

ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین لغزش در دامنه‌های کلان‌شهر تهران

امیر صفاری* – استادیار دانشگاه امام حسین(ع)

ابراهیم مقیمی – دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۲/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۱۱/۲۶

چکیده

موضوعات مربوط به مطالعات ژئومورفولوژیکی از منظر ارزیابی در کلان‌شهر تهران که طی نیم قرن گذشته شرح و بسط یافته، متعدد است. تحلیل آسیب‌پذیری زمین لغزش‌ها در تعامل با توسعه شهری در دامنه‌های کوهستانی، بخشی از این موضوعات به شمار می‌آید. یکی از راهکارهای مهم برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع زمین لغزش (به جز پایدارسازی مناطق ناپایدار) دوری جستن از این مناطق است. در مقاله حاضر به منظور تعیین پهنه‌های مخاطره‌آمیز، نقشه‌پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی شهر با استفاده از مدل شاخص زمین لغزش^۱ (LIM) تهیه شد. به کمک بازدیدهای میدانی و استفاده از تجربه متخصنان، از ۸ عامل سنگشناسی، ارتفاع، شیب دامنه‌ها، جهت دامنه‌ها، میانگین بارش‌های سالانه، حداقل بارش ۲۴ ساعته (شدید)، فاصله از گسل‌ها، و فاصله از شبکه زهکشی، به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه استفاده شد. با انطباق نقشه نهایی به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حاصل از مدل فوق و نقشه مناطق شهری در حوضه‌های کوهستانی، مناطق شهرسازی شده به پهنه‌های با خطر کم و بسیار کم مجزا شد و این محدوده با حریم فعلی کلان‌شهر تهران مقایسه گردید. روش تحقیق بر پایه روش تحلیلی استوار است. ابزار اصلی پژوهش حاضر، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) است. نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که برخی از محدوده‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران مستعد حرکات لغزشی با خطر متوسط به بالا هستند. در زمان حاضر حدود ۸۷۵ هکتار (معادل ۱/۳ درصد) از مناطق مسکونی محدوده‌های کوهستانی شهر در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا توسعه یافته‌اند، که درنتیجه آن نیز خساراتی به برخی از واحدهای مسکونی وارد شده است. همچنین مقایسه خط حریم فعلی شهر تهران (بهویژه در قسمت‌های میانی آن) با مرز پهنه‌های کم خطر و پر خطر (خط متوسط به بالا) نشان داد که این دو خط انطباق خوبی با یکدیگر ندارند.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی، توسعه شهری، آسیب‌پذیری، زمین لغزش، کلان‌شهر، شهر تهران، مدل شاخص زمین لغزش.

* E-mail: amirsafaris@yahoo.com

نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۸۷۰۷۹۲

1. Landslide Index Method (LIM)
2. Geographic Information System

مقدمه

مطالعات وسیعی درخصوص موضوعات مرتبط با زمین‌لغزش‌ها در محیط‌های مختلف، از جمله مناطق شهری ساخته شده در محدوده‌های کوهستانی صورت گرفته است. این تحقیقات براساس تحلیل‌های آماری داده‌های لغزشی، مدل‌های ریاضی رایانه‌ای، و بهمنظور تعیین مناطق آسیب‌پذیر انجام پذیرفته است. حرکات لغزشی با توجه به ماهیت و تنوع شان و بدلیل ایجاد مخاطره و آثار مصیبت‌باری که برای جان و مال انسان‌ها دارند، همواره مورد توجه و مطالعه دانشمندان رشته‌های مختلف علوم زمین – از جمله زمین‌شناسی مهندسی، ژئومورفولوژی، آبخیزداری و سایر علوم مهندسی مربوط به زمین مانند ژئوتکنیک – بوده‌اند. با توجه به اینکه وقوع این پدیده، سازوکار پیچیده‌ای دارد و عوامل و متغیرهای متعددی می‌توانند در ایجاد آن دخیل باشند، مطالعات وسیعی در زمینه شناخت عوامل مؤثر، طبقه‌بندی، پنهان‌بندی و مدل‌سازی این فرآیند صورت گرفته است. از جمله آثار و نوشه‌های مربوط به این دانش می‌توان به آثاری همچون زمین‌لغزه‌ها و کنترل آنها اثر زاروبا و منکل^۱ (1969)، منطقه‌بندی خطر زمین‌لغزه تأثیف وارنز^۲ (1984)، پایداری دامنه و کاربری زمین تأثیف سیدل و همکاران^۳ (1985)، و زمین‌لغزه علل، پیامدها تأثیف کروزیه^۴، اشاره کرد.

افراد دیگری نیز در قالب مقالات علمی، کتاب‌ها و پایان‌نامه‌های مختلف، به بررسی فرآیندهای دامنه‌ای می‌پرداخته‌اند، که از آن جمله می‌توان به افرادی مانند آنبلاغان^۵ (1992)، ایواهاشی و همکاران^۶ (2000)، جرارد و گارانر^۷ (2001)، نلسون و بوث^۸ (2002)، کروستا و همکاران^۹ (2003)، گابت و همکاران^{۱۰} (2004)، داگلاس و همکاران^{۱۱} (2005)، بونگا و همکاران^{۱۲} (2006)، تری و همکاران^{۱۳} (2007)، گولا و همکاران^{۱۴} (2007)، مولفینو و همکاران^{۱۵} (2008)، یلسین^{۱۶} (2008)، دایکس و اربورتون^{۱۷} (2008) و در ایران: شمیرانی (۱۳۵۷)، عاصی تهرانی (۱۳۷۲)، محمودی (۱۳۷۳)، حق‌شناس (۱۳۷۴)، مهدوی فر (۱۳۷۵)، شریعت‌جعفری (۱۳۷۶)، کهی میانجی (۱۳۷۷)، احمدی (۱۳۷۸)، حسن‌زاده نفوتی (۱۳۷۹)، کرم (۱۳۸۰)، صداقت و معماریان (۱۳۸۱)، شایان (۱۳۸۳)، شادر (۱۳۸۴) و جعفری (۱۳۸۶) اشاره کرد.

1. Zaruba & Mencl

2. Varnes

3. Sidle et al.

4. Corzier

5. Anbalagan

6. Iwahashi et al.

7. Gerrard & Garaner

8. Nelson & Booth

9. Crosta et al.

10. Gabet et al.

11. Douglass et al.

12. Bovenga et al.

13. Thiery et al.

14. Gulla et al.

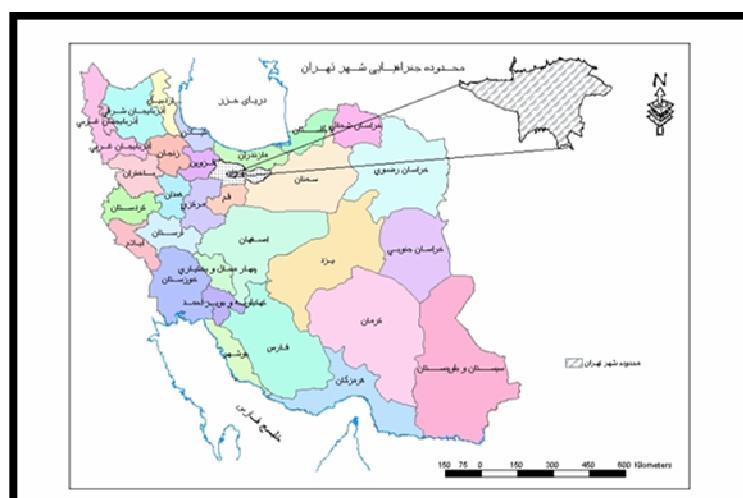
15. Molfino et al.

16. Yalcin

17. Dykes & Warburton

تری و همکاران (2007)، در تحقیقات‌شان روش جدیدی را برای تعیین متغیرهای مؤثر بر آسیب‌پذیری زمین‌لغزش‌ها ارائه داده‌اند. آنها معتقدند که آسیب‌پذیری زمین‌لغزش‌ها را می‌توان به دو روش مستقیم و غیرمستقیم ارزیابی کرد. در روش مستقیم، ارتباط بین زمین‌لغزش‌های بی‌موقع پیوسته و مؤلفه‌های ایجادکننده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، و روش‌های غیرمستقیم متنکی به محاسبات آماری است (Thiery et al., 2007, 42). گولا و همکارانش (2007) نیز به کمک برخی از عوامل ایجادکننده (شیب و ارتفاع، سنجش‌ناسی، خاک، کاربری زمین و میزان بارش روزانه و سالانه)، آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش‌های سطحی را در منطقه مورد مطالعه تعیین کردند. به عقیده این پژوهشگران، به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری کاربری‌های مختلف در مقابل حرکات لغزشی و انجام اقدامات پیشگیرانه، بایستی به ارزیابی آسیب‌پذیری حرکات لغزشی با کمک روش‌های آماری مختلف (منطق فازی و یا رگرسیون لاجستیک) و همچنین روش‌های ژئوتکنیکی اقدام کرد (Gulla et al., 2007).

توپوگرافی عمده‌ای کوهستانی ایران، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، و وضعیت متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط طبیعی را برای بروز طیف وسیعی از زمین‌لغزه‌ها ایجاد می‌کند. در این میان کوهپایه‌های شهر تهران، به‌دلیل مجاورت با سامانه‌های گسلی فعال و شبی نسبتاً زیاد، شرایط مناسبی برای رویداد زمین‌لغزش دارد. به‌سبب رشد جمعیت در دهه‌های اخیر، ساخت‌وساز در مناطق کوهپایه‌ای و تپه‌ماهوری بخش‌های شمالی و شرقی شهر با سرعت زیادی صورت گرفته است. در این قسمت‌ها، به‌علت وجود شبیه‌های تن، تغییرات شدید توپوگرافی، فعالیت‌های زمین‌ساختی، بارندگی و آب‌های سطحی فراوان، آب‌وهوا نسبتاً سرد و یخ‌بندان‌های زمستانی، خطر وقوع انواع مختلف زمین‌لغزش بسیار زیاد است. وقوع چند زمین‌لغزش در مناطق شمالی و شمال‌شرقی تهران و ایجاد خسارت‌های ناشی از این پدیده، توجه بیش از پیش به شناسایی و تعیین مناطق آسیب‌پذیر و همچنین پیش‌بینی تمهیدات لازم را برای جلوگیری از وقوع این حرکات الزامی می‌نماید. کلان‌شهر تهران در موقعیت جغرافیایی "۳۶°۴۱'۰۰" تا "۳۶°۵۱'۰۰" طول شرقی و "۳۴°۴۹'۰۰" تا "۳۵°۴۹'۰۰" عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر تهران در کشور ایران

بزرگ‌ترین سهم مطالعات ژئومورفولوژی در مسائل شهری در قلمروهای کوهستانی، به مطالعه پایداری و یا ناپایداری دامنه‌ها، تشخیص چگونگی حرکات زمین‌لغزه‌ها و علل حرکات آنها مربوط است. بنابراین متخصصان ژئومورفولوژی شهری می‌باشند به مطالعه فرآیندهای گذشته و حال شهرهای دامنه‌ای پردازند و بر اساس درکی که از آنها دارند، پیش‌بینی کنند (مقیمی، ۱۳۸۵، ۲۴۰). توسعه کلان‌شهر تهران طی یک قرن گذشته، تابع سیاست و طرح جامعه همه‌جانبه‌ای نبوده است. استفاده غیرمنطقی انسان از سرزمین از دو جنبه در خور بحث و بررسی است: یک جنبه به اجرای مدیریت غلط در مورد اداره سرزمین و یا نحوه بهره‌برداری از آن مربوط می‌شود و دیگری درخصوص نادرستی نوع استفاده از سرزمین مصدق پیدا می‌کند. در برخی از محیط‌ها، طبیعت با کمترین خسaran مهیای بالاترین توسعه است و در برخی دیگر کمترین توسعه در آن منجر به خرابی محیط زیست می‌شود (مخدوم، ۱۳۸۴، ۱۴).

مطالعه شکل و تحولات فرسایشی دامنه‌ها، محور مطالعات ژئومورفیکی برای مدت‌های طولانی بوده است. دامنه‌ها نه تنها بخش اعظم مناظر طبیعی را شامل می‌شوند، بلکه قسمت کاملی از سامانه زهکشی، آب و رسوبات را برای رودخانه‌ها تأمین می‌کنند (چورلی و همکاران^۱، ۱۳۷۹، ۱۱۲); پس باید در توسعه شهری به آنها توجه شود. از دیدگاه ژئومورفولوژی دامنه‌های مستعد لغزش دارای مناظر متمایز معینی هستند از جمله شیب زیاد، ارتفاع، تمرکز آب خاک (فشار آب منفذی)، و پوشش خاک عمدتاً هوازده، که اگر در معرض رگبارهای شدید قرار داشته باشد، امکان بالقوه زمین‌لغزه در آنها زیادتر است. عوامل تأثیرگذار نظیر فعالیت‌های انسانی و شهرسازی (حفر دامنه‌ها، زهکشی غلط و یا از بین بردن پوشش گیاهی) دارای اهمیت ویژه‌ای است و در سقوط دامنه نقش دارد (کوک و دورکمپ^۲، ۱۳۷۷، ۲۲۵).

بررسی‌های ژئومورفولوژیکی در فعالیت‌های عمرانی به منظور طراحی و اجرای بناهای مقاوم و زیربنایی ضرورت دارد. در دهکده‌های اخیر، گسترش فعالیت‌های عمرانی بدون در نظر گرفتن بررسی‌های ژئومورفولوژیکی، خسارت‌های جبران ناپذیری را به دنبال داشته است. الگوی توسعه شهری در دامنه‌ها باید تابع فرایندهای آن دامنه باشد. فرایندها و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی شهر و دامنه در تعال با یکدیگرند. هنگامی که دامنه پرشیبی به‌شکل شطرنجی قطعه‌بندی می‌شود و یک لایه شهری روی آن ایجاد می‌گردد، می‌تواند به‌مثابه یک لایه سنگی روی دامنه عمل کند. زمین‌های شیبدار نواحی کوهپایه‌ای کلان‌شهر تهران به این شکل ساخته شده‌اند و بنابراین در معرض حرکات دامنه‌ای از نوع زمین‌لغزش قرار دارند.

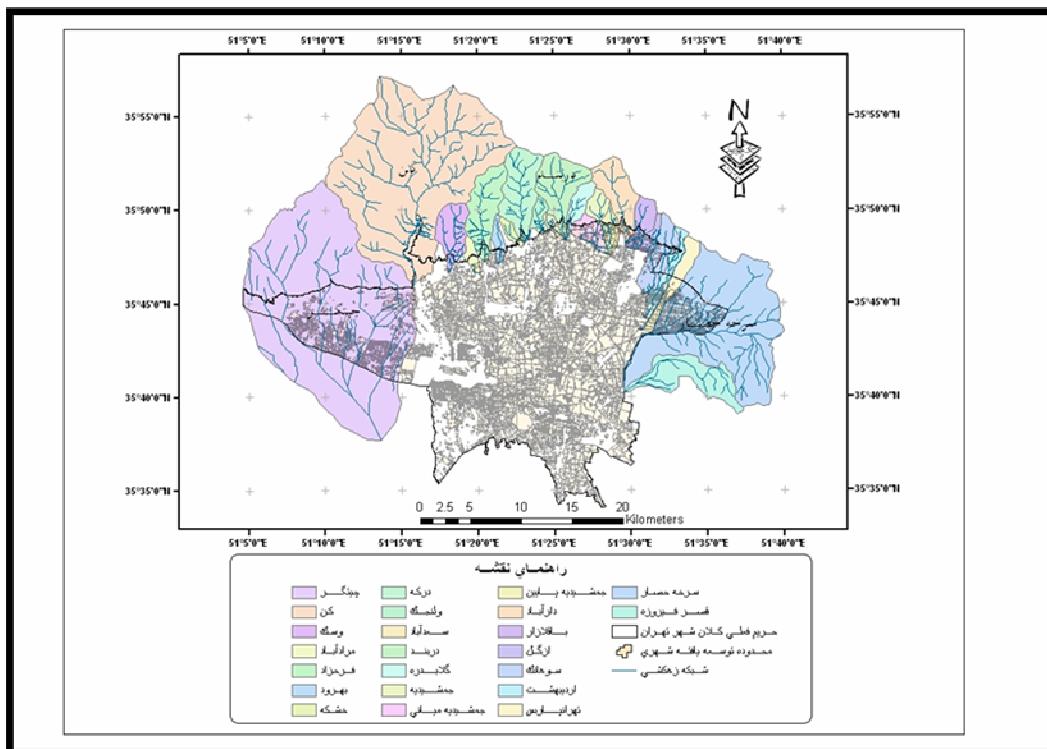
مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، با هدف تحلیل ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از حرکات زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران، پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها با استفاده از مدل شاخص زمین‌لغزش (LIM) انجام شده است. در ابتدا حوضه‌های محدوده‌های کوهستانی و کوهپایه‌ای این کلان‌شهر (شکل ۲) با استفاده از روش تفکیک

1. Chorley et al.

2. Cooke & Dornkamp

و طبقه‌بندی و به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سال ۱۳۸۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تعیین گردید؛ سپس با تفسیر عکس‌های هوایی منطقه و بازدیدهای میدانی، زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه‌های محدوده مورد مطالعه با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی^۱ (GPS) برداشت شد و درنهایت نقشه زمین‌لغزش‌های رخ داده به عنوان نقشه متغیر وابسته تهیه گردید. پس از بررسی در مورد ویژگی‌های طبیعی حوضه‌های مطالعاتی، بازدیدهای میدانی، مطالعه زمین‌لغزش‌های رخ داده در آنها، تهیه پایگاه داده‌های جغرافیایی، و با توجه به اهداف تحقیق و استفاده از تجربه متخصصان سرانجام ۸ عامل و متغیر مستقل شامل عوامل سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب دامنه‌ها، جهت دامنه‌ها، میانگین بارش‌های سالانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته (شدید)، فاصله از گسل‌ها و فاصله از شبکه زهکشی به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه انتخاب و به شکل نقشه‌های عاملی در نرم‌افزار مورد استفاده (Arc GIS) ساخته شدند. اطلاعات پایه‌ای این نقشه‌ها از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه (برگ تهران و برگ شرق تهران)، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و آمار بارش‌های روزانه، ماهانه و سالانه ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه استخراج گردیده است. نقشه‌های عاملی به منظور تحلیل قیاسی و مدیریت داده‌ها در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۲. حوضه‌های زهکشی کوهستانی کلان‌شهر تهران، همراه با شبکه زهکشی و محدوده توسعه یافته شهری
منبع: برگرفته از مقمی و صفاری، ۱۳۸۶، ص ۷

در روش تحلیل آماری «مدل شاخص زمین‌لغزش» (LIM) وزن‌دهی بر اساس میزان تراکم هر واحد یا طبقه لایه عاملی در پهنه‌های لغزش یافته صورت می‌گیرد. این مدل مبتنی بر رابطه زیر است (Van Westen & Terlien, 1996, .85q)

$$wl = \ln \left[\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum NPix(Si)}{\sum NPix(Ni)}} \right]$$

که در آن w_i = وزن نهایی هر واحد یا طبقه از لایه عاملی، $Npix(Si)$ = فراوانی لغزش‌ها در هر واحد یا طبقه از لایه عاملی، $Npix(Ni)$ = فراوانی هر واحد یا طبقه از لایه عاملی، $\Sigma NPix(Si)$ = فراوانی کل لغزش‌ها در حوضه‌های زهکشی و $=\ln$ لگاریتم نپرین است. متغیرهای کیفی با استفاده از این روش کمی می‌شوند. استفاده از لگاریتم نپرین – که نوعی تغییر متغیر محاسبه شود – سبب شده است که جزوی ترین عوامل مؤثر در موقع حرکت‌های لغزشی در پهنه‌بندی پتانسیل خطر تأثیر بگذارد، و به این ترتیب می‌توان انتظار پهنه‌بندی واقعی را داشت.

کلاسه‌بندی نقشه‌های عاملی – از قبیل طبقات ارتفاعی، شیب، بارش، فاصله از گسل‌ها و فاصله از شبکه زهکشی – بر اساس نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در مقابل ارزش هر پیکسل صورت گرفت. روی این نمودار مناطقی که شیب منحنی تغییر پیدا کرده بود، به عنوان مرز یک کلاس با کلاس دیگر در نظر گرفته شد. در مورد نقشه‌های جهت شیب و سنگ‌شناسی نیز با توجه به محتویات هر لایه کلاسه‌بندی صورت گرفت (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۳، ۵).

پس از همپوشانی نقشه‌های عاملی کلاسه‌بندی شده با نقشه زمین‌لغزش‌های رخداده، وزن هر واحد از نقشه‌های عاملی با انجام مراحل زیر و از طریق مدل مذکور تعیین گردید.

۱. تعیین تراکم زمین‌لغزش‌ها در هریک از واحدهای نقشه‌های عاملی $NPix(Si)$:

۲. تعیین تراکم هر واحد یا طبقه از نقشه عامل $NPix(Ni)$:

۳. تعیین فراوانی کل واحدهای لغزش یافته در حوضه‌های زهکشی $\Sigma NPix(Si)$ ؛ و

۴. تعیین فراوانی کل حوضه‌های زهکشی $.\Sigma NPix(Ni)$.

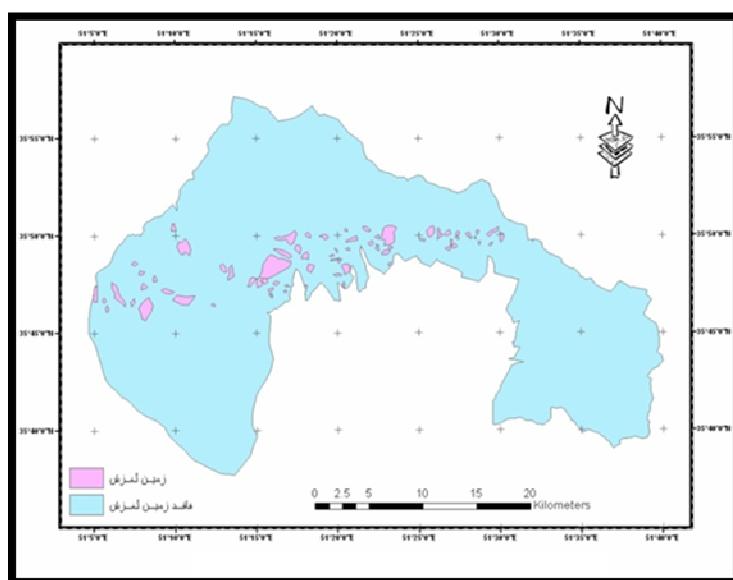
با محاسبه وزن هر واحد از لایه‌های عاملی، نقشه‌های وزنی آنها تهیه شد و درنهایت با جمع جبری این نقشه‌ها، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمد.

در مرحله بعد با انطباق نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با نقشه مناطق شهری در حوضه‌های کوهپایه‌ای و کوهستانی، وضعیت کنونی پهنه‌های شهری در خصوص پهنه‌های پرخطر تا کم خطر مشخص گردید، تا محدودیت ژئومورفولوژیکی توسعه در قلمرو حوضه‌های کوهستانی مورد تحلیل قرار گیرد.

یافته‌های تحقیق

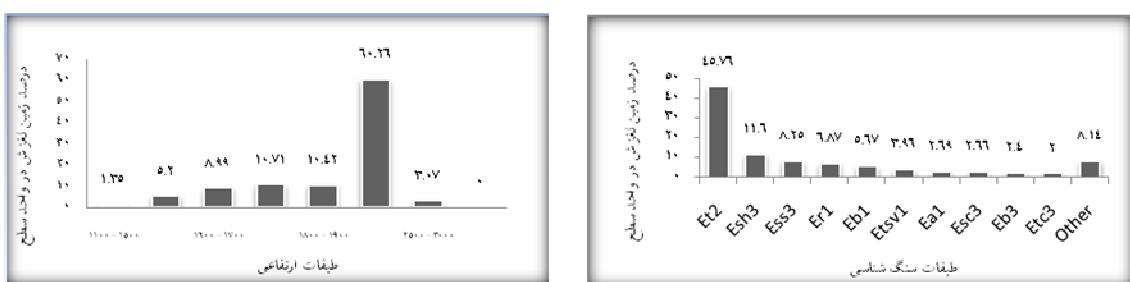
یافته‌های تحقیق براساس پهنه‌بندی

شکل ۳ توزیع زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته را در حوضه‌های زهکشی کوهستانی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، به‌طور کلی تعداد ۷۱ مورد حرکت لغزشی در محدوده مورد مطالعه برداشت گردید که در مجموع دارای حرکات چرخشی، جریانی و یا ترکیبی‌اند.



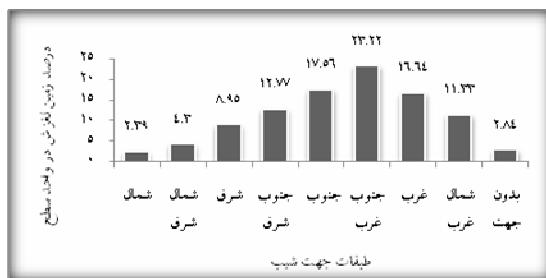
شکل ۳. زمین‌لغزش‌های برداشت‌شده در حوضه‌های کوهستانی

حاصل عمل همپوشانی هریک از متغیرهای مستقل (نقشه‌های عاملی کلاسه‌بندی شده) با متغیر وابسته (نقشه زمین‌لغزش‌های برداشت‌شده) در نرم‌افزار Arc GIS، تهیه هیستوگرام‌های طبقات مختلف عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش است که تعداد و درصد پیکسل‌های لغزش‌یافته در هریک از واحدهای نقشه‌های عاملی را نشان می‌دهد (شکل‌های ۴ تا ۱۱).

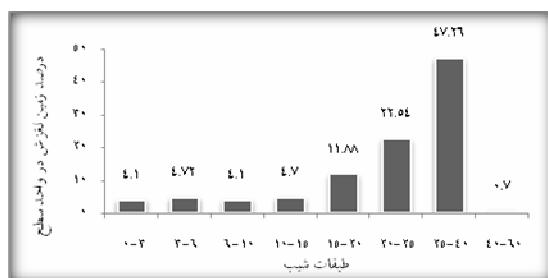


شکل ۵. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات ارتفاعی

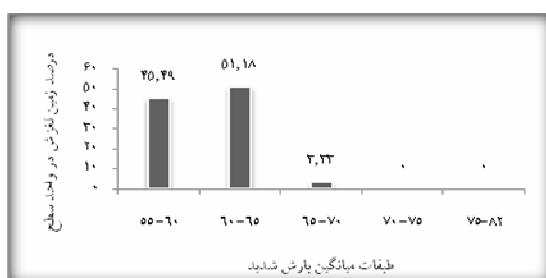
شکل ۴. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات سنگ‌شناسی



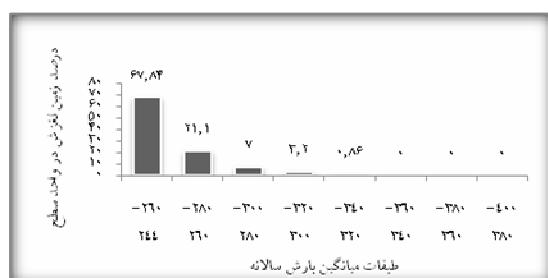
شکل ۷. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات جهت شیب



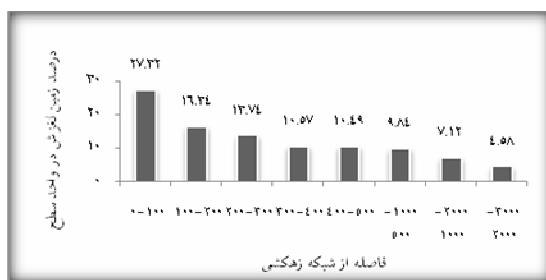
شکل ۶. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات شیب



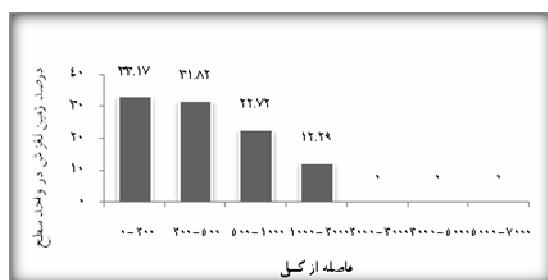
شکل ۹. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات میانگین بارش شدید



شکل ۸. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات میانگین بارش سالانه



شکل ۱۱. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات فاصله از گسل از شبکه زهکشی



شکل ۱۰. هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات فاصله از گسل از شبکه زهکشی

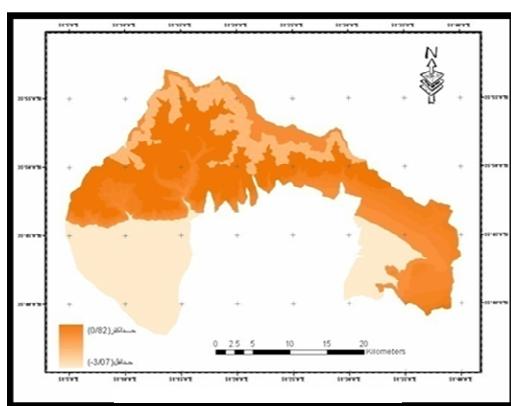
بیشترین درصد زمین‌لغزش‌ها در واحد سنگ‌شناسی Et2 رخ داده است، که انواع مختلف توف‌های سبزرنگ را به‌همراه سنگ‌های توفیت و توف‌آهکی در خود دارد. این واحد در قسمت‌های جنوبی حوضه درکه، قسمت‌های مرکزی حوضه‌های فرخزاد و وسک و بخش‌هایی از حوضه‌های کن و چیتگر (دره‌های سولقان و وردیج) بروزد دارد. بهرغم توسعه شهر تا ارتفاع حداقل ۱۸۰۰ متری و بعضًا بالاتر، بیشتر زمین‌لغزش‌ها (۶۰/۲۶ درصد) در محدوده ارتفاعی ۱۹۰۰ تا ۲۵۰۰ متر رخ داده است. محدوده مطالعه از نظر ارتفاعی دارای تغییرات زیادی است، بهطوری‌که دامنه ارتفاع از حدود ۱۰۰۰ متر در محل خروجی برخی از حوضه‌ها تا ارتفاع حدود ۳۹۰۰ متر در قله کوه توچال متغیر است.

مؤلفه‌های شیب و جهت نیز تأثیر بسیار زیادی در وقوع زمین‌لغزش دارند. نوع شیب از نظر محاسبه، مقرر و یا مستقیم بودن، نقش بسزایی در فراوانی وقوع این پدیده دارد. با افزایش شیب، میزان لغزش‌ها تا حد معینی افزایش می‌یابد. بررسی هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات شیب نشان می‌دهد که در حوضه‌های مورد مطالعه، حدود ۱۷/۶۲ درصد زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های پایین‌تر از ۱۵ درجه و حدود ۸۱/۶۸ درصد در شیب‌های بین ۱۵ تا ۴۰ درجه رخ داده‌اند. نقشهٔ جهت شیب حوضه‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی از طریق نرم‌افزار مورد استفاده تهیه گردید. بیش از ۵ درصد از زمین‌لغزش‌ها در جهت جنوبی شیب دامنه‌ها (جنوب، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق) رخ داده‌اند.

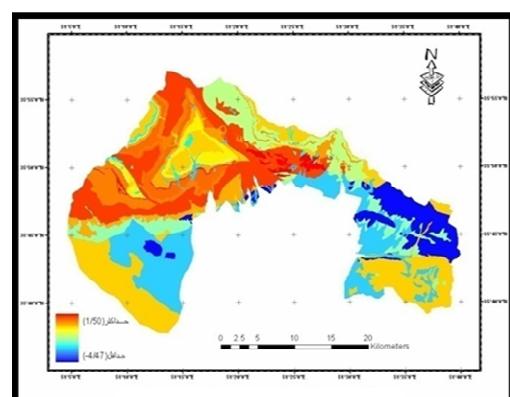
بررسی هیستوگرام‌های مربوط به میانگین بارش‌های سالانه و شدید (۲۴ ساعته) نشان می‌دهد که بیشترین درصد زمین‌لغزش‌ها، در طبقات میانگین بارش سالانه – بین ۲۴۴ تا ۲۸۰ میلی‌متر – و در طبقات بارش‌های شدید – بین ۵۵ تا ۶۵ میلی‌متر – رخ داده است.

گسل‌ها و تراکم آنها در حوضه‌های محدوده مورد مطالعه، شرایط زمین‌ساختی فعال منطقه را نشان می‌دهند و عاملی برای ناپایداری دامنه به‌شمار می‌آیند. بررسی هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات فاصله از گسل نشان می‌دهد که آستانه تأثیر گسل‌ها تا شعاع ۲ کیلومتری است و کلیه زمین‌لغزش‌های موجود در این محدوده به‌وقوع پیوسته است.

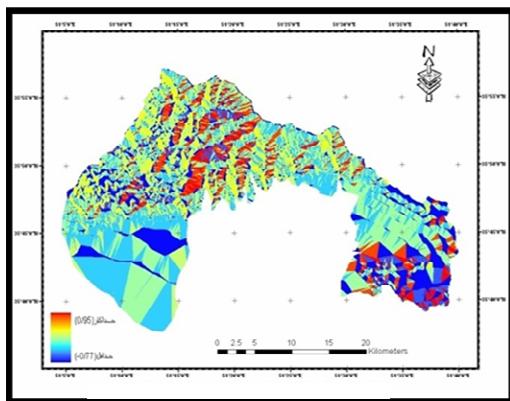
فرسایش و زیرشویی پای شیب‌ها و دامنه‌ها به‌وسیله جریان‌های پرسرعت سیلابی و یا رواناب‌های سطحی و جریان‌های رودخانه‌ای، فرایندی است که می‌تواند عامل پدیده زمین‌لغزش باشد. بررسی هیستوگرام تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات فاصله از شبکهٔ زهکشی نشان می‌دهد که وقوع زمین‌لغزش‌ها با افزایش فاصله از شبکهٔ زهکشی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، حدود ۷۸/۵ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصله کمتر از ۵۰۰ متری شبکهٔ زهکشی رخ داده‌اند. با تعیین میزان تراکم زمین‌لغزش‌ها در هریک از واحدهای نقشه‌های عاملی و با استفاده از مدل شاخص زمین‌لغزش (LIM) وزن مربوط به هر کلاس در عوامل مؤثر به‌دست آمد (شکل‌های ۱۲ تا ۱۹ و جدول‌های ۱ تا ۸).



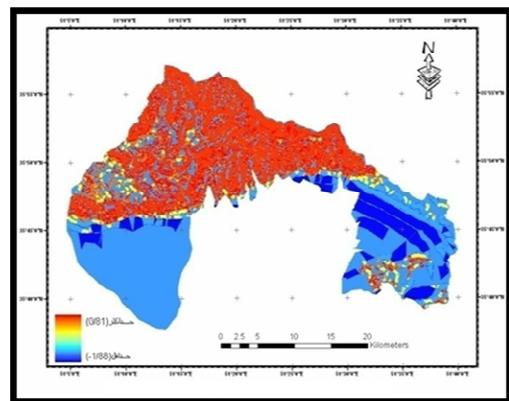
شکل ۱۳. وزن طبقات ارتفاعی در پیوند با حرکت‌های لغزشی



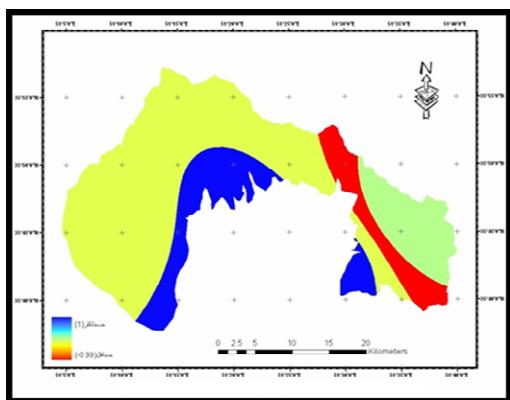
شکل ۱۲. وزن طبقات سنگ‌شناسی در پیوند با حرکت‌های لغزشی



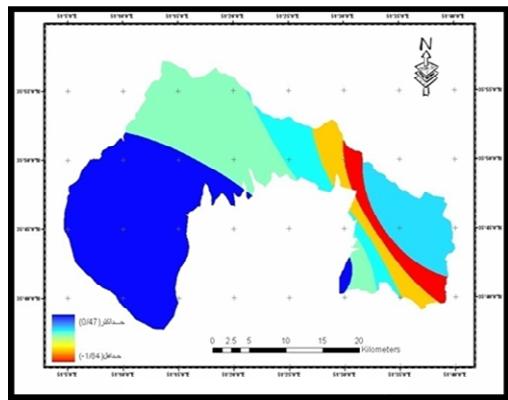
شکل ۱۵. وزن طبقات جهت شیب در پیوند با حرکت‌های لغزشی



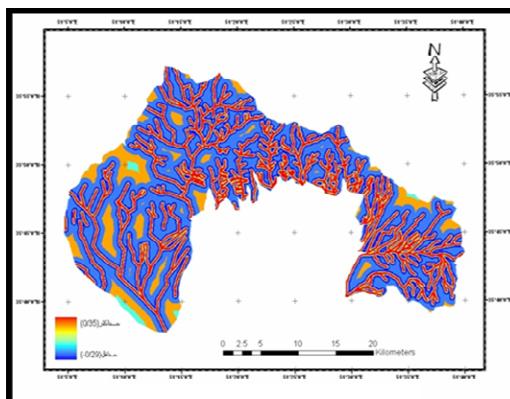
شکل ۱۴. وزن طبقات شیب دامنه‌ها در پیوند با حرکت‌های لغزشی



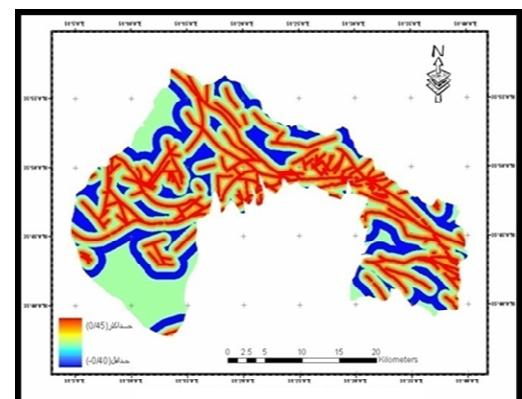
شکل ۱۷. وزن طبقات میانگین بارش شدید در پیوند با حرکت‌های لغزشی



شکل ۱۶. وزن طبقات میانگین بارش سالانه در پیوند با حرکت‌های لغزشی



شکل ۱۹. وزن طبقات فاصله از شبکه زهکشی در پیوند با حرکت‌های لغزشی



شکل ۱۸. وزن طبقات فاصله از گسل در پیوند با حرکت‌های لغزشی

جدول ۱. وزن طبقات سنگ‌شناصی در پیوند با حرکت‌های لغزشی

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ردیف
Etc3	Eb3	Esc3	Ea1	Etsv1	Eb1	Er1	Ess3	Esh3	Et2	نشانه واحد
۱/۴۲	۰/۷	۰/۲۹	۱/۱۸	۰/۳	۱/۵	۱/۱۷	۰/۷	۰/۸۹	۱/۲۳	وزن واحد

جدول ۲. وزن طبقات ارتفاعی در پیوند با حرکت‌های لغزشی

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ردیف
طبقات ارتفاعی (متر)	۳۰۰۰-۳۹۰۰	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۱۹۰۰-۲۵۰۰	۱۸۰۰-۱۹۰۰	۱۷۰۰-۱۸۰۰	۱۶۰۰-۱۷۰۰	۱۵۰۰-۱۶۰۰	۱۱۰۰-۱۵۰۰
وزن واحد	-	-۱/۴۱	۰/۸۲	۰/۴۸	۰/۳۹	۰/۱۸	-۰/۱۳	-۳/۰۷

جدول ۳. وزن طبقات شیب دامنه‌ها در پیوند با حرکت‌های لغزشی

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ردیف
طبقات شیب (درجه)	۴۰-۶۰	۲۵-۴۰	۲۰-۲۵	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۶-۱۰	۳-۶	۰-۳
وزن	-۰/۸۱	-۰/۷	-۰/۸۱	-۰/۵۳	-۰/۲	-۱/۲۹	-۱/۸۸	-۱/۳۵

جدول ۴. وزن طبقات جهت شیب در پیوند با حرکت‌های لغزشی

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ردیف
طبقات جهت شیب	بدون جهت	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال
وزن واحد	-۰/۷۷	-۰/۹۵	-۰/۷۱	-۰/۰۴	-۰/۳۵	-۰/۰۷	-۰/۲۷	-۰/۰۴	-۰/۶۱

جدول ۵. وزن طبقات میانگین بارش سالانه در پیوند با حرکت‌های لغزشی

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ردیف
طبقات میانگین بارش سالانه (میلی متر)	۳۸۰-۴۰۰	۳۶۰-۳۸۰	۳۴۰-۳۶۰	۳۲۰-۳۴۰	۳۰۰-۳۲۰	۲۸۰-۳۰۰	۲۶۰-۲۸۰	۲۴۴-۲۶۰
وزن	-	-	-	-۱/۸۴	-۰/۷۴	-۰/۰۸	-۰/۲۳	-۰/۴۷

جدول ۶. وزن طبقات میانگین بارش شدید در پیوند با حرکت‌های لغزشی

۵	۴	۳	۲	۱	ردیف
طبقات میانگین بارش شدید (میلی متر)	۷۵-۸۲	۷۰-۷۵	۶۵-۷۰	۶۰-۶۵	۵۵-۶۰
وزن واحد	-	-	-۰/۹۹	-۰/۱۸	۱

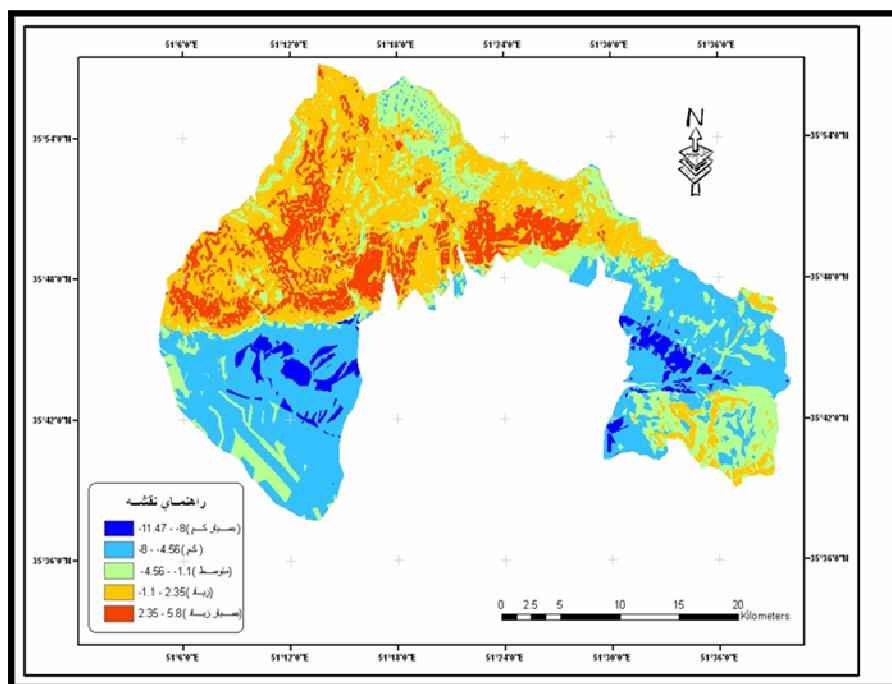
جدول ۷. وزن طبقات فاصله از گسل در پیوند با حرکت‌های لغزشی

ردیف	وزن واحد	طبقات فاصله از گسل (متر)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۵۰۰۰-۷۰۰۰	۳۰۰۰-۵۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰-۵۰۰	-۰-۲۰۰	-۰/۴	-۰/۰۲	-۰/۲۹
•	•	•	-۰/۴	-۰/۰۲	-۰/۲۹	-۰/۴۵	-۰/۴۵	-۰/۲۹	-۰/۰۵

جدول ۸. وزن طبقات فاصله از شبکه زهکشی در پیوند با حرکت‌های لغزشی

ردیف	وزن واحد	طبقات فاصله از شبکه زهکشی(متر)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
-۰-۱۰۰	-۰/۱۰۰	-۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۳۰۰-۴۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۳۰۰۰-۵۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
-۰/۳۵	-۰/۰۸	-۰/۲۷	-۰/۲۹	-۰/۱۷	-۰/۱۹	-۰/۰۵	-۰/۲۲	-۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۵

با الحاق داده‌های ردیف وزن نهایی واحدهای هریک از نقشه‌های عاملی به جدول اطلاعات توصیفی آنها، نقشه‌های وزنی لایه‌های عاملی تهیه گردید و درنهایت با جمع جبری این نقشه‌ها، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده‌های کوهستانی و کوهپایه‌ای کلان‌شهر تهران تهیه شد. این نقشه با توجه به دامنه وزن پیکسل‌ها و بر اساس تعییرات منحنی هیستوگرام آن، به صورت آماری و با استفاده از روش طبقه‌بندی نقاط شکست طبیعی^۱ به ۵ کلاس خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم گردید (شکل ۲۰).



شکل ۲۰. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

1. Natural Breaks Method (jenks)

به منظور آزمون مدل شاخص زمین‌لغزش (LIM) در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها و حصول اطمینان از صحت نتایج، نقشهٔ پهنه‌بندی (شکل ۲۰) با نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود و برداشت شده (شکل ۳) هم‌پوشانی داده شد. نتیجهٔ این هم‌پوشانی در جدول ۹ آورده شده است، که دلالت بر مناسب بودن و دقیق بودن مدل شاخص زمین‌لغزش در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارد.

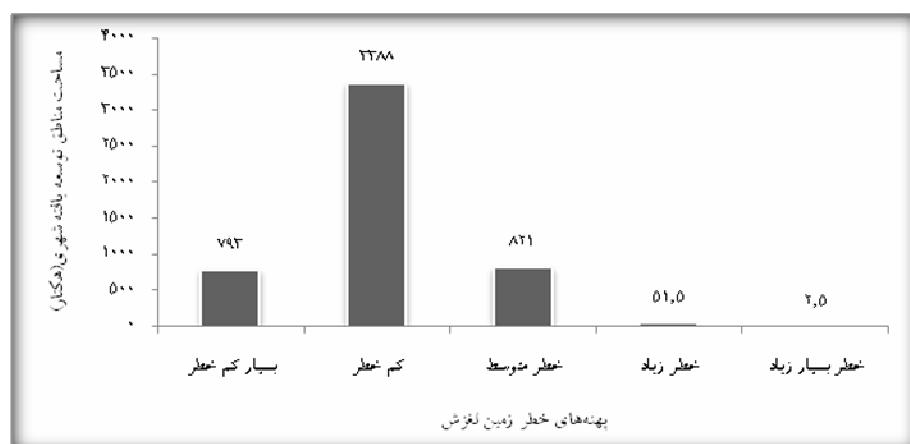
جدول ۹. کارایی (LIM) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس لغزش‌های حوضه‌های کوهستانی

مجموع	پتانسیل بسیار کم	پتانسیل کم	پتانسیل متوسط	پتانسیل زیاد	پتانسیل بسیار زیاد	کلاس پهنه‌بندی
۲۵۸۹۰	۰	۲۷	۷۱۰	۱۰۲۲۰	۱۴۹۳۳	تعداد پیکسل‌ها
۲۳۳۰/۱	۰	۲/۴	۶۳/۹	۹۱۹/۸	۱۳۴۴	مساحت (هکتار)
۱۰۰	۰	۰/۱	۲/۷	۳۹/۵	۵۷/۷	درصد

براساس مدل و پهنه‌بندی مذکور، ۵۷/۷ درصد از زمین‌لغزش‌های مشاهده شده در پهنهٔ با پتانسیل خطر بسیار زیاد، ۳۹/۵ درصد در پهنهٔ با پتانسیل خطر زیاد، ۲/۷ درصد در پهنهٔ با پتانسیل خطر متوسط و ۰/۱ درصد در پهنهٔ با پتانسیل خطر کم قرار گرفته‌اند. هیچ‌یک از زمین‌لغزش‌های برداشت شده در پهنهٔ با پتانسیل خطر خیلی کم به وقوع نپیوسته است.

یافته‌های تحقیق براساس توسعه شهری و آسیب‌پذیری

در مرحلهٔ بعد و به منظور تحلیل بین آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش‌ها، طبقات توسعه‌یافتهٔ شهری و سطوح ارتفاعی، نقشهٔ رسترهای مناطق مسکونی در حوضه‌های مورد مطالعه با نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و همچنین نقشهٔ طبقات ارتفاعی هم‌پوشانی داده شد. شکل ۲۱ وضعیت مناطق توسعه‌یافتهٔ شهری را در پیوند با پهنه‌های مختلف خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد. جدول ۱۰ نیز نتیجهٔ حاصل از این هم‌پوشانی را در سطوح ارتفاعی مختلف و همچنین در پهنه‌های با خطر بسیار کم تا بسیار زیاد نشان می‌دهد.



شکل ۲۱. وضعیت مناطق توسعه‌یافتهٔ شهری در پیوند با پهنه‌های زمین‌لغزش

جدول ۱۰. طبقات توسعه یافته شهری در پیوند با سطوح ارتفاعی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزشی

طبقات ارتفاعی		طبقات ارتفاعی	پهنه‌های خطر زمین‌لغزش										طبقات شهرسازی شده		
مساحت (هکتار)	درصد		بسیار کم		کم		متوسط		زیاد		بسیار زیاد		مساحت (هکتار)	درصد	
			مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد			
۲۴۱۹۱	۲۸/۹	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۳۱۷۲	۳/۸	۱۷۴۰.۲	۲۰/۸	۳۶۱۷	۴/۳	۰	۰	۰	۰	۳۶۵۷	۷۲/۳	
۴۶۹۸	۵/۶	۱۵۰۰-۱۶۰۰	۰	۰	۲۲۸۶	۲/۷	۱۷۵۸	۲/۱	۶۵۴	۰/۸	۰	۰	۴۳۰/۵	۸/۶	
۴۳۹۹	۵/۳	۱۶۰۰-۱۷۰۰	۰	۰	۱۸۳۹	۲/۲	۲۵۶۰	۳/۱	۰	۰	۰	۰	۶۵۱/۵	۱۲/۹	
۷۳۰۴	۸/۷	۱۷۰۰-۱۸۰۰	۰	۰	۲۵۹۴	۳/۱	۳۲۴۸	۳/۹	۱۴۶۲	۱/۷	۰	۰	۳۱۰/۵	۶/۱	
۶۳۷۰	۷/۶	۱۸۰۰-۱۹۰۰	۰	۰	۱۱۵۹	۱/۴	۶۶۹	۰/۸	۳۱۹۴	۳/۸	۱۳۴۸	۱/۶	۶/۵	۰/۱	
۲۳۵۷۲	۲۸/۱	۱۹۰۰-۲۵۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۰	۱/۳	۱۴۱۰۳	۱۶/۸	۸۳۶۹	۱۰	۰	۰	
۱۰۵۳۷	۱۲/۶	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۰	۰	۰	۰/۵	۴۱۹۱	۵	۵۷۹۳	۶/۹	۱۶۱	۰/۲	۰	۰	
۲۶۹۶	۳/۲	۳۰۰۰-۳۹۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵۱۷	۳	۱۷۹	۰/۲	۰	۰	
طبقات شهرسازی شده			۷۹۳	۱۵/۷	۳۳۸۸	۶۷	۸۲۱	۱۶/۲۵	۵۱/۵	۱	۲/۵	۰/۰۵	-	-	

از حوضه‌های مورد مطالعه، حدود ۷۱ درصد کوهستانی (با ارتفاع حدود ۱۵۰۰ تا ۳۹۰۰ متر) و باقی‌مانده در حدود ۲۹ درصد نیمه‌کوهستانی و پایکوهی (با ارتفاع حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر) است. با توجه به انطباق نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها و نقشه کاربری زمین مشاهده می‌شود که در حدود ۲/۵ هکتار (معادل ۰/۰۵ درصد) از نقاط مسکونی در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش خیلی زیاد، حدود ۵۱/۵ هکتار (معادل ۱ درصد) در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش زیاد و حدود ۰/۱ هکتار (معادل ۱۶/۲۵ درصد) در پهنه‌های با خطر متوسط زمین‌لغزش ساخته شده است؛ به عبارت دیگر در حدود ۸۷۵ هکتار (معادل ۱۷/۳ درصد) از مناطق مسکونی در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا گسترش یافته‌اند (جدول ۱۰). این موضوع نشان می‌دهد که در پهنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران معیارهای ژئومورفولوژیکی برای توسعه شهر روی دامنه‌ها مورد توجه قرار نگرفته و لازم است که توجه جدی به این امر مهم صورت گیرد و از توسعه شهر به‌ویژه کاربری‌های مسکونی در پهنه‌های پرخطر جداً جلوگیری به عمل آید. آسیب‌پذیری ناشی از حرکات لغزشی می‌تواند با اقدامات زیر کاهش یابد:

(الف) تدوین دستورالعمل‌های ویژه ساخت‌وساز در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی،

(ب) توجه به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها،

(ج) رعایت الزامات مربوط به پایدارسازی دامنه‌های پرخطر، و

(د) انجام مطالعات ویژه از طریق به کارگیری افراد متخصص و باتجربه در مراکز تصمیم‌گیری.

در زمان حاضر برخی از مناطق مسکونی در محدوده‌های با خطر متوسط به بالا گسترش یافته‌اند و درنتیجه آن نیز

خسارت‌هایی به بعضی از واحدهای مسکونی وارد شده است. به عنوان نمونه می‌توان به خسارت‌های وارد شده به واحدهای مسکونی واقع در غرب دره فرhzad (شهرک مجلس و نواحی اطراف آن) اشاره کرد. این محدوده از نظر شرایط ساختگاهی مشکل از نهشته‌های رسوی مربوط به زمین‌لغزش‌های قدیمی و توده‌های فرسایش یافته است و از دهه ۱۳۴۰-۱۳۵۰ تا کنون دوبار با خاکریزی دستی پُر گردیده است (طباطبایی و توفیق ریحانی، ۱۳۸۳). این زمین‌ها پس از انقلاب اسلامی، تستیح شدند و به شرکت تعاونی مسکن مجلس شورای اسلامی واگذار گردیدند. حدود ۳۵۰ واحد مسکونی در ۷۵ قطعه‌زمین ۲۵۰ تا ۳۰۰ متری (شکل ۲۲) در مساحتی بیش از ۲۰۰۰۰ مترمربع در این قسمت ساخته شده است (بازدید میدانی از منطقه).

در اثر حرکات لغزشی، یکی از واحدهای مسکونی مذکور در انتهای خیابان بیست و هفتم شهرک مجلس آسیب دیده و به صورت غیرقابل سکونت درآمده است. اخیراً نیز این واحد به طور کامل تخریب گردیده است. شکل‌های ۲۳ و ۲۴ به ترتیب این واحد مسکونی لغزش یافته را قبل و بعد از تخریب نسبی آن نشان می‌دهند. پرداخت خسارت‌های اقتصادی و یا اجتماعی ناشی از این تخریب ناخواسته بر عهده چه ارگان و یا چه اشخاصی است؛ و آیا اساساً چنین موضوعی در دستورالعمل‌های مربوط با ساخت‌وسازهای بی‌رویه در مناطق پرخطر مطرح می‌شود؟ در همین زمینه می‌توان به برج‌های سهند و سبلان واقع در دامنه غربی دره فرhzad، زاغه‌نشینان بخش شمالی حوضه حصارک، ساختمان دانشگاه آزاد اسلامی (در حوضه حصارک)، و همچنین کاربری‌های مسکونی در سایر حوضه‌های کوهستانی نیز اشاره کرد که از دیدگاه ژئومورفولوژیکی با خطر زمین‌لغزش‌های احتمالی (ناشی از حرکات لرزه‌ای و یا سایر عوامل) روبرو هستند.



شکل ۲۲. تصویر ماهواره‌ای از دره فرhzad (محدوده شهرک مجلس) – دید رو به شمال



شکل ۲۳. واحد مسکونی در دره فرhzاد (شهرک مجلس) - در آستانه لغزش

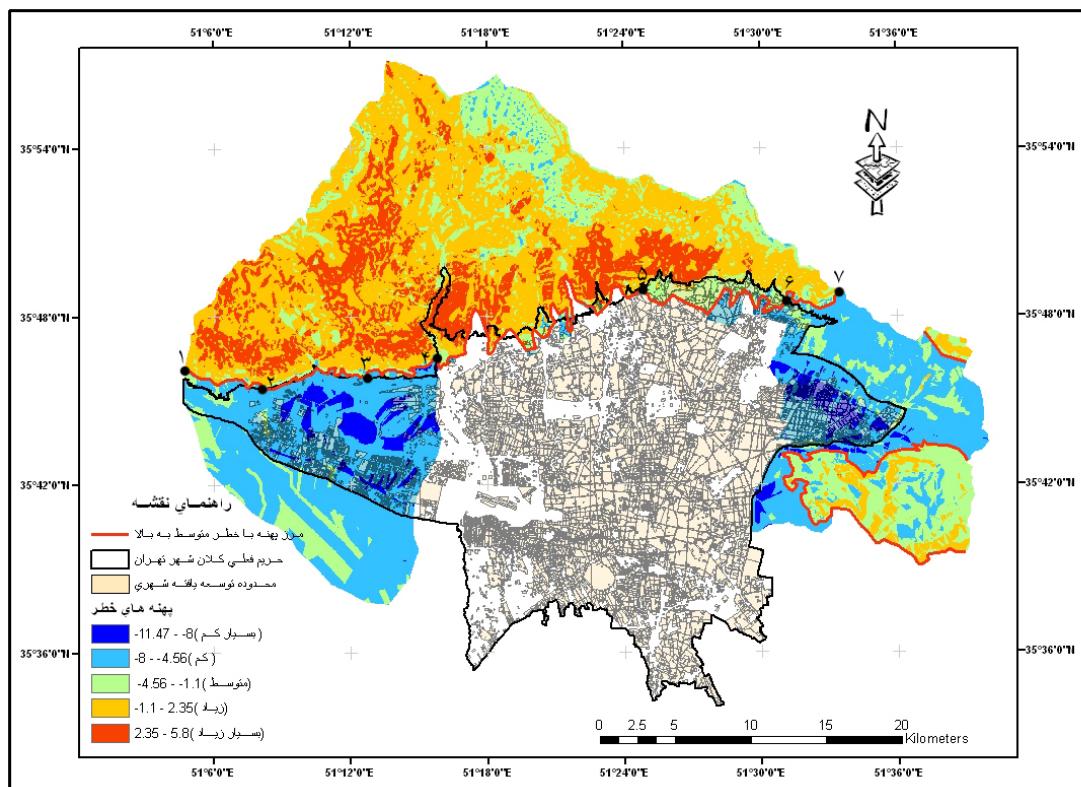


شکل ۲۴. واحد مسکونی (شکل ۲۳) لغزش یافته در دره فرhzاد (شهرک مجلس) - تخریب نسبی

بنابراین هرگونه توسعه سامانه شهری بایستی با در نظر گرفتن ابعاد لغزش‌ها و پتانسیل خطر رویداد آنها صورت گیرد.

به‌منظور برآورد حد نهایی توسعه شهر از منظر حرکات لغزشی و همچنین تطابق حریم کنونی کلان شهر تهران با این حد، محدوده‌های با استعداد خطر زمین‌لغزش بسیار کم و کم (به‌عنوان مناطق مجاز و امن) و پهنه‌های با پتانسیل خطر متوسط، زیاد و بسیار زیاد (به‌عنوان مناطق غیرمجاز) شناسایی شدند و حد فاصل این دو محدوده با ترسیم خطی که در حقیقت خط آستانه شروع زمینه لغزش‌هاست، مجزا گردید (شکل ۲۵).

مقایسه این خط با حریم کنونی کلان شهر تهران نشان می‌دهد که در زمان حاضر در قسمت‌های غربی در حد فاصل نقاط شماره ۲ و ۳، حریم فعلی با خط مذکور تقریباً منطبق است و لذا توسعه بیشتر شهر در این قسمت در فراتر از خط حریم کنونی مجاز نیست. در حد فاصل بین نقاط ۱ و ۲، ۳ و ۴ و همچنین نقاط ۶ و ۷، مرز پهنه‌های بیشتر از خطر متوسط در بالای خط حریم فعلی شهر قرار گرفته است و از این‌رو توسعه شهر از منظر حرکات لغزشی با رعایت موارد چهارگانه مذکور در این بخش امکان‌پذیرست. در حد فاصل بین نقاط ۴ و ۵ انطباق این دو خط با تغییرات بسیار زیادی همراه است. به‌طوری که توسعه شهر در برخی از قسمت‌ها در بخش‌های بالاتر از خط خطر و در برخی از قسمت‌ها در بخش‌های پایین‌تر از خط خطر صورت گرفته است. توصیه می‌شود در بخش‌های بالاتر از خط خطر برای جلوگیری از آسیب‌پذیری مناطق مسکونی در مقابل زمین‌لغزش‌های احتمالی، از روش‌های پایدارسازی استفاده شود و از ساخت‌وساز بیشتر در این مناطق جداً خودداری گردد.



شکل ۲۵. انطباق مرز پهنه‌های با خطر متوسط به بالا با حریم فعلی کلان شهر تهران

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

شهرها به نسبت افزایش جمعیت ساکن در آنها گسترش می‌یابند و در این میان مناطق دارای استعداد زمین‌لغزش نیز برای مقاصد مختلف از جمله مکان‌هایی برای زندگی اشغال می‌گردند – روندی که هم‌اکنون برخی از مناطق شمالی کلان‌شهر تهران با آن روبروست. نتایج پنهان‌بندی نشان می‌دهد که محدوده‌های کوهستانی و کوهپایه‌ای این شهر با توجه به وجود عواملی مانند تغییرات ارتفاعی و درنتیجه شبیه زیاد، گسل‌های اصلی و فرعی، فرسایش و زیرشوابی پای شیب‌ها و دامنه‌ها به وسیله جریان‌های سیلابی و آبراهه‌ای و بارش‌های شدید، مستعد ایجاد زمین‌لغزش‌اند.

در این محدوده‌ها توسعه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی صورت گرفته است. از حدود ۹۶۸/۵ هکتار (معادل ۱۹/۱ درصد) کاربری‌های مسکونی حوضه‌های کوهستانی مورد مطالعه که در ارتفاع بین ۱۶۰۰ متر ساخته شده‌اند، حدود ۸۷۵ هکتار (معادل ۱۷/۳ درصد) در پنهان‌های لغزشی با خطر متوسط به بالا توسعه یافته‌اند. این واحدها در معرض آسیب‌پذیری ناشی از حرکات زمین‌لغزش‌های احتمالی قرار دارند.

انطباق خط حريم فعلی کلان‌شهر تهران با مرز پنهان‌های کم‌خطر و پرخطر (خطر متوسط به بالا) نشان می‌دهد که این دو خط انطباق خوبی با یکدیگر ندارند – بهویژه در بخش‌های مرکزی. محدوده‌های بین حوضه و سک (حصارک) تا حوضه سوهانک می‌باشد از نظر حرکات لغزشی به عنوان محدوده‌های ویژه مورد توجه قرار گیرند و از توسعه شهر در پنهان‌های پرخطر این محدوده جلوگیری به عمل آید. همچنین باشتنی کلیه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی پایدارسازی شوند.

باتوجه به توسعه روزافزون فیزیکی کلان‌شهر تهران و تمایل عمومی به اسکان در نقاط پایکوهی – بهدلیل دمای نسبتاً خنک‌تر، بارش نسبی بیشتر، وجود پوشش گیاهی متراکم‌تر، چشم‌انداز و منظر بهتر و کاهش برخی از مخاطرات طبیعی نظیر سیل‌گیری – تغییرات اندک سطح آب‌های زیرزمینی در این مناطق پیش‌بینی می‌شود. در آینده، عامل انسانی و فعالیت‌های او نقش مؤثرتری در وقوع این حرکات ایفا می‌کند و با کاربری‌های مختلف شهری حرکات لغزشی بیشتری در این نقاط رخ می‌دهند. جالب آنکه بهدلیل گرانی زمین در نقاط پایکوهی و شامل شهر، رشد عمودی شهر همچنان افزایش می‌یابد و حداکثر استفاده از زمین صورت خواهد گرفت. این امر سبب می‌شود که در این نقاط – یعنی روی دامنه‌ها – وزن دامنه افزایش یابد و تحت تأثیر شبیه توبوگرافی و بعضاً همسوی شبیه ساختمانی با دامنه و اثرگذاری آب‌های نفوذی فاضلاب‌های شهری و چاههای جذبی، این نوع حرکات تشدید شود – منطقه فرخزاد تهران در سال‌های اخیر با این سازوکار مواجه شده است.

در پایان پیشنهاد می‌گردد که پنهان‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش برای مناطق ویژه در مقیاس‌های بزرگ‌تر – که متناسب با نوع کاربری‌های شهری است – با استفاده از روش شاخص زمین‌لغزش (LIM) و همچنین روش‌های دیگری مانند مدل فازی^۱، روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ (AHP)، مدل ارزشی اطلاعاتی، مدل بولین^۳ و روش‌های دیگر انجام شود.

1. Fuzzy

2. Analytical Hierarchy Process

3. Boolean

منابع

- چورلی و همکاران، ۱۳۷۹، ژئومورفولوژی؛ فرایندهای دامنه‌ای، آبراهه‌ای، ساحلی و بادی، جلد سوم، ترجمه احمد معتمد با همکاری ابراهیم مقیمی، انتشارات سمت، تهران.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۵۵، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ محدوده مورد مطالعه.
- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه (۲ برگ).
- سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۸۰، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ محدوده مورد مطالعه (۱۳ برگ).
- سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۸۱، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه.
- سازمان هواشناسی کشور، آمار بارش ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه.
- فیض‌نیا، سادات، عطالله، کلارستاقی، حسن، احمدی، مهرداد، صفائی، ۱۳۸۳، بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش - مطالعه موردنی: حوزه آبخیز شیرین رود سد تجن، نشریه منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۱، ص ۱۹-۳.
- کوک، آر.بو. و دورکمپ، جی.سی. ۱۳۷۷، ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، جلد اول، ترجمه شاپور گودرزی‌نژاد، انتشارات سمت، تهران.
- مخدوم، مجید، ۱۳۸۴، شالوده آمایش سرزمین، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.
- مقیمی، ابراهیم و صفاری، امیر، ۱۳۸۷، ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری در قلمرو حوضه‌های زهکشی؛ مطالعه موردنی کلان‌شهر تهران، نشریه مدرس علوم انسانی.
- مقیمی، ابراهیم، ۱۳۸۵، ژئومورفولوژی شهری، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- هاشمی طباطبایی، سعید و توفیق لاریجانی، محمدحسین، ۱۳۸۳، گزارش مقدماتی بررسی ژئوتکنیکی علل ناپایداری‌های ساختمان‌های شهرک مجلس، بخش ژئوتکنیک، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- Gulla, G. et al., 2007, Susceptibility and triggering scenarios at a regional scale for shallow landslides, *Geomorphology*, In Press, Corrected Proof, Available online 23 October 2007.
- Theiry, Y, et al., 2007, Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment, *Geomorphology*, 92:38-59.
- Van Westen. C.J. and Terlien, M.T.J., 1996, An Approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia), *Earth surface processes and landforms*, 21:853-868.