

## ارزیابی خسارات ناشی از سیل در حوزه‌های آبخیز قمصر و قهرود با استفاده از نرم‌افزار HEC-FIA

هدی دلیران فیروز<sup>\*</sup>، فهیمه مختاری خوزانی، سعید سلطانی و سید علیرضا موسوی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۸)

### چکیده

در میان انواع خطرهای طبیعی، سیل شاید به‌عنوان ویرانگرترین عامل شناخته شود که خسارت زیادی را به جوامع انسانی تحمیل می‌کند. از اینرو اهمیت برآورد خسارات ناشی از سیل و پهنه‌بندی سیلاب که کاربرد بسیاری در مدیریت دشت سیلابی دارد، مشخص می‌گردد. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار HEC-FIA که یکی از مدل‌های جدید (سپتامبر ۲۰۱۲) به‌منظور برآورد اثرات و خسارات ناشی از سیل می‌باشد به محاسبه خسارات سیل در حوزه‌های آبخیز قهرود و قمصر پرداخته شد. در این مدل با استفاده از نقشه آبرگرفتنی مربوط به سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف که از HEC-RAS و HEC-Geo RAS به‌صورت فایل HEC-DSS به‌دست می‌آید و با کمک بانک اطلاعاتی جمع‌آوری شده در رابطه با کاربری‌های کشاورزی، ساختمانی و انسانی منطقه، خسارت‌های جانی و مالی به‌طور مستقیم قابل برآورد هستند. براساس نتایج این مدل خسارت‌های بخش کشاورزی، ساختمانی و انسانی به‌ترتیب در حوزه قهرود ۳۵۴ میلیون ریال و ۲۴ باب ساختمان تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند و همچنین در حوزه قمصر ۱۲۸۷۹ میلیون ریال و ۳۶ باب ساختمان تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند. از مزایای این مدل نسبت به مدل‌های قبلی برآورد مستقیم خسارت‌های اقتصادی و جانی برای سیل‌های اتفاق افتاده و احتمالی که در آینده به‌وقوع می‌پیوندند، می‌باشد که نتایج آن می‌تواند در مدیریت حوزه آبخیز، بیمه سیل و مدیریت ریسک ستاد بحران کمک شایانی بنماید.

واژگان کلیدی: برآورد اقتصادی خسارت سیل، پهنه‌بندی سیلاب، HEC-Geo RAS، HEC-RAS، HEC-DSS

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hdaliran220@gmail.com

## مقدمه

سیل یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارات زیادی را به جوامع انسانی وارد می‌آورد. در این میان شهرها و مراکز جمعیتی، بیشترین ریسک و احتمال خسارت فیزیکی قابل لمس ناشی از وقوع سیل را دارا می‌باشند (۱۹). در سال‌های اخیر رشد شهرها در دشت‌های سیلابی، به‌خصوص در حاشیه رودخانه‌ها موجب شده تا ساکنان و اموال منقول موجود در منطقه، در معرض خطر سیل باشند. ایران به‌عنوان یکی از چند کشور حادثه خیز جهان هر ساله شاهد چنین حوادثی می‌باشد. به‌عنوان مثال در فاصله سال‌های (۱۳۷۰-۱۳۴۶) در ایران حدود ۴۲/۵ میلیون نفر تحت تأثیر خسارات سیل قرار گرفته و حدود ۲/۹ میلیون نفر بی‌خانمان و ۴۸۲ هزار باب منزل مسکونی ویران شده است. بنابراین آمار، در طول مدت ۲۵ سال مذکور، فراوانی سیل ۹۶۷ بار بوده و در هر بار حدود ۴۴ هزار نفر تحت تأثیر خسارت سیل قرار گرفته‌اند (۳). اولین قدم برای ایجاد یک برنامه مؤثر به‌منظور جلوگیری از خسارات سیل، تشخیص مناطق حساس به سیل و دارای پتانسیل سیل‌خیزی و تهیه نقشه سیل‌گرفتگی می‌باشد. با پیشرفت کامپیوتر و تکنیک‌های پردازش داده‌های مکانی و ماهواره‌ای، GIS به‌عنوان یک ابزار قوی جهت ایجاد و آنالیز داده‌ها به‌منظور مدیریت دشت‌های سیلابی به‌کار گرفته شده است (۱۶). یانگ و همکاران (۲۱) نقشه سیل‌گرفتگی رودخانه بیربروک، در اوتاوا را با استفاده از HEC-RAS برای رگبارهای انتخاب شده در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ سال به‌دست آوردند. آنها در ابتدا داده‌های HEC-2 را به HEC-RAS وارد و مدل شبکه رودخانه را تولید کردند سپس مدل رودخانه‌ای را جهت تولید داده‌های هندسی داخل آبراهه و ارتفاع سطحی آب برای مدل زمینی ایجاد نموده و در نهایت نقشه آب‌گرفتگی را تولید کردند (۲۱). ساها و همکاران (۱۸)، فرانسیسکو و همکاران (۱۲)، هوندشا و همکاران (۱۳) و دونکر (۹) همگی از GIS به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای تکمیل و تحلیل داده‌های منابع مختلف به‌منظور مدیریت دشت‌های سیلابی استفاده کرده و با اتصال

GIS با مدل‌های هیدرولوژیک و هیدرولیک، مناطق تحت تأثیر سیل را طبقه‌بندی و به نقشه تبدیل کرده و نتایج رضایت‌بخشی به‌دست آورده‌اند. جلالی راد (۱۴) نیز در حوزه آبخیز شهری تهران با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS اقدام به تعیین مناطق سیل‌گیر کرده و نقشه پهنه‌های سیل‌گیر برای سیل با دوره‌های بازگشت مختلف را ترسیم کرد و در نهایت خسارت‌های سیل به‌ازای دوره‌های بازگشت مختلف را برآورد کرد. در مطالعه دیگری که به‌منظور ارزیابی خسارات ساختمانی و کشاورزی سیل انجام شده، دوتا و همکاران (۱۱) ابتدا توسط یک مدل هیدرولوژیک، عمق آب را در نقاط مختلف حوزه برآورد کردند و سپس با ترکیب توابع عمق-خسارت و نقشه عمق سیل، خسارت را محاسبه نمودند. پنینگ روسل و همکاران (۱۷) در تحقیقی دیگر روشی جهت تخمین خسارت جانی ناشی از سیل ارائه دادند. در این روش، درصد مردم در خطر از حاصل ضرب درجه خطر (Hazard rating) و مساحت آسیب‌پذیر (Vulnerability area) به‌دست می‌آید. مساحت آسیب‌پذیر از جمع ضرایب مربوط به‌نوع سیستم هشدار سیل، زمان رسیدن سیلاب (Speed of onset) و نوع کاربری منطقه با توجه به فاصله از رودخانه به‌دست می‌آید. همچنین عمق تیپ، سرعت تیپ و فاکتور واریزه (باتوجه به فاصله از رودخانه) نیز از عوامل مؤثر در محاسبه درجه خطر محسوب می‌شود. در این مطالعه توزیع مکانی سیل باتوجه به فاصله از رودخانه به‌صورت گسسته مدنظر قرار گرفته، اما توجهی به احتمال رخداد سیل چه در دراز مدت (دوره‌های برگشت) و چه در طی سال یا شبانه روز نگردیده است. از دیگر تحقیقات انجام شده در زمینه برآورد خسارت سیل می‌توان به مطالعه امیدوار و همکاران (۱) به‌منظور ارزیابی خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم مالی سیل با استفاده از نرم‌افزار HAZUS - MH اشاره کرد که براساس یافته‌های تحقیق خود، دقت و سرعت استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای را در مقایسه با روش‌های محاسبه خسارت دستی مورد تأکید قرار داده‌اند (۱). فدایی و همکاران (۴) نیز با تلفیق نرم‌افزارهای HEC-RAS، GIS و HEC-FDA به محاسبه

کوچکی از حوضه بزرگ دریاچه نمک قم می‌باشد. این حوزه بین مختصات جغرافیایی  $51^{\circ} 18' 59''$  تا  $51^{\circ} 26' 58''$  طول شرقی و  $33^{\circ} 38' 6''$  تا  $33^{\circ} 46' 19''$  عرض شمالی قرار دارد و از نظر تقسیمات حوزه‌ای، جزیی از سرشاخه‌های حوزه رودخانه بن‌رود به‌شمار می‌رود. این دو حوزه با توجه به ویژگی‌های فیزیوگرافی و کوهستانی بودن منطقه و همچنین تجاوزهای روزافزون انسانی به حریم و بستر رودخانه تحت تأثیر وقایع سیلابی متعددی قرار دارد و از اینرو برای انجام این مطالعه انتخاب شدند.

### روش تحقیق

#### برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای

با توجه به این که ایستگاه هیدرومتری منطقه فقط دارای اشل بوده و به‌همین دلیل داده‌های موجود تنها به‌صورت دبی‌های حداکثر روزانه هستند و دبی حداکثر لحظه‌ای در دسترس نیست، به‌منظور برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از آمار دبی حداکثر روزانه، از سه روش تجربی، رابطه دوم فولر (۱۹۱۴) (رابطه ۱)، فیل - استینر (۲۰۰۳) (رابطه ۲) و سنگال (۱۹۸۳) (رابطه ۵) استفاده شد.

$$Q_{\max} = Q(1 + 2/66A^{-0.7}) \quad [1]$$

$$Q_{\max} = (0.18Q_1 + 0.25(Q_1 + Q_2))/K \quad [2]$$

K فاکتور تصحیح است که از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شود.

$$K = 0.9123X + 0.36 \quad [3]$$

$$X = (Q_1 + Q_2)/2Q_2 \quad [4]$$

$$Q_{\max} = (4Q_2 - Q_1 - Q_2)/2 \quad [5]$$

که  $Q_{\max}$  دبی حداکثر لحظه‌ای پیش‌بینی شده بر حسب مترمکعب بر ثانیه، Q حداکثر دبی میانگین روزانه بر حسب مترمکعب بر ثانیه، A مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع،  $Q_2$  میانگین دبی روزانه روزی که حداکثر در آن اتفاق افتاده،  $Q_1$  میانگین دبی روزانه روز قبل از آن و  $Q_3$  میانگین دبی روزانه روز بعد از آن می‌باشد.

خسارات ناشی از سیل در حوزه رودخانه گرگانرود پرداخته و همچنین هزینه‌های پروژه‌های کنترل سیلاب را مورد بررسی قرار داده‌اند.

در راستای تحقیقات مورد اشاره، در تحقیق حاضر تلاش شد تا خسارات مالی و جانی سیل در حوزه‌های قهرود و قمصر به کمک نرم افزار HEC-FIA مورد مطالعه قرار گیرد. بسته نرم‌افزار HEC-FIA (Flood Impact Analysis) از تولیدات نرم‌افزاری مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا (Hydrologic Engineering Center) برای تجزیه و تحلیل اثر سیل می‌باشد که در سپتامبر سال ۲۰۱۲ ارائه شده است. این نرم‌افزار به کاربران امکان می‌دهد که خسارات سیل را برآورد کنند و سود نسبت داده شده به پروژه‌های کنترل سیل را بررسی نمایند. دوره‌های تجزیه و تحلیل می‌تواند یک دوره رویداد سیل منفرد یا یک دوره طولانی ثبت شده باشد. این برنامه میزان خسارت‌های کشاورزی، خسارت‌های شهری، تلفات انسانی و منفعت‌ها را برای یک رویداد یا به‌طور سالانه محاسبه می‌کند و خلاصه نتایج را گزارش می‌دهد. به کمک HEC-FIA همچنین می‌توان رویدادهای شکست سد را مورد بررسی قرار داده و برای سدها ارزیابی پیامدهای ریسک سیل را انجام داد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قهرود با مساحت  $9091/34$  هکتار در محدوده  $33^{\circ} 36' 34''/14''$  تا  $33^{\circ} 44' 30''/25''$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 21' 52''/22''$  تا  $51^{\circ} 29' 53''/27''$  طول شرقی قرار دارد. این حوزه در شهرستان کاشان واقع شده و یکی از مناطق آسیب‌پذیر این شهرستان محسوب می‌شود. در این حوزه سه روستا وجود دارد که به‌علت کوهستانی بودن منطقه در بستر مسیل رودخانه توسعه پیدا کرده‌اند و این امر موجب شده بارش‌های سنگین منجر به ایجاد سیل و خسارات زیادی به مناطق مسکونی، باغات، اراضی کشاورزی و ... در سال‌های اخیر گردد. حوزه آبخیز قمصر با مساحت  $10605$  هکتار بخش

## تحلیل فراوانی سیلاب

جهت انجام تحلیل فراوانی سیلاب، توزیع‌های متعددی به‌کار برده شد. به‌منظور برآورد چندک‌های توزیع، روش گشتاورها، حداکثر درست‌نمایی و گشتاور وزنی احتمال کاربرد بیشتری دارند که در این تحقیق باتوجه به این‌که نتایج آزمون‌های نکویی برازش (مربع کای و کلموگروف اسمیرنوف) و مقدار خطای استاندارد روش گشتاورهای وزنی احتمال را بهتر از بقیه روش‌ها معرفی نمود از این روش استفاده شد.

## تهیه نقشه‌های سیل‌گرفتنی

جهت اطلاع از میزان و ارتفاع سیل، لازم است مدل هیدرولیکی در مسیر آبراهه شبیه‌سازی شود. برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در بازه مورد مطالعه حوزه آبخیز قهرود و قمصر از برنامه HEC-RAS که دارای توانایی بالایی در شبیه‌سازی مدل هیدرولیکی جریان پایدار تک‌بعدی می‌باشد، استفاده گردید (۱۰). در هر مقطع عرضی از بازه‌های مطالعاتی، با استفاده از HEC-RAS از چندین پارامتر ورودی جهت توصیف شکل، ارتفاع و مکان‌های تقریبی در طول آبراهه رودخانه استفاده شد. کلیه این پارامترها پیشتر با استفاده از HEC-Geo RAS از مدل رقومی زمینی استخراج و به محیط HEC-RAS وارد گردید.

## تعیین ضریب زبری مانینگ

در این تحقیق از روش کاون برای تعیین میزان ضریب زبری مانینگ استفاده شد که در آن ابتدا یک مقدار پایه برای  $n$  تعیین می‌شود و بعد با استفاده از پارامترهای  $m$ ،  $n_1$ ،  $n_2$ ،  $n_3$ ،  $n_4$  که در ادامه توضیح داده شده است در کل آبراهه اصلی و یا دشت سیلابی از رابطه ۴ تصحیح می‌گردد (۷). دقت برآورد آن می‌تواند از جداول یک حالت به‌ویژه در مناطق رودخانه‌های طبیعی بیشتر باشد.

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad [4]$$

که  $n_b$  ضریب مانینگ پایه،  $n_1$  ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی و یا دشت سیلابی،  $n_2$

ضریب مانینگ تعدیلی برای تغییرات مقاطع عرضی،  $n_3$  ضریب مانینگ تعدیلی برای موانع آبراهه اصلی و یا دشت سیلابی،  $n_4$  ضریب مانینگ تعدیلی برای پوشش گیاهی آبراهه اصلی و یا دشت سیلابی و  $m$  ضریب اصلاحی زبری براساس درجه پیچانرودی آبراهه اصلی می‌باشد. مقدار پایه  $n$  یک حداقل کاهش را به‌علت اصطکاک نشان می‌دهد. تصحیحات پنج‌گانه با توجه به تأثیرشان بر تلاطم جریان تلاش می‌کنند مقادیر مبنا را اصلاح کنند و این تصحیحات در هر مرحله به‌مقدار پایه اضافه می‌شود.

## تعیین و ایجاد پروفیل سطحی آب

برای ایجاد پروفیل سطحی آب در جریان پایدار باید شرایط مرزی جریان پایدار را برای مدل تعریف کرد. شرایط مرزی برای برقراری سطح آب آغازین در هر یک از دو انتهای سیستم رودخانه (پائین دست و بالادست) و شروع محاسبات، توسط برنامه مورد نیاز می‌باشد. در این مطالعه به‌علت وجود سیلاب‌های آبی و تعیین مرز سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت بالا (دوره‌های بازگشت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سال) از شرایط فوق‌بحرانی استفاده شد.

## ترسیم دشت سیلابی و تعیین محدوده سیل‌گرفتنی

بعد از انجام محاسبات هیدرولیکی و ایجاد سطوح مختلف آب در محیط HEC-RAS، این امکان وجود دارد که این نتایج جهت ترسیم مرز و میزان سیل‌گرفتنی و همچنین مشخص نمودن عمق سیل‌گرفتنی مجدداً به HEC-Geo RAS در محیط Arc GIS وارد گردند.

## شبیه‌سازی جریان ناپایدار

به‌منظور شبیه‌سازی جریان ناپایدار در HEC-RAS و به‌دست آوردن فایل شبیه‌سازی شده جریان (HEC-DSS) برای ورود به نرم‌افزار HEC-FIA، ابتدا داده‌های دبی سیل رخ داده با فواصل زمانی یک ساعت به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار وارد و سپس

جدول ۱. برآورد مقادیر جریان‌های سیلابی با بازگشت مختلف در ایستگاه‌های قمصر و قهرود (مترمکعب بر ثانیه)

روش برآورد دبی اوج	توزیع	ساله ۲	ساله ۵	ساله ۱۰	ساله ۵۰	ساله ۱۰۰	ساله ۲۰۰	ساله ۵۰۰	ساله ۱۰۰۰
فولر(قمصر)	LP-III	۰/۴۵	۱/۲۹	۲/۵۳	۱۰/۰	۱۷/۴	۲۹/۷	۵۹/۰	۹۸/۱
سنگال(قمصر)	LP-III	۰/۳۲	۱/۰۴	۲/۲۶	۱۱/۷	۲۳/۰	۴۴/۵	۱۰۵	۲۰۱
فیل - استینر (قمصر)	LP-III	۰/۳۰	۰/۹۹	۲/۱۸	۱۱/۹	۲۴/۰	۴۷/۸	۱۱۷	۲۳۱
سنگال(قهرود)	LP-III	۰/۳۲	۰/۹۹	۲/۱۲	۵/۵۳	۱۱/۱۹	۲۲/۴۵	۴۴/۸	۱۱۱/۱۸

شرایط مرزی مشخص می‌شود.

همچنین تعداد افراد بالای ۶۵ سال به دست آمد.

در ادامه برای انجام شبیه‌سازی و محاسبه خسارت انسانی و یا کشاورزی اطلاعات متفاوتی مورد نیاز بود که با توجه به داده‌های در دسترس، این اطلاعات وارد گردید. برای بخش خسارت انسانی، فایل HEC-DSS ایجاد شده توسط شبیه‌سازی جریان ناپایدار مدل HEC-RAS و شیپ فایل مقاطع عرضی وارد شده و برای بخش خسارت کشاورزی، تاریخ و زمان اوج سیلاب در واقعه سیل شبیه‌سازی شده تعریف گردید. نتایج حاصل از این نرم‌افزار، خسارات ناشی از سیل را برای بخش‌های کشاورزی و ساختمانی به صورت جداگانه و در قالب جداولی ارائه می‌دهد.

### نتایج

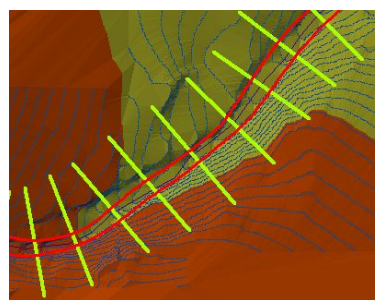
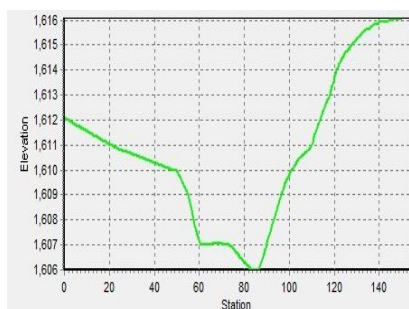
در مرحله انجام تحلیل فراوانی سیل و برآورد دبی در دوره‌های بازگشت مختلف از توزیع لوگ پیرسون نوع سه (LP۳) استفاده شد و این امری منطقی است زیرا اصولاً این توزیع برای مقادیر حداکثر به کار برده می‌شود. جهت انجام تحلیل فراوانی منطقه، توزیع‌های متعددی به کار برده شد. به منظور برآورد پارامترهای توزیع، روش‌های گشتاورها، حداکثر درست‌نمایی و گشتاور وزنی احتمال کاربرد بیشتری دارند که از بین آنها در حوزه قمصر روش گشتاورهای وزنی احتمال و در حوزه قهرود روش حداکثر درست‌نمایی پاسخ منطقی‌تری را با توجه به آزمون‌های انتخاب توزیع مناسب کلموگروف - اسمیرنوف، کای اسکوتر و روش‌های بصری دربر داشت. جدول ۱ نتایج برآورد مقادیر دبی با دوره‌های بازگشت مختلف را نشان می‌دهد.

### شبیه‌سازی در نرم‌افزار HEC-FIA

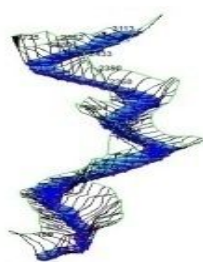
اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی در این نرم‌افزار شامل خط مرکزی جریان، DEM دقیق حوزه، اطلاعات کاربری‌های کشاورزی و ساختمانی، فایل رستر آب‌گرفتنی منطقه (حاصل از شبیه‌سازی جریان پایدار در HEC-RAS)، منطقه تحت تأثیر سیلاب و نقاط محاسبه است. منطقه تحت تأثیر سیلاب، پلی‌گونی در اطراف خط مرکزی جریان و کاربری‌های موجود بوده و نقاط محاسبه در شبیه‌سازی‌های بر پایه سری‌های زمانی، موقعیت اطلاعات سری‌های زمانی را نمایش می‌دهد که این اطلاعات شامل هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده جریان ناپایدار در HEC-RAS می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز برای بخش کشاورزی شامل پلی‌گون‌های معین‌کننده موقعیت کاربری‌های کشاورزی و اطلاعات جمع‌آوری شده از افراد محلی می‌باشد. این اطلاعات شامل نوع محصول، عملکرد هر محصول، هزینه و درآمد هر محصول در واحد سطح، تاریخ‌های کاشت و برداشت محصولات در منطقه و ... از طریق تکمیل پرسش‌نامه‌هایی که به همین منظور طراحی شده بود، به دست آمد. اطلاعات مورد نیاز برای بخش ساختمانی شامل تعیین موقعیت ساختمان‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه از طریق پرسش‌نامه می‌باشد. در این پرسش‌نامه‌ها اطلاعاتی در خصوص کاربری ساختمان (مسکونی، تجاری، صنعتی، عمومی)، تعداد طبقات، ارتفاع فونداسیون، قیمت ساختمان و محتویات آن، تعداد افراد حاضر در روز و شب و

جدول ۲. مقدار P-value منتج شده از فرآیند تحلیل فراوانی سیل در ایستگاه‌های قمصر و قهرود (سطح اطمینان ۵ درصد)

روش برآورد دبی اوج	آزمون کلموگروف-اسمیرونوف	آزمون کای اسکوتر
فولر(قمصر)	۰/۲۶	۰/۷۰
سنگال(قمصر)	۰/۸۳	۰/۷۳
فیل - استینر (قمصر)	۰/۹۵	۰/۷۷
سنگال(قهرود)	۰/۵	۰/۸۵



شکل ۱. ایجاد مقاطع عرضی بر روی TIN حوزه در نرم‌افزار HEC-Geo RAS



ب



الف



شکل ۲. نمای سه‌بعدی رودخانه بن‌رود، (الف) قهرود و (ب) در حالت جریان پایدار در همه دوره‌های بازگشت

با استفاده از پیش پردازش‌هایی که در HEC-Geo RAS صورت پذیرفت، اطلاعات سه بعدی مقاطع که نشان دهنده شکل، ارتفاع، موقعیت و به‌طور کلی ویژگی‌های مقاطع عرضی کانال می‌باشند، استخراج گردید (شکل ۱).

شکل ۲ نمای سه بعدی از پروفیل سطح آب در شرایط پایدار را نمایش می‌دهد که نتایج حاصل از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در فرمت مناسب GIS ذخیره شد. در طی مرحله پس پردازش داده‌ها در HEC-Geo RAS محدوده سیل‌گیر اطراف رودخانه با دوره‌های بازگشت مختلف (۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۵، ۲) به‌صورت رستر و وکتور درآمد که نشان می‌دهد با افزایش دوره بازگشت، وسعت و عمق

در جدول ۲ نیز مقدار P-value حاصل از فرآیند تحلیل فراوانی با استفاده از بسته نرم‌افزاری تحلیل فراوانی سیل (Flood Frequency Analysis) در دو حوزه مطالعاتی آمده است.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود چون مقدار P-value برای روش فیل- استینر در هر دو آزمون کلموگروف-اسمیرونوف و کای اسکوتر 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؛ این در حالی است که در حوزه آبخیز قهرود در هر دو آزمون، این مقادیر فقط برای روش سنگال پذیرفته شد.

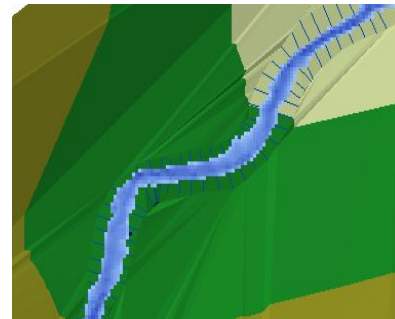
جدول ۳. خروجی حاصل از جریان ناپایدار HEC-RAS (HEC-DSS) به ترتیب در حوزه قمصر و قهرود

Filter	Part A	Part B	Part C	Part D	Part E	Part F
957	BON ROOD UPPER REACH	2436	FLOW-CUM	1JUN2007	1HOUR	44
958	BON ROOD UPPER REACH	2436	STAGE	1JUN2008	1HOUR	44
959	BON ROOD UPPER REACH	2449	FLOW	1JUN2009	1HOUR	44
960	BON ROOD UPPER REACH	2449	FLOW-CUM	1JUN2010	1HOUR	44
961	BON ROOD UPPER REACH	2449	STAGE	1JUN2011	1HOUR	44
962	BON ROOD UPPER REACH	2485	FLOW	1JUN2012	1HOUR	44
963	BON ROOD UPPER REACH	2485	FLOW-CUM	1JUN2013	1HOUR	44
964	BON ROOD UPPER REACH	2485	STAGE	1JUN2014	1HOUR	44

Filter	Part A	Part B	Part C	Part D	Part E	Part F
134	GHOHRD LOWER REACH	1209	FLOW-CUM	1JUN2007	1HOUR	PLANN
135	GHOHRD LOWER REACH	1245	STAGE	1JUN2008	1HOUR	PLANN
136	GHOHRD LOWER REACH	1245	FLOW	1JUN2009	1HOUR	PLANN
137	GHOHRD LOWER REACH	1245	FLOW-CUM	1JUN2010	1HOUR	PLANN
138	GHOHRD LOWER REACH	1291	STAGE	1JUN2011	1HOUR	PLANN
139	GHOHRD LOWER REACH	1291	FLOW	1JUN2012	1HOUR	PLANN
140	GHOHRD LOWER REACH	1291	FLOW-CUM	1JUN2013	1HOUR	PLANN
141	GHOHRD LOWER REACH	1340	STAGE	1JUN2014	1HOUR	PLANN

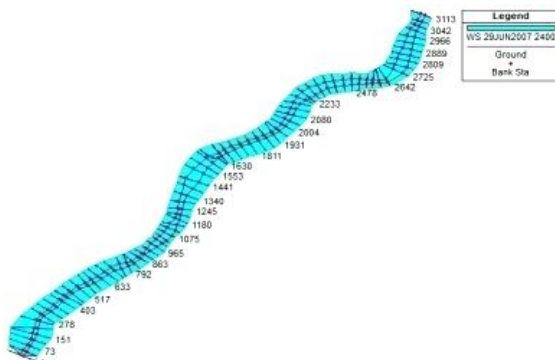


ب

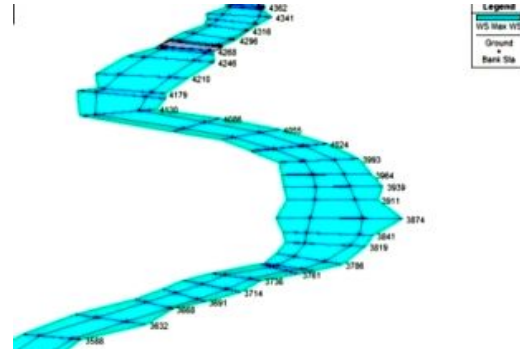


الف

شکل ۳. الف) محدوده رستری سیل‌گیری شده با دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال در بخشی از رودخانه بن‌رود و ب) قهرود



ب

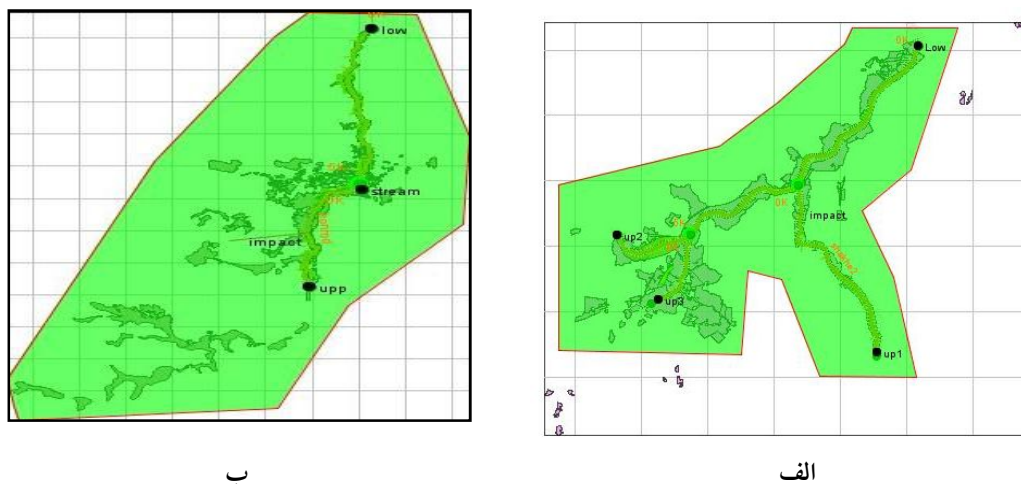


الف

شکل ۴. الف) نمای پروفیل طولی در حالت جریان ناپایدار بخشی از آبراهه بن‌رود و ب) قهرود

برای همه مقاطع به‌دست آمد (جدول ۳). در نهایت پروفیل طولی رودخانه که حاصل شبیه‌سازی جریان ناپایدار در رودخانه است، حاصل شد (شکل ۴). پس از ورود داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، نسبت به

سیل‌گرفتنی نیز افزایش می‌یابد. از نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان ناپایدار، هیدروگراف اشل-دبی برای بازه‌های رودخانه می‌باشد. بعد از این‌که شبیه‌سازی انجام شد، خروجی مدل به‌صورت فایل HEC-DSS



شکل ۵. نمایش کلی از منطقه تحت تأثیر، نقاط محاسبه و خط مرکزی جریان در HEC-FIA. پلی‌گون‌های تیره محدوده اراضی کشاورزی را نمایش می‌دهد، الف) حوزه آبخیز قمصر و ب) حوزه آبخیز قهرود

جدول ۴. میزان خسارات کشاورزی حوزه‌های آبخیز قمصر و قهرود بر اثر واقعه سیل سال ۱۳۸۶

حوزه	میزان خسارت (میلیون ریال)	مساحت سیل‌گیری شده (ha)
قهرود	۳۵۴/۲	۰/۸۵
قمصر	۱۲۸۷۹/۳	۳/۲۳

کشاورزی جمع‌آوری شده است. این اطلاعات همچنین با اداره جهاد کشاورزی شهرستان کاشان مورد بررسی قرار گرفته و از صحت آنها اطمینان حاصل شد. با وقوع سیل خساراتی به زیرساخت‌های منطقه نیز وارد می‌شود که در این مدل پیش‌بینی نشده و از روش‌های دیگر امکان محاسبه آن وجود دارد.

براساس یافته‌های تحقیق، جدول ۵ تعداد ساختمان‌های آب‌گیری 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 ۱۵ ساختمان مسکونی و ۹ ساختمان تجاری و در کل تعداد ۲۴ ساختمان در حوزه آبخیز قهرود و تعداد ۲۳ ساختمان مسکونی و ۱۳ ساختمان تجاری و در کل تعداد ۳۶ ساختمان در حوزه آبخیز قمصر در معرض سیلاب می‌باشد. خسارات انسانی برآورد شده در دو حوزه نیز به تفکیک در

شبیه‌سازی در نرم‌افزار HEC-FIA اقدام شد. در شکل ۵ نمایش کلی از کاربری اراضی، نقاط محاسبه، خط مرکزی جریان و منطقه تحت تأثیر قابل مشاهده است.

این مدل، نتایج را برای هر منطقه تحت تأثیر به صورت جدولی نمایش می‌دهد (جدول ۴). این جدول شامل میزان خسارت سیل به محصولات موجود در منطقه (آلوچه، سیب و گردو) و سطح سیل‌گیری شده در واقعه سیل مورد بررسی می‌باشد (سیل سال ۱۳۸۶). ۰/۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی در کل منطقه قهرود، تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرد که خسارت برآورد شده براساس مدل، حدود ۳۵۴ میلیون ریال بوده و همچنین اراضی کشاورزی تحت تأثیر سیل در حوزه آبخیز قمصر ۳/۲۳ هکتار و خسارت وارده حدود ۱۲/۸ میلیارد ریال برآورد گردید. میزان خسارات برآورد شده براساس ارزش‌های پرسش شده از افراد محلی است که در بخش اطلاعات کاربری



جدول ۵. ساختمان‌های سیل‌گیری شده به تفکیک کاربری حوزه‌های آبخیز قمصر و قهرود بر اثر وقوع سیل سال ۱۳۸۶

نام منطقه تحت تأثیر	تجاری	مسکونی	کل ساختمان‌های آب‌گیری شده
قهرود	۹	۱۵	۲۴
قمصر	۱۳	۲۳	۳۶

جدول ۶. تشریح خسارات انسانی ناشی از سیل در حوزه آبخیز قهرود براساس یافته‌های تحقیق

### Life Sim Report

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	133	100%	30	100%	43	100%	13	100%
Received Warning	73	55%	13	43%	21	49%	4	31%
Mobilized	72	54%	13	42%	21	48%	4	30%
Total Cleared	72	54%	13	42%	21	48%	4	30%
Started Inun...	73	55%	13	43%	21	49%	4	31%
Caught	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Survived	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Not Mobilized	1	1%	0	1%	0	1%	2	16%
Depth < Non Evacu...	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Not Mobilized	55	42%	15	51%	22	52%	7	54%
Warned	1	1%	0	1%	0	1%	2	16%
Not Warned	54	41%	15	50%	22	51%	5	38%
In Buildings	55	42%	15	51%	22	52%	7	54%
1 Story	2	2%	5	17%	0	0%	0	0%
Survived	2	2%	5	17%	0	0%	0	0%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
2 Story	31	23%	8	27%	15	36%	5	39%
Survived	31	23%	8	27%	15	36%	5	39%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
3 Story	22	17%	2	7%	7	16%	2	15%
Survived	22	17%	2	7%	7	16%	2	15%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Initial Condition								
Started Inundated	73	55%	13	43%	21	49%	4	31%
Total Cleared	78	58%	15	49%	21	48%	6	46%
Warned/Mobilized/...	72	54%	13	42%	21	48%	4	30%
Depth < Non Evacu...	6	5%	2	7%	0	0%	2	15%
Total Life Loss	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
In Buildings	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Caught Evacuating	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

سیستم هشدار استفاده شد. سیستم‌های هشدار دیگر موجود در نرم‌افزار شامل رادیو، تلفن اتوماتیک و سیستم‌های هشدار اورژانسی (Emergency Broadcast System) (EBS) و همچنین ترکیبی از این سیستم‌ها می‌باشد. تعداد افرادی که پس از دریافت پیام هشدار تجهیز می‌شوند در قالب Mobilized دسته‌بندی شده و از این تعداد، افرادی که مکان را تخلیه می‌کنند و از منطقه خطر خارج می‌شوند در قالب

جداول ۶ و ۷ تشریح شده است. این جداول همه گزینه‌ها را به تفکیک برای افراد زیر ۶۵ سال و بالای ۶۵ سال در روز و در شب به صورت جداگانه نمایش می‌دهد.

PAR جمعیت تحت‌خطر را نمایش می‌دهد. تعداد اشخاصی که پیام هشدار را دریافت می‌کنند در قالب Received Warning تعیین شده است (سیستم هشدار پیش‌فرض این نرم‌افزار آزریر می‌باشد و در این مطالعه از همین

جدول ۷. تشریح خسارات انسانی ناشی از سیل در حوزه آبخیز قمصر براساس یافته‌های تحقیق

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	174	100%	25	100%	135	100%	11	100%
Received Warning	9	5%	1	4%	9	7%	1	9%
Mobilized	9	5%	1	4%	9	7%	1	9%
Total Cleared	9	5%	1	4%	9	7%	1	9%
Started Inun...	9	5%	1	4%	9	7%	1	9%
Caught	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Survived	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Not Mobilized	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Depth < Non Evacu...	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Not Mobilized	164	94%	24	96%	126	93%	10	91%
Warned	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Not Warned	164	94%	24	96%	126	93%	10	91%
In Buildings	164	94%	24	96%	126	93%	10	91%
1 Story	82	47%	4	16%	57	42%	2	18%
Survived	82	47%	4	16%	57	42%	2	18%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
2 Story	30	17%	14	56%	4	3%	2	18%
Survived	30	17%	14	56%	4	3%	2	18%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
3 Story	52	30%	6	24%	65	48%	6	55%
Survived	52	30%	6	24%	65	48%	6	55%
Lost Life	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Initial Condition								
Started Inundated	9	5%	1	4%	9	7%	1	9%
Total Cleared	10	6%	1	4%	9	7%	1	9%
Warned/Mobilized/...	9	5%	1	4%	9	7%	1	9%
Depth < Non Evacu...	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%
Total Life Loss	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
In Buildings	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Caught Evacuating	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

می‌دهد چه تعداد افراد با دریافت پیام، منطقه را تخلیه کرده و چه تعداد از بین رفته‌اند.

براساس نتایج به‌دست آمده، در حوزه آبخیز قهرود ۱۳۳ نفر زیر ۶۵ سال و ۳۰ نفر بالای ۶۵ سال در روز تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند و این آمار برای شب به ترتیب ۴۳ و ۱۳ نفر می‌باشد. از این تعداد، ۷۳ نفر زیر ۶۵ سال و ۱۳ نفر بالای ۶۵ سال پیام هشدار (آزیر) را در روز دریافت می‌کنند که این آمار در شب به ترتیب تعداد ۲۱ و ۴ نفر می‌باشد. همچنین 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

TotalCleared مطرح می‌شود. افرادی که در زمان آغاز آب‌گیری شروع به تخلیه می‌کنند نیز در بخش Started Inundated مشخص شده است. قسمت 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. از این افراد تعدادی جان سالم به‌در می‌برند (Survived) و تعدادی از بین می‌روند (Life Loss). افرادی که پیام هشدار را دریافت می‌کنند ولی با این حال منطقه خطر را تخلیه نمی‌کنند در قالب Not Mobilized معرفی شده است. -تعداد افرادی که پیام هشدار را دریافت نمی‌کنند تحت عنوان Not Mobilized مشخص شده که شامل افرادی است که جان سالم به‌در می‌برند و یا از بین می‌روند. - سایر بخش‌های این جدول، نشان‌دهنده وضعیت ابتدایی شرایط شبیه‌سازی است که نشان

تنها بر روی گیاه برنج متمرکز بوده است در صورتی که در این مدل همه خسارت‌ها قابل برآورد می‌باشد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی و خسارات جانی برآورد شده نشان می‌دهد که تعداد افرادی که پیام هشدار (آژیر) را دریافت می‌کنند بالای ۵۰٪ افراد واقع در منطقه قهرود هستند و این نشانگر کارآمدی سیستم هشدار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این منطقه خانه‌ها بیشتر به صورت متراکم قرار گرفته‌اند و این گونه سیستم‌های هشدار تأثیر مناسبی بر کاهش میزان خسارات انسانی ناشی از سیل دارد، در صورتی که در منطقه قمصر ساختمان‌ها به صورت 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 با ساختمان‌های پراکنده سیستم هشدار دیگری مانند تماس تلفنی اتوماتیک تعریف گردد تا خسارت انسانی ناشی از سیل کم شود.

تحقیقات انجام گرفته در زمینه برآورد خسارت سیل در جهان، برای هر بخش مثلاً کشاورزی انجام شده یا اگر خسارات کشاورزی و ساختمانی و انسانی با هم بررسی شده، توانایی تفکیک جزئیات را نداشته‌اند؛ در حالی که نرم‌افزار HEC-FIA این توانایی را دارا می‌باشد. این مدل قادر به برآورد خسارت‌های بخش‌های مختلف کشاورزی، ساختمانی، انسانی و ... هم برای سیلاب‌های اتفاق افتاده و هم برای سیلاب‌های احتمالی می‌باشد که نتایج آن می‌تواند در مدیریت حوزه آبخیز، بیمه سیل و مدیریت ریسک ستاد بحران کمک شایانی بنماید. دقت ورودی‌های مدل در نتایج تأثیرگذار است. بنابراین اگر بخواهیم دقت خروجی را افزایش دهیم ورودی‌ها نیز باید دارای دقت بیشتری باشند. برای استفاده از این مدل سازمان‌های مربوطه می‌توانند اطلاعات دقیق مورد نیاز را فراهم نمایند تا بتوانند در آینده از آنها استفاده کنند. با استفاده از این مدل امکان ارزیابی اقتصادی پروژه‌هایی مانند مخزن و ... قبل از احداث آنها وجود دارد تا هم از هزینه‌های بی‌مورد جلوگیری کنند و هم حضور یا عدم حضور این پروژه‌ها را در میزان کاهش خسارت و بهره‌وری

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.

## بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان با روش‌های صحیح مدیریتی از خسارت به مناطق مسکونی، کشاورزی و ... جلوگیری به عمل آورد و میزان ریسک سرمایه‌گذاری را هم برای مردم و هم برای مدیران و برنامه‌ریزان مشخص کرد. با بررسی نتایج به دست آمده و نقشه‌های سیل‌گیری، مشاهده می‌شود که به‌ازای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر، میزان دبی بیشتر شده و پهنه سیلابی نیز وسعت بیشتری یافته است. در حقیقت علت کم بودن تفاوت سطح سیل گیر در بسیاری از بخش‌ها و همچنین عدم تفاوت چشمگیر در وسعت اراضی در معرض سیل به ازای دوره‌های بازگشت مختلف، وجود توپوگرافی پرشیب در حاشیه رودخانه است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی و افزایش ساخت و سازهای بی‌رویه در امتداد و حریم رودخانه‌های قهرود و قمصر که باعث تغییر در ضریب رواناب، ضریب زبری، نفوذپذیری و همچنین تنگ‌شدگی مقطع رودخانه گردیده است می‌تواند عامل اصلی افزایش دبی پیک سیلاب‌ها و در نتیجه افزایش سطح و عمق پهنه‌های سیل‌گیر باشد که این یافته‌ها با نتایج لئوپولد (۱۵)، نووتنی و اولم (۱۶) و آلامیلا (۸) مشابهت دارد. با توجه به GIS محور بودن این مدل و برآورد اثرات همه‌جانبه سیل در آن می‌توان در هر نقطه از دشت سیلابی کلیه خسارت‌های ناشی از سیل اعم از کشاورزی، انسانی، ساختمانی و ... را برآورد نمود. تیت (۲۰)، مطیعی و باربد (۶) و خلیلی‌زاده و همکاران (۲) دقت نرم‌افزارهای GIS محور قبلی را مورد تأکید قرار دادند و، گنجی نوروزی و همکاران (۵) به بررسی خسارت کشاورزی در حوزه آزارود با ارائه مدل پیش‌بینی خسارت کشاورزی پرداخته‌اند که محاسبه خسارت

آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. از معایب این نرم‌افزار می‌توان به عدم محاسبه خسارات تحمیل شده به مراتع، دام، خاک، زیست‌گاه‌ها و زیرساخت‌ها از جمله تخریب جاده‌ها و خسارات انسانی افراد حاضر در مسیر جاده‌ها اشاره کرد. مراتع دارای کارکردهای متفاوتی مثل ترسیب کربن، تولید اکسیژن، تولید

علوفه، حفاظت آب و خاک و ... هستند که می‌توان ارزش اقتصادی آن‌ها را نیز برآورد نمود. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، خسارات وارده به این موارد نیز به صورت جداگانه محاسبه شده و به مجموع خسارات افزوده شود.

## منابع مورد استفاده

۱. امیدوار، ب.، ا. شمس‌الدینی. ۱۳۸۵. ارزیابی خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم مالی سیل با استفاده از نرم‌افزار HAZUS-MH. اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشگاه تهران.
۲. خلیلی‌زاده، م.، ا. مساعدی و ع. نجفی‌زاده. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی خطر سیل در بخشی از محدوده رودخانه زیارت در حوزه آبخیز شهری گرگان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۸۴، ص: ۱۳۸.
۳. طهماسبی پور، ن. ۱۳۸۶. منطقه‌ای کردن برآورد سیل در تعدادی از زیر حوزه‌های کرخه با استفاده از چولگی تعمیم‌یافته، مجله پژوهش و سازندگی، جلد ۷۴، ص: ۱۰-۲.
۴. فدایی، م.، ج. عطاری و م. مصباحی. ۱۳۸۸. مقایسه اقتصادی پروژه‌های مدیریت سیلاب با استفاده از تلفیق نرم‌افزارهای GIS HEC-RAS و HEC-FDA در رودخانه گرگان رود، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
۵. گنجی نوروزی، ز.، ع. شکوهی. ۱۳۹۲. ارائه مدل پیش‌بینی خسارت کشاورزی ناشی از سیل، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، تهران.
۶. مطیعی، ه.، م. باربد. ۱۳۸۱. پهنه‌بندی سیلاب در حوزه آبخیز با ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های ریاضی، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
7. Acement G. S. and Schneider V. R. 1985. Guide for selecting Manning's roughness coefficient for natural channels and Flood plains, Water Resources paper 2339, US Geological survey, Washington DC. (updated 2002).
8. 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. pp 4-15.
9. Donker, N. H. 2001. A Simple Rainfall-runoff model based on Hydrological Units applied to the teba catchment (south-east Spain); Hydrological processes 15: 135-149.
10. Donnelly, M. K. 2001. Developing digital flood insurance rate maps for lago vista, masters of science in engineering the university of texas at austin.
11. Dutta, D., S. Herath and K. Musiake. 2003. A mathematical model for flood loss estimation, J. of Hydrology 277: 24-49.
12. Francisco, N. C. and et al., 1998. Coupling GIS with Hydrologic and Hydrolic Flood modeling management; Water resources management 12: 229-249.
13. Hundecha, Y. and et al., 2001. Development of a fuzzy logic-based rainfall-runoff model, Hydrological Sci J. 46(3): 363-376.
14. Jalali Rad, R. 2002. Flooding zones in the Urban basin of Tehran by using GIS. MSc thesis Watershed Engineering, Tarbiat Modarres University.
15. 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. PP: 16-28.
16. Novotny, V. and H. Olem. 1994. Water Quality: Prevention, Identifivation, and Management of Diffuse pollution, Van Nostrand reinhold, New York. pp. 250-258.
17. Penning-Rowell, E., P. Floyd, D. Ramsbottom and S. Surendran. 2005. Estimating Injury and Loss of Life in Floods:A Deterministic Framework, Natural Hazards 36: 43-64.
18. Shah, S. M. S. and et al., 1996. Modeling the effects of spatial variability in rainfall on catchmnt response, 2.

- Experiments with distributed and lumped models. *J. of Hydrological processes* 175: 89-111.
19. Snead, D. B. 2000. Development and application of unsteady flood models using geographic information systems. masters thesis, Department of Civil Engineering, The university of texas at austin.
  20. Tate, E. C. 1998. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS. Masters Thesis, Department of Civil Engineering, the University of Texas at Austin.
  21. Yang, J., R. D. Townsend and B. Daneshfar. 2006. Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation, *Can. J. of Civil Eng.* 33:19-28.