۴۰ بلای طبیعی که در سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۷۰ در دنیا اتفاق افتاده، ۵ مورد آن در ایران رخ داده است (اردلان و همکاران، ۱۳۸۵، ۲۶). براساس گزارش کمیته بلایای طبیعی ایران، در طی برنامه پنج ساله اول، خسارات ناشی از بلایای طبیعی در کشور بالغ بر ۱/۶ میلیارد دلار برآورد شده است که بخشی از آن به خسارات زمین لغزش مربوط می‌شود (باقریان و همکاران، ۱۳۸۴). مناطق مختلف کشور بویژه مناطق کوهستانی به دلیل دارا بودن شرایط مستعد، وقوع پدیده زمین لغزش را بارها تجربه کرده است. دامنه شمالی کوهستان سهند نیز به علت موقعیت کوهستانی و برخورداری از ویژگی‌های طبیعی خاص، مستعد رخداد پدیده زمین لغزش می‌باشد و وقوع این پدیده در محیط‌های انسانی آن همواره مشکلاتی را سبب شده است. برای مثال در حال حاضر، مساکن، زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌های روستاهای سفیده‌خون، ایرانق، مراتع و روستای ثمرخزان در معرض انواع زمین لغزش‌ها قرار دارند. این در حالی است که دامنه شمالی سهند از کانون‌های باغداری و دامداری (لیقوان) و همچنین از مراکز مهم گردشگری کشور محسوب می‌شود. برای مثال روستای سفیده‌خون از روستاهای نمونه گردشگری استان آذربایجان شرقی و هربی دره و بیرق از نواحی استقرار خانه‌های دوم گردشگری می‌باشند. برای بهره‌برداری صحیح از منابع طبیعی این منطقه، ضمن محافظت از آنها و اجتناب از تهدید جوامع انسانی، شناسایی پدیده‌های مورفوتیک مانند وقوع زمین لغزش‌ها و خطرات ناشی از آنها از اهمیت ویژه برخوردار است. با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و شناسایی کانون‌های خطر و تحلیل میزان خطرپذیری حاصل از آن، می‌توان زمینه‌های تعدیل ریسک را فراهم آورد. هدایت برنامه‌های عمرانی روستا (ساماندهی

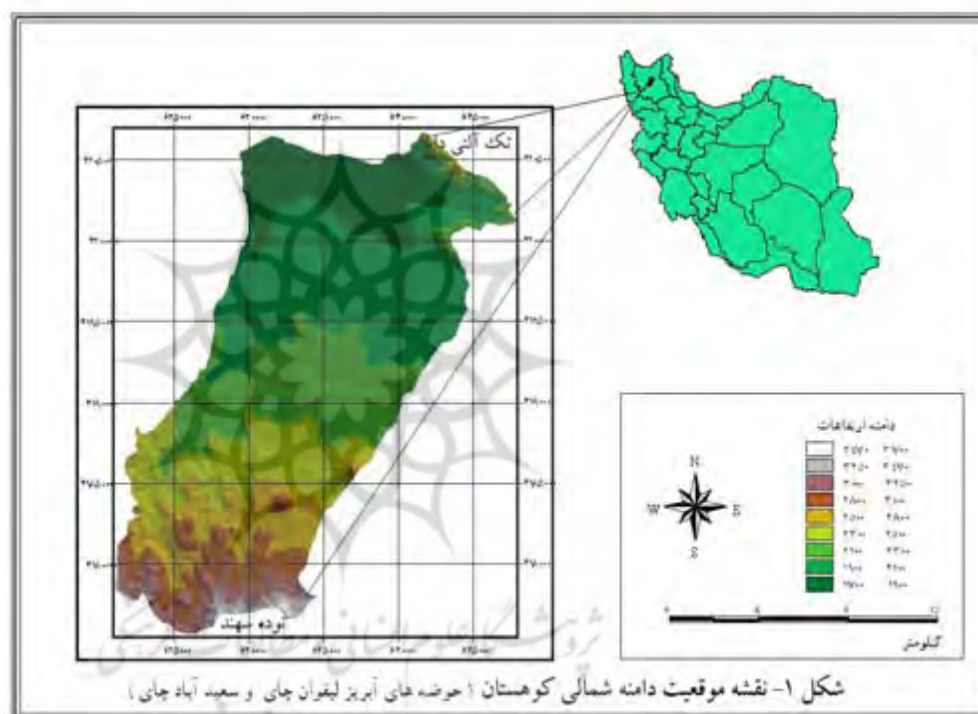
و مقاوم‌سازی سکونتگاه‌های آسیب‌پذیر روستایی، احداث شبکه‌های ارتباطی و توسعه زیرساخت‌های) به مناطق امن و کم خطر می‌تواند گام‌های اساسی در زمینه کاهش خطر، خسارت و افزایش امنیت اجتماعی باشد (Lan et al, 2004, 110). نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌تواند برنامه‌ریزان را در عرصه‌های مختلف برنامه‌ریزی‌های عمران، مکانیابی اراضی مناسب برای توسعه شهرها و روستاها، تعیین مسیر راه‌ها، خطوط انتقال نیرو و انرژی یاری نماید. اغلب این مطالعات به شناسایی پدیده زمین‌لغزش و نواحی با پتانسیل بالای وقوع آن اختصاص یافته و کمتر به تحلیل خطرپذیری جوامع انسانی اقدام می‌شود (شریفی نیا، ۱۳۸۶). هدف این تحقیق شناسایی نواحی با خطر زمین‌لغزش در دامنه شمالی توده کوهستانی سهند، شناسایی روستاهای در معرض خطر و تحلیل خطرپذیری نواحی روستایی از این پدیده می‌باشد. برای رسیدن به این هدف از تکنیک‌های GIS و مدل وزنی شاهد که براساس دیدگاه آماری دومتغیره استوار است استفاده می‌شود.

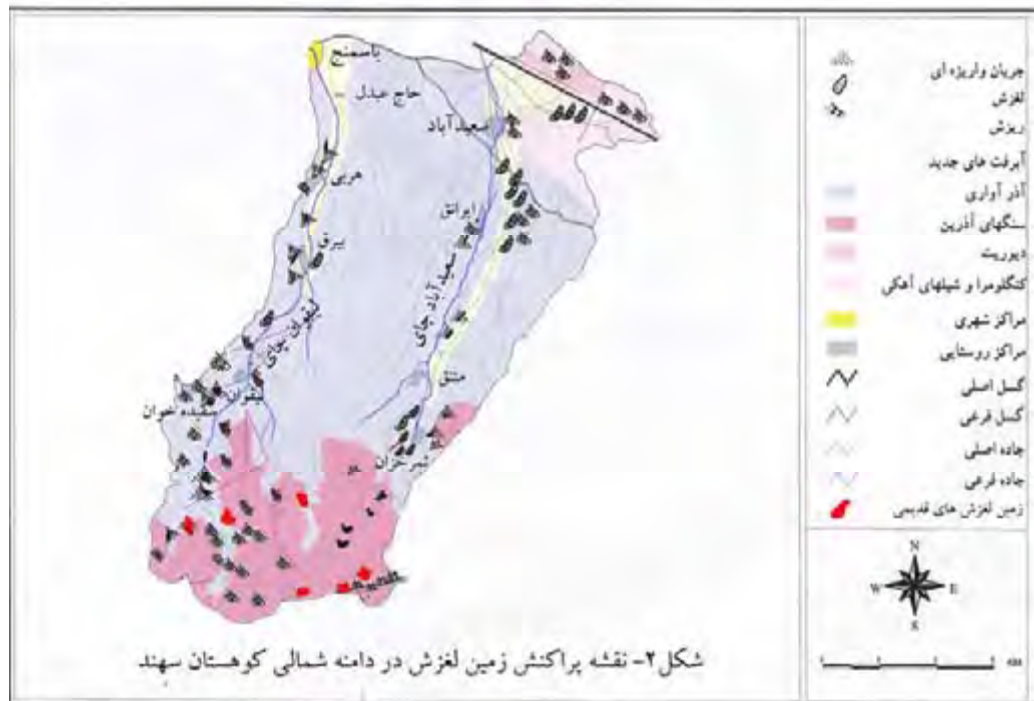
ویژگی‌های عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه از حوضه‌های دامنه شمالی توده کوهستانی سهند با مختصات جغرافیایی $29^{\circ} 1' 38''$ - $30^{\circ} 43' 37''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 58' 40''$ - $46^{\circ} 25' 22''$ طول شرقی است (شکل ۱) که از غرب به حوضه آبریز زینجناب‌چای و از شرق به حوضه اوجان‌چای محدود می‌گردد. رودخانه‌های اصلی این منطقه سعیدآبادچای و ليقوان‌چای هستند که از بهم پیوستن شاخه‌های فرعی که از قله مرتفع کوهستان سهند و کوه تک‌آلتی سرچشمه می‌گیرند، تشکیل شده است. قوچ‌گلی‌داغ (۳۶۹۵ متر)، گیروهداغ (۳۵۹۶ متر)، کمال‌داغ (۳۳۱۰ متر)، متال‌داغ، بیوک‌داغ و غیره از قله مرتفع واحد کوهستانی سهند در جنوب منطقه مطالعاتی می‌باشند و تک‌آلتی‌داغ (۲۶۵۶ متر)، نام واحد کوهستانی دیگری است که در شمال شرقی منطقه قرار دارد. از نظر ویژگی‌های لیتولوژی، سنگ‌های آذرین بیرونی ائوسن و میوسن (داسیت، آندزیت، ریوداسیت و غیره) در واحد مرتفع کوهستانی جنوب و سنگ‌های نفوذی (دیوریت و مونزویت اولیگوسن) در واحد کوهستانی شمال (تک‌آلتی‌داغ) دیده می‌شوند. در دامنه شمالی توده کوهستانی سهند، تشکیلات آذرآواری و ولکانوسدیمانترها به شعاع ده‌ها کیلومتر از مراکز آتشفشانی به طرف جلگه‌های اطراف گسترش یافته‌اند. ناهمواری تک‌آلتی و فلات کندول از سنگ‌های رسوبی (شامل شیل‌های آهکی متعلق به کرتاسه فوقانی) تشکیل شده است و در نهایت آبرفت‌های کواترنری ۸/۴ درصد مساحت حوضه‌های مورد مطالعه را دربرمی‌گیرند. نوع آب و هوای کنونی منطقه مورد مطالعه، نیمه خشک سرد می‌باشد که به سمت ارتفاعات به اقلیم نیمه مرطوب سرد تغییر می‌یابد.

بیش از ۶۰ مورد زمین لغزش در این منطقه شناسایی شدند که فراوان‌ترین آنها، سنگ‌ریزش، لغزش چرخشی و انتقالی و سنگ لغزش است (شکل ۲). سنگ ریزش و واژگونی سنگ، بر روی دامنه‌های سنگی و پرشیب ارتفاعات به‌وقوع می‌پیوندند. این پدیده‌ها در سنگ‌های داسیتی و ریوداسیتی دامنه شمالی شرشر داغ و کمال داغ به‌وفور یافت می‌شوند. همچنین در دامنه شمال غربی گیروه‌داغی با سنگ‌های داسیتی، قابل رویت هستند. روی تشکیلات آذرآواری و آبرفت‌های کواترنر نیز اغلب پدیده‌های ریزش واریزه‌ای و لغزش‌های چرخشی اتفاق می‌افتند. طبق آمار سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۸۵ در این منطقه در حدود ۱۱ آبادی وجود دارد که جمعیتی در حدود ۲۳۸۳۲ نفر را دارا می‌باشند.

داده‌های مورد نیاز





۱. نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ برای شناسایی منطقه، استخراج آبراهه‌ها، جاده‌ها، شهرها و روستاها، تهیه مدل رقومی ارتفاع و نقشه شیب
۲. نقشه زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) برای شناسایی و تشخیص واحدهای لیتولوژی، گسل‌ها و غیره
۳. نقشه کاربری اراضی برای تعیین انواع کاربری‌ها و پوشش گیاهی
۴. داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک، هواشناسی و باران‌سنجی منطقه و پیرامون در دوره آماری ۳۰ ساله برای ترسیم منحنی‌های هم‌بارش
۵. نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها که از طریق مطالعه عکس هوایی موجود، بازدیدهای میدانی مکرر و ثبت موقعیت آنها و نقشه ژئومورفولوژی (زنگنه، ۱۳۶۹ و رضایی مقدم، ۱۳۷۰) تهیه و ترسیم شده‌اند.
۶. سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار Arc /View و Autocad map 2004
۷. داده‌های جمعیت آبادی‌ها براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن کشور (مرکز ملی آمار ایران، ۱۳۸۵)

روشها

برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دامنه شمالی سهند، ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها قدیمی و کنونی تهیه شد. عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه براساس بازبندی‌های میدانی، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، ژئومورفولوژی و برمبنای روش اکتشافی، همانند فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۰، صص ۲۱۹-۲۰۷)، (Carrara, et al, 1999, 427-45) و (Carrara, et al, 2003, 1125-1142) و (Guinau, 2005, 316-327) انتخاب شدند. سپس نقشه لایه‌های عاملی منطقه شامل نقشه‌های شیب، واحدهای لیتولوژی، منحنی‌های هم‌بارش، دوری و نزدیکی به آبراهه، دوری و نزدیکی به جاده، دوری و نزدیکی به روستا و واحدهای کاربری‌های زمین تهیه شده و هر نقشه کلاس‌بندی شدند. برای کلاس‌بندی در مورد طبقات برخی عوامل، از نمودار تجمعی پیکسلها در مقابل ارزش هر پیکسل استفاده شد.

تراکم سنجی و وزن‌دهی کلاس‌های مختلف متغیرها

به منظور تعیین میزان تأثیر هر کلاس در وقوع زمین‌لغزش‌ها و ترسیم نقشه پهنه‌بندی، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با هر کدام از لایه‌های عاملی ترکیب شد و وزن مربوط به هر کلاس همانند (Yin and Yan, 1998, 303-321)، (Suzen and Doyran, 2004, 1269-1272)، (Gokceoglu et al, 2005,) و (Nefeslioglu et al, 2008, 401-418) از طریق روش آماری دو متغیره^۱ و مدل وزنی شاهد^۲ معادله (۱) و (۲) محاسبه شد. این روش برای هر لایه عاملی براساس وجود یا فقدان زمین‌لغزش در منطقه وزن می‌دهد (Dahal et al, 2008,) و W_i^+ مثبت وجود عامل علتی^۳ زمین‌لغزش را در منطقه نشان می‌دهد و بزرگی آن وزن، همبستگی بین وقوع زمین‌لغزش و عامل را آشکار می‌سازد. برعکس آن (W_i^-) وزن منفی، عدم وجود عامل علتی را در محل زمین‌لغزش نشان می‌دهد. در نهایت اختلاف بین وزن‌های مثبت و منفی (W_f) ، بزرگی ارتباط مکانی بین عامل علتی و زمین‌لغزش را بیان می‌کند (heiry et al., 2007, 45). وزن‌های بدست آمده براساس معادله‌های (۱) و (۲) به کلاس‌های نقشه‌های موضوعی اختصاص یافت و نقشه‌های وزنی حاصل از آنها با هم ترکیب شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر از جمع جبری نقشه‌های وزنی در محیط (GIS) و با استفاده از نرم‌افزار Arc View/ در ۵ پهنه بسیار پرخطر، پرخطر، متوسط، کم‌خطر و بسیار کم‌خطر ترسیم شد.

1- Bivariate Statistical Methods (BSM)

2- Wiegths-of-Evidence (WOE)

3- Causative factor

(معادله ۱)

$$wi^+ = \log_e \frac{\frac{Npix_1}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_3}{Npix_3 + Npix_4}}$$

$$wi^- = \log_e \frac{\frac{Npix_2}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_4}{Npix_3 + Npix_4}}$$

(معادله ۲)

$$wf = (wi^+ - wi^-)$$

$Npix_1$ تعداد پیکسل‌های عامل بالقوه علتی زمین لغزش و زمین لغزش
 $Npix_2$ وجود زمین لغزش‌ها و فقدان عامل بالقوه علتی زمین لغزش
 $Npix_3$ وجود عامل بالقوه علتی زمین لغزش و فقدان زمین لغزش
 $Npix_4$ فقدان عامل بالقوه علتی زمین لغزش و زمین لغزش

ارزیابی روش پهنه‌بندی

برای ارزیابی دقت و صحت نقشه پهنه‌بندی، نخست از زمین لغزش‌های قدیمی موجود در منطقه که در محاسبات قبلی وارد نشده بودند استفاده شد. برای این منظور نقشه‌های پراکنش زمین لغزش‌های قدیمی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ترکیب شدند و با استفاده از معادله (۳) شاخص Li محاسبه شد. سپس همانند جباری (۱۳۸۶، صص ۶۷-۵۵) و (345-357,2005) Moreiras این شاخص برای ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی براساس پراکنش زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در هر پهنه خطر محاسبه شد.

(معادله ۳)

$$Li = \frac{Ai / Si}{\sum_i^n Ai / Si}$$

Li نواحی متأثر شده از زمین لغزش در هر کلاس خطر، Ai مساحت زمین لغزش در هر پهنه خطر، Si مساحت پهنه خطر و n تعداد طبقات مربوط به پهنه‌های خطر زمین لغزش می‌باشد. صحت پهنه‌بندی وقتی تأیید می‌شود که میزان (Li) در پهنه‌های با حساسیت بسیار زیاد و زیاد، بیشتر باشد. به عبارت دیگر، تراکم زمین لغزش‌ها در نواحی با حساسیت متوسط تا بسیار زیاد بیشتر باشد.

تحلیل خطرپذیری

برای تحلیل خطرپذیری جوامع انسانی از پدیده زمین‌لغزش، پراکنش روستاها در روی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مشخص شد. جمعیت روستاهای هر پهنه از آمار سرشماری عمومی نفوس مسکن (۱۳۸۵) استخراج شد و جمعیت در معرض خطر زمین‌لغزش برآورد شد. قابل ذکر است در آمار جمعیت این منطقه، ساکنان ثابت روستاها (جمعیت روستایی) مدنظر بوده و جمعیت خانه‌های دوم که اغلب بصورت فصلی به تعداد ساکنین این منطقه افزوده می‌شوند، محاسبه نشده است.

نتایج و بحث

بررسی لایه‌های عاملی وقوع زمین‌لغزش در دامنه شمالی کوهستان سهند، براساس روش آماری دومتغیره و مدل وزنی شاهد، نشان می‌دهد که از بین عوامل علتی، عوامل طبیعی و انسانی مانند شیب، بارش، کاربری اراضی و فاصله از روستا به ترتیب با W_f بیشتر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه نقش داشته‌اند (جدول ۱).

از عوامل طبیعی، تمامی طبقات عامل شیب (باستثنای شیب‌های کمتر از ۱۵ درجه) با داشتن وزن-های مثبت، مستعد وقوع زمین‌لغزش در منطقه هستند. در بین طبقات، شیب ۴۵-۶۰ درجه با $W_f = +0/733$ حساس‌تر است و شیب‌های بیش از ۶۰ درجه مساحت اندکی دارند (جدول ۱). به همین علت است که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات منطقه بویژه نواحی کوهستانی و دامنه‌های مشرف به دره‌های اصلی که شیب‌دارند دیده می‌شوند. از میان طبقات بارش هم، نواحی با بارش ۴۶۶-۵۰۴ میلی‌متر بیشترین میزان همبستگی ($W_f = +0/991$) را با وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهد. مقادیر کمتر از ۴۶۶ میلی‌متر معمولاً همبستگی منفی دارند. بارش‌های بیش از ۴۶۶ میلی‌متر معمولاً بر مناطق کوهستانی (واحد کوهستانی جنوب و ارتفاعات شمال‌شرقی) منطقه منطبق می‌باشند. از اینرو ارتفاعات از نظر تأمین رطوبت، برای وقوع زمین‌لغزش مستعدتر هستند. انسان نیز با انجام فعالیت‌های مختلف (زراعی، دامداری، عمرانی و غیره) در منطقه موجبات وقوع انواع زمین‌لغزشها را فراهم می‌کند. بطوری که ۱/۵ کیلومتری پیرامون آبادی‌ها با ($W_f = +0/71$) بویژه ۵۰۰ متری روستاها با ($W_f = +0/73$) همبستگی مثبت و بالایی با وقوع زمین‌لغزشها نشان می‌دهند. در انواع کاربریها هم این تأثیر بیشتر در نواحی با کشت آبی ($W_f = +0/462$) دیده می‌شود. برای مثال زارعان با انحراف آبراهه‌ها و انتقال آب از روی دامنه‌ها (شامل مواد آبرفتی و سازندهای سطحی) به زمینهای زراعی، سبب نفوذ آب در نهشته‌ها می‌شوند، در این صورت مواد مستعد به جابجایی گشته و موجب ناپایداری مواد دامنه‌ای در سطوح دامنه می‌شوند.

جدول (۱) وزن‌های محاسبه شده کلاس‌های متعدد لایه‌های عاملی بر اساس زمین لغزش‌های کنونی کوهستان سهند

عوامل علتی	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	درصد مساحت	تعداد پیکسل‌های عوامل	درصد مساحت	W_i^+	W_i^-	W_i
واحدهای لیتولوژی							
شیل‌های آهکی	۸۸۳	۷/۱۳۹	۳۹۳/۲	۵/۶۷۸	۰/۲۲۹	-۰/۰۱۶	۰/۲۴۵
آبرفت‌ها	۱۲۴۶	۱۰/۰۷۴	۵۸۵۱۴	۸/۴۵۱	۰/۱۷۵	-۰/۰۱۷	۰/۱۹۲
ولکانوسدیمانتر	۶۶۶۴	۵۳/۸۷۶	۴۶۲۰۹۹	۶۶/۷۴۲	-۰/۲۱۴	۰/۳۲۵	-۰/۵۳۹
دیوریت مونزونیت	۳۵	۰/۲۸۳	۵۷۰۱	۰/۸۲۳	-۰/۰۶۷	۰/۰۰۵	-۰/۰۷۲
سنگ‌های آذرین شیب	۳۵۴۱	۲۸/۶۲۸	۱۲۶۷۴۵	۱۸/۳۰۶	۰/۴۴۷	-۰/۱۳۵	۰/۵۸۲
<۱۵	۶۰۴۸	۴۸/۸۹۶	۴۸۴۸۲۹	۷۰/۰۲۴	-۰/۳۵۹	۰/۵۳۶	-۰/۸۹۵
۱۵-۳۰	۵۷۷۱	۴۶/۶۵۷	۱۸۹۱۲۳	۲۷/۳۱۵	۰/۵۳۵	-۰/۰۳۱	۰/۵۶۶
۳۰-۴۵	۴۲۸	۳/۴۶۰	۱۵۱۳۷	۲/۱۸۶	۰/۴۵۹	-۰/۰۱۳	۰/۴۷۲
۴۵-۶۰	۱۲۱	۰/۹۷۸	۳۲۷۰	۰/۴۷۲	۰/۷۲۸	-۰/۰۰۵	۰/۷۳۲
>۶۰	۱	۰/۰۰۳	۱۲	۰/۰۰۲	۰/۵۶۸	-۰/۰۰۰۹	۰/۵۶۹
بارش							
۲۴۰-۲۷۷	۴۵۷	۳/۶۹	۲۲۲۸۹	۳/۲۲	۰/۱۳۶	-۰/۰۰۴	۰/۱۴
۲۷۷-۳۱۵	۶۹۱	۵/۵۸	۷۷۱۹۸	۱۱/۱۵	-۰/۶۹۲	۰/۰۶۱	-۰/۷۵۳
۳۱۵-۳۵۳	۱۳۶۹	۱۱/۰۷	۱۸۳۴۷۵	۲۶/۴۹	-۰/۸۷۲	۰/۱۹	-۰/۸۹۲
۳۵۳-۳۹۱	۳۰۵۸	۱۶/۶۴	۱۳۱۵۰۶	۱۸/۹۹	-۰/۱۳۲	۰/۰۲۸	-۰/۱۶
۳۹۱-۴۲۸	۲۱۲۱	۱۷/۲۳	۸۸۱۸۹	۱۲/۷۴	۰/۳۰۲	-۰/۰۵۴	۰/۳۵۶
۴۲۸-۴۶۶	۱۱۹۰	۹/۶۲	۷۵۹۸۸	۱۰/۹۷	-۰/۱۳۱	۰/۰۱۵	-۰/۱۴۶
۴۶۶-۵۰۴	۲۵۵۷	۲۰/۶۷	۶۱۰۹۹	۸/۸۲	۰/۸۵۲	-۰/۱۳۹	۰/۹۹۱
۵۰۴-۵۴۲	۱۶۲۴	۱۳/۱۳	۴۲۹۴۲	۶/۲	۰/۷۵۰	-۰/۰۷۷	۰/۸۲۷
۵۴۲-۵۸۰	۲۹۲	۲/۳۶	۹۶۸۵	۱/۳۹	۰/۵۲۹	-۰/۰۱۰۲	۰/۵۳۹
کلبری زمین							
مراغ	۵۶۶۴	۴۵/۷۹۲	۴۲۰۵۰۰	۶۰/۷۳۲	-۰/۲۸۲	۰/۳۲۱	-۰/۶۰۳
درختی	۹۷۸	۷/۹۰۷	۴۵۴۳۲	۶/۵۶۲	۰/۱۸۶	-۰/۰۱۴	۰/۲
کشت آبی	۱۲۱۰	۹/۷۸۳	۴۴۲۶۸	۶/۳۹۴	۰/۴۲۵	-۰/۰۳۷	۰/۴۶۲
کشت دیم	۱۳۷۲	۱۱/۰۹۲	۶۴۷۲۵	۹/۳۴۸	۰/۱۷۱	-۰/۰۱۸	۰/۱۸۹
برونزد سنگی	۳۱۴۵	۲۵/۴۲۶	۱۱۷۴۴۶	۱۶/۹۶۳	۰/۴۰۵	-۰/۰۱۷	۰/۵۱۲
فاصله از چاده							
۰-۱۰۰	۱۱۸	۰/۹۵	۱۲۱۸۸	۱/۷۹	-۰/۶۱۶	۰/۰۰۸	-۰/۶۲۴
۱۰۰-۲۰۰	۱۲۷	۱/۰۲۷	۱۲۱۱۲	۱/۷۴۹	-۰/۵۳۲	۰/۰۰۶	-۰/۵۳۸
۲۰۰-۳۰۰	۱۷۹	۱/۴۴۷	۱۲۱۲۷	۱/۷۵۲	-۰/۱۹۱	۰/۰۰۳	-۰/۱۹۴
۳۰۰-۴۰۰	۱۳۲	۱/۰۶۷	۱۲۰۵۶	۱/۷۴۱	-۰/۴۸۹	۰/۰۰۶	-۰/۴۹۵
۴۰۰-۵۰۰	۱۸۱	۱/۴۶۳	۱۲۱۳۹	۱/۷۵۳	-۰/۱۸۱	۰/۰۰۳	-۰/۱۸۴
>۵۰۰	۱۱۶۲۷	۹۴/۱۸۷	۶۳۱۷۴۹	۹۱/۲۴۴	۰/۰۳۱	-۰/۳۸۸	۰/۴۱۹
فاصله از روستا							
۰-۵۰۰	۱۲۳۳	۹/۹۶۸	۳۵۰۰۷	۵/۰۵۶	۰/۶۷۸	-۰/۰۵۳	۰/۷۳۱
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۲۰۹	۹/۷۷	۵۹۱۴۲	۸/۵۴۲	۰/۱۳۴	-۰/۰۱۴	۰/۱۴۸
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۴۶۱	۱۱/۸۱۲	۷۶۶۹۳	۱۱/۰۷۷	۰/۰۶۴	۰/۰۰۷	۰/۷۱
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۰۱۷	۸/۳۲۲	۸۸۴۰۷	۱۲/۷۶۸	-۰/۴۴	۰/۰۵۰	-۰/۴۹
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۹۲۳	۷/۴۶۳	۱۰۱۵۳۳	۱۴/۶۶۴	-۰/۶۷۵	۰/۸۱	-۰/۷۵۶
>۲۵۰۰	۶۵۲۶	۵۲/۷۶۱	۳۲۱۵۹۰	۴۷/۸۹۲	۰/۰۹۷	-۰/۰۹۸	۰/۱۹۵
فاصله از آبراهه							
۰-۱۰۰	۱۰۸۹	۸/۸۰۴	۱۱۰۸۲۰	۱۶/۰۰۶	-۰/۵۹۷	۰/۰۸۳	-۰/۶۸
۱۰۰-۲۰۰	۱۸۰۱	۱۴/۵۶۱	۱۰۵۶۷۲	۱۵/۳۶۲	-۰/۰۴۷	۰/۰۰۸	-۰/۰۵۵
۲۰۰-۳۰۰	۲۷۵۳	۲۲/۲۵۷	۱۰۴۴۵۶	۱۵/۰۸۷	۰/۳۸۸	-۰/۰۸۸	۰/۴۷۶
۳۰۰-۴۰۰	۱۹۵۶	۱۵/۸۱۴	۱۰۵۵۷۹	۱۵/۲۴۸	۰/۰۳۶	-۰/۰۰۶	۰/۰۴۲
۴۰۰-۵۰۰	۱۱۸۹	۹/۶۱۳	۱۰۳۲۱۶	۱۴/۹۰۷	-۰/۴۳۸	۰/۰۶	-۰/۴۹۸
>۵۰۰	۳۵۸۱	۲۸/۹۵۱	۱۶۲۶۲۸	۲۳/۴۸۸	۰/۲۰۹	-۰/۰۷۵	۰/۲۸۴

گذشته از عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر در دامنه شمالی توده کوهستانی سهند، که از ترکیب نقشه‌های وزنی ($\sum W_f$) تهیه و ترسیم شده است نشان می‌دهد که ۴۱/۶۸ درصد کل منطقه مورد مطالعه در معرض خطر متوسط تا بسیار زیاد قرار دارد (شکل ۳). بطوری‌که خطر متوسط در حدود ۲۸ درصد، خطر زیاد ۱۳ درصد و خطر خیلی زیاد ۰/۲۴ درصد منطقه را در بر گرفته است (جدول ۲). نواحی با خطر متوسط تا خیلی زیاد شامل مناطق کوهستانی و دامنه‌های مشرف به دره‌های اصلی سعیدآبادچای و لیقوان چای می‌باشند.

جدول (۲) مساحت و درصد طبقات خطر پهنه‌بندی زمین‌لغزش در شمال توده سهند

شاخص % (Li)	تراکم	تعداد پیکسل‌های کلاس‌های خطر	تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش در هر کلاس خطر	درصد مساحت	مقادیر	طبقات خطر
۰/۳۸	۰/۰۰۱	۱۹۱۵۷۵	۲۴۳	۲۷/۶۷	<-۲۲	خیلی کم
۶/۹۷	۰/۰۱۸	۲۱۲۲۴۰	۳۸۹۷	۳۰/۶۴	-۲۲ - ۸/۵	کم
۹/۳۰۲	۰/۰۲۴	۱۹۵۴۴۵	۴۶۶۰	۲۸/۲۳	-۸/۵ - ۵/۱	متوسط
۱۳/۹۵	۰/۰۳۶	۹۱۴۳۶	۳۲۶۸	۱۳/۲۱	۵/۱ - ۱۸/۵	زیاد
۶۹/۳۸	۰/۱۷۹	۱۶۷۵	۳۰۱	۰/۲۴	>۳۲	خیلی زیاد

سیر صعودی شاخص Li در جدول (۲) بطرف طبقات با خطر خیلی زیاد، صحت و دقت نقشه پهنه‌بندی را تأیید می‌کند. زیرا نواحی متأثر شده از زمین‌لغزش را در طبقات با خطر متوسط تا خیلی زیاد نشان می‌دهد. بطوری‌که پهنه با خطر خیلی زیاد، ۶۹ درصد از وقوع زمین‌لغزش‌ها متأثر شده است. جدول (۳) نیز تأیید دیگری بر دقت نقشه پهنه‌بندی خطر با استفاده از پراکنش زمین‌لغزش‌های قدیمی است. زمین‌لغزش‌های قدیمی دامنه شمالی کوهستان سهند در نواحی کوهستانی و در محدوده خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارند. در حدود ۸۸ درصد زمین‌لغزش‌های قدیمی در پهنه خطر خیلی زیاد هستند.

جدول (۳) ارزیابی شاخص درصد (Li) با استفاده از زمین‌لغزش‌های قدیمی در شمال

توده سه‌پند

ردیف	طبقه خطر	مساحت زمین‌لغزش‌های قدیمی	شاخص (Li) %
۱	خیلی کم	۰	۰
۲	کم	۰	۰
۳	متوسط	۶۸۱	۵/۹۴
۴	زیاد	۳۲۵	۵/۹۴
۵	خیلی زیاد	۸۷	۸۸/۱۲
۶	جمع کل	۱۰۹۳	۱۰۰

بدلیل ویژگی کوهستانی منطقه، اغلب روستاهای دامنه شمالی توده سه‌پند بر روی دامنه‌های ارتفاعات مشرف به دره‌های اصلی ليقوان‌چای و سعیدآبادچای استقرار دارند (شکل ۴). با فاصله گرفتن از کوهستان، مقر روستاها به دره‌ها و دشت سیلابی رودهای اصلی منطقه انتقال یافته است. به علت این مکان‌گزینی، ۲۰ درصد آبادی‌های دامنه شمالی سه‌پند از نظر وقوع زمین‌لغزش در پهنه‌های با خطر کم، ۶۰ درصد در محدوده خطر متوسط و بقیه روستاها در ناحیه با خطر زیاد قرار دارند (جدول ۴).

از کل جمعیت ۲۳۸۳۲ نفری روستا که براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن (۱۳۸۵) بدست آمده، ۷۳/۵ درصد جمعیت این منطقه در نواحی با خطر متوسط زمین‌لغزش، حدود ۱۰ درصد در مناطق با خطر زیاد زمین‌لغزش و ۱۶/۵ درصد در نواحی کم خطر زندگی می‌کنند. برای مثال روستای سعیدآباد بدلیل ویژگی‌های توپوگرافی از مناطق کم خطر از نظر وقوع خطر زمین‌لغزش است. هم‌اکنون به علت دوری از این خطرات، ساخت و ساز مسکن جدید روستایی به تبعیت از خانه‌های دوم گردشگری به سمت دشت سیلابی رودهای سعیدآبادچای و ليقوان‌چای کشیده می‌شود. قابل ذکر است که احداث خانه‌های دوم در نواحی ییلاقی پایکوه‌های سه‌پند امروز بسیار پر رونق شده است.

جدول (۴) درصد روستاهای در معرض خطر زمین لغزش در شمال کوهستان سهند

پهنه‌های خطر زمین- لغزش	درصد مساحت	تعداد روستاهای در خطر	درصد روستاهای در خطر	جمعیت در خطر (نفر)	درصد جمعیت در خطر
خیلی کم	۲۷/۶۷	۰	۰	۰	۰
کم	۳۰/۶۴	۲	۲۰	۳۹۵۳	۱۶/۵۸۷
متوسط	۲۸/۲۳	۶	۶۰	۱۷۵۳۱	۷۳/۵۶
زیاد	۱۳/۲۱	۲	۲۰	۲۳۴۸	۹/۸۵
خیلی زیاد	۰/۲۴	۰	۰	۰	۰
جمع کل	۱۰۰	۱۰	۱۰۰	۲۳۸۳۲	۱۰۰

علاوه بر سکونتگاه‌های انسانی، مزارع و مراتع دامنه‌های شمالی توده سهند بوسیله انواع زمین لغزش‌ها مانند لغزش‌های انتقالی و چرخشی، سنگ لغزش و غیره تهدید می‌شوند (شکل ۳). از جمله مزارع، مراتع و چراگاه‌های غنی روستای سفیده‌خوان شاهد وقوع انواع زمین لغزش‌های بزرگ و کوچک می‌باشند. در اثر وقوع لغزش‌های مرکب، ناشی از نفوذ آب‌دوبان یخبرف‌ها در مواد نهشته‌ای و دامنه‌ای امتداد هزارچای، مراتع و چمنزارهای غنی اطراف روستای ثمرخان در معرض تخریب قرار دارند (شکل ۴).



شکل ۳- نمایی از مسکن روستای بیرق مشرف به دره ليقوان چای به تخته سنگ‌های بزرگ مستقر در روی دامنه توجه کنید.



شکل ۴- مراتع و مزارع در معرض تخریب روستای سفیده خوان

همچنین در دامنه بعضی ارتفاعات، مانند سهرین داغ (شکل ۵)، در اثر نفوذ آب‌های سطحی (آب‌ویان - بارش) به لایه‌های زیرین، از درز و شکاف سنگ‌های آذرین ارتفاعات بالا و رسیدن مواد زیرین با ماتریس مناسب به حد پلاستیسیته، فشار وارده از لایه‌های فوقانی در اثر (آمدو شد پی در پی احشام، لگدکوب و فشرده‌تر کردن خاک‌ها در زیر پای آنها) و نیروی ثقل، توده‌ای از مواد دامنه‌ای، به پایین شیب حرکت می‌کنند. این پدیده به صورت بطئی انجام می‌شود و اشکال پله ماندی را روی دامنه‌ها به وجود می‌آورد. قطع این دامنه‌ها برای احداث جاده و راه‌های ارتباطی، لغزش‌های بزرگی را در منطقه ایجاد کرده‌است (شکل ۴). ادامه این روند در آینده بی‌گمان، تخریب خاک‌های حاصلخیز و از بین رفتن تدریجی مراتع غنی را در پی خواهد داشت.



شکل ۵- وقوع انواع زمین لغزش‌ها در روستای سفیده خوان (سمت راست) و ثمرخزان (سمت چپ)

نتیجه گیری

براساس نقشه پهنه بندی خطر، در حدود ۴۱/۶۸ درصد مساحت منطقه در محدوده خطر متوسط تا بسیار زیاد قرار دارد. از آنجایی که، تمامی روستاهای منطقه بر روی دامنه‌های شیبدار و مشرف به دره‌های ليقوان چای و سعیدآباد چای استقرار یافته‌اند، از شرایط مناسبی برخوردار نیستند. تراکم زمین‌لغزش‌ها با نزدیکی به نواحی روستایی افزایش می‌یابد و در نیم کیلومتری آنها به حداکثر خود می‌رسد. از اینرو، مناطق روستایی حوضه‌های ليقوان چای و سعیدآباد چای همواره در معرض خطرات ناشی از ریزش‌ها، لغزش‌ها و جریان‌های واریزه‌ای قرار دارند. برای مثال، تخریب مکانیکی برونزدهای سنگی ارتفاعات به صورت ماکروژلیو، سقوط آنها به پایکوه تحت تأثیر نیروی ثقل، موجب استقرار بلوک‌های سنگی بر روی دامنه‌ها و بر فراز مسکن روستایی ایرانق و بیرق شده است. همچنین ریزش‌های واریزه‌ای، لغزش توده‌های سنگی و غیره از پدیده‌های غالب در روستاهای متنق می‌باشد که مسکن روستایی را مورد تهدید قرار می‌دهد، به طوری که برخی از اهالی به علت خطرات ناشی از وقوع لغزش‌های سنگی و جریان‌های واریزه‌ای منازل خود را ترک کرده‌اند. وقوع انواع لغزش‌ها، به ویژه لغزش‌های چرخشی و انتقالی، نیز از مواردی است که مراتع، اراضی زراعی و راه‌های ارتباطی تعدادی از روستاها از جمله سفیده خوان و ثمرخان را تخریب نموده و خسارت‌های مالی زیادی برای ساکنین به همراه دارد. وقوع این پدیده‌ها و آسیب پذیری بسیار بالای مسکن روستایی در مقابل آنها، سبب شده است که اغلب مناطق مسکونی منطقه مطالعاتی، در پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در محدوده خطر متوسط - زیاد قرار گیرند. البته اثرات دخالت شتابزده انسان مانند تغییر کاربری اراضی، ساخت خانه‌های دوم گردشگری، احداث جاده در دشت سیلابی رودها و غیره که در حال حاضر در محیط اتفاق می‌افتد، در سال‌های آینده بر مساحت مناطق پرخطر خواهد افزود. ارائه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها، محدودیت‌ها و تنگناهای موجود بر سر راه برنامه‌های عمرانی و توسعه، را در نواحی مختلف منطقه آشکار می‌سازد. بنابراین، برای افزایش ضریب اطمینان پروژه‌های عمرانی و به منظور کاهش آثار و پیامدهای زاینبار وقوع پدیده‌های طبیعی، کسب اطلاعات و آگاهی از دینامیک محیط طبیعی براساس نقشه‌های مذکور امکان پذیر می‌گردد.

منابع

۱. اردلان، علی و همکاران، ۱۳۸۵. مدیریت خطر جامع مردم - محور بلایا در مناطق روستایی، مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت بحران در حوادث غیرمترقبه، ۲۴-۲۵ بهمن ماه. تهران. ایران.
۲. باقریان، رحیم، گودرزی، محمد، و غیومیان، جعفر، ۱۳۸۴. بررسی خسارات اقتصادی و اجتماعی زمین‌لغزش (مطالعه موردیک امامزاده علی و باریکان طالقان)، نشریه علمی پژوهشی آب و آبخیز، شماره ۲.
۳. جباری، ایرج، ۱۳۸۴. تحلیلی بر محدودیت‌های پهنه‌بندی مناطق حساس به حرکات توده‌ای (غرب و جنوب غرب شهرستان اورمیه). جغرافیا و توسعه. شماره ۶. صص ۹۲-۷۱.
۴. رضایی مقدم، محمدحسین، ۱۳۷۰. تحقیق در تحول ژئومورفولوژی دامنه شمالی توده آتشفشانی سهند، دره سعیدآبادچای، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
۵. زنگنه اسدی، محمدعلی، ۱۳۶۹. پژوهش‌های ژئومورفولوژی در دامنه شمالی سهند حوضه ليقوان چای، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
۶. شریفی کیا، محمد، ۱۳۸۶. بررسی خطر زمین‌لغزش و تحلیل ریسک‌پذیری در بخشی از البرز مرکزی، مجموعه مقالات دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، تهران. ایران.
۷. فیض‌نیا، سادات، احمدی، حسن و محمد حسن‌زاده، ۱۳۸۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز شلمانرود در استان گیلان، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۴، شماره ۴، صص ۲۱۹-۲۰۷.
۸. مرکز ملی آمار ایران، ۱۳۸۵. سرشماری عمومی نفوس مسکن، جمعیت آبادی‌ها.
۹. معماریان، حسین، ۱۳۸۱. زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۲۶۸، چاپ سوم، ۹۵۳ ص.
10. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. and Kanno, T. 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based Susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*. 81:432-445.
11. Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenback, P., 1999. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazard* 20, 117-135.

12. Carrara,A., Crosta, G., Frattini,P., 2003. Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 1125-1142.
13. Dahal,R.K., Hasegawa,Sh., Nonoura.A., Yamanka,M., Dhakal,S., Paudyal., P. 2008. Predictive modeling of rainfall- induced landslide hazard in the lesser Himalaya of Nepal based on weights of evidence, *Geomorphology* 102, 496- 510.
14. Goudie,A.S., 2004. *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge Ltd.
15. Gokccoglu,C. Sonmez,H., Nefsioglu., H.A., Duman,T.Y., Can,T., 2005. The March 17, 2005 Kuzulu Landslide (Sivas,Turkey) and landslide susceptibility map of its close vicnty. *Engineering Geology* 81,65-83.
16. Guinau, M.Pallás,R. Vilaplana,J ., 2005. A feasible methodology countries : A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch. *Engineering Geology*. 80:316-327.
17. Lan, H.X., Zhou.C.H., Wong.L.J., Zhang.H.Y., Li.R.H., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction Using GIS in the Xiaojing Watersed, Chaina. *Engineering Geology*. 76,109-128.
18. Moreiras, S., 2005. Landslide Susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley , Argentina. *Geomorphology* 66, 345-357.
19. Nefeslioglu,H., Duman,T. Durmaz,S., 2008. Landslide Susceptibility mapping for apart of tectonic Kelkit Valley. *Geomorphology* 94, 401-148.
20. Suzen,M.L. and Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information system: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey.*Engineering Geology*,.Vol: 71, 303-321.
21. Thiery,Y., Malet,J.P., Sterlacchn,S., Puissant,A., Maquaire,O. 2007. Landslide Susceptibility assessment by bivariate methods at large scale. *Geomorphology* 92, 38-59.
22. Yin, k.L., Yan.T.z .,1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rock. In: Bonnard, C.(Ed.), *roc.5th.Int.sym. on landslides, lausanne*. Balkema, Rotterdam, p:1269-1272.