

بررسی کارایی مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش  
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز سردارآباد استان لرستان)

سحرگودرزی - دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد، دانشگاه یزد، ایران

علی طالبی<sup>۱</sup> - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، دانشگاه یزد، ایران

حمیدرضا پورقاسمی - استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۳

چکیده

زمین لغزش از جمله بلایای طبیعی است که بیشتر در مناطق کوهستانی رخ می دهد و مورفولوژی را به طور ناگهانی تغییر داده و خسارت های عمده ای به مناطق مسکونی، جاده ها زمین های کشاورزی و غیره وارد می سازد. هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در حوزه آبخیز سردارآباد واقع در استان لرستان است. به این منظور با استفاده از تصاویر ماهواره ای و بازدیدهای صحرایی، ۱۰۹ پهنه لغزشی شناسایی و نقشه پراکنش زمین لغزش های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. لایه های اطلاعاتی ارتفاع، سنگ شناسی، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، بارندگی و کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش شناسایی و نقشه های مذکور در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه و رقومی گردیدند. به منظور وزن دهی کلاس های هر یک از عوامل از روش نسبت فراوانی استفاده گردید؛ سپس وزن های به دست آمده نرمال سازی شده و به محیط نرم افزار Matlab2015a منتقل گردید. در تحقیق حاضر از ساختار سیستم استنتاج فازی خوشه بندی (کلاسترینگ) برای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش استفاده گردید. به منظور ارزیابی مدل ها از منحنی راک استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که دقت مدل تهیه شده با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در منطقه مورد مطالعه ۸۹/۱۱ درصد (خیلی خوب) برآورد شده است. نقشه حساسیت لغزش نیز نشان داد که مساحت مناطق با حساسیت متوسط ۲۹ درصد، حساسیت

زیاد ۲۳ درصد و حساسیت خیلی زیاد ۱۲ درصد است. در مجموع مساحت مناطق متوسط، زیاد و خیلی زیاد ۶۴ درصد بوده که نشان‌دهنده پتانسیل خطرپذیری بالای حوزه آبخیز سردارآباد در بروز لغزش‌ها است. **واژگان کلیدی:** حوزه آبخیز، زمین‌لغزش، سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی، منحنی راک، منطقه- سردارآباد

#### ۱- مقدمه

زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خطرات طبیعی در مناطق کوهستانی معرفی شده و خسارات مالی و جانی سنگینی را در زندگی بشر تحمیل می‌کند (Bui et al., 2012). به‌طور کلی از مجموع بلایای طبیعی، زمین‌لغزش ۹ درصد از کل آن‌ها در دهه گذشته به خود اختصاص داده (Yilmaz, 2009) و این پدیده در میان بلایای طبیعی در زمره پرخطرترین و زیان‌بارترین آن‌ها قرار گرفته که همگام با دست‌کاری بشر در سامانه‌های طبیعی شتاب فزاینده‌ای یافته است (شادفر و همکاران، ۱۳۸۶). زمین‌لغزش‌ها در ایران نیز به‌عنوان یکی از شایع‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب شده و سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد ساخته و هزینه فراوانی برای بازسازی مناطق آسیب‌دیده بر بودجه کشور تحمیل می‌کند (زارع و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس آمار اولیه بانک اطلاعاتی، زمین‌لغزش‌های کشور که توسط وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۸۳) منتشر شد، خسارت ناشی از ۲۵۴۸ زمین‌لغزش بالغ بر ۱۰۷ نفر کشته و ۳۸۶ میلیارد ریال برآورد گردید (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین بر اساس آمارهای جدید سالانه ۶۰۰ میلیون دلار خسارت ناشی از زمین‌لغزش در ایران است (Jaada, 2009). با توجه 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 اقلیم حاکم بر منطقه، زمین‌شناسی، کوهستانی بودن حوزه آبخیز سردارآباد، احداث غیر اصولی جاده‌ها و وجود ۱۵ روستای دارای سکنه، حوزه آبخیز سردارآباد از جمله حوزه‌های آبخیز مستعد زمین‌لغزش است و با توجه به این‌که زمین‌لغزش‌ها نسبت به سایر بلایای طبیعی مثل سیل، آتش‌فشان و زلزله دارای قابلیت مدیریت بیشتر می‌باشند؛ لذا تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش منطقه یکی از ابزارها و عوامل مهم در مدیریت و کنترل خطر زمین‌لغزش محسوب می‌شود.

در دنیا روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش وجود دارد، به‌طوری‌که تاریخچه استفاده از پهنه‌بندی زمین‌لغزش به دهه ۱۹۷۰ می‌رسد (Pradhan, 2010). سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفته است.

Sezer و همکاران (2011) به بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیقی در منطقه‌ای از مالزی پرداختند. نتایج نشان داد مدل نرو فازی با دقت ۹۸ درصد و مساحت سطح زیر منحنی ۰/۹۸ بهترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. Bui et al و همکاران (2012) با استفاده از مدل نرو فازی در

منطقه‌ای از ویتنام به تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش پرداختند؛ در این پژوهش از ۱۱۸ زمین لغزش شناسایی شده در منطقه، ۷۰ درصد آن برای مدل‌سازی و مابقی برای ارزیابی مدل استفاده شد. نتایج نشان داد تمامی توابع گوسی و سیگموئیدی<sup>۱</sup> نروفازی دارای کارایی بالایی بوده است. Pradhan (2013) از سه روش سیستم تصمیم‌گیری درختی<sup>۲</sup>، ماشین بردار پشتیبان<sup>۳</sup> و مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی<sup>۴</sup> برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در منطقه پنانگ مالزی استفاده کرد. در این مطالعه از ۵۰ درصد زمین لغزش برای مدل‌سازی و مابقی زمین لغزش‌ها برای ارزیابی مدل استفاده گردید. نتایج نشان داد مدل نروفازی بهترین کارایی را در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش داشته است. Lee و همکاران (2015) با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و انفیس و با به‌کارگیری ۱۷ عامل مؤثر به پیش-بینی زمین لغزش در منطقه کوهستانی بنام سیراک در کره جنوبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل انفیس کارایی بیش‌تری در پیش‌بینی زمین لغزش دارد. نصیری اقدم و همکاران (۲۰۱۶)، اقدام به تهیه نقشه زمین لغزش در استان‌های همجوار کوه‌های البرز با استفاده از دو مدل شاخص آماری و انفیس کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل انفیس نتایج بسیار خوبی برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش ارائه می‌دهد. Chen و همکاران (2017) به ارزیابی عملکرد ترکیب مدل انفیس با مدل الگوریتم ژنتیک، تفاضل تکاملی و بهینه‌سازی ذرات برای مدل‌سازی زمین لغزش با استفاده از ۱۲ عامل در استان سیچان چین پرداختند که نتایج نشان از توانایی بالای هر یک از مدل‌ها در مدلسازی زمین لغزش منطقه دارد. Polykretis و همکاران (2017) به ارزیابی عملکرد مدل انفیس با استفاده از ۶ تابع عضویت با استفاده از ۷ عامل ورودی در منطقه پلوپونز یونان پرداختند. نتایج نشان داد این مدل عملکرد بسیار خوبی دارد. Kayastha (2012)؛ Feizizadeh et al (2014) و Leonardi et al (2016) با استفاده از منطق فازی به پهنه‌بندی نقشه حساسیت زمین لغزش پرداختند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی اقدام به تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در شمال شهر تهران کردند و به این نتیجه رسیدند که دقت مدل تهیه‌شده با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در منطقه مورد مطالعه خوب برآورد گردید. صفاری و اخدر (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های محدوده جاده ارتباطی مریوان - سنج در استان کردستان (غرب ایران)، از طریق وزن دهی به معیارهای اصلی و با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS10 است. نتایج نشان داد که توابع عضویت فازی روشی مناسب برای پهنه-بندی زمین لغزش می‌باشند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴)، به پیش‌بینی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (انفیس) در شهر پل سفید استان مازندران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل عصبی-فازی کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها دارد. زارع و همکاران (۱۳۹۴)، به پهنه‌بندی

---

1 sigmoede

2 Decision tree (DT)

3 Support vector machin (SVM)

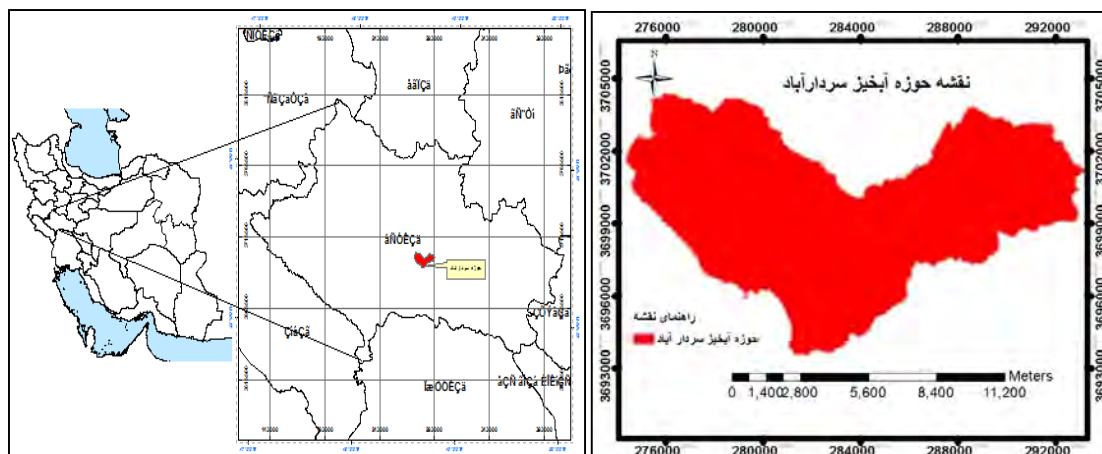
4 ANFIS

زمین لغزش با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در حوزه آبخیز واز پرداختند که نتایج نشان داد مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها دارد. فیض‌الله‌پور (۱۳۹۶)، به پهنه‌بندی مناطق مستعد به زمین لغزش با استفاده از مدل انفیس در حوضه رودخانه سنگور چای پرداخت در این تحقیق ۸ لایه ورودی انتخاب گردید که نتایج نشان داد مدل انفیس کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها دارد. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳)، کشوری و همکاران (۱۳۹۳) با مدل انفیس در زمینه برآورد فرسایش و رسوب به نتایج قابل قبولی دست یافتند. کاربرد نتایج این پژوهش می‌تواند از وقوع بیش‌تر زمین لغزش و خسارات ناشی از آن در منطقه جلوگیری نماید. هدف از تحقیق حاضر پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی با ساختار سیستم استنتاج فازی خوشه‌بندی در حوزه‌ی آبخیز سردارآباد استان لرستان می‌باشد.

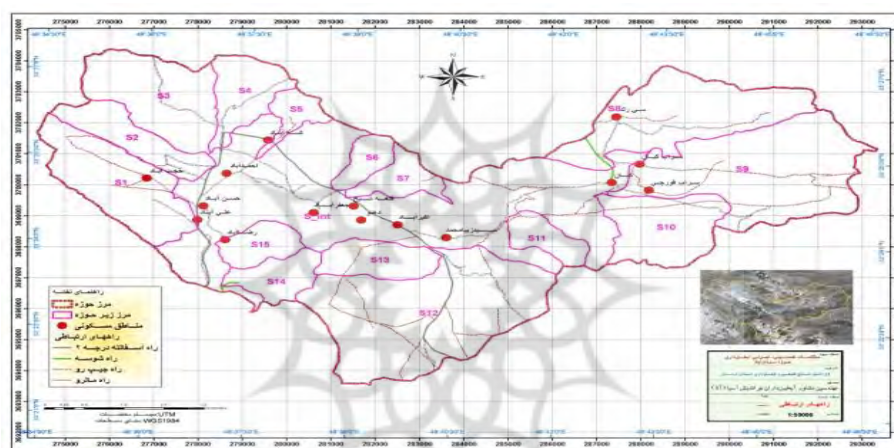
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سردارآباد با مساحت ۱۰۴/۴۷ کیلومتر مربع در شرق شهرستان خرم‌آباد قرار دارد. حوزه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی "۳۴'۲۳" ۴۸° تا "۴۶'۳۷" ۴۸° شرقی و عرض‌های "۲۱' ۲۳" ۳۳° تا "۲۷' ۱۹" ۳۳° شمالی قرار گرفته است. در داخل حوزه آبخیز سردارآباد ۱۵ روستا وجود دارد. کم‌ترین ارتفاع حوزه ۱۶۰۰ متر و بالاترین ارتفاع آن ۲۶۰۸ متر از سطح دریا است. نوع اقلیم منطقه براساس تقسیم‌بندی دومارتن نیمه مرطوب بوده و نوع نزولات در ارتفاعات پایین‌دست بیشتر به صورت باران و در ارتفاعات بالاتر به صورت برف است. میزان بارندگی متوسط سالانه ۵۶۴ میلی‌متر در سال و درجه حرارت متوسط سالانه آن ۱۵/۱۳ درجه سانتی‌گراد است. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز مورد نظر را روی نقشه ایران و استان و شکل (۲) نقشه راه‌های دسترسی و مناطق مسکونی حوزه آبخیز سردارآباد را نشان می‌دهد.



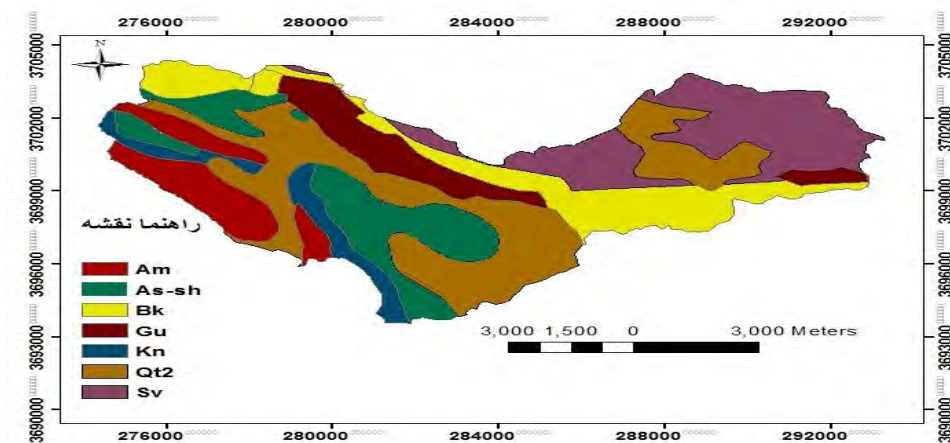
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سردارآباد



شکل ۲. نقشه راه‌های دسترسی و مناطق مسکونی حوزه آبخیز سردارآباد

مأخذ: اداره منابع طبیعی استان لرستان

سنگ‌شناسی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعه زمین‌لغزش‌ها است؛ زیرا واحدهای سنگی مختلف دارای درجات حساسیت گوناگونی در بروز این پدیده هستند (Garcia et al, 2008, Yalcin, 2008) حوزه آبخیز سردارآباد بخشی از زون ساختاری زاگرس چین‌خورده است. در سطح این حوزه رخنمون سازندهای سنوزوئیک و در بخش شمالی آن بیرون‌زدگی‌هایی از سازند سروک با سن کرتاسه فوقانی دیده می‌شود. در محدوده مورد مطالعه موسوم به حوزه آبخیز سردارآباد از سن قدیم به سن‌های جدید زمین‌شناسی می‌توان سازندهای سروک، گورپی، امیران، کشکان، آسماری-شهبازان، بختیاری و رسوبات دوران چهارم را مشاهده نمود. سازندهای موجود در این منطقه عموماً از: مارن، آهک‌های مارنی، کنگلومرا و آبرفت تشکیل شده‌اند که سست‌ترین آن‌ها مارن است. در شکل (۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه و در جدول (۱) مشخصات سازندهای منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز سردارآباد

جدول ۱. مشخصات سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نام سازند	علامت سازند	لیتولوژی سازند یا واحد رسوبی
بختیاری	Bk	آهک‌های مارنی بارنگ روشن
کواترنری	Q	آبرفت جوان، مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان‌تر
گورپی	Gu	مارن‌های کرم با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و شیل
آسماری-شهبازان	As-Sh	رخساره آهکی توده‌ای کرم تا قهوه‌ای‌رنگ
کشکان	Kn	مارن‌های قرمز رنگ
امیران	Am	کنگلومرایی سیاه‌رنگ
سروک	Sv	آهک‌های مارنی

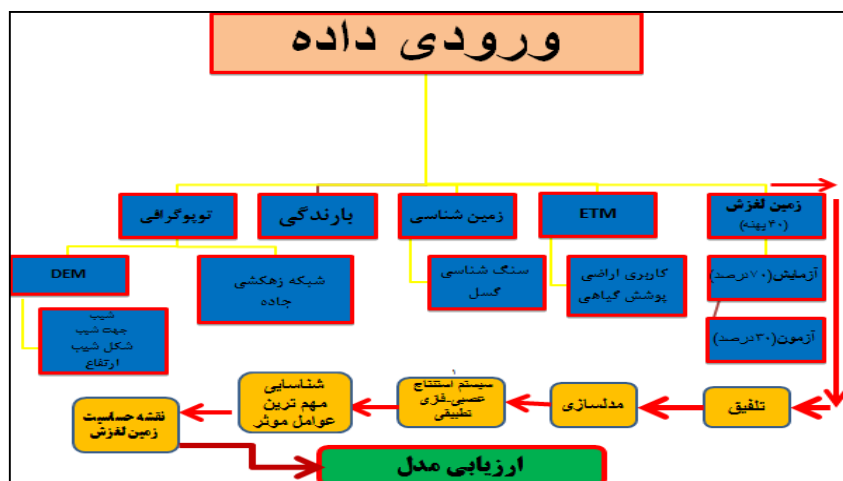
## ۲-۲- استخراج داده

نوع پژوهش حاضر بر اساس هدف، کاربردی است. روش تحقیق در این پژوهش از نوع میدانی است و حوزه آبخیز مورد مطالعه حوزه آبخیز سردارآباد واقع در شرق شهرستان خرم‌آباد استان لرستان است. به منظور انجام پژوهش حاضر، نخست نقشه‌ها و تصاویر پایه از اداره منابع طبیعی استان لرستان اخذ گردید. نقاط لغزشی حوزه با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و بازدیدهای میدانی با استفاده از GPS ثبت و وارد نرم‌افزار ArcGIS 10.2 گردید تا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه تهیه گردد. لایه‌های اطلاعاتی جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارندگی، لیتولوژی و کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش از روی نقشه‌های پایه (توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای) موجود با استفاده از الحاقی‌های مختلف در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی رقومی و تهیه گردید.

به این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه مدل رقومی ارتفاع تهیه و عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب و طبقه ارتفاعی از آن استخراج گردید. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان تهیه گردید. نقشه سنگ‌شناسی و فاصله از گسل نیز از نقشه زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده است. لایه مربوط به آبراهه نیز از نقشه توپوگرافی منطقه موردمطالعه استخراج گردید. نقشه شکل شیب منطقه موردمطالعه از طریق نقشه ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی و رقومی سازی آن در محیط ArcGIS 10.2 در ۳ کلاس مقعر (۰/۰۰۱) <، مسطح (۰/۰۰۱) - (۰/۰۰۱) و محدب > (۰/۰۰۱) تقسیم‌بندی و تهیه گردید.

با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی معتبر در داخل حوزه آبخیز برای برآورد بارندگی و درجه حرارت حوزه از ایستگاه‌های مجاور استفاده شده است. برای تعیین مقدار بارندگی حوزه موردنظر از ایستگاه‌های باران‌سنجی با طول آماری ۳۰ ساله استفاده شده است با توجه به اهمیت بارش در وقوع زمین‌لغزش نقشه هم‌باران سالانه با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های موجود از سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ تهیه گردید. به همین منظور مقدار متوسط بارندگی سالانه و ارتفاع از سطح دریا در هر ایستگاه دوره آماری مشترک ۳۰ انتخاب گردیدند (Pistocchi et al., 2002). نقشه حاضر بر اساس داده‌های بارندگی ماهیانه ایستگاه‌های شاخص مناطق خرم‌آباد، بروجرد، دهنو، رحیم‌آباد، ونایی، کاکارضا، سراب‌صیدعلی که توسط اداره کل منابع طبیعی استان لرستان تهیه شده است، آماده شده و به ۴ کلاس بارندگی با فواصل ۳۵ میلی‌متری طبقه‌بندی گردید. در حوزه آبخیز سردارآباد نقشه کاربری اراضی از داده‌های ماهواره‌ای ETM استخراج شده و با عملیات میدانی تکمیل شده است (براساس گزارش اداره منابع طبیعی استان لرستان).

در مجموع، ۱۰۹ موقعیت لغزشی با استفاده از بانک اطلاعاتی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان، تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای صحرایی در منطقه موردمطالعه شناسایی گردید. پس از تعیین عوامل مؤثر، نقشه‌های فوق‌الذکر و تهیه بانک اطلاعاتی اقدام به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل انفیس در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS (SAGA-GIS و هم‌چنین نرم‌افزار متلب استفاده گردید. در شکل (۴) روند تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش و ارزیابی مدل نشان داده شده است.



شکل ۴. چارچوب روند اجرای تحقیق

به منظور تعیین همبستگی روش های مختلفی وجود دارد که در این مطالعه از روش نسبت فراوانی<sup>۱</sup> استفاده گردید. سپس شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه (۱) و (۲) محاسبه شد (پور قاسمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Lee، ۲۰۰۷).

$$Fr = \frac{\frac{n_{landslide}}{n_{class}}}{\frac{n_{total\ landslide}}{n_{map}}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$N_{landslide}$ : تعداد پیکسل های لغزشی هر کلاس،  $N_{class}$ : تعداد پیکسل های هر کلاس،  $N_{total\ landslide}$ : تعداد

کل پیکسل های لغزشی نقشه،  $N_{map}$ : تعداد کل پیکسل های نقشه

$$LSI = \sum Fr \quad (\text{رابطه ۲})$$

$LSI$ : شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش،  $Fr$ : وزن هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش است.

## ۲-۲-۱- مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (انفیس)

مدل انفیس برگرفته از شبکه عصبی و منطق فازی می باشد. در سیستم های پیچیده ای که درک آنها مشکل می باشد و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم گیری و استنباط بشری هستند، منطق فازی به عنوان ابزاری مؤثر به شمار می رود. سیستم فازی قادر به استفاده از زبان بشری می باشد و می تواند از تجربیات بشری و افراد متخصص و خبره استفاده کند در حالی که قادر به یادگیری نمی باشد (Kartalopoulos, 1996). اما شبکه های عصبی با استفاده از مجموعه داده ها، قابلیت خودآموزی دارند. در عین حال شبکه های عصبی غیر صریح هستند و قادر به استفاده از زبان بشری نمی باشند (Kartalopoulos, 1996). اولین بار جانگ در سال ۱۹۹۳ توانست از قدرت زبانی سیستم های فازی و

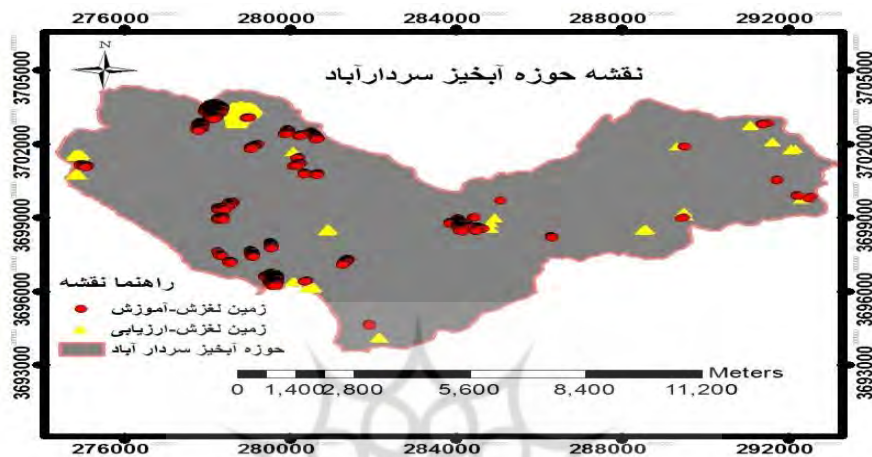


آموزش شبکه‌های عصبی استفاده نماید و سیستمی تحت عنوان سیستم‌های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی ارائه نماید. این سیستم‌ها به سیستم‌های انفیس معروف شده‌اند (Jang, 1993). شبکه تطبیقی شامل یک مجموعه از گره‌های متصل به هم است که به طور مستقیم به هم مرتبط شده‌اند و در آن هر گره یک واحد پردازش محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر از ترکیب منطق فازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌های فازی عصبی به وجود آمده‌اند. این سیستم‌ها مشکل اصلی در طراحی سیستم‌های فازی (که همان به دست آوردن قواعد "اگر-آنگاه" فازی است) را به وسیله استفاده مؤثر از قابلیت یادگیری ANN جهت تولید خودکار این قواعد و بهینه‌سازی پارامترها، حل کرده‌اند.

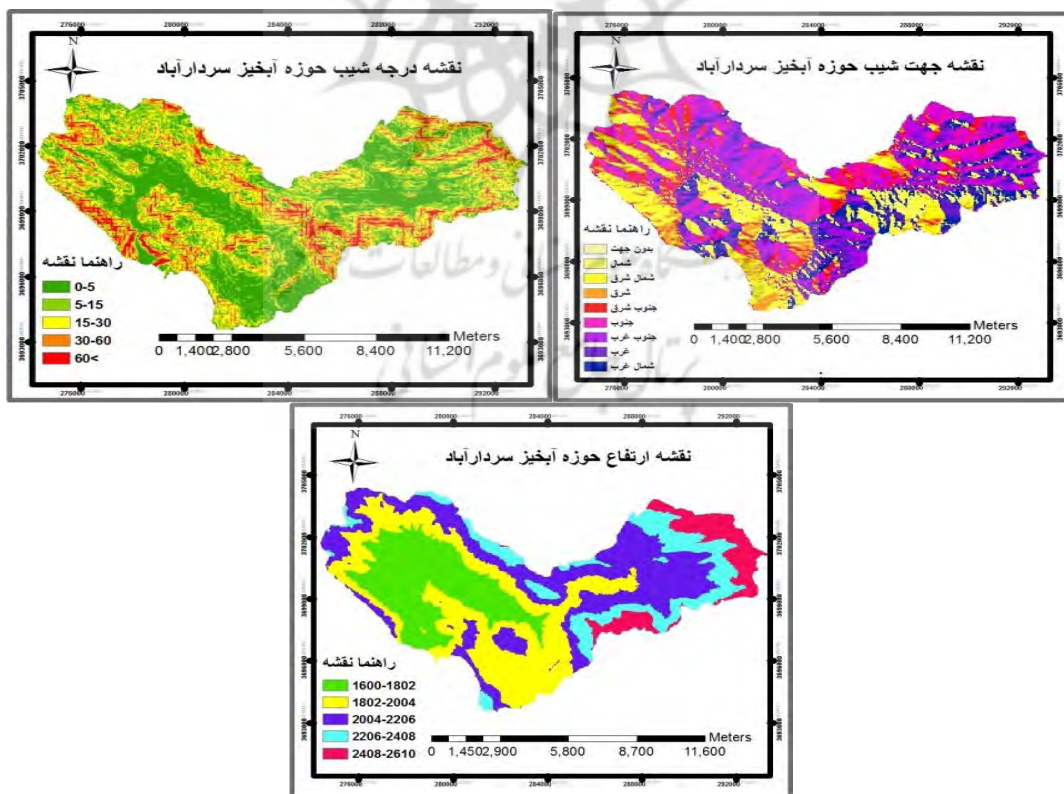
در این پژوهش برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش علاوه بر لایه زمین‌لغزش از ۱۰ لایه رقومی درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بارندگی، لیتولوژی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش استفاده شد. همه این لایه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 تهیه و کلاس‌بندی شدند. در مرحله بعد با توجه به روش مورد استفاده، هر کدام از لایه‌ها با لایه رقومی زمین‌لغزش قطع داده شد تا میزان تراکم لغزش در هر کلاس از هر لایه به‌دست‌آمده و با استفاده از این اطلاعات مراحل وزن‌دهی و محاسبات در جهت انجام تهیه نقشه حساسیت صورت گیرد.

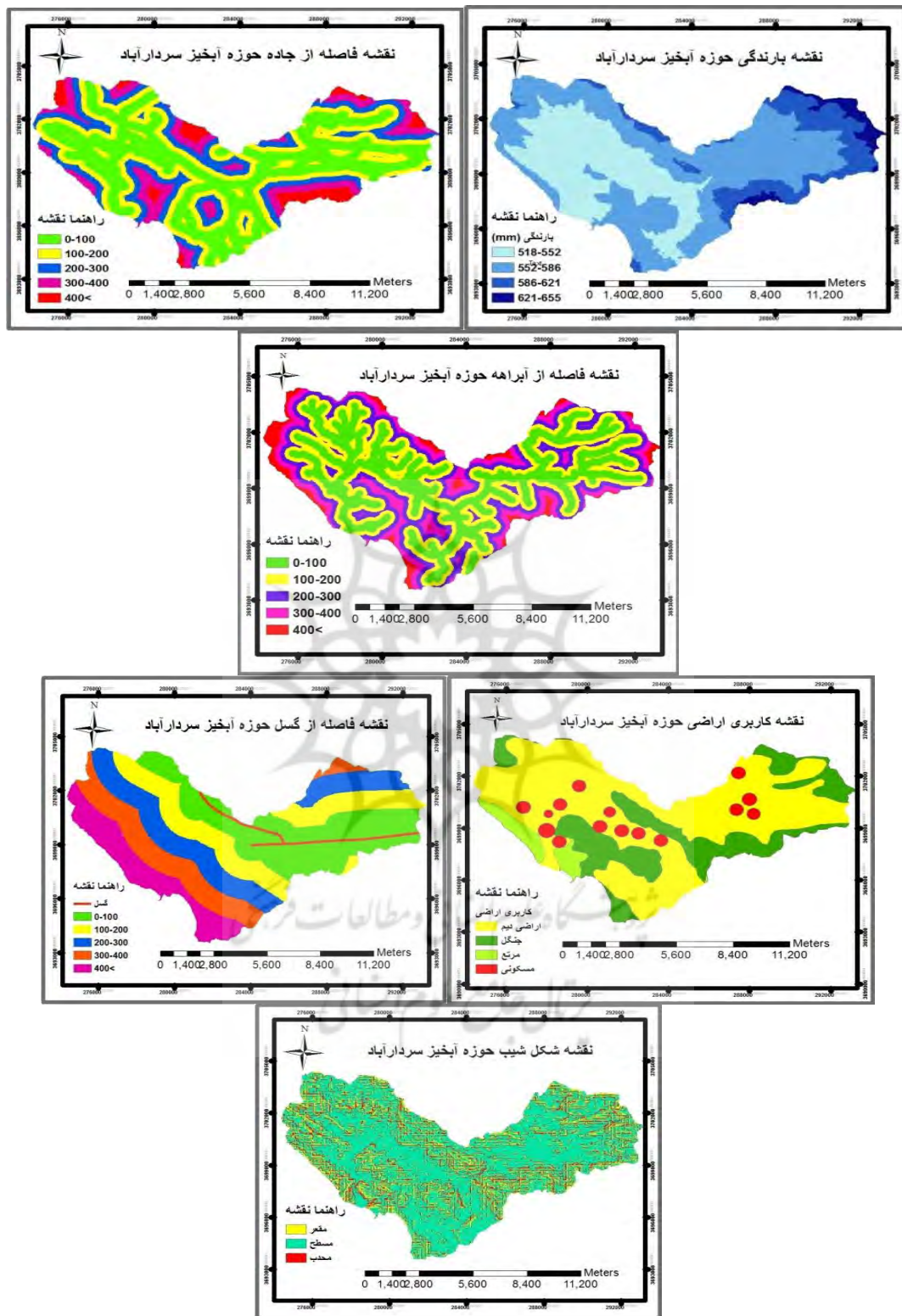
اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه است. به این منظور در کل منطقه پیمایش زمینی صورت گرفته و موقعیت و تعداد نقاط لغزش با استفاده از GPS ثبت شده است. در منطقه مورد مطالعه ۱۰۹ لغزش ثبت شده است (منبع: اداره منابع طبیعی استان لرستان) که ۷۷ لغزش برای آزمایش (آموزش) مدل و ۳۲ لغزش باقی‌مانده برای ارزیابی (آزمون) الگوریتم جنگل تصادفی استفاده گردید. سپس این نقاط به نرم‌افزار ArcGIS 10.2 منتقل و نقشه پراکنش زمین‌لغزش منطقه تهیه شد نقشه پراکنش زمین‌لغزش، نشان‌دهنده مناطقی با بیشترین میزان وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای است. در محدوده مورد مطالعه زمین-لغزش‌ها به‌صورت پهنه‌ای رخ داده‌اند. برقراری رابطه میان این مناطق با نوع رخساره زمین‌شناسی آن‌ها بسیار پراهمیت است؛ چراکه مناطق با رسوبات سست مستعدترین مناطق برای وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای می‌باشند. شکل (۵) پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه و شکل (۶) نقشه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوزه آبخیز سردارآباد را نشان می‌دهد. بر اساس روابط مدل انفیس کلاسه‌های هر عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش وزن دهی می‌شود. در محیط ArcGIS 10.2 این وزن‌ها به نقشه اضافه و نقشه وزنی هر فاکتور به دست می‌آید؛ اما با توجه به اینکه تعداد معادلات زیاد بوده و پیچیدگی‌های بسیاری دارد، برنامه مربوط به مدل انفیس تحت یک برنامه اصلی در نرم‌افزار متلب نوشته و پس از اجرای مدل وزن‌های به‌دست‌آمده وارد محیط ArcGIS 10.2 می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به معادلات بالا مقدار وزن‌ها بین صفر و ۱ قرار می‌گیرد. در مرحله بعد نقشه‌های وزنی باهم جمع شده و نقشه نهایی به دست می‌آید. در این نقشه وزن هر پیکسل از مجموع وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر فاکتور در آن پیکسل محاسبه

می‌شود. بر اساس نقاط شکست منحنی تجمعی، نقشه به چهار طبقه حساسیت کم، حساسیت متوسط، حساسیت زیاد و حساسیت خیلی زیاد تقسیم می‌شود. پس از بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و انتقال آن‌ها به نرم‌افزار متلب، مدل انجیس مدل‌سازی گردیده و عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش تعیین گردیدند.



شکل ۵. پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزه آبخیز سردارآباد





شکل ۶. نقشه عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش حوزه آبخیز سردارآباد

## ۲-۲-۲- اجرای مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (انفیس)

برای اجرای مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی از نرم افزار MATLAB2015a استفاده گردید اما قبل از ورودی داده‌ها برای اجرای مدل و به منظور افزایش کارایی مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی در مدل سازی داده‌های ورودی و خروجی، داده‌ها معیار سازی (نرمال سازی) می‌شوند که این کار از طریق فرمول (۳) در نرم افزار ArcGIS10.2 برای هر ۱۰ ورودی اجرا می‌شود. در واقع شاخص حساسیت زمین لغزش از جمع عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش با روش Fr بوده است. در این مطالعه ۳۲ زمین لغزش به طور تصادفی برای مرحله آزمون و ۷۷ زمین لغزش برای مرحله آموزش استفاده گردید. از ۷۷ زمین لغزش مرحله آموزش به عنوان خروجی مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی استفاده گردید به طوری که در مناطقی که زمین لغزش‌ها رخ داده، کد ۱ و در سایر مناطق کد صفر تعلق می‌گیرد.

$$X_i = \frac{z_i - z_{i(\min)}}{z_{i(\max)} - z_{i(\min)}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

برای اجرای مدل نروفازی از ویرایشگر Anfisedit در نرم افزار MATLAB2015a به همراه برنامه اصلی مدل انفیس استفاده شد. همچنین به منظور اجرای مدل نروفازی نیاز است داده‌ها به سه قسمت آموزش<sup>۱</sup>، آزمون<sup>۲</sup> و ارزیابی<sup>۳</sup> تقسیم گردد. لذا برای بخش آموزش ۷۰ درصد داده‌ها، برای بخش آزمون و ارزیابی هر کدام ۱۵ درصد داده‌ها اختصاص می‌یابد. در این تحقیق با توجه به جمع وزن‌های عوامل ورودی در محیط ArcGIS 10.2 و اضافه نمودن وزن‌های خروجی در کنار آن یک ماتریسی با ۱۱ ستون و ۱۱۶۰۶۶ سطر ایجاد گردید که وارد مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی شد. از این تعداد، یک ماتریس ۱۷۸۵ در ۱۱ برای بخش آموزش و دو ماتریس ۲۶۴ در ۱۱ برای بخش‌های آزمون و ارزیابی به صورت تصادفی ایجاد شد. پس از آماده سازی داده‌ها برای اجرای مدل انفیس از سیستم استنتاج فازی بایستی روش‌های مختلف فازی سازی را بر روی داده‌ها پیاده نمود که در این مطالعه از سیستم استنتاج عصبی - فازی میانگین کلاسترینگ<sup>۴</sup> استفاده شد. در این روش نیازی به تعیین نوع توابع عضویت، تعداد توابع عضویت و نوع تابع عضویت خروجی نیست. سیستم استنتاج نروفازی تطبیقی میانگین کلاسترینگ، تعداد توابع عضویت را همان تعداد فاکتورهای شرطی زمین لغزش در نظر می‌گیرد و نوع تابع عضویت را به طور پیش فرض گوسی و از نوع خطی انتخاب می‌کند. همچنین در الگوریتم مذکور (میانگین کلاسترینگ)، هر داده قادر است که به درجه عضویت‌های مختلفی تعلق گیرد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین از تابع عضویت خطی برای خروجی داده‌ها استفاده گردید. به منظور بهینه سازی روش فازی روش‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از روش سوگونو و از ۵ دور برای آموزش استفاده شده است.

- 1 Train
- 2 Test
- 3 validation
- 4 Fuzzy c-mean (FCM)

## ۲-۳- ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

به‌منظور ارزیابی سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی در تحلیل حساسیت زمین‌لغزش از منحنی راک<sup>۱</sup> استفاده شده است. منحنی راک یک نمودار پراکندگی از حساسیت برای یک سیستم طبقه‌بندی کننده باینری است که آستانه تمیز آن متغیر است. تحلیل منحنی راک روشی برای تعیین دقت و کارایی مدل است (Williams et al, 1998)؛ (Swets, 1998). این منحنی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیات تعیینی، شناسایی احتمالات و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (Swets, 1988). سطح زیر منحنی راک (AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است؛ بنابراین مساحت زیر منحنی به‌عنوان معیار دقت و صحت مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mathew, 2007). در ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این روش نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند (Komac, 2006) از این‌رو از بین ۱۰۹ پهنه لغزشی، ۷۰ درصد از این تعداد برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد مابقی نقاط برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج و بحث براساس رابطه نسبت فراوانی وزن‌های به‌دست آمده در ۱۰ عامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش‌ها اعمال گردید. در نهایت با استفاده از این رابطه سطح همبستگی بین زمین‌لغزش‌ها و عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها که همه با اندازه سلولی ۳۰ متر تهیه گردیده، به دست آمد و به‌عنوان وزن ورودی مدل سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی در نظر گرفته شد. در جدول (۲) مقادیر نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش آورده شده است.

جدول ۲. مقادیر نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

عامل	کلاس	تعداد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل غیرلغزشی	نسبت فراوانی
سنگ‌شناسی	BK	۴۰۵	۱۹۰۶۸	۱/۳۸
	Q	۴۶۰	۳۶۶۴۳	۱/۲۶
	As	۱۸۵	۱۶۵۴۰	۰/۷۲
	Kn	۹۱	۵۶۱۷	۱/۰۵
	A	۲۵۱	۱۰۶۲۸	۱/۵
	Gu	۱۸۸	۵۳۶۴	۲/۲۸
	Sv	۲۰۲	۲۲۲۰۶	۰/۵۹
فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۴۹۴	۴۵۵۲۰	۰/۷
	۱۰۰-۲۰۰	۴۵۰	۲۹۱۸۹	۱
	۲۰۰-۳۰۰	۳۹۶	۲۱۱۱۱	۱/۲۲

## ادامه جدول ۲

نسبت فراوانی	تعداد پیکسل غیر لغزشی	تعداد پیکسل لغزشی	کلاس	عامل
۱/۸۴	۱۴۰۲۸	۳۹۷	۳۰۰-۴۰۰	فاصله از
۰/۴۷	۶۲۱۸	۴۵	۴۰۰>	جاده
۱/۰۳	۳۵۳۱۲	۵۶۱	۰-۱۰۰	فاصله از
۱/۲	۲۴۱۶۷	۴۴۹	۱۰۰-۲۰۰	گسل
۰/۵۲	۲۳۳۵۵	۱۸۹	۲۰۰-۳۰۰	
۰/۹۱	۱۷۹۴۱	۲۵۱	۳۰۰-۴۰۰	
۱/۴۱	۱۵۲۹۱	۳۳۲	۴۰۰>	
۰/۸۳	۳۸۱۲۱	۴۸۶	۰-۱۰۰	فاصله از
۱/۱۷	۳۳۷۱۸	۶۱۰	۱۰۰-۲۰۰	آبراهه
۱/۲۸	۲۳۴۶۸	۴۶۴	۲۰۰-۳۰۰	
۰/۸۳	۱۴۷۲۱	۱۶۷	۳۰۰-۴۰۰	
۰/۵۹	۶۰۳۸	۵۵	۴۰۰>	
۰/۵۵	۳۳۶۸۷	۲۸۶	۰-۵	
۱/۱۸	۳۱۸۰۱	۶۱۵	۵-۱۰	درصد شیب
۱/۲۲	۲۶۶۶۳	۴۷۶	۱۵-۳۰	
۱/۱۷	۱۷۴۸۳	۳۱۱	۳۰-۶۰	
۰/۹۵	۶۴۳۲	۹۴	۶۰<	
۰	۴۱	۰	بدون جهت	
۰/۹۳	۱۲۰۷۲	۱۷۳	شمال	
۰/۶	۱۰۰۵۶	۹۳	شرق	
۱/۱۴	۲۰۵۷۲	۳۶۲	جنوب	
۰/۸۳	۱۴۵۸۹	۱۸۷	غرب	جهت شیب
۰/۸۷	۱۴۸۱۸	۲۰۰	شمال شرق	
۰/۸۹	۱۱۹۳۸	۱۴۵	شمال غرب	
۱/۱۳	۸۹۹۰	۱۷۵	جنوب شرق	
۱/۲۶	۲۲۹۹۰	۴۴۷	جنوب غرب	
۱/۰۳	۳۶۱۲۷	۵۷۵	۵۱۸-۵۵۲	
۱/۱۲	۵۷۵۲۸	۹۹۸	۵۵۲-۵۸۷	بارندگی
۰/۶۳	۱۸۰۶۱	۱۷۵	۵۸۷-۶۲۱	
۰/۵	۴۳۵۰	۳۴	۶۲۱-۶۵۵	

## ادامه جدول ۲

عامل	کلاس	تعداد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل غیرلغزشی	نسبت فراوانی
ارتفاع	۱۶۰-۱۸۰۲	۳۳۷	۲۴۱۱۷	۰/۹۱
	۱۸۰-۲۰۰۲	۶۴۴	۳۲۷۹۰	۱/۲۷
	۲۰۰-۲۲۰۴	۵۴۷	۳۲۹۹۸	۱/۰۷
	۲۲۰-۲۴۰۶	۱۶۳	۱۶۱۸۸	۰/۶۵
	۲۴۰-۲۶۰۸	۹۱	۹۹۷۳	۰/۵۹
شکل شیب	مقعر	۲۶۴	۱۶۱۷۱	۱/۰۶
	مسطح	۱۲۶۰	۸۳۰۰۰	۰/۹۸
	محدب	۲۵۸	۱۶۸۹۵	۰/۹۹
کاربری اراضی	اراضی دیم	۸۸۷	۷۲۹۵۹	۰/۷۹
	مناطق مسکونی	۲۷۰	۵۸۵۲	۳/۰۳
	مناطق جنگلی	۴۰۰	۳۱۴۴۹	۰/۸۲
	مرتع	۲۲۵	۵۸۰۸	۲/۵۲

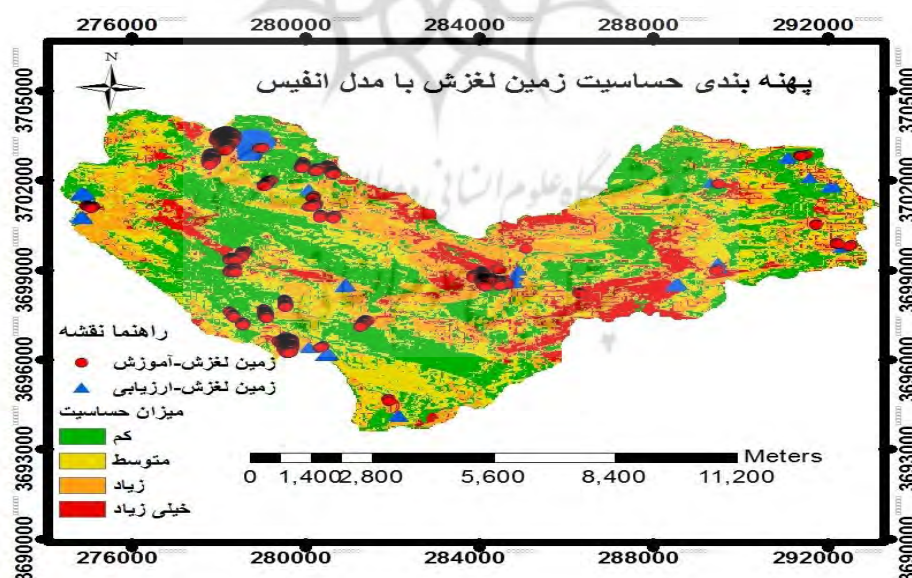
## ۳- نتایج و بحث

در بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها با استفاده از مدل نسبت فراوانی، نتایج نشان داد که از بین تمامی عوامل، عامل سنگ‌شناسی بیشترین ارتباط را با وقوع زمین لغزش‌ها داشته و بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است (۸/۷۸). در بحث عامل سنگ‌شناسی بیشترین ارتباط بین این عامل و زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته مربوط به واحد سنگ‌شناسی سازند گورپی است. سازند گورپی شامل مارن و شیل‌های خاکستری مایل به آبی است که میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های نازک رسی دارد. این سازند دارای حساسیت به فرسایش زیادی بوده و علاوه بر ایجاد بار رسوب فراوان، به واسطه جذب رطوبت بالا باعث کاهش مقاومت دامنه‌ها می‌شود. نتایج حاصل از نقش جهت شیب در وقوع لغزش‌ها نشان داد بیشترین لغزش‌ها در جهت‌های جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق اتفاق افتاده است. این نتایج تا حدود زیادی قابل انتظار است زیرا با توجه به اینکه در نیمکره شمالی دامنه‌هایی که جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب است نور خورشید را بیشتر دریافت کرده و تبخیر در آن‌ها بیشتر می‌شود، همین عامل سبب می‌شود در دامنه‌هایی که به سمت جنوب شیب‌دارند، لغزش‌های بیشتری رخ دهد؛ عامل ثانویه دیگر را می‌توان از جنس سازندهای موجود در این جهات دانست که اغلب سازندها ماهیت آهکی دارند. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج سوری و همکاران، (۱۳۹۰) مطابقت دارد. در رابطه با کاربری اراضی در اطراف مناطق مسکونی و باغات، لغزش‌های زیادی رخ داده است. یکی از دلایل عمده وقوع لغزش‌ها، تغییرات کاربری اراضی و قطع جنگل‌ها و تبدیل به مناطق مسکونی، این حوضه است این شرایط زمانی تشدید شده که ویژگی‌های فیزیوگرافی نظیر شیب نیز

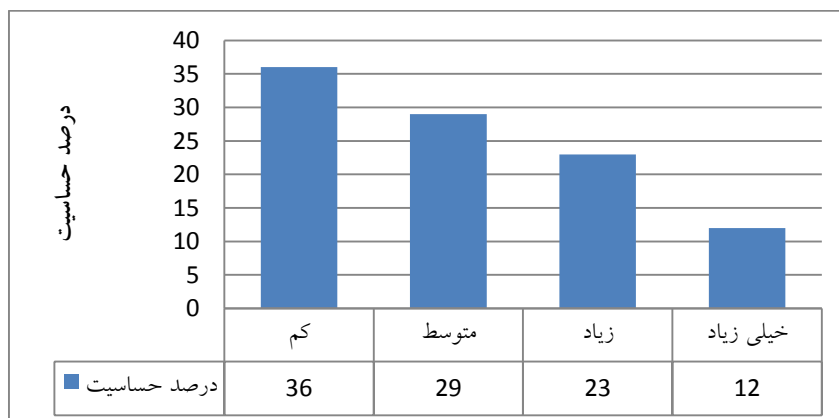
مزید بر علت گردیده و حرکت توده‌ای لغزش‌ها را در نبود ریشه‌های درختان تشدید کرده است؛ که این نتایج با تحقیقات محمدی، (۱۳۸۶)؛ زارع و همکاران، (۱۳۸۹) و Ercanoglu et al (2004) مطابقت دارد. در بحث عامل فاصله از جاده در اطراف جاده‌های منطقه مورد مطالعه میزان لغزش‌ها بسیار زیاد است. علت اصلی این موضوع آن است که جاده‌ها وضعیت طبیعی و به عبارت دیگر شیب تعادل منطقه را به هم زده و بریدگی‌های عمودی به وجود می‌آورند و بر بخش پایین جاده فشار اضافی وارد می‌کنند و باعث افزایش وقوع زمین‌لغزش در نزدیکی جاده‌ها می‌شوند؛ همچنین بسته شدن مسیر آب زیر قشری و ایجاد فشار منفذی عامل مهمی در این بخش است. محمدی، (۱۳۸۶)؛ پورقاسمی (۱۳۸۶)؛ Duman et al (2005)؛ Lee (2008)؛ Yalcin (2008) و Zare et al (2012) نیز به نتایج مشابهی مبنی بر افزایش زمین‌لغزش‌ها در اطراف جاده‌ها رسیدند. بررسی نقش درجه شیب در وقوع زمین‌لغزش‌ها نشان داد بیشترین ارتباط لغزش‌ها با کلاس ۱۵ تا ۳۰ درصد شیب را نشان داده است و طبقه شیب ۰ تا ۵ درصد کمترین اثر را داشته است. در شیب‌های کم به علت اینکه معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است ناپایداری دامنه‌ای اتفاق نمی‌افتد اما در شیب‌های متوسط به علت ویژگی‌های اقلیمی و پوشش گیاهی شرایط خاک سازی در این درجه از شیب کاملاً مهیا بوده که به بالا بودن نیروی ثقل و دخالت عوامل انسانی شرایط برای وقوع لغزش‌های بیشتر را فراهم می‌آورد. این نتایج تقریباً با نتایج بسیاری از محققان هم‌خوانی دارد بطوری‌که این محققان بر این باورند که حساسیت وقوع زمین‌لغزش در شیب‌های متوسط نسبت به شیب‌های ملایم و تند بالاست و فقط در میزان شیب اختلاف نظر وجود دارد. نتایج این بخش با نتایج پورقاسمی (۱۳۸۶)، جوکار و همکاران (۱۳۸۶) و Bui et al (2012) مطابقت دارد. بررسی فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیشترین لغزش‌ها در فواصل بیش از ۴۰۰ متر از گسل اتفاق افتاده است. لغزش‌هایی که در فواصل بیش از ۴۰۰ متر قرار دارد نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه گسل به عنوان پارامتر اصلی وقوع زمین‌لغزش ایفای نقش نکرده است و عوامل دیگری باعث کم‌رنگ شدن فاکتور فاصله از گسل در وقوع زمین‌لغزش شده‌اند که با نتایج پورقاسمی (۱۳۸۶)؛ مقیمی و همکاران (۱۳۸۷)؛ زارع و همکاران (۱۳۸۹) و Jouri et al (2012) مطابقت دارد. نتایج حاصل از انطباق نقشه آبراهه‌ها با وقوع زمین‌لغزش‌ها نشان داد تمامی لغزش‌ها بین فواصل ۰ تا ۲۰۰ متر از آبراهه‌ها اتفاق افتاده است زیرا آبراهه‌ها بر اثر فرسایش رودخانه‌ای و سایش دیواره کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه می‌گردد. Bui et al (2012)، Zare et al (2012) و Jouri et al (2012) و Salarian et al (2014) نیز به چنین نتایجی دست یافتند. در بررسی نقش عامل بارندگی با وقوع لغزش‌ها، نتایج نشان داد بیشترین همبستگی بین طبقه بارندگی ۵۲۲ تا ۵۸۶ میلی‌تر بوده و از طرفی ارتباط تنگاتنگی بین میزان بارندگی و ارتفاع وجود دارد به طوری‌که هرچه ارتفاع حوضه بیشتر می‌گردد میزان لغزش‌ها افزایش پیدا می‌کند که بیشترین لغزش‌ها در ارتفاع ۱۸۰۲ تا ۲۰۰۴ متر قرار داشته و بعد از این ارتفاع لغزش‌ها بسیار کم رخ داده است. این



روند همان‌طور که در نتایج نشان داده شده نشان‌دهنده نقش بارندگی در وقوع زمین‌لغزش است زیرا با افزایش ارتفاع میزان بارندگی بیشتر شده و حساسیت وقوع لغزش‌ها بیشتر می‌شود اما این روند در ارتفاعات بالا به علت اینکه بارندگی معمولاً به صورت برف بوده و غالب بودن پدیده یخبندان در بخش بزرگی از سال باعث کندی پدیده خاک‌زایی شده و همچنین عدم وجود آب کافی برای اشباع سازندها و کاهش دخالت‌های انسانی در طبیعت و در ارتفاعات بالا از دلایل کاهش زمین‌لغزش در ارتفاعات است. نتایج این بخش از تحقیق به نتایج (Jouri et al (2012)؛ Yalcin (2008) و Salarian et al (2014) مطابقت داشت. بررسی عامل شکل شیب نشان می‌دهد در که بیشترین وقوع لغزش در شیب‌های مقعر رخ داده است. دامنه‌های همگرا با پروفیل مقعر و مستقیم، ناپایداری بیشتری نسبت به دیگر دامنه‌ها دارد، در حالی که دامنه‌های محدب بعد از بارندگی شدید پایدار باقی می‌ماند. نتایج این بخش با نتایج Talebi (2008) مطابقت دارد. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی بر اساس روابط مدل، نقشه حساسیت وقوع زمین‌لغزش تهیه گردید. در نهایت نقشه حساسیت زمین‌لغزش از روش انفیس به دست می‌آید و بر اساس شکستگی‌های طبیعی<sup>۱</sup> به چهار کلاس (حساسیت کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد) طبقه‌بندی شد. شکل (۷) نقشه حساسیت زمین‌لغزش را نشان می‌دهد که بر اساس نسبت تجمعی وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل نروفازی طبقه‌بندی شده است. همچنین نتایج درصد رده‌های مربوط به هر طبقه در شکل (۹) ارائه شده است. دقت در شکل مذکور نشان می‌دهد که ۲۳ درصد از سطح منطقه مطالعاتی در کلاس خطر زیاد و ۱۲ درصد در کلاس خطر خیلی زیاد قرار گرفته است.

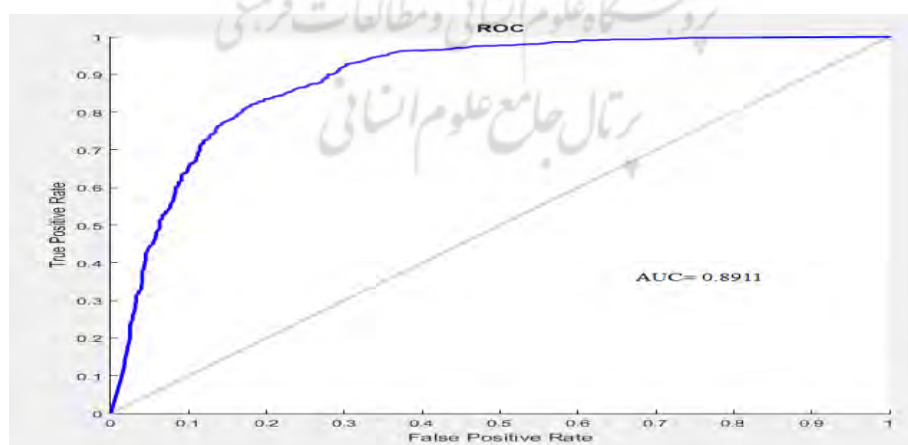


شکل ۷. نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل انفیس در حوزه آبخیز سردارآباد



شکل ۸. نمودار درصد کلاس حساسیت زمین لغزش با استفاده از انفیس

به منظور دستیابی به مدل منطقه‌ای مناسب برای حوزه آبخیز سردارآباد از منحنی راک استفاده شد (شکل ۹). هر چه نقاط به سمت بالا و چپ نزدیک‌تر باشد یعنی به یک نزدیک‌تر باشد نتیجه مدل مناسب‌تر است و مدل پیش‌بینی به حالت ایده آل خود نزدیک‌تر است (Yesilncar, 2005). به‌طور کلی تقسیم‌بندی ۰/۹ - ۱، عالی؛ ۰/۸ - ۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷ - ۰/۸، خوب؛ ۰/۶ - ۰/۷، متوسط و ۰/۵ - ۰/۶، ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند (Zhu et al., 2009; Yesilncar, 2005). به این منظور، از مجموع ۱۰۹ زمین لغزش شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه، ۳۲ زمین لغزش برای ارزیابی مدل تهیه شده است. بر اساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح زیر منحنی منطقه مورد مطالعه با استفاده از سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی ۸۹/۱۱ درصد که این مقدار نشان‌دهنده این نتیجه است که مدل در طبقه خیلی خوب قرار گرفته است. شکل (۹) نشان‌دهنده ارزیابی خیلی خوب سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش است.



شکل ۹. منحنی راک و سطح زیر منحنی سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی

## ۴- جمع بندی

در این مطالعه از مدل نرو فازی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده گردید. نتایج حاصل از ارزیابی به روش منحنی راک در تابع عضویت گوسی نشان داد که سطح زیر منحنی برابر با ۰/۸۹۱ است. بدین معنا که حساسیت مدل وزن نشانگر ۰/۸۹۱/ صحیح است. همین‌طور با توجه به اینکه مقدار سطح زیر منحنی بین ۰/۸ تا ۰/۹ قرار گرفت دقت مدل در طبقه خیلی خوب قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه در مجموع دارای پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش است و در صورت پیشگیری و مدیریت نکردن از این لغزش‌ها هر ساله خسارات زیادی به جاده، مناطق مسکونی و دیگر منابع موجود در منطقه وارد می‌کند. فاکتورهای زمین‌شناسی، خصوصیات ژئومورفولوژیکی و شبکه آبراهه غیر قابل تغییر بوده و تنها راه جلوگیری از خسارات آن‌ها دوری از این مناطق و عدم تحریک این مناطق است. فاکتورهای جاده و کاربری اراضی که از عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه معرفی شدند قابلیت بیشتری برای مدیریت داشته و با احداث جاده بر اساس شرایط زیست‌بوم و جلوگیری از احداث جاده‌های غیراصولی و کاربری مناسب در این مناطق، می‌توان از تحریک و افزایش حرکت‌ها در این گونه مناطق جلوگیری کرد. تهیه نقشه نشان داد مدل انفیس از کارایی بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش برخوردار بوده که با نتایج اوه و همکاران (۲۰۱۱) و مقدم‌نیا و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشت. توجه موضوع می‌تواند به این صورت باشد که نروفازی به دلیل تنظیمات زیاد و خصوصیات آن و همچنین خاصیت انعطاف‌پذیری آن با دنیای واقعی، سازگارتر است. در واقع نروفازی توانست بین ورودی‌های مختلف خروجی مناسبی را تهیه و ارتباط مناسب‌تری را بین ورودی‌ها برقرار نماید.

## منابع

- ابراهیمی، افسانه؛ شاد، روزبه؛ قائمی، مرجان؛ ۱۳۹۴. پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی و GIS. نخستین همایش و نمایشگاه بین‌المللی ایمنی و مدیریت بحران در سوانح طبیعی.
- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ محمدی سلطان آباد، زهرا؛ گل دوست، اکبر؛ ۱۳۹۳. اعتبارسنجی سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) در برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوضه نوران). اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران، موسسه ایرانیان، قطب علمی برنامه ریزی و توسعه پایدار گردشگری دانشگاه تهران،
- پور قاسمی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۵ ص.

- پور قاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمید رضا؛ فاطمی عقدا، سید محمود؛ ۱۳۹۱. تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در شمال شهر تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های دانش زمین، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ سلیمان، حسین؛ ۱۳۷۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۹، ۹۲-۷۹.
- زارع، محمد؛ احمدی، حسن؛ غلامی، شعبانلی؛ ۱۳۹۰. پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز واز). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال پنجم، شماره ۱۷، ۱۷-۲۲.
- شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRFR. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۹، ۱۱-۲۳.
- صفاری، امیر؛ اخدر، آرش؛ ۱۳۹۱. مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان - سنندج)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی فردوسی مشهد، شماره ۵، ۷۹-۹۶.
- علیجانی، بهلول؛ قهرودی، منیژه؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۴، ۱۱۶-۱۳۱.
- فیض‌الله‌پور، مهدی؛ ۱۳۹۶. پهنه بندی مناطق مستعد به زمین لغزش با استفاده از سیستم استنتاجی فازی عصبی (ANFIS) (مطالعه موردی: حوضه رودخانه سنگورچای). مجله مخاطرات محیط طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان، دوره ۷، شماره ۱۷، ۱۵۵-۱۷۴.
- کشوری، فرامرز؛ شمس نیا، سید امیر؛ ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی ( شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)) در پیش بینی دبی ماهانه جریان رودخانه (مطالعه موردی: بند بهمن رودخانه قره آغاج). دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.
- مقدم نیا، علیرضا؛ زارع، محمد؛ تالی خشک، صادق؛ سلمانی، حسین؛ ۱۳۹۴. پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوزه آبخیز از. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. شماره ۱۱، ۱۰۱-۱۱۰.
- مقیم، ابراهیم؛ علوی پناه، سید. کاظم؛ جعفری، تیمور؛ ۱۳۸۷. ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، ۶۴-۷۵.

Aghdam, I.N., Varzandeh, M.H.M. & Pradhan, B., 2016. Landslide susceptibility mapping using an ensemble statistical index (Wi) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model at Alborz Mountains (Iran). *Environmental Earth Sciences*, 75: 553.

- Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O., 2012. Landslide susceptibility assessment in the HoaBinh province of Vietnam: A comparison of the Levenberg–Marquardt and Bayesian regularized neural networks. *Geomorphology*, 172(1), 12-29.
- Chen, W., Panahi, M., & Pourghasemi., H.R., 2017. Performance evaluation of GIS-based new ensemble data mining techniques of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with genetic algorithm (GA), differential evolution (DE), and particle swarm optimization (PSO) for landslide spatial modelling. *CATENA*, 157, 310-324
- Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., & Sonmez, H., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul Turkey, *Environmental Geology*, 51, 241-256.
- Ercanoglu, M., & Candan, G. P., 2004. Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area(West Black Sea Region, Turkey. *Engineering Geology*, 75, 229-250.
- Feizizadeh, B., Shadman Roodposhti, M., Jankowski, P., & Blaschke,T., 2014. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Journal Computers & Geosciences*,73, 208–221.
- Jang, J.S., 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system, *IEEE Trans System Manage Cybernet*, 762-767.
- Jouri, M.H., Zare, M., Askarizadeh, D., Fakhre Ghazi, M., Salarian, T., & Miarrostami, S., 2013. Landslide Susceptibility Mapping for Subalpine Grassland Using Frequency Ratio and Landslide Index Model (Case Study: Masoleh Watershed, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 3(1),21-30.
- Kartalopoulos, S.V., 1996. *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic- Basic Concepts and Applications*, Prentice Hall. New-Delhi *Environmental Geology*, 52, 615-623
- Kayastha, P., 2012. Application of fuzzy logic landslide susceptibility mapping in Garuwa sub-basinEast Nepal. 6(4),420-432.
- Komac, M.A., 2006. Landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. *Geomorphology*, 17-28.
- Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 52, 615-623.
- Leonardi, G. Palamara, R. Cirianni,F., 2016. Landslide Susceptibility Mapping Using a Fuzzy Approach. *Procedia Engineering*, 380–387.
- Mathew, J., Jha,V., & Rawat, G. (2007) .Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. *Current Science*, 92(5), 628-638.
- Oh, H.J., &Pradhan, B. (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers and Geosciences*, 37(2), 1264-1276.
- Polykretis, Ch., Chalkias, Ch., & Ferentinou, M., 2017. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) modeling for landslide susceptibility assessment in a Mediterranean hilly area. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1–15.
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., & Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin Iran. *Catena*, 71–84.
- Pradhan, B., 2010. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. *Advances in space research*, 1244-1256.

- Pradhan, B., 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computer and Geosciences*, 51, 350-365.
- Salarian, T., Zare, M., Jouri, M.H., Miarrostami, S., & Mahmoudi, M., 2014. Evaluation of shallow landslides hazard using artificial neural network of Multi-Layer Perceptron method in Subalpine Grassland (Case study: Glandrood watershed - Mazandaran). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 795-804.
- Sezer, E.A., Pradhan, B., & Gokceoglu, C., 2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 8208-8219
- Swets, J. A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*. 240. 1285-93.
- Talebi, A., Troch, P. A., & Uijlenhoet, R., 2008. A steady-state analytical hillslope stability model for complex hillslopes. *Hydrological Processes*, 21(10), 68-81.
- Williams, C.J.S.S., Lee, R., Fisher, A., & Dickerman, L. H., 1999. A comparison of statistical methods for prenatal screening for Down syndrome. *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 89-101.
- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 1-12.
- Yesilnacar, E.K., 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, Ph.D Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne.
- Zare, M., Pourghasemi, H.R., Vafakhah, M., & Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. *Arabian Journal of Geosciences*, 2873-2888.
- Zhu, C., & Wang, X., 2009. Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. 187(10). 342-346