

تحلیل دینامیکی مخاطره سیلاب در مخروط افکنه‌های فعال با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC- RAS و تکنیک GIS (مطالعه موردی: مخروط افکنه لیلان، شمال غرب ایران)

داود مختاری - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.
محمدحسین رضائی مقدم - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.
سمیه معزز* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۲۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲

چکیده

مخروط افکنه لیلان واقع در شمال غرب ایران در معرض خطر سیلاب رودخانه فصلی لیلان چای قرار دارد. هدف این پژوهش تحلیل دینامیکی مخاطره سیلاب در سطح این مخروط افکنه می‌باشد. به همین منظور، بررسی مخاطره سیلاب بر رودخانه لیلان چای به طول ۱۵/۴ کیلومتر با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS انجام گرفته است. جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه و تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی برای دبی‌های با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله از آمار دبی ایستگاه هیدرومتری شیرین کند استفاده شده و دبی‌های پیک برای دوره‌های بازگشت مختلف پیش‌بینی شده است. به منظور هم‌پوشانی نقشه‌های پهنه‌های سیلابی با کاربری‌های منطقه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI جهت تهیه نقشه کاربری منطقه استفاده شده و نقشه کاربری با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI تهیه شد. نقشه کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد که بیش از ۷۵ درصد مساحت منطقه شامل زمین‌های کشاورزی می‌باشد. نتایج هم‌پوشانی نقشه‌های پهنه‌های سیلابی با کاربری اراضی نشان می‌دهد که در صورت وقوع سیلاب با دبی پیش‌بینی شده برای دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ ساله خطری زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی حاشیه رودخانه را تهدید نمی‌کند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که با وقوع سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال، حدود ۱۲۰/۲ هکتار از زمین‌های کشاورزی و حدود ۹/۱ هکتار از مناطق مسکونی واقع در حاشیه رودخانه لیلان چای تحت تأثیر خطر سیل گرفتگی قرار دارند. بنابراین ضرورت دارد که اقدامات حفاظتی جهت جلوگیری از بروز خسارت‌های احتمالی جانی و مالی در صورت وقوع سیل در سطح منطقه صورت گیرد.

واژگان کلیدی: تحلیل دینامیکی، پهنه‌بندی سیلاب، مدل HEC-RAS، مخروط افکنه لیلان.

مقدمه

فرایندهای هیدروژئومورفیک در مخروط افکنه‌ها شامل ترکیبی از فرایندهای جریانی، حرکات توده‌ای و دامنه‌ای است که به‌عنوان بخشی از سیستم بزرگ نهشته‌ای - فرسایشی می‌باشد (هاروی^۱، ۲۰۰۵). مخروط افکنه‌ها اشکال مخروطی یا بادبزی شکلی هستند که از نهشته‌های رسوبات در مقابل کوهستان تشکیل می‌شوند جایی که جریان‌ها یا جریان‌های آواری در منطقه وجود دارد (آلن^۲، ۱۹۶۵). سیل در مخروط افکنه بدون هیچ هشدار روی می‌دهد. ویژگی‌های هر دو مورد سیل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی از مخروط افکنه‌ای به مخروط افکنه‌ی دیگر متفاوت است، که ممکن است در هر مرحله از تکامل ضمنی متفاوت باشد (فیما، ۲۰۰۰). عامل بسیار عمده ایجاد سیل فرایندهای متورولوژیکی هستند که عمده آن‌ها، بارندگی شدید، ذوب برف، یا ترکیبی از هر دو علت بارندگی و ذوب برف می‌باشد. ترکیب خاص از فاکتورهای متورولوژیکی، توپوگرافیکی و ژئومورفولوژیکی در ویژگی‌های سیل تأثیرگذار می‌باشند مثل شکل رأس و هیدروگراف سیل (هیرش بوئک^۳، ۲۰۰۰). بسیاری از مطالعات ژئومورفیک بر روی مخروط افکنه بر ارتباط شکل مخروط و رسوبات و فاکتورهایی مثل تکنونیک، کنترل اقلیمی و تغییرات سطح اساس که توسعه مخروط افکنه را کنترل می‌کنند، تمرکز می‌کنند (هاروی، ۲۰۰۵). سیل بر روی مخروط افکنه‌ها توسط سرعت جریان بالا، مسیرهای جریان چندگانه، و فرایندهای فعال فرسایش، انتقال رسوب و نهشته‌گذاری مشخص می‌شود (کوستا^۴، ۱۹۸۴). بار رسوبی یک فاکتور مهم در ارزیابی مخاطره سیل می‌باشد به علت رسوب‌گذاری سریع یا فرسایش کناره به همراه جدایی کانال و مهاجرت به‌طور کامل به مکان دیگر که از رأس مخروط شروع می‌شود (ولکر^۵، ۲۰۰۷). مطالعه بر اساس خصوصیات خاک، رخساره‌های رسوبی و اشکال، و جامعه گیاهی، اکنون یک مورد عملی را برای ارزیابی مخاطره سیل در مخروط افکنه‌ها در نظر می‌گیرد (هاوس^۶، ۲۰۰۵). مطالعات مرتبط با ارزیابی سیل مخروط افکنه کم می‌باشد که شاید به دلیل پیچیدگی ذاتی ارزیابی مخاطره سیل محیط مخروط افکنه می‌باشد (بکر^۷، ۱۹۹۰). مشکلات از عدم قطعیت مسیرهای جریان، سرعت جریان بالا، و بار سنگین واریزه‌ها ناشی می‌شود (فرنچ^۸، ۱۹۸۷). انواع متفاوتی از سیل روی مخروط افکنه اتفاق می‌افتد که عبارت از: ۱- سیل در امتداد کانال‌های ثابت ۲- جریان وره‌ای یا صفحه‌ای ۳- جریان آواری ۴- سیل‌های با مسیر جریان ناپایدار.

مخروط افکنه لیلان واقع در شمال غرب ایران به علت برخورداری از شرایط مناسب از نظر توپوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیمی توسط انسان مورد بهره‌برداری قرار گرفته و شهرها (لیلان و میان‌دوب) و روستاهای زیادی در سطح آن مستقر شده است. استفاده بیش‌ازاندازه از ظرفیت مخروط افکنه توسط ساکنان آن در طول چندین سال، مخروط افکنه را در مقابل مخاطرات ژئومورفیک آسیب‌پذیر کرده است. مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفیک که مخروط افکنه را در معرض تهدید قرار داده است خطر سیل است. توسعه کشاورزی در سطح مخروط افکنه و تجاوز به حریم رودخانه خطر وقوع سیل را در حاشیه و دشت سیلابی رودخانه‌ی لیلان چای را افزایش داده است. طغیانی شدن رودخانه‌ی لیلان در فصل بهار خسارات زیادی را به زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه وارد می‌کند. بنابراین پژوهش حاضر تلاش می‌کند مناطقی را که در دوره‌های بازگشت مختلف درگیر سیل هستند را شناسایی کند.

در ایران و خارج از کشور مطالعات مختلفی در ارتباط با مخاطره‌ی سیل در مخروط افکنه انجام گرفته که به چند مورد اشاره می‌شود:

1. Harvey

2. Allen

3. Hirschboeck

4. Costa

5. Volker

6. House

7. Baker

8. French

لشکری و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه زرینه‌رود با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS در محیط GIS پرداختند. بر اساس پهنه‌های به‌دست‌آمده و انطباق آن با تصاویر هوایی مشخص شده که مناطق مسکونی حاشیه رودخانه چندان در معرض خطر سیل نبوده ولی گسترش فعالیت‌های سازه‌ای و کشاورزی باعث محدود شدن حریم و بستر رودخانه شده و امکان نفوذ سیل در اراضی اطراف بیشتر می‌گردد. حسینی و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای به پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-HMS پرداختند نتایج به دست آمده نشان داد که این مدل دارای کارایی بالایی در شبیه‌سازی رواناب روزانه طی دوره ترسالی و همچنین در حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشت کمتر از ۳۰۰ سال را دارد. دهقانی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی خطر سیل و پهنه‌بندی آن در دشت بافت، جنوب شرقی ایران پرداختند. در این مطالعه به‌منظور مشخص نمودن مناطق تحت خطر سیل دشت بافت، نقشه خطر با استفاده از معیارهای ژئومورفولوژی، فتوژئولوژی و بازدید صحرایی تهیه گردید. با تفسیر عکس‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل تهیه شده و در نقشه پهنه‌بندی واحدهای مختلفی مانند: خطر زیاد سیلاب محصور در مجرا، خطر زیاد پخش سیلاب در سطح مخروط افکنه و خطر آب‌گرفتگی زیاد در قاعده مخروط افکنه شناسایی و تفکیک شدند. روستایی و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای به تهیه نقشه پهنه بندی سیلاب حوضه آبخیز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN پرداختند این تحقیق نشان داده که بکارگیری توامان از تکنولوژی سنجش از دور و GIS و با استفاده از مدل SCS-CN می‌تواند در تهیه نقشه پهنه بندی سیلاب حوضه‌های آبخیز مفید باشد. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷)، در پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS به این نتیجه رسیدند که با رخداد سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال، مساحتی در حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه قره‌سو به زیرآب رفته و خساراتی را برای کشاورزان این منطقه به وجود خواهد آورد. مرادی و نعمت پور (۱۳۹۷)، به بررسی پهنه‌بندی روستاهای در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS با دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال پرداختند. نتایج پژوهش ضمن تایید کارایی مدل، نشان داده است که روند افزایش خسارت و سطح سیل‌گیری در دوره بازگشت‌های ۵ تا ۲۵ سال نسبت به دوره‌های بازگشت ۲۵ تا ۱۰۰ سال، دارای سیر صعودی سریع‌تری بوده و بخش عمده‌ای از خسارت به پهنه‌های دشت سیلابی زیر ۲۵ سال خواهد شد. اسدی و همکاران (۱۳۹۸)، به مدل‌سازی سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک با بهره‌گیری از مدل HEC-HMS در حوضه آبریز سد استقلال میناب پرداختند و نتیجه‌گیری حاصل شد که چون این منطقه در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار دارد و بسیاری از پیش‌بینی‌های موفق سیلاب برای مناطق خشک براساس SCS به دست آمده‌اند، پس این مدل، مدل مناسبی برای مناطق خشک محسوب می‌شود. پاپنبرگر و همکاران^۱ (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ای به عدم قطعیت درجه‌بندی تأثیر پارامترهای زبری در مدل HEC-RAS با استفاده از مشاهدات سطح سیلاب گرفتگی و پایین‌رود پرداختند. دیوید زونیکا^۲ (۲۰۱۲)، در رساله دکتری خود با عنوان دینامیک سیل، مخاطرات و ریسک‌ها در سیستم مخروط افکنه فعال در مکزیک به این نتیجه رسیده که، تهدید سیل در شهر جوارز توسط استفاده از کلاس‌بندی توپوگرافی ناهموار مخروط افکنه‌های فرسایش یافته بعلاوه دشت سیلابی رود براوو و داخل زیر حوضه‌ها نشان داده شده است. در این مطالعه از مدل‌های HEC-RAS و HEC-HMS استفاده شده است. سی بن خلف الله و سعیدی (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای تحت عنوان نقشه‌کشی و پیش‌بینی فضایی و زمانی دشت سیلابی با استفاده از ابزار GIS و مدل HEC-RAS در رودخانه مجردا به‌منظور محدودسازی ریسک سیل به مطالعه توزیع بارش و نقشه‌کشی آن با استفاده از نرم‌افزار GIS پرداختند. آنالیز نتایج از همبستگی خوب بین پارامترهای ارزیابی شده و اندازه‌گیری آن‌ها را نشان داد. مارتینا زلناکوا و همکاران (۲۰۱۹)، به مطالعه‌ای با عنوان مدل‌سازی ریسک سیل از جریان اسلاتونیس در روستای کروزلو در اسلواکی پرداختند. در این مقاله

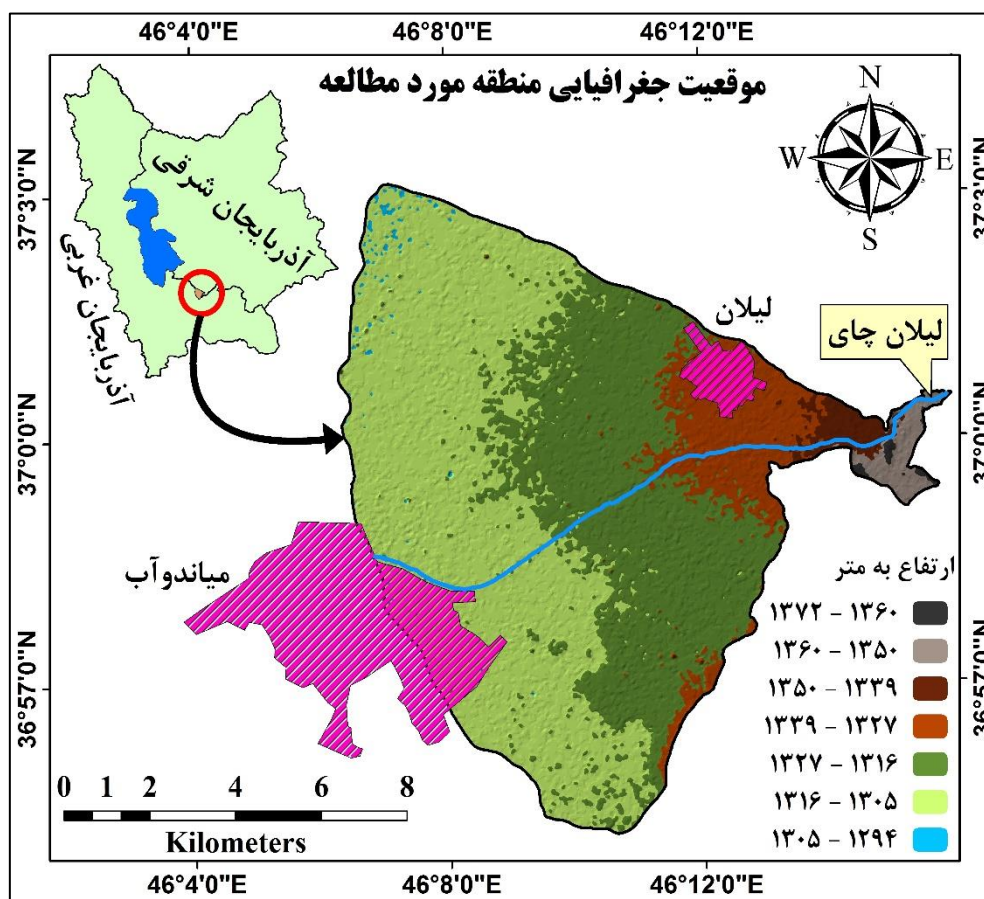
1. Pappenberger et. al

2. David Zuniga de Leon

مطالعه‌ی اساسی شامل توسعه‌ی یک مدل سیل با استفاده از مدل HEC-RAS، شناسایی نواحی ریسک سیل در روستا با استفاده از GIS، ارزیابی خطر سیل با استفاده از آنالیز COST(CA) بود. نهار و همکاران (۲۰۱۹)، به نقشه‌کشی سیل در حوضه آبریز زمبزی میانی با استفاده از مشاهدات میدانی و تکنیک‌های مدل‌سازی هیدرولیکی پرداختند. در این مطالعه مدل HEC-RAS جهت بررسی سری زمانی بارندگی روزانه را شبیه‌سازی کرده است. اوج جریان کمی شده به‌عنوان ورودی مدل هیدرودینامیکی یک‌بعدی وارد شد. نتایج نواحی سیل‌گیری شده نقشه‌کشی شده برای دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ نشان داد که ۱۶ ژانویه ۲۰۰۶ بالاترین نواحی سیل‌زده را داشت.

منطقه مورد مطالعه

مخروط افکنه لیلان در محدوده استان‌های آذربایجان غربی و شرقی قرار دارد و شهرهای لیلان و قسمتی از شهر میاندوآب بر روی آن واقع شده‌اند. این مخروط افکنه در مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 55' 10''$ تا $37^{\circ} 00' 40''$ عرض شمالی و $17''$ تا $46^{\circ} 17' 17''$ طول شرقی قرار گرفته است. مساحت این مخروط افکنه حدود $108/3$ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه لیلان چای که از ارتفاعات کوهستان سه‌سهند سرچشمه می‌گیرد در مسیر خود حدود ۱۵ کیلومتر در سطح این مخروط افکنه جریان می‌یابد. شکل زیر موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در این تحقیق جهت تحلیل دینامیکی مخاطره سیل و تهیه‌ی نقشه‌های خطر سیل گرفتگی با دوره‌های بازگشت مختلف در مخروط افکنه لیلان از داده، نرم‌افزار و روش‌های زیر استفاده شده است:

- تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI، مربوط به سال ۲۰۱۹ (تیرماه) با گذر و ردیف ۳۴-۱۶۸.
- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه که از سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی تهیه شد.

- مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر
- اطلاعات داده‌های ایستگاه هیدرومتری شیرین کند شامل دبی روزانه و ماهانه در طول آماری بلندمدت
- نرم‌افزار هیدرو دینامیکی HEC-RAS جهت شبیه‌سازی سیلاب در سطح مخروط افکنه
- الحاقیه HEC-GeoRAS جهت تهیه‌ی پارامترهای مورد نیاز مدل HEC-RAS
- نرم‌افزار ENVI جهت تهیه‌ی نقشه کاربری اراضی
- نرم‌افزار ArcGIS جهت گرفتن خروجی از نقشه‌ها.

مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS یکی از دسته مدل‌های مرکز مهندسی هیدرولوژی است که جهت روند یابی جریان در رودخانه قابل استفاده می‌باشد. این مدل بسیار ساده و درعین حال کاربردی است. سیستم تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا (HEC-RAS)، نرم‌افزاری است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک یا شبیه‌سازی رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار را می‌دهد (حکمتی فر و همکاران، ۱۳۸۸:۹۹). اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت شبیه‌سازی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS عبارت از: ۱- اطلاعات هیدرولیکی که شامل ضرایب زبری آبراهه اصلی منطقه مورد مطالعه، وضعیت مسیر رودخانه از جمله پلان رودخانه، مقاطع عرضی رودخانه ۲- اطلاعات توپوگرافی شامل پروفیل طولی و عرضی رودخانه و اراضی حاشیه، ۳- اطلاعات جریان سیل شامل: هیدرو گراف ورودی سیل، دبی با دوره بازگشت‌های مختلف و منحنی دبی - اشل.

حداکثر آبگذاری مقاطع را می‌توان با استفاده از فرمول مانینگ از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$V = 1/n R^{2/3} I^{1/2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن V : سرعت متوسط جریان m/s ; R : شعاع هیدرولیکی m ; I : شیب خط انرژی m/s ; n : ضریب زبری مانینگ.

برای محاسبه ضریب زبری روش‌های مختلفی وجود دارد. از جمله کاربردی‌ترین روش‌های ارائه شده برای تعیین ضریب مانینگ می‌توان به رابطه کاون اشاره نمود که ابتدا بر اساس جدول، ضریب مانینگ اولیه تخمین زده شده و سپس با توجه به دیگر شرایط حاکم بر رودخانه در مقاطع مختلف، تأثیر دیگر عوامل همچون درجه ناهمواری، وجود موانع، پوشش گیاهی و شکل مسیر، اعمال و ضرایب مانینگ مطابق رابطه زیر اصلاح می‌گردد.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در رابطه فوق عوامل معادله به ترتیب عبارت از:

n : ضریب مانینگ ترکیبی؛ n_0 : ضریب مانینگ مربوط به دانه‌بندی مواد بستر؛ n_1 : ضریب مانینگ مربوط به درجه ناهمواری در سطح بستر رودخانه؛ n_2 : ضریب مانینگ مربوط به تغییرات مقطع رودخانه؛ n_3 : ضریب مانینگ مربوط به موانع موجود در مسیر رودخانه؛ n_4 : ضریب مانینگ مربوط به پوشش گیاهی؛ n_5 : ضریب مانینگ مربوط به درجه انحنای مسیر رودخانه (Cowan, 1956).

محاسبه پروفیل سطح آب رودخانه در سطح مخروط افکنه

در نرم‌افزار HEC-RAS با استفاده از رابطه انرژی و کاربرد روش گام‌به‌گام استاندارد پروفیل سطح آب محاسبه می‌گردد در جریان زیربحرانی حل معادلات از اولین مقطع در پایین دست شروع می‌شود. تراز سطح آب در مقطع پایین دست به دلیل مرزی بودن معین می‌باشد. بنابراین هدف تعیین تراز سطح آب در مقطع بالادست می‌باشد (شیخ علیشاهی، ۱۳۹۵). مدل HEC-RAS محاسبات پروفیل سطح آب را برای جریان پایدار متغیر تدریجی در رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی در رژیم‌های جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و مختلط می‌تواند انجام دهد. محاسبه پروفیل سطح آب با شروع از یک مقطع عرضی به طرف مقاطع دیگر به وسیله حل معادله انرژی به روش استاندارد گام‌به‌گام انجام می‌شود. معادله انرژی به صورت زیر است:

$$Z_1 + Y + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + h_e \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن Z : ارتفاع بستر، Y عمق آب، V سرعت متوسط، α ضریب تصحیح بار سرعت، h_e افت انرژی کل، g شتاب ثقل.

برای ترسیم پروفیل سطح آب توسط نرم‌افزار HEC-RAS در محل مقاطع عرضی به دبی حداکثر لحظه‌ای سیل با دوره‌های بازگشت مختلف نیاز می‌باشد. معادله مونتتم موجود در مدل HEC-RAS به صورت زیر محاسبه می‌گردد (Brunner, 2010).

$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{gA_2} + A_2 \bar{y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1^2 \beta_1}{gA_1} + A_1 \bar{y}_1 \quad \text{رابطه (۴)}$$

:

β ضریب تصحیح مونتتم، \bar{y} عمق اندازه‌گیری شده از سطح آب تا مرکز ثقل سطح مقطع جریان، A مساحت منطقه مرطوب زیر مقطع عرضی، S شیب کانال، L فاصله بین مقاطع، Q جریان دبی. نوع جریان در رودخانه‌ها به‌طور کلی ممکن است زیربحرانی فوق بحرانی و یا مختلط باشد. در رودخانه‌های کوهستانی معمولاً جریان فوق بحرانی و در رودخانه‌های سیلاب‌دستی نوع جریان زیربحرانی می‌باشد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷).

تعیین مقاطع عرضی رودخانه در سطح مخروط افکنه

به‌طور کلی در مدل HEC-RAS، ژئومتری رودخانه توسط مقاطع عرضی و فاصله این مقاطع از یکدیگر معرفی می‌گردد و از سوی دیگر در هر مقطع عرضی کلیه پارامترهای هیدرولیکی جریان مورد محاسبه قرار گرفته و به صورت جداول هیدرولیکی و نمایش گرافیکی ارائه می‌شوند.

برای ترسیم مقاطع عرضی بایستی برخی از موارد را مورد توجه قرار داد:

- خطوط معرف باید از ساحل چپ به ساحل راست کشیده شود.
- این خطوط فقط یک‌بار می‌توانند با هر یک از خطوط کشیده شده تقاطع داشته باشند.
- این خطوط باید عمود بر خط جریان رسم شوند.
- خطوطی که در این لایه رسم می‌شود نباید متقاطع باشند، زیرا تقاطع دو مقطع عرضی بدین معنی که مقدار حجم معینی از آب در هر دو مقطع مورد محاسبه قرار می‌گیرد و در این صورت حجمی از آب کم می‌شود و این برخلاف قانون بقای جرم است (راد و همکاران، ۱۳۹۷).

تعیین نوع رژیم جریان

در نرم‌افزار HEC-RAS پس از وارد کردن داده‌های هندسی و داده‌های جریان ماندگار، برای انجام شبیه‌سازی باید نوع رژیم جریان را مشخص کرد. جریان در کانال‌های باز امکان دارد زیربحرانی، فوق بحرانی یا بحرانی باشد. تعیین نوع رژیم جریان به لحاظ رفتار جریان و روش محاسباتی پروفیل سطح آب می‌باشد. امواج ثقلی که در اثر اغتشاش یا انسداد در روی سطح آب به وجود می‌آید در جریان زیربحرانی به سمت بالادست هم حرکت می‌کند ولی در جریان فوق بحرانی این رفتار تأثیر مهمی بر نقطه شروع و محاسبات پروفیل سطح آب می‌گذارد. عدد فرود معیار تشخیص رژیم جریان می‌باشد که معرف نسبت نیروی ثقلی به نیروی اینرسی می‌باشد، در صورتی که عدد فرود کمتر از یک باشد رژیم جریان زیربحرانی، اگر برابر یک باشد بحرانی و اگر بیش‌تر از یک باشد فوق بحرانی می‌باشد (رضایی مقدم و همکار، ۱۳۹۷).

$$Fr = V / (g \cdot D)^{0.5} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن V : سرعت جریان (m/s)، D : عمق جریان (m) و g شتاب ثقل که برابر $۹/۸۱$ می‌باشد.

شرایط مرزی

برای پیش‌بینی مشخصه‌های جریان در بازه‌ای از رودخانه نیاز به شرایط مرزی منطبق با طبیعت می‌باشد. شرط مرزی معرف وضعیت ورودی و خروجی جریان در بالادست و پایین‌دست بازه مورد مطالعه می‌باشد. به‌منظور محاسبه دقیق پروفیل سطح آب، لازم است مقادیر منحنی هیدرو گراف ورودی و مقادیر دبی-اشل در بالادست و پایین‌دست محدوده مورد مطالعه برای مدل تعریف گردد.

الف- شرایط مرزی بالادست: شرایط مرزی بالادست مدل که در شبکه رودخانه در نظر گرفته می‌شود به‌صورت ذیل می‌باشد:

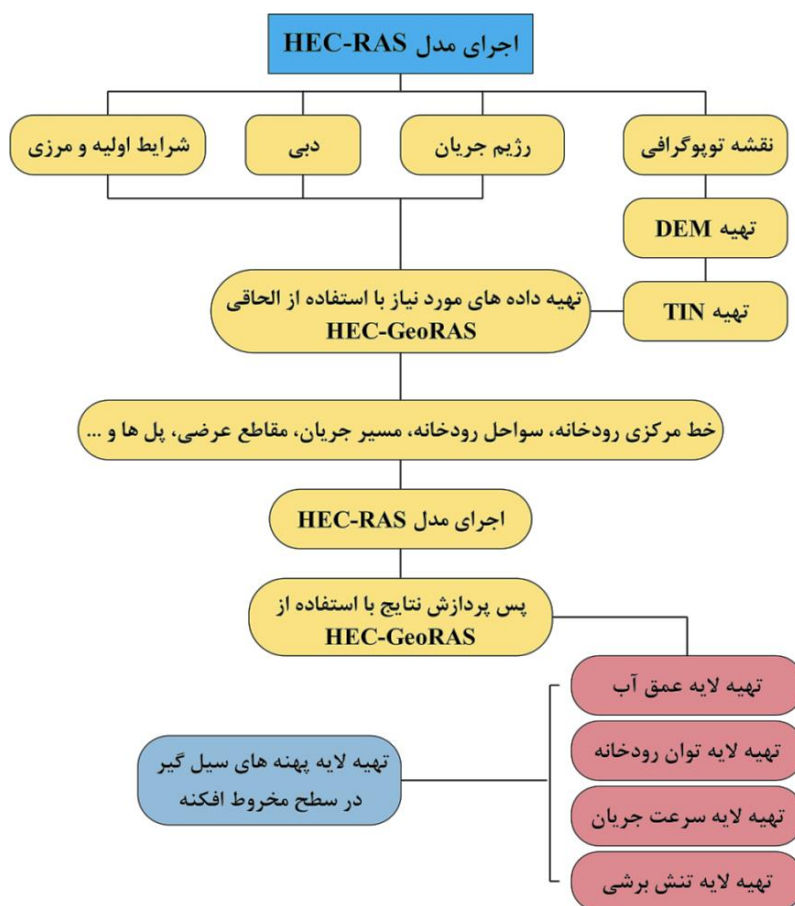
۱- هیدرو گراف جریان، که حالت معمول شرایط مرزی بالادست می‌باشد و معرف تغییرات دبی با زمان می‌باشد.
 ۲- هیدرو گراف تراز سطح آب، که تغییرات سطح آب نسبت به زمان به مدل معرفی می‌شود. معرفی تراز سطح آب به نرم‌افزار، نسبت به دبی جریان، از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد، زیرا خطاهایی در اندازه‌گیری و قرائت سطح آب به وجود می‌آید.

ب- شرایط مرزی پایین‌دست: در جریان‌های زیربحرانی علاوه بر شرایط مرزی بالادست به شرایط پایین‌دست نیاز می‌باشد. که سه نوع شرایط مرزی پایین‌دست وجود دارد:

۱- هیدرو گراف تراز سطح آب که حالت معمول شرایط مرزی در پایین‌دست است.
 ۲- هیدرو گراف جریان
 ۳- منحنی دبی اشل، که رابطه دبی جریان و تراز سطح آب در یک مقطع از رودخانه در پایین‌دست را نشان می‌دهد. استفاده از این منحنی برای توصیف شرایط مرزی پایین‌دست در جریان غیردائمی در رودخانه‌ها با تقریب همراه است، زیرا در جریان غیردائمی منحنی دبی - اشل حلقوی بوده و رابطه بین دبی و تراز به صورت یک‌به‌یک نیست. بنابراین اعمال منحنی دبی - اشل در پایین‌دست رودخانه‌ها در امواجی که به بالادست رودخانه برمی‌گردند خطا ایجاد می‌کنند. بدین منظور برای حذف خطاهای موردنظر منحنی دبی - اشل به‌عنوان شرایط مرزی پایین‌دست در رودخانه‌ها باید به‌قدر کافی پایین‌دست در نظر گرفته شود تا جریان سطح آب در محدوده طرح تحت تأثیر آن کمتر قرار گیرد (شیخ‌علیشاهی و همکاران، ۱۳۹۵).

تعیین پهنه سیلاب در سطح مخروط افکنه

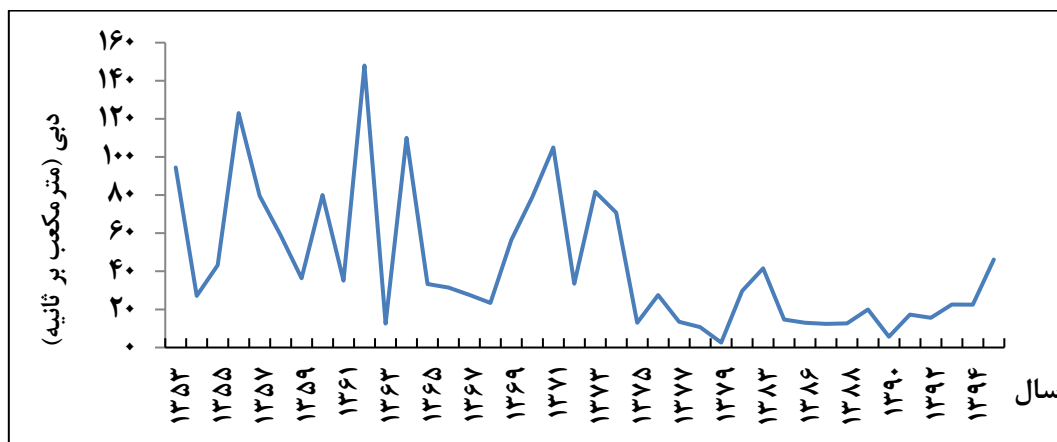
با استخراج مشخصات هندسی رودخانه در محیط GIS دیگر مشخصات لازم همچون ضریب مانینگ و دبی سیلاب طراحی برای شبیه‌سازی هیدرولیکی و تعیین پهنه سیلاب به مدل HEC-RAS معرفی می‌شود. در مدل HEC-RAS پهنه سیلاب به صورت رقوم سطح آب محاسبه و در محل مقاطع عرضی نشان داده می‌شود. با استفاده از رقوم سطح آب در هر یک از مقاطع عرضی و ماکروهای پس پردازنده HEC-GeoRAS، یک فایل تبادل TIN به‌عنوان پایه استخراج خصوصیات هندسی بازه که بتواند سطح آب‌گرفتنی را نشان دهد، تهیه می‌گردد. از تلفیق TIN، پهنه سیلاب در محیط GIS نمایش داده می‌شود. به‌طور کلی بستر و حریم رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف طراحی می‌شود (شیخ علیشاهی و همکاران، ۱۳۹۵). شکل (۲) فلوچارت زیر مراحل انجام مدل HEC-RAS را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلوچارت مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در سطح مخروط افکنه

بحث و یافته‌ها

در این تحقیق رودخانه لیلان چای در سطح مخروط افکنه لیلان به طول ۱۵/۴ کیلومتر از ایستگاه هیدرومتری شیرین کند تا محل تلاقی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS جهت شبیه‌سازی سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور برآورد توزیع فراوانی سیلاب از آمار دبی حداکثر روزانه لیلان چای در محل ایستگاه هیدرومتری شیرین کند (شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی) و از نرم‌افزار Smada و روش توزیع پیرسون تیپ ۳ استفاده شده و دبی پیک‌های سیلاب و احتمال وقوع آن‌ها برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ سال تهیه شد (جدول ۱). شکل ۳ حداکثر دبی‌های روزانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری شیرین کند را بین سال‌های ۹۵-۱۳۵۳ نشان می‌دهد.

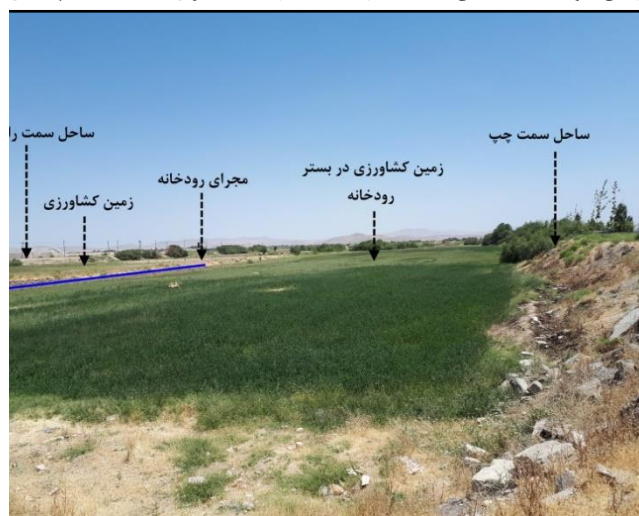


شکل ۳: حداکثر دبی‌های روزانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری شیرین کند بین سال‌های ۹۵-۱۳۵۳

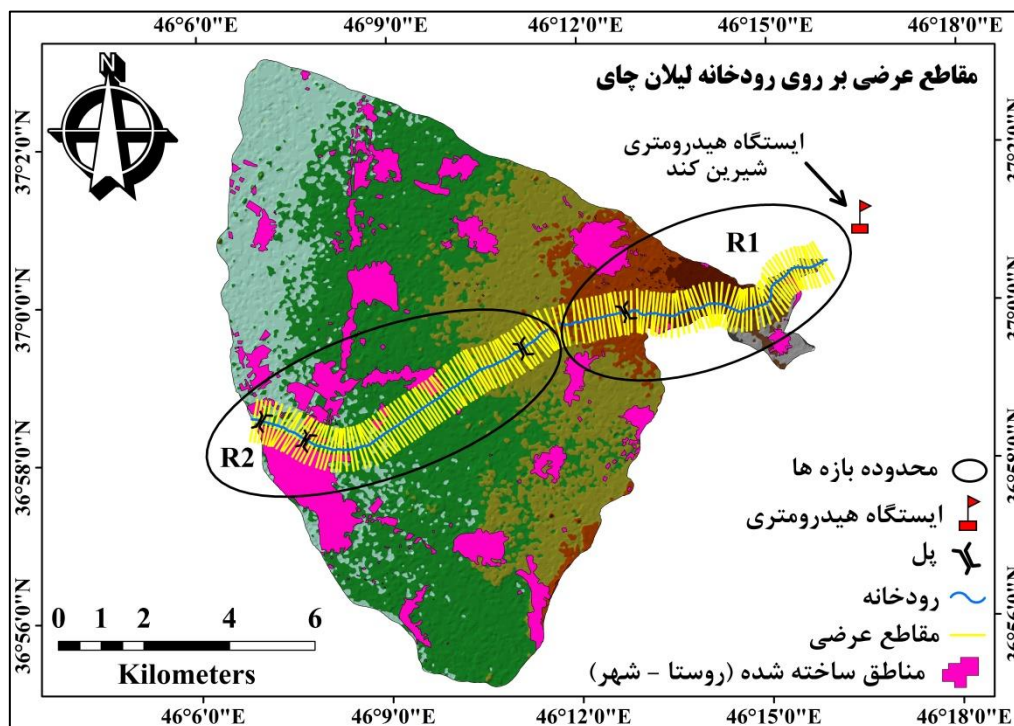
جدول ۱: دبی پیک سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از توزیع لوگ پیرسون تپ ۳

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
دبی (m^3/s)	۳۲/۳	۶۵/۵	۹۲/۱	۱۲۹/۷	۱۶۰/۰۱	۱۹۱/۷	۲۲۴/۹	۲۷۰/۹
احتمال وقوع	۰/۵۰۰	۰/۸۰۰	۰/۹۰۰	۰/۹۶۰	۰/۹۸۰	۰/۹۹۰	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸

جهت تعیین مشخصات هندسی رودخانه لیلان چای از الحاقیه HEC-GeoRAS در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده و لایه‌های مورد نیاز جهت اجرای مدل از قبیل خط مرکزی جریان، خطوط ساحلی دو طرف رودخانه (ساحل سمت راست و چپ)، دشت سیلابی، مقاطع عرضی، پل‌ها و سیل بند تهیه شدند (شکل ۵). همچنین به دلیل وجود سیل بند بر روی رودخانه جهت انجام کار و شبیه‌سازی سیلاب، رودخانه لیلان چای به ۲ بازه (بالادست سیل بند و پایین‌دست سیل بند) تقسیم شده است. در این تحقیق پس از بررسی‌های میدانی و برداشت اطلاعات مورد نیاز، ۱۵۱ مقطع عرضی به فاصله ۱۰۰ متر و عرض ۱۰۰۰ متر بر روی لیلان چای در نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شد. همچنین در بررسی‌های میدانی مشخص شد که در بازه دوم بیشتر بخش‌های رودخانه مورد تصرف انسان قرار گرفته و به زمین‌های کشاورزی تبدیل گشته و در نتیجه عرض رودخانه در این بازه به مراتب کمتر از بازه اول شده است (شکل ۴).



شکل ۴: بازدید میدانی از منطقه و برداشت اطلاعات مورد نیاز (۲۶ مردادماه ۱۳۹۸)



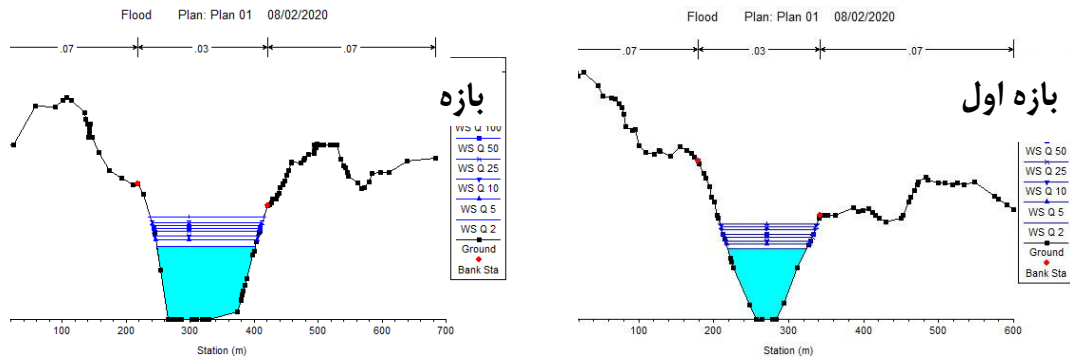
شکل ۵: مقاطع عرضی و موقعیت پل‌ها بر روی رودخانه لیلان چای

به منظور تعیین ضریب زبری مانینگ بستر و سواحل دو طرف رودخانه لیلان چای از نقشه کاربری اراضی و مطالعات میدانی استفاده شده و ضریب زبری هر یک از مقاطع در دو بازه بر اساس جدول کاون محاسبه گردید. نتایج تعیین ضرایب زبری نشان داد که این مقدار برای بیشتر مقاطع عرضی کناره‌های رودخانه عدد $0/07$ و برای بستر رودخانه مقدار $0/03$ می‌باشد. سه نوع جریان زیر بحرانی^۱، جریان فوق بحرانی^۲ و جریان مختلط^۳ برای رودخانه‌ها در نظر گرفته می‌شود. در منطقه مورد مطالعه با توجه به اینکه رودخانه در محدوده بازه اول از شیب نسبتاً بیشتری برخوردار بوده و در محدوده بازه دوم از شیب آن کاسته می‌شود بنابراین نوع جریان برای رودخانه لیلان چای مختلط در نظر گرفته شده است. با تکمیل لایه‌های مورد نیاز مدل HEC-RAS با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS، شبیه‌سازی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف در محیط نرم‌افزار HEC-RAS انجام شد. شکل ۶ نمونه‌ای از مقاطع عرضی و سطوح سیلابی را برای دوره‌های بازگشت مختلف در بازه اول و دوم نشان می‌دهد. بررسی این مقاطع نشان می‌دهد که در هر دو بازه با افزایش دوره‌های بازگشت، میزان دبی این دوره‌ها نیز افزایش یافته و بر سطح سیلاب در هر یک از مقاطع عرضی افزوده می‌شود. نکته قابل توجه در این مقاطع عرضی افزایش عمق آب در بازه دوم نسبت به بازه اول است که دلیل آن نیز تصرف بستر رودخانه توسط اهالی منطقه می‌باشد که تبدیل به زمین‌های کشاورزی شده است. نتیجه این کار باعث کمتر شدن پهنای رودخانه در این قسمت شده و متقابلاً باعث افزایش عمق آب کانال رودخانه در دوره‌های بازگشت مختلف گردیده است. در بازه اول به دلیل عدم دخالت انسان در تغییر بستر رودخانه، آب در سطح بیشتری پخش شده و در نتیجه از عمق کمتری برخوردار می‌باشد.

¹ - Sub Critical

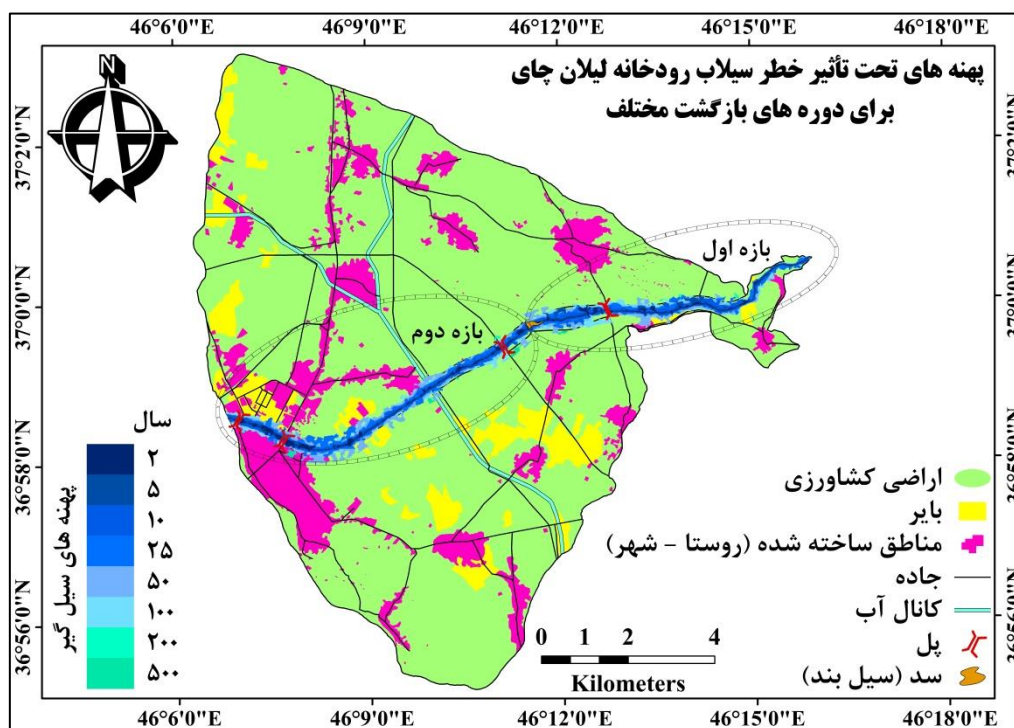
² - Super Critical

³ - Mixed



شکل ۶: مقاطع عرضی و سطوح سیلابی برای دوره‌های بازگشت مختلف

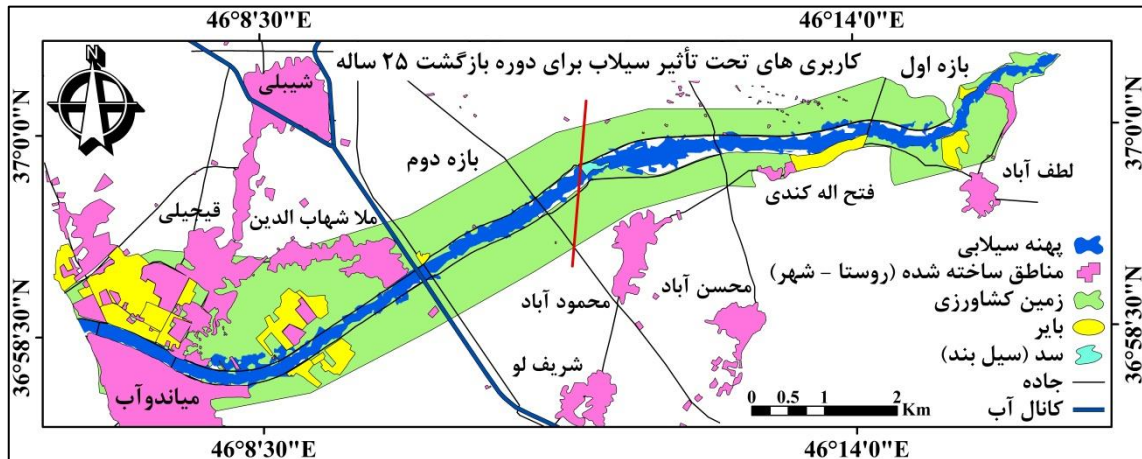
بررسی پلانفرم رودخانه لیلان چای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات میدانی نشان می‌دهد که الگوی رودخانه در بازه دوم به دلیل زیر کشت رفتن کناره‌های دو طرف رودخانه، توسعه رودخانه محدود شده و الگوی رودخانه شکل مستقیم به خود گرفته است. همچنین عرض رودخانه نیز به دلیل توسعه زمین‌های کشاورزی در دو طرف سواحل رودخانه کمتر بوده و در بعضی قسمت‌ها به کمتر از ۵ متر نیز رسیده است. تجاوز به حریم رودخانه و افزایش زمین‌های کشاورزی در اطراف لیلان چای آسیب‌پذیری در برابر سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف را بیشتر کرده است. در بازه اول میانگین شاخص سینوزیته پیمان رودها عدد $1/53$ به دست آمده است که نشان می‌دهد رودخانه در این بازه حالت مائندی دارد. این بازه برخلاف بازه اول کمتر مورد تصرف و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته که باعث شده رودخانه در بستر خود توسعه بیشتری داشته و الگوی مائندی به خود گرفته و از پهنای بیشتری نیز برخوردار باشد. به منظور هم‌پوشانی پهنه‌های سیلابی با لایه کاربری و مشخص کردن کاربری‌های درگیر با خطر سیل گرفتگی از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به تاریخ ۲۰ تیرماه ۱۳۹۸ استفاده شده و لایه کاربری منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار ENVI و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال تهیه شد. محاسبه مساحت هر یک از کاربری‌ها نشان می‌دهد که حدود $150/12$ هکتار ($13/8$ درصد مساحت) مربوط به مناطق ساخته‌شده (شهر - روستا)، $834/9$ هکتار برابر با $77/06$ درصد مساحت مربوط به کاربری کشاورزی (زراعت - صیفی‌کاری) و $758/6$ هکتار نیز شامل اراضی بایر می‌باشد. بررسی نقشه کاربری نشان می‌دهد که توسعه شهر میاندوآب در اطراف رودخانه‌های زرينه‌رود و لیلان چای و عدم توجه به اصول حفاظتی، احتمال وارد آمدن خسارت زیاد به مناطق مسکونی و زیرساخت‌های شهری در صورت وقوع سیلاب در این رودخانه‌ها دور از انتظار نیست. در بین روستاها نیز روستای ملا شهاب‌الدین به دلیل قرارگیری در کنار رودخانه از آسیب‌پذیری بالایی در برابر سیل برخوردار می‌باشد. شکل ۷ نقشه پهنه‌های سیلابی را بر روی لایه کاربری نشان می‌دهد.



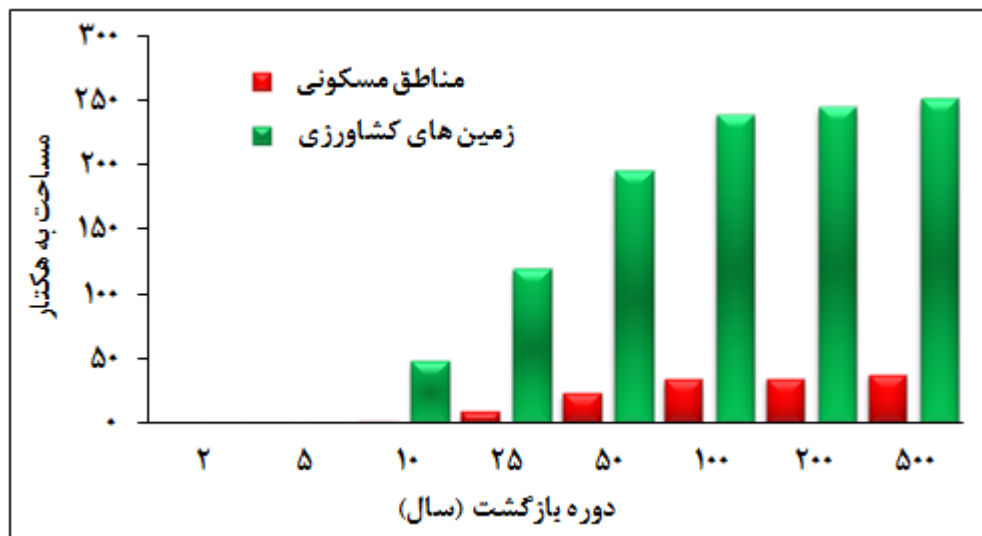
شکل ۷: پهنه‌های تحت تأثیر خطر سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف

بررسی نقشه پهنه‌های تحت تأثیر خطر سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد که در دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ ساله مجرای رودخانه ظرفیت دبی پیک پیش‌بینی شده را دارا می‌باشد و رودخانه در این دوره‌ها در بستر خود حالت طغیانی می‌گیرد و مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی اطراف خود را تهدید نمی‌کند. در دوره بازگشت ۱۰ ساله هم در بازه اول شاهد پهنه‌های سیلابی بیرون از بستر رودخانه نیستیم و طغیانی شدن رودخانه در این قسمت نیز مربوط به داخل خود کانال لیلان چای می‌باشد. دلیل آن را می‌توان عدم تصرف کناره‌های رودخانه توسط انسان و طبیعی ماندن بستر رودخانه می‌باشد. اما در این دوره در بازه دوم رودخانه در بخش‌هایی که توسط انسان مورد تصرف قرار گرفته و پهنای رودخانه کمتر شده با دبی پیش‌بینی شده برای این دوره، عمق آب در کانال افزایش یافته و زمین‌های کشاورزی به وجود آمده در دو طرف سواحل خود را تحت تأثیر قرار داده است. وسعت زمین‌های کشاورزی که در این دوره بازگشت تحت تأثیر خطر سیل گرفتگی قرار دارند ۴۷/۵ هکتار برآورد شده است. در دوره بازگشت ۲۵ ساله شاهد افزایش سطح سیلاب در محدوده دشت سیلابی هستیم. در این دوره وقوع سیلابی با دبی پیک پیش‌بینی شده، محدوده‌ای به مساحت ۱۲۰/۲ هکتار از زمین‌های کشاورزی و حدود ۹/۱ هکتار از مناطق مسکونی واقع در حاشیه رودخانه تحت تأثیر خطر سیل گرفتگی قرار دارند. در شکل ۸ کاربری‌هایی که تحت تأثیر خطر سیل گرفتگی در دوره بازگشت ۲۵ ساله هستند، با بزرگ‌نمایی بیشتر نشان داده شده است. در این دوره در بازه اول به دلیل عدم دستکاری بستر رودخانه و تنگ‌تر نشدن مجرای رودخانه، رودخانه در بستر خود حالت طغیانی به خود گرفته و تهدیدی برای زمین‌های کشاورزی اطراف خود نداشته است. وجود سیل بند نیز باعث تجمع آب در پشت دیواره سد و در نهایت بالا آمدن آب در پشت سد شده و آب‌گرفتگی بیشتری را در بالادست سد نشان می‌دهد. برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب سیلاب در لیلان چای و احداث سیل بند بر روی آن باعث شده که مقداری از آب رودخانه از طریق کانال به زمین‌های اطراف انتقال داده شده و در نتیجه از شدت سیلاب در پایین‌دست سد تا حدودی کاسته شده است. اما با توجه به دبی پیش‌بینی شده برای این دوره و تصرف کناره‌های رودخانه توسط انسان و تبدیل آن به زمین‌های کشاورزی و مسکونی باعث شده که عرض رودخانه کمتر شده و این زمین‌ها دچار آب‌گرفتگی

شوند. بنابراین می‌توان گفت که اگر سیل بند در روی رودخانه احداث نمی‌شد باید شاهد پهنه‌های سیلابی بیشتری در کاربری‌های کشاورزی و مسکونی بودیم. شکل ۹ مساحت پهنه‌های سیل گیر را برای دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۸: کاربری‌های تحت تأثیر خطر سیلاب برای دوره بازگشت ۲۵ ساله



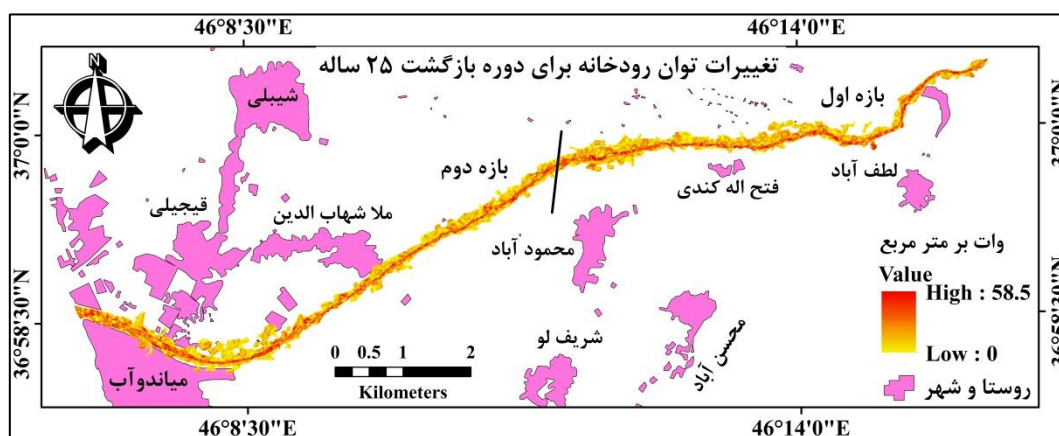
شکل ۹: مساحت کاربری‌های تحت تأثیر خطر سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف

همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود مساحت پهنه‌های سیل گیر با افزایش دبی پیش‌بینی شده برای دوره‌های بازگشت بالاتر از ۱۰ سال روند افزایشی داشته و زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی بیشتری تحت تأثیر خطر سیل گرفتگی قرار می‌گیرند. شکل ۱۰ تصویر ماهواره‌ای مربوط به طغیانی شدن لیلان چای و سیل گرفتگی زمین‌های اطراف رودخانه را در بهار سال‌های ۱۳۹۵ و ۹۸ نشان می‌دهد.

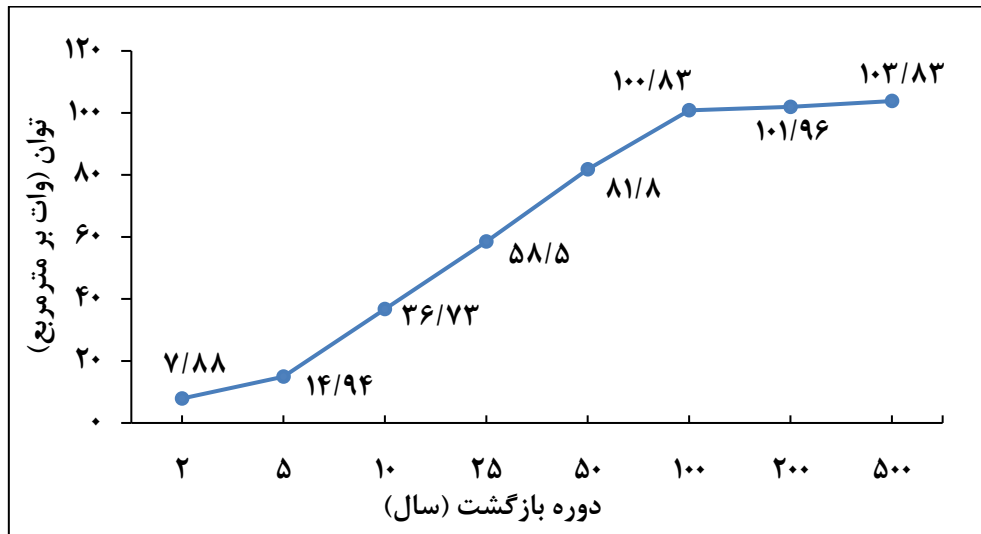


شکل ۱۰: سیلابی شدن لیلان چای در فصل بهار (سمت راست: بهار ۱۳۹۸) و (سمت چپ: بهار ۱۳۹۵)

بررسی تغییرات توان رودخانه لیلان چای برای دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد که در همه دوره‌های بازگشت در بالادست بازه اول به دلیل اینکه بستر رودخانه از شیب نسبتاً زیادی برخوردار هست و همچنین کم بودن عرض رودخانه مقادیر بالاتری از توان رودخانه را نشان می‌دهد. در پایین دست این بازه به موازات کاهش شیب و افزایش عرض رودخانه و پخش سیلاب در مساحت بیشتر توان رودخانه نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد. در بازه دوم به دلیل اینکه در هر دوره مقداری از دبی پیش‌بینی شده توسط سیل بند مه‌ار می‌شود مقادیر توان رودخانه نسبت به بازه اول کمتر می‌باشد. اما در خود این بازه در بخش‌هایی که عرض رودخانه کمتر بوده (بخش‌های میانی بازه) به دلیل زیر کشت رفتن بستر رودخانه توسط اهالی منطقه) توان رودخانه نیز نسبت به بقیه بخش‌های بازه مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. همچنین در بررسی‌های میدانی مشخص شد که در بخش‌های زیادی از این بازه اهالی منطقه نخاله‌های ساختمانی و سایر مصالح غیرقابل استفاده را در بستر رودخانه تخلیه می‌کنند که این کار نیز باعث کمتر شدن بستر رودخانه شده است. بنابراین در صورت وقوع سیلاب باید شاهد پهنه‌های بیشتری از آب‌گرفتگی و وارد آمدن خسارت به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی نسبت به نقشه‌های شبیه‌سازی شده در سطح منطقه باشیم. شکل ۱۱ تغییرات توان رودخانه برای دوره بازگشت ۲۵ ساله در بستر رودخانه و شکل ۱۲ تغییرات حداکثر توان لیلان چای را برای کل دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد. حداکثر مقادیر ثبت شده برای دوره‌های بازگشت مختلف مربوط به داخل کانال رودخانه بوده و با پخش شدن سیلاب در دشت سیلابی کناره‌های رودخانه از توان رودخانه کاسته می‌شود.



شکل ۱۱: تغییرات توان رودخانه لیلان چای برای دوره بازگشت ۲۵ ساله



شکل ۱۲: تغییرات حداکثر توان لیلان چای برای دوره‌های بازگشت مختلف

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تلاشی بوده است جهت تحلیل دینامیکی مخاطره سیلاب در سطح مخروط افکنه لیلان که با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS انجام شده است. جهت شبیه سازی سیلاب برای دوره های بازگشت مختلف از آمار دبی ایستگاه هیدرومتری شیرین کند استفاده شد. بررسی تغییرات توان رودخانه در دو بازه نیز برای دوره های بازگشت مختلف روند افزایشی را نشان می دهد. به طوری که مقدار آن از ۷/۸۸ وات بر متر مربع در دوره بازگشت ۲ ساله به ۸۱/۸ وات بر متر مربع در دوره بازگشت ۵۰ ساله تغییر می کند. این امر نشان می دهد که در صورت وقوع سیل با دبی های پیش بینی شده علاوه بر سیل گرفتگی زمین های اطراف رودخانه شاهد فرسایش آبی نیز خواهیم بود که نتیجه آن از دست رفتن خاک های حاصلخیز زمین های کشاورزی کنار رودخانه است. بررسی نقشه‌های پهنه‌های سیلابی نشان می‌دهد که خطر سیل گرفتگی در دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ ساله زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف رودخانه را تهدید نمی‌کند. اما در دوره‌های بازگشت ۱۰ سال و بالاتر شاهد سیل گرفتگی زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف لیلان چای هستیم. در دوره بازگشت ۲۵ ساله ۱۲۰/۲ هکتار از زمین‌های کشاورزی و حدود ۹/۱ هکتار از مناطق مسکونی واقع در حاشیه رودخانه تحت تأثیر خطر سیل گرفتگی قرار دارند. روستای ملا شهاب‌الدین از جمله مناطقی است که در کنار رودخانه توسعه یافته و در نتیجه در معرض خطر سیل گرفتگی در صورت وقوع بارندگی با دبی‌های پیش‌بینی شده قرار دارد. مناطقی که بیشتر در معرض خطر سیل گرفتگی قرار دارند در بازه دوم هستند که دلیل آن هم تصرف بستر رودخانه توسط اهالی منطقه و تبدیل زمین‌های حاشیه‌ای آن به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی هست. بنابراین ضرورت دارد که به منظور جلوگیری از بروز حادثه و وارد آمدن خسارت‌های احتمالی مالی و جانی در صورت وقوع سیل در رودخانه لیلان چای در مورد بستر رودخانه در بازه دوم بازنگری جدی صورت گرفته و حریم رودخانه بیش از این مورد تصرف انسان قرار نگیرد.

پیشنهاد: در تحقیق حاضر شبیه سازی سیلاب با استفاده از آمار بلند مدت دبی (۹۵-۱۳۵۳) ایستگاه هیدرومتری شیرین کند برای دوره های بازگشت مختلف انجام شده است و پهنه های سیل گیر برای هر دوره شناسایی شدند. در سال های اخیر با مطالعاتی که در حوضه آبریز صورت گرفته اقدام به احداث سد (سد قوشقیه) بر روی رودخانه لیلان چای گردیده است. اما به دلیل برنامه های ستاد دریاچه ارومیه مراحل ساخت این سد متوقف شده است. لذا می توان گفت که با احداث این سد میزان دبی ایستگاه های هیدرومتری نسبت به قبل از احداث آن به صورت کنترل شده و به میزان ثابت خواهد بود که این میزان دبی سیلاب های پایین دست سد را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بنابراین نویسندگان مقاله برای سایر محققان

پیشنهاد انجام پژوهش در این منطقه بعد از احداث سد و مقایسه نتایج آن با نتایج تحقیق حاضر را دارند که نشان دهند احداث سد به چه میزانی در وقوع سیلاب در پایین دست خود تاثیر داشته است.

منابع

- اسدی، م.، جباری، ا. و حصادی، ه.، ۱۳۹۸. مدل سازی سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک با بهره گیری از مدل HEC-HMS مطالعه موردی (حوضه آبریز سد استقلال میناب)، مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۳، صص ۱۷-۳۳.
- امیر احمدی، ا.، کرامتی، ص. و احمدی، ط.، ۱۳۹۰. ریز پهنه بندی خطر سیلاب در محدوده شهر نیشابور در راستای توسعه شهری، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال دوم، شماره هفتم، صص ۹۱-۱۱۰.
- حسینی، س. م.، جعفر بیگلر، م.، یمانی، م. و گراوند، ف.، ۱۳۹۴. پیش بینی سیلاب های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-HMS، مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۱، صص ۱۳۳-۱۱۸.
- دهقانی، م.، عباس نژاد، ا. و نگارش، ح.، ۱۳۹۵. بررسی خطر سیل و پهنه بندی آن در دشت بافت، جنوب شرقی ایران، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای، شماره ۲۰، صص ۱۵۲-۱۴۱.
- راد، م.، وفاخواه، م. و غلامعلی فرد، م.، ۱۳۹۷. پهنه بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در پایین دست حوضه آبخیز خرم آباد، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، صص ۲۲۶-۲۱۱.
- رضایی مقدم، م. ح.، یاسی، م.، نیکجو، م. ر. و رحیمی، م.، ۱۳۹۷. تحلیل مورفولوژیکی سیلاب های رودخانه قره سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (از روستای پیراز میان تا تلاقی رودخانه اهر چای)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۵، صص ۱-۱۵.
- روستایی، ش.، موسوی، ر. و علیزاده گرجی، غ. ر.، ۱۳۹۶. تهیه نقشه پهنه بندی سیلاب حوضه آبخیز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN و GIS/RAS، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۱، صص ۱۱۸-۱۰۸.
- شیخ علیشاهی، ن.، جمالی، ع. ا. و حسن زاده نفوتی، م.، ۱۳۹۵. پهنه بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز منشاد- استان یزد)، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی اهر، سال شانزدهم، شماره ۵۳، صص ۷۷-۹۶.
- لشکری، ح.، رشیدی، ع. و رضایی، ع.، ۱۳۹۲. پهنه بندی سیلاب رودخانه زرینه رود با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS در محیط GIS، پژوهش های دانش زمین، سال سوم، شماره ۱۳، صص ۵۱-۶۸.
- مرادی، ا. و نعمت پور ایشگه، ج.، ۱۳۹۷. پهنه بندی روستاهای در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی: روستای نظام آباد، شهرستان میاندوآب، استان آذربایجان غربی)، مطالعات جغرافیایی انسانی نواحی ساحلی، سال دوم، شماره اول، صص ۱۳۸-۱۲۱.
- Allen, J.R.L., 1965. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology*, 5, 89-119.
- Brunner, G.W., 2010. HEC-RAS River analysis system hydraulic reference manual, us army corps of engineers, version 4.1.

- *khalfallah ,C. B., & Saidi, S., 2018. Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC-RAS-GIS tools: Case of the Megerda river, Tunisia. Journal of African Earth Sciences, 142, 44-51.*
- *Costa, J.E., & Fleisher, P.J., 1984. Physical geomorphology of debris flows. Developments and Applications of Geomorphology, Springer-Verlag, Berlin, 269–317.*
- *Cowan, W. L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering , 37,7, 473-475.*
- *Zuniga, D., 2012. Flood dynamics, hazard and risks in an active alluvial fan system threatening Ciudad Juarez Chihuahua, Mexico. Ph.d thesis, Brunel University.*
- *Pappenbergera, F., Bevena, K., Horritb, M., & Blazkova, S., 2005. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observation. Journal of Hydrology, 302, 46–69.*
- *FEMA (Federal Emergency Management Agency)., 2000. Guidelines for Determining Flood Hazards on Alluvial Fans., Available at: <https://www.fema.org/library/>.*
- *Harvey, A., Mather, A.E., & Stokes, M., 2005. Alluvial fans: geomorphology, sedimentology,dynamics-introduction, a review of alluvial fan research. Geological Society Special Publication, London 251, 1–8.*
- *Hirschboeck, K.K., Ely. L., & Maddox, R.A., 2000. Hydroclimatology of meteorologic floods. In: Wohl, E. (Ed.), Inland Flood Hazards: Human Riparian and Aquatic Communities. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 39–72.*
- *House, P.K., 2005. Using geology to improve flood hazard management on alluvial fans an example from Laughlin, Nevada. Journal of the American Water Resources Association, 41, 1431–1447.*
- *Zelenakov, M., Rastislav, F., Slavomír, L., Weiss, E., Markovi, G., & Weiss, R., 2019. Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kruzlov village Slovakia. Journal of Cleaner Production, 212, 109-118.*
- *McCuen, R. H., 1998. Hydrologic Analysis and Design. Prentice Hall, PTR, 814.*
- *Mohaghegh, S., Mojaver, E., Meftahi, M., & Bahrebar, A., 2015. The Effect of Flood Zones of Maroon River on the Environment and around the River. MAGNT Research Report (ISSN. 1444-8939), 3, 1, 1450-1454.*
- *Nharo,T., Makurira, H., & Gumindoga, W., 2019. Mapping floods in the Middle Zambezi Basin using Earth observation and hydrological modeling techniques. Physics and Chemistry of the Earth, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.06.002> .*
- *Volker, H., Wasklewicz, X., & Ellis, M.A., 2007. A topographic fingerprint to distinguish alluvial fan formative processes. Geomorphology 88, pp34–45.*