



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

فصلنامه علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و ششم، شماره ۹۳

بهار ۱۴۰۵، صفحات ۲۱۷-۱۹۷

صیاد اصغری سراسکانرود^۱

| فاطمه صمدی شلوه علیا^۲

بتول زینالی^۳

زینب حزباوی^۴

ارزیابی سناریوهای فصلی تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن‌ها بر پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز سامیان با بهره‌گیری از پلتفرم Google Earth Engine

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

چکیده:

هدف: این پژوهش با هدف ارزیابی سناریوهای فصلی تغییر کاربری اراضی و تحلیل اثر آن‌ها بر پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز سامیان انجام شد. تمرکز اصلی مطالعه بر بررسی تغییرات کاربری در فصول بهار و پاییز و نقش آن‌ها در تغییر رفتار هیدرولوژیکی حوضه با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور در سامانه Google Earth Engine بود است. روش‌شناسی: در این مطالعه از تصاویر لندست ۹ و سنتینل ۲- سال ۲۰۲۴ محصولات GHSL، Dynamic World و مدل رقومی ارتفاع SRTM، نقشه زمین‌شناسی و نقشه بافت خاک استفاده شد. نقشه‌های کاربری اراضی فصول بهار و پاییز با شاخص‌های طیفی و الگوریتم جنگل تصادفی تولید و دقت آن‌ها با معیارهای دقت کلی و کاپا ارزیابی شد. به‌منظور پهنه‌بندی خطر وقوع سیل، مدل اصلاح‌شده شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی (MFFPI) به‌کار گرفته شد و شش پارامتر شامل شیب، تراکم جریان، انحنا، دامنه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی وزن‌دهی و در محیط ArcMap ترکیب شدند.

^۱ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (نویسنده مسئول) s.asghari@uma.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران .

^۳ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۴ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، مرکز تحقیقات مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تغییرات فصلی کاربری اراضی تأثیر قابل توجهی بر پتانسیل وقوع سیل دارند. در فصل بهار به دلیل پوشش گیاهی متراکم و افزایش نفوذپذیری خاک، بخش عمده حوضه در کلاس‌های خطر کم و متوسط قرار گرفت. در مقابل فصل پاییز به دلیل کاهش شدید پوشش گیاهی پس از برداشت محصول و آغاز بارش‌های پاییزه بیشترین پتانسیل سیل خیزی را نشان داد و مساحت پهنه‌های با خطر خیلی زیاد به حدود ۹۲ کیلومتر مربع افزایش یافت. نتایج مدل MFFPI نیز حساسیت بالای شاخص به تغییرات فصلی کاربری اراضی را تأیید کرد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که خطر سیلاب در حوضه سامیان ماهیتی پویا و وابسته به تغییرات فصلی دارد. فصل پاییز به‌عنوان دوره بحرانی سیل خیزی شناسایی شده و باید در برنامه‌ریزی‌های مدیریت سیلاب و آبخیزداری مورد توجه ویژه قرار گیرد. همچنین این مطالعه نشان داد که استفاده از داده‌های چندمنبعی سنجش‌ازدور و پردازش‌های مبتنی بر GEE رویکردی کارآمد برای پایش و تحلیل سریع تغییرات مؤثر بر سیل خیزی در مقیاس حوضه است.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری اراضی، پهنه‌بندی خطر سیل، شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی (MFFPI)، Google Earth Engine، الگوریتم جنگل تصادفی

مقدمه

مخاطرات طبیعی می‌توانند بدون هشدار قبلی و در بازه‌های زمانی مختلف رخ دهند. از این رو سرعت وقوع و مدت زمان این رویدادهای خطرناک می‌تواند به‌طور قابل توجهی از مقیاس‌های زمانی خشک‌سالی یا گرمایش جهانی تا زمین‌لرزه‌ها، آتشفشان‌ها یا سیلاب‌های ناگهانی متغیر باشد (Slovic et al., 1977). در مقایسه با سایر بلاایای طبیعی سیل به دلیل وقوع زیاد و تأثیرگذاری آن در سطح وسیع منجر به خسارت‌های مالی و جانی قابل توجهی شده و یکی از جدی‌ترین بلاایای طبیعی به‌شمار می‌آید (Ward et al., 2014). رویدادهای قابل توجه اخیر در بخش‌هایی از شمال اروپا (بریتانیا، ایرلند و فرانسه)، شامل یک سری طوفان‌های شدید زمستانی در سال ۲۰۱۴، باعث سیلاب‌های گسترده شد. اگرچه سیلاب‌هایی که در سال ۲۰۱۴ تجربه شد به شدت سیلاب‌های سال‌های گذشته (مانند ۱۹۴۷ و ۲۰۰۷) نبود اما خسارات اقتصادی در بریتانیا و ایرلند همچنان حدود ۱/۵ میلیارد دلار آمریکا تخمین زده شد (Smith et al., 2015). در طول سالیان متمادی اکثر حوضه‌های آبخیز کشورمان نیز خیلی زودتر از دوره احیای طبیعی با بلاایای طبیعی و سیل‌های پی در پی مواجه شده‌اند (محبی کندسری، ۱۴۰۰). عوامل زیادی از جمله اقلیم، توپوگرافی، کیفیت خاک، پوشش و کاربری زمین در تولید رواناب سطحی نقش دارند و کاربری زمین یکی از مهم‌ترین عوامل است (Sajikumar et al., 2015). تغییرات کاربری اراضی ناشی از رشد جمعیت و رونق اقتصادی، منجر به افزایش تعداد سیل در دهه‌های اخیر شده است (جاویدان و همکاران، ۱۳۹۷). تغییر کاربری اراضی شامل تبدیل یک نوع کاربری به کاربری دیگر است یا به‌عبارت دیگر تغییر ترکیب و الگوی کاربری در یک منطقه یا تغییر در نوع خاصی از کاربری را تغییر کاربری زمین می‌نامند (Jakeman et al., 2005). تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و پتانسیل وقوع سیلاب در حوضه‌های آبخیز مطرح است. این تغییرات به‌ویژه در مقیاس فصلی تغییراتی در پاسخ هیدرولوژیکی ایجاد می‌کند که منجر به تغییرات

جبران‌ناپذیر در چرخه آب و افزایش حداکثر اوج جریان در طول وقایع رواناب می‌شود (et al., 2017; Palacios et Cunha al., 2022).

در مقایسه با روش‌های سنتی سنجش از دور، Google Earth Engine فناوری‌های پیشرفته‌ای را ارائه می‌دهد و دسترسی نامحدودی به مجموعه گسترده‌ای از داده‌های سنجش از دور را فراهم می‌آورد که به توسعه مسائل تحولی در تحقیق تغییرات کاربری زمین کمک می‌کند. از GEE برای کاربردهای مختلف و در مقیاس‌های مختلف تحلیل استفاده شده است. پژوهشگران از این پلتفرم برای طبقه‌بندی پوشش زمین استفاده کرده‌اند. همچنین در طول چند سال گذشته تکنیک‌های سنجش از دور به طور فزاینده‌ای برای شناسایی مناطق سیل‌زده پس از یک رویداد سیل استفاده شده‌اند. از جمله تصاویر Sentinel-1 در پلتفرم Google Earth Engine وجود دارد که در آنها حساسیت سیل یک منطقه را شناسایی کرده‌اند، یعنی اینکه کدام مناطق بر اساس داده‌های تاریخی و توپوگرافی بیشتر در معرض سیل قرار دارند. GEE به دلیل سرعت بالا و سهولت در محاسبات، در مدیریت داده‌های مکانی بسیار مفید است (Gemtzi et al., 2024 ; Fentaw and Abegaz, 2024). حوضه آبخیز سامیان عمدتاً به دلیل تأثیر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، اجتماعی و سرمایه‌گذاری آسیب‌پذیری بالا بوده و مستعد وقوع سیلاب‌های ناگهانی است (Azizi et al., 2022). مطالعه فصلی تغییرات کاربری اراضی در این حوضه می‌تواند اطلاعات دقیقی برای پهنه‌بندی خطر سیل ارائه دهد و راهنمایی برای تصمیم‌گیری مدیریت سیلاب در مقیاس منطقه‌ای باشد (Bond et al., 2022). هدف این مطالعه ارزیابی سناریوهای فصلی تغییر کاربری اراضی و بررسی تأثیر آن‌ها بر پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز سامیان با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و محیط Google Earth Engine است. تمرکز این پژوهش بر تحلیل تغییرات کاربری در فصول بهار و پاییز و استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است تا راهکارهایی مؤثر برای بهبود مدیریت منابع آب و کاهش خطر سیل ارائه دهد.

سؤال‌های پژوهش

۱- طی سال مورد مطالعه کدام سناریوی فصلی تغییر کاربری زمین بیش‌ترین اثر را بر پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز سامیان داشته است؟

پیشینه تحقیق

تحقیقات پیشین نشان می‌دهند که تغییرات کاربری اراضی تأثیر قابل توجهی بر رواناب و خطر سیلاب در حوضه‌های آبخیز دارند و روند مطالعات طی سال‌های اخیر رشد این دانش را آشکار می‌سازد. غلامی و همکاران (۱۳۸۹) اثر تغییرات کاربری اراضی را بر تولید رواناب و خطر سیلاب در حوضه کسلیان بررسی کردند. آن‌ها با تحلیل نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات کاربری را استخراج کردند. مدل بارش-رواناب با استفاده از HEC-HMS و الحاقیه HEC-GeoHMS و بر پایه روش SCS و شماره منحنی شبیه‌سازی شد. مدل با چند رخداد سیلاب کالیبره و اعتبارسنجی گردید. نتایج نشان می‌دهد که پتانسیل تولید رواناب و خطر سیلاب در اثر تغییرات کاربری اراضی افزایش داشته است. محمدی کنگرانی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر تغییرات کاربری اراضی را بر نفوذپذیری خاک و نقش آن در بروز سیلاب در حوضه جنگلی نکارود ارزیابی

کردند. مقایسه نقشه‌های کاربری ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸ در محیط GIS نشان داد کاهش چشمگیر پوشش جنگل موجب افت نفوذپذیری خاک شده است. نتایج اندازه‌گیری با نفوذسنج دابل بیانگر بیشترین نفوذ در جنگل‌های متراکم و کمترین مقدار در اراضی کشاورزی بود. آزمون دانکن تفاوت معنادار بین کاربری‌ها را تأیید و مدل هورتون به‌عنوان مناسب‌ترین مدل نفوذ معرفی شد. این تغییرات کاربری در نهایت عامل افزایش رواناب و تشدید سیلاب مرداد ۱۳۷۸ منطقه شناخته شد. احمدزاده و داورپناه (۱۴۰۲)، به تهیه نقشه خطر وقوع سیل در شهر ارومیه و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر پرداختند. در این مطالعه برای تهیه نقشه خطر وقوع سیل از نه پارامتر مؤثر در وقوع این پدیده - استفاده شد. همچنین، نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و روش وزن‌دهی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به‌منظور وزن‌دهی معیارها و تعیین مهم‌ترین معیار استفاده شدند. نتایج نشان می‌دهد که دو پارامتر شیب و فاصله از رودخانه بالاترین وزن را در وقوع سیل در سطح منطقه دارند. حدود ۴۳/۷ درصد از کل مساحت محدوده مورد مطالعه از نظر خطر وقوع سیل در طبقات زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۴) پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه لواسانات را با استفاده از منطق فازی انجام دادند. شاخص‌های اصلی شامل بارش، شیب، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، ارتفاع و سنگ‌شناسی با نظر متخصصان وزن‌دهی شد. تحلیل فازی با اپراتور گامای ۰/۹۰ در محیط ArcGIS نقشه‌های خطر را تولید کرد. نتایج نشان داد بیش از ۲۳ درصد منطقه در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. پهنه‌های با خطر بالا عمدتاً در مجاورت آبراهه اصلی متمرکز هستند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۴) تأثیر تغییرات کاربری اراضی را بر پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه سامیان بررسی کردند. طبقه‌بندی کاربری با الگوریتم CART در Google Earth Engine و بر اساس تصاویر لندست ۷، ۸ و سنتینل-۲ برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۴ انجام شد. لایه‌های شیب، تجمع جریان، کاربری اراضی و سایر عوامل محیطی در ArcMap تلفیق و نقشه خطر سیلاب تهیه شد. نتایج نشان داد تغییرات گسترده کاربری موجب افزایش چشمگیر نواحی با خطر بالای سیلاب شده است. دقت بالای طبقه‌بندی (کاپای ۰.۹۸) نیز اعتبار تحلیل‌ها را تأیید می‌کند. داممالاگه و جایاسینگه^۵ (۲۰۱۹)، تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در تشدید سیلاب‌های مه ۲۰۱۶ در ناحیه کلمبو را بررسی کردند. تحلیل تصاویر لندست با شاخص‌های NDVI، NDBI، NDWI و طبقه‌بندی SVM انجام شد که دقت بسیار بالایی (۹۹٪ و ۹۹.۹٪) به‌دست آمد. نتایج نشان داد بخش قابل‌توجهی از منطقه، به‌ویژه در حوضه رودخانه کلانی، به مناطق شهری تبدیل شده است. این تغییرات موجب افزایش گستره مناطق سیل‌زده و تشدید آسیب‌پذیری هیدرولوژیکی شد. یافته‌های این پژوهش تأثیر چشمگیر تغییرات کاربری اراضی بر سیلاب‌های منطقه کلمبو را تأیید کردند. عدنان^۶ و همکاران (۲۰۲۰)، رابطه تغییرات کاربری اراضی، خطر سیلاب و فقر را در نواحی ساحلی بنگلادش بررسی کردند. با استفاده از رگرسیون لجستیک، اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف، سناریوهای آینده کاربری پیش‌بینی و خطر سیلاب ارزیابی شد. نتایج نشان داد تغییرات در اراضی کشاورزی و آبریز پروری موجب افزایش خطر سیلاب و خسارت‌های اقتصادی می‌شود. پیش‌بینی‌ها حاکی از رشد خسارت سالانه از ۹۰۳ میلیون دلار در ۲۰۰۵ به دو برابر در ۲۰۳۰ است. یافته‌ها همچنین نشان داد افزایش خطر سیلاب با کاهش شاخص ثروت و رشد فقر مرتبط است و ضرورت مدیریت یکپارچه ریسک و کاربری اراضی را

⁵ Dammalage & Jayasinghe

⁶ Adnan

برجسته می‌کند. ایدوو و ژو^۷ (۲۰۲۱)، تغییرات کاربری و پوشش اراضی و اثر آن بر خطر سیلاب را در ایالت لاگوس نیجریه بررسی کردند. چهار کلاس اصلی اراضی طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ با تحلیل پس از طبقه‌بندی ارزیابی شد و معیارهای مؤثر بر سیلاب با روش‌های AHP و آنتروپی شانون وزن‌دهی گردید. نتایج نشان داد تالاب‌ها طی ۳۵ سال ۶۹٪ کاهش و مناطق توسعه‌یافته ۹۴٪ افزایش یافته‌اند. این جابجایی شدید کاربری، ساختار هیدرولوژیکی منطقه را دگرگون کرده است. چنین تغییراتی به‌طور مستقیم خطر سیلاب را در لاگوس افزایش می‌دهد. ژائو^۸ و همکاران (۲۰۲۳)، به ارزیابی تمایز خطر سیلاب شهری تحت شبیه‌سازی سناریوی کاربری زمین - پرداختند. در این مطالعه از جنگل‌های تصادفی و مدل‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی ویژگی‌های فضایی-زمانی خطر سیل استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که خطر سیل از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ روند صعودی داشته است. علاوه بر این، الگوهای کاربری زمین تحت سناریوی توسعه پایدار برای کاهش خطر سیل بیش‌تر خواهد بود. نتایج ما می‌تواند پشتیبانی نظری برای بهینه‌سازی علمی کاربری زمین برای بهبود مدیریت خطر سیل شهری فراهم کند. گوین^۹ و همکاران (۲۰۲۴)، تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر خطر سیلاب را با ترکیب مدل‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی هیدرولیکی بررسی کردند. حساسیت زمین به سیلاب برای سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۲۰، ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ تحت سناریوی RCP8.5 پیش‌بینی شد. داده‌های جمعیتی و اجتماعی-اقتصادی نیز در تحلیل لحاظ گردید. نتایج نشان داد مناطق با خطر بالا و بسیار بالا به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. مطالعه بر لزوم ادغام مدیریت ریسک سیلاب با برنامه‌ریزی شهری و اقلیمی تأکید می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهند که تغییرات کاربری اراضی تأثیر قابل توجهی بر رواناب و خطر سیلاب دارند. مطالعه اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۴) در حوضه سامیان با استفاده از تصاویر لندست و سنتینل-۲ و الگوریتم CART در Google Earth Engine افزایش نواحی پرخطر سیلاب را به‌دلیل تغییرات کاربری نشان داد. با این حال اکثر مطالعات به تحلیل ایستا محدود بوده‌اند و کمتر به سناریوهای فصلی و زمانی تغییر کاربری پرداخته‌اند. بنابراین بررسی اثرات سناریوهای فصلی با داده‌های به‌روز و ابزارهای پیشرفته خلأ موجود را پر می‌کند.

مواد و روشها

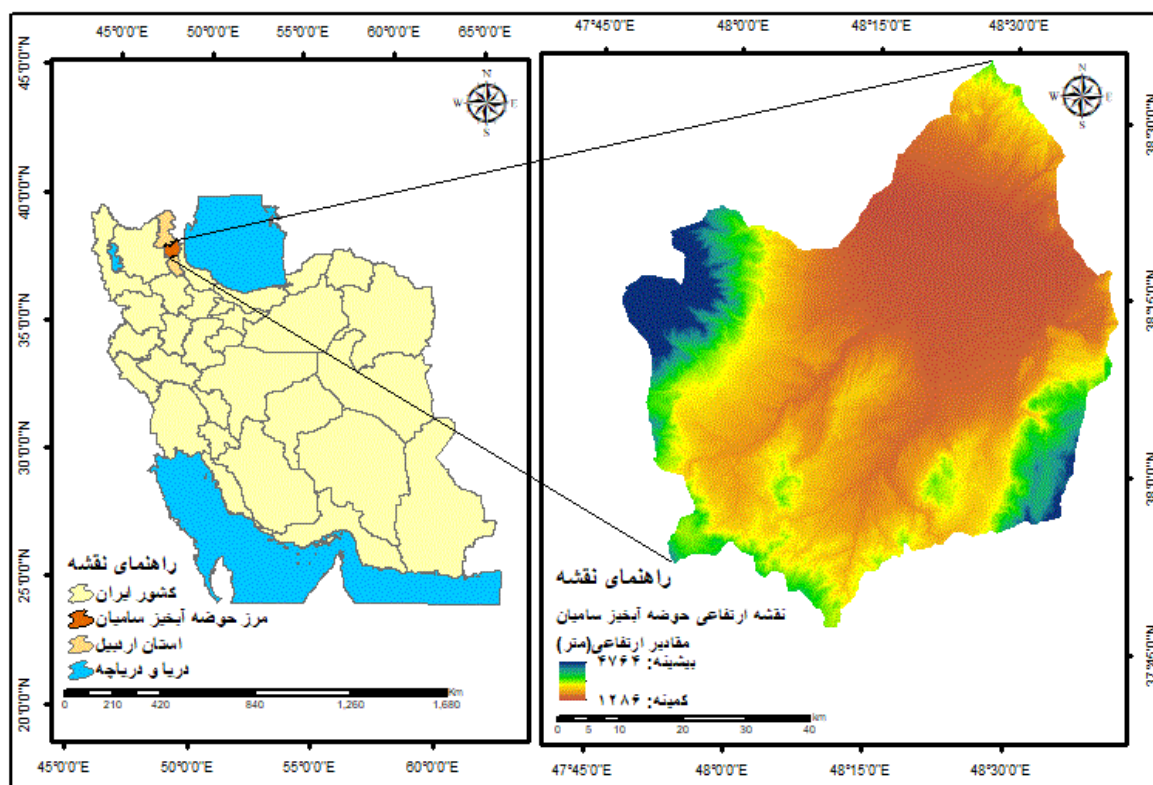
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سامیان در بخش مرکزی استان اردبیل و در پایین‌تر از دشت مغان واقع شده است. این حوضه به مساحت تقریبی ۳۹۹۴ کیلومترمربع شامل شهرهای اردبیل، نیر، نمین و سرعین است (Izadifar et al., 2023) و حدود ۲۴ درصد از کل مساحت استان اردبیل را شکل داده است. مختصات جغرافیایی این منطقه بین طول‌های شرقی ۴۲°۴۷' تا ۴۸°۲۸' و عرض‌های شمالی ۴۰°۳۷' تا ۳۸°۲۰' قرار دارد. این حوضه بخشی از دره رود ارس است که از شمال به شهرستان گرمی و دشت مغان، از شرق به رشته‌کوه تالش، از جنوب به رشته‌کوه‌های بزقوش و از غرب به رشته‌کوه‌های مرتفع سبلان محدود می‌شود (Gashn et al., 2018; Hezbaavi et al., 2024). شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز سامیان در استان اردبیل را نشان می‌دهد.

⁷ Idowu & Zhou

⁸ Zhao

⁹ Nguyen



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز سامیان در استان اردبیل

Figure 1: Location of the Samian watershed in Ardabil Province

مواد و روشها

داده های مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه بافت خاک، زمین شناسی و مدل رقومی ارتفاعی به شرح زیر میباشد: نقشه بافت خاک: با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ که از سازمان منابع طبیعی و آبخیز داری کشور دریافت گردید. نقشه زمین شناسی: ۱:۱۰۰،۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی با تفکیک مکانی ۳۰ متر از داده های SRTM که از سازمان زمین شناسی ایالات متحده به دست آمد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۹ و سنتینل ۲ که دارای تفکیک مناسب برای بررسی تغییرات فصلی کاربری اراضی هستند برای سال ۲۰۲۴ و همچنین از محصولات GHSL، Dynamic World استفاده شده اند. نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل Google Earth Engine برای پردازش داده های سنجنش از دور و تولید نقشه های کاربری اراضی، ArcMap 10.5 برای تحلیل های مکانی و تهیه نقشه های پهنه بندی خطر سیلاب و Excel است.

تهیه نقشه کاربری اراضی

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه های کاربری اراضی دقیق از داده های ماهواره ای چندمنبعی شامل لندست ۹ و سنتینل-۲ برای سال ۲۰۲۴ تصاویر مربوط به فصل های بهار و پاییز به کار گرفته شد. جهت حذف تاثیرات پوشش ابر و

سایه ابر تصاویر با میزان ابر کمتر از ۱۰ درصد فیلتر شده‌اند و سپس از طریق محاسبه تصویر میانه برای هر سنجنده تصویر ترکیبی نهایی تولید شد. شاخص‌های طیفی از جمله شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای تفکیک پوشش گیاهی از سایر کلاس‌ها، شاخص مناطق ساخته شده (NDBI) برای تفکیک مناطق شهری، شاخص آب (MNDWI) برای شناسایی سطوح آبی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) برای استخراج شیب محاسبه شدند. برای نمونه‌برداری و کاهش خطای انسانی از داده‌های Dynamic World بهره‌گیری شد. از آنجایی که تفکیک کلاس مسکونی به صورت مجزا در Dynamic World به خوبی امکان‌پذیر نبوده داده‌های لایه جهانی سکونتگاه‌های انسانی (GHSL¹⁰) به کار گرفته شدند. کلاس‌های دارای تراکم ساختمانی بالا به عنوان مناطق مسکونی استخراج و در قالب یک لایه مجزا به نقشه پایه Dynamic World افزوده شدند. و نهایتاً با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) نقشه های کاربری ارضی استخراج شدند. دقت الگوریتم با استفاده از دقت کلی¹¹ و ضریب کاپا¹² مورد ارزیابی قرار گرفت.

پهنه بندی پتانسیل وقوع سیل

مدل توسعه یافته سیلاب ناگهانی (MFFPI)

مدل MFFPI (شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی) نخستین بار توسط اسمیت (2003) با هدف شناسایی نواحی مستعد سیلاب ناگهانی در ایالات متحده آمریکا معرفی شد. این مدل در مناطق مختلفی مانند ایالت کلرادو، مرکز نیویورک و شمال شرق پنسیلوانیا مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفته است. هدف اصلی مدل MFFPI، برآورد کمی خطر وقوع سیلاب ناگهانی در یک حوضه آبخیز مشخص است که این برآورد با تکیه بر ویژگی‌های فیزیکی و ذاتی زمین از جمله شیب، نوع پوشش و کاربری اراضی و بافت خاک صورت می‌گیرد (Tincu et al., 2018). اسمیت در این مدل از پارامترهایی مانند شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بافت خاک و درصد پوشش گیاهی بهره برده و هر یک از این پارامترها را در قالب ۱۰ کلاس طبقه‌بندی نموده است؛ به طوری که کلاس ۱ نشان‌دهنده کمترین تأثیر و کلاس ۱۰ بیانگر بیشترین نقش در وقوع سیلاب ناگهانی است. بر این اساس وی معادله زیر را جهت محاسبه MFFPI ارائه داده است:

$$\text{FFPI} = (1.5M + L + S + V) / 4.5 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در معادله ارائه شده توسط اسمیت، M نمایانگر شیب، L بیانگر کاربری اراضی، S معرف بافت خاک و V شان‌دهنده درصد پوشش گیاهی است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۲). در ادامه توسعه این مدل، بروستر (2009) ضریب ۰/۵ را به پارامتر پوشش گیاهی اختصاص داد، در حالی که کروزدلو و سئرو (2010) تمامی پارامترها را با وزنی یکسان (از کلاس ۱ تا ۱۰) در نظر گرفتند. سپس سئرو (2012) با هدف بهبود دقت مدل، ضریب ۲ را برای پارامترهای

¹⁰ Global Human Settlement Layer

¹¹ Overall Accuracy

¹² Kappa Coefficient

شیب و کاربری اراضی در نظر گرفت و بدین صورت اصلاحاتی در معادله اولیه مدل MFFPI اعمال کرد. جزئیات این اصلاحات در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- معادلات مدل MFFPI (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳)

Table 1- Equations of the MFFPI model (Abedini et al., 2024)

مدل	معادله مورد استفاده
(Brewster, 2009)	$(1.5M+L+S+0.5V)/4$
(Kruzdló & Ceru, 2010)	$(M+L+S+V)/4$
(Ceru, 2012)	$(2M+2L+S+V)/6$

آخرین بازنگری مدل MFFPI توسط تینکو و همکاران (2018) انجام شد. در نسخه به‌روزرشده این مدل که با عنوان شاخص اصلاح‌شده پتانسیل سیلاب ناگهانی (MFFPI) شناخته می‌شود، شش پارامتر کلیدی شامل: شیب، تراکم جریان، انحنا، دامن، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ، و کاربری/پوشش زمین مورد استفاده قرار گرفتند. در این مدل، هر پارامتر دارای وزن اختصاصی بوده و در پنج کلاس طبقه‌بندی می‌شود. کلاس ۱ نشان‌دهنده کمترین تأثیر و کلاس ۵ بیانگر بیشترین اثر در ایجاد انباشت رواناب و به‌تبع آن افزایش پتانسیل وقوع سیلاب ناگهانی است (جدول ۲؛ مددی و همکاران، ۱۴۰۴).

جدول ۲- نحوه امتیازدهی پارامترهای مدل MFFPI (مددی و همکاران، ۱۴۰۴)

Table 2- Scoring method of the MFFPI model parameters (Madadi et al., 2025)

پارامتر	وزن پارامتر	طبقه	وزن هر طبقه	امتیاز نهایی
شیب (درجه)	۳	۶۰-۱۰	۱	۳
		۱۰-۸	۲	۶
		۸-۶	۳	۹
		۶-۳	۴	۱۲
		۳-۰	۵	۱۵
تراکم جریان	۲/۵	۰-۱	۱	۲/۵
		۱-۲	۲	۵
		۲-۳	۳	۷/۵
		۳-۴	۴	۱۰
		۴-۵	۵	۱۲/۵
انحناء دامنه	۲	$(-۱۸)-(-۴۹)$	۱	۲
		$(-۹)-(-۰/۵)$	۲	۴
		$(-۰/۵)-(-۰/۵)$	۳	۶
		$-۰/۱ - ۵/۵$	۴	۸
		$۱/۲۳ - ۵$	۵	۱۰

۱	۱	ماسه‌ای-رسی		
۲	۲	اماسه ای-لومی-رسی ماسه		
۳	۳	خاک های مختلف رسی بافت	۱	بافت خاک
۴	۴	داررسی-سیلنتی-مواد رس		
۵	۵			
۱	۱	نهشته آبرفتی		
۲	۲	سازندهای ماسه سنگ، کنگلومرا		
۳	۳	سازندهای مارنی	۱	نفوذپذیری سنگ
۴	۴	سازندهای آهکی		
۵	۵	سنگ های آذرین		
۰/۵	۱	جنگل		
۱	۲	مراوع متراکم/نیمه متراکم		
۱/۵	۳	زمین زراعی	۰/۵	پوشش/کاربری زمین
۲	۴	مراوع کم تراکم		
۲/۵	۵	سطوح آبی/مسکونی		

در این پژوهش شش لایه اطلاعاتی: شیب زمین، تجمع جریان، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، انحناى دامنه، بافت خاک به‌عنوان معیارهای مؤثر در وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه به کارگرفته شده‌اند. ابتدا داده‌های مکانی مربوط به هر یک از عوامل فوق در محیط نرم‌افزار ArcMap پردازش شدند. برای هر لایه، طبقه‌بندی به پنج کلاس انجام شد که میزان خطر یا تأثیر آن عامل را در وقوع سیلاب از بسیار کم تا بسیار زیاد نشان می‌دهد. جهت تعیین اهمیت نسبی لایه‌های مؤثر در وقوع سیل از وزن‌های پیشنهادی موجود در جدول (۲) استفاده شد. مقادیر وزنی در محیط نرم‌افزار ArcMap و با استفاده از ابزار Raster Calculator در هر لایه اعمال شدند؛ به این صورت که مقادیر کلاس‌های هر لایه در وزن متناظر ضرب شدند تا اثر نسبی آن عامل در شاخص نهایی نمایان شود. نهایتاً لایه‌های وزن‌دهی شده با استفاده از ابزار Raster Calculator به‌صورت خطی ترکیب شدند تا لایه نهایی شاخص MFFPI تولید شود. این لایه بیانگر میزان پتانسیل وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه است و به‌عنوان نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل در نظر گرفته شد. سپس نقشه خروجی به پنج طبقه خطر شامل: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

بحث و نتایج

پاسخ به سؤال اول پژوهش. سناریوی فصلی پاییز به دلیل همزمانی حداقل پوشش گیاهی و آغاز بارش‌ها بیشترین و حادترین اثر را بر پتانسیل سیل خیزی داشته و منجر به ظهور پهنه‌های باخطر خیلی زیاد می‌شود.

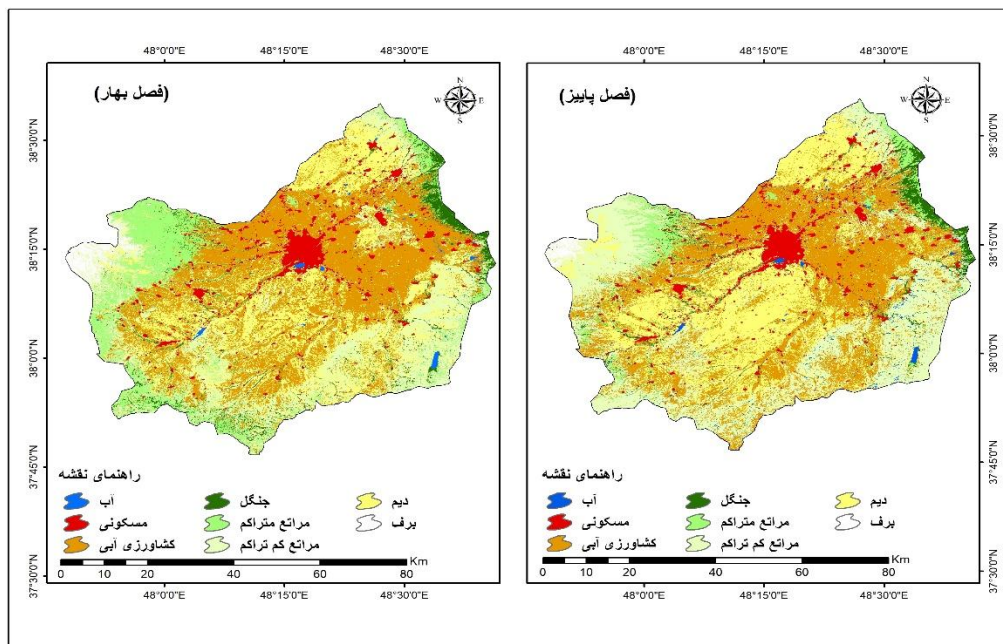
نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی (فصل بهار و پاییز ۲۰۲۴)

به منظور ارزیابی تاثیر تغییرات فصلی بر وضعیت هیدرولوژیک حوضه نقشه های کاربری اراضی برای فصل بهار و پاییز سال ۲۰۲۴ تولید شد. مساحت هر یک از کلاس های کاربری اراضی در این دو فصل در جدول (۳) ارائه شده است. تحلیل نتایج حاکی از تغییرات در مولفه های هیدرولیکی، اقلیمی و بیوفیزیکی حوضه است. پوشش برف به عنوان یک مخزن طبیعی آب از مساحت ۵۷/۶۶ کیلومتر مربع در فصل بهار با گرم شدن هوا در تابستان تقریباً حذف شده و شروع بارش های سرد فصل پاییز مجدداً در ارتفاعات ظاهر می شود (۲۵/۶۳ کیلومتر مربع). این فرایند مستقیماً رژیم جریان رودخانه ها را تحت تاثیر قرار می دهد. به موازات پهنه های آبی سطحی با از (۱۸/۵۸ کیلومتر مربع) با دریافت ورودی های ناشی از بارش های پاییزه به حداکثر مساحت خود (۳۷/۴۳ کیلومتر مربع) دست می یابد. پوشش گیاهی به ویژه در کلاس های کشاورزی آبی و مراتع بارزترین تغییرات را نشان می دهد. اراضی کشاورزی آبی که در بهار در حداکثر شاخص سطح برگ (۱۳۸۳/۹۳ کیلومتر مربع) قرار دارند، در پاییز و پس از دوره برداشت محصول با کاهش قابل توجهی به (۱۳۰۶/۰۴ کیلومتر مربع) می رسد. در همین راستا مراتع متراکم از وضعیت بهینه خود در فصل بهار (۵۳۸/۵۴ کیلومتر مربع) به دلیل تنش آبی و حرارتی در پاییز به شدت افول کرده و به (۲۰۹/۹۳ کیلومتر مربع) تنزل یافته است. این کاهش با افزایش مساحت مراتع کم تراکم از (۷۳۱/۲۷ به ۱۰۶۳/۳۵ کیلومتر مربع) همراه بوده است. در مقابل کاربری های مسکونی و جنگل به دلیل ماهیت پایدارتر ثبات نسبی خود را در طول فصول حفظ کرده اند. این تغییرات فصلی در پوشش کاربری اراضی به ویژه کاهش پوشش گیاهی محافظ در فصول خشک و همزمان با شروع بارش ها پتانسیل وقوع رواناب و سیل را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد.

جدول ۳_ تغییرات فصلی کاربری اراضی حوضه آبخیز سامیان با الگوریتم *SmileRandomForest* در *Google Earth Engine*

Seasonal land use changes in the Samian watershed using the Smile Random Forest algorithm in Google Earth -Table 3
Engine

پاییز	بهار	کلاس
۳۷/۴۳	۱۸/۵۸	آب
۲۲۴/۲۴	۲۰۴/۰۴	مسکونی
۱۳۰۶/۰۴	۱۳۸۳/۹۳	کشاورزی آبی
۱۱۶/۲۴	۱۴۰/۸۳	جنگل
۲۰۹/۹۳	۵۳۸/۵۴	مراتع متراکم
۱۰۶۳/۳۵	۷۳۱/۲۷	مراتع کم تراکم
۱۰۱۰/۴۲	۹۱۸/۰۲	دیم
۲۵/۶۳	۵۷/۶۶	برف



شکل ۲: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی فصل بهار و پاییز حوضه آبخیز سامیان با استفاده از الگوریتم RF در محیط Google Earth Engine

Figure 2: Land use classification map for the spring and autumn seasons of the Samian watershed using the RF algorithm in the Google Earth Engine environment

اعتبارسنجی الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) با توجه به جدول (۴) ارزیابی دقت مدل با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) که جهت طبقه بندی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که دقت کلی و ضریب کاپا برای فصل های بهار و پاییز سال ۲۰۲۴ به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۸ درصد حاصل شده که نشان دهنده دقت بالای مدل در استخراج کاربری اراضی می باشد.

جدول ۴- نتایج دقت کلی و ضریب کاپای طبقه بندی کاربری اراضی

Table 4- Results of overall accuracy and kappa coefficient of land use classification

فصل	دقت کلی	ضریب کاپا
بهار	۰/۹۹	۰/۹۹
پاییز	۰/۹۸	۰/۹۸

نتایج پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از مدل MFFPI نقشه‌های جدید از خطر سیل برای هر ترکیب از سناریو فصلی تولید شده جدول (۵) و نتایج پهنه بندی خطر سیل و الگوهای فضایی کاملا متفاوتی را در فصل بهار و پاییز نشان می دهد شکل (۳).

دوره بهار (فاز تعدیل کننده)

در این فصل با وجود آب حاصل از ذوب برف حوضه عمدتاً در کلاس های خطر کم (۹۲۷/۵۸ کیلومتر مربع) و متوسط (۹۳۶/۶۱ کیلومتر مربع) طبقه بندی شده علت اصلی این طبقه بندی پوشش گیاهی متراکم در سرتاسر حوضه است. این پوشش گیاهی با افزایش زبری سطح و تسهیل نفوذ آب به خاک به طور موثری زمان تمرکز رواناب را افزایش داده و پیک سیلاب را تضعیف می کند و به عنوان یک عامل تعدیل کننده عمل می کند.

دوره پاییز (فاز بحرانی)

فصل پاییز نمایانگر سناریوی حداکثر خطر در حوضه است. این وضعیت بحرانی به دلیل دو عامل اصلی (۱) حداقل پوشش گیاهی محافظ: به دلیل برداشت کامل محصولات و خشک شدن مراتع (۲) کاهش دما و آغاز بارش های فصلی: این همزمانی منجر به افزایش پهنه های با خطر خیلی زیاد به مساحت ۹۲/۴۳ کیلومتر مربع شده است. در این شرایط خاک لخت و فشرده بعد از یک دوره خشک تابستان ممکن است باعث پدیده آب گریزی^{۱۳} یا ایجاد سله^{۱۴} شود که ظرفیت نفوذپذیری را به شدت کاهش داده و تقریباً تمام بارش مؤثر را به رواناب سطحی تبدیل می کند. این تحلیل نشان می دهد که خطر سیل خیزی در حوضه سامیان ثابت نبوده و به شدت تحت تاثیر تغییرات کاربری اراضی فصلی قرار دارد. و فصل پاییز دوره هشدار اصلی برای مدیریت سیلاب می باشد.

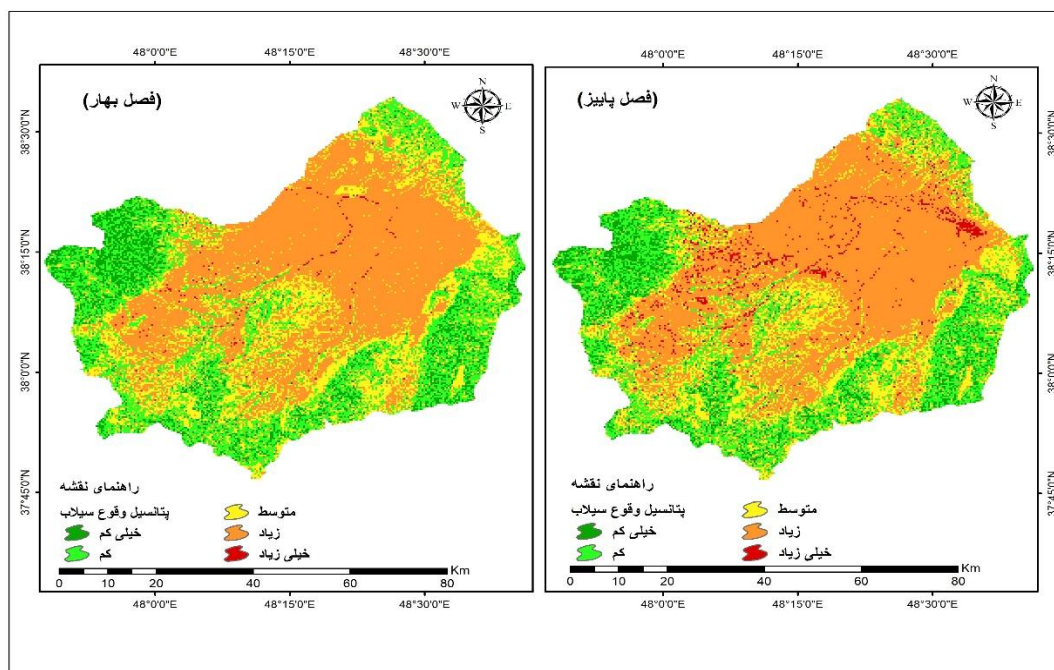
جدول ۵_ تغییرات فصلی مساحت کلاس های پهنه بندی خطر وقوع سیل حاصل از طبقه بندی نقشه کاربری اراضی با الگوریتم جنگل تصادفی به کیلومتر مربع

Table 5 - Seasonal changes in the area of flood risk zoning classes resulting from land use map classification with the random forest algorithm in square kilometers

پاییز	بهار	کلاس خطر سیل
۳۲۲/۱۲	۳۵۰/۶۵	خیلی کم
۸۲۷/۹۲	۹۲۷/۵۸	کم
۸۸۸/۶۸	۹۳۶/۶۱	متوسط
۱۸۱۸/۶۸	۱۷۱۹/۹۸	زیاد
۹۲/۴۳	۱۴/۹۸	خیلی زیاد

¹³ Hydrophobicity

¹⁴ Soil Crusting



شکل ۳: نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیل (فصل بهار و پاییز) در حوزه آبخیز سامیان با استفاده از الگوریتم

Figure 3: Flood risk zoning map (spring and autumn) in the Samian watershed using the RF algorithm

نتیجه گیری

هدف این پژوهش بررسی تاثیر سناریوهای فصلی تغییر کاربری اراضی بر پهنه بندی خطر سیل در حوزه آبخیز سامیان با استفاده از محیط گوگل ارث انجین و مدل اصلاح شده شاخص پتانسیل سیلاب ناگهانی (MFFPI) بود. نتایج حاصل از بکارگیری داده های متنوع نشان داد که تغییرات پوشش گیاهی و سطح زمین در بازه های زمانی کوتاه مدت می توانند بطور جدی بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه و مناطق مستعد وقوع سیلاب اثر به گذارند. ارزیابی نقشه های کاربری اراضی در دو فصل بهار و پاییز همراه با نتایج اعتبارسنجی الگوریتم Random Forest نشان داد که مدل طبقه بندی از دقت بسیار بالایی برخوردار است. به طوری که دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۸ به دست آمد. این مقادیر بیانگر صحت و پایایی بالای نقشه های کاربری اراضی و قابلیت اتکای آنها برای استفاده در تحلیل خطر سیلاب هستند. ارزیابی نقشه های کاربری اراضی در دو فصل بهار و پاییز نشان می دهد که سامیان حوضه ای با رفتار بسیار پویا است. بطوری که تغییرات فصلی در پوشش گیاهی و کاربری اراضی به سرعت الگوی خطر سیلاب را دگرگون می کنند. در فصل بهار وجود پوشش گیاهی متراکم باعث افزایش نفوذ آب و کاهش تولید رواناب شده و بخش عمده حوضه را در کلاس های خطر کم و متوسط قرار داده است. این وضعیت بیانگر نقش مؤثر پوشش گیاهی در کاهش پتانسیل سیلاب خیزی است. برعکس فصل پاییز به عنوان دوره بحرانی حوضه شناسایی شد. کاهش پوشش گیاهی پس از برداشت محصول و افت وضعیت مراتع، همراه با آغاز بارش های پاییزه باعث افزایش قابل توجه کلاس خطر سیل شده است. افزایش مساحت پهنه های با خطر خیلی زیاد تا حدود ۹۲ کیلومتر مربع نشان می دهد که حوضه در این فصل آمادگی بیشتری برای وقوع سیلاب ناگهانی دارد. مدل MFFPI نیز با ترکیب پارامترهایی همچون شیب، تراکم جریان، انحنا، دانه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری

اراضی، توانست الگوی مکانی دقیقی از مناطق پرخطر ارائه دهد و حساسیت خود را نسبت به تغییرات پوشش زمین در فصول مختلف نشان دهد. در مجموع این پژوهش تأکید می‌کند که ارزیابی خطر سیلاب باید فراتر از تحلیل‌های تک‌فصلی یا ایستا بوده و پویایی‌های فصلی کاربری اراضی در آن لحاظ شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده فصل پاییز مهم‌ترین دوره هشدار برای مدیریت سیلاب در حوضه سامیان است و لازم است برنامه‌ریزی‌های آبخیزداری، مدیریت اراضی و توسعه شهری با تمرکز بر این فصل انجام گیرد. همچنین استفاده از داده‌های چندمنبعی سنجش‌ازدور و پردازش‌های مبتنی بر GEE نشان داد که این رویکرد می‌تواند ابزار کارآمد و دقیقی برای پایش و تحلیل تغییرات کوتاه‌مدت مؤثر بر خطر سیل باشد.

پیشنهاد‌های اجرایی پژوهش

۱. **حفاظت و احیای پوشش گیاهی طبیعی:** مراتع متراکم و سایر پوشش‌های دائمی نقش مهمی در افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش رواناب سطحی دارند. حفاظت از این مناطق و جلوگیری از تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی یا مسکونی به عنوان یک خط دفاعی طبیعی در برابر سیلاب ضروری است. همچنین اجرای برنامه‌های احیای مراتع و بازسازی پوشش گیاهی در مناطق تخریب شده توصیه می‌شود.
۲. **مدیریت توسعه شهری و کشاورزی:** با توجه به افزایش کاربری‌های کشاورزی آبی و مسکونی، توسعه شهری و کشاورزی باید با رعایت اصول هیدرولوژیکی برنامه‌ریزی شود. ایجاد بسترهای نفوذ آب و سیستم‌های زهکشی پایدار می‌تواند اثر رواناب ناشی از تغییر کاربری اراضی را کاهش دهد.
۳. **اجرا سازه‌های کنترل سیلاب:** در مناطق با خطر بسیار زیاد ساخت سازه‌های کوچک مهندسی مانند حوضچه‌های بازداری، کانال‌های هدایت رواناب و سدهای کوچک می‌تواند خسارات سیلاب را کاهش دهد و زمان تمرکز رواناب را افزایش دهد.
۴. **پیاده‌سازی سیستم‌های پایش و هشدار:** استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر داده‌های سنجش‌از دور و داده‌های هیدرومتری امکان پایش بینی سریع و مدیریت بهینه سیلاب را فراهم می‌کند و به تصمیم‌گیری سریع مدیران حوضه کمک می‌کند.

پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

۱. **ادغام داده‌های سنجش‌از دوری و هیدرومتری دقیق:** ترکیب تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا با داده‌های دبی و بارش ساعتی یا روزانه امکان شبیه‌سازی دقیق‌تر رواناب سطحی و پتانسیل سیل‌خیزی را فراهم می‌کند.
۲. **بررسی دوره‌زمانی بلندمدت‌تر:** این تحقیق تغییرات کاربری اراضی را در بازه مشخص بررسی کرده است. در آینده می‌توان بازه‌های زمانی طولانی‌تر یا دوره‌های مختلف اقلیمی را تحلیل کرد تا روند تغییرات و اثر آن‌ها بر خطر سیل خیزی واضح‌تر مشخص شود.
۳. **مقایسه مدل MFFPI با سایر روش‌ها:** چون این تحقیق از مدل MFFPI استفاده شد پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده این نتایج با روش‌های دیگر پهنه‌بندی (مقایسه‌گرد) تا نقاط قوت و ضعف هر روش مشخص شود.

References

- Abedini, M., Babaei Olam, T., & Pasban, A., (2024), Flood risk assessment and zoning using MFFPI model (case study: Shafarood watershed, Gilan province), *Geography and Human Relations*, 7(1): 821-871. [10.22034/gahr.2024.466493.2198](https://doi.org/10.22034/gahr.2024.466493.2198) .[In Persian].
- Adnan, M. S. G., Abdullah, A. Y. M., Dewan, A., & Hall, J. W. (2020). The effects of changing land use and flood hazard on poverty in coastal Bangladesh. *Land use policy*, 99, 104868. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104868>
- Ahmadzadeh, H., & Davarpanah, [Initial], (2023), "Spatial Analysis of Flood Hazard Using Land Use Planning and Management Approach in Urmia City", *Geography and Environmental Hazards*, 12(2): 63-80. [10.22067/geoeh.2022.77571.1255](https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77571.1255). [In Persian].
- Asghari Saraskanerud, S., & Samadi Shalveh Alia, F., (2025), Performance Comparison of Random Forest and Support Vector Machine Algorithms for Land Use Change Monitoring in the Samian Watershed (2015–2024) Using Remote Sensing Data in Google Earth Engine, *Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies*, 7(1):355-379. https://www.srds.ir/article_229311.html?lang=fa .[In Persian].
- Asghari Saraskanerud, S., Madadi, A., & Sardashti, M., (2025), "Flood Hazard Zoning Using Fuzzy Logic Model (Case Study: Lavasanat Watershed)", *Scientific Quarterly of Prevention and Crisis Management*, 15(2): 2-2. [10.32598/DMKP.15.2.906.1](https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1)[In Persian].
- Asghari Saraskanerud, S., Samadi Shalveh Alia, F., & Hezbavi, Z., (2025), "Assessment of Land Use Changes on Flood Hazard Zoning in Samian Watershed", *Scientific Journals System*, 0-0. <https://civilica.com/doc/2480323> .[In Persian].
- Azizi, E., Mostafazadeh, R., Hazbavi, Z., Esmali Ouri, A., Mirzaie, S., Huang, G., & Qian, X. (2022). Spatial distribution of flood vulnerability index in Ardabil province, Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(12), 4355-4375. [10.1007/s00477-022-02264-5](https://doi.org/10.1007/s00477-022-02264-5)
- Bond, S., Willis, T., Johnston, J., Crowle, A., Klaar, M. J., Kirkby, M. J., & Holden, J. (2022). The influence of land management and seasonal changes in surface vegetation on flood mitigation in two UK upland catchments. *Hydrological Processes*, 36(12), e14766. <https://doi.org/10.1002/hyp.14766>
- Cunha, N. S., Magalhães, M. R., Domingos, T., Abreu, M. M., & Küpfer, C. (2017). The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal. *Journal of Environmental Management*, 193, 172-187. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.077>
- Dammalage, T. L., & Jayasinghe, N. T. (2019). Land-Use Change and Its Impact on Urban Flooding: A Case Study on Colombo District Flood on May 2016. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(2), 3887-3891 .<https://doi.org/10.48084/etasr.2578>
- Fentaw, A. E., & Abegaz, A. (2024). Analyzing land use/land cover changes using google earth engine and random forest algorithm and their implications to the management of land degradation in the Upper Tekeze Basin, Ethiopia. *The Scientific World Journal*, 2024(1), 3937558. <https://doi.org/10.1155/2024/3937558>
- Gemitzi, A., Kopsidas, O., Stefani, F., Polymeros, A., & Bellos, V. (2024). A Constantly Updated Flood Hazard Assessment Tool Using Satellite-Based High-Resolution Land Cover Dataset Within Google Earth Engine. *Land*, 13(11), 1929. <https://doi.org/10.3390/land13111929>
- Gholami, V., Gonbad, M., Ozodi, M., & Jokar, A., (2010), "Assessment of the Impact of Land Use Changes on Runoff Generation and Flood Hazard in Kasilian Watershed", *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 3(9): 55-57. [20.1001.1.20089554.1388.3.9.8.0](https://doi.org/10.20089554.1388.3.9.8.0) .[In Persian].

- Golshan, M., Kavian, A., Esmaeili, A., & Die Ziegler, A., (2018), "Modeling Runoff and Sediment Production Using Hydrogeomorphologic Characteristics in Samian Watershed, Ardabil Province", *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 12(43): 117-126 <https://civilica.com/doc/1866384> .[In Persian].
- Hezbavi, Z., & Alaei, N., (2024), "Evaluation and Optimization of Hydrological Connectivity for Water Resources Management in Samian Watershed", 14(3): 115-138. <https://civilica.com/doc/2204637> .[In Persian].
- Idowu, D., & Zhou, W. (2021). Land use and land cover change assessment in the context of flood hazard in Lagos State, Nigeria. *Water*, 13(8), 1105. <https://doi.org/10.3390/w13081105>
- Izadi Fard, H., Rathi Nezami, S., Mostafizadeh, R., & Khavarian, H., (2023), "Relationship Between Surface Runoff Coefficient Changes and Land Use/Land Cover Changes in Samian Watershed, Ardabil Province", *Geographical Studies of Arid Regions*, 14(51): 24-43. [10.22034/jargs.2023.373960.0](https://doi.org/10.22034/jargs.2023.373960.0) .[In Persian].
- Javidan, N., Bahramand, A., Javidan, R., Oneq, M., & Bayram Kamaki, Ch., (2018), "Assessing the Impact of Land Use Change Scenarios on Water Balance Components Using WetSpa Model (Case Study: Ziarat Watershed, Golestan Province)", *Journal of Watershed Management Research*, 9(17): 168-181. <https://sid.ir/paper/370213/fa> .[In Persian].
- Madadi, A., Pasban, A., & Nezafattakleh, B., (2025), "Assessment of Flood Potential in Sub-watersheds of Kuzetopraqi Using the Developed Flash Flood Model", *Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies*, 21(6): 154-167. <https://civilica.com/doc/2204694>. [In Persian].
- Mohammadi Kangarani, H., Khalilzadeh, M., & Halisaz, A., (2011), "Investigation of the Relationship Between Land Use Changes and Soil Infiltration Rate and Its Impact on the 1999 Flood in Nekarud Forested Watershed", *Natural Geography*, 4(11): 75-88. <http://noo.rs/KI391> .[In Persian].
- Mohibi Kandesari, A., (2021), "The Role of Land Use Changes in Increasing Flood Environmental Hazards in Gilan Province (Rudsar County)", *Proceedings of the 3rd International Conference on Management, Tourism, and Technology*. [In Persian].
- Nguyen, H. D., Nguyen, Q. H., Dang, D. K., Van, C. P., Truong, Q. H., Pham, S. D., ... & Petrisor, A. I. (2024). A novel flood risk management approach based on future climate and land use change scenarios. *Science of The Total Environment*, 921, 171204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171204>
- Palacios-Cabrera, T., Valdes-Abellan, J., Jodar-Abellan, A., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Land-use changes and precipitation cycles to understand hydrodynamic responses in semiarid Mediterranean karstic watersheds. *Science of the Total Environment*, 819, 153182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153182>
- Rezaei Moghadam, M., Karami, F., & Abazari, K., (2023), "Assessment and Flash Flood Hazard Zoning in Ojan Chay Watershed Using MFFPI Model", *Hydrogeomorphology*, 10(36): 138-157. <https://civilica.com/doc/1811991> . [In Persian].
- Rezai Moghadam, M., Andriani, S., Almaspour, F., Valizadeh Kamran, KH., & Mukhtari Asl, A., (2015) Investigation Effects of Landuse and Land Cover Changes on Flooding and Runoff Disc Harge (Case Study: Alavyan Dam Basin), *Hydrogeomorphology*, 1(1): 41-57 [10.22034/gmpj.2020.118226](https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.118226) .[In Persian].
- Sajikumar, N., & Remya, R. S. (2015). Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of environmental management*, 161, 460-468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041>
- Slovic, P., Fischhoff, B., Lichtenstein, S. Cognitive processes and societal risk taking. *Decis. Mak. Chang. Hum. Aff.* 1977, 16, 7-36. [10.1007/978-94-010-1276-8_2](https://doi.org/10.1007/978-94-010-1276-8_2)
- Smith, A., Newing, A., Quinn, N., Martin, D., Cockings, S., & Neal, J. (2015). Assessing the impact of seasonal population fluctuation on regional flood risk management. *ISPRS*

International Journal of Geo-Information, 4(3), 1118-1141.
<https://doi.org/10.3390/ijgi4031118>

Tincu, R., Lazar, G., & Lazar, I. (2018). Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation. *Open Geosciences*, 10(1), 593-606. [doi: 10.1515/geo-2018-0047](https://doi.org/10.1515/geo-2018-0047)

Ward, P. J., Eisner, S., Flörke, M., Dettinger, M. D., & Kummerow, M. (2014). Annual flood sensitivities to El Niño–Southern Oscillation at the global scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(1), 47-66.
<https://doi.org/10.5194/hess-18-47-2014>

Zhao, H., Gu, T., Tang, J., Gong, Z., & Zhao, P. (2023). Urban flood risk differentiation under land use scenario simulation. *Iscience*, 26(4). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106479>

Assessment of Seasonal Land-Use Change Scenarios and Their Impact on Flood Hazard Zonation in the Samian Watershed Using the Google Earth Engine Platform

Sayyad Asghari Saraskanroud^{1*}, Fatemeh Samadi Shalveh Alia², Batool Zeinali³
Zeinab Hazbavi⁴

¹ Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

² Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS), Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

³ Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

⁴ Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Abstract

This study aimed to evaluate seasonal land-use change scenarios and analyze their impact on flood hazard zonation in the Samian watershed. The main focus was on assessing land-use variations in spring and autumn and examining their influence on the hydrological behavior of the basin using this study utilized Landsat-9 and remote sensing datasets within the Google Earth Engine platform. Sentinel-2 (2024) satellite imagery, Dynamic World and GHSL products, the SRTM digital elevation model, as well as geological and soil texture maps. Land-use/land-cover maps for spring and autumn were generated using spectral indices and the Random Forest classifier, and their accuracy was assessed through overall accuracy and the Kappa coefficient. To delineate flood hazard zones, the modified Flash Flood Potential Index (MFFPI) was applied. Six parameters—including slope, flow accumulation, curvature, soil texture, bedrock permeability, and land-use/land-cover—were weighted and integrated within the ArcMap environment to produce the final flood hazard map.

The results indicated that seasonal variations in land use have a significant impact on flood potential. In spring, dense vegetation cover and increased soil permeability placed a large portion of the watershed in low and moderate hazard classes. In contrast, autumn exhibited the highest flood susceptibility due to substantial reductions in vegetation cover following crop harvest and the onset of autumn precipitation. During this season, the area classified as “very high hazard” increased to approximately 92 km². The MFFPI model results further confirmed the high sensitivity of the index to seasonal land-use changes.

The findings of this study demonstrate that flood risk in the Samian watershed is dynamic and strongly influenced by seasonal land-use variations. Autumn was identified as the critical season for flood susceptibility and should therefore receive prioritized attention in flood management and watershed planning. Additionally, the study highlights that integrating multi-source remote sensing data with Google Earth Engine-based processing provides an effective approach for rapid monitoring and analysis of short-term changes affecting flood potential at the watershed scale.

Keywords: Land-use change; Flood hazard zonation; Modified Flash Flood Potential Index (MFFPI); Google Earth Engine; Random Forest algorithm; Samian basin

Introduction

Natural hazards can occur without prior warning and at varying time intervals. Therefore, the speed of onset and duration of these hazardous events can vary significantly – from the timescales of droughts or global warming to those of earthquakes, volcanic eruptions, or flash floods (Slovic et al., 1977). Compared to other natural disasters, floods, due to their high frequency and widespread impact, cause considerable financial and human losses and are considered one of the most serious natural hazards (Rezaei Moghadam et al., 2015; Ward et al., 2014).

Methodology

In this study, to produce detailed land use/land cover (LULC) maps, multi-source satellite data from Landsat 9 and Sentinel-2 for the year 2024 were used, specifically images from spring and autumn. To eliminate the effects of cloud and cloud shadow cover, images with less than 10% cloud cover were filtered, and then a final composite image was produced for each sensor by calculating the median image. Spectral indices, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to separate vegetation from other classes, the Normalized Difference Built-up Index (NDBI) to distinguish urban areas, the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) to identify water bodies, and a Digital Elevation Model (DEM) to derive slope, were calculated. For sampling and to reduce human error, Dynamic World data were utilized. Since the residential class could not be adequately separated within Dynamic World alone, Global Human Settlement Layer (GHSL) data were employed. Classes with high building density were extracted as residential areas and added as a separate layer to the base Dynamic World map. Finally, LULC maps were generated using the Random Forest algorithm. The algorithm's accuracy was assessed using overall accuracy and the Kappa coefficient.

For flood hazard zoning, six information layers – slope, flow accumulation, land use/land cover, geology, slope curvature, and soil texture – were used as effective criteria for flooding in the study area. First, spatial data for each of the above factors were processed in the ArcMap software environment. Each layer was classified into five classes indicating the hazard level or influence of that factor on flood occurrence, ranging from very low to very high. To determine the relative importance of layers effective in flood occurrence, the suggested weights from the provided table (Table 2) were used. Weighted values were applied within the ArcMap environment using the Raster Calculator tool for each layer; specifically, the class values of each layer were multiplied by their corresponding weights to reflect the relative effect of that factor in the final index. Finally, the weighted layers were linearly combined using the Raster Calculator tool to generate the final MFFPI index layer. This layer represents the flood potential of the study area and was considered the final flood hazard zoning map. The output map was then classified into five hazard classes: very low, low, moderate, high, and very high.

Discussion and Results

To investigate the impact of seasonal variability on the hydrological condition of the basin, land use/land cover (LULC) maps were generated for Spring and Autumn 2024 (Table 3). The results indicate substantial changes in the hydrological, climatic, and biophysical components of the watershed. Snow cover, as a natural water storage reservoir, decreased from 57.66 km² in spring to near disappearance during summer and reappeared in the highlands in autumn (25.63 km²) with the onset of cold-season Surface water precipitation. These dynamics play a critical role in regulating river discharge regimes. bodies also fluctuated seasonally, decreasing from 18.58 km² in spring to 37.43 km² in autumn, reflecting their sensitivity to seasonal precipitation patterns. Among vegetated classes, the most pronounced changes were observed in irrigated agricultural lands and rangelands. Irrigated agriculture declined from 1383.93 km² in spring to 1306.04 km² in autumn, primarily due to post-harvest conditions. Dense rangelands also decreased markedly from 538.54 km² to 209.93 km², while sparse rangelands increased from 731.27 km² to 1063.35 km², indicating vegetation stress induced by In contrast, residential areas and forests exhibited relatively stable thermal and moisture deficits. conditions with minimal seasonal variation. Overall, these seasonal dynamics, particularly the reduction of protective vegetation cover during dry periods, can significantly enhance surface runoff potential and increase flood susceptibility in the basin.

Validation of the Random Forest Algorithm

Based on Table 4, the accuracy assessment of the Random Forest classifier used for land use/land cover (LULC) mapping was conducted. The results indicate that the overall accuracy and Kappa coefficient for both Spring and Autumn 2024 reached 0.99 and 0.98, respectively. These values demonstrate the high reliability and robustness of the Random Forest model in accurately classifying land use/land cover types in the study area.

Flood Hazard Zoning Results

Using the MFFPI model, flood hazard maps were generated for different seasonal scenarios, revealing distinct spatial patterns between Spring and Autumn (Table 5, Fig. 3).

Spring season (moderating phase):

During spring, despite the presence of snowmelt-derived water, the watershed is predominantly classified into low (927.58 km²) and moderate (936.61 km²) flood hazard classes. This is mainly attributed to dense vegetation cover across the basin, which increases surface roughness and enhances soil infiltration. Consequently, runoff concentration time is prolonged and peak discharge is attenuated, indicating a clear moderating effect of vegetation on flood generation processes.

Autumn season (critical phase):

Autumn represents the highest flood hazard condition in the basin. This critical state is driven by two key factors: (1) minimal protective vegetation due to post-harvest conditions and dried rangelands, and (2) the onset of seasonal precipitation combined with declining temperatures. Under these conditions, high-risk areas significantly expand, with the very high hazard class reaching 43.92 km². Following the dry summer period, soil surface sealing and potential water repellency further reduce infiltration. Overall, the results demonstrate that flood susceptibility in the Samian watershed is highly dynamic and strongly controlled by seasonal land use/land cover variations. In particular, the autumn period represents the critical warning phase for flood risk management.

Conclusion

The aim of this study was to investigate the impact of seasonal land use/land cover change scenarios on flood hazard zoning in the Samian watershed using the Google Earth Engine (GEE) platform and the Modified Flash Flood Potential Index (MFFPI) model. The results obtained from applying diverse data showed that changes in vegetation and land surface over short time periods can significantly affect the hydrological behavior of the watershed and flood-prone areas. Evaluation of LULC maps for spring and autumn, along with the validation results of the Random Forest algorithm, indicated that the classification model has very high accuracy. Overall accuracy and Kappa coefficient were 0.99 and 0.98, respectively. These values demonstrate the high accuracy and reliability of the LULC maps and their suitability for use in flood hazard analysis. Assessment of the spring and autumn LULC maps reveals that Samian is a watershed with highly dynamic behavior, such that seasonal changes in vegetation and land cover quickly alter the flood hazard pattern. In spring, the presence of dense vegetation increases water infiltration and reduces runoff generation, placing most of the watershed in low- and moderate-risk classes. This situation highlights the effective role of vegetation in reducing flood potential. Conversely, autumn was identified as a critical period for the watershed. The reduction in vegetation after harvest and the decline in rangeland condition, coupled with the onset of autumn rains, have led to a significant increase in the flood hazard class. The expansion of very-high-hazard areas to approximately 92 km² indicates that the watershed is more prone to flash floods during this season. The MFFPI model, by combining parameters such as slope, flow density, slope curvature, soil texture, rock permeability, and land use, was able to provide an accurate spatial pattern of high-risk areas and demonstrate its sensitivity to land cover changes across different seasons. Overall, this study emphasizes that flood risk assessment must go beyond single-season or static analyses and incorporate the seasonal dynamics of land use/land cover. According to the results, autumn is the most important warning period for flood management in the Samian watershed, and watershed management, land management, and urban development planning need to focus on this season. Furthermore, the use of multi-source remote sensing data and GEE-based processing showed that this approach can be an efficient and accurate tool for monitoring and analyzing short-term changes affecting flood risk.