

پیش‌بینی روند تغییرات زمین‌لغزش منطقه شمال قوچان با توجه به عوامل مؤثر بر لغزش به روش شبکه عصبی، اتوماتای سلولی - مارکوف و رگرسیون لجستیک

محسن خسروی - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی - یزد، یزد، ایران
علی‌اکبر جمالی^۱ - دانشیار گروه سیستم اطلاعات جغرافیایی و آبخیزداری، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹

چکیده

زمین‌لغزش از عمده مخاطرات طبیعی است که هر ساله باعث خسارت‌های جانی و مالی فراوانی می‌شود؛ بدین دلیل پرداختن به موضوع شناسایی علل و دلایل ایجاد آن و ارائه راهکار جهت کاهش این خسارت‌ها از اهمیت خاص برخوردار است. منطقه شمال قوچان در ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناختی و همچنین تغییر کاربری شدید زمین یکی از مناطق مستعد بروز زمین‌لغزش است. به‌منظور شناسایی و تعیین مناطق حساس به لغزش با کمک گرفتن از عوامل مؤثر در آن با استفاده از روش شبکه عصبی، روش آماری مارکوف و رگرسیون لجستیک این پژوهش انجام شد. نقشه زمین‌لغزش موجود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۶ تهیه شد و به دو کلاس، محل‌های لغزش رخ داده و رخ نداده طبقه‌بندی شد. مقایسه نقشه شبیه‌سازی شده سال ۲۰۱۶ هر یک از مدل‌ها با نقشه طبقه‌بندی شده واقعی نشان داد که شاخص کاپا در نقشه‌های حساسیت لغزش ایجاد شده توسط مدل شبکه عصبی چند لایه پرسپترون، مدل مارکوف و مدل رگرسیون لجستیک به ترتیب برابر ۰٫۹۶، ۰٫۷۲ و ۰٫۸۶ است. این بدان معنی است که مدل شبکه عصبی پرسپترون مدل مناسبی برای پیش‌بینی تغییرات زمین‌لغزش در این منطقه است. نتایج نشان داد، با سست شدن سازندها، تغییر کاربری اراضی به سمت مراتع فقیر و اراضی کشاورزی دیم، افزایش شیب خطر رخداد زمین‌لغزش زیاد شده است.

کلیدواژه‌ها: GIS، زمین‌لغزش، شبکه عصبی، مارکوف، پیش‌بینی.

۱- مقدمه

حرکت‌های توده‌های عبارت از جابه‌جایی حجم زیادی از توده‌های خاک، سنگ و یا ترکیبی از آن‌ها به‌طرف پایین شیب در اثر نیروی ثقل است (مقیم و همکاران، ۱۳۸۷). این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت برشی خاک باشد (علی پور و ملکیان، ۱۳۹۴). یکی از انواع حرکت‌های توده‌ای، زمین‌لغزش است. زمین‌لغزش شامل حرکت تند یا کند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هردو در روی دامنه به سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است (Crosta, 2009). برای شناخت عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای مطالعات زیادی به‌وسیله ژئومورفولوژیست‌ها صورت گرفته ولی به دلیل پیچیدگی این‌گونه حرکات و تأثیر عوامل متعدد در آن، هنوز نتیجه قطعی و کافی در این زمینه حاصل نگردیده است. به‌طورکلی می‌توان عواملی مانند جنس سازند، نوع مواد سطحی، شرایط توپوگرافی، دانه‌بندی سازند، نیروی ثقل، وضعیت تکتونیکی، شرایط آب و هوایی و نوع کاربردی را در وقوع حرکات توده‌ای مؤثر دانست (احمدی، ۱۳۸۵). زمین‌لغزش موجب خسارت به انواع سازه‌های مهندسی، مناطق مسکونی، شریان‌های حیاتی، خطوط انتقال نیرو، جنگل‌ها، مراتع، زمین‌های کشاورزی، معادن و در پی آن ایجاد رسوب و سیلاب‌های گل‌آلود و درنهایت پرشدن مخازن سدها می‌گردد (علی پور و ملکیان، ۱۳۹۴). افزون بر آن اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از وقوع این پدیده، مانند مهاجرت و بیکاری را نباید نادیده گرفت.

نوآوری این پژوهش در استفاده از چندین روش مدل‌سازی پیشرفته در بررسی لغزش‌ها و بررسی عوامل تأثیرگذار در لغزش با استفاده از تحلیل پراکنش و کرنل نقاط است. فرضیات این است که لغزش در شیب‌های تندتر و نزدیک‌تر به جاده، آبراهه، گسل، روستا و کاربری‌های کشاورزی احتمال بیشتری دارد. هدف استفاده از روش‌های مدرن مدل‌سازی در تحلیل لغزش و شناسایی عوامل مهم‌تر در لغزش است.

در سال‌های اخیر به دلیل دسترسی آسان به تصاویر ماهواره‌ای، قابلیت‌های GIS و مدل‌سازی تغییرات زمین، پیش‌بینی آن در آینده رایج شده و تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است.

در پژوهشی Chen و همکاران (۲۰۱۷) به مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک، دپستر-شفر و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش پرداخته‌اند. ابتدا نقشه مناطق حساس به لغزش با استفاده از هر یک از مدل‌ها تهیه شدند. درنهایت، نتایج اعتبار سنجی نشان داد که نقشه حساسیت لغزش ایجادشده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای بالاترین دقت آموزش نسبت به دیگر مدل‌ها را داراست. Malek و همکاران (۲۰۱۵) به پیش‌بینی آینده پوشش جنگلی با پیامدهای خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ای از رومانی پرداختند. سناریوهای صریح، مکانی را تا سال ۲۰۴۰ به‌منظور تجزیه و تحلیل الگوی فضایی تغییرات پوشش جنگل آینده و تغییرات احتمالی در معرض خطر لغزش را مورد بررسی قرار دادند. در نتیجه جنگل‌زدایی می‌تواند منجر به افزایش خطر لغزش، به‌ویژه در نزدیکی یا در کنار جاده‌های جنگل شود. در پژوهشی Park و همکاران (۲۰۱۳) نقشه حساسیت زمین‌لغزش در منطقه

انچه کره با استفاده از نسبت فرکانس، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، رگرسیون لجستیک و روش شبکه عصبی مصنوعی را تهیه کردند. تجزیه و تحلیل همبستگی بین مدل‌ها نشان داد که مدل‌های رگرسیون لجستیک و روش شبکه عصبی مصنوعی دارای بالاترین همبستگی (۰,۸۲۹) بوده و مدل‌های نسبت فرکانس، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی دارای کمترین همبستگی (۰,۶۱۹) می‌باشند (بهاروند و سوری، ۱۳۹۴). به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه سپیددشت لرستان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که به ترتیب سه عامل شیب، جهت شیب و زمین‌شناسی بیشترین همبستگی را با لغزش‌های منطقه دارند (بلوآسی و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی به مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش به‌منظور ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه دوآب الشتر پرداخته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۰/۹۰ روش کارآمدتری نسبت به مدل تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه دوآب الشتر است (شریعتی و همکاران، ۱۳۹۲). به پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی ناشی از آتشفباری پرداخته که در این پژوهش سعی شده با استفاده از روش ترکیبی رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی به پیش‌بینی لرزش ناشی از آتشفباری در حفریات سد مسجدسلیمان پرداخته و سپس این مدل ترکیبی را با مدل‌های تجربی موجود مقایسه نماید. نتایج نشان از آن دارد که مدل ترکیبی با ضریب همبستگی ۰,۹۵ و میانگین مربع خطای ۱۶۲/۳ در مقایسه با سایر روش‌ها برآورد بهتری ارائه می‌کند. فرضیات مطرح‌شده در این پژوهش عبارت‌اند از ۱- بیشترین عوامل تأثیرگذار در زمین‌لغزش‌های منطقه، تغییرات شدید پوشش گیاهی و نوع زمین‌شناسی منطقه است. ۲- همچنین رابطه سازندهای حساس به زمین‌لغزش با فاصله از زمین‌لغزش عکس است و با کاهش فاصله از سازندهای حساس زمین‌لغزش افزایش می‌یابد. همچنین در ارتباط با پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌ها به منابع جدیدی می‌توان اشاره کرد مانند (Dou et al., 2018; Hong et al., 2018). در ارتباط با استفاده از شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک در مطالعه زمین‌لغزش به منابعی مثل (Pham et al., 2017; Aditian et al., 2018) می‌توان ارجاع داد.

هدف اصلی این پژوهش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین میزان تغییرات زمین‌لغزش در طول زمان در منطقه مورد مطالعه و برآورد پیشرفت آن بر اساس عوامل مؤثر در زمان کوتاه با استفاده روش‌های مدرن مدل‌سازی است که می‌تواند به برنامه‌ریزی جهت مدیریت بهینه در آینده کمک کند.

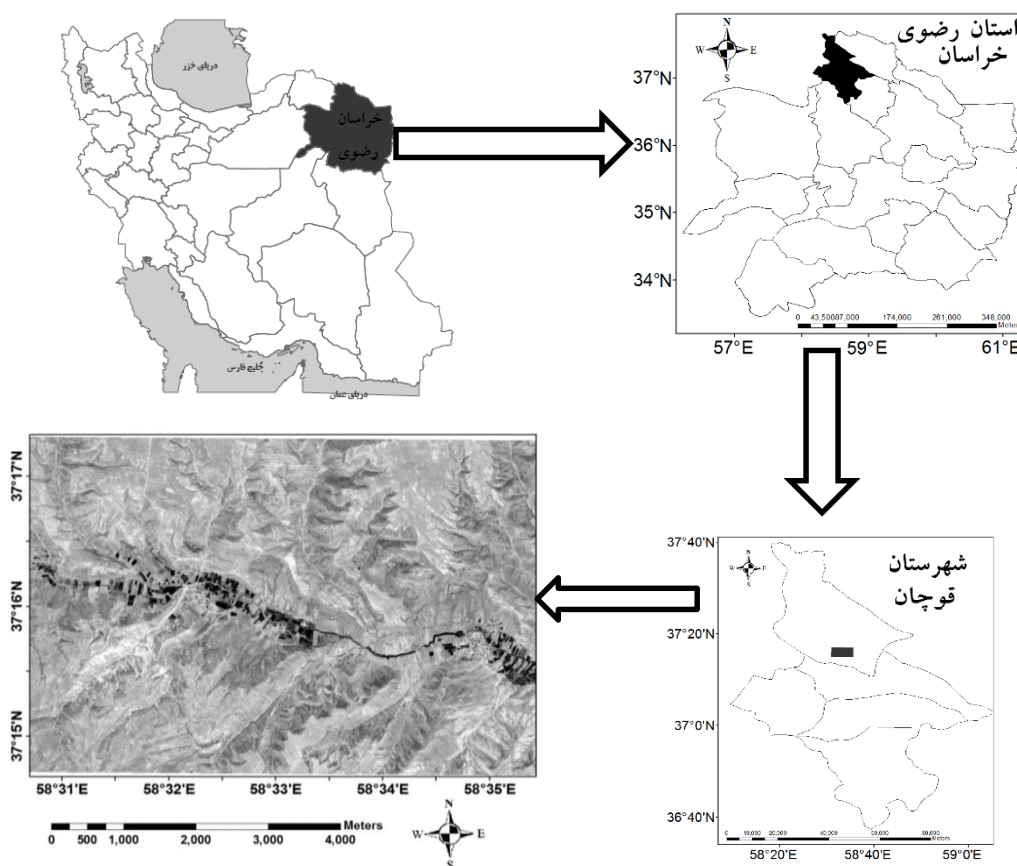
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان قوچان یکی از شهرستان‌های شمالی استان خراسان رضوی، بین عرض‌های ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و طول ۵۸ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۷ دقیقه شرقی واقع شده است.

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز تبارک آباد یکی از اصلی ترین حوضه های تأمین آب رودخانه اترک بوده که در شمال شهرستان قوچان و بین طول های ۳۰° ۵۸' تا ۵۹° شرقی و بین عرض های ۳۷° ۲۰' تا ۳۷° ۳۷' شمالی واقع شده است (شکل ۱).

از نظر زمین شناسی، حوضه تبارک جزء حوضه رسوبی کپه داغ محسوب می گردد. مرز حوضه را رشته کوه های الله اکبر و طاقدیس زوباران تعیین می کنند. ارتفاع میانگین این حوضه ۱۸۸۴٫۹۶ متر و میانگین شیب آن حدود ۲۳ درصد است. به علاوه، حدود ۵۰ درصد از سطح حوضه شیبی بین ۲۰ تا ۴۰ درجه دارد (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۰۸).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیمات کشوری و استانی (مأخذ نگارندگان)

۲-۲- داده ها

۲-۲-۱- شبکه های عصبی چند لایه پرسپترون

یکی از ساده ترین و درعین حال کارآمدترین روش های پیشنهادی برای استفاده در مدل سازی عصب های واقعی مدل پرسپترون چندلایه است که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه میانی (پنهان) و یک لایه خروجی تشکیل یافته

است. در این ساختار، تمام نرون‌های یک‌لایه به تمام نرون‌های لایه بعد متصل‌اند. این چیدمان در اصطلاح یک شبکه با اتصالات کامل را تشکیل می‌دهد (غفاری زرین و محمدزاده، ۱۳۹۳).

هر نرون در لایه ورودی بر اساس تابع زیر پردازش را بروی پارامترهای ورودی شبکه عصبی انجام می‌دهد

$$y_k = \varphi \left(\sum_{i=1}^m (X_i \times W_{ki}) + b_k \right) \quad (1)$$

که در این تابع y_k نرون خروجی، φ تابع فعال‌سازی نرون، m تعداد پارامترهای ورودی شبکه نشان‌دهنده i امین پارامتر ورودی، W_{ki} وزن هر نرون و b_k بایاس پارامترهای ورودی است. فعال‌سازی تمام لایه‌ها (بجز ورودی) که یک تابع سیگموئید هذبه‌صورت است بصورت زیر تعریف می‌شود (Rodrigo; 2007).

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

۲-۲-۲- مدل زنجیره مارکوف

مدل مارکوف به‌طور معمول در پیش‌بینی ویژگی‌های جغرافیایی بدون هیچ اثر ثانوی استفاده می‌شود و در حال حاضر به یک روش پیش‌بینی مهم در تحقیقات جغرافیایی تبدیل شده است.

بر اساس فرمول احتمالات شرطی بیز، پیش‌بینی تغییرات کاربری در مدل مارکوف با استفاده از رابطه زیر محاسبه

می‌شود (Sang et al., 2011)

$$S(t+1) = P_{ij} \times S(t) \quad (3)$$

که در آن $S(t)$ و $S(t+1)$ حالت‌های سیستم در زمان‌های t و $t+1$ هستند و P_{ij} ماتریس احتمال انتقال در

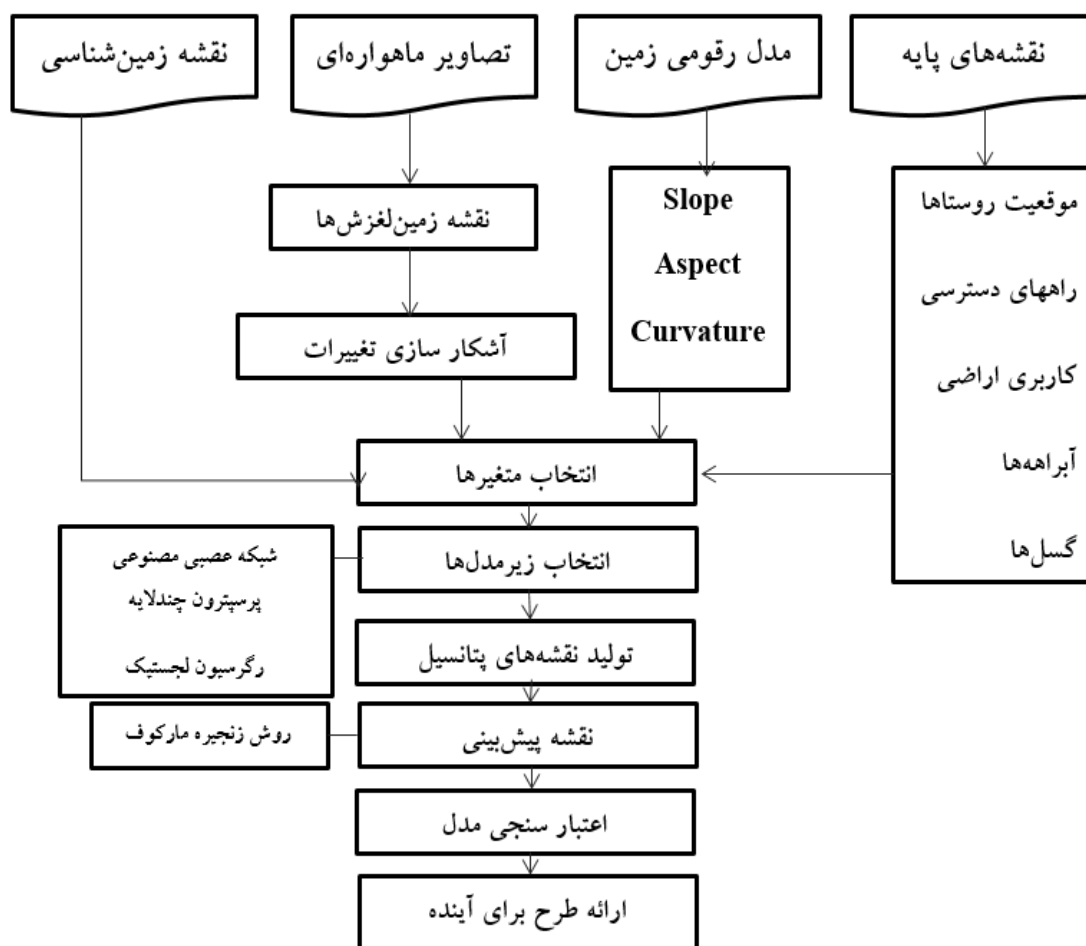
یک حالت است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\left(0 \leq P_{ij} < 1 \text{ and } \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, (i, j = 1, \dots, n) \right) \quad (5)$$

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اخذشده از گوگل ارث اقدام تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش در سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ گردید و منطقه مورد مطالعه به دو کلاس محلی‌های لغزش رخ داده و رخ نداده طبقه‌بندی شد. برای تجزیه و تحلیل خطر لغزش، کسب اطلاعات و ساخت نقشه‌های پایه در زمینه توزیع زمین‌لغزش‌ها و عوامل مؤثر بر لغزش‌ها بسیار مهم هستند. در این مرحله متغیرهای مؤثر بر لغزش انتخاب و به مدل

معرفی می‌شوند. متغیرهایی که شامل شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه‌ها، ارتفاع، کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه است. همه این متغیرها برای استفاده در مدل به یک شبکه ۱۵×۱۵ در محیط GIS تبدیل شد. سپس درجه همبستگی متغیرها و کاربری‌ها را در انتهای دوره با محاسبه ضریب کرامر مشخص می‌شود. پتانسیل تبدیل همه کاربری‌ها به روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و رگرسیون لجستیک مدل‌سازی می‌شود و آن به صورت نقشه آماده می‌شود که این نقشه‌ها میزان احتمال تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر را مشخص می‌کند. جهت پیش‌بینی تغییرات زمین‌لغزش در آینده از روش زنجیره مارکوف استفاده می‌کنیم و سپس جهت ارزیابی صحت نقشه پیش‌بینی از مقایسه نقشه زمین‌لغزش پیش‌بینی شده و طبقه‌بندی شده اولیه منطقه و از شاخص کاپا استفاده می‌شود. شکل ۲ مدل مفهومی برای استخراج نقشه‌های زمین‌لغزش و محاسبات تغییرات آن و پیش‌بینی آینده منطقه بیان می‌کند.



شکل ۲- مدل مفهومی (مأخذ نگارندگان)

۳- نتایج

۳-۱- زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه

نقشه پراکنش زمین‌لغزش در تمامی مطالعات مربوط به زمین‌لغزش از شناسایی، پایش، پهنه‌بندی حساسیت، خطر، ریسک و خصوصاً ارزیابی و تحلیل خطر و ریسک زمین‌لغزش جزء لاینفک و به‌عنوان لایه مبنایی و مهم است. بدیهی است صحت و دقت هر چه بیشتر این نقشه موجب تهیه نقشه‌های حساسیت، خطر و ریسک دقیق‌تر و در نتیجه منجر به ارزیابی درست و واقعی از این نقشه‌ها می‌گردد. جهت به نقشه در آوردن انواع لغزش‌های رخ داده در محدوده مطالعاتی (شکل ۳)، ابتدا با استفاده از تصاویر اخذشده از گوگل ارث تفسیر شده‌اند و مناطق مشکوک به لغزش تعیین شد، در مرحله بعد با انجام پیمایش صحرایی دقیق، موقعیت لغزش‌ها با دقت زیاد به نقشه درآمد (شکل ۴).

۳-۲- فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش

۳-۲-۱- پارامترهای ژئومورفولوژیکی

پارامترهای ژئومورفولوژیکی در این پژوهش شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب است که توسط مدل رقومی زمین که از تصاویر ماهواره‌ای استر استخراج شده تهیه شد. نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب را به ۱۰ کلاس طبقه‌بندی نمودیم (شکل ۵). افزایش ارتفاع، باعث کاهش دما و تغییر در پوشش گیاهی منطقه می‌شود که این شرایط ثبات شیب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جهت شیب نشان‌دهنده قرار گرفتن در معرض نور خورشید و باد است که غلظت رطوبت خاک را کنترل می‌کند؛ بنابراین ارتباط مثبتی بین ارتفاع، شیب و جهت شیب با رخداد زمین‌لغزش وجود دارد.

۳-۲-۲- پارامترهای زمین‌شناسی

زمین‌شناسی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم حساسیت به زمین‌لغزش در نظر گرفته شده است. پنج منطقه زمین‌شناسی در این منطقه مطالعه شده است یعنی سازند های تیرگان، سرچشمه، سنگانه، کنگلومرای پلیوسن - کوآترنری، انباشته‌های کوآترنری؛ که این مناطق از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ قوچان که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده، استخراج شده است (شکل ۶).

۳-۲-۳- نقشه کاربری اراضی

کاربری اراضی ویژگی‌های سطحی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد سبب تغییر رفتار آن در مقابل فرایندهای زمین‌شناسی حاکم بر منطقه از جمله هوازگی و فرسایش می‌شود. نقشه کاربری اراضی، نحوه و نوع توزیع پوشش گیاهی و غیر گیاهی در نقاط مختلف منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس بررسی صورت گرفته و با استفاده از تصاویر

ماهواره‌های کاربری های اراضی زراعی دیم، اراضی زراعی آبی، اراضی بایر، مناطق مسکونی و اراضی صخره‌ای در منطقه شناسایی شد (شکل ۷).

۳-۲-۴- فاصله از گسل

وجود گسل‌ها و خطواره‌ها به‌عنوان عامل ثانویه و یک متغیر مستقل در ایجاد حرکات توده‌ای بسیار قابل توجه است. در اثر نفوذ آب از طریق شکاف‌ها و شکستگی‌های حاصل از گسل، آب‌های زیرزمینی تغذیه‌شده و با بالا رفتن سطح آن‌ها موجبات نفوذ آب را در سازندهای نرم و سست و روی دامنه‌ها فراهم می‌آورد و با از بین بردن چسبندگی بین ذرات سبب کاهش ضریب پایداری در روی دامنه‌های شیب‌دار شده و در نهایت گسیختگی و لغزش در دامنه به وقوع می‌پیوندد (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۵). شکل ۸ نحوه قرارگیری گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۳-۲-۵- فاصله از آبراهه، جاده و مناطق مسکونی

شبکه آبراهه‌ها به مجموعه‌ای از آبراهه‌ها گفته می‌شود که در سطح حوضه، رواناب‌ها را تخلیه می‌کنند. به‌منظور تهیه نقشه حریم فاصله از آبراهه، مناطق مسکونی و جاده دسترسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای این عوارض مشخص و نقشه آن استخراج گردید.

۳-۳- نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون

با استفاده از ابزارهای مدل‌ساز تغییر زمین امکان تحلیل و بررسی تغییرات زمین لغزش در طول یک دوره زمانی وجود دارد؛ که برای رسیدن بدین هدف ابتدا نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده مربوط به ابتدا و انتهای دوره پردازش به مدل وارد شود و سپس با استفاده از مدل رقومی زمین منطقه، تغییرات رخ داده در طول دوره بررسی و تحلیل می‌شود، سپس متغیرهای مؤثر بر لغزش انتخاب و به مدل معرفی می‌شوند. متغیرهایی که شامل شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه‌ها، ارتفاع، کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه است. این مدل در فرایند تجزیه و تحلیل امکان برآورد سریع از توانایی و نقش هر متغیر در پیش‌بینی تغییرات را برای کاربر فراهم آورده است. در واقع درجه همبستگی متغیرها و کاربری‌ها را در انتهای دوره با محاسبه ضریب کرامر نشان می‌دهد (جدول ۱).

جدول ۱- ضریب کرامر متغیرهای استفاده‌شده در مدل

ارتفاع	شیب	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده	فاصله از روستا	کاربری اراضی	گسل	جهت شیب	زمین‌شناسی	ضریب کرامر
۰,۲۴۸۹	۰,۱۲۴۴	۰,۲۴۲۵	۰,۱۳۷۹	۰,۱۴۸۷	۰,۱۲۵۸	۰,۰۷۸۷	۰,۱۳۸۵	۰,۲۳	

بر اساس داده‌های ورودی که شامل: شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراه‌ها، ارتفاع، کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه و نقشه زمین‌لغزش به وجود آمده توسط تابع Evidence Likelihood، پتانسیل تبدیل کاربری مناطق زمین‌لغزش محاسبه شد. در این پژوهش متغیرهای ورودی شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی و زمین‌شناسی به‌عنوان ایستا و متغیرهای فاصله از جاده، آبراه‌ها و روستاها به‌عنوان پویا وارد مدل شده و پتانسیل تبدیل همه کاربری‌ها به روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه مدل‌سازی شد.

روش شبکه عصبی پرسپترون در مدل تغییر زمین به دست صورت است که این مدل شبکه‌ای از نرون‌ها را بر اساس متغیرهای ورودی و خروجی ایجاد می‌کند. تعداد نرون‌های ورودی برابر با تعداد متغیرها (۱۰ نرون) و تعداد نرون‌های خروجی برابر با تعداد طبقات در نقشه تغییرات زمین‌لغزش (۲ نرون) است. شبکه با نیمی از داده‌ها برای آموزش بکار می‌کند و پس از تعداد تکرار معین به میزان کمترین خطای RMS ممکن می‌رسد و با نیم دیگر داده‌ها شبکه را آزمون و کمترین خطا و بیشترین صحت را بیان می‌نماید. پس از کسب بالاترین صحت مربوط به آموزش و آزمون شبکه، نقشه پتانسیل تبدیل تهیه می‌شود. این نقشه‌ها میزان احتمال تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر را مشخص می‌کند. همچنین میزان اثرپذیری هر متغیر در مدل را بیان می‌کند؛ که در اینجا کاربری اراضی، نوع زمین‌شناسی بیشترین اثر و جهت شیب کمترین نقش را با دقت مدل ۸۰ درصد را در پیش‌بینی دارد. سپس نقشه پیش‌بینی زمین‌لغزش برای سال ۲۰۱۶ تولید می‌گردد (شکل ۹).

۳-۴- نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

یکی از مدل‌های آماری مناسب جهت اجرای پهنه‌بندی بر اساس داده‌های موجود، استفاده از مدل رگرسیونی است. در مدل رگرسیون بر اساس داده‌های موجود، معادله‌ای جهت پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته بر اساس یک یا چند متغیر پیشگویی مستقل به دست خواهد آمد؛ اما چنانچه مقادیر متغیر وابسته کیفی بوده و همواره دارای دو حالت باشند (وقوع و عدم وقوع) در آن صورت بدیهی است که الگوی رگرسیون عادی جوابگو نخواهد بود. در چنین حالتی احتمال وقوع پدیده برآورد می‌گردد و مدل اصطلاحاً رگرسیون لجستیک نامیده می‌شود (شیرانی و عرب عامری، ۱۳۹۴).

برای رسیدن به ضرایب بهینه رگرسیون در این پژوهش، لایه طبقه‌بندی شده زمین‌لغزش به‌عنوان متغیر پاسخ انتخاب گردیده است به طوری که به رویداد وقوع زمین‌لغزش عدد یک و به رویداد عدم وقوع آن عدد صفر اختصاص داده شده است و سایر لایه‌های استخراج شده (فاصله از جاده، شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب، فاصله از گسل) به‌عنوان متغیر پیش‌گو در نظر گرفته شده است.

با اجرای مدل و با استفاده از نقشه احتمال پیش‌بینی (شکل ۱۰) می‌توان به مناطقی که دارای پتانسیل بیشتری است پی‌بریم، همچنین با استفاده از تابع لجستیک پیشنهاد داده شده مدل می‌توان میزان تأثیرگذاری هر متغیر مستقل

در مدل شناسایی کرد. ضرایب مثبت دارای تأثیر بیشتر و ضرایب منفی بدون اثر در مدل می‌باشند. با توجه به این ضرایب کاربری اراضی، شیب، ارتفاع و درنهایت نوع زمین‌شناسی منطقه دارای بیشترین اثر می‌باشند.

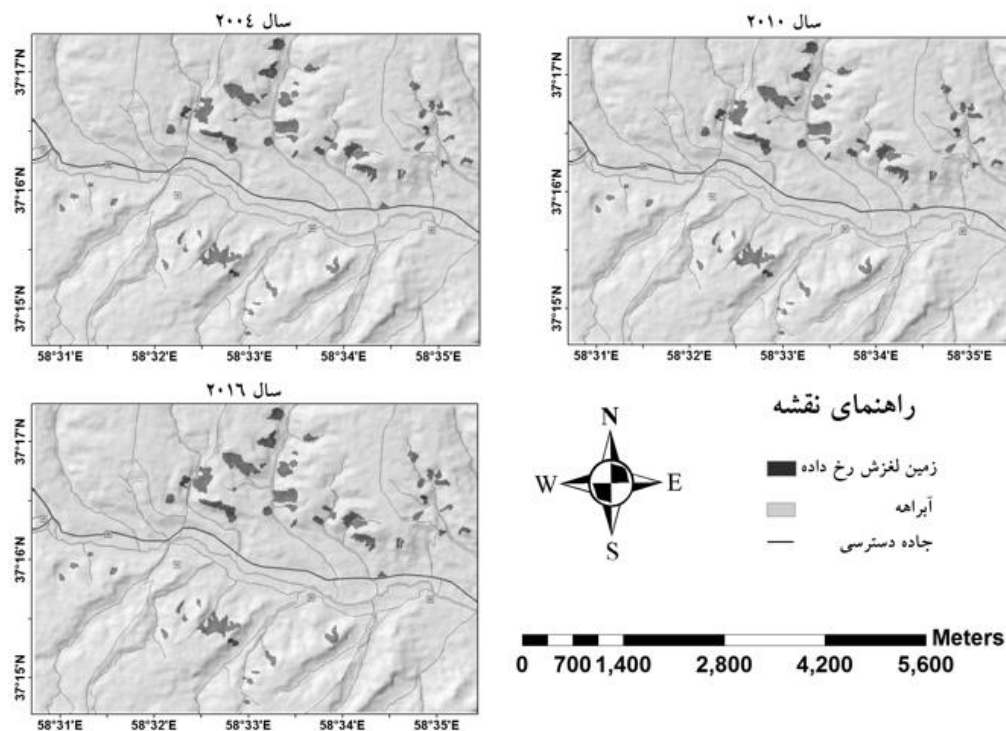
۳-۵- پیش‌بینی تغییرات زمین‌لغزش با استفاده از روش CA-Markov

در روش زنجیره‌های مارکوف تصاویر طبقه‌بندی‌شده زمین‌لغزش را تحلیل و یک خروجی به شکل ماتریس احتمالی تغییرات و یک تصویر خروجی از ماتریس احتمالی تغییرات برای سال افق را ارائه می‌دهد. ماتریس احتمال تغییر نشان می‌دهد که به احتمال هر کلاس از کاربری زمین‌لغزش طبقه‌بندی‌شده در آینده به کاربری دیگری تغییر خواهد یافت. در این روش ماتریس تغییرات نشان می‌دهد تغییر تعداد پیکسل‌هایی از یک کلاس کاربری به کلاس دیگر در یک دوره مشخص به چه میزان خواهد بود. در تحلیل زنجیره مارکوف از طبقه‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیر استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شود. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت (Transition)، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر طبقه و در پایان تصاویر احتمالات شرطی (areas matrix) برای تبدیل کاربری‌های مختلف است.

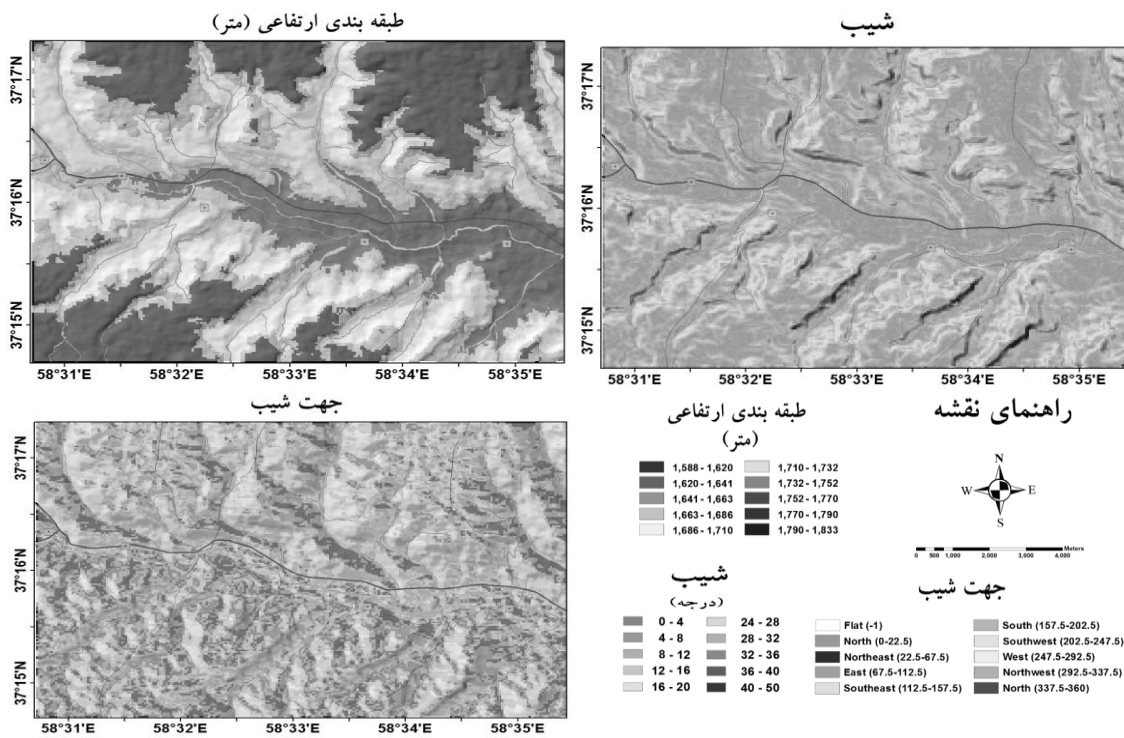
نتایج پیش‌بینی تغییرات زمین‌لغزش با بهره‌گیری از ماتریس تبدیل وضعیت دوره اول ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ برای سال ۲۰۱۶ به‌منظور ارزیابی مدل مارکوف با بهره‌گیری از نقشه زمین‌لغزش موجود برای این سال صورت گرفته است (شکل ۱۱). با توجه به اینکه نتایج ارزیابی دقت پیش‌بینی با مدل زنجیره‌های مارکوف قابل قبول بود، می‌توان با همین نتایج به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی‌ها، تغییرات به وجود آمده در کاربری زمین‌لغزش را در بازه‌های زمانی مذکور ارزیابی و بررسی نمود. چنانچه روند تغییرات آتی را معادل تغییرات فعلی در نظر بگیریم، با توجه به ماتریس احتمال به‌دست‌آمده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ به همراه بهره‌گیری از زنجیره مارکوف می‌توان تغییرات ۶ سال آینده را پیش‌بینی کرد.



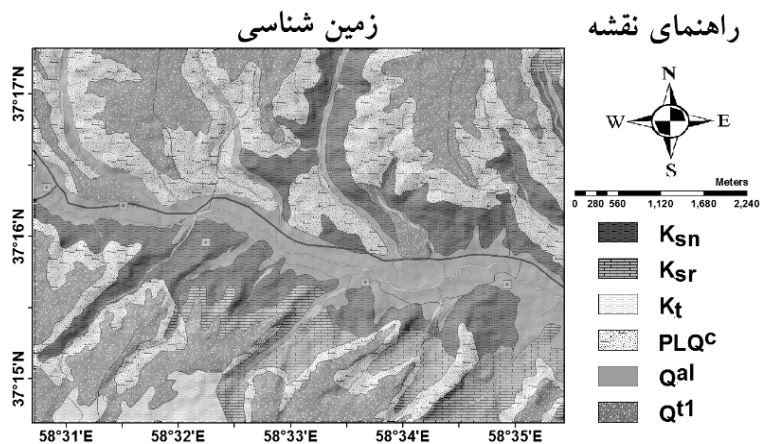
شکل ۳- تصویر زمین‌لغزش با مقطع کمانی و اشکال خندق حاصل از فرسایش شدید در منطقه اقتباس شده از (مأخذ پورسلطانی و قایمی مقدم، ۱۳۹۲)



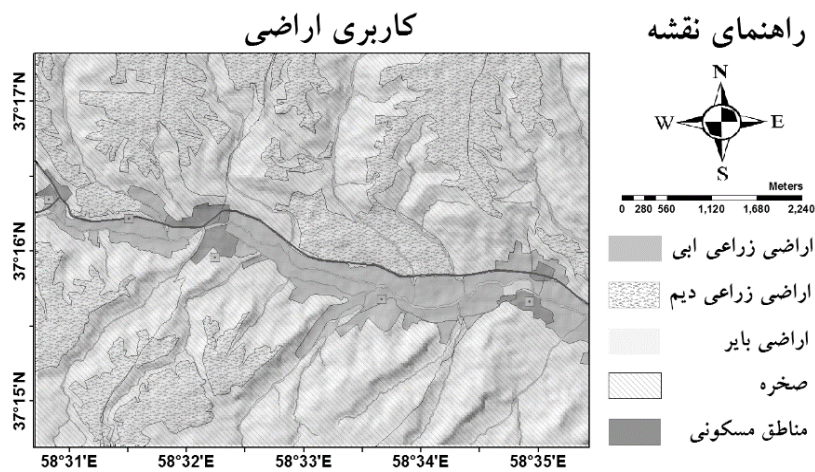
شکل ۴- نقشه پراکنندگی زمین‌لغزش در سال‌های مختلف (مأخذ نگارندگان)



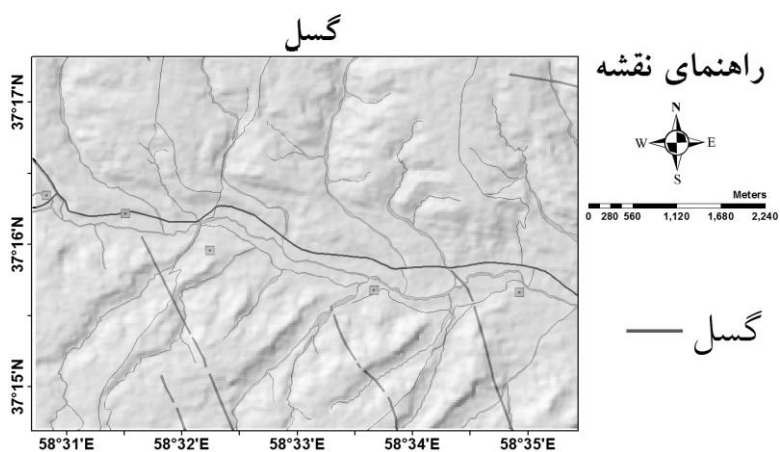
شکل ۵- نقشه ارتفاع، شیب و جهت شیب منطقه مورد مطالعه (مأخذ نگارندگان)



شکل ۶- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (مأخذ سازمان زمین شناسی کشور)

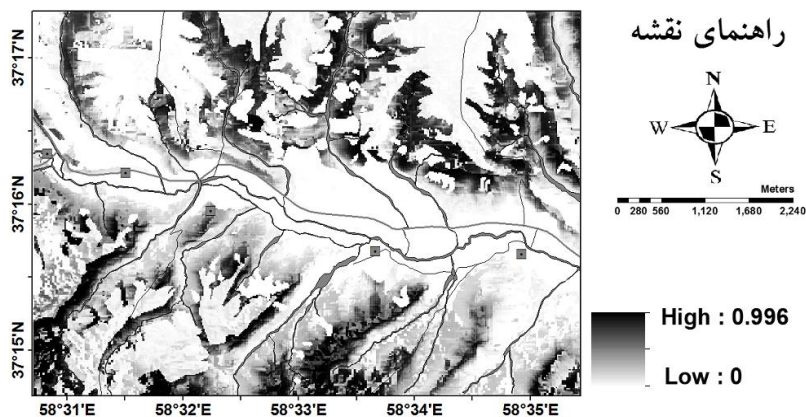


شکل ۷- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (مأخذ نگارندگان)



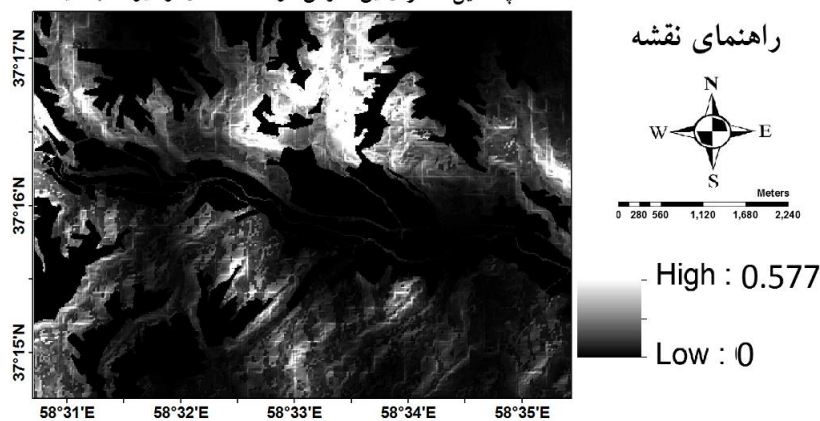
شکل ۸- نقشه گسل های منطقه مورد مطالعه (مأخذ سازمان زمین شناسی کشور)

نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش در سال ۲۰۱۶ توسط مدل LCM



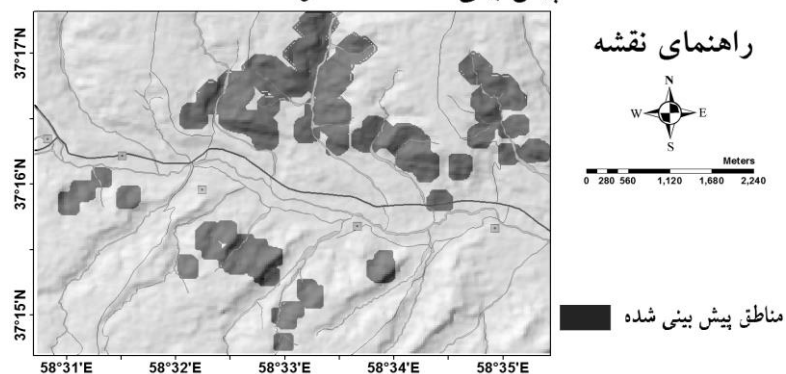
شکل ۹- نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش توسط مدل شبکه عصبی در سال ۲۰۱۶ (مأخذ نگارندگان)

نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش توسط مدل رگرسیون لجستیک



شکل ۱۰- نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش توسط مدل رگرسیون لجستیک در سال ۲۰۱۶ (مأخذ نگارندگان)

پیش‌بینی سال ۲۰۱۶ توسط مدل CA-MARKOV



شکل ۱۱- نقشه زمین لغزش‌های پیش‌بینی شده در سال ۲۰۱۶ توسط مدل CA-Markov (مأخذ نگارندگان)

۴- بحث

نتایج مقایسه نقشه‌های زمین‌لغزش در دوره‌های یادشده نشان‌دهنده افزایش سطح مناطق زمین‌لغزش است. با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه موردنظر و همچنین مسئله تشدید تغییر کاربری اراضی طی دهه اخیر، ناپایداری‌های دامنه‌ای گسترش یافته است. نتایج حاصله از نقشه‌های زمین‌شناسی اکثر مساحت منطقه روی سازندهای سست سنگانه و سرچشمه قرار گرفته است.

تأثیر کاربری اراضی در بروز زمین‌لغزش‌ها نقش مستقیم داشته است، عواملی مانند گسترش اراضی دیم، تخریب مراتع و توسعه سامانه‌های زهکشی از رودخانه‌ها به دامنه‌های پرشیب از مهم‌ترین دلایل زمین‌لغزش در اثر کاربری اراضی بوده است که با نتایج (Chen et al., 2017) همخوانی دارد. نتایج نشان داد، با سست شدن سازندها، تغییر کاربری اراضی به سمت مراتع فقیر و اراضی کشاورزی دیم، افزایش شیب خط رخدادهای زمین‌لغزش زیاد شده است. همچنین با افزایش ارتفاع (بالتر از ۱۷۵۰ متر) به دلیل کاهش شیب از خطر وقوع کاسته شده است که این‌ها نیز با نتایج (Malek et al., 2015) همخوانی دارد. علاوه بر این بهاروند و سوری، امیر احمدی و همکاران، شاد فر و همکاران، فیض نیا و همکاران و موندال نیز بر تأثیرگذاری عوامل شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی بر وقوع زمین‌لغزش‌ها تأکید نموده‌اند.

اصلی‌ترین قابلیت مدل‌ساز تغییرات سرزمین، توانایی آن در پیش‌بینی آینده بر اساس وضعیت تغییرات در گذشته و لحاظ محدودیت‌ها و محرک‌های تغییرات است. با به‌کارگیری شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و رگرسیون لجستیک به‌عنوان مدل برآورد تجربی اطلاعات محور و به کمک متغیرهای مستقل مؤثر بر تغییرات فرآیند پیش‌بینی انجام می‌گیرد. به‌منظور پیش‌بینی از متغیرهای مکانی متعدد و تأثیرگذار بر تغییرات زمین‌لغزش بهره گرفته شد. انتخاب درست متغیرها، نقش مهمی در کاهش مقدار ورودی به‌منظور به دست آوردن شبکه‌ای با قابلیت زیاد و عملکرد سریع خواهد داشت. در این پژوهش متغیرها با محاسبه ضریب کرامر انتخاب گردید.

۵- جمع‌بندی

در نهایت به‌منظور ارزیابی و مقایسه نتایج، مدل ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، رگرسیون لجستیک، مدل CA-Markov در مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمین‌لغزش اجرا شد. نتایج پیش‌بینی شده سه مدل حاکی از آن است که مدل ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با ضریب کاپای ۰,۹۶، نسبت به مدل‌های رگرسیون لجستیک و CA-Markov با ضرایب کاپای ۰,۸۶ و ۰,۷۲، کارایی بهتری داشته است. با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای سال ۲۰۱۶ نقشه پیش‌بینی تهیه شد و با توجه به دقت قابل قبول مدل برای سال ۲۰۲۲ نیز نقشه پیش‌بینی زمین‌لغزش استخراج گردید.

با توجه به نتایج و همچنین جهت تغییرات زمین‌لغزش‌ها در بازه‌های زمانی مختلف، بیشترین عوامل تأثیرگذار در منطقه شامل تغییرات شدید پوشش گیاهی و نوع زمین‌شناسی منطقه است. بدین معنی که هر چه نزدیک به زمین‌های دیم باشیم به علت تخریب مراتع خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد. رابطه معکوس سازندهای سنگانه، تیرگان و سرچشمه با فاصله از زمین‌لغزش را نشان می‌دهد؛ یعنی هر چه فاصله از این سازندها بیشتر شود لغزش کمتری رخ داده است. نتایج حاصله با نتایج عبادی و فیضی زاده، وانگ^۱، چن^۲ و همکاران، پارک^۳ و همکاران، بلواسی و همکاران که همگی بر کارایی بالای روش شبکه عصبی مصنوعی تأکید داشته‌اند، مطابقت دارد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از صحت بالای نقشه پهنه‌بندی از مدل شبکه عصبی مصنوعی، می‌توان اظهار داشت که این مدل دارای قابلیت لازم جهت پیش‌بینی مناطق دارای خطر لغزش در شرایط مشابه با این حوضه است.

منابع

- احمدی، حسن؛ ۱۳۸۵. ژئومورفولوژی کاربردی. جلد ۱ (فرسایش آبی). انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۷.
- امیر احمدی، ابوالقاسم؛ ابراهیمی، مجید؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ ۱۳۹۲، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس‌انتشار (BP) (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور). دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی. تهران: دانشگاه خوارزمی. ۲۸.
- بلواسی، ایمانعلی؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ نیکجو، محمدرضا؛ ولی زاده، کامران خلیل؛ ۱۳۹۴. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش. نشریه مدیریت مخاطرات محیطی. دوره ۲. شماره ۲. ۲۲۵ - ۲۵۰.
- بهاروند، سیامک؛ سوری، سلمان؛ ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه سپیددشت، لرستان). مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. سال ششم. شماره ۴، ۱۵-۳۲.
- پورسلطانی، مهدی رضا؛ قائمی مقدم، مهدی؛ ۱۳۹۲. فیزیوگرافی و زمین‌ریخت‌شناسی حوضه آبریز سد تبارک واقع در شمال قوچان و تأثیر آن بر نوع رسوبات. دو فصلنامه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی. دوره ۸. شماره ۱۵. ۸۳-۹۷.
- شاد فر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ قدوسی، جمال؛ غیومیان، جعفر؛ ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چالکروود تنکابن). پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. دوره ۲۰. ۷۵: ۱۱۸-۱۲۶.

شریعتی، شهرام؛ یزدانی چمزینی، عبدالرضا؛ سلسانی، آرمین؛ ۱۳۹۲. پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی. کنفرانس بین المللی عمران. معماری و توسعه پایدار شهری. تبریز: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز.

شیرانی، کورش؛ عرب عامری، علیرضا؛ ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا). *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی-علوم آب و خاک*. جلد ۱۹. شماره ۷۲. ۳۳۵-۳۲۱.

علیپور، حمید؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۷۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*. ۶۱، ۱۷: ۶۱۵-۶۴۱.

غفاری زرین، میررضا؛ محمدزاده، علی؛ ۱۳۹۳. مدل‌سازی منطقه‌ای TEC با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و مدل چندجمله‌ای در ایران. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری*. دوره چهارم. شماره ۳. فیض نیا، سادات؛ احمدی، حسن؛ حسن زاده نفوتی، محمد؛ ۱۳۸۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز شلمانرود در استان گیلان. *مجله منابع طبیعی ایران*. جلد ۵۴. شماره ۳. ۲۰۷-۲۱۹.

قنبرزاده، هادی؛ بهنیا، ابوالفضل؛ پزشکی، محمود؛ ۱۳۸۵. بررسی علل و عوامل ناپایداری دامنه‌ها در حوضه آبریز رودخانه تبارک آباد قوچان. *نشریه علوم جغرافیایی* ۲(۱): ۱۰۲-۱۲۱.

مقیم، ابراهیم؛ علوی پناه، سیدکاظم؛ جعفری، تیمور؛ ۱۳۸۷. ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ. *پژوهش‌های جغرافیایی*. ۶۴، ۵۳-۷۵.

مقیم، محمدحسن؛ ۱۳۹۴. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی و توسعه شهری با استفاده از مدل LCM (مطالعه موردی شهر یزد). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.

Abedi Gheshlaghi, Hassan & Feizizadeh, Bakhtiar., 2017. An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping. *Journal of African Earth Sciences*. 133. 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.05.007>

Adition, A., Kubota, T., & Shinohara, Y., 2018. Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101-111.

Chen, W., Pourghasemi, H., Zhao, Z., 2017. "A GIS-based comparative study of Dempster-Shafer, logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility mapping." *Geocarto International* 32(4): 367-385. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1140824>

Crosta B.G., 2009. Dating, triggering, odeling and hazard assessment of large landslides. *Geomorphology* 103, 1 – 4. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.04.007>

Dou, J., Yamagishi, H., Zhu, Z., Yunus, A. P., & Chen, C. W., 2018. TXT-tool 1.081-6.1 A Comparative Study of the Binary Logistic Regression (BLR) and Artificial Neural Network (ANN) Models for GIS-Based Spatial Predicting Landslides at a Regional Scale. In *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools* (pp. 139-151). Springer, Cham.

- Hong, H., Liu, J., Bui, D. T., Pradhan, B., Acharya, T. D., Pham, B. T., & Ahmad, B. B., 2018. Landslide susceptibility mapping using J48 Decision Tree with AdaBoost, Bagging and Rotation Forest ensembles in the Guangchang area (China). *Catena*, 163, 399-413.
- Malek, Žiga & Boerboom, Luc & Glade, Thomas., 2015. Future Forest Cover Change Scenarios with Implications for Landslide Risk: An Example from Buzau Subcarpathians, Romania. *Environmental Management*. 56. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0577-y>
- Mondal, S. and S. Mandal., 2017. "RS & GIS-based landslide susceptibility mapping of the Balason River basin, Darjeeling Himalaya, using logistic regression (LR) model." *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*: 1-16.
- Park, S., Choi, C., Kim, B., Kim, J., 2013. "Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea." *Environmental Earth Sciences* 68(5): 1443-1464. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1842-5>
- Pham, B. T., Bui, D. T., Pourghasemi, H. R., Indra, P., & Dholakia, M. B., 2017. Landslide susceptibility assessment in the Uttarakhand area (India) using GIS: a comparison study of prediction capability of naïve bayes, multilayer perceptron neural networks, and functional trees methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 128(1-2), 255-273.
- Rodrigo F Leandro., 2007. A New Technique to TEC Regional Modeling using a Neural Network. Geodetic Research Laboratory, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada
- Sang L, Zhang C, Yang J, Zhu D, Yun W., 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3): 938-943. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>
- Wang, Qiqing & Li, Wenping & Xing, Maolin & Wu, Yanli & Pei, Yabing & Yang, Dongdong & Bai, Hanying., 2016. Landslide susceptibility mapping at Gongliu county, China using artificial neural network and weight of evidence models. *Geosciences Journal*. 20. <https://doi.org/10.1007/s12303-015-0026-1>

