

جغرافیا و توسعه شماره ۳۶ پاییز ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۱/۴/۲۳

تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۳/۲۶

صفحات: ۱۸۰-۱۶۱

## پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه رودخانه گیوی‌چای با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس‌انتشار (BP)

دکتر معصومه رجبی<sup>۱</sup>، دکتر مهدی فیض‌اله‌پور<sup>۲</sup>

### چکیده

زمین‌لغزش نشان‌دهنده‌ی فرایندهای مورفودینامیک است که در زمین‌های شیب‌دار رخ داده و به واحدهای مسکونی، صنعتی، باغات و زمین‌های زراعی آسیب می‌رساند. در این تحقیق برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه رودخانه گیوی‌چای از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه از نوع پیش‌خور پس‌انتشار (BP) استفاده شد. جهت ارزیابی شبکه‌ی عصبی ایجاد شده، داده‌های ۴۱ زمین‌لغزش رخ داده به سیستم ارائه شد. در کنار آن برای پردازش زمین‌لغزش‌ها در نرم‌افزار MATLAB، ۸ لایه متشکل از لایه‌های شیب، جهت شیب، DEM، لیتولوژی، فاصله از گسل، شبکه هیدروگرافی، کاربری اراضی و پراکنش زمین‌لغزش با استفاده از مطالعات میدانی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم شد.

این لایه‌ها جهت تغذیه به شبکه‌ی عصبی ایجاد شده و بر اساس بزرگترین مقدار موجود برای هر لایه نرمالیزه شده و در محدوده بین ۱ و صفر قرار گرفتند. سپس داده‌های نرمالیزه شده به یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه پیش‌خور با الگوریتم پس‌انتشار خطا تغذیه گردید. داده‌های فوق ابتدا در شبکه آموزش دیده شد و سپس مورد آزمایش قرار گرفت. ساختار نهایی شبکه دارای ۸ نرون در لایه‌ی ورودی، ۲۰ نرون در لایه‌ی پنهان و ۱ نرون در لایه‌ی خروجی می‌باشد. در این بین ۸۰ درصد اطلاعات برای آموزش و ۲۰ درصد باقیمانده برای آزمایش در نظر گرفته شد.

در نهایت با توجه به وزن خروجی، نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش در پنج رده با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم ترسیم گردید. نتایج حاصل نشان داد که ساختار زمین‌شناسی شکل گرفته از آهک‌های کرتاسه و آندزیت‌های پرفیری و همچنین دسترسی به منابع رطوبتی بالا باعث شده که ارتفاعات شرقی کوه‌های بوغروداغ و آلاداغ در محدوده‌ی کوه‌های تالش از قابلیت بالایی در رخداد زمین‌لغزش برخوردار شوند.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، شبکه عصبی، پرسپترون چندلایه، پهنه‌بندی، حوضه رودخانه گیوی‌چای.

## مقدمه

زمین لغزش‌ها و حرکات توده‌ای، فرمی از فرایندهای دامنه‌ای و نوع خاصی از سوانح طبیعی است که هر ساله در برخی نقاط جهان و ایران رخ داده و خسارات جانی، مالی و زیست‌محیطی قابل توجهی به بار می‌آورد. حرکات توده‌ای شامل کلیه جابجایی‌ها و جداشدگی‌های خاک و مواد سنگی به سمت پایین دامنه‌هاست و دارای انواع مختلفی می‌باشد. این نوع حرکات عمدتاً در اثر نیروی ثقل، عوامل طبیعی مثل بارش‌های شدید، زلزله، اشباع خاک از آب و همچنین علل انسانی مثل تخریب پوشش گیاهی و عملیات ناصحیح مهندسی به وقوع می‌پیوندد. ویژگی‌های طبیعی، زمین‌شناسی و اقلیمی کشور ایران به گونه‌ای است که در برخی نقاط کشور هر ساله حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش‌های متعددی بروز می‌کند و خسارات جانی و مالی زیادی به بار می‌آورد. بر اساس برآوردهای اولیه، سالانه حدود ۳۰۰ میلیون دلار خسارات مالی از طریق وقوع زمین‌لغزش‌ها بر کشور وارد می‌شود (کمک‌پناه، ۱۳۷۳: ۱۲). نظر به تأثیر نامطلوبی که این پدیده بر روی سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی و طبیعی دارد، شناخت نواحی مستعد لغزش در سطح کشور بسیار ضروری است. با توجه به این نکته از طریق روش‌های مختلف اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش شده است. تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش نیازمند ارزیابی روابط بین شرایط حاکم بر وضعیت حوضه و عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش است. تجارب گذشته نشان داده است که برای انجام پهنه‌بندی صحیح بایستی شناخت کاملی از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش صورت گیرد. در سال‌های گذشته روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی زمین‌لغزش پیشنهاد شده است (Anbalagan, 1992: 269-277; Pachauri, 1992: 1-100; Garrett, 1994: 129-130; Gong 1996: 513-523; Saha, 2005: 61-69)

از این روش‌ها مبتنی بر برقراری روابط بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و تحلیل‌های مکانی بوده است. این روابط بر حسب وزن اختصاص یافته به هر کدام از عوامل تعیین می‌گردند. از جمله این روش‌ها می‌توان به مدل رگرسیون لجستیک و تحلیل آماری چند متغیره شبکه عصبی مصنوعی، مدل فازی و مدل فازی عصبی اشاره کرد (Dai, 2000: 381-391; Ohlmacher, 2003: 331-343; Ermini, 2005: 327-343; Gomez, 2005: 11-27; Ayalew, 2005: 15-31; Arora, 2004: 559-572; Kanungo, 2006: 347-366)

هر یک از این مدل‌ها مبتنی بر توابع و اصولی بوده و به تناسب آن اقدام به پهنه‌بندی کرده‌اند. شبکه‌ی عصبی مصنوعی یکی از مدل‌های مؤثر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌باشد. در این مدل از تحلیل‌های پیچیده‌ی آماری خودداری شده و بر اساس توابع غیرخطی به هر یک از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش وزنی اختصاص داده شده است. این مدل مبتنی بر آموزش عوامل مؤثر در زمین‌لغزش بوده و با تقسیم داده‌ها در طبقات آموزشی و آزمایشی و بهره‌گیری از توابع سیگموئید اقدام به پهنه‌بندی مناطق مستعد می‌نماید. مدل‌های مختلفی از شبکه‌های عصبی بر حسب کاربرد و عملکرد آنها وجود دارد. یکی از انواع آنها شبکه‌ی پرسپترون چندلایه است که در آن نرون‌ها به‌صورت موازی با هم قرار گرفته‌اند و نرون‌های موجود در یک لایه با نرون‌های لایه‌های دیگر در ارتباط هستند که میزان تأثیر این ارتباطات، توسط پارامتری به نام وزن تعیین می‌شود. شبکه‌ی پرسپترون چند لایه به ترتیب شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است و تابع آستانه به شکل تابع سیگموئید یا تانژانت‌هایپربولیک در نظر گرفته می‌شود. تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌های موجود در هر لایه پنهان و نیز نوع تابع به‌کار رفته در هر نرون می‌تواند تغییر نماید. برای تعیین تعداد هر یک از این پارامترها

راکی و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی سفید ارگله استان سمنان پرداختند. نتایج به‌دست آمده قابلیت مدل را در پهنه‌بندی زمین‌لغزش نشان داد (راکی و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۴-۵۷). نظام‌خیای با استفاده از روش سیستم استنتاج فازی عصبی و شبکه‌های عصبی مصنوعی اقدام به پیش‌بینی بار معلق رودخانه قره‌سو نموده است. نتایج نشان داد که مدل استنتاجی فازی عصبی نسب به مدل جعبه سیاه به نتایج بهتری دست یافته است (نظام‌خیای، ۱۳۸۷: ۱۶۷). ساریخانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه‌ی تالش استان گیلان پرداخته است. با بررسی‌های صورت گرفته در محدوده‌ی تالش قابلیت‌های مدل فوق به اثبات رسید (ساریخانی، ۱۳۸۸: ۱۳).

سوری با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی نورزبان نمود و به این نتیجه دست یافت که مدل پرسپترون چند لایه از نوع پیش‌خور پس‌انتشار در پهنه‌بندی لغزش‌های رخ داده در محدوده‌ی زاگرس چین‌خورده به نتایج مطلوبی دست می‌یابد (سوری، ۱۳۹۰: ۵۴-۳۷). با توجه به مواردی که گفته شد در این تحقیق نیز از شبکه عصبی مصنوعی از نوع پرسپترون چند لایه پیش‌خور با الگوریتم پس‌انتشار برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای استفاده گردید.

قاعده خاصی وجود ندارد. مناسب‌ترین راه برای انتخاب هر یک از این پارامترها، انتخاب حالات مختلف برای هر یک و بررسی کارایی شبکه‌های به‌دست آمده می‌باشد تا در نهایت ساختاری که نسبت به دیگر ساختارها نتایج بهتری ارائه می‌کند، انتخاب گردد. با توجه به توضیحاتی که داده شد از این مدل در پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده شده است.

در مدل شبکه عصبی مصنوعی، ارمینی و همکاران دو ساختار متفاوت از شبکه عصبی را با عنوان‌های  $MLP^1$  و  $PNN^2$  با یکدیگر مقایسه کرده و به این نتیجه دست یافتند که مدل  $MLP$  در پهنه‌بندی زمین‌لغزش از قابلیت‌های خوبی برخوردار است (Ermini, 2005: 327-343).

کانینگو نشان داد که فرایند وزن‌دهی در مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سایر تکنیک‌های وزن‌دهی از قابلیت بالایی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش برخوردار است (Kanungo, 2006: 347-366).

نفیسلو اغلو در تحقیقی نشان داد که مدل  $ANN^3$  نسبت به مدل رگرسیون لجستیک به نتایج بهتری دست یافته است (Nefeslioglu, 2008: 171-191). این در حالی است که مالچیوره با استفاده از تحلیل خوشه‌ای قابلیت مدل  $ANN$  را نسبت به سایر مدل‌ها بهبود بخشید (Melchiorre, 2008: 379-400).

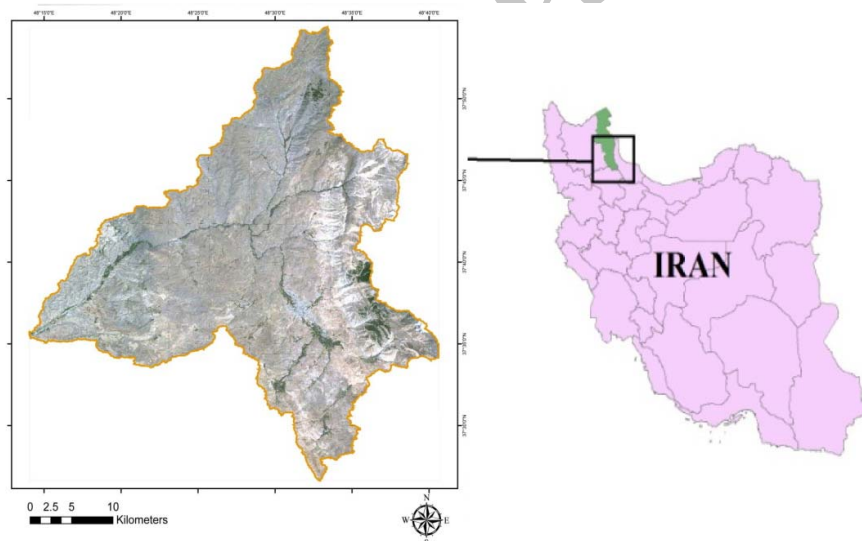
زارع‌پور با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی رودبار منجیل پرداخته است. نتایج نشان داد که مدل پرسپترون چند لایه با بهره‌گیری از تابع سیگموئید به نتایج بهتری در پهنه‌بندی زمین‌لغزش دست می‌یابد (زارع‌پور، ۱۳۸۴: ۱۵۹).

1-Multi-layer Perceptron  
2-Probable neural network  
3-Artificial neural network

### منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای با مجموع مساحت ۸۲۷ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های آبریز سفیدرود می‌باشد که در مختصات  $48^{\circ}, 14/30$  تا  $48^{\circ}, 32/35$  طول شرقی و  $37^{\circ}, 25/40$  تا  $37^{\circ}, 54/30$  عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه‌ی آبریز قره‌سو، از غرب به حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی قرقو و از شرق به رشته‌کوه‌های تالش و از جنوب به حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی قزل‌اوزن محدود می‌شود. بطور کلی حوضه‌ی آبریز گیوی‌چای متشکل از رودخانه‌های اصلی به نام‌های هروآباد، آرپاچای و گیوی‌چای می‌باشد که با جهت جنوب شرق - شمال غرب جریان یافته و پس از دریافت جریان رودخانه‌های فرعی سنگورچای و رودخانه‌ی گزاز، در ارتفاع ۸۶۰ متر از سطح دریا در

بخش جنوب غربی از منطقه‌ی خارج و به رودخانه‌ی قزل‌اوزن تخلیه می‌گردد. میانگین بارندگی در این حوضه ۴۴۴ میلیمتر بوده و ۸۶ تا ۹۴ درصد از مجموع بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ می‌دهد (مهندسین مشاور تکم، ۱۳۸۶: ۱۲۳). در نتیجه بیشترین میزان زمین‌لغزش متعلق به این ماه‌هاست. بیش از ۵۰ درصد سطح منطقه از فرسایش خاک متأثر شده است. در فرسایش خاک دو عامل طبیعی و انسانی تأثیرگذار است. بارندگی در فصل مرطوب دارای بیشترین شدت و فراوانی است. علاوه بر آن این منطقه به شدت از عوامل انسانی از قبیل رشد جمعیت، توسعه‌ی سریع اقتصادی، جنگل‌زدایی، تشدید فعالیت کشاورزی، احداث سدها، استخراج معادن و جاده‌سازی تأثیر پذیرفته است (مهندسین مشاور تکم، ۱۳۸۶: ۱۵۴).



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای بر اساس تصویر SPOT

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

### مواد و روش‌ها

اولین قدم برای پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش، تعیین زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه می‌باشد. با مطالعات صورت گرفته، ۴۱ زمین‌لغزش و پهنه‌ی لغزشی تشخیص داده شد که از اطلاعات مربوط به این

مناطق در آموزش و آزمایش شبکه استفاده می‌گردد. مرحله‌ی بعدی شامل تهیه پایگاه اطلاعاتی از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش می‌باشد. در این مرحله ۸ عامل لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و جهت شیب، نقشه DEM، شبکه‌ی هیدروگرافی، کاربری اراضی و نقشه‌ی

گام آزمایش، شبکه بر اساس برآوردهای حاصل از مرحله آموزشی، داده‌های آزمایشی را پیش‌بینی می‌کند (Smith, 1993: 179). یکی از الگوریتم‌های یادگیری، الگوریتم پس‌انتشار خطا است. مبنای نظری این الگوریتم، همان مبنای نظری روش‌های معمول مبتنی بر مشتقات جزئی گوس- نیوتون و نیوتون- رافسون است (Subasia, 2005: 91).

در این مطالعه برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه رودخانه‌ی گیوی‌چای از مدل شبکه عصبی پرسپترون سه لایه با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا استفاده گردید. به این منظور لایه‌های به دست آمده بر اساس رقومی کردن عوامل مؤثر در زمین‌لغزش بایستی برای برآورد وزن هر پارامتر واحدبندی شوند.

#### واحدبندی حوضه‌ی گیوی‌چای به‌منظور وزن‌دهی به هر یک از لایه‌ها

در این تحقیق از روش شبکه‌بندی منظم چهارگوش برای وزن‌دهی لایه‌ها استفاده گردید و کل نقشه‌ها با این نوع شبکه‌بندی، تقسیم‌بندی گردیدند. اندازه شبکه‌ها از خیلی کوچک تا خیلی بزرگ متغیر در نظر گرفته شد. در این تحقیق اندازه‌ی پیکسل‌ها چندین بار تغییر کرد. هر چند با کاهش اندازه‌ی پیکسل‌ها دقت افزایش می‌یابد ولی با کاهش اندازه‌ی آنها حجم اطلاعات زیاد و تحلیل و کار با آنها بسیار مشکل می‌شود. برای استفاده از این شبکه‌ها بایستی خصوصیات آنها تعیین گردد همچنین خصوصیات شبکه‌هایی که در آنها زمین‌لغزش اتفاق افتاده یا احتمال اتفاق لغزش خیلی کم است نیز بایستی تعیین شود. هر پیکسل از هر نقشه یک‌سری اطلاعات دریافت می‌کند و بدین ترتیب هر پیکسل حاوی ۸ مشخصه و لایه‌ی اطلاعاتی است. این حجم اطلاعات به‌وسیله‌ی منوهای خروج اطلاعات از نرم‌افزار ArcGIS خارج و در محیط MATLAB مورد تحلیل قرار گرفت.

پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌ی این عوامل توسط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای آموزش شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش ترسیم گردید. در زیرساختار مدل پرسپترون چندلایه شرح داده می‌شود.

#### شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی از لایه‌هایی شامل اجزای ساده پردازشگری به نام نرون تشکیل شده‌اند که به صورت موازی با هم عمل می‌کنند. لایه‌ی اول، لایه‌ی ورودی است که می‌توانند پارامترهای آماری یا مؤلفه‌های حاصل از تبدیلات ریاضی روی توابع باشند. لایه‌ی دوم، لایه‌های پنهان هستند که اساس ساختار یک شبکه را تشکیل می‌دهند. کار اصلی این لایه، استخراج اطلاعات دسته‌بندی شده از داده‌های موجود می‌باشد. لایه‌ی آخر یا لایه‌ی خروجی بر اساس انتظارات کاربر تعیین می‌شود. این لایه می‌تواند توسط یک یا چند عنصر پردازشگر که خروجی آن نشان‌دهنده‌ی دسته‌بندی نهایی است شناخته شود. هر لایه دارای وزنی است که بیانگر میزان تأثیر دو نرون بر یکدیگر است. تخمین پارامترها (وزن‌ها) توسط قوانین یادگیری که همان برآورد پارامترها است، صورت می‌پذیرد. در این حالت پس از یادگیری شبکه و یافتن ارتباط تابعی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها، شبکه می‌تواند به عنوان یک مدل برای پیش‌بینی یک پاسخ مطابق با یک الگوی ورودی جدید استفاده شود (Werner, 2003: 9). عملکرد شبکه دو گام یادگیری (آموزش) و به یاد آوردن (آزمایش) وجود دارد و مبتنی بر این واقعیت داده‌ها به تصادف به دو مجموعه‌ی آموزشی (۸۰ درصد) و آزمایشی (۲۰ درصد) تقسیم می‌شوند. در گام آموزش انتظار می‌رود که شبکه قادر باشد که الگوی موجود در داده‌ها را بازشناسی کرده و در ادامه در داده‌های جدید (داده‌های آزمایشی) استفاده نماید. در

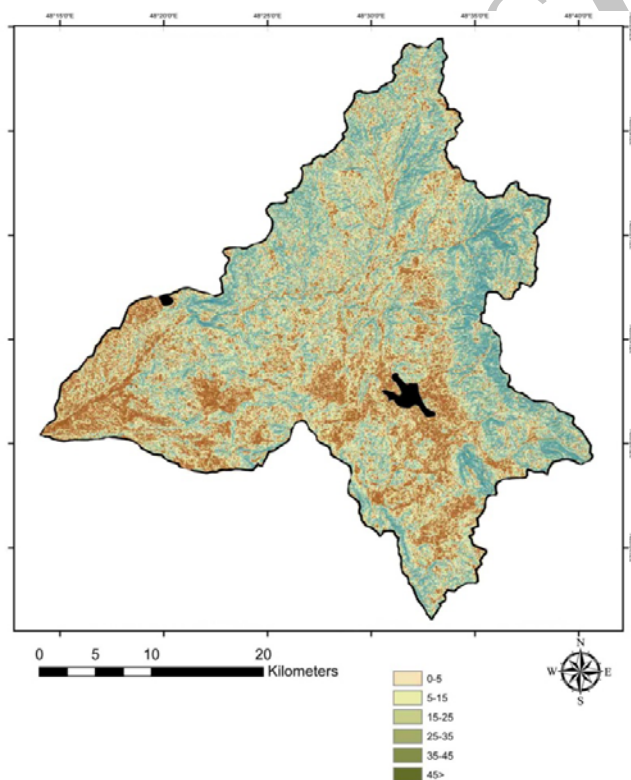
### بحث و نتایج

در این بخش هر یک از پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش تشریح شده و لایه‌های مربوطه به منظور ورود به شبکه‌ی عصبی مصنوعی ترسیم شده و در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش ترسیم گردید.

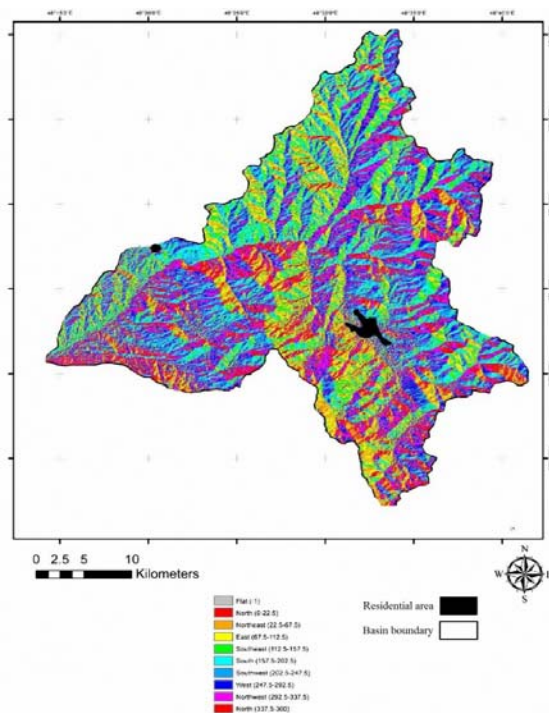
### شیب، جهت شیب و DEM

برای به‌دست آوردن و تهیه‌ی این نقشه‌ها از نقشه‌ی رقومی شده توپوگرافی منطقه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

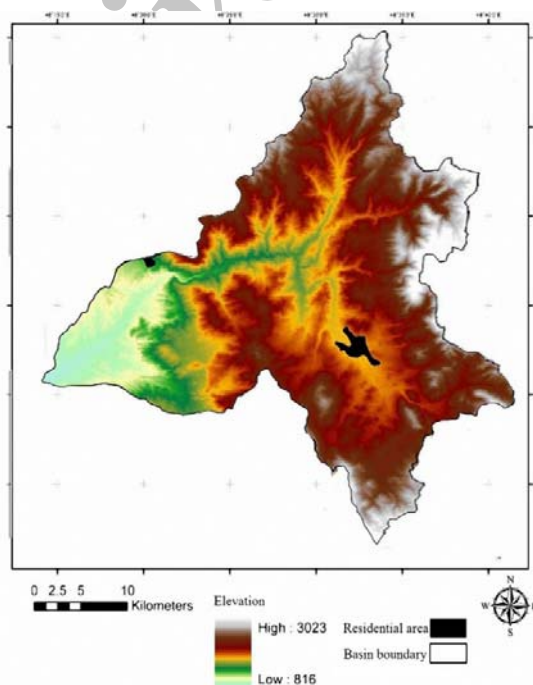
استفاده شد. یعنی ابتدا نقشه‌ی توپوگرافی رقومی شده و سپس در نرم‌افزار ArcGIS برای تهیه‌ی نقشه استفاده گردید. در این مطالعه برای پهنه‌بندی به وسیله‌ی شبکه‌ی عصبی تغییرات شیب با اختلاف ۱۰ درجه در نظر گرفته شد. این تقسیم‌بندی به وسیله‌ی گومز (۲۰۰۲) به کار برده شده است. با افزایش شیب، احتمال لغزش افزایش می‌یابد تا به حدود ۶۰ درجه برسد از این شیب به بعد کاهش شدیدی در زمین‌لغزش‌ها دیده می‌شود.



شکل ۲: نقشه شیب در حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۳: نقشه جهت شیب در حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی چای  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۴: نقشه DEM برای حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی چای  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

### لیتولوژی

در سطح حوضه‌ی گیوی‌چای حدود ۱۲ سازند با منشأ رخساره‌های رسوبی شناسایی شده که حدود ۵۰/۶۳ درصد یعنی نیمی از حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. این سازندها از حساسیت بیشتری نسبت به زمین‌لغزش برخوردارند. لیکن از حدود ۴۱ زمین‌لغزش انتخاب شده در حوضه‌ی حدود ۱۹ زمین‌لغزش در این سازندها شناسایی شده است.

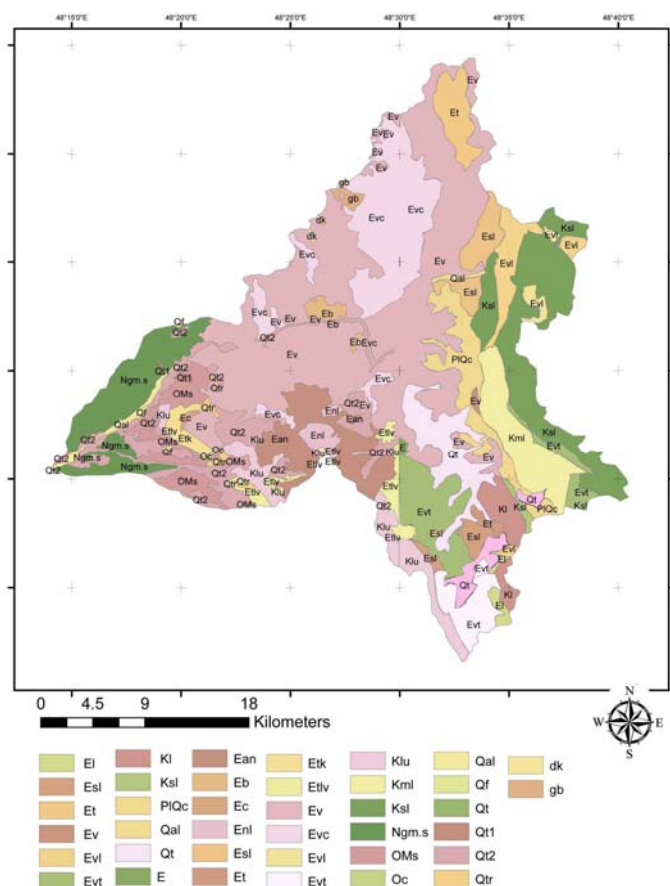
با توجه به زمین‌لغزش‌های انتخابی، سازند آهک ماسه‌ای (kslu)، از حدود ۱۴ زمین‌لغزش برخوردار بوده و سطحی معادل ۴۲ کیلومترمربع یا ۵ درصد حوضه را به خود اختصاص داده است. از تغییرات این واحد، آهک‌ریفی و آهک ماسه‌ای (klu) شکل می‌گیرد. این سازند با وسعتی معادل ۴۲ کیلومتر مربع، ۵ درصد حوضه را به خود اختصاص داده است. به غیر از سازندهای فوق، ۹ سازند دیگر نیز در گروه رخساره‌های رسوبی قرار می‌گیرند. لیکن این سازندها مساحت‌های محدودی را به خود اختصاص داده و رخداد زمین‌لغزش کمی در آنها مشاهده شده است. در کنار رخساره‌های رسوبی، سنگ‌های آتشفشانی و مواد آذر آواری واقع در حوضه‌ی گیوی‌چای حدود ۴۰۸/۸ کیلومتر مربع یا ۴۹/۳۷ درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. وسعت زیاد این تشکیلات در حوضه و همچنین به لحاظ ویژگی‌هایی که دارند نقش کنترل‌کننده‌ای در مورفولوژی حوضه و دینامیک حاکم بر دامنه‌ها ایفا می‌کنند.

در بین سازندهای این بخش تنها سازند آندزیت پرفیری (EV) توانسته حدود ۲۲۵ کیلومترمربع یا ۲۷/۲ درصد کل حوضه را در برگیرد. این سازندها در ارتفاعات به شدت هوازده شده و شاهد وقوع زمین‌لغزش‌هایی

بوده‌اند. در کنار سنگ‌های آتشفشانی، توفها نیز از گسترش چشمگیری برخوردارند. بطوری‌که حدود ۱۱۰/۴ کیلومترمربع یا ۱۱/۳۱ درصد از کل حوضه را پوشانیده‌اند. در بخش‌هایی از منطقه و در بعضی از توف‌های دانه‌ریز و متراکم حوضه می‌توان وقوع لغزش‌ها را مشاهده کرد.

در این تحقیق از بین ۴۱ زمین‌لغزش انتخابی ۲۲ لغزش در سنگ‌ها آتشفشانی و توفها رخ داده است. لیکن با توجه به گسترش سازند آندزیت پرفیری (EV) در سطح حوضه، حدود ۱۸ لغزش در این سازند ثبت شده است. بخش اعظم شمال‌غرب حوضه به وسیله‌ی سنگ‌ها آندزیتی پورفیری و مگاپورفیری ائوسن پوشیده شده است. رخنمون‌های وسیعی از این سنگ‌ها در حاشیه جاده‌گیوی به خلخال دیده می‌شود. در قسمت غربی منطقه و در اطراف روستای عینال‌آباد آلتراسیون وسیعی در داخل این سنگ‌ها دیده شده که منجر به تشکیل کانی‌های رسی مانند مونت موریلونیت شده است. بعد از سازند فوق، ۴ لغزش اندازه‌گیری شده در سطح توف‌های پومیس‌دار (PIQC) و توف‌های آندزیتی (EVC) ثبت گردیده است. این سازندها به ترتیب ۱۱ و ۷۳ کیلومترمربع از سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. واحد دیگر برخوردار از زمین‌لغزش‌ها، سازند توف‌های آندزیتی به‌همراه کنگلومرای آتشفشانی (EVC) می‌باشد. وسعت این سازند معادل ۷۳ کیلومترمربع است. به غیر از سازندهای فوق ۶ سازند دیگر نیز با ماهیتی آتشفشانی در حوضه وجود دارد که ۹۹/۸ کیلومتر مربع یا ۱۲ درصد سطح حوضه را پوشانیده و فاقد زمین‌لغزش‌های چشمگیری هستند.





شکل ۵: نقشه لیتولوژی حوضه رودخانه‌ی گیوی چای

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

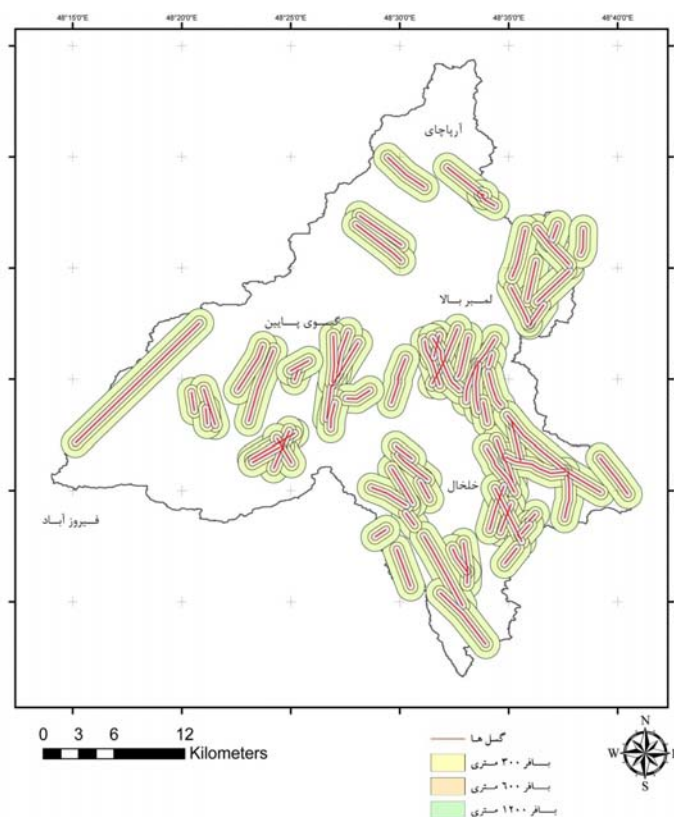
### گسل‌ها

می‌توان گسل‌های فیروزآباد-مجدر، گسل تراستی نیکی، گسل مجره، گسل هاشم‌بالا، گسل تراستی شیخ جانلو و گسل‌های متقاطع غرب حوضه را نام برد. اصلی‌ترین و بزرگترین آنها که از محل روستای مجدر در شمال مجره تا شمال شرق فیروزآباد با طولی بیش از ۵۰ کیلومتر قابل تعقیب است گسل فیروزآباد-مجدر می‌باشد. این گسل با عبور از محدوده‌ی آلتراسیون‌های حاصل از فرسایش شیمیایی آندزیت‌های پرفیری و ایجاد شیب زیاد، باعث وقوع زمین‌لغزش‌هایی در غرب حوضه به خصوص روستای عینال‌آباد شده است. با این حال زمین‌لغزش‌های رخ داده در این منطقه به شدت زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده‌ی گسل نیکی

گسل‌ها روی ناپایداری سطوح و دامنه‌ها نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. راه‌های مختلفی برای مطالعه تأثیر دادن عامل گسل وجود دارد. یکی از این روش‌ها تهیه یک حائل در اطراف آنهاست. به این منظور با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی، گسل‌های منطقه رقومی شده و سپس در نرم‌افزار ArcGIS بافر ۳۰۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ متری برای آنها ترسیم گردید. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، گسل‌های اصلی منطقه همسو با راستای گسترش ساختمان‌های چین‌خورده، یعنی شمال غرب-جنوب شرق توسعه و پراکندگی دارند. از جمله اصلی‌ترین گسل‌های موجود در محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

نمی‌باشد. گسل نیکی با امتداد شمال غرب- جنوب شرق از محل روستای آق‌اولر شروع و به سمت جنوب به موازات کرانه‌های دریای خزر امتداد یافته است. از دیدگاه تکتونیکی این گسل با راستای شمالی- جنوبی کرانه‌ی شرقی خزر موجب فروافتادگی خزر و بالاآمدگی ارتفاعات بوغروداغ گردیده است. بررسی‌های ژئوفیزیکی خطواره دیگری را به موازات گسل شمال باختر خزر نشان می‌دهند و چنین به نظر می‌رسد که کنشی همانند با عملکرد گسل نیکی داشته است. احتمالاً این دو گسل در فازهای مختلف آلی‌فعال بوده و به عنوان یک جداکننده‌ی رخساره‌ای عمل نموده‌اند. گسل فوق از محدوده‌ی آهک‌های کرتاسه کوه‌های بوغروداغ گذشته و فوق‌العاده مستعد لغزش می‌باشد. با بازدیدهای صورت گرفته از این منطقه، زمین‌لغزش‌های فراوانی شناسایی شده است. در مجاورت گسل نیکی، گسل مجره با طولی قریب به ۱۵ کیلومتر در جنوب شرق حوضه به موازات گسل نیکی در یال غربی ناودیس بوغروداغ در روستای اندبیل، خوجین و مجره گسترش یافته و رخساره‌های مختلف کرتاسه را تحت تأثیر قرار داده است. امتداد گسل تقریباً شمالی - جنوبی می‌باشد و جابجایی محسوسی در آن به چشم نمی‌خورد. در محدوده‌ی این گسل نیز می‌توان زمین‌لغزش‌های متعددی را شناسایی نمود. حدّ بین طبقات آهکی کرتاسه و سنگ‌های آندزیتی ائوسن در جنوب منطقه‌ی مورد مطالعه در خلخال و ترزنق توسط یک گسل پلکانی

شکل با امتداد عمومی شمالی جنوبی کنترل می‌شود که به نام گسل هاشم‌بالا در روی نقشه زمین‌شناسی نمایش داده شده است. طول این گسل حدود ۱۰ کیلومتر می‌باشد و به صورت متقاطع توسط گسل‌های فرعی دیگر قطع شده است. در این محدوده زمین‌لغزش‌های چشمگیری مشاهده نمی‌شود. علت عمده‌ی آن را می‌توان در کاهش شیب و ارتفاع و تعدیل شرایط اقلیمی نسبت به شرق حوضه و مقاومت سنگ‌ها آندزیتی نسبت به آهک‌های مارنی و ماسه‌ای جستجو نمود. در حد بین روستاهای گرم خانه در جنوب حوضه و شهر گیوی در بخش غربی حوضه یک گسل تراستی بزرگ دیده می‌شود که باعث رورانندگی سنگ‌های آهکی کرتاسه‌ی بالا بر روی بخش‌های ولکانوسدیمانتر ائوسن شده است. راستای عمومی این گسل شمال غرب به جنوب شرق بوده و همسو با روند کلی تکتونیکی منطقه می‌باشد. گسل مورد بحث در نیمه‌ی شمالی به چند شاخه‌ی فرعی‌تر تقسیم می‌شود. طول عمومی گسل مورد بحث حدود ۲۰ کیلومتر است و به نظر می‌رسد در مجموع شاخه‌ای از گسل فیروزآباد- مجدر باشد که نیمه‌ی شمالی آن به چندین شاخه‌ی فرعی تقسیم می‌شود. گسل فوق نیز به تبعیت از گسل فیروزآباد- مجدر بر روی سازندهای آندزیت پرفیری واقع شده و رخداد زمین‌لغزش در آن محدود به نقاطی است که تحت تأثیر آلتراسیون قرار گرفته‌اند.



شکل ۶: نقشه فاصله از گسل در حوضه‌ی رودخانه گیوی چای

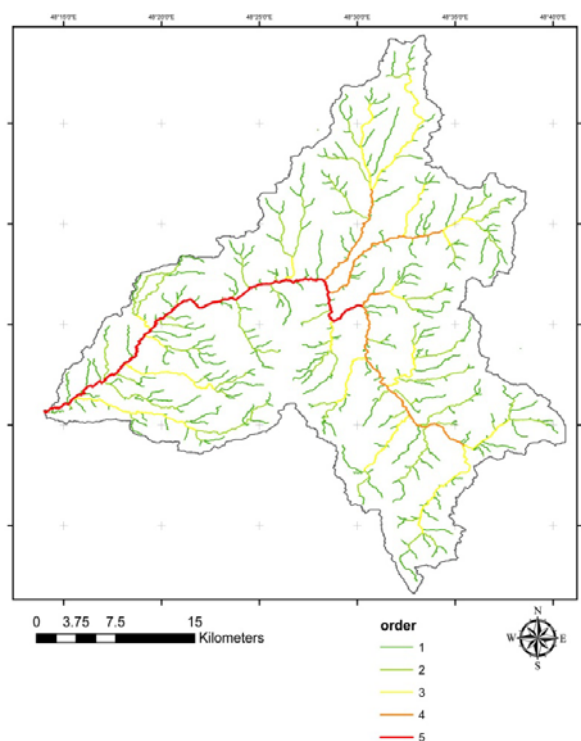
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

منطقه نسبت به بخش‌های دیگر، میزان هوازدگی شیمیایی در این قسمت بیشتر بوده و در نتیجه ضخامت خاک و مواد سطحی دامنه بیشتر می‌باشد. بنابراین شعبات رودخانه آرپاچای به راحتی می‌توانند مواد سطحی و خاک را شسته و با خود حمل نمایند. با شسته شدن این مواد، محل اتصال دامنه به دره به صورت پرشیب درمی‌آید و گاهی زمین لغزش‌هایی را ایجاد می‌نماید. این امر در دامنه‌های شمالی مشاهده می‌شود. در شکل ۷، شبکه‌های هیدروگرافی حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی چای نشان داده شده است.

### رودخانه‌های اصلی و شبکه‌ی هیدروگرافی

هنگامی که جریان‌ات سطحی به هم پیوستند تبدیل به جریان آب قوی یا رودخانه می‌شوند. رودخانه ضمن اینکه مواد را با خود حمل می‌کند به حفر بستر و دیواره‌های خود می‌پردازد.

رودخانه‌های حوضه گیوی چای در مسیر خودشان گاهی از روی مواد نرم و گاهی از روی مواد سخت عبور می‌نمایند. به عبارت دیگر در طول جریان مقاومت سنگ بستر یکسان نبوده و این عامل موجب به وجود آمدن اشکال متفاوتی در بستر رودخانه‌ها می‌شود. به لحاظ مرطوب و جنگلی بودن قسمت شمال شرقی



شکل ۷: نقشه هیدروگرافی حوضه رودخانه گیوی چای

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

### کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه

بر اساس مطالعات صورت گرفته ۳ نوع عمده از کاربری را با عنوان‌های گیاهان مرتعی و چراگاه دام، زراعت دیم غلات و زراعت آبی به همراه باغات را در این منطقه می‌توان تشخیص داد. مساحت کاربری گیاهان مرتعی و چراگاه دام، ۴۵۹/۳ کیلومتر مربع بوده و معادل ۵۵/۹ درصد از مساحت کل حوضه را در بر می‌گیرد. بطور کلی کاربری‌های اصلی رایج در این بخش مشتمل بر اراضی مرتعی و چراگاه‌های گسترده توأم با رخنمون‌های سنگی و یا اراضی فرسایش یافته و بدون پوشش گیاهی است. بخش کوچکی از حوضه در نواحی مرزی شرق منطقه نیز دارای پوشش پراکنده تا متوسط درختان جنگلی است، پوشش جنگلی در دره‌های متعلق به کوه‌های بوغروداغ متراکم‌تر می‌باشند. مساحت کاربری زراعت دیم غلات نیز ۲۶۷/۰۸ کیلومتر مربع بوده و معادل ۳۲/۵۲ درصد از مساحت کل حوضه

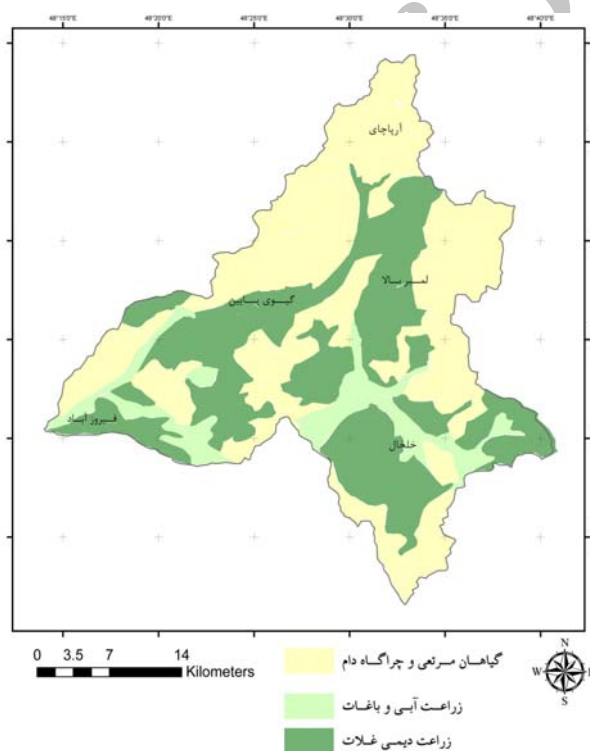
را در بر می‌گیرد. بطور کلی کاربری اصلی رایج در این بخش مشتمل بر زراعت دیم غلات پاییزه همراه با مناطق تحت آیش است. قسمت‌های نه چندان وسیع از این نواحی نیز شامل مراتعی است که به صورت چراگاه فصلی از آنها بهره‌برداری می‌شوند. مساحت کاربری زراعت آبی و باغات نیز ۹۴/۶۸ کیلومتر مربع بوده و معادل ۱۱/۵۲ درصد از مساحت کل حوضه را در بر می‌گیرد. قسمت قابل ملاحظه‌ای از این بخش شامل اراضی با شیب ملایمی است که در طرفین مسیر رودخانه گیوی چای به صورت نوار باریک به وجود آمده و اغلب محل زراعت آبی علوفه و برخی نباتات آبی یک‌ساله همراه با قلمستان‌های بید و تبریزی و باغات پراکنده میوه است. با در نظر گرفتن نوع کاربری و مساحت تحت انواع کاربری، می‌توان مساحت تحت انواع کاربری‌های مذکور را به صورت جدول زیر نشان داد:

جدول ۱: کاربری‌های اصلی موجود، مساحت و درصد نسبی آنها در منطقه

کاربری اراضی	مساحت	درصد
گیاهان مرتعی و چراگاه دام	۴۵۹/۳۰	۵۵/۹
زراعت دیم غلات	۲۶۷/۰۸	۳۲/۵۲
زراعت آبی و باغات	۹۴/۶۸	۱۱/۵۲
مساحت کل	۸۲۱	۹۹/۴۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

از مقادیر ارائه شده در جدول بالا حدود ۶ کیلومتر مربع از اراضی حوضه از انواع متفرقه بوده که در وسعت قابل تفکیک دیده نشده است.



شکل ۸: کاربری اراضی حوضه رودخانه گیوی چای

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

منشأ ایجاد آنها بر روی مارن‌ها، خاکسترهای آتشفشانی و توف‌ها رخ داده است. در محدوده‌هایی که دامنه‌های متشکل از سازندهای مذکور مشرف به دره بوده‌اند بر سطوح آنها بطور مکرر لغزش‌های چرخشی رخ داده

### بررسی زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه

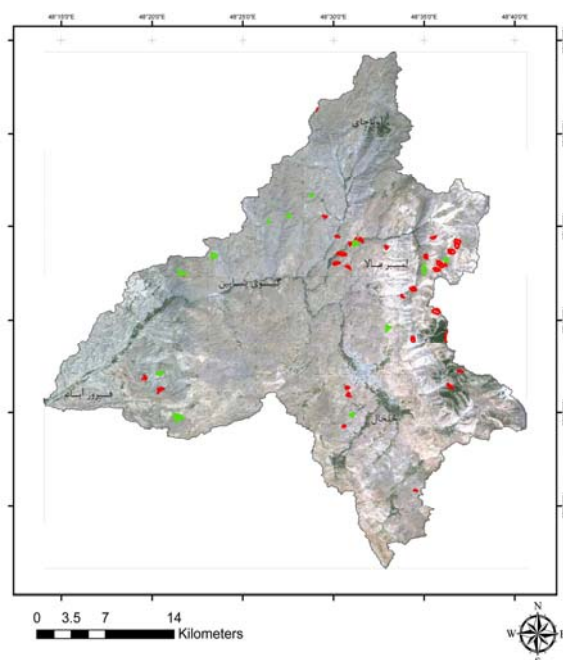
بر طبق بررسی‌های میدانی صورت گرفته و مشاهده‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بیشترین پهنه‌های لغزشی در حوضه، صرف‌نظر از ژنز و

کنگلومراهای آهکی و آتشفشانی نیز رویت شده است. کنگلومراهای فوق از شرق از نو در جنوب شرق حوضه تا شمال مورستان در شرق حوضه کشیده شده‌اند. در مسیر شمال شرق و بخش میانی حوضه، بخش‌های قابل توجهی به آندزیت‌های پرفیری اختصاص یافته است. هوازگی فلدسپات‌های موجود در این سنگ‌ها و تشکیل کانی‌های رسی، زمینه وقوع زمین‌لغزش‌های بزرگ و کوچکی را بر روی دامنه‌های شیب‌دار این واحد به وجود آورده است. در مسیر شهر گیوی به خلخال در اطراف روستای عینال‌آباد، آلتراسیون وسیعی در بین این سنگ‌ها مشاهده می‌شود که منجر به تشکیل کانی‌های رسی از نوع مونت موریلونیت شده و لغزش‌هایی را در پی داشته است. سنگ‌های مذکور در مجاورت گسل بزرگ فیروزآباد-مجدر و نهشته‌های تخریبی نئوژن واقع شده‌اند. سنگ‌های فوق در حفاصل روستاهای گلستان بالا و پایین نیز مشاهده شده‌اند (تکم، ۱۳۸۶: ۲۷۴-۱). در حوالی روستاهای آریاچای، میل آغاداران، مصطفی‌لو و عینال‌آباد، سنگ‌های هوازده آندزیتی به کنگلومراهایی از جنس ماسه‌سنگ توفی و آندزیتی تبدیل می‌شوند. در حوالی روستای آریاچای و میل آغاداران، کنگلومراهای فوق، تاقدیس میل آغاداران را شکل می‌دهند. به موازات آن تاقدیس اجیقاز قرار دارد. در شمال این تاقدیس، ناودیس پیرانی واقع شده که با امتداد شمال غرب- جنوب شرق بر روی کنگلومراهای فوق تشکیل شده و دو زمین‌لغزه در یال‌های شمالی و جنوبی آن قابل تشخیص است. در مسیر جاده اردبیل به خلخال، بخش اعظم منطقه از مارن‌های خاکستری و قرمز ژیبس‌دار پوشیده شده است. در اطراف شهر گیوی، این مواد به دلیل وجود گسل فیروزآباد-مجدر از شیب ۸۵ درجه‌ای برخوردار شده و رودخانه بر روی آن مستقر شده است. در این مناطق به جای زمین‌لغزش‌ها، عمدتاً فرسایش خندقی شکل ژئومورفولوژی غالب می‌باشد.

است. بزرگترین لغزش‌های حوضه‌ی گیوی‌چای بر روی مارن‌هایی که بر روی کنگلومراها قرار گرفته‌اند رخ داده‌اند. استعداد سازنده‌های مذکور به جابجایی به طرف پایین دامنه در اثر اشباع با آب در سطوح دامنه‌ها و همچنین در مواردی در اثر برش پای دامنه توسط رودخانه باعث شده است که لغزش‌های چرخشی بزرگی در روی این سازنده‌ها رخ دهد. وقوع این لغزش‌ها در افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. مهم‌ترین راه‌های دسترسی به زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه‌ی گیوی‌چای، راه‌های ارتباطی اردبیل به خلخال و خلخال به اسالم است. حد شرقی و جنوب شرقی حوضه یعنی ارتفاعات کوه‌های تیرف، بوغروداغ و عجم داغ از نهشته‌های آهکی تشکیل یافته‌اند که قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل داده و بخاطر وجود مارن در آنها و چین‌خوردگی شدید از استعداد بالایی در وقوع زمین‌لغزش برخوردارند. بر روی این سازنده‌ها ساختمان‌های تاقدیسی و ناودیسی بزرگی وجود دارند که از جمله آنها می‌توان به تاقدیس تیرف و ازنو و ناودیس بوغروداغ اشاره کرد. جهت چین‌خوردگی در این سازنده‌ها به تبعیت از زون آذربایجان- البرز، شمال غربی به جنوب شرقی است. در جنوب و جنوب شرق روستای خوجین منطبق بر جنوب شرق حوضه و در محل تاقدیس ازنو وجود سازنده‌های آهک ماسه‌ای و مارنی باعث وقوع چندین مورد زمین‌لغزش در یال غربی تاقدیس ازنو گردیده است. در یال شرقی ارتفاعات بوغروداغ واقع در شرق خلخال نیز گونه‌ای از آهک‌های مارنی وجود دارند که مستعد لغزش هستند. آهک‌های مارنی به واسطه‌ی گسل از آهک‌های ماسه‌ای جدا شده‌اند. ناودیس بوغروداغ با شیبی در حدود ۲۰ تا ۴۰ درجه در جنوب شرق حوضه و اطراف روستاهای اندبیل، خوجین و مجره واقع شده‌اند. در محدوده‌ی تاقدیس‌های تیرف و ازنو و ناودیس بوغروداغ در کنار مواد آهکی ماسه‌ای و مارنی،

عمده تمرکز زمین‌لغزش‌های حوضه در محدوده‌ی جنوب‌شرق روستای مورستان در منتهی‌الیه شرق حوضه بر روی سازندهای آهک ماسه‌ای و بر روی تاقدیس مورستان می‌باشد. این تاقدیس از امتداد شمالی- جنوبی برخوردار است.

در جنوب‌شرقی حوضه و در دامنه‌ی غربی کوه‌های بوغروداغ در یک باریکه‌ای با پهنای کم که از جنوب روستای لمبر و گلستان تا شرق کوه ازنو امتداد داشته، رسوبات کنگلومرایی با راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق به چشم می‌خورند که از قابلیت زمین‌لغزش برخوردارند. در این محدوده ۲ زمین‌لغزش شناسایی گردید.



شکل ۹: نقشه پراکنش زمین‌لغزش در حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

منطقه به ۹۱۸۸ واحد تقسیم شد. اطلاعات موجود در هر واحد نشانگر مشخصات عوامل مؤثر در آنها می‌باشد و شامل ۸ لایه اطلاعاتی است.

#### شبکه‌ی عصبی مورداستفاده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

بعد از انتخاب عوامل و تهیه‌ی نقشه‌های رقومی شده برای هر کدام از این عوامل، دو سری اطلاعات برای تحلیل در سیستم عصبی مورد استفاده قرار گرفت:  
۱- مناطقی که لغزش در آن مناطق اتفاق افتاده بود که همان نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه از اهمیت

#### شبکه‌بندی منطقه

هر چه واحدبندی منطقه با ابعاد کوچک صورت گیرد اطلاعات موجود در پایگاه داده‌ها از دقت فراوانی برخوردار می‌شود. نتایج نشان داد در مقادیر بزرگ برای واحدها دقت مشخصات عوامل خیلی کم و در مقادیر خیلی کوچک نیز میزان اطلاعات در پایگاه داده‌ها فوق‌العاده زیاد و پردازش آنها مشکل و وقت‌گیر می‌گردد. در این تحقیق مقدار ۹۰ متر مناسب تشخیص داده شد. لذا برای تغذیه‌ی این اطلاعات به شبکه‌ی عصبی، منطقه‌ی مورد مطالعه با واحدهای مربع شکل با اضلاع ۹۰ متری شبکه‌بندی گردید. بدین ترتیب کل



بیانگر تعداد عوامل مؤثر می‌باشد و لایه میانی شامل ۲۰ نرون می‌باشد که تعداد آن توسط آزمون سعی و خطا مشخص گردید و لایه‌ی خروجی شامل ۱ نرون می‌باشد که خروجی بین صفر و یک تولید می‌کند. با استفاده از یک فضای کاری کاملاً تصادفی عناصر ماتریس‌های وزن لایه‌ی اول و دوم در دامنه ۰/۲۵ تا ۰/۲۵ تعیین گردید. تابع سیگموئید به عنوان تابع فعال‌سازی برای هر واحد پردازشگر در شبکه انتخاب گردید. به منظور تعیین بهترین ساختار برای شبکه‌ی عصبی تعداد زیادی شبکه‌ی عصبی ایجاد گردید که در تعداد نرون‌های موجود در لایه‌ی پنهان و ضریب یادگیری متفاوت بودند و برای به دست آوردن مقدار بهینه هر پارامتر شبکه، شبیه‌سازی‌های متعددی صورت پذیرفت که در طی آن برای تعداد معینی تکرار یک پارامتر ثابت و پارامتر دیگر متغیر در نظر گرفته شد. در تمام شبیه‌سازی صورت پذیرفته شاخص متوسط مجذور خطا<sup>۱</sup> به عنوان یک شاخص راهنما که بیانگر کارایی شبکه در یادگیری الگوهای موجود بود، استفاده گردید. سیستم‌های عصبی مصنوعی دارای قوانین مختلف یادگیری هستند که یکی از آنها، قانون یادگیری پس انتشار خطا<sup>۲</sup> می‌باشد که در این تحقیق از آن استفاده شده است. در این قانون هیچ ارتباطی بین نرون‌های یک لایه وجود ندارد ولی خروجی هر نرون به ورودی نرون‌های لایه‌ی بعد متصل می‌شود. زمانی که مقادیر معلوم در مسأله (xi) به لایه‌های ورودی ارائه می‌شود، در وزن اتصال‌های بین لایه‌ی ورودی و لایه‌ی بعد (wij) ضرب شده و به نرون‌های لایه‌ی بعدی منتقل می‌شود. در لایه‌ی بعدی تمام ورودی‌های هر نرون با هم جمع شده و پس از اضافه شدن ضریب ثابت بایاس (w0) به آن، نرون خروجی به دست می‌آید. معادله لازم برای فرایند فوق به صورت زیر می‌باشد:

بالایی برخوردار است، زیرا این نقشه‌مبنای تصمیم‌گیری‌های بعدی است و بدین خاطر در تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها و پیاده کردن آن‌ها بر روی نقشه توپوگرافی، بایستی دقت فراوان مبذول گردد. امروزه محققین بدین منظور از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس بزرگ، تصاویر ماهواره‌ای و ابزارهایی همچون GPS استفاده می‌کنند.

۲- مناطقی که احتمال لغزش در آن مناطق خیلی کم در نظر گرفته شد. این مناطق در شیب‌های کمتر از ۵ درجه و داخل آبراهه قرار می‌گیرند (Gomez, 2002: 276).

این دو نقشه‌ی اولیه برای آموزش شبکه‌ی عصبی ضروری هستند.

جهت تسهیل در همگرایی شبکه عصبی، مقادیر مربوط به نرون‌های ورودی نرمالیزه شدند. برای نرمالیزه کردن داده‌ها از معادله زیر استفاده شد:

$$xi = zi - zi(\min.)zi(\max.) - zi(\min.) \quad (1)$$

برای مرحله‌ی آموزش شبکه از تعداد ۷۳۵۰ نمونه که حدود ۸۰ درصد از اطلاعات را شامل می‌شد استفاده گردید و ۱۸۳۸ نمونه باقی برای مرحله‌ی آزمایش شبکه مورد استفاده قرار گرفت.

ساختار مناسب مورد استفاده برای مدل کردن مسأله پهنه‌بندی، شبکه‌هایی با ساختار پیشرو می‌باشد و در این تحقیق از شبکه پرسپترون چند لایه استفاده گردید. با افزایش تعداد لایه‌های اطلاعاتی میزان توانایی شبکه برای پهنه‌بندی افزایش می‌یابد به نحوی که با افزایش تعداد این عوامل از ۶ عامل به ۸ عامل نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها، کاربری اراضی، شبکه هیدروگرافی، گسل، لیتولوژی، شیب، جهت شیب و DEM، میزان خطای شبکه به نحو چشمگیری کاهش یافت. بنابراین در این تحقیق لایه‌های ورودی شامل ۸ نرون می‌باشد که

1-Main square error  
2-Back error propagation

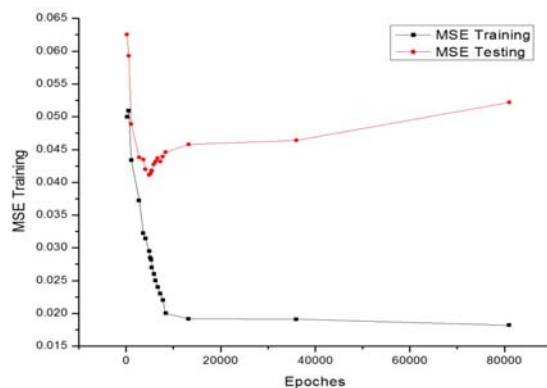


متغیر  $(trainbpx)$  و شبکه MLP که از روش لوببرگ مارکوات  $(trainlm)$  استفاده می‌کند. در این تحقیق از الگوریتم  $trainbp$  به جهت همگرا نشدن و نرسیدن به میزان خطای قابل قبول صرف‌نظر شد. از الگوریتم  $trainlm$  نیز با وجود آنکه مدت زمان آموزش بسیار کمتر می‌باشد به علت برخورداری از مقادیر خطای بیشتر استفاده نگردید. با توجه به مواردی که ذکر گردید از الگوریتم  $trainbpx$  که تغییرات ضریب یادگیری به صورت دینامیک می‌باشد استفاده گردید. مطلبی که در کار با شبکه عصبی از اهمیت فراوانی برخوردار است جلوگیری از یادگیری بیش از حد شبکه است زیرا در این حالت شبکه به جای یادگیری و درک روابط مابین پارامترها شروع به به‌خاطر سپردن اطلاعاتی می‌کند که در اختیار آن قرار گذاشته می‌شود  $(Gomez, 2002: 276)$ . به منظور جلوگیری از ایجاد خطای بایستی در هر بار تکرار، شبکه را با اطلاعات دیگری مورد آزمایش قرار داد. در این حالت بایستی با کاهش میزان خطا در مرحله آموزش، میزان خطا در مرحله آزمایش نیز کاهش یابد. تعداد تکرار بهینه جایی است که میزان خطا در مرحله آزمایش شروع به افزایش می‌کند (شکل ۱۰). با بررسی پاسخ‌های خروجی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مرحله‌ی آزمایش مشخص گردید که شبکه‌ی عصبی ایجاد شده قادر است از میان ۲۰۰ مورد پیکسل لغزشی، ۱۸۲ مورد را به درستی گزارش دهد که نشان‌دهنده‌ی حساسیت تشخیص معادل ۹۱ درصد می‌باشد. همچنین از میان ۲۰۰ مورد پیکسل غیر لغزشی، شبکه قادر به تشخیص ۱۸۳ مورد از نمونه‌های آزمایشی گردید که بیانگر ویژگی تشخیص معادل ۹۱/۵ درصد می‌باشد. بنابراین دقت کل شبکه برابر با ۹۱/۲۵ درصد محاسبه گردید.

$$fnetj = f(i=1nwijxi + wo,$$

(۲)

پس از عرضی نمونه‌های آموزشی به شبکه، وزن‌های شبکه به گونه‌ای اصلاح می‌شوند که تفاوت پاسخ مطلوب و خروجی واقعی شبکه کمینه شود. این فرایند با نمونه‌های ورودی تکرار می‌شود تا اینکه شبکه به حالت پایداری برسد و تغییر قابل توجهی در وزن‌ها اتفاق نیفتد. در این مرحله با مقایسه‌ی مقادیر خروجی که توسط شبکه تخمین زده می‌شود با مقادیر مطلوب که به شبکه ارائه شده است، میزان خطا تعیین شده و به لایه‌های ماقبل هم تعمیم داده می‌شود تا در تنظیم وزن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. با تغییر توابع انتقال، تعداد نرون‌های میانی و عوامل مؤثر در تغییر وزن‌ها به صورت سعی و خطا، مناسب‌ترین مدل شبکه‌ی عصبی برای مسأله‌ی مورد نظر به دست می‌آید. مدل بهینه زمانی حاصل می‌شود که شبکه‌ی عصبی بهترین پردازش را با کمترین خطا انجام دهد. بدین منظور توابع انتقال مختلف در لایه‌ی میانی و خروجی مورد آزمایش قرار گرفت و به علت وجود روابط غیرخطی در پدیده زمین‌لغزش از توابع انتقال سیگموئید در هر دو لایه استفاده گردید. برای این تحقیق تعداد نرون در لایه‌ی میانی از ۵ تا ۲۵ تغییر داده شد و با تعداد ۲۰ نرون شبکه به کمترین خطا در مرحله آموزش و آزمایش رسید. ضریب یادگیری که میزان تغییر وزن‌ها را در کنترل دارد، از ۰/۱ تا ۰/۲ مورد بررسی قرار گرفت و با مقدار ۰/۲ شبکه به بهترین یادگیری دست یافت. همچنین مقدار مومنتم نیز ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. روش‌های یادگیری شبکه MLP بر پایه‌ی الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا (BP) می‌باشد. سه الگوریتم یادگیری برای این منظور وجود دارد: شبکه با ضریب یادگیری ساده  $(trainbp)$ ، شبکه با ضریب یادگیری

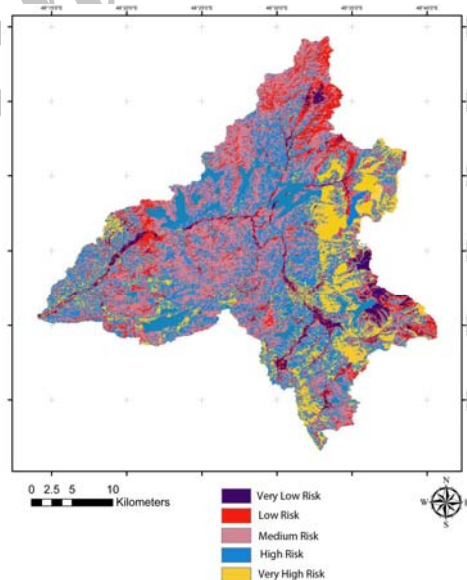


شکل ۱۰: منحنی‌های مربوط به بهینه تکرار  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

در این حالت برای هر پیکسل یک مقداری توسط سیستم تعیین گردید که بین صفر و ۱ قرار گرفتند. با دسته‌بندی مقادیر به دست آمده از شبکه، می‌توان منطقه را به نواحی متفاوت از نظر خطر زمین‌لغزش تقسیم‌بندی کرد. در نهایت نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش برای حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای با بهره‌گیری از برنامه نوشته شده در محیط MATLAB تهیه گردید. نقشه فوق در زیر نمایش داده شده است.

### نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

با توجه به مواردی که آورده شد بعد از مشخص کردن ساختار اصلی شبکه عصبی و فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای تعلیم سیستم عصبی، همچنین رسیدن به خطای قابل قبول، شبکه آماده شد تا تحلیل منطقی را که قبلاً با آنها مواجه نشده است، انجام دهد. به این منظور با در دست داشتن وزن‌های مرحله پایانی مربوط به تعلیم شبکه، کل منطقه که مشتمل بر ۹۱۸۸ پیکسل بود در اختیار شبکه قرار گرفت.



شکل ۱۰: نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای بر اساس مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

## نتیجه

قادر به یادگیری نبوده و پردازش اطلاعات در حد مطلوب نخواهد بود. همچنین اگر اندازه نمونه‌های آموزشی خیلی زیاد باشد قابلیت سیستم افزایش می‌یابد و اگر خیلی کم باشد شبکه قادر به تشریح خوب مسأله نبوده و قابلیت آن کاهش می‌یابد. نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی نشان می‌دهد که بیشتر مناطق با خطر خیلی زیاد در مناطق شرقی و جنوب‌شرق منطقه قرار می‌گیرد که با توجه به شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی حاکم بر این منطقه این موضوع قابل تأیید است. در کل مناطق پر خطر، خطرپذیری زیاد، خطرپذیری متوسط، خطرپذیری کم و خطرپذیری خیلی کم به ترتیب ۱۱، ۷۰، ۷، ۹ و ۳ درصد مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند که این امر استعداد حوضه‌ی گیوی‌چای را در رخداد زمین‌لغزش به نمایش می‌گذارد.

## منابع

- راکعی، بابک؛ ماشاله خامیه‌چیان؛ پرویز عبدالملکی؛ پانته‌آ گیاهچی (۱۳۸۶). کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مطالعه موردی ناحیه سفیدارکله استان سمنان. مجله علوم دانشگاه تهران.
- زارع‌پور، سهیلا (۱۳۸۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه رودبار منجیل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مقیاس ۱:۵۰۰۰. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ساریخانی، رامین (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مطالعه موردی منطقه تالش استان گیلان، گروه زمین‌شناسی. دانشکده علوم. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- سوری، سلمان؛ غلامرضا لشکری‌پور؛ محمد غفوری؛ طاهر فرهادی‌نژاد (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در حوضه‌ی نوژیان، دو فصلنامه زمین‌شناسی مهندسی. شماره ۵.

در بررسی‌هایی که در حوضه‌ی رودخانه‌ی گیوی‌چای صورت گرفته است مشاهده می‌شود که بخش وسیعی از حوضه‌ی مورد مطالعه خصوصاً قسمت میانی و شمال شرقی حوضه در تصرف سنگ‌ها آندزیت پرفیری و مگاپورفیری ائوسن می‌باشد. هوازدگی فلدسپات‌های موجود در این سنگ‌ها و تشکیل کانی‌های رسی، زمینه وقوع زمین‌لغزش‌های بزرگ و کوچکی را بر روی دامنه‌های شیب‌دار مناطق به وجود آورده است. در جنوب‌شرق حوضه نیز گستره‌ی وسیعی در اشغال سازنده‌های قرمز پایینی است. به دلیل وجود خمیره رسی بالا و سخت‌شدگی نسبتاً کم، اجزای کنگلومراهای واقع در سازند قرمز پایینی، استعداد رانش و لغزش زیادی در دامنه‌های شیب‌دار دارند. در بررسی‌های گسل‌های اصلی نیز مشاهده می‌شود که گسل نیکی از اهمیت بالایی در ایجاد زمین‌لغزش برخوردار است. وجود زمین‌لغزش‌های متعدد در طرفین این گسل دلالت بر فعالیت آن در کواترنر و نقش مخرب آن در ناپایداری شیب‌ها و فرسایش و رسوبزایی دارد. بررسی‌ها نشان داد که پارامترهای لیتولوژی، فاصله از گسل، شبکه هیدروگرافی، شیب، جهت شیب، لایه DEM، پراکنش زمین‌لغزش‌ها و کاربری اراضی می‌تواند اطلاعات مفیدی جهت پهنه‌بندی نمودن منطقه از نظر استعداد لغزش فراهم نماید. لحاظ کردن تأثیر مقیاس نقشه‌های عوامل حائز اهمیت است زیرا با افزایش مقیاس، جزئیات بیشتری در نقشه‌ها آورده می‌شود و اطلاعات موجود از دقت زیادی برخوردار می‌شوند. در ارتباط با ساختمان و عملکرد شبکه‌ی عصبی، این تحقیق نشان داد که اگر تعداد تکرار خیلی زیاد باشد قابلیت به خاطر سپاری شبکه زیاد و تعمیم‌دادن یادگیری در اطلاعات آزمایشی کاهش می‌یابد و اگر تعداد تکرار خیلی کم باشد شبکه

- Gong P (1996). Integrated analysis of spatial data for multiple sources: using evidential reasoning and artificial neural network techniques for geological mapping. *Phonogram. Eng. Rem. Sens.* 62.
- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Starker, S., Gupta, R.P (2006). A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Eng. Geol.* 85.
- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A (2008). Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology* 94.
- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology* 97.
- Ohlmacher, C.G., Davis, J.C (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide susceptibility in northeast Kansas, USA. *Eng. Geol.* 69.
- Pachauri, A.K., Pant, M (1992). Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Eng. Geol.* 32.
- Saha, A.K., Gupta, R.P., Starker, I., Arora, M.K., Csaplovics, E (2005). An approach for GIS based statistical landslide susceptibility zonation-with a case study in the Himalayas. *Landslides* 2.
- Smith M, *Neural Networks for Statistical Modeling*, New York: John Wiley & Sons, Inc (1993). ISBN: 0442013108.
- Subasia A, Ercelebib E (2005). Classification of EEG signals using neural network and logistic regression, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*; 78.
- Werner D, Francisco J A (2003). Artificial intelligence in the life sciences, *Artif Intell Rev*; 20.
- کمک‌پناه، علی (۱۳۷۳). مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌غزه در کشور، چاپ اول. مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. تهران.
- مهندسین مشاور تکم (۱۳۸۶). مطالعات توجیهی آبخیزداری حوضه‌ی آبخیز گیوی‌چای اردبیل.
- نظام‌خیاوی، محمود (۱۳۸۷). پیش‌بینی بار معلق رودخانه‌ها با استفاده از روش‌های سیستم استنتاجی فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی. دانشگاه تبریز.
- Anbalagan, R (1992). Landslide susceptibility evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.* 32.
- Arora, M.K., Das Gupta, A.S., Gupta, R.P., (2004). An artificial neural network approach for landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *Int. J. Rem. Sens.* 25.
- Ayalew, L., Yamagishi, H (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z. W (2000). Assessment of landslide hazard on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ. Geol.* 40.
- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N (2005). Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology* 66.
- Garrett, J (1994). Where and why artificial neural networks are applicable in civil engineering. *J. Comput. Civil Eng.* 8.
- Gomez, H (2002). Modelling Landslide Potential in the Venezuelan Andes. PhD Thesis, The University of Nottingham, UK.
- Gomez, H., Kavzoglu, T (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Eng. Geol.* 78.