

Developing an Urban Flood Loss Functions for Residential Buildings (Case Study: Rasht City)

D. Kabirsamadi¹, A. Shokoohi^{1*}, and H. Modaberi²

Abstract

Floods in urban areas are always associated with casualties and economic losses. While estimating the amount of flood loss for all contents of a residential building is very important, the existing models only estimate the amount of direct damage caused to the building structure and then, the damage caused to the movable content of the building is assessed as a percentage of the damage to the structure. Considering the inaccuracy of the existing models and since no research has been done in Iran on that, in this research, determining the amount of direct loss of the contents of residential buildings, both movable and immovable, has been considered in full detail. The study was carried out in five neighborhoods with various economic levels in Rasht City, and through a questionnaire filled by 381 people living in the study area, the value of the household items and appliances were evaluated at the current price. Finally, the flood depth-loss curves for all movable and immovable items were presented and the results were compared with the results obtained from the loss functions used in other countries. The average loss calculated by the developed model was lower than the global models up to a depth of one meter and higher from this depth onwards. This indicates the need to produce loss functions caused by urban flooding at the national level. The method used in this research and the developed dimensionless loss functions are recommended for many similar urban areas in Iran.

Keywords: Flood Loss, Direct Economic Loss, Depth-Loss Curve, Urban Residential Houses, International Loss Models.

Received: June 4, 2023

Accepted: September 2, 2023

توسعه توابع خسارت سیلاب شهری در ساختمان‌های مسکونی (مطالعه موردی: شهر رشت)

درناز کبیرصمدی^۱، علیرضا شکوهی^{۱*} و هادی مدبری^۲

چکیده

سیلاب‌ها در مناطق شهری همواره با خسارت‌های جانی و مالی همراه بوده‌اند. در حالی که برآورد میزان خسارت وارد بر محتویات داخلی ساختمان‌های مسکونی در سیلاب اهمیت زیادی دارد، مدل‌های موجود تنها به برآورد میزان خسارت مستقیم وارد بر سازه ساختمان پرداخته و سپس در بهترین حالت خسارت وارد بر محتویات داخل ساختمان را به صورت درصدی از خسارت وارد بر سازه برآورد می‌نمایند. با توجه به عدم دقت روش‌های موجود و در نظر گرفتن این نکته که چنین تحقیقی تاکنون در ایران انجام نشده است، در این پژوهش تعیین میزان خسارت مستقیم وارد شده بر محتویات داخل ساختمان‌های مسکونی اعم از منقول و غیر منقول با جزئیات کامل مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه در پنج محله با سطوح متنوع اقتصادی در شهر رشت صورت گرفت و از طریق پرسشنامه از ۳۸۱ فرد ساکن در منطقه وسایل موجود در منازل ارزیابی و به قیمت روز ارزش گذاری شد. در نهایت منحنی‌های خسارت سیلاب برای کلیه اقلام منقول و غیر منقول بر حسب عمق ارائه و نتایج حاصل از آن‌ها با نتایج به دست آمده از مهمترین توابع خسارت مورد استفاده در سطح دنیا مقایسه شد. متوسط خسارت سیلاب محاسبه شده توسط مدل توسعه یافته تا عمق یک متر کمتر و از این عمق به بعد بیشتر از مدل‌های جهانی بود. این امر گویای نیاز به تولید توابع خسارت ناشی از سیلاب شهری در سطح ملی است. روش مورد استفاده در این تحقیق و همچنین توابع بدون بعد خسارت توسعه داده شده قابل توصیه برای بسیاری از مناطق شهری مشابه در سطح ایران است.

کلمات کلیدی: سیلاب، خسارت اقتصادی مستقیم، توابع عمق-خسارت، منازل مسکونی شهری، مدل‌های جهانی خسارت.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۱۱

1- Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

2- Water Resources Monitoring Department, Environmental Research Center, Jihade Daneshgahi, Rasht, Iran.

*- Corresponding Author

Doi: [10.22034/IWRR.2023.178385](https://doi.org/10.22034/IWRR.2023.178385)

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲- گروه پایش منابع آب، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران.

*- نویسنده مسئول

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



بر اساس مشخصات سیلاب از ضروریات مدیریت ریسک به شمار می‌آید (Schoppa et al., 2020)، و می‌تواند منجر به توسعه اقدامات مؤثر سازگار با سیل گردد چراکه ارزیابی اثرات سیل به شدت بر مدل‌ها تکیه می‌کند (Boulangue et al., 2023)؛ اما مدل‌های محدودی که تاکنون و عمدتاً به صورت منحنی عمق-خسارت ارائه شده‌اند، به علت کلی‌نگر بودن و عدم توجه به جزئیات خسارت‌های مالی نمی‌توانند برآوردی مناسب از مقدار خسارت احتمالی را به دست دهند. در مجموع می‌توان گفت که مقوله تعیین توابع خسارت همچنان به نتیجه قابل قبولی نرسیده و تعیین رابطه‌ای مناسب برای برآورد خسارت هنوز در مراحل توسعه قرار داشته و نیاز به مطالعه و تحقیق بیشتر دارد (Ganji and Shokoohi, 2014; Ganji et al., 2016; Karbasi et al., 2019; Amirmoradi et al., 2019; Amirmoradi and Shokoohi, 2020). تخمین ریسک سیلاب، به مفهوم روی هم‌اندازی میزان خطر و بعد مالی خسارت‌های حاصل از سیل، در واقع متکی بر ارزیابی خسارت وارده به ساختمان و محتویات آن است (Merz et al., 2010; Wagenaar et al., 2016). مدل‌های خسارت (توابع خسارت) مقدار خسارت ناشی از سیلاب را به عنوان هزینه اقتصادی خالص برای بازگرداندن ساختمان به شرایط قبل از آسیب کمی می‌کنند یا به صورت آسیب نسبی توسط یک پارامتر بی بعد و به صورت درصد یا نسبت نشان می‌دهند (Jongman et al., 2012). منحنی‌های عمق-خسارت که به عنوان منحنی‌های آسیب‌پذیری نیز شناخته می‌شوند یک عنصر ضروری در بسیاری از مدل‌های خسارت سیل هستند (Martinez-Gomariz et al., 2020). خسارت‌های سیلاب به طور معمول به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند. خسارت‌های مستقیم با توجه به تأثیر فیزیکی تماس آب با مردم یا اشیاء به وجود می‌آیند (Karbasi et al., 2019). خسارت‌های مستقیم موجب ایجاد خسارت‌های غیر مستقیم می‌شوند که در خارج از زمان و یا مکان وقوع سیلاب رخ می‌دهند. خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم خود نیز به دو بخش ملموس و غیر ملموس بر اساس امکان برآورد مستقیم ارزش پولی خسارت تقسیم می‌شوند (Parker et al., 1987; Smith and Ward, 1998; Merz et al., 2010). به طور کلی مدیریت ریسک سیلاب بر اساس برآورد خسارت مستقیم ملموس انجام می‌شود؛ زیرا ارزیابی خسارت‌های ناملموس مثل اختلال در سرویس‌های عمومی، آسیب‌های روانی و غیره بسیار پیچیده و مشکل است (Nascimento et al., 2007). امروزه در بیشتر مدل‌های مورد استفاده، عمق آب عامل تعیین کننده برای خسارت مورد انتظار تلقی می‌شود (FEMA, 2003; Queensl and Government, 2002; van der Sande, 2001). از جمله مدل‌هایی که برای ارزیابی خسارت در حال حاضر در سطح دنیا مورد استفاده قرار دارند و در این مطالعه برای مقایسه با مدل توسعه یافته استفاده شده‌اند

بروز سیلاب در مناطق فاقد سکنه نه تنها می‌تواند از نظر اقتصادی زیانبار نباشد بلکه می‌تواند از دیدگاه زیست محیطی تبعات مثبتی را به همراه داشته باشد (Zarakani et al., 2017)، اما وقوع همین سیلاب در مناطق شهری خسارت‌های جانی و مالی زیادی را چه در هنگام وقوع فاجعه و چه پس از آن به همراه خواهد داشت. به ویژه کشورهای در حال توسعه به دلیل کمبود منابع مالی و از بین رفتن زیرساخت‌ها از جمله مسکن توسط سیلاب خسارات زیادی را متحمل خواهند شد (Aishwarya et al., 2023). همین امر موجب شده است تا جوامع نگاه ویژه‌ای به این پدیده طبیعی داشته و تلاش نمایند با مدیریت ریسک سیلاب میزان این خسارت‌ها را کاهش دهند. سیلاب‌ها در میان فجایع طبیعی از نظر ایجاد هزینه‌های اقتصادی دارای بیشترین ریسک هستند (Gain et al., 2015) و در مقایسه با سایر بلایای طبیعی تأثیرات اجتماعی-اقتصادی بیشتر و عمیق‌تری دارند (GFDRR, 2018). پیش‌بینی می‌شود ریسک سیلاب با تغییر اقلیم و توسعه اجتماعی و اقتصادی افزایش یابد (Boulangue et al., 2023). برکسی پوشیده نیست که فجایع سیل در سراسر جهان در ۲۰ سال گذشته افزایش یافته و میلیاردها نفر را تحت تأثیر قرار داده است (Nassor and Makame, 2021). افزایش قابل توجه وقوع سیل در سراسر جهان در کنار ضربات به جوامع انسانی همچون کاهش دسترسی به آب تمیز و سالم برای آشامیدن، منجر به وارد آمدن لطمات و صدمات فراوان اقتصادی شده است (GFDRR, 2016; Bottazzi et al., 2018). به همین دلایل جوامعی که از مدیریت ریسک سیلاب غفلت می‌کنند در مقایسه با جوامعی که راهبردهای خود را برای مقابله با چنین رویدادهایی به طور منظم توسعه می‌دهند، آسیب‌پذیرتر هستند (Thieken et al., 2007; Kreibich and Thieken, 2009). خسارت سیل جنبه حیاتی در هر فرآیند تصمیم‌گیری در مورد مدیریت ریسک سیل دارد (Asaridis and Molinari, 2023). برآورد خسارت و هزینه‌های مربوط به سیل اغلب به منحنی‌های عمق-خسارت دارای‌های جامعه وابسته بوده که میزان شکننده بودن یک دارایی معین را مشخص می‌کند (Martello et al., 2022) از این رو کمی‌سازی خسارت‌های ناشی از سیل از دیرباز مورد توجه بوده است. افزایش خسارت‌های مربوط به رخداد سیلاب در سال‌های اخیر، که می‌تواند رابطه مستقیمی با تغییر اقلیم داشته باشد، موجب توجه روزافزون به اهمیت ارزیابی کمی خسارت به منظور کاهش ریسک و مدیریت سیلاب شده است (Scorzini and Frank, 2017). برآورد خسارت سیلاب قبل از وقوع می‌تواند راهکارهای پیشگیری مناسبی را برای مدیریت ریسک سیلاب و کاهش میزان خسارت‌های مالی در اختیار قرار دهد. در حالی که در اختیار داشتن مدل‌های تعیین خسارت

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهر رشت است که در ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. در غرب رشت رودخانه گوهررود و در قسمت شرقی شهر رودخانه زرچوب جریان دارد که در ناحیه پیربازار رشت به یکدیگر رسیده و وارد تالاب انزلی می‌شوند. ۵ محله با نام‌های علی‌آباد، حسین‌آباد، استاد سرا، رشتیان و معلم از شهر رشت به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند (شکل ۱). محلات مذکور سیل‌گیر بوده و همچنین از منظر اقتصادی و اجتماعی و سطح زندگی شهروندان دارای تنوع هستند.

۲-۲- پرسشنامه و روش نمونه‌گیری

برای یافتن رابطه عمق-خسارت سیلاب در منطقه مورد مطالعه بر اساس ارزش پولی وسایل موجود در منازل افراد ساکن (اعم از منقول و غیر منقول) ابتدا پرسشنامه‌ای تدوین و در ۵ محله مذکور به صورت تصادفی توزیع شد. تجزیه و تحلیل پرسشنامه‌های طراحی شده با استفاده از تجزیه و تحلیل توصیفی به اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق تبدیل شدند. با توجه به آخرین و به روزترین سرشماری انجام شده توسط *Plan and Budget Organization of Guilan* (2016) جمعیت ساکن در ۵ محله مورد مطالعه بالغ بر ۵۸۳۷۸ نفر است که بدین صورت توزیع شده است: علی‌آباد (۱۲۳۲۱ نفر)، حسین‌آباد (۹۴۳۳ نفر)، استاد سرا (۷۲۶۰ نفر)، رشتیان (۱۹۶۹۶ نفر) و معلم (۹۶۶۸ نفر).

می‌توان از (Debo (1982)، (Dutta et al., Life-Sim (2002)، (Luino et al. (2009) و (Arrighi et al. (2013) نام برد. بجز این ۵ مدل، تحقیق قابل توجه دیگری که به جزئیات خسارتها توجه نماید انجام نشده است و تنها کار قابل ارزیابی در زمینه برآورد خسارت سیل، کار جامع و گسترده اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۷ است که علیرغم کلی‌نگر بودن، محققین موفق به ارائه یک پایگاه اطلاعات جهانی از منحنی‌های عمق-خسارت برای هر یک از قاره‌های اروپا، امریکا، آسیا، آفریقا و اقیانوسیه شدند. بر اساس نتایج حاصله، منحنی-های عمق-خسارت با توجه به عواملی همچون حداکثر خسارت سیلاب، شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی-اجتماعی برای تمام قاره‌ها ارائه شد (Huizinga et al., 2017). تحقیق حاضر به منظور پرکردن خلأ موجود در مطالعات ریسک سیلاب‌های شهری، که ناشی از عدم وجود یک تابع خسارت جامع با جزئیات مناسب به‌طور کل و عدم توسعه چنین تابعی در ایران به‌طور خاص است، انجام شده است. در معدود مطالعات انجام شده در ایران که در همین بخش به اکثر آن‌ها اشاره شد، محققین از روش‌های تجربی و توابع تولید شده در کشورهای پیشرفته و توسعه یافته استفاده نموده‌اند. در تحقیق حاضر به بررسی خسارت مستقیم ملموس که منجر به تعمیر و یا تعویض ملزومات داخلی ساختمان‌ها در دو حالت منقول و غیر منقول می‌شود، پرداخته شده است. در بخش‌های بعد در ابتدا اساس روش مورد استفاده برای تولید منحنی عمق-خسارت تشریح می‌شود. در این ارتباط اطلاعات اقتصادی مورد نیاز و نحوه کسب آن‌ها برای توسعه توابع عمق-خسارت از طریق مطالعه وسیع میدانی ارائه شده است. سپس برای نشان دادن ارزش و دقت منحنی‌ها و روابط تولید شده، نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از مهمترین توابع عمق-خسارت مورد استفاده در دنیا مقایسه و به بحث گذاشته شده است.

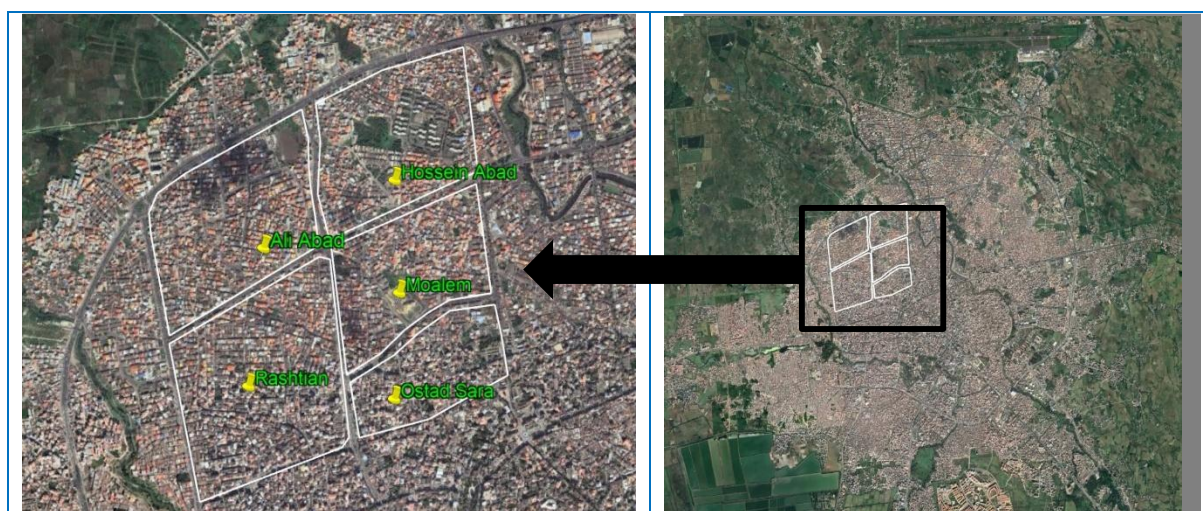


Fig. 1- Rasht city and the location of study districts

شکل ۱- شهر رشت و موقعیت محله‌های مورد مطالعه

روش نمونه‌گیری در این پژوهش نمونه‌گیری تصادفی بوده و برای برآورد میزان حجم نمونه از معادله ۱ (فرمول کوکران) استفاده شد. بر این اساس تعداد نمونه‌های تحقیق ۳۸۱ مورد برآورد شد.

$$n = \frac{Nt^2pq}{Nd^2 + t^2pq} = \frac{N(1.96)^2 \times (0.5) \times (0.5)}{N(0.05)^2 + (1.96)^2 \times (0.5) \times (0.5)} = 381 \quad (1)$$

در رابطه فوق: n = تعداد پرسشنامه، N = تعداد کل جمعیت مورد مطالعه (۵۸۳۷۸ نفر)، t = مقدار آماره تی استیودنت در آزمون دو طرفه در سطح ۵ درصد (برابر با ۱/۹۶)، p : احتمال وجود صفت برابر با ۰/۵، q : احتمال فقدان صفت برابر با ۰/۵، d : احتمال خطا که در این تحقیق ۵٪ در نظر گرفته شده است. طراحی سؤالات پرسشنامه بر اساس مذاکره با خبرگان و همچنین با بهره‌برداری از مطالعه کیفی انجام شده توسط Ghasemzadeh et al. (2021) صورت گرفت. شایان ذکر است که پاسخ‌های ارائه شده توسط پاسخ‌دهندگان با اطلاعاتی که از Plan and Budget Organization of Guilan (2016) در اختیار قرار گرفته بود مقایسه و صحت‌سنجی شد.

۲-۳- محاسبه ارزش پولی وسایل موجود در منازل (اموال منقول)

چالش بزرگ این تحقیق تعدد و تنوع ساختمان‌ها اعم از مسکونی، اداری و تجاری در منطقه تحت مطالعه بود. با توجه به ارزش روز اموال و دارایی‌های منقول و غیرمنقول افراد ساکن در زمان انجام مطالعه میدانی که در بازه زمانی سه ماهه از فروردین الی پایان خرداد ۱۴۰۱ صورت گرفت، میزان خسارت سیلاب ساختمان‌های مسکونی بعد از تعیین موارد موجود و با استعلام قیمت از صنوف مختلف تعیین شد. در ارزیابی ارزش پولی دارایی‌ها، وسایل زندگی هر خانوار به دو دسته بزرگ-گران‌قیمت و کوچک-ارزان قیمت تقسیم شدند. مبلمان، فرش، یخچال و فریزر، ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی و تلویزیون که به دلیل ارزش زیاد پولی نسبت به دیگر وسایل موجود در هر خانه هم از نظر تعمیر و هم از نظر خرید مجدد هزینه بیشتری نسبت به سایر وسایل خانه دارند به عنوان لوازم دسته اول و لوازمی مانند سرویس خواب در اتاق خواب‌ها، وسایل دکوری، ظروف و یا وسایل برقی کوچک مانند آبمیوه‌گیری، پلوپز، اجاق گاز و غیره داخل آشپزخانه به عنوان وسایل دسته دوم تقسیم‌بندی شدند. به منظور کاهش حجم محاسبات و با توجه به ارقام ریالی کالاها در زمان انجام تحقیق، ارزش پولی لوازم دسته دوم برابر با نصف مجموع ارزش پولی وسایل دسته اول در نظر گرفته شد. بر این اساس ابتدا میانگین قیمت روز هر یک از وسایل دسته اول (تلویزیون، یخچال و فریزر، ماشین لباسشویی و ظرفشویی، مبلمان و فرش) در هر محله برآورد و مجموع قیمت وسایل مذکور محاسبه و نصف مبلغ محاسبه شده این دسته از کالاها برابر با ارزش پولی دیگر وسایل در نظر گرفته شد. به عنوان مثال اگر مجموع

میانگین ارزش پولی وسایل دسته اول در یکی از محلات برابر با ۱۲۰ میلیون تومان برآورد شده باشد ارزش وسایل دسته دوم موجود در آن محله برابر با نصف آن مبلغ معادل ۶۰ میلیون تومان فرض شد.

۲-۴- محاسبه ارزش مالی محتویات غیر منقول منازل

ارزش پولی محتویات داخلی غیر منقول و دارای حساسیت نسبت به سیلاب در ساختمان‌های مسکونی که شامل هزینه گچ و رنگ دیوارها، لوله‌کشی برق، لوله‌کشی آب، سیستم سرمایش و گرمایش، کابینت‌ها، درب‌های داخلی واحد و کمد دیواری و درب ورودی واحد است، محاسبه شد. میانگین مترآژ خانه در هر محله با استفاده از اطلاعات Plan and Budget Organization of Guilan (2016) و همچنین پرسشنامه به دست آمد. به طور معمول برای برآورد هزینه گچ و رنگ دیوار، مساحت دیوارها ۳ برابر مترآژ ساختمان در نظر گرفته می‌شود. ارزیابی هزینه ریالی خسارت وارده به خانه‌ها در اثر سیلاب برای تک تک موارد بدون داشتن یک بانک اطلاعاتی گسترده کاری بسیار مشکل است. برای غلبه بر این مشکل سعی شد همانند رویه مورد استفاده در تعیین میزان خسارت وسایل منقول، از میانگین هزینه مرمت و جایگزینی در ۵ محله مورد مطالعه استفاده به عمل آمد. برای یک خانه مسکونی در هر ۵ محله ۲ اتاق خواب، ۱ سرویس بهداشتی و ۱ حمام وجود دارد. کمد دیواری از لحاظ ارزش گذاری قیمت برابر با یک درب اتاق خواب لحاظ شد. بر این اساس در مجموع برای هر خانه از نظر ارزش ریالی ۵ درب داخلی در نظر گرفته شد و ارزش پولی درب ورودی واحد مسکونی نیز به صورت جداگانه برآورد شد. هزینه کابینت برای متوسط مترآژ کابینت در هر محله با استفاده از نظر متخصصین این حوزه و بر اساس سطح اقتصادی افراد در محلات ۵ گانه (مؤثر بر کیفیت مواد ساخت درب و کابینت‌ها) برآورد شد. سیستم سرمایش و گرمایش واحدها به مترآژ خانه و وضعیت اقتصادی خانوار مرتبط است. با توجه به وضعیت اقتصادی افراد در محلات مختلف و ارزیابی نتایج حاصل از پرسشنامه، در مناطق ضعیف‌تر برای سیستم سرمایش یک عدد اسپلیت و برای سیستم گرمایش نیز یک بخاری و آبگرمکن در هر واحد مسکونی در نظر گرفته شد. به همین ترتیب در مناطق غنی‌تر سیستم سرمایش اسپلیت به تعداد دو الی سه عدد و سیستم گرمایش پکیج و شوفاژ در نظر گرفته شد. هزینه لوله‌کشی برق و آب ارتباطی به سطح اقتصادی و درآمدی افراد نداشته و با توجه به مترآژ واحد و همچنین مقدار مواد مورد استفاده در کار و دستمزد استادکاران صرفاً مربوطه ارزش گذاری می‌شود. به همین دلیل و با توجه به میانگین مترآژ ۸۰ الی ۹۵ متر مربع، میزان هزینه جبران خسارت سیل در این مورد برای تمام محلات یکسان در نظر گرفته شد. لوله‌کشی گاز نیز به طور معمول از سقف واحدها انجام شده و بسیار مستحکم است، به

همین دلیل در برآورد خسارت مد نظر قرار نگرفت. شایان ذکر است که به منظور به دست آوردن اعداد دقیق‌تری از قیمت‌ها با توجه به اینکه محله‌های مورد مطالعه از لحاظ اقتصادی یکسان نبوده و هر کدام محل مسکونی دهک‌های ویژه‌ای از جامعه هستند، به این موضوع دقت لازم مبذول شده و به غیر از پرسشنامه و اطلاعات میدانی، از اطلاعات (Plan and Budget Organization of Guilan (2016) و همچنین مشاوران املاک و نیز مبالغ اعلام شده توسط متخصصین و استادکاران هر حوزه نیز استفاده شد و قیمت‌گذاری‌ها بر اساس تمامی موارد مذکور انجام شد و خسارت بر این اساس تعیین شد.

۲-۵- محاسبه خسارت

در بسیاری از کشورها مدل‌سازی خسارت با استفاده از منحنی‌های عمق-خسارت که بر اساس تحلیل رویدادهای گذشته و قضاوت‌های کارشناسی توسعه پیدا کرده‌اند، صورت گرفته است. این نوع منحنی‌های خسارت برای همه‌جا در دسترس نبوده و این امر مانع ارزیابی درست خسارت سیلاب در مناطقی می‌شود که از توابع توسعه یافته در مکانی دیگر استفاده می‌نمایند (Amirmoradi et al., 2019). با توجه به عدم وجود اطلاعات معتبر و با جزئیات مناسب برای خسارت‌های گذشته و لذا عدم وجود منحنی عمق-خسارت و اسنجی شده در ایران، در این تحقیق با استفاده از مستندات و مفروضات یادشده در بخش‌های قبل و بر اساس عمق آبی که به خانه‌ها وارد می‌شود میزان خسارت برآورد و منحنی عمق-خسارت تولید شد. در منطقه مورد مطالعه خانه‌های ویلایی و آپارتمانی به صورت توأمان وجود دارند. بر مبنای مشاهدات، کف اولین طبقه از همه ساختمان‌ها به‌طور متوسط در ارتفاع ۶۰ سانتی متر از کف خیابان در نظر گرفته شد و تا ارتفاع مؤثر ۳/۴۰ متر از کف خیابان خسارت‌ها برآورد و منحنی عمق-خسارت ترسیم و سپس تابع مناسب بر آن‌ها برازش داده شد. روش کار بدین صورت است که خسارت وارده بر اساس عمق آب بالا آمده از کف خانه و به‌طور مجزا در دو بخش محتویات داخلی منقول و غیر منقول به ازای بالا آمدن هر ۲۰ سانتی متر آب محاسبه و سپس با جمع خسارت وارده در دو بخش، خسارت کل محاسبه و به صورت درصدی از قیمت خود کالا بیان می‌شود.

۲-۵-۱- خسارت وارده بر اموال منقول

در این تحقیق خسارت اموال منقول برای لوازم دسته اول به‌طور مجزا در دو بخش وسایل برقی و غیربرقی برآورد شد. در محاسبه خسارت وسایل برقی از قبیل یخچال و فریزر، تلویزیون، ماشین لباسشویی و ظرفشویی ارزش پولی تمام قطعات متشکله وسایل مزبور مانند موتور،

بورد و غیره که نسبت به آب حساس هستند، با استعلام از متخصصین صنوف مختلف برآورد شد. سپس درصد خسارت وارده به ازای هر ۲۰ سانتی‌متر بالا آمدن آب از کف خانه با توجه به نسبت قیمت هر یک از قطعات به ارزش کل وسیله برآورد شد. به عنوان مثال اگر قیمت یک ماشین لباسشویی ۱۵ میلیون تومان در نظر گرفته شود و در اثر بالا آمدن آب، صفحه نمایش آن به ارزش ۳ میلیون تومان آسیب ببیند، خسارت وارده برابر با ۲۰ درصد ارزش آن لباسشویی خواهد بود. خسارت وسایل غیر برقی موجود در منازل مانند فرش، مبلمان و غیره نیز به ازای هر ۲۰ سانتی‌متر آب بالا آمده از کف خانه انجام شد. به عنوان مثال به‌طور معمول قسمت نشیمنگاه یک مبلمان معمولی در ارتفاعی برابر با ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از کف خانه قرار دارد. حال اگر ارزش این مبلی ۲۰ میلیون تومان باشد و در هنگام وقوع سیل، آب از کف خانه ۸۰ سانتی‌متر بالاتر بیاید ۷۰ درصد ارزش پولی آن مبلی که برابر با ۱۴ میلیون تومان است باید برای تعمیر و یا تعویض پارچه و چوب مبلی هزینه شود. با همین روش درصد خسارت وسایل دسته دوم نیز به ازای هر ۲۰ سانتی‌متر عمق آب بالا آمده از کف خانه محاسبه شد. به عنوان مثال به ازای ۸۰ سانتی‌متر آب بالا آمده از کف خانه ۴۰ درصد خسارت به وسایل دسته دوم وارد خواهد شد. یعنی اگر تمامی وسایل دسته اول ۱۲۰ میلیون تومان ارزش‌گذاری شده باشند وسایل دسته دوم برابر با نصف آن مبلغ یعنی ۶۰ میلیون تومان ارزش پولی خواهند داشت که اگر آب ۸۰ سانتی‌متر بالا آمده باشد ۴۰ درصد از ۶۰ میلیون تومان برابر با ۲۴ میلیون تومان به وسایل دسته دوم خسارت وارد خواهد شد. روش محاسبه کلیه اقلام برقی و غیر برقی دسته اول و وسایل دسته دوم که به‌طور متوسط در همه خانه‌های مناطق مورد مطالعه یافت می‌شود به همراه درصد خسارت در مقابل عمق در جدول ۱ آورده شده است. این جدول که بر مبنای نظرات کارشناسی تهیه شده است، مبنای محاسبه توابع عمق-خسارت توسعه داده شده در این تحقیق است.

۲-۵-۲- خسارت وارده بر اموال غیر منقول

محتویات غیر منقول که مرتبط با خود ساختمان می‌باشند و در اثر سیلاب امکان تخریب و یا آسیب دیدگی را دارند شامل: گچ و رنگ دیوار، سیستم گرمایش، سیستم سرمایش، برق ساختمان، لوله کشی آب، کابینت، درب‌های داخلی و درب ورودی خانه است. اگر مساحت خانه را در ۳ ضرب نموده و بر ارتفاع آن تقسیم نماییم، متراژ طول دیوار آن واحد مسکونی به دست می‌آید. حال اگر عمق آب بالا آمده را در طول دیوار محاسبه شده ضرب نماییم مساحت دیوار آسیب دیده به ازای آن عمق مشخص به دست می‌آید.

Table 1- The percentage of damage to moveable household contents for different water depth rising from the house floor (numbers are in percentage)

جدول ۱- درصد خسارت وارده بر محتویات منقول خانه بر اساس عمق آب بالا آمده از کف خانه (اعداد به درصد است)

Water depth rising(m)	TV	Refrigerator	Washing Machine	Dishwasher	Carpet	Furniture	Other Contents (The second category)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	0	10	20	20	80	10	10
0.4	0	30	40	40	80	20	20
0.6	10	40	50	50	100	50	30
0.8	20	50	70	70	100	70	40
1	30	50	100	100	100	80	50
1.2	50	70	100	100	100	100	60
1.4	70	70	100	100	100	100	70
1.6	80	80	100	100	100	100	80
1.8	80	80	100	100	100	100	90
2	100	100	100	100	100	100	100
2.2	100	100	100	100	100	100	100
2.4	100	100	100	100	100	100	100
2.6	100	100	100	100	100	100	100
2.8	100	100	100	100	100	100	100

شد که در آن خسارت مستقیم ملموس وارد شده بر سازه و محتویات درون ساختمان‌های شخصی و اداری-عمومی در نظر گرفته شده است. منحنی‌های خسارت در این مدل بر اساس وقایع رخ داده در شهرهای Palermo ایتالیا (Oliveri and Santoro, 2000) و Prague در جمهوری چک (Genovese, 2006) به دست آمده است. روش برآورد خسارت مدل Arrighi بدین شرح می‌باشد: (۱) برآورد ارزش اقتصادی سازه و محتویات داخلی کل ساختمان‌ها؛ در منطقه مورد مطالعه ساختمان‌ها دارای زیرزمین بوده که ارزش مالی آن برابر با ۶ درصد از ارزش کل ساختمان فرض شده و الباقی ارزش مالی ساختمان به تعداد کل طبقات به طور مساوی تقسیم می‌شود.

به عنوان مثال در یک ساختمان دارای ۲ طبقه و یک زیر زمین، ۶ درصد از ارزش مالی کل ساختمان متعلق به زیرزمین بوده و ارزش مالی طبقات اول و دوم هر کدام ۴۷ درصد از ارزش مالی کل ساختمان فرض می‌شود؛ (۲) توسعه منحنی عمق-درصد خسارت برای ساختمان‌های ۲ و ۴ طبقه (ساختمان‌های بیشتر از ۲ طبقه به صورت ۴ طبقه تلقی شده‌اند)؛ (۳) ترسیم نقشه عمق سیلاب با دوره بازگشت ۲۰۰ سال در منطقه مورد مطالعه؛ (۴) ارزیابی خسارت: خسارت‌ها به سه بخش سازه، محتویات داخلی خانه و تجاری دسته‌بندی می‌شود. ارزش پولی هر بخش محاسبه شده و سپس میانگین درصد خسارت برآورد می‌شود؛ (۵) ارزیابی ارزش مالی خسارت وارده به ازای هر متر مربع در منطقه مورد مطالعه و (۶) ارزیابی ریسک (Arrighi et al., 2013).

لوله کشی آب به دلیل جنس لوله‌ها نسبت به سیلاب مقاوم بوده و خسارت مستقیمی را متحمل نمی‌شود. در محاسبه خسارت کابینت نکته حائز اهمیت این است که قیمت گذاری کابینت در قسمت پایین متفاوت از قسمت بالا است، بدین صورت که قسمت پایین ۷۰ درصد ارزش کل کابینت و قسمت بالا ۳۰ درصد ارزش کل کابینت را داراست. همچنین، قیمت گذاری کابینت بر اساس جنس دیواره و درب کابینت و همچنین متراتژ کابینت متفاوت خواهد بود.

جدول ۲ روش محاسبه خسارت وارد شده بر تمامی مواردی را که به عنوان محتویات داخلی غیر منقول در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد. برای محاسبه خسارت وارده بر گچ و رنگ دیوارها در جدول از معادله ۲ استفاده به عمل آمده است.

$$\text{loss (\%)} = \frac{\text{water depth rising} \times \text{wall length} \times \text{unit cost of Stucco \& Paint}}{\text{Total Cost of Stucco \& Paint}} \times 100$$

۲-۶- معرفی مدل‌های خسارت مورد استفاده در سطح دنیا برای ارزیابی دستاوردهای تحقیق

در این مطالعه توابع عمق-خسارت ۵ مدل جهانی با توابع تولید شده در این تحقیق مقایسه شد. مدل‌های مورد بررسی شامل: مدل Arrighi, Debo و Luino, Dutta, Life-Sim هستند.

● مدل Arrighi: اولین مدل موسوم به مدل Arrighi در مقیاس میکرو برای تخمین ریسک سیلاب در منطقه Florence ایتالیا ارائه

Table 2- The percentage of damage to immovable household contents for different water depth rising from the house floor

جدول ۲- درصد خسارت محتویات غیر منقول خانه بر اساس عمق آب بالا آمده از کف خانه

Water depth rising(m)	Stucco and Paint	Heating System	Cooling System	Electricity	Cabinets*	Interior Doors	Entrance Door
0		0	0	0	0	0	0
0.2		0	0	0	10	10	0
0.4		0	0	0	10	10	10
0.6	Equation2	10	0	0	20	10	10
0.8		20	0	10	40	20	20
1		30	0	20	60	30	30
1.2		40	0	30	80	40	40
1.4		50	0	40	100	50	50
1.6		60	0	50	100	60	60
1.8		70	50	50	10	70	70
2		100	70	50	20	80	80
2.2		100	80	50	40	90	90
2.4		100	90	50	60	100	90
2.6		100	100	50	80	100	100
2.8		100	100	50	100	100	100

* For water depths from 20 cm to 1.2 m, the figures are multiplied by 70 percent of the total value of the cabinets. For depths from 1.4 to 1.6 m the loss is 70 percent of the total value. From 1.8 m (the gap between the two rows of cabinets is 40 cm) to 2.6 m the figures are multiplied by 30 percent of the total value and add to the 70 percent of the value. In 2.8 m the loss is 100 percent.

* در محاسبه کابینت اعداد اعلام شده از عمق ۲۰ سانتی متر از کف خانه تا عمق ۱/۲ متر از کف خانه در ۷۰ درصد ارزش کل کابینت ضرب می‌شوند. در عمق ۱/۴ تا ۱/۶ متر از کف خانه مقدار خسارت همان ۷۰ درصد ارزش کل کابینت باقی می‌ماند. از عمق ۱/۸ متر (فاصله بین کابینت بالا و پایین، ۴۰ سانتی‌متر است) تا ۲/۶ متر از کف خانه اعداد اعلام شده در ۳۰ درصد ارزش کل کابینت ضرب شده و با ۷۰ درصد ارزش کل کابینت جمع می‌شوند و در عمق ۲/۸ متر از کف خانه مقدار خسارت به ۱۰۰ درصد می‌رسد.

● مدل Dutta: سومین مدل خسارت موسوم به مدل Dutta یک مدل ریاضی بوده که برای آب گرفتگی سیلاب و تخمین تلفات ناشی از آن در حوضه‌های رودخانه‌ای ژاپن استفاده شده است. این مدل برای تخمین خسارت شهری نتایج مناسبی را ارائه نموده و در تخمین خسارت اقتصادی سیلاب در مناطق شهری متراکم از دقت زیادی برخوردار است. در این مدل از مفهوم خسارت واحد در فرمول‌بندی مدل ریاضی برای دسته‌های مختلف تلفات سیل استفاده شده است. با توجه به اینکه به منظور برقراری ارتباط میان مدل هیدرولوژیکی شبیه‌سازی غرقاب با مدل تخمین تلفات نیاز به یک پیوند دینامیکی و پویا وجود دارد، بخش تخمین تلفات مدل به صورت شبکه‌ای یکنواخت مانند بخش هیدرولوژیکی مدل فرموله شده است. در این مدل از توابع سطح آسیب برای محاسبه درصد آسیب واحد موارد مورد بررسی به ازای شرایط معینی از سیل استفاده می‌شود. در این مدل خسارت سیلاب شهری شامل خسارت مستقیم به ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی در ۴ بخش (۱) آسیب به سازه/اموال ساختمان؛ (۲) آسیب به محتویات/ موجودی و سرمایه افراد؛ (۳) آسیب به اموال خارج از ساختمان و (۴) هزینه‌های اضطراری و اقدامات پاکسازی است (Dutta et al., 2003).

● مدل Life-Sim: دومین مدل مورد استفاده برای ارزیابی و مقایسه، مدل Life-Sim است که یک مدل شبیه‌سازی پویا و توزیعی و در اصل برای تخمین پتانسیل تلفات مرگ و میر ناشی از سیلاب طبیعی و شکست سد است. این مدل توسط اداره مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا، کمیته ملی استرالیا برای سدهای بزرگ و اداره آبادانی ایالات متحده آمریکا توسعه داده شده است. در مدل مذکور منحنی‌های عمق-خسارت برای کاربری‌های مختلف ساختمان‌ها، وسایل و محتویات داخل آن‌ها به صورت درصدی از ارزش کل ساختمان ارائه شده است. این مدل عدم قطعیت را با شبیه‌سازی مونت کارلو ارائه می‌دهد. چهار مدل موجود در این روش عبارتند از: (۱) جریان عادی سیل که شامل شبکه‌هایی است که ویژگی‌های سیل و دوره غرقاب را نشان می‌دهد؛ (۲) از دست دادن سرپناه که شبیه‌سازی قرار گرفتن در معرض خطر افراد و ساختمان‌ها در طول هر رویداد را، که در نتیجه آن غرق شدن ساختمان و آسیب احتمالی سازه نیز رخ می‌دهد، انجام می‌دهد؛ (۳) هشدار و تخلیه که توزیع احتمالی جمعیت را پس از اعلام هشدار سیل شبیه‌سازی می‌کند و (۴) از دست دادن زندگی که تلفات را از طریق توابع چگالی احتمال تخمین می‌زند (McClelland and Bowles, 2000).

● مدل Debo: این مطالعه منجر به تولید منحنی‌های عمق-خسارت در منطقه Georgia آمریکا شد. در مطالعه (Debo 1982) ساختمانهای یک طبقه و با و بدون زیرزمین برای اقامت یک خانواده و چند طبقه برای چند خانواده بررسی شدند. در منحنی عمق خسارت ارائه شده توسط Debo خسارت کلی ساختمان و بدون جدا کردن خسارت ساختمانی و محتویات آن تا ارتفاع سیلاب معادل ۳/۶۵ متر ارائه شده است.

● مدل Luino: این مدل برای تخمین خسارت سیلاب بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شمال ایتالیا ارائه شده و مناسب ارزیابی خسارت مناطق بزرگ است (Amirmoradi et al., 2019). در مدل Luino ارزیابی میزان خسارت عناصر موجود در معرض خطر سیل بر اساس نوع سازه، محتویات و ارزش ساختمان و کاربرد آن در منطقه سیل‌زده مورد توجه قرار می‌گیرد و یک لایه حاوی اطلاعات از ویژگی‌های ساختمان‌ها به منظور استفاده در محیط GIS ایجاد می‌شود که شامل کاربری، نوع سازه، تعداد طبقات، وجود یا عدم وجود زیر زمین و سطح همکف است. در مدل مزبور ارزیابی کمی خسارت بر اساس نوع سازه، موقعیت جغرافیایی و کاربری ساختمان انجام می‌شود و محتویات داخل آن مد نظر نیست. در این مدل تنها زیر زمین و طبقه همکف در برابر سیل خسارت‌پذیر هستند؛ زیرا سیلاب حداکثر به ارتفاع ۲ متر می‌رسد که در آن ارزش طبقه همکف با ضرب مساحت آن در ارزش واحد سطح محاسبه شده و ارزش زیر زمین برابر با ۲۵ درصد از ارزش کل ساختمان در نظر گرفته می‌شود (Luino et al., 2009).

توابع عمق-خسارت تولید شده در این تحقیق با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات تاریخی با جزئیات مناسب برای خسارت سیلاب‌های گذشته در اکثر مناطق ایران اولین کاردر نوع خود به شمار می‌رود. توابع توسعه داده شده در این تحقیق بر خلاف توابع مدل‌های جهانی مورد مقایسه، خسارت اموال و لوازم در معرض سیل را به صورت درصدی از خسارت وارده بر سازه به دست نمی‌دهد بلکه با ارزش گذاری مستقیم محتویات داخلی ساختمان‌های مسکونی اعم از منقول و غیر منقول خسارت را محاسبه می‌نماید.

۳- نتایج و بحث

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل ۵ محله است که از لحاظ اقتصادی-اجتماعی دارای تنوع هستند. برای توسعه توابع عمق-خسارت ابتدا میانگین قیمت وسایل منقول و غیرمنقول که از طریق پرسشنامه و استعلام قیمت از صنوف مختلف به دست آمده بودند در هر محله محاسبه شد. سپس مقدار خسارت وارد شده بر هریک از موارد

مورد بررسی بر اساس عمق آب بالا آمده محاسبه و برای بدون بعد کردن میزان خسارت، مبلغ خسارت وارد شده بر ارزش یعنی بر قیمت اولیه آن تقسیم شد. در نهایت این نسبت به صورت درصد محاسبه و از میانگین آن در ۵ منطقه مطالعاتی برای ترسیم منحنی عمق-خسارت استفاده به عمل آمد. به عنوان مثال اگر میانگین قیمت ماشین لباسشویی برابر با ۱۵ میلیون تومان برآورد شده باشد و به ازای میزانی از آب گرفتگی (جدول ۱) موتور ماشین لباسشویی با قیمتی برابر با ۶ میلیون تومان آسیب ببیند منحنی نشان می‌دهد که به ازای آن عمق مشخص ۴۰ درصد ارزش لباسشویی از دست رفته است. بیان میزان خسارت به درصد دارای این مزیت است که نتایج به دست آمده تابع زمان مطالعه نبوده و با تغییر قیمت لوازم، ارزش خود را از دست نمی‌دهد.

۳-۱- ارزش پولی لوازم منقول

میانگین قیمت روز و ارزش کل محتویات منقول موجود در هر خانه در ۵ محله منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به اعداد ارائه شده و ارزش پولی وسایل موجود در منازل، از لحاظ سطح اقتصادی این ۵ محله به ترتیب از ضعیف به غنی بدین شرح است: علی‌آباد، حسین‌آباد، استاد سراه، رشتیان و معلم. همان‌طور که در جدول ۳ قابل مشاهده است کمترین ارزش وسایل منقول خانه متعلق به محله علی‌آباد با مبلغ حدود ۱۸۳ میلیون تومان و بیشترین مبلغ وسایل خانه مربوط به محله معلم به ارزش حدود ۲۱۶ میلیون تومان بود. در جدول ۳، شش ستون اول ارزش پولی وسایل گران قیمت خانه شامل: تلویزیون، یخچال و فریزر، ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، فرش و مبلمان را نشان می‌دهند و ستون هفتم ارزش دیگر وسایل موجود در هر خانه شامل اقلامی همچون وسایل اتاق خواب‌ها، وسایل داخل کابینت‌ها، لوازم برقی کوچک و غیره را به دست می‌دهد که برای آن‌ها ارزشی معادل نصف مبلغ مجموع وسایل اصلی مندرج در ستون‌های ۱ الی ۶ در نظر گرفته شده است.

۳-۲- ارزش پولی موارد غیر منقول

در جدول ۴ هزینه برآورد شده محتویات غیرمنقول خانه به تفکیک محلات که به کمک متخصصین صنوف مختلف و بر اساس نظر کارشناسان به دست آمده ارائه شده است. چون هزینه گچ و رنگ دیوار خانه بر اساس مقدار مساحت محاسبه می‌شود از میانگین وزنی مساحت خانه به تفکیک محلات استفاده به عمل آمد.

Table 3- Average current price of the moveable household contents in each district (Tomans)

جدول ۳- میانگین قیمت روز محتویات منقول در هر محله (تومان)

District Name	TV	Refrigerator	Washing Machine	Dishwasher	Carpet	Furniture	Other Contents (The second category)	The total cost of moveable household contents
Ali Abad	15,468,750	31,375,000	15,343,750	18,136,364	17,027,027	24,625,000	60,987,945	182,963,836
Hossein Abad	19,032,258	31,774,193.55	15,322,581	18,048,780	17,192,982	24,354,839	62,862,817	188,588,451
Ostad Sara	17,819,149	36,276,595.74	16,542,553	18,437,500	18,829,787	25,638,298	66,771,941	200,315,824
Rashtian	18,507,752	36,627,906.98	17,383,721	19,500,000	19,282,946	26,162,791	68,732,558	206,197,674
Mo'alleh	18,769,841	37,063,492.06	19,325,397	19,642,857	19,682,540	29,523,810	72,003,968	216,011,905

و جنس مواد هر یک از موارد فوق و همچنین مترای کابینت خانه است، متفاوت برآورد شد. کابینت و دربها در محله معلم بیشترین قیمت و در محله علی آباد کمترین قیمت را به خود اختصاص دادند. جدول ۴ خسارت‌های وارده بر بخش غیرمنقول ساختمان را به تفکیک محلات نشان می‌دهد.

۳-۳- خسارت سازه‌ای ناشی از سیل

به استناد اطلاعات به‌دست آمده از Plan And Budget Organization Of Guilan (2016) و همچنین یافته‌های میدانی، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود حدود ۷۰ درصد بناهای منطقه دارای اسکلت بتن آرمه هستند که احتمال آسیب دیدن اصل بنا در هنگام وقوع سیلاب‌های شهری را بسیار کاهش می‌دهد. بر این اساس در مطالعه حاضر خسارت وارده بر ساختمان و پی آن نادیده گرفته شد و تنها به برآورد میزان خسارت وارده بر اجزای داخلی ساختمان که بیشتر موارد مورد بررسی آن ذکر شد، پرداخته شد.

۳-۴- توابع عمق-خسارت

• منحنی و تابع عمق-خسارت وسایل منقول

برای تولید منحنی عمق-خسارت از معادله ۳ استفاده شد:

$$f11_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij} \times C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \times 100 \quad (3)$$

در معادله فوق $f11 =$ درصد خسارت وسایل منقول، $P =$ درصد خسارت ارائه شده در جدول ۱ برای هر یک از ۷ وسیله منقول به ازای عمق مشخصی از آب، $C =$ قیمت هر یک از ۷ وسیله منقول ارائه شده در جدول ۳، $i =$ هر کدام از ۷ وسیله منقول، $j =$ عمق آب بالا آمده از کف خانه به ازای هر ۰/۲ متر. براساس این معادله برای تولید منحنی عمق-خسارت (شکل ۳) ابتدا متوسط ارزش پولی تمام وسایل منقول موجود در خانه از جدول ۳ محاسبه شد، سپس با استفاده از جدول ۱ درصد

با توجه به محدوده تغییرات مساحت خانه‌ها از کمتر از ۵۰ تا بیش از ۵۰۰ متر مربع و همچنین توزیع فراوانی آن‌ها با توجه به دسته‌بندی صورت گرفته، میانگین وزنی مساحت خانه‌ها در محله علی آباد، حسین آباد، استاد سرا، رشتیان و معلم به ترتیب برابر با: ۸۱/۲، ۸۰/۸، ۸۹/۵، ۹۲/۹ و ۸۴/۹ متر مربع برآورد شد. برای محاسبه قیمت گچ و رنگ با ضرب مساحت خانه در ۳، مساحت دیوارهای هر واحد به‌دست می‌آید که در نهایت با ضرب این مساحت در هزینه بازسازی هر متر مربع دیوار، هزینه گچ و رنگ محاسبه می‌شود. با استعلام از متخصصین و دست‌اندرکاران بازار، قیمت روز گچ و رنگ به ازای هر متر مربع برابر با ۵۰۰ هزار تومان فرض شد. به عنوان مثال برای محله علی‌آباد با میانگین مساحت ۸۱/۲ متر مربع، هزینه جبران خسارت سیل برای دیوارهای هر واحد مسکونی برابر با ۱۲۱ میلیون و ۸۰۰ هزار تومان خواهد بود. ارزش پولی سیستم سرمایش و گرمایش نیز با توجه به سطح اقتصادی ساکنان در هر محله محاسبه شد. چنانکه در محله علی‌آباد با توجه به وضعیت اقتصادی ضعیف‌تر میزان خسارت برای سیستم سرمایش ۱۰ میلیون تومان و برای سیستم گرمایش ۵ میلیون تومان به‌دست آمد ولی در محله معلم همین رقم برای سیستم سرمایش بالغ بر ۳۰ میلیون تومان و برای سیستم گرمایش ۲۰ میلیون تومان است.

هزینه لوله کشی برق و آب متأثر از عواملی مانند مترای خانه، هزینه خرید اجناس و دستمزد استادکار است. از آنجایی که میانگین مترای خانه در هر پنج محله بین ۸۰ الی ۹۳ متر مربع بوده است، و همچنین قیمت اجناس و دستمزد استادکار با توجه به مترای خانه برآورد می‌شود و تفاوت ملموسی در میانگین مترای خانه‌ها در تمامی محلات وجود نداشته است، هزینه لوله کشی برق و آب در تمام محلات یکسان برآورد شد. ارزش پولی کابینت، درب‌های داخلی واحد و همچنین درب ورودی با توجه به وضعیت اقتصادی محلات که تعیین‌کننده کیفیت

Table 4- Average current price of the immoveable household contents in each district (Tomans)

جدول ۴- میانگین قیمت روز محتویات غیر منقول خانه در هر محله

District Name	Stucco and Paint	Heating System	Cooling System	Electricity	Water Piping	Cabinets	Interior Doors	Entrance Door	The total cost of immoveable household contents
Ali Abad	121,800,000	5,000,000	10,000,000	15,000,000	10,000,000	9,000,000	4,500,000	3,500,000	178,800,000
Hossein Abad	121,200,000	5,000,000	10,000,000	15,000,000	10,000,000	13,500,000	5,500,000	5,000,000	185,200,000
Ostad Sara	134,250,000	10,000,000	15,000,000	15,000,000	10,000,000	22,000,000	7,000,000	7,000,000	220,250,000
Rashtian	139,350,000	15,000,000	25,000,000	15,000,000	10,000,000	30,000,000	8,000,000	8,500,000	250,850,000
Mo'allem	127,350,000	20,000,000	30,000,000	15,000,000	10,000,000	32,500,000	9,000,000	10,000,000	253,850,000

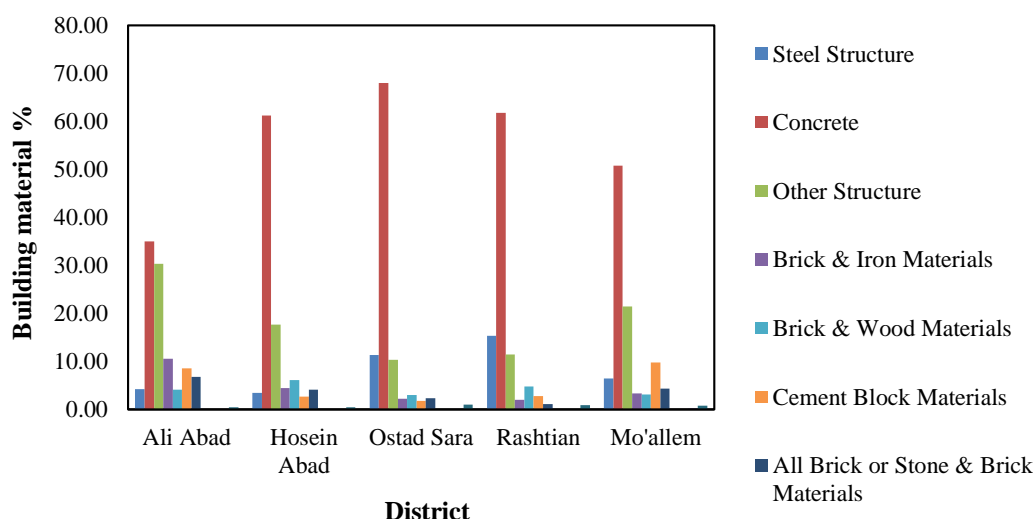


Fig. 2- Construction materials in each district (After Plan and Budget Organization of Guilan (2016))

شکل ۲- درصد فراوانی مصالح ساختمانی در هر محله

معادله ۴ از برازش یک تابع نیمه لگاریتمی برای تعیین خسارت محتویات منقول در عمق مشخصی از آب بالا آمده (شکل ۳) به دست آمد:

$$\text{Moveable content loss} = 30.22 + 157.2 \log_{10}(\text{depth}) \quad (4)$$

علاوه بر ضریب تعیین (R2) نتیجه تحلیل واریانس معادله ۴ در جدول ۵ آورده شده است. همان طور که ملاحظه می شود نه تنها ضریب تعیین بسیار زیادی به دست آمده است بلکه Pvalue مدل برازش یافته نیز صفر شده است که مبتنی بر پذیرش معادله با قدرت زیاد است. مقدار خطای استاندارد باقیمانده ها برای معادله برازش داده شده نیز کوچک بوده و معادل ۲/۷۲ درصد به دست آمد.

• منحنی و تابع عمق-خسارت محتویات غیر منقول

شکل ۴ نشان دهنده خسارت وارد بر محتویات غیر منقول ساختمان اعم از گچ و رنگ دیوارها، کابینت های خانه، درب های داخلی و ورودی، سیستم سرمایش و گرمایش و لوله کشی است. از همان معادله ۳ برای محاسبه درصد خسارت محتویات غیر منقول می توان استفاده نمود با

خسارت برای هر یک از وسایل مذکور با توجه به عمق آب بالا آمده در ارزش پولی همان وسیله (میانگین حاصل از جدول ۳) ضرب شد و عدد به دست آمده که بر حسب میلیون تومان است با یکدیگر جمع شد.

در نهایت جمع خسارت به ازای هر عمق بر ارزش پولی کل وسایل منقول موجود در خانه تقسیم و بر حسب درصد در برابر عمق آب بالا آمده از کف خیابان ترسیم شد. با توجه به اینکه خانه ها ۶۰ سانتی متر بالاتر از کف خیابان در نظر گرفته شده اند، برای ترسیم منحنی عمق-خسارت از کف خیابان هریک از گام های عمق از کف خانه با ۶۰ سانتی متر جمع شد. به طور مثال ۷۸/۹۹ درصد خسارت به ازای ۱/۴ متر عمق آب بالا آمده از کف خانه برآورد شد که همین درصد خسارت برابر با عمق ۲ متری آب از کف خیابان است.

● منحنی و تابع عمق-خسارت کل (مجموع خسارت محتویات منقول و غیر منقول ساختمان)

شکل ۵ نشان دهنده منحنی خسارت کل بر اساس عمق بالا آمده از کف خیابان است. همان طور که ملاحظه می شود بزرگترین عمق سیلاب برای محاسبه خسارت عمق ۳/۴ متر از کف خیابان است که خسارتی معادل ۹۱/۸۲ درصد به عنوان مجموع وارد شده بر محتویات منقول و غیر منقول را سبب می شود. بعد از این نقطه منحنی به مجانب خود میل می نماید.

آزمون توابع مختلف نشان داد که بهترین معادله برای برازش بر گراف شکل ۵ از نوع کوادراتیک است. معادله ۶ بهترین نتیجه حاصل از آزمون باقیمانده های مدل داده است:

(۶)

$$\text{Total Loss} = -39.78 + 68.64 \text{ depth} - 8.673 \text{ depth}^2$$
 تجزیه و تحلیل آماری معادله ۶ در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس ارزیابی جدول تحلیل واریانس و ضریب همبستگی میان داده های عمق از کف خیابان و خسارت محتویات کل، معادله ۶ برای برآورد خسارت قابل توصیه است.

این تفاوت که در اینجا مقدار n تعداد گروه های دخیل در خسارت کل یعنی ۸ گروه است. در این بخش نیز مانند بخش قبل با توجه به اینکه خانه ها ۶۰ سانتی متر بالاتر از کف خیابان در نظر گرفته شده اند، برای ترسیم منحنی عمق-خسارت از کف خیابان هریک از گام های عمق از کف خانه با ۶۰ سانتی متر جمع شد.

معادله ۵ از برازش یک تابع خطی برای تعیین خسارت محتویات غیر منقول در عمق مشخصی از آب بالا آمده (شکل ۴) به دست آمد:

$$\text{immoveable content loss} = -18.72 + 31.6 \text{ depth} \quad (۵)$$
 علاوه بر ضریب تعیین (R2) نتیجه آنالیز واریانس معادله ۵ در جدول ۶ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود علاوه بر ضریب تعیین مدل که معادل ۰/۹۹۵ به دست آمده است، Pvalue صفر برای ساختار مدل در جدول ANOVA به معنی برازش بسیار مناسب معادله بر یافته های حاصل از محاسبات است.

مقدار خطای استاندارد باقیمانده ها برای معادله برازش داده شده نیز کوچک بوده و معادل ۲/۱۸ درصد به دست آمد.

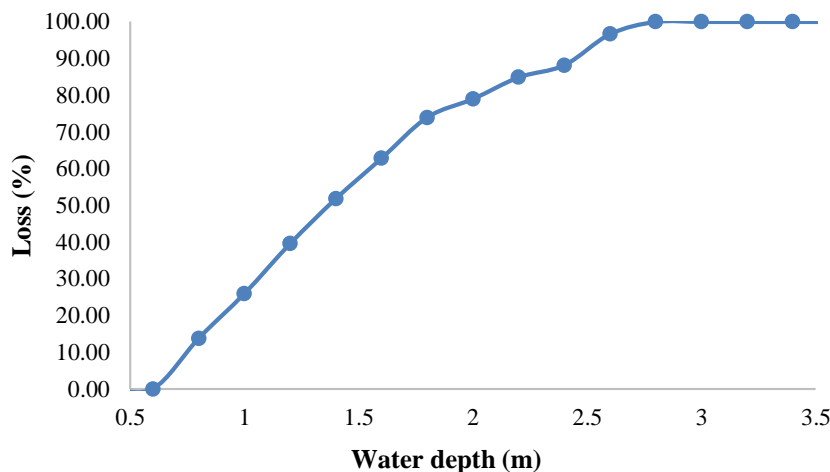


Fig. 3- Flood loss curve of moveable household contents
 شکل ۳- منحنی عمق-خسارت تمامی وسایل منقول موجود در خانه

Table 5- ANOVA table of movable content loss function
 جدول ۵- جدول ANOVA تابع خسارت لوازم منقول

Source	DF	SS	MS	F	P	R2
Regression	1	12231.0	12231.0	1647.54	0.000	99.40 %
Error	10	74.2	7.4			
Total	11	12305.2				

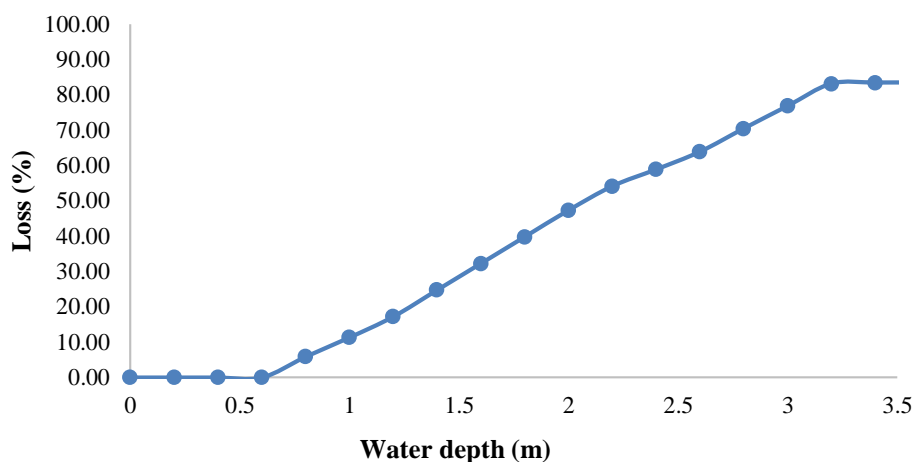


Fig. 4- Flood loss curve of immovable household contents

شکل ۴- منحنی عمق-خسارت محتویات غیر منقول

از خسارت وارده به بخش غیرمنقول به دست می‌دهند. دو مدل Debo و Luino نیز تنها خسارت غیرمنقول را به دست می‌دهند. بر این اساس برای مقایسه تابع خسارت-عمق توسعه یافته در این تحقیق با مدل‌های مذکور به تفکیک عمل شده است. با توجه به وجود سیستم‌های جمع آوری سیلاب در ۵ منطقه شهری مورد مطالعه، بررسی‌های میدانی و پرسش از افراد ساکن در ارتباط با تجربه آبگرفتگی در این منطقه در ادوار گذشته، و همچنین با توجه به اینکه ارتفاع خانه‌ها به طور میانگین ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از کف خیابان در نظر گرفته شد و ارتفاع سقف خانه‌ها ۲/۸۰ متر است مقدار خسارت بر اساس عمق آب بالا آمده از کف خیابان تا ارتفاع ۳/۴۰ متر مورد بررسی قرار گرفته است.

به همین دلیل مقایسه میان مدل تولید شده با مدل‌های موجود تا عمق ۳/۵ متر آب بالا آمده از کف خیابان صورت گرفت. برای مقایسه درصد خسارت حاصل از مدل توسعه یافته در این تحقیق با دیگر مدل‌ها از درصد خطای نسبی مطابق معادله ۷ استفاده به عمل آمد.

$$\%error = \frac{|Other Models - This Research|}{This Research} \times 100 \quad (7)$$

با توجه به اینکه معادله به دست آمده برای تابع خسارت کل تابع غیرخطی درجه دوم است، برای ارزیابی صحت مدل به آزمون‌های سخت‌گیرانه‌تری نیاز است. شکل ۶-الف برای آزمون نرمال بودن باقیمانده‌های مدل و شکل ۶-ب برای آزمون عدم وجود خاطره در این باقیمانده‌ها طرح شده است. هر دو آزمون در سطح ۵٪ قابل قبول بودن مدل برازش داده شده برای شبیه‌سازی خسارت کل را نشان می‌دهند.

برای ارزیابی صحت برآورد و پیش‌بینی خسارت کل برای هر دو دسته اعماق کم و زیاد، آزمون ثبات واریانس (هوموسداسیتی) برای تابع به دست آمده یعنی معادله ۶ انجام شد. نتیجه آزمون در شکل ۷ نشان‌دهنده سلامت مدل برازش یافته به ازای همه مقادیر عمق سیلاب وارد شده به واحدهای مسکونی است.

۳-۵- مقایسه منحنی عمق-خسارت توسعه داده شده با دیگر مدل‌ها

از میان ۵ مدل جهانی مورد بررسی تنها سه مدل Dutta, Arrighi و Life-Sim خسارت را برای محتویات منقول و غیرمنقول ساختمان محاسبه می‌نمایند. شایان یادآوری است که این سه مدل خسارت ارقام منقول را به صورت مستقیم محاسبه نموده و آن را به صورت درصدی

Table 6- ANOVA table of immovable content loss function

جدول ۶- جدول ANOVA تابع خسارت لوازم غیرمنقول

Source	DF	SS	MS	F	P	R2
Regression	1	11231.9	11231.9	2355.55	0.000	99.45%
Error	13	62.0	4.8			
Total	14	11293.9				

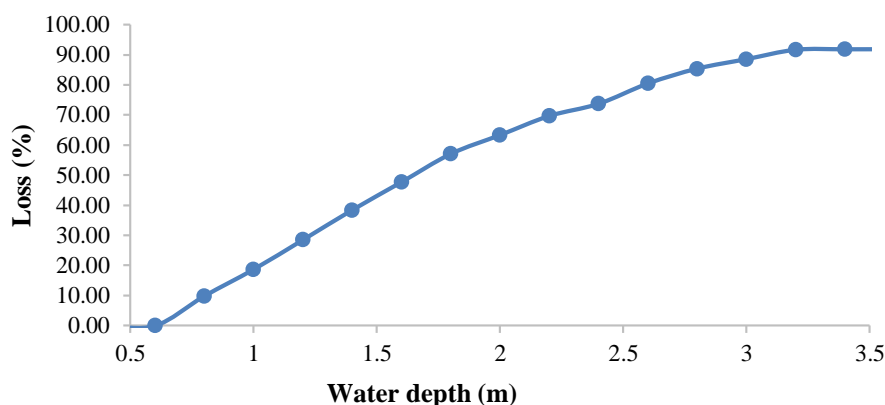


Fig. 5- Total Flood loss curve
 شکل ۵- منحنی عمق-خسارت کل

Table 7- ANOVA table of the total loss function
 جدول ۷- جدول ANOVA تابع خسارت کل

Source	DF	SS	MS	F	P	R2
Regression	2	13403.9	6701.94	4814.39	0.000	99.88%
Error	12	16.7	1.39			
Total	14	13420.6				

گرفته شده است (Amirmoradi et al., 2019). در شکل ۹ منحنی عمق-خسارت ترسیم شده است و در جدول ۹ علاوه بر مقادیر مربوط به خسارت مدل‌ها در بخش محتویات منقول ساختمان اختلاف مدل توسعه یافته با سه مدل Dutta، Life-Sim و Arrighi به ازای هر ۰/۵ متر عمق آب بالا آمده آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۹ و همچنین جدول ۹ مشخص است تا عمق ۱/۵ متر آب بالا آمده از کف خیابان، مدل توسعه یافته نسبت به مدل Life-Sim برآورد کمتری از خسارت داشته است ولی از عمق ۲ متر الی ۳/۵ متر برآورد بیشتری برای میزان خسارت وارد شده به محتویات منقول به دست می‌دهد. مدل توسعه یافته نسبت به مدل Arrighi بجز ۲۵ سانت اول آبرفتگی برآورد بیشتری از خسارت داشته است. در مقایسه مدل تولید شده با مدل Dutta نیز همین روند ولی بعد از عمق ۱ متر ملاحظه می‌شود. در مجموع مدل توسعه داده شده تا عمق ۱ متر بیشترین مشابهت را با مدل‌های Arrighi و Dutta و از این عمق به بالا با مدل life-Sim نشان می‌دهد. به عبارت دیگر دو مدل Arrighi و Dutta برای برآورد خسارت منقول در نتیجه بروز سیلاب‌های کوچکتر به واقعیت منطقه مطالعاتی نزدیکتر از مدل Life-Sim هستند.

● مقایسه تابع عمق-خسارت برای بخش غیرمنقول مدل توسعه یافته و ۵ مدل جهانی

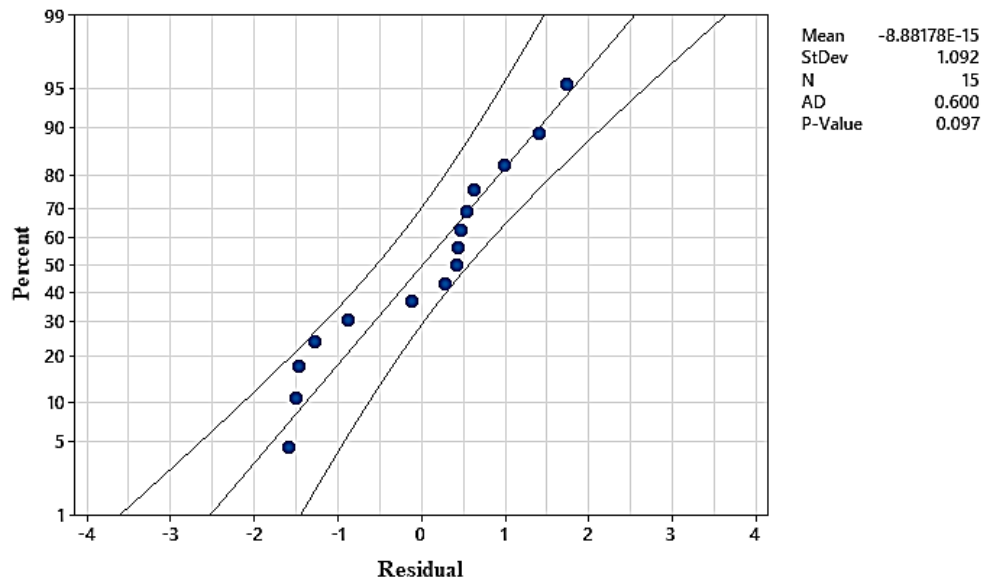
شکل ۸ درصد خسارت برآورد شده توسط مدل‌های ۵ گانه و مدل توسعه یافته در این تحقیق و جدول ۸ خسارت وارده بر محتویات غیرمنقول تا عمق ۳/۵ متر آب بالا آمده از کف خیابان و درصد خطای نسبی میان نتایج این تحقیق با ۵ مدل جهانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هر ۵ مدل جهانی تا عمق ۱ متر برآورد بیشتری نسبت به مدل توسعه یافته داشته‌اند. در عمق ۱/۵ متر مدل توسعه داده شده تنها از دو مدل Debo و Luino برآورد بیشتر ولی نسبت به دیگر مدل‌ها برآورد کمتری دارد. این وضعیت از عمق ۲ متر به بعد تغییر می‌نماید و مدل توسعه داده شده در این تحقیق نسبت به هر ۵ مدل جهانی دارای برآورد بیشتری است.

● مقایسه منحنی عمق-خسارت محتویات منقول مدل توسعه یافته با مدل‌های Life-Sim، Dutta و Arrighi

در دو مدل Life-Sim و Dutta با توجه به کاربری ساختمان و تعداد طبقات (کاربری مسکونی و با ۲ طبقه ارتفاع) مقدار خسارت وارده بر محتویات داخل ساختمان محاسبه شده است. در مدل Arrighi مقدار خسارت وارده بر محتویات داخل ساختمان با توجه به نوع کاربری که مسکونی است برابر با ۵۰ درصد خسارت وارده بر سازه ساختمان در نظر

(الف)

Normal Probability Plot of total loss function residuals
Normal - 95% CI



(ب)

Autocorrelation Function for total loss function residuals
(with 5% significance limits for the autocorrelations)

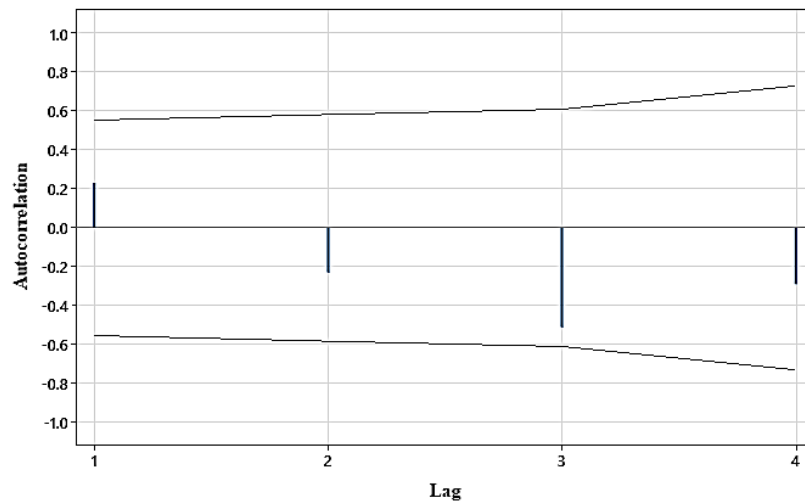


Fig. 6- A) The test of normality of the residuals of the total loss function and B) The test of the presence of memory in the residuals of the total loss function

شکل ۶- الف- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌های تابع خسارت کل و ب- آزمون وجود خاطره در باقیمانده‌های تابع خسارت کل

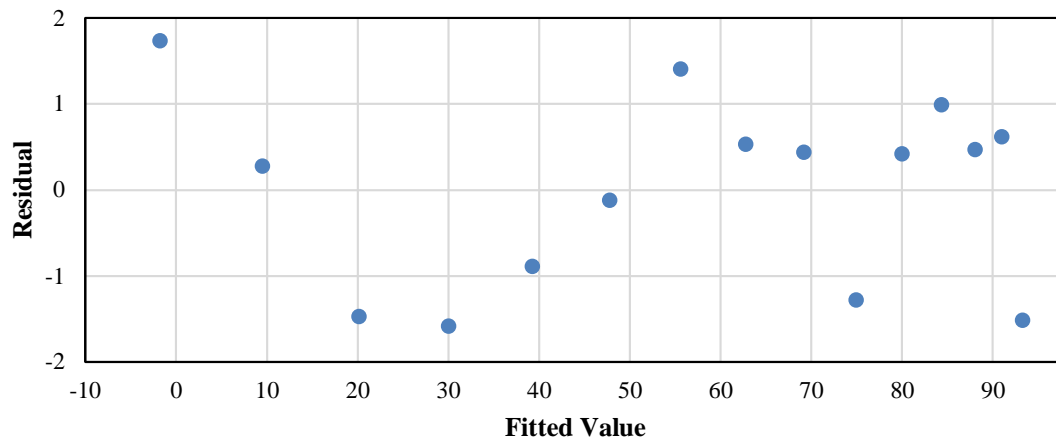


Fig. 7- Variance stability test (Homoscedasticity) of the residuals of the total loss function

شکل ۷- آزمون ثبات واریانس باقیمانده‌های تابع خسارت کل

Table 8- Comparison between the developed model and 5 global models for the loss of immovable contents

جدول ۸- مقایسه نتایج مدل توسعه یافته برای خسارت محتویات غیر منقول با ۵ مدل جهانی

Water depth (m)	Loss (%) Arrighi	Loss (%) Debo	Loss (%) Luino	Loss (%) Life-Sim	Loss (%) Dutta	Loss (%) this research	Difference between Arrighi & This Research (%)	Difference between Debo & This Research (%)	Difference between Luino & This Research (%)	Difference between Life-Sim & This Research (%)	Difference between Dutta & This Research (%)
0	0.00	3.80	0.00	0.00	3.15	0.00					
0.5	9.29	8.23	14.36	18.85	15.06	0.00					
1	22.54	18.20	24.08	27.73	25.70	11.31	99.29	60.92	112.92	145.20	127.24
1.5	35.12	23.81	28.17	35.82	34.03	28.50	23.23	-16.47	-1.15	25.69	19.40
2	36.24	31.06	32.13	43.06	40.97	47.32	-23.42	-34.35	-32.10	-9.00	-13.41
2.5	37.73	37.45	36.28	49.53	46.77	61.38	-38.53	-38.98	-40.90	-19.31	-23.80
3	38.81	43.33		55.18	50.92	76.83	-49.49	-43.60		-28.18	-33.72
3.5	39.86	47.50		60.00	54.20	83.45	-52.23	-43.08		-28.10	-35.05

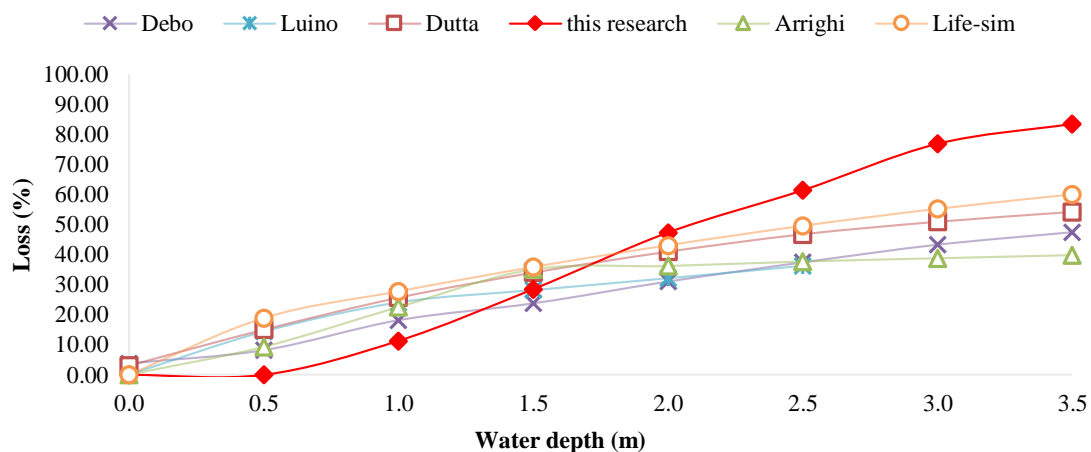


Fig. 8- Comparison of models in terms of loss to immovable contents of buildings

شکل ۸- مقایسه مدل‌ها از نظر خسارت وارد بر محتویات غیر منقول ساختمان

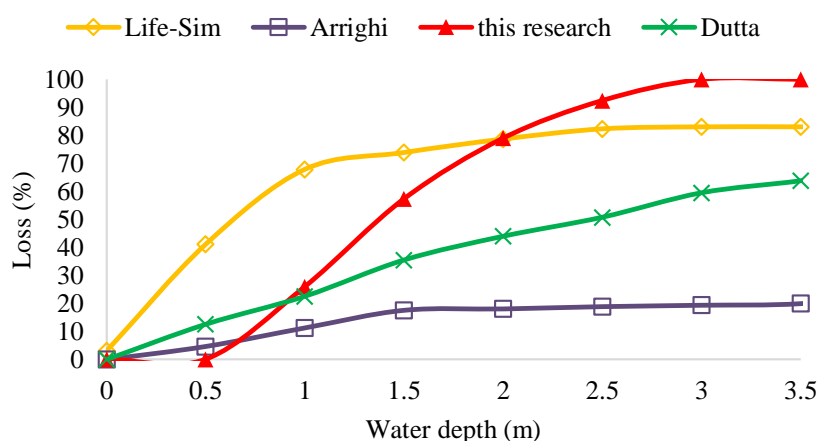


Fig. 9- Comparison of models in terms of loss to the moveable household contents

شکل ۹- مقایسه مدل‌ها از نظر خسارت وارد بر محتویات منقول ساختمان

Table 9- Comparison of loss percentage of movable household contents

جدول ۹- مقایسه درصد خسارت محتویات منقول

Water depth (m)	Loss (%) Arrighi	Loss (%) Life-Sim	Loss (%) Dutta	Loss (%) This Research	Difference between Arrighi & This Research (%)	Difference between Life-Sim & This Research (%)	Difference between Dutta & This Research (%)
0	0	3	0	0	-	-	-
0.5	4.66	41.07	12.57	0	-	-	-
1	11.27	67.84	22.56	25.93	56.54	-161.58	13.02
1.5	17.56	73.84	35.49	57.31	69.36	-28.84	38.07
2	18.05	78.64	43.95	78.99	77.14	0.43	44.36
2.5	18.86	82.28	50.73	92.43	79.59	10.99	45.12
3	19.36	83	59.45	100	80.64	17	40.55
3.5	19.93	83	63.74	100	80.07	17	36.26

باشد که شواهد و مستندات مناسبی برای برآورد خسارت وارده شده از سیلاب‌های کوچکتر در مدل‌های مورد مقایسه در اروپا و امریکا فراهم بوده است.

تفاوت آشکار و غیرقابل چشم‌پوشی در نتایج توابع به‌دست آمده در این تحقیق با هر ۵ مدل منتخب جهانی نشان می‌دهد که برای برآورد خسارت سیلاب به دو دلیل نمی‌توان از مدل‌های توسعه یافته در دیگر مناطق نمود. دلیل اول آنکه مدل‌های در دسترس به جزئیات نمی‌پردازند و دلیل دوم آنکه نیاز به بومی‌سازی دارند. این نیاز به بومی‌سازی تنها به خاطر این نیست که وسایل مورد استفاده در اروپا یا امریکا با وسایل مورد استفاده در ایران متفاوت هستند چون در هر حال هزینه‌ها به صورت نسبی به‌دست می‌آیند.

● مقایسه تابع عمق - خسارت خسارت کل مدل توسعه یافته با مدل‌های Life-Sim، Dutta و Arrighi

شکل ۱۰ میزان خسارت را بر اساس کل محتویات منقول و غیر منقول ساختمان بر اساس نتایج مدل توسعه یافته و سه مدل دیگر که توانایی ارزیابی خسارت کل را دارند نشان می‌دهد. درصد خسارت کل محاسبه شده با مدل توسعه یافته تا ارتفاع یک متر کمتر از ۳ مدل دیگر بوده در حالی که از ارتفاع ۱/۵ متر مدل توسعه داده شده خسارت را بیشتر محاسبه نموده است که این مقدار در ارتفاع ۳/۴ متر عمق آب بالا آمده از کف خیابان نسبت به سه مدل Dutta، Life-Sim و Arrighi به ترتیب ۳۷/۸۲، ۳۰/۸۲ و ۵۱/۸۲ درصد بیشتر است.

نکته مهمی که در این شکل هویداست اختلاف کمتر مدل‌ها در اعماق کم و لذا در سیلاب‌های با فراوانی بیشتر است. این امر شاید بدان علت

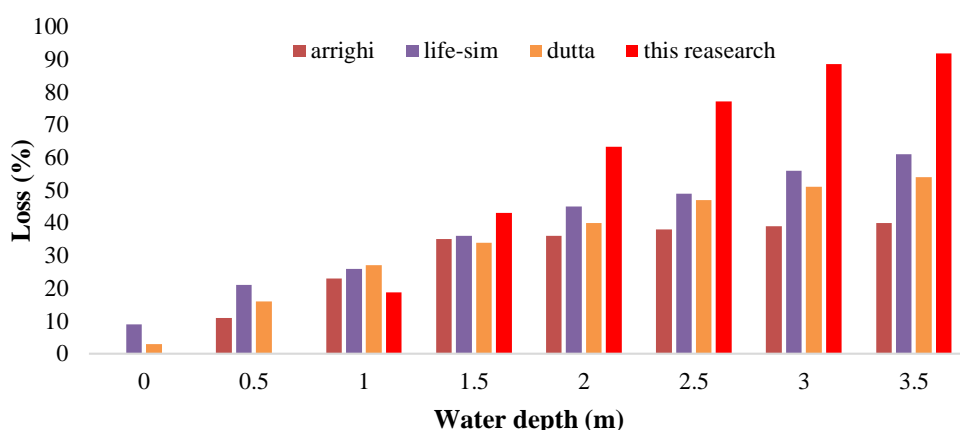


Fig. 10- Flood loss curves comparison for moveable and immovable household contents
شکل ۱۰ - مقایسه مدل‌ها براساس خسارت وارد بر کل محتویات منقول و غیر منقول ساختمان

خسارت ساختمان‌های مسکونی از طریق طراحی سؤالات پرسشنامه بر اساس مذاکره با خبرگان، متخصصان، استادکاران در انواع اصناف مورد نیاز و همچنین با بهره برداری از مطالعه کیفی انجام شده توسط Ghasemzadeh et al. (2021) صورت گرفت و در بین افراد ۵ منطقه از مناطق شهری رشت که از لحاظ ساخت و ساز و همچنین سطح زندگی از تنوع کافی برخوردار هستند به صورت تصادفی توزیع شد. تمامی وسایل موجود در خانه‌ها مانند تلویزیون و فرش و غیره و نیز محتویات غیر منقول مانند هزینه گچ و رنگ دیوار و یا کابینت و غیره به روز قیمت‌گذاری شدند و همچنین قیمت تمامی قطعات و اجزای سازنده وسایل و هزینه تعمیرات و یا بازسازی تمامی موارد مورد بررسی برآورد شد. با بررسی میدانی به طور میانگین ساختمان‌ها از کف خیابان ۶۰ سانتی متر بالاتر در نظر گرفته شدند. مقدار خسارت از عمق صفر الی ۳/۴۰ متر آب بالا آمده از کف خیابان به ازای هر ۲۰ سانتی متر برای هر یک از موارد و وسایل بررسی و به صورت نسبتی از ارزش همان وسیله محاسبه شد. حاصل این مطالعات توسعه سه دسته تابع عمق - خسارت برای برآورد خسارت ناشی از سیل در سه بخش مجزای منقول، غیرمنقول و کل شد. برای ارزیابی توابع خسارت توسعه یافته، از ۵ مدل جهانی برای مقایسه استفاده به عمل آمد. شایان ذکر است که در مدل‌های موجود جهانی برآورد دقیقی از خسارت وارد بر محتویات منقول به صورت جزئی و دقیق وجود نداشته و خسارت وارد بر محتویات داخل ساختمان به صورت درصدی از خسارت وارد بر محتویات غیرمنقول محاسبه می‌شود. در یک جمع‌بندی کلی خسارت برآورد شده توسط مدل توسعه یافته در این تحقیق تا عمق یک الی ۱/۵ متر کمتر و از این عمق به بعد بیشتر از میزان خسارت برآورد شده توسط مدل‌های موجود است. علت این اختلاف را نمی‌توان دقیقاً بیان داشت ولی اولاً می‌توان بردقت بیشتر مدل توسعه داده شده، به دلایلی

به نظر می‌رسد علت اصلی این تفاوت در درجه اول هزینه‌های ساخت، کارگری، تعمیر و تأمین و جایگزینی قطعات مورد نیاز وسایل برقی و در درجه دوم معماری ساختمان‌های مسکونی و نحوه چیدمان اثاثیه باشد.

۴- نتیجه‌گیری

سیلاب‌ها هنگامی که در مناطق شهری رخ می‌دهند با بروز خسارت در سطح کلان همراه هستند. با توجه به اهمیت ویژه ساختمان‌های مسکونی داشتن توابع عمق-خسارت می‌تواند موجب به‌کارگیری تمهیدات لازم برای کاهش اثرات خطر سیلاب قبل از وقوع آن شده و با مدیریت صحیح ریسک از طرق مختلف منجمله اصلاح زیرساخت‌ها و یا تغییر الگوی مسکن و ساخت و ساز متناسب با مخاطره سیل از هدر رفت سرمایه ملی جلوگیری نماید.

با توجه به اینکه تا کنون در ایران برای ارزیابی و یا پیش‌بینی خسارت سیلاب از نظریات کارشناسی و در بهترین حالت از مدل‌های بین‌المللی استفاده به عمل آمده است، این تحقیق با هدف توسعه یک مدل خسارت مبتنی بر واقعیات میدانی کشور انجام شد. آنچه که به عنوان اطلاعات خسارت سیلاب هم اکنون در کشور در دسترس است، علاوه بر اینکه متولی مشخصی ندارد با این مشکل مواجه است که به بیان یک عدد به عنوان خسارت تقریبی کل سیلاب، که در برگرفته همه بخش‌های تجاری، مسکونی و صنعتی آن هم بدون ذکر جزئیات مربوط به بخش منقول و غیرمنقول است، محدود است. در این تحقیق با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات مربوط به جزئیات خسارت سیلاب‌های گذشته، اطلاعات میدانی مورد نیاز برای توسعه توابع

همچون بررسی جزئیات بیشتر و دقیق‌تر از عوامل غیرمنقول واحدهای مسکونی و همچنین بررسی خسارت وارد شده به بیشترین تعداد وسایل منقول موجود در یک خانه به صورت مجزا و نه به صورت درصدی از خسارت کلی وارد بر سازه، تأکید نمود و ثانیاً می‌توان آن را ناشی از وجود تفاوت ساختاری در معماری ساختمان و همچنین هزینه‌های تعمیر و مرمت وسایل منقول و غیرمنقول منازل مسکونی در ایران و دیگر نقاط مانند ژاپن، امریکا و اروپا دانست. نکته مهمی که در مقایسه مدل‌های جهانی با مدل توسعه داده شده در این تحقیق بوضوح دیده می‌شود، نزدیک بودن نتایج محاسبه خسارت در دو دسته مدل مورد مقایسه به ازای عمق‌های کم سیلاب است. علت این مهم را می‌توان به افزایش دقت مدل‌های بین‌المللی در سیلاب‌های با فراوانی بیشتر به علت استفاده از ارقام خسارت واقعی و مشاهده شده در کشورهای مورد مطالعه برای توسعه توابع خسارت نسبت داد که این امر دوباره و به نوبه خود می‌تواند گواهی بر بر دقت مدل توسعه داده شده در این تحقیق باشد. منحنی‌ها و توابع خسارت در این تحقیق بصورت بدون بعد به دست آورده شدند. لذا علاوه بر روش مورد استفاده برای توسعه مدل خسارت، تمامی توابع توسعه یافته در این تحقیق برای خسارت اموال منقول، غیرمنقول و خسارت کل برای اکثر شهرهای ایران قابل توصیه بوده و می‌توان از آن‌ها در ارزیابی اولیه ریسک سیلاب در مناطق شهری استفاده نمود.

۵- مراجع

- Plan and Budget Organization of Guilan Assistance of Statistics and Information (2016) Population and Housing Census. (In Persian)
- Aishwarya N, Aniruddha K, Sutapa D, Bharath H A (2023) Developing assessment flow for damage estimation of mud housing typology through a case study against coastal floods. Scientific Reports 13 Article number 6712
- AmirMoradi K, Shokoohi A, Azizian A (2019) Evaluating risk of economic loss due to river flood in urban areas (Study Area: Kan Watershed). Iranian Journal of Soil and Water Research 9:2239-2259 (In Persian)
- AmirMoradi K, Shokoohi A (2020) Developing a regional model for estimating flood mortality regarding the evacuation time (Case Study: Kan Watershed). Iranian Journal of Soil and Water Research 7:1823-1839 (In Persian)
- Arrighi C, Brugioni M, Castelli F, Franceschini S, and Mazzanti B (2013) Urban micro-scale flood risk estimation with parsimonious hydraulic modeling and census data. Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences 13:1375-1391
- Asaridis P, Molinari D (2023) A conceptual model for the estimation of flood damage to power grids. European Geosciences Union 61:1-21
- Balbi S, Giupponi C, Olschewski R, Mojtahed V (2013) The economics of hydro-meteorological disasters: Approaching the estimation of the total costs. BC3 Working Paper Series 2013e12 Basque Centre for Climate Change (BC3) Bilbao Spain
- Bottazzi P, Winkler M, Boillat S, Diagne A, Sika M, Kpangon A, Faye S, & Speranza C (2018) Measuring subjective flood resilience in suburban dakar: Before–after evaluation of the “Live with Water” Project. Sustainability 10 2135
- Boulangue J, Hirabayashi Y, Tanoue M, Yamada T (2023) Quantitative evaluation of flood damage methodologies under a portfolio of adaptation scenarios. Natural Hazards 118:1855-1879
- Dalu M T, Charles S M, & Dalub T (2018) Influence of land cover, proximity to streams and behold Topographical location on flooding impact in informal settlements in the Eastern Cape, South Africa. International Journal of Disaster Risk Reduction 28:481-490
- Debo T N (1982) Urban flood damage estimating curves. Journal of the Hydraulics Division. Proceedings of the ASCE 108(10):1059-1069
- Dutta D, Herath S, and Musiaka K (2003) A mathematical model for flood loss estimation. Journal of Hydrology 277:24–49
- FEMA (2003) Hazard MH—Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Federal Emergency Management Agency USA, 569p
- Gain A K, Mojtahed V, Biscaro C, Balbi S, Giupponi (2015) An integrated approach of flood risk assessment in the eastern part of Dhaka City. Natural Hazards Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Springer International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards 79(3):1499-1530
- Ganji Z, Shokoohi A (2015) A Mathematical model for agricultural flood loss estimation. Iran-Water Resources Research 10(3):1-13 (In Persian)
- Ganji Z, Shokoohi A, Singh V P (2016) Evaluating the effect of discharge–probability function uncertainty on the risk of agricultural loss due to flood using Monte Carlo Method. Iran-Water Resources Research 12(2):13-23 (In Persian)
- Genovese E (2006) A methodological approach to land use based flood damage assessment in urban areas: Prague case study. European Commission Joint Research Centre
- GFDRR (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery) (2016) Disaster risk profile, Zanzibar. The International Bank for the Reconstruction of Development the World Bank Group USA
- Ghasemzadeh B, Zarabadi Z S S, Majedi H, Behzadfar M, Sharifi A (2021) A framework for urban flood resilience assessment with emphasis on social, economic and institutional dimensions: A qualitative study. Sustainability 13(14):7852
- Huizinga J, Moel H, and Szewczyk W (2017) Global flood depth-damage functions. Methodology and the Database with Guidelines EUR 28552 EN
- Jongman B, Kreibich H, Apel H, Barredo J I, Bates P D, Feyen L, Gericke A, Neal J, Aerts J C J H, & Ward P J (2012) Comparative flood damage model assessment: Towards a European approach. Natural Hazards and Earth System Sciences 12:3733–3752
- Karbasi M, Shokoohi A, Saghafian B (2019) Estimating the number of fatalities resulting from flash floods in residential areas. Iran-Water Resources Research 15(1):236-246 (In Persian)

- Kreibich H, and Thielen A H (2009) Coping with floods in the city of Dresden Germany. *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences* 51(3):423-436
- Luino F, Cirio C G, Biddoccu M, Agangi A, Giulietto W, Godone F, Nigrelli G (2009) Application of a model to the evaluation of flood damage. *Journal of Geoinformatica* 13:339-353
- Martello M V, Whittle A J, Lyons-Galante H R (2022) Depth-damage curves for rail rapid transit infrastructure. *Chartered Institution of Water and Environmental Management Journal of Flood Risk Management* 16(1):1-13
- Martinez-Gomariz E, Forero-Ortiz E, Guerrero-Hidalga M, Castan S, Gomez M (2020) Flood depth-damage curves for Spanish Urban Areas. *Journal of Sustainability* 2666:1-25
- McClelland D M, and D S Bowles (2000) Estimating life loss for dam safety and risk assessment: Lessons from case histories. In *Proceedings of the 2000 Annual USCOLD Conference US Society on Dams (formerly US Committee on Large Dams)* Denver CO
- McClelland D M, and D S Bowles (2002) Estimating life loss for dam safety risk assessment-a review and new approach. *Institute for Water Resources US Army Corps of Engineers Alexandria VA*
- Merz B, Hall J, Disse M, and Schumann A (2010) Fluvial flood risk management in a changing world. *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences* 10:509-527
- Merz B, Kreibich H, Schwarze R, & Thielen A (2010) Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10:1697-1724
- Nascimento N, Lea Machado M, Baptista M, De Paula E, and Silva A (2007) The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context. *Journal of Urban Water* 4(3):195-210
- Nassor B S, Makame M O (2021) Assessing community adaptation strategies to floods in flood-prone areas of urban district Zanzibar Tanzania. *Journal of Sustainable Published by Canadian Center of Science and Education* 3:1913-9063
- Oliveri E and Santoro M (2000) Estimation of urban structural flood damages: the case study of Palermo. *Urban Water* 2:223-234
- Papathoma-Köhle M, Zischg A, Fuchs S, Glade T, and Keiler M (2015) Loss estimation for landslides in mountain areas-An integrated toolbox for vulnerability assessment and damage documentation. *Environmental Modelling & Software* 63:156-169
- Parker D J, Green C H, and Thompson P M (1987) *Urban flood protection benefits: A project appraisal guide.* Gower Technical Press Aldershot
- Queensland Government (2002) *Disaster loss assessment guidelines* Illycroft Pty Ltd. Queensland, Australia, 111
- Schoppa L, Sieg T, Vogel K, Zöller G, Kreibich H (2020) Probabilistic flood loss models for companies. *Water Resources Research* 56(9):1-19
- Scorzini A R & Frank E (2017) Flood damage curves: New insights from the 2010 flood in Veneto, Italy. *Journal of Flood Risk Management* 10:1753-318
- Sieg T, Vogel K, Merz B, & Kreibich H (2019) Seamless estimation of hydrometeorological risk across spatial scales. *Earth's Future* 7(5):574-581
- Smith K and Ward R (1998) *Floods: Physical processes and human impacts.* New York Wiley The International Disaster Database (EM-DAT)
- Thielen A H, Kreibich H, Muller M, and Merz B (2007) Coping with floods: Preparedness, response, and recovery of flood-affected residents in Germany. *Journal of Hydrological Sciences* 52(5):1016-1037
- Van der Sande C (2001) *River flood damage assessment using IKONOS imagery.* E C Joint Research Centre & S A I Ispra Italy, 77 p
- Wagenaar D J, de Bruijn K M, Bouwer L M, & de Moel H (2016) Uncertainty in flood damage estimates and its potential effect on investment decisions. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16:1-14
- Zarakani M, Shokoohi A, Singh V P (2017) Introducing a holistic ecological model under data shortage for determining river ecological water requirements. *Iran-Water Resources Research* 13(2):140-153 (In Persian)