

مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق) / دوره ۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵ / ص ۳۷۹-۳۹۳

پهنه‌بندی و مدیریت مخاطرات سیلاب در رودخانه سیمینه‌رود با استفاده

از مدل هیدرولیکی HEC - RAS

آفاق کاظمی (kazemi.uok2010@yahoo.com)

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، ایران

محمدحسین رضائی مقدم*

استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز، ایران

محمدرضا نیکجو (nikjoo1347@gmail.com)

دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز، ایران

میر اسدالله حجازی (s_hejazi@tabrizu.ac.ir)

دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، ایران

سعید خضری (Skhezri@uok.ac.ir)

دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۱/۲۱ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۳/۲۸)

چکیده

پهنه‌بندی سیل در رودخانه‌ها و مسیل‌ها، در دوره‌های بازگشت مختلف و شناسایی و معرفی مناطق در معرض خطر وقوع سیل جزء اقدامات غیرسازه‌ای و پراهمیت در بحث مدیریت سیلاب است. هدف این پژوهش شناخت مکان‌های طبیعی مستعد سیل در منطقه و بررسی مخاطرات و پیامدهای ناشی از وقوع آن است تا بتوان از این طریق اراضی سیل‌گیر در بستر و حریم رودخانه را مشخص کرد. در این تحقیق، برای شبیه‌سازی جریان رودخانه، محاسبه و تعیین پروفیل سطح آب و سایر مشخصه‌های هیدرولیکی جریان از مدل HEC - RAS، الحاقیه HEC-GEORAS و نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. براساس نتایج مشاهده‌شده از پهنه‌های سیل‌گیر می‌توان گفت در تمام محدوده تحقیق با افزایش دوره بازگشت، وسعت اراضی در معرض خطر سیل افزایش داشته است و در بازه‌های مختلف مطالعاتی به تبعیت از شرایط ژئومورفولوژیکی منطقه تفاوت چشمگیری با هم دارند، به طوری که اگر مساحت پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت ۲۵ ساله را مبنا قرار دهیم، ۳۶۰۷/۴۳ هکتار در هر سه بازه در معرض خطر سیل است که ۲۱۲۹/۶۹ هکتار آن در بازه ۳ قرار دارد؛ بنابراین، بازه ۳ را می‌توان بحرانی‌ترین بازه سیل‌گیر معرفی کرد، به طوری که بیشترین مساحت زمین‌های زراعی و باغ‌های منطقه و مناطق مسکونی در این بازه در بستر و حریم رودخانه، در معرض خطر سیلاب قرار گرفته‌اند. میانگین ماکزیمم توان رودخانه در دوره‌های بازگشت ۱/۵ تا ۱۰۰ ساله در بازه ۲، بیشترین مقدار را دارد (۵۷۳/۷ وات بر مترمربع)، بنابراین این بازه از نظر توان رودخانه، اثرهای تخریبی آن و آسیب به مناطق مسکونی شایان توجه است و می‌تواند بحرانی‌ترین بازه فرسایشی در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، رودخانه سیمینه‌رود، مدل هیدرولیکی HEC - RAS، مخاطره.

مقدمه

سیل بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بحران اقلیمی است که همه ساله جان هزاران نفر را می‌گیرد و خسارات فراوانی را به جامعه انسانی و محیط زیست وارد می‌آورد. این پدیده از گذشته‌های بسیار دور همواره انسان را به هراس انداخته است. شواهد نشان می‌دهد که خسارات ناشی از سیل بیش از سایر سوانح طبیعی است [۱]. مدیریت سیلاب از اقدامات اساسی در برنامه‌ریزی منابع آب است که برای کمینه کردن خسارات بالقوه و رسیدن به توسعه پایدار جوامع به کار می‌رود. برای مدیریت سیلاب دو دسته اقدام یا رویکرد شامل اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای وجود دارد. تجربه‌های به دست آمده از سیل‌های تاریخی نشان داده است که اقدامات سازه‌ای به تنهایی برای بازرسی و مدیریت سیلاب کافی نیست و باید روش‌های غیرسازه‌ای، هم‌زمان به عنوان مکمل روش‌های سازه‌ای به کار گرفته شود [۱۰، ۱۳]. پهنه‌بندی سیل در رودخانه‌ها و مسیل‌ها، در دوره‌های بازگشت مختلف و شناسایی و معرفی مناطق در معرض خطر وقوع سیل جزء اقدامات غیرسازه‌ای و پراهمیت در بحث مدیریت سیلاب است. تا کنون محققان بسیاری با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژیکی و همچنین مدل‌های هیدرولیکی مختلف به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل برای دوره‌های بازگشت مختلف و ارزیابی خطر وقوع آن اقدام کرده‌اند. اوزال و تارن^۱ [۱۶] با استفاده از GIS^۲ به تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی سیل حوضه‌الاس در ترکیه پرداختند. آنها با کالیبره کردن مدل هیدرولیکی MIKE11 ویژگی‌های هیدروپنمیک حوضه و بستر رودخانه را شناسایی کردند. همچنین عمق آب را برای مناطق مستعد سیل در دوره‌های بازگشت مختلف پیش‌بینی کردند و در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل مذکور و ترکیب آن با GIS نقشه آب‌گرفتگی منطقه را تهیه کردند.

آشوری^۳ و همکاران [۱۱] با استفاده از HEC - RAS^۴ و GIS به بررسی تغییر مورفولوژی بستر رودخانه قبل و بعد از احداث سد در پایین دست سد ستارخان اهر پرداختند. آنها به این نتیجه دست یافتند که با احداث سد به دلیل جلوگیری از جریان یافتن سیلاب‌های بزرگ، بستر رودخانه به طور تقریبی پایدار و دبی طی سال‌ها ثابت بوده است. افتخاری و همکاران [۱] در رودخانه اترک، حد تأثیر افزایش یا کاهش ضریب زبری مانینگ بر پهنه سیل، تراز سطح آب را بررسی کردند. آنها با استفاده از لایه TIN و HEC-GeoRAS اطلاعات لازم را استخراج کردند. نتایج بیانگر این بود که افزایش ضریب زبری مهم‌ترین تأثیر را بر پیش‌بینی پهنه سیل و ویژگی‌های جریان دارد و مدل هم بیشترین حساسیت را به ضریب زبری دارد.

1. Usul and Turan
2. Geographic Information System
3. Ashouri
4. Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

زینی‌وند [۲] در تحقیقی با به‌کارگیری نرم‌افزار HEC - RAS در دوره‌های بازگشت مختلف به پهنه‌بندی دشت سیلابی سیلاخور بروجرد پرداخت. پس از تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌های سیل‌گیر، در نقاط بحرانی و مشخصی به روش‌های مختلف، دقت و صحت این نقشه‌ها، بررسی شد. نتایج نشان داد در صورت در نظر گرفتن محدودیت‌های نرم‌افزار مذکور و رفع محدودیت‌های آن با روش‌های مختلف، نقشه‌های حاصل از نرم‌افزار HEC - RAS از دقت و صحت خوبی برخوردار خواهند بود.

غفاری و امینی [۵] با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و HEC - RAS به بررسی دشت‌های سیلابی قزل‌اوزن پرداختند. در تحلیل یادشده، برای مدیریت این دشت اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل HEC - RAS نرم‌افزار ARCView و الحاقیهٔ آن با نام HEC-GeoRAS شد. در نهایت نقشهٔ سطح و عمل سیل در هفت دورهٔ بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که از کل مساحت تحت تأثیر سیل، ۰/۸۶ آن مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های زیر ۲۵ سال است.

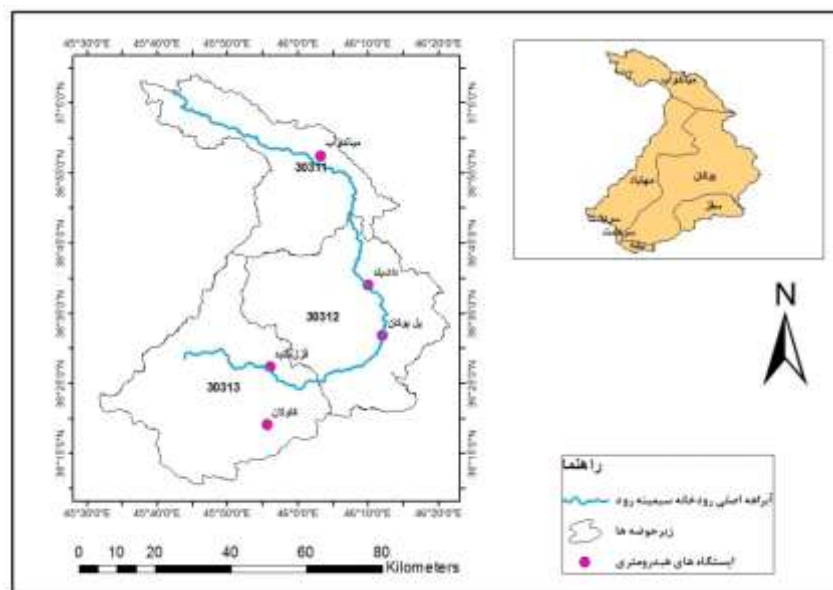
لشکری و همکاران [۸] در پهنه‌بندی سیلاب رودخانهٔ زرینه‌رود با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC - RAS در محیط GIS به این نتیجه رسیدند که براساس پهنه‌های به‌دست‌آمده و انطباق آن بر تصاویر هوایی می‌توان گفت مناطق مسکونی حاشیهٔ رودخانه چندان در معرض خطر سیل نیست، ولی گسترش فعالیت‌های سازه‌ای و کشاورزی طی سالیان اخیر سبب محدود شدن حریم و بستر رودخانه شده و امکان نفوذ سیل در اراضی اطراف بیشتر می‌شود.

شیخ‌علیشاهی و همکاران [۳]، در مطالعهٔ خود به پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه در حوضهٔ آبریز منشاد استان یزد پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با مدل HEC - RAS در تحلیل مناطق سیل‌گیر سبب تسهیل محاسبات و کاهش عملیات میدانی است و کاربرد آن در آبریزها توصیه می‌شود.

با توجه به این نکته که ایران یکی از نواحی عمدهٔ سیل‌خیز جهان محسوب می‌شود و گاهی سیلاب‌های مخرب مناطقی از کشور را ناپایدار و بحران زده می‌کند، بررسی و توجه به شناخت این پدیده اهمیت خاصی دارد. هدف از این پژوهش نیز شناخت مکان‌های طبیعی مستعد سیل در منطقه و بررسی مخاطرات و پیامدهای ناشی از وقوع آن است تا بتوان از این طریق اراضی سیل‌گیر در بستر و حریم رودخانه را مشخص کرد و در سامانه‌های هشدار سیلاب و تخلیهٔ مناطق در معرض خطر سیل بتوان کمک‌رسانی کرد.

معرفی منطقه تحقیق

محدوده تحقیق مجرای رودخانه سیمینه رود و دشت سیلابی مجاور آن در حوضه آبریز رودخانه سیمینه رود در شمال غربی کشور است. این حوضه آبریز بین طول‌های جغرافیایی شرقی ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۱ ثانیه و عرض‌های جغرافیایی شمالی ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه و ۵۳ ثانیه واقع شده است. این محدوده از لحاظ تقسیمات حوضه‌های آبریز ایران نیز جزء حوضه آبریز دریاچه ارومیه با کد (۳۰۳۱) است که سه زیرحوضه با کدهای ۳۰۳۱۳ (سیمینه رود در بالادست تلاقی دو رودخانه گلوان و تاتاهو) یا همان سراب سیمینه رود، ۳۰۳۱۲ (سیمینه رود از محل حاجی آباد تا محل تلاقی دو رودخانه گلوان و تاتاهو) یا همان سیمینه رود میانی، ۳۰۳۱۱ (سیمینه رود از مصب تا محل ورود به دشت (آبادی حاجی آباد) یا همان پایاب سیمینه رود دارد. در این مطالعه به دلیل دسترس بودن ۱۰۴ شیت نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس حاصل از عملیات نقشه برداری از دو زیرحوضه میانی و پایانی در طول ۱۳۱ کیلومتر از رودخانه سیمینه رود توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، پهنه‌بندی مجرای رودخانه و دشت سیلابی مجاور آن در دو زیرحوضه ۳۰۳۱۱ و ۳۰۳۱۲ انجام گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱. منطقه تحقیق (حوضه آبریز رودخانه سیمینه رود)

روش تحقیق و تحلیل

در این تحقیق برای شبیه‌سازی جریان رودخانه، محاسبه و تعیین پروفیل سطح آب و سایر مشخصه‌های هیدرولیکی جریان از مدل HEC - RAS، الحاقیهٔ HEC-GEORAS و نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. برای این کار از ۱۰۴ شیت نقشهٔ توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ که از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی گرفته شده بود، استفاده شد. مقاطع عرضی به تعداد ۴۰۹ عدد در طول رودخانه در محیط ARC-GIS توسط الحاقیهٔ HEC-GEORAS زده شد. همچنین، خطوط کناره‌های رودخانه که ابتدا در نرم‌افزار Google earth برای افزایش دقت کار کشیده شده بود به محیط الحاقیهٔ HEC-GEORAS آورده و رقومی شد. بنابراین، لایه‌های اطلاعاتی خط مرکزی جریان، خطوط کناره‌ها و مقاطع عرضی به‌عنوان پیش‌پردازش نرم‌افزار HEC - RAS آماده و در محیط این نرم‌افزار فراخوانی شد. سایر مشخصات هندسی و هیدرولوژیکی جریان رودخانه از قبیل شرایط مرزی محدودهٔ تحقیق، نوع رژیم جریان، دبی رودخانه با دوره‌های بازگشت مختلف و ضرایب زبری مانینگ تکمیل و وارد مدل HEC - RAS شد.

به‌منظور برآورد دبی‌های پیک برای دوره‌های بازگشت مختلف از نرم‌افزار SMADA و داده‌های هیدرومتری ایستگاه‌های پل بوکان و میان‌دوآب در بالادست و پایین‌دست رودخانه استفاده شد. توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ که بهترین برازش را برای آمار مذکور نشان می‌داد و روش پیش‌بینی ویبول برای داده‌ها به‌کار گرفته شد. در مرحلهٔ آخر پس از اجرای مدل HEC - RAS، نتایج خروجی به محیط نرم‌افزار ARC-GIS برگردانده شد و پهنه‌های سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف به‌صورت نقشه نمایش داده شد.

با توجه به آیین‌نامهٔ اجرایی نحوهٔ تعیین حریم و بستر رودخانه که باید حداکثر طغیان با دورهٔ بازگشت ۲۵ ساله مبنای تعیین قرار گیرد [۴]، در تحقیق حاضر پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌های بازگشت ۱/۳، ۱/۵، ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله انجام پذیرفت و پهنهٔ سیل‌گیر سیلاب با دورهٔ بازگشت ۲۵ سال مبنای محاسبات قرار گرفت. به‌منظور بررسی مخاطرات و پیامدهای ناشی از وقوع سیل نقشهٔ کاربری اراضی و مناطق مسکونی محدودهٔ تحقیق، با استفاده از مطالعات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و لندست ۸ در سال ۲۰۱۶ در محیط نرم‌افزار ENVI^۱ تهیه شد. سپس، در محیط نرم‌افزار GIS مساحت هر کاربری در پهنهٔ سیل‌گیر ۲۵ ساله تعیین شد.

جریان در کانال‌های باز امکان دارد زیربحرانی، فوق بحرانی یا بحرانی باشد. تعیین رژیم

1. The Environment for Visualizing Images

جریان به لحاظ رفتار جریان و روش محاسباتی پروفیل سطح آب مهم است. امواج ثقلی که در اثر اغتشاش یا انسداد در روی سطح آب به وجود می آید، در جریان زیر بحرانی به سمت بالادست هم حرکت می کند، ولی در جریان فوق بحرانی این رفتار تأثیر مهمی بر نقطه شروع و محاسبات پروفیل سطح آب می گذارد. عدد فرود که معرف نسبت نیروی ثقلی به نیروی اینرسی است، معیار تشخیص رژیم جریان است و به صورت رابطه ۱ بیان می شود که در تحقیق حاضر نیز مشخص شده است، در صورتی که عدد فرود کمتر از ۱ باشد، رژیم جریان زیر بحرانی، اگر برابر ۱ باشد بحرانی، و اگر بیشتر از ۱ باشد فوق بحرانی است [۹].

$$Fr = V / (g.D)^{1/5} \quad (1)$$

در این فرمول؛ V سرعت جریان (m/s)، D عمق جریان (m) و g شتاب ثقل و برابر ۹/۸۱ است.

با توجه به اینکه زبری پارامتر عمده افت انرژی در کانالها و رودخانهها محسوب می شود و نقش مؤثری در تراز آب و سرعت جریان در هر مقطع دارد، تعیین ضریب زبری مناسب که معرف شرایط واقعی رودخانه باشد از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این تحقیق، ضریب زبری مانینگ با توجه به بازدهای صحرائی، وضعیت بستر و جداره های رودخانه، پوشش گیاهی، دانه بندی و اندازه ذرات محاسبه شد. برای بررسی اثرهای ژئومورفولوژیکی سیلابها، از توان رودخانه و پهنه های سیل گیر استفاده شد. توان رودخانه^۱، به عنوان یک مفهوم ژئومورفولوژیکی، عبارت است از مقدار انرژی موجود یک رودخانه برای حرکت یا جابه جایی رسوب، سنگ یا مواد چوبی. برای یک مقطع عرضی، توان کل رودخانه در واحد طول کانال را می توان به صورت زیر بیان کرد [۱۲، ۱۴، ۱۵]:

$$\begin{aligned} \Omega &= \gamma Q S_f \\ &= \gamma w d S_f \end{aligned} \quad (2)$$

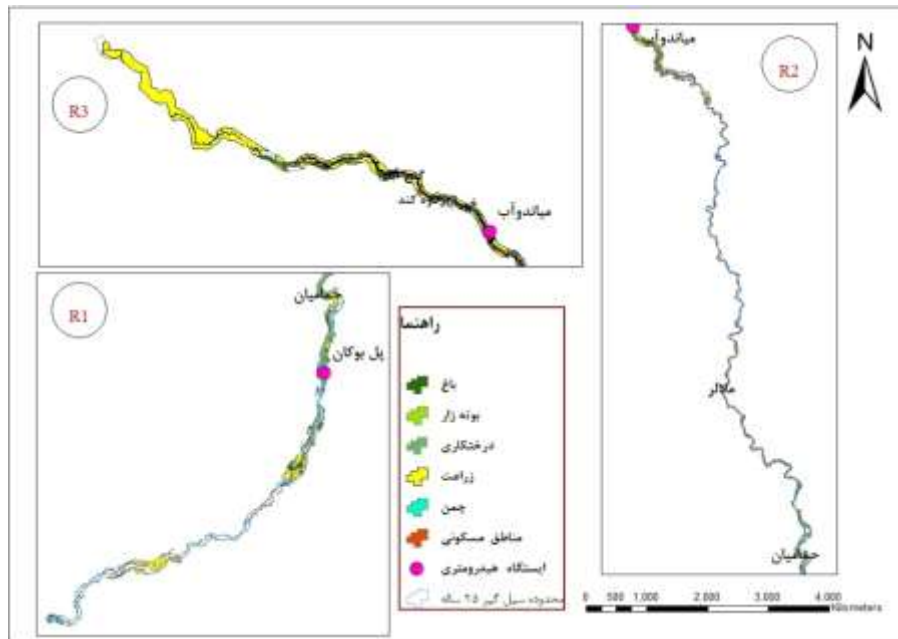
که در آن γ وزن واحد (مخصوص) آب (lb/ft^3)، Q دبی (ft^3/s)، S_f شیب انرژی (ft/ft)، V سرعت (ft/s)، W عرض کانال (ft)، و d عمق هیدرولیک (ft) است.

در این پژوهش محدوده تحقیق با توجه به وضعیت ژئومورفولوژیکی منطقه و عرض دشت سیلابی، به سه بازه تقسیم شد، به طوری که در بازه ۱ (R1) (از قسمت ورودی آب تا روستای حمامیان) رودخانه با طول ۲۹/۲ کیلومتر، جنس بستر اغلب تخته سنگی تا قلوه سنگی است، با توجه به شیب زیاد، سرعت آب زیاد و عرض دشت سیلابی در بیشتر مناطق کم است (۲۸۶/۹۳)

متر به صورت میانگین در دورهٔ بازگشت ۲۵ ساله). در بازهٔ ۲ (R2) (از روستای حمامیان تا ایستگاه هیدرومتری میاندوآب) با طول ۵۸/۴۸ کیلومتر، با توجه به شیب کمتر، جنس بستر قله‌سنگی تا ماسه‌سنگی شده، اما منطقه همچنان حالت دره‌ای خود را حفظ کرده و با توجه به شکل مسطحاتی، رودخانه الگوی منندری به خود گرفته و عرض دشت سیلابی بسیار کم است (۱۱۷/۵۶) متر به صورت میانگین در دورهٔ بازگشت ۲۵ ساله). بازهٔ ۳ (R3) (از ۴/۶ کیلومتر مانده به ایستگاه هیدرومتری میاندوآب تا خروجی حوضه) با طول ۴۳/۳۶ کیلومتر، دارای شیب ملایم و بدون پستی و بلندی است، عرض دشت سیلابی به بیشترین مقدار خود رسیده (۵۹۶/۳) متر به صورت میانگین در دورهٔ بازگشت ۲۵ ساله)، رسوبگذاری فعال بوده و جنس بستر گل‌ولای و گاهی سنگریزه‌ای است (شکل ۲).

نتایج برآورد دبی‌های پیک برای دوره‌های بازگشت مختلف توسط نرم‌افزار SMADA در جدول ۱ ارائه شده است.

نقشهٔ پهنه‌های سیل‌گیر و مساحت هر کدام در دوره‌های بازگشت مختلف برای کل محدودهٔ تحقیق (هر سه بازه) به دست آمد (جدول ۲ و شکل ۳).



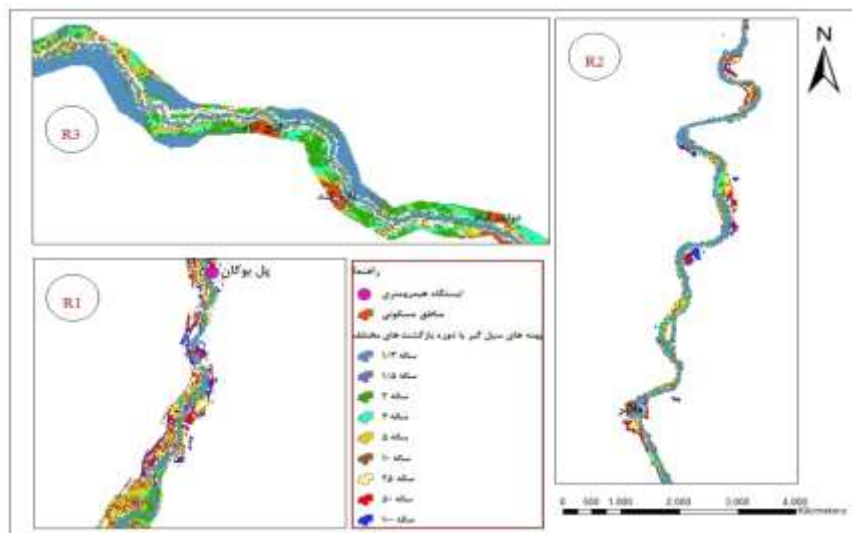
شکل ۲. نقشهٔ بازه‌های مطالعاتی و پهنه‌های سیل‌گیر با دورهٔ بازگشت ۲۵ ساله

جدول ۱. دبی‌های پیک ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دوره‌های بازگشت مختلف

انحراف استاندارد	احتمال وقوع	پیش‌بینی دبی سیل	دوره‌های بازگشت	ایستگاه هیدرومتری
۲۵/۸۰	۰/۵۰	۱۳۱/۷۰	۲	پل بوکان
۳۲/۴۹	۰/۶۶	۱۷۴/۶۴	۳	
۴۰/۵۲	۰/۸۰	۲۲۴/۲۷	۵	
۵۵/۹۸	۰/۹۰	۲۸۷/۷۴	۱۰	
۹۲/۴۶	۰/۹۶	۳۶۷/۴۶	۲۵	
۱۳۳/۶۴	۰/۹۸	۴۲۵/۵۷	۵۰	
۱۸۶/۰۶	۰/۹۹	۴۸۲/۱۵	۱۰۰	
۲۴۹/۳۲	۰/۹۹۵	۵۳۷/۳۵	۲۰۰	
۲۴/۷۸	۰/۵۰	۱۳۷/۳۳	۲	
۳۱/۴۵	۰/۶۶	۱۸۰/۵۶	۳	
۳۹/۹۷	۰/۸۰	۲۳۰/۹۹	۵	
۵۶/۱۹	۰/۹۰	۲۹۶/۴۴	۱۰	
۹۲/۵۰	۰/۹۶	۳۸۰/۴۵	۲۵	
۱۳۲/۹۲	۰/۹۸	۴۴۳/۰۷	۵۰	
۱۸۴/۵۹	۰/۹۹	۵۰۵/۲۴	۱۰۰	
۲۴۷/۵۴	۰/۹۹۵	۵۶۷/۱	۲۰۰	

جدول ۲. مساحت پهناهای سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت	مساحت سیل‌گیری (متر مربع)
۱/۳	۱۶۲۶۹۲۶۱/۲۱
۱/۵	۱۷۷۰۸۹۴۴/۲۸
۲	۲۱۲۸۹۲۲۵/۹۶
۳	۲۴۴۴۰۶۲۱/۴۸
۵	۲۷۲۷۵۳۹۳/۴۴
۱۰	۳۱۱۴۳۴۱۳/۸۶
۲۵	۳۶۰۷۴۳۱۰/۰۴
۵۰	۳۹۴۸۷۷۲۴/۵۶
۱۰۰	۴۲۳۹۲۴۴۳/۱۱



شکل ۳. نقشهٔ پهنه‌های سیل‌گیر با دوره‌های بازگشت مختلف

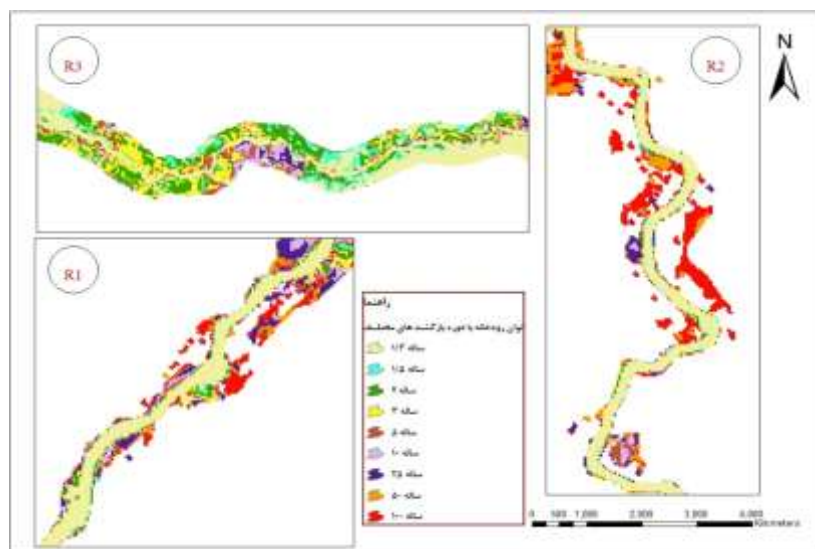
جدول ۳. مساحت سیل‌گیری کاربری‌های اراضی از کل مساحت پهنه‌های سیل‌گیر در بازه‌های مطالعاتی با دورهٔ بازگشت ۲۵ ساله

بازهٔ مطالعاتی	نوع کاربری اراضی	مساحت سیل‌گیری کاربری اراضی (مترمربع)	کل مساحت سیل‌گیری
بازهٔ ۱	آبی	۲۰۲۴۰۱۹/۱۲	۷۲۶۱۱۰۹/۹۷
	دیم	۳۱۵۸۹/۷۷	
	باغ	۶۲۵۳۶۵/۱۳	
	درختکاری	۱۷۴۶۴۷۳/۸۳	
بازهٔ ۲	چمن	۵۶۸/۸۸	۷۵۱۶۳۰۰/۰۷
	آبی	۲۶۹۶۷۲۲/۳۳	
	دیم	۶۵۳۶/۷۱	
	باغ	۵۵۵۸۳۱/۱۹	
	درختکاری	۷۰۴۵۰۵/۳۱	
بازهٔ ۳	بوته‌زار	۵۴۴۹۰۱/۹۶	۲۱۲۹۶۹۰۰
	آبی	۱۸۳۱۰۷۵۳/۷۴	
	نامعلوم	۲۴۰۷۸۷/۷۸	
	باغ	۱۹۲۵۲۰۵/۵۹	
	درختکاری	۳۲۳۹۸/۴۱	
	بوته‌زار	۴۶۰۷۶/۳۰	

با همپوشانی نقشه‌های کاربری اراضی و مناطق مسکونی با نقشه پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله در هر سه بازه مطالعاتی، تعداد مناطق مسکونی آسیب‌دیده و انواع کاربری‌های اراضی و مساحت پهنه‌های سیل‌گیر آنها به‌دست آمد (جدول ۳ و شکل ۲). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در رودخانه سیمینه‌رود، عدد فرود در تمام مقاطع کمتر از ۱ بوده و رژیم جریان از نوع زیربحرانی است. در این مطالعه ضریب زبری در بازه نقطه ورودی تا محل ایستگاه هیدرومتری پل بوکان دارای بیشترین مقدار (۰/۰۴۰) و در بازه محل ایستگاه هیدرومتری میاندوآب تا نقطه خروجی دارای کمترین مقدار (۰/۰۳۴) است.

جدول ۴. میانگین ماکزیمم توان رودخانه (قدرت مخصوص رود) در دوره‌های بازگشت ۱/۵ تا ۱۰۰ ساله در بازه‌های مطالعاتی

بازه مطالعاتی	توان رودخانه (وات بر متر مربع)
۱	۴۸۰/۱
۲	۵۷۳/۷
۳	۱۱۳/۳

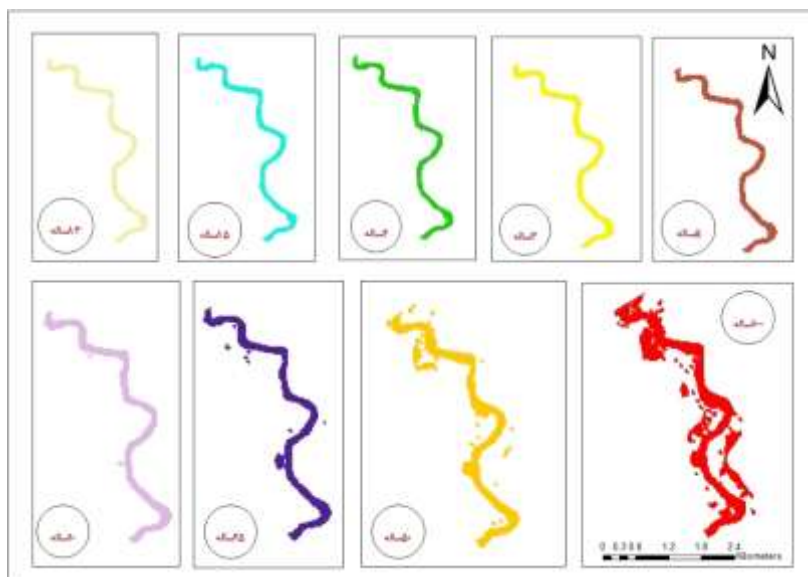


شکل ۴. نقشه توان رودخانه در دوره‌های بازگشت ۱/۳ تا ۱۰۰ ساله در بازه‌های مطالعاتی

در این مطالعه علاوه بر اینکه توان رودخانه در هر سه بازهٔ مطالعاتی مشخص شد (جدول ۴ و شکل ۴)، به‌منظور شناخت دقیق‌تر تأثیر توان رودخانه در تغییرات مورفولوژیکی مجرا، در بخشی از مجرا در پایین‌دست بازهٔ ۲، که معرف کم شدن توان رودخانه و ورود آن به دشت میاندوآب است، حداکثر توان رودخانه در دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه شد (جدول ۵ و شکل ۵).

جدول ۵. حداکثر توان رودخانه در بخشی از پایین‌دست بازهٔ ۲ با دوره‌های بازگشت مختلف

دوره‌های بازگشت	توان رودخانه (وات بر متر مربع)
۱/۳	۸/۵۹
۱/۵	۱۰/۳
۲	۱۵/۰۷
۳	۲۱/۳۶
۵	۳۱/۲
۱۰	۴۱
۲۵	۵۱/۷
۵۰	۵۸/۱
۱۰۰	۶۴/۱



شکل ۵. توان رودخانه در بخشی از پایین‌دست بازهٔ ۲ با دوره‌های بازگشت مختلف

بحث

پیش‌بینی خسارات و تلفات ناشی از سیل به‌علت تجاوز به حریم و بستر رودخانه‌ها، با مطالعه دوره‌های بازگشت سیلاب امکان‌پذیر است. در این مطالعه، براساس نتایج مشاهده‌شده از پهناهای سیل‌گیر می‌توان گفت در تمام محدوده تحقیق، با افزایش دوره بازگشت، وسعت اراضی در معرض خطر سیل افزایش داشته است و با توجه به بازه‌بندی رودخانه و مبنا قرار دادن سیل با دوره بازگشت ۲۵ ساله می‌توان گفت این اراضی سیل‌گیر در بازه‌های مختلف مطالعاتی تفاوت چشمگیری با هم دارند (جدول ۲ و شکل ۳)، به‌طوری که در ابتدای بازه ۱، به‌علت کوهستانی بودن منطقه و مقادیر زیاد ضریب زبری، پهناهای سیل‌گیر چندان زیاد نیستند، اما در پایین‌دست بازه ۱، با کمتر شدن شیب و زیاد بودن دبی رودخانه، عرض دشت سیلابی در اکثر مناطق افزایش داشته است، به‌طوری که در محدوده ایستگاه پل بوکان به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در بازه ۲، به دلایلی از جمله وجود آب‌بند کوسه در داخل رودخانه (در روستای کوسه) در خروجی شهر بوکان و نهرهای حمامیان و امیرآباد در ساحل چپ و نهرهای ناچیت و اوچ تپه در ساحل راست، می‌بینیم که دبی رودخانه کاهش چشمگیری پیدا کرده و از طرفی با برداشت‌های بی‌رویه ماسه، بستر رودخانه گود شده و به تبعیت از آن، عرض دشت سیلابی کاهش پیدا کرده است. با رسیدن به بازه ۳، دو شاخه فرعی به نام‌های رودخانه تازه گله و رودخانه دلیک‌داش به رودخانه سیمینه‌رود می‌رسند و موجب افزایش دبی رودخانه می‌شوند. این در حالی است که شیب منطقه در این بازه نیز بسیار کم می‌شود و عرض دشت سیلابی و پهناهای سیل‌گیر به بیشترین مقدار خود در مقایسه با بازه ۲ دیگر می‌رسد، به‌طوری که اگر مساحت پهناهای سیل‌گیر با دوره بازگشت ۲۵ ساله را مبنا قرار دهیم، ۳۶۰۷/۴۳ هکتار در هر ۳ بازه در معرض خطر سیل است که ۲۱۲۹/۶۹ هکتار آن در بازه ۳ قرار دارد. نتایج مذکور با یافته‌های مطالعه کمی اوپلی و همکاران [۷] مطابقت دارد، به‌طوری که آنها نیز در کاری که برای شبیه‌سازی پهناهای سیل در بازه مشخصی از رودخانه کارون انجام داده بودند، با استفاده از مدل HEC-RAS دریافتند که در حد فاصل بازه مورد مطالعه وسعت اراضی در معرض خطر سیل در دشت‌های سیلابی پایین‌تر به‌علت تغییرات تدریجی شیب در دامنه‌های مشرف به رودخانه‌ها، تغییر زیادی مشاهده شد. با توجه به جدول ۳ و شکل ۲، از کل مساحت سیل‌گیری در بازه ۱، ۴۴۲/۸۰ هکتار آن را کاربری‌های اراضی مذکور در بر می‌گیرند. در بازه ۲ این مقدار به ۴۵۰/۸۴ هکتار می‌رسد؛ این در حالی است که در بازه ۳، ۲۰۵۵/۵۲ هکتار از این کاربری‌ها در معرض خطر سیل قرار می‌گیرند. چهار منطقه مسکونی هم به نام‌های خیرآباد، دولت‌آباد، تازه‌کند و گنج‌آباد که قسمت‌هایی از آنها در محل

پهنه‌های سیل‌گیر قرار دارد در این بازه واقع شده‌اند که می‌تواند یکی از دلایل این باشد که این آبادی‌ها عمدتاً در نواحی دشتی حوضه قرار گرفته‌اند و شیب بسیار کمی دارند و با کوچک‌ترین آب‌گرفتگی یا افزایش حجم آب در اثر بارش در بالادست حوضه دچار آب‌گرفتگی شده و خسارات زیادی را متحمل می‌شوند، به طوری که مساحت زیادی از زمین‌های زراعی و باغ‌های آنها در پهنه‌های سیل‌گیر، واقع در بستر و حریم رودخانه قرار می‌گیرند. البته در بازهٔ ۲ نیز روستاهای ملالر و حمامیان به دلیل واقع شدن در محل خم مائدرها، در معرض خطر سیل قرار گرفته‌اند. همچنین، گسترش فعالیت‌های کشاورزی در این بازه سبب محدود شدن حریم و بستر رودخانه شده و امکان نفوذ سیل در اراضی اطراف را بیشتر کرده است، به طوری که می‌توان این بازه را دومین بازهٔ پرخطر از این نظر معرفی کرد.

به منظور بررسی توان رودخانه و اثرهای مورفولوژیکی آن در هر سه بازه، دبی با دورهٔ بازگشت ۱/۵ ساله به عنوان دبی لب پری مجرا مبنا قرار گرفته است. همان‌طور که در جدول ۴ آورده شده است، میانگین ماکزیمم توان رودخانه در دوره‌های بازگشت ۱/۵ تا ۱۰۰ ساله در بازهٔ ۲، بیشترین مقدار را دارد (۵۷۳/۷ وات بر متر مربع). در این بازه رودخانه حالت پیچان‌رودی به خود گرفته و فرسایش کناری شدت پیدا کرده است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، رودخانه‌ای با این توان زیاد فرسایشی در محل پیچ‌ها دو روستای حمامیان و ملالر را در معرض خطر سیل قرار می‌دهد و موجب ایجاد ناپایداری و مخاطره در منطقه می‌شود؛ اما به تدریج با کم شدن شیب و عریض شدن دشت سیلابی می‌بینیم که در پایین دست بازهٔ ۲ (شکل ۵) اگرچه با افزایش دوره‌های بازگشت توان رودخانه زیاد می‌شود (جدول ۵)، به دلیل کاهش سرعت رودخانه بر اثر کم شدن چشمگیر شیب، رودخانه فاقد اثرهای تخریبی فرسایش است.

نتیجه‌گیری

بنابر نتایج مشاهده‌شده از پهنه‌های سیل‌گیر می‌توان گفت که در هر سه بازه با افزایش دورهٔ بازگشت وسعت اراضی در معرض خطر سیل افزایش داشته است و به تبعیت از شرایط ژئومورفولوژیکی منطقه و کم بودن ضریب زبری در دشت‌های سیلابی پایین‌تر، محدوده‌های سیل‌گیر بیشتر می‌شوند؛ بنابراین، بازهٔ ۳ را می‌توان بحرانی‌ترین بازهٔ سیل‌گیر معرفی کرد، به طوری که بیشترین مساحت زمین‌های زراعی و باغ‌های منطقه و مناطق مسکونی در این بازه در بستر و حریم رودخانه در معرض خطر سیلاب قرار گرفته‌اند. در بازهٔ ۲ به دلیل کم‌عرض بودن دشت سیلابی، گود شدن بستر، وجود پیچ‌وخم و مقادیر به نسبت زیاد ضریب زبری نسبت به بازهٔ پایینی خود، اگرچه مساحتی از اراضی زراعی حوضه در بستر و حریم رودخانه واقع

شده‌اند، بیشتر از نظر توان رودخانه، اثرهای تخریبی آن و آسیب به مناطق مسکونی شایان توجه است و می‌تواند بحرانی‌ترین بازه فرسایشی در نظر گرفته شود. بنابراین می‌توان گفت در این پژوهش مخاطرات ناشی از سیلاب در منطقه تحقیق، موجب بروز ناپایداری محیطی و برهم‌زدن تعادل آن است که خود سبب بروز ناهماهنگی در طبیعت و زندگی انسان‌های آن به‌ویژه در بازه‌های ۲ و ۳ است. بنابراین شناخت و برنامه‌ریزی در زمینه کنترل یا رفع مخاطرات در منطقه بسیار ضروری است.

منابع

- [۱]. افتخاری، امیرحسین؛ سلاجقه، علی؛ حسینی، سید احمد (۱۳۹۰). «ارزیابی پهنه‌بندی سیل با تغییرات ضریب زبری (مطالعه موردی: رودخانه اترک)». *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ش ۱۲: ۹۱-۱۰۶.
- [۲]. زینی‌وند، حسین؛ ضیاءتبار احمدی، میرخالق؛ تلوری، عبدالرسول (۱۳۸۵). «پهنه‌بندی سیل با به‌کارگیری نرم‌افزار HEC-RAC در دشت سیلابی سیلاخور بروجرد». *مجله منابع طبیعی/یران*، ش ۵۹: ۱-۱۴.
- [۳]. شیخ‌علیشاهی، نجمه؛ جمالی، علی‌اکبر؛ حسن‌زاده نفوتی، محمد (۱۳۹۵). «پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز منشاد-استان یزد)». *فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، سال شانزدهم، ش ۵۳: ۷۷-۹۶.
- [۴]. صاحب‌دل، شیرین؛ یعقوب‌زاده، مصطفی؛ جعفری رودسری، مسعود (۱۳۸۹). «تعیین حریم و بستر رودخانه به کمک مدل HEC - RAS (مطالعه موردی: رودخانه رامیان)». همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران: سازمان نقشه‌برداری کشور.
- [۵]. غفاری، گلاره؛ امینی، عطاالله (۱۳۸۹). «مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی رودخانه قزل‌اوزن)». *فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی*، ش ۳۲: ۱۱۷-۱۳۴.
- [۶]. غیور، حسنعلی (۱۳۷۱). «پیش‌بینی سیلاب در مناطق مرطوب». *فصلنامه تحقیقات جغرافیا*، ش ۲۵: ۷۷-۱۰۶.
- [۷]. قمی اوپلی، فرشته؛ صادقیان، محمدصادق؛ جاوید، امیرحسین؛ میرباقری، سید احمد (۱۳۸۹). «شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS مطالعه موردی: رودخانه کارون حد فاصل بند قیر تا اهواز». *فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی*، ش ۱: ۱۰۵-۱۱۵.

- [۸]. لشکری، حسن؛ رشیدی، علی؛ رضایی، علی (۱۳۹۲). «پهنه‌بندی سیلاب رودخانه زربینه‌رود با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC - RAS در محیط GIS». *مجله پژوهش‌های دانش زمین، سال سوم، ش ۱۳: ۶۸-۵۱*.
- [۹]. محسنی، مهرداد (۱۳۸۴). «پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه (HEC - RAS) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: رودخانه نکا)». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی ساری، دانشگاه مازندران.
- [10]. Ahmad, S.S.; Simonovic, S.B. (2011). "A three-dimensional fuzzy methodology for flood risk analysis". *Journal of Flood Risk Management*, DOI:10.1111/j.1753-318X. 2011. 01090.x
- [11]. Ashouri, M.; Rezaei Moghaddam, M.H.; Piry, Z. (2013). "Morphologic Change Assessment of Riverbed Before and after Dam Construction Using HEC RAS Model and GIS (Case Study: Downstream of Satarkhan Dam)". *Physical Geography Research Quarterly*. 45(1): 87-100.
- [12]. Barker, D.M.; Lawler, D.M.; Knight, D.W.; Morris, D.G.; Davies, H.N.; Stewart, E.J. (2009). "Longitudinal distributions of river flood power: The combined automated flood, elevation and stream power (CAFES) methodology". *Earth Surface Processes and Landforms*. 34(2): 280-290.
- [13]. Lund, J.R. (2002). "Floodplain planning with risk-Based optimization", *Journal of Water Resources Planning and Management*. ASCE. 128: 3(202).
- [14]. Natural Resources Conservation Service. (2008). *Stream restoration design* (National Engineering Handbook 654). United States Department Agriculture.
- [15]. Song, S.; Schmalz, B.; Fohrer, N. (2014). "Simulation and comparison of stream power in-channel and on the floodplain in a German lowland area". *Journal of Hydrology Hydromechanics*. 62(2): 133-144.
- [16]. Usul, N.; Turan, B. (2006). "Flood forecasting and analysis within the Ulus Basin, Turkey, using geographic information systems". *Nat Hazard* 39: 213-229.