

نقش زیر حوضه‌های مشرف به شهر در وقوع سیلاب شهری در شهر ایذه (خوزستان)

مریم رشیدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
محمد مهدی حسین زاده^۱ - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۴/۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۱

چکیده

فعالیت بشر به شکل‌های گوناگون احتمال وقوع سیل را افزایش داده است، در کشور ایران، تنوع آب و هوایی و شرایط خاص جغرافیایی، زمینه پیدایش و شکل‌گیری انواع مخاطرات طبیعی را فراهم ساخته است. قرار گرفتن شهرها و روستاهای ایران در مناطق کوهپایه‌ای، از میان رفتن پوشش گیاهی، رعایت نکردن حریم امنیتی رودخانه‌هایی که غالباً از میان و یا کنار شهرها می‌گذرند، ساخت‌وسازهای بی‌رویه در مسیر رودخانه‌ها، زیر کشت بردن اراضی کنار رودخانه‌ها و سایر عوامل مشابه، از دلیل اصلی وقوع جریان‌های سیلابی است. شهر ایذه هر ساله شاهد سیلاب‌های عظیم شهری است که خسارت‌های زیادی به شهر وارد شده است. در راستای بررسی این سیلاب‌ها، حوضه‌های مشرف به شهر مورد بررسی قرار گرفته است شماره منحنی (CN) از روی مشخصات خاک، نوع بهره‌وری از زمین و شرایط رطوبت قبلی خاک در محیط نرم‌افزار GIS تهیه گردید و شدت و مدت بارش‌های منطقه با استفاده از مدل قهرمان در دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه و سپس با استفاده از نرم‌افزار SCS دبی اوج در هر دوره بازگشت محاسبه گردید. نتایج تحقیق نشان داد که با توجه به دبی اوج با شدت‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، حوضه تپه شهدا بیشترین میزان حجم رواناب را به سمت شهر گسیل کرده و بیشترین نقش را در وقوع سیلاب شهری ایذه داشته است و پس از آن حوضه الهک نقش بسزایی در وقوع سیلاب و آبگرفتگی معابر شهر ایذه داشته است. همچنین سیلاب‌های ایجاد شده توسط حوضه شیخان بیشترین آسیب را به زمین‌های کشاورزی وارد می‌سازد. از عوامل مهم تأثیرگذار بر ایجاد این سیلاب‌ها تغییر بستر طبیعی رودخانه به کانال‌های مصنوعی بدون در نظر گرفتن ظرفیت دبی و عدم افزایش ظرفیت کانال‌ها از بالادست به سمت ورود به شهر است. در مسیرهای مختلف جریان‌های متعددی به کانال اضافه می‌شود و حجم دبی را چند برابر می‌کند در صورتی که حجم کانال ثابت باقی مانده است.

واژگان کلیدی: سیلاب شهری، بارش-رواناب، شهر ایده، شماره منحنی، مدل scs flood

۱- مقدمه

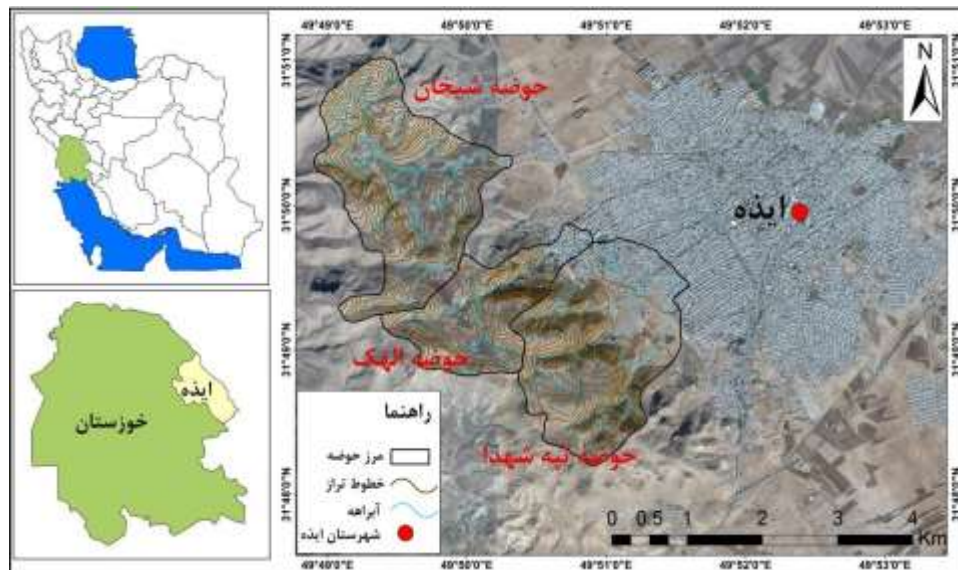
در بین تمام مخاطرات طبیعی سیلاب‌ها بیشترین تعداد را دارند و بیشترین تأثیر را بر زندگی مردم در سطح جهانی می‌گذارند. خطر سیل در مناطق شهری بسیار زیاد است. بهبود مدیریت خطرات سیلاب شهری تقریباً در تمام دولت‌ها به اولویت اصلی تبدیل شده است. طراحی مناسب و ارزیابی اقدامات برای تقویت مقاومت در برابر سیلاب شهر باید بر اساس تجزیه و تحلیل طیف وسیعی از سناریوها باشد، که در آن شرایط مختلف هیدرومتئولوژی و گزینه‌های مدیریت مورد آزمایش قرار می‌گیرند (mignot & Dewals, 2019). تغییرات اقلیمی و افزایش شهرنشینی، چالش‌های بزرگی در مدیریت برنامه‌ریزی شهری برای یک آینده پایدار ایجاد می‌کنند. مدل‌های بارش رواناب برای توصیف رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز به کار برده می‌شود، که یکی از این روش‌ها، محاسبه حجم رواناب حاصل از بارندگی با استفاده از شماره منحنی CN یک روش شناخته شده بین‌المللی است که این روش در سال ۱۹۵۴ توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) پیشنهاد گردید. تغییر کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در ایجاد سیلاب دارند. (Stephan, ۲۰۰۴). با تلفیق اطلاعات سنجش‌ازدور می‌توان نقشه‌هایی با توان تفکیک بالا که برای پهنه‌بندی سیلاب در مناطق وسیع مفید می‌باشند، به دست آورد (Coldtz & Hodson, ۲۰۰۳). عوامل اقلیمی (شدت بارندگی، نوع بارش و دمای هوا) تأثیر مهمی در چگونگی سیل (شدت و دوام) در ارتباط با ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه (شکل حوضه، جنس زمین، شیب و کاربری اراضی) دارد (pilipe et al, ۲۰۰۶). در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه می‌توان بعد از محاسبه ارزش CN با داده‌های بارش رواناب، تفاوت سیستماتیک - بین محاسبه CN و عمق بارش را در نظر گرفته و برای تعیین ارزش پارامتر SCS-CN از داده‌های بارش رواناب، حوضه‌های همگن استفاده و با بهره‌گیری از داده‌های بارش - رواناب از سنجش‌ازدور و تکنیک GIS به منظور ارائه اطلاعات و ویژگی‌های فضایی حوضه آبخیز و نمایش رفتار هیدرولوژیکی حوضه استفاده کرد. (Konstantinost & John, ۲۰۱۳). در بررسی سیلاب می‌توان ۳ محرک اصلی را برای تعریف تاب‌آوری خطر سیل در نظر گرفت: ۱- توانایی سیستم زهکشی برای مقاومت و ارائه خدمات به‌طور مداوم در طول زمان ۲- توانایی یک منطقه شهری برای بهبود بعد از سیلاب ۳- قابلیت سیستم‌های شهری برای تخلیه سیلاب‌ها و بازگشت به حالت اول و در نهایت ۴ سناریو تدوین کرد: ۱- وضعیت کنونی ۲- در نظر گرفتن وضعیت کنونی با توجه به اقدامات کنترل پایدار سیل ۳- وضعیت آینده با زیرساخت‌های مشابه امروز ۴- وضعیت آینده با اقدامات کنترل سیل (Bertilsson, ۲۰۱۸). شماره منحنی نسبت به سایر عوامل بیشترین تأثیر را بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف دارد. هرچند که مقدار بارش نیز تأثیر زیادی بر دبی اوج دارد و شدت این تأثیر با افزایش شماره منحنی بیشتر می‌شود (ملکی نژاد و کوثری، ۱۳۸۷). با استفاده از شماره منحنی به‌عنوان پارامتر اصلی در معادلات SCS می‌توان به برآورد رواناب حوضه‌های فاقد آمار پرداخت و با استفاده از روش بهینه‌سازی استوکاستیک

در چهارچوب معادلات SCS رواناب را برآورد کرد (شهبازی و خلیلی، ۱۳۸۸). میزان مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل خروجی با مساحت آنها رابطه مستقیم ندارد و لزوماً زیر حوضه‌ای که مساحت بزرگ‌تر و یا دبی اوج بیشتری داشته باشد، در سیل خروجی کل حوضه تأثیر بیشتری ندارد بلکه اثر متقابل عوامل مؤثر مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و نقش روندیابی در رودخانه اصلی و نقش شاخص‌های مورفومتری کانال رود نیز می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۱). گسترش فعالیت‌های سازه‌ای و کشاورزی طی سالیان اخیر باعث محدود گشتن حریم و بستر رودخانه شده و امکان نفوذ سیل در اراضی اطراف بیشتر می‌گردد (لشکری و همکاران، ۱۳۹۲). در مناطقی مانند حوضه کشار در تهران که دارای خاک‌هایی با نفوذپذیری کم است، توانایی تولید رواناب آنها نسبتاً زیاد است و در شرایطی مانند وقوع رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت، ریزش باران‌های طولانی مدت همزمان با بالا رفتن درجه حرارت و ذوب شدید برف، بیشتر در معرض سیلاب قرار می‌گیرند (حسین زاده و نوروزی، ۱۳۹۶). شهرنشینی باعث افزایش سیل و افزایش سطوح نفوذناپذیر و تغییر مسیرهای جریان می‌شود (Bertilsson et al, 2018). از جمله مباحث مهم و حیاتی در مطالعات هیدرولوژی، مبحث سیل و سیل‌خیزی است. تخریب زمین‌های مستعد کشاورزی به علت آب‌گرفتگی متناوب، فرسایش خاک و رسوب‌گذاری در قسمت‌هایی که به طرق گوناگون مورد استفاده بشر بوده و ورود رواناب‌های ناشی از بارندگی در سطح شهر از جمله این مشکلات است. همچنین تخلیه فاضلاب شهری نیز می‌تواند منجر به وقوع سیلاب‌های جدید گردد (Huang et al, ۲۰۱۸). شهرستان ایذه به دلیل قرار گرفتن در منطقه اقلیمی که بارش‌های آن بیشتر به صورت رگباری است هر ساله شاهد سیلاب‌هایی با دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد. با توجه به آمار بارش‌های ۲۴ ساعته که در ایستگاه سینوپتیک ایذه با شدت‌هایی مانند ۹۹ میلی‌متر در سال ۱۳۹۲، ۴۵ میلی‌متر در سال ۱۳۹۵، ۴۳ میلی‌متر در سال ۱۳۹۷ به ثبت رسیده است، از نظر اقلیمی شهر را مستعد سیلاب کرده است. شرایط فیزیوگرافی شهرستان و حوضه‌های مشرف به شهر مانند فقر پوشش گیاهی، گسترده‌گی برون زدگی‌های سنگی که باعث کوتاه شدن زمان تمرکز و ایجاد رواناب‌هایی با شدت زیاد شده است و همچنین از دیدگاه شهری تخریب کانال‌های طبیعی و محدود کردن آنها، سازه‌های غیرقابل نفوذ و تغییر کاربری اراضی شرایط لازم را برای ایجاد سیلاب در شهر را فراهم کرده است. در ۱۰ سال اخیر با وقوع بارندگی‌هایی حتی با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ ساله، سیلاب‌هایی با شدت زیاد ایجاد شده است. با توجه به گسترش غیراصولی شهر ایذه، مشکلات ناشی از سیلاب باعث ایجاد خسارات مالی و جانی فراوانی گردیده است و هر ساله شاهد حجم زیادی از سیلاب و آب‌گرفتگی معابر می‌باشد. از جمله این سیلاب‌ها می‌توان به سیلاب‌های مرداد و دی‌ماه ۱۳۷۹ (مجموع خسارت ۱۵/۴۸۰ میلیون ریال)، آذر و بهمن ۱۳۸۱ (۸۷۰ میلیون ریال)، اسفند (۴/۳۷۰۰۰۰۰۰۰۰ میلیون ریال) ۱۳۸۳، آذر ۱۳۸۴، آذر ۱۳۹۲، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۷ اشاره کرد (فرمانداری ایذه: ۱۲-۱۶)؛ بنابراین این مطالعه به دنبال علل وقوع و تشدید سیلاب‌ها در شهر ایذه می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و بین طول‌های جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی تا ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی قرار دارد. دشت ایذه حوضه آبگیر مسدودی است که کلیه آب‌های سطحی از اطراف به سمت دو تالاب وسیع در شمال و جنوب شرقی آن به نام‌های میانگران و آب بندان وارد می‌شوند. از لحاظ زمین‌شناسی دشت ایذه یک پولیه می‌باشد و عوارض و پدیده‌های ژئومورفیک کارست به‌خوبی در آن قابل مشاهده می‌باشد. شهرستان ایذه در داخل ناودیس بسته‌ای با محور شمال غربی - جنوب شرقی قرار دارد. تقریباً ۷۰ درصد منطقه از نهشته‌های کواترنری تشکیل شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۴۷۰ متر محاسبه شده است. متوسط بارش در منطقه با توجه به داده‌های ایستگاه ایذه ۶۳۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد است (شرکت مهندسی مشاور قطر آب سازه، ۱۳۸۸). محدوده مورد مطالعه حوضه‌های آبخیز واقع در دامنه‌های جنوب غربی شهر می‌باشد؛ که در تقسیمات اداره منابع طبیعی جزو حوضه شهری ایذه محسوب می‌گردند و شامل سه زیرحوضه شیخان، الهک و تپه شهدا است. (شکل ۱) مشخصات فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	مساحت (Km ²)	محیط (Km)	بیشترین ارتفاع (M)	کمترین ارتفاع (M)	تراکم زهکشی	طول بزرگترین آبراهه (M)	ضریب ناهمواری	میانگین شیب (%)	ضریب فشردگی
الهک	۲	۷/۴۸	۱۳۷۰	۹۷۰	۳/۰۵	۲۹۰۰	۰/۱۳	۱۱	۱/۵
تپه شهدا	۳/۸	۸/۱	۱۳۷۰	۹۷۰	۳/۵۴	۲۸۰۰	۰/۱۴	۱۳	۱/۱۷
شیخان	۴	۹/۹۹	۱۳۳۰	۹۷۰	۴/۴۷	۲۵۰۰	۰/۱۴	۲۵	۱/۴

۲-۲- روش پژوهش

ابتدا مدل ارتفاعی رقومی منطقه با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر از سایت vertex.daac.asf.alaska.edu دریافت شد سپس با استفاده از نرم‌افزار wms آبراهه‌های منطقه استخراج و مرز حوضه‌ها بسته شد. نقشه کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تهیه گردید. سپس بازدیدهای میدانی از منطقه جهت برداشت مقاطع عرضی، اندازه گیری سرعت جریان، شیب رودخانه و مشاهده مناطقی که هنگام بارندگی دچار آبگرفتگی و سیلاب می‌شوند انجام شد. همچنین نمونه برداری رسوب جهت بررسی بافت خاک برای مشخص نمودن گروه هیدرولوژیکی خاک انجام گردید و نمونه‌ها به آزمایشگاه ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی منتقل و بررسی‌های لازم انجام شد. شماره منحنی (CN) از روی مشخصات خاک، نوع بهره‌وری از زمین و شرایط رطوبت قبلی خاک تهیه گردید. همچنین با استفاده از نرم افزار SCS Flood Calculator و با استفاده از داده‌های مساحت حوضه، میانگین بارش و مدت آن، شماره منحنی، طول رود و شیب آن مقادیر دبی اوج و زمان آن برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه گردید. برای محاسبه زمان تمرکز حوضه از دو روش تجربی کریچ و کالیفرنیا استفاده گردید (مهدوی، ۱۳۹۰). رابطه ۱ و ۲ پارامترهای قابل محاسبه در این دو روش را نشان می‌دهند.

$$T_c = .0195L^{.77} S^{.385}$$

رابطه ۱: فرمول کریچ

این رابطه برای محاسبه زمان تمرکز در حوضه‌های کوچک ارائه شده است و همان گونه که در رابطه ۱ نشان داده شده برای محاسبه زمان تمرکز (Tc) بر حسب دقیقه از خصوصیات فیزیکی طول (L بر حسب متر) و شیب آبراهه (S بر حسب متر بر متر) استفاده شده است.

$$T_c = \left(.885 \frac{L^3}{H} \right)^{.385}$$

رابطه ۲: فرمول کالیفرنیا

این رابطه نیز به فراوانی برای برآورد زمان تمرکز حوضه‌ها مخصوصاً در حوضه‌های بزرگ استفاده می‌شود (مهدوی، ۱۳۸۴) و به صورت زیر می‌باشد: که در آن L طول بزرگترین آراهه حوضه به کیلومتر، H اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه آبراهه به متر است. به‌منظور برآورد سیل خیزی کانال‌های شهری، در ابتدا از طریق مازول برنامه نویسی شده در نرم‌افزار اکسل به تهیه نیمرخ عرضی و پارامترهای هندسی کانال مانند عرض، عمق، ضریب مانینگ، محیط خیس و ویژگی‌های هیدرولوژیک هر یک از مقاطع شامل سرعت جریان و دبی اقدام گردید. پس از آن برای محاسبه مقدار شدت-مدت بارش در دوره بازگشت‌های مختلف از روش قهرمان و آبخضر (۱۳۸۳) استفاده شد. رابطه ۳ پارامترهای قابل محاسبه را نشان می‌دهند.

$$R_t^T = At^B [a_1 + a_2 * \ln(T - a_3)] R_{60}^{10} \quad \text{رابطه ۳:}$$

که R_t^T : بارش با دوره بازگشت و زمان موردنظر است، T دوره بازگشت و t زمان به دقیقه است. a_1, a_2, a_3 و A, B ضرایب ثابت هستند که در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. R_{60}^{10} بارش برای دوره بازگشت ۱۰ ساله و زمان ۶۰ دقیقه است، برای به دست آوردن R_{60}^{10} از رابطه ۲ استفاده شد.

$$R_{60}^{10} = e^{2.49} * map^{-0.633} * (R_{1440}^2)^{1.16} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در این رابطه، e عدد نپر با مقدار ۲٫۷۱، map میانگین بارش سالانه به میلی‌متر است و R_{1440}^2 میانگین حداکثر بارش روزانه است (قهرمان و آبخضر، ۱۳۸۳).

جدول ۲- ضرایب ثابت A و B ، برای مقدار-مدت بارش (قهرمان و آبخضر، ۱۳۸۳)

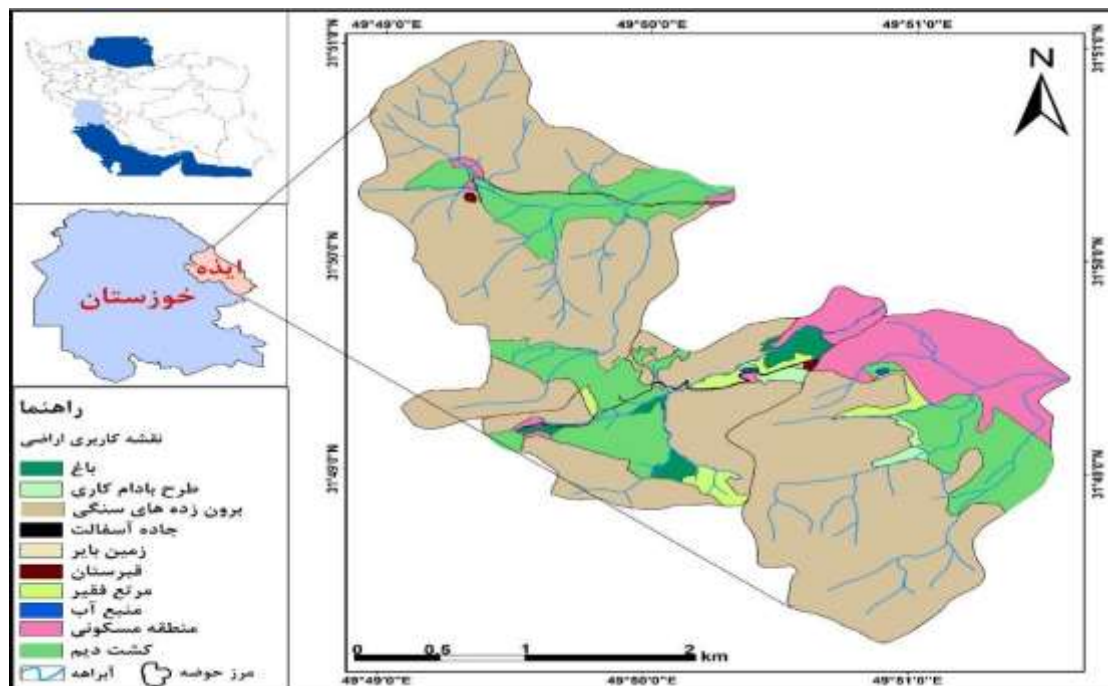
زمان	A	B
≤ 1	۰/۱۲۹۹	۰/۴۹۵۲
≤ 2	۰/۱۳۷۲	۰/۴۷۷۸
≤ 9	۰/۱۵۸۹	۰/۴۳۶۱

جدول ۳- ضرایب ثابت a_1, a_2, a_3 در رابطه ۱ (قهرمان و آبخضر، ۱۳۸۳)

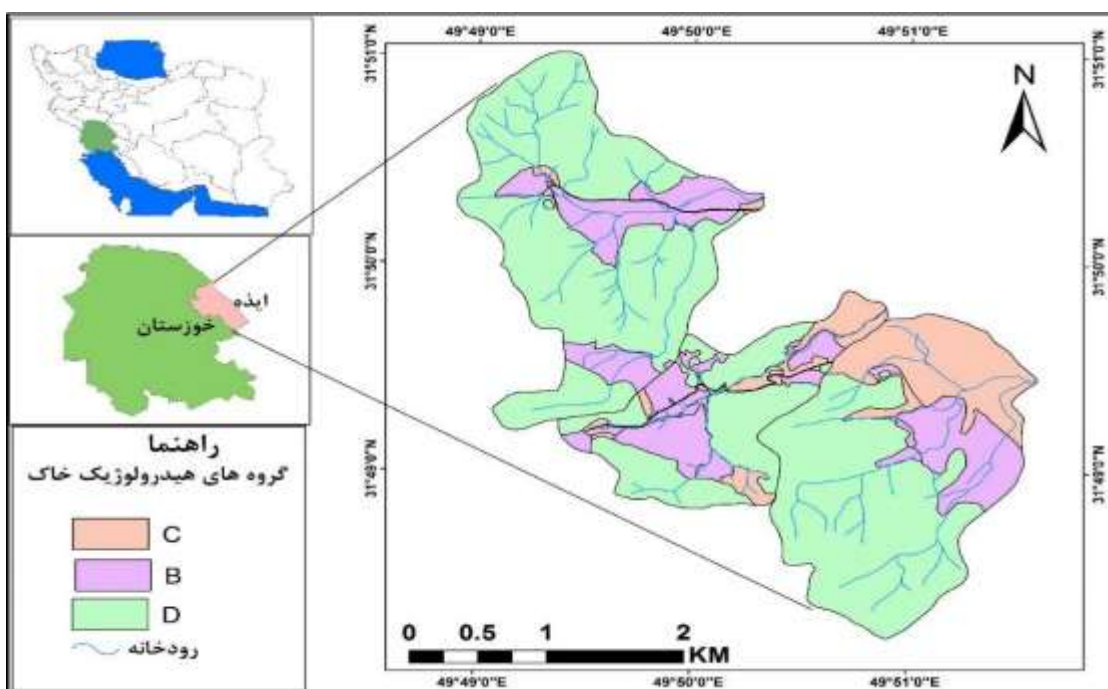
پارامتر	≤ 2	> 2
a_1	۰/۴۶۰۸	۰/۵۵۶۵
a_2	۰/۲۳۴۹	۰/۱۹۴۸
a_3	۰/۶۲	۰/۸

۳- نتایج و بحث

در اولین مرحله ضریب رواناب هریک از از زیر حوضه‌های مشرف به شهر ایذه محاسبه گردید. برای انجام این کار در ابتدا نقشه کاربری اراضی و وضعیت هیدرولوژیکی اراضی در هر یک از زیر حوضه در محیط نرم‌افزاری GIS تهیه گردید (شکل ۲). این وضعیت بیانگر توان ایجاد رواناب در یک منطقه است. در اراضی کشاورزی نحوه کشت و عملیات اصلاحی تعیین کننده وضعیت هیدرولوژیکی است. در اراضی مرتعی به دو روش می‌توان وضعیت هیدرولوژیکی خاک را تعیین نمود: ۱- بر حسب شدت و تراکم پوشش گیاهی ۲- بر حسب تراکم پوشش و وزن مواد خشک (مهدوی، ۱۳۹۰). به منظور تعیین گروه هیدرولوژیکی هر یک از زیر حوضه‌ها با استفاده از نمونه برداری‌های انجام شده جهت مشخص نمودن بافت خاک و لایه کاربری اراضی، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی زیر حوضه تهیه گردید. در این رابطه سازمان حفاظت خاک، خاک‌ها را به چهار گروه هیدرولوژیک A، C+B و D که به ترتیب بر اساس کاهش نفوذپذیری تقسیم بندی کرده است (مهدوی، ۱۳۹۰). گروه A شامل خاک‌هایی است که پتانسیل تولید رواناب ضعیف دارند. این خاک‌ها بافت سبک داشته و حتی در مواقعی که کاملاً مرطوب‌اند نفوذپذیری بالایی دارند. خاک‌های عمیق شن و قلوه سنگ را شامل می‌شوند نظیر ماسه، ماسه لومی و لوم ماسه‌ای، توان تولید رواناب در این خاک‌ها ضعیف است. در محدوده مورد مطالعه این گروه خاک وجود ندارد. گروه B شامل خاک‌هایی است که وقتی مرطوب‌اند نفوذپذیری متوسط دارند. این خاک‌ها بافت نسبتاً ریز تا درشت داشته و دارای زهکشی متوسط تا خوب و آبگذری متوسط و پتانسیل تولید رواناب متوسط می‌باشد. شامل لوم و لوم سیلتی می‌باشند. ۴۹/۷۹ کیلومتر مربع از مساحت منطقه در گروه هیدرولوژیکی B قرار گرفته‌اند. گروه C شامل خاک‌هایی است که وقتی مرطوب‌اند و نفوذپذیری کم دارند غالباً دارای لایه‌ای است که مانع نفوذ آب به قسمت‌های پایین‌تر می‌شود و دارای بافت ریز تا نسبتاً ریز است که آبگذری کمی داشته و پتانسیل تولید رواناب نسبتاً زیاد دارند و شامل لوم ماسه‌رسی می‌باشند. ۵۷/۴۴ کیلومتر مربع از مساحت منطقه مورد مطالعه در این گروه قرار گرفته است. گروه D شامل خاک‌هایی است که وقتی مرطوب می‌باشند نفوذپذیری کمی دارند و خاک‌هایی رسی که دارای یک سفره آب دائمی در نزدیکی سطح زمین است و یا خاک‌های با لایه غیر قابل نفوذ رس در زمین و یا در نزدیکی سطح زمین و یا خاک‌هایی خیلی کم عمق که بر روی لایه غیر قابل نفوذ از نوع سنگ مادر می‌باشند را شامل می‌شود. این خاک‌ها پتانسیل تولید رواناب زیادی دارند و قسمت‌های سنگی، سیمانی و بتونی و آسفالتی را نیز در بر می‌گیرد و شامل لوم رسی، لوم رسی سیلتی، رس ماسه‌ای، رس سیلتی و رس می‌باشد (مهدوی، ۱۳۹۰). بیشترین مساحت منطقه ۵۹/۳ کیلومتر مربع به دلیل وجود برونزدگی‌های سنگی مربوط به این گروه می‌باشد (شکل ۳)



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- گروه های هیدرولوژیکی خاک

سپس برای تهیه نقشه شماره منحنی و تکمیل اطلاعات رطوبت پیشین خاک مورد بررسی قرار گرفت. از عوامل مهم در کاهش شدت نفوذ و در نتیجه افزایش رواناب، رطوبت قبلی خاک می‌باشد و توان خاک جهت نفوذ، هنگامی بیشترین مقدار خود را دارد که خاک خشک باشد. در روش شماره منحنی، تغییرات S در رابطه با وضعیت رطوبت پیشین خاک A.M.C بررسی شده و سه حالت در نظر گرفته شده است. در حالت اول مقدار S حداکثر بوده و خاک رطوبت کمی دارد و توان تولید رواناب آن ضعیف است. در حالت دوم خاک رطوبت متوسطی دارد و در حالت سوم مقدار S کمترین حد بوده و تقریباً اشباع است و توان تولید رواناب آن زیاد است. شرایط رطوبت قبلی خاک را می‌توان از جدول ۴ و بر اساس مجموع بارندگی طی مدت پنج روز قبل از روز مورد نظر بدست آورد- (مهدوی، ۱۳۹۰) جدول ۵ وضعیت رطوبت اولیه خاک را در ۹ واقعه بارشی انتخابی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴- وضعیت رطوبت پیشین خاک (مهدوی، ۱۳۹۰)

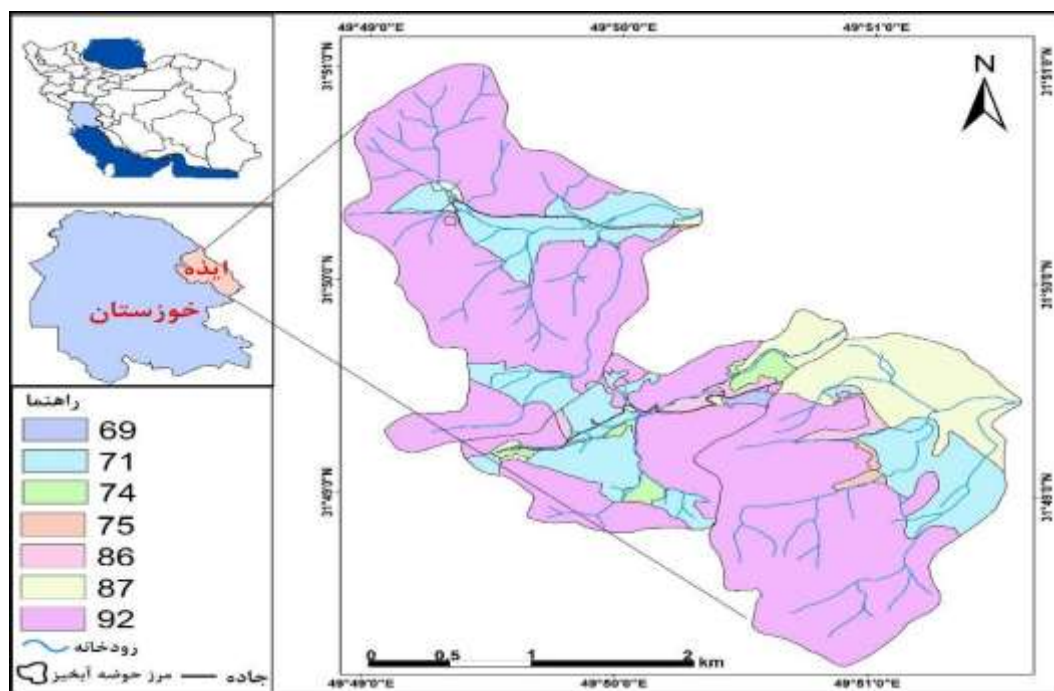
گروه رطوبتی	فصل رشد	فصل خواب
۱	کمتر از ۳۶ میلی‌متر	کمتر از ۱۳ میلی‌متر
۲	۳۶-۵۳ میلی‌متر	۱۳-۲۸ میلی‌متر
۳	بیش از ۵۳ میلی‌متر	بیش از ۲۸ میلی‌متر

جدول ۵- وضعیت رطوبت اولیه خاک در ۹ واقعه بارشی انتخابی در منطقه مورد مطالعه

مقدار بارش	۲۵ فروردین ۱۳۹۵	۶ دی ۱۳۹۵	۱۲ آذر ۱۳۹۵	۲ آذر ۱۳۹۶	۳۰ بهمن ۱۳۹۶	۶ اسفند ۱۳۹۶	۲۴ فروردین ۱۳۹۷	۴ اردیبهشت ۱۳۹۷	۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۷
	۰	۰	۴	۵	۰	۲۳	۱/۵	۲۱/۱	۰
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۰	۵/۵	۳	۰	۰
	۰	۰/۱	۰	۰	۷	۰	۰/۲	۰	۰
	۲	۸	۰	۲۵	۲۴	۸	۱۳	۱۵/۴	۳۹
	۳۲	۴۵/۰۱	۴۰	۲۵	۴۱	۳۲	۴۳	۳۳	۴۱
مجموع بارش ۵ روز قبل	۲	۸/۱	۴	۳۰	۳۱	۳۶/۵	۱۷/۷	۳۶/۵	۳۹
گروه‌های رطوبتی	گروه ۱	گروه ۱	گروه ۱	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۳	گروه ۱	گروه ۱

در مرحله بعد با استفاده از کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و با استفاده از جدول‌های مربوط به شماره منحنی (مهدوی، ۱۳۹۰) برای هر یک از زیرحوضه‌های مشرف به شهر شماره منحنی

استخراج و نقشه CN تهیه گردید. نقشه CN حوضه در واقع نشان دهنده میزان نفوذپذیری حوضه می باشد. چنانچه مشاهده می شود قسمت اعظم حوضه در بالادست به دلیل وجود سازند آهک آسماری دارای برون زدگی های سنگی می باشد که کمترین نفوذ پذیری را دارد؛ و در نقشه مذکور بالاترین شماره منحنی ۹۲ به این منطقه اختصاص یافته است. پس از آن گروه هیدرولوژیکی C می باشد که مناطق مسکونی و سطوح غیرقابل نفوذ مثل جاده ها را شامل می شود و دارای شماره منحنی ۸۷ می باشد. سایر شماره منحنی ها در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد.



شکل ۴- نقشه شماره منحنی CN منطقه مورد مطالعه

۳-۱- تخمین دبی اوج

بر اساس روش قهرمان در شدت های مختلف مقدار بارش قابل انتظار محاسبه گردید. شدت های انتخاب گردید که منطبق با زمان تمرکز حوضه می باشند. زمان تمرکز حوضه محاسبه شده با استفاده از فرمول کریچ و کالیفرنیا در زیرحوضه ها بین ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه متفاوت بوده است. با توجه به این تفاوت سناریوهایی با شدت ۳۰ دقیقه، ۶۰ دقیقه و ۱۲۰ دقیقه انتخاب گردید و برای هر یک از این سناریوها مقدار حداکثر بارش در دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه گردید (جدول ۶). با توجه به اینکه در این مطالعه نیاز به مقدار دبی اوج وجود داشت بر اساس مقدار بارش بدست آمده در دوره بازگشت های مختلف، مساحت هر یک از زیرحوضه ها و مقدار

میانگین CN منطقه در نرم‌افزار SCS برای هر یک از شدت‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف دبی اوج محاسبه گردید (جدول ۷).

جدول ۶- مقدار بارش در زمان‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت به سال						زمان به دقیقه
۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	
۲۸/۷۳	۲۵/۶۷	۲۱/۷	۱۸/۳۹	۱۵/۰۵	۹/۹۹	۳۰
۴۰/۵۰	۳۶/۱۸	۳۰/۴۱	۲۵/۹۳	۲۱/۲۲	۱۴/۰۹	۶۰
۵۲/۳۰	۴۷/۴۰	۴۰/۸۰	۳۵/۶۰	۳۰/۰۹	۲۱/۳	۱۲۰
۶۰/۰۱	۵۴/۳۵	۴۶/۸۰	۴۰/۸۷	۳۴/۵۶	۲۴/۴۷	۱۸۰
۷۸/۸۴	۷۴/۶۳	۶۱/۴۷	۵۳/۷۰	۴۵/۴۰	۳۲/۱۴	۳۶۰

جدول ۷- مقدار دبی اوج بدست آمده در دوره بازگشت‌های مختلف

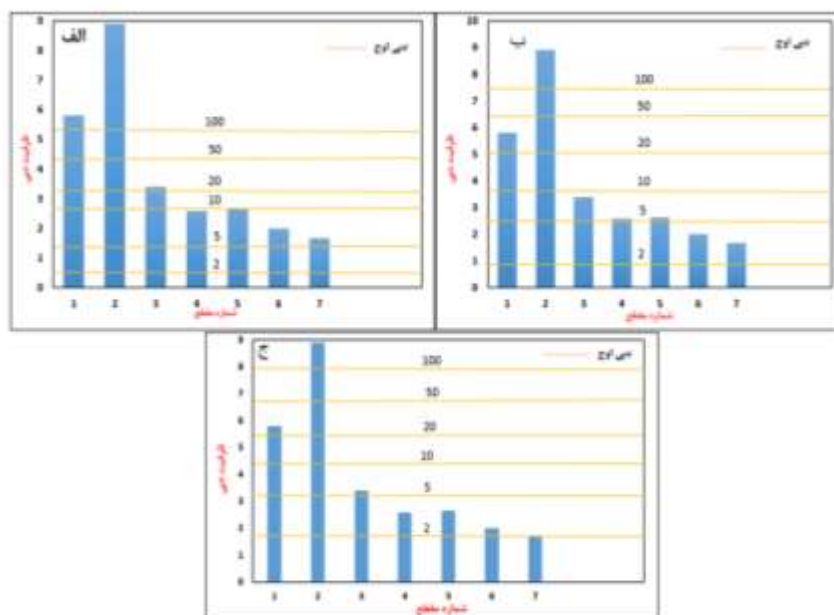
دوره بازگشت (سال)							نام حوضه
۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	زمان (دقیقه)	
۵/۳۲۸	۴/۳۵۸	۳/۱۷۳	۲/۲۶۴	۱/۴۴۵	۰/۴۷۰	۳۰	الهک
۷/۴۸۰	۶/۲۶۱	۴/۶۹۶	۳/۵۴۷	۲/۴۲۶	۰/۹۸۵	۶۰	
۷/۸۱۳	۶/۷۷۰	۵/۳۹۸	۴/۳۵۲	۴/۳۵۲	۳/۲۹۰	۱۲۰	
۱۵/۰۵۶	۱۲/۳۱۷	۸/۹۶۷	۶/۳۹۹	۴/۰۸۴	۱/۳۲۷	۳۰	شیخان
۱۹/۵۲۰	۱۶/۳۴۰	۱۲/۲۵۵	۹/۲۵۷	۶/۳۳۲	۲/۵۶۹	۶۰	
۱۸/۷۵۱	۱۶/۲۴۷	۱۲/۹۵۵	۱۰/۴۴۵	۷/۸۹۷	۴/۱۸۵	۱۲۰	
۱۲/۹۱۱	۱۰/۵۶۲	۷/۶۸۹	۵/۴۸۷	۳/۵۰۲	۱/۱۳۸	۳۰	تپه شهدا
۱۷/۱۴۴	۱۴/۳۵۱	۱۰/۷۶۴	۸/۱۳۱	۵/۵۶۱	۲/۲۵۶	۶۰	
۱۶/۸۶۳	۱۴/۶۱۲	۱۱/۶۵۱	۹/۳۹۴	۷/۱۰۲	۳/۷۶۴	۱۲۰	

۳-۲- تحلیل پتانسیل وقوع سیل در حوضه‌های مشرف به شهر

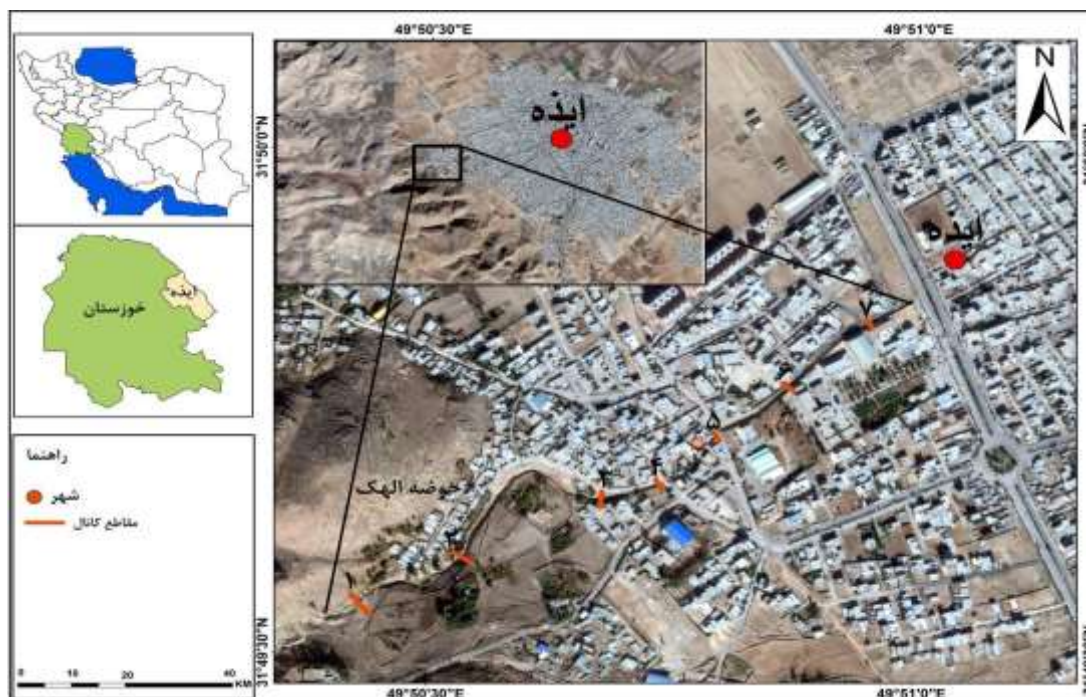
۳-۲-۱- حوضه الهک

ظرفیت دبی عبوری کانال در ۷ مقطع در حوضه الهک از بالادست به سمت ورودی کانال‌ها به شهر اندازه‌گیری شد (شکل ۵). دبی اوج در این حوضه با بارش‌هایی با مدت ۳۰ دقیقه و دوره بازگشت ۲ و ۵ ساله در هیچ‌کدام از مقاطع کانال ایجاد سیلاب نخواهد داشت. در دوره بازگشت ۱۰ ساله در مقاطع ۴، ۶ و ۷ دبی اوج محاسبه شده از

ظرفیت کانال بیشتر می‌باشد در نتیجه در این مقاطع از کانال با این دوره بازگشت، بیرون زدگی آب و ایجاد سیلاب وجود خواهد داشت. در مقاطع ۶، ۵، ۴ و ۷ در بارش‌های با دوره بازگشت ۲۰ ساله ظرفیت کانال از دبی اوج محاسبه شده کمتر می‌باشد و در نتیجه در این مقاطع ایجاد سیلاب وجود دارد. دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز بجز در مقاطع ۱ و ۲ (به دلیل طبیعی بودن بستر در بالادست و شیب زیاد بستر و در نتیجه سرعت بالای جریان) دبی اوج از ظرفیت همه مقاطع بیشتر بوده و در نتیجه بیرون زدگی جریان به صورت سیلاب در این مقاطع وجود دارد. (شکل ۵ الف) در بارش‌های با مدت ۶۰ دقیقه در دوره بازگشت ۲ ساله دبی اوج کمتر از ظرفیت کانال در همه مقاطع می‌باشد. در دوره بازگشت ۵ ساله از مقاطع ۶ و ۷ بیرون زدگی جریان وجود دارد. در دوره بازگشت ۱۰ و ۲۰ ساله مقاطع ۴، ۳، ۵، ۶ و ۷ ظرفیت کانال کمتر از دبی اوج می‌باشد در نتیجه بیرون زدگی جریان وجود دارد. دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله بجز در مقطع ۲ در بقیه مقاطع دبی اوج بیشتر از ظرفیت کانال است در نتیجه سیلاب ایجاد می‌گردد (شکل ۵ ب). در دوره بازگشت‌های با مدت ۱۲۰ دقیقه نیز حوضه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵ ج). در دوره بازگشت ۲ ساله دبی از مقطع ۷ بیرون زدگی خواهد داشت. دوره بازگشت ۵ ساله، دبی اوج از ظرفیت مقاطع ۴، ۵، ۶ و ۷ بیشتر است و در نتیجه در این مقاطع ایجاد سیلاب وجود دارد. دوره بازگشت‌های ۱۰ و ۲۰ ساله از مقاطع ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ بیشتر می‌باشد؛ و در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز از همه مقاطع بجز مقطع ۲ دبی اوج بیشتر از ظرفیت مقاطع می‌باشد (شکل ۶)



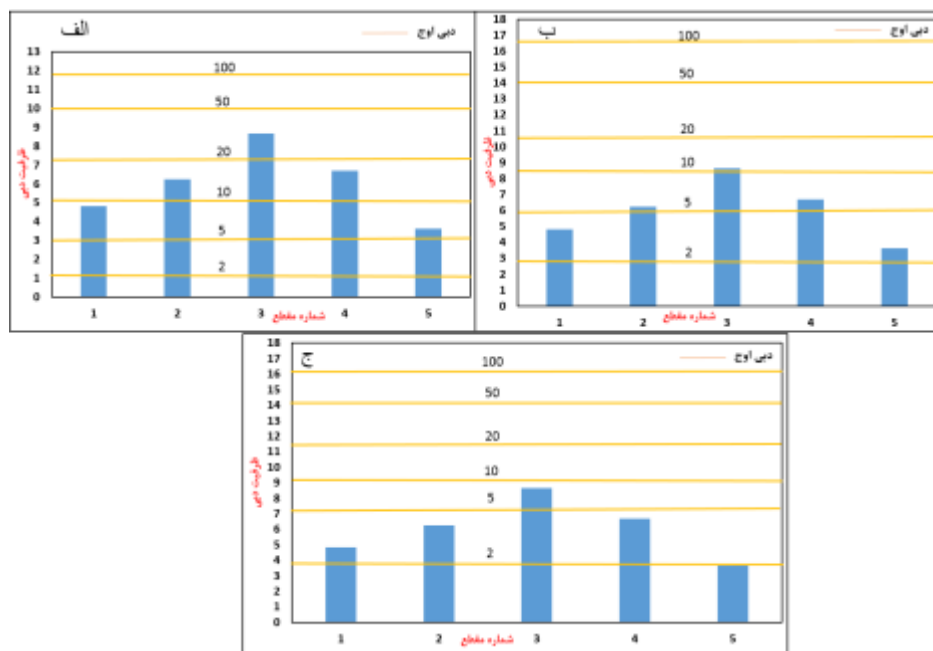
شکل ۵- نمودار دبی اوج و ظرفیت کانال در مقاطع مختلف حوضه الهک (الف: شدت ۳۰ دقیقه، ب: شدت ۶۰ دقیقه، ج: شدت ۱۲۰ دقیقه)



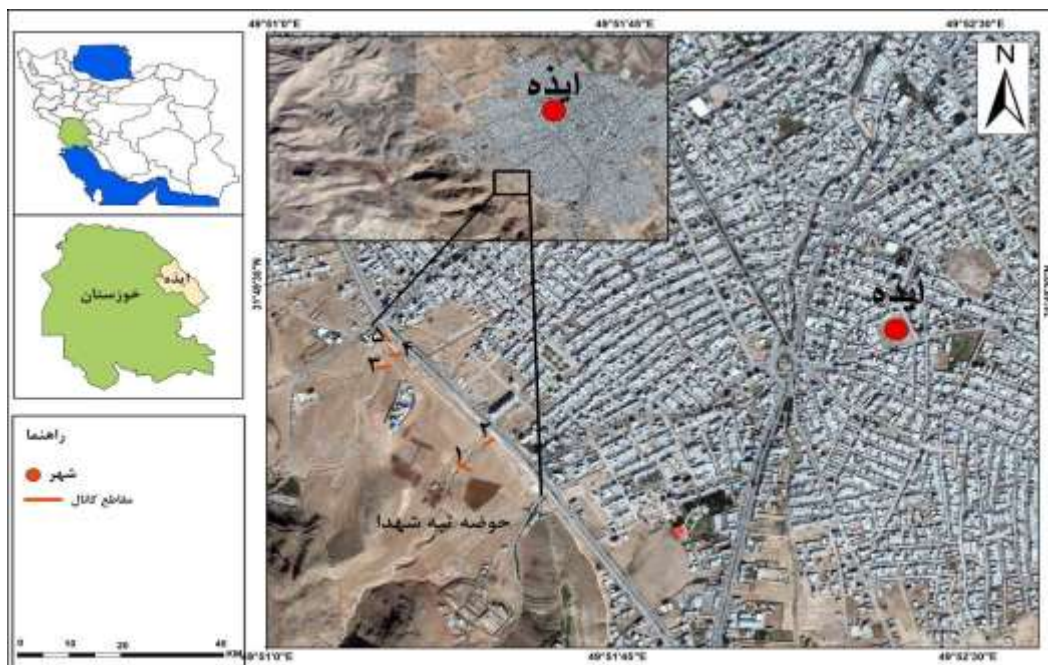
شکل ۶- مقاطع اندازه گیری شده در حوضه الهک

۳-۲-۲- حوضه تپه شهدا

در حوضه تپه شهدا ۵ مقطع اندازه گیری شد که از این مقاطع فقط مقطع ۱ بستر طبیعی رودخانه می باشد سایر مقاطع کانال های مصنوعی ایجاد شده توسط شهرداری برای انحراف جریان می باشد (شکل ۷). در دوره بازگشت های ۲ و ۵ ساله با مدت ۳۰ دقیقه، دبی اوج از ظرفیت هیچکدام از مقاطع بیشتر نمی باشد. در دوره بازگشت ۱۰ ساله در مقطع ۱ و ۵ دبی بیش از ظرفیت کانال می باشد در نتیجه باعث ایجاد بیرون زدگی جریان از کانال می شود. دبی اوج با دوره بازگشت ۲۰ ساله، از ظرفیت مقاطع ۱، ۲، ۴ و ۵ بیشتر می باشد و در نتیجه بیرون زدگی جریان در این مقاطع وجود خواهد داشت. با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله در همه مقاطع بیرون زدگی جریان وجود دارد. (شکل ۷ الف). در بارش های با مدت ۶۰ دقیقه، در بارش های با دوره بازگشت های ۲ ساله، در هیچکدام از مقاطع دبی اوج بیشتر نمی باشد. در دوره بازگشت ۵ ساله در مقاطع ۱ و ۵، دوره بازگشت ۱۰ ساله در مقاطع ۱، ۲، ۴ و ۵، و در دوره بازگشت های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از همه مقاطع دبی اوج بیشتر است. در نتیجه ایجاد سیلاب خواهد شد (شکل ۷ ب). در مدت ۱۲۰ دقیقه با دوره بازگشت ۲ ساله دبی اوج از مقطع ۵ بالاتر می باشد. بارش های با دوره بازگشت ۵ ساله از مقاطع ۱، ۲، ۴ و ۵ بیشتر می باشد و در دوره بازگشت های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از تمام مقاطع حجم دبی اوج بیشتر می باشد در نتیجه باعث بیرون زدگی جریان و ایجاد سیلاب و گرفتگی معابر خواهد شد (شکل ۷ ج).



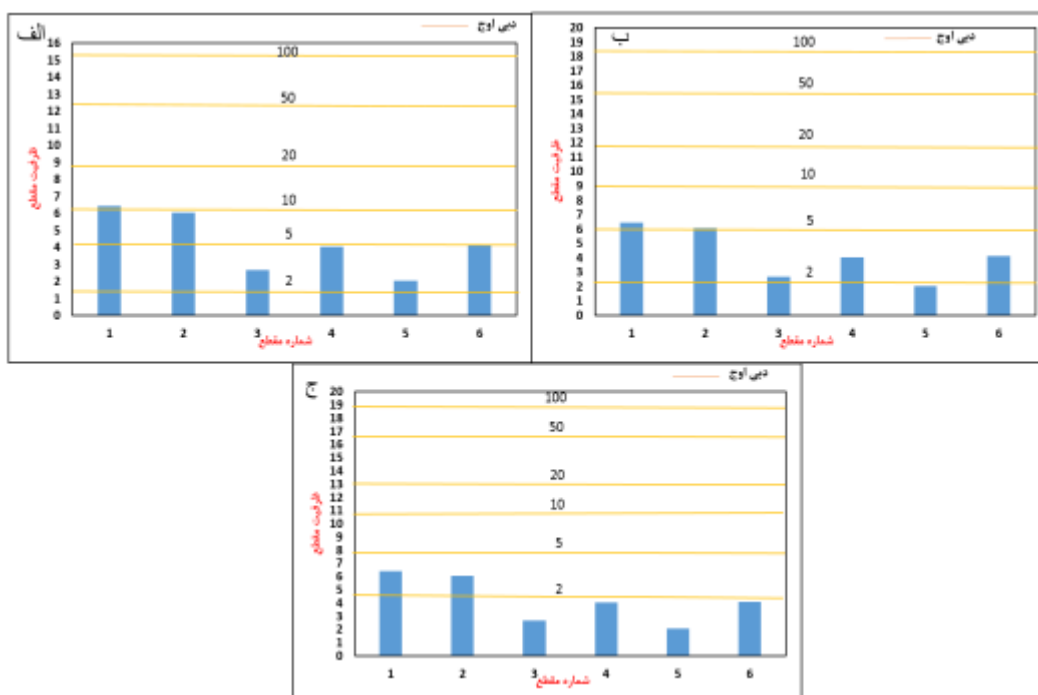
شکل ۷- نمودار دبی اوج و ظرفیت کانال در مقاطع مختلف حوضه تپه شهدا (الف: شدت ۳۰ دقیقه، ب: شدت ۶۰ دقیقه، ج: شدت ۱۲۰ دقیقه)



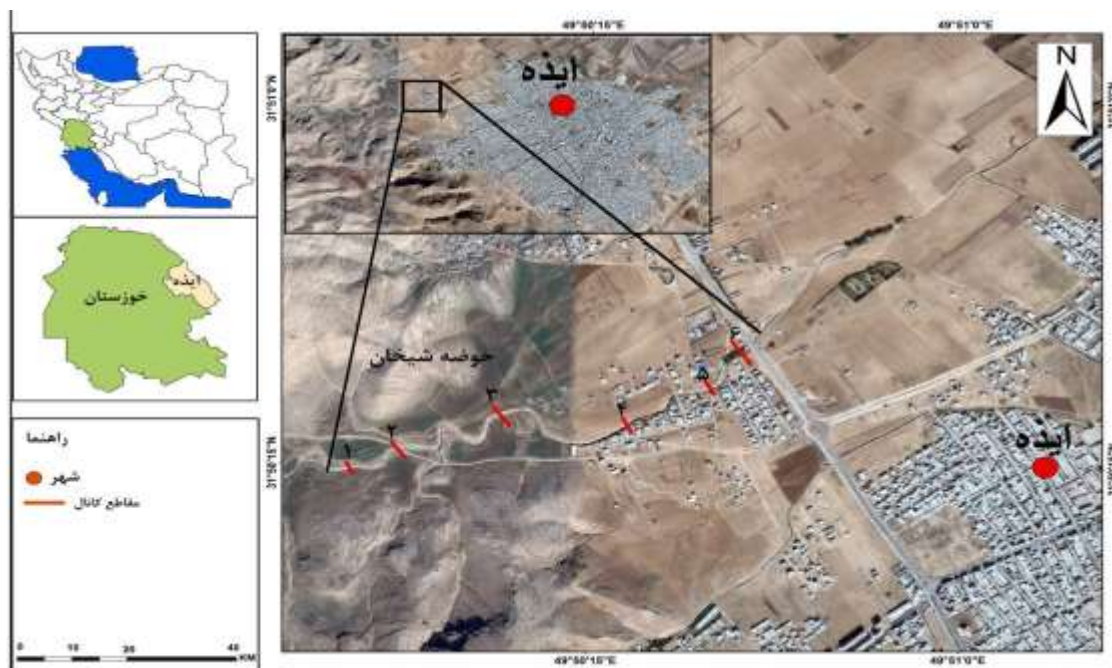
شکل ۸- مقاطع اندازه گیری شده در حوضه تپه شهدا

۳-۲-۳- حوضه شیخیان

در این حوضه از بالادست تا ورودی به مناطق مسکونی و شهر ۶ مقطع اندازه گیری شد. کلیه مقاطع اندازه گیری شده بستر طبیعی رودخانه می‌باشند (شکل ۱۰). در شدت ۳۰ دقیقه با دوره بازگشت ۲ ساله، دبی اوج از هیچکدام از مقاطع بیشتر نیست. دبی اوج در دوره بازگشت ۵ ساله از مقاطع ۲، ۴ و ۵ بیشتر می‌باشد و هم مرز با مقطع ۶ است. در دوره بازگشت ۱۰ ساله بحز در مقطع ۱ از سایر مقاطع بیشتر است. دوره بازگشت‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز دبی اوج از ظرفیت همه مقاطع کانال بیشتر است و در نتیجه بیرون زدگی جریان وجود دارد (شکل ۹ الف). در شدت ۶۰ دقیقه دبی اوج در دوره بازگشت ۲ ساله فقط از مقطع ۵ بیشتر است و در دوره بازگشت ۵ ساله از مقطع ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ دبی اوج بیشتر است. در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ دبی اوج از همه مقاطع عبور خواهد کرد و بیرون زدگی جریان وجود دارد و ایجاد سیلاب خواهد شد (شکل ۹ ب). در شدت ۱۲۰ دقیقه در دوره بازگشت ۲ ساله از مقاطع ۳، ۴، ۵ و ۶، در دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از همه مقاطع پس زدگی جریان وجود دارد و در نتیجه سیلاب ایجاد می‌شود (شکل ۹ ج).



شکل ۹- نمودار دبی اوج و ظرفیت کانال در مقاطع مختلف حوضه شیخیان (الف: شدت ۳۰ دقیقه، ب: شدت ۶۰ دقیقه، ج: شدت ۱۲۰ دقیقه)



شکل ۱۰- مقاطع اندازه گیری شده در حوضه شیخان

۴- جمع بندی

رابطه بارندگی و رواناب تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی حوضه مانند شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین شناسی و ... است. حوضه‌های مشرف به شهر ایذه با توجه به کاربری اراضی و وجود برون زدگی‌های سنگی در قسمت اعظم حوضه‌ها به دلیل وجود سازند آهک آسماری، دارای شماره منحنی (CN) ۸۷ تا ۹۲ است که بیشترین رواناب حاصل از بارش را تولید می‌کنند. در بررسی پتانسیل سیل خیزی در حوضه‌های مشرف به شهر بر اساس شدت و مدت بارش‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف حوضه تپه شهدا با بیشترین پس زدگی آب از مقاطع به خصوص مقاطع ورودی به شهر، بیشترین تأثیر را در آبگرفتگی معابر و ایجاد سیلاب در شهر ایذه دارد. پس از آن حوضه الهک بیشترین تأثیر را با توجه به شیب توپوگرافی منطقه و تسلط بر شهر همچنین دستکاری کانال رودخانه بدون در نظر گرفتن پارامترهای هیدرولوژیک بر شهر دارد. حوضه شیخان با توجه به فاصله بیشتری که نسبت به سایر حوضه‌ها از شهر دارد بیشترین تأثیر منفی را بر زمین‌های کشاورزی می‌گذارد. از عوامل مهم تأثیرگذار بر ایجاد این سیلاب‌ها تغییر بستر طبیعی رودخانه به کانال‌های مصنوعی بدون در نظر گرفتن ظرفیت دبی و عدم افزایش ظرفیت کانال‌ها از بالادست به سمت ورود به شهر است. در مسیرهای مختلف جریان‌های متعددی به کانال اضافه می‌شود و حجم دبی را چند برابر می‌کند در صورتی که حجم کانال ثابت باقی مانده است. همچنین ایجاد سازه‌های عرضی نامناسبی که بر روی کانال ایجاد شده و باعث کاهش مقطع کانال شده است در

نتیجه مانع از عبور سیلاب‌هایی می‌شوند که از مقاطع قبلی به این مقاطع رسیده‌اند و باعث پس زدگی آب و آبگرفتگی معابر و وقوع سیلاب می‌شود. از بین رفتن زهکش طبیعی رودخانه‌ها به دلیل ساخت‌وسازهای انسانی نیز از دلایل ایجاد پتانسیل سیل خیزی در حوضه‌های مشرف به شهر است. انحراف جریان به سمت کانال‌های دیگر که باعث شده است حجم زیادی از جریان آب به یک کانال منتهی شود و ظرفیت عبور مجموع دبی‌های چند کانال را نداشته باشد. کانال‌های سیمانی جدید همان کانال‌های قدیمی می‌باشند که به صورت طبیعی و بر اساس آورد حوضه‌های مشرف به کانال ایجاد شده بودند و در صورتی که هیچ‌گونه برآورد حجم آب صورت نگرفته، در ساخت آنها به همان کانال اولیه اکتفا شده است. نهایتاً کانال‌های طبیعی را از نظر سازه‌ای تغییر داده‌اند و به حالت دیواره‌ای با کف سیمانی تبدیل کرده‌اند. همچنین حد فاصل بین کوهستان و شهر که زمین‌های مخروطه افکنه ای می‌باشند، به دلیل تغییر کاربری اراضی، از حالت مخروطه افکنه ای که در گذشته سطح پخش سیلاب بودند به مناطق مسکونی تغییر پیدا کرده است و ایجاد این سطوح سیمانی و جاده سازی در افزایش رواناب منطقه تأثیرگذار بوده است. یکی دیگر از دلایل افزایش رواناب در منطقه، تغییر شکل بارش‌ها از برف به باران است. در گذشته بیشتر بارش‌ها به صورت برف بوده است که مانع از ایجاد دبی‌هایی با اوج بالا می‌شده است. همچنین تغییر در رژیم بارش از حالت تداوم و تعادل به حالت رگبارهای شدید نیز بر افزایش رواناب منطقه تأثیرگذار بوده است. لازم به ذکر است که در این مطالعه فقط رواناب حاصل از حوضه‌های مشرف به شهر اندازه گیری شده است و رواناب حاصل از بارش در خود شهر که به کانال‌ها اضافه می‌شوند در نظر گرفته نشده است.

کتابنامه

- حسین زاده، محمد مهدی؛ نوروزی، رعنا؛ ۱۳۹۶. برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی و ابزار Arc CN-Runoff مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشاور. تهران. فصلنامه علمی و پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران. سال پانزدهم. شماره ۵۳. صص ۱۵۱-۱۶۵.
- شرکت مهندسی مشاور قطر آب سازه؛ ۱۳۸۸. مطالعات بازنگری آبراه شهرستان ایذه. وزارت جهاد و کشاورزی. اداره کل منابع طبیعی استان خوزستان. مدیریت آبخیزداری. صص ۱-۲۸.
- قهرمان، بیژن؛ آبخضر، حمیدرضا؛ ۱۳۹۱. اصلاح روابط شدت - مدت - فراوانی بارندگی در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هشتم. شماره ۲. صص ۱۳-۱.
- گزارش اقتصادی اجتماعی فرمانداری ایذه؛ ۱۳۸۸، صص.
- لشکری، حسن؛ رشیدی، علی؛ رضایی، علی؛ ۱۳۹۲. پهنه بندی سیلاب رودخانه زرین رود با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط GIS. فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین. سال سوم. شماره ۱۳. صص ۶۸-۵۱.

- ملکی نژاد، حسین؛ کوثری، محمدرضا؛ ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی نسبی اهمیت عوامل مؤثر بر دبی اوج در روش شماره منحنی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال دوم. شماره ۵. صص ۳۱-۴۰.
- مهدوی، محمد؛ ۱۳۹۰. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ هفتم. صص ۴۳۵.
- نوحه گر. احمد؛ قشقایی زاده، نسیم؛ حلی ساز، ارشک؛ ۱۳۹۱. تعیین مناطق مولد سیل و الویت بندی سیل خیزی زیرحوضه ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز جاماش استان هرمزگان). فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین. سال سوم. شماره ۹. صص ۲۵-۱۴.
- نیک بخت شهبازی، علیرضا؛ خلیلی، داور؛ ۱۳۸۸. محاسبه شماره منحنی CN به روش بهینه سازی استوکاستیک. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز.

- Bertilsson, L., Wiklund, K., de Moura Tebaldi, I., Rezende, O.M., Veról, A.P., Miguez, M.G., 2018. Urban flood resilience – a multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning, *Journal of Hydrology*, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.06.052
- Colditz, R. and Hodson, P.F., 2003. Flood delineation in a large complex alluvial valley, Lower panuco basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, 280, 229-236.
- Huabing Huang a, Xi Chen b, Zhanqiang Zhu a, Yuhuan Xie a, Lin Liu b,c, Xianwei Wang a, Xina Wang a, Kai Liu a., 2018. The changing pattern of urban flooding in Guangzhou, China. *Science of the Total Environment*, 622–623, 394–401.
- Konstantinos, X.S., and John, D.V., 2013. Identification of the SCS-CN parameter spatial Distribution using Rainfall-Runoff Data in Heterogeneous watersheds, 27, 1737-1749.
- Mignot, E., Li, X., Dewals, B., 2019. Experimental modelling of urban flooding: a review, *Journal of Hydrology*, 568, 334-342
- Pilip G. Oguntundea, Jan Friesen A, Nick van de Giesen, Hubert.H.G. Savenije., 2006. Hydroclimatology of the Volta River Basin in WestAfrica: Trends and variability from 1901 to 2002, *Journal physics and chemistry of the Earth*, 31, 1180-1188
- Stephan, R., 2002. Hydrologic investigation by the U.S Geological survey following the 1996 and 1997 floods in the Upper Yellowstone River, Montana American Recourses Association. Annual Montana Section Meeting. Section one, 1-18.