

ارزیابی استعداد بروز زمین لغزش های احتمالی در محدوده شهر تبریز

ابوالفضل قنبری^۱، دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

فریبا کرمی، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

محمدعلی سالکی، کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۲

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۲

چکیده

ایران با توبوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت تکنوتیکی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین شناسی عمدۀ شرایط طبیعی را برای طیف وسیعی از لغزش دارد. قرارگرفتن در مقام دوم در بخش صنعت ایران، جمعیتی بالغ بر ۱۶۹۵۰۹۴ نفر، مجاورت با گسل بزرگ تبریز و روی دادن زمین لغزش های مختلف در شهر تبریز این شهر را تبدیل به یکی از خطر ناک ترین شهرهای ایران در خصوص مخاطرات محیطی بخصوص زمین لغزش می کند. هدف مقاله حاضر؛ ارزیابی استعداد بروز زمین لغزش در محدوده شهر تبریز و تهیه نقشه پتانسیل بروز زمین لغزش در این محدوده است. در این راستا ابتدا زمین لغزش های رخ داده در محدوده مورد مطالعه شناسایی شدند و با استفاده از تحلیل این داده ها در نرم افزار ILWIS معیارها و زیر معیارها شناسایی و طیف بندی شدند. سپس با استفاده از مدل فازی- تاپسیس میزان اهمیت معیارها و زیر معیارها در واحدهای پیکسلی مشخص شد و در نهایت با تلفیق مدل فازی- تاپسیس و تابع همپوشانی در محیط ARC/ GIS نقشه نهایی استخراج شد. نتایج حاکی از آن است که ۶ درصد اراضی شهر در پهنه خطر بسیار بالا و بیش از ۳۰ درصد اراضی آن در پهنه های با خطر متوسط به بالا قرار دارند.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، فازی- تاپسیس، ARC/ GIS، ILWIS، تبریز.

مقدمه

یکی از مسایل ژئومورفولوژیک که بسیاری از فعالیت های بشری را تحت تأثیر قرار می دهد، وقوع زمین لغزش ها می باشد. عوامل طبیعی از یکسو و فعالیت های انسانی از سویی دیگر موجب بروز این حوادث می شوند (Bhattarai et al, ۲۰۰۴). به حرکت توده های سنگ و خاک به طرف پایین و بر روی شیب بر اثر نیروی گرانشی زمین لغزش می گویند (Guzzetti et al, ۲۰۱۲). زمین لغزش ها یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی و فرایندهای فعال هستند که منجر به فرسایش و تغییرات چشم انداز می شوند (Guzzetti et al, ۲۰۰۵). شهرهای امروزی در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد از جمله نوع مکان گزینی، توسعه فیزیکی نامناسب، عدم رعایت استاندارهای لازم و... همواره در معرض خطرات ناشی از بلایای طبیعی قرار دارند (زنگی آبادی، ۱۳۸۵: ۱۱۵). یکی از این بلایای طبیعی زمین لغزش است. امروزه نیاز فراینده ای برای مدیریت خطر زمین لغزش به صورت کمی و پهنه بندی آن وجود دارد (Fell, ۲۰۰۸). شناسایی و بخش بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی به شمار رفته و نقش انکار نکردنی در مدیریت بحران ایفا می کند (Sakar et al, ۱۹۹۵).

هدف از پهنه بندی، تقسیم سطح زمین به نواحی همگن و درجه بندی آنها بر حسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر لغزش است (Varnes, ۱۹۸۴).

ایران با توپوگرافی عمدهٔ کوهستانی، فعالیت تکنوتیکی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین شناسی عمدۀ شرایط طبیعی را برای طیف وسیعی از لغزش داراست (خالدی، ۱۳۹۱) به دلیل تعدد، تنوع، تکرار و شدت رخداد خطرات طبیعی و ناارامی محیط، ایران در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۲۰۰۴). بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق لغزش ها بر کشور تحمیل می شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیر قابل بازگشت به حساب آورده نشود (نصیری، ۱۳۸۳). آمار ثبت شده توسط وزارت جهاد کشاورزی نشان می دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸، وقوع حدود ۲۵۹۰ حرکت توده ای و لغزش در کشور باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ خانه، ایجاد خسارت مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶ جنگل و تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شده است (صالحی پور، ۱۳۸۰). در این میان شهر تبریز با دارا بودن مقام دوم در بخش صنعت ایران، جمعیتی بالغ بر ۱۶۹۵۰۹۴ نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰)، ویژگی های زمین شناسی خاص مانند مجاورت با گسل بزرگ تبریز و توسعه فیزیکی شهر و روی دادن زمین لغزش های مختلف در نقاط مختلف شهر تبریز، این شهر را تبدیل به یکی از خطرناک ترین شهر های ایران در خصوص مخاطرات محیطی بخصوص زمین لغزش می کند و در این شرایط و با این اوصاف یک بررسی جامع و یک پهنه بندی دقیق از استعداد اراضی جهت خطر زمین لغزش کاملاً ضروری به نظر می رسد. علاوه بر موارد فوق الذکر، شهر تبریز با توجه به وضعیت توپوگرافی، شرایط لیتوژئی و مجاورت با گسل های فعال در قسمت های شمالی یکی از شهرهای مستعد خطر زمین لغزش است که تا به حال چندین زمین لغزش از جمله زمین لغزش کوی ولیعصر، کوی گلپارک، محله ملازمینال و سیلان، زمین لغزش های اطراف اتوبان پاسداران و چندین زمین لغزش دیگر را تجربه کرده است. علت وقوع این زمین لغزش ها علاوه بر عوامل طبیعی، فعالیت های انسانی نیز می باشند. بنابراین با توجه به مطالب فوق ضرورت و اهمیت چنین تحقیق اثبات می شود.

با توجه به اهمیت موضوع، در زمینه زمین لغزش تحقیقات بسیار زیاد و متنوعی انجام شده است، که از آن جمله می توان به موارد ذیل اشاره کرد.

در پژوهشی با عنوان پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از ۱۰ معیار شبیه زمین، جهت دامنه، پوشش زمین، فاصله تا گسل های اصلی، شاخص سبزینگی، شاخص تراکم، پوشش گیاهی، بارش سالانه، جنس زمین، فاصله با راه های اصلی و فاصله با رودخانه و با استفاده از مدل ترکیب خطی وزین در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه بندی زمین لغزش در منطقه یاد شده پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد ۳۸ درصد اراضی منطقه مورد بررسی دارای پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش هستند (کرم، ۱۳۸۳).

در مطالعه ای با عنوان پهنه بندی مناطق حساس به زمین لغزش با استفاده از الگوریتم فازی تاپسیس و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردنی: استان لرستان) با استفاده از اطلاعات شبیه، جهت شبیه، قابلیت اراضی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و فاصله از رودخانه و استفاده از مدل فازی تاپسیس پرداخته شده که نتایج حاکی از کارایی مدل فازی تاپسیس در پهنه بندی زمین لغزش است (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹).

در مقاله ای تحت عنوان بررسی کارایی مدل SINMAP در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردنی: حوزه آبخیز سد ایلام) با استفاده از مدل SINMAP به پهنه بندی در منطقه یاد شده پرداخته شده که نتایج حاکی از پایداری ۶۵ درصدی در حوزه سد ایلام است (طلابی و همکاران، ۱۳۹۰).

در پژوهشی با عنوان ارزیابی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش و پهنه بندی آن با استفاده از رگرسیون لجستیک در محیط GIS در حوزه آبخیز طالقان به مطالعه رویداد زمین لغزش در منطقه طالقان اقدام شده است که نتایج ناپایداری حداکثری در حوزه طالقان را نشان می دهد (خالدی، ۱۳۹۱).

در مطالعه ای خطر زمین لغزش در حوضه صوفی چای با استفاده از روش آنبلگان پهنه بندی شده است. نتایج نشان می دهد که عمدۀ ترین زمین لغزش ها در آبرفت های کواترنری و محل تلاقی آندزیت و مواد رسی، لاهارهای پامیسی و رسوبات تخریبی به وقوع می پیوندند. در ضمن فقط ۱۹ درصد اراضی در محدوده یاد شده در پهنه های بدون خطر قرار دارند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱).

در تحقیقی دیگر با کاربرد منطق فازی شامل اشتراک فازی، جمع جبری، ضرب جبری و فازی گاما و استفاده از ۹ معیار در محیط GIS به پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز چرداول پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد که ۵۷ درصد اراضی در پهنه های خطر بالا و خیلی بالا قرار دارند (نادری و همکاران، ۱۳۹۱).

در تحقیقی با عنوان بررسی تعداد عوامل ورودی در مقدار دقت شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز هراز ساختار ۹ نرون در لایه ورودی، ۱۴ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی با نسبت یادگیری ۰/۲، به عنوان ساختار بهینه انتخاب شده است. نتایج حاکی از پایداری ۳۵ درصدی اراضی است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱).

در تحقیقی با استفاده از روش رگرسیون خطی به پهنه بندی زمین لغزش در کشور کره پرداخته و از معیارهای شبیه، جهت شبیه، ضخامت خاک، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی استفاده شده است. پس از مقایسه نتایج پهنه بندی با نقشه پراکنش لغزش ها نتایج نشان دهنده این است که این روش نتایج نسبتاً مناسبی دارد (Lee et al, ۲۰۰۱).

در پژوهشی با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات، تراکم سطح، شبیه، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی و فاصله از جاده به پهنه بندی خطر زمین لغزش در ترکیه پرداخته شده است و به این نتیجه رسیده که مدل تحلیل سلسله مراتبی کارایی بهتری از دیگر مدل ها برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در این منطقه دارد (Yalcin et al, ۲۰۰۸).

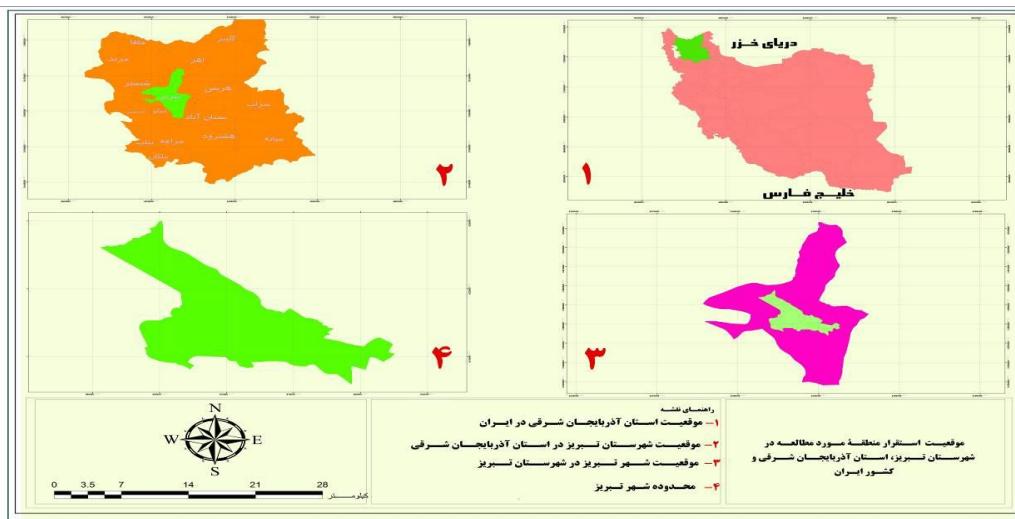
در پژوهشی با استفاده از یک مدل ترکیبی بر اساس زمین شناس، رئومورفولوژی، داده های آماری و تاریخی و مدل اتمات سلولی و با استفاده از تصاویر ماهواره ای به ارایه سناریوهای زمین لغزش احتمالی در شبه جزیره سورنتوی ایتالیا پرداخته شده است. نتایج حاصل از این مدل در مقایسه با زمین لغزش های رخ داده در مقاطع تاریخی رضایت بخش بوده است (۲۰۱۴). (et al,aLucà

با توجه به مطالب فوق می توان دریافت که بیشتر مطالعات زمین لغزش در مقیاس های کلان و در محدوده حوزه های آبریز، استان، شهرستان و... بوده است و مطالعات اندکی در مقیاس های خرد و در محدوده های شهری بوده است. وجه تمایز این مقاله نسبت به سایر مقالات مطالعه و پنهانه بندی خطر زمین لغزش در داخل محدوده مصوب شهر تبریز و مطالعه بر روی اراضی بایر و قابل توسعه برای آینده ۱۰ ساله شهر و همچنین استفاده توامان مدل های AHP, FUZZY & TOPSIS در محیط GIS است.

در این راستا، هدف پژوهش حاضر، ضمن شناسایی زمین لغزش های رخ داده در محدوده شهر تبریز، شناسایی عوامل و معیارهای مؤثر در رخداد زمین لغزش ها در محدوده یاد شده و ترسیم و استخراج نقشه میزان استعداد اراضی محدوده شهر تبریز برای بروز زمین لغزش های احتمالی می باشد. برای دستیابی به اهداف تحقیق از روش فازی- تاپسیس و ARC/ GIS استفاده شده است.

داده ها و روش کار

محدوده مورد مطالعه این پژوهش کل محدوده شهر تبریز می باشد. شهر تبریز در شمال غربی ایران واقع شده و مرکز استان آذربایجان شرقی است. شهر تبریز به عنوان بزرگ ترین کلان شهر شمال غرب ایران با وسعتی حدود ۲۴۴۹۸ هکتار (مهندسین مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱) در موقعیت جغرافیایی ۲۳، ۴۶، ۱۱، ۴۶ طول شرقی و ۹، ۳۸، ۳۸ عرض شمالی با ارتفاع متوسط حدود ۱۳۴۰ متر در جلگه ای به نام جلگه تبریز واقع شده است (زمانی، ۱۳۷۹). فلات آذربایجان که شهر تبریز در آن واقع است، حلقه اتصال مابین فلات ایران با فلات ارمنستان از سوی شمال و فلات آناتولی از سوی غرب است. جلگه تبریز در مرکز این فلات در ضلع شرقی کرانه های دریاچه ارومیه قرار گرفته و بخشی از جلگه بزرگ کنار دریاچه ارومیه محسوب می شود. بستر طبیعی شهر در میان دو رشته ارتفاعاتی واقع گردیده است. در راستای سمت شرقی شهر، ارتفاعات شمالی با انحراف حدود ۳۰ درجه نسبت به راستای شرقی غربی و ارتفاعات جنوبی نیز با همان راستا به هم迪گر نزدیک می شوند (خوب آیند، ۱۳۷۹). موقع جغرافیایی، استقرار شهر در محل مقاطع دره ها و شیب های ملایم به همراه عوامل اقتصادی و انسانی و بویژه مرزهای سیاسی و فرهنگی، طرق ارتباطی داخلی و راه های ترانزیتی تبریز به کشورهای همجوار شوروی سابق، ترکیه و عراق باعث ایجاد یک موقعیت ممتاز و استراتژیک برای شهر تبریز شده است. بعبارتی عوامل فوق برای شهر موقعیتی چهار راهی ایجاد کرده است (کرمی، ۱۳۸۲). جمعیت این شهر در سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، ۱۶۹۵۰۹۴ نفر برآورد شده است (مرکز آمار ایران).



شکل شماره‌ی ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

این تحقیق از نظر نوع جز تحقیقات کاربردی- توسعه ای و از نظر روش جز تحقیقات توصیفی- تحلیلی است. فرآیند تحقیق از ۴ مرحله به ترتیب زیر تشکیل می شوند.

مرحله اول: شناسایی لغزش های رخ داده: در این مرحله ابتدا با استفاده از منابع مختلف از جمله تصاویر ماهواره ای، عکس های هوایی، دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) و بازدیدهای میدانی زمین لغزش های رخ داده در داخل محدوده Global mapper, Google earth pro, Autocad map, ARC/ GIS افزارهای شناسایی شده و با استفاده از نرم افزارهای ژئوفرنز شده و تبدیل به لایه های اطلاعاتی و نقشه جهت نمایش و استفاده در تحلیل های بعدی شد.

مرحله دوم: شناسایی و استخراج معیارهای مؤثر در زمین لغزش های محدوده مورد مطالعه و تهیه لایه های اطلاعاتی: در این مرحله با استفاده از مطالعات کتابخانه ای، نظرات کارشناسان امر و از همه مهم تر اطلاعات زمین لغزش های رخ داده که در مرحله قبل تهیه شد؛ به شناسایی معیارها و عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش ها پرداخته شد. بررسی های نشان دادند که بیشتر زمین لغزش ها در نزدیکی گسل ها، بر روی خاک های سست و ناپایدار، در اراضی با سطح کم ایستایی آب، شیب های تند و نزدیکی جاده های ارتباطی رخ داده است. جهت تعیین زیر معیارها نیز ابتدا باید معیارهای مشخص شده به صورت لایه های اطلاعاتی در فرمت های مخصوص GIS تهیه شوند. بدین منظور با استفاده از منابع مختلف از جمله نقشه های ۱/۲۰۰۰ شهری، نقشه های ۱/۲۵۰۰۰ توپوگرافی و عکس های هوایی نقشه های مربوطه تولید و ژئوفرنز شد. سپس لایه های اطلاعاتی بوجود آمده در مرحله قبل جهت تحلیل وارد نرم افزار ILWIS شد و با روی هم گذاری با نقشه لغزش های رخ داده مشخص شد کدام معیارها چه اندازه در بروز زمین لغزش ها مؤثر بوده اند. برای مثال بررسی ها نشان می دهد، بیشتر زمین لغزش ها در مجاورت ۵۰۰ متری گسل ها رخ داده است. ضمناً طیف بندی زیر معیارها به ۵ قسمت بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم شده است. لازم به ذکر است بخاطر اینکه محدوده مورد مطالعه کوچک و دارای شرایط همگن بسیاری از قبیل میزان بارش و سایر متغیرهای اقلیمی است در انتخاب معیارها برخی از معیارها حذف شده است. برای مثال چون کل محدوده مورد مطالعه در یک پهنه بارشی قرار دارد معیار میزان بارندگی مدنظر قرار نگرفته است.

مرحله سوم: تعیین میزان اهمیت هر معیار: در این مرحله با استفاده از مدل فازی تاپسیس میزان اهمیت هر معیار و زیر معیار در واحدهای پیکسلی مشخص شدن.

مدل فازی - تاپسیس

از آنجا که داده های یک فرایند فضایی و خصایص آنها معمولاً پیچیده است و جمع آوری داده های صحیح از آنها مشکل است، به نظر می رسد برای کار با داده های غیرقطعی و یا بازه ای از دادهها باید روش ویژه ای مورد استفاده قرار گیرد. از این رو می توان از منطق فازی در تکنیک های تصمیم گیری مختلف استفاده نمود. یکی از این تکنیک ها تکنیک تاپسیس می باشد که یکی از این روش ها تصمیم گیری چند شاخصه است. که M گزینه را با توجه به n معیار رتبه بندی می کند. مبنای این روش انتخاب گزینه ای است که کمترین فاصله را از جواب ایده آل مطلوب و بیشترین فاصله را از جواب ایده آل نامطلوب دارد (Kahraman et al, ۲۰۰۷) که با کاربرد منطق فازی در آن به تکنیک فازی - تاپسیس تبدیل می شود. عبارت دیگر در این روش، میزان فاصله یک عامل با عامل ایده آل مثبت و ایده آل منفی سنجیده می شود و این خود معیار درجه بندی و اولویت بندی عوامل است، بهترین گزینه یا عامل باید نزدیک ترین عامل به ایده آل مثبت و دورترین عامل نسبت به ایده آل منفی باشد. به طور خلاصه عامل ایده آل مثبت از بهترین ارزش ها و عامل ایده آل منفی از بدترین ارزش ها تشکیل شده است (Wang & Elhag, ۲۰۰۶).

در این تحقیق از اعداد مثلثی فازی استفاده شده است. علت اصلی برای استفاده از اعداد مثلثی این است که به طور مستقیم برای تصمیم گیران استفاده و محاسبه را آسان می کند. علاوه بر این، با استفاده از مدل سازی فازی مثلثی ثابت شده است که با فرموله کردن مسایل تصمیم گیری که در آن اطلاعات در دسترس ذهنی و غیر دقیق هستند یک راه مؤثر می باشد (Xu, ۱۹۹۶). در کاربردهای عملی، شکل مثلثی تابع عضویت اغلب به نمایندگی از اعداد فازی استفاده می شوند (& Chen, ۲۰۰۷).

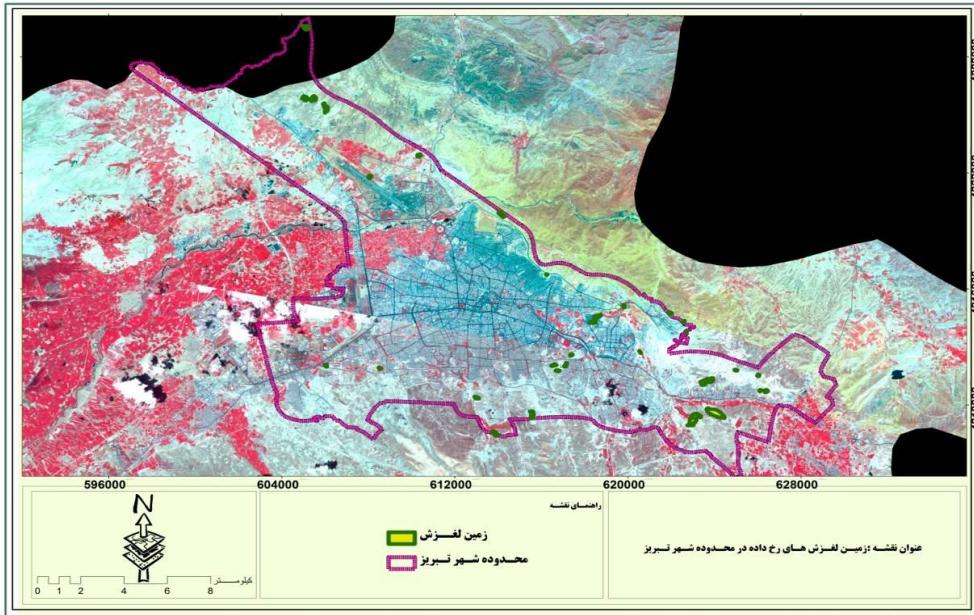
نزدیکی نسبی هر گزینه نسبت به راه حل ایده آل (RC_i) با استفاده از رابطه (۱) بدست می آید. با تلفیق لایه های ایده آل مثبت و منفی در محیط GIS، لایه نهایی شکل می گیرد و اولویت بندی نهایی گزینه ها بر اساس آن انجام می شود. در این رابطه m تعداد معیارهاست.

$$RC_i = \frac{\sum_{j=1}^m d_{ij}^-}{\sum_{j=1}^m d_{ij}^- + \sum_{j=1}^m d_{ij}^+} \quad (1)$$

مرحله چهارم: استخراج نقشه استعداد زمین لغزش در نواحی مختلف شهر: این مرحله ترکیبی است از مراحل قبلی بدین صورت که باید نتایج حاصل از مدل فازی - تاپسیس و لایه های اطلاعاتی با استفاده از توابع همپوشانی نرم افزار ARC / GIS ترکیب شوند و در واقع اعداد فازی - تاپسیس در واحدهای پیکسلی لایه های اطلاعاتی وارد شده و در محیط GIS پیاده شود تا با همپوشانی لایه ها نقشه نهایی استخراج شود.

شرح و تفسیر نتایج

با توجه به مراحل مذکور در روش تحقیق اولین قدم شناسایی پراکنش زمین لغزش هایی است که در طول زمان رخداده است. در این راستا پس از طی مراحل مذکور زمین لغزش های رخداده مشخص شد. شکل شماره (۴)، نشان دهنده پراکنش زمین لغزش ها در محدوده شهر تبریز است.



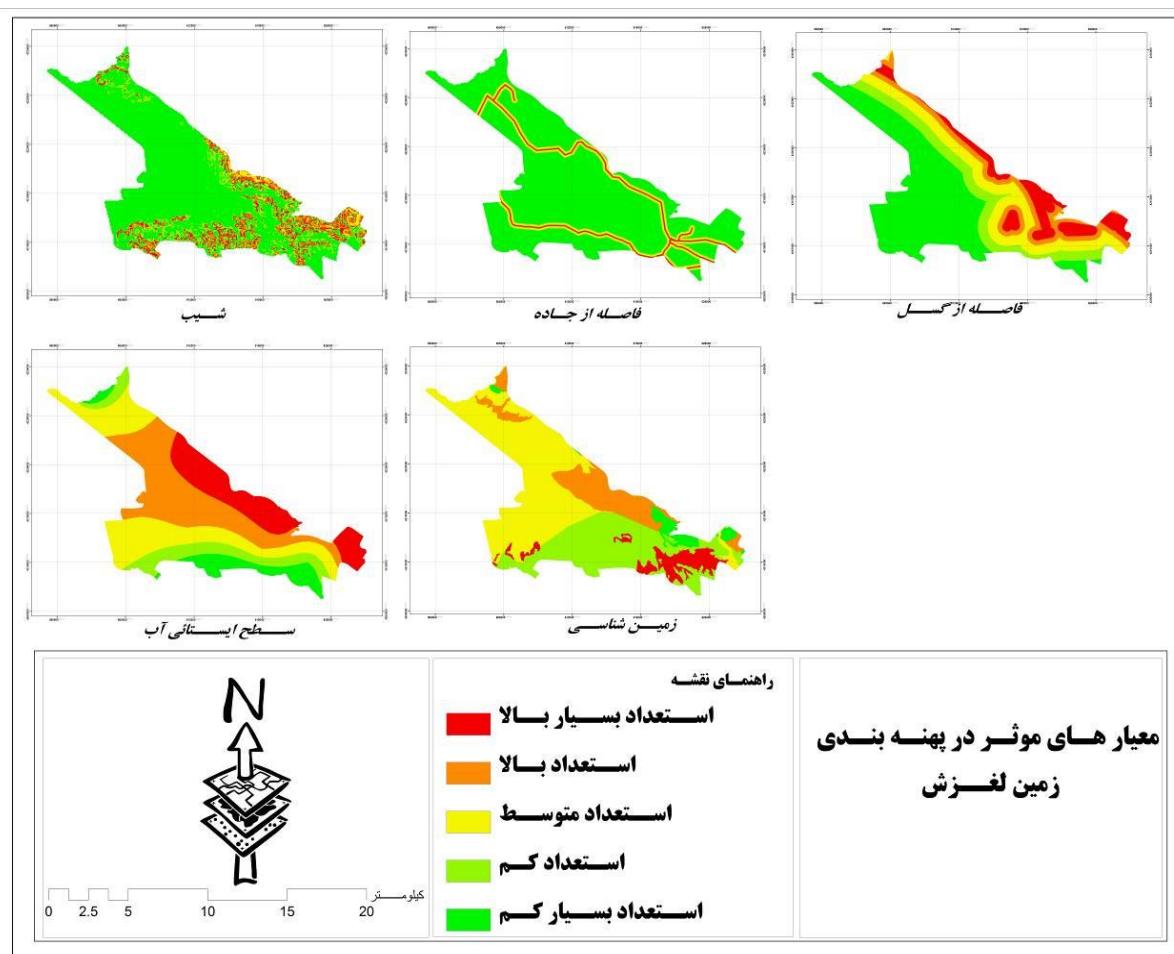
شکل شماره‌ی ۲: پراکنش زمین لغزش ها در محدوده شهر تبریز

نقشه فوق نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌ها در قسمت‌های شمال، شرق و شمال شرقی شهر تبریز رخداده است. یکی از مهمترین رانش‌های رخداده در سالهای اخیر رانش‌های شرق تبریز بوده که در کوی افسریه و نگین پارک تبریز رخداده است که بقایای آن همچنان در کوی ولی‌عصر تبریز باقی است. هسته‌های مارنی موجود در خاک این منطقه همراه با شیب تند و قرارگرفتن در مسیر مسیل‌ها و آبهای جاری استعداد رانشی شدیدی را برای این منطقه ایجاد کرده است. با توجه به اینکه مناطق یاد شده جز مناطق تقریباً جدیدالحداد شهر هستند خوشبختانه رانش خسارات جانی در برنداشت و استفاده از شمع های بتی در فنداسون ساختمان‌ها از سقوط ساختمان‌ها جلوگیری کرد ولی اگر این اتفاق در بخش‌های حاشیه نشین و فرسوده رخداد مطمئن‌تاً تلفات جانی شدیدی را در پی میداشت. آنچنان که مشاهده می‌شود در بخش‌های شمالی نیز که مرکز تجمع بافت‌های فرسوده و حاشیه نشین هستند رانش‌های رخداده که از این رانش‌ها می‌توان به رانش در شهرک ارم اشاره کرد. در بخش‌های شمالی نیز مهمترین عامل تشدید رانش مجاورت با گسل شمالی تبریز و اتوبان پاسداران و شیب بسیار تند منطقه است. با توجه به اینکه معیارها و زیر معیارهای مؤثر در زمین لغزش بیشتر از طریق این مرحله (زمین لغزش های رخداده) شناسایی می‌شوند توجه به شرایط جغرافیایی مناطق لغزش یافته بسیار مهم است. چنانچه قسمتهای یاد شده شهر در نزدیک ترین فاصله به گسل‌های فعال، بالاترین سطح ایستایی آب، تندرین شیب‌ها، سست‌ترین خاک‌ها و نزدیک به راه‌های ارتباطی علی‌الخصوص اتوبان پاسداران و شهید کسایی قرار دارند. پس از شناسایی پراکندگی لغزش‌ها معیارهای مؤثر در زمین لغزش طبق آنچه در مرحله روش تحقیق بیان شد شناسایی شدند. جدول شماره (۱)، نشان دهنده معیارها، زیر معیار و طبقه‌بندی میزان تأثیر آنهاست.

جدول شماره (۱): معیار ها و زیر معیار های مؤثر در خطر زمین لغزش

| معیار ها | زیر معیار | آسیب پذیری بالا | آسیب پذیری سیار بالا | آسیب پذیری متوسط | آسیب پذیری پائین | آسیب پذیری نسبتاً پائین |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| فاصله از خطوط گسل | ۵۰۰ متر | ■ | | | | |
| | ۱۰۰۰ متر | ■ | | | | |
| | ۲۰۰۰ متر | ■ | | | | |
| | ۳۰۰۰ متر | ■ | | | | |
| | بالاتر از ۳۰۰۰ متر | | | | | ■ |
| واحدهای لیتولوژی | pldt | ■ | | | | |
| | Msm ^۴ | ■ | | | | |
| | Qt ^۲ -qal | ■ | | | | |
| | plqc | ■ | | | | |
| | Mmg ^۲ -msc ^۵ | ■ | | | | ■ |
| سطح ایستایی آب | ۵ متر | ■ | | | | |
| | ۵-۱۵ متر | ■ | | | | |
| | ۲۵-۱۵ متر | ■ | | | | |
| | ۳۵-۲۵ متر | ■ | | | | |
| | ۳۵ متر و بیشتر | | | | | ■ |
| شیب | ۲۵ درصد به بالا | ■ | | | | |
| | ۲۵-۱۵ درصد | ■ | | | | |
| | ۱۵-۱۰ درصد | ■ | | | | |
| | ۱۰-۶ درصد | ■ | | | | |
| | زیر ۶ درصد | | | | | ■ |
| فاصله از جاده | ۵۰ متر | ■ | | | | |
| | ۱۵۰-۵۰ متر | ■ | | | | |
| | ۲۰۰-۱۰۰ متر | ■ | | | | |
| | ۳۰۰-۲۰۰ متر | ■ | | | | |
| | ۳۰۰ به بالا | | | | | ■ |

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه محدوده شهر تبریز تقریباً در یک شرایط و محیط اقلیمی مشخص قرار گرفته است در انتخاب معیار ها موارد اقلیمی در نظر گرفته نشده است و گرنه عوامل اقلیمی من جمله بارش از مهمترین عوامل تشید رانش خاک هستند. پس از شناسایی معیارها و زیر معیار های مؤثر با استفاده از منابع اطلاعاتی مذکور در مراحل قبلی لایه های اطلاعاتی در قالب فرمت های مخصوص سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. شکل شماره (۵)، نشان دهنده معیارهای مؤثر در زمین لغزش است.



شکل شماره‌ی ۳: معیارهای مؤثر در پهنه بندی زمین لغزش

شیب: با دقت در نقشه شیب متوجه می‌شویم که هسته اولیه شهر و بافت مرکزی آن در یک موقعیت دشتی با شیب ملائم بنا شده ولی توسعه روزافزون شهر آن را به سمت اطراف و دامنه‌های پرشیب کشانده مخصوصاً شهرک‌های اقماری جدیدالحداد تماماً در بخش‌های شمال و جنوب شهر احداث شده که منطبق با مناطق پرشیب هستند. شیب زمین در این مناطق گاهی حتی به ۳۰ درصد نیز می‌رسد. بررسی تطبیقی نقشه معیارهای زمین لغزش را خداده انطباق مناطق پرشیب و رانشی را نشان می‌دهد.

فاصله از جاده: گسترش یکباره شهر و توسعه کالبدی آن با افزایش ترافیک همراه بوده و رفع این مشکل مستلزم ایجاد کمربندی‌هایی جهت عبور ترافیک گذری شهر خارج از محدوده شهر بوده است که این امر موجب احداث دو اتوبان شمالی و جنوبی شهر تبریز شده است. این گذرها ابتدا صرفاً با هدف عبوری احداث شده اند ولی گسترش شهر در امتداد محورهای شمالی و جنوبی نقش این گذرها را تغییر داده و آن‌ها را تقریباً به گذرهای شهری تبدیل کرده است. احداث تقاطع‌ها و خروجی‌های وسیع در امتداد این گذرها خود علتی بر این مدعای است. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت گسترش شهر و احاطه شدن این اتوبان‌ها در تشدید خطر زمین لغزش تاثیر بسزایی داشته و خواهد داشت.

فاصله از گسل: گسل شمال تبریز که به عنوان یکی از مخرب ترین و فعال ترین گسل های ایران شناخته شده است دارای یک شاخه اصلی در شمال و شاخه های فرعی در شرق و شمال شرقی است. شاخه شمالی آن طبق نقشه تقریباً منطبق با اتویان پاسداران است که در مسیر خود از فرودگاه تبریز شروع شده و به سه راهی اهر و شهر جدید شهریار ختم می شود که در این مسیر محلات حاشیه نشین شمالی و شهرک های رشدیه، باغمیشه، ولی امر، نصر، بعثت، مرزداران، ولیعصر، فجر و بسیاری از نواحی دیگر را در بردارد. شاخه فرعی آن نیز در برگیرنده شهرک های ولیعصر شمالی، زعفرانیه و... می باشد. دقت در نقشه نشان می دهد رانش های اخیر در شرق شهر منطبق با شاخه های فرعی گسل است.

سطح ایستایی آب: هرچه از شمال شهر به سمت جنوب و غرب حرکت کنیم سطح ایستایی آب کاهش می یابد چنانچه این نوسان از ۵ متر شروع و به ۳۵ متر و بالاتر ختم می شود. با توجه به اینکه تقریباً اکثر نواحی مجاور با شاخه اصلی گسل تبریز در کمترین سطح ایستایی آب قرار دارند خطر زمین لغزش بیشتر در این مناطق احساس می شود.

زمین شناسی: مناطق شرقی و شمالی شهر با دارا بودن هسته های مارنی و رسی و قابلیت جذب شدید آب به حساس ترین و خطربناک ترین مناطق لغزشی تبدیل شده اند. همان طور که گفته شد مناطق شرقی منطبق با بافت جدیدالحداد شهر هستند ولی مناطق شمالی بافت های حاشیه نشین را شامل می شوند از آنجایی که این مناطق شیب بسیار تنیدی داشته در مسیر مسیل ها و آبهای جاری که از سمت کوه های عون این علی به سمت شهر روانه می شوند قرار دارند استعداد لغزشی این مناطق بسیار بالا است حتی محله سیلاپ قوشخانه که در منطقه قرار دارد با توجه به نام محله مشخص است که روزگاری محل عبور سیل بوده و در صورت رخ داد سیل دوباره می تواند نقش گذشته خود را ایغا کند که در این صورت علاوه بر خسارات سیل با رانش های وسیعی نیز مواجه خواهیم بود.

با دقت در نقشه های فوق مشاهده می شود که تقریباً همه معیارها هماهنگی خاصی با یکدیگر از نظر مناطق با استعداد بالا را دارند. چنانچه اکثر مناطق شمال و شمال شرقی شهر در پهنه های با استعداد بسیار بالا و بالا قراردارند که این نکته حاکی از شناخت صحیح معیارها و علی الخصوص زیرمعیارها است و بدین معنی است که مناطق یاد شده منطبق با مناطقی است که در طول زمان زمین لغزش ها در آن مناطق رخ داده است.

پس از شناسایی معیارهای موثر این معیارها وارد مدل تاپسیس فازی وزن شده اند. جدول شماره (۲) نشان دهنده اوزان (فاصله از ایده آل) معیارها و زیر معیارها مستخرج از مدل تاپسیس فازی است.

جدول شماره‌ی ۲: محاسبه فاصله معیارها از ایده آن مثبت و ایده آن منفی

| گسل | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------|--------|--------------------|---------|---------|--------------------|------|---------|----------|---------|--|
| | | AHP | \tilde{d}_{ij^+} | | | \tilde{d}_{ij^-} | | | | | |
| متغیر های زبانی | اعداد مثلثی فازی | weight | a1 | a2 | a3 | a1 | a2 | a3 | D* | D- | |
| کاملا سازگار | (۰.۷۵ ۱ ۱) | ۰.۲۰۶ | • | • | • | ۰.۱۵۴۵ | ۰.۲۱ | ۰.۱۵۴۵ | • | .۱۷۱۶۶۷ | |
| نسبتا سازگار | (۰.۵ ۰.۷۵ ۱) | ۰.۲۰۶ | ۰.۰۵۱۵ | ۰.۰۵۱۵ | • | ۰.۱۰۳ | ۰.۱۵ | ۰.۱۵۴۵ | ۰.۰۳۴۳۲۲ | .۱۳۷۳۲۲ | |
| بی تفاوت | (۰.۲۵ ۰.۵ ۰.۷۵) | ۰.۲۰۶ | ۰.۱۰۳ | ۰.۱۰۳ | ۰.۰۵۱۵ | ۰.۰۵۱۵ | ۰.۱ | ۰.۱۰۳۰ | ۰.۰۸۵۸۲۳ | .۰۸۵۸۲۳ | |
| نسبتا ناسازگار | (۰ ۰.۲۵ ۰.۵) | ۰.۲۰۶ | ۰.۱۵۴۵ | ۰.۱۵۴۵ | ۰.۱۰۳ | • | ۰.۰۵ | ۰.۰۵۱۵ | ۰.۱۳۷۳۲۲ | .۰۳۴۳۲۲ | |
| کاملا ناسازگار | (۰ ۰ ۰.۲۵) | ۰.۲۰۶ | ۰.۱۵۴۵ | ۰.۰۲۰۶ | ۰.۱۵۴۵ | • | • | | .۱۷۱۶۶۷ | • | |
| جنس خاک | | | | | | | | | | | |
| متغیر های زبانی | اعداد مثلثی فازی | weight | | | | | | | | | |
| کاملا سازگار | (۰.۷۵ ۱ ۱) | ۰.۳۳۷ | • | • | • | ۰.۲۵۲۷۵ | ۰.۲۴ | ۰.۲۵۲۷۵ | • | .۲۸۰۸۳۳ | |
| نسبتا سازگار | (۰.۵ ۰.۷۵ ۱) | ۰.۳۳۷ | ۰.۸۴۲۵ | ۰.۸۴۲۵ | • | ۰.۱۶۸۵ | ۰.۲۵ | ۰.۲۵۲۷۵ | ۰.۰۵۶۱۶۷ | .۲۲۴۶۶۷ | |
| بی تفاوت | (۰.۲۵ ۰.۵ ۰.۷۵) | ۰.۳۳۷ | ۰.۱۶۸۵ | ۰.۱۶۸۵ | ۰.۰۸۴۲۵ | ۰.۸۴۲۵ | .۱۷ | ۰.۱۶۸۵ | .۰۱۴۰۴۱۷ | .۱۴۰۴۱۷ | |
| نسبتا ناسازگار | (۰ ۰.۲۵ ۰.۵) | ۰.۳۳۷ | ۰.۲۵۲۷۵ | ۰.۲۵۲۷۵ | ۰.۱۶۸۵ | • | ۰.۰۸ | ۰.۰۸۴۲۵ | ۰.۲۲۴۶۶۷ | .۰۵۶۱۶۷ | |
| کاملا ناسازگار | (۰ ۰ ۰.۲۵) | ۰.۳۳۷ | ۰.۲۵۲۷۵ | ۰.۳۳۷ | ۰.۲۵۲۷۵ | • | • | | .۲۸۰۸۳۳ | • | |
| سطح استانی آب | | | | | | | | | | | |
| متغیر های زبانی | اعداد مثلثی فازی | weight | | | | | | | | | |
| کاملا سازگار | (۰.۷۵ ۱ ۱) | ۰.۲۷۱ | • | • | • | ۰.۲۰۳۲۵ | ۰.۲۷ | ۰.۲۰۳۲۵ | • | .۲۲۵۸۳۳ | |
| نسبتا سازگار | (۰.۵ ۰.۷۵ ۱) | ۰.۲۷۱ | ۰.۶۷۷۵ | ۰.۶۷۷۵ | • | ۰.۱۳۵۵ | ۰.۲ | ۰.۲۰۳۲۵ | ۰.۰۴۵۱۶۷ | .۱۸۰۶۶۷ | |
| بی تفاوت | (۰.۲۵ ۰.۵ ۰.۷۵) | ۰.۲۷۱ | ۰.۱۳۵۵ | ۰.۱۳۵۵ | ۰.۶۷۷۵ | ۰.۶۷۷۵ | .۱۴ | ۰.۱۳۵۵ | .۰۱۱۲۹۱۷ | .۱۱۲۹۱۷ | |
| نسبتا ناسازگار | (۰ ۰.۲۵ ۰.۵) | ۰.۲۷۱ | ۰.۲۰۳۲۵ | ۰.۲۰۳۲۵ | ۰.۱۳۵۵ | • | ۰.۰۷ | ۰.۰۷۶۷۵ | ۰.۱۸۰۶۶۷ | .۰۴۵۱۶۷ | |
| کاملا ناسازگار | (۰ ۰ ۰.۲۵) | ۰.۲۷۱ | ۰.۲۰۳۲۵ | ۰.۰۲۷۱ | ۰.۲۰۳۲۵ | • | • | | .۰۲۲۵۸۳۳ | • | |
| فاصله از جاده | | | | | | | | | | | |
| متغیر های زبانی | اعداد مثلثی فازی | weight | | | | | | | | | |
| کاملا سازگار | (۰.۷۵ ۱ ۱) | ۰.۰۸۸ | • | • | • | ۰.۰۶۶ | ۰.۰۹ | ۰.۰۶۶۰ | • | .۰۷۳۳۳۳ | |
| نسبتا سازگار | (۰.۵ ۰.۷۵ ۱) | ۰.۰۸۸ | ۰.۰۲۲ | ۰.۰۲۲ | • | ۰.۰۴۴ | ۰.۰۷ | ۰.۰۶۶۰ | ۰.۰۱۴۶۶۷ | .۰۵۸۶۶۷ | |
| بی تفاوت | (۰.۲۵ ۰.۵ ۰.۷۵) | ۰.۰۸۸ | ۰.۰۴۴ | ۰.۰۴۴ | ۰.۰۲۲ | ۰.۰۲۲ | ۰.۰۴ | ۰.۰۴۴۰ | ۰.۰۳۶۶۶۷ | .۰۳۶۶۶۷ | |
| نسبتا ناسازگار | (۰ ۰.۲۵ ۰.۵) | ۰.۰۸۸ | ۰.۰۶۶ | ۰.۰۶۶ | ۰.۰۴۴ | • | ۰.۰۲ | ۰.۰۲۲۰ | ۰.۰۵۸۶۶۷ | .۰۱۴۶۶۷ | |
| کاملا ناسازگار | (۰ ۰ ۰.۲۵) | ۰.۰۸۸ | ۰.۰۶۶ | ۰.۰۸۸ | ۰.۰۶۶ | • | • | | .۰۷۳۳۳۳ | • | |
| شیب | | | | | | | | | | | |
| متغیر های زبانی | اعداد مثلثی فازی | weight | a1 | a2 | a3 | a1 | a2 | a3 | D* | D- | |
| کاملا سازگار | (۰.۷۵ ۱ ۱) | ۰.۰۹۹ | • | • | • | ۰.۷۴۲۵ | ۰.۱ | ۰.۷۴۲۵ | • | .۰۰۸۲۵ | |
| نسبتا سازگار | (۰.۵ ۰.۷۵ ۱) | ۰.۰۹۹ | ۰.۲۴۷۵ | ۰.۲۴۷۵ | • | ۰.۰۴۹۵ | ۰.۰۷ | ۰.۷۴۲۵ | ۰.۰۱۶۵ | .۰۰۵۶ | |
| بی تفاوت | (۰.۲۵ ۰.۵ ۰.۷۵) | ۰.۰۹۹ | ۰.۰۴۹۵ | ۰.۰۴۹۵ | ۰.۲۴۷۵ | ۰.۰۴۹۵ | ۰.۰۷ | ۰.۰۴۹۵ | .۰۰۴۱۲۵ | .۰۰۴۱۲۵ | |
| نسبتا ناسازگار | (۰ ۰.۲۵ ۰.۵) | ۰.۰۹۹ | ۰.۷۴۲۵ | ۰.۷۴۲۵ | ۰.۰۴۹۵ | • | ۰.۰۲ | ۰.۰۴۷۵ | .۰۰۶۶ | .۰۱۶۵ | |
| کاملا ناسازگار | (۰ ۰ ۰.۲۵) | ۰.۰۹۹ | ۰.۷۴۲۵ | ۰.۰۹۹ | ۰.۷۴۲۵ | • | • | | .۰۰۸۲۵ | • | |

جدول شماره (۲)، که خروجی مدل تاپسیس فازی است نشان می دهد که در این تحقیق عوامل مؤثر در زمین لغزش با تأثیرات متفاوتی عمل می کنند. چنانچه عامل جنس خاک به عنوان مهمترین عامل و پس از آن به ترتیب عوامل سطح ایستایی آب، فاصله از گسل، شیب و فاصله از جاده قرار دارند که این عوامل در ارتباط با هم نقشه مناطق مستعد بروز زمین لغزش را شکل می دهند.

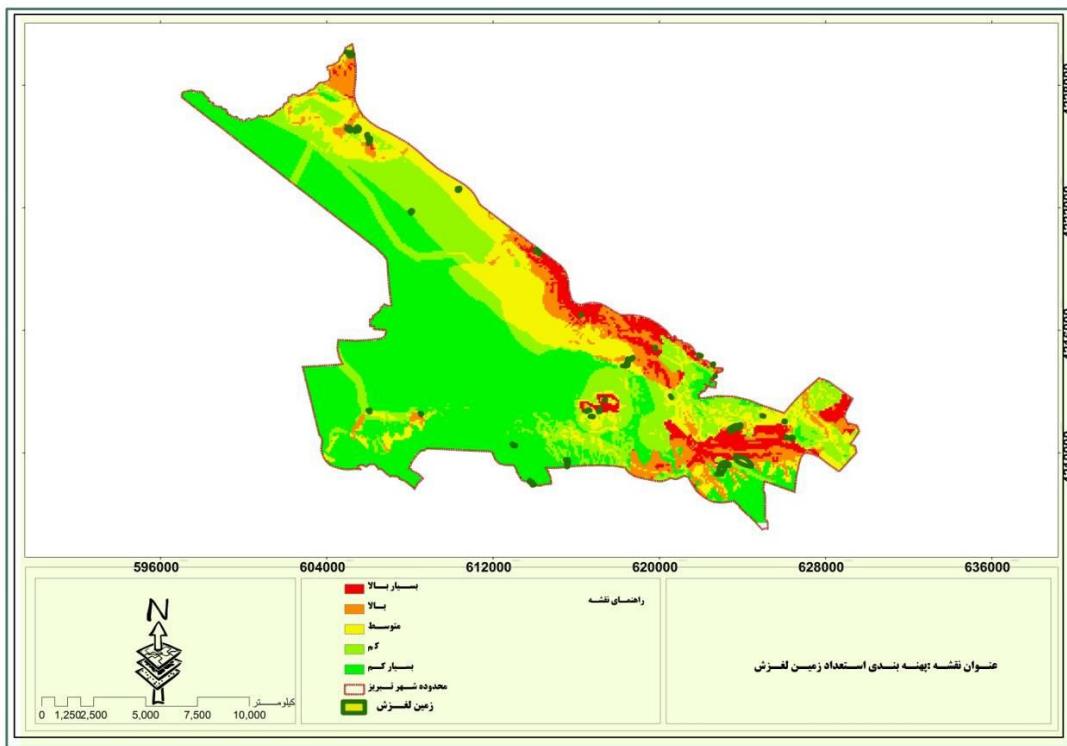
استخراج نقشه نهایی

شرایط ژئومورفولوژیکی و لیتوژئوگرافی شهر همراه با موقعیت کوهستانی آن باعث تشدید خطر زمین لغزش در آن شده است. نتایج نهایی نشانگر آن است که بیش از ۳۰ درصد محدوده شهر تبریز جز پهنه های با خطر متوسط به بالا هستند که این مناطق بیشتر در محدوده اراضی شمال و شمال شرقی پراکنده شده است. جدول شماره (۳)، بیانگر میزان و مساحت پهنه های خطر زمین لغزش در محدوده شهر تبریز است.

جدول شماره ۳: مساحت پهنه های زمین لغزش

| درصد | مساحت هر طبقه | مساحت هر پیکسل | تعداد پیکسل | مؤلفه ها |
|------|---------------|----------------|-------------|--------------------|
| ۶ | ۱۵۱۴۴۱۲۵ | ۲۵ | ۶۰۵۳۶۵ | استعداد بسیار بالا |
| ۸ | ۲۰۱۷۸۸۵۰ | ۲۵ | ۸۰۷۱۵۴ | استعداد بالا |
| ۱۷ | ۴۲۸۸۰۰۷۵ | ۲۵ | ۱۷۱۵۲۰۳ | استعداد متوسط |
| ۲۲ | ۵۵۴۹۱۸۷۵ | ۲۵ | ۲۲۱۹۶۷۵ | استعداد کم |
| ۴۷ | ۱۱۸۵۵۰۸۲۵ | ۲۵ | ۴۷۴۲۰۳۳ | استعداد بسیار کم |

جدول شماره (۳) و شکل شماره (۶) به خوبی مشخص می کند که مناطقی از شهر تبریز در وضعیت خطر متوسط به بالای احتمال بروز زمین لغزش قرار دارند. با توجه به مطالب قبلی در گذشته نیز زمین لغزش های فراوانی در این مناطق اتفاق افتاده است اما نکته قابل توجه این است که با وجود اینکه این بخش ۳۰ درصد محدوده شهر تبریز را اشغال کرده است اما این بخش دقیقاً پرتراکم ترین منطقه شهر از نظر جمعیتی است. چنانچه همپوشانی نقشه نهایی با نقشه بلوك های جمعیتی حاصل از نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ شهر تبریز نشان دهنده اسکان ۵۶۳۷۲۴ نفر در محدوده خطر متوسط به بالا است با توجه به نرخ رشد جمعیت در این ۵ سال تعداد این جمعیت بیش از ۶۰۰۰ هزار نفر خواهد بود که در مقیاس یک شهر جمعیت زیادی به حساب می آید. علاوه بر تراکم بالای جمعیتی وجود بافت های فرسوده و اسکان غیر رسمی در قسمت های شمالی و مناطق توسعه آتی در شرق این مناطق را به یکی از بحرانی ترین مناطق شهر تبدیل می کند. لازم به ذکر است که این مناطق در نقشه های پهنه بندی زمین لزه نیز همواره جز مناطق با آسیب پذیری بالا قرار داشته اند.



شکل شماره‌ی ۴: پهنۀ بندی استعداد زمین لغزش

نتیجه‌گیری

با دقت بر روی نقشه نهایی و نقشه پراکندگی گسل‌ها صحت و دقیق پژوهش اثبات می‌شود که پهنۀ‌های خطرناک نقشه نهایی تقریباً منطبق با لغزش‌های رخداده است. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش و الگوی ارایه شده در این مقاله روش مناسبی جهت پهنۀ بندی خطر زمین لغزش در محدوده شهرها است. به طور کلی قسمت‌هایی از محلات سیلاپ، ملازبنال، یوسف آباد، کوی ولیعصر، شهرک باغمیشه، کوی گلپارک، شهرک شهید یاغچیان، شهرک فجر، شهرک خاوران و شهرک صیاد شیرازی در محدوده‌های با خطر بسیار بالا و بالا قرار دارند اما محدوده‌های جنوبی و غربی کاملاً در محدوده‌های بی خطر قرار دارند. در قسمت‌های شمالی و شرقی نیز محدوده‌های وسیعی در پهنۀ‌های کم خطر وجود دارد.

با توجه به گستردگی محدوده مصوب شهر تبریز هنوز بیش از نیمی از اراضی در داخل محدوده باشد است. وجود چنین ظرفیتی همراه با وجود مخاطرات محیطی از جمله زمین لغزش لزوم یک برنامه ریزی کاربری اراضی در این شهر را اثبات می‌کند. این برنامه ریزی باید به سمت تهییه طرح‌های توسعه شهری با رویکرد مسئله محوری حرکت کند. چنانچه مهمترین مسئله برای شهر تبریز بحث مخاطرات طبیعی است که در این میان زمین لرزه و رانش زمین جز مهمترین آنها است. مناسبترین طرح توسعه شهر تبریز باید با مطالعه دقیق مخاطرات طبیعی شهر توسعه شهر را به سمت اراضی با ریسک پایین هدایت کرده در صدد کاهش تراکم مناطق پر خطر باشد در حالی که پر خطر ترین مناطق رانشی منطبق با پرتراکم ترین مناطق شهر هستند که در طرح‌های توسعه شهری نیز جز مناطق با تراکم بالا مشخص شده‌اند که ادامه این روند طبعاً باعث تشدييد مخاطرات طبیعی على الخصوص زمین لغزش خواهد بود. جهت کاهش خطرات ناشی از زمین لغزش در شهر تبریز، پیشنهادات زیر ارایه شده است:

- بررسی و مطالعه و تهیه طرح های ریز پهنه بندی مخاطرات محیطی از جمله خطر زمین لغزش توسط مدیریت شهری؛
- تهیه طرح های توسعه شهری با محوریت کاهش روند توسعه شهر به سمت شمال و شمال شرقی شهر .
- اتخاذ سیاست هایی جهت کاهش تراکم های ساختمانی و جمعیتی در بخش های شمال و شمال شرقی شهر .
- ایجاد کمربند سبز در بخش های شمالی شهر منطبق با مناطق واقع شده در حیریم گسل شمالی شهر جهت کاهش خطر زمین لغزش، استحکام خاک محدوده و جلوگیری از توسعه شهر در این مناطق و کاهش تراکم جمعیتی .
- رعایت حرایم اتویان های شمالی و جنوبی شهر و جلوگیری از احاطه شدن این اتویان ها با توسعه شهری .
- تخلیه مردم ساکن در نواحی با خطر بسیار بالا و تغییر کاربری در محدوده های پر خطر؛
- طراحی شهر در محدوده های پر خطر با لحاظ کردن خطر زمین لغزش؛
- استفاده از اراضی باир و فضاهای سبز در نواحی شمالی شهر جهت ایجاد پایگاه های اسکان و امداد و نجات در نزدیکی محدوده های پر خطر؛
- استفاده از سازه های پایدار و اصول مهندسی در طراحی سازه ها با توجه به شرایط لیتوژئیکی و پهنه بندی زمین لغزش در مناطق مختلف.

منابع

- اصغری زمانی، اکبر. (۱۳۷۹). «پژوهشی در روند حاشیه نشینی در ایران (نمونه موردی: تبریز). رساله کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری.تبریز.
- قبرزاده، هادی ؛ عباس رجبی کاریزکی. (۱۳۸۶). «پهنه بندی نواحی مستعد زمین لغزش در حوضه آبریز کال سالار (ترتیب حیدریه)».مجله علوم جغرافیایی.شماره ۵ و ۶ (بهار و تابستان). ۱۴۸-۱۲۷.
- صالحی پور علی رضا. (۱۳۸۰). «بررسی پارامترهای هیدرومورفیک مؤثر در حرکات دامنه ای حوضه آبریز چای با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.تهران.
- زنگی آبدی، علی ؛ نازنین تبریزی. (۱۳۸۵). زلزله تهران و ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری.پژوهش های جغرافیایی. شماره ۵۶ (تابستان): ۱۱۵-۱۳۰.
- روستائی، شهرام ؛ راحله علیزاده. (۱۳۹۱). «پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه صوفی چای». فضای جغرافیایی. سال دوازدهم. شماره ۳۹ (پاییز): ۱۷-۳۵.
- روستائی، شهرام. (۱۳۹۰). پهنه بندی خطر گسل برای کاربری های مختلف اراضی شهری. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۱ (بهار): ۴۱-۲۷.
- کرمی، محمدرضا. (۱۳۸۲). «مکان یابی هنرستان های فنی و حرفه ای با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی تبریز). رساله کارشناسی ارشد،دانشگاه تبریز.دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری.تبریز.
- کرم، عبدالکریم. (۱۳۸۳). کاربرد ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری).جغرافیا و توسعه. (پاییز و زمستان): ۱۳۱-۱۴۶.

- طالبی، علی؛ مریم ایزددوست. (۱۳۹۰). «بررسی کارابی مدل SINMAP در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)». علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال پنجم، شماره ۱۵ (تابستان): ۶۳-۶۸.
- خوب آیند، سعید. (۱۳۷۹). «روش های تأمین مسکن گروه های کم درآمد در ایران (نمونه موردی: تبریز)». رساله کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری. تبریز.
- خالدی، شهریار؛ خه بات درفشی. اکبر مهرجونزاد، سعیده قره چاهی. (۱۳۹۱). «ازبایی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش و پهنه بندی آن با استفاده از رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)». جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره اول (بهار): ۶۵-۸۲.
- مرکز آمار ایران. (۱۳۸۵). نتایج تفضیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵.
- مرادی، حمید رضا؛ علیرضا سپهوند. پرویز عبدالمالکی. (۱۳۹۱). «بررسی تعداد عوامل ورودی در مقدار دقت شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش (بررسی موردی: حوزه آبخیز هراز)». نشریه مرتع و آبخیزداری. مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۲ (تابستان): ۲۳۱-۲۴۳.
- نادری، فتح الله (۱۳۹۱). «کاربرد منطق فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز چرداب، پژوهش های آبخیزداری. شماره ۹۴ (بهار): ۷۴-۸۵.
- نصیری، شهرام. (۱۳۸۳). «نگرشی بر زمین لغزش های ایران بررسی موردی ناپایداری شیب ها در جاده هراز پایگاه ملی علوم زمین کشور».
- هاشمی، سیدهدایت؛ جلال کرمی. جمال امینی. عباس علی محمدی سراب. (۱۳۸۹). «پهنه بندی مناطق حساس به زمین لغزش با استفاده از الگوریتم فازی تابسیس و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان لرستان)». سنگش از دور و ایران. سال دوم. شماره چهارم (زمستان): ۲۳-۳۶.

Bhattarai, P. Marui, H. Aoyama, K. (۲۰۰۴); "Use of Soil Properties on Preliminary Slope Instability Mapping Along Prithiwi Highway, Nepal." Geothermal, Vol, ۳.

Guzzetti, Fausto and Alessandro Cesare Mondini (۲۰۱۲); "Landslide inventory maps: New Tools for an Old Problem", Earth-Science, Vol. ۱۱۲, Issues ۱-۲ (April): ۴۲-۶۶.

Guzzetti, Fausto and Paola Reichenbach (۲۰۰۵); "Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale", Geomorphology, Vol. ۷۲, Issues. ۱-۴ (December): ۲۷۲-۲۹۹.

Lucàa, Federica and Donato D'Ambrosio (۲۰۱۴); "Integrating Geomorphology, Statistic and Numerical Simulations for Landslide Invasion Hazard Scenarios Mapping: an Example in the Sorrento Peninsula (Italy)", Computers & Geosciences, Article in Press, Vol. ۶۵: ۱۶۳-۱۷۲.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, CH., Cascini, L., Leroi, E., Savage, Z.S., (۲۰۰۸); "Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning," Engineering Geology, Vol. ۱۰۲ : ۸۵-۹۸.

- Kumar Dahal, R., (۲۰۰۸); Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence”, Geomorphology, Vol. ۱۰۲:۴۹۶-۵۱۰.
- Mohammadi, A., Heshmatpoor, A., Mosaedi, A., (۲۰۰۴); Study on Efficiency of an Iranian Method for Landslide Hazard Zonation in Golestan Province (Iran), Geophysical Research Abstracts, Vol. ۶.
- Sakar, S., Kanungo, D.P., Mehrotra, G.S., (۱۹۹۵); “Landslide Zonation: A Case Study in Garhwal Himalaya, India, Mountain Research and Development, Vol. ۱۵, No. ۴:۳۰۱-۳۰۹.
- Lee, Saro and M. Kyungduck (۲۰۰۱); “Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea, Environmental Geology, No. ۴۰:۱۰۹۵-۱۱۱۳.
- Varnes, D. J., (۱۹۸۴); Landslide Hazard Zonation: A Review of Principle and Practice ,Paris: UNEXCO.
- Wang, Y. M., & Elhag, T. M. S. (۲۰۰۶); Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets With an Application to Bridge Risk Assessment. Expert Systems with Applications, Vol. ۳۱:۳۰۹-۳۱۹.
- Xu, Z. S., & Chen, J. (۲۰۰۷); “An interactive method for fuzzy multiple attribute group decision making, Information Sciences ,Volume ۱۷۷, Issue ۱, ۱ January ۲۰۰۷, Pages ۲۴۸-۲۶۳.
- Yalcin, A., (۲۰۰۸); “GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations”, Catena, , Volume ۷۷, Issue ۱, ۱ January ۲۰۰۸, Pages ۱-۱۲.
- Zimmerman, H. J. (۱۹۹۶); Fuzzy Sets Theory and its Applications. Boston: Kluwer Academic Publisher.