

تحلیل عدم قطعیت در برآورد خسارت مورد انتظار سالیانه به منظور ارزیابی ریسک سیلاب (مطالعه موردی: دشت کوهپایه - سگزی از حوضه آبریز زاینده‌رود)

نرگس علیان، محمدمهدی احمدی* و بهرام بختیاری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۷)

چکیده

برآورد خسارت مورد انتظار سالیانه (Expected annual damage) ناشی از سیلاب در حوضه‌های شهری و غیرشهری یکی از مهم‌ترین پارامترهای مهندسی و مدیریت سیلاب است. EAD یک شاخص مهم برای نشان دادن میزان آسیب‌پذیری یک حوضه در برابر سیلاب است. برآورد EAD احتیاج به تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اقتصادی دارد. برآورد EAD بدون توجه به عدم قطعیت موجود نمی‌تواند بیان‌کننده واقعیت ریسک سیلاب حوضه باشد. در این پژوهش EAD در منطقه کوهپایه - سگزی در حوضه آبریز زاینده‌رود با لحاظ کردن عدم قطعیت به روش مونت‌کارلو برآورد شده است. در مدل هیدرولوژیکی احتمال رخداد سیلاب با استفاده از داده‌های درازمدت دبی حداکثر محاسبه و مدل هیدرولیکی بازه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نیز بهره‌گیری از نرم‌افزار گوگل ارث بررسی شد. مقدار خسارت با توجه به کاربری اراضی محدوده مشخص و با توسعه یک کد کامپیوتری در محیط متلب و فراخوانی خروجی مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اقتصادی مقدار EAD با لحاظ کردن عدم قطعیت به روش مونت کارلو محاسبه و بررسی شد. توزیع لگاریتم پیرسون تیپ III در تحلیل فراوانی سیلاب به‌عنوان بهترین توزیع شناخته و در نهایت منحنی خسارت - اشل برآورد شد. بر اساس نتایج آنالیز عدم قطعیت، دبی جریان بیشترین تأثیر در بروز عدم قطعیت در برآورد EAD را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ریسک، خسارت سیل، GIS .HEC-RAS، عدم قطعیت، منطقه کوهپایه - سگزی، زاینده‌رود

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

*:مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ahmadi_mm@uk.ac.ir

مقدمه

پدیده سیلاب و زیان‌های ناشی از آن یکی از مسائل مطرح در مدیریت منابع آب است. در مدل‌های قطعی، هدف تنها میزان خسارت ناشی از سیلاب است. در مدل‌های اتفاقی درست‌نمایی رخدادها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. یک آنالیز ریسک صحیح علاوه بر لحاظ کردن درست‌نمایی رخداد سیل و خسارات متعاقب آن نیاز به در نظر گرفتن عدم قطعیت نیز دارد (۳). در نظر گرفتن مشخصه‌های غیرقطعی پاسخ سیستم به درستی قابل پیش‌بینی نیست زیرا عدم قطعیت موجود به دلایل مختلف این امکان را فراهم نمی‌کند. در ارزیابی ریسک سیلاب، عدم قطعیت به صورت ذاتی وجود دارد (۴). یک شاخص کلیدی برای آنالیز ریسک سیلاب، خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD) است. خسارت مورد انتظار سالیانه انتگرال منحنی چگالی ریسک سیلاب روی تمام احتمالات ممکن است (۱۱). خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD)، همچنین به صورت متوسط خسارت در یک بازه طولانی مدت نیز بیان می‌شود. به طور کلی برای محاسبه EAD نیاز به تلفیق مدل‌های عددی هیدرولیک سیل و توابع اقتصادی برآورد خسارت است که این کار منتج به روابط انتگرالی و یا سری برای محاسبه EAD خواهد شد. تمام منابع ایجاد عدم قطعیت در آنالیز ریسک سیلاب روی EAD نیز مؤثرند مانند عدم قطعیت آماری در برآورد مقادیر حدی دبی و تراز سطح آب در رودخانه، عدم قطعیت مدل‌های هیدرولیکی، عدم قطعیت ناشی از کمبود اطلاعات و عدم قطعیت توابع خسارت (۳). بنابراین لحاظ کردن عدم قطعیت در برآورد EAD می‌تواند درک درستی از اهمیت عوامل تأثیرگذار بر پدیده ایجاد کند و شناختی راجع به سهم هر کدام از پارامترهای ورودی بر خطای ظاهر شده در نتایج خروجی ارائه دهد.

به منظور به کمیت در آوردن عدم قطعیت، روش‌های متعددی وجود دارد که از بین آنها روش شبیه‌سازی مونت کارلو به‌طور گسترده در منابع آب و تحلیل ریسک استفاده شده است. سنت جورج و همکاران (۱۱) به منظور رتبه‌بندی منابع عدم قطعیت در

مدل‌سازی خسارت سیل با تجزیه و تحلیل منابع عدم اطمینان به ارزیابی عدم قطعیت با استفاده از روش مونت کارلو پرداختند و نشان دادند که رتبه‌بندی عدم اطمینان بستگی به بخش اقتصادی (مسکن خصوصی، زمین کشاورزی و فعالیت‌های اقتصادی) دارد و عدم قطعیت در منحنی عمق-خسارت قابل توجه است. کالیان‌پو و همکاران (۷) در کارولینای شمالی با استفاده از چهارچوب مونت کارلو به تجزیه و تحلیل عدم قطعیت پرداختند و نتایج نشان دادند که در مواقعی که از سازه‌های کنترل سیلاب استفاده می‌شود تا ۸۰/۴ درصد نسبت به وضع موجود کاهش خسارت مورد انتظار سالانه (EAD) را پیش‌بینی کردند و تعیین عدم قطعیت، ریسک و اطمینان‌پذیری را برای استفاده از تابع توزیع تجمعی EAD در تحلیل‌ها ضروری دانستند.

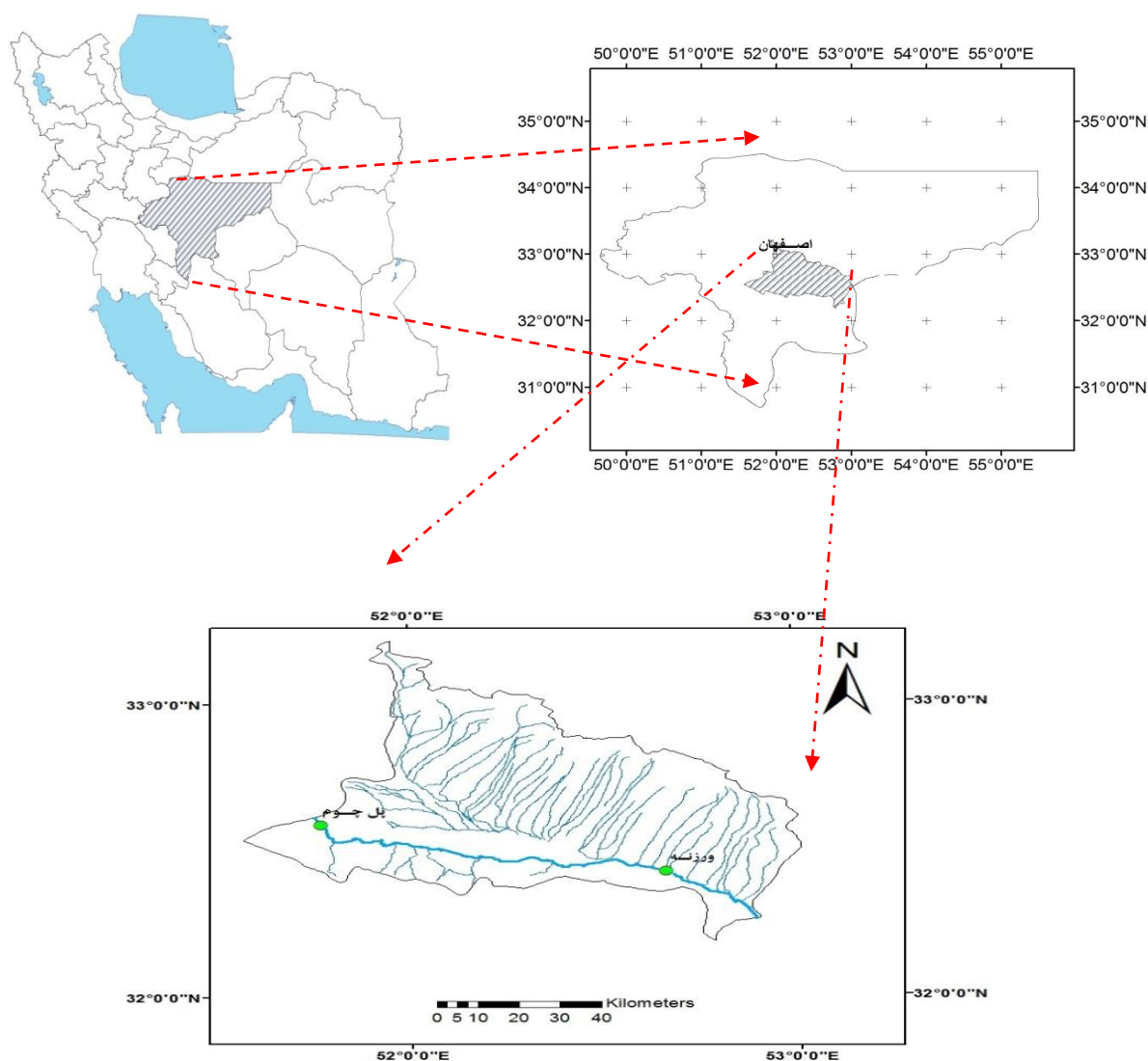
خسارت ناشی از سیل شامل خسارات محسوس و خسارات نامحسوس است که خود خسارات محسوس به دو دسته خسارات مستقیم و خسارات غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌شود (۱۰). خسارت مستقیم شامل سیل‌گیری اراضی و تأسیسات، ایجاد فرسایش کناری در حاشیه رودخانه‌ها و تخریب و از بین رفتن اراضی کشاورزی است. خسارت غیرمستقیم نیز شامل افزایش هزینه‌های حمل و نقل به علت تغییر مسیر جاده‌های ارتباطی و خسارت ناشی از قطع آب و برق و تلفن و هزینه‌های احیای اراضی و هزینه‌های بازسازی است (۸). خسارات مستقیم با توجه به مساحت ناحیه سیل زده و میزان محصولات، اماکن یا تجهیزاتی که در اثر سیل از بین رفته‌اند محاسبه شده است و خسارت غیرمستقیم دوبرابر خسارت مستقیم در نظر گرفته شده است.

در این مقاله برآورد EAD در منطقه کوهپایه-سگری از حوضه آبریز زاینده‌رود انجام شده و عدم قطعیت نیز برآورد شده است. برای برآورد EAD از تلفیق مدل‌های فراوانی سیل، مشخصات هیدرولیکی و برآورد اقتصادی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز زاینده‌رود با مساحتی حدود ۱۶۹۱۷ کیلومتر مربع



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی ب رگستره ایران

متعلق به آب منطقه‌ای با طول دوره آماری ۵۷ سال انجام شده است. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین از نقشه توپوگرافی رودخانه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استفاده شده است.

برآورد خسارت مورد انتظار سیلاب

در این پژوهش برای برآورد EAD از نتایج تحلیل فراوانی سیل همراه با داده‌های اشل و تلفیق با منحنی اشل - خسارت استفاده شده است. گام‌های اساسی محاسبات در فلوچارت شکل (۲) نشان

قسمتی از حوضه آبریز کویر مرکزی است که رودخانه زاینده‌رود به‌عنوان آبراهه اصلی آن یکی از مهم‌ترین، بزرگ‌ترین و پر آب‌ترین رودخانه‌های حوضه‌های داخلی کشور بوده است که حوضه آبریز اصفهان و گاوخونی را زهکشی می‌کند و به مرداب گاوخونی ختم می‌شود. برای تحلیل خسارات سیلاب و عدم قطعیت منطقه کوهپایه - سگزی انتخاب و از داده‌های دو ایستگاه پل چوم و ورزنه استفاده شده است. مشخصات حوضه در شکل (۱) و جدول (۱) مشخص شده است. در این مطالعه از داده‌های دبی ۲۴ ساعته و اشل رودخانه دو ایستگاه آب‌سنجی

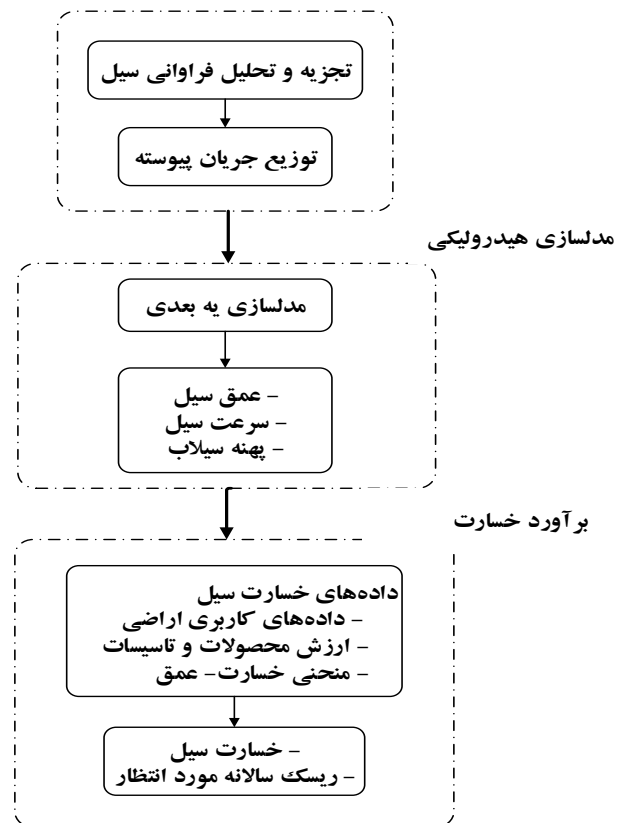
جدول ۱. برخی از مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه حوضه آبریز گاوخونی

ایستگاه	نام حوضه	طول جغرافیایی (E) (درجه - دقیقه - ثانیه)	عرض جغرافیایی (N) (درجه - دقیقه - ثانیه)	ارتفاع (متر)
پل چوم	زاینده‌رود	۱۳/۵۱-۴۶-۵	۳۲-۳۵-۶	۱۵۵۰
وزنه	زاینده‌رود	۴۹/۵۲-۳۹-۵	۲۵/۳۲-۲۵-۸	۱۴۷۰

سپس با استفاده از نرم‌افزار SMADA بهترین توزیع احتمالاتی انتخاب شد و دبی‌های لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله توسط توزیع آماری محاسبه شد.

برآورد رابطه یا منحنی دبی - اشل رودخانه نیاز به مدل‌سازی هیدرولیکی دارد، بنابراین از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ شاخه اصلی زاینده‌رود که توسط شرکت آب منطقه‌ای اصفهان در مطالعات تعیین بستر و حریم زاینده‌رود نقشه‌برداری شده، به‌عنوان نقشه پایه استفاده شده است. نقشه توپوگرافی در محیط GIS باز و نقشه TIN رودخانه موردنظر تهیه شد. لایه TIN در واقع مبنای استخراج خطوط تراز و لایه‌های موردنیاز HEC-RAC است. در ادامه با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS به شبیه‌سازی هندسی رودخانه، لایه‌های HEC-RAC در محیط GIS ساخته شد. این لایه‌ها شامل خط مرکزی جریان، سواحل کانال اصلی، خطوط تمرکز سیل‌راه و خطوط برش مقاطع عرضی هستند. با رسم این خطوط موقعیت، وضعیت و پهنای مقاطع عرضی از TIN زمین استخراج شده و در این لایه معرفی و ذخیره شد شکل (۳). در گام بعد اطلاعات تولید شده در محیط GIS به مدل هیدرولیکی HEC-RAS با استفاده از HEC-Geo RAS وارد شد، سپس مشخصات هندسی رودخانه در محیط HEC-RAS تکمیل شد. در این راستا مشخصات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی رودخانه نظیر سازه‌های متقاطع مسیر، ضرایب افت انرژی، شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست، نوع رژیم جریان، دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف و ضریب زبری مانینگ به مدل هیدرولیکی HEC-RAS وارد و مدل‌سازی هیدرولیکی انجام شد. با اتمام فرایند مدل‌سازی هیدرولیکی، منحنی و رابطه دبی - اشل رودخانه برآورد شد. برآورد اقتصادی باید بتواند میزان خسارت را با توجه به تراز

محاسبه جریان ورودی

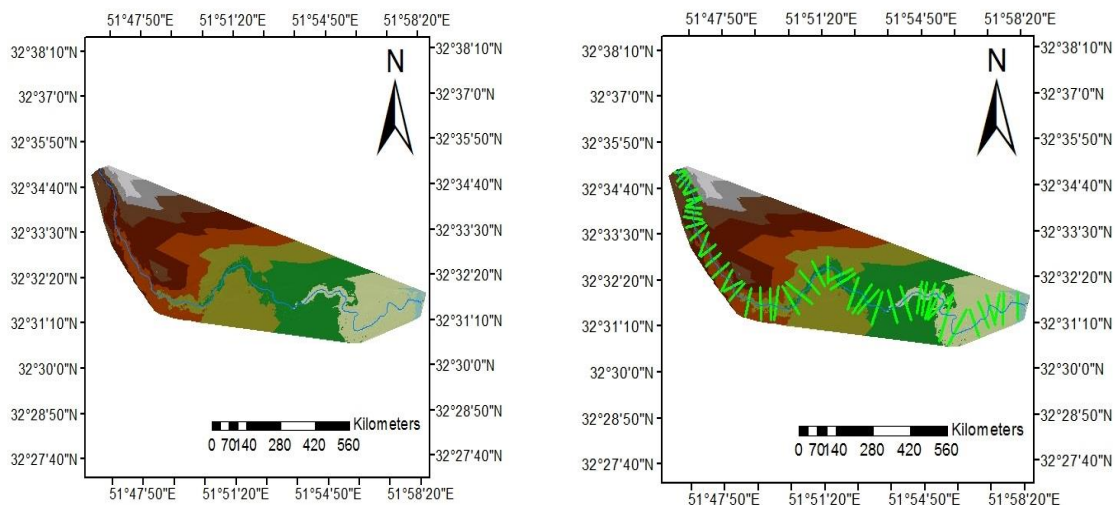


شکل ۲. الگوریتم کلی محاسبه خسارت مورد انتظار سالانه

داده شده است. ابتدا مدل هیدرولیکی و مدل خسارت توضیح داده شده و سپس نحوه برآورد EAD با لحاظ کردن عدم قطعیت تشریح شده است.

مدل‌سازی هیدرولوژیکی - هیدرولیکی و اقتصادی

هدف از مدل هیدرولوژیکی استخراج منحنی یا معادله فراوانی سیلاب است، به‌منظور انجام تحلیل فراوانی سیل داده‌های ۵۷ سال دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری، تحلیل همگنی شده و



شکل ۳. نمونه‌ای از نمایش نقشه TIN منطقه و خطوط مقاطع عرضی ایجاد شده در طول مسیر رودخانه زاینده‌رود توسط HEC-GeoRAS

شکل (۴) بعد از برآورد نمودار احتمال رخداد - خسارت یا CDF خسارت، مساحت زیر این نمودار همان EAD خواهد بود.

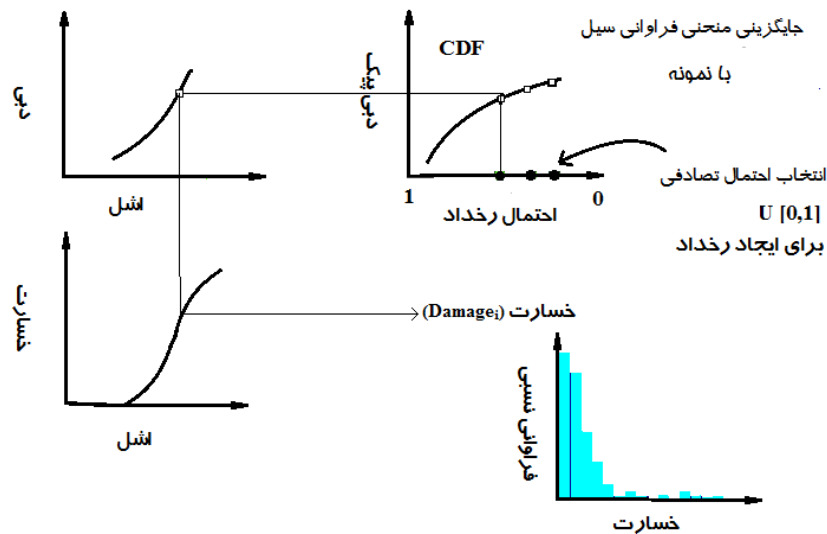
برآورد EAD با شبیه‌سازی مونت کارلو

تغییرات طبیعی سیل و نقص دانش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی از عوامل اصلی بروز عدم قطعیت در برآورد EAD هستند. در برآورد مقدار EAD به روش اتفاقی عدم قطعیت لحاظ نشده است. شبیه‌سازی مونت کارلو به‌عنوان یکی از روش‌های آنالیز کمی ریسک معرفی شده است. در این روش با توجه به ویژگی‌های آماری متغیرهای تصادفی سیستم، برای هر متغیر به‌صورت تصادفی یک مقدار تولید شده و سیستم براساس این مقادیر تولید شده و مقادیر متغیرهای ورودی قطعی، به‌صورت قطعی شبیه‌سازی می‌شود. با تکرار زیاد این فرایند، ویژگی‌های آماری متغیرهای خروجی چون میانگین، انحراف معیار و تابع توزیع احتمال آنها قابل برآورد است. در این پژوهش برای برآورد EAD از آنالیز مونت کارلو استفاده شده است. بر این اساس احتمال وقوع تصادفی در بازه صفر و یک به تعداد ۱۰۰۰ بار توسط نرم‌افزار MATLAB تولید و با اجرای روند مدل‌سازی ۱۰۰۰ خروجی خسارت حاصل شد، انحراف معیار، میانگین خسارت‌ها و ضریب تغییرات پارامتر خروجی محاسبه

سیلاب پیش‌بینی کند. با توجه به پهنه‌بندی سیلاب انجام شده و اطلاع از کاربری اراضی اطراف منطقه مطالعاتی، برای برآورد خسارات سالیانه مورد انتظار به اراضی کشاورزی مقدار خسارات مربوط به هر یک از سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف محاسبه شد. با توجه به بررسی و مطالعات انجام شده از محدوده مطالعاتی به‌طور متوسط در هر هکتار از اراضی مجاور رودخانه ۶۶ درصد سیب‌زمینی، ۲۷ درصد برنج و ۷ درصد خربزه کشت می‌شود (جهاد کشاورزی اصفهان، ۱۳۹۱). همچنین هزینه لای‌روبی برای هر هکتار، ۱۰ میلیون ریال تخمین زده شده است (۱). در نهایت خسارت کل از مجموع خسارت‌های مستقیم، غیرمستقیم و هزینه لای‌روبی به‌دست آمده است.

برآورد EAD

با استخراج منحنی فراوانی سیل، می‌توان منحنی دبی - اشل را توسط مدل‌های هیدرولوژیکی و منحنی خسارت اشل را توسط مدل اقتصادی برآورد کرد. سپس می‌توان مقدار EAD را به روش قطعی و با لحاظ کردن عدم قطعیت‌های موجود محاسبه کرد. بر مبنای روش اتفاقی برای محاسبه EAD منحنی‌های فراوانی سیل، مدل هیدرولیکی و برآورد اقتصادی به‌کار گرفته می‌شود. روند شماتیکی محاسبات EAD به روش اتفاقی در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به



شکل ۴. نمای محاسبه EAD با آنالیز مونت کارلو

رخداد و برآورد خسارت مرتبط با آن تا جایی ادامه می‌یابد که پارامترهای آماری مورد نظر به میزان مشخصی میل کند. در این پژوهش متوسط خسارت و یک درصد احتمال تجاوز به عنوان شاخص‌های آماری در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به مرور منابع، هزار تکرار برای رسیدن به همگرایی کفایت می‌کند شکل (۵). بنابراین روند محاسبه هزار بار تکرار شده است. بعد از مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمودارها و داده‌های تولیدی توسط یک کد کامپیوتری نوشته شده در محیط متلب فراخوانی و محاسبات مربوط به EAD و برآورد عدم قطعیت توسط کد کامپیوتری محاسبه شده است.

نتایج و بحث

اجرای مدل هیدرولوژیکی

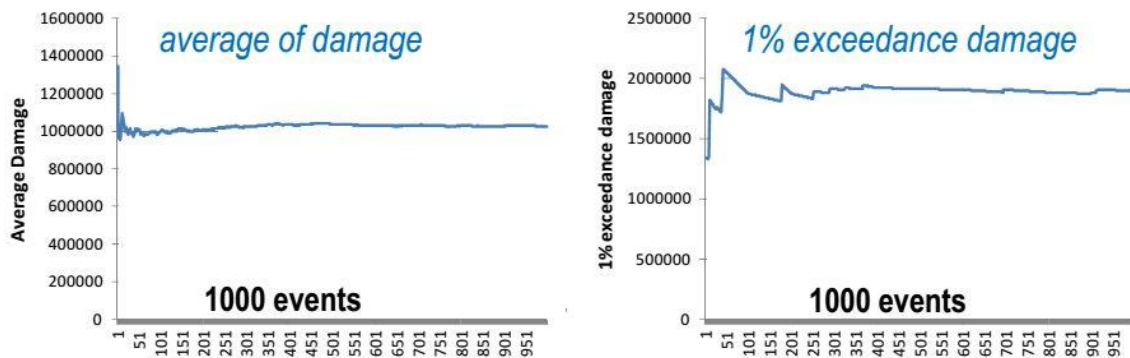
در این پژوهش ابتدا برای بررسی همگن و تصادفی بودن داده‌های مورد استفاده از آزمون ران - تست استفاده شد. آزمون توالی برای آمار مورد استفاده ایستگاه‌ها در محیط نرم‌افزار Minitab اجرا شد. بر این اساس مقادیر P-value برای ایستگاه‌های مطالعاتی ۰/۶ و ۰/۹ به دست آمده با توجه به اینکه این مقادیر از ۰/۵ بزرگ‌تر است (۴)، از صحت آماری داده‌ها اطمینان حاصل شد. به منظور پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی

و به عنوان معیار عدم قطعیت خروجی در نظر گرفته شد. بر این اساس تغییرات حداکثر دبی به عنوان عامل اصلی بروز عدم قطعیت تعیین شد. با این وجود تخمین برخی پارامترها در مدل هیدرولیکی و مدل خسارت نیز از عوامل ایجاد عدم قطعیت هستند. در روش تحلیل آنالیز مونت کارلو توزیع فراوانی سیل با یک نمونه زیاد مقدار جایگزین شد. این کار امکان مدل‌سازی قطعی هر عضو از نمونه در برآورد خسارت را امکان‌پذیر می‌کند و همچنین یک نمونه بزرگ از خسارت تولید خواهد شد. بدین منظور یک احتمال تصادفی بین [۰،۱] انتخاب و با استفاده از منحنی به دست آمده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی مرتبط با احتمال انتخاب می‌شود، با استفاده از مدل هیدرولیکی، اشغال این رخداد سیل تعیین و سپس با استفاده از مدل اقتصادی خسارت مربوط به این رخداد سیل (Di) تعیین می‌شود. با تکرار این روند به میزان لازم و تحلیل فراوانی مقادیر خسارت، مقدار EAD از رابطه (۱) برآورد می‌شود.

$$EAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (1)$$

که در آن EAD خسارت مورد انتظار سالیانه و D_i خسارت وارده به اراضی کشاورزی در اثر وقوع سیلاب i هستند. شکل (۴) شماتیکی از روند محاسبه EAD با روش مونت کارلو را نشان می‌دهد.

برای رسیدن به همگرایی انتخاب احتمال تصادفی یک



شکل ۵. روند همگرایی شاخص‌های آماری بر اساس تکرار

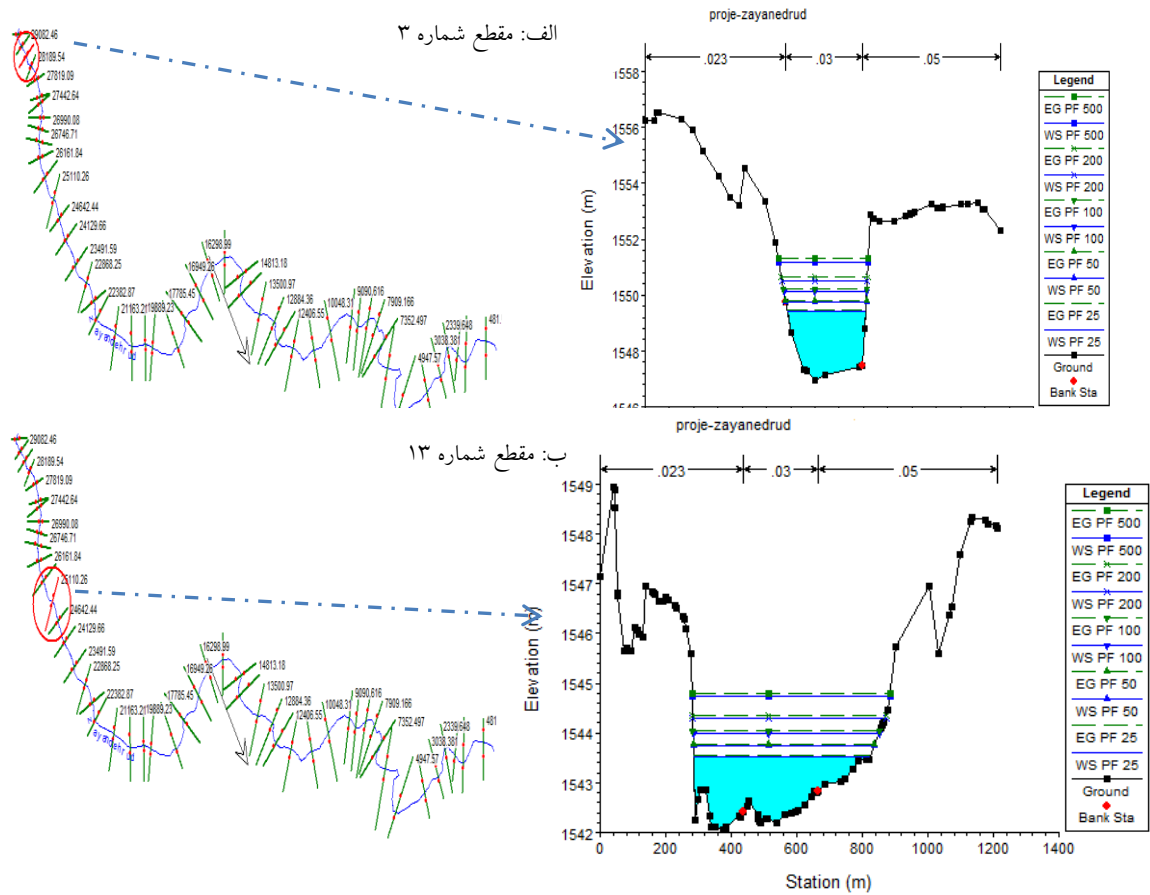
جدول ۲. نتایج مقادیر محاسبه شده سیلاب به‌ازای دوره بازگشت مختلف

ردیف	احتمال وقوع	دوره بازگشت	مقدار محاسبه شده	انحراف استاندارد
۱	۰/۵	۲	۶۵/۱	۱۰/۲۰۳۶
۲	۰/۶۶۷	۳	۸۹/۳	۱۵/۱۴۳۱
۳	۰/۸	۵	۱۲۳/۷	۲۴/۰۴۴۲
۴	۰/۹	۱۰	۱۸۲/۳۹	۴۶/۷۵۴۸
۵	۰/۹۶	۲۵	۲۸۷/۸۳	۱۱۰/۳۳۶۶
۶	۰/۹۸	۵۰	۳۹۵/۹	۱۹۹/۸۳۲
۷	۰/۹۹	۱۰۰	۵۳۶/۲۷	۳۴۶/۰۰۹۴
۸	۰/۹۹۵	۲۰۰	۷۱۸/۱۳	۵۷۸/۴۲۶۸
۹	۰/۹۹۸	۵۰۰	۱۰۴۲/۴۴	۱۰۹۶/۹۵۴

نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی

پس از تهیه ورودی‌های مورد نیاز مدل HEC-RAC، پروفیل طولی سطح آب و نقشه پهنه‌های سیل به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف توسط نرم‌افزار GIS به‌دست آمد و با انجام تحلیل‌های لازم در نرم‌افزار GIS مساحت اراضی در پهنه‌های سیل‌گیر محاسبه شد. نظر به اینکه کاربری‌های حاشیه رودخانه را کشاورزی تشکیل می‌دهد لذا توجه به مدیریت سیلاب و کنترل آن به‌منظور جلوگیری از خسارت جبران‌ناپذیر بیش از پیش مشخص می‌شود. در این پژوهش ۴۹ مقطع عرضی به فواصل مختلف روی رودخانه زاینده‌رود به‌وسیله الحاقیه HEC-geoRAS در محیط GIS زده شده است، شکل (۳). شکل (۶) نمونه‌ای از مقاطع عرضی و تراز سیل برآورد شده هر مقطع را نشان می‌دهد. برای محاسبه

خسارت نیاز به دبی پیک ماهانه و سالانه با دوره بازگشت‌های ۵۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ ساله است. بنابراین بعد از آماده‌سازی داده‌های دبی حداکثر سالانه از بین داده‌های تاریخی ایستگاه‌های پل چوم و ورزنه با استفاده از نرم‌افزار SMADA دوره بازگشت‌های ذکر شده پیش‌بینی شده است. نتایج نشان داد که منحنی توزیع با منحنی داده‌های واقعی در توزیع لگاریتم پیرسون تیپ III، مطابقت بیشتری نسبت به سایر توزیع‌ها نشان می‌دهد، بنابراین توزیع آماری لگاریتم پیرسون تیپ III به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع آماری محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است و با استفاده از توزیع مذکور، دبی سیل با دوره بازگشت‌های معین ایستگاه هیدرومتری محاسبه و در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۶. نمونه‌هایی از مقاطع عرضی رودخانه زاینده‌رود و نمایش سطح آزاد آب در هنگام وقوع سیل با دوره بازگشت مختلف

جدول ۳. نتایج پهنه سیلابی به‌ازای دوره بازگشت مختلف

ردیف	دوره بازگشت	مساحت خالص سیل‌گرفتگی (هکتار)	دبی سیلاب (m^3/sec)
۱	۲۵	۵۸۶۰۵۹/۱۰۲	۸۳/۲۸۷
۲	۵۰	۷۵۷۸۷۹۱/۱۵۲	۳۹۵/۹
۳	۱۰۰	۸۶۵۳۰۹۳/۳۲۲	۲۷/۵۳۶
۴	۲۰۰	۹۴۰۰۹۷۷/۵۰۰	۱۳/۷۱۸
۵	۵۰۰	۷۰۱۳۳۵۹/۷۰۹	۴۴/۱۰۴۲

جدول (۳) نشان داده شده است. در شکل (۷) پهنه سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله توسط نرم‌افزار گوگل ارث در محیط واقعی زمین، به‌عنوان نمونه نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشخص است زمین‌های اطراف رودخانه دارای کاربری کشاورزی و بیشترین سطح سیل‌گیری مربوط به پایین‌دست روخانه است. براساس

سطح اراضی مستغرق در اثر سیلاب، سطح سیل‌گرفتگی به‌ازای هر سال با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه شد، سپس پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال به‌عنوان حریم رودخانه در نظر گرفته شد (۶)، و از تفاضل پهنه سیل در هر یک از مساحت‌های تعریف شده با پهنه سیل ۲۵ ساله، مساحت خالص اراضی سیل‌زده محاسبه شد که نتایج در



شکل ۷. پهنه سیلاب برآورد شده با دوره بازگشت ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله و نمایش وضعیت پوشش منطقه

نشان داد که دبی سالانه در تعیین عدم اطمینان خسارت دارای بیشترین اهمیت است و عدم قطعیت خسارت نقش عمده در عدم قطعیت کلی را داراست. کد کامپیوتری نوشته شده در محیط متلب بعد از فراخوانی داده‌های مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی روند محاسبات EAD را بر اساس روش توضیح داده شده انجام داده و مقادیر شاخص‌های آماری را محاسبه می‌کند که در جدول (۵) نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

در مطالعات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی علاوه بر مقادیر نهایی محاسبه شده نحوه مدل‌سازی پدیده (قطعی، احتمالاتی و اتفاقی) به اندازه خود نتیجه مهم است. در این پژوهش به بررسی ریسک سیلاب رودخانه با در نظر گرفتن عدم قطعیت پرداخته شده است. بدین منظور برای تحلیل آماری و مدل‌سازی

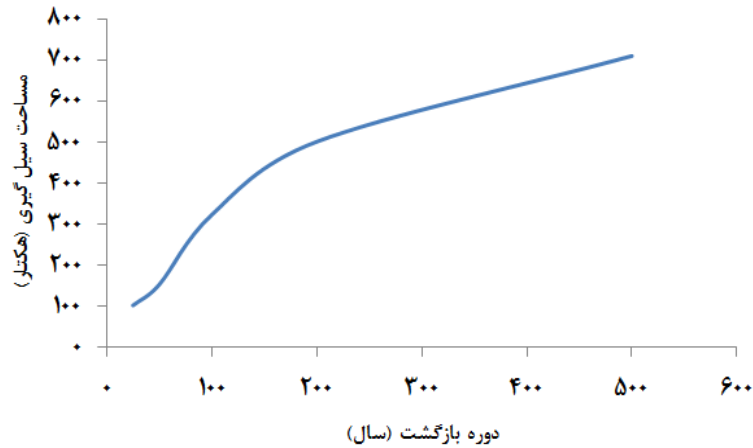
نقشه پهنه‌های سیل، نمودار تغییرات مساحت پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف آن در شکل (۸) نشان داده شده است.

برآورد خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD) به اراضی کشاورزی منطقه

جدول (۴) نتایج حاصل از خسارت به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد. شکل (۹) نیز روند تغییرات خسارت کل در مقابل دوره بازگشت را نشان می‌دهد.

نتایج تحلیل عدم قطعیت در برآورد خسارت با استفاده از روش مونت‌کارلو

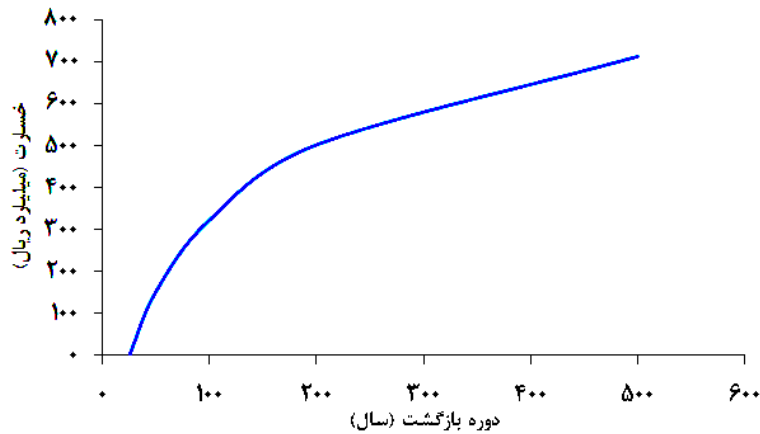
نتایج آنالیز عدم قطعیت برای منحنی خسارت - احتمال نشان داد که ضریب تغییرات ۴۶ درصد بوده است. همچنین، آنالیز عدم قطعیت خسارت با در نظر گرفتن اثر ترکیبی پارامترها



شکل ۸. تغییرات مساحت پهنه سیلاب به‌ازای دوره بازگشت مختلف

جدول ۴. مقادیر خسارات مربوط به عمق‌های سیل‌گیری در دوره بازگشت‌های مختلف

ردیف	دوره بازگشت (سال)	عمق سیل‌گیری (متر)	خسارت مستقیم (میلیارد ریال)	خسارت غیرمستقیم (میلیارد ریال)	خسارت لای‌روبی (میلیارد ریال)	خسارت کل (میلیارد ریال)
۱	۲۵	۱/۷۵	-	-	-	-
۲	۵۰	۲/۷۷	۹۹۸/۵۶۳	۱۹۹/۷۱۲	۱۵۲/۷۵۷	۱۵۲/۸۰۸
۳	۱۰۰	۳/۱۲	۲۱۱/۰۵۳	۴۲۲/۱۰۷	۳۲۲/۸۶۵	۳۲۳/۰۷۸
۴	۲۰۰	۳/۵۵	۳۲۷/۴۵۹	۶۵۴/۹۱۹	۵۰۰/۹۴۰	۵۰۱/۵۹۸
۵	۵۰۰	۴/۱۷	۴۶۳/۹۲۴	۹۲۷/۸۴۹	۷۰۹/۷۰۱	۷۱۲/۰۲۵



شکل ۹. منحنی خسارت - دوره بازگشت محدوده مطالعاتی رودخانه زاینده‌رود

منطقه کوهپایه - سگزی از حوضه آبریز زاینده‌رود برای بررسی انتخاب شده است. پهنه سیلابی به‌ازای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ انجام و سپس با رسم منحنی‌های دبی

هیدرولوژیکی محدوده مطالعاتی از نرم‌افزار SMADA، برای شبیه‌سازی هیدرولیکی از مدل ریاضی HEC-RAC و برای برآورد مساحت سیل از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد.

جدول ۵. تحلیل نتایج عدم قطعیت با روش مونت کارلو

مقادیر	پارامتر
۳۰۶/۲۱	میانگین
۶۲۵/۰۴	انحراف معیار
۰/۴۶	ضریب تغییرات

خسارت مورد انتظار سالانه (EAD) محاسبه و نتایج آنالیز عدم قطعیت برای منحنی خسارت - احتمال نشان داد که ضریب تغییرات ۴۶ درصد بوده است که نشان‌دهنده تأثیر قابل برآورد دبی حداکثر (نتایج مدل هیدرولوژیکی) در محاسبه EAD است. در این پژوهش عدم قطعیت مربوط به مدل‌های هیدرولیکی و مدل اقتصادی بررسی نشده است و رفتار هیدرولیکی و برآورد خسارت به صورت قطعی در این مطالعه دیده شده است.

پیک - احتمال وقوع، دبی - اشل و اشل - خسارت برای منطقه مطالعاتی، تابع احتمال وقوع خسارت به دست آمد و میزان خسارت سیلاب با دوره بازگشت مختلف محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین سیلاب و خسارت برای دوره بازگشت ۵۰ سال با ۷۱۲/۰۲۵۵ میلیارد ریال و کمترین سیلاب و خسارت برای دوره بازگشت ۵۰ سال با ۱۵۲/۸۰۸۸ میلیارد ریال است. همچنین، با استفاده از روش مونت کارلو مقدار

منابع مورد استفاده

- Alizadeh, A. 2010. Principles of Applied Hydrology. 25th Edition. Ferdowsi University of Mashahd Publisher, I.R. Iran. (In Farsi).
- Bashiri Atrabi, H. 2012. Optimum operation of dam reservoir based on flood risk management with HS method. Master thesis, Shahid Bahonar University, Kerman, I.R. Iran. (In Farsi).
- Beven, K. and J. Hall. 2014. Applied Uncertainty Analysis for Flood Risk Management. Imperial College Press. London.
- Delenne, C., B. Cappelaere and V. Guinot. 2012. Uncertainty analysis of river flooding and dam failure risks using local sensitivity computations. *Reliability Engineering and System Safety* 107(11): 171-183.
- Faber, B. 2014. Flood Risk Analysis considering 2 types of uncertainty. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Engineering Center, US.
- Ghanjalikhani, M. 2014. Assesment of Copula Functions in prediction of groundwater quality (Case study: Kerman Aquifer). MSc. Thesis, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. (In Farsi).
- Kalyanapu, A. J., D. R. Judi and T. N. McPherson. 2014. Annualized risk analysis approach to recommend appropriate level of flood control: application to Swannanoa river watershed. *Journal of Flood Risk Management* 15(3): 1-18.
- Ministry of Power Publication. 2005. Flood damage assessment. Publication No. 296, Tehran. Iran (In Farsi).
- Olsen, A., Q. Zhou, J. J. Linde and A. Nielsen. 2015. Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. *Water* 7(3):255-270.
- Razaghe Rad, B. 2011. Flood zoning for different return period using GIS analysis. Master thesis, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. (In Farsi).
- Sargent D. M. 1992. Flood management in rock Hampton. In: Proceeding of the International Conference on Floods and Flood Management, Italy.
- Saint-Geours, N., F. Grelot, J. S. Bailly and C. Lavergne. 2015. Ranking sources of uncertainty in flood damage modelling: a case study on the cost-benefit analysis of a flood mitigation project in the Orb Delta, France. *Journal of Flood Risk Management* 8(5):161-176.
- Yakhshaki, M., M., A. Meftah, M. Zahirie, A. Yakhshaki and M. Madadi. 2014. The result of nrmab dam construction in reduce of downstream flood damage. *Irrigation Engineering and Water Journal* 4(16): 24-36. (In Farsi).

Uncertainty Analysis of Expected Annual Flood Damage for Flood Risk Assessment (A Case Study: Zayande Roud Basin)

N. Alian, M. M. Ahmadi* and B. Bakhtiari¹

(Received: September 13-2017; Accepted: August 18-2018)

Abstract

One of the most important problems in flood management is the damages induced by this phenomenon. Expected annual damage (EAD) is an important index for basin vulnerability against flood. Prediction of flood damages requires the analysis of spatial and temporal risk and must be calculated by the combination of hydrologic, hydraulic and economic models. In this research, the uncertainty was considered in the flood risk analysis. The probability of flood occurrence was calculated by the parabolistic model. By using the river analysis systems software (HEC-RAS) and the geographic information system (GIS) and utilizing the Google-Earth software, the floodplains of Zayande Roud river in Esfahan province were investigated with the return period of 25, 50, 100, 200 and 500 years. The Monte Carlo method was also used to perform the uncertainty analysis in the proposed method. The logarithmic persion type III was selected as the best distribution of flood. The damage-stage relationship was calculated as well. Based on the uncertainty analysis, the river discharge could be regarded as the major parameter in the uncertainty of EAD.

Keywords: Risk, Flood damages, HEC-RAS, GIS, Uncertainty, Kohpaye-Seqzie, Zayande Roud

1. Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

*: Corresponding Author, Email: ahmadi_mm@uk.ac.ir