

ارزیابی کارایی مدل‌های ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

محمدعلی زنگنه اسدی^{۱*}، ابوالقاسم امیر احمدی^۲، مهناز ناعمی تبار^۳

۱. دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

۲. استاد تمام ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۴/۰۴، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۱۱/۳۰)

چکیده

با توجه به شرایط طبیعی ایران، بی‌توجهی به موضوع سیلاب‌ها می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری به بار آورد که در این میان، برآورد سیلاب و پهنه‌بندی نواحی سیل‌گیر اهمیت بسیار زیادی در کنترل خطرات دارد. بنابراین، پهنه‌بندی بر اثر تغییرات اقلیمی، امری ضروری است. از این‌رو، در پژوهش حاضر به منظور بررسی خطرپذیری سیلاب در حوضه‌های منتخب خراسان رضوی با استفاده از مدل ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی انجام شده است. سپس، از متغیرهای چهارده‌گانه مؤثر بر وقوع سیلاب شامل اقلیم، کاربری اراضی، ارتفاع، تراکم زهکشی، واحدهای ژئومورفولوژی، لیتولوژی، ارتفاع رواناب، نفوذپذیری، شیب و جهت آن، فاصله از آبراهه، بارش، دما و خاک استفاده شده است. نتایج نشان داد از میان عوامل نامبرده، پارامترهای اقلیم، کاربری اراضی، شیب، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، بارش، خاک و واحدهای ژئومورفولوژی بر اساس محاسبات آماری تأثیر بیشتری را در وقوع سیلاب دارند. ارزیابی کمی و کیفی نتایج با استفاده از آماره‌های گوناگون نشان داد مدل L-THIA، با گامای ۰/۸ بیشترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اولیه دارد و از دقت و کارایی بیشتری نسبت به دو مدل ویکور و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سیلاب برخوردار است.

کلیدواژه‌گان: آزمون گاما، پهنه‌بندی، حوضه‌های آبریز، سیلاب، مدل‌سازی.

مقدمه

سیلاب پدیده‌ای است که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کند و باعث خسارت‌های مالی و جانی شود [۱]. عوامل زیادی از جمله عوامل اقلیمی، حوضه‌ای و انسانی در وقوع سیلاب دخیل هستند. از عوامل اقلیمی می‌توان به خشک بودن منطقه، بارش رگباری با شدت زیاد و تداوم نسبتاً کوتاه اشاره کرد [۲]. شهرنشینی، با افزایش سطوح نفوذناپذیر و تغییر مسیرهای جریان، موجب افزایش سیل در دهه‌های اخیر شده است [۳]. پهنه‌بندی سیل یکی از روش‌های بهینه برای برنامه‌ریزی و شناسایی مناطق سیل‌خیز با هدف کاهش خطرات شناخته می‌شود [۴]. ارزیابی دقیق هیدروگراف سیل، آثار اقتصادی درخور توجهی دارد، به طوری که در مسائل مربوط به مدیریت منابع آب، کنترل آلودگی، طرح‌های مهندسی آب، مصارف کشاورزی و حفظ و بهره‌وری مناسب از منابع طبیعی ضروری به نظر می‌رسد [۵]. در مواقعی که رودخانه نتواند رواناب تولیدشده در حوضه را به خوبی انتقال دهد، شرایطی پیش می‌آید که آب به زمین‌های پیرامونی سرریز می‌شود و سیل رخ می‌دهد. هر قسمتی از حوضه پتانسیل معینی در تولید رواناب و سیل دارد. روش‌های متعددی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های استفاده از داغاب سیلاب، مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، استفاده از مدل‌های ریاضی و تصمیم‌ساز اشاره کرد [۶]. مطالعات زیادی در ارتباط با سیلاب در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. کاین و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مورفومتری حوضه، عکس‌های هوایی، تهیه نقشه از لیدار و مدل‌سازی هیدرولیکی دوبعدی آثار سیل و رسوب‌گذاری را در مخروط‌افکنه‌های منطقه کوساید تاسمانی بررسی کردند. نتیجه کار آنها نشان می‌دهد ترکیب مدل‌سازی هیدرولیکی و تحلیل‌های ژئومورفیک می‌تواند به عنوان ابزار مناسبی برای مدیریت خطر سیل در مخروط‌افکنه‌ها به کار گرفته شود [۷]. رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۶) سیلاب‌های رودخانه قره‌سو را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS پهنه‌بندی کرده و مسیر رودخانه را به لحاظ مورفولوژی تحلیل کرده‌اند. با توجه به نتایج پژوهش یادشده، وقوع سیلاب‌هایی با دوره بازگشت

۲۵ ساله موجب خواهد شد که مساحتی حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغ‌های حاشیه رودخانه قره‌سو تحت تأثیر سیلاب قرار گیرند [۸]. راد و همکاران (۲۰۱۸) با به کارگیری مدل HEC-RAS پایین‌دست حوضه آبخیز خرم‌آباد را به لحاظ وقوع سیل ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داده است به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر، میزان دبی بیشتر شده و تغییرات عرضی پهنه سیلاب از بالادست به قسمت میانی به دلیل افزایش شیب رودخانه، کاهش یافته و سیل در گستره کمتری جریان یافته و در پایین‌دست به دلیل کاهش شیب و افزایش دبی، مقدار عرض جریان افزایش یافته است [۹]. داوسون و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی وقایع سیل T ساله و تخمین سیل شاخص در ۸۵۰ حوضه آبخیز در سراسر انگلستان استفاده کردند. نتایج به دست آمده از پژوهش یادشده نشان داد شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به روش مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره دقت بیشتری دارند [۱۰]. اسفندیاری دارآباد و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی تحت عنوان «پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز آجرلو چای با استفاده از روش L-THIA و منطق فازی» نتیجه گرفتند که زمین‌ها از نظر تراکم شبکه زهکشی در کلاس بالاتری قرار دارند که خود عاملی برای سیل‌خیز بودن حوضه است. عابدینی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی تحت عنوان «پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین‌شهر با استفاده از مدل ویکور» نتیجه گرفتند که عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را در ایجاد سیل دارند [۱۲]. گانوا و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به منظور ارزیابی توزیع پتانسیل خطر سیل در مقیاس منطقه‌ای، از رویکرد یکپارچه GIS و تجزیه و تحلیل چندمتغیره (MCA) استفاده کردند. پژوهشگران یادشده طی پژوهش یادشده از دو روش فرایند سلسله‌مراتب تحلیلی (AHP) و رتبه‌بندی (RM) استفاده کردند. نتایج به دست آمده از پژوهش یادشده بیانگر آن بود که روش RM نتایج بهتری نسبت به روش AHP دارد [۱۳]. لی و همکاران (۲۰۱۷) روشی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل بر اساس ویژگی‌های محیطی و اجتماعی شهری بررسی کردند. روش ارزیابی آنها شامل تعیین معیارها و وزن با استفاده از روش‌های دلفی و آنتروپی، کسب اطلاعات و

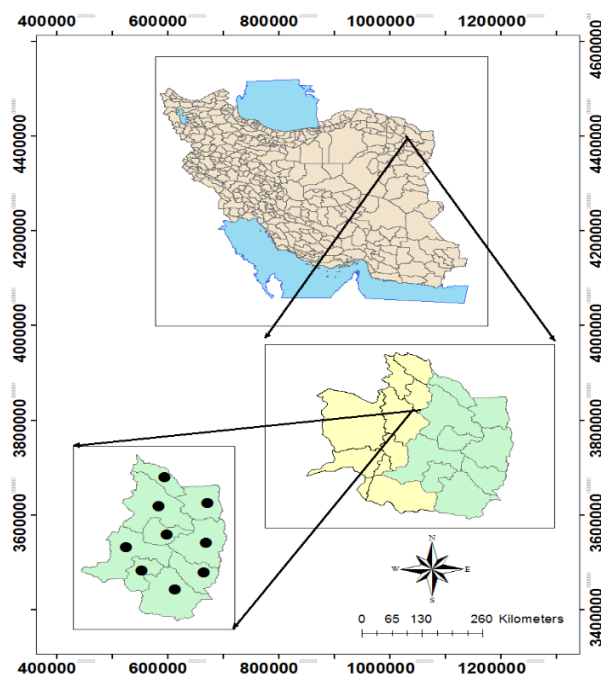
مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

در پژوهش حاضر ۹ زیرحوضه از حوضه‌های آبخیز در استان خراسان رضوی برای بررسی وقوع سیلاب انتخاب شده است. حوضه‌های مطالعاتی شامل تایباد، تربت جام، تربت حیدریه، خواف، رشتخوار، سرخس، فریمان، کلات و مشهد است. محدوده مطالعاتی با مساحت ۷۲ هزار کیلومتر مربع در حول مدار ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه قرار دارد (شکل ۱). در جدول ۱ خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌ها نشان داده شده است.

ساخت پایگاه داده، اندازه‌گیری آسیب‌پذیری و تصمیم‌گیری اولویت‌ها بود. یافته‌ها نشان داد تأثیر افزایش بارش (به دلیل تغییرات آب‌وهوایی) بر خطر سیلاب کمتر از افزایش عوامل آسیب‌پذیری ناشی از توسعه اجتماعی و اقتصادی است [۱۴]. هدف از پژوهش حاضر، بررسی عوامل مؤثر بر وقوع و شکل‌گیری سیلاب و نیز بررسی کارایی سه مدل ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر سیلاب است. نتایج تحقیق پیش رو کاربرد زیادی در رفتارسنجی سیل‌خیزی دارد و حوضه‌های با اولویت سیل‌خیزی را شناسایی می‌کند تا حوضه‌های آبخیز در شرایط بحرانی بهتر مدیریت شود.

جدول ۱. خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌ها

نام ایستگاه	میانگین بارندگی سالانه	دمای سالانه	حداکثر دمای سالانه	حداقل دمای سالانه	میانگین ارتفاع	حداقل ارتفاع	حداکثر ارتفاع
تایباد	۱۸۰/۵	۱۶/۴	۷/۵	۴/۶۸	۱۰۹۶/۹	۱۴۰۳	۱۵۰۰
تربت جام	۱۶۸	۲۶	۹/۶	۲/۰۶	۲۰۹۳/۰	۳۰۹۱	۲۰۰۰
تربت حیدریه	۲۶۰	۲۱	۸/۸	۶/۷۱	۲۰۳۴/۸	۱۰۵۲	۲۵۰۰
خواف	۱۱۶/۲	۲۵	۷/۶	۵/۳۱	۲۰۱۲	۴۰۶۱	۲۱۰۰
رشتخوار	۱۵۰	۳۳	۱۰/۱۶	۳/۶۶	۲۰۱۲/۳	۱۰۰۱	۲۰۰۰
سرخس	۱۴۳	۳۱	۷/۸	۴/۹۹	۲۱۴۴/۰	۱۱۰۵	۲۲۰۰
فریمان	۱۷۱	۱۱/۸	۹/۳	۲/۰۶	۲۰۵۶/۹	۱۰۷۱	۲۴۰۰
کلات	۲۶۱	۲۸	۸/۳	۳/۰۷	۲۰۰۸/۵	۱۵۲۴	۲۳۰۰
مشهد	۲۱۰	۱۴/۶	۶/۱	۲/۰۹	۲۴۵۶/۹	۱۳۷۳	۲۷۰۰



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده

باشد [۱۵]، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل الگوریتم پیاده‌سازی فازی ویکور دارای گام‌های زیر است:

مرحله اول: اولین قدم در ارزیابی چندمعیاره، تعریف معیارها و ایجاد ماتریس به صورت رابطه ۱ است. مجموعه معیارها باید دارای آن دسته از خصوصیت‌هایی باشند که به اندازه کافی معرف طبیعت چندمعیاری یک مسئله ارزیابی به حساب آیند.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{m1} & M_{m2} & \dots & M_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

مرحله دوم: استانداردسازی ماتریس تصمیم است (رابطه ۲). از آنجا که در اندازه‌گیری معیارها دامنه متنوعی از مقیاس‌ها استفاده می‌شود، باید معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد شوند. استاندارد کردن داده‌ها به معنای همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و ۱ یا ۱ دامنه مشخص دیگر (مانند صفر تا ۲۵۵) است [۱۶]. در این مطالعه، مرحله مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی در نظر گرفته شده است. ارزش عضویت یا درجه تعلق در یک مجموعه فازی را می‌توان با شماره‌ای که دامنه آن بین مقادیر صفر تا ۱ یا صفر تا ۲۵۵ قرار دارد، تعیین کرد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه است [۱۷]. در پژوهش حاضر با استفاده از امکاناتی که در تابع FUZZY از نرم‌افزار IDRISI وجود دارد، برای استانداردسازی نقشه‌هایی که به صورت نقشه‌های معیار تهیه شده‌اند، استفاده شده است. در رابطه با هر معیار، دامنه‌ای از مقادیر در نظر گرفته شده است که اگر مقادیر ثبت شده از معیار در پیکسل‌ها بیشتر یا کمتر از مقادیر تعیین شده در دامنه باشد، به منزله درجه عضویت صفر در دامنه تعیین شده تلقی می‌شود و در نتیجه، میزان مطلوبیت برابر با صفر می‌شود. از سوی دیگر، اگر مقادیر اندازه‌گیری شده از معیار در پیکسل‌ها با درجه کامل عضویت در دامنه تعیین شده منطبق باشد، به معنای مطلوبیت حداکثر در آن معیار است. سایر سطوح مطلوبیت

داده‌هایی که به منظور تعیین پهنه‌های آسیب‌پذیر به کار گرفته شده‌اند، عبارت‌اند از: اقلیم، کاربری اراضی، ارتفاع، تراکم زهکشی، واحدهای ژئومورفولوژی، لیتولوژی، ارتفاع رواناب، نفوذپذیری، شیب و جهت آن، فاصله از آبراهه، بارش، دما و خاک که از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۶ استخراج شدند. لایه DEM حوضه‌ها بر اساس نقشه‌های توپوگرافی تهیه شد. سپس با کمک این لایه، لایه شیب و جهت شیب تهیه شد. لایه تراکم زهکشی بر مبنای لایه آبراهه‌ها استخراج شد و لایه اقلیم با توجه به داده‌های بارش ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۷) منطقه، ترسیم شد. لایه واحد اراضی منطقه، از سازمان جنگل‌ها و مراتع استان خراسان رضوی تهیه شد. همچنین، لایه لیتولوژی از نقشه‌های زمین‌شناسی استخراج شد. در ادامه، لایه رواناب از طریق داده‌های بارش ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۷) منطقه، نقشه کاربری اراضی، لایه رقومی ارتفاع و لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیز از طریق الحاقی L-THIA، مدل ویکور و شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار Arc GIS به دست آمد. لایه هیدرولوژیکی خاک با توجه به لایه‌های واحد اراضی و خاک‌شناسی تهیه شد. لایه کاربری اراضی نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۶ و لایه ENVI تهیه شد. برای استخراج کاربری‌های محدوده مطالعه شده از طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. لایه بارش بر اساس اطلاعات هواشناسی از ایستگاه‌های هواشناسی استخراج شد. لایه دمای منطقه با توجه به داده‌های دمایی ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۷) منطقه، ترسیم شد. واحدهای ژئومورفولوژی منطقه با استفاده از منحنی‌های میزان در نقشه‌های توپوگرافی شناسایی شدند. سپس، خروجی‌های سیلاب با استفاده از سه مدل یادشده استخراج شد.

مدل VIKOR

این روش مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در شرایطی که فرد تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسئله در زمان شروع و طراحی آن نیست، این روش می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مطرح شود. اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته

$$f_j^* = \text{Max } f_{ij} \quad (۴)$$

$$f_j^- = \text{Min } f_{ij} \quad (۵)$$

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

$$S_i = \sum_{i=0}^n W_i \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (۶)$$

$$R_i = \text{Max } W_i \left\{ \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\} \quad (۷)$$

W_j مقدار وزن مواد برای معیار j و f_{ij} هر نقشه معیار است.

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

$$Q_i \left[\frac{S_i - S^-}{S_j^* - S^-} \right] + (1-v) \left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-} \right] = v \quad (۸)$$

مرحله هفتم: مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر R ، S و Q است. در این مرحله با توجه به مقادیر R ، S و Q گزینه‌ها در سه گروه از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند و در نهایت، گزینه‌ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه به عنوان گزینه برتر شناخته شود (جدول ۲).

پس از تهیه نقشه‌های استاندارد شده در رابطه با هر یک از معیارهای مطرح در نقشه پهنه‌بندی سیلاب و اعمال کردن وزن‌های مربوطه و با اعمال مراحل مختلف مدل روی نقشه‌ها، خروجی نهایی به دست آمد. هر چه مقدار ارزش یک پیکسل به سمت عدد ۰/۰۹ نزدیک باشد، بیانگر میزان خطر سیلاب است و هر چه قدر مقدار ارزش دریافت پیکسلی به سمت ۰/۸۹ میل کند، گویای پتانسیل کمتر آن پیکسل برای ایجاد سیلاب است.

نیز در حد فاصل درجه عضویت صفر و درجه عضویت حداکثر ۱ قرار دارد.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} \dots f_{1n} \\ \dots \\ f_{m1} \dots f_{mn} \end{bmatrix}^0 \quad (۲)$$

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

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_n] \quad (۳)$$

در تحقیق حاضر برای تعیین وزن معیارها، از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شده است. در این روش، تا اندازه زیادی از پیچیدگی مفهومی مطرح در تصمیم‌گیری کاسته می‌شود، زیرا در هر زمان معین فقط دو مؤلفه، مورد توجه قرار می‌گیرد. یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام‌شده برای تعیین اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. به بیان دیگر، در تشکیل ماتریس مقایسه دو دویی معیارها، مقدار سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است. چون وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. پس سنجه‌ای را باید یافت که میزان ناهماهنگی‌ها را مشخص سازد. چنانچه مقدار ضریب سازگاری CR^1 مساوی یا کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، سازگاری لازم در قضاوت‌ها رعایت شده است. این ضریب در مطالعه حاضر کمتر از ۰/۱ و در حد قابل قبول است.

مرحله چهارم: تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار است. بهترین مقدار (f_j^*) و بدترین مقدار (f_j^-) برای معیارها به ترتیب از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند. در این مطالعه بهترین مقدار برای معیارها با توجه به نقشه استاندارد شده فازی ۱ و بدترین مقدار صفر در نظر گرفته شد.

جدول ۲. وزن حاصل از مقایسه زوجی معیارها

معیارها	اقلیم	کاربری اراضی	شیب	تراکم زهکشی	ژئومورفولوژی	لیتولوژی	رواناب	نفوذ پذیری	جهت شیب	فاصله از آبراهه	بارش	دما	خاک
وزن نهایی	۰/۱۹۳	۰/۱۳۳	۰/۱۷۱	۰/۱۰۳	۰/۱۶۸	۰/۱۹۹	۰/۰۴۴	۰/۰۵۶	۰/۱۵۲	۰/۱۷۷	۰/۱۶۹	۰/۰۷۶	۰/۱۴۷

جدول ۳. مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات معیارهای مطرح در پهنه‌بندی سیلاب

معیار	اقلیم	کاربری اراضی	شیب	تراکم زهکشی	ژئومورفولوژی	لیتولوژی	رواناب	نفوذپذیری	جهت شیب	فاصله از آبراهه	بارش	دما	خاک	CN
مجموع تضاد	۷/۸۸۳	۱۰/۵۱	۹/۵۴۴	۷/۳۲۱	۶/۳۷۱	۵/۴۷۱	۵/۸۹۹	۱۰/۱۲۳	۸/۴۳۲	۸/۹۷۱	۹/۱۲۵	۶/۶۳۱	۷/۷۷۱	۶/۵۸۹
انحراف معیار	۰/۲۹۹	۰/۳۲۳	۰/۴۸۸	۰/۹۸۱	۰/۷۸۵	۰/۱۱۸	۰/۲۱۱	۰/۶۲۱	۰/۲۹۰	۰/۳۶۹	۰/۲۱۳	۰/۳۷۱	۰/۶۹۹	۰/۱۴۹
میزان اطلاعات	۲/۵۲۳	۱/۶۲۳	۰/۹۹۹	۲/۲۵۱	۰/۸۵۱	۱/۴۲۳	۰/۷۶۶	۱/۳۸۷	۰/۹۲۱	۱/۲۱۵	۱/۳۱۷	۰/۸۵۲	۱/۱۴۲	۱/۱۳۱
وزن نهایی	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳	۰/۰۶۱	۰/۰۵۵	۰/۰۶۹	۰/۰۹۹	۰/۰۵۸	۰/۰۶۳	۰/۰۷۱	۰/۰۶۳	۰/۰۵۹	۰/۰۴۹	۰/۰۸۶	۰/۰۸۷

جدول ۴. مقادیر سودمندی (S)، تأسف (R) و (Q) در مدل ویکور

رتبه‌بندی بر اساس وزن‌دهی ساده	رتبه‌بندی بر اساس Q	رتبه‌بندی بر اساس R	رتبه‌بندی بر اساس S	مقادیر Q	مقادیر R	مقادیر S	گزینه‌ها
۷	۶	۵	۷	۰/۰۱۳	۰/۴۱	۰/۳۱	P1
۴	۲	۲	۴	۰	۰/۳۳	۰/۲۱	P2
۶	۴	۴	۶	۰/۲۳	۰/۶۱	۰/۷۷	P3
۲	۳	۳	۳	۰/۱۹	۰/۵۳	۰/۳۳	P4
۳	۱	۱	۲	۰/۸۵	۰/۳۷۱	۰/۸۳	P5
۵	۵	۵	۵	۰/۷۱	۰/۲۵۱	۰/۶۳	P6
۱	۱	۱	۱	۰/۶۳	۰/۱۲۳	۰/۵۹	P7

با توجه به مقادیر Q تنها گزینه P2 با مقدار صفر و P1 با مقدار Q ۰/۰۱۳ به عنوان رتبه برتر شناخته شده‌اند.

شبکه عصبی مصنوعی (ANNs)

شبکه پرسپترون چندلایه پیش‌خور^۱، با قانون یادگیری پس‌انتشار خطا^۲ و تابع آموزشی لونیبرگ - مارکوات^۳ ساده‌ترین و پرکاربردترین نوع شبکه عصبی است که در خصوص تخمین پارامترهای مجهول، مناسب ارزیابی شده است [۱۸]. این نوع شبکه دارای یک لایه ورودی^۴، یک یا چند لایه مخفی^۵ و یک لایه خروجی^۶ است. پارامترهای

ورودی در لایه اول و پارامترهای خروجی در لایه سوم قرار دارند. در هر لایه تعدادی گره (نرون) وجود دارد که از طریق وزن‌ها به گره‌های بعدی متصل می‌شوند. تعداد نرون‌ها در لایه ورودی وابسته به تعداد پارامترهای ورودی و تعداد نرون در لایه خروجی وابسته به تعداد پارامتر خروجی است. به طور کلی، تعداد نرون در لایه پنهان تابع ضابطه خاصی نبوده و تعیین تعداد مناسب آن فقط از طریق سعی و خطا امکان‌پذیر است. به بیان دیگر، تعداد بهینه نرون‌های مخفی زمانی حاصل می‌شود که شبکه عصبی بهترین پردازش را با کمترین خطا در هر دو مرحله آموزش و آزمون مدل انجام دهد. در ساختار شبکه عصبی مصنوعی هر نرون

1. Multi-Layer Perceptrone
2. Back Propagation Error
3. Levenberg-Marquardt
4. Input Layer
5. Hidden Layer
6. Output Layer

سنتی به کار می‌روند، استفاده شود. آزمون گاما مقدار خطای برآورد شده (واریانس خطا) را با توجه به داده‌های مستقیم نشان می‌دهد. از این رو، برآورد خطایی که به آن آزمون گاما گفته می‌شود، می‌تواند معادل مجموع مربعات خطای غیرخطی در نظر گرفته شود. برای درکی بهتر از آزمون گاما چنانچه فرض شود دو نقطه x و x' با همدیگر در فضای ورودی متناظر با خروجی‌های y و y' به هم نزدیک شوند، باید در فضای خروجی نیز این دو نقطه به هم نزدیک شوند. در غیر این صورت، نزدیک نبودن این دو نقطه ناشی از اختلافی خواهد بود که از خطاها (نویزها) ایجاد می‌شوند.

نتایج مربوط به آزمون گاما به منظور انتخاب ترکیب بهینه را نشان می‌دهد. به منظور تعیین ترکیب بهینه از ورودی مدل‌ها با استفاده از آزمون گاما، اثر حذف هر یک از متغیرها از ترکیبی که در آن همه متغیرها وجود داشته باشند، انجام پذیرفت و در هر مرحله مقدار آماره گاما محاسبه شده و با مقدار آماره گاما بدون حذف متغیر مقایسه شد. ترکیباتی که در آنها مقدار آماره گاما با حذف هر یک از متغیرها از ترکیب همه متغیرهای ورودی (ترکیبات ۴ تا ۱۳) بیشتر از مقدار آماره گاما بدون حذف متغیر (ترکیب ۱) باشند، به عنوان ترکیب بهینه انتخاب می‌شوند (جدول ۶).

مطابق نتایج جدول مقدار آماره گاما در ترکیب شماره ۱، ۰/۱۹۷۱ است. در ترکیب ۳ با حذف متغیر کاربری اراضی مقدار آماره گاما نسبت به ترکیب ۱، به ۰/۲۰۷۶ افزایش می‌یابد. در ترکیب‌های ۶، ۹ و ۱۲ نیز با حذف متغیرهای تراکم زهکشی، رواناب و فاصله از آبراهه، مقدار آماره گاما نسبت به ترکیب ۱ به ترتیب به ۰/۲۵۹۱، ۰/۲۳۶۸ و ۰/۲۶۹۹ افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان به ترتیب چهار متغیر مساحت، تراکم زهکشی، رواناب و فاصله از آبراهه را به عنوان متغیرهای مؤثر بر دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در نظر گرفت. کالیبراسیون شبکه‌های عصبی مصنوعی، شامل تعداد تکرارهای مناسب برای آموزش، تعیین مناسب‌ترین تابع محرکه در هر یک از لایه‌های پنهان و خروجی شبکه و تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان است. در جدول ۷ نتایج مربوط به مدل‌سازی دبی‌های حداکثر لحظه‌ای با استفاده شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است. ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی

عموماً بیش از یک ورودی دارد. به این ترتیب، هر نرون بردار ورودی را در وزن‌های خود ضرب کرده و با بیاس^۱ جمع می‌کند. حاصل این عبارت ورودی خالص به تابع محرکه خواهد شد که به صورت رابطه ۹ بیان می‌شود:

$$net_j = \sum_{i=1}^n WijXj + bi \quad (9)$$

net_j ورودی خالص به تابع محرکه، wij ماتریس وزن‌های شبکه، xj بردار ورودی به شبکه، bi بردار بیاس شبکه هستند [۱۳]. در شبکه‌های عصبی، تابع‌های محرک گوناگونی به کار گرفته می‌شود که در پژوهش حاضر سه تابع محرک خطی^۲ لجستیک^۳ و تانژانت هیپربولیک^۴ برای لایه‌های مخفی و تابع محرک خطی برای لایه خروجی استفاده شد.

پس از نرمال کردن داده‌ها، برای انجام محاسبات و ساخت شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار NeuroSolutions 5 استفاده شد. برای تعیین میزان تأثیرگذاری هر یک از متغیرهای ورودی در اندازه تغییرات متغیر خروجی تحلیل، حساسیت‌سنجی انجام گرفت و با تغییر یک متغیر ورودی در دامنه مورد قبول و ثابت نگه داشتن سایر متغیرها نسبت به برآورد مقدار متغیر خروجی اقدام شد. درصد تغییرات متغیر خروجی نشان‌دهنده میزان اهمیت متغیر ورودی مربوطه است. توزیع لوگ پیرسون نوع سوم (LP_3) با کمترین میزان خطا و بیشترین تعداد رتبه اول به عنوان مناسب‌ترین تابع برای برازش دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌ها انتخاب شد [۱۹]. معمولاً به منظور انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع، از آزمون‌های برازش کای اسکور و کلموگروف - اسمیرنوف استفاده می‌شود. در انتخاب توزیع مناسب هیچ‌گونه توافقی بین هیدرولوژیست‌ها وجود ندارد، ولی می‌توان توزیع مناسب را براساس کمترین میزان خطا در نظر گرفت [۲۰]. بر همین اساس، با استفاده از آزمون برازش کلموگروف - اسمیرنوف مناسب‌ترین تابع توزیع آماری انتخاب شد. جدول ۵ نتایج انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای را نشان می‌دهد.

محاسبه گاما شکل ساده‌ای از انحراف خطا است، در نتیجه گاما مقداری کلی است که می‌تواند در بسیاری از توجیحات آماری و در هر موردی که روش‌های آماری

1. Bias
2. Pure line Function
3. Logistic Function
4. Hyperbolic Tangent Function

بهترین حالت مدل شبکه عصبی مصنوعی، تعداد ۴۰ تکرار برای آموزش، تابع محرکه (Tanh) برای لایه مخفی و (Pure line) برای لایه خروجی و تعداد ۱۰ نرون در لایه مخفی به دست آمد.

براساس آماره ناش - ساتکلیف نشان می‌دهد دقت مدل سازی یک روند سینوسی دارد. به طوری که دقیق ترین مدل شبکه عصبی مصنوعی در دوره بازگشت ۱۰ سال با آماره ناش - ساتکلیف ۰/۸۱ در مرحله آزمون است. در

جدول ۵. انتخاب بهترین تابع توزیع آماری منطقه‌ای

توزیع آماری	لوگ پیرسون نوع سوم	لوگ نرمال سه پارامتری	لوگ نرمال دو پارامتری	پیرسون نوع سوم	گامای دو پارامتری	گمبل	نرمال
جمع نمرات (حداقل خطا)	۱۴۳	۱۷۵	۲۱۱	۲۲۶	۲۰۳	۲۸۱	۴۰۳
تعداد رتبه اول	۲۱	۱۶	۵	۵	۶	۴	۴

جدول ۶. انتخاب متغیرهای تأثیرگذار بر دبی‌های سیلاب با استفاده از آزمون گاما

شماره ترکیب	متغیر	گاما (T)
۱	All	۰/۱۹۷۱
۲	اقلیم - All	۰/۲۰۶۱
۳	کاربری اراضی - All	۰/۲۷۰۶
۴	ارتفاع - All	۰/۱۱۰۱
۵	شیب - All	۰/۱۸۵۰
۶	تراکم زهکشی - All	۰/۲۹۵۱
۷	واحد ژئومورفولوژی - All	۰/۱۵۸۹
۸	لیتولوژی - All	۰/۱۴۱۷
۹	رواناب - All	۰/۲۳۶۸
۱۰	نفوذپذیری - All	۰/۱۵۵۵
۱۱	جهت شیب - All	۰/۱۷۲۱
۱۲	فاصله از آبراهه - All	۰/۲۶۹۹
۱۳	بارش - All	۰/۱۶۵۱
۱۴	دما - All	۰/۱۲۷۷
۱۵	خاک - All	۰/۱۶۲۰

جدول ۷. نتایج مدل سازی با شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آموزش و آزمون

دوره بازگشت (سال)	آرایش شبکه	لایه مخفی	لایه خروجی	تعداد تکرار	R ^۲	RMSE آموزش	NSC	R ^۲	آموزش RMSE (جذر میانگین مربع خطا)	NSC
۵۶				۵۶	۰/۶۸	۱۵/۰۶	۰/۵۹	۰/۸۹	۱۶/۶۸	۰/۷۱
۲	۱-۱۲-۴	Tanh	Pure line	۲۳	۰/۵۷	۱۸/۰۴	۰/۶۸	۰/۸۱	۵۵/۲۳	۰/۶۹
۵	۱-۱۳-۴	Logistic	Pure line	۲۳	۰/۵۷	۲۱/۲۳	۰/۷۱	۰/۷۸	۷۱/۶۶	۰/۸۸
۱۰	۱-۸-۴	Tanh	Pure line	۴۴	۰/۴۶	۶۶/۶۶	۰/۸۱	۰/۸۵	۵۹/۶۹	۰/۷۳
۲۵	۱-۹-۴	Logistic	Pure line	۲۵	۰/۳۱	۵۱/۷۶	۰/۶۳	۰/۸۲	۸۱/۱۱	۰/۶۶
۵۰	۱-۱۲-۴	Tanh	Pure line	۳۶	۰/۳۷	۴۴/۹۹	۰/۵۶	۰/۸۹	۴۳/۱۲	۰/۷۴
۱۰۰	۴-۴-۱۲	Logistic	Pure line	۳۱	۰/۲۹	۳۱/۶۳	۰/۴۴	۰/۹۱	۸۴/۱۳	۰/۸۸

اجرای مدل L-THIA

برای تهیه لایه رواناب از مدل L-THIA استفاده شده است. این مدل در واقع براساس معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا و روش شماره منحنی (CN) طراحی شده است. با این تفاوت که روش شماره منحنی CN برای بارش‌های ۲۴ ساعته ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۷) و مجزایی که در یک منطقه رخ می‌دهد، به کار می‌رود، اما با استفاده از مدل L-THIA می‌توان رواناب سالانه را با توجه به تک‌تک بارش‌های مجزای رخ داده محاسبه کرد و به کل رواناب سالانه رسید. الحاقی L-THIA مجموعه‌ای از ابزارها را در نرم‌افزار Arc GIS فراهم می‌سازد که قادر است با وارد کردن داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد نظر، نقشه کاربری اراضی، لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، رواناب تولیدی هر منطقه را با توجه به ویژگی که هر منطقه دارد را تهیه کند [۸]. برای تهیه نقشه رواناب، داده‌های بارش روزانه یکی از پارامترهای مهم استفاده شده در این زمینه است. مدل L-THIA با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه و مقدار CN، رواناب روزانه را جمع می‌زند و رواناب سالانه را ارائه می‌کند. به این ترتیب که تعداد بارش‌های روزانه در یک سال برحسب میزان بارشی که انجام یافته جمع شده و میزان بارش طی یک سال بر مجموع روزهای بارانی میانگین گرفته می‌شود و سپس، تمام ۲۰ سال بارش به این شیوه محاسبه می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در الحاقی L-THIA مقادیر CN پیش‌فرض برای کاربری‌ها و ترکیب گروه‌های هیدرولوژیکی خاک آماده شده است که با معرفی لایه‌های

مورد نیاز مقدار رواناب را برای بخش‌های مختلف حوضه محاسبه می‌کند. بعد از اینکه هر یک از لایه‌های یادشده آماده شدند، اطلاعات در محیط نرم‌افزار Arc Map وارد الحاقی L-THIA و نقشه رواناب منطقه تهیه شد. پس از آماده‌سازی، لایه‌های فازی با استفاده از عملگر مناسب لایه‌ها همپوشی می‌شوند. در پژوهش حاضر از عملگر گامای فازی استفاده شده است که نقش تعدیلی نسبت به نتیجه جمع و ضرب فازی دارد و حساسیت خیلی زیاد عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. این عملگر برحسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطه ۱۰ تعریف می‌شود.

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^{\gamma} \times (\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma} \quad (10)$$

پس از تعیین عضویت برای هر یک از لایه‌های وابسته به پارامترهای مؤثر روی سیل‌خیزی در منطقه مطالعه‌شده و اجرای مدل سیل‌خیزی منطقه، نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی بر گامای ۰/۷، ۰/۸، ۰/۶ به دست آمد. برای تعیین مناسب‌ترین گاما در پهنه‌بندی سیل‌خیزی مقدار همبستگی بین لایه‌های اولیه و نقشه‌های نهایی گاماهاى مختلف در محیط Arc GIS به دست آمد (جدول ۸). گامای ۰/۸ بیشترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اولیه دارد. بنابراین، گامای ۰/۸ به عنوان نقشه نهایی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی انتخاب شد.

جدول ۸. نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی گاما

گاما	اقلیم	کاربری اراضی	شیب	تراکم زهکشی	ژئومورفولوژی	لیتولوژی	رواناب	نفوذ پذیری	جهت شیب	فاصله از آبراهه	بارش	دما	خاک
۰/۷	۰/۶۱	۰/۷۰	۰/۲۸	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۶۳
۰/۸	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۳۹	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۳۶	۰/۴۹	۰/۶۹
۰/۶	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۴۲

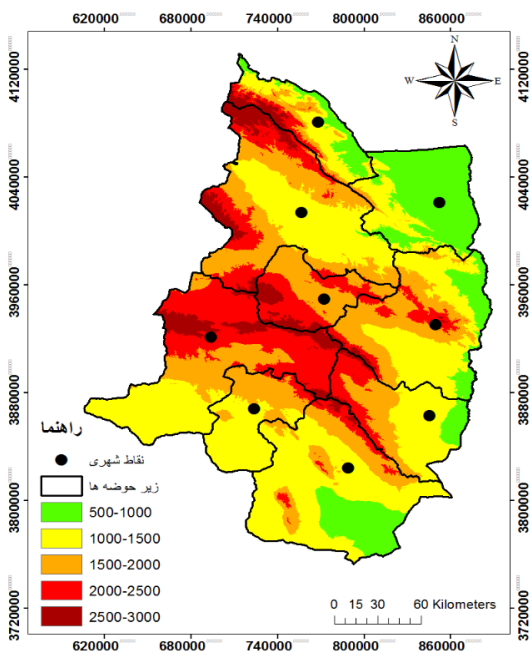
نتایج و بحث

تشریح عوامل مؤثر در سیل‌خیزی حوضه‌ها

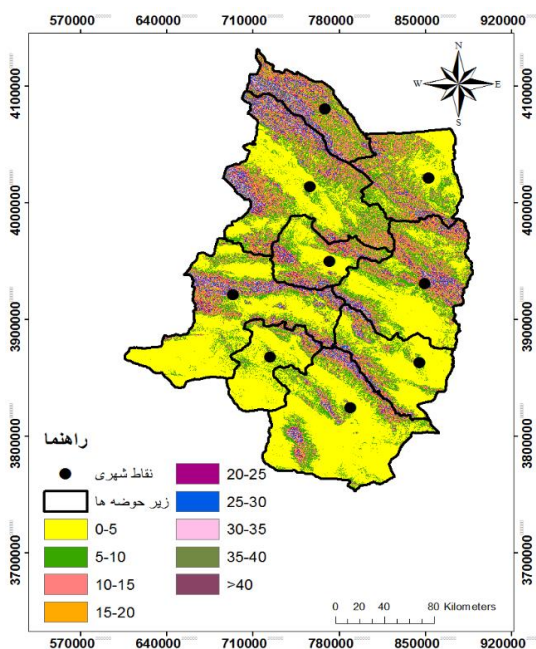
اقلیم: اقلیم پارامتری است که تأثیر زیادی بر وضعیت جمعیتی، پوشش گیاهی، نوع خاک، میزان فرسایش و دیگر فرایندهای محیطی دارد. در بین عوامل مؤثر بر اقلیم، پارامتر، بارندگی و دما بیشترین نقش را ایفا می‌کنند. به

همین دلیل، امروزه بیشتر اقلیم‌نماها براساس این دو پارامتر برنامه‌ریزی شده‌اند. حوضه‌های مطالعاتی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک علاوه بر کمی بارندگی، توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی و شدت بارش‌ها با سیل‌های مخرب روبه‌رو است (شکل ۲).

ارتفاع: پستی و بلندی حوضه عاملی است که کارکرد زیادی در مقدار و نوع ویژگی‌های جوی، وضعیت پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، میزان رواناب و در نهایت، ایجاد سیلاب حوضه دارد (شکل ۴).

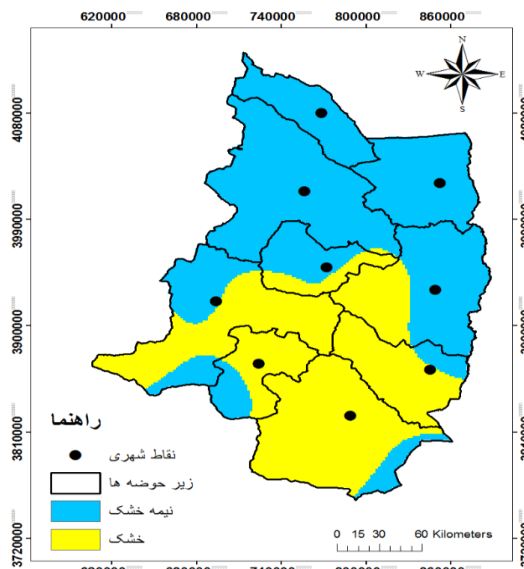


شکل ۴. نقشه ارتفاع از سطح دریا (متر)



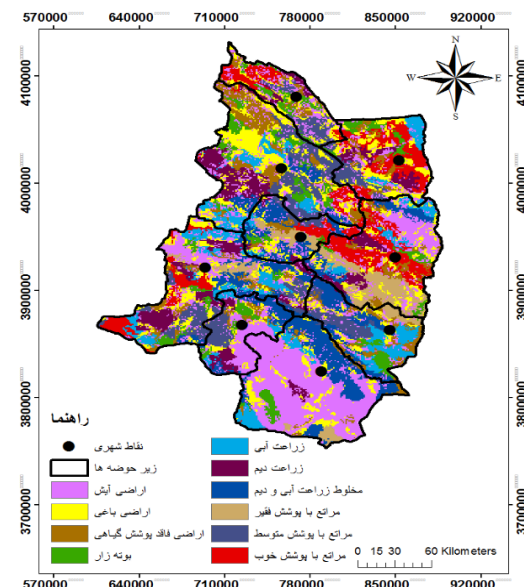
شکل ۵. شیب منطقه بر اساس درجه

شیب: شیب اراضی، تعیین‌کننده چگونگی و میزان جریان و سرعت حرکت آب است. به این ترتیب که در



شکل ۲. نقشه اقلیم

کاربری اراضی: کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره رطوبت خاک و یا کاهش نفوذپذیری شود، موجب افزایش بدهی سیلابی می‌شود [۲۱]. وجود زمین‌های دیم، اراضی فاقد پوشش گیاهی، مراتع فقیر با پوشش بوته‌زار در مقابل ریزش‌های جوی بازتابی متفاوت با زمین‌هایی که دارای پوشش گیاهی مترکم هستند، دارند. با افزایش تراکم پوشش گیاهی از شدت رواناب‌های سطحی که در نهایت، منجر به ایجاد سیل می‌شوند، کاسته می‌شود (شکل ۳).

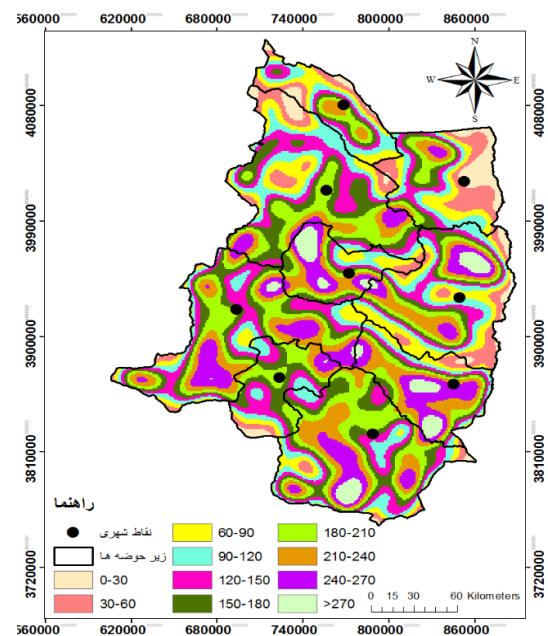


شکل ۳. نقشه کاربری اراضی

رودخانه‌ای یا تراس آبرفتی یک عارضه ژئومورفولوژیکی و نوعی پادگانه (تراس) است که توسط رودخانه به وجود می‌آید. در یک دره بر اثر پایین رفتن سطح اساس رودخانه در رسوبات خود، بقایای رسوبات آبرفتی، مشرف بر خط‌القعر کنونی رودخانه می‌شود و به این ترتیب، یک پادگانه آبرفتی به وجود می‌آید و رود در سطح پایین‌تری جریان پیدا می‌کند. هر پادگانه آبرفتی دارای یک قسمت مسطح است که ارتفاع بیشتری نسبت به خط‌القعر خود دارد. این سطح، در حقیقت همان بستر طغیانی قدیمی است و یک کناره با شیب بسیار تند دارد. مخروط‌افکنه ته‌نشست‌های بادبزنی‌شکلی هستند که به وسیله رودخانه‌ها در محل‌هایی که شیب آنها به طور ناگهانی کم می‌شود، پدید می‌آیند. هنگامی که آبراهه‌ها از دره‌های پرشیب کوهستان وارد منطقه کم‌شیب و دشت شوند، به دلیل کاهش سرعت آب رسوبات خود را به صورت مخروط‌باز شده‌ای به جا می‌گذارند که مخروط‌افکنه یا مخروط آبرفتی نامیده می‌شود. مخروط‌افکنه در نواحی خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی بیشتر به صورت پراکنده است، گسترش زیادی دارد. مخروط‌افکنه‌ها معمولاً در محل خروجی دره به دشت پدید می‌آیند. دق یا پلایا یکی از شکل‌های ژئومورفولوژیکی است که در پست‌ترین قسمت حوضه آبریز یا دشت‌های سطحی به وجود می‌آید. دق مهم‌ترین حوضه رسوبی در محیط تبخیری است. در دق‌ها زهکش مشخصی وجود ندارد و شیب توپوگرافی آن نزدیک به صفر است. با اینکه در دق سطح آب بالاست، ولی به علت اقلیم خشک و ویژگی قلیایی زیاد، پوشش گیاهی بسیار کم بوده یا اصلاً وجود ندارد. دق‌ها در فصل‌های مرطوب پر آب می‌شوند، ولی در فصل خشک آب خود را از دست می‌دهند. برخی نیز همیشه خشک هستند. دشت سیلابی منطقه نسبتاً مسطحی است که از کناره آبراهه اصلی تا پای دیواره دره امتداد دارد. علاوه بر این، سطوحی که در زمان دبی‌های بالا توسط آب رودخانه اصلی پوشیده می‌شوند نیز جزء دشت سیلابی به حساب می‌آید. رسوبات تشکیل‌دهنده دشت سیلابی بیشتر آبرفت حاصل از رودخانه اصلی همراه با مقادیر ناچیزی از رسوبات بادی یا مواد کوهرفتی منتقل شده از دیواره‌های دره است. در زمان وقوع سیل، عرض کانال افزایش می‌یابد، این افزایش عرض شامل بخشی یا تمام دشت سیلابی می‌شود

اراضی با شیب شدید، تحت تأثیر نیروی ثقل آب دارای سرعت زیادی می‌شود [۴]. شیب حوضه آبریز رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای با مقدار نفوذ و جریان سطحی و نیز رطوبت خاک و مقدار دخالت آب‌های زیرزمینی در دبی رودخانه دارد. با توجه به شرایط حوضه‌های مطالعاتی، بخش شمالی حوضه دارای شیب بیشتر است (شکل ۵).

تراکم زهکشی: این پارامتر با سیل‌خیزی رابطه معکوس دارد. بنابراین، از رابطه خطی کاهنده در تعیین عضویت این لایه استفاده شده است. وضعیت شبکه زهکشی تأثیر زیادی بر وقوع سیلاب دارد. جریان در آبراهه‌ها سریع‌تر از جریان سطحی یا روی زمینی است و بنابراین، هر چقدر تراکم زهکشی زیادتر باشد، سرعت تجمع رواناب سریع‌تر شده و منحنی صعود هیدروگراف دارای شیب تندتری می‌شود. افزون بر تراکم زهکشی، الگوی شبکه هیدروگرافی، که خود تابعی از ویژگی‌های ژئومورفولوژی سنگ‌شناسی، خاک‌شناسی و امثال آن است، کارکرد زیادی در تولید دبی‌های سیلابی در حوضه دارد. معمولاً برای شرایط یکسان فرم درختی استعداد بیشتری برای تولید دبی‌های اوج زو درس نسبت به سایر شکل‌های زهکشی دارد (شکل ۶).

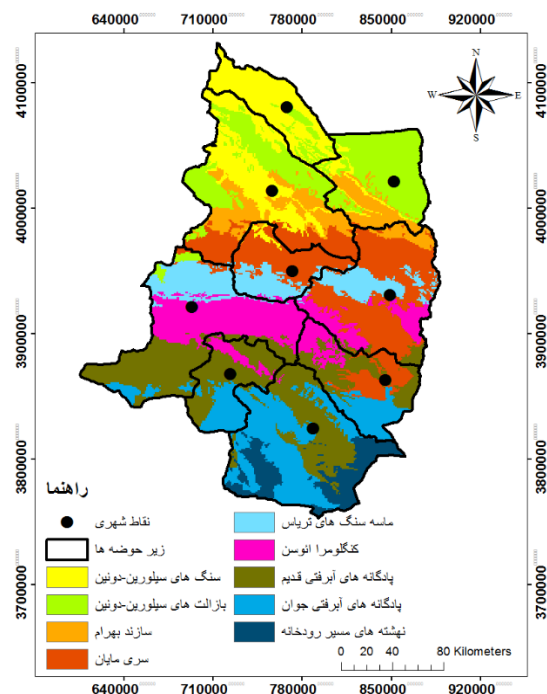


شکل ۶. تراکم زهکشی

واحدهای ژئومورفولوژی

نواحی کوهستانی و تپه‌ای، دره‌های رودخانه‌ها، سرزمین‌های مسطح برای ایجاد سیل هستند. پادگانه

سیمای عمومی حوضه از جمله چگونگی فرسایش پذیری، تراکم و الگوی زهکشی و در نتیجه، تولید رواناب سطحی همگی متأثر از وضعیت زمین شناسی حوضه است. ویژگی‌های سنگ شناسی در میزان نفوذ پذیری آب در درون زمین و یا آبدوی مستقیم و در نتیجه، تعادل جریان رودخانه و یا سیل خیزی حوضه تأثیر زیادی دارند. چگونگی تخلیه آب زیرقشری و آب‌های زیرزمینی کم عمق به رودخانه که متأثر از ویژگی‌های زمین شناسی است، روی جریان پایه و در نتیجه، دبی سیلابی اثر می‌گذارد. بیشترین واحد زمین شناسی با نفوذ پذیری کم شامل نهشته‌های عهد حاضر و رسوبات آبرفتی قدیم است.

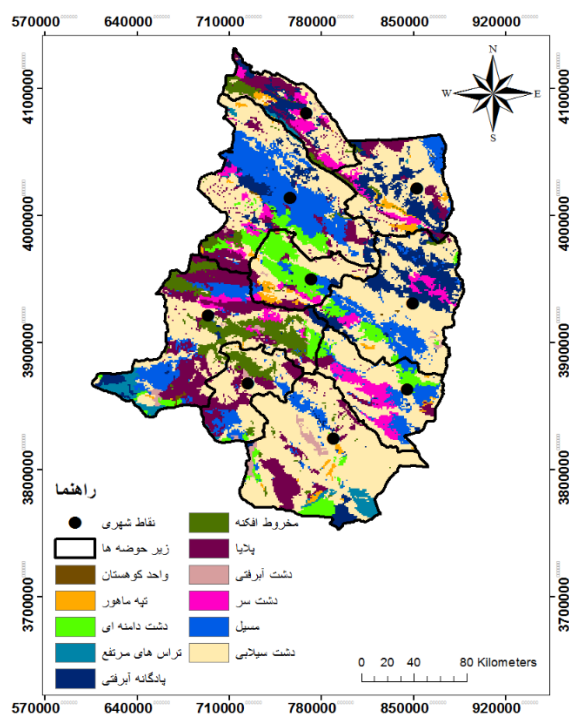


شکل ۸. لیتولوژی منطقه مطالعاتی

رواناب

نقشه ضریب رواناب سطحی حوضه از ترکیب نقشه‌های شیب، کاربری اراضی، الحاقی L-THIA و تیپ خاک تهیه شد. مقدار ضریب رواناب بالقوه برای کل حوضه در یک شبکه سلولی با ابعاد ۳۰*۳۰ محاسبه شد. معمولاً مناطقی با ضریب رواناب بیش از ۰/۵۳ درصد در شیب‌های زیاد، کاربری کشاورزی و خاک نفوذناپذیر قرار دارند. نقشه تولید رواناب می‌تواند مبنایی برای اهداف کنترل رواناب در مناطق بالادست باشد (شکل ۹).

که به منظور انطباق با دبی وسعت یافته است. همچنین، سرعت و عمق جریان نیز افزایش نسبتاً کمی را به خود اختصاص می‌دهند. با این حال، تعریف حدود یک دشت سیلابی به طور محلی برحسب منطقه مستغرق در یک سیلاب با دوره بازگشت خاص و مشکلات ناشی از آن سیلاب است، از این رو، فراوانی سیلاب ممکن است یک عامل تعیین کننده باشد. دشت سیلابی نتیجه‌ای از تغییرات در رژیم جریان و تدارک رسوب طی زمانی از حداقل زمان زمین شناسی اخیر است. برخی از مسیل‌ها عوارض باقی مانده‌ای هستند که در دوره‌های بارانی قبلی در نتیجه افزایش جریان سطحی یا زیرکنی آب‌های زیرزمینی ایجاد شده‌اند. سایر مسیل‌های بیابانی سیستم‌های فعال پراکنده هستند. بارش‌های سیل آسا می‌تواند موجب سیلاب شدید در مسیل‌ها شود (شکل ۷).



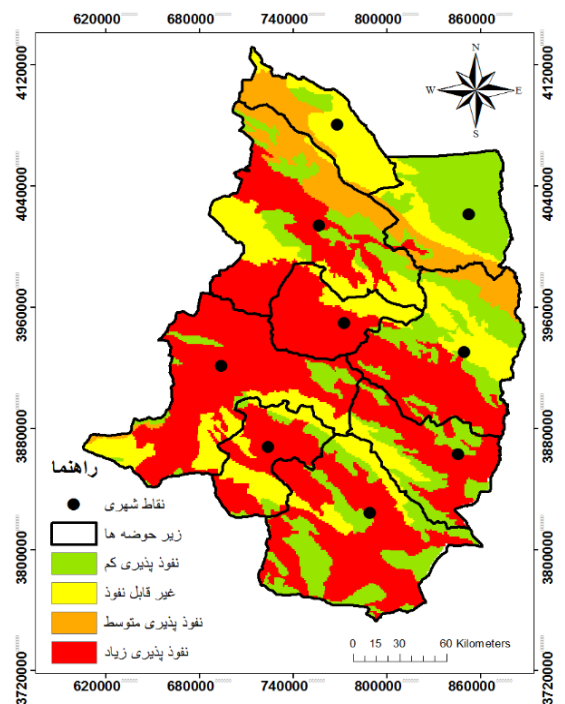
شکل ۷. ژئومورفولوژی منطقه

لیتولوژی

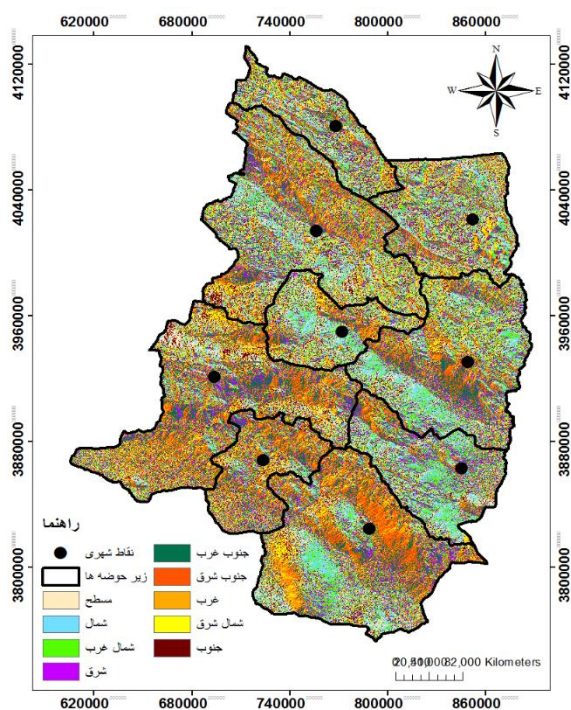
واحدهایی با تخلخل زیاد و مقاومت کم، میزان نفوذ پذیری زیاد و رواناب کمتری تولید کرده، ولی واحدهایی با تخلخل کم و مقاومت بیشتر، میزان نفوذ پذیری کم و رواناب زیادی تولید می‌کنند. زمین شناسی مهم ترین نقش را در توزیع رواناب سطحی و زیرسطحی ایفا می‌کنند. به طوری که

زنگنه اسدی و همکاران: ارزیابی کارایی مدل‌های ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب... ۱۰۱

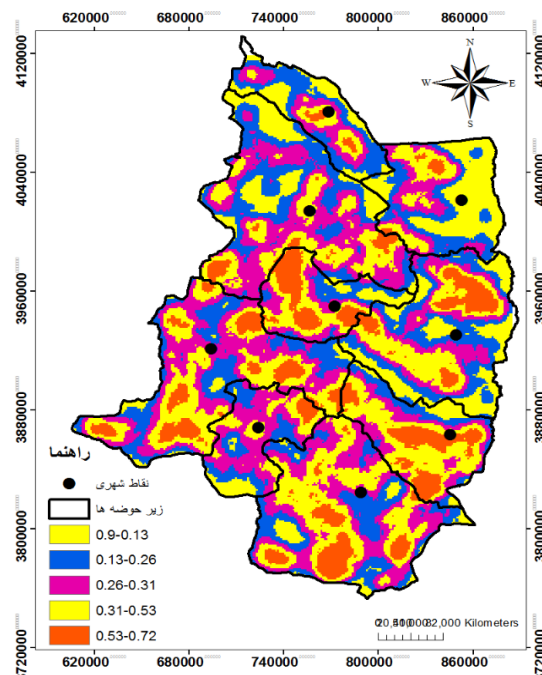
است که در معرض سیلاب‌های ادواری قرار دارند. در حوضه‌های مطالعه‌شده با توجه به تراکم زیاد شبکه آبراهه و نیز دائمی بودن رودها فواصل نزدیک به رودخانه بیشتر در معرض سیلاب قرار دارد (شکل ۱۲).



شکل ۱۰. نفوذ پذیری منطقه



شکل ۱۱. جهت شیب در محدوده مطالعاتی



شکل ۹. رواناب حوضه

نفوذ پذیری

این نقشه با توجه به لیتولوژی و خاک‌شناسی تهیه شده است. در حوضه مطالعه‌شده جنس زمین در واحدهای هیدرولوژیکی یکسان نیست و هر یک خصوصیات متفاوتی دارد. معمولاً وجود زمین‌های آهکی سبب نفوذ آب به درون زمین می‌شود و از شدت سیلاب‌ها می‌کاهد و آن را تعدیل می‌کند و در زمین‌های ماری و رسی شرایط عکس حاکم است. خاک‌های حوضه با نفوذپذیری مناسب به میزان زیادی، آب‌های حاصل از بارندگی را به زمین نفوذ داده و سبب تغذیه سفره‌های زیرزمینی می‌شود. در حالی که اراضی با بافت ریز و فشرده سبب می‌شود که آب نتواند در زمین نفوذ کند بلکه قسمت‌های زیادی از آب به صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌شود (شکل ۱۰).

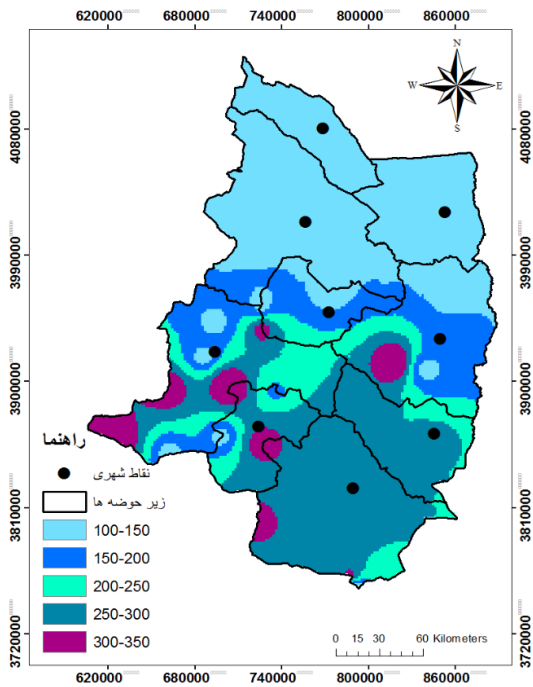
جهت شیب

به منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب، در سطح حوضه به ترتیب دامنه‌های شمالی، شمال غربی و غربی به دلیل دریافت بارش زیاد، ماندگاری طولانی مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر مستعد سیلاب هستند (شکل ۱۱).

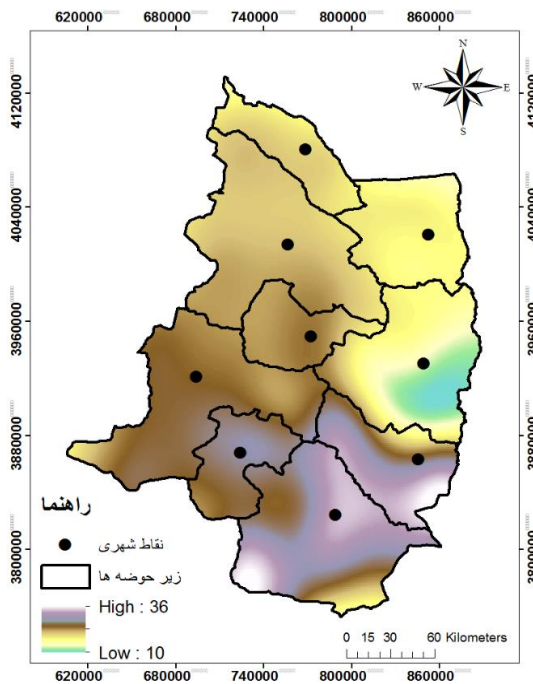
فاصله از آبراهه

از جمله مهم‌ترین عوامل افزایش خسارت‌های سیل استفاده نامعقول از حریم مسیل‌های به ظاهر مساعد بالقوه خطرناک

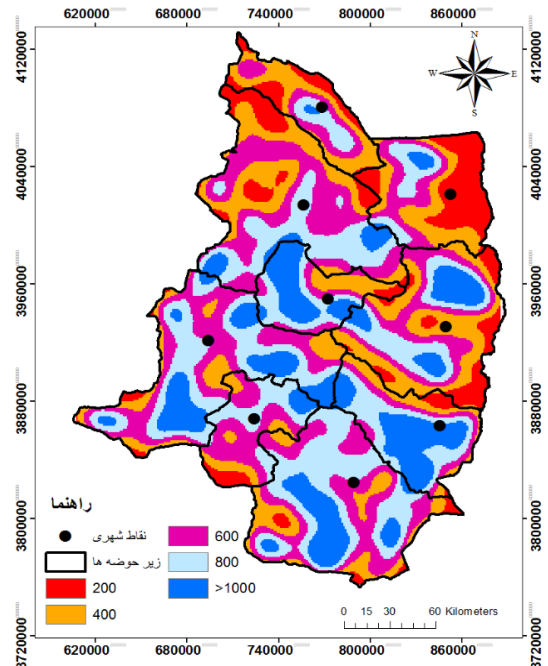
وجود اینکه شدت پستی و بلندی و درجه شیب در این اراضی کم است، هیچ‌گونه فرایند تجمعی نهشته‌های فرسایش از تپه‌ها یا کوهستان‌های مجاور صورت نمی‌گیرد. کلاس شیب ۰-۵ درصد است و این شیب‌ها به‌خصوص ثابت و یکنواخت دارای جهت کلی مشخص می‌شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۳. بارش در حوضه آبخیز میلی‌متر



شکل ۱۴. دما بر حسب سانتی‌گراد



شکل ۱۲. فاصله از آبراهه‌های حوضه بر حسب متر

بارش

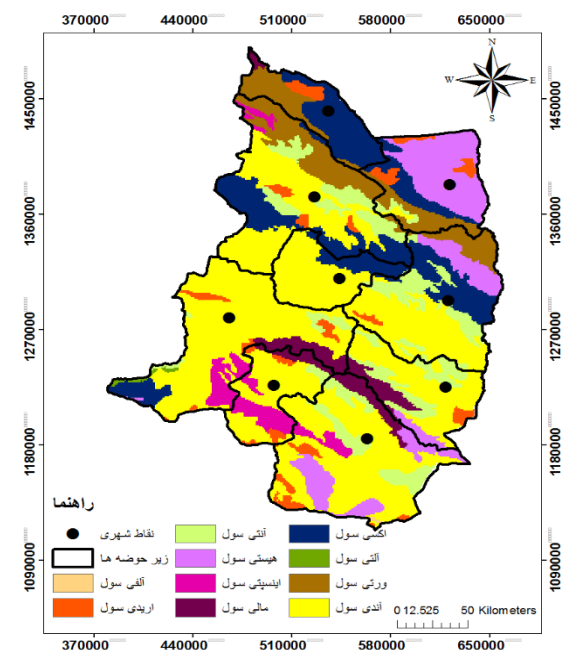
بارندگی یکی از بخش‌های مهم چرخه هیدرولوژیک آب در طبیعت است که در تعیین نوع اقلیم مناطق، شدت سیلاب‌ها، تغذیه آبخوان، سطح آب زیرزمینی و نوع گیاهانی که در منطقه می‌توانند استقرار پیدا کنند، نقش ویژه ایفا می‌کند. منطقه مطالعه شده اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارد. در این نوع اقلیم نزولات جوی اصلی‌ترین منبع رطوبتی به شمار می‌رود. در چنین شرایطی برای توسعه بیولوژیک یک منطقه باید از خصوصیات بارش آگاهی کامل داشت. منظور از خصوصیات بارش، آن دسته از مشخصه‌هایی است که بتوان به وسیله آنها بارش‌های نقاط مختلف یک منطقه را با یکدیگر مقایسه کرد. در این رابطه معمولاً شاخص‌هایی همچون مقدار، شدت زمان وقوع و نوع پراکنش بارش مد نظر قرار می‌گیرد. در این مطالعات با توجه به نیاز و همچنین، شرح خدمات میزان متوسط بارندگی سالانه و توزیع ماهانه آن و همچنین، تواتر بارندگی سالانه مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۳).

دما

بسیاری از عوامل جوی و محیطی تحت تأثیر عامل دما است. از جمله این عوامل می‌توان به اقلیم حوضه، میزان تبخیر، درصد رطوبت نسبی، تعداد روزهای یخبندان، زمان فعالیت‌های اجرایی و زمان آغاز رشد گیاهان اشاره کرد. با

خاک

خاک‌های آلفی‌سول سبب توقف نفوذ و افزایش رواناب می‌شوند. خاک‌های اریدی سول سبب ایجاد میانگین نفوذ یا بیشتر از آن می‌شوند و میل به کاهش رواناب دارند. خاک‌های آنتی‌سول، هیستوسول، اینسپتی‌سول و اکسی‌سول خاک‌های درشت‌دانه و عمیق یا خاکی از نوع ماسه لوم است و نفوذپذیری کمی دارد. خاک‌های آلتی‌سول با بافت متوسط تا درشت هستند و حداقل نفوذپذیری متوسط دارند. خاک‌های ورتی‌سول با بافت خاک ریز، مانند رس لوم حداقل نفوذپذیری را دارد. خاک‌های اندی‌سول دارای حداقل کم نفوذپذیری خاک است، مانند خاک‌های رس متورم. خاک آلتی‌سول بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب در منطقه مطالعاتی دارد (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. خاک در حوضه آبخیز

فشار به منابع و سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش تغذیه طبیعی آنها بر اثر تخریب پوشش گیاهی سبب افزایش احتمال بروز سیلاب‌های ناگهانی است. اقلیم خشک شامل حوضه‌های سرخس، تربت جام، تایباد و خواف است. تبدیل زمین‌های دیم به بوته‌زار در قسمت غربی حوضه‌ها واقع شده است. کاهش نزولات جوی و تغییر اقلیم از عوامل اصلی تنک شدن مراتع و تبدیل آن به اراضی فاقد پوشش گیاهی در قسمت شمالی حوضه‌هاست. علت اصلی کاهش

کیفیت مراتع را می‌توان گسترش فعالیت‌های انسانی در این جهات دانست. در قسمت‌هایی که شیب نسبتاً زیاد دارند، مناطق شمالی و غربی را شامل می‌شوند. مراتع ضعیف طی دوره آماری در این مناطق دیده می‌شود. مناطق با داشتن شیب غالب شمال و غرب که به سمت رودخانه اصلی است، می‌تواند کانون فرسایش و سیلاب منطقه شود. شیب حوضه آبریز رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای با مقدار نفوذ و جریان سطحی و نیز رطوبت خاک و مقدار دخالت آب‌های زیرزمینی در دبی رودخانه دارد. با توجه به شرایط حوضه مطالعه‌شده بخش شمالی حوضه شیب بیشتری دارد. غالباً در طبقه‌بندی حوضه‌ها از نظر شدت سیل‌خیزی با توجه به مشخصه‌های سینوپتیکی و مورفولوژیکی منطقه مطالعاتی، حوضه‌های با وسعت و شیب بیشتر و زمان تمرکز کمتر می‌تواند از شدت بیشتر سیل‌خیزی برخوردار باشد. پارامتر بارش به عنوان اصلی‌ترین عامل ایجاد سیل در یک منطقه است تا بارشی نباشد سیلابی (بارش‌های با شدت و مدت طولانی بیشتر) هم رخ نمی‌دهد. در حوضه‌های مطالعاتی فصل بهار، فصل بارش‌های ناگهانی، ذوب برف‌ها، فصل طغیان رودخانه و جاری شدن سیلاب‌های شدید در منطقه است. بیشترین بارش در حوضه‌های کلات، مشهد، فریمان و کمترین بارش در حوضه‌های خواف و تایباد است. آبراهه‌ها به عنوان بستر عبور رواناب ناشی از بارندگی فاکتور مهمی هستند که شناسایی تراکم و میزان فاصله آنها از ساخت و سازه در پیش‌بینی و کاهش خسارات سیلاب‌ها مؤثر است. با توجه به قرارگیری اکثریت مناطق مسکونی در حریم رودخانه، میزان خسارت‌های مالی و جانی هنگام بروز سیلاب به حد اکثر خود می‌رسد. بیشترین میزان سیل در زیرکلاس ۲۰۰-۴۰۰ متر رخ داده است. ارتفاع حوضه از سطح دریا نشان‌دهنده موقعیت اقلیمی آن حوضه است. هر چه به سمت شمال حوضه‌ها پیش رویم، بر میزان ارتفاع افزوده می‌شود. حداقل ارتفاع ۵۰۰ متر و بیشترین ۳ هزار متر است که نشان‌دهنده اختلاف ارتفاع زیاد بین سرشاخه حوضه‌ها و نقاط خروجی آنها است که می‌تواند علاوه بر تأثیر بارش بیشتر به صورت برف به دلیل اثرگذاری شیب و اختلاف ارتفاع زیاد به کوتاهی زمان تمرکز و سیل‌خیزی کمک کند. ویژگی‌های مورفومتری شبکه زهکشی تا حدودی متأثر از جنس سازندها، میزان شیب و برخی خصوصیات خاک مانند ضریب فرسایش‌پذیری، سیلت، مواد آلی و آهک هستند. در

آب‌های زیرزمینی، افزایش آبدی قنوات اهمیت زیادی دارد. زیرحوضه تربت جام، بیشترین رواناب و حوضه تربت حیدریه، کمترین میزان رواناب را دارد. در منطقه مطالعه‌شده در ماه‌های سرد سال بارندگی با شدت کم اتفاق می‌افتد و همراه با رگبارهای شدید نیست و هم‌زمان با گرم شدن هوا (از اواسط اسفند به بعد) با توجه به وجود آمدن شرایط مناسب در جو، رگبارهای شدیدی اتفاق می‌افتد و به تبع آن، سیلاب‌های شدیدی نیز اتفاق می‌افتد. پیامدهای ناشی از گرم شدن هوا و همراه شدن آن با وقوع سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها و نقش آنها بر مصارف آب است. در اواخر فصل تابستان که دما افزایش چشم‌گیری دارد، ذوب برف افزایش می‌یابد و احتمال وقوع سیلاب در منطقه رو به افزایش است. با کاهش ظرفیت نفوذپذیری خاک بارندگی‌ها بیشتر از آن که به داخل خاک نفوذ کنند و استفاده شوند، تبدیل به هرز آب‌ها می‌شود و از به هم پیوستن آنها سیلاب‌ها به وجود می‌آید.

خروجی حاصل از به‌کارگیری مدل‌های ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی

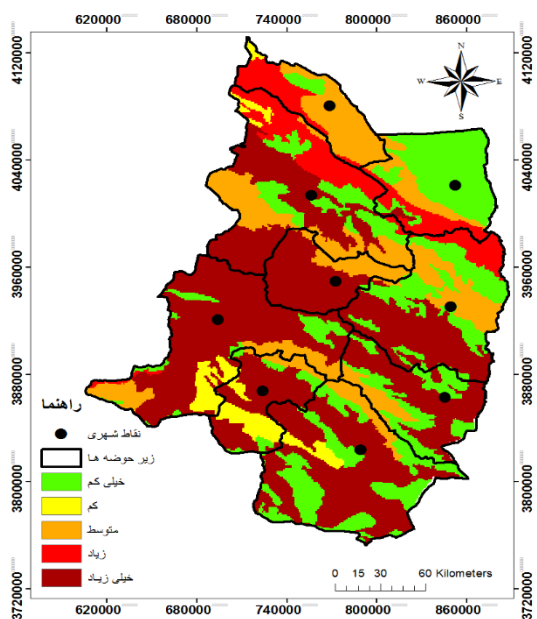
یکی از عملیات‌های مهمی که امروزه در زمینه کاهش مخاطرات ناشی از جریان سیلاب و رواناب در مناطق شهری و روستایی صورت می‌گیرد، پهنه‌بندی و مکان‌یابی مناطق پرخطر در معرض سیل و رواناب است. از آنجا که حوضه‌های مطالعه‌شده شرایط و ویژگی‌های سیل‌خیز بودن را دارد، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام به تهیه نقشه مکان‌یابی مناطقی که در خطر بسیار زیاد سیلاب و رواناب هستند، صورت گرفت. در نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب به وسیله مدل ویکور نشان می‌دهد ۲۵ درصد در محدوده خطر خیلی کم، ۱۳ درصد در محدوده خطر کم، ۱۷ درصد در محدوده خطر متوسط، ۲۰ درصد در محدوده خطر زیاد و ۲۵ درصد در محدوده خطر خیلی زیاد واقع شده است. بیشترین میزان آسیب‌پذیری در حوضه‌های تایباد، خواف، رشتخوار و فریمان قرار گرفته است (شکل ۱۶). پهنه‌بندی سیلاب به وسیله مدل L-THIA نشان می‌دهد ۷ درصد در محدوده خطر خیلی کم، ۱۳ درصد در محدوده خطر کم، ۱۵ درصد در محدوده خطر متوسط، ۱۱ درصد در محدوده خطر زیاد و ۵۴ درصد در محدوده خطر خیلی زیاد واقع شده است. بیشترین میزان آسیب‌پذیری در حوضه‌های تربت حیدریه، فریمان، رشتخوار، تربت جام، مشهد و کلات

سازنده‌های کواترن اگرچه فرسایش‌پذیری زیاد است، ولی تراکم زهکشی در آنها بسیار زیاد نیست. وجود رسوبات آبرفتی و فرسایش‌پذیری بسیار زیاد آنها منجر به گسترش جانبی پهنه‌های سیل‌گیر و کاهش ارتفاع سیلاب می‌شود. بیشترین تراکم زهکشی در حوضه مشهد و کمترین میزان در حوضه سرخس است. در میان لندفرم‌های ژئومورفولوژی پادگانه‌ها از شیب ملایمی برخوردار بوده و به لحاظ داشتن بافت مناسب و ضخامت درخور توجه به صورت اراضی زراعی و باغ‌ها درآمده است. دشت آبرفتی سطوح هموار خاک‌دار با شیب کم دارد. بیشتر جنس مواد خاک‌دار ریزدانه با مواد ماسه‌سنگی، شیلی و آهکی است. دشت سیلابی سطحی آبرفتی است که با آبراهه ارتباط دارد و اغلب زمان سیلاب، از آب پوشیده می‌شود. وسعت دشت سیلابی به طور معمول به مقدار تخلیه رود بستگی دارد. در مناطقی که عمل تراکم زهکشی افزایش می‌یابد، بار رسوبی نیز افزایش خواهد داشت. علت وقوع این سیلاب‌ها بارش باران‌های شدید و گاهی نیز همراه با ذوب برف است که باعث طغیان رودخانه و جاری شدن آب در زمین‌های حاشیه‌ای رود می‌شود. مخروط‌افکنه‌ها در سیلاب‌ها خسارت می‌بینند و به این دلیل، برای شناسایی مشخصات سیلاب‌ها (زمان-مکان وقوع و میزان خطر) باید مورد شناسایی قرار گیرند. سازنده‌های زمین‌شناسی با توجه به نفوذپذیر بودن یا نبودنشان در هدایت یا جذب آب‌های سطحی نقشی اساسی دارند. از سوی دیگر، میزان شدت سیلاب تأثیر اساسی در فرسایش‌پذیری سازنده‌ها دارد. سازنده‌های آبرفتی حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش دارند. در نتیجه، هنگام وقوع سیل رسوباتی با منشأ آبرفتی و کوهرفتی (زاویه‌دار و مستعد فرسایش) است که موجب افزایش بار بستر و تغییر مورفولوژی شده و باعث قدرت تخریبی آن در مواقع سیلابی می‌شود. رواناب یکی از اجزای سیکل هیدرولوژی است که پس از پدیده‌های بارش، برگاب، چالاب، تبخیر-تعرق و نفوذ ایجاد می‌شود. پیش‌بینی مقدار رواناب و سیلاب که طراحی اغلب سازه‌ها بر اساس این پارامترها انجام می‌شود، در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشکل است و ریسک زیادی دارد. روانابی که بعد از بارندگی در سطح حوضه جریان می‌یابد، توسط زهکش‌ها و آبراهه‌های کوچک جمع‌آوری و به آبراهه اصلی و از آنجا به خروجی حوضه هدایت شود. مهار این آب‌ها به منظور جلوگیری از خسارت‌های سیلاب، تغذیه سفره

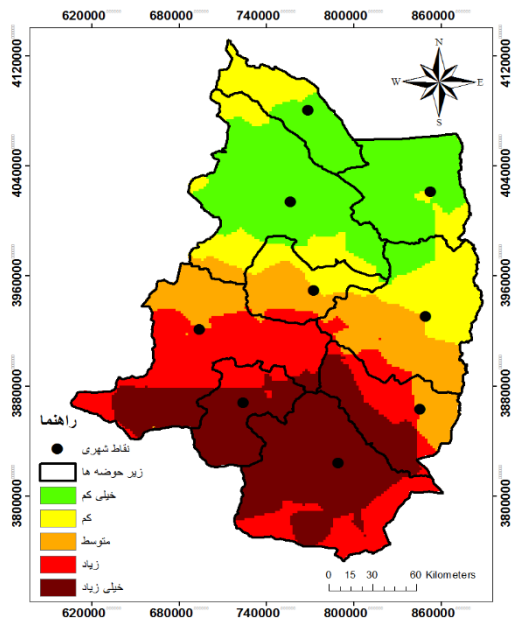
زنگنه اسدی و همکاران: ارزیابی کارایی مدل‌های ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب... ۱۰۵

فریمان، تربت جام، خواف، تایباد، رشتخوار و مشهد قرار گرفته است (شکل ۱۸). مدل L-THIA از بیشترین دقت نسبت به دو روش مدل‌سازی دیگر به منظور پیش‌بینی سیلاب برخوردار است. با توجه به ارزیابی مدل‌ها این مدل به علت دقت زیاد آماری قابلیت مناسبی در نشان دادن مناطق حساس و سیل‌خیز دارد.

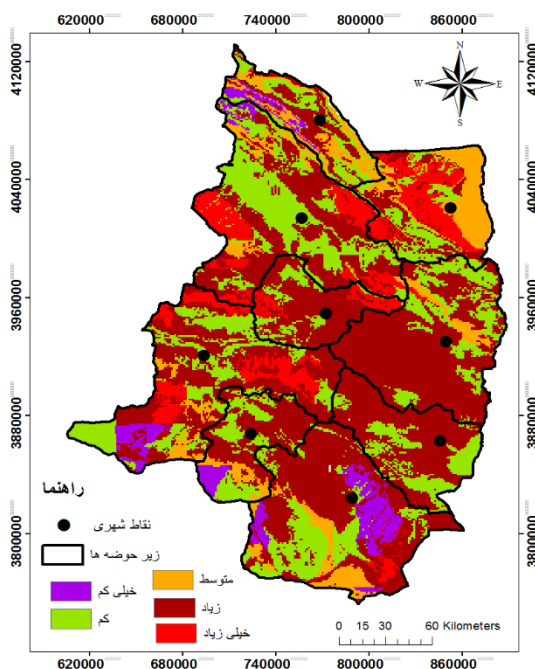
قرار گرفته است (شکل ۱۷). پهنه‌بندی سیلاب به وسیله مدل شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد ۱۰ درصد در محدوده خطر خیلی کم، ۸ درصد در محدوده خطر کم، ۱۴ درصد در محدوده خطر متوسط، ۵۱ درصد در محدوده خطر زیاد و ۱۷ درصد در محدوده خطر خیلی زیاد واقع شده است. بیشترین میزان آسیب‌پذیری در حوضه‌های



شکل ۱۷. پهنه‌بندی سیلاب با مدل L-THIA



شکل ۱۶. پهنه‌بندی سیلاب با مدل ویکور



شکل ۱۸. پهنه‌بندی سیلاب با مدل شبکه عصبی مصنوعی

نتیجه‌گیری

با بررسی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و مقایسه آنها با نقشه‌های معیار، به این نتیجه رسیدیم که مناطقی بسیار پرخطر از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی به طور عمده در واحدهای کوهستانی و پرشیب شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند. این مناطق پرخطر به طور عمده دارای لیتولوژی بسیار مقاوم و مقاوم به همراه خاک‌های نفوذناپذیر هستند و اغلب کاربری‌های این مناطق، به صورت رخنمون سنگی، مرتع و زراعی است. همچنین، این مناطق پرخطر در طبقات ارتفاعی بیشتر از ۲ هزار متر در شیب‌های بیشتر از ۴۰ درصد قرار گرفته‌اند. همچنین، این مناطق در دامنه‌های شمالی و غربی که رطوبت بیشتری و تابش انرژی خورشیدی کمتری دارند، واقع شده‌اند. از نظر بارندگی این مناطق از مقدار بارش بالا ۳۰۰ میلی‌متر است. همچنین، مناطق بسیار پرخطر در فواصل نزدیک به آبراهه ۲۰۰ متر قرار دارند. همچنین، مشخص شد که مناطقی از حوضه که از نظر زمین‌شناسی و لیتولوژی دارای سازندهای سطحی مقاوم بوده و ضریب نفوذپذیری آنها بسیار کم و پوشش گیاهی ناچیز است و به طور عمده قسمت‌های شمالی و جنوب غربی حوضه قرار دارند، از پتانسیل بیشتری برای بروز سیلاب برخوردارند. در مدل شبکه عصبی مصنوعی پس از انتخاب توزیع لوگ پیرسون نوع سوم براساس نتایج آزمون برازش کلموگروف-اسمیرنوف به عنوان دقیق‌ترین تابع توزیع آماری به منظور برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای برای دوره بازگشت‌های مختلف، نتایج آزمون گاما نیز نشان داد متغیر مساحت، تراکم زهکشی، رواناب و فاصله از آبراهه را به عنوان متغیرهای مؤثر بر دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در نظر گرفت. در مدل L-THIA نتایج آزمون گاما ۰/۸ بیشترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اولیه داشته است. در مدل ویکور با توجه به مقادیر Q تنها گزینه P2 با مقدار صفر و P1 با مقدار ۰/۱۳ به عنوان رتبه برتر شناخته شدند. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج محققانی از جمله اسفندیاری دارآباد و همکاران (۱۳۹۸)، حجازی و همکاران (۱۳۹۸)، دلیر و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. در مدل L-THIA طبقات با پتانسیل سیل‌خیزی کم، خیلی کم و متوسط قرار دارد. این مناطق بیشتر در بخش‌های غربی و پست حوضه‌ها قرار گرفته‌اند که علت آن را می‌توان بر اساس فعالیت‌های انسانی نیز مورد نظر قرار داد، به این صورت که بخش غربی حوضه‌ها به علت

شیب کم و وجود نفوذپذیری متوسط و خوب خاک مورد توجه ساکنان منطقه قرار گرفته و به عنوان مزارع از آن استفاده می‌شود و هرچند پوشش گیاهی در این بخش به صورت طبیعی نبوده و عامل انسانی به‌وجودآورنده این پوشش گیاهی است، ولی باز تا حدودی قوام‌دهنده نسبی بخش غربی حوضه‌ها شده و میزان فرسایش را تعدیل می‌بخشد. در جنوب شرق حوضه‌ها نیز به‌رغم کوهستانی و پرشیب بودن می‌توان پراکندگی این طبقات را مشاهده کرد. بررسی لایه‌های به‌کاررفته در پژوهش نشان می‌دهد این منطقه از حوضه‌ها به دلیل داشتن از گروه هیدرولوژیکی جنس سازندهای سست‌تر و نفوذپذیرتر، کاربری مرتعی و شیب کم از نظر پتانسیل سیل‌خیزی در کلاس پایین قرار گرفته است. بیشتر مناطق سیل‌خیز حوضه‌ها در نیمه شرقی و شمال شرقی قرار دارند. این مناطق از نظر کاربری زمین اغلب از نوع زمین‌هایی کشت دیم و یا مرتع فقیر هستند که نبود پوشش گیاهی مناسب در این بخش میزان فرسایش خاک و نارسایی در نفوذپذیری نزولات جوی را افزایش می‌دهد و از طرف دیگر، استفاده بیش از حد مراتع فقیر بخش شرقی حوضه‌ها و عدم رسیدگی و کنترل و نظارت از طرف مسئولان امر، میزان فرسایش و سیل‌خیزی حوضه در بالادست را افزایش می‌یابد. از جمله راه‌های پیشگیری و کاهش سیلاب می‌توان به افزایش ذخیره نزولات و نفوذ رواناب بر اثر اجرای پروژه‌های مختلف مکانیکی و در نتیجه، افزایش دبی آب چاه‌ها و چشمه‌ها برای انجام عملیات کشاورزی و باغداری به‌ویژه بر اثر اجرای بند سنگی ملاتی و گابیونی، کاهش میزان رسوب در پایین‌دست حوضه‌ها بر اثر رسوب‌گیری سازه‌های گابیونی و سنگی ملاتی، کاهش خطرات ناشی از سیلاب بر اثر نفوذ رواناب و افزایش زمان تأخیر رواناب ناشی از سازه‌های سنگی ملاتی و گابیونی در پایین‌دست حوضه‌ها و خروجی آن، بهبود شرایط اکولوژیکی و بوتانیکی مراتع و اکوسیستم منطقه در پایین‌دست بر اثر افزایش نفوذ رواناب و نیز بالا آمدن سطح سفره‌های آب زیرزمینی ناشی از اجرای عملیات بیولوژیکی و مکانیکی اشاره کرد.

منابع

- [1]. Topaloulu F. Determining suitable probability distribution models for flow and precipitation series of the Seyhan river basin. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2002; 26(5): 187-194.

- [2]. Asghari Saraskanrood S, Piroozi E, Zeinali B. Flood risk zoning in Aghlaghan Chay watershed using Vickor model. *Quantitative Geomorphological Research*. 2015; 4(3): 231-245. [Persian]
- [3]. Mehdizadeh J. Climate hazard analysis in Tabriz using fuzzy logic and ANP Model, Master's thesis in Geography. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. 2011: 1-163. [Persian].
- [4]. Kia M, *Soft Computing using MATALAB (5th Ed)*. Kian Publication. Iran. P.134.
- [5]. Chen Y, Zhou H, Zhang H, Du G, Zhou J. Urban flood risk warning under rapid urbanization, *Environmental research*. 2015; 139(4): 3-10.
- [6]. Afrooz B. Presenting an appropriate model in leveling the performance of urban management in laying the groundwork for entrepreneurship development (case study: Ardabil City). Supervisor: Ata Ghaffari Gilandeh, Master's thesis, Department of Geography and Urban and Rural Planning. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil. 2011: 1-153. [Persian].
- [7]. Kain C.L, Rigby E.H, Mazengarb C. A combined morphometric, sedimentary, GIS and modelling analysis of flooding and debris flow hazard on a composite alluvial fan. *Caveside, Tasmania. Sedimentary Geology*, 2018; 64(11): 286-301.
- [8]. Rezaei Moghadam M. H, Rajabi M, Danesh Faza R, Kheirizadeh M. Zoning and study of morphological effects of Zarrineh River floods (from Sari Qomish to Norouzlu Dam). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2016; 17(3): 1-20. [Persian].
- [9]. Rad M, Vafakhah M, Gholamalifard M. Flood mapping using HEC-RAS hydraulic model in part of Khorramabad watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2018; 7(5): 211-226. [Persian].
- [10]. Dawson C, Abrahart A. Y, Shamseldin R. L. Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*. 2016; 319(1-4): 391-409.
- [11]. Esfandiari Darabad F, Rahimi M, Gholamreza Pour M. Flood Flood zonation of Agerloo Cay Basin using the L-THIA method and fuzzy logic. *Quantitative Geomorphological Research*. 2019; 8(3): 71-155. [Persian].
- [12]. Abedini M, Fathi Jokdan R. Flood Risk Zoning in the Karganroud's Catchment Basin Using ArcGIS. *Hydrogeomorphology*. 2016; 7(11): 1-17. [Persian].
- [13]. Gaňová L, Zeleňáková M, Purcz P, Diaconu D. C, Orfánus T, Kuzevičová Ž. Identification of urban flood vulnerability in eastern Slovakia by mapping the potential natural sources of flooding-implications for territorial planning. *Urbanism Architecture Constructions*. 2017; 8(4): 365-376.
- [14]. Lee G, Choi J, Jun K. S. MCDM approach for identifying urban flood vulnerability under social environment and climate change. *Journal of Coastal Research*. 2017; 79(1): 209-213.
- [15]. Nadiri M. Flood Risk Zoning Using TOPSIS AHP Fuzzy Logic in GIS Environment (Case Study of Aydoghmush Watershed). *Geography Quarterly (Regional Planning)*. 2019; 9(3): 293-306. [Persian].
- [16]. Tehrany M, Pradhan S, Jebur B. Flood Susceptibility Mapping Using a Novel Ensemble Weights-of Evidence and Support Vector Machine Models in GIS. *Journal of Hydrology*, 2014; 512(33): 332-343.
- [17]. Kurtulus B, Razack, M. Modeling daily discharge responses of a large karstic aquifer using soft computing methods: artificial neural network and neuro-fuzzy. *Journal of Hydrology*, 2010; 381(1): 101-111.
- [18]. Karim M. A, Chowdhury J.U. A comparison of four distributions used in flood frequency analysis in Bangladesh. *Hydrological Sciences Journal*. 1995; 40(1): 55-66. [Persian].
- [19]. Hassannia D, Azari Amghani R, Valizadeh K. Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 2019; 10 (3): 59-74. [Persian].
- [20]. Hejazi A, Khodaei Gheslugh F, Khodaei Gheslugh L. Zoning of flood risk in the Warkash Chay catchment using HEC-RAS software and HEC-GEO add-on. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 2019; 1 (19): 33-53. [Persian].
- [21]. Ashour H. Study and analysis of the appropriateness and attractions of Amol industrial town in the location of industrial units, Supervisor Ata Ghaffari Gilandeh, Master's Thesis, Department of Geography and Urban and Rural Planning. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. 2011: 1-170. [Persian].
- [22]. Yang TH, Ho J, Hwang GD, Lin GF. An indirect approach for discharge estimation: a combination

among micro-genetic algorithm. hydraulic model and in situ measurement. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2014; 39(8): 46-53.

[23]. Sharifi Garmadreh E, Vafakhah M, Eslamia

S.S. Assessment the Performance of Support Vector Machine and Artificial Neural Network Systems for Regional Flood Frequency Analysis (A Case Study: Namak Lake Watershed). *JWSS*. 2019; 23(1): 351-366. [Persian].