



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۲۹، زمستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۹۴-۱۰۹
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.341563.1307

پژوهش‌های آبخیزداری

شناسایی مناطق مستعد سیل‌گیری و تعیین مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر وقوع آن با استفاده از مدل بیشینه‌ی بی‌نظمی در آبخیز تشان خوزستان

داود داودی مقدم

دانشجوی دکترای گروه آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

علی حقی‌زاده

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: haghizadeh.a@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۷ دی ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۷ اسفند ۱۳۹۸

چکیده

یکی از مهم‌ترین اقدام‌ها در مدیریت سیلاب تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری است. هدف از این پژوهش شناسایی منطقه‌های مستعد سیل‌گیری با مدل بیشینه‌ی بی‌نظمی در آبخیز تشان خوزستان است. نقشه‌ی پراکنش سیل‌گیری‌ها تهیه شد و از کل ۱۶۹ موقعیت سیل‌گیری ۷۰٪ برای واسنجی مدل و ۳۰٪ برای اعتبارسنجی به کار برده شد. از ۱۰ عامل مؤثر در سیل‌گیری (ارتفاع، جهت شیب، فاصله از آبراه، تراکم زه‌کشی، درجه‌ی شیب، کاربری زمین، فاصله از جاده، شاخص رطوبت پستی‌وبلندی، انحنای تراز و سنگ‌شناسی) بهره‌گرفته شد. روند تأثیر و درصد مشارکت هر یک از ویژگی‌های محیطی در روی‌داد سیل‌گیری با منحنی‌های پاسخ و روش جک‌نایف بررسی شد. در نهایت، نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری در چهار طبقه تهیه شد. برای ارزیابی دقت مدل‌سازی انجام‌شده از منحنی تشخیص عمل‌کرد نسبی بهره‌گرفته شد. نتیجه‌ها نشان داد که این مدل دقت بسیار خوبی ($AUC=0.885$) در شناسایی منطقه‌های مستعد سیل‌گیری دارد، و عامل‌های کاربری زمین و فاصله از جاده با $۵۰/۵٪$ و $۲۰/۶٪$ مشارکت بیش‌ترین تأثیر را در روی‌داد سیل‌گیری‌ها داشت. حدود $۲۵٪$ از مساحت آبخیز نسبت به روی‌داد سیل‌گیری حساسیت زیاد و خیلی زیاد دارد. با توجه به دقت پیش‌بینی بسیار خوب الگوریتم بیشینه‌ی بی‌نظمی در شناسایی منطقه‌های بحرانی و حساس به سیل‌گرفتگی، توصیه می‌شود از این مدل برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری سایر آبخیزها به‌خصوص منطقه‌هایی که ایستگاه‌های آب‌سنجی ندارد بهره‌گرفته شود.

واژگان کلیدی: آبخیز تشان، اعتبارسنجی، بیشینه‌ی بی‌نظمی، مدیریت سیلاب، یادگیری ماشین

مقدمه

سیلاب از رایج‌ترین و هزینه‌برترین خطرهای طبیعی است که هر ساله با تأثیر عامل‌های انسانی و طبیعی مانند تخریب محیط زیست، جنگل‌زدایی، تغییر کاربری زمین، افزایش جمعیت، عارضه‌نگاری، زمین‌ریخت‌شناسی و آب‌وهوا رخ می‌دهد و در کشورهای مختلف منجر به خسارت‌های جانی و اقتصادی فراوانی می‌شود (هونگ و همکاران ۲۰۱۸). سالانه ۵۲٪ از بلاهای طبیعی را حوادث آب‌شناسی تشکیل می‌دهند که بر زندگی حدود ۱۴۰ میلیون نفر تأثیر می‌کند، و حدود ۷۰ میلیارد دلار خسارت وارد می‌کند (فاستوس و همکاران ۲۰۱۷). تأثیر جدی سیل بر بوم‌نظام‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی به عاملی مهم در محدود کردن توسعه‌ی پایدار اقتصادی و اجتماعی جوامع تبدیل شده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۹). در کشور ایران با توجه به وسعت، تنوع آب‌وهوایی، تغییر زمانی و مکانی بارش و نبودن مدیریت صحیح، سیلاب‌های عظیمی مشاهده شده است، چنان‌که در چند دهه‌ی گذشته به‌طور متوسط خسارت‌های ناشی از سیل بیش از ۱۰۰۰۰ میلیارد ریال در سال بوده است و از سال ۱۳۳۰ لغایت ۱۳۸۳ باعث کشته‌شدن ۱۱ هزار و ۷۳۹ نفر و مفقودالاثر شدن ۲۳۸۱ نفر دیگر شده است (زکی‌زاده و همکاران ۲۰۱۵). تحقیق‌های ترمه و همکاران (۲۰۱۸) نشان می‌دهد که خسارت‌های ناشی از سیل در دهه‌های اخیر دو برابر شده و به‌شدت در حال افزایش است. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که تا وقتی که اقدام‌های پیش‌گیرانه‌ی مناسب شکل نگیرد، تعداد افراد در معرض سیل‌های ویران‌کننده روند افزایشی خواهد داشت (شولز و همکاران ۲۰۰۶). این روند زنگ خطری است برای بهبود مدیریت سیل، به‌خصوص که در کشورهای در توسعه به‌خاطر زیرساخت‌های ضعیف، مدیریت نامناسب و نبودن اقدام‌های کاهنده‌ی قوی و پایدار بسیار آسیب‌پذیرتر است (انکنوو و همکاران ۲۰۱۵). اگرچه نمی‌توان از سیل جلوگیری کرد، می‌توان خسارت‌های آن را از روش‌ها و بررسی‌های مناسب، پیش‌بینی و تا حدی مهار کرد، که بسیار ضروری است. یکی از مهم‌ترین اقدام‌ها در این راستا، تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری است که با تشخیص منطقه‌های مستعد سیل‌گیری به مدیریت و کاهش اثرهای مخرب ناشی از سیلاب‌های آینده بسیار کمک می‌کند (ژائو و همکاران ۲۰۱۸). از نمونه‌های کاربردی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری

می‌توان به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها، پژوهش و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، پیش‌بینی و هشدار سیل‌گیری، کنش امداد و نجات و بیمه‌ی سیلاب اشاره کرد (خلیل‌زاده و همکاران ۲۰۰۵). با تطبیق نقشه‌های حساسیت سیل‌گیری با نقشه‌های کاربری زمین می‌توان منطقه‌های با خطر شامل شهرها، روستاها، پل‌ها، کارخانه‌ها و غیره را شناسایی کرد تا اقدام‌های لازم برای حفاظت از این سرمایه‌ها انجام گیرد. از نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری می‌توان برای مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر خطر، دوری از منطقه‌های با خطر و نیز برنامه‌ریزی برای مقابله با خطر بهره‌گرفت (دهقانی و همکاران ۲۰۱۶). نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری با توجه به اطلاعات ارزشمندی که در باره‌ی منطقه‌ی بررسی‌شده و اقدام‌های مناسب برای کاهش خسارت مهیا می‌کند پیش‌نیازی مفید و کاربردی برای مدیریت پایدار خطر سیلاب است (وانگ و همکاران ۲۰۱۹). تحقیقات متنوعی در ارتباط با مدل‌سازی مکانی و تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری در کشورهای مختلف انجام شده است (داوسون و همکاران ۲۰۰۶؛ مالکروسکی و همکاران ۲۰۰۶؛ پرده‌هان و یوسفی ۲۰۱۱). دسترسی سریع به داده‌های ماهواره‌ی، سنجنش از دور و بهبود روش‌های تجاری، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی^۱ را در تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری افزایش داده است (نظرنژاد و همکاران ۲۰۱۸). علاوه‌براین، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی ابزاری مفید برای بررسی رویدادهای چندبعدی مانند سیل‌گیری است، که در آن جنبه‌های مختلف مکانی و زمانی برای مدل‌سازی باید بررسی شود (مرادنژادی و همکاران ۲۰۱۴). طیف گسترده‌ی روش‌های مدل‌سازی مکانی برای ارزیابی خطر و تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری به‌کارگرفته شده است که می‌توان آن‌ها را در دو گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد. گروه اول روش‌های دانش‌محور^۲ مانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی که مبتنی بر تجربه، دانش و مهارت کارشناس است، و گروه دوم روش‌های داده‌محور^۳ که کیفیت و کمیت داده‌ها مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر دقت پیش‌بینی‌شان است. از مهم‌ترین روش‌های داده‌محور روش‌های داده‌کاوی^۴ است که خود به دو گروه روش‌های مبتنی بر روش‌های آماری^۵ و روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین^۶ تقسیم می‌شوند (داودی‌مقدم و همکاران ۲۰۲۰). از جمله پژوهش‌های انجام‌گرفته با این روش‌ها در زمینه‌ی مدل‌سازی مکانی و تهیه‌ی نقشه‌ی

1 - Geographic Information System (GIS)

2 - Knowledge-Driven

3 - Data-Driven

4 - Data Mining

5 - Statistical Techniques

6 - Machine Learning

حساسیت سیل‌گیری می‌توان به این نمونه‌ها اشاره کرد: نتیجه‌های پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری آبخیز نکا در استان مازندران با روش ترکیبی نوین نظریه‌ی بیزین فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۷) نشان داد که این مدل ترکیبی دقت پذیرفتنی ($AUC=0.761$) در شناسایی پهنه‌های حساس به سیلاب دارد و $17/24\%$ و $15/37\%$ از آبخیز نکا به ترتیب در طبقه‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. محمدی و همکاران (۲۰۰۵) خطر سیل‌گیری در منطقه‌های شهری را با مدل‌های دابل‌یو ام اس^۷ و هک-رس^۸ در اشنویه بررسی کردند. نتیجه‌های تابع خطر تعریف‌شده برای سیل با دوره‌ی برگشت ۱۰۰ ساله نشان داد که عمق سیلاب کم‌تر از $1/37$ متر نشان‌دهنده‌ی خطر سیل خیلی کم و عمق سیلاب بیش‌تر از $4/11$ متر نشان‌دهنده‌ی خطر سیل زیاد است. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که رودخانه‌ی گل‌از در محدوده‌ی شهر اشنویه به دلیل مدیریت غلط و بی‌پایه مقطع اصلی خود را از دست داده و به یک آبراه تبدیل شده است، و مقطع رودخانه جای عبور سیلاب‌هایی با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله را ندارد. نتیجه‌های خسروی و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که مدل وایازی پشتیبان در تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت به روی داد سیل آبخیز هراز در استان مازندران دارای دقت پذیرفتنی ($AUC=0.783$) است. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۶) نقشه‌ی برنامه‌ریزی راه‌بردی محیطی بر پایه‌ی تغییر کاربری زمین و پهنه‌بندی سیل‌گیری در حوزه‌ی نکارود را تدوین کردند. نتیجه‌های این تحقیق نشان داد که کاربری زمین کشاورزی $2/27\%$ ، زمین بی‌بهره $7/31\%$ ، و شهری $1/91\%$ افزایش، و در مقابل جنگل $10/22\%$ و مرتع $1/27\%$ کاهش یافته است. مدل‌های هک-رس و هک-ژئورس^۹ در ترکیب با آرک‌جی‌آی‌اس^{۱۰} می‌توانند مقدارهای عددی و نموداری مناسب را برای پژوهش خصوصیت‌های آبی جریان در رودخانه‌ها و نیز کارآیی تلفیق مدل‌های یادشده برای پهنه‌بندی سیل‌گیری با دقت زیاد ارائه دهند. دهقانی و همکاران (۲۰۱۶) خطر سیل‌گیری دشت بافت در جنوب شرق ایران را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بخش شرقی شهر بافت در معرض خطر زیاد سیل‌گیری رودخانه‌ی قرار دارد. ژائو و همکاران (۲۰۱۸) خطر سیلاب در برخی مناطق کوهستانی کشور چین را با روش‌های جنگل تصادفی بررسی کردند. نتیجه این بود که این روش دارای دقت رضایت‌بخشی

بود. $3/2\%$ از منطقه دارای ظرفیت خطر خیلی زیاد بود که باید برای مدیریت سیلاب اولویت داده شود. نتیجه‌های توسعه‌ی یک نظام تصمیم‌گیری پشتیبان برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری در شهر ریاض (محمود و گان ۲۰۱۸) نشان داد که گسترش شهرنشینی و تغییر اقلیم در افزایش خطر سیل‌گیری مؤثر بوده است و $29/6\%$ ($4718/5$ کیلومتر مربع) و $29/5\%$ ($4704/3$ کیلومتر مربع) از شهر ریاض به ترتیب دارای حساسیت به سیل‌گیری خیلی زیاد و زیاد است. تهرانی و همکاران (۲۰۱۵) تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری را با مدل ماشین بردار پشتیبان با چهار هسته‌ی مختلف در محیط نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل با یکی از هسته‌ها دقت پیش‌بینی زیادی ($AUC=0.889$) دارد و روش‌های دیگری مانند نسبت فراوانی (تهرانی و همکاران ۲۰۱۳)، شبکه‌ی عصبی مصنوعی (کیا و همکاران ۲۰۱۳)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (کیا و همکاران ۲۰۱۳)، وایازی پشتیبان (نمپاک و همکاران ۲۰۱۴)، منطق فازی (زو و همکاران ۲۰۱۳)، و درخت تصمیم‌گیری (تهرانی و همکاران ۲۰۱۳) برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری به کار گرفته شده است. مدل بیشینه‌ی بی‌نظمی^{۱۱} که نوعی الگوریتم پیشرفته‌ی یادگیری ماشین است و مبتنی بر آمارهای تصادفی است تاکنون در مدل‌سازی مکانی و تجزیه و تحلیل‌های پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری (جیرمان و بلینکوف ۲۰۱۹)، بلاهای طبیعی مانند زمین‌لغزش (شریستا و کانگ ۲۰۱۹) و پدیده‌هایی نظیر فرسایش خندقی (کریمی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۹) به کار گرفته شده است.

مرور منابع نشان می‌دهد که تاکنون تمرکز تحقیق‌های انجام گرفته در داخل کشور در زمینه‌ی مدل‌سازی مکانی و تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری روی روش‌های داده‌کاوی مبتنی بر روش‌های آماری بوده، و توجه کم‌تری به روش‌های داده‌کاوی مبتنی بر یادگیری ماشین شده است. با توجه به این‌که روش‌های یادگیری ماشین زمینه‌ی نسبتاً جدیدی از هوش مصنوعی است و با تجربه‌ی یادگیری به دنبال نوشتن برنامه‌ی بهینه است، در مدل‌سازی مکانی سیل‌گیری با هدف شناسایی الگوریتم‌های بهینه و همراه با بهترین عمل‌کرد لازم و ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق کاربرد مدل یادگیری ماشین بیشینه‌ی بی‌نظمی برای

7 - WMS

8 - HEC-RAS

9 - HEC-GeoRAS

10 - ArcGIS

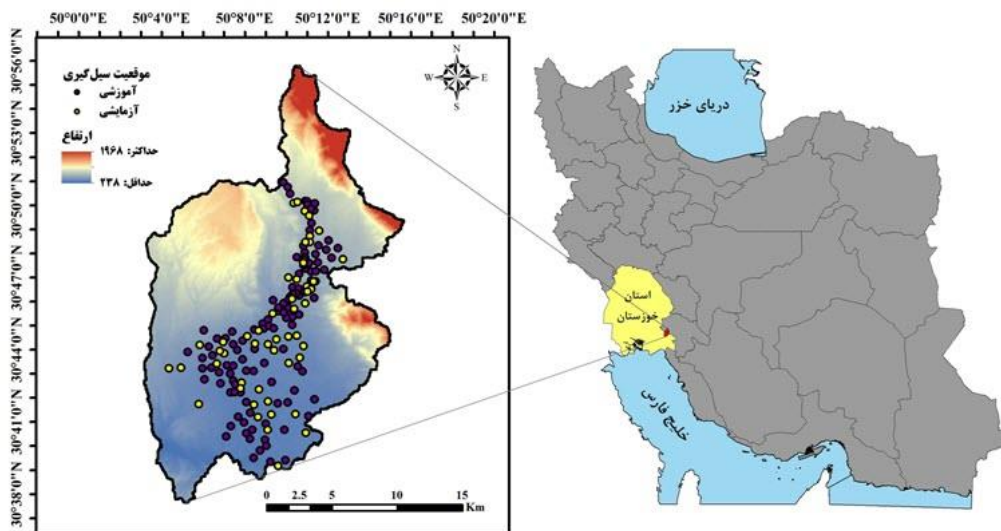
11 - Maximum Entropy

۱۳۹۰ روی داد سیل در این شهرستان منجر به کشته شدن ۱۳ نفر و وارد آمدن ۵۵ میلیارد تومان خسارت مالی شد (رجبی زاده و همکاران ۲۰۲۰). مساحت منطقه حدود ۳۶۹ کیلومتر مربع است و از لحاظ جغرافیایی بین مختصات $30^{\circ}03'$ تا $50^{\circ}15'$ طول‌های شرقی و $37^{\circ}00'$ تا $30^{\circ}56'$ عرض‌های شمالی است (شکل یک). ارتفاع آن از تراز دریا از ۲۳۸ تا ۱۹۶۸ متر متغیر است و میانگین ارتفاع منطقه‌ی بررسی شده ۴۷۱ متر است. متوسط بارندگی آن ۳۱۷ میلی‌متر است و از مهم‌ترین مراکز جمعیتی آن شهر تاشان، قالدند علیا و دودانگه است. قسمت‌های شمالی منطقه شکل کوهستانی و تپه‌ماهوری دارد، در حالی که سایر قسمت‌های منطقه پستی و بلندی نسبتاً همواری دارد.

تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری در استان خوزستان است که در مدل‌سازی خطر سیل‌گیری نو است. شناسایی مهم‌ترین عامل‌های زیست‌محیطی مؤثر بر روی داد سیل‌گیری با روش جک نایف و بررسی نحوه‌ی اثرگذاری هر یک از عامل‌های زیست‌محیطی در منطقه‌ی بررسی شده با تحلیل منحنی‌های پاسخ از دیگر هدف‌های این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی شمال غرب شهرستان بهبهان در استان خوزستان یکی از استان‌های سیل‌خیز کشور است که دارای سدهای فراوان است و رهاسازی آب پشت آن‌ها در هنگام بارش‌های شدید منجر به سیل‌گیری‌های فراوان می‌شود. در ۲۹ آبان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی پژوهشی همراه با موقعیت نقطه‌های سیل‌گیری.

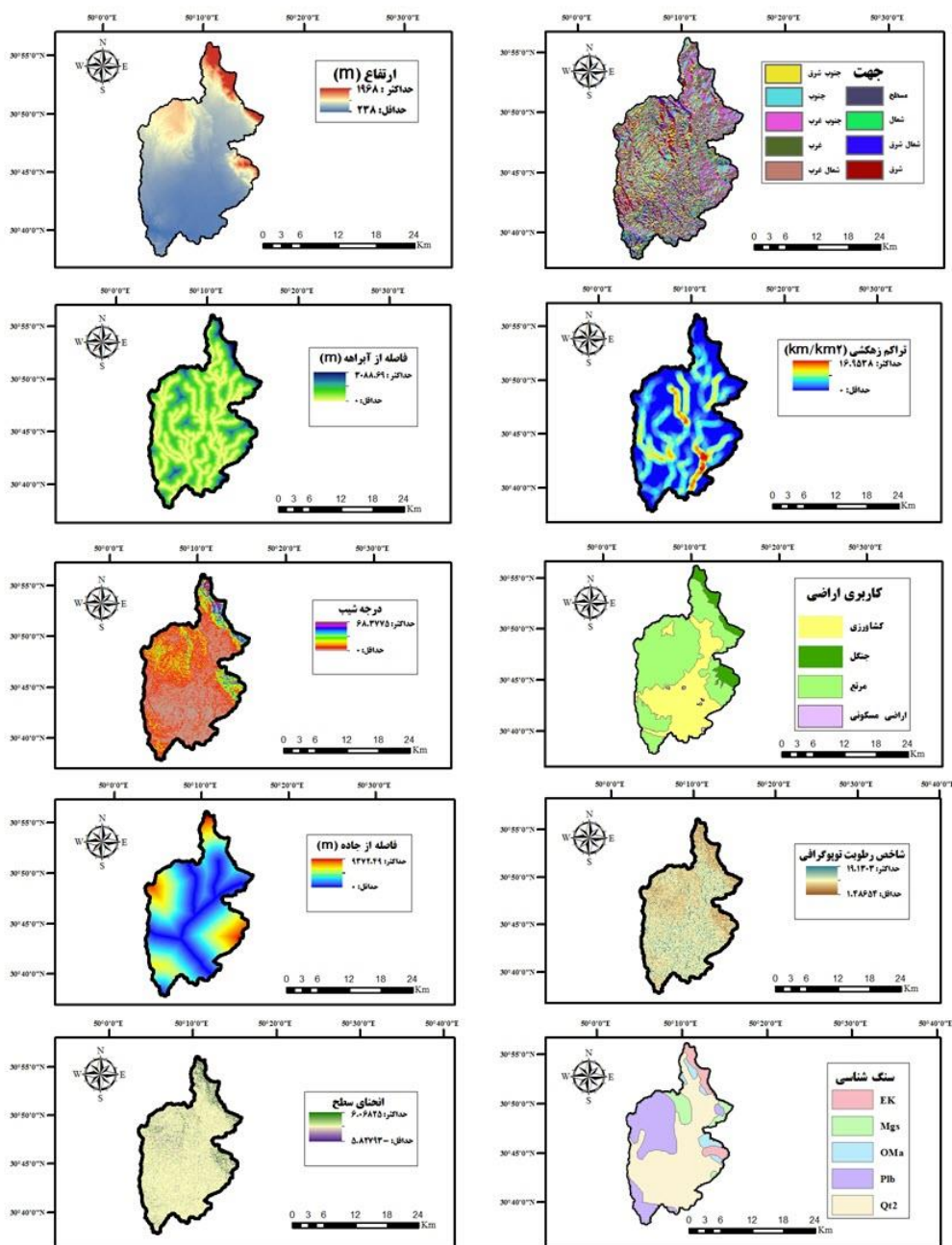
با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، و نقشه‌های پایه برای تهیه‌ی عامل‌های مؤثر در سیل‌گیری بهره‌گرفته شد. برای استخراج ویژگی‌های پستی و بلندی که شامل ارتفاع، جهت شیب، درجه‌ی شیب، انحنای تراز و شاخص رطوبت پستی و بلندی می‌شود از مدل رقومی ارتفاعی منطقه با توان تفکیک مکانی 30×30 بهره‌گرفته شد. مدل رقومی ارتفاعی و ویژگی‌های قابل استخراج از آن تأثیر عمده‌ی در شناسایی منطقه‌های مستعد سیل‌گیری دارند (پردهان ۲۰۰۹). عامل‌های ارتفاع، جهت شیب و درجه‌ی شیب در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. عامل انحنای سطح تغییر جهت در طول یک منحنی است، بنابراین همگرایی و واگرایی پستی و بلندی یک را نشان می‌دهد، مقادیر منفی و مثبت انحنای تراز، به ترتیب واگرایی و همگرایی جریان را نشان می‌دهند (جبور و همکاران ۲۰۱۴). نقشه‌های فاصله از

عامل‌های مؤثر در سیلاب مختلف است (فرناندز و لوتز ۲۰۱۰). برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری، اهمیت و ارتباط هر یک از عامل‌های مؤثر با سیل‌گیری باید بررسی شود (پردهان ۲۰۰۹). این تحقیق با داده‌های موقعیت سیل‌گیری‌ها همچون متغیرهای وابسته و عامل‌های مؤثر در روی داد سیلاب با متغیرهای مستقل شکل گرفت. با توجه به سابقه‌ی تحقیق‌های انجام گرفته در این زمینه (تهرانی و همکاران ۲۰۱۵؛ خسروی و همکاران ۲۰۱۷؛ هنگ و همکاران ۲۰۱۸) و بررسی‌های میدانی ۱۰ عامل مؤثر در سیل‌گیری شامل ارتفاع، جهت شیب، فاصله از آبراه، تراکم زه‌کشی، درجه‌ی شیب، کاربری زمین، فاصله از جاده، شاخص رطوبت پستی و بلندی، انحنای تراز و سنگ‌شناسی به کار گرفته شد (شکل دو). از نقشه‌ی زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌ی پستی و بلندی

شناسایی مناطق مستعد سیل گیری و تعیین مهم ترین عامل های...

تراکم زه کشی نیز برپایه ی لایه ی رقومی شبکه ی آبراه تهیه شد. شاخص رطوبت پستی و بلندی مقدار تجمع جریان را در هر نقطه از آبخیز نشان می دهد و با وضعیت رطوبت خاک رابطه دارد. این شاخص با رابطه ی $TWI = \ln(As / \tan \beta)$ تعریف می شود که در آن، As مساحت آبخیز و β گرادیان شیب بر حسب درجه است (داودی مقدم و همکاران ۲۰۱۳). لایه ی سنگ شناسی با نقشه ی رقومی زمین شناسی کشور و نقشه ی کاربری زمین از اداره ی کل منابع طبیعی استان خوزستان تهیه شد.

رودخانه (۳۰۸۸/۶۹ - ۰ متر) و فاصله از جاده (۹۳۷۲/۴۹ - ۰ متر) به ترتیب برپایه ی لایه های رقومی شبکه ی آبراه و جاده و با ابزار فاصله ی اقلیدسی تهیه شد. سنگ شناسی واحدهای زمین شناسی، پستی و بلندی و ساختارهای زمین ساختی و زمین شناسی منطقه نقش مهمی در نوع شبکه ی زه کشی و تراکم شبکه ی زه کشی منطقه دارد. در واقع، آبراه ها را می توان ضعف سازندها تلقی نمود که بر اثر انحلال توسعه یافته و به شکل کنونی درآمده اند. تراکم بیش تر آبراه ها منجر به انتقال آب و کاهش نفوذ می شود (ماتزرن و همکاران ۲۰۱۶). نقشه ی



شکل ۲- عامل های مؤثر در سیل گیری.

موقعیت‌ها در همه‌ی منطقه است. $P(y)=1$ تنها با اکتفا به داده‌های روی داد قادر به تعیین دقیق نیست؛ بنابراین در الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی $\Pi(X)$ در رابطه‌ی ۱ به جای پیش‌بینی مستقیم $P(y=1|x)$ ، داده‌های روی داد برای مدل‌سازی به کار گرفته شد.

$\Pi(X)$ با مبنای الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی که برابر با توزیع احتمالاتی گیبس است (بایفیلیپس و همکاران ۲۰۰۶)، همچون توزیع نمایی ابراز شد. اگر مشخصه‌های n ($i=1, \dots, n$) در نظر گرفته شود، توزیع احتمالاتی گیبس^{۱۴} با رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود.

$$q_{\lambda}(x) = \frac{\exp(\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x))}{Z_{\lambda}} \quad 2$$

Z_{λ} عدد ثابت بهنجار شده که اطمینان می‌دهد مجموع $q_{\lambda}(x)$ یک است، و λ بردار اوزان اختصاص یافته به مشخصه‌ها است. در پیش‌بینی $q_{\lambda}(x)$ ، الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی سعی در شناسایی نزدیک‌ترین توزیع به مانع‌ها با I_1 ساماندهی برای جلوگیری از تناسب مفرط است. اهداف الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی یافتن توزیع گیبس با حداکثرسازی لگاریتم حداکثر احتمال در موقعیت نامساعد است. اگر m تعداد روی داد در منطقه‌ی پژوهشی باشد، اختلاف بین لگاریتم حداکثر احتمال و ساماندهی باید حداکثرسازی شده باشد (فیلیپس و دیودیک ۲۰۰۸) (رابطه ۳).

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln(q_{\lambda}(x_i)) - \sum_{j=1}^n \beta_j |\lambda_j| \quad 3$$

β_j ویژگی ساماندهی برای j امین مشخصه f_j است. در رابطه‌ی ۳ لگاریتم شروع با حداکثر احتمال است که تناسب مدل را برای بهبود داده‌ها افزایش می‌دهد. دومین گام در رابطه‌ی ۳ برای ساماندهی به کار گرفته شد. مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی توزیع گیبس را شناسایی می‌کند که تنها تناسب برای داده‌های روی داد نیست اما به خوبی استنتاج می‌شود (الیس و همکاران ۲۰۱۱).

با الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی و با نرم‌افزار مکسنت نواحی دارای روی داد سیل‌گیری بررسی شد و سیل‌گیری‌هایی که برای آموزش مدل انتخاب شده بود، نقطه‌های روی داد با قالب سی‌اس‌وی^{۱۵} و لایه‌های عامل‌های مؤثر بر روی داد سیل‌گیری با فرمت اسکی^{۱۶} به مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی معرفی شدند. همانند سایر مدل‌های یادگیری ماشینی، الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی نیز نیازمند برخی روش‌های بهینه‌سازی است. پیش از تولید نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری، تنظیمات بهینه بر مبنای ارزیابی

برای پیش‌بینی توان روی داد سیل‌گیری در آینده به بررسی سیل‌گیری‌های گذشته نیاز است (داوسون و همکاران ۲۰۰۶). پراکنش روی داد سیل‌گیری‌ها می‌تواند با یک یا ترکیبی از چند روش تهیه شود. انتخاب روش به هدف پژوهش، شرایط منطقه‌ی پژوهش شده و دست‌رسی به داده‌های جی‌آی‌اس و سنجش از دور^{۱۲} بستگی دارد (انکوو و همکاران ۲۰۱۵). با بازدیدهای میدانی گسترده و بررسی گزارش‌های ثبت شده در مدیریت بحران استان خوزستان، ۱۶۹ نقطه‌ی سیل‌گیر در کل منطقه شناسایی شد. در زمان اجرای مدل، داده‌ها به دو گروه آموزش و ارزیابی تقسیم شد (تهرانی و همکاران ۲۰۱۳). داده‌های آموزشی واسنجی مدل برای محاسبه‌ی وزن‌های هر یک از عامل‌ها و داده‌های ارزیابی، و برای بررسی کارایی مدل اجرا شده به کار می‌رود (پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۳). ۷۰٪ از داده‌ها برای واسنجی و ۳۰٪ اعتبارسنجی مدل به کار گرفته شد (ترمه و همکاران ۲۰۱۸).

از الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی بهره گرفته شد. هدف از مدل‌سازی با این مدل تعیین توزیع احتمال Π از روی داد موقعیت کل مجموعه‌ی X ها در منطقه است. عامل‌های مؤثر برای ممانعت از توزیع احتمال Π به کار گرفته شد و میانگین مقادیر آن‌ها در تمام موقعیت‌ها تعریف شد. برای مثال، ارزش شیب انتظار از توزیع پیش‌بینی شده باید نزدیک به مقدار شیب متوسط از همه‌ی موقعیت‌ها باشد. با به کارگیری مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی توزیع یک‌نواختی از میان بسیاری از توزیع‌های ممکن انتخاب می‌شود (فیلیپس و دیودیک ۲۰۰۸).

بیش‌تر دیدگاه‌های شاخصی از الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی در نظر بود که فیلیپس و همکاران (۲۰۰۶)، فیلیپس و دیودیک (۲۰۰۸) و الیس و همکاران (۲۰۱۱) برای پیش‌بینی در مدل‌سازی پیشنهاد کردند. اگر X مکانی تصادفی در کل منطقه است، $\Pi(X)$ مقدار توزیع احتمالی هدف در هر موقعیت X است که بی‌منفی و جمع آن یک است. اگر $y=1$ نشان دهنده‌ی روی داد هدف است، با توجه به هدف اگر $P(x|y=1)$ است، $\Pi(X)$ احتمالی است که در موقعیت X شناسایی شده است. احتمال این که هدف موقعیت X است، نشان دهنده‌ی $P(y=1|x)$ است، که با $p(x|y=1)$ بازگو و با قانون بایس^{۱۳} در رابطه‌ی ۱ نشان داده شده است:

$$P(y=1|x) = \frac{P(y=1)P(x|y=1)}{P(x)} = \frac{P(y=1)\pi(x)}{1/|x|} \quad 1$$

$P(y)=1$ میزان رواج روی داد هدف و $|X|$ تعداد نقطه‌ها یا

12 - Remote Sensing

13 - Bayes

14 - Gibbs

15 - CSV

16 - ASCII

عامل‌های محیطی در روی‌داد سیل‌گیری می‌پردازد و درصد مشارکت آن‌ها را اولویت‌بندی می‌کند. در این روی‌کرد، به‌شکل چرخشی هر عامل آگاهانه از گردونه‌ی مدل‌سازی حذف و مدل با بقیه‌ی عامل‌ها ساخته می‌شود. سپس، عمل‌کرد پیش‌بینی مدل ایجاد شده با مدل ساخته‌شده از تمام عامل‌ها مقایسه می‌شود. در نتیجه، توزیع عامل حذف‌شده آزمودنی است.

برای پیش‌بینی عمل‌کرد مدل پیش‌بینی بی‌نظمی از منحنی تشخیص عمل‌کرد نسبی^{۲۱} که روش مفیدی برای نمایش کیفیت شناسایی قطعی و احتمالی و نیز پیش‌بینی نظام‌ها است بهره‌گرفته شد. منحنی تشخیص عمل‌کرد نسبی، برای سنجش صحت مشخصه‌ی آزمون که مشابه به میزان پیش‌بینی و موفقیت است، به‌کارگرفته شد (مینهارت و همکاران ۲۰۱۵). تفسیر این منحنی از محاسبه‌ی تراز زیر منحنی^{۲۲}، (ناحیه‌ی بین محور افقی و منحنی تشخیص عمل‌کرد نسبی) انجام می‌شود. این تراز کیفیت پیش‌بینی نظام را با توصیف توانایی نظام برای پیش‌بینی دقیق اتفاق افتادن یا نیفتادن وقایع از پیش تعیین‌شده توصیف می‌کند (هنگ و همکاران ۲۰۱۸). محاسبه‌ی تراز زیر منحنی نتیجه‌ها ارزش‌های حساسیت از کل منطقه‌ی پژوهش در بین محور X به شکل نزولی مرتب‌شده و در برابر روی‌داد تجمعی سیل‌گیری در محور Y ترسیم شد (بوی و همکاران ۲۰۱۱). هر چه شیب منحنی تشخیص عمل‌کرد نسبی تندتر باشد، درصد زیادی از ناحیه‌ی زیر منحنی قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده‌ی بهتر بودن پیش‌بینی است. رابطه‌ی کمی-کیفی بین تراز زیر منحنی و دقت پیش‌بینی که دامنه‌ی بین صفر تا یک را شامل می‌شود به‌شرح زیر است:

تراز زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۰/۶ نشان‌دهنده‌ی اتفاقی بودن نتیجه‌ها است. اگر تراز زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ باشد، نتیجه‌ها دارای اعتبار خوب است، اگر تراز زیر منحنی بین ۰/۸ تا ۰/۹ باشد، نتیجه‌ها دارای اعتبار بسیار خوب، و هنگامی که تراز زیر منحنی بیش‌تر از ۰/۹ است، اعتبار نتیجه‌های به‌دست آمده در تراز عالی است.

در شکل ۳ منحنی پاسخ (نمودار تأثیر) هر یک از عامل‌های محیطی مؤثر در روی‌داد سیل‌گیری آورده شده است. این نمودارها ارتباط بین عامل‌های محیطی و سیل‌گیری‌های رخ داده در منطقه را نشان می‌دهند. مدل برای هر یک از عامل‌های محیطی اجرا شد و برپایه‌ی مقادیر یا نوع آن‌ها، مؤثرترین بازه‌ها یا طبقه‌ها تعیین شد.

متقابل با پیش‌بینی عمل‌کرد اندازه‌گیری‌ها انجام شد. برای انجام تنظیمات بهینه علاوه‌بر اطلاعات سیل‌گیری‌های رخ داده در گذشته از نمونه‌های زمینه^{۱۷} یا نبود ناواقعی^{۱۸} نیز به‌کارگرفته شد. نمونه‌های زمینه که در تمام موقعیت‌ها نقطه‌های تصادفی داخل منطقه‌ی تعریف‌شده است برای مقایسه‌ی تفاوت‌های احتمالی بین مکان‌های روی‌داد از سایر مکان‌ها به‌کارگرفته شدند (فیلیپس و دیویدیک ۲۰۰۸). اگر تعداد نمونه‌های زمینه‌ی به‌کاربرده شده برای مدل‌سازی بیش‌از حد کم باشد، ممکن است تشخیص مناسبی از مکان‌های روی‌داد سیل‌گیری از دیگر مکان‌های زمینه شکل نگیرد. برعکس، کاربرد بیش از اندازه از نمونه‌های زمینه موجب اتلاف زمان در فرایندی بی‌ضرورت می‌شود.

مقایسه‌ی عمل‌کرد پیش‌بینی مدل مطابق با تعداد متنوعی از نمونه‌های زمینه برای نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری شکل گرفت و در نهایت اندازه‌ی نمونه‌ی زمینه معادل با ۱۰۰۰۰ بهترین تعداد نمونه در نظر گرفته شد. در مدل پیش‌بینی بی‌نظمی هم‌بستگی عامل‌های مؤثر بر روی‌داد سیل‌گیری با نقطه‌های روی‌داد (سیل‌گیری‌هایی رخ داده) محاسبه و با هم‌بستگی متغیرها با ۱۰۰۰۰ نقطه‌ی تصادفی از منطقه همچون نمونه‌های زمینه مقایسه می‌شود و از بی‌نظمی نسبی میان نقطه‌های روی‌داد سیل‌گیری و نقطه‌های تصادفی کاهش می‌یابد. در نهایت مدلی به‌دست می‌آید که دارای بیش‌ترین قدرت تشخیص در منطقه‌های با توان زیاد روی‌داد (منطقه‌هایی دارای حساسیت زیاد به سیل‌گیری) است. از آن‌جا که یافتن نقطه‌های نبود روی‌داد (منطقه‌های دارای حساسیت کم) و اطمینان از این نبود روی‌داد مشکلات زیادی در پژوهش‌ها در پی دارد، مدل مکسنت روشی منحصراً وابسته به روی‌داد است که می‌تواند منجر به حذف بسیاری از ناکارآمدی‌ها و نبود قطعیت ناشی از نبود روی‌داد شود (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶).

پس از انجام تنظیمات بهینه، مدل اجرا و نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری منطقه تهیه شد. مدل پیش‌بینی بی‌نظمی در فرایند اجرا، علاوه‌بر تهیه نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری به بررسی روند تأثیر هر یک از ویژگی‌های محیطی در روی‌داد سیل‌گیری نیز می‌پردازد و نحوه‌ی تأثیر بازه‌ها یا طبقه‌های مختلف هر یک از این ویژگی‌ها را بر روی‌داد سیل‌گیری بررسی و به‌شکل منحنی‌های پاسخ^{۱۹} (نمودارهای تأثیر) نشان می‌دهد. مدل پیش‌بینی بی‌نظمی با روش جک‌نایف^{۲۰} به تحلیل مشارکت

17 - Background Samples

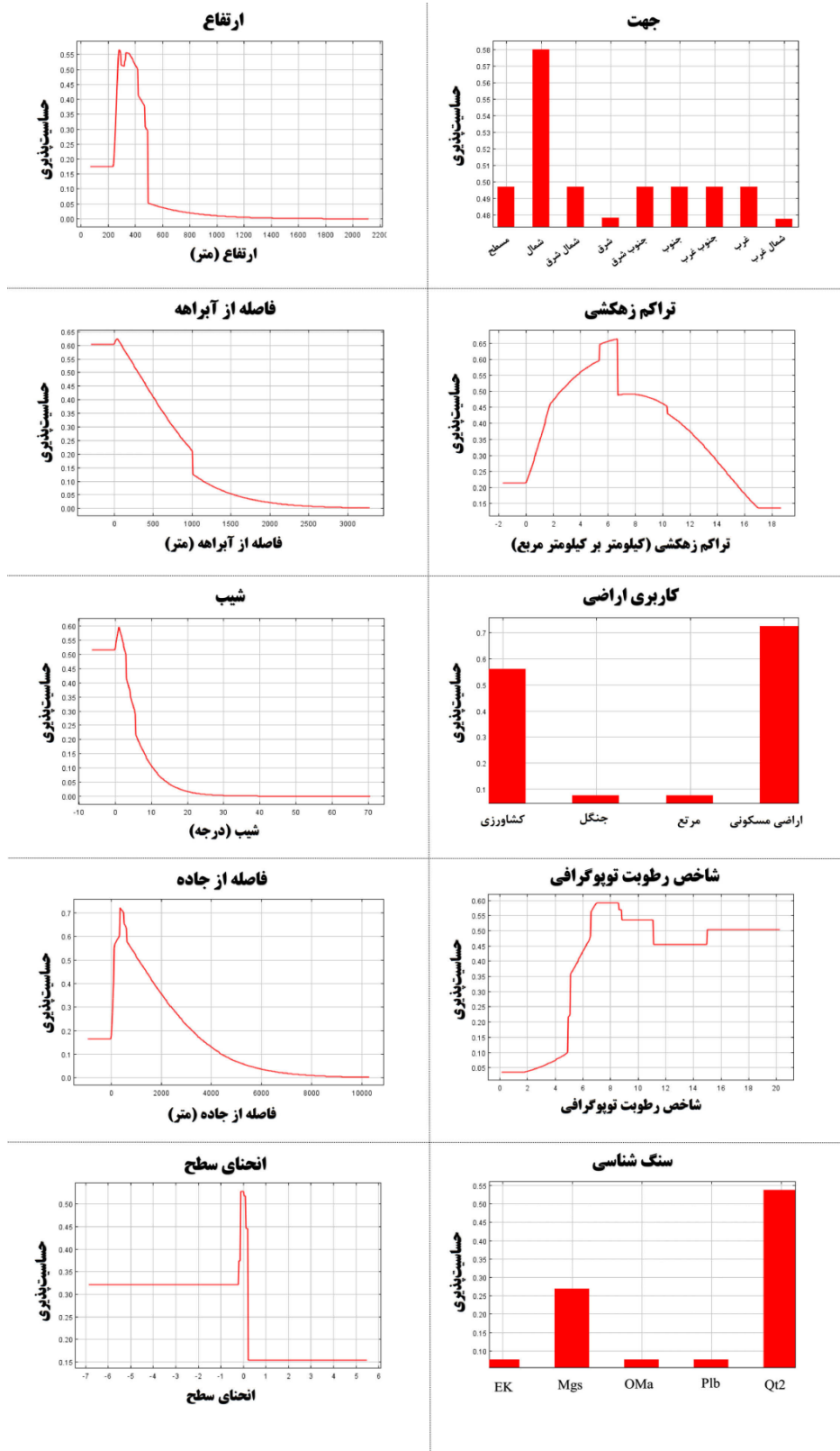
18 - Pseudo-absence Location

19 - Response Curves

20- Jackknife

21 - Receiver Operating Characteristic (ROC)

22 - Area Under the Curve (AUC)



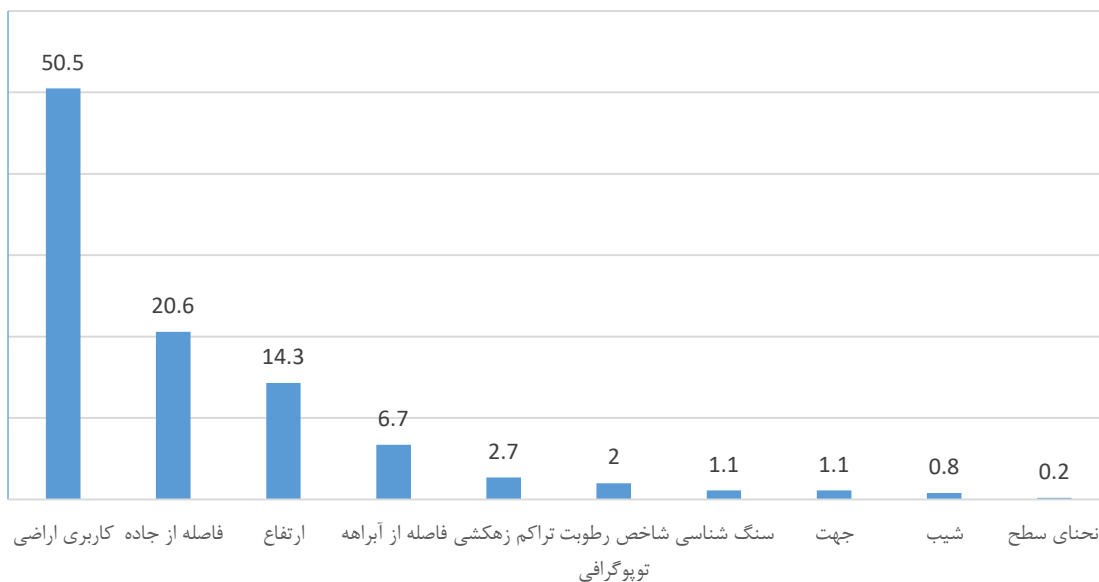
شکل ۳- منحنی پاسخ هر یک از عامل‌های مؤثر.

شناسایی مناطق مستعد سیل‌گیری و تعیین مهم‌ترین عامل‌های...

مؤثر است. زمین جنگلی و مرتعی به دلیل پوشش گیاهی مناسب به میزان چشم‌گیری روی داد سیل‌گیری را کاهش داده‌اند. نتیجه‌های نمودار تأثیر عامل شاخص رطوبت پستی و بلندی نشان داد که محدوده‌ی هفت تا نه بیش‌ترین تأثیر را در روی داد سیل‌گیری داشته است. بررسی‌های عامل انحنای تراز نشان داد سطوح هموار با بیش‌ترین تعداد سیل‌گیری‌ها بیش‌ترین تأثیر را در روی داد سیلاب داشته‌اند که بیان‌گر تأثیر سطوح هموار در روی داد سیل‌گیری است. نتیجه‌های ویژگی سنگ‌شناسی نشان داد آبرفت‌های جوان دوران چهارم بیش‌ترین حساسیت را نسبت به سیل‌گیری از خود نشان داده‌اند.

نتیجه‌های درصد مشارکت عامل‌های مؤثر در روی داد سیل‌گیری با روش جک نایف در شکل چهار آورده شده است. ارزیابی مدل نشان می‌دهد مدل‌های تصادفی می‌تواند ابزاری قدرتمند برای پژوهش روابط بین موقعیت مکانی سیل‌گیری‌ها و ویژگی‌های زیست‌محیطی باشد. برپایه‌ی نتیجه‌های مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی، مهم‌ترین ویژگی‌های محیطی مؤثر بر روی داد سیل‌گیری در آبخیز تشان کاربری زمین، فاصله از جاده، ارتفاع و فاصله از آبراه است که با نتیجه‌های یوسف و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. عامل‌های تراکم زه‌کشی، شاخص رطوبت پستی و بلندی، سنگ‌شناسی، جهت شیب، درجه‌ی شیب و انحنای تراز به ترتیب در رتبه‌های بعد اند.

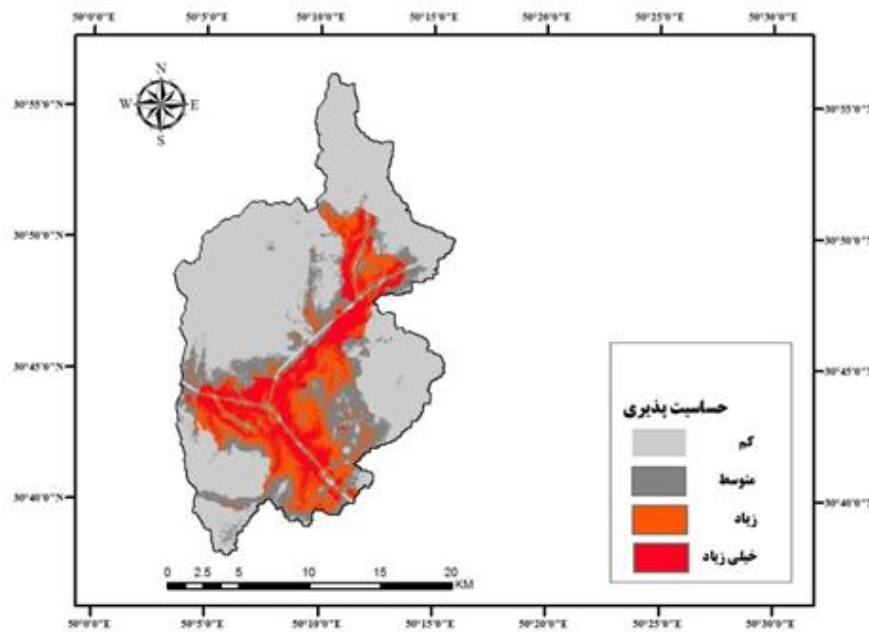
نمودار تأثیر عامل ارتفاع نشان می‌دهد که بیش‌ترین تعداد سیل‌گیری تا ارتفاع کم‌تر از ۴۰۰ متر را شامل شده است و با افزایش ارتفاع، حساسیت نسبت به سیل‌گیری کاهش یافته است. نتیجه‌ها جهت دامنه را نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان سیل‌گیری در دامنه‌های رو به شمال رخ داده است. در نمودار تأثیر عامل فاصله از آبراه، نتیجه‌ها نشان می‌دهد با افزایش فاصله از آبراه تعداد سیل‌گیری‌ها کاهش می‌یابد، که نشان می‌دهد منطقه‌های نزدیک به آبراه‌ها از حساس‌ترین منطقه‌ها هنگام روی داد سیل‌گیری است. نتیجه‌های نمودار تأثیر ویژگی تراکم زه‌کشی نشان داد که منطقه‌هایی با تراکم زه‌کشی حدود پنج تا هفت کیلومتر بر کیلومتر مربع، به روی داد سیل‌گیری حساس‌تر اند و بیش‌ترین سیل‌گیری‌ها در این محدوده رخ داده است. نتیجه‌های بررسی عامل شیب نشان داد که بیش‌ترین تعداد سیل‌گیری‌ها در شیب‌های کمتر از پنج درجه است. نتیجه‌های عامل کاربری زمین نشان داد کاربری زمین مسکونی بیش‌ترین تأثیر را در روی داد سیل‌گیری داشته است. برپایه‌ی نتیجه‌ها در منطقه‌هایی که انسان سبب تغییر کاربری و نفوذناپذیر کردن زمین‌ها با ساخت منطقه‌های مسکونی و جاده شده است، حساسیت منطقه به روی داد سیل‌گیری افزایش یافته است. نتیجه‌های عامل فاصله از جاده نشان می‌دهد حدود ۸۰٪ از سیل‌گیری‌ها در فاصله‌ی کم‌تر از ۱۵۰۰ متر تا جاده‌ها رخ داده است. کاربری زمین روی نفوذ روان‌آب و یا تشدید سرعت آن



شکل ۴- درصد مشارکت عامل‌های مؤثر در روی داد سیل‌گیری.

تقسیم شد (شکل ۵). نتیجه‌ها نشان داد که حدود ۵۸٪ از مساحت آبخیز (۲۱۴ کیلومتر مربع) دارای حساسیت کم، ۱۷٪ (۶۳ کیلومتر مربع) دارای حساسیت متوسط، ۱۴٪ (۵۰ کیلومتر مربع) دارای حساسیت زیاد و ۱۱٪ (۴۱ کیلومتر مربع) دارای حساسیت خیلی زیاد است (جدول ۱).

نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری منطقه با مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی تهیه و در نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس نسخه‌ی ۱۰/۳ برپایه‌ی شکستگی‌های طبیعی به چهار طبقه‌ی حساسیت کم (احتمال ۰-۱۱٪)، متوسط (احتمال ۱۱-۳۱٪)، زیاد (احتمال ۳۱-۵۲٪) و خیلی زیاد (احتمال ۵۲-۱۰۰٪).



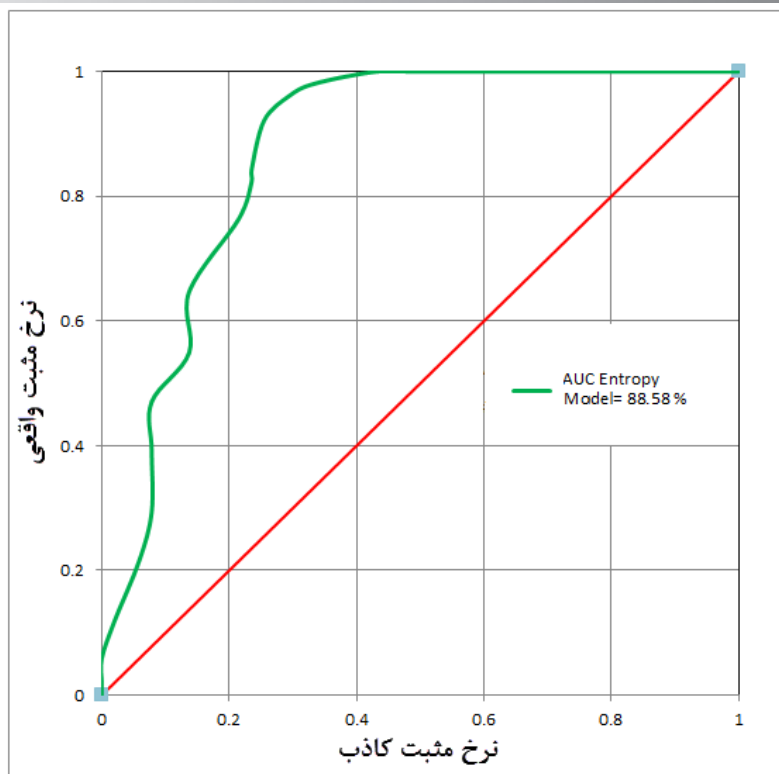
شکل ۵- نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری منطقه

جدول ۱- تفکیک منطقه‌های مستعد بر حسب حساسیت.

| حساسیت منطقه‌ها به سیل‌گیری | بازه‌ی احتمال نسبت داده‌شده (درصد) | مساحت به نسبت کل آبخیز (درصد) |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| کم | ۰ - ۱۱ | ۵۸ |
| متوسط | ۱۱ - ۳۱ | ۱۷ |
| زیاد | ۳۱ - ۵۲ | ۱۴ |
| خیلی زیاد | ۵۲ - ۱۰۰ | ۱۱ |

در آن مشخص است. نتیجه‌های اعتبارسنجی نشان داد مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی دقت بسیار خوبی (۰/۸۸۵) در شناسایی منطقه‌های حساس به سیل‌گیری دارد.

دقت پیش‌بینی مدل با ۳۰٪ از داده‌های سیل‌گیری که در اجرای مدل به کار گرفته نشده بودند انجام گرفت. منحنی تشخیص عمل کرد نسبی در شکل ۶ داده شده است که مساحت زیر منحنی (AUC)



شکل ۶- منحنی تشخیص عملکرد نسبی مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی.

خوبی نقش انسان‌ها را در روی‌داد سیل‌گیری با توجه به تغییر بی‌پایه‌ی کاربری‌های زمین و ساخت و سازها نمایان می‌کند که با نتیجه‌های یوسف و پردهان (۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد. نتیجه‌ها نشان داد که تا فاصله‌ی ۱۰۰۰ متری از رودخانه حساسیت به روی‌داد سیل‌گیری هست که با نتیجه‌های فرناندز و لوتز (۲۰۱۰) مطابقت دارد. از سوی دیگر، آزمون جک‌نایف دو عامل انحنای تراز و شیب را همچون کم‌اثرگزارترین عامل‌ها نشان داد. به دنبال تفسیر منحنی‌های پاسخ مشخص شد برخی از بازه‌های هر عامل حساسیت‌پذیری بسیار زیادی دارند. برای مثال، اکثر سیل‌گیری‌ها در سطح‌های هموار و با شیب کم‌تر از ۵ درجه اتفاق افتاده‌اند که از مهم‌ترین دلایل‌های آن امکان تمرکز بیش‌تر جریان آب در شیب‌های کم است که با نتیجه‌های پردهان و یوسف (۲۰۱۱) مطابقت دارد. نتیجه‌ها نشان داد که ارتفاع و حساسیت به سیل‌گیری با هم رابطه‌ی عکس دارند که با نتیجه‌های عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۷) و رحمتی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. هم‌سو با نتیجه‌های عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۷) آبرفت‌های جوان کواترنری بیش‌ترین حساسیت را به روی‌داد سیل‌گیری نشان داده‌است. بررسی نقشه‌ی حساسیت سیل‌گیری تهیه‌شده با مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی نشان داد که حدود ۲۵٪ از مساحت آبخیز در طبقه‌ی حساسیت زیاد و خیلی زیاد است. نواحی

بحث و نتیجه‌گیری

سیل‌گیری از پرخطرترین و فاجعه‌انگیزترین حوادث طبیعی در ایران است. تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت به روی‌داد سیل‌گیری در مشخص کردن منطقه‌های حساس به روی‌داد سیل‌گیری ضروری است، زیرا یکی از گام‌های اولیه در کاهش خسارت سیل‌های آینده است. هدف از این تحقیق، شناسایی منطقه‌های حساس به سیل‌گیری در آبخیز تشان بهبهان در استان خوزستان است. کاربرد مدل‌سازی پیشینه‌ی بی‌نظمی که به‌طور گسترده‌ی برای مدل‌سازی توزیع گونه‌های گیاهی و جانوری، زمین‌لغزش و فرسایش خندقی به‌کارگرفته شده بود، برای بررسی حساسیت‌پذیری سیل‌گیری آزموده شد. برپایه‌ی پژوهش‌موردی در آبخیز تشان، خصوصیات ویژه‌ی مدل‌سازی پیشینه‌ی بی‌نظمی برای تولید نقشه‌ی حساسیت‌پذیری سیل‌گیری نمایان شد. مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی توانایی مناسبی در ارتباطات همبسته یا بی‌خط بین داده‌های ورودی پیوسته با انواع مشخصه‌های دیگر دارد. برخلاف جعبه‌ی سیاه سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین از قبیل شبکه‌ی عصبی، الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی اطلاعات مفیدی برای تفسیر فراهم می‌آورد. تجزیه و تحلیل آزموده‌ی جک‌نایف نشان داد که عامل کاربری زمین تأثیرگزارترین عامل، و پس از آن فاصله از جاده دومین عامل تأثیرگزار در بروز سیل‌گیری است، که به

حساس به سیل‌گیری بیشتر در منطقه‌هایی است که تمرکز سکونت‌گاه‌ها و سازه‌های انسانی و زمین کشاورزی بسیار زیاد است. روستاهای آبلش، مسیری، مشهد تشان، شاغالب، چاردهی، آهنگران، قالد علیا، کره سیاه، بدلی و زمین‌های اطراف آن‌ها که عمدتاً کشاورزی است و فرودگاه شمال غرب بهبهان در محدوده‌ی حساسیت خیلی زیاد به روی داد سیل‌گیری است.

سیل‌گیری ممکن است منجر به خسارت‌های جانی و مالی فراوانی در این آبخیز شود. نتیجه‌های این پژوهش با توجه به ایجاد و طرح نقشه‌ی پیش‌بینی منطقه‌های مستعد به روی داد سیل‌گیری برای مدیریت و مهار سیل‌گیری بسیار اهمیت دارد و می‌تواند به برنامه‌ریزان و محققان برای انجام اقدام‌های مناسب برای جلوگیری از سیل‌گیری و کاهش خطر آن در آینده کمک کند. افزون بر پیش‌بینی منطقه‌های

حساس به روی داد سیل‌گیری، می‌توان مدلی پژوهشی در مورد لایه‌های محیطی، که باعث روی داد سیل‌گیری در حوزه‌ی تشان می‌شوند، مطرح کرد. نیز می‌توان آن را برای شناسایی منطقه‌های مناسب و امن برای توسعه‌های عمرانی به کار گرفت. در این پژوهش نشان داده شد که تجزیه و تحلیل محیط با داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی تصادفی ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی مکانی منطقه‌های حساس به سیل‌گیری است. با توجه به دقت پیش‌بینی بسیار خوب الگوریتم پیشینه‌ی بی‌نظمی در شناسایی منطقه‌های بحرانی و حساس به سیل‌گرفتگی، پیشنهاد می‌شود محققان از این مدل برای تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت و خطر سیل‌گیری در سایر آبخیزها خصوصاً منطقه‌هایی که ایستگاه‌های آب‌سنجی در آن نیست بهره‌گیرند و نتیجه‌ها را مقایسه کنند.

سیل‌گیری امکان است منجر به خسارت‌های جانی و مالی فراوانی در این آبخیز شود. نتیجه‌های این پژوهش با توجه به ایجاد و طرح نقشه‌ی پیش‌بینی منطقه‌های مستعد به روی داد سیل‌گیری برای مدیریت و مهار سیل‌گیری بسیار اهمیت دارد و می‌تواند به برنامه‌ریزان و محققان برای انجام اقدام‌های مناسب برای جلوگیری از سیل‌گیری و کاهش خطر آن در آینده کمک کند. افزون بر پیش‌بینی منطقه‌های

- Arab Ameri A, Pourghasemi HR, Shirani K. 2017. Flood susceptibility zonation using new ensemble Bayesian-AHP methods (Case study: Neka Watershed, Mazandaran Province). *Ecohydrology*. 4(2): 447–462. (In Persian).
- Bui D, Lofman O, Revhaug I, Dick O. 2011. Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression. *Natural Hazards*. 59(1): 1413–1444.
- Davoudi Moghaddam D, Rezaei M, Pourghasemi HR, Pourtaaghie ZS. 2013. Groundwater potential spring mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 8(2): 913–929.
- Davoudi Moghaddam D, Rahmati O, Haghizadeh A, Kalantari Z. 2020. A modeling comparison of groundwater potential mapping in a mountain bedrock aquifer: QUEST, GARP, and RF models. *Water*. 12(3): 1-21.
- Dawson CW, Abrahart RJ, Shamseldin AY, Wilby RL. 2006. Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*. 319(1): 391–409.
- Dehghani M, Abbasnejad A, Negaresh H. 2016. Assessment of flood hazard and its zoning in Baft plain (south east part of Iran). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*. 6(1): 141–152. (In Persian).
- Ebrahimi P, Soleymani K, Shahedi K. 2016. Developing strategic environmental planning map based on land use changes and flood zones case study: Neka River. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*. 20(6): 57–74. (In Persian).
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudik M, Chee YE, Yates CJ. 2011. A statistical explanation of the Maxent for ecologists. *Diversity and Distributions*. 17(3): 43–57.
- Fernandez DS, Lutz MA. 2010. Urban flood hazard zoning in Tucuman Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*. 111(1): 90–98.
- Fuosto I, Abarca-del-Rio R, Ávila A, Orrego R. 2017. A simple logistic model to understand the occurrence of flood events into the Biobío River Basin in central Chile. *Journal of Flood Risk Management*. 10(1): 17–29.
- Gearman M, Blinnikov MS. 2019. Mapping the potential distribution of Oak Wilt (*Bretziella fagacearum*) in east central and southeast the Minnesota using the Maxent. *Journal of Forestry*. 117(6): 579–591.
- Hong H, Panahi M, Shirzadi A, Ma T, Liu J, Zhu A, Chen W, Kougiaris I, Kazakis N. 2018. Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. *Science of the Total Environment*. 621(1): 1124–1141.
- Jebur MN, Pradhan B, Tehrany MS. 2014. Optimization of landslide conditioning factors using very high-resolution airborne laser scanning (LiDAR) data at catchment scale. *Remote Sensing of Environment*. 152(1): 150–165.
- Kariminejad N, Hosseinalizadeh M, Pourghasemi HR, Bernatek-Jakiel A, Campetella G, Ownegh M. 2019. Evaluation of factors affecting gully headcut location using summary statistics and the maximum entropy model: Golestan Province, NE Iran. *Science of the Total Environment*. 677(1): 281–298.
- Khalilizadeh M, Mosaedi A, Najafinejad A. 2005. Flood hazard zonation in a part of Ziarat River in Gorgan urban watershed. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 12(4): 138–146. (In Persian).
- Khosravi K, Marufinia E, Nohani E, Chapy K. 2017. Evaluation of logistic regression efficiency in mapping flood susceptibility. *Journal of Range and Watershed Management*. 69(4):

- 863–876. (In Persian).
- Kia MB, Pirasteh S, Pradhan B, Mahmud AR, Sulaiman WNA, Moradi A. 2012. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*. 67(1): 251–264.
- Mahmoud SH, Gan TY. 2018. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*. 196(1): 216–229.
- Meinhardt M, Fink M, Tunschel H. 2015. Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate statistics. *Geomorphology*. 234(1): 80–97.
- Mohamadi E, Montaseri M, Sokooti Oskoei R. 2005. Zonation of flood dangers in urban regions, using WMS and HEC-RAS, case study: Oshnavieh, Western Azerbyjan province. *Watershed Engineering and Management*. 1(1): 61–69. (In Persian).
- Moradnejadee M, Karimi K, Nakhaee Nejadfar S, Khosravi H, Joorgholami M. 2014. Assessing flood hydrograph by using simulated runoff-rainfall (case study: Evan Watershed). *Watershed Management Research Journal*. 27(2): 52–60. (In Persian).
- Mutzner R, Tarolli P, Sofia G, Parlange MB, Rinaldo A. 2016. Field study on drainage densities and rescaled width functions in a high-altitude alpine catchment. *Hydrological Processes*. 30(13): 2138–2152.
- Nampak H, Pradhan B, Manap MA. 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*. 513(1): 283–300.
- Nazarneshad H, Moharampour E, Babaei S. 2018. Estimation of the curve number and runoff height using Arc GIS software with the Arc CN-Runoff tool (case study: Nazluchai basin of Urmia). *Watershed Management Research Journal*. 31(2): 41–49. (In Persian).
- Nkwunonwo U, Malcolm W, Brian B. 2015. Flooding and flood risk reduction in the Nigeria: Cardinal gaps. *Journal-ofGeographyandNatural Disasters*. 5(1): 1–12.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190(3): 231–259.
- Phillips SJ, Dudik M. 2008. Modeling of species distributions with the Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31(2): 161–175.
- Pourghasemi HR, Moradi HR, Mohammadi M, Mostafazadeh R, Goli Jirandeh A. 2013. Landslide hazard zoning using bayesian theory. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 16(62): 109–120. (In Persian).
- Pradhan B. 2009. Groundwater potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques. *CentralEuropeanJournal of Geosciences*. 1(1): 120–129.
- Pradhan B, Youssef A. 2011. A 100-year maximum flood susceptibility mapping using integrated hydrological and hydrodynamic models: Kelantan River Corridor, Malaysia. *Journal of Flood Risk Management*. 4(3): 189–202.
- Rahmati O, Zeinivand H, Besharat M. 2015. Flood hazard zoning in the Yasooj Region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics. Natural Hazards and Risk*. 7(3): 1000–1017.
- Rajabizadeh Y, Ayyoubzadeh SA, Ghomeshi M. 2020. Flood survey of Khuzestan province in 97–98 and providing solutions for its control and management in the future. *Ecologyhydrology*. 6(4): 1069–1084. (In Persian).
- Schultz B. 2006. Flood management under rapid urbanisation and industrialisation in flood-prone areas: a need for serious consideration. *Irrigation and Drainage*. 55(1): 3–8.
- Shrestha S, Kang TS. 2019. Assessment of seismically-induced landslide susceptibility after the 2015 Gorkha earthquake, Nepal. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 78(3): 1829–1842.

- Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN. 2013. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*. 504(1): 69–79.
- Tehrany MS, Pradhan B, Mansor S, Ahmad N. 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*. 125(1): 91–101.
- Termeh SVR, Kornejady A, Pourghasemi HR, Keesstra S. 2018. Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of the Total Environment*. 615(4): 438–451.
- Wang Y, Hong H, Chen W, Li S, Pamučar D, Gigović L, Drobňjak S, Tien Bui D, Duan H. A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China. *Remote Sensing*. 11(1): 1–32.
- Youssef AM, Pradhan B, Sefry SA. 2016. Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*. 75(2):1–24.
- Zhao G, Pang B, Xu Z, Yue J, Tu T. 2018. Mapping flood susceptibility in mountainous areas on a national scale in China. *Science of the Total Environment*. 615(1): 1133–1142.
- Zou Q, Zhou J, Zhou C, Song L, Guo J. 2013. Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 27(2): 525–546.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 4, Ser. No: 129, Winter 2021, pp.94 -109
DOI: 10.22092/wmej.2020.341563.1307

Detection of Susceptible Areas to Flooding and its Most Important Contributing Factors Using the Maximum Entropy Model in the Tashan Watershed, Khuzestan

Davoud Davoudi Moghaddam

Ph.D. Candidate, Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Ali Haghizadeh

(Corresponding Author)* Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Corresponding Author's Email: haghizadeh.a@lu.ac.ir

Received: 17 January 2020 Accepted: 17 March 2020

Abstract

One of the most important measures for flood management is the preparation of a flood susceptibility map. The purpose of this study was to identify susceptible areas to flooding using the maximum entropy model in the Tashan Watershed, Khuzestan Province. A flood inventory map was prepared for statistical analysis. Of the 169 flooding occurrences, 70% were used for the model calibration and 30% were used for validation. Ten flooding factors, namely: altitude, slope aspect, distance from the river, drainage density, slope angle, land use, distance from the road, topographic wetness index, plan curvature and lithology were used. The effect and contribution of each environmental parameter were calculated using the response curves and the Jackknife method. Finally, a flooding susceptibility map was prepared in four classes. The receiver operating characteristic curve was used to evaluate the accuracy of modeling. The results indicated that the maximum entropy model had very good accuracy (AUC=0.885) in identifying the prone areas to flooding, and the land use and distance from the road with 50.5% and 20.6% contribution, respectively, had the most impact on the occurrence of flood inundation. Also, about 25% of the watershed area was highly sensitive to flooding. Regarding very good prediction accuracy of the maximum entropy model in detecting susceptible areas to flooding, it is recommended to apply this model for the preparation of the flooding map in other watersheds, especially areas lacking hydrometric stations.

■ **Keywords: Flooding management, machine learning, maximum entropy, the Tashan Watershed, validation** ■