



## Assessment of Expected Flood Damage (Case Study: A Segment of the Shoure River Located in the Halilroud Basin)

S. Kalami<sup>1\*</sup> and M.M. Ahmadi<sup>2</sup>

### Abstract

Flood risk analysis is a basic tool for flood planning and management. Usually, risk analysis is done based on the expected annual damage (EAD), which in this research is estimated based on hydrologic-hydraulic modeling. The annual expected damage is estimated based on instantaneous maximum discharge and daily maximum discharge. Flood frequency analysis, geometry estimation in GIS platform, and HEC-RAS hydraulic modeling have been done to estimate the annual expected damage. The results indicated that as the return period of the flood in the studied river increases, the area affected by the flood increases significantly up to the return period of 100 years and after that it is not much dependent on the return period. For example, the flood extent for a return period of 100 years compared to 500 years is only 7.5% less based on daily maximum discharge and 15% less based on instantaneous maximum discharge. The amount of expected annual damage based on the analysis of daily maximum discharge and instantaneous maximum discharge is 10.25% and 11.6%, respectively. These results show that the annual flood damage in this area is low and the implementation of hard engineering measures for flood control is not justified.

**Keywords:** Risk Analysis, Hydrologic-Hydraulic Model, Floods, Water Resources.

Received: March 19, 2023

Accepted: May 25, 2023

## ارزیابی خسارت مورد انتظار سیلاب (منطقه مورد مطالعه: بازه‌ای از رودخانه شور واقع در حوضه آبریز هلیل‌رود)

سوده کلامی<sup>۱\*</sup> و محمدمهدی احمدی<sup>۲</sup>

### چکیده

تحلیل ریسک سیلاب ابزار اساسی برای طرح‌ریزی و مدیریت سیلاب است. معمولاً تحلیل ریسک بر مبنای خسارت مورد انتظار سالیانه (EAD) انجام می‌شود. میزان خسارت مورد انتظار سالیانه یک شاخص مناسب برای بیان خسارت است که می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت سیل و توسعه و ایمنی محدوده در خطر مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق پارامتر مذکور بر اساس مدل‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی و بر اساس دبی حداکثر لحظه‌ای و دبی حداکثر روزانه برآورد شده است. تحلیل فراوانی سیل، برآورد ژئومتری بر مبنای GIS، مدل‌سازی هیدرولیکی HEC-RAS جهت برآورد خسارت مورد انتظار سالیانه انجام شده است. روند انجام کار در این تحقیق و الگوریتم آن، در مدیریت سیلاب و تصمیم‌گیری برای روش کنترل و مدیریت سیل، ضروری است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش دوره بازگشت سیل در بازه مورد مطالعه، محدوده متأثر از سیل تا دوره بازگشت ۱۰۰ سال افزایش قابل توجهی دارد و پس از آن چندان متأثر از دوره بازگشت قرار نمی‌گیرد. به عنوان مثال تفاوت محدوده سیل‌گیری برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال در مقایسه با ۵۰۰ سال، تنها ۷/۵٪ کمتر بر اساس دبی حداکثر روزانه و ۱۵٪ کمتر بر اساس دبی حداکثر لحظه‌ای است. میزان خسارت مورد انتظار سالیانه بر اساس تحلیل دبی حداکثر روزانه و دبی حداکثر لحظه‌ای به ترتیب ۱۰/۲۵٪ و ۱۱/۶٪ درصد است. این اعداد بیانگر کم بودن خسارت سالیانه سیل در این منطقه است و اجرای طرح‌های مهندسی سخت برای کنترل سیل چندان توجیه‌پذیر نیست.

**کلمات کلیدی:** تحلیل ریسک، مدل هیدرولوژیکی-هیدرولیکی، سیلاب، منابع آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۳/۴

1- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Email: soodehkalami@agr.uk.ac.ir

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Email: ahmadi\_mm@uk.ac.ir

\*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1402.19.1.7.2](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1402.19.1.7.2)

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۲ امکان‌پذیر است.



مدت کنترل سیل، مدیریت اضطراری و مفید برای برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری زمین مورد نیاز است (Burby, 1998; Council, 1999).

در مدل‌های برآورد سیل دو رویکرد اساسی وجود دارد: رویکرد تجربی که از داده‌های خسارت پس از وقایع سیل استفاده می‌کند و رویکردهای مصنوعی (شبیه‌سازی) خساراتی را که در شرایط سیل معین مورد انتظار است را تحلیل می‌کند (Merz et al., 2010). مدل‌های مبتنی بر داده به دلیل نیاز به واسنجی برای بکارگیری در زمینه‌های مختلف، نسبت به کمبود داده‌های مشاهداتی حساس‌تر هستند. مدل‌های شبیه‌سازی با در نظر گرفتن فرضیاتی در رابطه با خسارت-خطر، وابستگی کمتری به مجموعه داده برای استخراج مدل دارند، اگرچه آن‌ها هم به داده برای واسنجی و ارزیابی نیازمندند (Amirmoradi et al., 2019). حتی در صورت وجود مجموعه داده‌های جامع و قابل قبول، برون‌یابی خسارت با توجه به پیچیدگی‌های موجود در مکانیسم‌های خسارت، امکان‌پذیر نیست (Scorzini and Frank, 2017). وجه مشترک بیشتر مدل‌های محاسبه خسارت سیل، در نظر گرفتن عمق آب در عنصر در معرض خطر است (Council, 2000). پارامترهای دیگر، مانند سرعت جریان، مدت طغیان و زمان وقوع به ندرت در نظر گرفته می‌شوند (Merz et al., 2010). از جمله مدل‌هایی که برای ارزیابی خسارت در سطح دنیا استفاده می‌شود می‌توان به Life-Sim (Debo, 1982; Dutta et al., 2013; Arrighi et al., 2009; Luino et al., 2003) اشاره کرد (Amirmoradi et al., 2019). پژوهش جامع دیگری توسط موسسه تحقیقاتی JCR<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۷ به منظور برآورد خسارت سیلاب و ارائه توابع عمق-خسارت وارده بر هر کاربری در اثر سیل انجام شده است. هدف از ارائه این گزارش فقدان منحنی‌های عمق-خسارت برای هر منطقه و وجود روش‌های متعدد در برآورد خسارت سیلاب که عدم امکان مقایسه میزان خسارت وارده در هر منطقه یا کشور را در پی دارد، عنوان شده است. در این گزارش فنی بر اساس تحقیقات گسترده، منحنی‌های عمق-خسارت و حداکثر خسارت در شش کلاس کاربری ساختمان مسکونی<sup>۳</sup>، تجاری<sup>۴</sup>، صنعتی<sup>۵</sup>، حمل و نقل<sup>۶</sup>، زیرساخت‌ها<sup>۷</sup> و کشاورزی<sup>۸</sup> برای ۲۱۴ کشور توسعه داده شده است (Huizinga et al., 2017).

تحلیل ریسک و خسارت سیل هدف تحقیقات متعددی در ایران بوده است. (Amirmoradi et al., 2019) میزان خسارت مورد انتظار سالیانه سیل را در حوضه آبریز کن، با استفاده از ۵ مدل برآورد خسارت سیلاب محاسبه و مقایسه نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد استفاده

سیل از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین رویدادهای طبیعی است که بیش از هر بلای طبیعی دیگری شرایط اجتماعی و اقتصادی یک جامعه را به مخاطره می‌اندازد. فعالیت‌های انسانی و توسعه شهرنشینی این پدیده را به علت حذف پوشش گیاهی، افزایش سطوح نفوذناپذیر و اشغال سیلاب‌دشت‌ها تشدید کرده است (Wheater and Evans, 2009). اقدامات سازه‌ای کنترل سیلاب با وجودی که سالیان طولانی از روش‌های غالب مدیریت سیلاب بوده است، در سال‌های اخیر به علت عدم قطعیت زیاد در تعیین سیل طراحی به دلایل گوناگونی مانند تغییرات اقلیمی بوجود آمده و تغییر الگوی بارش، مورد تردید قرار گرفته‌اند. در مقابل، روش‌های جدیدی که تأکید بیشتری بر اقدامات غیرسازه‌ای کاهش یا کنترل سیلاب دارند، توسعه یافته‌اند. مهم‌ترین دستاورد در این زمینه تغییر سیاست‌ها از مدیریت بحران به مدیریت ریسک سیلاب بوده است (Amirmoradi et al., 2019).

ارزیابی ریسک سیل سنگ‌بنای اقدامات کاهش سیل است، زیرا به تصمیم‌گیرندگان و مدیران کمک می‌کند تا برای محافظت از جمعیت یا دارایی‌های در معرض خطر (با اجرای استراتژی‌های پیشگیری یا کاهش سیل) اقدام کنند (Meyer et al., 2009). به طور کلی، ریسک به خسارت مورد انتظار (از نظر تلفات جانی یا از نظر اقتصادی به عنوان آسیب به اموال) از یک خطر خاص (در این حالت، عمق و وسعت سیل) به یک عنصر خاص (به عنوان مثال، یک ساختمان در منطقه در خطر سیل) در معرض خطر، در یک دوره زمانی خاص آینده یا سناریوهای آینده اشاره دارد (Peduzzi et al., 2009; Albano et al., 2017). به بیان دیگر ریسک به عنوان خسارت بوجود آمده یا خسارت مورد انتظار<sup>۱</sup> با احتمال رخداد معین در دوره زمانی مشخص (به عنوان مثال یک ساله) تعریف می‌شود (Amirmoradi et al., 2019). میزان خسارت مورد انتظار سالیانه یک شاخص مناسب برای بیان خسارت است که می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت سیل و توسعه و ایمنی محدوده در خطر مورد استفاده قرار گیرد.

خسارت سیل معمولاً با استفاده از مدل‌ها تخمین زده می‌شوند (Amirmoradi et al., 2019). مدل برآورد خسارت سیل (قبل از واقعه) کاربرد گسترده‌ای در جنبه‌های مختلف کاهش بلایای سیل مانند بهبود کارهای آموزشی رودخانه برای کنترل سیل، هشدار سیل، توسعه بیمه نامه سیل، اقدامات کاهش زمان وقوع سیل و غیره داشته و همچنین استفاده از مدل پس از واقعه در تخصیص منابع برای بازیابی و بازسازی و مدیریت بحران بسیار مفید است (Dutta et al., 2003). به طور مشابه، برآورد خسارت احتمالی سیل در برنامه‌ریزی طولانی

خسارت و خسارت مورد انتظار سالیانه تحت بستر GIS بر اساس دو نوع دبی حداکثر روزانه و دبی حداکثر لحظه‌ای، در بازه‌ای از رودخانه شور (منطقه دلفارد شهرستان جیرفت) انجام گردیده است. استفاده از پارامتر خسارت مورد انتظار سالیانه جهت مدیریت و کنترل سیل در ایران، انجام نشده و در این تحقیق الگوریتم محاسبه این مقدار بر مبنای مدل‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پیاده‌سازی شده و به کار گرفته شده است. محاسبات مربوط به خسارت در بستر GIS و عدم استفاده از روش نرم‌افزارهای دیگر جهت این محاسبات (آسان بودن استفاده از روش مذکور)، عدم مطالعه بازه رودخانه مذکور در کار دیگران و استفاده از توابع عمق-خسارت جهانی به منظور برآورد خسارت از جمله نوآوری‌های این تحقیق به شمار می‌رود.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

بازه مورد مطالعه بازه‌ای ۸ کیلومتری از رودخانه شور با وسعت حوضه آبریز ۲۲۷/۶ کیلومترمربع، واقع در شمال شهرستان جیرفت است. حوضه مذکور در حقیقت یکی از زیرحوضه‌های، حوضه آبریز جازموریان محسوب می‌شود. بازه مورد مطالعه از مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 38' E$  و  $57^{\circ} 48' 58'' N$  شروع و به مختصات جغرافیایی  $40^{\circ} 19' E$  و  $57^{\circ} 23' 55'' N$  ختم می‌شود. ایستگاه آب‌سنجی کلدان به مختصات جغرافیایی  $40^{\circ} 19' E$  و  $57^{\circ} 40' 53'' N$  بر روی بازه مذکور قرار دارد (شکل ۱). اندازه‌گیری دبی به مدت ۳۶ سال (از سال ۶۲ تا ۹۷ آبی) به صورت روزانه و ماهانه در این ایستگاه ثبت شده است.

تحقیق حاضر در ۴ گام اصلی انجام شده است. گام یک: تحلیل فراوانی دبی و برآورد دبی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله بر اساس دو نوع دبی حداکثر روزانه و دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از نرم‌افزار EasyFit، گام دو: تعیین پهنه سیل و عمق آب و سایر پارامترهای هیدرولیکی با استفاده از مدل‌های ArcMap و HEC-RAS، گام سوم: استخراج کاربری اراضی با استفاده از تصاویر هوایی و گام چهارم: محاسبه میزان خسارت مورد انتظار سالیانه با استفاده از تابع عمق-خسارت توسعه داده شده توسط موسسه JCR در محیط نرم‌افزار ArcMap.

از مدل (Arrighi et al. (2013) به نتایج منطقی‌تر رسیده است. Panahi et al. (2019) در تحقیق خود پهنه‌بندی مخاطره سیل در حوضه رودخانه گاماسیاب را انجام دادند. تحت مخاطره قرار گرفتن ۴۲/۱ کیلومترمربع از اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی در دوره بازگشت ۱۰۰ سال از جمله نتایج این تحقیق به شمار می‌رود. Pistrika (2010) به توسعه ابزاری در محیط GIS (که از تابع عمق-خسارت استفاده می‌کند) به منظور شناسایی مناطق مستعد سیلاب حوضه آبریز Erasinon واقع در آتیک شرقی پرداخت. این ابزار قادر به شناسایی مناطق مستعد سیلاب و محاسبه خسارت مورد انتظار در چندین نوع کاربری اراضی و تحت سناریوهای مختلف سیل است. Zolfaghari (2011) جایگاه مدل‌سازی و تخمین خسارت و تلفات سوانح در مدیریت ریسک و بحران سوانح طبیعی را مورد بررسی قرار دادند. بر طبق پژوهش‌های این نویسنده در یک مقاله مروری، مدل‌سازی و برآورد خسارت ناشی از سوانح طبیعی و احتمال وقوع آن‌ها، گام اول در مدیریت هوشمندانه محسوب می‌شود. Hekmatifar et al. (2009) خسارت وارده به کاربری کشاورزی را با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و ArcView در رودخانه قره‌سو واقع در کرمانشاه، مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها به منظور برآورد خسارت سیلاب، تنها آبگرفتگی هر عنصر (سلول) را ملاک برآورد خسارت در آن عنصر قرار دادند و میزان عمق آب هر عنصر در برآورد خسارت را در نظر نگرفتند. Daliran Firouz et al. (2019) خسارت احتمالی ناشی از سیل را در کاربری‌های مختلف حوضه‌های آبریز قمصر و قهرو در دوره بازگشت‌های متعدد با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-FIA و HEC-RAS را محاسبه نمودند. در مطالعه دیگری که به منظور ارزیابی خسارت ساختمانی و کشاورزی سیل انجام شده، Dutta et al. (2003) ابتدا با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی، عمق آب را در نقاط مختلف حوضه برآورد کردند و سپس با ترکیب توابع عمق-خسارت و نقشه عمق سیل، میزان خسارت را محاسبه نمودند.

شناسایی مناطق مستعد سیلاب اولین گام در مطالعات ریسک سیلاب است (Amirmoradi et al., 2019). قبل شروع ارزیابی مخاطرات سیل باید مشخص گردد که چه نوع سیلابی منطقه مورد مطالعه را بیشتر تهدید می‌کند؛ زیرا انتخاب مدل مناسب وابستگی زیادی به نوع سیلاب دارد (Wright, 2015). در این تحقیق نوع سیلاب، سیلاب رودخانه‌ای<sup>۹</sup> می‌باشد. ارزیابی خسارت و ریسک سیلاب منجر به توانایی اولویت‌بندی مناطق در معرض سیل از جنبه ریسک و خسارت می‌شود و کمک شایانی به ضرورت و نحوه مدیریت سیل خواهد کرد. در این تحقیق مدل‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی جهت پهنه‌بندی، برآورد

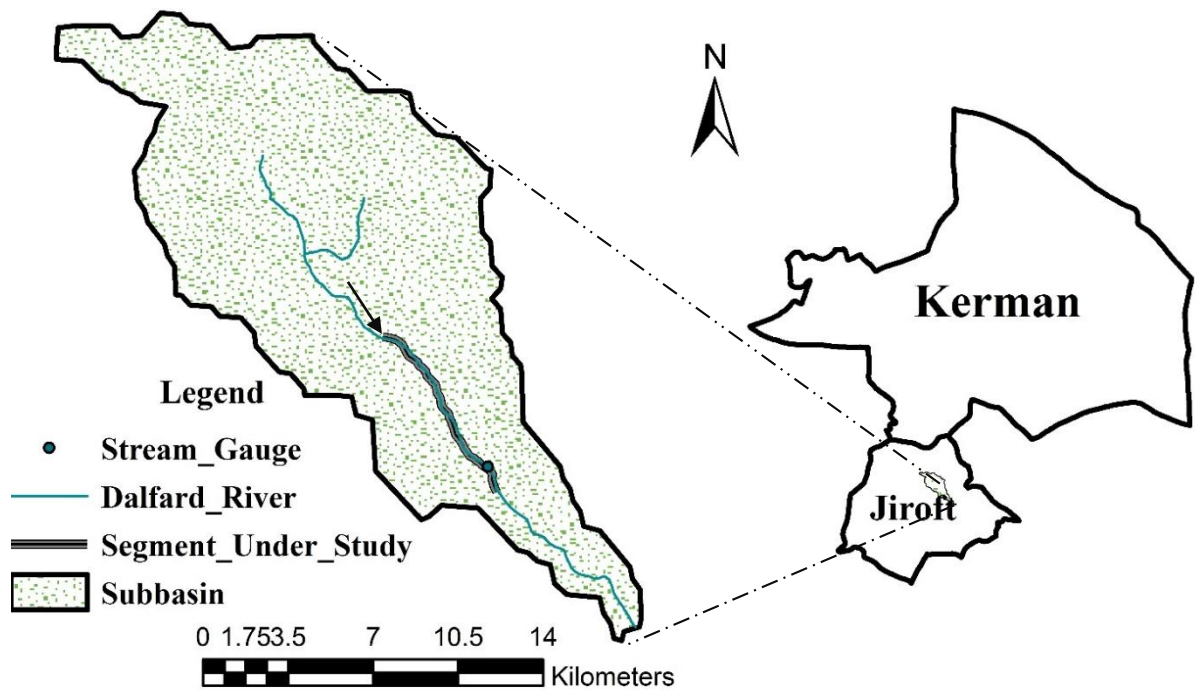


Fig. 1- Location of the studied river  
 شکل ۱- موقعیت بازه رودخانه مورد مطالعه

رودخانه انتخاب شده است. مشخصات هندسی و مقاطع عرضی رودخانه، ضریب‌زبری مانینگ، شرایط مرزی بازه مورد مطالعه، دبی جریان در دوره بازگشت‌های مختلف و سازه‌های سر راه جریان از جمله داده‌های اصلی به عنوان ورودی به این نرم افزار به شمار می‌روند. مقاطع عرضی رودخانه از مدل رقمی ارتفاعی (DEM) منطقه (دانلود شده از ماهواره ALOS با دقت ۳۰ متر و تبدیل شده به ۵ متر) با استفاده از نرم‌افزار GIS و الحاقیه HEC-GeoRAS استخراج شد و به نرم‌افزار HEC-RAS منتقل شد. به منظور تعیین ضریب‌زبری مانینگ از روش کاون استفاده شده است. این روش که توسط دفتر حفاظت آمریکا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا تکمیل گردیده، با ترکیبی از روابط تجربی و جداول، مجموعه‌ای از عوامل مؤثر را در نظر می‌گیرد. در این روش ابتدا یک مقدار پایه برای  $n$  تعیین می‌شود و بعد با استفاده از پارامترهای  $n_1, n_2, n_3, n_4$  که در ادامه توضیح داده می‌شود، در کل آبراهه اصلی و یا دشت سیلابی میزان این ضریب با استفاده از رابطه (۲) تصحیح می‌شود:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (2)$$

در این رابطه  $n_b$  ضریب‌زبری پایه،  $n_1$  ضریب‌زبری تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت،  $n_2$  ضریب مانینگ تعدیلی برای تغییرات مقاطع عرضی،  $n_3$  ضریب مانینگ تعدیلی برای موانع آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت،  $n_4$  ضریب مانینگ تعدیلی برای

## ۲-۲- تحلیل فراوانی سیلاب

داده‌های دبی به صورت روزانه و ماهانه در ایستگاه مورد مطالعه به مدت ۳۶ سال جهت تحلیل فراوانی استفاده شد. داده‌های دبی روزانه ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفت و دبی حداکثر روزانه استخراج شد. دبی حداکثر لحظه‌ای نیز با استفاده از آمار دبی روزانه از روش سنگال (رابطه ۱) محاسبه شد (Daliran Firouz et al., 2019).

$$Q_{max} = (4Q_2 - Q_1 - Q_3)/2 \quad (1)$$

در این رابطه  $Q_{max}$  دبی حداکثر لحظه‌ای پیش‌بینی شده بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $Q_2$  میانگین دبی روزانه روزی که حداکثر در آن اتفاق افتاده،  $Q_1$  میانگین دبی روز قبل از آن،  $Q_3$  میانگین دبی روز بعد از آن است. قبل از تحلیل فراوانی دبی، آزمون تصادفی بودن داده‌های دبی حداکثر به روش ران-تست و آزمون همگنی داده‌ها انجام شد. جهت انجام تحلیل فراوانی سیلاب، توزیع‌های متعددی با استفاده از نرم‌افزار EasyFit به داده‌ها برازش داده شد.

## ۳-۲- مدل هیدرولیکی

مدل هیدرولیکی HEC-RAS در حالت یک‌بعدی (با توجه به کوهستانی بودن منطقه) به منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان

بخش کشاورزی برشمرده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود پس از بررسی هر عامل ذکر شده در میزان خسارت وارده در اثر سیل به بخش کشاورزی، عامل عمق آب را مهم‌ترین پارامتر مؤثر در این کاربری اعلام کردند. در این مطالعه نیز از پارامتر عمق آب به عنوان پارامتر مؤثر استفاده شده است.

## ۲-۵- منحنی عمق-خسارت

تخمین خسارت مستقیم سیلاب به طور معمول با استفاده از منحنی‌های عمق-خسارت انجام می‌شود که در این روش میزان خسارت سیلاب را در عمق آب مشخص در هر کلاس یا کاربری مشخص می‌کند. این منحنی‌ها برای هر کشور، اقلیم و یا هر کلاس کاربری متفاوت است. بسیاری از کشورها مدل‌های ارزیابی خسارت سیلاب را با استفاده از منحنی‌های عمق-خسارت که از تحلیل خسارت‌های گذشته سیلاب و قضاوت‌های کارشناسی به دست آمده است توسعه داده‌اند. متأسفانه کشور ایران نیز با وجود تحقیقات بسیار در زمینه ارزیابی خسارت، به دلیل عدم وجود داده‌های خسارت سیلاب‌های گذشته در این دسته جای گرفته است. در این بین کشورهایی نیز وجود دارند که فاقد مدل‌های اختصاصی ارزیابی خسارت هستند. بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط موسسه JCR کشورهای هم‌جوار تقریباً منحنی‌های عمق-خسارت مشابهی را دارا هستند و در صورتی که کشوری فاقد آمار خسارت‌های گذشته باشد می‌توان از تحقیقات کشورهای هم‌جوار خود به علت مشابه بودن اقلیم استفاده نمود.

پوشش گیاهی آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت و  $m$  ضریب اصلاحی زبری بر اساس درجه پیچانرودی آبراهه اصلی است. تصحیحات پنج‌گانه با توجه به تأثیرشان بر تلاطم جریان تلاش می‌کنند مقادیر مبنا را اصلاح کنند و این تصحیحات در هر مرحله به مقدار پایه اضافه می‌شود (Chow, 1988). سایر اطلاعات مورد نیاز مدل هیدرولیکی شامل شرایط مرزی بازه مورد مطالعه که در این تحقیق عمق نرمال در بالادست و پایین‌دست انتخاب شده و میزان دبی در دوره‌بازگشت‌های مختلف می‌باشد که به منظور اجرای مدل هیدرولیکی به نرم‌افزار HEC-RAS منتقل شدند.

## ۲-۴- کاربری منطقه

از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه خسارت سیلاب وارده بر یک منطقه کاربری اراضی است که هرچه این اطلاعات دقیق‌تر باشد، خسارت برآورد شده نیز دقیق‌تر خواهد بود. به طور تقریبی کاربری منطقه مورد مطالعه شامل ۴ گروه کشاورزی، صنعتی، مسکونی و زیرساخت‌ها است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به صورت دستی (به منظور تهیه هرچه دقیق‌تر این نقشه) در محیط ArcMap توسعه داده شده است. شکل ۲ نقشه کاربری اراضی استخراج شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

اغلب اراضی مجاور رودخانه دارای کاربری کشاورزی (باغی) هستند. (Bermond et al. 2013) پارامترهای فصل یا زمان وقوع سیلاب، عمق آب، مدت زمان استغراق، سرعت جریان، میزان رسوب و آلودگی ناشی از آلاینده‌ها و شوری آب پارامترهای مؤثر در خسارت وارده به

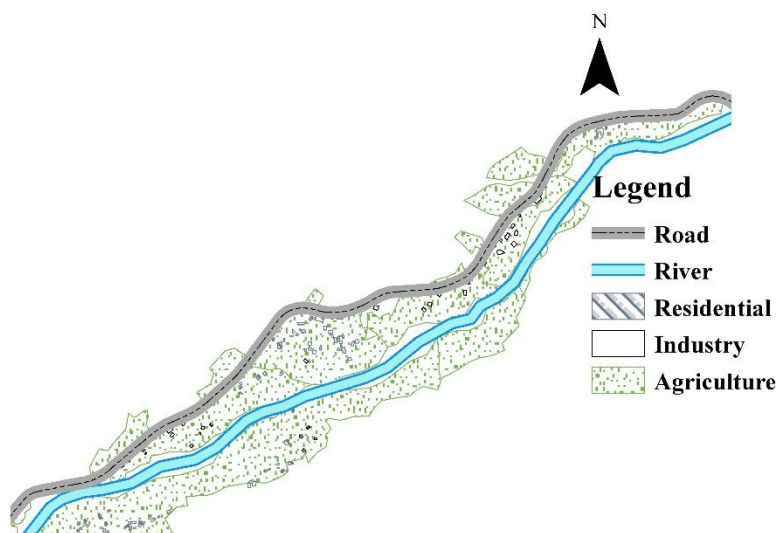


Fig. 2- Land use map of the studied area

شکل ۲- نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه

$$EAD = \int_0^1 D_{tot}(T_r) \cdot d\left(\frac{1}{T_r}\right) \quad (3)$$

$D_{tot}$  کل خسارت اقتصادی تخمین زده شده برای دوره بازگشت معین ( $T_r$ ) می‌باشد. به دلیل پیچیدگی توزیع خسارت و توابع توزیع احتمال، ارزیابی این معادله از طریق انتگرال گیری عددی انجام می‌گیرد. برای محاسبه میانگین خسارت سالیانه روش‌های متعددی وجود دارد که از شناخته شده‌ترین روش‌ها، روش فراوانی بوده که در این مطالعه از آن استفاده شده است. در این روش به سه نمودار احتمال وقوع-دبی، دبی-تراز سطح آب و دبی-خسارت نیاز است. بر اساس نتایج این نمودارها ترسیم و سپس مساحت زیر نمودار احتمال وقوع-خسارت که برابر با EAD می‌باشد، برآورد گردید.

### ۳- نتایج و بحث

آزمون تصادفی بودن داده‌های دبی به روش ران-تست انجام و تصادفی بودن آن‌ها تأیید شد. آزمون همگنی داده‌ها نیز در محیط نرم‌افزار اکسل انجام شد. نتیجه این آزمون با مقدار P-Value برابر با ۰/۵۹۶ در سطح آلفا برابر با ۰/۰۵، همگنی داده‌ها و قبول فرض صفر تأیید شد. با استفاده از نرم‌افزار EasyFit تحلیل فراوانی داده‌های دبی حداکثر روزانه و دبی حداکثر لحظه‌ای انجام شد. در تحلیل دبی حداکثر روزانه و دبی حداکثر لحظه‌ای به ترتیب توزیع لوگ پیرسون تیب ۳ و لوگ نرمال سه پارامتری با تأیید سه آزمون نکویی Kolmogorov Smirnov، Anderson Darling و Chi-squared به عنوان بهترین توزیع‌ها انتخاب شدند و دبی در دوره بازگشت‌های مختلف اخذ شدند (جدول ۱).

بر اساس این پژوهش در برخی کلاس‌های کاربری مانند کاربری کشاورزی منحنی‌های عمق-خسارت در کشورهای مختلف دنیا بسیار به هم نزدیک بوده و حتی می‌توان یک تابع جهانی را برای آن‌ها ارائه داد (Huizinga et al., 2017). به عنوان نمونه شکل ۳ منحنی‌های عمق-خسارت (درصد) مربوط به کاربری کشاورزی در قاره‌های جهان که از متوسط منحنی عمق-خسارت کشورهای مختلف آن‌ها گرفته شده است را نشان می‌دهد. محور X عمق آب و محور Y میزان خسارت بر حسب درصد را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نقشه کاربری اراضی (شکل ۲) مشخص است، اغلب اراضی مجاور رودخانه دارای کاربری کشاورزی (باغی) هستند. (Bermond et al. (2013 پارامترهای فصل یا زمان وقوع سیلاب، عمق آب، مدت زمان استغراق، سرعت جریان، میزان رسوب و آلودگی ناشی از آلاینده‌ها و شوری آب پارامترهای مؤثر در خسارت وارده به بخش کشاورزی برشمرده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود پس از بررسی هر عامل ذکر شده در میزان خسارت وارده در اثر سیل به بخش کشاورزی، عامل عمق آب را مهم‌ترین پارامتر مؤثر در این کاربری اعلام کردند. در این مطالعه نیز از پارامتر عمق آب به عنوان پارامتر مؤثر استفاده شده است.

### ۲-۶- خسارت سالیانه مورد انتظار

با انجام مراحل توضیح داده شده، میزان خسارت در هر دوره بازگشت (رابطه ۳) محاسبه می‌شود. با محاسبه خسارت‌های ناشی از سیل در هر دوره بازگشت، و درون‌یابی مقادیر دیگر خسارت در دامنه دوره بازگشت، یک منحنی خسارت فراوانی پیوسته بدست آورد. این منحنی پایه‌ای برای محاسبات ریسک می‌باشند که با نام خسارت سالیانه مورد انتظار تعریف می‌شوند:

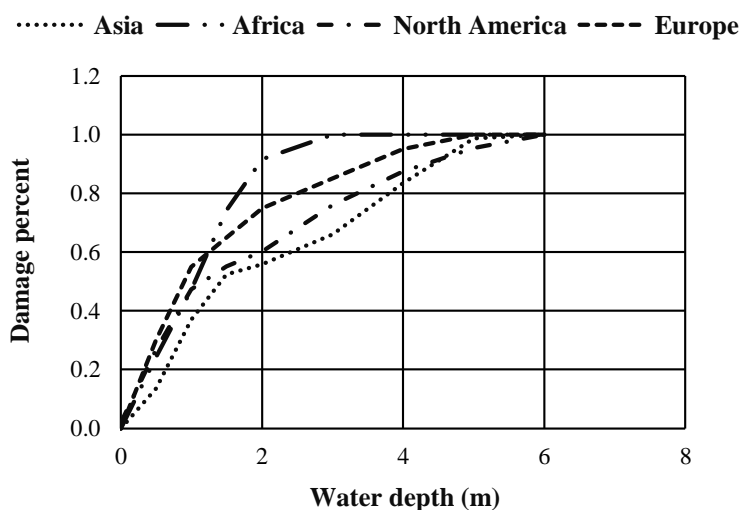


Fig. 3- Depth-Damage function for agricultural land use (Huizinga et al., 2017)  
شکل ۳- منحنی‌های عمق-خسارت کاربری کشاورزی (Huizinga et al., 2017)

**Table 1- Discharge in various return periods**

جدول ۱- دبی در دوره بازگشت‌های مختلف

| Return Period                   | 2    | 5  | 10  | 25   | 50  | 100   | 200 | 500   | 1000  |
|---------------------------------|------|----|-----|------|-----|-------|-----|-------|-------|
| Daily Maximum Discharge         | 18   | 43 | 63  | 88.5 | 107 | 124.5 | 141 | 160.5 | 174.5 |
| Instantaneous Maximum Discharge | 30.5 | 78 | 116 | 172  | 220 | 272   | 329 | 414   | 485.5 |

حداکثر لحظه‌ای آورده شده است. میزان مساحت کاربری کشاورزی تحت آسیب سیل در هر دوره بازگشت بر اساس دبی حداکثر لحظه‌ای و دبی حداکثر روزانه در جدول ۳ آورده شده است.

تنها کاربری کشاورزی منطقه تحت آسیب ناشی از سیل قرار دارد که به منظور محاسبه میزان خسارت آن بر حسب درصد از تابع عمق-خسارت توسعه داده شده توسط موسسه JCR استفاده شده است.

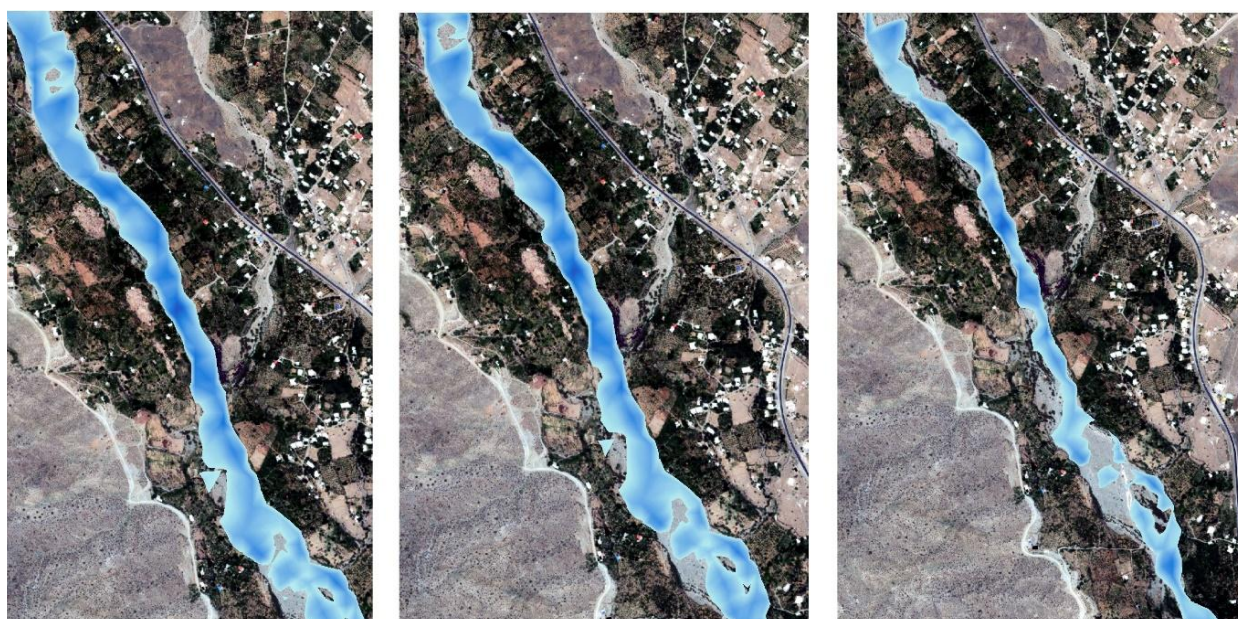
به منظور تعیین ضریب زبری مانینگ، ابتدا بازه مورد مطالعه به سه زیربازه تقسیم شد و با مشخص نمودن ضرایب مربوطه در رابطه (۲) در هر بازه، مقادیر ضریب زبری مانینگ برای کانال اصلی، ساحل سمت راست و ساحل سمت چپ رودخانه تخمین زده شد (جدول ۲).

نتایج پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی در شکل ۴ به عنوان نمونه در سه دوره بازگشت ۲، ۲۰۰ و ۵۰۰ سال بر اساس دبی

**Table 2- Manning's roughness coefficient values**

جدول ۲- مقادیر ضریب زبری مانینگ

| Type               | Distance from Downstream (m) | $n_b$ | $n_1$ | $n_2$ | $n_3$ | $n_4$ | $m$ | $n$   |
|--------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
| Floodplain (Right) | 0-1000                       | 0.05  | 0.002 | -     | 0     | 0     | -   | 0.052 |
|                    | 1000-5000                    | 0.07  | 0.004 | -     | 0     | 0.008 | -   | 0.082 |
|                    | 5000-8000                    | 0.07  | 0.003 | -     | 0     | 0.01  | -   | 0.083 |
| Channel            | 0-1000                       | 0.04  | 0.001 | 0     | 0     | 0.005 | 1   | 0.046 |
|                    | 1000-5000                    | 0.04  | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.01  | 1   | 0.053 |
|                    | 5000-8000                    | 0.04  | 0.001 | 0     | 0.001 | 0.006 | 1   | 0.048 |
| Floodplain (Left)  | 0-1000                       | 0.08  | 0.003 | -     | 0     | 0.001 | -   | 0.083 |
|                    | 1000-5000                    | 0.07  | 0.004 | -     | 0     | 0.006 | -   | 0.08  |
|                    | 5000-8000                    | 0.07  | 0.002 | -     | 0     | 0.005 | -   | 0.077 |



**Fig. 4- Flood zoning results: A) 2 year return period, B) 200 year return period, C) 500 year return period**  
 شکل ۴- نتایج پهنه‌بندی سیلاب الف) دوره بازگشت ۲ سال ب) دوره بازگشت ۲۰۰ سال ج) دوره بازگشت ۵۰۰ سال

منطقه قابل استخراج است (شکل ۶ و ۷-ج). در نهایت نمودار خسارت-احتمال وقوع (شکل ۶ و ۷-د) با استفاده از سه نمودار یاد شده رسم شد.

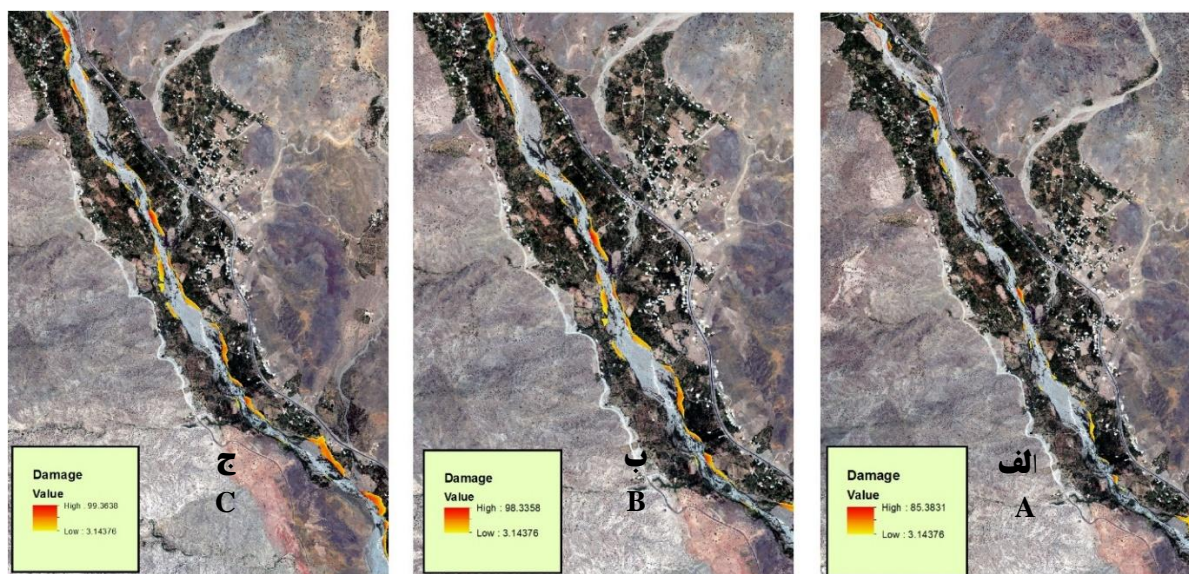
با استفاده از روش انتگرال گیری عددی میزان EAD (مساحت زیر نمودار احتمال وقوع-خسارت)، در حالت دبی حداکثر روزانه برابر با ۱۰/۲۵ درصد و در حالت دبی حداکثر لحظه‌ای برابر با ۱۱/۱۶ درصد خواهد بود. برای محاسبه میزان ریالی EAD، درصد خسارت در هر دوره بازگشت، در مساحت تحت آسیب همان دوره و میزان خسارت ریالی در یک متر مربع ضرب می‌شود و EAD به صورت واحد پولی بدست می‌آید.

مدل برآورد خسارت در محیط GIS توسعه داده شد و نتایج پهنه‌بندی خسارت سیل به عنوان نمونه در شکل ۵ در سه دوره بازگشت ۲، ۲۰۰ و ۵۰۰ سال بر اساس دبی حداکثر لحظه‌ای آورده شده است. جدول ۳ میانگین خسارت وارده در هر دوره بازگشت بر اساس دبی حداکثر لحظه‌ای و دبی حداکثر روزانه را به کاربری کشاورزی نشان می‌دهد. به منظور محاسبه میزان خسارت سالیانه به رابطه خسارت-احتمال وقوع منطقه نیاز است. رابطه دبی-احتمال وقوع که با استفاده از تحلیل فراوانی استخراج شد و نمودار آن در شکل (۶ و ۷-الف) آورده شده است. رابطه دبی-تراز سطح آب نیز در یکی از مقاطع رودخانه نیز با نرم‌افزار HEC-RAS استخراج شد (شکل ۶ و ۷-ب). رابطه خسارت متوسط-تراز سطح آب با استفاده از دو نمودار مذکور و میزان خسارت

**Table 3- The amount of damage (percent) and area of the agricultural lands under damage in various return periods**

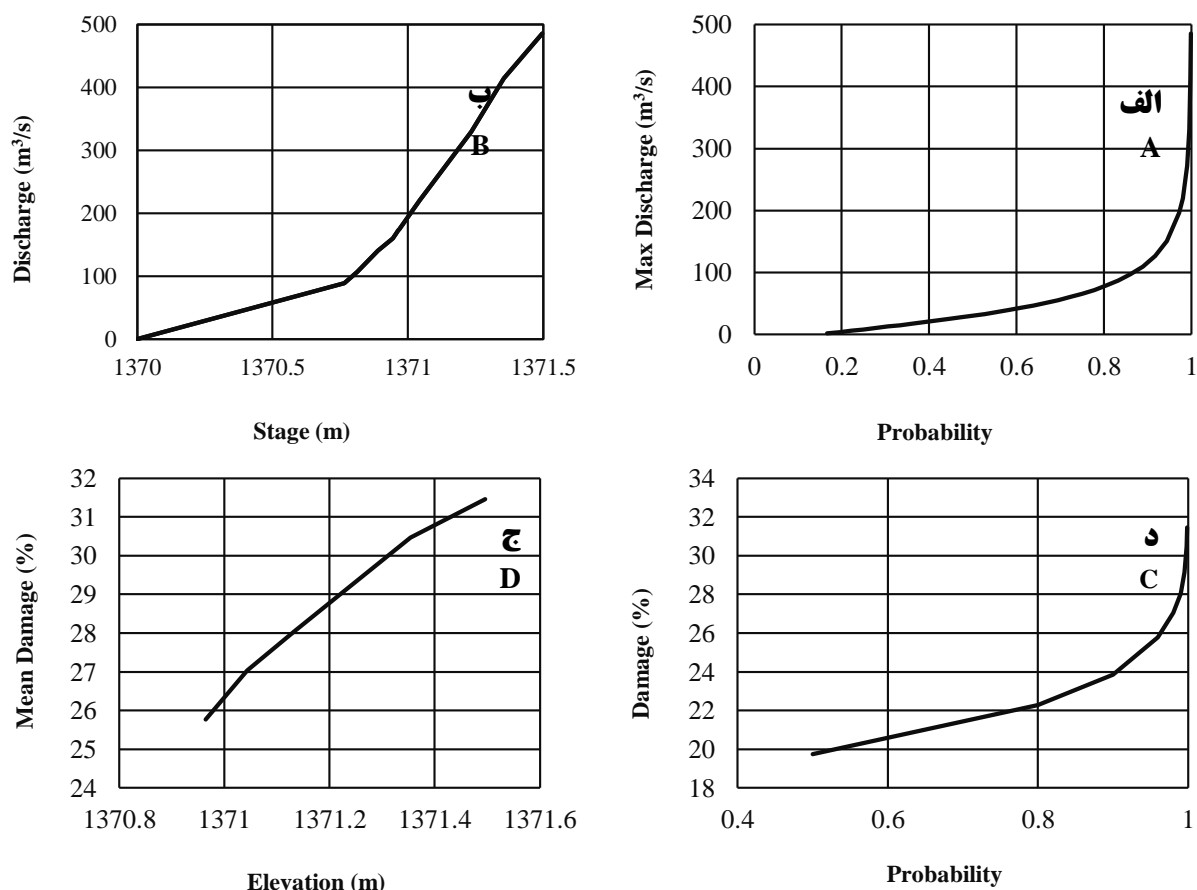
**جدول ۳- میزان خسارت (درصد) و مساحت تحت آسیب کاربری کشاورزی در دوره بازگشت‌های مختلف**

| Studied Area                       | Return Period | Damaged Area based on the Daily Maximum Discharge (ha) | Damaged Area based on the Instantaneous Maximum Discharge (ha) | Average Damage (%) based on the Daily Maximum Discharge | Average Damage (%) based on the Instantaneous Maximum Discharge |
|------------------------------------|---------------|--|--|---|---|
| Dalfard (A Segment of Shoor River) | 2             | 6.1246   | 6.8574   | 18.63   | 19.76   |
|                                    | 5             | 7.4173   | 8.6339   | 20.56   | 22.27   |
|                                    | 10            | 8.1669   | 9.6921   | 21.67   | 23.83   |
|                                    | 25            | 8.9623   | 10.9644  | 22.81   | 25.77   |
|                                    | 50            | 9.4550   | 11.9091  | 23.51   | 27.03   |
|                                    | 100           | 9.8932   | 12.9008  | 24.16   | 28.04   |
|                                    | 200           | 10.2840  | 13.9208  | 24.81   | 29.13   |
|                                    | 500           | 10.7104  | 15.2718  | 25.41   | 30.47   |
|                                    | 1000          | 11   | 16.35  | 25.83   | 31.45   |



**Fig. 5- Damage zoning results: A) 2 year return period, B) 200 year return period, C) 500 year return period**  
 شکل ۵- نتایج پهنه‌بندی خسارت الف) دوره بازگشت ۲ سال ب) دوره بازگشت ۲۰۰ سال ج) دوره بازگشت ۵۰۰ سال





**Fig. 6- Calculation of EAD based on the instantaneous maximum discharge: A) Probability-maximum discharge curve, B) Stage-Discharge curve, C) Elevation- average damage curve, D) Probability-Damage curve**

شکل ۶- محاسبه EAD در اثر دبی حداکثر لحظه‌ای. الف) نمودار دبی-احتمال وقوع ب) نمودار دبی -تراز سطح آب ج) نمودار تراز سطح آب - خسارت د) نمودار احتمال وقوع-خسارت

با توجه به موقعیت کوهستانی منطقه و مسیر آبراهه و آوردهای ثبت شده، با افزایش دوره بازگشت سیل، محدوده متأثر از سیل تا دوره بازگشت ۱۰۰ سال افزایش قابل توجهی دارد و پس از آن چندان متأثر از دوره بازگشت قرار نمی‌گیرد. به عنوان مثال تفاوت محدوده سیل‌گیری برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال در مقایسه با ۵۰۰ سال، تنها ۷/۵٪ کمتر بر اساس دبی حداکثر روزانه و ۱۵٪ کمتر بر اساس دبی حداکثر لحظه‌ای است. بنابراین سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در این منطقه می‌تواند مبنای تصمیمات مرتبط با کنترل و مدیریت سیل قرار بگیرد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از داده‌های موجود ایستگاه هیدرومتری کلدان در بازه‌ای از رودخانه دلفارد (واقع شده در حوضه جازموریان)، با استفاده از تحلیل فراوانی میزان سیل در دوره بازگشت‌های مختلف مشخص شد و با استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژیکی بازه مورد مطالعه و مدل هیدرولیکی HEC-RAS شبیه‌سازی عددی صورت گرفت و پهنه‌بندی سیلاب و عمق آب در مناطق اطراف رودخانه بدست آمد. با داشتن کاربری اراضی و تابع عمق-خسارت، نقشه خسارت منطقه تعیین و میزان خسارت متوسط در هر دوره بازگشت برداشت شد. سپس با استفاده از روش فراوانی میزان خسارت سالیانه برای حداکثر دبی روزانه و دبی حداکثر لحظه‌ای تعیین شد.

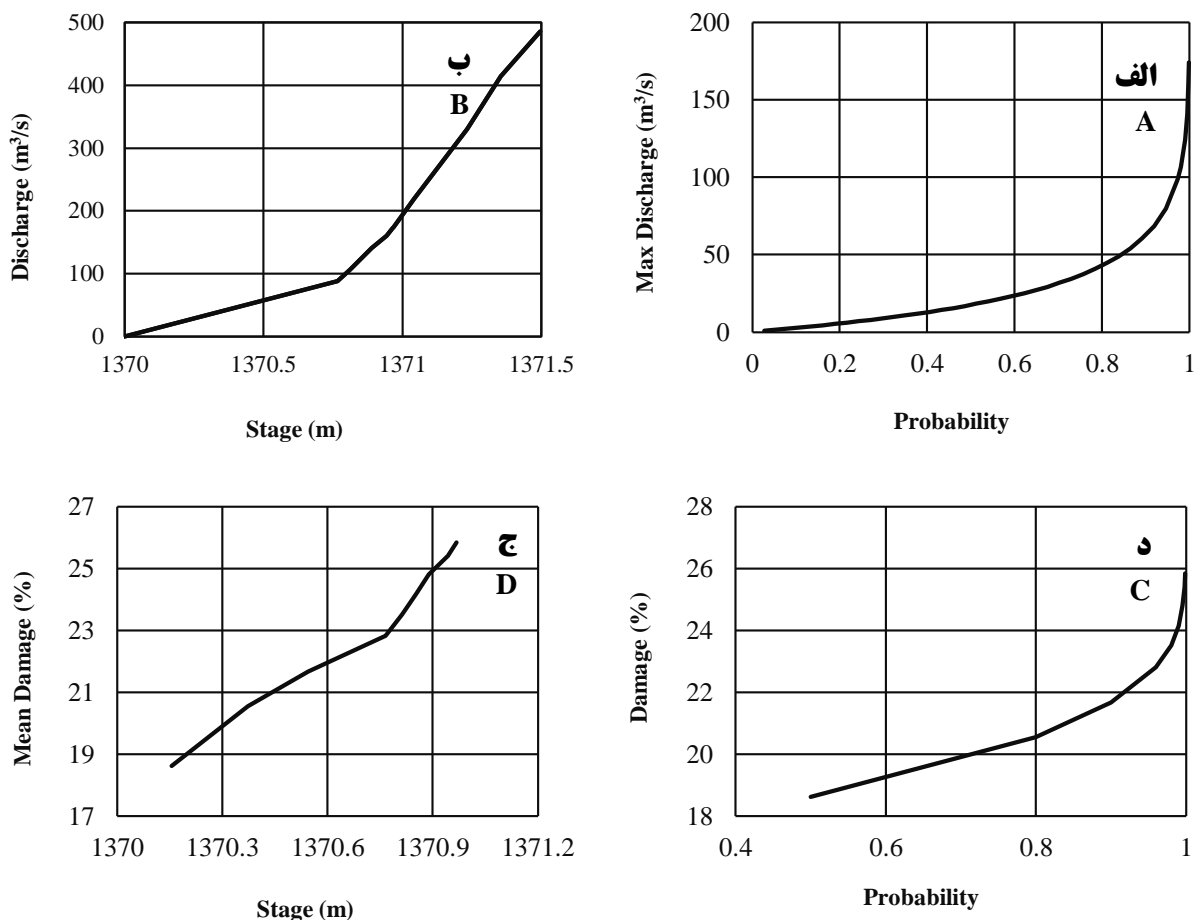


Fig. 7- Calculation of EAD due to daily maximum discharge: A) Probability-maximum discharge curve, B) Stage-Discharge curve, C) Elevation- average damage curve, D) Probability-Damage curve

شکل ۷- محاسبه EAD در اثر دبی حداکثر روزانه: الف) نمودار دبی-احتمال وقوع، ب) نمودار دبی-تراز سطح آب، ج) نمودار تراز سطح آب- خسارت، د) نمودار احتمال وقوع- خسارت

### ۵- تشکر و قدردانی

این تحقیق با کمک و پشتیبانی بخش تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای کرمان صورت گرفته است.

### پی‌نوشت‌ها

- 1- Expected Annual Damage
- 2- Joint Research Centre
- 3- Residential Buildings
- 4- Commerce
- 5- Industry
- 6- Transport
- 7- Infrastructure
- 8- Agriculture
- 9- Fluvial Floods
- 10- Digital Elevation Model

مقادیر EAD برآورد شده در این منطقه برای دبی حداکثر روزانه ۱۰/۲۵ و دبی حداکثر لحظه‌ای ۱۱/۱۶ درصد می‌باشد. با مشخص کردن مقدار خسارت ریالی هر مترمربع در هر سال می‌توان مقدار ریالی این پارامتر را محاسبه نمود. عدد خسارت مورد انتظار سالیانه بیانگر این مسأله است که در این منطقه خسارت سیل چشمگیر نیست و جزء مناطق بحرانی و اولویت بالا برای هزینه‌کرد در پروژه مدیریت و کنترل سیلاب قرار نمی‌گیرد. با توجه به تقسیم خسارت بین مالکین، خسارت سالیانه مورد انتظار هر مالک نیز چندان قابل توجه نیست و اقدامات سازهای یا مهندسی سخت برای مدیریت سیل در این منطقه پیشنهاد نمی‌شود.

## ۶- مراجع

- Arrighi C, Brugioni M, Castelli F, Franceschini S, Mazzanti B (2013) Urban micro-scale flood risk estimation with parsimonious hydraulic modelling and census data. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13(5):1375-1391
- Amirmoradi K, Shokoohi A, Azizian A (2019) Evaluating risk of economic loss due to river flood in urban areas (study area: Kan watershed). *Journal of Soil and Water Research* 50(9):2239-2259 (In Persian)
- Albano R, Mancusi L, Abbate A (2017) Improving flood risk analysis for effectively supporting the implementation of flood risk management plans: The case study of "Serio" Valley. *Environmental Science & Policy* 75:158-172
- Burby RJ (1998) *Cooperating with nature: Confronting natural hazards with land-use planning for sustainable communities*. Joseph Henry Press
- Bremond P, Grelot F, Agenais AL (2013) Economic evaluation of flood damage to agriculture—review and analysis of existing methods. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13(10):2493-2512
- Chow VT (1959) *Open channel hydraulics*. Caldwell
- Daliran Firouz H, Mokhtari Khouzani F, Soltani S, Mousavi A (2019) Assessment of damages caused by flood in Qamsar and Ghahroud watersheds using by HEC-FIA software. *Journal of Water and Soil Science* 19(74):63-75 (In Persian)
- Dutta D, Herath S, Musiak K (2003) A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology* 277(1-2):24-49
- Debo TN (1982) Urban flood damage estimating curves. *Journal of the Hydraulics Division* 108(10):1059-1069
- Hekmatifar H, Nazariha M, Givechi S (2009) Assessment of agricultural damage caused by flood using HEC-RAS and ARC view modeling. *Journal of Environmental Science and Technology* 11(4):95-108 (In Persian)
- Huizinga J, De Moel H, Szewczyk W (2017) Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines (No. JRC105688). Joint Research Centre (Seville site)
- Luino F, Cirio CG, Biddoccu M, Agangi A, Giulietto W, Godone F, Nigrelli G (2009) Application of a model to the evaluation of flood damage. *Geoinformatica* 13:339-353
- Merz B, Kreibich H, Schwarze R, Thieken A (2010) Review article Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(8):1697-1724
- Meyer V, Haase D, Scheuer S (2009) Flood risk assessment in European river basins—concept, methods, and challenges exemplified at the Mulde river. *Integrated environmental assessment and management* 5(1):17-26
- National Research Council (1999) *The impacts of natural disasters: A framework for loss estimation*. National Academies Press
- National Research Council (2000) *Risk analysis and uncertainty in flood damage reduction studies*. National Academies Press
- Panahi R, Hosseinzade MM, Khaleghi S (2019) Flood risk zoning in order to determine the boundaries of rivers (case study: Gamasiab river). *Ecohydrology* 6(2):553-567 (In Persian)
- Peduzzi P, Dao H, Herold C, Mouton F (2009) Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9(4):1149-1159
- Pistrika A (2010) Flood damage estimation based on flood simulation scenarios and a GIS platform. *European Water* 30:3-11
- Scorzini AR, Frank E (2017) Flood damage curves: New insights from the 2010 flood in Veneto Italy. *Journal of Flood Risk Management* 10(3):381-392
- Wright DB (2015) *Methods in flood hazard and risk assessment*. World Bank Group
- Wheater H, Evans E (2009) Land use, water management and future flood risk. *Land use policy* 26:S251-S264
- Zolfaghari MR (2011) The role of modeling and estimation of damages and losses of disaster in natural disaster risk and crisis management. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering Research* 14(1-2):61-73 (In Persian)