

شبیه سازی بارش - رواناب و پتانسیل سیل خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS و منطق فازی مطالعه موردی حوضه آبریز رود بال در استان فارس

محمد ابراهیم عفیفی*

استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۲۱

چکیده

سیلاب‌ها جزو فراوان‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی هستند که همه ساله موجب آسیب جانی و مالی سنگینی می‌شوند. آسیب‌های سیلاب به دلیل دستکاری انسان در سیستم‌های رودخانه‌ای و ساخت و ساز در حریم رودخانه‌ها دارای روند صعودی است. در این رابطه، یکی از مهم‌ترین اقدامات غیرسازهای در جهت کاهش آسیب سیلاب تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل و استفاده از آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های مکانی است. در این راستا، از مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی بارش - رواناب و شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و از منطق فازی به منظور روی هم‌گذاری لایه‌های موضوعی و تهیه نقشه خط سیلاب استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی بارش - رواناب حوضه آبریز رود بال و برآورد دبی‌های پیک سیلاب می‌باشد. تبدیل بارش به رواناب در سطح حوضه رود بال عمدتاً در کنترل ژئومورفومتری و پوشش زمین می‌باشد. بیشترین ارتفاع رواناب و دبی‌های پیک حوضه رود بال در زیر حوضه‌های بالا دست است. این امر به دلیل شیب زیاد، نفوذپذیری اندک خاک، فراوانی سطوح غیرقابل نفوذ و CN بالا است. ترکیب لایه‌های موضوعی با استفاده از منطق فازی نشان داد که در حدود ۸/۶ درصد از سطح حوضه در پهنه‌های با خطر بسیار بالای وقوع سیلاب واقع شده‌اند. این پهنه‌ها عمدتاً منطبق بر دشت سیلابی رودخانه رود بال می‌باشند. این اراضی به علت کم‌عرض بودن دره و شیب کم همیشه در معرض سیلاب هستند. اکثر سکونتگاه‌های منطقه مطالعاتی در پایین دست حوضه مستقر شده‌اند. این امر باعث افزایش مخاطرات ناشی از سیلاب شده است.

واژگان کلیدی: سیل، مدل HEC-HMS، هم‌پوشانی فازی، رود بال.

مقدمه

سیلاب‌ها جزء لاینفک دینامیک مجرای رودخانه‌ها هستند (Pandey, 2002). سیل می‌تواند به‌عنوان یک وضعیت هیدرولوژیکی تعریف شود که در آن دبی رودخانه بیش از ظرفیت ذخیره‌سازی کانال می‌گردد و آب مازاد سرریز شده و بخشی از کف دره را غرقاب می‌کند (اسفندیاری، ۱۳۹۷).

سیل یک پدیده معمول و قابل انتظار برای یک رودخانه است، اما از آنجایی که کناره‌های رودخانه‌ها معمولاً دارای تراکم جمعیتی بالایی هستند، سیلاب‌های بزرگ‌تر دارای یک مؤلفه خطرزا هستند (حاتمی نژاد، ۱۳۹۶). آمارها نشان می‌دهند که خطر سیل در طی زمان افزایش یافته است، بخصوص از زمانی که بسیاری از کشورها مجوزهای ساخت و ساز در دشت‌های سیلابی را صادر کردند و حتی رشد تجاری و مسکونی در این مناطق را تشویق کردند (حسین زاده، ۱۳۹۵).

اطلاعات فیزیکی مورد نیاز شامل توپوگرافی و عوارض زمین، نوع خاک، پوشش زمین و جنگلداری و شدت عوامل محرک است. (صمد زاده، ۱۳۹۴) در نهایت، مدیریت ریسک سیل نیازمند داده‌های اقتصادی - اجتماعی (محل سکونت، داده‌های ارزش یا قیمت، ساختار جمعیتی، اطلاعات سرشماری) و همچنین اطلاعات مربوط به کاربری اراضی، مرزهای اداری، فشار توسعه و محدودیت‌های زیست‌محیطی هست (Pandey, 2002). در این رابطه، فن‌آوری‌های جغرافیایی مدرن، به‌خصوص در رشته‌های فتوگرامتری، سنجش‌ازدور و علم اطلاعات مکانی، می‌تواند در مدیریت بحران از طریق مشاهده، تهیه نقشه و تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوطه در هر مرحله اساسی مدیریت فاجعه کمک کند (طاهری، ۱۳۹۵). از طریق هم‌پوشانی یا تقطیع^۱ لایه‌های فضایی مختلف، نواحی مستعد سیلاب می‌تواند شناسایی شود، در نتیجه امکان کاهش اثر و واکنش مؤثرتر به رویدادهای سیل فراهم می‌شود (Pandey, 2003).

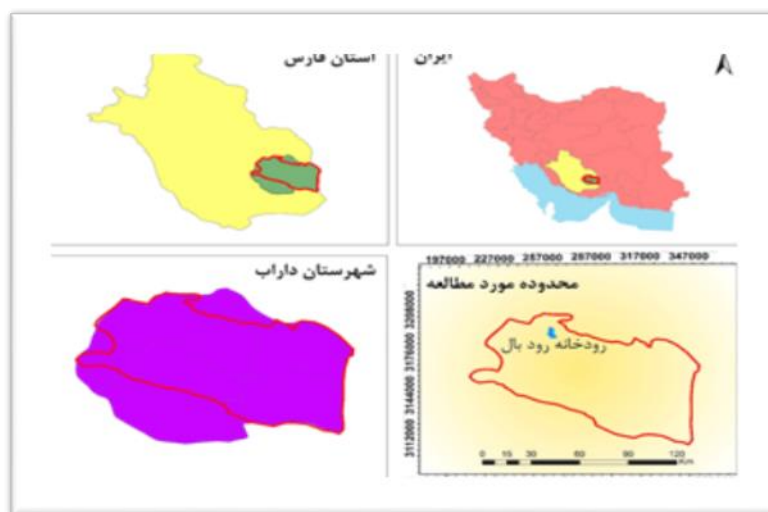
اهداف مهم این پژوهش شامل شناسایی و تعیین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبریز رود بال، کاربرد مدل HEC-HMS و منطق فازی در پهنه‌بندی و تحلیل فضایی مخاطره سیلاب و شناسایی پهنه‌های با بیشترین احتمال خطر در سطح حوضه مطالعاتی است. در رابطه با پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از GIS و شبیه‌سازی بارش - رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS می‌توان به کارهای پژوهشی Pandey, 2002. Pandey, 2003. Patila. J 2008, Reshmidevi a. T. 2008. Zhan, X. 2004. Ebrahimian, Mahboubeh. F. S. Lai. M. H. Ismail. I. A. Malek. 2009 اشاره کرد.

محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مطالعاتی حوضه رودخانه رود بال یکی از رودخانه‌های استان فارس است و در مختصات: $28^{\circ}52'20''$ شمالی $54^{\circ}23'54''$ شرقی / $28,8723337^{\circ}$ شمالی $54,398439^{\circ}$ شرقی شهرستان داراب واقع شده است. این رودخانه از کنار منطقه رود بال داراب عبور می‌کند و شهرهای داراب و ایچ و استهبان از شهرهای مهم نزدیک به این رودخانه است و از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ و به مدت ۱۲ سال سد رودخانه رود بال داراب بر روی این رودخانه ساخته شده است. سد رودخانه رود بال داراب یکی از دو سد ساخته شده بر روی رودخانه رودخانه رود بال در ۲۲ جاده داراب - ایچ در استان فارس واقع شده است. (سد دوم که یک سد تنظیمی کوچک می‌باشد، در ۱۲ جاده داراب - ایچ و در حوالی شهرک فتح المبین ساخته شده است و کارایی آن تنظیم آب خروجی سد رودخانه رود بال و ذخیره‌سازی آن با دبی

¹ - overlaying or intersecting

خروجی کمتر می باشد) سد رودخانه رود بال از نوع خاکی، سنگریزه‌ای با هسته رسی است و ۸۳ متر ارتفاع دارد. حجم سد رودخانه رود بال ۸۲ میلیون متر مکعب است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه در استان و ایران

داده‌ها و روش‌ها

مهم‌ترین داده‌های پژوهش حاضر به منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب و پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبریز رود بال عبارتند از: نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه خاک‌شناسی، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۳۰ متر، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth (GeoEye) با قدرت تفکیک تقریباً ۱ متر، داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی و داده‌های رگبار و سیلاب حوضه. نرم‌افزارها و مدل‌های مورد استفاده به منظور آماده‌سازی لایه‌های موضوعی، مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل نرم‌افزار ArcGIS همراه با الحاقی‌های ArcHydro و HEC-GeoHMS، نرم‌افزار ENVI جهت تهیه لایه پوشش گیاهی و کاربری اراضی و نرم‌افزار HEC-HMS جهت شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه.

جهت شبیه‌سازی بارش - رواناب از اکستنشن HEC-GeoHMS و مدل HEC-HMS و به منظور همپوشانی و تلفیق متغیرهای مؤثر بر وقوع سیلاب از منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد.

- مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS^۱ در سال ۱۹۹۲ به‌عنوان جایگزینی برای HEC-1 طراحی شد که مدت‌ها به‌عنوان یک استاندارد برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی شناخته می‌شد (Patila. J. Ahmadb. 2008). مدل HEC-HMS

¹ - Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System

می‌تواند برای تحلیل سیلاب‌های شهری، دوره‌های بازگشت سیل، سیستم‌های هشدار دهنده سیل و غیره مورد استفاده قرار گیرد (Reshmidevi a. T. 2008). این مدل دارای چهار جزء اصلی است: (۱) یک مدل تحلیلی برای محاسبه رواناب در مسیر مجرا؛ (۲) یک رابط کاربری پیشرفته گرافیکی جهت نمایش اجزای سیستم هیدرولوژیکی؛ (۳) سیستمی برای ذخیره و مدیریت داده‌ها و (۴) ابزاری برای نمایش و گزارش خروجی‌های مدل (Zhan, X. 2004). هیدروگراف‌هایی که توسط این برنامه تولید می‌شوند، به‌طور مستقیم یا در رابطه با نرم‌افزارهای دیگر برای مطالعات مربوط به دسترسی به آب، سیلاب شهری، پیش‌بینی جریان، تأثیر شهرنشینی آینده، طراحی مخزن، کاهش خسارات سیل و مدیریت دشت سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرند (عظیم پور، ۱۳۸۸).

برای مدل‌سازی فرایند بارش - رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS لازم است که سه مدل شامل مدل حوضه، مدل هواشناسی و مدل مشخصات کنترل تعریف شود (قشقایی زاده، ۱۳۹۱)؛ مواردی که در هر یک از این مدل‌ها به نرم‌افزار معرفی می‌شوند، به شرح زیر است:

– کاربرد منطق فازی در ترکیب لایه‌های موضوعی

جهت تهیه نقشه خطر سیل گیری در سطح حوضه آبریز رود بال، متغیرها و پارامترهای مؤثر بر وقوع سیلاب در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شدند. این متغیرها عبارتند از: حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب، شیب، جهت شیب، ارتفاع، ژئومورفولوژی، عمق دره، تحدب سطح زمین، لیتولوژی، مجاورت با آبراهه‌های اصلی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی. در حال حاضر، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) طیف گسترده‌ای از امکانات تحلیل فضایی، از قبیل عملیات بولین و عددی، تحلیل ناحیه‌ای و تحلیل شبکه را بر روی لایه‌های موضوعی مختلف فراهم نموده‌اند، اما اغلب به‌منظور رسیدن به پارامترهای مورد نیازی که بر اساس آن تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد، ضروری است که تحلیل فضایی با سایر محاسبات یا مدل‌های خارجی ارتباط یابد (Pandey, 2003). در این زمینه، روش منطق فازی ترکیبات انعطاف‌پذیر نقشه‌های وزنی حاصل از هر مقیاس اندازه‌گیری را امکان‌پذیر می‌سازد (Zhan, X. 2004) و می‌تواند به‌آسانی با یک‌زبان مدل‌سازی GIS اجرا شود.

در فرآیند فازی سازی، ایده آلی جهت عضویت در مجموعه تعریف می‌شود. به هر مقداری از پدیده که نسبت به هسته تعریف مجموعه، محوری‌تر یا مرکزی‌تر باشد ارزش^۱ اختصاص خواهد یافت و به مقادیری که به‌طور قطع بخشی از مجموعه نیستند ارزش ۰ تخصیص می‌یابند. مقادیری که بین این دو حد واقع می‌شوند در منطقه گذار مجموعه قرار می‌گیرند (Patila. J. Ahmadb. 2008) معادله و کاربرد هر تابع عضویت متفاوت است. نوع تابع مورد استفاده بستگی به این دارد که کدام تابع به بهترین نحوی داده‌ها را بر اساس پدیده مورد مدل‌سازی تبدیل می‌کند (مراد نژادی، ۱۳۹۴). توابع عضویت فازی مورد استفاده در پژوهش حاضر عبارتند از:

بزرگ فازی: تابع تبدیل بزرگ فازی^۱ هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که جهت عضویت در یک مجموعه، مقادیر بزرگ‌تر، از احتمال بیشتری برخوردار می‌باشند (Djordjevic, B. & S. Bruck. 1988):

خطی فازی: تابع تبدیل خطی فازی، یک تابع خطی بین مقادیر حداقل و حداکثر را مورد استفاده قرار می‌دهد. به هر مقدار کمتر از حداقل، ارزش ۰ (به‌طور قطع یک عضو نیست) و به هر مقدار بالاتر از حداکثر، ارزش ۱ (به‌طور قطع یک عضو است) تخصیص داده می‌شود (مدرسی، ۱۳۹۶).

نتایج

محاسبه پارامترهای حوضه‌ای پژوهش

نرم‌افزار HEC-HMS برای مدل‌سازی حوضه آبریز به ویژگی‌های نظیر مساحت، شیب حوضه و شیب آبراهه‌ها، طول رودخانه اصلی، طولانی‌ترین مسیر جریان، مرکز ثقل حوضه، طول رودخانه از مرکز ثقل حوضه تا خروجی آن (برای محاسبه زمان تأخیر و تمرکز در روش‌های تبدیل بارش به رواناب)، نوع کاربری اراضی در هر زیر حوضه (برای روش تلفات شماره منحنی) و نیز برای مدل‌سازی هواشناسی حوضه به مختصات مرکز ثقل زیر حوضه‌ها (برای روش بارش عکس فاصله) نیازمند است. (نسرین نژاد، ۱۳۹۳) در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی ویژگی‌های فضایی حوضه آبریز رود بال از الحاقی HEC-GeoHMS در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. اکثر داده‌ها از طریق پردازش مدل رقومی ارتفاع (DEM) حاصل شدند. فیزیوگرافی حوضه رود بال به شرح زیر محاسبه گردید (جدول ۱).

جدول ۱: متغیرها و پارامترهای فیزیوگرافی و حوضه‌ای رود بال

عرض مستطیل معادل	طول مستطیل معادل	شیب طولانی‌ترین آبراهه	طول طولانی‌ترین آبراهه	شیب (%)	محیط km	مساحت km ²	زیر حوضه
۱/۲۰۴	۱۹/۵۰۸	۰/۱۲۲	۱۴/۸۷	۳۶/۵۲	۴۱/۴۲	۲۳/۴۸	W1
۰/۹۸۶	۹/۹۲۰	۰/۱۴۳	۷/۹۲	۳۲/۵۸	۲۱/۸۱	۹/۷۸	W2
۰/۵۸۲	۸/۱۴۹	۰/۱۵۵	۷/۴۲	۲۵/۰۲	۱۷/۴۶	۴/۷۴	W3
۰/۶۹۳	۵/۱۲۸	۰/۱۸۳	۴/۴۴	۳۰/۶۲	۱۱/۶۴	۳/۵۵	W4
۰/۷۷۸	۴/۸۷۳	۰/۱۱۸	۳/۲۵	۲۰/۰۲	۱۱/۳۰	۳/۷۹	W5
۰/۴۵۳	۲/۹۶۶	۰/۱۹۷	۱/۸۰	۲۲/۷۲	۶/۸۴	۱/۳۴	W6
۰/۴۳۲	۵/۳۰۴	۰/۱۴۳	۴/۰۳	۳۴/۵۸	۱۱/۴۷	۲/۲۹	W7
۰/۳۱۴	۳/۱۹۰	۰/۱۸۹	۱/۸۹	۳۴/۶۷	۷/۰۱	۱/۰۰	W8
۱/۱۸۱	۱۶/۳۶۶	۰/۱۳۰	۱۳/۲۱	۲۵/۱۲	۳۵/۰۹	۱۹/۳۲	W9
۰/۴۹۴	۸/۲۹۳	۰/۱۲۰	۶/۷۵	۲۰/۰۳	۱۷/۵۷	۴/۱۰	W10
۰/۷۸۶	۵/۳۱۷	۰/۰۵۲	۴/۸۵	۱۶/۶۱	۱۲/۲۱	۴/۱۸	W11
۰/۶۶۸	۱۲/۹۲۲	۰/۰۵۹	۸/۸۱	۱۶/۸۵	۲۷/۱۸	۸/۶۴	W12
۱/۰۷۰	۱۰/۲۶۱	۰/۰۷۴	۹/۱۰	۲۴/۹۴	۲۲/۶۶	۱۰/۹۷	W13
۰/۴۴۳	۵/۲۹۳	۰/۰۸۶	۴/۳۳	۲۱/۸۵	۱۱/۴۷	۲/۳۴	W14
۱/۱۱۷	۹/۱۱۲	۰/۰۸۵	۵/۹۱	۱۵/۳۰	۲۰/۴۶	۱۰/۱۸	W15

¹ - Fuzzy Large

۰/۵۹۴	۵/۶۵۰	۰/۱۱۹	۴/۹۷	۲۰/۳۷	۱۲/۴۹	۳/۳۶	W16
۰/۵۴۰	۶/۰۱۵	۰/۰۸۴	۴/۷۵	۱۶/۶۹	۱۳/۱۱	۳/۲۵	W17
۰/۴۰۲	۴/۳۷۳	۰/۰۴۱	۳/۵۶	۱۱/۲۰	۹/۵۵	۱/۷۶	W18
۱/۰۷۳	۷/۹۴۱	۰/۰۹۲	۶/۷۱	۱۷/۶۶	۱۸/۰۳	۸/۵۲	W19
۰/۲۹۸	۴/۲۵۱	۰/۰۴۴	۳/۲۲	۷/۸۵	۹/۱۰	۱/۲۷	W20
۱/۰۱۰	۱۱/۵۳۶	۰/۰۹۵	۹/۸۲	۳۱/۷۰	۲۵/۰۹	۱۱/۶۵	W21
۰/۲۳۶	۳/۱۸۳	۰/۰۵۴	۲/۳۹	۸/۱۷	۶/۸۴	۰/۷۵	W22
۰/۶۶۵	۱۲/۵۸۷	۰/۰۳۰	۷/۳۳	۸/۱۲	۲۶/۵۰	۸/۳۷	W23
۰/۴۳۳	۱۰/۹۸۳	۰/۰۲۸	۸/۸۰	۵/۰۴	۲۲/۸۳	۴/۷۵	W24
۰/۸۶۹	۷/۷۴۹	۰/۰۵۷	۶/۲۸	۱۰/۴۲	۱۷/۲۴	۶/۷۳	W25
۰/۷۴۲	۹/۵۴۳	۰/۰۲۸	۵/۶۰	۷/۴۵	۲۰/۵۷	۷/۰۸	W26
۰/۵۶۶	۴/۳۲۲	۰/۰۲۰	۳/۰۷	۵/۵۰	۹/۷۸	۲/۴۵	W27

ادامه جدول ۱: متغیرها و پارامترهای فیزیوگرافی و حوضه‌ای رود بال

ارتفاع رواناب برای حداکثر بارش ۲۴ ساعته (cm)	زمان تمرکز	زمان تأخیر	CN	تراکم زهکشی	ضریب گراویلیوس	زیر حوضه
۳/۰۵۸	۱/۶۰۳	۰/۹۶۰	۸۶/۱۳	۱/۵۰۲	۲/۳۹۳	W1
۲/۵۱۲	۱/۱۵۸	۰/۶۹۴	۸۲/۶۱	۱/۴۰۳	۱/۹۵۳	W2
۲/۵۸۰	۱/۲۳۵	۰/۷۳۹	۸۳/۰۸	۱/۸۶۱	۲/۲۴۵	W3
۲/۵۲۸	۰/۷۴۸	۰/۴۴۸	۸۲/۷۲	۱/۳۹۷	۱/۷۳۰	W4
۲/۵۹۷	۰/۷۱۱	۰/۴۲۶	۸۳/۱۹	۱/۸۲۴	۱/۶۲۵	W5
۲/۶۰۵	۰/۴۱۴	۰/۲۴۸	۸۳/۲۵	۱/۴۰۶	۱/۶۵۲	W6
۲/۰۳۰	۰/۷۳۳	۰/۴۳۹	۷۹/۰۲	۱/۲۰۱	۲/۱۲۳	W7
۲/۹۱۸	۰/۳۳۶	۰/۱۹۵	۸۵/۲۷	۱/۳۲۰	۱/۹۶۲	W8
۲/۱۹۲	۲/۱۴۱	۱/۲۸۲	۸۰/۲۹	۱/۸۶۷	۲/۲۳۵	W9
۲/۰۶۶	۱/۴۴۴	۰/۸۶۵	۷۹/۳۱	۱/۷۳۷	۲/۴۳۰	W10
۲/۱۲۰	۱/۲۰۰	۰/۷۱۹	۷۹/۷۳	۱/۶۰۷	۱/۶۷۱	W11
۲/۰۲۵	۱/۹۶۸	۱/۱۷۸	۷۸/۹۸	۱/۷۹۳	۲/۵۹۰	W12
۲/۱۵۴	۱/۶۰۹	۰/۹۶۳	۷۹/۹۹	۱/۵۰۰	۱/۹۱۵	W13
۲/۱۹۴	۰/۹۴۱	۰/۵۶۳	۸۰/۳۰	۱/۹۹۳	۲/۰۹۸	W14
۱/۷۹۷	۱/۵۸۹	۰/۹۵۲	۷۷/۰۸	۱/۸۱۴	۱/۷۹۶	W15
۱/۷۳۴	۱/۲۱۸	۰/۷۳۰	۷۶/۵۴	۱/۸۷۲	۱/۹۰۹	W16
۱/۸۰۹	۱/۲۷۲	۰/۷۶۲	۷۷/۱۹	۱/۳۹۱	۲/۰۳۶	W17
۲/۰۳۵	۱/۱۶۷	۰/۶۹۹	۷۹/۰۶	۱/۹۲۷	۲/۰۱۷	W18
۱/۹۷۱	۱/۵۶۷	۰/۹۳۸	۷۸/۵۴	۱/۹۶۰	۱/۷۲۹	W19
۱/۱۳۰	۱/۶۴۲	۰/۹۸۳	۷۰/۵۱	۲/۱۰۸	۲/۲۶۲	W20
۲/۳۰۶	۱/۷۶۸	۱/۰۵۹	۸۱/۱۴	۱/۸۲۷	۲/۰۵۸	W21
۲/۲۲۹	۰/۹۴۷	۰/۵۶۷	۸۰/۵۷	۲/۲۶۱	۲/۲۱۰	W22
۱/۸۹۶	۲/۵۲۷	۱/۵۱۳	۷۷/۹۳	۲/۰۷۶	۲/۵۶۵	W23
۲/۴۴۹	۳/۲۵۰	۱/۹۴۶	۸۲/۱۷	۲/۲۶۸	۲/۹۳۳	W24
۲/۶۷۴	۱/۶۳۸	۰/۹۸۱	۸۳/۷۱	۱/۹۴۱	۱/۸۶۰	W25
۱/۵۳۸	۲/۳۳۲	۱/۳۹۷	۷۴/۷۴	۱/۸۰۰	۲/۱۶۴	W26
۰/۸۳۷	۲/۰۷۹	۱/۲۴۵	۶۶/۹۱	۱/۷۱۴	۱/۷۵۰	W27

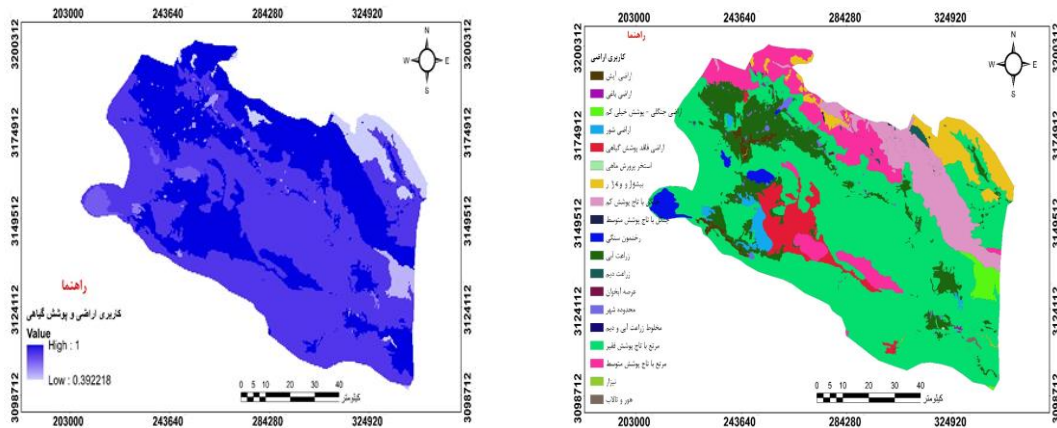
تهیه لایه‌های پوشش زمین، پوشش گیاهی و شماره منحنی حوضه

- **کاربری اراضی:** کاربری اراضی حوضه مطالعاتی یکی از مهم‌ترین ورودی‌های مدل HEC-HMS به منظور تهیه لایه CN حوضه و از این رو یکی از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار در تولید رواناب در سطح حوضه است. (عابدینی، ۱۳۹۴) از طرف دیگر، کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین متغیرهای دخیل در تبدیل فرایند سیلاب به مخاطره محسوب می‌شود. لایه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از روی تصاویر ماهواره‌ای Google Earth با قدرت تفکیک بالا و تصویر ماهواره‌ای Sentinel2 مربوط به تابستان ۲۰۱۸ میلادی به روش طبقه‌بندی نظارت شده در محیط نرم‌افزار ENVI تهیه شد کاربری‌های اصلی حوضه مطالعاتی عمدتاً به صورت مراتع می‌باشند. در واقع، به علت توپوگرافی خشن، کمبود منابع آب زیرزمینی و جریان یافتن رودخانه‌های منطقه در داخل دره‌های باریک و عمیق و همچنین وجود خاک‌های جوان و تکامل نیافته، کشاورزی آبی منطقه اغلب به صورت زراعت همراه با باغات- در مقیاس محدود- است که بر روی دشت‌های سیلابی کم‌عرض و محدود منطقه واقع شده‌اند. در حدود ۱۳/۲ کیلومتر مربع از سطح حوضه به این کاربری اختصاص یافته است. اراضی کشاورزی آبی منطقه عمدتاً در قسمت‌های پایین دست حوضه تمرکز یافته و در حالت کلی به اراضی هموار بستر دره رود بال محدود شده است. کشت دیم (غلات) الگوی غالب کشاورزی منطقه مطالعاتی می‌باشد و در حدود ۳۲ کیلومترمربع از سطح حوضه به این نوع کشت اختصاص یافته است. کاربری‌های مراتع با پوشش گیاهی ضعیف، اراضی بایر و سکونتگاه‌ها نقش حفاظتی بسیار محدودی در خصوص سیلاب دارند و بنابراین بخش زیادی از بارش در این کاربری‌ها تبدیل به رواناب می‌شود (شکل ۲).

- **پوشش گیاهی:** در پژوهش حاضر، برای تهیه نقشه پوشش گیاهی از شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی^۱ (NDVI) استفاده گردید. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 استفاده شد. (عابدینی، ۱۳۹۵) در حالت کلی، مقادیر این شاخص برای منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده پایین بودن تراکم پوشش گیاهی در منطقه است (شکل ۳)؛ به طوری که، در حدود ۴۰ درصد از منطقه مطالعاتی دارای مقادیر NDVI کمتر از ۰/۲۳ می‌باشد که نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار ضعیف تا بایر می‌باشند. مقادیر پایین این شاخص عمدتاً در قسمت‌هایی از بالادست حوضه، پایین دست حوضه و دامنه‌های پرشیب قسمت‌های میانی حوضه دیده می‌شوند (شکل ۴).

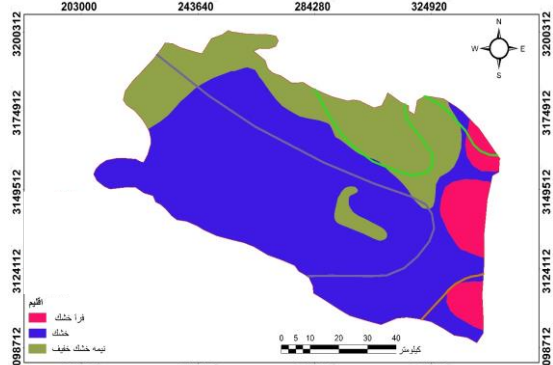
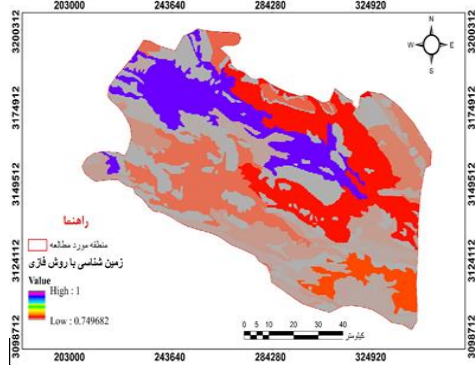
دلیل اساسی این امر مربوط به شرایط خاک‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی است. تنها در حدود ۱۱/۵ درصد از منطقه مطالعاتی دارای مقادیر بالای شاخص NDVI (بیشتر از ۰/۴) می‌باشند و اغلب شامل اراضی کشاورزی موجود در دره‌ها و دشت‌های سیلابی و همچنین مراتع متراکم بالادست حوضه می‌باشند. سپس به بررسی و محاسبه حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه پرداخته شد. (جدول ۲)

¹ - Normalized difference water index (NDVI)



شکل ۳: پوشش گیاهی (NDVI) حوزه رود بال

شکل ۲: نقشه کاربری اراضی حوزه رود بال

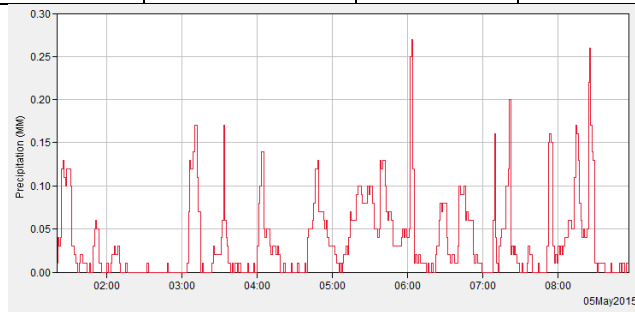


شکل ۵- نقشه CN حوزه رود بال

۴- گروههای هیدرولوژیکی حوزه رود بال

جدول ۲: حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوزه رود بال با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از تابع لوگ پیرسون تیپ ۳

انحراف معیار	مقدار محاسبه شده	دوره بازگشت	احتمال وقوع
۰/۵۹۷	۱۹/۵۰	۲	۰/۵۰۰
۰/۷۵۳	۲۲/۳۸	۳	۰/۶۶۷
۰/۹۹۸	۲۵/۹۴	۵	۰/۸۰۰
۱/۵۹۱	۳۰/۰۰	۱۰	۰/۹۰۰
۲/۹۹۵	۳۸/۳۸	۲۵	۰/۹۶۰
۴/۵۹۸	۴۴/۶۵	۵۰	۰/۹۸۰
۶/۷۴۹	۵۱/۶۶	۱۰۰	۰/۹۹۰
۹/۵۴۵	۵۹/۵۱	۲۰۰	۰/۹۹۵



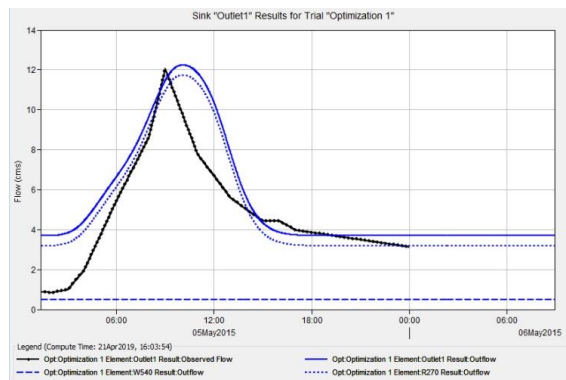
شکل ۶: هایتوگراف بارش مشاهداتی در حوزه آبریز رود بال

شبیه‌سازی بارش - رواناب

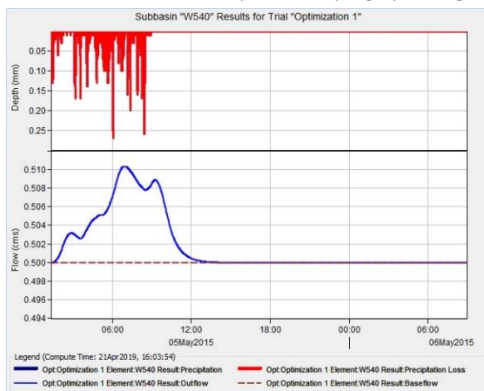
پس از معرفی شبکه زیر حوضه‌ها و مسیرهای روند یابی و ورود داده‌های مورد نیاز به نرم‌افزار HEC-HMS مدل

مربوطه اجرا شد (شکل ۶).

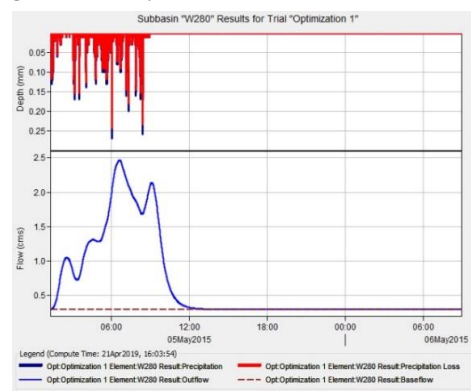
برای تخمین پارامترها در نرم افزار HEC-HMS از فرایند بهینه سازی^۱ که فرایندی تکرار شونده است، استفاده می شود. (در این فرایند برای کمینه کردن میزان اختلاف هیدرو گراف محاسباتی و مشاهداتی، یک تابع هدف در عنصری که در آن هیدرو گراف مشاهداتی وجود دارد، بکار می رود و این تابع به گونه ای تعریف می شود که اگر مقدار هیدرو گراف محاسباتی و مشاهداتی در عنصر مورد نظر کاملاً برابر شوند، مقدار آن برابر صفر شود. همچنین، برای این تابع هدف، قیود به گونه ای تعریف می شوند که مقادیر پارامترهای تخمین زده شده در محدوده مجاز باشند. در این فرایند بهینه سازی از دو روش بهینه سازی یک و چندمتغیره با شروع از مقداری مشخص و تعیین شده توسط کاربر استفاده می شود و مبنای توقف آن، رسیدن مقدار تابع هدف به حد مشخص و یا انجام شدن تعداد تکرارهای مشخص است (Patila, J. 2008). نتایج مدل بعد از فرایند بهینه سازی به صورت جدول (۳) است. به دلیل تعداد زیاد هیدرو گرافها تنها به درج دو هیدرو گراف بسنده شده است (شکل های ۸ و ۹). نتایج شبیه سازی نشان دهنده کارایی بالای مدل HEC-HMS در شبیه سازی بارش - رواناب حوضه آبریز رود بال - مخصوصاً در برآورد دبی های پیک سیلاب - است. به طوری که مقایسه دبی پیک هیدرو گراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی نشان دهنده اختلاف اندک ۰/۲ مترمکعبی می باشد. دبی پیک هیدرو گراف مشاهداتی ۱۲/۱ مترمکعب در ثانیه و دبی پیک محاسباتی ۱۲/۳ مترمکعب برای یک بارش حدوداً ۲۰ میلی متری است.



شکل ۷: هیدرو گراف مشاهداتی و محاسباتی در خروجی حوضه آبریز رود بال



شکل ۹: هیدرو گراف محاسباتی سیل برای زیر حوضه ۲۷ بعد از بهینه سازی



شکل ۸: هیدرو گراف محاسباتی سیل برای زیر حوضه ۱ بعد از بهینه سازی

¹ - Optimization

جدول ۳: دبی پیک سیلاب‌های حوضه رود بال (مترمکب در ثانیه) با دوره‌های بازگشت مختلف

زیر حوضه	دوره بازگشت (به سال)							
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۳	۲
W1	۵۹/۷۵	۴۶/۲۴	۳۴/۸۱	۲۵/۳۴	۱۳/۷۶	۸/۹۱	۵/۱۴	۲/۵
W2	۲۶/۲۳	۱۹/۸۸	۱۴/۶۲	۱۰/۳۲	۵/۳۵	۳/۳۵	۱/۸۸	۰/۹
W3	۱۲/۴۳	۹/۴۴	۶/۹۵	۴/۹۱	۲/۵۵	۱/۵۹	-/۸۸	۰/۴
W4	۱۲/۸۶	۹/۷۵	۷/۱۶	۵/۰۵	۲/۶۰	۱/۶۱	-/۸۸	۰/۴
W5	۱۴/۵۰	۱۱/۰۱	۸/۰۹	۵/۷۱	۲/۹۳	۱/۸۰	-/۹۶	۰/۴
W6	۷/۳۳	۵/۵۶	۴/۰۹	۲/۸۹	۱/۴۸	-/۹۱	-/۴۹	۰/۲
W7	۷/۲۸	۵/۴۹	۴/۰۴	۲/۸۸	۱/۶۱	۱/۱۳	-/۸۰	۰/۶
W8	۶/۹۲	۵/۲۹	۳/۹۱	۲/۷۷	۱/۴۱	-/۸۴	-/۴۰	۰/۱
W9	۳۰/۴۴	۲۲/۹۸	۱۶/۸۸	۱۱/۹۸	۶/۴۸	۴/۳۶	۲/۸۵	۱/۹
W10	۷/۹۲	۵/۸۹	۴/۲۴	۲/۹۳	۱/۴۷	-/۹۲	-/۵۳	۰/۳
W11	۹/۷۶	۷/۳۷	۵/۴۲	۳/۸۶	۲/۱۲	۱/۴۶	-/۹۹	۰/۷
W12	۱۳/۴۱	۱۰/۰۳	۷/۲۹	۵/۱۱	۲/۷۱	۱/۸۰	۱/۱۸	۰/۸
W13	۲۰/۷۲	۱۵/۵۶	۱۱/۳۵	۷/۹۸	۴/۲۱	۲/۷۶	۱/۷۴	۱/۱
W14	۶/۴۱	۴/۷۸	۳/۴۶	۲/۳۹	۱/۲۰	-/۷۳	-/۴۱	۰/۲
W15	۱۶/۱۹	۱۱/۸۷	۸/۴۱	۵/۷۱	۲/۸۲	۱/۷۷	۱/۰۸	۰/۷
W16	۶/۱۶	۴/۴۸	۳/۱۴	۲/۰۹	۰/۹۹	-/۵۹	-/۳۴	۰/۲
W17	۶/۰۳	۴/۴۱	۳/۱۱	۲/۰۹	۱/۰۰	-/۶۱	-/۳۴	۰/۲
W18	۳/۸۴	۲/۸۴	۲/۰۳	۱/۳۸	۰/۶۷	-/۴۰	-/۲۱	۰/۱
W19	۱۴/۷۰	۱۰/۸۳	۷/۷۰	۵/۲۳	۲/۵۲	۱/۵۰	-/۸۱	۰/۴
W20	۱/۳۸	-/۹۸	۰/۶۹	۰/۴۷	۰/۲۷	-/۲۲	-/۲۰	۰/۲
W21	۲۱/۲۱	۱۵/۸۸	۱۱/۵۰	۷/۹۶	۳/۹۴	۲/۳۷	۱/۲۳	۰/۵
W22	۲/۰۲	۱/۵۰	۱/۰۷	۰/۷۳	۰/۳۴	-/۱۹	-/۰۸	۰/۰۲
W23	۱۰/۲۶	۷/۶۴	۵/۵۳	۳/۸۷	۲/۰۷	۱/۴۱	-/۹۶	۰/۷
W24	۵/۷۸	۴/۳۴	۳/۱۶	۲/۱۹	۱/۰۸	-/۶۴	-/۳۱	۰/۱
W25	۱۴/۶۱	۱۱/۰۷	۸/۱۱	۵/۶۸	۲/۸۳	۱/۶۷	-/۷۹	۰/۲
W26	۷/۶۱	۵/۵۵	۳/۹۳	۲/۶۹	۱/۴۱	-/۹۸	-/۷۲	۰/۶
W27	۱/۸۵	۱/۳۳	۰/۹۵	۰/۶۹	۰/۴۸	-/۴۵	-/۴۶	۰/۵
خروجی	۲۸۶/۷۶	۲۱۶/۱۲	۱۵۸/۰۹	۱۱۱/۲۱	۵۸/۰۱	۳۷/۱۰	۲۱/۹۹	۱۲/۳

- بیشترین ارتفاع رواناب و دبی‌های پیک حوضه رود بال در زیر حوضه‌های بالادست است. این امر به دلیل شیب زیاد، نفوذپذیری اندک خاک، فراوانی سطوح غیرقابل نفوذ و CN بالاست. در این رابطه، زیر حوضه شماره (۱) که بخش قابل توجهی از بالادست حوضه رود بال را زه‌کشی می‌کند و همچنین چند زیر حوضه مجاور آن - مانند زیر حوضه شماره (۲) - دارای ارتفاع رواناب و دبی‌های پیک قابل توجهی هستند. این امر مخصوصاً در سیلاب‌های با دوره بازگشت بیشتر از ۲۵ سال مشهودتر است (شکل ۵).

ارزیابی پهنه‌های سیل گیر حوضه آبریز رود بال

برای پهنه‌بندی و ارزیابی نواحی سیل گیر حوضه رود بال از ۱۱ متغیر تأثیرگذار استفاده شد. (Djordjevic, 1988) این متغیرها با استفاده از منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شدند. در ادامه هر یک از این

متغیرها در سطح حوضه آبریز مطالعاتی به طور خلاصه تبیین می‌شوند. کاربری اراضی، پوشش گیاهی و دبی‌های پیک در مباحث قبلی ذکر شده‌اند.

– **ارتفاع:** حوضه آبریز رود بال از روی تصویر DEM منطقه به ۱۵ کلاس ارتفاعی تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۰). درجه ناهمواری بالا و اختلاف ارتفاع شدید نشان‌دهنده پتانسیل بالای انرژی رودخانه رود بال و پتانسیل سیل‌خیزی بالای آن است. در ارتفاعات بالاتر حوضه به دلیل عواملی مانند خشونت اقلیم، فقدان یا محدود بودن پوشش خاک، توپوگرافی خشن و عدم دسترسی مناسب، سکونتگاه‌های انسانی امکان استقرار نیافته‌اند.

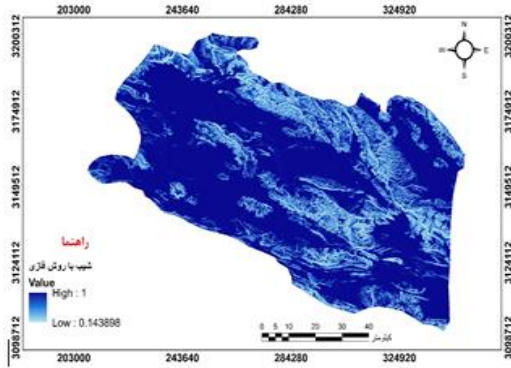
شیب: میانگین شیب حوضه آبریز رود بال ۲۱ درصد است. حدود ۲۹ درصد از حوضه مطالعاتی دارای شیب کم‌تر از ۱۰ درصد است (شکل ۱۱).

– **جهت شیب:** در سطح حوضه مطالعاتی، شیب‌های جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی به ترتیب حدود ۱۸، ۲۰ و ۱۲ درصد سطح حوضه را شامل می‌شوند. تأثیر اساسی جهت شیب در حوضه آبریز رود بال مربوط به ذوب سریع برف‌ها در دامنه‌های جنوبی و غربی حوضه مطالعاتی است. این امر مخصوصاً در اواخر زمستان و اوایل بهار از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این ایام بارش‌های رگباری و شدید می‌تواند با ذوب سریع برف دامنه‌های جنوبی و غربی همراه شده و رواناب قابل توجهی را ایجاد کند (شکل ۱۲).

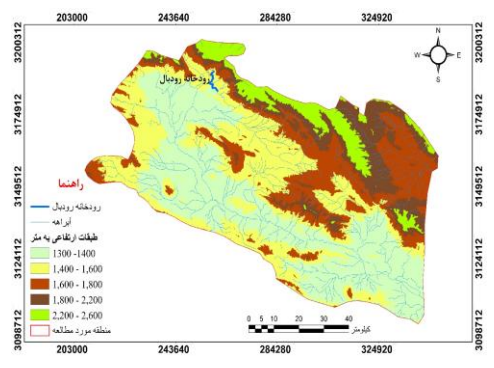
حوضه رود بال بر اساس این شاخص به پنج کلاس (از تحذب بسیار کم تا تحذب بسیار زیاد) تقسیم‌بندی شد در قسمت‌هایی از حوضه که از تحذب بالایی برخوردار می‌باشند امکان تجمع و انباشت آب وجود ندارد و در نتیجه احتمال سیلاب به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. برعکس، در قسمت‌های با تحذب بسیار پایین یا مقعر حوضه امکان تجمع و انباشت آب بالاست و در نتیجه در معرض سیلاب می‌باشند (شکل ۱۵).

– **آبراهه:** در حوضه مطالعاتی، حدود ۲۵/۵ درصد از سکونتگاه‌ها در فاصله ۰ تا ۱۵۰ متری رودخانه‌ها مستقر شده‌اند که مساحتی بالغ بر ۵۰/۳ هکتار را شامل می‌شود. ۱۹/۳ درصد از سکونتگاه‌ها با مساحت تقریبی ۳۸ هکتار در فاصله ۱۵۰ تا ۳۰۰ متری و ۱۸ درصد با مساحت ۳۵/۶ هکتار در فاصله ۳۰۰ تا ۴۵۰ متری آبراهه‌های اصلی (مخصوصاً رودخانه رود بال) مستقر شده‌اند (شکل ۱۳ و ۱۴).

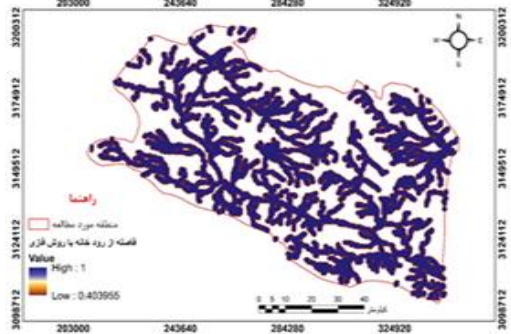
آبرفت‌های قدیمی و جوان منطقه عمدتاً در پایین دست حوضه و مجاورت آبراهه‌های اصلی و منطبق بر دشت‌های سیلابی حوضه مطالعاتی می‌باشند. این واحد عمدتاً متشکل از رس، ماسه و گراول است که در مقایسه با سایر واحدهای سنگ‌شناسی حوضه از نفوذپذیری بالاتری برخوردار می‌باشند. در حالت کلی اکثر سازندهای منطقه به‌استثنای آبرفت‌های کواترنری از نفوذپذیری نسبتاً پایینی برخوردارند (شکل ۱۶).



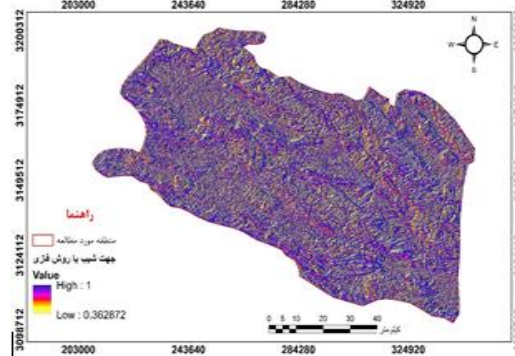
شکل ۱۱: توزیع فضایی شیب حوضه رود بال



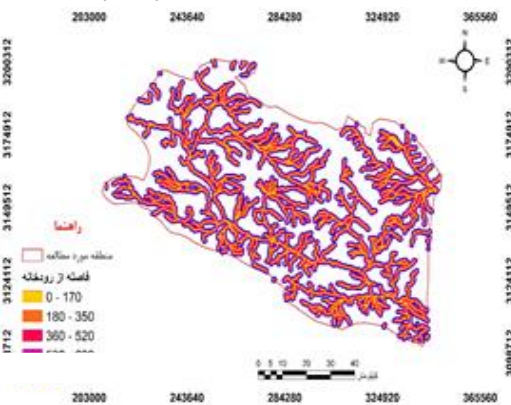
شکل ۱۰: توزیع فضایی ارتفاعات حوضه رود بال



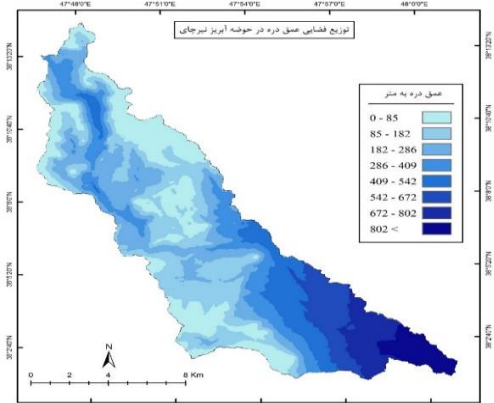
شکل ۱۳: فاصله از آبراهه‌های حوضه رود بال



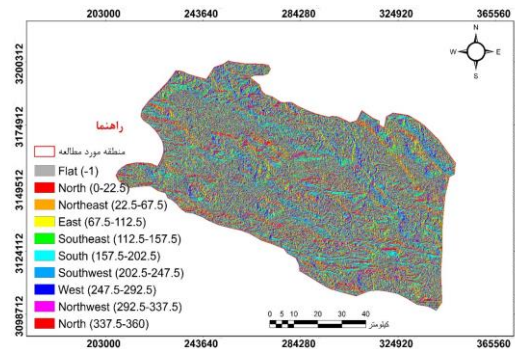
شکل ۱۲: توزیع فضایی جهت شیب در رود بال



شکل ۱۵: نقشه شاخص تحدد در حوضه رود بال



شکل ۱۴: نقشه شاخص عمق دره در حوضه رود بال



شکل ۱۶: لیتولوژی حوضه آبریز رود بال

روی هم گذاری فازی لایه های موضوعی

با توجه به اینکه لایه های موضوعی دارای محدوده و مقیاس های اندازه گیری متفاوتی هستند مقیاس اندازه گیری آنها باید متناسب شوند. در این پژوهش از توابع عضویت فازی برای استاندارد کردن لایه های موضوعی استفاده شد (جدول ۴). در استاندارد سازی داده ها، کلیه مقادیر و ارزش های لایه های موضوعی به دامنه یکسانی بین ۰ تا ۱ تبدیل شدند. فرآیند استاندارد سازی در روش فازی از طریق قالب بندی مقادیر و ارزش ها به شکل یک مجموعه عضویت عملی می گردد. در این حالت بیشترین ارزش یعنی مقدار ۱ به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی ۰ به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می گیرد.

جدول ۴: نوع توابع فازی لایه های موضوعی تأثیرگذار بر سیل گیری

متغیر	نوع تابع فازی	نقاط کنترل
ارتفاع	تابع کوچک فازی	نقطه میانی: ۱۳۹۹ گسترش: ۱
شیب	تابع خطی کاهشی	حداکثر: ۰ حداقل: ۳۰
جهت شیب	تابع بزرگ فازی	نقطه میانی: ۳/۵ گسترش: ۴
تحدب	تابع خطی کاهشی	حداکثر: ۲۵/۷ حداقل: ۷۸/۲
پوشش گیاهی	تابع خطی کاهشی	حداکثر: -۰/۱۳۸۹ حداقل: ۰/۸۴۵۷
فاصله از رودخانه	تابع خطی کاهشی	حداکثر: ۰ حداقل: ۱۸۰۰
سنگ شناسی	تابع بزرگ فازی	نقطه میانی: ۳ گسترش: ۴
کاربری اراضی	تابع بزرگ فازی	نقطه میانی: ۳ گسترش: ۵
دبی پیک	تابع خطی افزایشی	حداکثر: ۶۷/۰۴۳ حداقل: ۱/۳۱۵

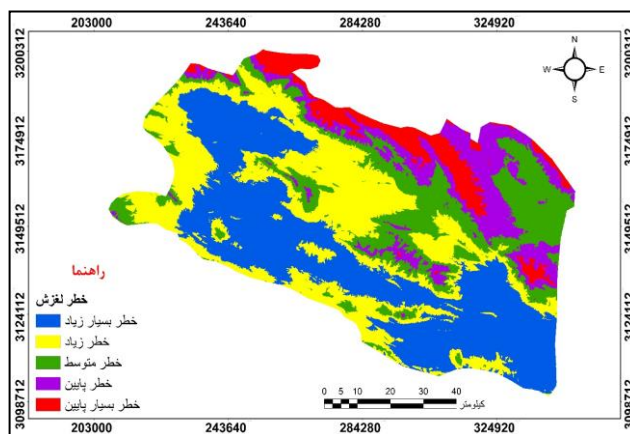
پس از فازی سازی، لایه های موضوعی فازی با استفاده از پنج عملگر «و» فازی، «یا» فازی، جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و فازی گاما تلفیق شده و نقشه های پهنه بندی خطر سیل گیری حاصل گردید. برای منطقه مورد مطالعه، پهنه بندی با چهار عملگر «یا» فازی «و» فازی، ضرب فازی و جمع جبری فازی نتایج قابل قبولی را ارائه ندادند. «و» فازی معادل با عملیات AND بولین (اشتراک منطقی^۱) در مقادیر مجموعه کلاسیک است. بدین صورت که حداقل درجه عضویت را استخراج می کند. بنابراین، در بین تمامی لایه های موضوعی، حداقل ارزش هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می کند. در ضرب فازی نیز تمامی لایه های اطلاعاتی در هم ضرب می شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی است، این عملگر باعث می شود تا اعداد در نقشه خروجی، کوچک تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه، تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خطرناک قرار می گیرد. به همین دلیل، این عملگر حساسیت بالایی در پهنه بندی اعمال می کند. در نتیجه، در پهنه بندی با اپراتورهای «و» فازی و ضرب فازی اکثریت منطقه در کلاس بسیار کم خطر قرار گرفت و نتایج مدل منطبق بر واقعیت های موجود نمی باشد. برعکس، با اعمال دو اپراتور «یا» فازی و جمع جبری فازی، تقریباً کل منطقه مورد مطالعه در طبقه با خطر

^۱- logical intersection

سیل گیری بسیار بالا قرار گرفت. «یا» فازی همانند OR بولین (اجتماع منطقی^۱) که در آن مقادیر عضویت خروجی به وسیله مقادیر حداکثر هر نقشه ورودی تعیین می شود) می باشد. این عملگر، حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می کند و از دقت بالایی در پهنه بندی برخوردار نیست. جمع جبری فازی، متمم ضرب جبری فازی می باشد. به همین دلیل، در نقشه خروجی برخلاف عملگر ضرب جبری فازی، ارزش پیکسل ها به سمت یک میل می کند. در نتیجه، تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خطرناک قرار می گیرد. به همین دلیل، این عملگر حساسیت خیلی کمتری در پهنه بندی دارد و از دقت خیلی کمی در همپوشانی رسترها برخوردار است. بنابراین، با استفاده از این عملگر عرصه وسیعی به عنوان مکان های با خطر بسیار بالای سیل گیری انتخاب می شود. در نتیجه، پهنه بندی با استفاده از این چهار اپراتور به طور کلی رد شد. برعکس این اپراتورها، عملگر گامای فازی جهت همپوشانی لایه های موضوعی و تهیه نقشه خطر سیل گیری به نتایج مناسب و مقبولی منجر شد این عملگر در واقع ترکیبی از اپراتورهای جمع جبری فازی و ضرب فازی می باشد. در عملیات گامای فازی، هنگامی که λ برابر ۱ باشد ترکیب همانند جمع جبری فازی، و هنگامی که λ برابر ۰ باشد ترکیب معادل با ضرب جبری فازی است. با توجه به نقشه پهنه بندی خطر سیل گیری حوضه آبریز رود بال می توان به نتایج زیر دست یافت:

- در حدود ۸/۶ درصد از سطح حوضه با مساحت تقریبی ۱۴/۵ کیلومتر مربع در پهنه های با خطر بسیار بالای وقوع سیلاب واقع شده اند. این پهنه ها عمدتاً منطبق بر دشت سیلابی مجاور آبراهه اصلی حوضه (رودخانه رود بال) می باشند. دره رودخانه رود بال تا نزدیک خروجی حوضه تنگ و باریک می باشد و بنابراین در قسمت های میانی و بالادست در نتیجه وقوع سیلاب های با دوره بازگشت بین ۱۵ تا ۲۰ سال به زیر آب می روند. تنها در نزدیکی خروجی حوضه و در مجاورت تلاقی رودخانه رود بال با رودخانه بالخلی چای بر عرض دره و دشت سیلابی مجاور آن افزوده می شود. اکثر قسمت های بالادست و میانی حوضه در پهنه های با خطر بسیار کم تا کم خطر وقوع سیلاب واقع شده اند. توپوگرافی تند و خشن و فقدان یا محدود بودن اراضی کم شیب مهم ترین نقش را در این زمینه دارند. با این حال، این مناطق از پتانسیل بالایی جهت تولید رواناب برخوردار می باشند و در نتیجه از نظر سیل خیزی حائز اهمیت می باشند. به علت توپوگرافی خشن و عدم دسترسی، تنها چند روستا در قسمت های میانی و بالادست حوضه شکل گرفته است. به همین دلیل فرایند سیلاب در این بخش ها تبدیل به مخاطره نمی شود. هر چند می تواند باعث خسارات غیرمستقیم مانند فرسایش شدید خاک شود. دو سکونتگاه مهم منطقه یعنی شهر نیر و لای در قسمت های پایین دست حوضه واقع شده اند. مخصوصاً شهر نیر در نزدیکی خروجی حوضه و در مجاورت رودخانه رود بال استقرار یافته است. بخشی از این شهر بر روی پایکوه های سبلان توسعه یافته است و بنابراین مصون از سیلاب های رودخانه ای می باشد. اما بخشی از شهر بر روی دشت سیلابی رود بال توسعه یافته است. در سال های اخیر روند توسعه بخش هایی از شهر رو به غرب - بر روی دشت سیلابی - بوده است. این مناطق جزو مخاطره آمیزترین پهنه های حوضه رود بال در رابطه با رخداد سیلاب می باشند. (شکل ۱۷)

¹- logical union



شکل ۱۷: نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه رود بال

نتیجه گیری

در این مقاله خطر سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه آبریز رود بال واقع در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. در راستای اهداف مقاله از مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی بارش- رواناب و شناسایی زیر حوضه‌های با پتانسیل سیل‌خیزی بالا استفاده شد. همچنین، برای ارزیابی خطر سیل‌گیری حوضه مورد مطالعه متغیرهای مؤثر در رخداد سیلاب با استفاده از منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شدند. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی بارش- رواناب در حوضه آبریز رود بال است. دقت این مدل در برآورد دبی‌های پیک حوضه بسیار مناسب می‌باشد. هر چند در برآورد حجم سیلاب از دقت بسیار بالایی برخوردار نبود و حجم سیلاب را با دقت حدود ۷۵ درصد پیش‌بینی کرد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که هیدرو گراف سیلاب زیر حوضه‌ها و خروجی حوضه رود بال تا حد زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های ژئومورفومتری (شیب، شکل، مساحت و غیره) و پوشش زمین می‌باشد. پیک‌های بالا در زیر حوضه‌های با کمترین میزان پوشش حفاظتی، شیب زیاد، نفوذپذیری کم، فراوانی برون‌زدهای سنگی و سطوح غیرقابل نفوذ مشاهده می‌شود. این زیر حوضه‌ها مخصوصاً در قسمت‌های بالادست حوضه واقع شده‌اند. حوضه رود بال برای سیلاب‌های با دوره بازگشت کمتر از ۲۵ سال از پتانسیل سیل‌خیزی کمتری برخوردار است اما مقدار دبی برای دوره‌های بازگشت بالاتر از ۲۵ سال نسبتاً زیاد بوده و به بیش از ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه می‌رسد. این امر مخصوصاً برای زیر حوضه‌های بالادست مشهود است. بنابراین، ضرورت دارد که اقدامات آبخیزداری در قسمت‌های بالادست و میانی حوضه صورت گیرد. از طرف دیگر، ویژگی‌های ژئومورفومتری نقش اصلی در خطر سیل‌گیری قسمت‌های مختلف حوضه دارد.

از نظر سیل‌گیری و خطر سیلاب، ترکیب لایه‌های موضوعی نشان داد که در داخل دره‌ها و اراضی پایین دست حوضه به دلایل ژئومورفومتریکی از قبیل وجود دشت‌های سیلابی با شیب کم، تحدب اندک، ارتفاع پایین و هدایت رواناب‌های بالادست خطر وقوع سیلاب بالاست. پهنه‌های با خطر بالای رخداد سیلاب عمدتاً منطبق بر دشت سیلابی مجاور رودخانه رود بال می‌باشند. این اراضی به علت کم‌عرض بودن دره و شیب کم همیشه در معرض سیلاب‌های

رودخانه‌ای و مسیل‌های ورودی هستند. اکثر سکونتگاه‌های منطقه مطالعاتی در پایین دست حوضه مستقر شده‌اند. این امر باعث افزایش مخاطرات ناشی از سیلاب شده است. بخش‌هایی از غرب شهر نیر که بر روی دشت سیلابی رودخانه رود بال توسعه یافته است در معرض سیلاب می‌باشد. مخصوصاً در سال‌های اخیر ساخت و ساز و فعالیت‌های کشاورزی بدون توجه به حریم رودخانه باعث تنگ‌شدگی، انسداد و پرشدگی مجرای رودخانه شده و در نتیجه خطرات ناشی از سیلاب به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. بنابراین، در حاشیه رودخانه رود بال نظارت بر ساخت و ساز و آزادسازی حریم رودخانه ضرورت می‌یابد.

منابع

- ۱- اسفندیاری، فریبا؛ رحیمی، مسعود؛ خیری‌زاده، منصور. (۱۳۹۷): ارزیابی و پیش‌بینی مکانی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های آماری فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک (منطقه مطالعاتی: جاده مواصلاتی خلخال - سرچم)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۲، صص ۱۹-۴۵.
- ۲- حاتمی‌نژاد، حسین؛ آتش‌افروز، نسرین؛ آروین، محمود. (۱۳۹۶): پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایذه، فصل‌نامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۷، شماره ۲، صص ۴۴-۵۷.
- ۳- حسین‌زاده، محمد مهدی؛ ایمنی، سپیده. (۱۳۹۵): مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک - رودک با استفاده از مدل HEC-HMS، پژوهش‌های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۵، صص ۳۱-۴۳.
- ۴- صمد زاده، رسول (۱۳۹۴)، ارزیابی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در جاده اردبیل - سرچم، فصل‌نامه پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۶، شماره ۳.
- ۵- طاهری تیزرو، عبداله؛ پاکدل خسمنی، حدیث؛ معروفی، صفر؛ وظیفه دوست، مجید. (۱۳۹۵): تلفیق مدل‌های HEC-HMS و GLDAS در تخمین رواناب مناطق فاقد آمار، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۴، صص ۱۱۸-۱۰۱.
- ۶- عابدینی، موسی. قاسمیان، بهاره (۱۳۹۴): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان بیجار به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲.
- ۷- عابدینی، موسی؛ بهشتی جاوید، ابراهیم. (۱۳۹۵): پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز ليقوان چای با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه فضای جغرافیایی، جلد ۱۶، شماره ۵۵، صص ۲۹۳-۳۱۲.
- ۸- عظیم پور، ع. صدوق، ح. اوغلی، ع. ثروتی، م (۱۳۸۸): ارزیابی مدل AHP در پهنه‌های خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهر چای)، مجله فضای جغرافیایی، شماره ۲۶.
- ۹- قشقایی‌زاده، نسیم. (۱۳۹۱): واسنجی و اعتبار یابی مدل HEC-HMS و آنالیز حساسیت آن در برآورد مشخصه‌های هیدرو گراف سیلاب (مطالعه موردی: حوضه جاماش استان هرمزگان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پردیس دانشگاهی قشم.
- ۱۰- مدرس، فرشته؛ عراقی نژاد، شهاب. (۱۳۹۶): آموزش کاربردی مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز در HEC-HMS، انتشارات نشر نوآور.
- ۱۱- مراد نژادی، مریم؛ جور غلامی، مقداد؛ ملکیان، آرش. (۱۳۹۴): بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک HEC-HMS در شبه‌سازی هیدرو گراف سیلاب حوضه‌های آبخیز جنگلی (مطالعه موردی: جنگل خیرود)، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب (مجله منابع طبیعی ایران)، دوره ۶۸، شماره ۳، صص ۶۳۹-۶۲۵.

۱۲- نسرین نژاد، نعمت اله؛ رنگز، کاظم؛ کلاتری، نصراله؛ صابری، عظیم. (۱۳۹۳): پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۵، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۷، صص ۱۵-۳۴.

- 13- Djordjevic, B. And S. Bruck. (1988): System Approach To The Selection Of Priority Areas Of Erosion Control With Implication Of The Water Resources Sub System, Proc. 4th Int. Sym. River Sedimentation Beijing, China, 1547-1554.
- 14- Ebrahimian, Mahboubeh.F.S.Lai. M.H.Ismail. I.A.Malek. (2009): Application Of Natural Resources Conservation Service–Curve Number Method For Runoff Estimation With GIS In The Kardeh Watershed, Iran. European Journal Of Scientific Research. ISSN 1450-216X Vol.34 No.4 (2009), Pp.575-590.Engineering. 100. 137 – 146.
- 15- Pandey, A. And A. K. Sahu, (2002): Generation Of Curve Number Using Remote Sensing And Geographic Information System”.
- 16- Pandey, A. V. M. Chowdary, B. C. Mal, And P. P. Dabral, (2003): “Estimation Of Runoff
- 17- Patila. J. P. A. Sarangia, A. K. Singha, T. Ahmadb. (2008): Evaluation Of Modified CN
- 18- Reshmidevi A. T. V, R. Jana, T. I. Eldho. (2008): Geospatial Estimation Of Soil Moisture In Rain-Fed Paddy Fields Using SCS-CN-Based Model. Agricultural Water Management 95. Pp 447– 457.
- 19- Zhan, X. And M. L. Huang, (2004): “Arcsn-Runoff: An Arcgis Tool For Generating Curve Number And Runoff Maps”, Environmental Modelling & Software 19, Pp.875–879.