

شناسایی مناطق در معرض سیل و ارزیابی خسارات ناشی از آن با استفاده از مدل HEC-FIA (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قمصر)

فهیمة مختاری^{۱*}، سعید سلطانی^۲ و سید علیرضا موسوی^۳

چکیده

سیل دومین بلای طبیعی است که سالانه سبب خسارات زیادی به جوامع انسانی به خصوص شهرها و مراکز جمعیتی می‌شود. در این مطالعه با استفاده از مدل HEC-FIA به عنوان یکی از مدل‌های جدید (۲۰۱۲) ارزیابی آثار و خسارت‌های ناشی از سیل، به محاسبه خسارت کشاورزی، ساختمانی و انسانی ناشی از سیل در حوزه آبخیز قمصر پرداخته شد. به منظور دستیابی به این هدف و افزایش دقت در شناسایی مناطق پرخطر، جریان‌های ماندگار و غیرماندگار با دوره‌های بازگشت مختلف به وسیله نرم‌افزارهای HEC-RAS و HEC-GEO RAS شبیه‌سازی شد. برای تهیه نقشه‌های سیل گرفتگی لازم است کانال رودخانه و مورفولوژی آن به منظور استخراج پارامترهای سه بعدی مقاطع عرضی و هیدرولیک جریان، شبیه‌سازی شود. همچنین با توجه به اینکه داده‌های ایستگاه آب‌سنجی اساس مطالعات مرتبط با سیل هستند، تحلیل فراوانی دبی‌های حداکثر لحظه‌ای انجام شد؛ زیرا این دبی‌ها مهم‌ترین پارامتر در تهیه نقشه‌های سیل گرفتگی دوره‌های بازگشت مختلف هستند. نتایج اولیه حاصل از پژوهش، نقشه پهنه‌های سیل‌گیر در اطراف رودخانه بن رود در حوزه آبخیز قمصر و سری‌های زمانی دبی (در قالب فرمت HEC-DSS) است. از طریق این نتایج، در مدل HEC-FIA خسارات کشاورزی، انسانی و ساختمانی ناشی از سیل در حوزه مورد مطالعه محاسبه شد. بر اساس این نتایج، ۳/۲۳ هکتار از اراضی تحت کشت متحمل خسارتی معادل ۱۲/۸ میلیارد ریال شد. در بخش ساختمانی ۳۶ واحد ساختمانی اطراف رودخانه بن رود در معرض خطر سیل قرار گرفت و خسارات متوجه مردم نیز شد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی آثار سیل، HEC-RAS، قمصر، نقشه‌های سیل‌گیری، HEC-GEO RAS، HEC-FIA.

ارجاع: مختاری ف. سلطانی س. و موسوی س. ع. ۱۳۹۶. شناسایی مناطق در معرض سیل و ارزیابی خسارات ناشی از آن با استفاده از مدل HEC-FIA (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قمصر). مجله پژوهش آب ایران. ۲۷: ۷۳-۸۴.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

* نویسنده مسئول: fahimeh.mokhtari2009@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰

مقدمه

رخداد سیل چه در دراز مدت (دوره‌های برگشت) و چه در طی سال یا شبانه روز نشده است. گنجی نوری و شکوهی (۱۳۹۲) به بررسی خسارت کشاورزی در حوزه آزارود با ارائه مدل پیش‌بینی خسارت کشاورزی، پرداختند که تمرکز تنها بر محاسبه خسارت روی گیاه برنج بود. فدایی و همکاران (۱۳۸۸) با تلفیق نرم‌افزارهای GIS، HEC-RAS و HEC-FDA به محاسبه خسارت‌های ناشی از سیل در حوزه رودخانه گرگان‌رود پرداختند و هزینه‌های پروژه‌های کنترل سیلاب را بررسی کردند. در ادامه تحقیقات مورد اشاره، در این پژوهش تلاش شد تا خسارت مالی و جانی سیل در حوزه آبخیز قمصر به کمک نرم‌افزار HEC-FIA بررسی شود. این نرم‌افزار از تولیدات نرم‌افزاری مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا (Engineering Center Hydrologic) برای تجزیه و تحلیل اثر سیل است که در سپتامبر سال ۲۰۱۲ ارائه شده است. این نرم‌افزار به کاربران امکان می‌دهد که خسارت سیل را برآورد و سود نسبت داده شده به پروژه‌های کنترل سیل را بررسی کنند. دوره‌های تجزیه و تحلیل می‌تواند یک دوره رویداد سیل منفرد یا یک دوره طولانی ثبت شده باشد. این برنامه میزان خسارت‌های کشاورزی، شهری، تلفات انسانی و منفعت‌ها را برای یک رویداد یا به طور سالانه محاسبه می‌کند و خلاصه نتایج را گزارش می‌دهد. به کمک HEC-FIA همچنین می‌توان رویدادهای شکست سد را بررسی کرد و برای سدها ارزیابی پیامدهای ریسک سیل را انجام داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قمصر با مساحت ۱۰۶۰۵ هکتار بخش کوچکی از حوضه بزرگ دریاچه نمک قم است. این حوزه از غرب به حوضه قهرود و جویان، از جنوب به حوضه جوشقان و از سمت شمال به اراضی دشتی جنوب کاشان محدود شده است. گستره این حوزه بین مختصات جغرافیایی ۵۹° ۱۸' تا ۵۸° ۲۶' ۵۱" طول شرقی و ۳۸° ۳۸' ۶" تا ۳۳° ۴۶' ۱۹" عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). این رودخانه از شهر قمصر به طرف شمال طی مسیر می‌کند و پس از عبور از حاشیه شهر کاشان از سمت جنوب غرب به دریاچه نمک می‌ریزد.

سالانه سیل در دنیا جان ۲۶ هزار انسان را می‌گیرد و بر زندگی ۷۵ میلیون نفر دیگر تأثیر بسیار بدی می‌گذارد. خسارت ناشی از سیل در چند دهه اخیر به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته که نشان‌دهنده افزایش فراوانی و شدت سیل بوده و دغدغه رو به رشد جامعه جهانی را در خصوص لزوم کاهش مرگ و میر ناشی از سیلاب و خسارت مالی مرتبط با آن ایجاد کرده است (اسمیت، ۲۰۰۱؛ ساندرز، ۲۰۰۷). ویمالکومار (۲۰۰۵) از نرم‌افزار ArcGIS ESRI9 و ArcView3.3 برای تجزیه و تحلیل مناطق مستعد سیل اطراف دریاچه رکسن و گلن استفاده کرد. هانگ و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای در چین، میزان خسارت اقتصادی ناشی از سیل را با استفاده از داده‌های سیل‌های سال ۱۹۹۸ بررسی کردند. در این سال ۲۹ استان و ۱۸۰ میلیون نفر در چین تحت تأثیر سیل قرار گرفتند. یانگ و تسای (۲۰۰۰) مدلی به نام FGIS را برای شبیه‌سازی دشت سیلابی، محاسبات خصوصیات سیل و نشان دادن خصوصیات سیل در کشور تایوان طراحی کردند. ایشان در این مدل علاوه بر شبیه‌سازی دشت سیلابی، از منحنی عمق - خسارت نیز برای تعیین مقدار خسارت استفاده کرد و میانگین خسارت‌های سالانه سیل را به وسیله احتمال بارندگی با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله با تداوم ۲۴ ساعته مشخص کردند. در مطالعه دیگری که به منظور ارزیابی خسارات ساختمانی و کشاورزی سیل انجام شده، دوتا و همکاران (۲۰۰۳) ابتدا توسط یک مدل هیدرولوژیک، عمق آب را در نقاط مختلف حوزه برآورد و سپس با ترکیب توابع عمق - خسارت و نقشه عمق سیل، خسارت را محاسبه کردند. پنینگ روسل و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی دیگر در اروپا، روشی برای تخمین خسارت جانی ناشی از سیل ارائه دادند. در این روش، درصد مردم درخطر از حاصل ضرب درجه خطر و مساحت آسیب‌پذیر به دست می‌آید. مساحت آسیب‌پذیر از جمع ضرایب مربوط به نوع سیستم هشدار سیل، زمان رسیدن سیلاب و نوع کاربری منطقه با توجه به فاصله از رودخانه به دست می‌آید. همچنین عمق تیپ، سرعت تیپ و عامل واریزه (باتوجه به فاصله از رودخانه) نیز از عوامل مؤثر در محاسبه درجه خطر محسوب می‌شود. در این مطالعه توزیع مکانی سیل با توجه به فاصله از رودخانه به صورت گسسته مدنظر قرار گرفته؛ اما توجهی به احتمال

که در آن‌ها Q_{max} دبی اوج لحظه‌ای (مترمکعب بر ثانیه)، Q دبی اوج روزانه (مترمکعب بر ثانیه)، A مساحت حوزه (کیلومتر مربع)، Q_1 دبی متوسط روزانه روز قبل از اوج (مترمکعب بر ثانیه)، Q_2 دبی اوج روزانه (مترمکعب بر ثانیه) و Q_3 دبی متوسط روزانه روز بعد از اوج (مترمکعب بر ثانیه) است.

تحلیل فراوانی سیلاب

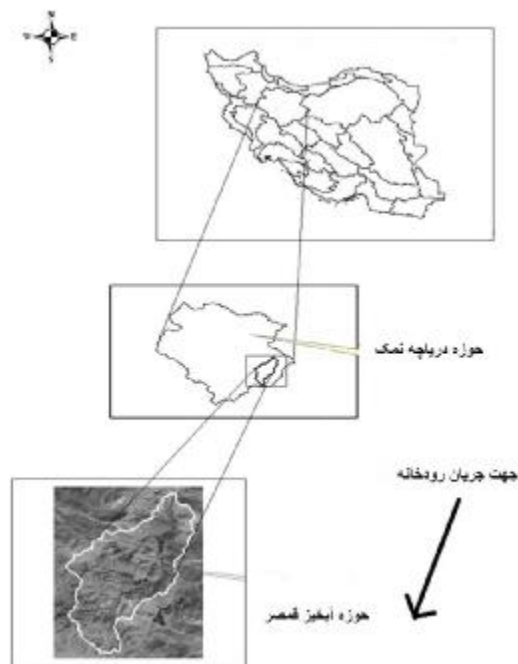
برای انجام تحلیل فراوانی سیلاب، توزیع‌های متعددی به کار برده شد. برای برآورد چندک‌های توزیع، روش گشتاورها، حداکثر درست‌نمایی و گشتاور وزنی احتمال کاربرد بیشتری دارند.

روش حداکثر درست‌نمایی یکی از کامل‌ترین روش‌ها در برآورد پارامترهای توزیع محسوب می‌شود و به علت این که کمترین واریانس نمونه‌گیری از پارامترهای برآورد شده را ارائه می‌کند؛ از این روش چندک‌های برآورد شده آن قابل مقایسه با دیگر روش‌ها است؛ هر چند که روش حداکثر درست‌نمایی در برآورد نمونه‌های کوچک توأم با خطا است (اوورتون، ۲۰۰۵). در روش گشتاورهای وزنی احتمال برآورد پارامترهای مدل در برخی موارد با روش حداکثر درست‌نمایی قابل مقایسه است و صحت بیشتری دارد (هاسکینگ، ۱۹۹۰).

روش گشتاورهای خطی مناسب‌تر و آسان‌تر از گشتاورهای وزنی احتمال است؛ زیرا می‌توانند مستقیماً به عنوان اندازه‌هایی از مقیاس و شکل توزیع‌های احتمال تشریح شوند و از این نظر، آن‌ها مشابه و قابل قیاس با گشتاورهای متداول هستند. اما این روش برای توزیع‌های پارامترهای زیاد، نمونه‌های با تعداد کم یا با وجود داده پرت در نمونه، روش مناسبی نیست و کیفیت کمتری نسبت به روش‌های دیگر مانند روش گشتاورهای وزنی احتمال دارد (اسلامیان و سلطانی، ۱۳۸۱).

در این پژوهش با توجه به این که نتایج آزمون‌های نکویی برازش (مربع کای و کلموگروف اسمیرنوف) و مقدار خطای استاندارد روش گشتاورهای وزنی احتمال را بهتر از بقیه روش‌ها معرفی کرد از این روش استفاده شد.

با توجه به این که توزیع لوگ پیرسون نوع سه ($LP3$) یک نوع توزیع مقادیر حدی است، نتایج آزمون نکویی برازش با استفاده از آزمون‌های کلموگروف اسمیرنوف و کای اسکوئر نیز نشان داد که این توزیع برای تحلیل فراوانی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در داخل حوزه دریاچه نمک

برآورد دبی اوج لحظه‌ای

با توجه به این که ایستگاه آب‌سنجی منطقه فقط دارای اشل است و به همین دلیل داده‌های موجود تنها به صورت دبی‌های حداکثر روزانه هستند و دبی حداکثر لحظه‌ای در دسترس نیست؛ بنابراین دبی‌های حداکثر روزانه با استفاده از روش‌های تجربی فولر، سنگال و فیل - استینر (روابط (۱)، (۲) و (۳)) به دبی‌های حداکثر لحظه‌ای تبدیل شد (فولر، ۱۹۱۴؛ سنگال، ۱۹۸۳؛ فیل - استینر، ۲۰۰۳). علت استفاده از این روش‌ها برای محاسبه دبی حداکثر لحظه‌ای این است که دستورانی و همکاران (۱۳۸۹) برای بررسی کارایی برخی روش‌های برآورد دبی اوج لحظه‌ای با استفاده از داده‌های دبی روزانه در دوازده ایستگاه از این سه رابطه تجربی استفاده کردند که یکی از ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه قلعه شاهرخ بود. این ایستگاه به ایستگاه خوانسار که اطلاعات آن در این مطالعه استفاده شده، نزدیک است و در نتیجه روابط تجربی سه‌گانه برای ایستگاه خوانسار نیز صدق می‌کند.

$$Q_{max} = Q(1 + 2.66A - 0.3) \quad (1)$$

$$Q_{max} = (4Q_2 - Q_1 - Q_3)/2 \quad (2)$$

$$Q_{max} = (0.8Q_2 + 0.25(Q_1 + Q_3))/K \quad (3)$$

$$K = 0.9123X + 0.3X = (Q_1 + Q_3)/2Q_2$$

مقاطع مورد بررسی در طول مسیر رودخانه بر اساس تغییر شرایط تعیین شده و در هر قسمت از رودخانه متفاوت است.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) n_5 \quad (۴)$$

که در آن 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 و n_5 ضریب مانینگ مربوط به درجه انحناء مسیر رودخانه است.

هندسه مقطع در شرایط طبیعی و موجود

هندسه مقطع در شرایط موجود با استفاده از نقشه رودخانه ارائه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه شد. برای این منظور، نقشه‌ها به محیط ArcGIS 9.3 وارد شد و با توجه به محل‌هایی مانند پل‌ها و خم‌ها، مقاطع عرضی استخراج شد. در نهایت برای به دست آوردن سایر خصوصیات جریان، نقشه مورد نظر با استفاده از الحاقیه HEC-GEO RAS به نرم‌افزار HEC-RAS وارد گردید. پس از تهیه هندسه رودخانه در شرایط موجود لازم است تا ضمن شناسایی محدوده‌های تغییر یافته در اثر دخل و تصرف انسان نسبت به شبیه‌سازی هندسه اولیه یا به عبارتی مقطع طبیعی رودخانه اقدام کرد. در مجموع هفت پل در مسیر محدوده مورد نظر احداث شد که شرایط هیدرولیکی آن‌ها در مدل HEC-RAS شبیه‌سازی شد.

مدل‌سازی هیدرولیک جریان

برای مدل‌سازی جریان آب در بستر رودخانه، لازم است شرایط مرزی نیز به مدل معرفی شود. در مدل هیدرولیکی HEC-RAS شرایط مرزی شامل شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست است که می‌تواند شامل مقادیر دبی و تراز سطح آب معلوم و یا شیب سطح آب یا عمق بحرانی باشد. همچنین منحنی دبی-اشل نیز می‌تواند به عنوان شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست تعریف شود. در این مطالعه به علت سیلاب‌های آبی در منطقه و تعیین مرز سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت بالا (دوره‌های بازگشت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سال) از شرط مرزی عمق بحرانی استفاده شد.

دبی‌های حداکثر لحظه‌ای حوزه آبخیز قمصر مناسب است. در جدول ۱ پارامترهای حاصل از فرآیند تحلیل فراوانی با استفاده از بسته نرم‌افزاری تحلیل فراوانی سیل آمده است.

جدول ۱- مقدار P منتج شده از فرآیند تحلیل فراوانی سیل در

ایستگاه قمصر (سطح اطمینان ۵ درصد)

روش برآورد دبی اوج	آزمون کلموگروف- اسمیرونوف	آزمون کای اسکوئر	خطای استاندارد
فولر	۰/۲۵۹	۰/۶۹۳	۰/۰۸
سنگال	۰/۸۲۵	۰/۷۲۸	۰/۰۶
Fill-Steiner	۰/۹۴۷	۰/۷۶۸	۰/۰۶

مقدار خطای استاندارد برای هر سه روش ناچیز است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، چون مقدار P برای روش فیل-استینر در هر دو آزمون کلموگروف-اسمیرونوف و کای اسکوئر در حوزه قمصر بیشتر از روش‌های فولر و سنگال است، از روش فیل-استینر برای تبدیل دبی‌های حداکثر روزانه به حداکثر لحظه‌ای و در نتیجه تحلیل فراوانی این دبی‌ها استفاده شد.

تعیین مشخصات هیدرولیکی محدوده مورد مطالعه

با توجه به هدف پژوهش، مبنی بر شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه برای انجام مطالعات حریم و حد بستر هیدرولیکی رودخانه، محاسبات هیدرولیکی جریان ماندگار برای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف انجام شد. برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در رودخانه نیز از اطلاعات واقعه سیلک روزه در حوزه آبخیز قمصر استفاده شد. مهم‌ترین مشخصات هیدرولیکی رودخانه برای تعیین سایر عوامل هیدرولیکی مانند عمق و سرعت جریان مورد نیاز، شامل دبی جریان، ضریب زبری مانینگ، هندسه و مقاطع عرضی رودخانه است.

تعیین ضریب زبری مانینگ

محاسبه ضریب زبری مانینگ در این رودخانه، بر اساس بازدیدهای صحرایی، محاسبات و جداول تجربی ارائه شده توسط کاون در سال ۱۹۵۶ انجام شد که با توجه به شرایط حاکم بر رودخانه در مقاطع مختلف، تأثیر دیگر عوامل همچون درجه ناهمواری، وجود موانع، پوشش گیاهی و شکل مسیر مطابق رابطه زیر اصلاح شد (معاونت نظارت راهبردی رئیس‌جمهور و وزارت نیرو، ۱۳۹۰). تعداد

شبیه‌سازی جریان ناپایدار در رودخانه

به منظور شبیه‌سازی جریان ناپایدار در HEC-RAS و به دست آوردن فایل شبیه‌سازی شده جریان (HEC-DSS) برای ورود به نرم‌افزار HEC-FIA، ابتدا داده‌های دبی سیل رخ داده با فواصل زمانی یک ساعت به عنوان ورودی به نرم‌افزار وارد و سپس شرایط مرزی مشخص شد. برای آغاز شبیه‌سازی جریان ناپایدار باید زمان شروع و پایان جریان سیل در هیدروگراف جریان و همچنین فواصل زمانی شبیه‌سازی که می‌تواند از ۱ ثانیه تا ۱ روز متغیر باشد در نرم‌افزار وارد شود تا شبیه‌سازی انجام شود. در انتها خروجی‌های حاصل از این نرم‌افزار برای برآورد خسارت به مدل HEC-FIA وارد شد.

به دست آوردن خسارات ناشی از سیل

با استفاده از اطلاعات هندسی منطقه (مانند خط مرکزی جریان و نقشه مدل رقومی ارتفاع)، اطلاعات مربوط به کاربری‌های ساختمانی و کشاورزی (که از طریق پرسش‌نامه گروه‌های خسارت در منطقه به دست آمد) و نیز اطلاعات دیگر شامل فایل رستر آب‌گرفتگی منطقه، منطقه تحت تأثیر سیلاب، نقاط محاسبه و تابع خسارت محصول، شبیه‌سازی در نرم‌افزار HEC-FIA انجام شد. جدول ۲ پرسش‌نامه مربوط به اطلاعات کاربری‌های ساختمانی برای محاسبه خسارات ساختمانی را نشان می‌دهد. جداول ۳ و ۴ پرسش‌نامه مربوط به اطلاعات کاربری‌های کشاورزی را نشان می‌دهد که در جدول ۳ نام سه محصول موجود در اطراف رودخانه مشاهده می‌شود.

جدول ۲- پرسش‌نامه حاوی سؤالات مربوط به اطلاعات ساختمانی

تعداد افراد حاضر در ساختمان	تعداد افراد حاضر در ساختمان در شب	تعداد افراد حاضر در ساختمان در روز	قیمت خودرو	تعداد خودرو	قیمت محتویات داخل ساختمان	قیمت ساختمان	آیا ساختمان زیرزمین دارد؟	ارتفاع فونداسیون	ارتفاع تا کف طبقه اول	تعداد طبقات
-----------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------	-------------	---------------------------	--------------	---------------------------	------------------	-----------------------	-------------

جدول ۳- پرسش‌نامه حاوی سؤالات مربوط به اطلاعات کشاورزی

طول دوره ماندابی تا خسارت % ۱۰۰	طول دوره خشک شدن خاک بعد از سیل	آخرین تاریخ مجاز برداشت که ضرر نکند.	آخرین تاریخ کاشت و با کاهش محصول	آخرین تاریخ کاشت بدون افت محصول	اولین تاریخ کاشت	هرینه تا برداشت هر هکتار	قیمت محصول هر هکتار	تولید در هکتار	مساحت به هکتار	نوع محصول
---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	------------------	--------------------------	---------------------	----------------	----------------	-----------

جدول ۴- وارد نمودن برخی اطلاعات مورد نیاز مدل HEC-FIA برای محاسبه خسارت کشاورزی (برای سه محصول آلو، گردو و سیب)

Crop	Yield per (ha)	Unit	Unit Price (\$)	Harvest Cost (\$)	Crop Loss Function	Seasonal Data
Plum	37.1	ton	1333333.0	4856333.0	Fruits & Nuts	Enter
Walnut	12.4	ton	1.2E7	3399433.5	Walnuts	Enter
Apple	27.2	ton	1500000.0	2.4261666E7	Fruits & Nuts	Enter

بخش خسارت انسانی، فایل HEC-DSS ایجاد شده از طریق شبیه‌سازی جریان ناپایدار مدل HEC-RAS و شکل مقاطع عرضی وارد شده و برای بخش خسارت کشاورزی،

در ادامه برای انجام شبیه‌سازی و محاسبه خسارت انسانی یا کشاورزی، اطلاعات متفاوتی مورد نیاز است که با توجه به داده‌های در دسترس، این اطلاعات وارد می‌شود. برای

کانال، مقاطع عرضی و مسیر جریان در رودخانه‌ها ایجاد شود (شکل ۲). پس از کامل شدن اطلاعات ورودی فایل HEC-RAS، مدل هیدرولیکی بازه‌های مطالعاتی برای شرایط رژیم جریان فوق‌بحرانی و محاسبات پروفیل سطحی آب اجرا شد. پروفیل‌های شبیه‌سازی سطح آب معمولاً از پروفیل بستر رودخانه تبعیت می‌کنند و لذا جریان می‌تواند در بازه‌هایی از رودخانه به صورت یکنواخت با ارتفاع نرمال و یا نزدیک به آن باشد (شکل ۳). همچنین پارامترهایی مانند عرض فوقانی سیل، عمق هیدرولیکی، مساحت سطحی آب، حجم و قدرت جریان برحسب (N/m.s) نیز برای بازه‌های مختلف قابل محاسبه است. نتایج حاصل از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در فرمت مناسب GIS ذخیره شد (شکل ۴). سپس این اطلاعات در مرحله پس پردازش داده‌ها در HEC-GEO RAS به شکل محدوده سیل‌گیر اطراف رودخانه با دوره‌های بازگشت مختلف (۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۵، ۲) در قالب فرمت‌های رستر و وکتور در آمد (شکل ۵).

تاریخ و زمان اوج سیلاب در واقعه سیل شبیه‌سازی شده تعریف گردید. نتایج حاصل از این نرم‌افزار به صورت جداول خروجی است که خسارات ناشی از سیل را برای بخش‌های کشاورزی و ساختمانی به صورت جداگانه محاسبه می‌کند.

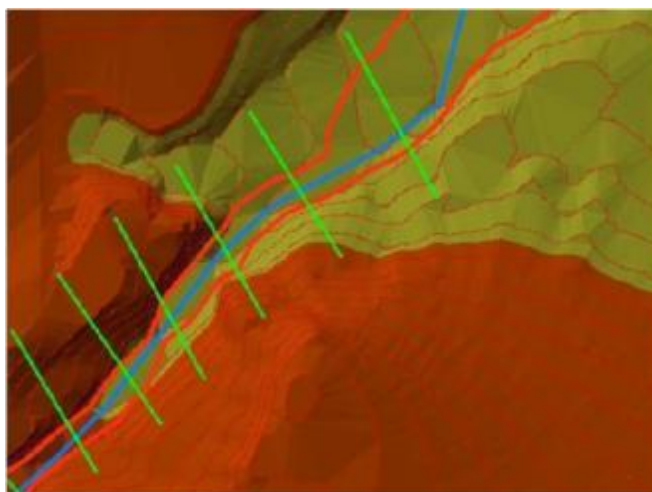
نتایج و بحث

از بین سه روش تجربی برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای، روش فیل- استینر با خصوصیات حوزه آبخیز قمصر هم‌خوانی بیشتری داشت. در واقع، دبی به دست آمده از طریق روش فیل- استینر مطابقت بیشتری با حداکثر دبی مشاهده شده در هیدروگراف سیل مشاهده شده در این حوزه در روز ششم تیر ماه ۱۳۸۶ نشان داد. جدول ۵ نتایج برآورد مقادیر دبی با دوره‌های بازگشت مختلف را برای منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

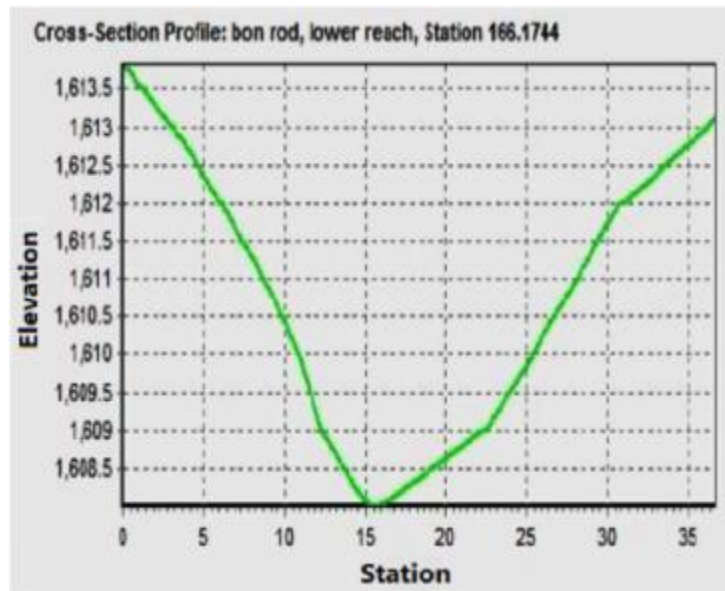
برای به دست آوردن هندسه آبراهه برای ورود به مدل هیدرولیکی جهت شبیه‌سازی، لازم است مجموعه فایل وکتوری برای معین کردن خط مرکزی مسیر آب، کناره

جدول ۵- برآورد مقادیر جریان های سیلابی با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه قمصر (مترمکعب بر ثانیه)

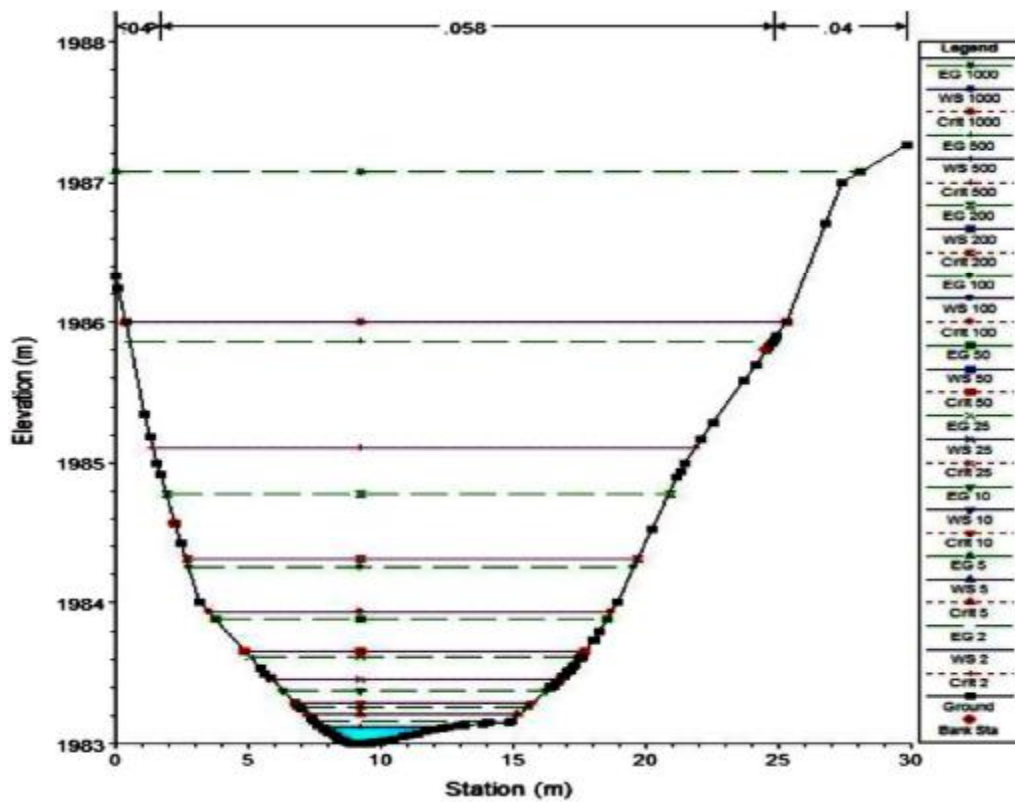
روش برآورد دبی اوج	توزیع	۲ ساله	۵ ساله	۱۰ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله	۲۰۰ ساله	۵۰۰ ساله	۱۰۰۰ ساله
فولر	LP-III	۰/۴۵	۱/۲۹	۲/۵۳	۱۰/۰	۱۷/۴	۲۹/۷	۵۹/۰	۹۸/۱
سنگال	LP-III	۰/۳۲	۱/۰۴	۲/۲۶	۱۱/۷	۲۳/۰	۴۴/۵	۱۰۵	۲۰۱
Fill- Steiner	LP-III	۰/۳۰	۰/۹۹	۲/۱۸	۱۱/۹	۲۴/۰	۴۷/۸	۱۱۷	۲۳۱



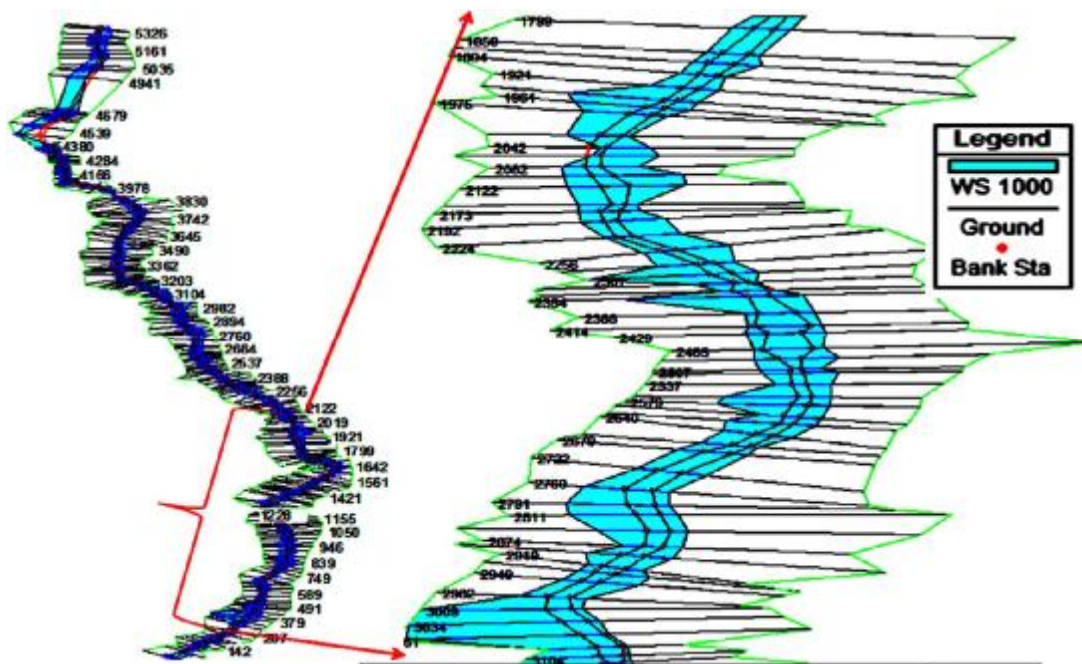
شکل ۲- استخراج پارامترهای مقاطع عرضی با استفاده از TIN



ادامه شکل ۲ -



شکل ۳ - پروفیل‌های سطحی شبیه‌سازی شده در یک مقطع عرضی



شکل ۴ - نمای سه بعدی رودخانه بن رود قمصر در حالت جریان پایدار

شبیه‌سازی، خروجی مدل به صورت فایل HEC-DSS برای همه مقاطع به دست آمد (جدول ۶). در نهایت پروفیل طولی رودخانه که حاصل شبیه‌سازی جریان ناپایدار در رودخانه است، حاصل شد (شکل ۶). پس از ورود داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار HEC-FIA، خسارات ناشی از سیل به دست آمد. در شکل ۷ نمایی کلی از کاربری اراضی، نقاط محاسبه، خط مرکزی جریان و منطقه تحت تأثیر قابل مشاهده است.

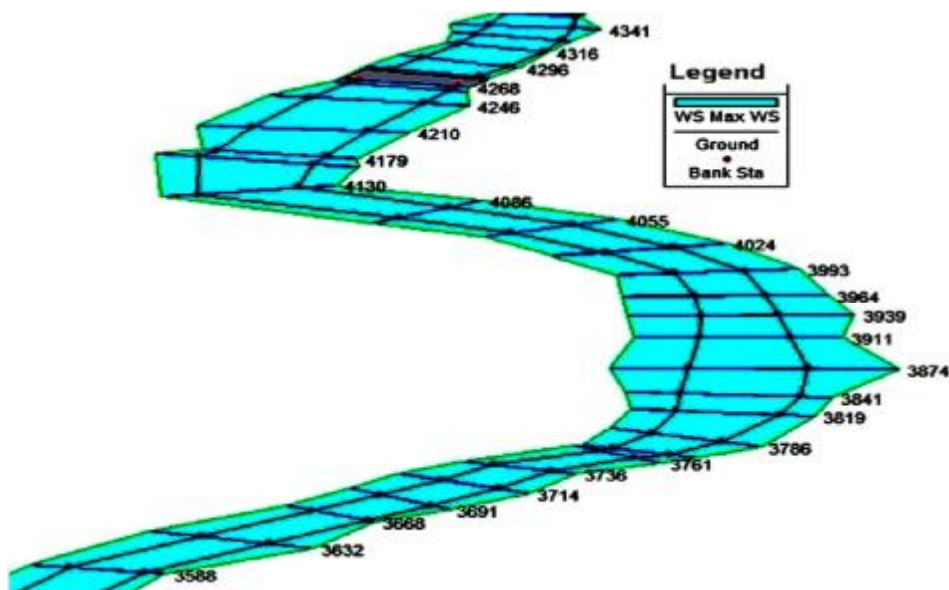


شکل ۵ - محدوده سیل‌گرفتنی، سیل بادوره بازگشت ۱۰۰۰ سال در محدوده رودخانه بن رود قمصر

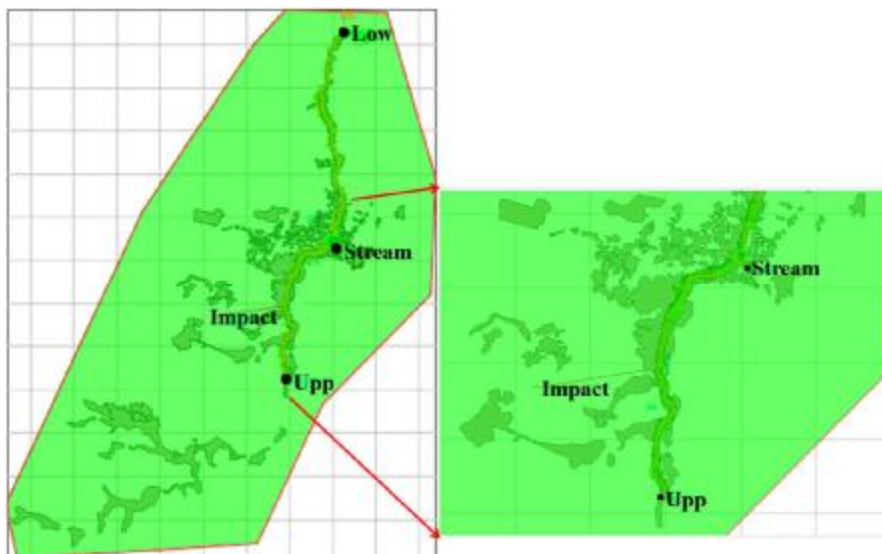
از نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان ناپایدار، هیدروگراف اشل - دبی برای بازه‌های رودخانه است. بعد از انجام

جدول ۶ - خروجی حاصل از جریان ناپایدار HEC-RAS (HEC-DSS)

	Part A	Part B	Part C	Part D	Part E	Part F
۹۵۷	BONROOD UPPER REACH	۲۴۳۶	FLOW-CUM	1JUN2007	1HOUR	۴۴
۹۵۸	BONROOD UPPER REACH	۲۴۳۶	STAGE	1JUN2008	1HOUR	۴۴
۹۵۹	BONROOD UPPER REACH	۲۴۴۹	FLOW	1JUN2009	1HOUR	۴۴
۹۶۰	BONROOD UPPER REACH	۲۴۴۹	FLOW-CUM	1JUN2010	1HOUR	۴۴
۹۶۱	BONROOD UPPER REACH	۲۴۴۹	STAGE	1JUN2011	1HOUR	۴۴
۹۶۲	BONROOD UPPER REACH	۲۴۸۵	FLOW	1JUN2012	1HOUR	۴۴
۹۶۳	BONROOD UPPER REACH	۲۴۸۵	FLOW-CUM	1JUN2013	1HOUR	۴۴
۹۶۴	BONROOD UPPER REACH	۲۴۸۵	STAGE	1JUN2014	1HOUR	۴۴



شکل ۶- نمای پروفیل طولی رودخانه در حالت جریان ناپایدار



شکل ۷- نمایی کلی از منطقه تحت تأثیر، نقاط محاسبه و خط مرکزی جریان در HEC-FIA (پلی گون‌های تیره محدوده اراضی کشاورزی)

کشاورزی شهرستان کاشان بررسی و از صحت آنها اطمینان حاصل شد. بر اساس یافته‌های پژوهش، جدول ۸ تعداد ساختمان‌های آبرگیری شده را به تفکیک نوع کاربری ساختمان در منطقه تحت تأثیر نمایش می‌دهد. با توجه به سیل در نظر گرفته برای شبیه‌سازی (واقعه سیل سال ۱۳۸۶) و کاربری‌های کنونی، تعداد ۲۳ ساختمان مسکونی و ۱۳ ساختمان تجاری و در کل تعداد ۳۶ ساختمان در اطراف رودخانه بن رود قصر آبرگیری می‌شوند. همچنین خسارت‌های انسانی برآورد شده به تفکیک در جدول ۹ تشریح شده است.

این مدل نتایج را به صورت جدول برای هر منطقه تحت تأثیر نمایش می‌دهد (جدول ۷). جدول ۷ شامل میزان خسارت سیل به محصولات موجود در منطقه (آلوچه، سیب و گردو) و سطح سیل‌گیری شده است. بر اساس نتایج، ۳/۲۳ هکتار از اراضی حوزه آبخیز قمصر تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرد و خسارت برآورد شده حدود ۱۲/۸ میلیارد ریال است (بر اساس سیل سال ۱۳۸۶). میزان خسارات برآورد شده براساس ارزش‌های پرسش شده از افراد محلی است که در بخش اطلاعات کاربری کشاورزی جمع‌آوری شد. این اطلاعات همچنین با اداره جهاد

جدول ۷- خسارت کشاورزی در اطراف رودخانه بن رود قمصر بر اثر واقعه سیل سال ۱۳۸۶

حوزه آبخیز	مساحت آبیگری شده (هکتار)	میزان خسارت (میلیون ریال)
قمصر	۳/۲۳	۱۲۸۷۹/۳۴

جدول ۸- تعداد ساختمان‌های سیل‌گیری شده به تفکیک کاربری در اطراف رودخانه بن رود قمصر

نام ناحیه تحت تأثیر سیلاب	تجاری	مسکونی	کل ساختارهای در معرض سیلاب
رودخانه بن رود قمصر	۱۳	۲۳	۳۶

جدول ۹- تشریح خسارت‌های انسانی ناشی از واقعه سیل سال ۱۳۸۶ در حوزه آبخیز قمصر

Life Sim Report for simlife - alterlife								
Category	Num People Under 65 (Day)	Percentage Under 65 (Day)	Num People Over 65 (Day)	Percentage Over 65 (Day)	Num People Under 65 (Night)	Percentage Under 65(Night)	Num People Over 65(Night)	Percentage Over 65(Night)
PAR ¹	۱۷۴	۱۰۰	۲۵	۱۰۰	۱۳۵	۱۰۰	۱۱	۱۰۰
Received Warning ²	۹	۵	۱	۴	۹	۷۶	۱	۹
Mobilized ³	۹	۵	۱	۴	۹	۷۶	۱	۹
Total Cleared ⁴	۹	۵	۱	۴	۹	۷۶	۱	۹
Started Inundated ⁵	۹	۵	۱	۴	۹	۷۶	۱	۹
Caught ⁶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Survived ⁷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Life Loss ⁸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Not Mobilized ⁹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Depth<Non Evacu	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Not Mobilized	۱۶۴	۹۴	۲۴	۹۶	۱۲۶	۹۳	۱۰	۹۱
Warmed	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Not Warmed	۱۶۴	۹۴	۲۴	۹۶	۱۲۶	۹۳	۱۰	۹۱
In Buildings	۱۶۴	۹۴	۲۴	۹۶	۱۲۶	۹۳	۱۰	۹۱
1 Story	۹۲	۴۷	۴	۱۶	۵۷	۴۲	۲	۱۸
Survived	۹۲	۴۷	۴	۱۶	۵۷	۴۲	۲	۱۸
Life Loss	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
2 Story	۳۰	۱۷	۱۴	۵۶	۴	۳	۲	۱۸
Survived	۳۰	۱۷	۱۴	۵۶	۴	۳	۲	۱۸
Life Loss	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
3 Story	۵۲	۳۰	۶	۲۴	۶۵	۴۸	۶	۵۵
Survived	۵۲	۳۰	۶	۲۴	۶۵	۴۸	۶	۵۵
Life Loss	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

1- PAR جمعیت در معرض خطر

2- Received Warning تعداد اشخاصی که پیام هشدار را دریافت می‌کنند

3- Mobilized تعداد افرادی که پس از دریافت پیام هشدار تجهیز می‌شوند

4- Total Cleared افرادی که مکان را تخلیه می‌کنند

5- Started Inundated افرادی که در زمان آغاز آب‌گیری شروع به تخلیه می‌کنند

6- Caught افرادی را مشخص می‌کند که با شروع زمان سیل‌گیری برای تخلیه اقدام می‌کنند ولی قادر به ترک منطقه خطر قبل از آب‌گیری کامل نیستند

7- Survived افرادی که جان سالم به در می‌برند

8- Life Loss افرادی که جان خود را از دست می‌دهند

9- Not Mobilized افرادی که پیام هشدار را دریافت می‌کنند ولی با این حال منطقه خطر را تخلیه نمی‌کنند

قابلیت بررسی همزمان خسارت‌ها در بخش‌های مختلف را دارد. از مزایای دیگر استفاده از این نرم‌افزار می‌توان به سرعت و دقت بالای انجام محاسبات، امکان محاسبه خسارت در آینده (تنها با تغییر نقشه کاربری و اطلاعات مربوط به ارزش اقتصادی کاربری‌ها) و بررسی کارایی سیستم‌های پیش هشدار و نیز کارایی طرح‌های آبخیزداری اشاره کرد. از معایب این نرم‌افزار می‌توان به محاسبه نکردن خسارت‌های تحمیل شده به مراتع، دام، خاک، زیستگاه‌ها و زیرساخت‌ها از جمله تخریب جاده‌ها و خسارات انسانی حاضر در مسیر اشاره کرد. این مسأله به ویژه از آن‌رو حائز اهمیت است که اکوسیستم‌های طبیعی اطراف آبراهه‌ها مانند مراتع، دارای کارکردهای متعدد مانند ترسیب کرین، تولید اکسیژن، تولید علوفه و حفاظت آب و خاک هستند که هر یک از این کارکردها ارزش اقتصادی مختص به خود را دارند. بدیهی است تلاش به منظور ارزش‌گذاری اقتصادی این کارکردها و وارد کردن آن‌ها در مطالعات برآورد خسارت، کمک خواهد کرد تا اهمیت اقتصادی خسارت‌های ناشی از سیل بیش از پیش آشکار شود.

منابع

- اسلامیان س. و سلطانی کویایی س. ۱۳۸۱. تحلیل فراوانی سیل، انتشارات ارکان. ۲۴۵ ص.
- دستورانی م. خداپرست ر. طالبی ع. وفاه‌خواه م. و دشتی ج. ۱۳۸۹. ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS در حوضه آبخیز سد طرق مشهد، مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۱۰ تا ۱۲ اریبهبشت، دانشگاه تربیت مدرس.
- شیخ علیشاهی ن. جمالی ع. و حسن‌زاده م. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولوژیکی تحلیل رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز منشاد- استان یزد)، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اهر.
- فدایی م. عطاری ج. و مصباحی م. ۱۳۸۸. مقایسه اقتصادی پروژه‌های مدیریت سیلاب با استفاده از تلفیق نرم‌افزارهای GIS، HEC-RAS و HEC-

بر اساس یافته‌های به دست آمده، در حوزه آبخیز قمصر از افراد زیر ۶۵ سال، ۱۷۴ نفر در روز و ۱۳۵ نفر در شب و از افراد بالای ۶۵ سال ۲۵ نفر در روز و ۱۱ نفر در شب در معرض خطر سیل هستند. از بین افراد در معرض خطر سیل زیر ۶۵ سال، ۱۶۴ نفر (معادل ۹۴ درصد) در روز و ۱۲۶ نفر (معادل ۹۳ درصد) در شب پیام هشدار را دریافت نمی‌کنند. از افراد در معرض خطر بالای ۶۵ سال ۲۴ نفر (معادل ۹۶ درصد) در روز و ۱۰ نفر (معادل ۹۱ درصد) در شب پیام هشدار را دریافت نمی‌کنند.

نتیجه‌گیری

هر ساله سیل خسارات زیادی به مزارع، زمین‌های کشاورزی، راه‌ها، سدها، پلها و جاده‌ها وارد می‌کند و در برخی موارد باعث مرگ بسیاری از انسان‌ها و تلفات دامی می‌شود؛ در نتیجه باعث تخریب ساختار اجتماعی جوامع و خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌گردد. شناسایی مناطق دارای خطر سیل گرفتگی و اطلاع از احتمال وقوع یا دوره بازگشت وقایع سیلابی می‌تواند کمک شایانی برای برنامه‌ریزی و کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده طبیعی کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی و افزایش ساخت و سازهای بی‌رویه در امتداد و حریم رودخانه و همچنین محدودسازی رودخانه می‌تواند باعث افزایش دبی اوج سیلابها و در نتیجه افزایش سطح و عمق پهنه‌های سیل گیر شود که از این لحاظ، این نتایج با نتایج لئوپولد (۱۹۶۸)، نووتنی واولم (۱۹۹۴) و آلامیلا (۲۰۰۱) و شیخ علیشاهی (۱۳۹۵) مطابقت دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و خسارات جانی برآورد شده نشان می‌دهد که در منطقه قمصر ساختمان‌ها به‌صورت پراکنده از هم وجود دارد و سیستم هشدار به کار برده شده در منطقه (آژیر) کارآیی مناسبی ندارد؛ زیرا بالای ۹۰ درصد از افراد حاضر در منطقه هشدار را دریافت نمی‌کنند. بنابراین بهتر است در چنین مناطقی، سیستم هشدار دیگری مانند تماس تلفنی خودکار تعریف شود تا خسارت انسانی ناشی از سیل کم شود. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه برآورد خسارت سیل، خسارات بخش‌های مختلف بیشتر به صورت جداگانه برای هر بخش (مثلاً کشاورزی) بررسی شده است یا در صورت بررسی هم‌زمان خسارات کشاورزی، ساختمانی و انسانی، توانایی تفکیک جزئیات را نداشته‌اند؛ در حالیکه نرم‌افزار HEC-FIA

17. Penning-Rowsell E. Floyd P. Ramsbottom D. and S. Surendran. 2005. Estimating Injury and Loss of Life in Floods: A Deterministic Framework, *Natural Hazards*. 36: 43-64.
18. Sanders B. F. 2007. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Advances in Water Resources*. 30(8): 1831-1843.
19. Sangal B. P. 1983. Practical method of estimating peak flow. *Journal of Hydraulic Engineering*. 109(4): 549-563
20. Smith K. 2001. environmental hazards assessing risk and reducing disaster, Third edition, published by routledge 11 new fetter lane, London. 478 p.
21. Vimalkumar A. V. 2005. Flood Impact Analysis using GIS A case study for Lake Roxen and Lake Glan-Sweden. Linköpings universitet. 7 p.
22. Yang C. R. and Tsai C. T. 2000. Development of a GIS-BASED flood information system for floodplain modeling and damage calculation. *Journal of the American Water Resources Association*. 36(3): 567-577.
- FDA در رودخانه گرگان رود، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
۵. گنجی نوروزی ز. و شکوهی ع. ۱۳۹۲ ارائه مدل پیش‌بینی خسارت کشاورزی ناشی از سیل. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب تهران.
۶. معاونت نظارت راهبردی رئیس‌جمهور و وزارت نیرو. ۱۳۹۰. دفتر نظام فنی اجرایی. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها. ۹۱-۹۸.
7. Alamilla S. 2001. GIS based approach to floodplain delineation and flood risk estimation applied to the Oak Creek watershed. Master of Science thesis. Department of Civil and Environmental Engineering. Margiette University. Milwaukee. 4-15.
8. Cowan W. L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural engineering*. 37(7): 473-475.
9. Dutta D. Herath S. and Musiak K. 2003. A mathematical model for flood loss estimation, *J. of Hydrology*. 277: 24-49.
10. Fill H. and Steiner A. 2003. Estimating instantaneous peak flow from mean daily flow data. *Journal of Hydrologic Engineering*. 8(6): 365-369.
11. Fuller W. E. 1914. Flood flow. *Transaction of American Society of Civil Engineers*. 77. 564-617.
12. Hosking J. R. M. 1990. L-moments: analyzing and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of Royal Statistical Society B*. 52: 105-124.
13. Huang X. Tan H. Zhou J. Yang T. Benjamin A. Wen S. W. Li S. Liu A. Li X. Fen S. and Li S. 2008. Flood hazard in Hunan province of China an economic loss analysis. *Natural Hazards*. 47: 65-73.
14. Leopold. L. B. 1968. Hydrology for urban land planning. A guidebook on the hydrologic effects of urban land use. US. Geol. Circ. 554. USGS, Washington. DC. 16-28.
15. Novotny V. and Olem H. 1994. Water Quality: Prevention. Identifivation. and Management of Diffuse pollution. Van Nostrand reinhold. New York. 250-258, 1072 p.
16. Overton I. C. 2005. Modeling floodplain inundation on a regulated river: Integration GIS, Remote sensing and hydrological models. *River Research and Application*. 21: 991-1001.