

## تهیه نقشه مدیریت مخاطرات سیلاب با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لواسانات)

لیلا ابراهیمی\*

گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۵/۱۲ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۶/۲۱)

### چکیده

رخداد سیل یکی از سه مخاطره طبیعی و اصلی ایران است و به جرأت می‌توان گفت که حداقل در سال در یک نقطه از این سرزمین سیلاب بزرگی رخ می‌دهد. براساس مطالعات انجام گرفته، سالانه ۴۰ رخداد کوچک و بزرگ سیل در جای‌جای کشور رخ می‌دهد. همین موضوع ضرورت مطالعه در زمینه عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب را آشکار می‌سازد. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل‌گیر در منطقه و تعیین اولویت عوامل مؤثر در وقوع سیل با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی است. بدین ترتیب با توجه به مطالعات و پیشینه تحقیق، ۹ شاخص کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، شیب، ارتفاع، شاخص رطوبت، دبی رودخانه، توان آبراهه، بارش، و انحنا زمین انتخاب شدند. پس از تعیین عامل تورم واریانس و ضریب تحمل، با وارد کردن داده‌های مربوط به عوامل مؤثر به نرم‌افزار R، مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام گرفت و تأثیر عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در هر زیرحوضه تعیین شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در چهار پهنه خیلی خطرناک، خطرناک، با خطر متوسط و کم‌خطر در محیط ARC/MAP 10.2 تهیه شد. با توجه به نتایج تحقیق در همه زیرحوضه‌ها بارش مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب در منطقه شناخته شد. در حوضه‌های شمالی و غربی منطقه، دبی رودخانه و شیب رتبه‌های بعدی تأثیر در وقوع سیلاب را به خود اختصاص دادند، درحالی که کاربری اراضی در زیرحوضه‌های جنوبی منطقه از عوامل مهم در بروز سیلاب است. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بیش از نیمی از منطقه در پهنه خیلی خطرناک و خطرناک واقع شده است. بخش اعظم پهنه‌های خطرناک و خیلی خطرناک قسمت‌های شمالی، شمال غربی و غربی منطقه را در بر گرفته‌اند که شامل زیرحوضه‌های فشم، میگون و آهار است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم جنگل تصادفی، سیلاب، کاربری اراضی، مدیریت مخاطرات.

---

\* Email: geo.ebrahimi@yahoo.com

## مقدمه

سیل پدیده‌ای فراگیر و جهانی است [۲۲] که هر ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورد [۵]. سیل از جمله مخاطرات طبیعی است که خودبه‌خود به وجود نمی‌آید، بلکه عوامل زیادی اعم از طبیعی و انسانی موجب بروز آن می‌شوند [۲۱]. سازمان ملل متحد و هواشناسی جهانی، دهه ۹۰ میلادی را دهه کاهش مخاطرات طبیعی اعلام کردند و از همه کشورهای جهان دعوت شد تا با همکاری نهادها و سازمان‌های ملی و جهانی در کاهش آثار این‌گونه مخاطرات اهتمام بیشتری به خرج دهند [۱۹]. این مهم اهداف بسیاری را مدنظر داشت که مهم‌ترین آنها تغییر رفتار در واکنش به مخاطرات طبیعی است. اما در حال حاضر هدف اصلی بیشتر کشورهای جهان به سمت اقدامات پیشگیرانه قبل از وقوع مخاطرات سوق یافته و سعی در تغییر توجه اذهان عمومی به سمت آمادگی قبل از وقوع آن است [۲۶، ۱۵]. این موضوع نیازمند شناخت سطوحی از یک حوضه آبخیز که پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری دارند [۲۰] و تعیین اولویت عوامل مؤثر در وقوع آن، برای اقدامات آبخیزداری است که از موارد مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز است [۶]. کوبال و همکاران اعلام کردند که تعداد سیلاب و آسیب‌های ناشی از آن در دهه‌های اخیر در همه جا ایجاب می‌کند که روش‌های تحلیل، کنترل و مدیریت سیلاب بهبود یابد [۲۵]. یکی از راهکارهای کاهش خسارت سیلاب، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز است. به‌عبارت دیگر تفکیک نواحی سیل‌خیز و تعیین سهم عوامل مؤثر در سیل می‌تواند در تدوین راهکار مناسبی برای سیاست‌گذاری‌های میان‌مدت و بلندمدت در بهره‌برداری بهینه از اراضی اهمیت ویژه‌ای داشته باشد [۱۳]. از نقشه پهنه‌بندی خطر و سیلاب می‌توان به‌منزله ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی توسعه آینده و همچنین شناخت نواحی‌ای که توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیلاب ضروری است، استفاده کرد [۴]. یکی از روش‌های نوین برای تعیین اولویت عوامل مؤثر در وقوع سیلاب و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر استفاده از داده‌کاوی است [۱]. در زمینه به‌کارگیری روش‌های مختلف داده‌کاوی در انتخاب متغیرهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش مطالعاتی انجام گرفته است، اما این روش برای تعیین متغیرهای مؤثر در وقوع سیلاب چندان استفاده‌ای ندارد و بیشتر پژوهش‌ها بر پایه دیگر روش‌های آماری است [۱۷]. تحقیقات متنوعی در زمینه بررسی و پهنه‌بندی خطر سیل با به‌کارگیری مدل‌های مختلف در ایران و جهان صورت گرفته است که در ادامه به برخی از تازه‌ترین آنها اشاره می‌شود. بدری و همکاران (۱۳۹۵)، زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد استان چهارمحال و بختیاری را از نظر پتانسیل سیل‌خیزی بررسی کردند. در این تحقیق از روش

شماره منحنی برای برآورد تلفات بارش، از روش SCS برای شبیه سازی تبدیل بارش-رواناب در سطح زیرحوضه ها و از روش ماسکینگام به منظور روندیابی هیدروگراف سیل خروجی حوضه استفاده شد. نتایج اولویت بندی زیرحوضه ها از نظر دبی اوج نشان داد که زیرحوضه های درکش ورکش و بهشت آباد به ترتیب با ۲۹/۱۶ و ۲/۵ درصد، بیشترین و کمترین سهم را در دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه دارند. نتایج اولویت بندی براساس کاهش دبی به ازای واحد سطح نیز نشان داد که زیرحوضه بهشت آباد با داشتن کمترین مساحت نسبت به زیرحوضه های دیگر، بیشترین تأثیر را داشته است. زیرحوضه تنگ دهنو نیز کمترین تأثیر را از این نظر داشته است [۲].

عرب‌عامری و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی به پهنه بندی حساسیت سیل‌گیری در حوضه آبریز نکا در استان مازندران پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که عوامل درصد شیب، ارتفاع و کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب های منطقه داشته اند. همچنین نتایج نشان داد که ۱۷/۲۴ و ۱۵/۳۷ درصد از کل مساحت حوضه نکا در رده های حساسیت زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است [۱۲]. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷)، سیلاب های رودخانه قره‌سو در محدوده روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهرچای را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS بررسی کردند و دریافتند که با رخداد سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال، مساحتی در حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغ های حاشیه رودخانه قره سو به زیر آب خواهد رفت و خساراتی را برای کشاورزان منطقه به وجود خواهد آورد [۷]. طاها و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی به پهنه بندی خطر سیل براساس ژئومورفومتری حوضه در حوضه آبریز وادی قنا در مصر پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که بیشتر زیرحوضه ها در طبقه کم تا متوسط از نظر خطر سیل قرار دارند و فقط زیرحوضه شماره ۱۵ در طبقه خیلی زیاد قرار گرفته است [۲۵].

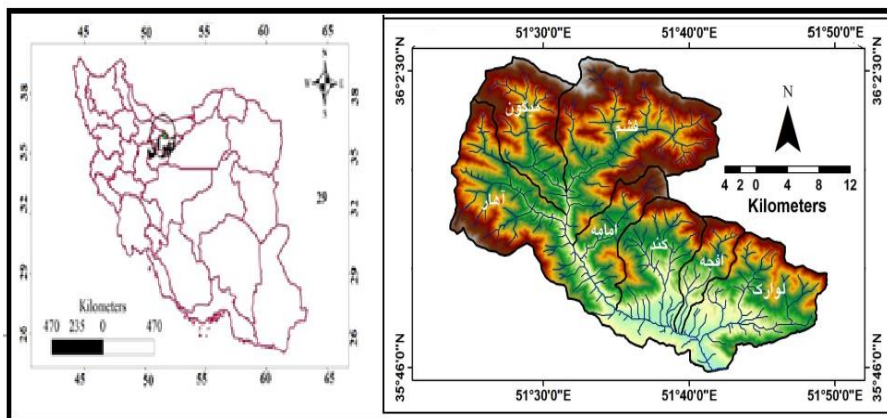
محمود و رحمان (۲۰۲۰)، در پژوهشی به مدل سازی حساسیت خطر سیل در حوضه آبریز پنجکورا در پاکستان با استفاده از رویکردهای ژئومورفومتری و هیدرولوژی پرداختند. نتایج نشان داد که ۲۷ درصد از مساحت منطقه در طبقه خطر خیلی زیاد و ۳۶/۵ درصد از مساحت منطقه نیز در طبقه خطر زیاد از نظر حساسیت خطر سیل قرار دارد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که حساسیت خطر سیل رابطه مستقیمی با رواناب سطحی دارد، به طوری که با افزایش رواناب سطحی، حساسیت خطر سیل نیز افزایش می یابد [۲۳].

شهرستان لواسانات در شمال شرق تهران یکی از مراکز تفریحی برای اوقات فراغت ساکنان شهر تهران است. حوضه لواسانات که یکی از زیرحوضه های حوضه جاجرود و سد لتیان است، در این منطقه قرار دارد. هدف از این پژوهش، پهنه بندی مناطق مستعد سیل گیر در منطقه و تعیین اولویت عوامل مؤثر در وقوع سیل با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

است. این منطقه در طی سال‌های اخیر به خصوص سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ با سیلاب‌های گوناگونی مواجه بوده است. این مطلب اهمیت پهنه‌بندی خطر و مدیریت و برنامه‌ریزی منطقه را بهتر نشان می‌دهد.

### موقعیت منطقه تحقیق

منطقه تحقیق جزء حوضه آبخیز سد لتیان بوده و در شمال شرق تهران واقع شده است. براساس تقسیمات زمین‌ساختی نبوی منطقه در زون البرز- آذربایجان و از نظر زمین‌شناسی در زون البرز مرکزی قرار گرفته است. رودخانه اصلی این منطقه جاجرود است که از ارتفاعات البرز سرچشمه می‌گیرد. (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق (نگارنده، ۱۳۹۹)

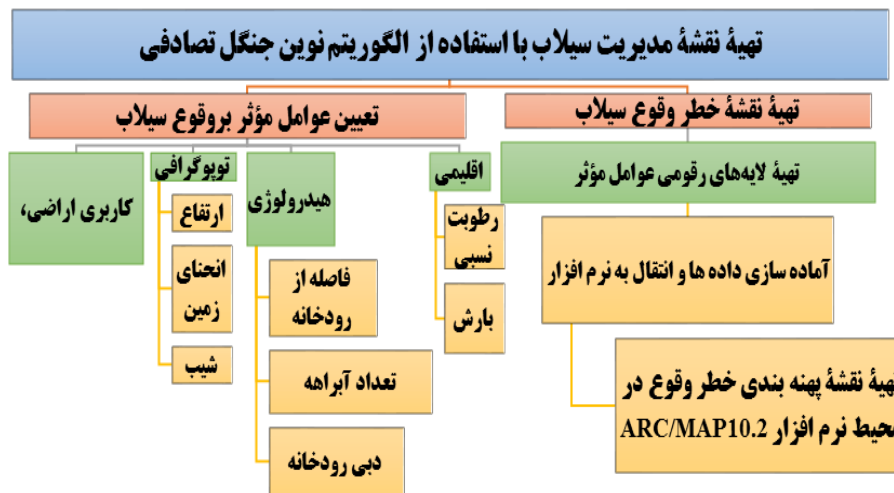
### روش تحقیق و تحلیل

از آنجا که هدف اصلی تحقیق تعیین اولویت عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبریز سد لتیان است، عوامل مورد بررسی، روش‌ها، تکنیک‌ها و ابزارهای تحقیق به شرح زیر انتخاب شد.

– انتخاب شاخص‌های مؤثر و تهیه لایه‌های رقومی آنها: در این مرحله با توجه به مطالعات و پیشینه تحقیق، ۹ شاخص کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، شیب، ارتفاع، شاخص رطوبت، دبی رودخانه، توان آبراهه، بارش، و انحنای زمین انتخاب شدند. لایه رودخانه، شیب و

ارتفاع از نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شدند و پس از تولید لایه رقومی منطقه به وجود آمدند و برای تهیه لایه بارش از آمار بارش ایستگاه‌های لواسانات و شمیران استفاده شد.

- اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع سیلاب: پس از تعیین عامل تورم واریانس و ضریب تحمل، در مرحله بعد با وارد کردن داده‌های مربوط به عوامل مؤثر به نرم‌افزار R، مدلسازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام گرفت و نقش عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در هر زیرحوضه تعیین شد. در روش جنگل تصادفی به جای رشد یک درخت، صدها یا هزاران درخت طبقه‌بندی تولید می‌شود [۱۷]. این الگوریتم را نخستین بار لئو برایمن و آدل کاتلر ایجاد کردند و توسعه دادند. الگوریتم جنگل تصادفی مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است [۱۰] و در حال حاضر از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است [۱۴].



شکل ۲. فلوجارت مراحل تحقیق (نگارنده، ۱۳۹۹)

هر درخت به صورت زیر تشکیل می‌شود:

۱. اگر  $N$  تعداد حالت‌ها در مجموعه داده‌های train (مجموعه کار) باشد،  $N$  حالت را به صورت تصادفی با جایگذاری از داده‌های اصلی، نمونه‌گیری می‌کنیم. این نمونه مجموعه کار برای این درخت است.

۲. اگر  $M$  متغیر داشته باشیم و  $m$  را کوچکتر از  $M$  در نظر بگیریم، به طوری که در هر گره،  $m$  متغیر به صورت تصادفی از  $M$  انتخاب شوند و بهترین جداسازی روی این  $m$  متغیر برای جداسازی گره استفاده شود. مقدار  $m$  در طول ساخت جنگل ثابت در نظر گرفته می شود.

۳. هر درخت به اندازه ممکن بزرگ می شود. هیچ هرسی وجود ندارد [۹].

کاهش  $m$  هم همبستگی و هم قدرت را کاهش می دهد و افزایش آن هم سبب افزایش هر دو می شود. کار ساخت جنگل با استفاده از درختها اغلب به روش کیسه گذاری انجام می گیرد. ایده اصلی روش کیسه گذاری آن است که ترکیبی از مدل های یادگیری، نتایج و عملکرد کلی مدل را افزایش می دهد. به بیان ساده، جنگل تصادفی چندین درخت تصمیم می سازد و آنها را با یکدیگر ادغام می کند تا پیش بینی های صحیح تر و پایدارتری حاصل شوند [۱۰]. در این روش بردار تصادفی  $\Theta_k$  که مستقل از بردارهای تصادفی  $\Theta_1, \dots, \Theta_{k-1}$  است، برای درخت  $K$  ام تولید می شود. همچنین همه بردارها توزیع یکسانی دارند. درخت رگرسیونی با استفاده از مجموعه داده های آموزش و  $\Theta_k$  رشد می کند و نتیجه مجموعه درخت های  $K$  برابر،  $\{h_1(x), h_2(x), \dots, h_k(x)\}$  است که در اینجا  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$  است. این بردارها یک بردار ورودی  $P$  بعدی هستند که یک جنگل را تشکیل می دهند. خروجی های  $k$  تولید شده گروهی مربوط به هر درخت برابر  $\hat{y}_k = h_k(x)$ ،  $\hat{y}_2 = h_2(x)$ ،  $\hat{y}_1 = h_1(x)$  که  $\hat{y}_k$  خروجی درخت  $K$  ام است. برای به دست آوردن خروجی نهایی، متوسط همه پیش بینی های درختها محاسبه می شود. خطای پیش بینی های درختها محاسبه می شود. خطای پیش بینی نیز براساس نمونه های خارج از کیسه طبق فرمول ۱ محاسبه می شود.

$$MSE^{00B} = n^{-1} \sum_{i=1}^n [y(x_i) - y_i]^2 \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $\hat{y}(x_1)$  نتایج محاسباتی،  $y_1$  نتایج مشاهداتی، و  $n$  تعداد کل مشاهدات است و  $mse$  میزان خطای بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی را نشان می دهد. روش جنگل تصادفی برای طبقه بندی و اولویت بندی به طور خلاصه بدین صورت است که در ابتدا  $T$  نمونه خودراه انداز از داده آموزشی بیرون کشیده می شود و سپس از هر نمونه خودراه انداز  $\beta$  یک درخت طبقه بندی و رگرسیون هرس نشده ایجاد می شود که برای انشعاب در هر گروه رگرسیون، تنها یکی از  $M$  ویژگی انتخاب شده به صورت تصادفی استفاده می شود. در نهایت، خروجی طبقه بندی براساس یک نتیجه میانگین از پیش بینی های تمام درخت های منفرد آموزش دیده به دست می آید [۱۷].

- تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب: نقشه خطر وقوع سیلاب نیز براساس روش جنگل تصادفی تهیه شد. پس از وزن دهی هر یک از شاخص‌ها در نرم‌افزار R، وزن آنها به محیط ARC/MAP 10.2 منتقل شد و وزن‌ها روی هر یک از لایه‌های رقومی اعمال شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در چهار پهنه کم‌خطر، با خطر متوسط، خطرناک و خیلی خطرناک تهیه شد.

### بحث

حوضه آبریز لواسان به هفت زیرحوضه لوارک، افجه، کند، امامه، فشم، میگون و آهار تقسیم می‌شود. در ابتدا به منظور بررسی هم‌خطی بین متغیرها از دو شاخص عامل تورم واریانس و ضریب تحمل استفاده شد. ضریب تحمل کمتر از ۰/۲ یا ۰/۱ و عامل تورم واریانس ۵ یا بزرگ‌تر از مقدار مذکور نمایانگر هم‌خطی و ارتباط زیاد بین دو متغیر است. جدول ۲ هم‌خطی بین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب در منطقه تحقیق را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با توجه به نتایج به‌دست آمده ضریب تحمل در هیچ کدام از شاخص‌ها کمتر از ۰/۲ یا ۰/۱ و عامل تورم واریانس نیز در هیچ یک از شاخص‌ها ۵ یا بزرگ‌تر نیست؛ از این‌رو بین شاخص‌های استفاده‌شده هیچ‌گونه هم‌خطی وجود ندارد و ارتباطی قوی بین دو متغیر مشاهده می‌شود.

جدول ۱. بررسی هم‌خطی بین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب منطقه تحقیق

شاخص	عامل تورم واریانس (VIF)	ضریب تحمل (Tolerance)
بارش (میلی‌متر)	۳/۲۳۶	۰/۴۲۳
ارتفاع (متر)	۱/۷۸۹	۰/۸۵۶
فاصله از رودخانه (متر)	۳/۵۶۴	۰/۳۹۸
انحنای زمین	۱/۱۱۱	۰/۹۰۲
کاربری اراضی	۲/۳۸۹	۰/۶۵۴
شیب (درصد)	۳/۵۸۹	۰/۵۰۸
دبی رودخانه	۴/۵۶۴	۰/۳۲۱
تعداد آبراهه	۳/۳۲۱	۰/۴۷۵
رطوبت	۲/۰۳۱	۰/۵۲۱

یافته‌های تحقیق (نگارنده، ۱۳۹۹)

در مرحله بعد با وارد کردن داده‌های مربوط به عوامل مؤثر بر نرم‌افزار R، مدلسازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام گرفت و نقش عوامل مؤثر در وقوع سیلاب تعیین شد.

بدین منظور همان‌طور که پیشتر ذکر شد، از دو عامل میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی برای تعیین اولویت هر یک از عوامل مؤثر در وقوع سیلاب استفاده شده است. جدول ۲ میزان اهمیت عوامل مؤثر بر سیلاب را براساس دو معیار میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی در زیرحوضه‌های امامه، لوارک و افجه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش میانگین کاهش دقت، میانگین کاهش جینی هم افزایش می‌یابد. بدین ترتیب مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب در زیرحوضه امامه، بارش با میانگین کاهش دقت ۱۸/۹۸ و میانگین کاهش جینی ۵/۸۵ است. در طی سال‌های اخیر حجم در منطقه افزایش داشته که همین مسئله سبب افزایش دبی آب شده است. دومین عامل در این زیرحوضه شیب است. متوسط شیب در این زیرحوضه ۳۸/۳ درجه است که افزایش سرعت آب و افزایش طغیان رودخانه را در پی داشته است. کاربری اراضی نیز در این زیرحوضه تأثیر زیادی در وقوع سیلاب دارد. پوشش گیاهی ارتفاعات بالادستی عموماً تخریب شده و بقایای بسیار ناچیزی از درختان ارس قدیمی وجود دارد. در زیرحوضه لوارک نیز همانند زیرحوضه امامه، مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب، بارش با میانگین کاهش دقت ۱۷/۳۸ و میانگین کاهش جینی ۴/۸۵ است. این بارش‌ها در طی سال‌های اخیر به‌صورت ناگهانی، شدید و کوتاه‌مدت بوده است. با توجه به اینکه زیرحوضه لوارک انتهایی‌ترین زیرحوضه است، همه آب‌های بالادست وارد این زیرحوضه می‌شوند؛ از این‌رو حجم رواناب در این زیرحوضه افزایش می‌یابد که سبب افزایش دبی می‌شود. همان‌طور که پیشتر ذکر شد، تراکم زهکشی در این زیرحوضه ۲/۱۰ است که بیانگر حجم زیاد رواناب است. افجه کوچک‌ترین زیرحوضه در منطقه است که در قسمت جنوب واقع شده است. براساس جدول ۲ این زیرحوضه نیز همانند دو زیرحوضه قبلی بارش با میانگین کاهش دقت ۱۳/۴۸ و میانگین کاهش جینی ۳/۸۵، مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب در منطقه است. فاصله از رودخانه نیز با میانگین کاهش دقت ۱۲/۹۴ و میانگین کاهش جینی ۳/۶۵ در رتبه دوم قرار دارد. این مسئله ناشی از کشیده بودن و عرض کم زیرحوضه است. بعد از آن کاربری اراضی، عامل مهم در وقوع سیلاب است. در این قسمت از زیرحوضه، تخریب مراتع به‌علت ساخت‌وساز در طی سال‌های اخیر افزایش داشته که همین مسئله سبب نفوذناپذیر شدن زمین‌ها و بی‌توجهی به حریم رودخانه و ساخت شده است.



جدول ۲. میزان اهمیت عوامل مؤثر سیلاب براساس دو معیار میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی در زیرحوضه‌های امامه، لوارک و افجه

میانگین کاهش جینی	میانگین کاهش دقت	شاخص	زیرحوضه
۵/۸۵	۱۸/۹۸	بارش (میلی‌متر)	امامه
۳/۵۶	۱۲/۸۴	ارتفاع (متر)	
۴/۰۵	۱۴/۹۴	فاصله از رودخانه (متر)	
۴/۵۳	۱۵/۲۰	انحنای زمین	
۳/۶۱	۱۳/۰۱	کاربری اراضی	
۵/۱۳	۱۷/۱۸	شیب (درصد)	
۴/۳۵	۱۵/۶۴	دبی رودخانه	
۳/۹۱	۱۳/۱۴	تعداد آبراهه	
۲/۲۳	۸/۳۲	رطوبت	
۴/۸۵	۱۷/۳۸	بارش (میلی‌متر)	لوارک
۲/۵۶	۱۰/۸۴	ارتفاع (متر)	
۳/۸۵	۱۲/۹۴	فاصله از رودخانه (متر)	
۴/۵۳	۱۵/۲۰	انحنای زمین	
۳/۶۱	۱۵/۰۱	کاربری اراضی	
۳/۱۳	۱۳/۱۸	شیب (درصد)	
۴/۰۵	۱۵/۶۴	دبی رودخانه	
۳/۷۱	۱۵/۲۴	تعداد آبراهه	
۱/۷۳	۵/۴۱	رطوبت	
۳/۸۵	۱۳/۴۸	بارش (میلی‌متر)	افجه
۱/۵۶	۶/۱۴	ارتفاع (متر)	
۳/۶۵	۱۲/۹۴	فاصله از رودخانه (متر)	
۱/۵۳	۷/۲۸	انحنای زمین	
۲/۶۱	۱۱/۰۱	کاربری اراضی	
۱/۴۳	۸/۲۸	شیب (درصد)	
۲/۳۵	۱۰/۶۴	دبی رودخانه	
۱/۷۳	۸/۱۴	تعداد آبراهه	
۰/۷۳	۳/۲۱	رطوبت	

یافته‌های تحقیق (نگارنده، ۱۳۹۹)

جدول ۳. میزان اهمیت عوامل مؤثر سیلاب براساس دو معیار میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی در زیرحوضه‌های آهار، میگون، فشم و کند

میانگین کاهش جینی	میانگین کاهش دقت	شاخص	
۷/۲۸	۲۲/۱۳	بارش (میلی‌متر)	آهار
۴/۷۸	۱۸/۳۴	ارتفاع (متر)	
۴/۱۵	۱۴/۰۴	فاصله از رودخانه (متر)	
۳/۹۳	۱۳/۲۸	انحنای زمین	
۵/۶۱	۱۹/۳۹	کاربری اراضی	
۵/۰۳	۱۹/۱۸	شیب (درصد)	
۶/۳۵	۲۰/۶۴	دبی رودخانه	
۳/۲۶	۱۱/۱۴	تعداد آبراهه	
۱/۰۳	۴/۰۱	رطوبت	
۷/۹۵	۲۳/۴۳	بارش (میلی‌متر)	فشم
۳/۵۶	۱۴/۳۴	ارتفاع (متر)	
۵/۱۵	۱۹/۲۴	فاصله از رودخانه (متر)	
۴/۱۳	۱۵/۲۰	انحنای زمین	
۵/۶۱	۱۹/۸۱	کاربری اراضی	
۷/۰۳	۲۱/۱۸	شیب (درصد)	
۶/۳۵	۲۰/۱۴	دبی رودخانه	
۳/۲۲	۱۲/۱۴	تعداد آبراهه	
۱/۹۳	۳/۲۱	رطوبت	
۷/۱۹	۲۲/۳۸	بارش (میلی‌متر)	میگون
۴/۲۶	۱۳/۵۴	ارتفاع (متر)	
۳/۱۵	۱۱/۰۴	فاصله از رودخانه (متر)	
۳/۵۳	۱۱/۲۰	انحنای زمین	
۵/۶۱	۱۹/۴۶	کاربری اراضی	
۶/۱۳	۲۰/۴۸	شیب (درصد)	
۵/۲۵	۱۸/۶۴	دبی رودخانه	
۴/۱۰	۱۶/۱۴	تعداد آبراهه	
۱/۱۱	۲/۴۱	رطوبت	
۴/۳۵	۱۶/۲۲	بارش (میلی‌متر)	کند
۲/۵۸	۶/۰۴	ارتفاع (متر)	
۳/۶۵	۱۳/۵۲	فاصله از رودخانه (متر)	
۲/۸۳	۷/۲۱	انحنای زمین	
۴/۲۱	۱۵/۵۹	کاربری اراضی	
۳/۹۳	۱۰/۱۸	شیب (درصد)	
۳/۳۵	۱۲/۱۴	دبی رودخانه	
۳/۰۳	۱۳/۱۴	تعداد آبراهه	
۰/۵۲	۱/۱۱	رطوبت	

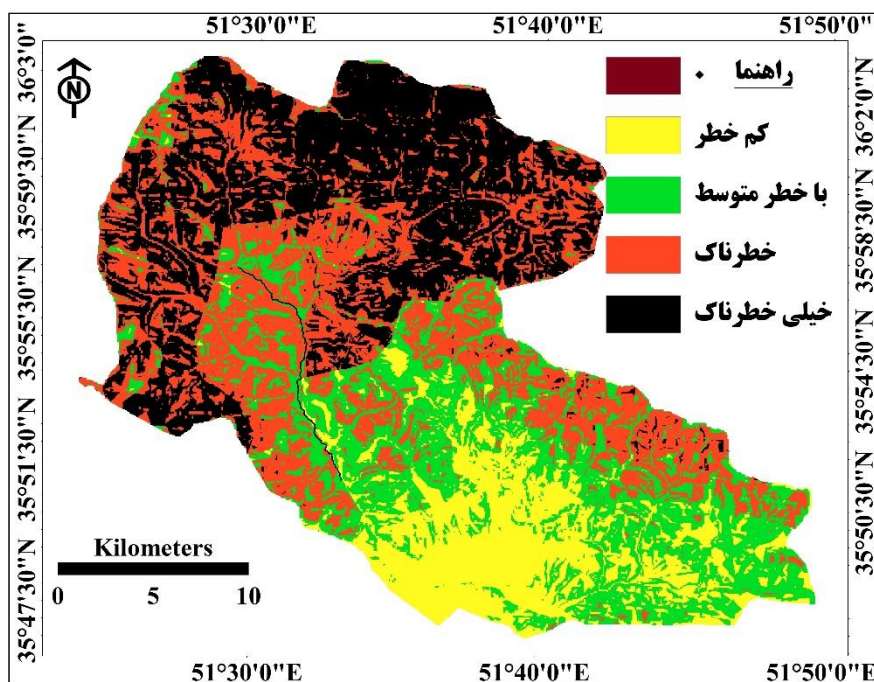
براساس اطلاعات جدول ۳ در زیرحوضه آهار نیز بارش با میانگین کاهش دقت ۲۲/۱۳ و میانگین کاهش جینی ۷/۲۸، مهم‌ترین عامل وقوع سیلاب است. این زیرحوضه طولی‌ترین زیرحوضه حوضه آبخیز لواسانات بعد از زیرحوضه فشم است. بعد از بارش مهم‌ترین عامل دبی با میانگین کاهشی دقت ۲۰/۶۴ و میانگین کاهش جینی ۶/۳۵ است با توجه به اینکه این زیرحوضه طولی‌ترین زیرحوضه است دبی در این زیرحوضه زیاد است. بعد از دبی، کاربری اراضی و شیب به‌ترتیب مهم‌ترین عواملند. قسمت‌های شمالی و غربی منطقه ارتفاع زیادی دارند که این ارتفاع همراه با شیب زیاد است. در طول مسیر رودخانه در این زیرحوضه زیرساخت‌های انسانی زیادی مشاهده می‌شود. تخریب اراضی به‌منظور ساخت‌وساز در این زیرحوضه بسیار مشاهده می‌شود. همین مسئله سبب بروز طغیان رودخانه در هنگام بارندگی‌های شدید و ورود آب به ویلاها در این زیرحوضه شده که در سال‌های اخیر خسارات مالی زیادی در پی داشته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مهم‌ترین عامل در وقوع سیل در زیرحوضه فشم نیز همانند سایر زیرحوضه‌ها بارش با میانگین کاهشی دقت ۲۳/۴۳ و میانگین کاهش جینی ۷/۹۵ است. نکته شایان توجه این است که ارقام کاهشی دقت و کاهشی جینی در زیرحوضه‌های آهار و فشم افزایش یافته است. همان‌طور که در جدول ۴ مشخص شده است، در زیرحوضه میگون نیز همانند زیرحوضه‌های دیگر، بارش با میانگین کاهشی دقت ۲۲/۳۸ و میانگین کاهشی جینی ۷/۱۹، مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب است. این زیرحوضه نیز همانند فشم جزء مناطق شمالی حوضه آبریز لواسانات است. در این زیرحوضه نیز همانند دو زیرحوضه آهار و فشم ارقام میانگین‌ها افزایش داشته است. در این زیرحوضه نیز دبی و شیب به‌عنوان عوامل دوم و سوم در وقوع سیلاب نقش دارند. در زیرحوضه کند، شیب و ارتفاع کاهش یافته است. براساس نتایج، مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب در این زیرحوضه نیز همچون زیرحوضه‌های دیگر بارش دارای میانگین کاهشی دقت ۱۶/۲۲ و میانگین کاهش جینی ۴/۳۵ است. پس از مشخص شدن وزن هر یک از عوامل در محیط نرم‌افزار R، این اوزان به محیط ARC/MAP 10.2 منتقل شده و روی لایه‌های مورد نظر اعمال شدند. این وزن‌ها بین صفر و یک است. ستون صفر به‌معنای مقادیر پهنه‌های غیرسیلابی برای هر پیکسل و ستون یک بیانگر مقادیر پهنه‌های سیلاب برای هر پیکسل از کل منطقه تحقیق است. به منظور پهنه‌بندی حساسیت سیلاب، ستون پیکسل‌های صفر حذف می‌شود و مقادیر ستون یک براساس مختصات هر یک از پیکسل‌ها در محیط ARC/MAP در قالب یک فایل نقطه‌ای درمی‌آید و سپس از مسیر تبدیل نقطه به رستر، نقشه‌های وزنی با هم جمع می‌شوند و نقشه نهایی به‌دست می‌آید. براساس نقاط شکست منحنی تجمعی، نقشه به چهار طبقه حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد و نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در منطقه تحقیق به‌دست آمد.

جدول ۴. تعداد پیکسل و درصد پهنه‌های خطر وقوع سیل در حوضه آبریز لواسانات

شاخص	تعداد پیکسل	درصد
کم خطر	۴۴۴۳۶	۱۶/۴
با خطر متوسط	۶۳۲۸۵	۲۳/۶
خطرناک	۸۵۲۱۲	۳۱/۶
خیلی خطرناک	۷۶۶۷۹	۲۸/۴

یافته‌های تحقیق (نگارنده، ۱۳۹۹)

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۴، بیشترین مساحت منطقه را پهنه خطرناک (۳۱/۶ درصد) و بعد از آن پهنه خیلی خطرناک (۲۸/۴ درصد) در بر گرفته است. شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب براساس الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه آبریز لواسانات در چهار پهنه کم خطر، با خطر متوسط، خطرناک و خیلی خطرناک را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب براساس الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه آبریز لواسانات (نگارنده، ۱۳۹۹)

### نتیجه‌گیری

در حوضه آبریز لواسانات در طی سال‌های اخیر به‌طور متعدد سیل رخ داده است. آخرین سیل در فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸ در این منطقه رخ داد که خسارات مالی و جانی فراوانی بر جا گذاشت. همین مسئله ضرورت مطالعه در خصوص عوامل مؤثر در بروز سیلاب را آشکار می‌سازد. این پژوهش به‌منظور تعیین اولویت عوامل مؤثر در بروز سیلاب در هریک از زیرحوضه‌های آبریز لواسانات با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی انجام گرفت. با توجه به نتایج تحقیق در همه زیرحوضه‌ها، بارش مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب در منطقه شناخته شد. در حوضه‌های شمالی و غربی منطقه، دبی رودخانه و شیب رتبه‌های بعدی نقش در وقوع سیلاب را به خود اختصاص دادند. در حوضه‌های شمالی منطقه (میگون، فشم و آهار) ارتفاع جزء پنج عامل مهم در بروز سیلاب بوده است. در حوضه‌های جنوبی منطقه، تراکم زهکشی و فاصله از رودخانه بعد از بارش از مهم‌ترین عوامل وقوع سیلاب بوده است. کاربری اراضی نیز به‌خصوص در زیرحوضه‌های جنوبی منطقه از عوامل مهم در بروز سیلاب است. با توجه به توریستی بودن این منطقه، روند ساخت‌وسازهای بی‌رویه و تخریب اراضی به‌شدت در این منطقه افزایش داشته است. بنابراین می‌توان گفت تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب ابزار مهمی برای کمک به سیاست‌گذاران، طراحان و مهندسان برای کاهش خسارات ناشی از وقوع آن است.

تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب و تعیین اولویت عوامل مؤثر در بروز سیلاب ابزار مهمی در شناسایی نقاط حساس و جلوگیری از تحریک این مناطق است و به آن توجه زیادی می‌شود. در میان مدل‌های مختلف، استفاده از مدل‌های نوین الگوریتم جنگل تصادفی و تلفیق آن با GIS اثر بسزایی در این تحقیقات دارد و می‌تواند موجب افزایش دقت نقشه‌های تهیه‌شده شود. نتایج این پژوهش نشان داد که منطقه تحقیق حساسیت زیادی به وقوع سیلاب دارد و مدل جنگل تصادفی ابزار مناسبی برای کمی کردن ارتباط سیلاب و عامل‌های مؤثر بر آن است. بنابراین می‌توان گفت تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب ابزار مهمی برای کمک به سیاست‌گذاران، طراحان و مهندسان برای کاهش خسارات ناشی از وقوع آن است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی این مدل به‌همراه مدل‌های دیگر ارزیابی و مقایسه شود. در پایان شایان ذکر است که روش جنگل تصادفی برای حجم داده‌های زیاد به‌خوبی عمل می‌کند و از دقت زیادی برخوردار است. در این روش، هر درخت به‌طور کامل رشد می‌کند و هرس نمی‌شود و این ویژگی موجب می‌شود مدل نهایی دچار بیش‌برآورد نشود. مدل‌ها و معادلات به‌دست‌آمده در این تحقیق، خاص منطقه تحقیق است و کاربرد آن در دیگر نقاط کشور مستلزم در نظر گرفتن شرایط و ویژگی‌های آن مناطق است.

## منابع

- [۱]. اکبری، مریم؛ بشیری، مهدی؛ و رنگ‌آور، عبدالصالح (۱۳۹۶). «کاربرد الگوریتم‌های داده‌کاوی در تحلیل حساسیت و پهنه‌بندی مناطق مستعد به فرسایش آبکندی در حوضه‌های شاخص استان خراسان رضوی»، *مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ج ۷، ش ۲، ص ۴۲-۱۶.
- [۲]. بدری، بهرام؛ زارع بیدکی، رفعت؛ هنربخش، افشین؛ و آتشخوار، فاطمه (۱۳۹۵). «اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل خیزی». *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۸، ش ۱، ص ۱۵۸-۱۴۳.
- [۳]. پروین، منصور (۱۳۹۸). «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی بر اساس مدل MFFPI (مطالعه موردی: حوضه اسلام آباد غرب)»، *مجله مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، دوره ۶، ش ۲، ص ۱۸۴-۱۶۹.
- [۴]. حسام، رسول؛ ضرابی، اصغر؛ و تقوایی، مسعود (۱۳۹۸). «پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب شهری با رویکرد توسعه شهری ایمن (مطالعه موردی: شهر گنبدکاووس)»، *مجله مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، دوره ۶، ش ۱، ص ۳۲-۱۷.
- [۵]. حمصی؛ ملیحه‌سادات؛ یاراحمدی، داریوش؛ اونق، مجید؛ و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۳۹۸). «کاهش پهنه خطر سیل در حوضه دشت کاشان از طریق اجرای سناریوی آمایش خطرمدار»، *مجله مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، دوره ۶، ش ۳، ص ۲۸۵-۲۷۱.
- [۶]. روحانی، حامد؛ و محمدی استادکلایه، امین (۱۳۹۴). «کاربرد روش باز نمونه‌گیری بوت استرپ و تصمیم‌گیری چندمعیاره در اولویت‌بندی پتانسیل سیل خیزی»، *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال ۴، ش ۳، ص ۱۹۶-۱۸۱.
- [۷]. رضایی مقدم، محمدحسین؛ یاسی، مهدی؛ نیکجو، محمدرضا؛ و رحیمی، مسعود (۱۳۹۷). «پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهر چای)»، *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ش ۲۵، ص ۱۵-۱.
- [۸]. سپهری، مهدی؛ ایلدرومی، علیرضا؛ فرخزاده، بهنوش؛ و نوری، حمید (۱۳۹۴). ارزیابی ریسک سیل در شهر تاریخی همدان، کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران: مؤسسه آموزش عالی نیکان، دانشگاه تهران.

- [۹]. سلیمانی، کریم؛ علی دادگان فرد، فاطمه؛ و پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۸). «مقایسه تکنیک‌های داده کاوی آنتروپی شانون و الگوریتم جنگل تصادفی در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی جهرم»، *مجله مهندسی اکوسیستم بیابان*، سال ۸، ش ۲۴، ص ۳۷-۴۸.
- [۱۰]. طالبی، علی؛ گودرزی، سحر؛ و پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۷). «بررسی امکان تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (محدوده مورد مطالعه: حوزه آبخیز سردار آباد، استان لرستان)»، *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، دوره ۷، ش ۱۶، ص ۴۵-۶۴.
- [۱۱]. عابدینی، موسی؛ و خوشخوی دلشاد، آزاده (۱۳۹۵). «بررسی عوامل مؤثر بر وقوع سیل در حوزه حویق با استفاده از مدل ANP، اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها»، اردیبل: مرکز همایش‌های دانشگاه محقق اردبیلی.
- [۱۲]. عرب‌عامری، علیرضا؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ و شیرانی، کورش (۱۳۹۶). «پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بی‌زین - فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکا - استان مازندران)»، *مجله اکوهیدرولوژی*، دوره ۴، ش ۲، ص ۴۶۲-۴۴۷.
- [۱۳]. عسگری، شمس‌الله؛ صفاری، امیر؛ و فتحی، حجت‌الله (۱۳۹۷). «بررسی توان سیل‌خیزی در حوزه آبریز جعفرآباد»، *نشریه تحقیقات کاربری علوم جغرافیایی*، سال ۱۸، ش ۵۰، ص ۷۷-۹۰.
- [۱۴]. محمدی، مجید؛ و پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۶). «اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع حرکات دامنه‌ای و تهیه نقشه حساسیت آن با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: بخشی از استان گلستان)»، *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، سال هشتم، ش ۱۵، ص ۱۶۱-۱۷۵.
- [۱۵]. مقیمی ابراهیم (۱۳۹۴). *دانش مخاطرات*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۶]. نوروزی، حسین؛ ندیری، عطاالله؛ اصغری مقدم، اصغر؛ و قره‌خانی، مریم (۱۳۹۶). «پیش‌بینی قابلیت انتقال آبخوان دشت ملکان با استفاده از روش جنگل تصادفی»، *نشریه دانش آب و خاک*، ش ۲، ص ۶۱-۷۵.
- [17]. Chen, Wei; Xiaoshen Xie; Jianbing Peng; & Himan Shahabic; Haoyuan Hongd; Dieu Tien Buig; Zhao Duana; Shaojun Lii; A-Xing Zhud (2018). "GIS-based landslide susceptibility evaluation using a novel hybrid integration

- approach of bivariate statistical based random forest method “, *Journal Catena*, No 164, PP:135–149
- [18]. Fayyad, U.; Piatetsky-Shapiro, G.; & Smyth, P. (1996). “From data mining to knowledge discovery in databases”, *Artificial Intelligence magazine*, 17(3), PP: 37-54.
- [19]. Gu, Xihui; Qiang, Zhangcde; Jianfeng, LibJianyu; Liuf, Chong-Yu; Xu, PengSun (2020). “The changing nature and projection of floods across Australia”, *Journal of Hydrology*, 584, PP: 124703-124722.
- [20]. Kuanga, Da; Kuei-HsienLiao (2020). “Learning from Floods: Linking flood experience and flood resilience”, *Journal of Environmental Management*, 271, PP: 111025-111039.
- [21]. Lee, Byong-Ju; & Kim, Sangil (2019). “Gridded Flash Flood Risk Index Coupling Statistical Approaches and TOPLATS Land Surface Model for Mountainous Areas”. *Water*, 11(3), 504.
- [22]. Leskens, Jack; Brugnach, Marcela; Hoekstra, Arjen; Schuurmans, Wlatm (2014). “Why are decisions in flood disaster management so poorly supported by information from flood models”. *Environmental modelling & software*, 53, pp:53-61.
- [23]. Mahmood, Sh; Rahman, A (2020). “Flash flood susceptibility modeling using geo- morphometric and hydrological approaches in Panjkora Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan”. *Environmental Earth Sciences*, 78(43):PP: 1-16, <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8041-y>.
- [24]. Sun, Deliang; Haijia Wen; Danzhou, Wang; Jiahui. Xu (2020). “A random forest model of landslide susceptibility mapping based on hyperparameter optimization using Bayes algorithm”, *Geomorphology*, No 362, PP: 107201-107215.
- [25]. Taha, M. M. N; Elbarbary, S. M; Naguib, D. M; El-Shamy, I. Z (2017). “Flash flood hazard zonation based on basin morphometry using remote sensing and GIS techniques: A case study of Wadi Qena basin, Eastern Desert, Egypt”. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8: PP: 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.007>
- [26]. Thapa, Saraswati; Anup, Shrestha; Suraj, Lamichhan; Rabindr, Adhikari; Dipendra, Gautam (2020). “Catchment-scale flood hazard mapping and flood vulnerability analysis of residential buildings: The case of Khando River in eastern Nepal”, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 30, PP: 100704-100721