نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

Vol.12, No.4, Winter 2025

۲۷ -۵۵

مقاله پژوهشی

توسعه مدلی هوشمند مبتنی بر روش جنگل تصادفی به منظور شناسایی بهنگام مناطق مستعد وقوع سیلاب‌های رودخانه‌ای

مائده مصلی طبری[۱]، حمید عبادی[۲]*، زهرا علیزاده زکریا[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۴

چکیده

شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب، به عنوان اقدامی ضروری در مدیریت بحران سیلاب، بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش، با تلفیق الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (*Particle Swarm Optimization*) با الگوریتم جنگل تصادفی، به منظور بهبود انتخاب فراپارامتری در روش جنگل تصادفی با جست و جوی موازی و همزمان در فضای پارامتری، اقدام به شناسایی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب‌های رودخانه‌ای شده است. در راستای تحقق اهداف روش پیشنهادی، از داده‌های زمینی نظیر بارندگی ایستگاه‌های زمینی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و همچنین از داده‌هایی نظیر مدل ارتفاع رقومی، شیب، جهت شیب، شاخص پوشش گیاهی و غیره مستخرج از تصاویر سنجش از دور راداری ماهواره سنتینل-۱ (*Sentinel1/A*) و تصاویر ماهواره‌های نوری لندست-۸ (*Landsat-8*) و سنتینل-۲ (*Sentinel-2*) استفاده شده است. نتایج نشان داد که این تلفیق الگوریتمی باعث بهبود دقت مدلسازی نسبت به استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی به تنهایی می‌شود و توانایی تولید نقشه‌های بهنگام مناطق مستعد سیلاب را با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دور بهبود می‌بخشد. در مطالعه موردی در مناطق اتاوا-گاتینوا و گنبد-کاووس با نوع سیلاب رودخانه‌ای، مدلسازی با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دور انجام شد که ضریب کاپا مدلسازی‌ها به ترتیب برابر با ۷۴٫۳۱ و ۷۳٫۲۱ بود. در این مناطق مدلسازی‌ها بار دیگر با استفاده از فقط داده‌های سنجش از دور انجام شد و ضریب کاپا به ترتیب برابر با ۶۹٫۱ و ۶۷٫۴۵ بود. براساس نتایج حاصل اگرچه استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دوری باعث افزایش دقت مدلسازی می‌شود ولی مدلسازی با استفاده از داده‌های سنجش از دور به تنهایی نیز عملکرد قابل قبولی دارد. علاوه بر این، مدلسازی با استفاده از داده‌های سنجش از دور راداری ماهواره تراسار-ایکس (*TerraSAR-X*) با قدرت تفکیک مکانی بالا و بدون استفاده از داده‌های زمینی نیز در منطقه اتاوا-گاتینوا انجام شد و ضریب کاپا برابر با ۸۰ به دست آمد، به این معنا که با افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر راداری نیاز به استفاده از داده‌های زمینی برای مدلسازی به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها : داده‌های زمینی، داده‌های سنجش از دور، جنگل تصادفی، الگوریتم *PSO*، مدیریت بحران سیلاب.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۷۷۰۷۱

Email: ebadi@kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

۱- مقدمه

از دیدگاه علمی، پس از یک بارندگی شدید و ممتد یا آب شدن برف‌ها و تکه یخ‌های بزرگ، مقدار دبی رودخانه به سرعت افزایش یافته و آب از بستر عادی خود به صورت رواناب سرریز کرده و زمین‌های پست اطراف را در بر می‌گیرد که به این جریان عظیم سیل گفته می‌شود [۱]، خسارت‌های ناشی از سیلاب شامل خسارت‌های محسوس و نامحسوس می‌باشد. تلفات جانی، تخریب انواع ساختمان‌ها، پل‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره جز خسارات محسوس و قابل اندازه-گیری می‌باشند. همچنین تاثیرات اقتصادی، اجتماعی و روانی بر مردم جز خسارات نامحسوس می‌باشند. روش-های موجود در زمینه مدیریت بحران سیلاب، به روش-های سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم می‌شوند که پیش بینی و مدلسازی مکانی سیلاب از مهم‌ترین روش‌های غیرسازه‌ای محسوب می‌شود، چراکه با شناسایی مکان-هایی با احتمال بالای وقوع سیلاب و اطلاع رسانی بهنگام آن به مسئولین و با اخذ تصمیمات لازم می‌توان خسارات ناشی از سیلاب را کاهش داد [۲]. با توجه به اینکه طبیعت ذاتی سیلاب مبتنی بر آب و بارندگی است، در راستای مدلسازی مکانی سیلاب اغلب از داده-های ایستگاه زمینی از جمله ایستگاه‌های باران‌سنج، ایستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب و دبی رودخانه و غیره استفاده می‌شود[۳]. اما به علت ناپیوسته بودن ماهیت داده‌های زمینی و هزینه بالای دسترسی به داده‌های ایستگاه زمینی، عموما این داده‌ها به صورت تلفیقی با داده‌های ماهواره‌های سنجش از دوری با پوشش مکانی و زمانی وسیع و با قابلیت اخذ داده در تمامی شرایط آب و هوایی استفاده می‌شوند [۴]. در راستای پیش بینی مکانی سیلاب با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دوری مدل‌های بسیار زیادی از جمله مدل‌های مفهومی، مدل‌های هیدرولوژیکی، مدل-های داده محور و غیره ارائه شده است که طبق بررسی-های انجام شده مدل‌های یادگیری ماشین از جمله مدل‌های فازی-عصبی (*ANFIS*)[1]، درخت تصمیم‌گیری (*DT*)[2]، طبقه بندی کننده‌های ترکیبی و غیره به علت نیاز به داده‌های ورودی قابل دسترس و تسهیل در محاسبات بسیار پرکاربرد می‌باشند [۵،۶،۷و۸] . به عنوان نمونه در پژوهشی تهرانی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های ایستگاه زمینی و داده‌های سنجش از دوری همچون مدل رقومی ارتفاعی (*DEM*)[3] تولید شده از داده‌های لایدار و تصاویر ماهواره لندست-۸ به مدلسازی مکانی سیلاب حوضه آبریز بریزبن استرالیا پرداختند. به منظور انجام مدلسازی‌ها از مدل‌های درخت تصمیم گیری و ماشین بردار پشتیبان (*SVM*)[4] استفاده کردند که نتایج حاکی از آن بود مدل *DT* با دقت ۹۱٪ نسبت به مدل *SVM* با دقت ۸۸٪ عملکرد بهتری داشت [۹]. در پژوهش دیگری وی و همکاران (۲۰۲۰) به مدلسازی مکانی سیلاب حوضه آبریز کوآنان چین با استفاده از مدل‌های تعمیم یافته درخت تصمیم گیری از جمله درخت بیزین ساده (*NBTree*)[5]، درخت تصمیم متناوب (*ADTree*)[6]، جنگل تصادفی (*RF*)[7] و داده‌های سنجش دوری از جمله *DEM* (*SRTM*)[8] تصاویر ماهواره سنتنیل-۲ و داده‌های بارندگی ایستگاه زمینی پرداختند. هدف پژوهش انجام شده بررسی و مقایسه عملکرد مدل‌های تعمیم یافته درخت تصمیم گیری بود که مدل *RF* با دقت ۹۱٫۵٪ نسبت به سایر مدل‌های دقت بالاتری داشته است [۱۰]. اسلام و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دوری و مدل‌های پیشرفته یادگیری

[1] *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*
[2] *Decision Tree*
[3] *Digital Elevation Model*
[4] *Support Vector Machine*
[5] *Navie Bayesian Tree*
[6] *Alternative Decision Tree*
[7] *Random Forest*
[8] *Shuttle Radar Topography Mission*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

ماشین به مدلسازی مکانی سیلاب حوضه آبریز تیستا پرداختند. هدف پژوهش انجام شده مدلسازی با رویکرد جدید *Dagging*، *Random Subspace* همراه با سایر مدل‌های *RF*، *SVM* و شبکه عصبی بود که نتایج نشان دهنده آن بود مدل‌های *RF* و *Dagging* با ریشه میانگین مربع خطاها[1](*RMSE*) برابر با ۰٫۲۵۴ و ۰٫۱۸۹ دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است *[۱۱]*. در پژوهش دیگری یانگ و همکاران (۲۰۲۳) به مدلسازی مکانی سیلاب سریع حوضه آبریز نکا با استفاده از مدل‌های تعمیم یافته درخت تصمیم‌گیری از جمله مدل‌های[2] *CDTree*، *CDTree-ADTree*، *CDTree-NBTree*، *CDTree-RF* و *CDTree-REPT*[3] پرداختند. هدف پژوهش انجام شده تلفیق مدل‌های مختلف درخت تصمیم‌گیری با الگوریتم *CDTree* به منظور ارائه مدل نوینی با قابلیت اعتمادپذیری بالا بوده است که مدل *CDTree-RF* با دقت ۸۶٫۱٪ عملکرد بهتری داشته است*[۱۲]*. طبق بررسی‌های صورت گرفته در راستای مدلسازی با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دوری، اغلب پژوهش‌ها از مدل‌های یکسان و ثابت برای مدلسازی در مناطق مطالعاتی با خصوصیات سیل خیزی و نوع سیلاب متفاوت استفاده می‌کنند که در بعضی از مناطق مدل‌ها دارای عملکرد قابل قبولی بوده‌اند و در سایر مناطق دچار خطا و بیش برآورد شده‌اند. هدف این پژوهش توسعه مدلی مبتنی بر روش‌های هوشمند یادگیری ماشین به منظور مدلسازی بهنگام مکان‌های مستعد وقوع سیلاب با استفاده از مجموعه داده‌های موجود و با قابلیت دسترسی آسان، ضمن شناسایی متغیرهای کلیدی و موثر در وقوع سیلاب در منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین بررسی امکان مدلسازی مکانی پدیده سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش از دوری رایگان و در دسترس از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در راستای مدلسازی مکان های مستعد وقوع سیلاب، مدل جنگل تصادفی یکی از مدل‌های بسیار پرکاربرد و قدرتمند می‌باشد. اما این مدل دارای محدودیت‌هایی نظیر زمان محاسباتی بسیار بالا، تفسیر پذیری دشوار و پیچیده، انتخاب ویژگی‌های غیر ضروری و بی اهمیت به صورت خودکار، عدم مقاومت در برابر داده های آموزشی با نویز شدید، محدودیت در تعمیم پذیری مدل و غیره می باشد *[۱۳]*. با وجود محدودیت‌های ذکر شده، با استفاده از روش جنگل تصادفی می‌توان با دقت و اعتمادپذیری بالا به شناسایی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب پرداخت. همچنین تلفیق مدل جنگل تصادفی با سایر مدل‌ها باعث بهبود و تقویت نتایج می‌شود. در اغلب مقالات برای انجام مدلسازی‌ها با قابلیت اعتماد پذیری بالا به توسعه یکی از محدودیت‌های اصلی مدل جنگل تصادفی تحت عنوان بهینه سازی پارامترهای مدل با روش آزمون خطا پرداخته شده است *[۱۴]*. لازم به ذکر است طبق بررسی های انجام گرفته، تلفیق الگوریتم‌های هوش مصنوعی با الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات (*PSO*) دارای مزیت‌های مهمی است. بطوریکه با استفاده از *PSO* در تلفیق با الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان به صورت همزمان و هماهنگ، بهینه‌سازی پارامترها و تنظیمات الگوریتم‌ها را انجام داد. این تلفیق قادر است بهبود عملکرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی را در زمینه‌های مختلفی مانند یادگیری ماشینی، تشخیص الگو و بهینه‌سازی مسائل پیچیده فراهم کند. با استفاده از قدرت تکاملی *PSO* در جستجوی بهترین حل، می‌توان عملکرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی را بهبود بخشید و به صورت اتوماتیک و خودکار، پارامترها و ویژگی‌های بهینه را انتخاب کرد. در نتیجه، تلفیق الگوریتم‌های هوش مصنوعی با *PSO* باعث افزایش کارایی و دقت الگوریتم‌ها در حل مسائل پیچیده می‌شود *[۱۵]*. بنابراین با استفاده از *PSO*، می‌توان به صورت همزمان بهینه‌سازی پارامترها و

[1] *Root Mean Square Error*
[2] *Credal Decision Tree*
[3] *CDTree-Reduced Error Pruning Tree*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

انتخاب ویژگی‌ها را در مدل جنگل تصادفی نیز انجام داد. با تنظیم بهینه پارامترها مانند تعداد درخت‌ها، عمق درخت‌ها و تعداد ویژگی‌ها، می‌توان دقت جنگل تصادفی را افزایش داد. علاوه بر این با استفاده از *PSO*، می‌توان تنوع بیشتری در میان درخت‌های تصادفی ایجاد کرد و از تجمعی شدن درخت‌ها در یک نقطه خاص جلوگیری کرد که این امر می‌تواند منجر به بهبود کیفیت، قابلیت تعمیم مدل و در نتیجه افزایش دقت در شناسایی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب شود. از این رو در این پژوهش طی رویکرد نوینی با استفاده از الگوریتم *PSO* سعی در بهینه‌سازی پارامترها و انتخاب ویژگی‌ها الگوریتم جنگل تصادفی شده است.

۲- معرفی مناطق مطالعاتی و جمع‌آوری داده‌های مورد استفاده

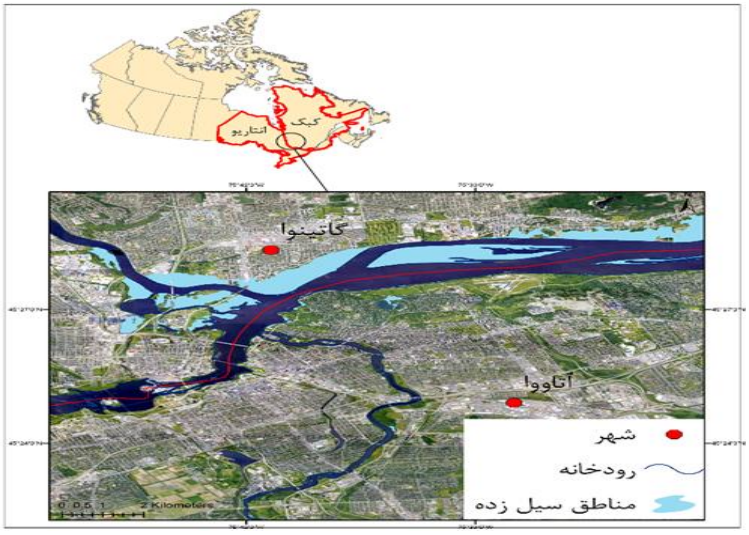
در این بخش از پژوهش ابتدا به معرفی مناطق مطالعاتی پرداخته شده است. سپس داده‌های مورد نیاز به منظور انجام مدلسازی‌ها از منابع اطلاعاتی مختلف جمع آوری شده است.

۲-۱- معرفی مناطق مطالعاتی

طبق بررسی‌های صورت گرفته اکثر مطالعات پیشین انجام شده از مدل‌های یکسان و ثابت در مدلسازی مکان-های مستعد وقوع سیلاب بدون در نظر گرفتن خصوصیات سیل‌خیزی و تکتونیکی هر منطقه استفاده می‌کنند. بر همین اساس در این پژوهش ابتدا حوضه‌های آبریزی که سیلابشان از نوع رودخانه‌ای بود مورد بررسی قرار گرفتند. دو منطقه اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس که از لحاظ خصوصیات سیل‌خیزی و نوع سیلاب نسبتا مشابه بوده‌اند به عنوان مناطق مطالعاتی برای انجام مدلسازی با روش پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه به معرفی مناطق مطالعاتی پرداخته شده است.

۲-۱-۱- منطقه اُتاووا-گاتینوا

منطقه اُتاووا - گاتینوا در شرق کشور کانادا با وسعت ۱۲۰۰ km^2 بین مشخصات جغرافیایی ′۴۵°۲۴ تا ′۴۵°۲۹ عرض و ′۷۵°۳۷ تا ′۷۵°۴۳ طول غربی واقع شده است. این حوضه آبریز شامل دو رودخانه اصلی اُتاووا و گاتینوا است. رودخانه اُوتاوا هشتمین رودخانه بزرگ کانادا است که از کوه‌های لورنتین در استان کبک سرچشمه گرفته و در مسیر خود از شهر اُوتاوا می‌گذر و رودخانه گاتینوا که از دریاچه باسکاتونگ سرچشمه گرفته در مسیر خود از مرکز شهر گاتینوا عبور کرده و در نهایت به رودخانه اُوتاوا می‌پیوندد. در بهار سال ۲۰۱۷ طغیان این دو رودخانه در اثر ذوب شدن برف‌ها و بارش باران باعث وقوع سیلاب شده است. در شکل (۱) موقعیت منطقه اُتاووا-گاتینوا نشان داده شده است.

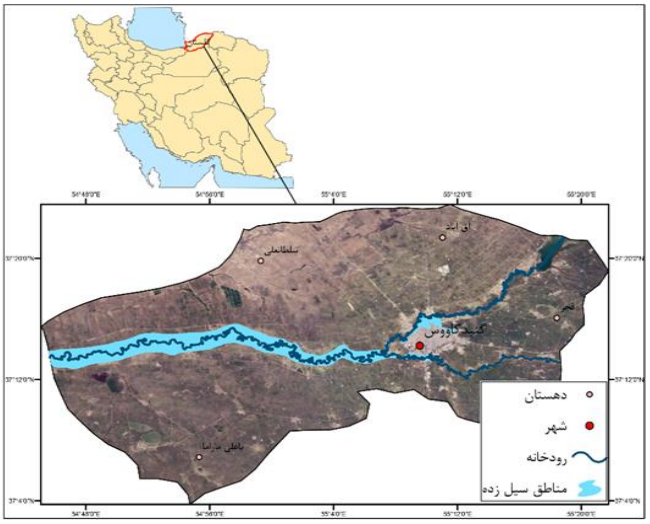


شکل۱: منطقه اُتاووا-گاتینوا

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

۲-۱-۲- منطقه گنبدکاووس

منطقه گنبدکاووس با وسعت ۱۷۳۴ km^2 در استان گلستان بین مشخصات جغرافیایی ′۳۷°۸ تا ′۳۷°۲۰ عرض شمالی و ′۵۴°۴۸ تا ′۵۵°۱۹ طول شرقی واقع شده است. منطقه گنبدکاووس شامل رودخانه‌های گرگانرود، اترک و چهل‌چای است که رودخانه گرگانرود اصلی‌ترین آبراهه این منطقه است. رودخانه گرگانرود از بهم پیوستن رودخانه‌های زاو و قره ناوه در شمال شرقی شهرستان کلاله شکل می‌گیرد و در مسیر پس از عبور از سد گلستان وارد شهر گنبدکاووس شده در نهایت با عبور از شهر آق قلا، به دریای خزر می‌ریزد. در بهار سال ۱۳۹۸ در اثر بارش‌های بهاری رودخانه گرگانرود دچار سیلاب شده است و باعث ایجاد خسارت به مناطق گنبدکاووس شده است. در شکل (۲) موقعیت منطقه گنبدکاووس نشان داده شده است.



شکل۲: منطقه گنبد کاووس

۲-۲- جمع‌آوری داده‌های مورد استفاده

پس از انتخاب مناطق مطالعاتی، به منظور انجام مدلسازی‌ها ضرورت می‌یابد داده‌های مورد نیاز از منابع اطلاعاتی مختلف جمع‌آوری شوند. نقشه ژئولوژی منطقه اُتاووا-گاتینوا با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین شناسایی کانادا تهیه شده بود، مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین نقشه ژئولوژی منطقه گنبدکاووس با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰ از منابع اطلاعاتی در دسترس تهیه شده است. در منطقه گنبد-کاووس از داده‌های بارندگی پنج ایستگاه زمینی از جمله ایستگاه‌های آق آباد، گنبدکاووس، کاکا، ایمرملاساری و محمد ایمر که در بازه زمانی وقوع سیلاب به صورت رایگان در دسترس بود و توسط سازمان هواشناسی استان گلستان ارائه شده بود، جمع‌آوری شده است. در منطقه اُتاووا-گاتینوا طبق بررسی‌های صورت گرفته داده بارندگی ایستگاه زمینی در بازه زمانی وقوع سیلاب به صورت رایگان در دسترس نبوده است، بر همین اساس از داده‌های بارندگی پرشین (*PERSIAN*)[1] استفاده شده است. در منطقه اُتاووا-گاتینوا از نقشه کاربری اراضی که توسط مرکز سنجش از دور کانادا تهیه شده بود، استفاده شده است. برای منطقه گنبدکاووس از نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط آزمایشگاه لایدار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مورد استفاده قرار گرفت. نقشه پراکندگی سیلاب از دیگر داده‌های مورد نیاز برای انجام مدلسازی‌ها است که در منطقه اُتاووا-گاتینوا این نقشه توسط منابع طبیعی کانادا بر مبنای سیلاب به وقوع

[1] *Precipitation Estimation From Remotely Sensed Information using Artificial Neural Network*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

پیوسته در ماه می سال ۲۰۱۷ تهیه شده بود، استفاده شد [۱۶]. همچنین در منطقه گنبدکاووس از نقشه پراکندگی سیلابی که توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی بر مبنای سیلاب به وقوع پیوسته در بهار سال ۱۳۹۸ تهیه گردید، مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی در مناطق آتاووا-گاتینوا و گنبد-کاووس از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ اخذ شده در تاریخ ۲۰۱۷/۷/۳۰ و ۲۰۱۸/۷/۴ استفاده شد. برای تهیه مدل رقومی ارتفاعی در مناطق مطالعاتی تصاویر ماهواره سنتینل-۱ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در منطقه آتاووا-گاتینوا از جفت تصاویر اخذ شده در تاریخ‌های ۲۰۱۶/۶/۲۹ و ۲۰۱۶/۶/۲۳ و برای منطقه گنبدکاووس از جفت تصاویر اخذ شده در تاریخ‌های ۲۰۱۸/۶/۳ و ۲۰۱۸/۶/۲۷ استفاده شده است.

۳- روش تحقیق

مراحل انجام مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب بدین صورت می‌باشد که در مرحله اول داده‌های مورد نیاز برای انجام مدلسازی‌ها تهیه شده است. سپس با توجه به اینکه متغیرهای زیادی از جمله متغیرهای توپوگرافی، هیدرولوژیکی و غیره در وقوع سیلاب نقش مهمی دارند بنابراین سعی شده است که این متغیرها از داده‌های موجود استخراج شوند. همچنین متغیرهای مؤثر در وقوع سیلاب به دو گروه متغیرهای زمینی و سنجش از دوری تقسیم شده است. متغیرهای سنجش از دوری همچون کاربری اراضی، ارتفاع، شیب و غیره از داده‌های سنجش از دوری استخراج گردیده است. متغیرهای زمینی همچون ژئولوژی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و غیره از داده-های زمینی و سایر منابع اطلاعاتی استخراج شده است. در مرحله سوم از نقشه پراکندگی سیلاب‌های به وقوع پیوسته در هر منطقه، داده‌های آموزشی برای آموزش مدل‌ها و داده‌های تست برای ارزیابی نتایج مدلسازی‌ها، استخراج گردیده است. در مرحله چهارم مدلسازی با الگوریتم جنگل تصادفی بهینه سازی شده (*RF-PSO*) یکبار به صورت تلفیقی با استفاده از متغیرهای زمینی و سنجش از دوری و بار دیگر تنها با استفاده از متغیرهای سنجش از دوری انجام شده است. همچنین در فرآیند مدلسازی‌ها از بین پارامترهای موثر در وقوع سیلاب، پارامترهای کلیدی و مهم شناسایی گردیده است. به منظور ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی سعی شده است از مدل درخت تصمیم متناوب برای انجام مدلسازی مکان-های مستعد وقوع سیلاب استفاده شود، بدین صورت که مدلسازی‌ها در یک مرحله با استفاده از متغیرهای زمینی و سنجش از دوری انجام شده است. در نهایت نتایج حاصل از مدلسازی‌ها با داده تست و معیارهای آماری، مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. تمامی مراحل فوق توسط روندنمای ارائه شده در شکل(۳) نشان داده شده است.

۳-۱- استخراج متغیرهای موثر در وقوع سیلاب

طبق بررسی‌های انجام شده در وقوع سیلاب‌ها متغیر-های محیطی بسیار زیادی تاثیرگذار می‌باشند. در این پژوهش متغیرهای موثر در وقوع سیلاب به دو گروه متغیرهای زمینی و سنجش از دوری تقسیم شده‌اند که در ادامه به معرفی و نحوه استخراج این متغیرها جهت انجام مدلسازی‌ها پرداخته شده است.

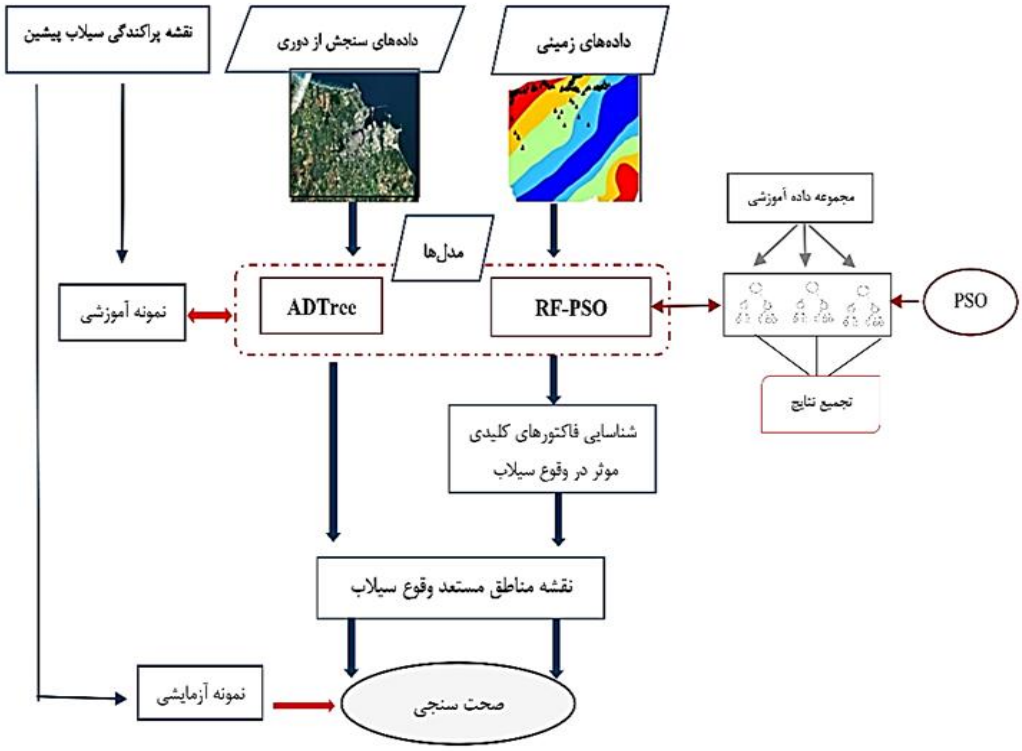
۳-۱-۱- آماده‌سازی متغیرهای زمینی

در مدلسازی مکانی سیلاب استفاده از داده‌های ایستگاه زمینی همانند ایستگاه‌های هواشناسی، ایستگاه‌های باران‌سنج و غیره باعث افزایش صحت نتایج می‌گردد. برای این منظور در این پژوهش تعدادی از پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب، از منابع اطلاعاتی زمینی استخراج شدند که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته شده است.

- **فاصله از رودخانه**

فاصله از رودخانه از عوامل مهم در میزان و توزیع مکانی وقوع سیلاب است. در مناطق مجاور رودخانه‌ها رواناب از فراوانی و قدرت حمل بالاتری برخوردار است، از اینرو احتمال وقوع سیلاب در این اراضی بسیار بالا می‌باشد [۱۷]. در این پژوهش نقشه فاصله از رودخانه مناطق آتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس با استفاده از لایه رستری رودخانه‌ها در نرم افزار *ArcGIS 10.7* تولید شده است که به ترتیب در شکل‌های (۴-الف) و (۵-الف) نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



شکل۳: روند کلی مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب مبتنی بر روش‌های توسعه یافته یادگیری ماشین

• فاصله از جاده

جاده‌ها جز سطوح نفوذ ناپذیری محسوب می‌شود که در افزایش سرعت رواناب تاثیرگذار است، همچنین در زمان وقوع سیلاب جاده‌ها یکی از راه‌های اصلی انتقال رواناب به سمت اراضی پایین دست می‌باشد. در این پژوهش نقشه فاصله از جاده مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس با استفاده از لایه رستری جاده‌ها در نرم افزار *ArcGIS 10.7* تولید شده است که به ترتیب در شکل‌های (۴-ب) و (۵-ب) نشان داده شده است.

• ژئولوژی

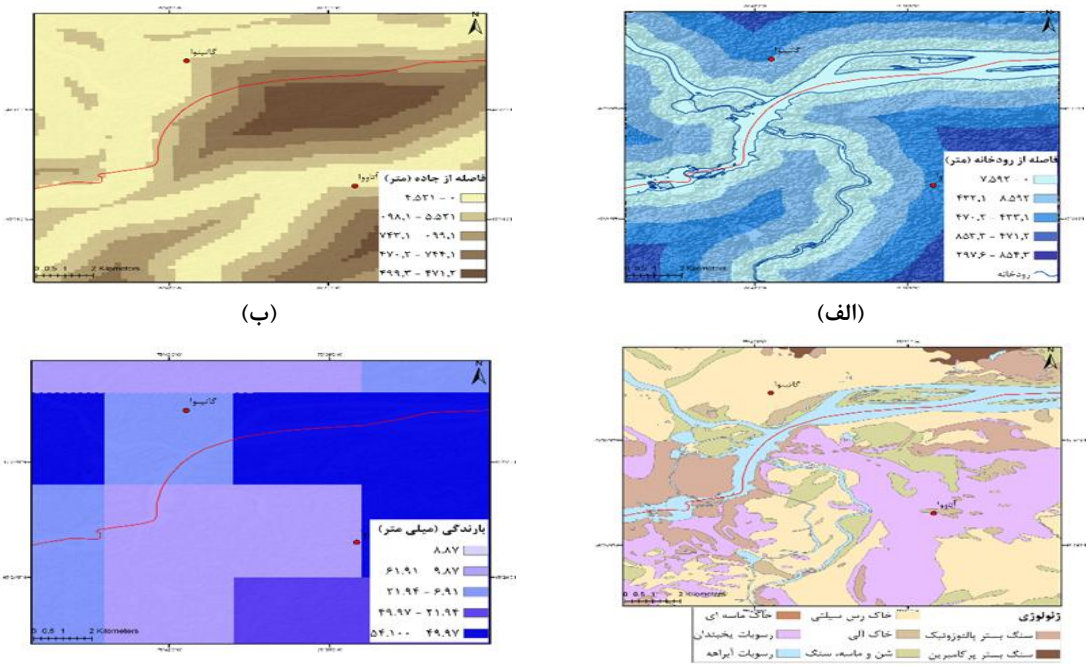
خصوصیات زمین شناسی هر حوضه تاثیر مستقیمی بر میزان نفوذ رواناب سطحی دارد، بطوریکه در مناطقی با واحدهای سنگ‌شناسی نفوذپذیر همچون ماسه سنگ‌ها بخش عمده‌ای از حجم بارش به داخل زمین نفوذ می‌کند [۱۸]. در مقابل واحدهای غیر قابل نفوذ همچون سنگ بستر باعث افزایش حجم رواناب و سیل‌خیزی حوضه‌ها می‌شوند. نقشه لیتولوژی مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس به ترتیب در شکل‌های (۴-پ) و (۵-پ) نمایش داده شده است.

• بارندگی

بارندگی از جمله پارامترهایی است که در وقوع سیلاب تاثیر زیادی دارد، بطوری که بارش‌های شدید و ممتد حوضه‌های آبریز کوچک و وسیع را دچار سیلاب می‌کند. پارامترهای مختلفی از بارندگی از جمله نوع بارش، شدت بارش، مدت زمان بارش و غیره نیز در میزان وقوع سیلاب بسیار تأثیرگذار است. باتوجه به اینکه تنها مقادیر بارندگی ایستگاه زمینی منطقه گنبدکاووس در دسترس بود، از این رو نقشه بارندگی این منطقه با استفاده از روش درونیابی عکس فاصله (*IDW*[1]) در نرم افزار *ArcGIS 10.7* تولید شده است و در شکل‌های (۵-ت) نشان داده شده است.

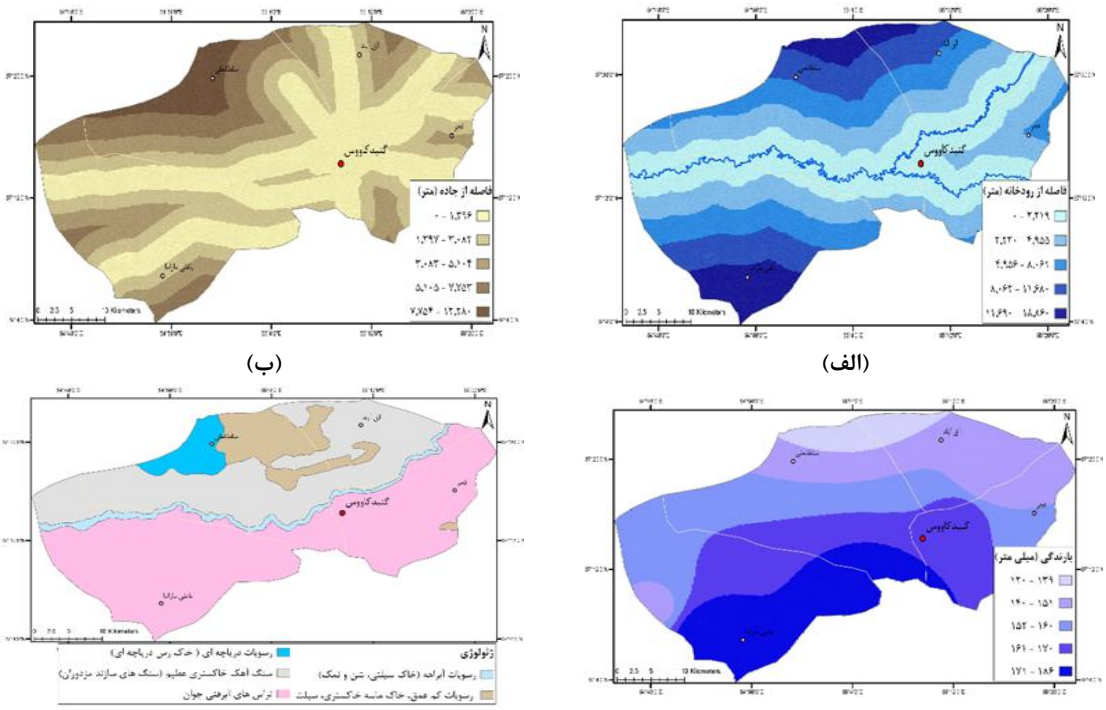
[1] *Inverse Disatance Weighted*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



(الف) (ب) (پ) (ت)

شکل۴: نقشه متغیرهای زمینی منطقه آتاووا-گاتینوا، الف) نقشه فاصله از رودخانه، ب) نقشه فاصله از جاده، پ) نقشه ژئولوژی، ت) نقشه بارندگی



(الف) (ب) (پ) (ت)

شکل۵: نقشه متغیرهای زمینی منطقه گنبدکاووس، الف) نقشه فاصله از رودخانه، ب) نقشه فاصله از جاده، پ) نقشه ژئولوژی، ت) نقشه بارندگی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

۳-۱-۲- آماده‌سازی متغیرهای سنجش از دوری

امروزه فناوری سنجش از دور با پوشش مکانی و زمانی وسیع و قابلیت اخذ داده در تمامی شرایط آب و هوایی، به یکی از مهمترین منابع اطلاعاتی در مدلسازی مکانی پدیده سیلاب تبدیل شده است. در این پژوهش نیز بسیاری از متغیرهای موثر در وقوع سیلاب از داده‌های سنجش از دوری استخراج شده‌اند که در ادامه به معرفی این متغیرها پرداخته شده است.

• پوشش گیاهی

وجود پوشش گیاهی در حوضه‌های آبریز از فاکتورهای کاهنده سیل‌خیزی است. پوشش گیاهی سرعت جریان رواناب را کاهش داده و باعث نفوذ بیشتر آن به داخل خاک و کاهش حجم سیلاب می‌شود. در این پژوهش برای ارزیابی پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده (*NDVI*)[1]استفاده شد که این شاخص مطابق با رابطه (۱) و با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ محاسبه شده است.

$$NDVI=\frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad \text{رابطه(۱)}$$

در رابطه(۱)، *NIR* و *R* به ترتیب باندهای مادون قرمز نزدیک و باند مادون قرمز تصاویر سنتینل-۲ می‌باشند. نقشه شاخص *NDVI* مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبد-کاووس در شکل‌های (۶-الف) و (۷-الف) نمایش داده شده است.

• کاربری اراضی

کاربری اراضی تأثیر مستقیمی در عملکرد فرآیندهای هیدرولوژیکی و کنترل جریان آب دارد. حضور کاربری-های گوناگون

هر منطقه باعث تغییر سرعت رواناب سطحی و میزان نفوذ آن به درون خاک می‌شود، به عنوان نمونه اراضی با پوشش گیاهی بالا باعث کاهش حجم رواناب و در مقابل اراضی نفوذ ناپذیر موجب افزایش سیل‌خیزی مناطق می‌شوند [۱۹]. نقشه کاربری اراضی مناطق مطالعاتی اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس در شکل‌های (۶-ب) و (۷-ب) نمایش داده شده است.

• مدل رقومی ارتفاعی

مدل رقومی ارتفاعی نشان دهنده شرایط توپوگرافی منطقه می‌باشد که نقش مهمی وقوع سیلاب دارد. همچنین بسیاری از پارامترهای موثر در وقوع سیلاب از جمله شیب، ارتفاع، جهت شیب و غیره از آن استخراج می‌شوند. طبق مطالعات انجام شده برای تولید *DEM* روش‌های متعددی از جمله نقشه برداری زمینی، تصاویر هوایی، تصاویر راداری و غیره وجود دارد، در میان روش‌های ذکر شده تکنیک تداخل سنجی راداری (*InSAR*[2]) به علت در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز به منظور انجام پیاده‌سازی بسیار پرکاربرد می‌باشد [۲۰]. در این پژوهش به منظور انجام فرآیند تداخل سنجی راداری با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ از نرم افزار (*SARPROZ*)[3] تحت ویندوز استفاده شده است.

• ارتفاع

ارتفاع از پارامترهای بسیار مهم در وقوع سیلاب‌ها به ویژه سیلاب‌های سریع است. مناطق مرتفع حوضه‌های آبریز به دلیل دریافت بارش بیشتر نقش اساسی در شکل‌گیری و تولید سیلاب دارند و رواناب‌های تشکیل شده در این اراضی بیشتر مناطق پست و کم ارتفاع را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش نقشه‌های ارتفاع مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ تولید شد که در شکل‌های (۶-پ) و (۷-پ) نشان داده شده است.

• شیب

شیب زمین مهم‌ترین عامل در تعیین سرعت و شدت رواناب می‌باشد. در دامنه‌هایی با شیب زیاد فرصت لازم برای نفوذ آب به درون خاک کاهش یافته و رواناب با شدت بیشتری به سمت مناطق پایین‌دست حوضه

[1] *Normalized Difference Vegetation Index*

[2] *Interferometric Synthetic Aperture Radar*

[3] *SAR Processing by periz*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

حرکت می‌کند. در اراضی پایین‌دست به دلیل شیب کم جریان آب به آسانی در گستره وسیعی پخش می‌شود. نقشه شیب مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس با استفاده از تصاویر ارتفاع در نرم افزار *ArcMap10.7* تولیدشده است که در شکل‌های (۶-ت) و (۷-ت) نشان داده شده است.

● جهت شیب

جهت شیب از جمله پارامترهای مورفولوژیکی است که از نظر تأثیر گذاری بر روندهای هیدرولوژیکی از جمله ذوب برف، رطوبت خاک، وضعیت پوشش گیاهی و فرسایش، در وقوع سیلاب موثر است. در این پژوهش نقشه جهت شیب مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس با استفاده از تصاویر ارتفاع در نرم افزار *ArcMap10.7* تولید شده است که در شکل‌های(۶-ث) و (۷-ث) نمایش داده شده است.

● انحنای شیب

پارامتر انحنای شیب تأثیر قابل توجهی بر میزان نفوذ رواناب سطحی دارد. در دامنه‌هایی با انحنای شیب مثبت رواناب با سرعت بالایی تخلیه و امکان تجمع آن بسیار کم است. در دامنه‌هایی با انحنای شیب منفی سرعت حرکت رواناب کم شده و بیشتر حجم رواناب انباشته می‌شود. نقشه انحنای شیب مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس با استفاده از تصاویر ارتفاع در نرم افزار *ArcMap10.7* تولید شده است که درشکل‌های (۶-ج) و (۷-ج) نشان داده شده است.

● شاخص رطوبت توپوگرافی

شاخص رطوبت توپوگرافی (*TWI*)[1]نشان دهنده توزیع مکانی رطوبت خاک است. در مکان‌هایی که مقدار این شاخص زیاد است در صورت وقوع بارندگی شدید خاک به سرعت اشباع شده و احتمال وقوع سیلاب افزایش می‌یابد. این شاخص براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

رابطه(۲) $$TWI= ln\left(\frac{A_s}{tan\beta}\right)$$

در رابطه(۲)، A_s مساحت ویژه حوضه (مساحت بالادست در واحد طول خط تراز) و β زاویه شیب (بر حسب درجه) است. نقشه شاخص *TWI* مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس با استفاده از نقشه ارتفاع و شیب هر حوضه در نرم افزار *SAGA-GIS* تولید شده است که در شکل (۶-چ) و (۷-چ) نشان داده شده است.

● شاخص قدرت جریان

شاخص قدرت جریان (*SPI*[2]) نشان دهنده قدرت فرسایندگی جریان آب است. در دامنه‌های با شیب زیاد که جریان آب با سرعت و شدت بالایی در حال حرکت است مقدار این شاخص افزایش یافته و در در دامنه‌های کم شیب مقدار این شاخص کاهش می‌یابد. این شاخص براساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

رابطه(۳) $$SPI=A_s \tan\beta$$

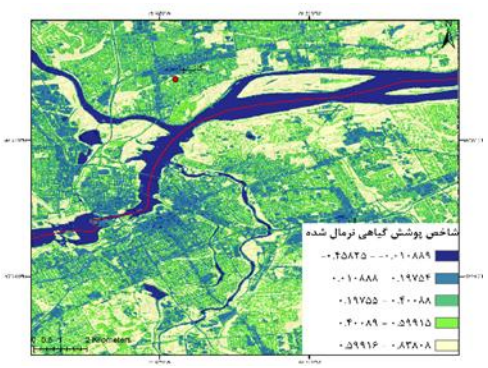
در رابطه(۳)، A_s مساحت ویژه حوضه و β زاویه شیب است. نقشه شاخص *SPI* مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبد-کاووس با استفاده از نقشه ارتفاع و شیب هر حوضه در نرم افزار *SAGA-GIS* تولید شده است که در شکل (۶-ح) و (۷-ح) نمایش داده شده است.

[1] *Topographic Wetness Index*

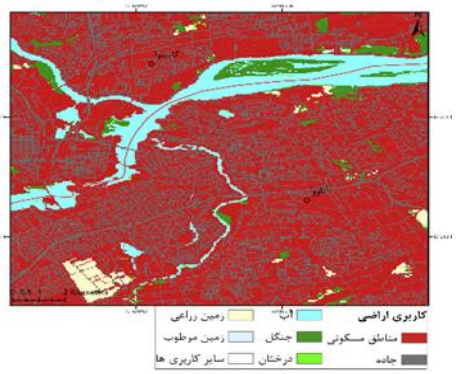
[2] *Stream Power Index*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

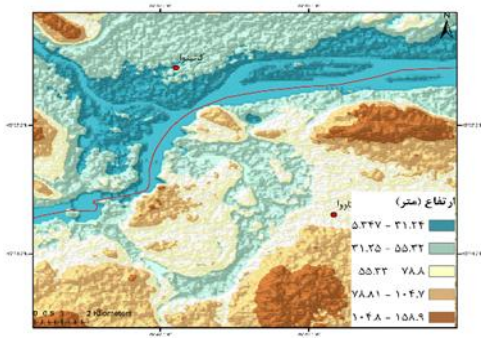
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



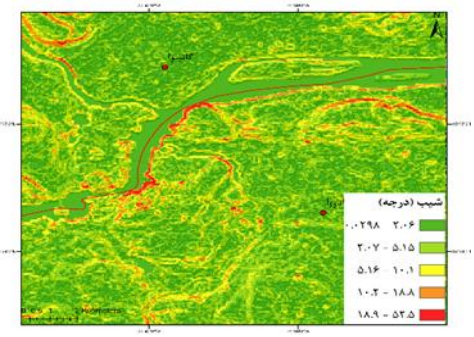
(الف)



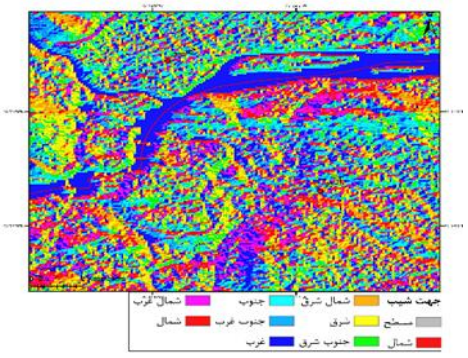
(ب)



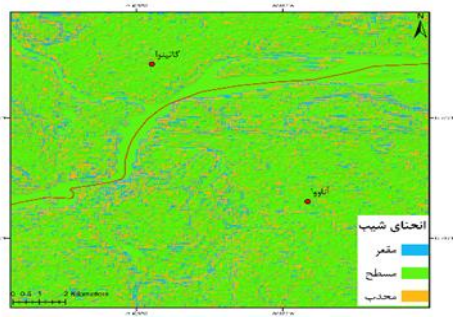
(پ)



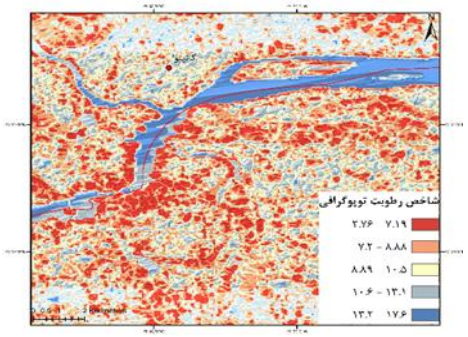
(ت)



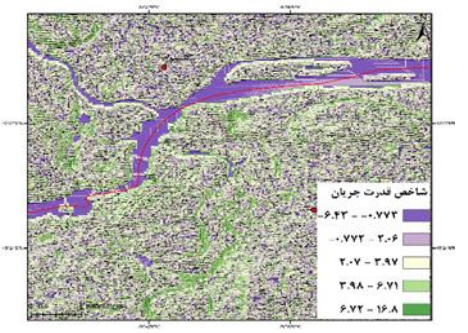
(ث)



(ج)



(چ)

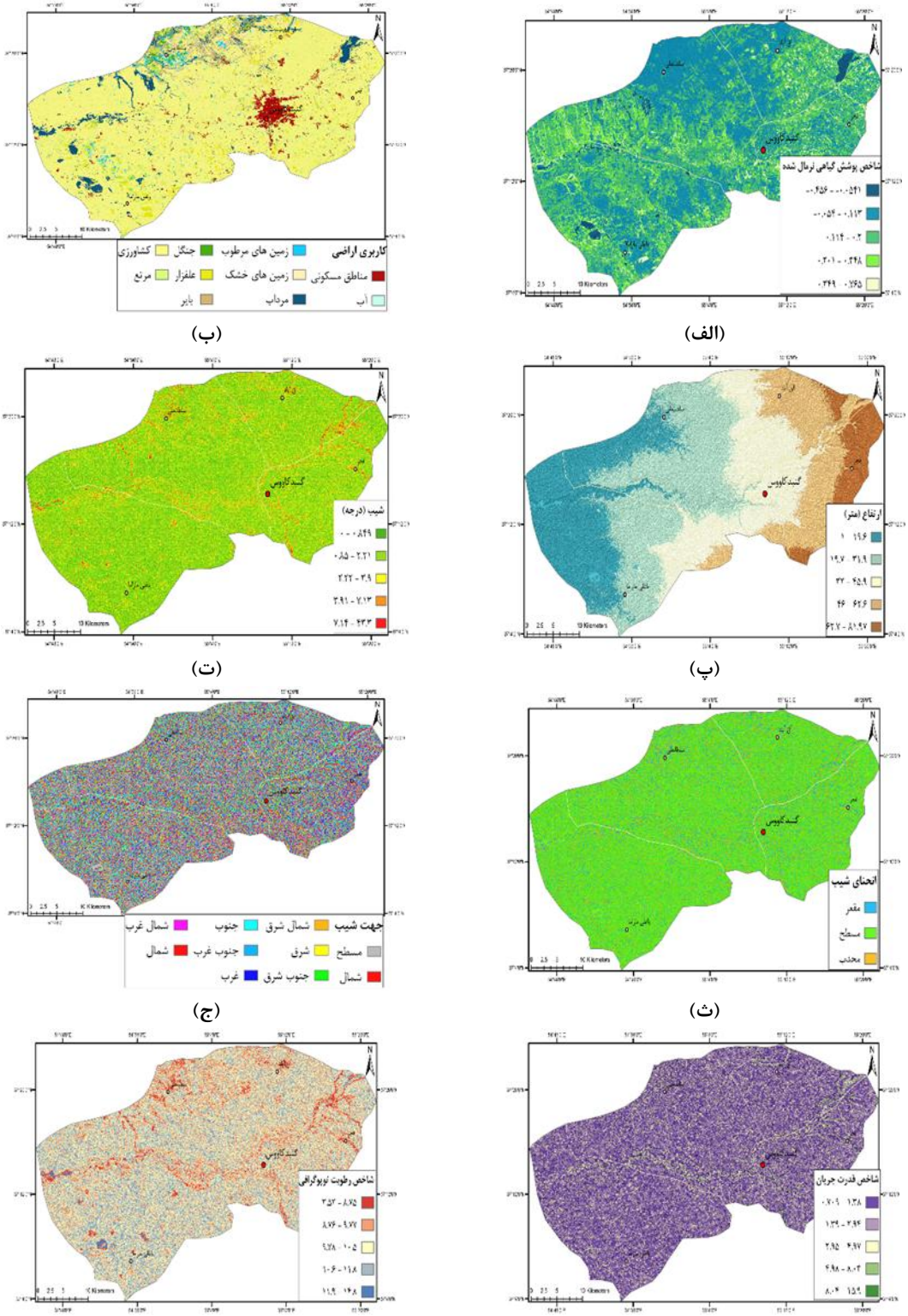


(ح)

شکل ۶: نقشه متغیرهای سنجش دوری، الف) نقشه پوشش گیاهی، ب) نقشه کاربری اراضی، پ) نقشه ارتفاع، ت) نقشه شیب، ث) نقشه جهت شیب، ج) نقشه انحنای شیب،چ) نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی، ح) نقشه شاخص قدرت جریان

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

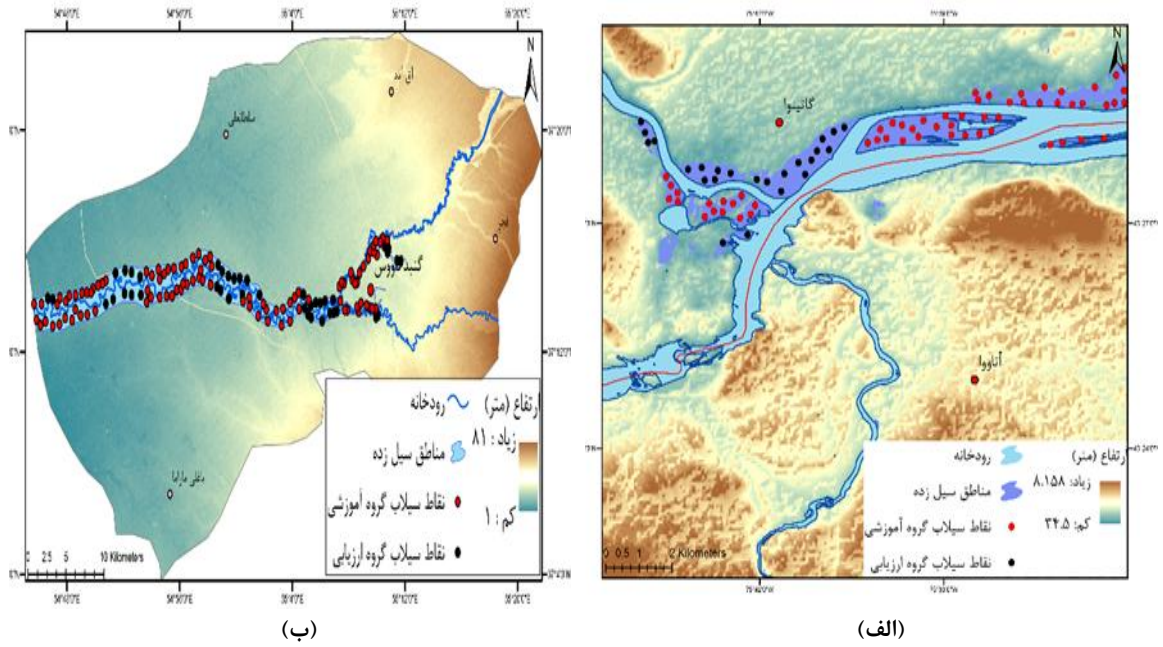


شکل ۷: نقشه متغیرهای سنجش از دوری منطقه گنبدکاووس، الف) نقشه پوشش گیاهی، ب) نقشه کاربری اراضی، پ) نقشه ارتفاع، ت) نقشه شیب، ث) نقشه جهت شیب، ج) نقشه انحنای شیب، ج) نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی، ح) نقشه شاخص قدرت جریان

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

۳-۲- استخراج داده‌های مورد نیاز از نقشه پراکندگی سیلاب‌ها

به منظور انجام مدلسازی‌ها نیاز به نقشه پراکندگی سیلاب پیشین به وقوع پیوسته در مناطق مطالعاتی می‌باشد، در واقع از این نقشه‌ها داده‌های آموزشی برای آموزش مدل‌های یادگیری ماشین و داده‌های آزمایش برای ارزیابی نتایج استخراج می‌شود. از نقشه پراکندگی سیلاب منطقه آتاووا-گاتینوا مطابق با شکل (۸-الف)، ۸۰ نقطه سیلابی در نرم افزار *ArcMap10.7* استخراج شده است. از این تعداد نقاط ۷۰٪ آن برای آموزش مدل‌ها و۳۰٪ برای صحت سنجی نتایج استفاده شده است. همچنین ۸۰ نقطه غیر سیلابی از مناطق مرتفع که سیل قادر به پیشروی در آنجا نیست، برای آموزش و ارزیابی نتایج استخراج شده است. از نقشه پراکندگی سیلاب منطقه گنبدکاووس، ۱۵۰ نقطه سیلابی استخراج شده است که ۱۰۵ نقطه برای آموزش مدل‌ها و ۴۵ نقطه برای ارزیابی نتایج استفاده شده است. در شکل (۸-ب) موقعیت مکانی نقاط سیلابی (نقاط قرمز) برای آموزش و ارزیابی (نقاط سیاه) نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل۸: الف) نقشه پراکندگی سیلاب منطقه آتاووا-گاتینوا، ب) نقشه پراکندگی سیلاب منطقه گنبدکاووس

۳-۳- روش پیشنهادی تحقیق

در این بخش از پژوهش ابتدا مدل پیشنهادی جهت شناسایی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب معرفی شده‌اند، سپس به معرفی روش درخت تصمیم متناوب به منظور ارزیابی و بررسی عملکرد مدلسازی با روش پیشنهادی، پرداخته شده است. در نهایت معیارهای آماری مورد استفاده برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و مدل درخت تصمیم متناوب معرفی شده‌اند.

۳-۳-۱- مدل جنگل تصادفی بهینه‌سازی شده

الگوریتم جنگل تصادفی (*RF*) از جمله مدل‌های تعمیم یافته درخت تصمیم‌گیری است که در سال ۲۰۰۱ توسط آقای بریمن ارائه شده است *[۲۱]*. الگوریتم *RF* بر مبنای این تئوری که برآیند چندین طبقه‌بندی‌کننده ضعیف و ساده می‌تواند طبقه‌بندی‌کننده‌ی بسیار قوی ایجاد کند توسعه یافته است. در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

واقع تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری همچون درخت تصمیم‌گیری *CART*[1] در الگوریتم *RF* تجمیع می‌شوند تا پیش‌بینی‌های پایدارتری حاصل شود. همچنین این مدل حالت تعمیم یافته الگوریتم دسته‌بندی (*Bagging*[2]) است که در ساختار آن علاوه بر انتخاب تصادفی نمونه‌های آموزشی، انتخاب ویژگی‌ها در هر گره درخت نیز به صورت تصادفی می‌باشد. این شیوه استفاده از بردار ویژگی و داده‌های آموزشی در الگوریتم *RF* باعث تعمیم‌پذیری بالای آن شده است *[۲۲]*. علاوه بر تعمیم پذیری بالا، تعیین اهمیت نسبی متغیر-ها، کاهش خطای بیش برازش، مقاوم بودن مدل نسبت به نویزها و غیره از دیگر مزایایی این مدل می‌باشند. با وجود مزایای ذکر شده این مدل دارای محدودیت‌هایی از جمله ساختار پیچیده و تفسیرپذیری دشوار، نیاز به سیستم‌هایی با قدرت پردازش بالا، وابستگی نتایج مدلسازی‌ها به ابعاد داده‌ها و غیره می‌باشد. همانطور که ذکر گردید مدل جنگل تصادفی دارای ساختار پیچیده و پارامترهای زیادی است که در نتایج نهایی و عملکرد مدل بسیار تاثیرگذار می‌باشند. لذا برای دستیابی به نتایجی با قابلیت اعتماد پذیری بالا ضرورت می‌یابد ابتدا پارامترهای مدل از جمله تعداد درختان، عمق درختان و غیره قبل شروع مدلسازی‌ها به صورت دقیق تنظیم و بهینه شوند که اکثر پژوهش‌ها با روش آزمون و خطا سعی در بهینه سازی در پارامترها دارند. در این پژوهش طی رویکرد نوینی به بهینه سازی پارامترهای مدل با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات (*PSO*)[3] پرداخته شده است. در ادامه به معرفی الگوریتم *PSO* پرداخته شده است.

۳-۳-۱-۱- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات جز الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت محسوب می‌شود. الگوریتم *PSO* در سال ۱۹۹۵ توسط آبراهات و کندی معرفی شده است *[۲۳]*. این الگوریتم از نحوه زندگی پرندگان الهام گرفته است. بدین صورت که هر جواب در فضای مسئله همانند یک پرنده در فضای جستجو است که ذره نام دارد. در ابتدا هر ذره شامل یک موقعیت تصادفی است که در هر تکرار موقعیت هر ذره تغییر می‌کند و بهترین موقعیتی (p_{best}) را که در طی فرآیند جستجو کسب کرده است در حافظه خود ذخیره می‌کنند. همچنین بهترین موقعیت از بین همه ذرات (g_{best}) ذخیره می‌کند. براساس رابطه (۴) و (۵) موقعیت و سرعت هر ذره در هر تکرار تعیین می‌شود.

در روابط (۴) و (۵)، $v_i(t)$ T سرعت ذره i در تکرار t، $x_i(t)$ موقعیت ذره i در تکرار t می‌باشند. r_1 و r_2 دو عدد تصادفی بین و صفر و یک، c_1 و c_2 ضریب ثابت مثبتی به نام ضرایب شتاب هستند. w وزن اینرسی[4] را مشخص می‌کند. این وزن در واقع درصدی از سرعت قبلی ذره را در محاسبه سرعت جدید تاثیر می‌دهد سپس موقعیت هر ذره از حیث تابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد. به صورتی که که اگر مقدار p_{best} از موقعیت فعلی بهتر باشد، آنگاه p_{best} با مقدار فعلی جایگزین می‌گردد؛ و اگر مقدار p_{best} بهتر از g_{best} باشد. مقدار g_{best} با مقدار فعلی جایگزین می‌شود. بدین شیوه در هر تکرار موقعیت تمامی ذرات بروزرسانی شده و ذرات در مکان جدیدی در فضای جستجو قرار می‌گیرند. این عمل آنقدر تکرار شده تا در نهایت به نقطه واحدی همگرا شوند *[۲۴]*.

[1] *Classification And Regression Tree*
[2] *Boosted Aggregating*
[3] *Particle Swarm Optimization*
[4] *Inertia Weigth*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1 r_1 \left(p_{best(i)} - x_i(t)\right) + c_2 r_2 \left(g_{best(i)} - x_i(t)\right)$$ رابطه(۴)

$$X_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$ رابطه(۵)

۳-۳-۲- مدل درخت تصمیم متناوب

الگوریتم درخت تصمیم متناوب (*ADTree*) توسط فروند و میسون در سال ۱۹۹۹ به عنوان یک الگوریتم قوی برای طبقه بندی معرفی شده است. این الگوریتم حالت تعمیم یافته‌ای از درخت تصمیم‌گیری ساده است که با الگوریتم *AdaBoost* تلفیق شده است *[۲۵]*. ساختار کلی مدل بدین صورت است که از دو نوع گره، گره تصمیم‌گیری و گره پیش‌بینی تشکیل می‌شود. گره تصمیم‌گیری شامل یک قانون مشخص برای تصمیم-گیری است که منجر به گره‌های جدیدی می‌شود. گره پیش‌بینی شامل یک عدد واحد است. طبقه بندی نمونه‌ها در این مدل بدین صورت است که قبل از شروع مدلسازی، تمامی نمونه‌های آموزشی مطابق با الگوریتم *AdaBoost* وزن دهی می‌شود. در گره ریشه درخت نیز یک قانون اولیه تعریف می‌شود. به نحوه‌ای که تمام نمونه‌های آموزشی در آن صدق می‌کند. پس از عبور از گره ریشه نمونه‌ها وارد بخشی از درخت می-شوند که در آن هر گره تصمیم‌گیری که شامل پیش شرط c_1 و شرط c_2 است گسترش یافته و به دو گره پیش بینی مقادیر b و a می‌رسد. همچنین مقادیر b و a براساس رابطه (۶) و رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$a = 0.5 \ln\left(\frac{w_+(c_1^* \wedge c_2^*)+\varepsilon}{w_-(c_1^* \wedge c_2^*)+\varepsilon}\right)$$ رابطه(۶)

$$b = 0.5 \ln\left(\frac{w_+(c_1^* \wedge \neg c_2^*)+\varepsilon}{w_-(c_1^* \wedge \neg c_2^*)+\varepsilon}\right)$$ رابطه(۷)

در روابط (۶) و (۷) w_+ و w_- به ترتیب مجموع وزن اولیه نمونه‌های آموزشی با کلاس مثبت و منفی، مقدار ε برابر یک است. با تعیین b و a، وزن هر نمونه آموزشی به روزرسانی می‌شود و با تجمیع تمامی وزن-های محاسبه برای نمونه آموزشی کلاس آن تعیین می-شود.

۳-۴- ارزیابی عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین با استفاده از معیارهای آماری

طبق بررسی‌های صورت گرفته به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین در فرآیند مدلسازی پدیده سیلاب، نقشه‌های حاصل از مدلسازی‌ها با داده-های واقعیت زمینی مورد مقایسه قرار می‌گیرند که نتایج عموما به صورت ماتریس خطا[1] نمایش داده می-شود. همچنین معیارهای دقت کلی و ضریب کاپا براساس روابط (۸) و (۹) از ماتریس خطا استخراج می-شوند که در این پژوهش از معیارهای ذکر شده برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی استفاده شده است *[۹]*. در روابط (۸) و (۹) *TP*[2] مثبت واقعی، *TN*[3] منفی واقعی، *FP*[4] منفی کاذب و *FN*[5] منفی اشتباه است. در این پژوهش برای ارزیابی دقیق نتایج از معیار ریشه میانگین مربعات خطا (*RMSE*) نیز استفاده شده است. معیار *RMSE* نشان دهنده مقدار اختلاف بین نمونه‌های معلوم و مدلسازی شده است که این معیار براساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود *[۱۶]*. در رابطه (۱۰) $x_{predicted}$ نمونه مدلسازی شده، x_{actual} نمونه معلوم و N تعداد کل نمونه‌ها است.

[1] *Confusion Matrix*
[2] *True Positive*
[3] *True Negative*
[4] *False Positive*
[5] *False Negative*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

$$O.A = \frac{TP+TN}{\mathrm{N}}$$ رابطه(۸)

$$kappa = \frac{\theta_1-\theta_2}{1-\theta_2} \quad . \quad \theta_1 = O.A \quad . \quad \theta_2 = \frac{((\mathrm{TP+FN})(\mathrm{TP+FP})+(\mathrm{FP+TN})(\mathrm{FN+TN}))}{\sqrt{(TP+TN+FP+FN)}}$$ رابطه(۹)

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_{predicted}-x_{actual})^2}$$ رابطه(۱۰)

۴- نتایج حاصل از مدلسازی در مناطق مطالعاتی

در این بخش از پژوهش نتایج حاصل از مراحل مختلف مدلسازی‌های از جمله بهینه سازی پارامترهای مدل جنگل تصادفی، تعیین اهمیت نسبی متغیرها و نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب به طور کامل ارائه شده است. سپس نتایج حاصل از مدلسازی‌ها در مناطق مطالعاتی مورد تفسیر و ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۴-۱- بهینه سازی پارامترهای مدل جنگل تصادفی

مدلسازی با الگوریتم *RF-PSO* به دو صورت در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. در روش اول مدلسازی با استفاده از متغیرهای زمینی و سنجش از دوری و در روش دوم مدلسازی‌ها صرفا با استفاده از ویژگی‌های سنجش از دوری انجام شده است. در هر دو صورت مدلسازی سه پارامتر مهم مدل جنگل تصادفی از جمله تعداد درختان (*Ntree*)، تعداد متغیرهای مورد استفاده در هر گره درخت (*Mtry*) و عمق درختان شناسایی و با استفاده از الگوریتم *PSO* در نرم افزار متلب بهینه سازی شده‌اند. لازم به ذکر است که پارامتر عمق درختان شامل سه پارامتر حداکثر تعداد گره تصمیم-گیری (*MNS*)[1] حداقل تعداد مشاهدات در شاخه درختان (*MPS*)[2] و حداقل تعداد مشاهدات در برگ درختان (*MLS*)[3] می‌باشد. به منظور انجام بهینه‌سازی ابتدا پارامترهای الگوریتم *PSO* نیز تعیین شدند از جمله تابع هزینه براساس میانگین خطای مربعات[4] در نظر گرفته شد و روند بهینه سازی در ۲۰ تکرار متوالی انجام شود. سپس فرآیند بهینه‌سازی در نرم افزار متلب انجام شد که در جداول (۱) و (۲) نتایج حاصل از بهینه سازی پارامترهای مدل در مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبد-کاووس ارائه شده است.

۴-۲- تعیین اهمیت نسبی متغیرها

عوامل متعددی بر وقوع پدیده سیلاب در یک حوضه آبریز تاثیرگذار می‌باشد که هر کدام از این عوامل نقش متفاوتی در شکل‌گیری پدیده سیلاب دارند. شناسایی پارامترهای کلیدی و موثر در وقوع سیلاب ضمن انجام مدلسازی‌ها بسیار ضروری می‌باشد که در این پژوهش از جنگل تصادفی بهینه سازی شده برای تعیین اهمیت نسبی متغیرها در هر دو صورت مدلسازی استفاده شده است. در شکل‌های (۹) و (۱۰) نتایج حاصل از تعیین اهمیت نسبی متغیرها در منطقه اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس ارائه شده است. مطابق با شکل (۹-الف) و (۹-ب) در منطقه اُتاووا-گاتینوا در مدلسازی با استفاده از داده‌های تلفیقی پارامترهای فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، ارتفاع و ژئولوژی به ترتیب بیشترین میزان اهمیت و در مدلسازی با داده‌های سنجش از دوری پارامترهای کاربری اراضی، ارتفاع و پوشش گیاهی به ترتیب بیشترین میزان تأثیرگذاری را داشتند. در منطقه گنبدکاووس مطابق با شکل (۱۰-الف) و (۱۰-ب) در مدلسازی با استفاده از داده‌های تلفیقی پارامترهای فاصله از رودخانه، ارتفاع، کاربری اراضی و بارندگی به ترتیب بیشترین میزان اهمیت و در مدلسازی با داده‌های سنجش از دوری پارامترهای ارتفاع، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شیب بیشترین میزان تاثیرگذاری را در مدلسازی‌ها داشتند.

[1] *Maximum Number of decision split*
[2] *Minimum Parent Size*
[3] *Minimum Leaf Size*
[4] *Mean Square Error*

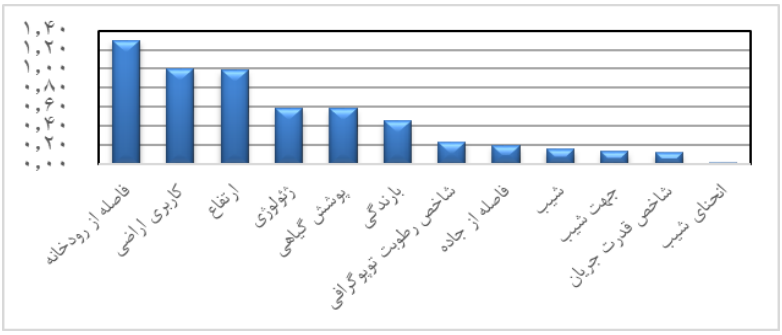
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

جدول ۱: بهینه‌سازی پارامترهای مدل جنگل تصادفی در منطقه آتاووا-گاتینوا

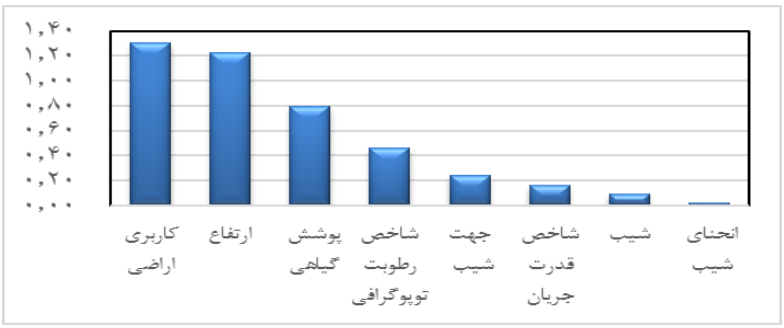
پارامترهای مدل / داده‌های مورد استفاده	*NTree*	*Mtry*	*MNS*	*MPS*	*MLS*
داده‌های زمینی و سنجش از دوری	۷۴۳	۵	۸	۲	۳
داده‌های سنجش از دوری	۹۸۸	۴	۱۲	۲	۲

جدول ۲: بهینه‌سازی پارامترهای مدل جنگل تصادفی در منطقه گنبدکاووس

پارامترهای مدل / داده‌های مورد استفاده	*NTree*	*Mtry*	*MNS*	*MPS*	*MLS*
داده‌های زمینی و سنجش از دوری	۴۲۶	۳	۲۰	۲	۲
داده‌های سنجش از دوری	۵۶۰	۴	۱۶	۲	۲



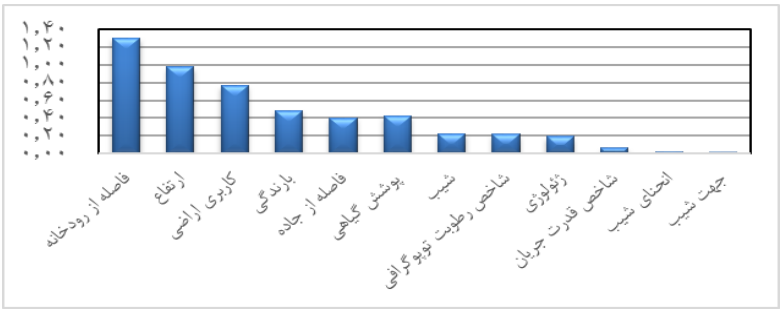
(الف)



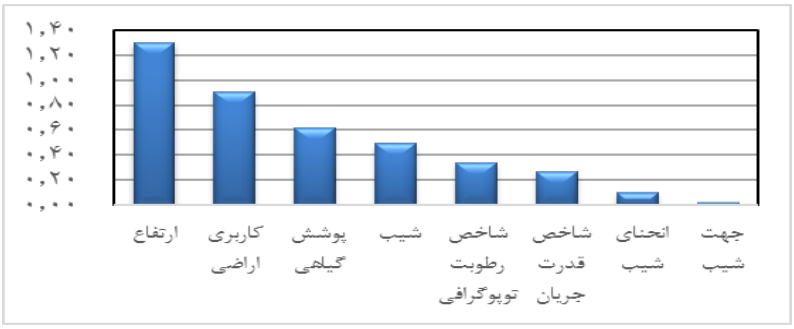
(ب)

شکل۹: تعیین اهمیت نسبی متغیرها در منطقه آتاووا-گاتینوا، الف) اهمیت نسبی متغیرهای زمینی و سنجش از دوری، ب) اهمیت نسبی متغیرهای سنجش از دوری

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



(الف)



(ب)

شکل۱۰: تعیین اهمیت نسبی متغیرها در منطقه گنبدکاووس، الف) اهمیت نسبی متغیرهای زمینی و سنجش از دوری، ب) اهمیت نسبی متغیرهای سنجش از دوری

۴-۳- تهیه نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب

نتیجه اولیه حاصل از مدلسازی‌ها، نقشه احتمال وقوع سیلاب می‌باشد. در این نقشه هر پیکسل شامل مقادیری بین صفر و یک است که مقدار صفر نشان-دهنده احتمال پایین برای وقوع پدیده سیلاب و مقدار یک نشان دهنده احتمال بالا برای وقوع پدیده سیلاب است. این نقشه با استفاده از روش شکست طبیعی (*Natural Break*) به پنج طبقه، مناطقی با احتمال وقوع سیلاب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در نرم افزار *ArcMap10.7* تقسیم شده است. نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب حوضه آبریز آتاووا گاتینوا و گنبدکاووس حاصل از مدلسازی با مدل‌های *RF-PSO* و *ADTree* در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است.

۵- ارزیابی نتایج

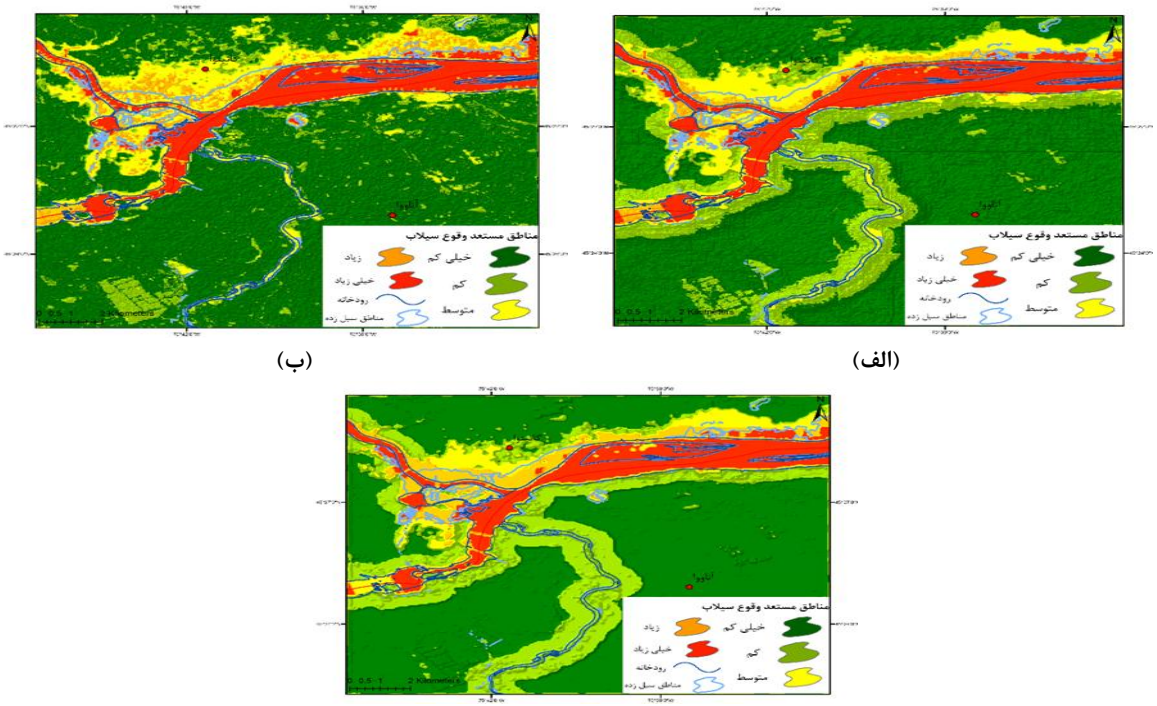
در این بخش از پژوهش به ارزیابی روش پیشنهادی پرداخته شده است. بدین صورت که ابتدا نتایج حاصل از مدلسازی با روش پیشنهادی در مناطق مطالعاتی از لحاظ آماری مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. سپس به ارزیابی مدل پیشنهادی در شناسایی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب با استفاده داده‌های سنجش از دوری پرداخته شده است. در نهایت به ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی در مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب در منطقه‌ای با خصوصیات سیل خیزی متفاوت پرداخته شده است.

۵-۱- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی با استفاده از معیارهای آماری

در این پژوهش به منظور ارزیابی نتایج از پارامترهای آماری دقت کلی[1] ضریب کاپا[2] و *RMSE* استفاده شده است نتایج حاصل از ارزیابی مدلسازی با استفاده از مدل‌های *RF-PSO* و *ADTree* در مناطق آتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس در جدول (۳) و (۴) ارائه شده است.

[1] *Overal Accuracy*
[2] *Kappa cofficient*

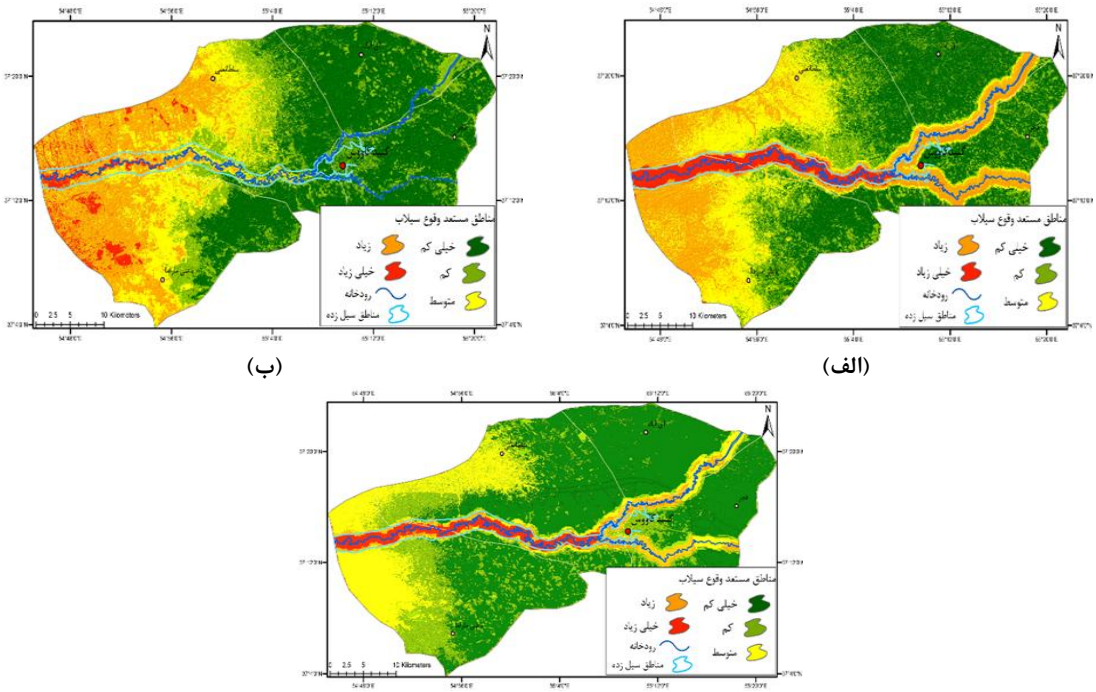
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



(ب) (الف)

(پ)

شکل۱۱: نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب منطقه آتاووا-گاتینوا، الف) نقشه حاصل از مدلسازی با الگوریتم *RF-PSO* و داده‌های تلفیقی، ب) نقشه حاصل از مدلسازی با الگوریتم *RF-PSO* و داده‌های سنجش از دوری، پ) نقشه حاصل از مدلسازی با الگوریتم *ADTree*



(ب) (الف)

(پ)

شکل۱۲: نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب منطقه گنبدکاووس، الف) نقشه حاصل از مدلسازی با الگوریتم *RF-PSO* و داده‌های تلفیقی، ب) نقشه حاصل از مدلسازی با الگوریتم *RF-PSO* و داده‌های سنجش از دوری، پ) نقشه حاصل از مدلسازی با الگوریتم *ADTree*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

جدول۳: ارزیابی نتایج حاصل از مدلسازی با الگوریتم‌های *RF-PSO* و *ADTree* در منطقه اُتاووا-گاتینوا

معیار ارزیابی	دقت کلی (درصد)		ضریب کاپا (درصد)		*RMSE*	
مدل / داده‌های مورد استفاده	*RF-PSO*	*ADTree*	*RF-PSO*	*ADTree*	*RF-PSO*	*ADTree*
داده‌های تلفیقی	٪ ۸۶٫۷	٪ ۸۵٫۴	۷۳٫۲۰	۷۰٫۹۱	۰٫۳۱۲۸	۰٫۳۳
داده‌های سنجش از دوری	٪ ۸۲٫۱	×	۶۷٫۴۵	×	۰٫۳۶	×

جدول۴: ارزیابی نتایج حاصل از مدلسازی با الگوریتم‌های *RF-PSO* و *ADTree* در منطقه گنبدکاووس

معیار ارزیابی	دقت کلی (درصد)		ضریب کاپا (درصد)		*RMSE*	
مدل / داده‌های مورد استفاده	*RF-PSO*	*ADTree*	*RF-PSO*	*ADTree*	*RF-PSO*	*ADTree*
داده‌های تلفیقی	٪ ۸۷٫۲	٪ ۸۶	۷۴٫۳۱	۷۲٫۲۶	۰٫۳۰	۰٫۳۲
داده‌های سنجش از دوری	٪ ۸۴٫۲۶	×	۶۹٫۱	×	۰٫۳۴۱	×

براساس نتایج حاصل می‌توان بیان نمود که در مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس مدلسازی با روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های تلفیقی با ضریب کاپا برابر با ۷۴٫۳۱ و۷۳٫۲۱ عملکرد قابل قبولی داشته است. همچنین ضریب کاپا مدلسازی +با داده‌های سنجش از دوری در مناطق مطالعاتی به ترتیب برابر با ۶۹٫۱ و ۶۷٫۴۵ بوده است. به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی مدلسازی با استفاده از داده‌های تلفیقی با الگوریتم *ADTree* انجام شد که ضریب کاپا مدلسازی در مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس برابر با ۷۲٫۲۶ و ۷۰٫۹۱ بوده است. از نظر بصری نیز در نقشه حاصل از مدلسازی با دادها تلفیقی و سنجش از دوری منطقه اُتاووا-گاتینوا مطابق با شکل‌های (۱۱-الف) و (۱۱-ب) در شمال حوضه آبریز مناطق مجاور رودخانه‌ها و شهر گاتینوا جز اراضی با احتمال بالای وقوع سیلاب شناسایی شده‌اند که تطابق بالایی با نقشه مناطق سیل زده داشته است. همچنین اراضی جنوبی حوضه آبریز که شهر اُتاووا در آن قرار دارد که نسبت به اراضی شمالی مرتفع‌تر می‌باشد و فاصله‌شان از رودخانه بیشتر است، به درستی جز اراضی با احتمال وقوع سیلاب کم شناسایی شده‌اند. در منطقه گنبدکاووس براساس نقشه حاصل از مدلسازی با دادها تلفیقی و سنجش از دوری مطابق با شکل‌های (۱۲-الف) و (۱۲-ب)، اراضی بالادست حوضه که شامل دهستان‌های آق‌آباد و فجر می‌باشند جز اراضی با احتمال وقوع سیلاب خیلی کم و کم شناسایی شده‌اند. همچنین اکثر اراضی پایین دست حوضه با وجود فاصله از رودخانه به علت ارتفاع کم جز مناطقی با احتمال وقوع سیلاب متوسط و زیاد شناسایی شدند. شهر گنبدکاووس که جز اراضی سیل گیر در سیلاب سال ۹۸ بود به واسطه ارتفاع بیشتری که نسبت به اراضی پایین دست داشت در مدلسازی با داده‌های سنجش از دوری به اشتباه جز اراضی با احتمال وقوع سیلاب کم شناسایی شد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

۵-۲- ارزیابی مدل پیشنهادی در شناسایی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب با استفاده از داده-های سنجش از دوری

یکی از اهداف این پژوهش مدلسازی با داده‌های سنجش از دوری رایگان و در دسترس بوده است که در مناطق مطالعاتی سعی در انجام مدلسازی‌ها با استفاده از این داده‌ها و روش پیشنهادی شده است. اما با توجه به قدرت تفکیک مکانی متوسط داده‌های سنجش از دوری رایگان همچون تصاویر ماهواره سنتینل-۱ و براساس نقشه‌های حاصل از مدلسازی با داده‌های سنجش از دوری رایگان در مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس مطابق با شکل‌های (۱۱-ب) و (۱۲-ب) مدل در شناسایی بعضی از نواحی مدل دچار خطا شده است، از این رو ضرورت می‌یابد مدلسازی با روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های سنجش از دوری با قدرت تفکیک مکانی بالا انجام گیرد تا بررسی شود که مدلسازی با استفاده از این داده‌ها چه میزان باعث بهبود دقت مدل پیشنهادی می‌شود. طبق بررسی‌های صورت گرفته در منطقه اُتاووا-گاتینوا تصاویر ماهواره تجاری تراسار-ایکس (*TerraSar-x*) با قدرت تفکیک مکانی سه متر به صورت رایگان در دسترس بود. بنابراین با استفاده از جفت تصاویر راداری ماهواره *TerraSar-x* اخذ شده در تاریخ‌های ۲۰۱۷/۳/۳۱ و ۲۰۱۷/۴/۲۲ و تکنیک تداخل سنجی راداری مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی بالا تولید شده است. سپس پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای شیب، شاخص‌های *TWI*و *SPI* از مدل رقومی ارتفاغی حاصل استخراج گردید که در شکل (۱۳) نقشه این پارامترها برای منطقه اُتاووا-گاتینوا نشان داده شده است.

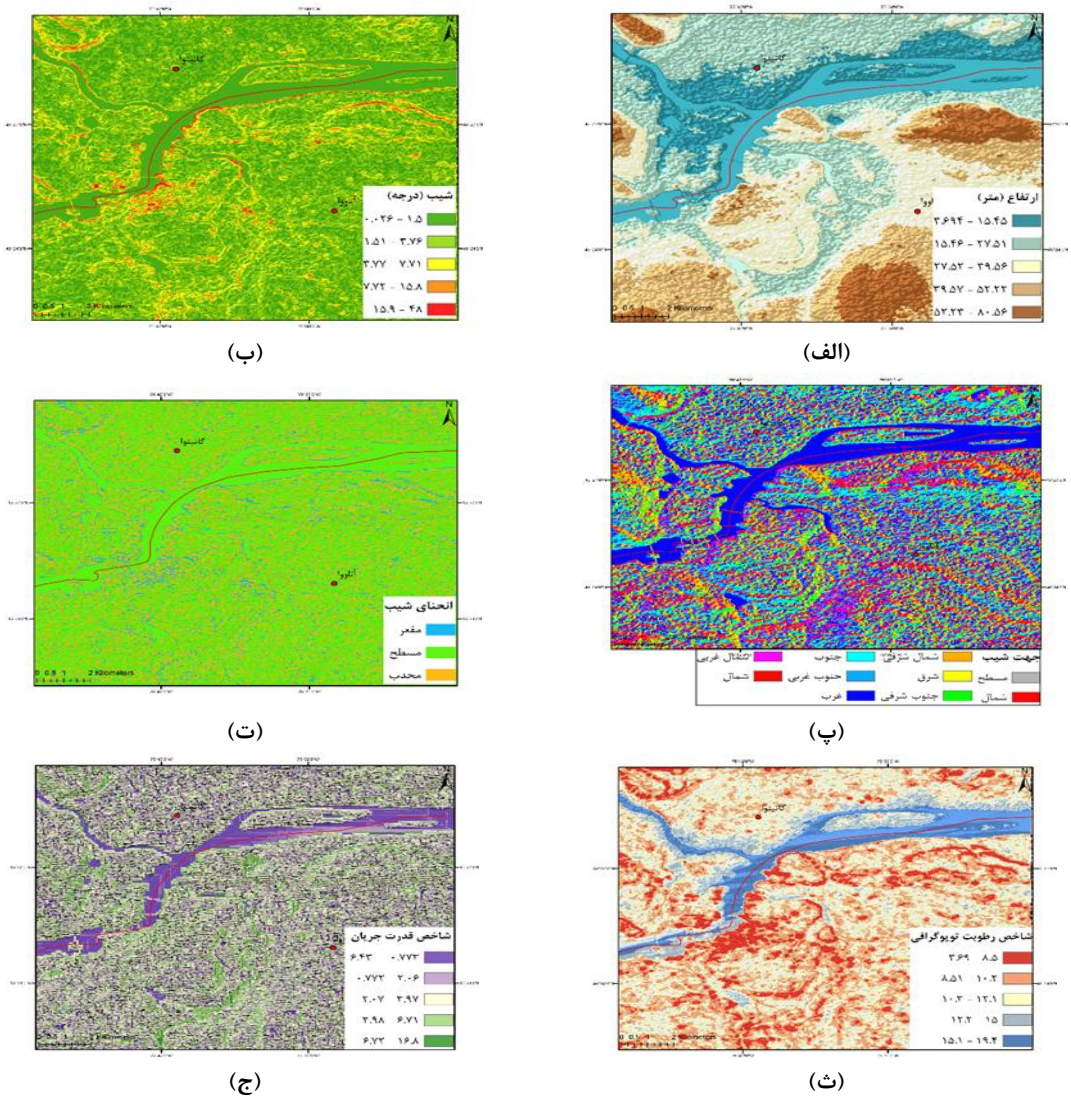
با استفاده از متغیرهای مستخرج از *DEM* تولید شده از داده‌های ماهواره *Terrasa-x* و دو متغیر کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی که در بخش (۴-۱-۲) تولید شده‌اند مدلسازی با روش پیشنهادی انجام شده است.

بدین صورت که ابتدا ۶ پارامتر مدل جنگل تصادفی از جمله *NTree*، *Mtrry*، *MNS*، *MPS* و *MLS* با استفاده از الگوریتم *PSO* بهینه‌سازی شدند که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۲،۱۰،۴،۹۸۸ و۲ می‌باشد. پس از تنظیم پارامترها مدل جنگل تصادفی با استفاده از الگوریتم *PSO*، اهمیت نسبی متغیرها تعیین شد که پارامتر کاربری اراضی (۱٫۳)، ارتفاع (۱٫۱۱)، پوشش گیاهی (۰٫۷۹۱۳) به ترتیب بیشترین میزان اهمیت و شاخص *SPI* (۰٫۰۲) کمترین میزان اهمیت را داشته است. پس از تعیین اهمیت نسبی متغیرها، نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب حاصل از مدلسازی با الگوریتم *RF-PSO* در نرم افزار *ArcMap10.7* به پنج طبقه، مناطقی با احتمال وقوع سیلاب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد که در شکل (۱۴) نمایش داده شده است.

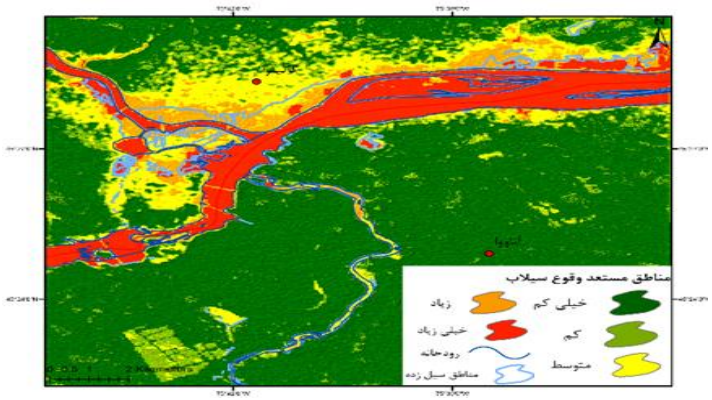
به منظور ارزیابی نتایج مدلسازی از سه پارامتر آماری دقت کلی، ضریب کاپا و میانگین مربع خطاها استفاده شد که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۹۰٫۲٪، ۸۰ و ۰٫۲۷۰۱ بوده است. براساس نتایج حاصل می‌توان بیان نمود که مدلسازی‌ها با متغیرهای مستخرج از تصاویر ماهواره *TerraSar-x* با ضریب کاپا ۸۰ دقت بالایی داشته است. از لحاظ بصری نیز مطابق با شکل (۱۴) مناطق اطراف رودخانه‌ها جز اراضی با احتمال بالای وقوع سیلاب شناسایی شدند که انطباق بالایی با نقشه مناطق سیل‌زده داشته است. همچنین نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب حاصل از مدلسازی با داده‌های ماهواره *TerraSar-x* دارای نویز کمتری به ویژه در اراضی نسبت به مدلسازی با داده‌های رایگان سنجش از دوری می‌باشد. در نهایت لازم به ذکر است که انجام مدلسازی با متغیرهای سنجش از دوری حاصل از تصاویر ماهواره *TerraSar-x* نسبت به مدلسازی‌های تلفیقی و سنجش از دوری با داده‌های رایگان و در دسترس دقت بالاتری داشته است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



شکل۱۳: نقشه مستخرج از *DEM* تولید شده از تصاویر *TerrsaSar-x*، الف) نقشه ارتفاع، ب) نقشه شیب، پ) نقشه جهت شیب، ت) نقشه انحنای شیب، ث) نقشه شاخص *TWI*، ج) نقشه شاخص *SPI*



شکل۱۴: نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب حاصل از مدلسازی با داده‌های ماهواره *TerraSar-x* و الگوریتم *RF-PSO*

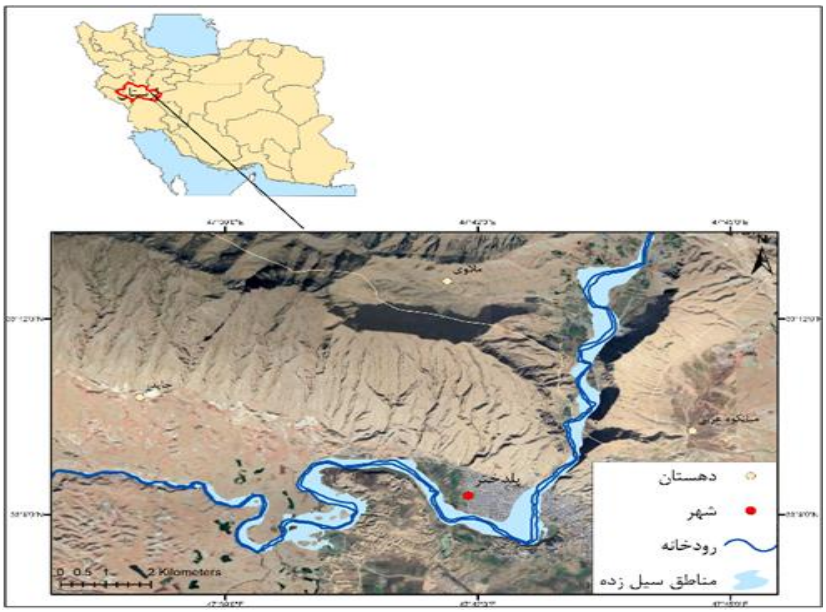
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

۵-۳- ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی به منظور انجام مدلسازی در منطقه‌ای با خصوصیات سیل خیزی متفاوت

اکثر مطالعات پیشین انجام شده از مدل‌های یکسان و ثابت در مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب بدون در نظر گرفتن خصوصیات محیطی و تکتونیکی هر منطقه استفاده می‌کنند. بر همین اساس در این پژوهش مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب در دو منطقه مطالعاتی با خصوصیات محیطی نسبتا مشابه و نوع سیلاب رودخانه‌ای انجام شده است. همچنین برای بررسی و دقیق‌تر عملکرد مدل پیشنهادی ضرورت می‌یابد مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب در حوضه آبریز دیگری با خصوصیات محیطی و نوع سیلاب متفاوت با مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس انجام شود. طبق بررسی‌های صورت گرفته حوضه آبریز پلدختر که سیلاب‌های به وقوع پیوسته در آن از نوع سریع و از نظر خصوصیات توپوگرافی و هیدرولوژیکی متفاوت با دو منطقه مطالعاتی بود انتخاب شده است. در این پژوهش سیلاب به وقوع پیوسته در ۱۲ فروردین سال ۱۳۹۸ در منطقه پلدختر مبنای مدلسازی‌ها قرار گرفته است و در ادامه به معرفی این منطقه همراه با نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی در این منطقه پرداخته شده است.

- **منطقه مطالعاتی پلدختر**

حوضه آبریز پلدختر در جنوب استان لرستان و در بخش مرکزی شهرستان پلدختر واقع شده است. این حوضه آبریز کوچک با مساحت $۶۰۰\ km^2$ بین مختصات جغرافیایی ′۳۳°۷ تا ′۳۳°۱۳ عرض شمالی و ′۴۷°۳۷ تا ′۴۷°۴۷ طول شرقی قرار گرفته است. این حوضه به علت قرارگیری در دامنه کوه مَله از رشته کوه زاگرس و با متوسط ارتفاع ۶۸۰ متر جزء مناطق مرتفع و ناهموار به شمار می‌آید. رودخانه کشکان آبراهه اصلی این حوضه است که از کوه‌های شمال الشتر سر چشمه می‌گیرد و در طی مسیر از وسط شهر پلدختر عبور کرده و در جنوب این شهر با رودخانه سیمره تلاقی پیدا می‌کند. در بهار سال ۱۳۹۸ رودخانه کشکان در اثر بارش باران شدید این رودخانه دچار طغیان شده است باعث ایجاد خسارت به مناطقه پلدختر شده است. در شکل (۱۵) منطقه مطالعاتی پلدختر نشان داده شده است.



شکل۱۵: منطقه مطالعاتی پلدختر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

● جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی در منطقه پلدختر

باتوجه به اینکه سیلاب پلدختر و گنبدکاووس حدودا در یک بازه زمانی به وقوع پیوسته‌اند و مطالعات زیادی بر روی این دو سیلاب انجام شده است. از رو این نقشه پراکندگی سیلاب و کاربری اراضی برای انجام مدلسازی در منطقه پلدختر از همان منابع اطلاعاتی که داده‌های گنبدکاووس استخراج شده‌اند، جمع‌آوری شدند. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ اخذ شده در تاریخ ۲۰۱۸/۷/۵ استفاده شده است. برای تهیه *DEM* از جفت تصاویر ماهواره سنتینل-۱ اخذ شده در تاریخ‌های ۲۰۱۸/۶/۵ و ۲۰۱۸/۶/۱۱ استفاده شده است.

● استخراج متغیرهای موثر در وقوع سیلاب منطقه پلدختر

روش استخراج متغیرهای سنجش از دوری و نرم افزار-های مورد نیاز آن در این منطقه همانند سایر مناطق مطالعاتی بوده است که در بخش (۴-۱) به روش استخراج متغیرها اشاره شده است. نقشه متغیرهای سنجش از دوری از جمله شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای شیب، شاخص *TWI* و شاخص *SPI* در شکل (۱۶) نشان داده شده است.

از نقشه پراکندگی سیلاب منطقه پلدختر،۷۰ نقطه سیلابی در نرم افزار *ArcMap10.7* استخراج شده است که از این تعداد نقاط۷۰٪ آن برای آموزش مدل‌ها (نقاط قرمز) و۳۰٪ آن برای ارزیابی نتایج (نقاط سیاه) استفاده شده است. در شکل (۱۷) موقعیت مکانی نقاط سیلاب گروه آموزش و ارزیابی نشان داده شده است.

● مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب منطقه پلدختر

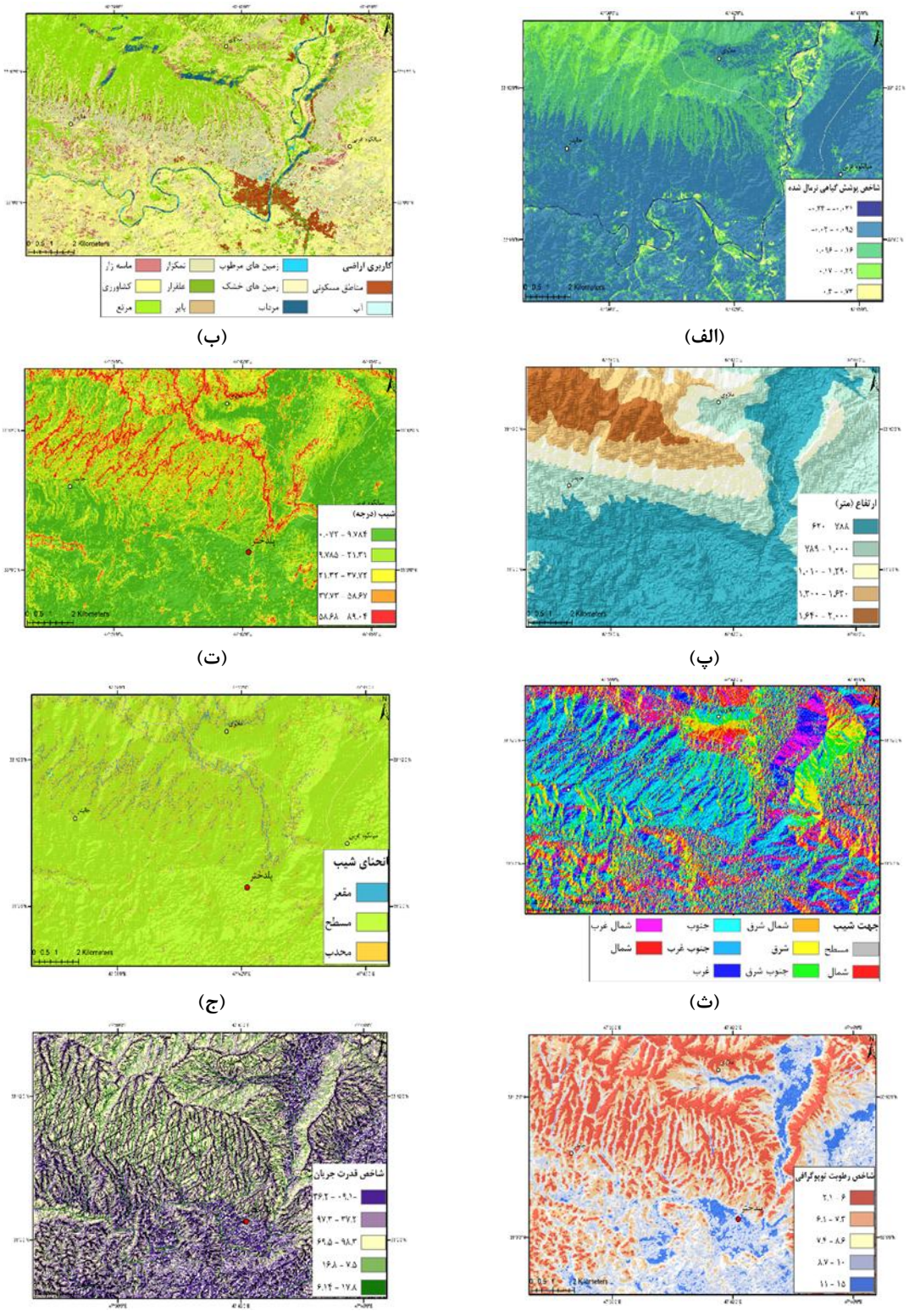
در این منطقه از مدل‌های جنگل تصادفی بهینه شده (*RF-PSO*) و داده‌های سنجش از دوری برای انجام مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب استفاده شده است. روش انجام مدلسازی بدین صورت است که ابتدا پارامترهای مدل جنگل تصادفی از جمله *NTree*، *Mtrry*، *MNS*، *MPS* و *MLS* با استفاده از الگوریتم *PSO* بهینه سازی شدند که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۲،۱۶،۳،۱۰۰۰ و۲ بوده است. پس از بهینه سازی پارامتر مدل جنگل تصادفی، اهمیت نسبی متغیرها تعیین شد که منطقه پلدختر به ترتیب پارامترهای ارتفاع ، شیب و شاخص *TWI* بیشترین میزان اهمیت را مدلسازی‌ها داشته است. همچنین شاخص قدرت جریان کمترین میزان اهمیت را داشته است. حوضه آبریز پلدختر از لحاظ توپوگرافی جز اراضی کوهستانی است محسوب می‌شود. از این رو پارامتر ارتفاع و شیب نقش مهمی در مدلسازی‌ها دارند. در حالیکه در منطقه اُتاووا-گاتینوا با خصوصیات محیطی متفاوت با منطقه پلدختر، پارامتر شیب اهمیت بسیار کمی در مدلسازی-ها داشته است. در ادامه نقشه مکان‌های مستعد وقوع سیلاب حاصل از مدلسازی‌ها با روش پیشنهادی در شکل(۱۸) نشان داده شده است.

● ارزیابی نتایج حاصل از مدلسازی در منطقه پلدختر

برای ارزیابی نتایج از پارامترهای آماری دقت کلی، ضریب کاپا و میانگین مربع خطاها استفاده شد که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۸۰/۴٪ ، ۶۳/۵ و ۰/۳۹ بوده است. دقت حاصل از مدلسازی با داده‌های سنجش از دوری رایگان در منطقه پلدختر نسبت به مدلسازی در منطقه اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس دقت آن کم‌تر بوده است. از نظر بصری مطابق با شکل (۱۸) مناطق کوهستانی شمالی حوضه آبریز جز اراضی با احتمال وقوع سیلاب کم شناسایی شدند. در جنوب حوضه آبریز به ویژه اطراف شهر پلدختر اراضی جز مناطقی با احتمال بالای وقوع سیلاب شناسایی شدند که در نقشه واقعی سیلاب جز مناطق سیل‌زده نبوده‌اند در نتیجه مدل در شناسایی این اراضی دچار خطا شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



(الف) (ب)

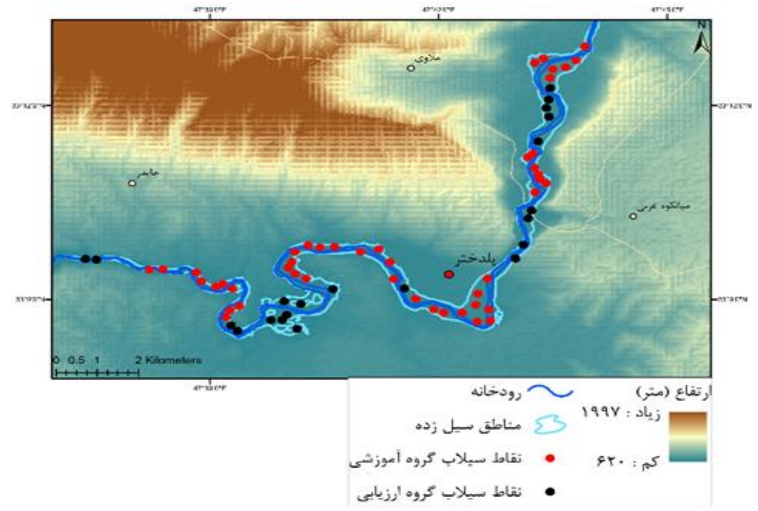
(پ) (ت)

(ث) (ج)

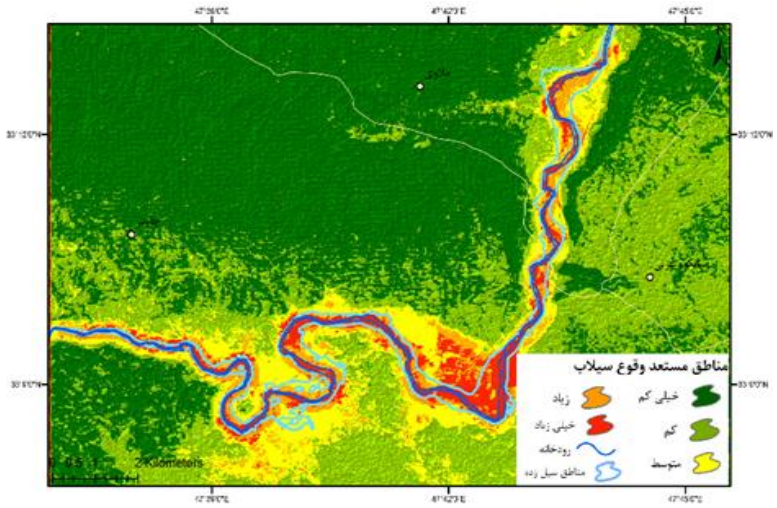
(چ) (ح)

شکل۱۶: نقشه متغیرهای سنجش از دوری، الف) نقشه شاخص پوشش گیاهی، ب) نقشه کاربری اراضی، پ) نقشه ارتفاع، ت) نقشه شیب، ث) نقشه جهت شیب، ج) نقشه انحنای شیب، چ) نقشه *TWI*، ح) نقشه *SPI*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]



شکل۱۷: نقشه پراکندگی نقاط سیلاب گروه آموزشی و ارزیابی منطقه پلدختر



شکل۱۸: نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب حاصل از مدلسازی با الگوریتم *RF-PSO* منطقه پلدختر

۶- نتیجه‌گیری

تهیه نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب از اقدامات ضروری در زمینه مدیریت بحران سیلاب محسوب می‌شود. در این پژوهش به منظور انجام مدلسازی بهنگام مکان‌های مستعد سیلاب از داده‌های زمینی و سنجش از دوری به صورت تلفیقی استفاده شده است. علاوه برآن طی رویکرد نوینی به انجام مدلسازی با استفاده از فقط داده‌های سنجش از دوری در دسترس پرداخته شده است. همچنین برای انجام مدلسازی‌ها با قابلیت اعتمادپذیری بالا از مدل جنگل تصادفی بهینه‌سازی شده، استفاده شده است. مدلسازی با روش پیشنهادی یکبار به صورت تلفیقی با داده‌های زمینی و سنچش از دوری و بار دیگر فقط با استفاده از داده‌های سنجش از دوری در مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس انجام شد که ضریب کاپا مدلسازی‌ها به ترتیب برابر با ۷۴٫۳۱، ۷۳٫۲۱، ۶۹٫۱ و ۶۷٫۴۵ بوده است. نتایج حاکی از آن است که انجام مدلسازی بهنگام مکان‌های مستعد وقوع سیلاب با استفاده از داده‌های تلفیقی دقت بالاتری نسبت به مدلسازی با استفاده از داده‌های سنجش از دوری داشته است. اما در مدلسازی با داده‌های سنجش

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

از دوری رایگان در مناطق اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس، براساس دقت‌های حاصل و نقشه‌های مناطق مستعد وقوع سیلاب مطابق با شکل‌های (۱۱-ب) و (۱۲-ب)، مدل با دقت قابل قبولی توانسته مکان‌های مستعد وقوع سیلاب را شناسایی کند و نقشه‌های بهنگام برای مدیریت بحران سیلاب تولید نماید. در این پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد مدلسازی با داده‌های سنجش از دوری رایگان و در دسترس، مدلسازی بار دیگر در منطقه اُتاووا-گاتینوا با داده‌های سنجش از دوری با قدرت تفکیک مکانی بالا انجام شد که ضریب کاپا مدلسازی برابر با ۸۰ بوده است. براساس دقت حاصل می‌توان بیان نمود که با افزایش قدرت تفکیک مکانی داده‌های سنجش از دوری نیاز به استفاده از داده‌های زمینی برای انجام مدلسازی‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه اغلب مطالعات پیشین مدل‌های یکسان و ثابت برای مدلسازی در مناطق مطالعاتی با خصوصیات سیل خیزی و نوع سیلاب متفاوت استفاده می‌کنند که در بعضی از مناطق مدل‌ها دارای عملکرد قابل قبولی بوده‌اند و در سایر مناطق دچار خطا و بیش برآورد شده‌اند. برای بررسی این موضوع مدلسازی‌ها با روش پیشنهادی در منطقه پلدختر با نوع سیلاب سریع و خصوصیات سیل خیزی متفاوت با مناطق انجام شده است که ضریب کاپا مدلسازی برابر با ۶۳/۵ بوده است. براساس نتایج حاصل می‌توان بیان نمود که مدل پیشنهادی در مدلسازی مکان‌های مستعد وقوع سیلاب در منطقه اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس عملکر بهتری نسبت به منطقه پلدختر داشته است. همچنین براساس نتایج حاصل از اهمیت نسبی متغیرها موثر در وقوع سیلاب در منطقه پلدخترپارامترهای ارتفاع و شیب بیشترین میزان اهمیت را در مدلسازی‌ها داشتند. در حالیکه در منطقه اُتاووا-گاتینوا و گنبدکاووس پارامتر شیب در مدلسازی‌ها اهمیت بسیار کمی داشت. برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود که مدلسازی با داده‌های ماهواره راداری با قدرت تفکیک مکانی کمتر از سه متر و مدل پیشنهادی در منطقه اُتاووا-گاتینوا انجام شود تا ارزیابی گردد که با افزایش قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاعی از سه متر به یک متر و یا کمتر از آن، دقت‌ها چه میزان بهبود پیدا می‌کنند. در صورتی که بهبود دقت‌ها کم باشد می‌توان نتیجه گرفت که قدرت تفکیک مکانی سه متر برای داده‌های سنجش از دوری قدرت تفکیک مکانی مناسبی است که بدون استفاده از داده‌های زمینی می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت. در این پژوهش صرفا به مدلسازی بعد مکان وقوع سیلاب پرداخته شده است. از این رو پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی بعد زمان نیز وارد فرآیند مدلسازی با روش پیشنهادی گردد و مدلسازی مکان و زمان وقوع سیلاب با استفاده از روش پیشنهادی انجام شود.

مراجع

[1] *R. B. Mudashiru, N. Sabtu, I. Abustan, and W. Balogun, "Flood hazard mapping methods: A review," Journal of Hydrology, vol. 603, p. 126846, Dec. 2021.*

[2] *M. A. R.Shah, A. Rahman, and S. H. Chowdhury, "Challenges for achieving sustainable flood risk management," Journal of Flood Risk Management, vol. 11, pp. S352–S358, Sep. 2015.*

[3] *D. R. Archer and H. J. Fowler, "Characterising flash flood response to intense rainfall and impacts using historical information and gauged data in Britain," Journal of Flood Risk Management, vol. 11, pp. S121–S133, Jul. 2015.*

[4] *M. S. Rahman and L. Di, "A Systematic Review on Case Studies of Remote-Sensing-Based Flood Crop Loss Assessment," Agriculture, vol. 10, no. 4, p. 131, Apr. 2020.*

[5] *A. Rajab et al., "Flood Forecasting by Using Machine Learning: A Study Leveraging Historic Climatic Records of*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

Bangladesh," Water, vol. 15, no. 22, p. 3970, Jan. 2023.

[6] A. Mosavi, P. Ozturk, and K. Chau, "Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review," Water, vol. 10, no. 11, p. 1536, Oct. 2018.

[7] S. Askar et al., "Flood Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and Integration of Decision Table Classifier and Metaheuristic Algorithms," Water, vol. 14, no. 19, p. 3062, Jan. 2022.

[8] R. Costache, "Flash-flood Potential Index mapping using weights of evidence, decision Trees models and their novel hybrid integration," Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, vol. 33, no. 7, pp. 1375–1402, May 2019.

[9] M. S. Tehrany, S. Jones, and F. Shabani, "Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques," CATENA, vol. 175, pp. 174–192, Apr. 2019.

[10] W. Chen et al., "Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve Bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods," Science of The Total Environment, vol. 701, p. 134979, Jan. 2020.

[11] A. R. M. Towfiqul Islam et al., "Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models," Geoscience Frontiers, vol. 12, no. 3, p. 101075, May 2021.

[12] D. Yang, T. Zhang, Alireza Arabameri, M. Santosh, Ujwal Deep Saha, and A. Islam, "Flash-flood susceptibility mapping: a novel credal decision tree-based ensemble approaches," Earth Science Informatics, vol. 16, no. 4, pp. 3143–3161, Aug. 2023.

[13] C. Bénard, S. Da Veiga, and E. Scornet, "MDA for random forests: inconsistency, and a practical solution via the Sobol-MDA," Biometrika, Feb. 2022.

[14] T. Zhu, "Analysis on the Applicability of the Random Forest," Journal of Physics: Conference Series, vol. 1607, no. 1, p. 012123, Aug. 2020.

[15] Ovat Friday Aje and Anyandi Adie Josephat, "The particle swarm optimization (PSO) algorithm application – A review," Global Journal of Engineering and Technology Advances, vol. 3, no. 3, pp. 001–006, Jun. 2020.

[16] A. Ghorbanian, M. Kakooei, M. Amani, S. Mahdavi, A. Mohammadzadeh, and M. Hasanlou, "Improved land cover map of Iran using Sentinel imagery within Google Earth Engine and a novel automatic workflow for land cover classification using migrated training samples," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 167, pp. 276–288, Sep. 2020.

[17] A. Mohammadi, K. V. Kamran, S. Karimzadeh, H. Shahabi, and N. Al-Ansari, "Flood Detection and Susceptibility Mapping Using Sentinel-1 Time Series, Alternating Decision Trees, and Bag-ADTree Models," Complexity, vol. 2020, pp. 1–21, Nov. 2020.

[18] O. Rahmati, H. R. Pourghasemi, and H. Zeinivand, "Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran," Geocarto International, vol. 31, no. 1, pp. 42–70, May 2015.

[19] A. Shanableh, R. Al-Ruzouq, A. Yilmaz, M. Siddique, T. Merabtene, and M. Imteaz, "Effects of Land Cover Change on Urban Floods and Rainwater Harvesting: A Case Study in Sharjah, UAE," Water, vol. 10, no. 5, p. 631, May 2018.

[20] C. Soni, A. Chaudhary, U. Sharma, and C. Sharma, "Satellite Radar Interferometry for DEM Generation Using Sentinel-1A Imagery," Advances in intelligent systems

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

and computing, pp. 26–33, Sep. 2020

[21] L. Breiman, "Random Forests," Machine Learning, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.

[22] Y. Liu, Y. Wang, and J. Zhang, "New Machine Learning Algorithm: Random Forest," Information Computing and Applications, vol. 7473, pp. 246–252, 2012.

[23] G. Venter and J. Sobieszczanski-Sobieski, "Parallel Particle Swarm Optimization Algorithm Accelerated by Asynchronous Evaluations," Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication, vol. 3, no. 3, pp. 123–137, Mar. 2006.

[24] "Particle swarm optimization algorithm and its parameters: A review | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore," ieeexplore.ieee.org.

[25] Y. Wu, Y. Ke, Z. Chen, S. Liang, H. Zhao, and H. Hong, "Application of alternating decision tree with AdaBoost and bagging ensembles for landslide susceptibility mapping," CATENA, vol. 187, p. 104396, Apr. 2020.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.12, No.4, Winter 2025

Research Paper

Development of an intelligent model based on Random Forest Algorithm for up to date flood-prone area detection

Maedeh Mosalla Tabari [1], Hamid Ebadi [2]*, Zahra Alizadeh Zakaria [3]

1- MSc student, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
2- Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
3- Ph. D student, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

The identification of flood-prone areas is a crucial step in flood crisis management. In this research, a combination of the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm and the Random Forest (RF) algorithm is employed to improve the selection of the hyperparameters in the RF method through parallel and simultaneous parametric space search. The objective is to identify the locations that are susceptible to river flooding. The proposed method utilizes both ground data, such as the precipitation data from ground stations, distance from roads and rivers, and remotely sensed data, including the digital elevation models, slope, aspect, and vegetation cover index, extracted from radar remote sensing imagery such as Sentinel-1A, and optical satellite images like Landsat-8 and Sentinel-2. The results demonstrate that this algorithmic combination enhances the modeling accuracy compared to using the RF algorithm alone and improves the capability of generating real-time flood-prone maps using both ground and remote sensing data. The case studies conducted in the Ottawa-Gatineau and Gonbad-Kavus regions, where river floods occur, yielded kappa coefficients of 74/31 and 73/21, respectively, when modeling was built by using both the ground and remote sensing data. Moreover, model building by using just remote sensing data in these regions resulted in kappa coefficients of 69/1 and 67/45, respectively. These findings indicate that while utilizing both ground and remote sensing data improves modeling accuracy, model building that is based on remote sensing data also yields acceptable performance. Additionally, model building using high-resolution TerraSAR-X radar satellite data without the use of ground data was performed in the Ottawa-Gatineau region, resulted in a kappa coefficient of 80. This suggests that with increased spatial resolution of the radar images, the need for ground data in modeling the flood-prone areas reduces significantly.

Key words: *Ground data, Remote sensing data, Random Forest, PSO algorithm, Flood crisis management.*

Correspondence Address: *No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad Cross, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*
Tel : *021-88877071*
Email : *ebadi@kntu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.27]