پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دهم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۰
صص. ۱۹۱-۱۷۲

ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش در ارتباط با توسعه شهری پاوه

عبدالمجید احمدی- استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
عبدالکریم ویسی* _ دانش آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۹ تائید نهایی: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰

چکیده

رشد شتابان جمعیت شهری پاوه و توسعه شهری آن در سال‌های اخیر از موضوعات موردتوجه برنامه‌ریزان شهری منطقه بوده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیرات فرم و فرایندهای ژئومورفولوژیکی در توسعه شهری و تحلیل مخاطرات محیطی پاوه است. در این راستا با مطالعات میدانی فرم‌ها و فرایندهای ژئومورفولوژیک منطقه شناسایی و نقشه ژئومورفولوژی منطقه در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه گردید. مهم‌ترین محدودیت‌های ژئومورفیک توسعه فیزیکی شناسایی شد و وضعیت بخش‌های مختلف شهر پاوه در ارتباط با این محدودیت‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. مخاطره زمین-لغزش به‌عنوان عامل محدودکننده مهم با استفاده از مدل ویکور بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که محدودیت‌های توپوگرافی و در رأس آن‌ها شیب زیاد، دره‌های یالی، آبراهه‌ها و مخاطره زمین‌لغزش مهم‌ترین موانع در راه توسعه فیزیکی پایدار شهر پاوه است. ارزیابی مخاطره زمین-لغزش نشان داد که بیش از ۴۳ کیلومترمربع از منطقه موردمطالعه در محدوده خطر زیاد واقع شده است و این در حالی است که ۴۱ درصد از سطح کنونی شهر پاوه بر روی مناطق ناپایدار واقع‌شده است. شیب زیاد، وجود رسوبات منفصل و هوازده، نزدیکی به خطوط گسلی و جاده، توان بالای آبراهه و از بین رفتن پوشش گیاهی احتمال وقوع زمین‌لغزش در بخش‌های شمالی شهر پاوه، دامنه شرقی دوریسان و نوریاب افزایش داده است. تخطی از مقررات ساخت‌وساز شهری و خروج فرایندهای ساخت و توسعه از قیود برنامه‌ریزی شهری، مانعی برای تحقق توسعه پایدار شهری در پاوه خواهد بود و درنتیجه ضریب ریسک مخاطرات دامنه‌ای را در این منطقه بالا برده است.

واژگان کلیدی: توسعه شهری، مخاطرات ژئومورفیک، نقشه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌لغزش.

* نویسنده مسئول: E-mail: Veysi@ut.ac.ir

مقدمه

ما تاکنون از محیط طبیعی بهره‌کشی ابزاری کرده‌ایم و از طریق خرد ابزاری و تکنولوژی، تنها بر روی سلطه بر طبیعت و بهره‌برداری کامل از آن تمرکز کرده‌ایم. محیط طبیعی را یک طبیعت لاشعور فرض کرده‌ایم، درحالی‌که ضروری است تا با محیط طبیعی روابط منطقی برقرار کنیم تا حفاظت زیست جهان پیرامون خویش را تضمین کرده باشیم (روچنر و همکاران[1]،۲۰۱۹:۲۰۳). در این دیدگاه ارتباط انسان و محیط، به صورت غلبه انسان بر طبیعت درک می‌شود و براین باورند که دانش و فناوری بشر می‌تواند بر تمام موانع محیطی فائق آید. این دیدگاه مرتبط با توسعه نظام سرمایه‌داری و انقلاب صنعتی و علم مدرن می‌باشد (زاهدی ۱۳۸۶:۶۵). جهان در قرن ۲۰ با ۱٫۶ میلیارد نفر جمعیت آغاز شد؛ اما در قرن ۲۱ این جمعیت به ۸ میلیارد نفر رسیده است. این افزایش در جمعیت باعث تغییرات غیرقابل‌تحمل در زیست جهان طبیعی شده است. در جهان کنونی، محیط طبیعی به محیط انسان‌مدار تبدیل گشته و دیگر نمی‌توان از محیط بدون سلطه انسان سخن گفت. ورود مفهوم پایان طبیعت به ادبیات علمی جهان، ناشی از این امر است. در این میان دانش ژئومورفولوژی نحوه درک ما از جهان پیرامون را شکل می‌دهد و روش‌های خاصی برای درک و تعامل با مناظر را بیش از سایرین ممکن می‌سازد.

تأثیرات انسانی بر محیط طبیعی می‌تواند به ایجاد تداخل و افزایش آسیب‌پذیری در چشم‌انداز منجر شود و بر خدمات اکوسیستم، سلامت محیط و درنهایت پایداری محیط تأثیر بگذارد. افزایش شناخت ماهیت به‌هم‌پیوسته بسیاری از موضوعات انسانی و زیست‌محیطی باعث تشویق دانشمندان علوم طبیعی (مانند آب شناسان و ژئومورفولوژیست‌ها و جغرافی‌دانان فیزیکی به‌طور گسترده‌تر) برای کار با دانشمندان علوم اجتماعی (مانند اقتصاددانان و جغرافی‌دانان انسانی) و مهندسان (مانند طراحان محیط‌زیست، برنامه ریزان شهر) و سیاست‌گذاران برای ایجاد چارچوب بین‌رشته‌ای یکپارچه برای رفع نیازهای پژوهشی جدید شده است. روند شهرنشینی تأثیر عمیقی بر محیط‌زیست گذاشته و تأثیرات قابل‌توجهی در میزان و ماهیت فرآیندهای فیزیکی دارد. (ویسر[2]،۲۰۱۴:۲۷۹). شهرنشینی منجر به تغییرات عمده‌ای در الگوهای استفاده از زمین شده و ماهیت محیط را تغییر داده است. رشد شهرها موتور اقتصاد جهانی است و با تمرکز خلاقیت انسان، منافع اجتماعی عظیمی به بار می‌آورد، اما درعین‌حال بیشتر مشکلات زیست‌محیطی را ایجاد می‌کند (ایلس[3]،۱۹۹۷:۱۸). ژئومورفولوژی شهری یک حوزه بین‌رشته‌ای تحقیقاتی است که به‌سرعت درحال‌توسعه است و اثرات (مثبت و منفی؛ مستقیم و غیرمستقیم) شهرنشینی را بر فرم‌های طبیعی زمین (ژئومورفولوژی) و ساختارهای انسان‌ساخت (مورفولوژی شهری)، فرآیندهای کنترل‌کننده توسعه آن‌ها در یک منطقه معین بررسی می‌کند و چگونه فرآیندهای طبیعی، مانند آب‌وهوا، می‌توانند ساختارهای انسانی (ساختمان‌ها و سایر زیرساخت‌های شهری) را تغییر دهند (تورنبوش[4]، ۲۰۱۵:۲۵۰).

نقشه‌های تفصیلی ژئومورفولوژی مبنای اساسی برای مطالعه مخاطرات محیطی (کالیستا و همکاران[5]، ۲۰۱۶:۸۸۳)،تحلیل تحول لندفرم‌های در طی دوره کواترنری (دی مور و همکاران[6]، ۲۰۱۷:۸۲۴) و بررسی تعاملات محیطی با فعالیت‌های انسانی است (پالیاگا و همکاران[7]، ۲۰۱۸:۳۰). حفاظت از میراث‌های فرهنگی در برابر پدیده‌های دینامیک ژئومورفیک نیازمند یک رویکرد میان‌رشته‌ای خاص هست که باید با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناختی و همچنین شناسایی نوع مخاطره موجود، برنامه‌ریزی شود (پاستونچی و همکاران[8]، ۲۰۱۸:۳۱۴). شهر پاوه یک مرکز انسانی حیاتی در غرب ایران است که در منطقه کوهستانی شاهو واقع در شمال غرب استان کرمانشاه، در فاصله ۲۰ کیلومتری از مرز بین‌المللی

---

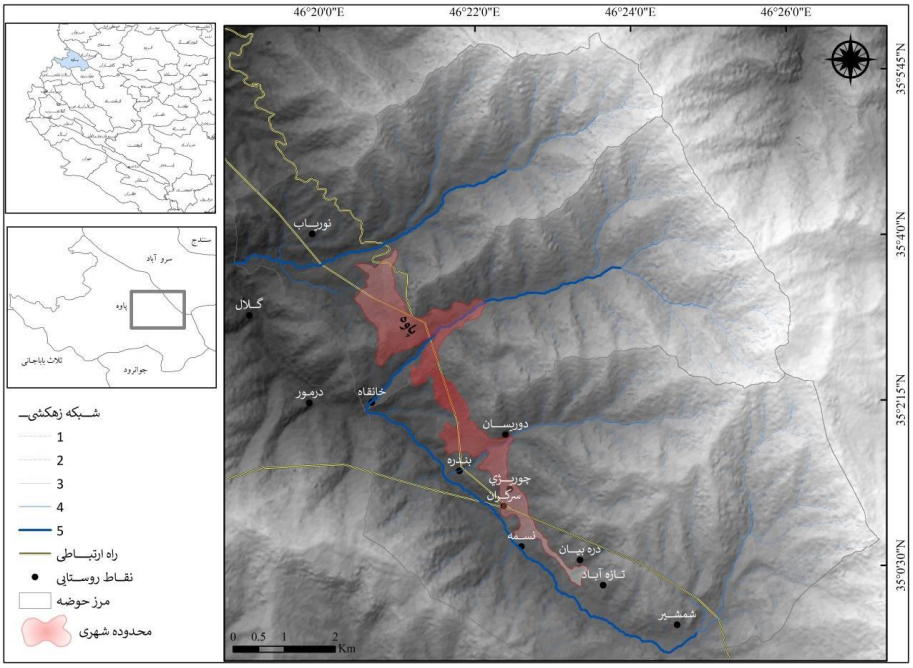
1. Rouchner et al
2. Visser
3. .Eyles
4. Thornbush
5. Calista et al
6. De Muro et al
7. Paliaga et al
8. Paliaga et al

عراق در ارتفاع ۱۶۰۰ متری واقع شده است (شکل ۱). هسته اولیه شهر در دامنه شرقی حوضه پاوه و بر روی دامنه پرشیب شکل گرفته است. در طی دو دهه اخیر با گسترش فناوری حمل‌ونقل، افزایش جمعیت و کاهش جمعیت روستاها، شهر پاوه محدوده‌ای در حدود ۳ کیلومترمربع را در برگرفته است. توسعه شهری نسبتاً سریع پاوه، همراه با عدم وجود برنامه‌ریزی مناسب شهری باعث ایجاد مسائل و مشکلاتی ازجمله ساخت‌وساز در شیب‌های غیرمجاز، تراس‌سازی‌های نامناسب، مسائل مرتبط با زهکشی و تأمین آب‌شده است. این موارد زمینه را برای فرسایش خاک، رانش زمین، طغیان آبراهه‌ها و تغییرات توپوگرافی به‌واسطه ایجاد زیرساخت‌های شهری در منطقه پاوه ایجاد کرده است. رشد شتابان این شهر و منطقه تحت نفوذ آن به‌ویژه در سال‌های اخیر از موضوعاتی بوده که همواره موردتوجه برنامه‌ریزان این منطقه بوده است. این پژوهش می‌کوشد ظرفیت‌ها و تنگناهای توسعه پایدار شهری در شهرستان پاوه را با رویکرد مخاطرات ژئومورفولوژیک مورد ارزیابی قرار دهد. به این صورت که ابتدا به کمک مطالعات کتابخانه‌ای اقدام به مفهوم‌سازی از ارزیابی توسعه پایدار شهری و مخاطرات ژئومورفولوژیکی نموده، در گام بعد مطالعات میدانی تفصیلی به‌منظور شناخت جامع از وضعیت منطقه انجام شد و اطلاعات و آمار لازم در ارتباط با مخاطرات ژئومورفولوژیکی منطقه جمع‌آوری شد و نقشه ژئومورفولوژی منطقه موردمطالعه تهیه گردید. در ادامه با استفاده مدل تصمیم‌گیری VIKOR به تجزیه‌وتحلیل متغیرهای پژوهش و پهنه‌بندی آن‌ها پرداخته و درنهایت به‌منظور کنترل صحت تحلیل‌ها، به مطالعات میدانی برای ارزیابی وضعیت توسعه پایدار شهری پرداخته است. مطالعات پیشین صورت گرفته در ارتباط با مخاطرات شهری پاوه (رمضانی، ۱۳۸۹.، ملکی و همکار،۱۳۹۳ و سالاری و همکاران، ۱۳۹۹) بر لزوم تهیه طرح ژئومورفولوژیکی برای این منطقه تأکید داشته‌اند، ازاین‌رو در این پژوهش برای نخستین بار نقشه ژئومورفولوژی با مقیاس ۲۵۰۰۰ تهیه و ترسیم گردیده است. هدف از این پژوهش تأثیر مخاطرات ژئومورفولوژی حوضه‌های دوریسان، پاوه و نوریاب بر روی توسعه شهری پاوه است. در این راستا در پی پاسخ به چگونگی گسترش شهر پاوه به‌ویژه در ارتباط با فرایندهای ژئومورفولوژی، بررسی مخاطرات محیطی که قلمرو شهری پاوه را تهدید می‌کند می‌باشیم. هدف نهایی ما بهبود آگاهی ژئومورفولوژیکی به‌منظور درک تعامل بین لندفرم‌ها، تکامل شهری و فرایندهای ژئومورفولوژیکی مؤثر، به‌عنوان نخستین گام به سمت مدیریت مخاطرات و حفاظت راهبردی از مرکز شهری پاوه است.

پیشینه تحقیق

کرمی (۱۳۸۴) با بررسی ارتباط گسترش شهرها و وقوع انواع زمین‌لغزش‌ها در شهر تبریز بیان می‌کند که اغلب زمین‌لغزش‌های شهر تبریز مربوط به ناپایداری شیب‌های طبیعی می‌باشد. باوجودآنکه که پایداری، خصوصیت ذاتی این شیب‌ها می‌باشد و این ناهمواری‌ها تا دهه‌های گذشته، حالت پایداری نسبی خود را حفظ کرده بودند، اما به دنبال توسعه بدون برنامه‌ریزی شهر و هدایت فعالیت‌های شهرسازی (ایجاد شهرک‌های جدید،احداث شبکه‌های حمل‌ونقل شهری، خطوط انتقال نیرو و غیره) به سمت مناطق مستعد ناپایداری، فراوانی رویداد انواع زمین‌لغزش‌ها در بخش‌های مختلف شهر افزایش‌یافته و در آینده مخاطرات و مشکلات فراوانی را برای برنامه‌ریزان و مسئولان شهری به همراه خواهد داشت. مقیمی و همکاران (۱۳۸۹) با ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه کلان‌شهر تهران دریافتند که تلفیق حوضه‌ها، تغییر مسیر آبراهه‌ها و تبدیل آن‌ها به کانال‌های مصنوعی باعث افزایش آبدهی به‌ویژه در دوره‌های بازگشت بالاتر شده و این افزایش مخاطره سیلاب را به همراه دارد. شعاعی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل فازی به تحلیل فضایی ناشی از خطر زمین‌لغزش در دامنه‌های شمال‌غربی شهر تهران پرداختند و وقوع زمین‌لغزش را درنتیجه عدم رعایت فاصله از شبکه زهکشی، وقوع بارش‌های سنگی، برج‌سازی در شیب‌های تند امری غیرقابل‌اجتناب تلقی نمودند و بر لزوم توجه به فرم و فرایندهای ژئومورفولوژیکی در تهیه طرح‌های توسعه تأکید داشته‌اند. اسفندیاری و همکار (۱۳۹۱) از روش آنبالاگان برای پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش در دامنه‌های مشرف‌به شهر پاوه استفاده نمودند و دریافتند که دامنه‌های مذکور بسیار ناپایدار بوده و پتانسیل ایجاد خطر جانی و مالی رادارند. روستایی و همکاران (۱۳۹۴) با ارزیابی خطر زمین‌لغزش محور سد قلعه‌چای

دریافتند که معیارهای کاربری، شیب و ارتفاع نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه دارد. حجازی و همکار (۱۳۹۹) با پتانسیل سنجی مناطق مستعد زمین‌لغزش در شهرستان پاوه دریافتند که در محدوده موردمطالعه به‌واسطه وجود خطوط گسلی، شبکه رودخانه‌ای متراکم، شیب زیاد و ایجاد راه‌های ارتباطی متعدد پتانسیل خطر لغزش بالا بوده و نیازمند اقدامات حفاظتی خاص است. کینهولز[1] (۱۹۷۸) به تفسیر مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی گریندوالد سویس از طریق نقشه‌های ژئومورفولوژی ۱:۱۰۰۰۰ پرداخت و بر نقش غیرقابل‌انکار نقشه‌های ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی‌های محیطی تأکید دارد. گوپتا و احمد[2] (۱۹۹۹) به بررسی مناطق شیب‌دار شهری در مناطق تروپیکال جامییکاو سنگاپور پرداختند. دریافتند که رشد بسیار سریع شهری در این مناطق نظارت دقیق به‌ویژه در مناطق ناپایدار به لحاظ شیب و مکان‌های در معرض خطر سیلاب است. گوزتی[3] (۲۰۰۰) به مطالعه آماری مرگ‌ومیر زمین‌لغزش و ارزیابی خطرات آن در شهرهای مناطق کوهستانی شمال ایتالیا و تجزیه‌وتحلیل پایگاه داده‌های زمین‌لغزش‌های تاریخی آن پرداخت. نتایج بررسی نشان‌دهنده مرگ‌ومیر بیش از ۱۰۰۰۰ انسان از مجموع ۸۴۰ رویداد زمین‌لغزش بود. وندن ایکات و همکاران[4] (۲۰۱۰) با ارزیابی حساسیت مخاطره زمین‌لغزش در یک منطقه شهری در شمال فرانسه دریافتند که عامل شیب و لیتولوژی فاکتورهای تأثیرگذار در وقع لغزش‌های احتمالی می‌باشند. ون وستن و همکاران[5] (۲۰۰۳) با استفاده از نقشه‌های ژئومورفولوژی به ارزیابی غیرمستقیم حساسیت زمین‌لغزش پرداخته‌اند. نتایج نشان داده است که نقشه‌های ژئومورفولوژی تفصیلی در کنار تحلیل‌های آماری دقت پیش‌بینی مخاطره زمین‌لغزش را بالا می‌برد. بزرا و همکاران[6] (۲۰۲۰) به بررسی خطر زمین‌لغزش در محیط شهری ناتال در برزیل با استفاده از مدل AHP-VIKOR دریافتند که وقوع مخاطرات زمین‌لغزش در مناطق حاشیه‌ای و زاغه‌نشین شهر، پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری را برجای گذاشته است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

[1]. Kienholz
[2]. Gupta & Ahmad

[3]. Guzzetti
[4]. Van Den Eeckhaut
[5]. Van Westen
[6]. Bezera et al

مواد و روش

پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های کاربردی است. در این پژوهش جهت ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش ۱۲ متغیر مؤثر بر رخداد این پدیده ژئومورفولوژیکی ازجمله ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص قدرت آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص موقعیت توپوگرافی، فاصله از خطوط گسلی، فاصله از نقاط مخاطره‌آمیز جاده‌ای، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده و انحنای زمین موردبررسی قرار گرفت. در راستای اهداف تحقیق، داده‌های موردنیاز از روی نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر مدل رقومی ارتفاعی منطقه با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر مربوط به ماهواره ALOS-PALSAR، داده‌های هیدرولوژیکی و مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای حاصل شد. با استفاده از مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای نقشه ژئومورفولوژی منطقه ترسیم گردید. جهت تهیه و آماده‌سازی لایه‌های موضوعی و اجرای مدل‌های تحقیق از نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI و Surfer استفاده گردید. به‌منظور پهنه‌بندی و پیش‌بینی مکانی وقوع زمین‌لغزش از روش VIKOR استفاده شد. در ادامه این مدل به‌اختصار تشریح می‌گردد.

روش VIKOR مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است (چن و وانگ[1]، ۷۴:۲۰۰۹). در شرایطی که فرد تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسئله در زمان شروع و طراحی آن نیست، این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مطرح شود (عطایی، ۸۷:۱۳۸۹). اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل الگوریتم پیاده‌سازی فازی ویکور دارای گام‌های زیر است (آپرویچ و تزنگ[2]، ۲۰۰۶).

مرحله اول: اولین قدم در ارزیابی چندمعیاره تعریف معیارها و ایجاد ماتریس به‌صورت رابطه ۱ است.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{22} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

رابطه ۱)

مجموعه معیارها باید دارای آن‌دسته از خصوصیاتی باشند که به‌اندازه کافی معرف ماهیت چندمعیاری یک مسئله ارزیابی به حساب آیند (مالچفسکی، ۱۵۵:۱۳۸۵). در جدول (۱) ماتریس معیارهای مطرح در پهنه‌بندی لغزش منطقه موردمطالعه نمایش داده شده است.

جدول (۱). ماتریس معیارهای مطرح در پهنه‌بندی لغزش منطقه موردمطالعه

	شیب	جهت شیب	لیتولوژی	کاربری	خاک	گسل	انحنا	ارتفاع	رطوبت	توپوگرافی	آبراهه
پیکسل ۱	X11	X12	X13	X14	X15	…	…	…	…	…	…
پیکسل ۲						…	…	…	…	…	…
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
پیکسل m	Xm1	Xm2	Xm3	Xm4	Xm5	…	…	…	…	…	…

[1]. Chen & Wang
[2]. Opricovic & Tzeng

مرحله دوم: استانداردسازی ماتریس تصمیم می‌باشد (رابطه ۲).

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{in} \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

رابطه (۲)

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیار است. در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

رابطه (۳)

جدول ۲. مفروضات پایه‌ای و وزن نهایی هریک از عوامل مؤثر در لغزش

معیار	مجموع تضاد	انحراف معیار	میزان اطلاعات	وزن نهایی
ارتفاع	۱۰/۳۸۰	۵۳/۵۸۲	۵۹۸/۶۲۰	۰/۰۶
شیب	۱۱/۴۰۸	۹۳/۲۱۴	۱۱۰۶/۵۷	۰/۱۶
جهت شیب	۱۱/۲۱۵	۶۸/۳۲۵	۷۵۳/۴۲۲	۰/۰۹
لیتولوژی	۱۱/۶۲۰	۸۷/۶۳۵	۹۸۸/۳۳۰	۰/۱۲
کاربری	۱۱/۸۷۰	۷۲/۶۷۵	۶۳۵/۵۰۲	۰/۰۹
انحنا	۱۱/۲۶۰	۵۹/۸۳۳	۶۱۱/۲۳۰	۰/۰۶
فاصله از گسل	۱۰/۷۷۰	۶۰/۹۹۰	۷۶۱/۳۴۸	۰/۰۹
فاصله از جاده	۱۰/۸۲۵	۵۷/۵۱۹	۵۷۴/۲۶۳	۰/۰۷
رطوبت توپوگرافی	۱۲/۷۴۰	۳۶/۸۴۰	۵۰۳/۳۲۷	۰/۰۵
موقعیت توپوگرافی	۱۱/۸۶۹	۵۳/۵۶۸	۴۶۵/۷۰۸	۰/۰۶
توان آبراهه	۱۰/۵۴۰	۳۸/۳۴۱	۴۴۶/۱۹۴	۰/۰۸
پوشش گیاهی	۱۱/۲۵۰	۷۱/۴۴۳	۶۱۴/۷۵۳	۰/۰۷

مرحله چهارم: تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار هســـت. بهترین مقدار (f_i) و بدترین مقدار (f_j^-) برای معیارها به ترتیب از روابط (۴ و ۵) محاسبه می‌شوند. در این پژوهش بهترین مقدار برای معیارها با توجه به نقشه استانداردشده فازی ۲۲۵ و بدترین مقدار صفر در نظر گرفته شد.

$$f_j = i^{max} fij$$

رابطه (۴)

$$f_j = i^{max} fij$$

رابطه (۵)

مرحله پنجم: محاسبه مقدار سودمندی یا حداکثر مطلوبیت (S) و مقدار تأسف (R) می‌باشد. در این مرحله مقدار S با توجه به رابطه (۶) و R با توجه به رابطه (۷) محاسبه می‌شوند:

$$S_i = \sum_{i=1}^{n} wi = \frac{f_i - f_{ij}}{f_i - f_i^-}$$

رابطه (۶)

$$R_i = Max \left\{ wi \frac{f_i - f_{ij}}{f_i - f_i^-} \right\}$$

رابطه (۷)

که wi مقدار وزن مواد برای معیار j و f_{ij} هر نقشه معیار می‌باشد.

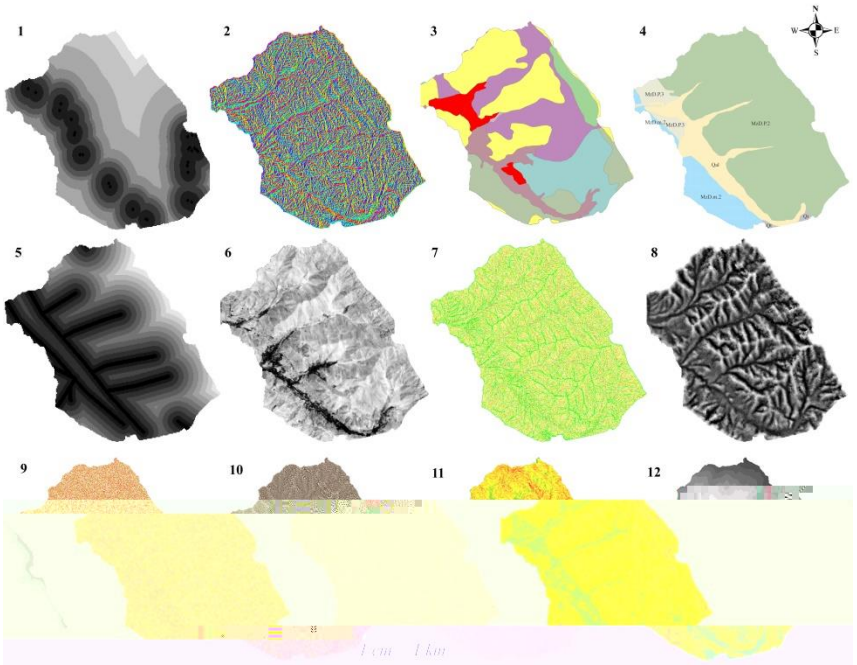
مرحله ششم: محاسبه شاخص VIKOR (مقدار Q) می‌باشد. مقدار Q با توجه به رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = \nu \left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} \right] + (1 - \nu) \left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-} \right]$$

رابطه (۸)

در معادله فوق $S^- = MinS_i, S^* = MaxS_i, R^- = MinR_i, R^* = MaxR_i$ می‌باشد.

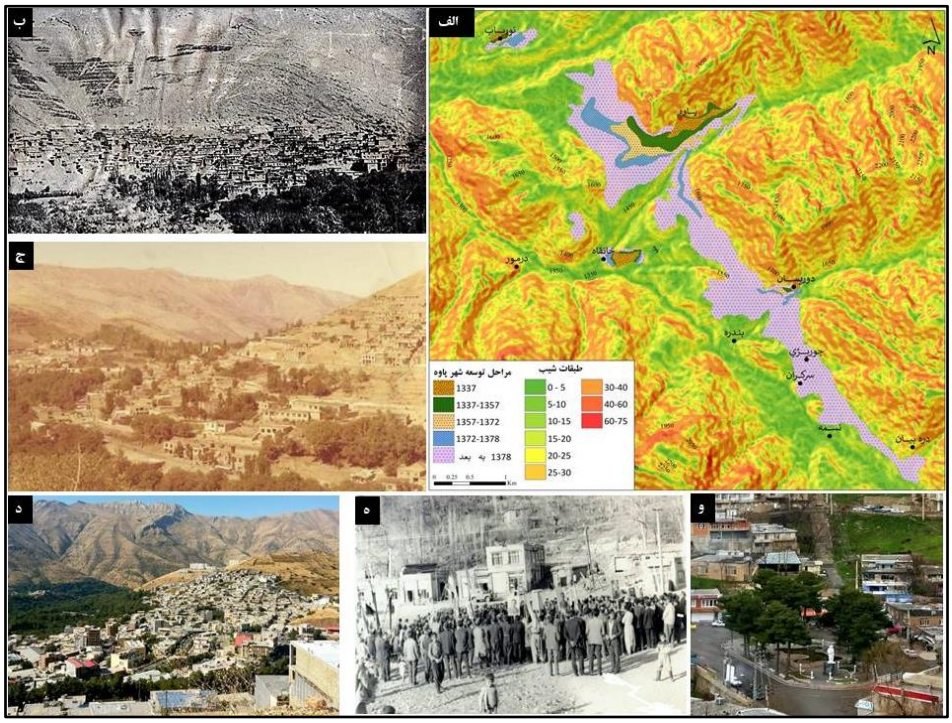
مرحله هفتم: مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر S،R و Q است. در این مرحله با توجه به مقادیر S، R و Q و در آخر گزینه‌ای به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه به‌عنوان گزینه برتر شناخته شود.



شکل ۲. لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در فرایند لغزش ۱. فاصله از نقاط مخاطره‌آمیز جاده، ۲. جهت شیب،۳. کاربری اراضی ۴. سنگ-شناسی ۵. فاصله از گسل ۶. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده ۷. شاخص رطوبت توپوگرافی ۸. شاخص توپوگرافی ۹. شاخص توان آبراهه ۱۰. انحنای افقی ۱۱. شیب ۱۲. طبقات ارتفاعی

نتایج

هسته اولیه شهر کوهستانی پاوه در انتهای بخش شمالی به‌عنوان یک کانون روستایی و با بافت کاملاً سنتی بر روی دامنه‌های بسیار پرشیب و زمین‌های غیرقابل استفاده برای کشاورزی شکل گرفته است (شکل ۳ الف). توسعه شهر پاوه را می‌توان به ۲ دوره کلی تقسیم کرد. اگرچه در نیمه اول، شهر رشد آرامی را تجربه کرده است و اغلب به سمت جنوب و غرب و زمین‌های هموارتر گسترش یافته است و شهر در این دوره تقریباً از شکل روستایی خارج شده، اما باز هم مشکلات فراوانی در توسعه آن وجود دارد؛ اما در نیمه دوم، به دلیل نیاز شهر به مسکن و گسترش موج جدید مهاجرت‌ها از نقاط روستایی، توسعه به‌صورت پراکنده و بدون تناسب اصول شهرسازی صورت گرفته است که این موضوع سبب از بین رفتن باغات و ادغام با روستاهای هم‌جوار شهر، افزایش مخاطرات ژئومورفیک و عدم پراکنش کاربری‌ها شده است.



شکل ۳. الف) روند توسعه شهری در منطقه موردمطالعه (به ترتیب با مساحت ۱۷، ۳۷،۱۹،۲۷،۳۶۰ هکتار). ب)شهر پاوه در سال ۱۳۳۸ ج) سال ۱۳۶۵ د)سال ۱۳۹۹ ه) احداث میدان مولوی سال ۱۳۴۰ و) میدان مولوی ۱۳۹۹

شهر پاوه به‌عنوان یکی از مراکز جمعیتی مهم در ناحیه مرزی غرب کشور در دو دهه اخیر با افزایش رشد جمعیت روبرو بوده است و در صورت وقوع مخاطره محیطی چه‌بسا که پیامدهای سیاسی، اقتصادی، اجتماعی بسیار بحرانی را در کشور به همراه داشته باشد. در حال حاضر شهر پاوه با مشکلات و مسائلی همچون افزایش جمعیت، کاهش توان ژئومورفیک، افزایش بار وارد بر دامنه‌ها روبرو است که همگی مؤید بر ناپایدارتر شدن بستر طبیعی شهر پاوه است. عمده مناطق مسکونی در منطقه بر واحد دامنه قرار گرفته است. تغییر در واحدهای ژئومورفیک موجب بروز تغییرات در سایر حلقه‌های سامانه‌های طبیعی شده و درنهایت دینامیک و مورفوژنز شهری را دچار تغییر کرده است. توسعه و عمران در پاوه با پویایی محیط طبیعی تداخل پیداکرده و بسیاری از اصول و نکاتی که به تعادل مورفودینامیک این پهنه شهری برمی‌گردد، رعایت نشده است. ازاین‌رو مخاطرات طبیعی از عوامل مسلط در این فرایند قلمداد می‌شوند. آنچه از پایش میدانی و نقشه ژئومورفولوژی و استفاده از یک مدل جامع تصمیم‌گیری در منطقه موردمطالعه صورت گرفت، بیانگر این نکته است که مخاطرات دامنه‌ای در ین محدوده از اصلی‌ترین عوامل بازدارنده توسعه شهری محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر ساخت‌وسازهای سنگین در شیب‌های غیراستاندارد چالش‌هایی را به‌ویژه در زمینه مدیریت بحران و خدمات‌رسانی در مواقع بحرانی به وجود آورده است. با توجه به موارد ذکرشده، بر اساس مطالعات میدانی و نقشه ژئومورفولوژی منطقه موردمطالعه مهم‌ترین عوامل بازدارنده و مخاطرات تهدیدکننده توسعه پایدار شهری پاوه را می‌توان به شرح ذیل برشمرد:

محدودیت توپوگرافیکی و توسعه شهری پاوه

وضعیت پستی‌وبلندی‌های شهر پاوه و پدیده‌های ناشی از آن همانند وجود دره‌ها، تپه‌ها و ارتفاعات، نقش مؤثری در شکل‌گیری بافت، ساختار فضایی و رشد فیزیکی شهر داشته است. به دلیل محدودیت دسترسی نفوذ به شهر پاوه که صرفاً از طریق گردنه‌ها و راه‌های محدود میسر است، فرم خاصی از توزیع فضایی و مکان‌گزینی شکل گرفته است. اراضی منطقه موردمطالعه به دلیل شکل ظاهری زمین، اقلیم نامساعد، دره‌های پرشیب، عدم امکان تشکیل خاک و رسوبات کافی، پتانسیل زیادی برای توسعه شهری را دارا نمی‌باشد و عموماً شهرنشینی و استقرار زیرساخت‌های شهری را با چالش‌هایی

اساسی روبرو ساخته است. بدین طریق عامل ناهمواری در شهر پاوه به نسبت افزایش ارتفاع، نقش محدودکننده‌ای در توسعه و گسترش افقی شهر دارد (شکل ۳ د). ازاین‌رو توسعه کالبدی شهر به سمت فضاهای ناهموار و نامناسب اطراف شهر کشیده شده و پدیده اسکان غیررسمی نیز در این شهر نمود پیدا کرده است. مهم‌ترین این ناهمواری‌ها ارتفاعات طولی شمال و شمال‌غربی و تپه‌ها و دره‌های ناهموار شرق و جنوب منطقه موردمطالعه است. با توجه به این محدودیت‌ها روند گسترش شهر به‌صورت زبانه‌هایی به اطراف حوضه‌های دیگر به‌ویژه حوضه‌های دوریسان و نوریاب می‌باشد. به نظر می‌رسد این موضوع لزوم توجه به فرایندهای ژئومورفولوژیکی را در توسعه شهری پاوه بیش‌ازپیش بااهمیت جلوه می‌دهد؛ چراکه هنگامی‌که شرایط موجود و فشار ناشی از کمبود زمین موجب توسعه ساخت‌وسازها در این محدوده‌ها می‌گردد، توجهات به واکنش‌های ژئومورفیک در نتیجه این تغییرات کاهش یافته و نیازمند مدیریت ژئومورفولوژیکی می‌باشد.

تغییر پوشش طبیعی زمین و تغییر روندهای ژئومورفولوژیکی

توسعه شهری در سال‌های اخیر باعث شده است که پوشش طبیعی زمین در بخش‌های غربی و شرقی منطقه تغییر یافته و به کاربری‌های مسکونی اختصاص داده شود. افزایش این امر موجبات کاهش میزان نفوذپذیری آب و در نتیجه افزایش رواناب‌های سطحی می‌باشد؛ امری که به‌تدریج به‌عنوان یکی از فرایندهای فعال ژئومورفولوژیکی در این حوضه درآمده است. شستشوی مواد سطحی، فرسایش مواد هوازده، توسعه آبکندها، اختلال در سیستم جریان رواناب‌های سطحی و سیستم زهکشی شهری، بالارفتن میزان آب خروجی از حوضه در مواقع بارش‌های سنگین به‌صورت زنجیره‌های درهم‌تنیده بر هم اثر می‌گذارند و به بالابردن تأثیرات فرایندهای ژئومورفولوژیکی منجر می‌شوند. تغییر در آبراهه‌ها در سیستم شهری شامل مواردی جمله تغییر عرض بستر، تجاوز به حریم و سرپوشیده کردن مسیر آبراهه‌ها و تغییر مسیر آن‌ها می‌باشد که درنتیجه آن توان عبور سیلاب از مسیل کاهش یافته یا غیرممکن خواهد شد. در حوضه پاوه نمونه بارز این مخاطره را می‌توان در آبراهه اصلی شهر مشاهده نمود. با توجه به آمارهای منتشره از سوی ستاد حوادث غیرمترقبه استان کرمانشاه، در طی در ۲۰ سال (۱۳۹۵-۱۳۷۶) ۱۹ بار سیل در این منطقه به وقوع پیوسته است. بیشتر این سیل‌ها از نوع سیل‌های ناگهانی درنتیجه بارش سنگین باران در طی چند ساعت بوده است. محدود نمودن آبراهه اصلی شهر، ایجاد کانال سرپوشیده و توسعه فضاهای مسکونی در حریم این آبراهه و بر بستر آبرفتی، نمونه‌هایی از تغییرات درنتیجه توسعه شهری در پاوه می‌باشند. به نظر می‌رسد با افزایش قیمت زمین در بخش‌های هموارتر و وجود مافیای املاک؛ گرایش به زمین‌های مرتفع‌تر در بخش شمال و شمال‌غرب حوضه پاوه نیز در سال‌های اخیر با رشد افسارگسیخته‌ای مواجه بوده و روبه فزونی است. در حوضه دوریسان نیز روال به همین‌گونه است با این تفاوت که توسعه فضاهای مسکونی در بخش‌های شمالی و شمال‌غرب این حوضه به دلیل شرایط سخت توپوگرافیکی و عدم دسترسی آسان از رونق افتاده است؛ اما توسعه کاربری‌ها در حریم آبراهه اصلی درحال‌توسعه است. در مسیر ویمیر به‌طرف سراب هولی که حریم چشمه و آبراهه‌ها توسط باغداران مدنظر قرار نگرفته و دیوار خانه‌باغ‌های این منطقه باعث شده که دره‌های بزرگ تبدیل به جوی‌های کوچکی شود که گنجایش سیلاب را ندارد و باعث تخریب دیوارچینی خشک می‌شود و می‌تواند در فاصله چند متری سیل عظیمی را در برگیرد.

مشکلات بافت‌های فرسوده در برابر مخاطرات محیطی

بافت قدیمی شهر پاوه در قسمت شمال‌غربی حوضه پاوه واقع شده است. بیشترین مصالح ساختمانی به‌کاررفته در این بخش از شهر آجر و چوب و آجر و آهن می‌باشد. بناهای دارای قدمت بیش از ۳۰ سال در حدود ۳۷ درصد از ابنیه شهر پاوه را دربرمی‌گیرد و عمدتاً شامل بناهای مرمتی و قابل نگهداری می‌باشد. فروپاشی سازمان محلات در این قسمت از شهر پاوه، بدون تدبیر و اقدامات ویژه مسائل و مشکلات خاصی را در عرصه تحولات جدید شهرنشینی بروز می‌دهد. به‌طوری‌که بافت قدیمی و فرسوده شهری در محلات قدیمی دربردارنده مسائل و مشکلات درهم‌تنیده کالبدی، اجتماعی،

اقتصادی و محیط طبیعی است که پیامد آن آسیب‌پذیری بیشتر این‌گونه بافت‌ها است. مخاطرات طبیعی به‌ویژه لغزش‌های شهری در بافت فرسوده پاوه به دلیل وجود ساختمان‌های غیرمستحکم با مصالح سست‌تر و آسیب‌پذیرتر نسبت به بافت‌های نوین شهری تأثیرات مخاطره‌آمیز بیشتری را به وجود می‌آورد (شکل ۴ الف و ب). ازاین‌رو مدیریت و ساماندهی این بافت‌ها می‌تواند یکی از موارد قابل‌توجه در ارزیابی توسعه پایدار شهری پاوه با رویکرد مخاطرات ژئومورفولوژیکی باشد.

وزن ساخت‌وساز شهری و تغییرات ژئومورفولوژیکی

مفهوم مسکن افزون بر مکان فیزیکی، کل محیط مسکونی را نیز در بر می‌گیرد و دارای مقوله‌ای گسترده با ابعادی متنوع و فراتر از یک سرپناه فیزیکی است. بنابراین، لزوم توجه به مسکن و برنامه‌ریزی آن در راستای توسعه پایدار شهری در چهارچوب برنامه‌ریزی‌های ملی، منطقه‌ای و شهری، بیش‌ازپیش احساس می‌شود تا بهره‌گیری از دانش و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، مشکلات شهروندان را برطرف کرده و درنتیجه، محیطی همراه با امنیت و آسایش و رفاه، برای آنان فراهم شود (حکمت‌نیا و انصاری، ۱۹۳:۱۳۹۱). ازاین‌رو برنامه‌ریزی مسکن مبتنی بر پایدارسازی الگوهای اجتماعی و اقتصادی است که در صورت اختلال در این فرایند مسائل متعددی ازجمله مخاطرات محیطی را به بار خواهد آورد. افزایش وزن ساخت‌وساز شهری به دلیل افزایش قیمت ازاین‌گونه الگوهای ناصحیح در برنامه‌ریزی مسکن محسوب می‌شود که از زمره دلایل اصلی در عدم دستیابی به توسعه پایدار شهری در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی پاوه است (شکل ۴ ج).

آنچه در سیاست‌های برنامه‌ریزی مسکن موردتوجه قرار می‌گیرد نقش مستقیم قیمت زمین در نوع ساخت‌وساز است که به‌طور طبیعی موجب رشد عمودی ساختمان‌ها شده است (به‌ویژه در بخش‌های جنوبی و غربی شهر که منطقه‌ای پرشیب و پایکوهی است) و به این دلیل در نقاط پایکوهی، رشد عمودی شهر (که آسیب‌پذیری لغزشی را دوچندان خواهد کرد) صورت می‌گیرد و همچنان افزایش می‌یابد تا حداکثر استفاده از زمین صورت بگیرد. این امر سبب می‌شود که در این نقاط وزن ساخت‌وساز بر روی دامنه افزایش یابد و تحت تأثیر شیب توپوگرافی و بعضاً همسویی شیب ساختمانی با دامنه و اثرگذاری آب‌های نفوذی فاضلاب‌های شهری و چاه‌های جذبی، این نوع حرکات تشدید شود. بیشتر محله‌های شهری پاوه بویژه در بخش شمال غربی و بافت قدیمی با این معضل مواجه‌اند. آنچه از مطالعات و پهنه‌بندی‌ها به همراه پایش‌های میدانی صورت گرفته نشان‌دهنده این موضوع است بافت فرسوده شهری در بخش شمالی پاوه، سکونتگاه‌های مرتفع ساخته‌شده در دهه‌های اخیر و در حال ساخت هرکدام تأثیر متفاوتی بر روی دامنه‌ها برجای می‌گذارد. به‌طوری‌که در این رویکرد بافت فرسوده محدوده با ناپایداری‌های ثبت‌شده در سازه‌های سبک‌وزن‌تر همسویی دارد. در مقابل وقوع ناپایداری-های دامنه‌ای بیشتر در سازه‌هایی است که با تعداد طبقات بالا و اسکلت بتنی ساخته شده‌اند و باوجود تازه‌ساز بودن ناپایداری سطحی در آن رخ می‌نماید. از نمونه بارز آن می‌توان به ساختمان‌های متعدد مسکونی در محله تپه‌کوله اشاره کرد. بنابراین می‌توان گفت که وزن ساخت‌وسازهای شهری نه‌تنها می‌تواند در بروز ناپایداری‌ها مؤثر باشد، بلکه در تشدید آن نیز نقش بسزایی دارد. زیرا توزیع ناپایداری‌های مبتنی بر ساخت‌وساز غیر از بافت فرسوده در مناطق مسکونی با تراکم بالا (تعداد طبقات بالاتر) قابل‌مشاهده است.

شکل ۴. الف) خاک‌برداری‌های غیراستاندارد در بافت قدیمی ب) ترک‌خوردگی دیوارهای خانه‌های قدیمی ج) بلندمرتبه‌سازی درشیب‌های غیراستاندارد د) ایجاد آبکند در محلات بالادست دره باسم ه) ایجاد دیوار حائل ۸ متری و افزایش هزینه ساخت‌وساز

شیب‌های غیراستاندارد و ایجاد مانع در برابر توسعه شهری پایدار

در حال حاضر الگوهای ارائه‌شده، به‌هیچ‌عنوان در بیشتر نقاط شهر پاوه تناسبی با شیب استاندارد ندارد. مطالعات میدانی نیز از محلات مختلف شهر پاوه صحت این ادعا را به‌وضوح نشان می‌دهد. شهر پاوه نیز به دلیل موقعیت خاص خود دارای شیب بسیار زیادی می‌باشد به‌گونه‌ای که حدود ۲۱ درصد از سطح شهر دارای شیب بین ۲۰–۱۵ درصد می‌باشد. در این منطقه با توجه به کمبود زمین موردنیاز برای ساخت‌وساز، شیب‌های غیراستاندارد نیز مورد استفاده قرار رفته است که همین امر باعث شده است که نمای شهر به‌صورت پلکانی شکل گیرد و هزینه خدمات‌رسانی به این بخش‌ها بسیار بالا رود. از ویژگی‌های کالبدی شهر پاوه، تراکم متوسط (سه‌طبقه) فضای فیزیکی شهر در بیشتر بخش‌ها و پر شدن فضای خالی در نتیجه ساخت‌وسازها و رسیدن به حد اشباع از جهات شمال، جنوب و قسمت‌هایی از شرق است (شکل ۵ ب).

آسیب‌پذیری لغزشی سکونتگاه‌ها

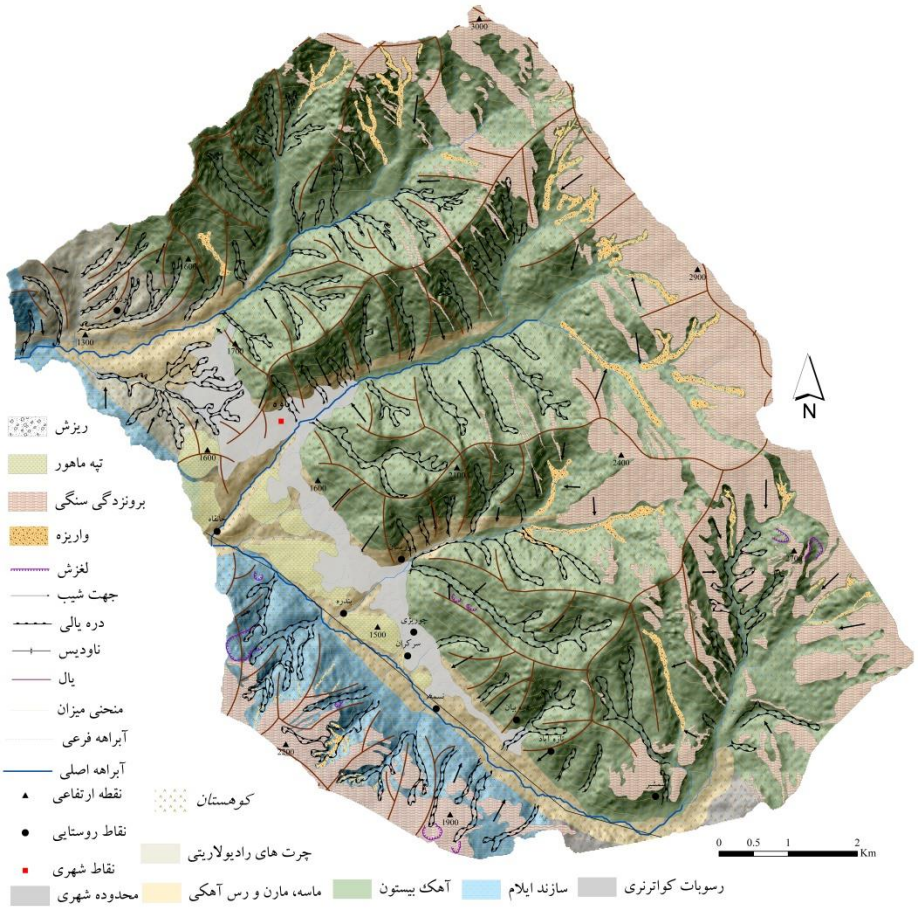
توسعه شهری به سمت مناطق پرشیب و تپه‌ها و تغییر در سطح طبیعی آن‌ها، ثبات و پایداری زمین را تغییر داده است و باعث ریزش، لغزش، خزش و فرونشینی خواهد شد (داگلاس[1]،۲۰۰۵:۳۳۲). نمونه این موارد را می‌توان در بخش‌های مختلف حوضه پاوه مشاهده نمود. توسعه شهری در بخش شرق، جنوب‌شرق و بعضاً بخش شمالی شهر ازجمله مواردی است که به تغییرات در روندهای ژئومورفولوژیکی منجر شده است. بهره‌گیری از دامنه‌ها و توسعه مناطق مسکونی بر روی رسوبات کواترنری به‌ویژه در بخش شرقی حوضه دوریسان و پاوه و بخش شمالی حوضه نوریاب ازجمله این موارد است

[1]. Douglas

(شکل ۵ الف). در این بخش‌ها با خاکبرداری دامنه‌ها و ناپایدار کردن آن‌ها ضریب وقوع حرکات توده‌ای ازجمله خزش در بخش شمال‌شرقی و شمالی حوضه پاوه بالا رفته است. لغزش هنگامی رخ می‌دهد که شیب دامنه زیاد بوده و مواد موجود در بخش فوقانی دامنه به‌وسیله مواد موجود در قاعده آن نگهداری می‌شوند. چنانچه مواد زیرین حرکت کنند، مواد بخش فوقانی ناپایدار شده نسبت به نیروی جاذبه عکس‌العمل نشان می‌دهد. در سال‌های اخیر مخاطرات دامنه‌ای در محلات شهرک ظفر و زمین‌شهری (تپه‌کوله) مهم‌ترین مخاطره موجود بوده است (شکل ۵ ج). به نظر می‌رسد ایجاد مخاطرات دامنه‌ای در این محلات ناشی از عدم آگاهی محیطی و سهیم نبودن کارشناسان ژئومورفولوژیکی در امر برنامه‌ریزی شهری پاوه می‌باشد؛ چراکه ساخت‌وسازهای این محلات بر روی خاک آماده صورت گرفته است.

شکل ۵. الف) زمین‌لغزش‌های کوچک در نتیجه بارش سنگین و زیربری جاده ب) تأثیرات افزایش وزن سازه‌ها بر ناپایداری دامنه‌ها در بخش شمال غربی پاوه ج) فروریختن دیواره کنار جاده‌ها در نتیجه تردد کامیون‌های سنگین و ایجاد خسارت به منابع انسانی د) دره یالی در محله مسجد جامع و تخریب آسفالت و سنگفرش معابر ه) افزایش رواناب‌های سطحی در بخش شمالغربی پاوه

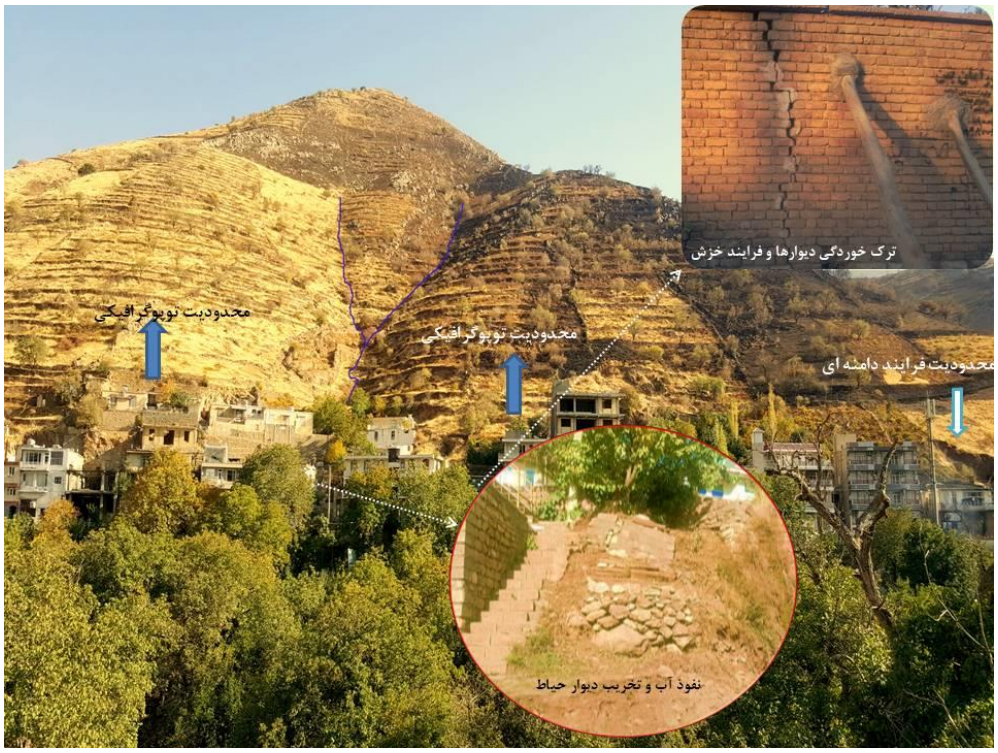
نقشه ژئومورفولوژی منطقه موردمطالعه بیانگر وجود دامنه‌های واریزه‌ای در بخش‌های شمالی منطقه است که درنتیجه نوسانات دمایی زیاد در سازند آهکی بیستون ایجاد شده‌اند. چندین نمونه زمین‌لغزش در بخش‌های جنوبی منطقه (سازند ایلام) و دامنه‌های شمالی دوریسان در نتیجه شیب زیاد و احتمالاً وقایع بارشی سنگین رخ داده است. دره‌های یالی از مهم‌ترین عوارض محدودکننده توسعه در بخش‌های شمالی حوضه‌های پاوه، نوریاب و دوریسان به شمار می‌آید (شکل ۶). نمونه بارز از دره‌های یالی در محله مسجد جامع دیده می‌شود که سبب تخریب کاربری‌های شهری و به‌ویژه سطوح آسفالت و سنگفرش کوچه‌ها شده است.



شکل ۶. نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش

با توجه به عوامل مؤثر در وقوع فرایند زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه و انجام مراحل مدل ویکور نقشه پهنه‌بندی پتانسیل زمین‌لغزش به دست آمد. دامنه ارزشی حاصل از مدل در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۰۴۲ تا ۰/۹۸ است که دارای ماهیت فازی می‌باشد. با بررسی هریک از طبقات خطر لغزش در منطقه موردمطالعه و مقایسه آن‌ها می‌توان دریافت که مناطقی در که در طبقات دارای خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند در شیب‌های بالای ۴۰ درصد قرار دارد (شکل ۸). درواقع حساسیت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به تخریب و هوازدگی باعث انباشت حجم زیادی از مواد بر روی دامنه‌ها شده است که با مساعدت سایر شرایط (ایجاد جاده‌ها و تقطیع دامنه و بارش زیاد) ممکن است زمین‌لغزش‌های زیادی رخ دهد. در چنین شرایطی نقش مکانیکی پوشش گیاهی بی‌اثر شده و درنتیجه افزایش نفوذ آب و درنتیجه افزایش وزن مواد روی دامنه و کاهش اصطکاک نقش تشدیدکننده‌ای در رخداد زمین‌لغزش ایفا می‌کنند. در بخش شمال غربی حوضه دوریسان به‌واسطه نوسانات شدید درجه حرارت شرایط مساعدی جهت وقوع ریزش و زمین‌لغزش فراهم شده است. پهنه‌های با احتمال وقوع بالای زمین‌لغزش به‌صورت لکه‌های نسبتاً بزرگی دیده می‌شود (شکل ۸). خاک‌برداری و ایجاد ترانشه در جاده منتهی به بالای قله شاهو، وجود سازندهای هوازده و منفصل به‌صورت محلی و شیب‌های ۳۵ تا ۶۵ درجه می‌تواند منجر به ناپایداری‌های موضعی در این بخش شود.



شکل ۷. محدودیت‌های ژئومورفولوژیک در توسعه شهری منطقه دره نیشه

جدول ۳. ویژگی‌های عوامل مؤثر در وقوع مخاطره زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه

← میزان شیب	ارتفاع	♦ فاصله از جاده	☑ لیتولوژی	❖ شاخص توان آبراهه
با توجه به خصوصیات شیب‌های دامنه‌ای در مطالعات شهری، بر اساس استاندارد ارائه شده از طرف اتحادیه جغرافیایی بین‌المللی، حداکثر شیب زمینی نباید از ۱۱ درجه تجاوز کند. البته بسته به شرایط محیط این مقدار اندکی تغییر می‌کند. شیب ۸ درجه یا ۱۵ درصد به‌عنوان حد فوقانی شیب قابل‌اجرا برای ساخت‌وسازهای شهری در نظر گرفته شده است. در منطقه موردمطالعه بخش اعظم منطقه را شیب‌های بالاتر از ۱۵ درجه در برگرفته است.	با توجه به توزیع ارتفاعات می‌توان گفت که منطقه موردمطالعه دارای درجه ناهمواری بالایی می‌باشد. بر طبق نمودار هیپسومتری منطقه موردمطالعه هر سه حوضه در مرحله جوانی قرار دارند. عامل ارتفاع به‌صورت مستقیم در وقوع فرایند زمین‌لغزش نقش ندارد، اما به‌طور غیرمستقیم بر بارش، دما و نوسان آن تأثیر می‌گذارد.	یکی از عوامل مؤثر بر وقع ناپایداری دامنه‌ای احداث جاده‌ها است. حفر تراشه و خاکبرداری به‌منظور احداث جاده از یکسو عامل نگهدارنده را از پای دامنه برداشته و باعث افزایش پتانسیل گسیختگی می‌شود و از سوی دیگر باعث افزایش شیب می‌شود. با توجه به کوهستانی بودن منطقه موردمطالعه بیشتر جاده‌ها بر روی دامنه‌های پرشیب قرار گرفته‌اند. درنتیجه این امر در برخی نقاط احداث جاده منجر به ایجاد ترانشه‌های کنار جاده با شیب و ارتفاع زیاد شده است. در این پژوهش از نقشه فاصله از نقاط مخاطره‌آمیز کنار جاده استفاده شده است. واحدهای کواترنری به دلیل منفصل بودن، جذب آب و رسیدن به حد خمیری پتانسیل بالایی در وقوع لغزش دارند.	سنگ‌بسترهای متفاوت، حساسیت و استعداد متفاوتی را نسبت به فرایند لغزش دارند. در منطقه موردمطالعه نهشته‌های آبرفتی به علت منفصل بودن، جذب بیشتر آب و رسیدن به آستانه خمیری شدن تأثیر زیادی در فرایند لغزش دارند. در منطقه موردمطالعه سنگ آهک بیستون به دلیل هوازدگی ناشی از تغییرات دمایی دارای دامنه‌های واریزه‌ای می‌باشد.	آبراهه‌ها با عمل زیربری، گسترش خندق و جابجایی مواد، مقدمات زمین‌لغزش را فراهم می‌کنند. در این پژوهش ما از شاخص توان آبراهه استفاده کرده‌ایم. این شاخص در مناطقی که نیمرخ محدب دارند (مناطق همگرا و تند) فرسایش ویژه و در نواحی که نیمرخ مقعر دارند (کاهش ظرفیت جریان) رسوب ویژه را پیش‌بینی می‌کند. این شاخص در منطقه موردمطالعه دارای حداقل ۲- و حداکثر ۲۲ است. بیشترین وزن مربوط به طبقه بیشتر از ۲۰ است. این شاخص از رابطه مساحت حوضه به تانژانت شیب به دست می‌آید. $SPI = As.\tan\beta$
	✓ جهت شیب جهات شیب در منطقه موردمطالعه اهمیت زیادی در رابطه با نوع هوازدگی و تخریب مواد روی دامنه و توزیع رطوبت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده ناپایداری‌های دامنه‌ای دارد. توزیع جهت شیب در منطقه موردمطالعه تقریباً یکسان است.		★ کاربری زمین: مناطق مسکونی از اهمیت بالایی در مخاطرات محیطی برخوردار است و ساخت‌وسازهای انسانی باید به‌دوراز مخاطرات دامنه‌ای و ... باشد. در منطقه موردمطالعه بیشترین کاربری زمین مربوط به مرتع نیمه متراکم است و کمترین کاربری مسکونی و مرتع فقیر است.	

شاخص توپوگرافی: شاخص موقعیت توپوگرافیک (*TPI*)

ارتفاع هر سلول در یک دم را با ارتفاع هریک از سلول‌های همسایه‌های مشخص در اطراف سلول مقایسه می‌کند. ارتفاع میانگین محلی از مقدار ارتفاع در مرکز پنجره محلی کسر می‌شود. مقادیر مثبت این شاخص بیانگر نقاطی است که میانگین پنجره محلی بزرگ‌تر هست و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده نقاط پایین‌تر می‌باشد. منطقه موردمطالعه در مقیاس کلی شامل دره‌ها و میاناب‌های متعدد است و اراضی هموار درصد کمی از منطقه موردمطالعه را تشکیل می‌دهند. بر روی دامنه‌های پرشیب میاناب‌ها و دره‌ها که مقادیر این شاخص بالا است، زمینه برای ایجاد فرایند لغزش بالا است.

انحنای دامنه

شیب‌های مقعر به‌واسطه نگه‌داشتن آب و اشباع لایه‌های تحت‌الارضی عاملی برای حرکت توده‌ای خاک و سنگ می‌شوند. شیب‌های محدب عاملی برای افزایش انرژی جنبشی قطعات سنگی سقوط یافته و جهش بیشتر آن‌ها هستند. بر این اساس، با توجه به خطوط منحنی میزان در نقشه توپوگرافی، دامنه‌های محدب، مستقیم و مقعر شناسایی شدند. دامنه‌های مقعر کمترین امتیاز و دامنه‌های محدب بیشترین امتیاز را در وقوع فرایندهای دامنه‌ای دارند.

فاصله از گسل: زمین‌لغزش ارتباط تنگاتنگی با گسل دارد. وجود گسل‌ها و تراکم آن‌ها حاکی از فعال بودن زمین‌ساخت در این منطقه هست که خود عاملی جهت ناپایداری دامنه‌ها محسوب می‌شود. در منطقه موردمطالعه بیشترین فاصله به فاصله بیش از ۲۰۰ متر اختصاص دارد. خط گسلی با روند شمالغربی – جنوبشرقی به‌موازات محدوده شهری پاوه و در حاشیه شمالی آن قرار دارد.

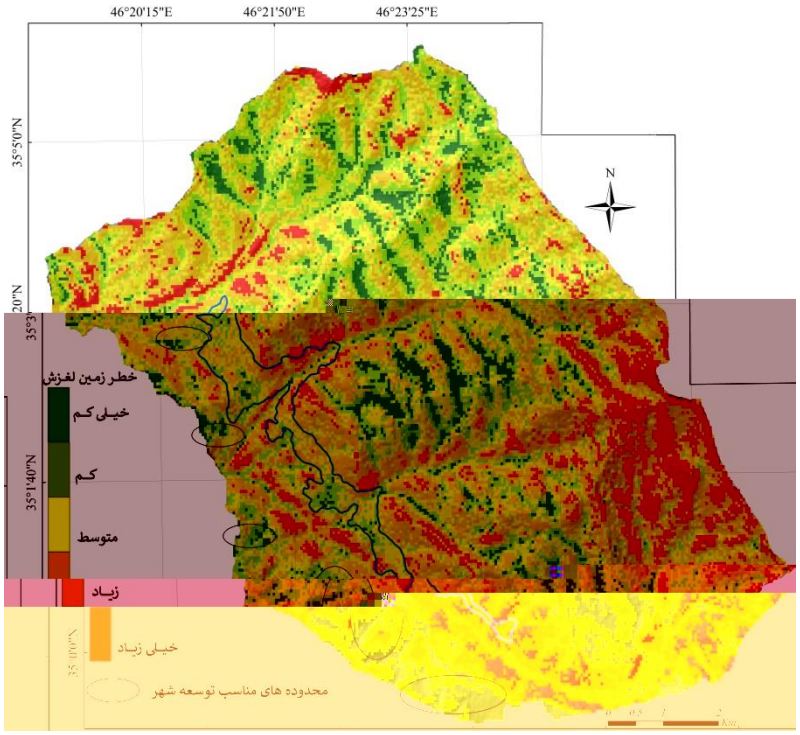
شاخص پوشش گیاهی: *NDVI* نسبت محدودشده در دامنه ۱+ تا ۱– است. مقادیر این شاخص هرچقدر به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تراکم بالاتر پوشش گیاهی است. مقادیر شاخص *NDVI* در منطقه مورد مطالعه بیانگر نسبتاً بالا بودن تراکم پوشش گیاهی می‌باشد. مقادیر نسبتاً پایین این شاخص عمدتاً در دامنه‌های پرشیب و صخره‌ای می‌باشد. بیشترین میزان این شاخص در دره‌های نسمه، خانقاه و چورژی می‌باشد که اغلب شامل باغات و یا درختانی است که در اطراف آبراهه‌ها وجود دارند.

شاخص رطوبت توپوگرافی

شاخص رطوبت توپوگرافیک برای توصیف الگوی فضایی رطوبت خاک استفاده می‌شود. این شاخص برای مطالعه حساسیت زمین‌لغزش استفاده می‌شود. این شاخص مقادیر بالای رطوبت توپوگرافی معمولاً در بدنه لغزش‌ها پیدا می‌شود. شاخص رطوبت در منطقه موردمطالعه در محدوده ۷ تا ۲۹ قرار دارد. بیشترین میزان شاخص رطوبت تلگرافی در حوضه پاوه و بخش جنوبی منطقه موردمطالعه هست.

در بخش‌های شمالی حوضه پاوه نوریاب که به دامنه‌های پرشیب کوهستان شاهو منتهی می‌شود، فرایندهای ناپایداری دامنه‌ای عموماً به‌صورت ریزش و سقوط سنگ‌ها عمل می‌کنند و تخریب توده‌ای از احتمال پایین‌تری برخوردار است. به علت نقش جاده در زیربری دامنه‌ها، نقش آبراهه در زیرشویی و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه، نقش گسل در ایجاد درز و شکاف در سنگ‌ها و نفوذ دادن آب به سازند، مناطق دارای پتانسیل خطر بالا ازنظر این معیارها در نزدیکی به این عوارض خطی قرارگرفته‌اند. در حوضه پاوه به علت نقش ساخت‌وسازهای غیراصولی و تغییر کاربری زمین در فواصل نسبی نزدیک میزان خطر زمین‌لغزش بالا است. با توجه به نقشه نهایی محلات ظفر و شهرک نهضت در محدوده خطر زمین‌لغزش قرارگرفته‌اند. به نظر می‌رسد وجود عواملی مانند سستی خاک، تخلخل زیاد، شیب زیاد، عدم خاکبرداری اصولی در هنگام ساخت‌وساز و نرسیدن به بسترهای پایدار باعث شده است تا در طی چند سال اخیر حرکات دامنه‌ای به‌ویژه لغزش در این مناطق رخ دهد. مناطق دره‌ای حوضه‌های دوریسان و نوریاب به واسطه شیب تند توپوگرافی و نزدیکی به خطوط گسلی و جاده دارای پتانسیل بالای خطر زمین‌لغزش می‌باشند.

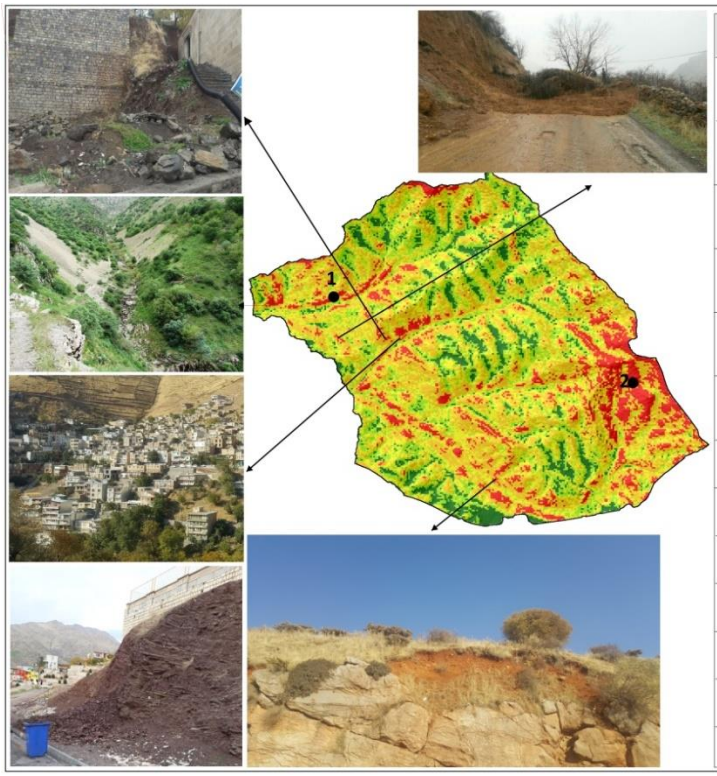
با توجه به بالا بودن احتمال وقوع مخاطرات دامنه‌ای در پاوه مقدار زمین‌های مناسب برای توسعه آتی شهر بسیار اندک می‌باشد. به علت داشتن شیب کم، دور بودن از خطوط گسلی و پایداری بستر به نظر می‌رسد مناسب‌ترین جهت توسعه در شهر پاوه به سمت جنوب غربی و جنوب منطقه می‌باشد.



شکل ۸. نقشه مناطق خطر زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه

اعتبارسنجی مدل

برای مستندسازی بیشتر اعتبار نقشه نهایی پهنه‌بندی لغزش با استفاده از مدل ویکور بعد از انتخاب تعدادی از پیکسل‌های معرفی‌شده به‌عنوان نقاط پرخطر (شکل ۹)، به بررسی موردی این پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای تعیین‌شده پرداخته شد. به‌طورقطع انطباق این نمرات استانداردشده باارزش واقعی ثبت‌شده از معیارها که با توجه به نقشه‌های رقومی به‌دست‌آمده است، به درک ملموس‌تر نتیجه حاصل از به‌کارگیری تابع عضویت در مجموعه‌های فازی و به‌کارگیری مدل ویکور کمک قابل‌توجهی می‌کند. با توجه به جداول مربوط به بررسی پیکسل‌های پرخطر، نمونه اول با مجموع امتیاز ۲۵۰۵ در ۱۰ معیار از ۱۲ معیار مطرح در پهنه‌بندی لغزش ارزش فازی بالای ۲۰۰ را دریافت کرده است. نمونه‌های دوم و سوم نیز با مجموع امتیازهای ۲۴۱۲ و ۲۴۳۰ هر دو در ۱۰ معیار ارزش بالای ۲۰۰ را به خود اختصاص داده‌اند.



	نمونه 1		نمونه 2	
معیار	پیکسل	فازی	پیکسل	فازی
ارتفاع	۱۸۳٤	۱۳۷	۲۹۱۲	۲۳۰
شیب	٤۰	۲۲۷	٥٦	۲٥۰
جهت شیب	جنوب شرقی	۱۹۸	شرقی	۲۰٥
لیتولوژی	کواترنری	۲٥٥	بیستون	٥٤
کاربری	مرتع غنی	۲۰٤	مرتع فقیر	۲۱۸
آبراهه	۱۷/۳	۲۱٦	۱۰/۸	۱٦۰
گسل	۱۰۰	۲٥۰	۲٥۰	۱۹۳
رطوبت	۱٦	۲۰۸	۱۷	۲۲۰
توپوگرافی	۲۱	۲۱٤	۲۳	۲۱۹
انحنا	۰/۲۳	۲۰۷	۰/۳۸	۲۲٦
جاده	۲۰۰	۲۰۲	۱۰۰	۲۲٦
پوشش گیاهی	۰/۰۲٤	۱۸۷	-۰/۲٦	۲۱۱

شکل ۹. اعتبار سنجی مدل ویکور با استفاده از مطالعات میدانی و ارزیابی پیکسل‌ها

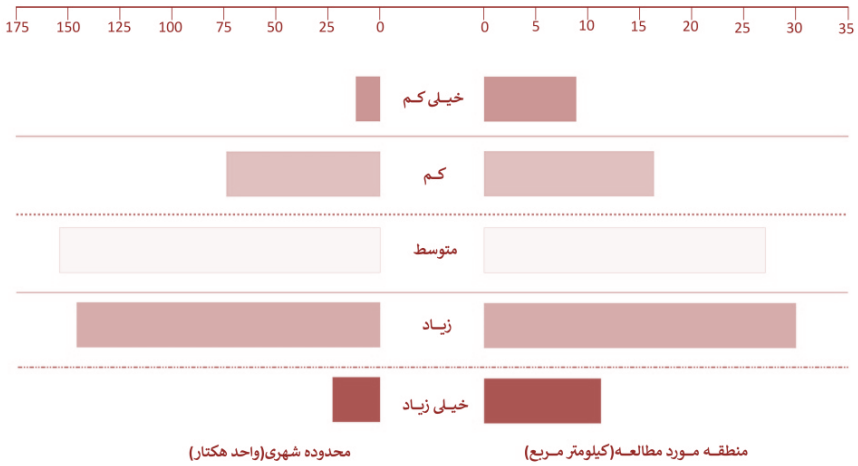
نتیجه‌گیری

عوامل فعال ژئومورفولوژیکی از قبیل هوازدگی، فرسایش رودخانه‌ای، عمل باد، عملکرد انسان و ... خود منشأ شکل‌گیری برخی مخاطرات محیطی از قبیل زمین‌لغزش، خزش، سیل و ... می‌باشد. در این میان انسان و سکونتگاه‌های انسانی خود به‌عنوان یک عامل ژئومورفولوژیک و هم به‌عنوان بخش اصلی از آسیب‌پذیری (آسیب‌پذیری انسانی) مطرح است. هدف از پژوهش حاضر بهبود آگاهی ژئومورفولوژیکی به‌منظور درک تعامل بین لندفرم‌ها، تکامل شهری و فرایندهای ژئومورفولوژیکی مؤثر، به‌عنوان نخستین گام به سمت مدیریت مخاطرات و حفاظت راهبردی از مرکز شهری پاوه است.

با توجه به توسعه روزافزون فیزیکی شهر پاوه و تمایل عمومی به اسکان در نقاط پایکوهی در آینده فعالیت‌های انسانی نقش مؤثری در وقوع مخاطرات ژئومورفولوژیکی ایفا می‌کنند. بر مبنای یافته‌های پژوهش توسعه شهری در پاوه با تخریب اراضی باغی و کشاورزی و حرکت به سمت اراضی ناپایدار (شیب بیش از ۳۵ درصد) در حال حرکت است. الگوهای توسعه شهری در این منطقه به‌صورت خطی به سمت روستاهای اطراف و همچنین ایجاد هسته‌های سکونتگاهی در فضای اطراف شهر شکل گرفته است که در برخی موارد ازجمله محله تپه‌کوله و محلات مسجد جامع به مسئله پایداری محیطی توجه چندانی صورت نگرفته است. با این شرایط با ادامه توسعه شهری در پاوه شاهد حرکت به سمت مناطق پرمخاطره‌تر و افزایش ضریب خطر هستیم. محدودیت‌های توپوگرافیکی در قالب ارتفاعات طولی شمالی و شمال‌غربی و همچنین وجود دره‌ها و تپه‌های منفرد نقش محدودکننده‌ای در توسعه شهری پاوه دارند. از طرفی تغییرات کاربری زمین موجبات کاهش نفوذپذیری آب و افزایش رواناب‌های سطحی را فراهم آورده است که عمدتاً در قالب محدود نمودن آبراهه‌ها، تجاوز به حریم و تغییر مسیر آن‌ها و افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری (آسفالت) صورت گرفته است. ازاین‌رو با توجه به توسعه سکونتگاهی در دره‌های باسام و دوریسان که سبب تغییر شبکه هیدروگرافی اولیه شده است، مخاطره سیلاب و پیامدهای ناشی از آن، این مناطق را تهدید می‌کند. با روند توسعه شهری در بخش شمال‌غربی شهر پاوه درنتیجه خاکبرداری و افزایش فشار بر واحد سطح دامنه، مسئله آسیب‌پذیری درنتیجه مخاطرات محیطی در این بخش که بافت سنتی شهر پاوه

در آن جای دارد، تأثیرات مخاطره‌آمیز بیشتری را به بار خواهد آورد. علاوه بر این رشد عمودی ساختمان‌ها در این بخش‌ها نه‌تنها در بروز ناپایداری‌های دامنه‌ای مؤثر بوده است بلکه در تشدید آن نقش بسزایی دارد. تخطی از ضوابط و مقررات ساخت‌وساز شهری و خروج فرایندهای ساخت و توسعه از محدودیت‌ها و قیود برنامه‌ریزی شهری، مانعی برای تحقق توسعه پایدار شهری در پاوه خواهد بود و درنتیجه ضریب ریسک مخاطرات دامنه‌ای را به‌ویژه در بخش‌های شمالی و شمال شرقی شهر بالا برده است.

نقشه پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش نشان داد که پهنه پرخطر بیش از ۴۰ کیلومترمربع (۴۳ درصد) از منطقه موردمطالعه را در برگرفته است (شکل). ازاین‌رو بستر کنونی شهر پاوه در معرض خطر ناشی از فرایندهای دامنه‌ای قرار دارد به‌طوری‌که ۳۹ درصد از مساحت این شهر در مناطق پرخطر زمین‌لغزش واقع‌شده است (شکل ۱۰). بر مبنای مطالعه سالاری و همکاران (۱۳۹۹) توسعه سکونتگاهی در پاوه در سال ۲۰۳۰ به ۱۰ کیلومترمربع خواهد رسید و نواحی با گرادیان شیب بالاتر و نیز حریم‌های رودخانه‌ای را در برمی‌گیرد؛ ازاین‌رو بر لزوم شناسایی پهنه‌های فعال و پرمخاطره در ارتباط با حرکات دامنه‌ای تأکید نموده‌اند. نتایج پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از مدل VIKOR نشان می‌دهد که در صورت توسعه پاوه به سمت مناطق دارای گرادیان شیب بالا به‌ویژه در بخش‌های شمالی و شرقی، نواحی سکونتگاهی جدید کاملاً در محدوده پرخطر وقوع زمین‌لغزش قرار خواهند گرفت؛ بنابراین، ناپایداری‌های دامنه‌ای به‌صورت تخریب توده‌ای باید در هرگونه برنامه‌ریزی و آمایش فضا در این منطقه مدنظر قرار گیرند.



شکل ۱۰. مساحت طبقات آسیب‌پذیری مخاطره زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه

مقایسه مطالعات صورت گرفته نشان داد که نتایج پژوهش حاضر با رمضانی (۱۳۸۹) که مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده توسعه شهری پاوه را مخاطرات دامنه‌ای معرفی می‌کند و بر نقش عامل لیتولوژی و شیب در بروز حرکات دامنه‌ای منطقه تأکید دارد همخوانی دارد. همچنین ملکی و همکار (۱۳۹۳) محدودیت‌های توپوگرافیکی را عامل اصلی عدم توسعه پایدار در شهر پاوه می‌داند و سمت جنوب شرقی و جنوب غربی را مناسب‌ترین جهات توسعه فیزیکی قلمداد می‌کند، همچنین بر لزوم رشد عمودی ساختمان‌ها به‌واسطه کمبود کاربری‌های مناسب تأکید دارد. مطالعه سالاری و همکاران (۱۳۹۹)در ارتباط با ارزیابی روند گسترش نواحی شهری پاوه بیان می‌کند که باوجود کارا بودن پژوهش انجام‌شده، لزوم تهیه طرح و سند ژئومورفولوژیکی برای شهر پاوه ضروری است که پژوهش حاضر برای نخستین بار به تهیه نقشه ژئومورفولوژی تفصیلی پاوه پرداخته است. با توجه به نتایج پژوهش حاضر پیشنهادهای ذیل در برنامه‌ریزی‌های شهری پاوه می‌بایستی اعمال گردد: از ایجاد برش‌های عمیق دامنه، جهت ایجاد کاربری‌های مسکونی که منجر به از بین رفتن تکیه‌گاه دامنه می‌شود، خودداری گردد. همچنین از ساخت‌وساز بر روی سازندهای کواترنری که دارای شیب توپوگرافی زیادی می‌باشند جلوگیری شود. ازآنجایی‌که میزان تخریب سازه‌ها به هنگام وقوع حرکات توده‌ای در شیب‌های زیاد به میزان قابل‌توجهی افزایش

می‌یابد، می‌بایستی از افزایش بار بر روی دامنه‌ها و پر نمودن دامنه‌ها در نزدیکی خطوط شکستگی‌ها و نقاط سست جدا خودداری کرد.

منابع

- اسفندیاری، ف.، هاشمی، س.ا.، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دامنه‌های مشرف‌به شهر پاوه به روش آنبالاگان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، چهارمین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، مشهد، صص ۱۰-۱.
- حجازی، س.ا.، نجف‌وند، س.، ۱۳۹۹. پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان پاوه با استفاده از روش منطق فازی، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۳۸۵-۳۷۶.
- حکمت‌نیا، ح.، انصاری، ژ.، ۱۳۹۱. برنامه‌ریزی مسکن شهر میبد با رویکرد توسعه پایدار، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۹، صص ۲۰۷-۱۹۱.
- رمضانی،کوهسار.، ۱۳۸۹. تاثیر فرایندهای ژئومورفولوژیک بر توسعه شهری پاوه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- روستایی، ش.، خدایی، ل.، مختاری، د.، رضاطبع، خ.، خدایی، ف.، ۱۳۹۴. کاربرد تحلیل ANP در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محور و مخزن سد قلعه‌چای، مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۵، ۷۴-۵۹.
- زاهدی، م.ج.، ۱۳۸۶. توسعه و نابرابری، تهران، انتشارات مازیار، چاپ سوم
- شعاعی،ع.، کرم،ا.، یعقوب‌نژاد،ن.، لطفی مقدم، ش.، ۱۳۹۶. نقش تحلیل فضایی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در برنامه‌ریزی شهری، مطالعه موردی: دامنه‌های شمال‌غرب کلان شهر تهران، شماره ۲، ۱۴۸-۱۱۹.
- صفاری، ا.، مقیمی، ا.، ۱۳۸۹. ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری در قلمروی حوضه‌های زهکشی سطحی مطالعه موردی: کلان شهرتهران، مدرس علوم انسانی-برنامه ریزی و آمایش فضا، شماره ۱، صص ۳۱-۱.
- عطایی، م.، ۱۳۸۹، تصمیم‌گیری چندمعیاره، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان.
- کرمی، ف.، ۱۳۸۴. ارتباط گسترش شهرها و وقوع انواع زمین‌لغزش ها (مورد نمونه: شهر تبریز)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، شماره ۱۹، ۱۸۲-۱۶۳.
- مالچفسکی، ی.، ۱۳۸۵. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه عطا غفاری و اکبر پرهیزگار، انتشارات سمت.
- ملکی، ح.، قنبری، ح.، کیوان‌فر،ک.، ۱۳۹۳. ارزیابی موانع طبیعی توسعه فیزیکی شهر پاوه، کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار
- *Bezerra, L., Neto, O. D. F., Santos, O., & Mickovski, S. (2020). Landslide Risk Mapping in an Urban Area of the City of Natal, Brazil. Sustainability, 12(22), 9601.*
- *Calista, M., Miccadei, E., Pasculli, A., Piacentini, T., Sciarra, M., & Sciarra, N., 2016. Geomorphological features of the Montebello sul Sangro large landslide (Abruzzo, Central Italy). Journal of Maps, 12(5), 882–891.*
- *Chen, L.Y., Wang, T.C., 2009. Optimizing Partners Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategicdecision of Fuzzy VIKOR, International Journal of Production Economics, Vol 120 (1), PP 233-242.*
- *De Muro, S., Ibba, A., Simeone, S., Buosi, C., & Brambilla, W., 2017. An integrated sea-land approach for mapping geomorphological and sedimentological features in an urban*

microtidal wave-dominated beach: A case study from S Sardinia, western Mediterranean. Journal of Maps, 13(2), 822–835.

- *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.*
- *Eyles, N., 1994. Environmental geology of urban areas. Geoscience Canada.*
- *Gupta, A., & Ahmad, R., 1999. Urban steep lands in the tropics: an environment of accelerated erosion. GeoJournal, 49(2), 143-150.*
- *Kienholz, H., 1978. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland: Scale 1: 10,000∗. Arctic and Alpine Research, 10(2), 169-184.*
- *Opricovic, S., and Tzeng, G. H., 2006. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. European journal of operational research, 178(2), 514-529.*
- *Paliaga, G., Luino, F., Turconi, L., & Faccini, F., 2019. Inventory of geo-hydrological phenomena in Genova municipality (NW Italy). Journal of Maps, 15(2), 28–37.*
- *Pastonchi, L., Barra, A., Monserrat, O., Luzi, G., Solari, L., & Tofani, V., 2018. Satellite data to improve the knowledge of geohazards in world heritage sites. Remote Sensing, 10 (7), 992.*
- *Rochner, M., Mansfield, B., Chappell, M. J., Smithwick, E., Romero, A., Lane, S. N., ... & Biermann, C., 2019. The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography. The AAG Review of Books, 7(3), 203-213.*
- *Thornbush, M., 2015. Geography, urban geomorphology and sustainability. Area, 47(4), 350-353.*
- *Van Den Eeckhaut, M., Marre, A., & Poesen, J. 2010. Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne–Ardenne region (France). Geomorphology, 115(1-2), 141-155.*
- *Van Westen, C. J., Rengers, N., & Soeters, R. 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. Natural hazards, 30(3), 399-419.*
- *Visser, F., 2014. Rapid mapping of urban development from historic Ordnance Survey maps: An application for pluvial flood risk in Worcester. Journal of Maps, 10(2), 276–288.*