



## مقدمه

امروزه پیشرفت صنعت و افزایش جمعیت موجب پیشروی جوامع بشری به سوی حریم رودخانه‌ها و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در سیلاب‌دشت‌ها شده است (مارکانتونیس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳: ۲) که باعث افزایش شدت و فراوانی وقوع سیل می‌گردد (هادسون<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۶۸۲). سیلاب‌ها یکی از ویرانگرترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که همچنان به عنوان یک نگرانی در بیشتر بخش‌های جهان به شمار می‌آیند (ویلبی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲: ۲). مطابق آمار تهیه شده توسط سازمان ملل متحد، در میان بلایای طبیعی، بیش‌ترین تلفات و خسارات را سیل و طوفان به جوامع بشری وارد آورده‌اند، در ایران ۹۱ میلیون هکتار از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع تاثیر داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد دارند. از این نظر ۵۹۲ شهر، ۶۶ هزار روستا، ۲ هزار رشته قنات، یک میلیون هکتار از اراضی زراعی و بخش بزرگی از جاده‌های کشور و تاسیسات صنعتی در معرض خطر سیل‌گیری و تخریب قرار دارند (شفیعی مطلق و عبادتی، ۱۳۹۹: ۳۹۸)

اولین قدم در مطالعات اقتصادی طرح‌های مدیریت سیلاب و یا مهار سیلاب، داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی سیل می‌باشد. زیرا با توجه به پهنه سیل در دوره‌های بازگشت متعدد و برآورد خسارت در هر پهنه‌بندی، میزان سرمایه‌گذاری جهت جلوگیری از خسارت در حالت بهینه محاسبه می‌شود. پهنه‌بندی سیل یعنی اینکه سیل تا چه حد منطقه را دربرمی‌گیرد، به همین دلیل سیل با دوره‌های بازگشت متفاوت در نظر گرفته می‌شود تا مشخص شود چه مقاطعی باید دربرگرفته شود. مطالعات و تحقیقات زیادی در حوضه‌های آبریز رودخانه‌های طغیانی انجام پذیرفته و راهکارهایی نیز ارائه شده است. ولی به دلیل هزینه‌های فراوان، آن طرح‌ها اجرایی نشده‌اند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹) همچنین در برنامه‌های توسعه‌ی اکثر کشورهای دنیا به ویژه جهان سوم توجه کمتری به پیش‌بینی و پهنه‌بندی مخاطرات شده است (احمدی، ۱۳۹۸: ۳۳). در گذشته تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بیشتر به صورت دستی انجام می‌شد که نیاز به زمان و تلاش زیادی داشت (نومن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱: ۳۹۴). امروز با توسعه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی<sup>۵</sup> و مدل‌های رقومی ارتفاع<sup>۶</sup>، تکنیک‌ها و روش‌های زیادی به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و خطرپذیری مناطق مختلف استفاده می‌شود (چارریر<sup>۷</sup>، ۲۰۱۰: ۳۸). برخی از این روش‌ها بر پایه داده‌های هیدرولوژیکی و لایه‌های اطلاعاتی نظیر کاربری اراضی، جنس خاک، شیب حوضه، بارندگی و غیره استوار هستند. موفقیت این روش‌ها بستگی زیادی به دقت لایه‌های اطلاعاتی و فرضیات به کار رفته دارد. اما روش‌های دیگری نیز وجود دارند که بر پایه استفاده از مدل‌های هیدرولیکی و تلفیق نتایج آن‌ها با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استوارند. در این روش‌ها به کمک مدل‌های عددی، جریان سیلاب شبیه‌سازی شده و پس از محاسبه پروفیل جریان توسط مدل، پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف روی نقشه‌های توپوگرافی یا DEM منطقه مورد مطالعه منتقل می‌شود (جمال و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۲؛ سوریان<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۱۰؛ جان<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۲۸). HEC-RAC یک مدل هیدرولیکی است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک بخش مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا توسعه یافته است (میدمنت و تیت<sup>۱۰</sup>، ۱۹۹۹: ۲). سیستم HEC-RAC شامل چهار مولفه تحلیل یک بعدی رودخانه به منظور (۱) محاسبات پروفیل سطح آب جریان ماندگار؛ (۲) شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار؛ (۳) محاسبات انتقال رسوب مرزی متحرک و (۴) تحلیل کیفیت آب است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷: ۲). اما مطالعاتی که در رابطه با مدل هیدرولیکی HEC-RAC در سطح جهان و ایران انجام شده است می‌توان به مواردی

<sup>1</sup> Markantonis

<sup>2</sup> Hudson

<sup>3</sup> Wilby

<sup>4</sup> Noman

<sup>5</sup>-Geographic Information Systems

<sup>6</sup> Digital Elevation Model

<sup>7</sup> Charrier

<sup>8</sup> Suriya

<sup>9</sup> Johan

<sup>10</sup> Maidment&Tate

اشاره کرد: سیلوا و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از GIS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS به پهنه‌بندی سیل در رودخانه سدروس<sup>۲</sup> واقع در کشور برزیل پرداختند. نتایج مطالعه شان نشان داد که جاده‌ها و ساختمان‌های اطراف پل و بالادست رودخانه بیش‌تر در معرض خطر سیل هستند و هم‌چنین به این نتیجه رسیدند که پتانسیل استفاده از مدل HEC-RAS و GIS برای نقشه برداری از مناطق سیل‌خیز بسیار بالا و با حساسیت زیادی همراه است. دمیر<sup>۳</sup> و کیس<sup>۴</sup> (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی سیل در رودخانه مرت<sup>۵</sup> در کشور ترکیه اقدام نمودند. آن‌ها بدین منظور از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه با اضافه کردن مانع خاکریز و تنظیم پایین‌دست رودخانه می‌توان سیلاب را به‌طور موثر کاهش داد. ساهیری پارسا<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۶ به شبیه‌سازی و پهنه‌بندی سیلاب پرداختند. بدین جهت از یک مدل یک بعدی (HEC-RAS) و یک مدل دو بعدی (CCHE2D) استفاده و نتایج حاصل از دو مدل را با هم مقایسه کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که هر دو مدل در اکثر مواقع مطابقت داشته‌اند و تفاوت آن‌ها فقط مربوط به شکل رودخانه است. جیا و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای خطر سیل در استان Henan کشور سنگاپور را بر اساس روش فرایند تحلیلی سلسله مراتبی و نظریه مجموعه متغیرهای فازی پهنه‌بندی نمودند. نتایج نشان داد که به تدریج از شمال غربی به جنوب شرقی احتمال خطر سیل‌گرفتی افزایش یافته است و بیشترین احتمال خطر در قسمت جنوبی ژومادیان<sup>۸</sup> و بخش شمالی زینانگ<sup>۹</sup> بوده است. هم‌چنین نتایج نشان داد مناطقی که بیشترین ظرفیت را برای پیشگیری و کاهش حوادث دارند، مناطقی هستند که از نظر اقتصادی پایدار هستند. مناطق واقع در ژنگژو و زوچانگ از ظرفیت بالایی برای پیشگیری و کاهش سوانح برخوردار است در حالی که مناطق کوهستانی، کمترین ظرفیت را برای پیشگیری و کاهش سوانح دارند.

زنگنه تبار در سال ۱۳۹۵ در تحقیقی به پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبریز زیلبرچای اقدام نمود. بدین منظور جهت برآورد رواناب از روش شماره منحنی استفاده نمود و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS مناطق سیل‌خیز را اولویت‌بندی کرد. در نهایت با استفاده از هم‌پوشانی لایه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شیب منطقه و پوشش گیاهی نقشه پهنه‌بندی سیلاب منطقه را تهیه نمود. نتایج نشان داد شیب منطقه نقش بسزایی در سیل‌خیزی حوضه زیلبرچای دارد. ابراهیمی و زیاری در سال ۱۳۹۷ اقدام به پهنه‌بندی زمین‌های شهری حاشیه رودخانه چشمه کیله واقع در استان مازندران در برابر خطر ناشی از سیلاب با رویکرد تاب‌آوری کالبدی نمودند. آن‌ها در پژوهش خود از روش توصیفی-تحلیلی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و تبادل اطلاعات با مدل‌های شبیه‌سازی ریاضی، مقاطع عرضی از رودخانه چشمه استفاده نمودند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که بخشی از بافت شهر با این پهنه‌های سیل‌گیر تداخل دارد. بنابراین دستیابی به تاب‌آوری در برابر سیلاب، مستلزم چاره‌اندیشی در محدوده‌های بحرانی است. آن‌ها هم‌چنین کاربری‌های مجاز در هر پهنه را با توجه به شدت خطر و هم‌چنین نظام مدیریت حاکم بر آن‌ها تعیین نمودند.

<sup>1</sup> Silva

<sup>2</sup> Sedrous

<sup>3</sup> Demir

<sup>4</sup> Kis

<sup>5</sup> Mert

<sup>6</sup> Sahiriparsa

<sup>7</sup> Junxia Jia

<sup>8</sup> Zhumadian

<sup>9</sup> Xinyang

پناهی و همکاران (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای به منظور تعیین حریم رودخانه گاماسیاب اقدام به پهنه‌بندی سیلاب نمودند. بدین منظور برای شبیه‌سازی سیلاب از مدل هیدرودینامیکی یک‌بعدی HEC-RAS استفاده نمودند، همچنین برای پردازش داده‌های ژئومتری از الحاقی HEC-GEORAS بهره بردند. با توجه به الگوی رودخانه، منطقه را به چهار بازه مختلف تقسیم نمودند و ضریب زبری مانینگ را برای هر بخش محاسبه نمودند. نتایج به‌دست‌آمده از مدل نشان داد با مقایسه دو دوره بازگشت ۲۵ ساله که مساحتی حدود ۲۳/۸۷ کیلومترمربع و دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با مساحتی حدود ۴۲/۱ کیلومترمربع از اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی (روستایی) و مراتع تحت مخاطره سیلاب قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج، میزان خسارت سیلاب ۱۰۰ ساله نسبت به ۲۵ ساله به طور متوسط بیش از ۲۵/۶ درصد است. شفيعی مطلق و عبادتی (۱۳۹۹) به پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم افزار HEC-RAC در رودخانه مارون جنوب غربی ایران پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد مساحت سیل‌خیزی برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب برابر با ۱۲۶۵، ۱۶۵۱، ۲۳۳۴ و ۴۴۵۰ هکتار و تعداد روستاهای در معرض خطر به ترتیب برابر با ۵، ۳، ۳ و ۹ هستند.

مطالعه پهنه‌بندی سیل در مسیر رودخانه‌های دائمی و فصلی با انجام مطالعات موردی در بازه‌های آسیب‌پذیر از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌ویژه نقاط زیادی از کشور ایران بدلیل داشتن اقلیم گرم و خشک، هر از چند گاهی پدیده وقوع سیلاب‌های ناگهانی به عنوان یک هشدار جدی تلقی می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹: ۸۸). تحقیق حاضر حوضه آبخیز ابر شهرستان شاهرود است که از گذشته تا تاکنون به علت اقدامات انسانی دستخوش تغییرات زیادی شده است. این رودخانه یکی از مناطق سیل‌خیز استان سمنان هست. در نتیجه در مواقع بارانی احتمال سیل‌خیزی این حوضه زیاد است. همان‌طور که در گذشته نیز چنین بوده است. هدف از مقاله پهنه‌بندی سیلاب حوضه ابر شهرستان شاهرود به منظور کاهش ریسک با استفاده از مدل HEC-RAC است، تا در نهایت پهنه‌های سیل‌گیر در شرایط دبی با دوره‌های بازگشت ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰ و ۵ سال مشخص شود.

## روش‌شناسی

در این مطالعه برای تهیه ورودی نرم‌افزار HEC-RAS با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل رقومی منطقه مورد نیاز است. نقشه رقومی ۱:۲۰۰۰ منطقه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان دریافت و به نرم‌افزار ArcMap وارد شد. سپس مدل سه‌بعدی<sup>۱</sup> TIN از لایه توپوگرافی ایجاد شد. فایل هندسی ورودی به نرم‌افزار HEC-RAS شامل اطلاعاتی در مورد مقاطع عرضی، سازه‌های هیدرولیکی، سواحل رودخانه و دیگر موارد مرتبط با رودخانه می‌باشد. پیش‌پردازش اطلاعات با استفاده از ماژول HEC-GEORAS انجام شد. در الحاقی HEC-GeoRAS هر کدام از موارد فوق در لایه‌های مختلفی ذخیره می‌گردند که به شرح زیر می‌باشد:

### ۱- تهیه خط مرکزی جریان

در تهیه خط مرکزی جریان باید خطوط نشان‌دهنده خط مرکزی جریان از بالادست به پایین‌دست رسم شوند و هم‌چنین اسامی که به‌منظور نام‌گذاری رودخانه و بخش‌های آن به کار می‌رود، تکراری نباشند.

### ۲- تهیه لایه سواحل رودخانه

تهیه لایه سواحل رودخانه که باید جداسازی کانال اصلی رودخانه از سواحل آن توسط این لایه انجام شود. در ساخت این لایه باید در هر مقطع فقط دو خط معرف محدوده سواحل رسم شود و اینکه خطوط را می‌توان به‌صورت خطوط شکسته در امتداد رودخانه رسم کرد، باید توجه داشته باشیم که جهت رسم این خطوط تأثیری در نتایج نخواهد داشت.

### ۳- تهیه لایه ابعاد مسیر جریان

تهیه لایه ابعاد مسیر جریان به‌منظور تعیین ابعاد مسیر هیدرولیکی جریان در کانال اصلی و سواحل راست و چپ آن در ناحیه سیلاب‌گیر استفاده می‌شود. لایه مسیر جریان نیز باید در جهت جریان از بالادست به پایین‌دست

<sup>1</sup> Triangulated Irregular Network

ایجاد شود. طول سواحل چپ و راست با محاسبه فاصله بین دو مقطع متوالی در امتداد خطوط مسیر جریان برای کانال اصلی و سواحل راست و چپ در فایل ورودی HEC-RAS درج می‌شود. در فرآیند ساخت این لایه باید جهت رسم خطوط منطبق بر جهت جریان در کانال اصلی باشد و هریک از خطوط رسم شده فقط در یک نقطه با سطح مقطع‌ها تماس داشته باشند؛ همچنین باید توجه داشت که این خطوط یکدیگر را قطع نکنند.

#### ۴- ترسیم لایه مقاطع عرضی

برای ترسیم لایه مقاطع عرضی، خطوط معرف مقاطع از ساحل چپ به سمت ساحل راست رسم شده‌اند. مقاطع عرضی فقط یک نقطه تقاطع با خط مرکزی رودخانه و خطوط نشان‌دهنده مسیر جریان داشته‌اند؛ مقاطع عرضی عمود بر جهت جریان در کانال اصلی رسم شده‌اند و خطوطی که در این لایه رسم شده‌اند، متقاطع نبوده‌اند. پس از انجام پیش‌پردازش‌های مهم بر روی داده‌ها، مرحله بعدی آماده‌سازی این اطلاعات جهت انتقال به نرم‌افزار HEC-RAS می‌باشد. قبل از ایجاد فایل خروجی باید مطمئن باشیم که لایه‌ها به‌درستی انتخاب شده باشند. بدین منظور در افزونه HEC-GeoRAS می‌توان لایه‌های هر قسمت را کنترل نمود. پس از ارزیابی تمامی لایه‌ها و جداول ویژگی‌ها می‌توان فایل خروجی را ایجاد کرد. فایل تهیه شده در محیط ArcMap با کمک برنامه جانبی Hec-GeoRAS جهت مدل‌سازی و روندیابی سیلاب به محیط نرم افزار HEC-RAS فراخوانی می‌شود. پس از انتقال این فایل به HEC-RAS اصلاحات و تنظیمات لازم بر روی مقاطع عرضی ترسیم شده انجام می‌گیرد. پس از تهیه لایه خروجی GIS به‌منظور انجام محاسبات هیدرولیکی این فایل به نرم‌افزار HEC-RAS وارد می‌گردد، پلان رودخانه و مقاطع عرضی در نرم‌افزار HEC-RAS ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات مقاطع عرضی بازه‌های مورد مطالعه

نام بازه	طول بازه (متر)	تعداد مقاطع انتخابی	متوسط فاصله بین مقاطع (متر)	شیب متوسط بازه
شاخه فرعی ۱	۷۲۵	۳۵	۲۰۰	۰/۰۱
شاخه فرعی ۲	۵۶۴	۲۷	۲۰۰	۰/۰۱۱
شاخه اصلی	۶۲۳	۳۰	۲۰۰	۰/۰۹

ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها، یکی از عوامل مورد نیاز برای مطالعات مهندسی رودخانه می‌باشد. تعیین دقیق این عامل برای تعیین دقیق عواملی نظیر عمق و سرعت جریان ضروری می‌باشد. برای تخمین ضریب مانینگ رودخانه مورد مطالعه از جدول تجربیات چاو<sup>۱</sup> استفاده شد. او براساس مطالعات میدانی خود و تجربیات سایر پژوهش‌گران جدولی را برای تعیین ضریب زبری رودخانه‌ها ارائه کرده‌است. براساس این جدول آبراهه‌ها به گروه‌ها و زیرگروه‌هایی طبقه‌بندی شده‌اند که ضریب مانینگ برای شرایط مختلف هر گروه ارائه شده است. پس از تخمین ضریب مانینگ رودخانه مورد مطالعه در بازه‌های مختلف، این مقادیر برای هر یک از مقاطع به صورت مجزا و با توجه به وضعیت قرارگیری آن مقطع در بازه‌های تعیین شده، در نرم‌افزار اعمال می‌گردد. یکی دیگر از مراحل در مدل HEC-RAS، جریان ناشی از شکست سد است که جزء جریان‌های غیردائمی محسوب می‌شود. جهت محاسبه جریان‌های غیردائمی در مدل HEC-RAS وجود شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست مدل ضروری است. در مدل مورد استفاده جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب شرایط مرزی همانند شرایط مرزی مدل مطالعات هیدرولیک تعریف گردید. به این نحو که دبی‌های ورودی به سیستم در شرایط موجود در نظر گرفته شده است و در طی مسیر رودخانه نیز اثر شاخه‌های فرعی به فرض رخداد همزمان سیل در شاخه‌ها و شاخه اصلی اعمال شده است. به عبارت دیگر رخداد سیل در شاخه اصلی و شاخه‌های فرعی بزرگ که به این رودخانه می‌ریزند به صورت همزمان بوده است.

<sup>1</sup> Chow ven Te

پس از اطمینان از صحت داده‌ها، به منظور برآورد PMP از سری‌های زمانی با طول دوره آماری متفاوت استفاده گردید. برای برآورد PMP24 به روش اول هر شلفیلد، مقادیر میانگین و انحراف معیار داده‌ها، میانگین و انحراف معیار به ازای حذف مقدار حداکثر از سری زمانی و ضریب تغییرات برای ایستگاه‌ها محاسبه گردید.

جدول ۲. بارش حداکثر ۲۴ ساعته حوضه و زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف (میلیمتر) در ایستگاه بسطام

دوره بازگشت					نام	دوره بازگشت					نام
۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	زیرحوضه	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	زیرحوضه
۸۴/۳	۷۵/۲	۷۲/۳	۶۳/۲	۵۴/۰	A7	۱۰۵/۷	۹۴/۲	۹۰/۶	۷۹/۲	۶۷/۶	A1
۷۳/۷	۶۵/۷	۶۳/۳	۵۵/۲	۴۷/۲	A8	۱۰۰/۳	۸۹/۴	۸۵/۹	۷۵/۲	۶۴/۱	A2
۷۸/۵	۷۰/۰	۶۷/۳	۵۸/۹	۵۰/۲	A <sub>INT-1</sub>	۹۹/۳	۸۸/۵	۸۵/۱	۷۴/۲	۶۳/۶	A3
۹۴/۸	۸۴/۵	۸۱/۳	۷۱/۲	۶۰/۷	A <sub>IN-A</sub>	۹۹/۰	۸۸/۲	۸۴/۹	۷۴/۲	۶۳/۳	A4
۹۲/۱	۸۲/۱	۷۸/۹	۶۹/۰	۵۸/۹	کل حوضه	۹۲/۹	۸۲/۲	۷۹/۶	۶۹/۷	۵۹/۶	A5
						۹۲/۲	۸۲/۲	۷۹/۱	۶۹/۲	۵۹/۰	A6

از روابط تجربی زیر جهت تخمین دبی بیشینه استفاده گردید که در جدول ۳ ارائه شده است که در این روابط  $H_w$  عمق آب بر حسب متر،  $Q_p$  دبی بیشینه بر حسب مترمکعب بر ثانیه و  $V_w$  حجم آب بر حسب مترمکعب می‌باشد:

جدول ۳. روابط تجربی تخمین دبی بیشینه در ایستگاه بسطام

محقق	رابطه تجربی	
Evans (1986)	$Q_p = 0.72(V_w)^{0.53}$	(رابطه ۳-۵۱)
Hagen (1982)	$Q_p = 1.205(V_w \times H_w)^{0.53}$	(رابطه ۳-۵۲)
Froehlich (1995)	$Q_p = 0.607(V_w^{0.295} \times H_w^{1.24})$	(رابطه ۳-۵۳)
Pierce (2010)	$Q_p = 0.038(V_w^{0.475} \times H_w^{1.09})$	(رابطه ۳-۵۴)

به‌منظور دستیابی به میزان حداکثر سیلاب حوضه از روش‌های استدلالی (منطقی)، کریگر، فولر و و SCS استفاده شده است (جدول ۴).

جدول ۴. مقادیر دبی پیک سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) حوضه مورد مطالعه در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روش‌های مختلف در ایستگاه بسطام

دوره بازگشت					روش
۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	
۲۸۹/۲۹	۲۳۳/۸۰	۱۸۹/۶۳	۱۳۶/۹۷	۱۰۴/۳۵	استدلالی
۷۷/۱	۶۵/۱	۵۳/۰	۳۷/۰	۲۴/۹	روش کریگر
۷۲/۱	۶۰/۸	۴۹/۵	۳۴/۶	۲۳/۳	روش فولر

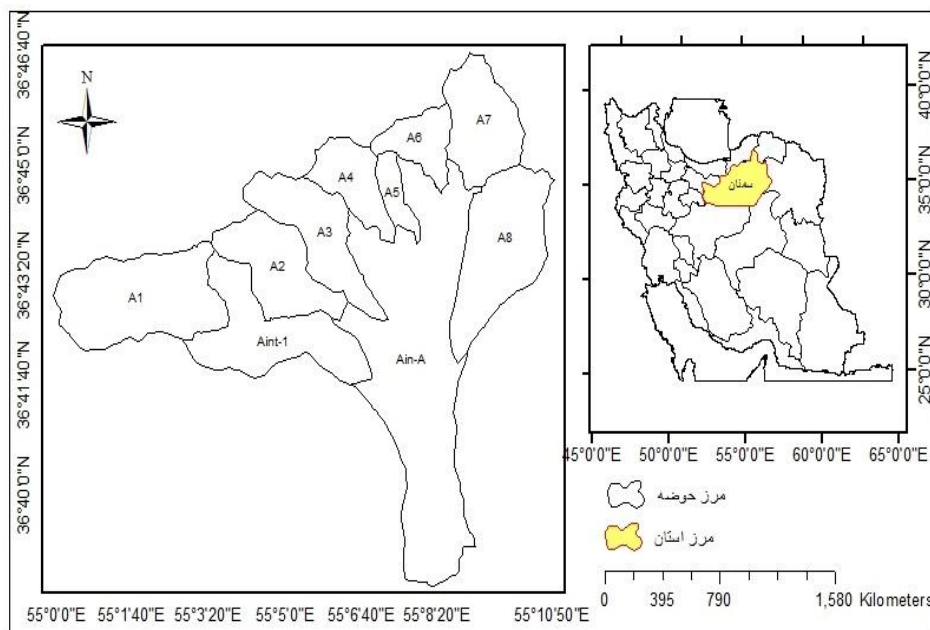
به‌منظور انتخاب روش مناسب جهت برآورد دبی پیک سیلاب، فاکتورهای مختلف از قبیل بارندگی سالیانه، حداکثر بارندگی، مساحت، پوشش گیاهی، نفوذپذیری، شیب حوضه طول آبراهه اصلی و همچنین بازدیدهای میدانی از منطقه و با توجه به نتایج حاصل از روش‌های مختلف روش آنالیز منطقه‌ای سیلاب برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است که این مقایسه و انتخاب مطابق جدول ۵ به‌ترتیب برای دو دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال انجام گرفته است.

جدول ۵. مقایسه روش‌های برآورد دبی حداکثر سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ سال

بارندگی	استدلالی	کریگر	فولر	روش برآورد دبی حداکثر لحظه ای
دوره بازگشت ۲۵ سال	۱۸۹/۶۳	۵۳/۰	۴۹/۵	
دوره بازگشت ۵۰ سال	۲۳۳/۸۰	۶۵/۱	۶۰/۸	

## قلمرو جغرافیایی پژوهش

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۹۰۵۹/۶۶ هکتار در بخش بسطام شهرستان شاهرود و در شمال شرقی استان سمنان قرار گرفته است، از نظر موقعیت جغرافیایی بشرح زیر تعیین گردیده است: طول جغرافیایی "۵۵° ۵۹' ۵۴" تا "۳۹° ۱۰' ۵۵" شرقی و عرض جغرافیایی "۳۶° ۳۸' ۳۶" تا "۳۶° ۴۶' ۵۲" شمالی که در زون ۴۰ واقع شده است. ارتفاع این محدوده از سطح دریا در بالاترین نقطه ۲۶۲۰ متر، شمال شرق حوضه در زیرحوضه A6 و در پایین‌ترین نقطه ۱۴۹۰ متر، جنوب حوضه در زیرحوضه Ain-A محل خروجی حوضه می‌باشد. آبراهه‌های موجود در منطقه به داخل رودخانه فصلی سرخ‌دره و در نهایت به درون کویر مرکزی تخلیه می‌شود. طول آبراهه اصلی این حوضه ۱۸/۴۲ کیلومتر است و مهمترین روستاهایی که در این حوضه قرار دارد. روستاهای ابر، سرخ‌دره و امامزاده قیطریه می‌باشند. از نظر تقسیمات شش‌گانه حوضه‌های آبریز اصلی، جزء حوضه آبریز ایران مرکزی است. شکل ۱ موقعیت حوضه را در کشور و استان سمنان نشان می‌دهد. همچنین بررسی دما و بارندگی حوضه بر اساس ایستگاه سینپتویکی شاهرود ( دوره آماری ۶۵ تا ۹۵ ) نشان داد که میانگین بارش، ۲۲۸/۹ متر، دمای متوسط آن ۱۲/۸ سانتی‌گراد در منطقه مورد مطالعه است.

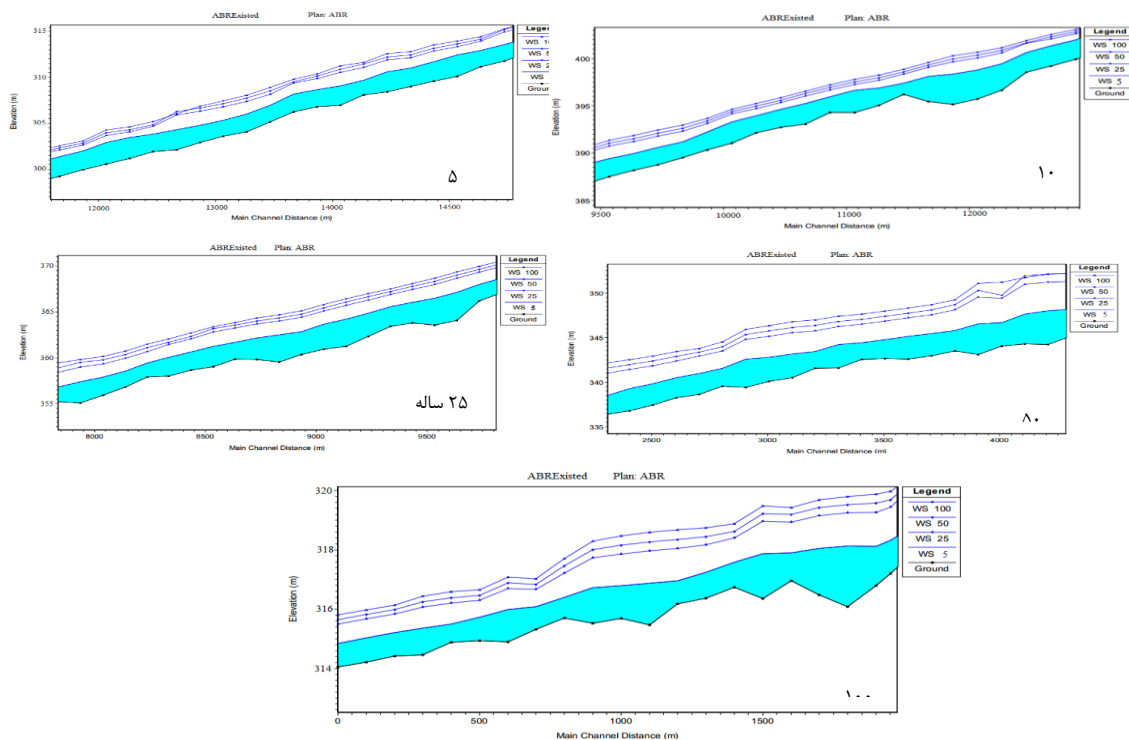


شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه مورد مطالعه

## یافته‌ها و بحث

یکی از اساسی‌ترین مسئله در ساماندهی رودخانه‌ها، محاسبه تراز سطح آب و مشخصات جریان رودخانه می‌باشد که با توجه به اطلاعات ارائه شده، نتایج مطالعات هیدرولیک حوضه آبخیز ابر در بازه مورد نظر برای سیلاب‌های با دوره برگشت مختلف ارائه شده است. نیمرخ‌های طولی تراز سطح آب، از جمله خروجی‌های ارزشمند مدل HEC\_RAS می‌باشد. به همین منظور پس از اجرای مدل شبیه‌سازی جریان، نیمرخ‌های طولی تغییرات سطح آب برای سیلاب با

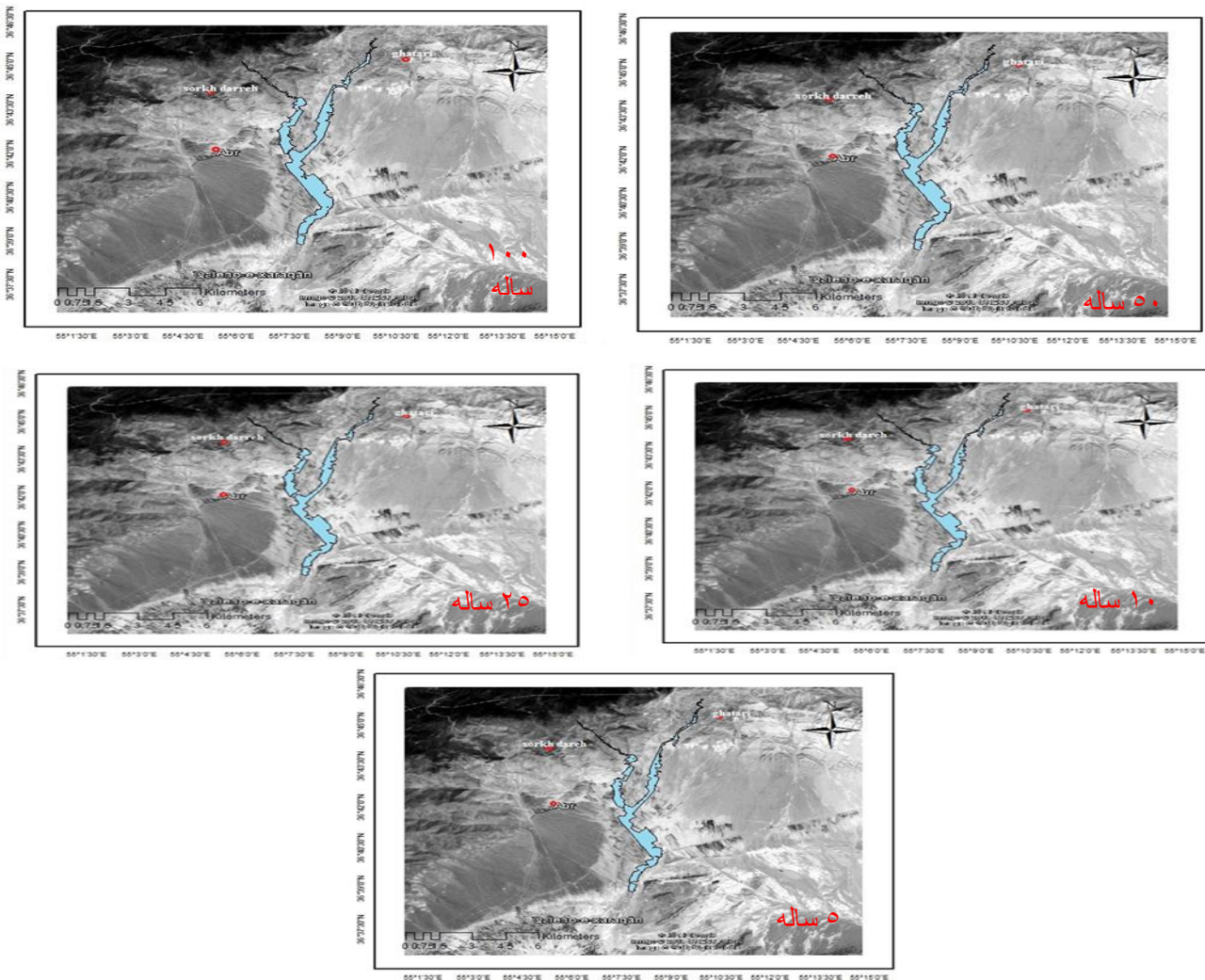
دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استخراج و نتایج آن در شکل ۲ برای بازه مورد مطالعه در شرایط موجود ارائه شده است. در این اشکال ارتفاع آب برای چند مقطع نمونه به ازای سیلاب با دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است ارتفاع آب سیلاب ۱۰۰ ساله به سیلاب ۲۵ ساله اختلافی به مقدار ۱۰۰ سانتیمتر را دارا می‌باشد. همچنین رفته رفته با افزایش دبی، سرعت جریان بیشتر شده و در نتیجه تلاطم جریان در بخش تغییر شیب ناگهانی رودخانه، بیشتر شده و ارتفاع پرش رخ داده نیز بیشتر می‌شود. با مقایسه پروفیل طولی سطح آب برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، تراز آب حدوداً ۱۰۰ سانتیمتر نسبت به سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال و حدوداً ۷۸ سانتیمتر نسبت به سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال اختلاف دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این اشکال بیانگر دقت بالای نتایج مدل هیدرولیکی بوده و تلاقی نداشتن سطح سیلاب‌های مختلف با یکدیگر خود نشان دهنده صحت مدل می‌باشد.



شکل ۲. نیمرخ‌های طولی تغییرات سطح آب سیلاب

مسئله‌های مورد نظر در حوضه مورد مطالعه توانایی عبور دبی با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله را ندارد. در شرایط جریان با دوره بازگشت ۱۰ و ۵ سال نشان داد که در همه مسیله‌ها خطر تجاوز آب از کانال اصلی و آب گرفتگی اراضی محسوس می‌باشد (شکل ۳). عامل اصلی وقوع سیلاب در منطقه فعالیت‌های انسانی می‌باشد به عبارت دیگر بارندگی در مناطق خشک که به عنوان نعمت خدادادی محسوب می‌شوند عامل وقوع سیلاب نبوده بلکه اقدامات نسنجیده و اشتباه انسانی و دخل و تصرف بیش از حد در طبیعت توسط انسان و اجرای طرح‌های عمرانی بدون رعایت ضوابط لازم باعث ایجاد سیلاب‌های مخرب می‌شود. به طوری که انسان با تغییر کاربری اراضی از حالت طبیعی به زراعی و توسعه کشت دیم در مناطق شیب دار، ساخت و سازها در محدوده رودخانه و اراضی مشرف به رودخانه و از بین رفتن مراتع درجه یک بر اثر چرای بی‌رویه و تبدیل آن به مراتع درجه دو و سه و تسطیح اراضی شیب دار همه عواملی هستند که باعث ازدیاد ضریب هرزآب‌ها و بروز جریان‌های سیلابی در منطقه گردیده است.





شکل ۳. پهنه سیلاب مسیل‌های حوضه ابر در دوره بازگشت‌های به ترتیب ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰ و ۵ ساله

جدول ۶. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر برای دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت	سال ۵	سال ۱۰	سال ۲۵	سال ۵۰	سال ۱۰۰
مساحت (Km <sup>2</sup> )	۳۷۵/۱۲	۴۷۶/۲۹	۵۹۸/۱۹	۷۵۹/۳۲	۱۳۹۵/۱۵

از طرفی بدلیل ساخت و ساز زیاد در رودخانه، استفاده از روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب تقریباً غیر ممکن خواهد شد و تنها می‌توان در قسمت‌هایی از رودخانه اقدام به عملیات سازه‌ای مناسب کرد (شکل ۴).



شکل ۴. اقدامات سازه‌ای انجام شده در منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارنگان، ۱۳۹۹)

در محدوده روستاهای ابر، سرخدره و امامزاده قیطریه می توان به تجاوزات انجام شده به بستر و حریم رودخانه با توسعه زمین های کشاورزی و منازل مسکونی اشاره نمود. با احداث منازل مسکونی روستایی در حاشیه رودخانه، احتمال آسیب پذیری مستقیم در زمان وقوع سیلاب شدید وجود خواهد داشت. بازدید میدانی (شکل ۵) نشان داد که با توجه به عرض زیاد رودخانه در حاشیه این روستا، رودخانه به صورت رسوبگذار بوده و این امر موجب بالا آمدن تراز بستر در این منطقه شده است. با گذشت زمان این موضوع موجب کاهش ارتفاع بهینه دیوار و روگذری جریان سیلاب در مواقع سیلاب شدید از روی آن شده است، این امر تخریب و مدفون شدن اراضی در بخش هایی از مسیر خود را در پی داشته است. همچنین با توجه به عرض زیاد رودخانه و رسوب گذاری آن با گذشت سال ها جزایری در بستر رودخانه شکل گرفته و دارای کاربری کشاورزی می باشند. هر ساله با وقوع سیلاب های شدید این مناطق همواره در معرض خطر و آسیب قرار دارند. از طرف دیگر در بازه پایین دست این بازه با توجه به کاهش عرض، رودخانه حالت فرسایشی به خود گرفته و با توجه به فرسایش پذیری شدید بستر و کناره ها احتمال وقوع فرسایش کناری و احتمال آسیب به مناطق مسکونی و زراعی حاشیه رودخانه در مواقع شدید سیلاب وجود خواهد داشت.



شکل ۵. اثرات سیل در منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

## نتیجه گیری

بنابراین پهنه خطر سیل با دوره بازگشت های مختلف نشان می دهد که هر چه دوره بازگشت بالاتری مدنظر قرار گیرد سطح وسیع تری از اراضی تحت تاثیر سیل قرار می گیرد. نتایج مربوط به مدل HEC-RAC دلالت بر توانایی مدل در تعیین وضعیت هیدرولیک جریان در بازه مورد مطالعه داشته است.

در این مطالعه با استفاده از نرم افزار Arc-GIS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS سیلاب های حوضه آبخیز ابر در دوره بازگشت های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تلفیق این دو، روشی کارآمد و مناسب برای تعیین پهنه دشت سیلابی می باشد. با توجه به اقلیم منطقه مورد نظر بارندگی های شدید با مدت کم سبب بروز رواناب سطحی و آب گرفتگی می شوند. عواملی مانند شرایط آب و هوایی منطقه، تغییر کاربری اراضی و همچنین عدم تمهید امکانات محافظتی مناسب باعث ایجاد سیلاب های ناگهانی می شود. نتایج بدست آمده نشان داد رابطه استدلالی با خطای کمتر نسبت به سایر روش ها، روش مناسب تری برای برآورد دبی اوج سیلاب در حوضه مورد نظر بوده است.

محاسبات هیدرولیک جریان و سیل در وضع موجود نشان می‌دهد که در بیشتر مقاطع سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از مقطع اصلی رودخانه بالاتر رفته و در اطراف رودخانه پخش می‌شود. پهنه خطر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد که هر چه دوره بازگشت بالاتری مدنظر قرار گیرد سطح وسیع تری از اراضی تحت تاثیر سیل قرار می‌گیرد و GIS توانایی مناسبی در نمایش مدل HEC-RAC به منظور تعیین پهنه‌های سیلابی دارد. نتایج این تحقیق با مطالعات پورنوبی درزی و همکاران (۱۴۰۰) و پارسایی (۱۴۰۰) همخوانی دارد. همچنین اراضی زراعی که کنار این رودخانه قرار دارند تحت تاثیر وقوع سیل‌هایی با دوره بازگشت پایین (۲ ساله) قرار گرفته و این امر برای ساکنین این روستا و زمین‌های کشاورزی خطر آفرین خواهد بود. در ارتباط با پهنه‌بندی سیل‌گیری در حوضه با توجه به نقشه نهایی به دست آمده پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در پایین دست حوضه واقع گردیده‌اند و پهنه‌های با خطر کم نیز در اطراف حوضه واقع گردیده‌اند. که این امر با توجه به شیب کم حوضه در پایین دست و شیب بالا و نفوذپذیری کم حوضه در بالادست که از لحاظ زمین‌شناسی دارای سنگ‌های نفوذناپذیر می‌باشد، صادق است. بنابراین با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه، پایین دست حوضه باید سیل‌گیر و بالادست حوضه سیل‌خیزتر باشد که با توجه به پهنه‌بندی نهایی هم این امر صادق است. با توجه به نتایج بدست آمده و مطالعات انجام یافته بر روی منابع موجود و مشاهدات به عمل آمده در منطقه مورد مطالعه موارد زیر برای کاهش میزان خسارات ناشی از سیلاب پیشنهاد می‌شود: انجام اقداماتی مانند اجرای طرح‌های حفاظتی در جهت جلوگیری از فرسایش خاک، انجام عملیات پخش، ساماندهی رودخانه، یعنی ایجاد یک مسیر هیدرولیک پایدار برای جریان، ایجاد خاکریز یا دیواره طولی در اطراف رودخانه، جلوگیری از ورود بیش از حد رسوبات در رودخانه (هر سال باید قبل از شروع فصل بارندگی و بعد از خاتمه آن مسیر عبور جریان آب از ضایعات مانند تنه درختان قطع شده، لاشه اجسام بزرگ، زباله‌های روستایی و بعضاً نخاله‌های ساختمانی لایروبی گردد)، انحراف آب توسط کانال سیل بر، انحراف آب به زمین‌های مستعد که در حاشیه رودخانه‌ها (شرط اینکه زمین مناسب وجود داشته باشد) قرار دارد. پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- با توجه به شرایط سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه بهتر است مطالعاتی به منظور کاهش سیل‌خیزی انجام شود؛
- با توجه به نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه ملاحظه می‌شود که بخش زیادی از اراضی اطراف رودخانه‌ی مورد مطالعه زیر کشت رفته و به باغات و یا اراضی کشاورزی اختصاص دارد. مراتع و بیشه زارها نیز بصورت پراکنده در منطقه دیده می‌شوند. با توجه به نزدیکی و نحوه پراکندگی اراضی کشاورزی بهتر است اقدام به اصلاح و احداث سازه‌های محافظتی گردد. اصلاح و ساماندهی مسیر رودخانه می‌تواند سبب کاهش خسارت سیل و استفاده کارآمدتر از منابع آب شود. بنابراین بهتر است با در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه و همچنین رعایت اصول مهندسی سازه‌های مورد نیاز احداث شوند؛
- جلوگیری از تغییر کاربری‌ها به کاربری نامناسب و جلوگیری از تخریب مراتع جهت جلوگیری از افزایش تولید رواناب در حوضه. بنابراین توصیه می‌شود هر گونه تغییر کاربری اراضی در حوضه، براساس نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی تهیه شده، انجام شود. همچنین تقویت پوشش گیاهی در حوضه جهت کاهش رواناب و افزایش نفوذپذیری خاک امری ضروری است؛
- ایجاد سیستم هشدار سیلاب جهت هشدار به ساکنین محل، هنگام رخداد سیلاب؛
- ارائه آموزش‌های علمی و کاربردی به ساکنان حوضه در جهت حفظ و نگهداری و استفاده از پتانسیل حوضه و جلوگیری از تجاوز به حریم رودخانه؛ و
- تعیین مناطق ممنوعه در حریم رودخانه‌ها که روشی کاملاً مدیریتی است چون ممکن است سیلابها دارای دبی نباشند ولی با شیب فوق‌العاده بالا، قادرند به تأسیسات و مناطق مسکونی صدمه وارد کنند.

## منابع

ابراهیمی پور، مرضیه؛ زیاری، کرامت الله (۱۳۹۷): پهنه‌بندی زمین‌های شهری در برابر خطر ناشی از سیلاب با رویکرد تاب‌آوری کالبدی (مطالعه موردی: رودخانه چشمه کیله)، مجله نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، دوره ۱۱، شماره ۱، صص ۵۶-۳۹.

- احمدی، عبدالمجید (۱۳۹۸): تحلیل و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در مناطق خشک با استفاده از تحلیل‌های مکانی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز فرخی)، نشریه مطالعات جغرافیای مناطق خشک، دوره نهم، شماره سی و ششم، صص ۳۲-۴۳.
- پارسایی، عباس (۱۴۰۰): پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ها با استفاده از نرم افزارهای HEC-RAC و GIS (مطالعه موردی: رودخانه دشت سیلاخور، استان لرستان)، نشریه علوم و فنون سازندگی، شماره ۲، صص ۸۷-۱۰۲.
- پورنبی درزی، سمیه؛ وفاخواه، مهدی؛ رجبی، محمد رسول (۱۴۰۰): پهنه بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی-HEC-RAC و ArcGIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چشمه کیله شهرستان تنکابن)، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۲۸، صص ۱۵-۲۸.
- پناهی، رویا؛ حسین زاده، محمد حسین؛ خالقی، سمیه (۱۳۹۸): پهنه‌بندی مخاطره‌ی سیلاب به منظور تعیین حریم رودخانه‌ها، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۶، شماره ۲، صص ۵۵۳-۵۶۷.
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ یاسی، مهدی؛ نیکجو، محمد رضا؛ رحیمی، مسعود (۱۳۹۷): پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAC (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهر چای)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۵، صص ۱-۱۵.
- زنگنه تبار، زهرا (۱۳۹۵): پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبریز زلیبر چای)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز. استاد راهنما: محمد رضا نیک جو.
- شفیعی مطلق، خسرو؛ عبادتی، ناصر (۱۳۹۹): پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAC (مطالعه موردی: رودخانه مارون- جنوب غرب ایران)، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، صص ۳۹۷-۴۰۹.
- جمال، عبدالرحیم؛ پروان، علی؛ والی زاده، داریوش؛ (۱۳۹۸): پهنه‌بندی خطر سیلاب در رودخانه ایرانشهر با استفاده از مدل سازی عددی دوبعدی و GIS، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، شماره ۴، صص ۸۳-۷۱.
- محمدی، میر علی؛ محمدی، فرناز؛ فاخری فرد، احمد؛ بیژنوند، سجاد (۱۳۹۹): استخراج منحنی فرمان پهنه‌بندی ریسک سیلاب مطالعه موردی: رودخانه‌های باراندوزچای ارومیه، مجله هیدروژئومورفولوژی، دوره ۷، شماره ۲، صص ۱۰۸-۸۷.
- Charrier, R. and Li, Y. (2010): Assessing resolution and source effects of digital elevation models on automated floodplain delineation: A case study forms the camp creek Watershed Missouri, *Applied Geography*, V.34, PP. 38-46.
- Demir, V., Kisi, O. (2016): Flood Hazard Mapping by Using Geographic Information System and Hydraulic Model: Mert River, Samsun, Turkey, *Advances in Meteorology* PP:1-9.
- 13-Hudson, P., Botzen, W. J. W., Kreibich, H., Bubeck, P., Aerts, J. C. J. H. (2014): Evaluating the effectiveness of Flood Damage Mitigation Measures by the Application of Propensity Score Matching, *Natural Hazards and Earth System Science*, 14(7), pp. 1731-1747.
- Jia, u., Wang, X., Naima, A., Hersi, M., Zhao, W. (2019): Flood-Risk Zoning Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Variable Set Theory, *Natural Hazards*, 20(3), PP.1-8.
- John, F., England, Jr., Pierre, Y., Julien, Mark, V. (2014): Physically-Based Extrim Flood Ferquency with Stochastic Storm Transposition and Pale Flood Data on Large Watersheds, *Journal of Hydrology* 510, PP. 228-245.
- Maidment, D.R., Tate, E.C. (1999): Floodplain mapping using HEC-RAC and ArcView GIS (Doctoral dissertation, Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin) , 215P.
- Markantonis, V., Meyer, V., Lienhoop, N. (2013): Evaluation of the Environmental Impacts of Extreme Floods in the Evros River Basin Using Contingent Valuation Method, *Natural Hazards*, 69(3), PP.1-15.
- Noman, N. S, Nelson, E.J., and Zundel, A.K. (2001): Review of Automated Floodplain delineation form digital terrain models. *Journal of Water Resources Planning and Management* 127(6), PP. 394-402.
- ShahiriParsa, A. Noori, M. Heydari, M. Rashidi, M. (2016): Floodplain Zoning Simulation by Using HEC-RAS and CCHE2D Models in the Sungai Maka River, *Air, Soil and Water Research*, 9, pp. 55-62.
- Silva, F. V. Bonuma, V., N. B. Uda, P. K. (2014): Flood Mapping in Urban Area Using Hec-Ras Model Supported by GIS, *International Conference on Flood Management*, 9pp.
- Suriya, S. and Mudgal, B.V. (2011): Impact of urbanization on flooding: the thirusoolam sub watershed- A case study. *Journal of Hydrology*, V. 412-413, PP. 210-219.

Wilby, R., L., Keenan, R. (2012): Adapting to flood risk under climate change. *Progress in physical Geography*,36(3), PP.1-32.