پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، شماره ٤، بهار ۱۳۹۲
صص. ۱۱۸-۱۰۳

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه[۱]

ابراهیم مقیمی* ـ استاد دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
مجتبی یمانی ـ دانشیار دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
سعید رحیمی‌هرآبادی ـ کارشناس‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۴/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۰۴

چکیده

یکی از موضوعات محوری در ژئومورفولوژی کاربردی، شناسایی پدیده‌های مخاطره آمیز و علل شکل‌گیری آنهاست. درکل بر اثر رفتارهای نادرست انسانی در کاربری‌های اراضی و تنگناهای محیطی، فرایندهای‌ژئومورفیک تبدیل به عوامل مخاطره‌زا می‌شود. با توجه به وقوع زلزلهٔ سال ۱۳٦۹رودبار و ناپایدارشدن دامنه‌های مشرف بر محیط شهری رودبار و نیز کاربری‌های اراضی نامتجانس، وقوع زمین‌لغزش در محیط شهری این منطقه عاملی مخاطره‌آمیز است. این مقاله تلاش دارد به ارزیابی و پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش در شهر رودبار بپردازد. برای این امر با استفاده از فرایند تحلیل شبکه و تعیین معیارهای پیشنهادی مبتنی بر بازدیدهای میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای در وقوع خطر زمین لغزش شهری، این معیارها در دو خوشهٔ اصلی مخاطرات طبیعی و زیست محیطی، شامل میزان شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، بارش سالانه، فاصله از گسل، مراکز مسکونی و آبراهه و حساسیت لیتولوژی طبقه‌بندی شد. در مرحلهٔ بعد با تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی از عناصر مزبور و ارزش‌گذاری آنها، این لایه‌ها در محیط ARC GIS مورد تحلیل قرار گرفت و نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در محدودهٔ کنترل کنندهٔ شهر رودبار با درجات خطر کم (٤درصد)، خطر متوسط (۷۱ درصد) و خطربالا (۲۵درصد) تعیین شد که نشان‌دهندهٔ درصد بالای فرایندهای مخاطره‌زا درمحدوده‌ی شهری است. در این فرایند عامل شیب و حساسیت لیتولوژی مهم‌ترین سهم را بر عهده داشته‌اند. در مجموع این موضوع آثار زمین‌لغزش شهری را بر روند الگوهای توسعهٔ شهر رودبار بیان داشته و مسائلی چون سیمای نامتجانس شهری، مسدودکردن شبکه‌های ارتباطی و مدفون کردن مناطق مسکونی و... را در برداشته است.

کلیدواژه‌ها: مخاطرات ژئومورفولوژیک، توسعهٔ شهر، فرآیند تحلیل شبکه، زمین‌لغزش، رودبار.

---

۱. این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد سعید رحیمی هرآبادی با عنوان "مخاطرات ژئومورفولوژیک دره سفیدرود و تأثیر آن بر توسعهٔ شهری رودبار" به راهنمایی دکتر ابراهیم مقیمی در دانشگاه تهران است.

* نویسنده مسئول : ۰۹۱۲۴۳۹۲۷۹۰ E-mail: moghimi_ir@yahoo.com

مقدمه

یکی از وظایف عمدهٔ دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی آسیب‌پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفولوژیک است (آیالا، ۱۳۸۹). پدیدهٔ مخاطرات در ژئومورفولوژی، ناشی از ناپایداری ویژگی‌های سطح زمین است (Ayala, 2002) که به‌دلیل دخالت انسان و زیرساخت‌های بشری به حوادثی مخاطره‌آمیز تبدیل می‌شوند (کرمی ،۱۳۸۶). در این بین شهرها که متراکم‌ترین مراکز انسانی هستند، طی توسعهٔ فیزیکی خود، ممکن است با برخی از مخاطرات ژئومورفولوژیک روبه‌رو شوند. ازجمله در مناطق کوهستانی، مخاطرات ناشی از فرآیندهای دامنه ای، گسترش شهرها را با تنگناهای متعددی روبه‌رو می‌کند. به‌طور کلی مخاطرات ژئومورفولوژیک شهری در مناطق کوهستانی، در دو دستهٔ اصلی بررسی می‌شوند: اول مخاطراتی که در ارتباط با مکان شهر، یعنی کوهستانی‌بودن ایجاد می‌شود و دوم، مخاطراتی که بر اثر تشدید استفاده از منابع و دگرگونی‌های محیط‌های شهری به‌وجود می‌آید (Bathrellos, 2007:1364). در این میان بیشترین سهم مطالعات ژئومورفولوژی شهری در مناطق کوهستانی، در ارتباط با پایداری و ناپایداری دامنه‌ها، تشخیص و شناخت چگونگی و علل حرکت آنهاست (مقیمی، ۱۳۸۷: ۲۴۰).

زمین‌لغزش یکی از فرآیندهای ژئومورفیک تأثیرگذار بر تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی (Roering et al., 2005) و نوع خاصی از فرآیندهای دامنه‌ای است که زاییدهٔ شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی است(رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸: ۱۱۰) که در صورت وقوع عدم تعادل در فرآیندهای ژئومورفیک آنها، محدودیت‌ها و خسارت‌های متعددی را فرا راه برنامه‌ریزان شهری در مناطق کوهستانی ایجاد می‌کند. در ایران به‌دلیل تعدد توپوگرافی کوهستانی، فعالیت‌های دوره‌ای زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، تنوع اقلیمی و زمین شناختی، افزایش جمعیت و فشار بی رویه بر منابع طبیعی و تغییرات کاربری در دهه‌های اخیر، شرایطی طبیعی برای بروز طیف گسترده‌ای از خطرات زمین لغزش‌ها را در ایران فراهم کرده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱).

درکل هرجا که ساخت شهر روی زمین ناپایدار برنامه‌ریزی شود، بررسی دقیق شرایط زمین و ارزیابی خطرپذیری‌های نسبی آنها ضروری است (روستایی و جباری، ۱۳۸۶: ۸۹). در این ارتباط شناسایی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش، به‌ویژه در سکونتگاه‌ها، گام مهمی در ارزیابی خطرپذیری این پدیده تلقی می‌شود (Sakar et al, 1995: 301). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس درجهٔ واقعی یا قابلیت مخاطره‌ای ناشی از بروز زمین‌لغزش روی شیب دامنه‌هاست (شریعت جعفری، ۱۳۷۵: ۱۴۸) در مطالعات زمین‌لغزش‌های شهری، این فرآیند برای ممیزی مناطق توسعهٔ فیزیکی شهر به‌صورت پایدار یا بسیار کم‌خطر، نسبتاً پایدار (کم خطر) و ناپایدار (پرخطر) و نیز بسیار پر مخاطره، در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری نقش اساسی دارد (عابدینی و مقیمی، ۱۳۹۱).

شهر رودبار به‌دلیل موقعیت دامنه‌ای و کوهستانی، دارای تنگناهای خاصی در زمینهٔ برنامه‌ریزی و مدیریت شهری است. از دید مسائل ژئومورفولوژیک، این شهر در توسعهٔ فیزیکی با مخاطراتی چون: زمین‌لرزه، ناپایداری‌های دامنه‌ای و سیلاب روبه‌روست (روستایی و جباری، ۱۳۸۶: ۱۷۶). در این نوشتار، خطر زمین‌لغزش شهری مؤثر در توسعهٔ شهر مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار گرفته است. به‌طور کلی هدف از چنین مطالعه‌ای، پهنه‌بندی کردن مناطق پایدار و ناپایدار شهر رودبار است که در برنامه‌ریزی محیطی و شهری آن می‌تواند تأثیرات مطلوبی بر جای گذارد. از سویی این شهر تازه‌ساز

پس از زلزلهٔ ۳۱ خرداد ۱۳۶۹، همچنان در مسیر توسعهٔ فیزیکی قرار دارد. از این رو، این نوشتار تلاش دارد با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل عناصر مؤثر در وقوع مخاطرات دامنه‌ای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه[1]، به تحلیل کمّی از مناطق پایدار و ناپایدار در این شهر بپردازد.

از آنجا که ارتباط توسعهٔ شهرها و خطرات زمین‌لغزش نقش چشمگیری در زمینهٔ مدیریت محیط‌های شهری، به‌ویژه در مناطق کوهستانی ایفا می‌کند، در دههٔ اخیرمطالعات‌گسترده‌ای در حوزهٔ خطر زمین‌لغزش‌های شهری انجام گرفته‌است. اسچاستر[2] (۱۹۹۵) به بررسی روش‌های کاهش خطر زمین‌لغزش در مناطق شهری، براساس تجارب ایالات متحده پرداخت. در این مطالعه روش‌هایی برای محدودکردن توسعهٔ شهری در مناطق مستعد زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفته است، روش‌هایی چون اجتناب با استفاده از روش حفاری (درجه‌بندی، محوطه‌سازی، و ساخت‌وساز)، استفاده از اقدامات فیزیکی مهندسی (فاضلاب، شیب هندسه، اصلاح، سازه، و پوشش گیاهی) برای جلوگیری یا کنترل رانش زمین و روش توسعهٔ سیستم‌های هشدار دهندهٔ لغزش مورد بررسی قرار گرفته است. اسمید[3] و رویل[4] (۲۰۰۰) به مخاطرات زمین‌لغزش‌های شهری، بروز و علل آن در ریودو ژانیروی برزیل پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که فشارهای مداوم گسترش شهری، بهره‌برداری از منابع طبیعی و بهره‌گیری از فرآیندهای جدید تغییر کاربری زمین، از عوامل مؤثر بر تشدید زمین‌لغزش‌های شهری در این منطقهٔ گرمسیری است. گوزتی[5] (۲۰۰۰) به مطالعهٔ آماری مرگ‌ومیر زمین‌لغزش و ارزیابی خطرات آن در شهرهای مناطق کوهستانی شمال ایتالیا و تجزیه و تحلیل پایگاه داده‌های لغزش‌های تاریخی آن پرداخت که نتایج آن نشان‌دهندهٔ مرگ‌ومیر بیش از ۱۰/۰۰۰ نفر، ازمجموع ۸۴۰ رویداد خطر زمین‌لغزش بوده است. داگلاس[6] و همکاران (۲۰۰۵) به‌ارزیابی آثاریکی از زمین‌لغزش‌های بزرگ کواترنری درآریزونای‌آمریکا بر توسعهٔ کلان‌شهر فنوایکس[7] و آسیب‌شناسی پیامدهای حاصل از گسترش آن بر تخریب پایکوهی دامنه‌های حاشیه‌های شهری پرداخت. در ایران نیز مطالعات گوناگونی در این‌زمینه انجام گرفته‌است؛ صفاری ومقیمی (۱۳۸۸) در مقاله‌ای به‌ارزیابی ژئومورفولوژیک و آسیب‌پذیری توسعهٔ شهری دامنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران از دید خطر زمین‌لغزش با بهره‌گیری از روش‌های کمّی پرداختند. صفاری (۱۳۸۷) در رسالهٔ خود به تجزیه و تحلیل قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان‌شهر تهران با هدف توسعه و ایمنی پرداخته است و به‌طور عمده به تحلیل‌های کمّی مخاطرات‌دامنه‌ای و سیلابی در کلان‌شهر تهران تأکید کرده است. ثقفی و رضایی مقدم (۱۳۸۴)، در مقاله‌ای با عنوان "کاربرد تکنیک‌های جدید برای طبقه‌بندی و تحلیل مخاطرات ژئومورفولوژی در گسترش شهر تبریز" علاوه‌بر شناسایی تنگناهای ژئومورفولویکی مؤثر در توسعهٔ فیزیکی کلان‌شهر تبریز، به طبقه‌بندی مناطق پایدار و ناپایدار شهر تبریز از دید مخاطرات تهدید کنندهٔ شهر اقدام کرده است. رضایی و استاد ملکرودی (۱۳۸۹) در مقاله‌ای با عنوان "محدودیت‌های ژئومورفولوژیک توسعهٔ فیزیکی رودبار" به

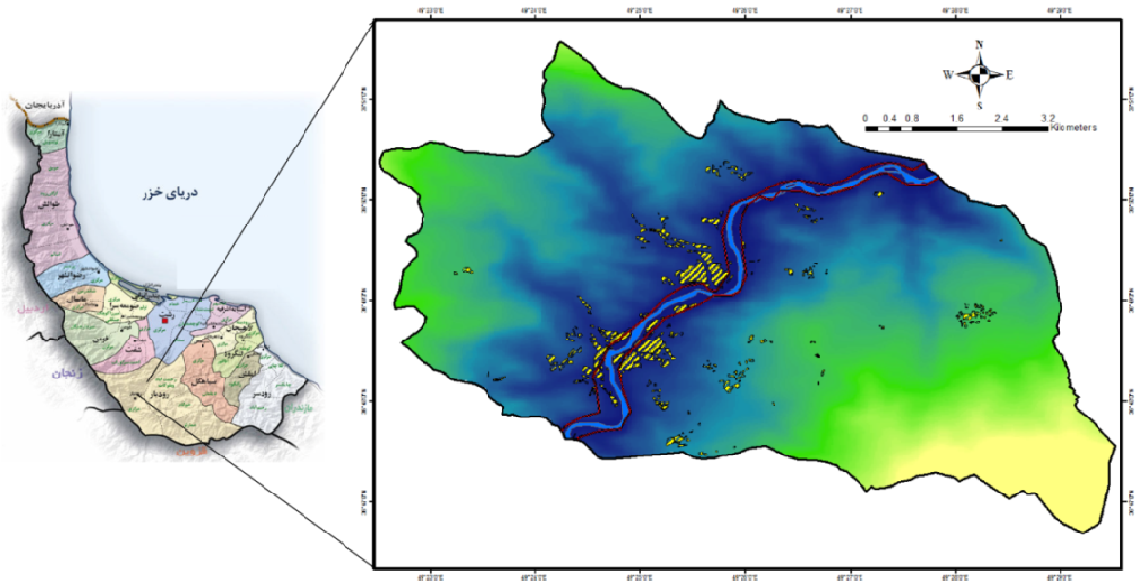
1. Analytic network process
2. Schuster
3. Smyth
4. Royle
5. Guzzetti
6. Douglass
7. Phoenix

بررسی عوامل اصلی تهدیدکنندهٔ توسعهٔ شهری پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که توسعهٔ فیزیکی شهر رودبار، تحت تأثیر عوامل محدودکننده‌ای قرار دارد. این عوامل به‌ترتیب شامل شیب، حرکات دامنه‌ای، گسل و خطر لرزه‌ای، مهم‌ترین نقش را در محدودیت‌های توسعهٔ فیزیکی شهر رودبار برعهده دارند.

در رابطه با پیشینهٔ مطالعاتی در زمینهٔ فرآیند تحلیل شبکه، می‌توان گفت که از این روش به‌طور عمده برای مکان‌یابی استفاده شده است. ساعتی (۲۰۰۵) که طراح این روش است، مقاله‌های بسیاری را در زمینهٔ سیستم‌های اقتصادی و پروژه منتشر کرده است. تازکایا و دیگران (۲۰۰۸) در مقاله‌ای، از روش تحلیل شبکه برای مکان‌یابی مطلوب صنایع و تأسیسات استفاده کردند. فرجی و دیگران (۱۳۸۹)، این روش را در مکان‌یابی محل دفن زبالهٔ بهداشتی در شهرستان قوچان به‌کار برده‌اند و کیانی و دیگران (۱۳۸۹) از فرآیند تحلیل شبکه در حوزهٔ شناخت وضعیت ICT در تبیین وضعیت شهری و روستایی و کاربران این فناوری، استفاده کردند. حسین‌زاده و دیگران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای، به بررسی و پهنه‌بندی خطرریزش سنگ در آزادراه رودبار ـ رستم‌آباد با استفاده از فرآیندتحلیل شبکه پرداختند. گفتنی است که تاکنون از این روش در رابطه با خطر زمین‌لغزش‌های شهری، مطالعه‌ای انجام نگرفته است.

موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

شهر رودبار که بخش مرکزی شهرستان رودبار به‌شمار می‌رود، یکی از شهرهای کوهپایه‌ای استان گیلان است و درکرانهٔ رودخانهٔ سفیدرود و در منطقه‌ای کوهستانی قرار گرفته است. این شهر در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه از خط استوا و ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۰ درجه ۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهر با ارتفاع متوسط ۲۵۰ متر و به‌طور عمده روی دامنه‌های مشرف به رودخانهٔ سفیدرود قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه در کشور و استان گیلان

منبع: نگارندگان

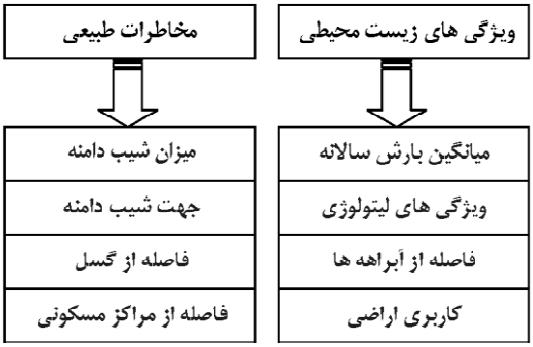
مواد و روش‌ها

در این مطالعه با توجه به هدف آن، یعنی ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهری، تلاش شده است تا عوامل مؤثر بر وقوع و تشدید زمین‌لغزش با تأکید بر نواحی شهری، به‌ویژه در مسائل توسعهٔ شهری رودبار مورد بررسی قرار گیرد. به‌همین منظور نخست با استفاده از روش فرم و فرایند، شکل و فرآیند محدودهٔ کنترل کنندهٔ محیطی شهری رودبار تعیین حدود شد. در مرحلهٔ بعد برای تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی، از معیارهای مؤثر مخاطره‌زا که با بازدیدهای میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای به‌دست آمد (از قبیل شیب، مقادیر ارتفاعی، کاربری اراضی و...) از نقشه های توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰ و۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، استفاده شد. در مرحلهٔ بعد، لایه‌های اطلاعاتی مؤثر که با نظر کارشناسان و بررسی‌های میدانی و کتابخانه‌ای به‌دست آمدند، در قالب مدل تحلیل شبکه مورد بررسی قرار گرفت.

فرآیند تحلیل شبکه یا ANP به‌طور کلی چارچوبی را برای تصمیم‌گیری و ارزیابی مسائل و مشکلات ایجاد می‌کند. این روش با استفاده از شبکهٔ معیارها، گزینه‌ها و گره‌های درون خوشه‌ها، فرآیند مدلی کردن مسائل و مشکلات را تعمیم و کلیت می‌بخشد (Mónica et al, 2009: 26). مدل ANP یک شکل کلی از مدل AHP است که روابط بین عناصر را همانند یک شبکه، به‌صورت ترکیبی با توصیف ارتباطات و مسیرهای عناصر بیان می‌کند (Wolfslehner et al, 2005). این مدل بخ‌های مختلفی دارد. بخش اول شامل ساختار سلسله‌مرتبی از معیارها و زیرمعیارها، بخش دوم شامل شبکهٔ ارتباطات و تأثیرات بین معیارها، بخش سوم بازخوردهای بین عناصر و خوشه‌ها (Sheeba Khan et al., 2007). بخش نهایی مربوط به تشکیل ابرماتریس است. در حقیقت یک ماتریس تصمیم، یک ماتریس تقسیم‌شده به‌اجزای کوچکتر است که هر جزء ماتریس، نمایانگر رابطه بین دو دسته در یک ماتریس است (نخعی و دیگران، ۱۳۸۹: ۲۴). تمامی روابط میان عناصر سطوح تصمیم‌گیری، به‌وسیلهٔ مقایسه‌های زوجی در روش ابرماتریس ارزشیابی می‌شود (دری و حمزه‌ای، ۱۳۸۹: ۸۱).

در این راستا برای استفاده از این روش در ارزیابی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش شهر رودبار، از مراحل مختلف زیر انجام شد:

۱. تعیین معیارها و شاخص‌ها در مشخص کردن خوشه‌ها و عناصر؛ ابتدا عناصر مرتبط با موضوع فرآیندهای ناپایداری‌های دامنه‌ای از راه مطالعات میدانی، پرس‌وجو از دست‌اندرکاران امر و استفاده از مطالعات پیشین، تعیین شدند. هشت عنصر اصلی درگیر در موضوع براساس مشابهت‌های موضوعی در دو خوشه، شامل ویژگی‌های زیست‌محیطی و مخاطرات طبیعی جای گرفتند (شکل ۲):



شکل۲. معیارهای مؤثر در وقوع خطر زمین‌لغزش شهری در رودبار

منبع: نگارندگان

۲. تعیین روابط و وابستگی‌های بین عناصر؛ در این مرحله مشخص شد که کدامیک از عناصر با عناصر دیگر در ارتباط بوده، بر آنها اثر می‌گذارد و از آنها اثر می‌پذیرد. از پرسش‌نامه و فرآیند دیماتل به‌منظور تعیین روابط بین عناصر برای مستند کردن و افزایش اعتبار و صحت پژوهش استفاده شد. تعداد ده پرسش‌نامه توسط کارشناسان ارائه شد و عناصر به‌صورت زوجی در یک ماتریس مقایسه و برحسب میزان اثرگذاری‌شان به همدیگر از ۱ تا ۵ ارزش‌گذاری شدند. نتایج پرسش‌نامه پس از نرمال‌سازی در برنامهٔ اکسل[1] در نرم‌افزار متلب[2] پردازش شده و درنهایت بار دیگر در برنامه اکسل نتایج نهایی به‌دست آمد.

۳. اعمال ارتباطات فوق در خوشه‌ها و عناصر؛ از این مرحله به بعد، مراحل مدل در نرم‌افزار ویژهٔ این فرآیند[3] انجام شد. نتایج ارتباطات به‌دست آمده، بر این عناصر و خوشه‌ها اعمال و برای وزن‌دهی اولیه آماده شدند. مرحلهٔ اصلی فرآیند تحلیل شبکه، وزن‌دهی و ارزش‌گذاری و درواقع مقایسه‌های زوجی بین عناصر و خوشه‌ها است. همان‌طور که گفته شد، مقایسه‌های زوجی در تحلیل شبکه‌ای، بر اساس معیار کنترلی انجام می‌شود. تنها زمانی یک عنصر یا خوشه می‌تواند معیار کنترلی در نظر گرفته شود که اثرگذاری آن در فرآیند دیماتل تأیید شده باشد. البته در این پژوهش با توجه به ارتباطات و اثرگذاری‌هایی که عناصر داخل یک خوشه بر همدیگر داشتند، ارتباطات همهٔ عناصر داخل دو خوشه دو طرفه در نظر گرفته شدند و از دیماتل برای تعیین ارتباطات بیرونی عناصر استفاده شد.

٤. وزن‌دهی و مقایسه‌های زوجی عناصر؛ برای این امر، از فرآیند پرسش‌نامه استفاده شد و تعداد ۲۰ پرسش‌نامه بین کارشناسان پخش شد تا در هر بخش با توجه به معیار کنترلی، عناصر و خوشه‌ها را بر حسب میزان اهمیت و برتری نسبت به هم مقایسه کنند. روند ارزش‌گذاری به‌ترتیب اهمیت از ۱ تا ۹ تعیین شد. نتایج پرسش‌نامه از طریق روش کپ‌لند[4] و از طریق برنامهٔ کپ‌لند محاسبه شد. پس از تعیین ارزش نهایی هر مقایسه، این ارزش‌ها و وزن‌های به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌ها، به نرم‌افزار super decisions انتقال یافته و درنهایت نرم‌افزار با استفاده از این وزن‌ها، ضریب و وزن نهایی پژوهش را از طریق فرآیند ابرماتریس و نرمال‌سازی آن توسط وزن خوشه‌ها، محاسبه می‌کند.

۵. طبقه‌بندی و امتیاز دهی لایه‌های اطلاعاتی؛ آخرین مرحلهٔ کار به نرم‌افزار ARC GIS مربوط می‌شود. در این مرحله، لایه‌های اطلاعاتی هر عنصر با توجه به اهمیتی که برای مکان‌یابی خطرات دامنه‌ای دارند، طبقه‌بندی و امتیازدهی می‌شوند و درنهایت برای تهیهٔ نقشهٔ نهایی، این لایه‌ها توسط ابزار Raster calculator تلفیق شده و وزن‌های نهایی که در مدل ANP برای هر عنصر به‌دست آمده بود را وارد لایه‌های مربوطه کرده و درنهایت، نقشهٔ نهایی مکان‌یابی خطر زمین‌لغزش در توسعهٔ شهری رودبار به‌دست آمد.

---

1. Excel
2. Matlab
3. super decisions
4. Copeland

یافته‌های پژوهش

ارزیابی و پهنه‌بندی متغیرهای مؤثر در خطر زمین‌لغزش شهری رودبار

پس از تعیین روابط بین معیارهای مؤثر در خطر زمین‌لغزش شهری با استفاده از پرسش‌نامه و تعیین ضرایب اولیهٔ هر عنصر از طریق مقایسه‌های زوجی که بر پایهٔ پرسش‌نامه انجام شد، ضرایب به‌دست آمده از مجموعهٔ عناصر در یک ابرماتریس گردآوری شده و درنهایت با استفاده از عملیات ریاضی در نرم‌افزار مربوطه، ابتدا ابرماتریس غیر وزنی و سپس ابرماتریس وزنی تشکیل شد. درنهایت با استفاده از این دو ابرماتریس، پس از نرمال‌سازی داده‌ها، ابرماتریس حدی تشکیل شد. این ابرماتریس، یک ضریب یکسان را برای همهٔ عناصر مورد مطالعه نشان می‌دهد (جداول ۱ تا ۳).

جدول ۱. ابرماتریس غیروزنی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر زمین‌لغزش شهری رودبار

ابرماتریس غیر وزنی		مخاطرات طبیعی					ویژگی‌های زیست محیطی		
		جهت شیب	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از گسل	میزان شیب	داده‌های لیتولوژی	فاصله از آبراهه	متوسط بارش سالانه	کاربری زمین
مخاطرات طبیعی	جهت شیب	۰	۰/۰۷۰۸۹۵	۰/۰۷۷۹۵۸	۰/۰۷۶۶۷	۰	۰	۰	۰
	فاصله از مناطق مسکونی	۰/۲۴۴۹۲۷	۰	۰/۲۸۷۱۹	۰/۱۹۳۱۸۵	۰/۸۳۳۳۳۳	۰/۲	۱	۰/۵
	فاصله از گسل	۰/۰۹۰۲۲۵	۰/۱۵۶۰۶۴	۰	۰/۷۳۰۱۴۵	۰	۰	۰	۰
	میزان شیب	۰/۶۶۴۸۴۸	۰/۷۷۳۰۴۱	۰/۶۳۴۸۵۲	۰	۰/۱۶۶۶۶۷	۰/۸	۰	۰/۵
	داده‌های لیتولوژی	۰	۰	۰	۰/۶۱۷۵۰۴	۰	۰/۷۶۹۱۹۹	۰/۴۹۳۳۸۶	۰/۶۳۰۰۹۷
ویژگی‌های زیست‌محیطی	فاصله از آبراهه	۰/۳۳۳۳۳۳	۰/۸	۰	۰/۰۸۵۶۳۱	۰/۶۲۴۹۴۳	۰	۰/۳۱۰۸۱۴	۰/۱۵۱۴۶۱
	متوسط بارش سالانه	۰	۰	۰	۰	۰/۰۶۲۵۲	۰/۰۳۸۴۷۲	۰	۰/۲۱۸۴۴۲
	کاربری زمین	۰/۶۶۶۶۶۷	۰/۲	۱	۰/۲۹۶۸۶۵	۰/۳۱۲۵۳۷	۰/۱۹۲۳۲۹	۰/۱۹۵۸	۰

منبع: نگارندگان

جدو ل ۲. ابرماتریس وزنی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر زمین‌لغزش شهری رودبار

ابرماتریس وزنی		مخاطرات طبیعی					ویژگی‌های زیست محیطی		
		جهت شیب	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از گسل	میزان شیب	داده‌های لیتولوژی	فاصله از آبراهه	متوسط بارش سالانه	کاربری زمین
مخاطرات طبیعی	جهت شیب	۰	۰/۰۳۵۴۴۸	۰/۰۳۸۹۹۷۹	۰/۰۳۸۳۳۵	۰	۰	۰	۰
	فاصله از مناطق مسکونی	۰/۱۲۲۴۶۳	۰	۰/۱۴۳۵۹۵	۰/۰۹۶۵۹۳	۰/۴۱۶۶۶۷	۰/۱	۰/۵	۰/۲۵
	فاصله از گسل	۰/۰۴۵۱۱۳	۰/۰۷۸۰۳۲	۰	۰/۳۶۵۰۷۲	۰	۰	۰	۰
	میزان شیب	۰/۳۳۲۴۲۴	۰/۳۸۶۵۲	۰/۳۱۷۴۲۶	۰	۰/۰۸۳۳۳۳	۰/۴	۰	۰/۲۵
	داده‌های لیتولوژی	۰	۰	۰	۰/۳۰۸۷۵۲	۰	۰/۳۸۴۶	۰/۲۴۶۶۹۳	۰/۳۱۵۰۴۹
ویژگی‌های زیست‌محیطی	فاصله از آبراهه	۰/۱۶۶۶۶۷	۰/۴	۰	۰/۰۴۲۸۱۵	۰/۳۱۲۴۷۲	۰	۰/۱۵۵۴۰۷	۰/۰۷۵۷۳
	متوسط بارش سالانه	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳۱۲۶	۰/۰۱۹۲۳۶	۰	۰/۱۰۹۲۲۱
	کاربری زمین	۰/۳۳۳۳۳۳	۰/۱	۰/۵	۰/۱۴۸۴۳۳	۰/۱۵۶۲۶۸	۰/۰۹۶۱۶۵	۰/۰۹۷۹	۰

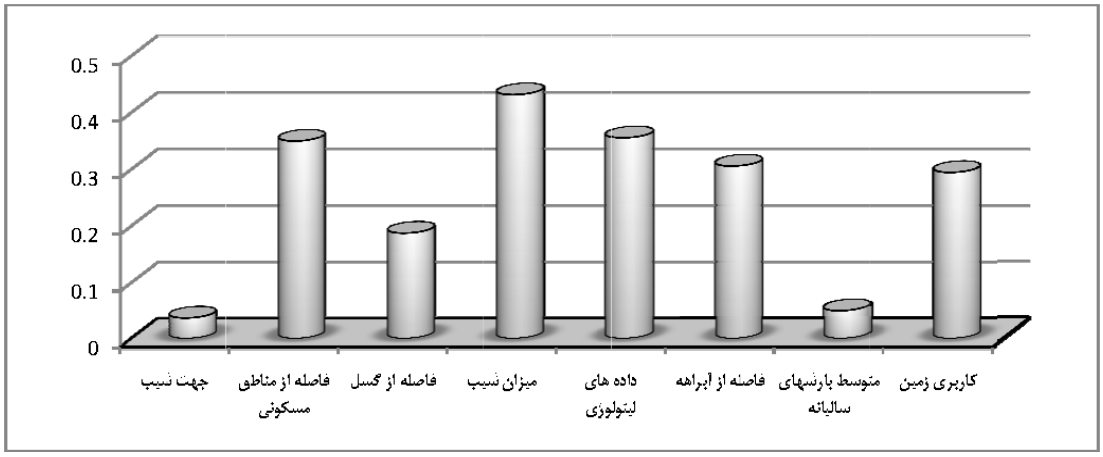
منبع: نگارندگان

جدول ۳. ابرماتریس حدی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر زمین‌لغزش شهری رودبار

ابرماتریس حدی		مخاطرات طبیعی					ویژگی‌های زیست محیطی		
		جهت شیب	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از گسل	میزان شیب	داده‌های لیتولوژی	فاصله از آبراهه	متوسط بارش سالانه	کاربری زمین
مخاطرات طبیعی	جهت شیب	۰/۰۱۸۰۳۳	۰/۰۱۸۰۳۳	۰/۰۱۸۰۳۳	۰/۰۱۸۰۳۳	۰/۰۱۸۰۲۳	۰/۰۱۸۰۳۳	۰/۰۱۸۰۳۳	۰/۰۱۸۰۳۳
	فاصله از مناطق مسکونی	۰/۱۷۴۱۱۹	۰/۱۷۴۱۱۹	۰/۱۷۴۱۱۹	۰/۱۷۴۱۱۹	۰/۱۷۴۱۱۹	۰/۱۷۴۱۱۹	۰/۱۷۴۱۱۹	۰/۱۷۴۱۱۹
	فاصله از گسل	۰/۰۹۲۸۷۹	۰/۰۹۲۸۷۹	۰/۰۹۲۸۷۹	۰/۰۹۲۸۷۹	۰/۰۹۲۸۷۹	۰/۰۹۲۸۷۹	۰/۰۹۲۸۷۹	۰/۰۹۲۸۷۹
	میزان شیب	۰/۲۱۴۹۶۹	۰/۲۱۴۹۶۹	۰/۲۱۴۹۶۹	۰/۲۱۴۹۶۹	۰/۲۱۴۹۶۹	۰/۲۱۴۹۶۹	۰/۲۱۴۹۶۹	۰/۲۱۴۹۶۹
	داده‌های لیتولوژی	۰/۱۷۷۰۲۸	۰/۱۷۷۰۲۸	۰/۱۷۷۰۲۸	۰/۱۷۷۰۲۸	۰/۱۷۷۰۲۸	۰/۱۷۷۰۲۸	۰/۱۷۷۰۲۸	۰/۱۷۷۰۲۸
ویژگی‌های زیست‌محیطی	فاصله از آبراهه	۰/۱۵۲۰۶۵	۰/۱۵۲۰۶۵	۰/۱۵۲۰۶۵	۰/۱۵۲۰۶۵	۰/۱۵۲۰۶۵	۰/۱۵۲۰۶۵	۰/۱۵۲۰۶۵	۰/۱۵۲۰۶۵
	متوسط بارش سالانه	۰/۰۲۴۴۵۵	۰/۰۲۴۴۵۵	۰/۰۲۴۴۵۵	۰/۰۲۴۴۵۵	۰/۰۲۴۴۵۵	۰/۰۲۴۴۵۵	۰/۰۲۴۴۵۵	۰/۰۲۴۴۵۵
	کاربری زمین	۰/۱۴۶۴۵۲	۰/۱۴۶۴۵۲	۰/۱۴۶۴۵۲	۰/۱۴۶۴۵۲	۰/۱۴۶۴۵۲	۰/۱۴۶۴۵۲	۰/۱۴۶۴۵۲	۰/۱۴۶۴۵۲

منبع: نگارندگان

در نهایت برای به‌دست آوردن ضریب نهایی هر عنصر، باید ضرایب به‌دست آمده از جدول ابرماتریس حدی را بر ضریب خوشه‌ها ضرب کرد تا ضریب نهایی هر عنصر به‌دست آورده شود. آن چنان که این عناصر نشان می‌دهد، در میان عناصر مخاطره‌زا، میزان شیب و لیتولوژی بیشترین نقش را در عملکرد وقوع خطر زمین‌لغزش منطقه برعهده داشته‌اند؛ زیرا در ارتباط نزدیکی با ضریب فاصله از مراکز مسکونی هستند (شکل ۳).



شکل ۳. نمودار مقایسهٔ میزان متغیرها و ضرایب مؤثر در تحلیل وقوع مخاطرات دامنه‌ای در محدودهٔ مورد مطالعه

منبع: نگارندگان

پس از به‌دست آوردن ضرایب نهایی حاصل شدهٔ هر عنصر با مدل ANP، این ضرایب می‌بایست بر لایهٔ اطلاعاتی هر عنصر اعمال شده و نقشهٔ نهایی آن در نرم‌افزار ARC GIS حاصل شود. اما پیش از این کار، این لایه‌های اطلاعاتی

باید از لحاظ میزان ارزش طبقه‌بندی شده و هم‌ارزش شود تا بتوان تحلیل نهایی را بر منطقه انجام داد. خصوصیت‌های این لایه‌ها در جدول ۴ درج شده است.

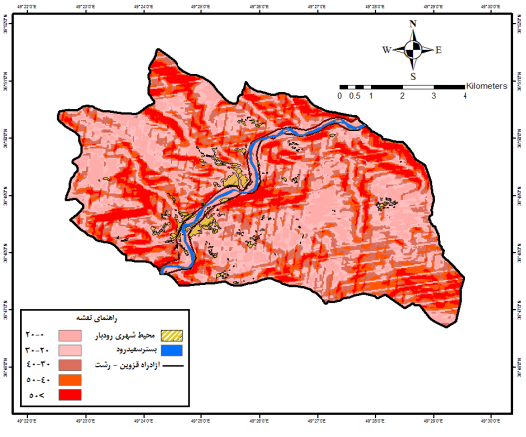
جدول ٤. خصوصیت‌های لایه‌های مؤثر در وقوع خطر زمین‌لغزش شهری رودبار

میزان شیب	از نظر مخاطرات ژئومورفولوژیک، شیب‌ها به مقادیر کمتر از ۲۰ تا ۳۰ درجه، ۳۰ تا ۵۰ درجه، ۵۰ تا ۷۰ درجه و بیش از ۷۰ درجه طبقه‌بندی شده است. در این لایه، میزان شیب در پنج طبقه دسته‌بندی شده است. در این لایه هرچه میزان شیب بیشتر باشد، ضریب خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.
جهت شیب	دامنه‌هایی که بیشتر در معرض نور آفتاب قرار می‌گیرند، نسبت به دامنه‌هایی که مدت زمان کمتری در برابر نور آفتاب قرار می‌گیرند، پایدارتر هستند. علت این پدیده را می‌توان به میزان تبخیر بیشتر و رطوبت کمتر این دامنه‌ها نسبت داد. از دید جهت شیب، مستعدترین شیب برای خطر زمین لغزش، شیب شمالی است. این لایه در چهار طبقه دسته‌بندی شد که به‌ترتیب پایداری در چهار طبقهٔ شمالی، غرب، شرقی و جنوبی دسته‌بندی شده است.
کاربری زمین	کاربری اراضی در محدودهٔ رودبار از سه بخش اصلی باغستان‌های زیتون که در دامنه‌ها پراکنده هستند، اراضی زراعی و بایر تشکیل شده است. این لایه برحسب نوع ارزش هر کاربری طبقه‌بندی می‌شوند. زمین‌های بایر بیشترین خطرات زمین‌لغزش را دارند و پس از آن زمین‌های زراعی و رودخانه در طبقه‌های بعدی قرار می‌گیرند.
لیتولوژی	با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدها نسبت به زمین‌لغزش، عامل لیتولوژی نقش مؤثری در پراکندگی مناطق با درجه خطر بالا دارد. در محدودهٔ شهری رودبار، ساختار لیتولوژی غالب را سنگ‌های آذرین و آتشفشانی تناوبی دورهٔ ائوسن، ماسه‌سنگ‌ها با تناوب میان‌لایه‌ای و آبرفت‌های کواترنری، به‌ویژه در سواحل بستر اصلی رودخانهٔ سفیدرود تشکیل می‌دهد که در برابر فعالیت‌های انسانی مانند، سکونتگاه‌ها و راه‌های ارتباطی و... از حساسیت بالایی در برابر خطر زمین‌لغزش برخوردار هستند. در این میان سنگ‌های آتشفشانی و توده‌ای و لس مستعدترین مناطق در برابر این نوع مخاطرات ژئومورفولوژیک شهری است.
فاصله از مرکز مسکونی	در تحلیل مخاطرات، دوری و نزدیکی به این عنصر نقش بسیار مهمی را در برنامه‌ریزی‌های محیطی منطقه از دیدگاه مخاطرات ژئومورفولوژیک زمین‌لغزش ایفا می‌کند. لایهٔ فاصله از مرکز مسکونی برحسب میزان ارزش طبقه‌بندی شد. بر این اساس، هرچه فرآیندهای مخاطره‌از فواصل کمتری از مراکز شهری داشته باشند، احتمال بیشتری برای وقوع ناپایداری دامنه‌ای و میزان خسارت آن به‌وجود خواهد آمد و درکل مخاطرات ژئومورفولوژیک در منطقه برمبنای دوری و نزدیکی و ارتباط با این مرکز است که مفهوم مخاطره را خواهند داشت.
فاصله از گسل	با افزایش فاصله از گسل، سطح گسیخته‌شده کاهش می‌یابد. با توجه به نقش فاصلهٔ کمتر از گسل‌ها در کاهش ناپایداری دامنه‌ای و مخاطرات زمین‌لغزش، برای تحلیل این عنصر مخاطره‌از در توسعهٔ شهری رودبار، این محدود در پنج فاصلهٔ اصلی طبقه‌بندی شده است.
حریم آبراهه	پراکندگی دامنه‌های ناپایدار، ارتباط تنگاتنگی با سیستم آبراهه دارد؛ زیرا تراکم بالای آبراهه‌ها نشان‌دهندهٔ وجود تعداد دامنه‌های زیاد و به‌تبع آن، تعداد دامنه‌های ناپایدار بیشتری است. از سوی دیگر زیرشویی ناشی از آبراهه‌ها، موجب برداشتن تکیه‌گاه شیب و برهم زدن تعادل دامنه شده و احتمال خطرات دامنه‌ای را برای مراکز شهری و راه‌های ارتباطی بالاتر می‌برد. از این رو، هرچه فاصله از آبراهه کمتر باشد، در وقوع مخاطرات شهر نقش بیشتری دارد.
میانگین بارش سالانه	این لایه در پنج طبقهٔ اصلی قرار گرفت. بر این اساس هرچه میزان بارش بیشتر باشد، مخاطرات دامنه‌ای اثرات بیشتری را برجای می‌گذارد.

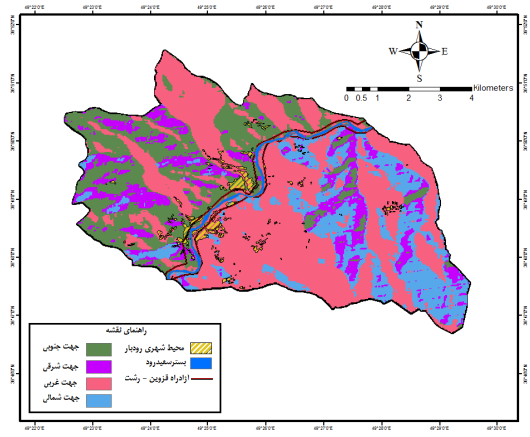
منبع: نگارندگان

برای این امر، ابتدا لایه‌های برداری کاربری زمین و داده‌های لیتولوژی به لایهٔ رستری تبدیل شده و در ادامه با استفاده از لایه‌های برداری گسل، آبراهه و راه، لایهٔ رستری حریم برای هر کدام تهیه شد. لایهٔ رستری شیب و جهت شیب از نقشهٔ رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر کشور و لایهٔ متوسط بارش سالانه هم از طریق میان‌یابی داده‌های بارش

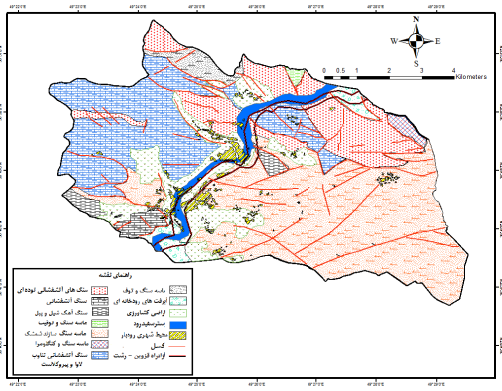
ایستگاه‌های اقلیمی اطراف منطقه به‌دست آمد. پس از تهیهٔ لایه‌های رستری مربوطه، این لایه‌ها بر حسب میزان و نوع تأثیرگذاری آن بر موضوع و منطقه، در قالب نقشه‌های شکل شماره ۴ طبقه‌بندی شدند.



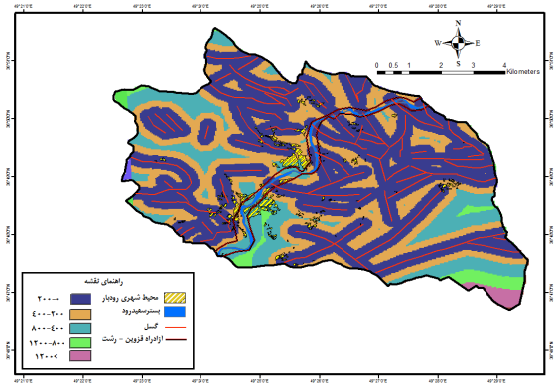
نقشهٔ جهت شیب



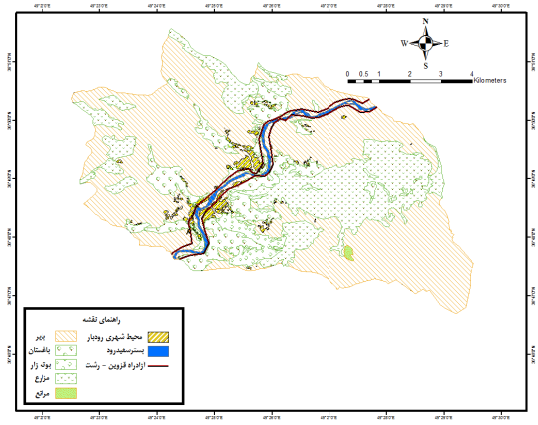
نقشهٔ میزان شیب



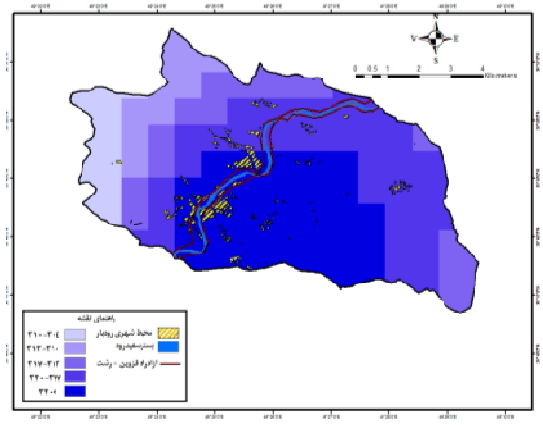
نقشهٔ فاصله از گسل



نقشهٔ داده‌های لیتولوژی



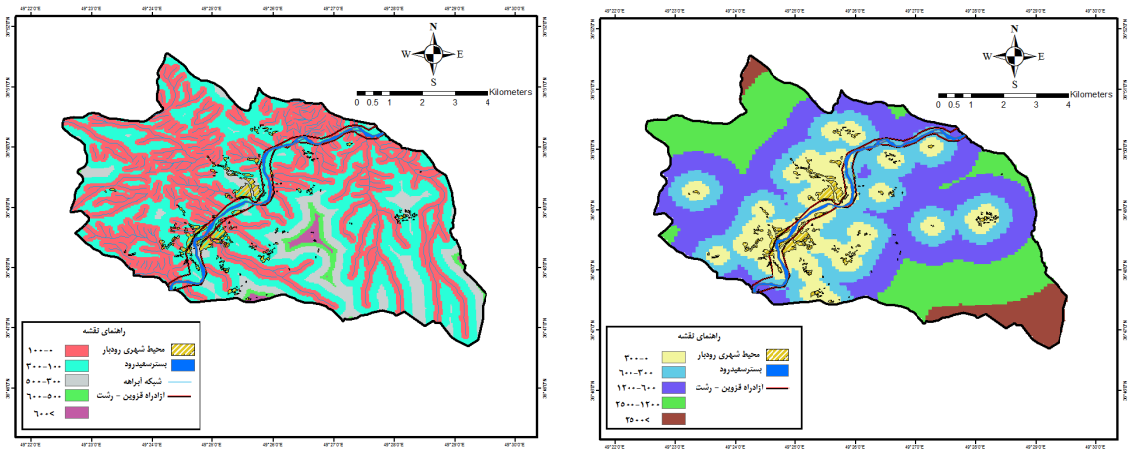
نقشهٔ میانگین بارش سالانه



نقشهٔ کاربری اراضی

شکل ٤. نقشه لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در وقوع خطر زمین‌لغزش شهری رودبار

منبع: نگارندگان



نقشهٔ فاصله از آبراهه نقشهٔ فاصله از مراکزمسکونی

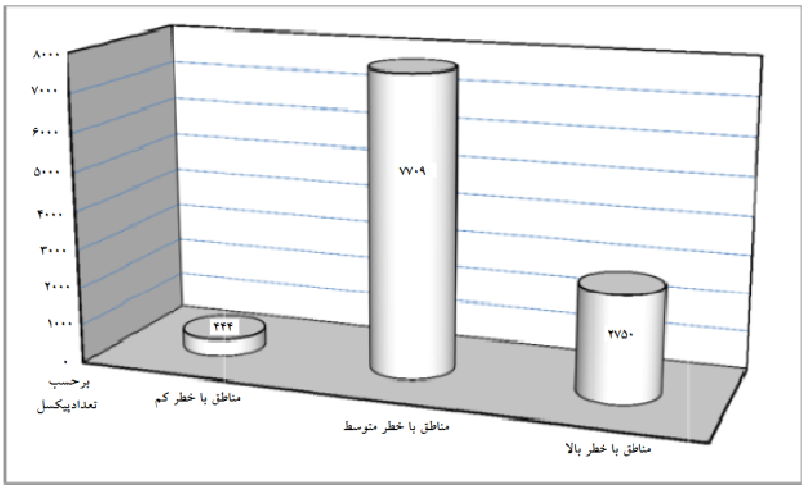
ادامهٔ شکل ٤. نقشهٔ لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در وقوع خطرزمین‌لغزش شهری رودبار

منبع: نگارندگان

در این پژوهش با ترکیب همهٔ لایه‌ها و اعمال همهٔ ضرایب به‌دست‌آمده از مدل تحلیل شبکه یا ANP، در بخش Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS، نقشهٔ نهایی مخاطرات به‌دست آمد. در واقع این نقشه بر مبنای ترکیبی از معیارهای فوق ترسیم شده است. به‌بیان دیگر طبقه‌بندی میزان شیب، جهت شیب، حریم گسل‌ها، حریم آبراهه‌ها، فاصله از مراکز مسکونی، حساسیت واحدهای لیتولوژی، نوع کاربری اراضی و میانگین بارش سالانه، در برابر وقوع مخاطرات دامنه‌ای در محیط شهری رودبار اعمال شده است.

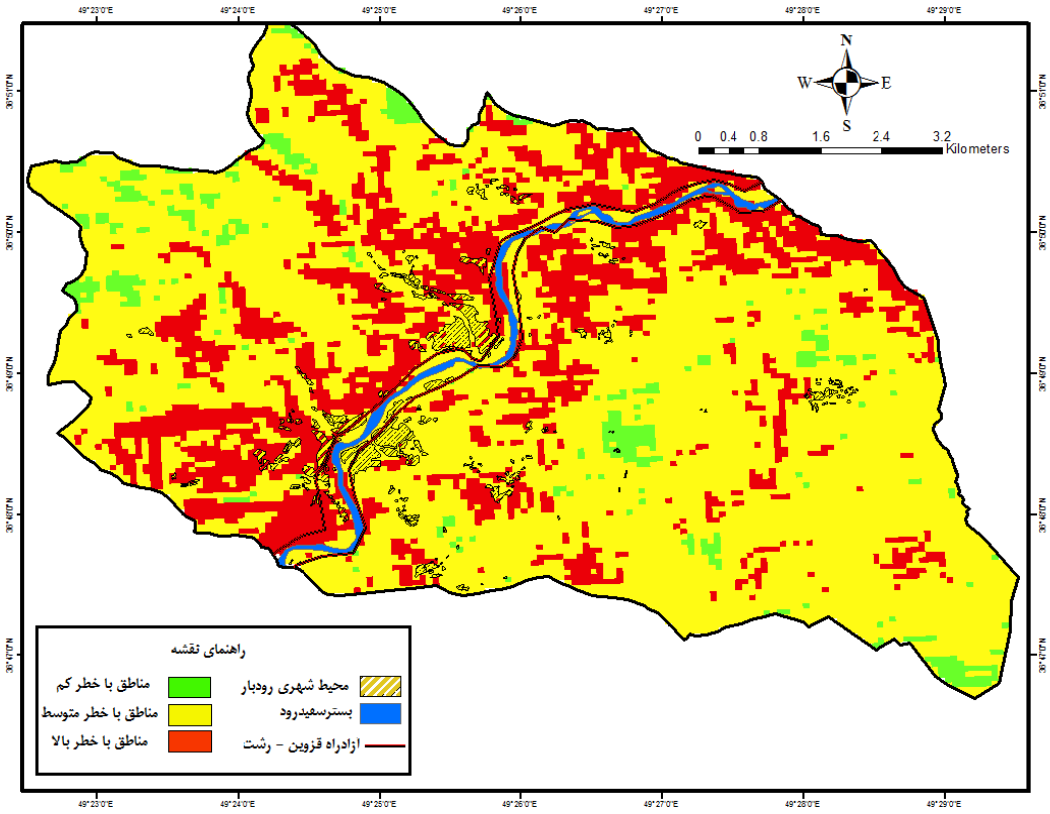
با بررسی نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش در محدودهٔ شهر رودبار، این منطقه در سه دستهٔ اصلی شامل مناطق با خطر کم (۴ درصد)، متوسط (۷۱ درصد) و بالا (۲۵ درصد)، طبقه‌بندی شد.

با توجه به نقشهٔ نهایی به‌دست آمده در این پژوهش، می‌توان گفت محدودهٔ کنترل کنندهٔ مناطق شهری در این منطقه، در یکی از پرخطرترین مناطق از دید خطر زمین‌لغزش است. به‌گونه‌ای که سکونتگاه‌ها و راه‌های ارتباطی کنونی، به‌طور عمده در پهنه‌های با خطر متوسط تا بالا استقرار یافته‌اند و از سوی دیگر فواصل و حریم مراکز شهری، بدون توجه به فرایندها و عناصر مخاطره‌زا، در مسیر توسعهٔ فیزیکی قرار گرفته‌اند و در آینده نیز روند گسترش شهری رودبار در این پهنه‌ها ادامه خواهد یافت. بنابراین توجه به این موضوع و تهدیدهای محیطی مناطق شهری در برنامه‌ریزی‌های الگوی توسعهٔ شهری رودبار، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بر اساس شکل ۶، مناطق با درجهٔ پایدار و کم خطر سهم ناچیزی را به خود اختصاص داده است. به‌طور کلی این نقشه یک سند اساسی کیفی است که می‌توان برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای از آن استفاده کرد و در مطالعات توسعهٔ پایدارشهری نیز در آینده از آن بهره برد. از طرفی این موضوع و آسیب پذیری‌های شهری ناشی از ناپایداری‌های دامنه‌ای با بازدیدهای میدانی مورد تأیید قرارگرفت. نمونه‌ای از این مخاطرات در ساختار شهری را می‌توان در شکل شماره ۷ مشاهده کرد.



شکل ۵. مقادیر درجهٔ خطر در محدودهٔ مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



شکل ٦. نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدودهٔ مورد مطالعه

منبع: نگارندگان

شکل۷. مجاورت نقاط مسکونی و آستانهٔ وقوع خطرات دامنه‌ای(محلهٔ لویه در رودبار)
منبع: نگارندگان

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش رو با تعیین عناصر مؤثر در وقوع خطر زمین‌لغزش شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، میانگین بارش سالانه، فاصله از گسل، آبراهه و مراکز مسکونی، با اعمال نظر کارشناسان، پیشینهٔ مطالعاتی و بازدیدهای میدانی و نیز، استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه و وزن‌دهی این عناصر نسبت به یکدیگر، هر عنصر بر مبنای نظر کارشناسان، نسبت به عملکرد وقوع خطر زمین‌لغزش شهری پهنه‌بندی شد، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد از میان متغیرهای مورد بررسی، دو عامل شیب و لیتولوژی بیشترین سهم را در ضرایب مؤثر در وقوع خطر زمین‌لغزش شهری رودبار داشته‌اند؛ به‌گونه‌ای که سهم مناطق با شیب کمتر از ۲۰ درصد، تنها ۲۲ درصد از پوشش منطقه را از محدودهٔ تعیین‌شده دربرگرفته است. این در حالی است که دامنهٔ شیب مناسب از نظر استانداردهای شهرسازی پایدار برای ساخت‌وسازهای شهری، میزان شیب ۸ درجه یا ۱۵درجه تشخیص داده شده است (اصغری مقدم، ۱۳۷۸). در میان عناصر مخاطره‌زای دیگر در وقوع زمین‌لغزش شهری رودبار، عامل لیتولوژی از بُعد حالت توده‌ای آن، آسیب‌پذیر نشان داده شده است. در این منطقه، ساختار لیتولوژی غالب را سنگ‌های آتشفشانی تناوبی دورهٔ ائوسن، ماسه‌سنگ‌ها با تناوب میان لایه‌ای شیل و آبرفت‌های کواترنری تشکیل می‌دهند که در برابر فعالیت‌های انسانی، مانند ساخت سکونتگاه‌ها و راه‌های ارتباطی درون‌شهری و... از حساسیت بالایی برخوردار هستند. این خصوصیت‌ها در برابر آسیب‌رسانی به سازه‌های انسانی بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت؛ زیرا مخاطراتی همچون زمین‌لغزش‌های ناگهانی، در اثر فعالیت انسانی مانند، ساخت جاده‌ها و ساختمان‌ها، ایجاد شاه لوله‌های آب و .... در اثر فشارهای وارده به آن، در صورت عدم پیشگیری به‌وقوع خواهند پیوست. براساس یافته‌های این پژوهش از نظر معیار کاربری اراضی، اراضی بایر در حصار باغ‌های زیتون قرار دارند، این شرایط ممکن است باغ‌های درون‌شهری را با خسارت‌های متعددی روبه‌رو کنند که محافظت از آنها ضروری

است. از نظر خصوصیت‌های اقلیمی و میانگین بارش سالانه، این منطقه در محدودهٔ کوهستانی مدیترانه‌ای تا نیمه‌خشک قرار دارد که عامل دیگر محرک زمین‌لغزش‌های شهری به‌شمار می‌رود. همچنین نقشه‌های فاصله از مراکز مسکونی منطقه نشان می‌دهد که تعیین حریم این مراکز با حریم فاصله از گسل و حریم آبراهه‌ها از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست. از نظر خطر زمین‌لغزش، مطابق با آنچه در یافته‌های پژوهش بیان شد، این منطقه در سه دستهٔ اصلی، شامل مناطق با خطر کم (۴ درصد)، متوسط (۷۱ درصد) و بالا (۲۵ درصد)، پهنه‌بندی شد. از این رو مناطق شهری این منطقه، در یکی از پرخطرترین مناطق از دید مخاطرات ناشی از فرآیندهای دامنه‌ای قرار دارد؛ به‌طوری که استقرار سکونتگاه‌های شهری و راه‌های ارتباطی کنونی، اغلب در پهنه‌های با خطر متوسط تا بالا استقرار یافته‌اند، زیرا معیارهای مؤثری که در فرآیند تحلیل شبکه به‌صورت ترکیبی در کنار یکدیگر مورد ارزیابی قرار گرفتند، نشان از این موضوع دارد که مناطق ناپایدار از محدودهٔ اطراف مراکز انسانی گسترش پیدا کرده و به‌سمت پیرامون کشیده شده است و بنابراین مؤید استعداد بالای خطرپذیری زمین‌لغزش در این محدوده است. بر این اساس، در آینده رشد و توسعهٔ شهرها مطابق با این روند در پهنه‌های با خطر بالا گسترش خواهد یافت. از جمله شواهدی که در این راستا قابل مشاهده است، تراکم شهری در مجاورت بستر رودخانهٔ سفیدرود و پراکندگی ناموزون مراکز شهری در سطوح دامنه‌ها است. این مسئله علاوه‌بر ایجاد سیمای نامتجانس شهری، مسائل متعددی را در زمینهٔ حمل‌ونقل و دسترسی به مراکز خدماتی و به‌ویژه، مدیریت بحران به‌وجود آورده است. از سوی دیگر، آسیب‌پذیری استقرار سکونتگاه‌ها در برابر خطرات ناشی از زمین‌لغزش، مانند مدفون شدن مناطق مسکونی و تخریب معابر شهری، از دیگر پیامدهای ناپایداری‌های دامنه‌ای در محدودهٔ مورد مطالعه است. این شرایط لزوم توجه به راهکارهای پیشگیری از خسارت‌های آتی و تصمیم‌گیری‌های اساسی در رابطه با تدوین الگوهای برنامه‌ریزی شهری در این منطقه را ضروری می‌کند.

منابع

آیالا، ا. (۱۳۸۹). **کاربردهای علم ژئومورفولوژی، مخاطرات طبیعی در آسیب پـذیری و جلـوگیری از بلایـای طبیعـی در کشورهای درحال توسعه**، ترجمهٔ رضا خوش‌رفتار، مجله رشد آموزش جغرافیـا، دوره بیسـت و پـنجم، شـماره ۲، صـص. ۱۴-۲۳.

اصغری مقدم، م.ر. (۱۳۷۸). **جغرافیای طبیعی شهر، ژئومورفولوژی**، تهران: انتشارات مسعی.

حسین زاده، م. م.؛ رحیمی هرآبادی،س.؛ اروجـی، ح.؛ صـمدی،م. (۱۳۹۱). **بررسـی خطـر ریـزش سـنگ در آزادراه رودبـار- رستم‌آباد با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دوم، صص. ۱۳۲-۱۱۷.

دری، ب.؛ حمزه‌ای، ا. (۱۳۸۹). **تعیین استراتژی پاسخ به ریسک در مدیریت ریسک بـه وسـیله تکنیـک ANP (مطالعـه موردی: پروژه توسعه میدان نفتی آزادگان شمالی)**، نشریه مدیریت صنعتی، دوره ۲، شماره ۴، صص. ۱۰۰-۷۵.

رضایی مقدم، م. ح.؛ ثقفـی، م. (۱۳۸۴). **کاربرد تکنیک‌های جدید برای طبقه بندی و تحلیـل مخـاطرات ژئومورفولـوژی در گسترش شهر تبریز** ، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۹، شماره ۱، صص. ۷۵-۴۷.

رضایی، پ.، استاد ملکرودی، پ. (۱۳۸۹). **محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی توسعه فیزیکی شهر رودبار،** فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۷، صص. ۵۲-۴۱ .

رمضانی، ب.؛ ابراهیمی، ه . (۱۳۸۸). **زمین‌لغزش و راهکارهای تثبیت آن،** فصلنامه آمایش محیط، سال دوم، شماره ۷، صص. ۱۱۸-۱۱۰.

روستایی، ش.؛ جباری، ا. (۱۳۸۶). **ژئومورفولوژی مناطق شهری،** تهران: انتشارات سمت.

سازمان زمین‌شناسی کشور، **نقشهٔ زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه رودبار.**

سازمان نقشه‌برداری کشور، **نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برگه رودبار.**

شریعت جعفری، ح. (۱۳۷۵). **زمین‌لغزش، مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی،** تهران: انتشارات سازه.

صفاری، ا. (۱۳۸۷). **قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان‌شهرتهران به‌منظور توسعه و ایمنی،** رساله دکترای رشتهٔ جغرافیای طبیعی ـ ژئومورفولوژی، به راهنمایی دکتر ابراهیم مقیمی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

صفاری، ا.؛ مقیمی، ا. (۱۳۸۸). **ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران،** پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۷، صص. ۷۱- ۵۳.

عابدینی،م.؛ مقیمی، ا. (۱۳۹۱). **نقش تنگناهای ژئومورفولوژیکی در توسعه کالبدی کلان‌شهر تبریز به‌منظور کاربری بهینه،** مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۱، صص. ۱۶۶- ۱۴۷.

فرجی سبکبار، ح. ع.؛ سلمانی، م.؛ فریدونی، ف.؛ کریم‌زاده، ح.؛ رحیمی، ح. (۱۳۸۹). **مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه‌ای تحلیل ANP (مطالعه موردی: نواحی روستایی شهرستان قوچان)،** مدرس علوم انسانی ـ برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره ۱، صص. ۱۵۰- ۱۲۷.

کرمی، ف. (۱۳۸۶). **مخاطرات ژئومورفولوژیک ناشی از ساخت و توسعهٔ راه‌های روستایی با تاکید بر حرکات توده‌ای و ایجاد خندق(مطالعه‌ی موردی: روستاهای شهرستان سراب)،** فضای جغرافیایی، سال ششم، شماره ۱۶، صص. ۸۵-۱۰۵.

کیانی، ا.؛ خنجری عالم، ا.؛ فاضل نیا، غ. (۱۳۸۹). **کاربرد مدل ANP در ارائه الگوهای مناسب ICT جهت بهینه سازی رابطه شهر و روستا: شهرستان الشتر،** مدرس علوم انسانی- برنامه ریزی و آمایش فضا ، دوره چهاردهم، شماره ۲، صص. ۲۶۷-۲۴۹.

مقیمی، ا. (۱۳۸۷). **ژئومورفولوژی شهری،** چاپ سوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

نخعی کمال‌آبادی ع.؛ امیرآبادی، م. و محمدی‌پور، ه . (۱۳۸۹). **انتخاب استراتژی بهینه بر اساس تحلیل SWOT و روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)، مطالعه موردی: شرکت پتروشیمی اراک)،** فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی، سال پنجم، شماره ۱۱، صص. ۳۴-۲۱.

یمانی، م.؛ احمدآبادی، ع.؛ زارع، غ. (۱۳۹۱): **به‌کارگیری الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه)**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال اول، شماره سوم، صص. ۱۲۵-۱۴۲.

Bathrellos, G.D., 2007, **An Overview in Urban Geology and Urban Geomorphology,** Bulletin of the Geological Society of Greece vol 2007 Proceedings of the 11th International Congress, May 2007, Athens.

Douglass, J., Dorn, R. I., Gootee, B., 2005, **A Large Landslide on the Urban Fringe of Metropolitan Phoenix, Arizona,** Geomorphology, Vol. 65, No. 3/4, PP. 321–336.

Guzzetti, F., 2000, **Landslide Fatalities and the Evaluation of Landslide Risk in Italy**, Engineering Geology, Vol. 58, No. 2, PP. 89-107.

Mónica, M., Tomás, G., Silvia, A. D., 2009, **An ANP Approach to Assess the Sustainability of Tourist Strategies for the Coastal NP of Venezuela**, Technological and Economic Development of Economy, Vol. 16, No. 4, PP. 672-689.

Roering, J.J., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E., 2005, **Characterizing Structural and Lithologi Controls on Deep-seated Landsliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in the Oregon Coast Range**, Geological Society of AmericaBulletin, No.117, PP. 654-668.

Saaty, T. L., 2005, **Making and Validating Complex Decisions With the AHP/ ANP,** Journal of Systems Science and Systems Engineering**,** Vol. 14, No. 1, PP.1-36.

Sakar, S., Kanungo, P., Mehrotar, G.S., 1995, **Landslide Zonation: a Case Study in Garhwal Himalaya. India**, Mountain Research and Development, No. 5, PP. 301-311.

Schuster, R.L., 1995, **Reducing Landslide Risk in Urban Areas - experience in the United States**, Urban Disaster Mitigation: The Role of Engineering and Technology, No.2, PP. 217-230.

Sheeba, Kh., Mohd, N. F., 2007**, An Analytic Network Process Model for Municipal Solid Waste Disposal Options,** Waste Management, Vol. 28, No. , PP.1500–1508.

Smyth, C.G., Royle, S.A., 2000, **Urban landslide hazards: incidence and causative factors in Niterói, Rio de Janeiro State, Brazil**, Applied Geography, Vol. 20, Issue 2, , PP. 95–118.

Tuzkaya, G., Tuzkaya, U. R., Lsun, B. G., 2008, **An Analytic Network Process Approach for Locating Undesirable Facilities: An Example from Istanbul, Turkey**, Journal of Environmental Management, No.88, PP. 970-983.

Wolfslehner, B., Harald, V., Manfred, J.L., 2005, **Application of the Analytic Network Process in Multi-criteria Analysis of Sustainable Forest Management**, Forest Ecology and Management, Vol. 207, No. 1/2, PP. 157-170.