



## Assessing Vehicle Damage in Floods in Urban Areas (Case Study: Shiraz Flood)

R. Golmohammadi<sup>1</sup>, A. Shokoohi<sup>2\*</sup>

### Abstract

The occurrence of climate change around the world increases the probability of flash floods in cities, which cause great damage to lives and properties. In this paper, the damages caused to the vehicles in the flood were analyzed and damages of the Shiraz Darwazeh-Quran flood were focused as a case study. First, a 1D/2D simulation of the mentioned flood was performed using the PCSWMM model and the maximum depth and velocity values in the parking area adjacent to the water accumulation pool were estimated to be 1.18 m and 3.27 m/s, respectively. In this study, using the hydrodynamic index of the flood, which is defined as the product of the velocity multiplied by the depth of the flood, the curve presented in AR&R (2011) was evaluated and then corrected and extended to a depth of one meter. It was used to determine the stability and instability of passenger cars during the floods. The HAZUS MH damage depth curve was used to determine the damage. In the existing damage models, the amount of damage is presented only by considering the water depth, while the flood has the important variable of water velocity. In this study, by combining the two modified AR&R (2011) curves and HAZUS-MH with the help of their common part, i.e., the depth, and zoning of the surface below the AR&R (2011) diagram, the damage values were determined in different ranges of depth and velocity. Then, with the generation of a distributed flood risk map, the maximum amount of damage to passenger cars was estimated as 12.5%. Finally, considering Pride 131 as the flagship vehicle, the total damage was equal to 16 billion Rials.

**Keywords:** Flood, Vehicles Damage, Hydrodynamic Index of Stability, PCSWMM.

Received: October 9, 2021

Accepted: November 9, 2021

## ارزیابی خسارات وسایل نقلیه در سیلاب در مناطق شهری (مطالعه موردی: سیلاب شیراز)

ریحانه گلمحمدی<sup>۱</sup>، علیرضا شکوهی<sup>۲\*</sup>

### چکیده

وقوع تغییرات اقلیمی در سطح جهان، احتمال وقوع سیل‌های ناگهانی در سطح شهرها را افزایش می‌دهد که خسارات زیادی به جان و مال مردم وارد می‌کند. در این مقاله به تحلیل و محاسبه خسارات وارده به وسایل نقلیه در سیلاب و در مطالعه موردی به سیل دروازه قرآن شیراز پرداخته شده است. ابتدا شبیه‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی سیل مذکور با استفاده از مدل PCSWMM انجام و مقادیر عمق و سرعت حداکثر در محدوده پارکینگ مجاور استخر تجمع آب به ترتیب ۱/۱۸ m و ۳/۲۷ m/s برآورد شد. در این مطالعه منحنی ارائه‌شده در AR & R (2011) به کمک شاخص هیدرودینامیکی سیلاب که حاصلضرب سرعت در عمق سیلاب تعریف گردید، ارزیابی و در نهایت اصلاح و تا عمق یک متر بسط داده شد و از آن برای تعیین وضعیت پایداری و ناپایداری خودروهای سواری در سیلاب استفاده به عمل آمد. برای تعیین خسارت از منحنی عمق- خسارت HAZUS-MH استفاده شد. در مدل‌های خسارت موجود مقدار خسارت صرفاً با در نظر گرفتن عمق آب ارائه می‌شود در صورتی که سیل دارای متغیر مهم سرعت نیز هست. در این تحقیق با تلفیق دو منحنی AR & R (2011) اصلاح‌شده و HAZUS-MH به کمک فصل مشترک آن‌ها یعنی عمق و زون بندی سطح زیر نمودار AR & R (2011) اصلاح‌شده، مقادیر خسارت در محدوده‌های متفاوتی از عمق و سرعت تعیین شد. پس‌از آن با تولید نقشه توزیعی ریسک سیل بیشترین مقدار خسارت خودروهای سواری ۱۲/۵ درصد برآورد گردید. در نهایت با در نظر گرفتن پراید ۱۳۱ به‌عنوان خودرو شاخص، میزان خسارت کل برحسب قیمت روز معادل ۱۶ میلیارد ریال به دست آمد.

**کلمات کلیدی:** سیل، خسارت خودرو، شاخص هیدرودینامیکی پایداری، PCSWMM

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۸

1-M.Sc. Graduate Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

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

\*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.3.16.1](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.3.16.1)

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).

۲- استاد دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، قزوین، ایران، کد پستی ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.



وضعیت پایداری و ناپایداری خودروها در سیلاب استفاده می‌شود.

بر اساس آنچه تاکنون مرسوم بوده است برای تعیین خسارات سیل از منحنی‌های عمق- خسارت استفاده می‌شود. برای تعیین مقادیر خسارت وسایل نقلیه پایدار، تاکنون بیشتر سه مدل USACE، HAZUS-MH و CRUE EU مطرح بوده‌اند. در این مدل‌ها مقادیر خسارت خودروهای پایدار در سیلاب صرفاً با در نظر گرفتن عمق آب محاسبه می‌شود. مدل USACE توسط مهندسين ارتش آمریکا توسعه داده شده است که در آن خسارت پنج خودرو مشخص شامل Sedan, Pickup Truck, Mini Van, Utility Vehicle و Sports Car برحسب درصد تعیین می‌شود (USACE, 2009). مدل HAZUS-MH نیز توسط مدیریت بحران فدرال آمریکا (FEMA<sup>1</sup>) ارائه شده که در آن مقادیر خسارت خودروها در سه دسته سواری، کامیون‌های کوچک و بزرگ برحسب درصد تعیین می‌گردد (FEMA, 2015). مدل CRUE EU توسط اتحادیه اروپا برای ارزیابی خسارت دودسته خودروهای دیزلی و گازوئیلی برحسب یورو توسعه داده شده است (Francés et al., 2008). در انتخاب مدل تعیین خسارت عوامل زیادی می‌تواند مورد نظر باشد ولی یکی از اولین پارامترهای مهم می‌تواند این نکته باشد که با توجه به تغییرات زیاد قیمت خودرو در ایران، روش مناسب برای تعیین مقادیر خسارت خودروها روشی است که برحسب درصدی از قیمت خودرو عمل نماید. براین اساس مدل CRUE EU که در آن از صحت مقادیر خسارت ارائه شده در صورت بی‌بعد کردن روابط، صحبتی به میان نیامده نمی‌تواند برای مطالعه حاضر مدنظر باشد. از طرفی مدل USACE برای پنج خودرو مشخص توسعه داده شده است و نمی‌توان از آن برای تعیین خسارت خودروهای رایج در ایران استفاده کرد. بنابراین، مناسب‌ترین مدل برای تعیین خسارت خودروهای پایدار در تحقیق حاضر مدل HAZUS-MH می‌باشد.

همان‌طور که گفته شد، در مدل‌های خسارت موجود، مقادیر خسارت فقط با در نظر داشتن عمق سیلاب تعیین شده‌اند در صورتی که سیل دارای متغیر مهم سرعت نیز می‌باشد. در پژوهش حاضر تلاشی صورت گرفت تا بتوان مقادیر خسارت وارده به وسایل نقلیه در سیلاب را در محدوده‌های مشخصی از عمق و سرعت تعیین کرد. برای این منظور و برای مطالعه موردی به سیل دروازه قرآن شیراز در ۵ فروردین ۱۳۹۸ پرداخته شد. در این تحقیق منحنی ارائه شده در (AR & R (2011) به کمک شاخص هیدرودینامیکی D.V مورد ارزیابی قرار گرفت و اصلاح شد. پس از آن با تلفیق دو منحنی عمق- سرعت (AR & R (2011)

گرم شدن کره زمین در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای منجر به تغییرات اقلیمی در سطح جهان شده است و ایران نیز از این قضیه مستثنا نیست. این تغییرات باعث وقوع بارش‌هایی با شدت زیاد و کوتاه‌مدت می‌شود که احتمال وقوع سیل‌های ناگهانی در سطح شهرها را افزایش می‌دهد. وقتی که سیل ناگهانی به وقوع بپیوندد، به سرعت در سطح شهر گسترش می‌یابد و ممکن است هر آنچه در مسیرش باشد از جمله وسایل نقلیه را شسته و با خود حمل کند و خسارات مستقیم و غیرمستقیمی را برای جان و مال انسان به همراه داشته باشد. عدم ثبات و جابجایی وسایل نقلیه از ابتدا تا انتهای سیلاب بیانگر ناپایداری آن‌ها است که منجر به مرگ‌ومیر و صدمه به مسافران و عابران پیاده، آسیب به ساختمان‌ها و حتی تشدید رویداد سیل با مسدود شدن سازه‌های هیدرولیکی مانند آبگذر و پل‌ها و غیره می‌شود. برای تعیین مقادیر خسارت وسایل نقلیه در سیلاب ابتدا باید وضعیت پایداری و ناپایداری آن‌ها مشخص شود. برای این منظور مطالعات نظری و آزمایشگاهی متعددی با هدف تعیین آستانه ناپایداری خودروها در سیلاب انجام شده است. یکی از اصلی‌ترین منابع موجود در این زمینه، راهنمای بارش و رواناب استرالیا (AR & R (2011) می‌باشد که در آن هشت نظریه از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۱ ارائه شده است (Shand et al., 2011). استفاده از نتایج مطالعات نظری و تجربی صورت گرفته تاکنون به دلیل نبود داده کافی، وجود پارامترهایی با مقادیر نامشخص در روابط ارائه شده و تفاوت ساختاری موجود بین وسایل نقلیه مختلف محدود بوده است. از طرفی در اکثر مطالعات تجربی انجام شده تمرکز بر روی مدل‌های کوچک مقیاس خودروها بوده و هنوز یک روش کلی برای تعیین آستانه ناپایداری خودروها در سیلاب با مقیاس واقعی ارائه نشده است. ضمن بررسی کامل مطالعات تجربی و تئوری انجام شده (Martinez-Gomez et al. (2018) در دیگر تحقیقات انجام شده بیشتر از دو یا سه مقیاس مدنظر پژوهشگران نبوده است، امکان توسعه یک روش جامع برای خودروها با مقیاس کامل وجود ندارد. همچنین آن‌ها اظهار داشتند آستانه‌های ارائه شده در (AR & R (2011) بهترین مرجع برای تعیین آستانه ناپایداری وسایل نقلیه در سیلاب برای سه دسته خودروهای کوچک، بزرگ و بزرگ و بزرگ 4WD است. در (AR & R (2011) آستانه شنواری خودروها با در نظر گرفتن دو پارامتر مهم عمق و سرعت سیل و حاصل ضرب آن‌ها ارائه شده است (Shand et al., 2011). آخرین نظریه ارائه شده، (AR & R (2011) با شاخص هیدرودینامیکی  $D.V \leq 0.3$  می‌باشد که در پژوهش حاضر از این معیار برای تعیین

اصلاح شده و عمق - خسارت HAZUS-MH به کمک فصل مشترک آن‌ها یعنی عمق، مقادیر خسارت خودروها در زون‌های مختلف در محدوده‌ای از عمق و سرعت تعریف شدند. در نهایت نقشه توزیعی ریسک سیل در محدوده پارکینگ تولید شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تنگ الله اکبر واقع در شهر شیراز از کوه‌های بوم در شمال شرقی آن سرچشمه می‌گیرد و مشرف به دروازه قرآن شیراز است. این حوضه در سمت جنوب غربی به کوه بابا کوهی و در سمت جنوب شرقی به کوه چهل مقام محدود می‌شود. حوضه آبریز تنگ الله اکبر در عرض شمالی  $29^{\circ} 37' 30''$  تا  $29^{\circ} 41' 32''$  و طول شرقی  $33^{\circ} 03''$  تا  $52^{\circ} 37' 02''$  واقع شده است. موقعیت و بخش‌های مختلف این حوضه را می‌توان در شکل ۱ ملاحظه کرد و همان‌طور که مشخص است تمامی آبراهه‌های حوضه آبریز تنگ الله اکبر به مسیل آبزنگی منتهی می‌شوند. هم‌چنین رواناب سمت چپ بزرگراه شیراز- مرودشت از طریق یک کالورت به مسیل آبزنگی در سمت راست این بزرگراه منتقل می‌شود. در نهایت آب جمع شده در مسیل آبزنگی به استخر تجمع آب که پارکینگ وسایل نقلیه در مجاورت آن قرار دارد می‌ریزد.

استخر تجمع آب در انتهای مسیل آبزنگی و در فاصله تقریباً یک کیلومتری از دروازه قرآن قرار دارد. ابعاد این استخر مطابق شکل ۲ است و عمق استخر از  $1/5$  تا ۴ متر در امتداد آن متغیر می‌باشد. در نتیجه حجم استخر حدوداً ۱۵۰۰۰ مترمکعب است که در هنگام وقوع سیل به دلیل وجود ضخامت قابل توجهی از گل‌ولای در کف استخر به واسطه نهشته شدن آن، حجمی که می‌توانست سیلاب را در خود ذخیره کند کمتر از ۱۵۰۰۰ مترمکعب بوده است. در انتهای استخر تجمع آب (ضلع جنوب غربی)، لوله‌ای جهت تخلیه آب تعبیه گردیده است که نهایتاً آب را به رودخانه خشک (شکل ۱) با فاصله‌ای تقریباً برابر با ۳ کیلومتر منتقل می‌کند. رودخانه خشک شیراز در انتهای مسیر خود به دریاچه مهارلو می‌ریزد. قطر لوله انتقال آب در مبدأ حداکثر  $1/5$  متر است. با استفاده از اصل انرژی، حداکثر توان خروج آب از لوله انتقال ۱۲ مترمکعب بر ثانیه محاسبه می‌شود. در واقعه ۵ فروردین ۱۳۹۸ که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت مقطع ورودی این لوله انتقال آب در انتهای استخر در همان لحظات ابتدائی سیلاب به واسطه مواد جامد و شاخ و برگ و آشغال‌های موجود در مسیر آبراهه رودخانه آب زنگی تا حد زیادی مسدود شده بود. بنابراین، امکان خروج آب از استخر به کمک لوله انتقال وجود نداشته است (Beitollahi et al., 2019).

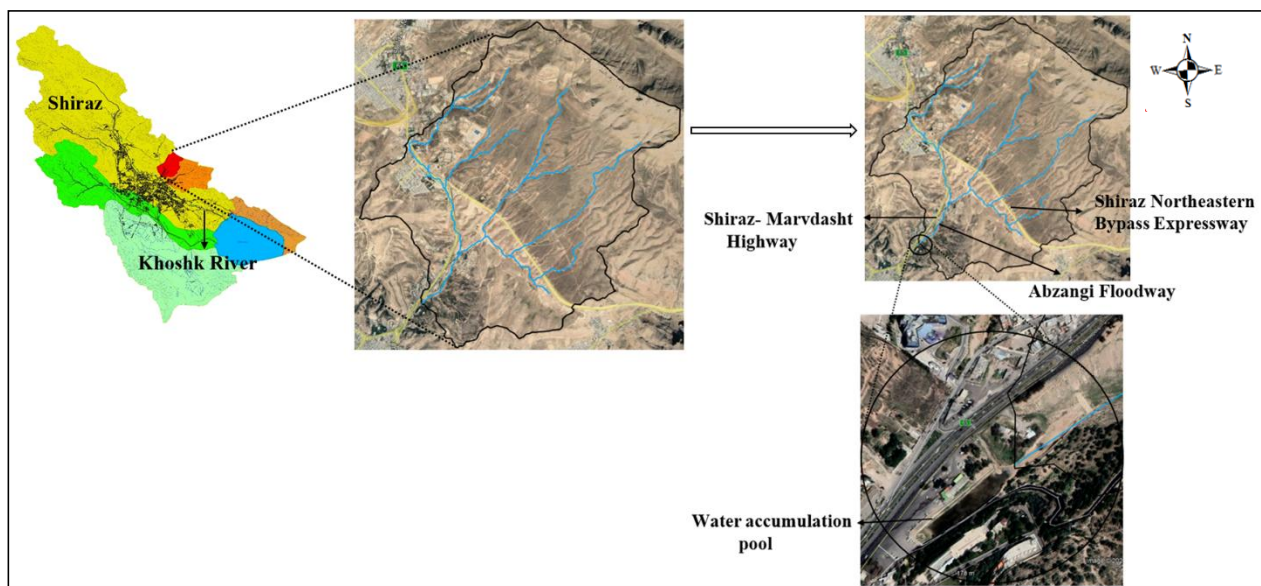


Fig. 1- Location and different parts of the Tang Allah Akbar Basin

شکل ۱- موقعیت و بخش‌های مختلف حوضه آبریز تنگ الله اکبر



Fig. 2- Dimensions of water accumulation pool (Beitollahi et al., 2019)  
 شکل ۲- ابعاد استخر تجمع آب (Beitollahi et al., 2019)

(CHI, 2016). اساس کار این نرم‌افزار SWMM5.0 می‌باشد که قابلیت‌های یادشده در کنار همه توانایی‌های موجود در ArcGIS به آن اضافه شده است.

### ۳-۲- شبیه‌سازی هیدرولوژیکی

هدف از مدل‌سازی هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی هیدروگراف سیل ناشی از بارش ۴ ساعته در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ در محدوده دروازه قرآن شیراز می‌باشد. برای این منظور ابتدا حوضه آبریز تنگ الله‌اکبر به همراه ساختار آن از جمله زیر حوضه‌ها، اتصالات و مجراها با استفاده از DEM ALOS 12.5 m استخراج گردید. سپس داده سری زمانی بارش جزئی (شکل ۳) برای تمامی زیر حوضه‌ها برحسب میلی‌متر در مدل وارد شد.

### ۲-۲- نرم‌افزار PCSWMM<sup>3</sup>

برای انجام شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیل دروازه قرآن شیراز در سال ۱۳۹۸ از نرم‌افزار PCSWMM ارائه‌شده توسط CHI استفاده شد. با استفاده از این مدل می‌توان شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به صورت نیمه توزیعی و شبیه‌سازی هیدرولیکی را به صورت دینامیکی و دوبعدی در رودخانه و مناطق شهری انجام داد. در مدل مزبور برای مدل‌سازی 1D/2D از روش موج پخشیدگی<sup>۴</sup> هم می‌توان استفاده نمود. در این نرم‌افزار می‌توان داده‌های برداری و رستری را فراخوانی و اقدام به ویرایش آن‌ها کرد. به علاوه در این نرم‌افزار ابزاری برای تجزیه و تحلیل و ارائه خطا وجود دارد. این مدل عدم قطعیت در نتایج را آشکار می‌سازد و تحلیل حساسیت را نیز انجام می‌دهد

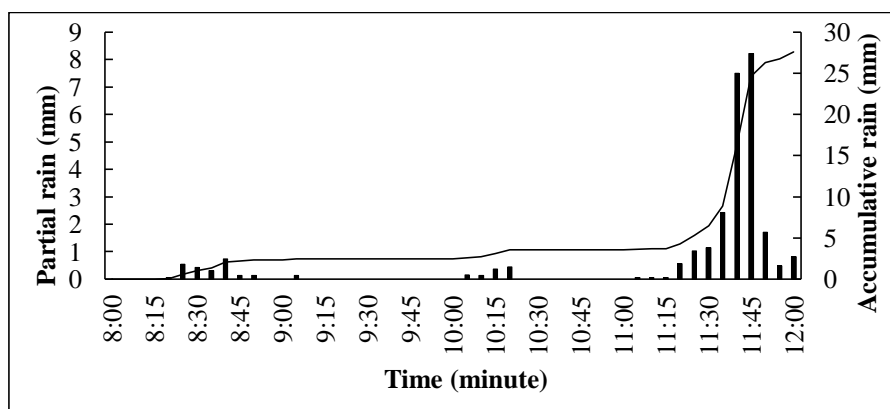


Fig. 3- Cumulative and partial effective storm flood curves on March 25, 2019 at Shiraz Darwazeh-Quran of Iran's 2019 Floods) (Narrative

شکل ۳- منحنی‌های تجمعی و جزئی رگبار مؤثر سیلاب ۵ فروردین ۱۳۹۸ در دروازه قرآن شیراز ( Narrative of Iran's 2019 Floods)

علاوه بر این، مقداری از بارش اتفاق افتاده در سطح حوضه در گودالها و چاله‌ها می‌ریزد و در آنجا نگه‌داشته می‌شود. به محض اینکه سطح آب داخل گودال و چاله‌ها از ارتفاع آن‌ها بیشتر شود، رواناب جاری خواهد شد. در مدل PCSWMM مقدار این رواناب برای سطح نفوذپذیر و نفوذناپذیر با عناوین Perv Runoff و Imperv Runoff با کمک معادله مانینگ و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$q = \frac{WS^{0.5}}{An} (d-d_s)^{5/3} \quad (1)$$

که در آن  $q$  رواناب سطحی در واحد سطح ( $m$ )،  $W$  عرض زیر حوضه ( $m$ )،  $S$  شیب متوسط زیر حوضه ( $m/m$ )،  $A$  مساحت زیر حوضه ( $m^2$ )،  $n$  ضریب مانینگ جریان سطحی ( $s/m^{1/3}$ )،  $d_s$  عمق آب نگه‌داشته شده در گودالها و چاله‌ها ( $m$ ) و  $d$  عمق آب روی سطح زیر حوضه ( $m$ ) است که به‌طور مداوم با حل عددی معادله بیلان آب زیر حوضه به‌روزرسانی می‌شود (CHI, 2016). هم‌چنین مقادیر  $W$ ،  $S$  و  $A$  توسط نرم‌افزار به دست می‌آید. برای تعیین مقادیر  $d_s$  از جدول ۲ استفاده شد.

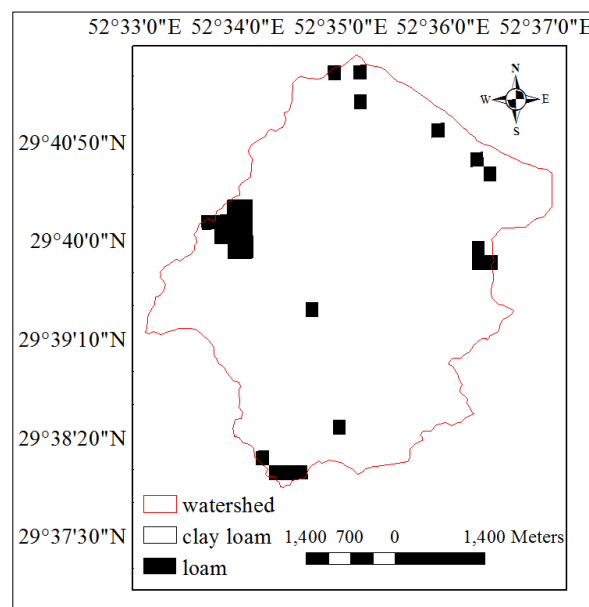
در این شبیه‌سازی برای محاسبه تلفات تمامی زیر حوضه‌ها از روش شماره منحنی استفاده شد. برای تعیین گروه هیدرولوژیکی خاک از نقشه بافت خاک سطحی استان فارس با رزولوشن ۲۵۰ متری برگرفته از داده‌های پروفیل خاک پایگاه اطلاعاتی فائو و مثلث بافت خاک بر پایه طبقه‌بندی وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA) استفاده شد. این نقشه در شکل ۴ نشان داده شده است. از آنجایی که عمده بافت خاک این حوضه لوم رسی است و با توجه به جدول ۱ گروه هیدرولوژیکی خاک  $D$  تعیین شد.

هم‌چنین نقشه کاربری اراضی این حوضه نیز با استفاده از Google Earth و با مدنظر قرار دادن کاربری‌های مختلف موجود در جدول شماره منحنی SCS ساخته شد که در شکل ۵ قابل مشاهده است. درصد سطح نفوذناپذیر هم با تقسیم مساحت آن مناطق بر مساحت کل در هر زیر حوضه به دست آمد.

**Table1- Soil hydrological group classification (Musgrave, 1955; Akan, 1993)**

جدول ۱- طبقه‌بندی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (Musgrave, 1955; Akan, 1993)

Hydrological group	Soil texture	Hydraulic conductivity
		(mm/hr)
A	Sand, loamy sandy, sandy loam	$11.43 \leq$
B	Silt loam, loam	3.81-7.62
C	Sandy clay loam	1.27-3.81
D	Clay loam, silt clay loam, sandy clay, silt clay, clay	0-1.27



**Fig. 4- Surface soil texture map of Tang Allah Akbar Basin**

شکل ۴- نقشه بافت خاک سطحی حوضه آبریز تنگ الله اکبر

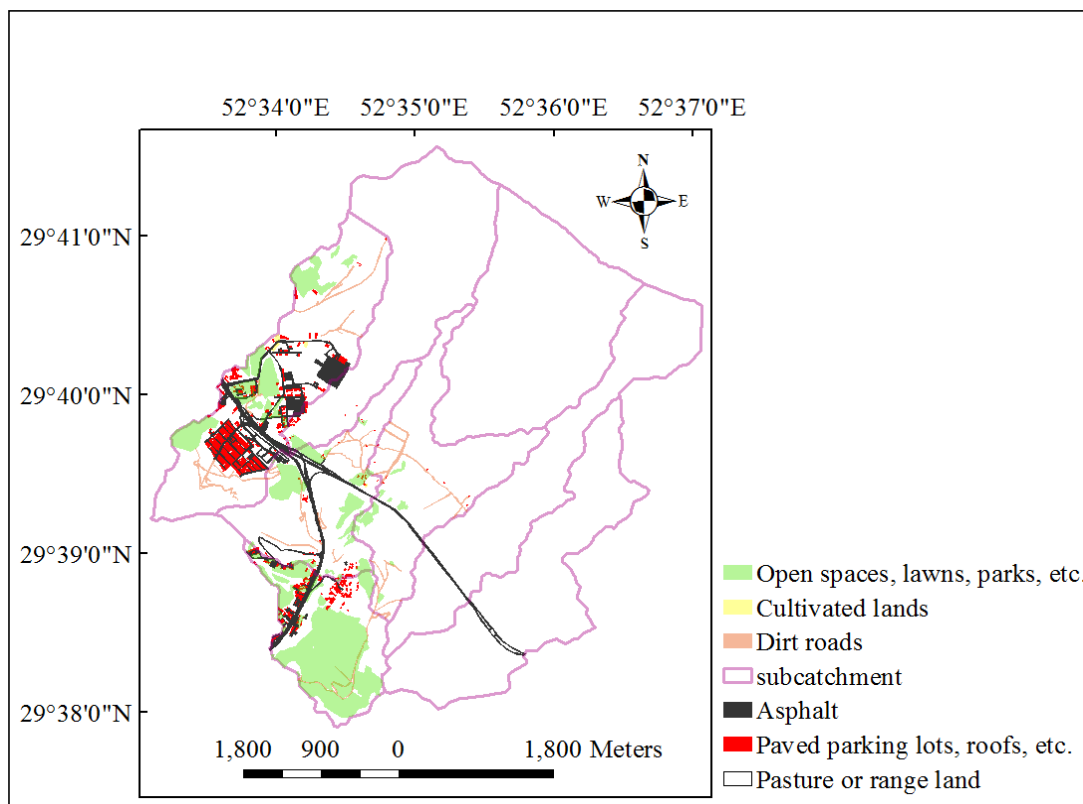


Fig. 5- Land use map of Tang Allah Akbar Basin  
 شکل ۵- نقشه کاربری اراضی حوزه آبریز تنگ الله اکبر

Table 3- Peak discharges presented in 2019 Shiraz Darwazeh-Quran flood reports

جدول ۳- دبی‌های اوج ارائه‌شده در گزارش‌های سیل دروازه قرآن شیراز

Report	Peak discharge (m <sup>3</sup> /s)
Beitollahi et al. (2019)	50.9
Special flood Committee (2019)	44-58
Regional Water Company of Fars Province (2019)	45.5
General Department of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province (2019)	33-51
Etehad Rah Engineering Advisory Company (2019)	38

#### ۲-۴- تحلیل حساسیت و واسنجی

در این تحقیق برای واسنجی بجای روش اتوماتیک که نتوانست به سیلاب مشاهده‌شده نزدیک شود از روش دستی استفاده شد. برای کاهش حجم عملیات در واسنجی دستی، ابتدا تحلیل حساسیت صورت

Table 2- Depression storage values for different surfaces (ASCE, 1992)

جدول ۲- مقادیر ذخیره سطحی برای سطوح مختلف (ASCE, 1992)

Surface	Ds (mm)
Impervious surfaces	1.25-2.5
Lawns	2.5-5
Pasture	5
Forest litter	8

برای روندیابی در این شبیه‌سازی از روش موج دینامیکی استفاده شد که عملاً معادلات یک‌بعدی سنت-ونان<sup>۵</sup> را حل می‌کند و استفاده از آن دقیق‌ترین نتایج را به همراه دارد. این معادلات شامل پیوستگی و مومنتوم برای مجاری و پیوستگی حجم در گره‌ها می‌شود. خروجی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی هیدروگراف سیل اتفاق افتاده در حوزه آبریز تنگ الله اکبر در ۵ فروردین سال ۱۳۹۸ بر اساس دبی‌های پیک ارائه‌شده در گزارش‌های موجود به شرح جدول ۳ می‌باشد.



Fig. 6- Location of water accumulation pool, parking lot, and buildings

شکل ۶- موقعیت استخر تجمع آب، پارکینگ و ساختمان‌ها

بارش به وقوع پیوسته در بالادست بر روی پارکینگ نیز باریده است، بنابراین با انجام شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مقدار رواناب ناشی از آن بارش نیز به دست آمد تا در شبیه‌سازی هیدرولیکی سیل در نظر گرفته شود. مراحل انجام این شبیه‌سازی مشابه توضیحاتی است که در بخش قبل داده شد و مقادیر پارامترهای در نظر گرفته شده نیز در جدول ۴ آورده شده است. از آنجایی که هیچ‌گونه گزارشی برای این بخش موجود نیست، امکان واسنجی وجود ندارد و فقط سعی شد تا پارامترها در محدوده معقولی باشند و خطای مدل هم قابل قبول باشد.

برای انجام شبیه‌سازی دوبعدی هیدرولیکی در پارکینگ، ابتدا مجراها و اتصالات در آن محدوده با تولید خودکار گره‌های دوبعدی و شبکه‌بندی شش‌ضلعی پارکینگ تولید شد. مرزهای ورود و خروج سیلاب در شکل ۷ نشان داده شده است.

گرفت و برای این کار از ابزار SRTC<sup>۶</sup> در مدل PCSWMM استفاده شد. عملکرد این ابزار به‌گونه‌ای است که مقادیر دبی پیک سیلاب را به ازای ۱۰۰+ تا ۱۰۰- درصد مقدار اولیه تمامی پارامترهای ورودی مدل به‌طور هم‌زمان محاسبه می‌کند. این ابزار نتایج را بر حسب مقدار دبی اوج سیلاب (m<sup>3</sup>/s) در مقابل محدوده عدم قطعیت (درصد) و بصورت متوسط حساسیت نرمال شده<sup>۷</sup> برای هر پارامتر در اختیار می‌گذارد. برای انجام واسنجی و با توجه به در دست نبودن هیدروگراف ثبت‌شده، دو عامل دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج موردتوجه قرار گرفتند. در این راستا آن قدر پارامترهایی که مدل به آن‌ها حساس بود، تغییر داده شد تا دبی پیک به دست‌آمده از شبیه‌سازی بین ۴۵ تا ۵۰ مترمکعب بر ثانیه (با توجه به جدول ۳)، زمان پیک نیز با توجه به گزارش‌های رادیو و تلویزیون و داده‌های شنیداری از شاهدان کمتر از ۰/۵ ساعت و خطای مدل نیز در حد قابل قبول (کمتر از ۵ درصد) باشد.

#### ۲-۵- خطای پیوستگی

یکی از مهم‌ترین پارامترهای کنترل صحت عملکرد کلی مدل، حفظ بیلان جرم است. برای این کار در مدل خطای پیوستگی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\text{continuity error (\%)} = 100 \left( \frac{1 - \text{outflow}_{\text{total}}}{\text{inflow}_{\text{total}}} \right) \quad (1)$$

که در آن  $\text{inflow}_{\text{total}}$  برابر با جمع بارش کل، ذخیره اولیه، پوشش اولیه برف و مقدار جریان آبی است که به حوضه وارد می‌شود. در مقابل  $\text{outflow}_{\text{total}}$  حاصل جمع تلفات تبخیر و تعرق، تلفات نفوذ، رواناب سطحی، ذخیره نهایی در حوضه، ذوب برف و پوشش نهایی برف می‌باشد (CHI, 2016). به‌طورمعمول خطای پیوستگی کمتر از ۵ درصد قابل قبول خواهد بود.

#### ۲-۶- شبیه‌سازی هیدرولیکی

هدف از انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی دستیابی به مقادیر عمق و سرعت سیل در هر سلول در محدوده مطالعاتی و در اینجا در پارکینگ مجاور استخر تجمع آب واقع در بالادست دروازه قرآن شیراز است. در شکل ۶ موقعیت استخر تجمع آب، پارکینگ و ساختمان‌های موجود در آن نشان داده شده است.

Table 4- Determined parameters and physical characteristics of the parking lot

جدول ۴- پارامترهای تعیین‌شده و خصوصیات فیزیکی پارکینگ

Area (m <sup>2</sup> )	Perimeter (m)	Slope (%)	Curve number	Impervious area (%)	N Perv	N imperv	Destore perv (mm)	Destore Imperv (mm)
8757.5	510.72	0.5	98	95	0.2	0.011	2.5	1.25

تحقیقات منابع آب ایران، سال هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

Volume 17, No. 3, Fall 2021 (IR-WRR)

وسایل نقلیه و استفاده از منحنی خسارت با توجه به نوع وسیله نقلیه می‌باشد. هدف از بومی‌سازی وسایل نقلیه پیدا کردن تعداد آن‌ها با توجه به سال تولید، نوع وسیله نقلیه و زمان از روز است. در این مدل وسایل نقلیه در سه نوع اتومبیل سواری، کامیون سبک و کامیون سنگین دسته‌بندی شده‌اند. توزیع سن وسایل نقلیه و نرخ کامیون و اتومبیل‌ها توسط انجمن ملی فروشندگان خودرو (NADA<sup>8</sup>) انجام شده است. هزینه برای سه نوع وسایل نقلیه معادل \$22618/47 (اتومبیل سواری)، \$20969/21 (کامیون‌های سبک) و \$76087/67 (کامیون‌های سنگین) پیشنهاد شده است. ارزش وسیله نقلیه دست‌دوم ۵۰٪ قیمت ماشین نو در نظر گرفته می‌شود. در روش HAZUS-MH منحنی‌های خسارت سیلاب برای وسایل نقلیه با در نظر گرفتن افزایش تدریجی عمق آب توسعه داده شده است و زمانی خودرو ۱۰۰ درصد خسارت می‌بیند که محفظه موتور به‌طور کامل زیر آب رفته باشد. میزان خسارت برای هر نوع وسیله نقلیه (ماشین، کامیون سبک، کامیون سنگین) بسته به اینکه سیل در زیر کف ماشین، بین کف ماشین و داشبورد یا بالای داشبورد باشد، مطابق جدول ۵ تعیین می‌شود. مقادیر خسارت در این مدل بر اساس نظر کارشناسان و مدنظر قرار دادن قسمت‌های مهم وسایل نقلیه نو یا اصطلاحاً صفر است (FEMA, 2015). در این تحقیق صرفاً منحنی عمق- خسارت خودروهای سواری مورد استفاده قرار می‌گیرد که در شکل ۸ نشان داده شده است.

## ۲-۸- راهنمای بارش و رواناب استرالیا

این راهنما شامل هشت نظریه از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۱ با هدف تعیین آستانه شناوری وسایل نقلیه در سیلاب می‌باشد که در شکل ۹ قابل مشاهده است. در این میان (AR & R (2011) با شاخص هیدرودینامیکی  $D.V \leq 0.3$  (برای خودروهای کوچک) جدیدترین نظریه‌ای است که در این راهنما منتشر شده است. در این راهنما خودروهای سواری به سه دسته کوچک، بزرگ و بزرگ 4WD تقسیم می‌شوند (Shand et al., 2011).

هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شده در حوضه آبریز تنگ الله‌اکبر از مرز قرمز رنگ وارد پارکینگ می‌شود و از مرز آبی رنگ نیز از پارکینگ خارج می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به اینکه داده مشاهده‌ای از این سیل ثبت نشده و نقشه‌برداری نیز صورت نگرفته است، این مرزها با سعی و خطا تدقیق شدند تا بهترین نتیجه ممکن از این شبیه‌سازی به دست آید.



Fig. 7- Flood entry and exit boundaries for the parking lot in two-dimensional hydraulic simulation  
شکل ۷- مرز ورود و خروج سیلاب از پارکینگ در شبیه‌سازی دوبعدی هیدرولیکی

## ۲-۷- مدل خسارت HAZUS-MH

ارزیابی خسارات وسایل نقلیه در سیلاب با کمک مدل HAZUS-MH صرفاً برحسب عمق سیلاب بوده و شامل چهار مرحله تهیه فهرست وسایل نقلیه در منطقه مورد مطالعه، بومی‌سازی وسایل نقلیه با توجه به هر زمانی از روز در موقعیت‌های مختلف، برآورد ارزش پولی

Table 5- Vehicle depth- damage relationship based on HAZUS-MH Model (FEMA, 2015)  
جدول ۵- روابط عمق- خسارت وسایل نقلیه بر اساس مدل HAZUS-MH (FEMA, 2015)

Flood level (m)	Car	Light truck	Heavy truck	% of damage
Below carpet	<0.46	<0.73	<1.5	15%
Between carpet and dashboard	0.46-0.73	0.73-1.13	1.5-2.3	60%
Above dashboard	>0.73	>1.13	>2.3	100%



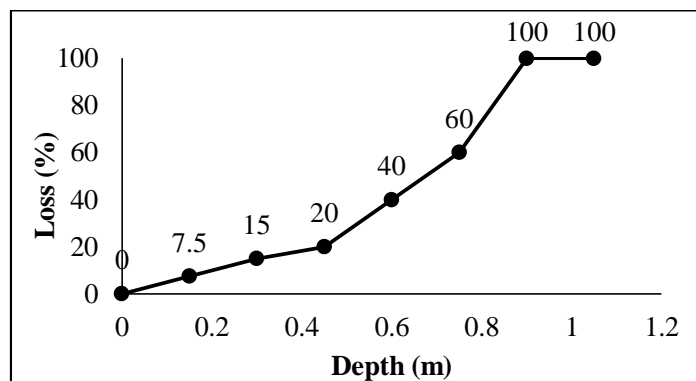


Fig. 8- HAZUS-MH Model depth-damage curve for passenger vehicles (FEMA, 2015)  
 شکل ۸- منحنی عمق - خسارت وسایل نقلیه سواری مدل (FEMA, 2015)

انجام محاسبات در این تحقیق در نظر گرفته شد. مشخصات پراید ۱۳۱ در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۰، طول و عرض خودرو پراید ۱۳۱ به ترتیب ۳/۹۳۵ و ۱/۶۰۵ متر است که مساحتی برابر با ۶/۳۲ مترمربع دارد. با بررسی جداول قیمت محصولات سایپا مشخص شد قیمت آن در بازه زمانی ۲ تا ۱۷ فرودین ۱۳۹۸ معادل ۴۰۵۰۰۰۰۰ تومان بوده است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیکی

برای انجام شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، ابتدا حوضه آبریز تنگ الله‌اکبر به همراه زیر حوضه‌ها و ساختار آن با استفاده از مدل PCSWMM و نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) ALOS ۱۲/۵ استخراج شد. در شکل ۱۱ هشت زیر حوضه استخراج شده و مجراها و اتصالات تولید شده نشان داده شده است. همچنین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز تنگ الله‌اکبر در جدول ۷ و اطلاعات مربوط به زیر حوضه‌ها از جمله مساحت، محیط، شیب و درصد سطح نفوذناپذیر در جدول ۸ آورده شده است.

با توجه به تعداد زیاد پارامترها و عدم موفقیت واسنجی اتوماتیک لازم است که با تغییر مهم‌ترین پارامترها، مدل هیدرولوژیکی به صورت دستی واسنجی گردد. برای تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد مدل، تحلیل حساسیت با کمک ابزار SRTC در مدل PCSWMM انجام شد و همان‌طور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود، مدل بیش از همه به مقادیر شماره منحنی و درصد سطوح نفوذناپذیر حساس است. جدول ۸ مقادیر واسنجی شده پارامترهای مورد استفاده در مدل را به تفکیک زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد.

مشخصات مورد استفاده برای تقسیم‌بندی خودروها در جدول ۶ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌گردد، بر اساس شاخص هیدرودینامیکی ارائه شده، اگر حاصل ضرب عمق در سرعت کوچک‌تر یا مساوی ۰/۳ باشد خودرو پایدار خواهد بود و اگر بزرگ‌تر از این مقدار باشد خودرو ناپایدار است. به عبارت دیگر، اگر شرایط جریان برای هر نقطه در میدان حل چنان باشد که در زیر سطح منحنی مرتبط با خودروهای کوچک قرار گیرد، خودرو در آن نقطه پایدار خواهد بود. این شرط برای نظریه‌های دیگر نیز برقرار است (Martínez-Gomariz et al., 2018).

#### ۲-۹- تعیین وضعیت پایداری و ناپایداری خودروهای سواری

در این تحقیق فرض شد که خودروهای ناپایدار دارای خسارت صد درصد و خودروهای پایدار برحسب عمق و سرعت تا حدودی آسیب می‌بیند که مقدار آن به کمک مدل HAZUS-MH قابل محاسبه می‌باشد. لذا برای تعیین مقادیر خسارت خودروها در سیلاب ابتدا باید وضعیت پایداری و ناپایداری آن‌ها معین گردد. برای همین منظور از AR & R (2011) و آستانه ارائه شده (جدول ۶) برای خودروهای سواری معمولی استفاده شد. مقادیر عمق و سرعت در هر سلول دوبعدی نیز با انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی در محیط PCSWMM به دست آمده و سپس با داشتن شرط  $D.V \geq 0.3$  سلول‌های دوبعدی پایدار و ناپایدار در محدوده پارکینگ مشخص می‌شوند.

#### ۲-۱۰- ابعاد و قیمت پراید ۱۳۱ به عنوان خودرو شاخص

روش ارائه شده در این مطالعه برای انواع خودروهای سواری قابل استفاده است ولی برای تعیین ارزش اقتصادی خسارت سیلاب، پراید ۱۳۱ تولید شده در شرکت سایپا به عنوان خودرو شاخص برای

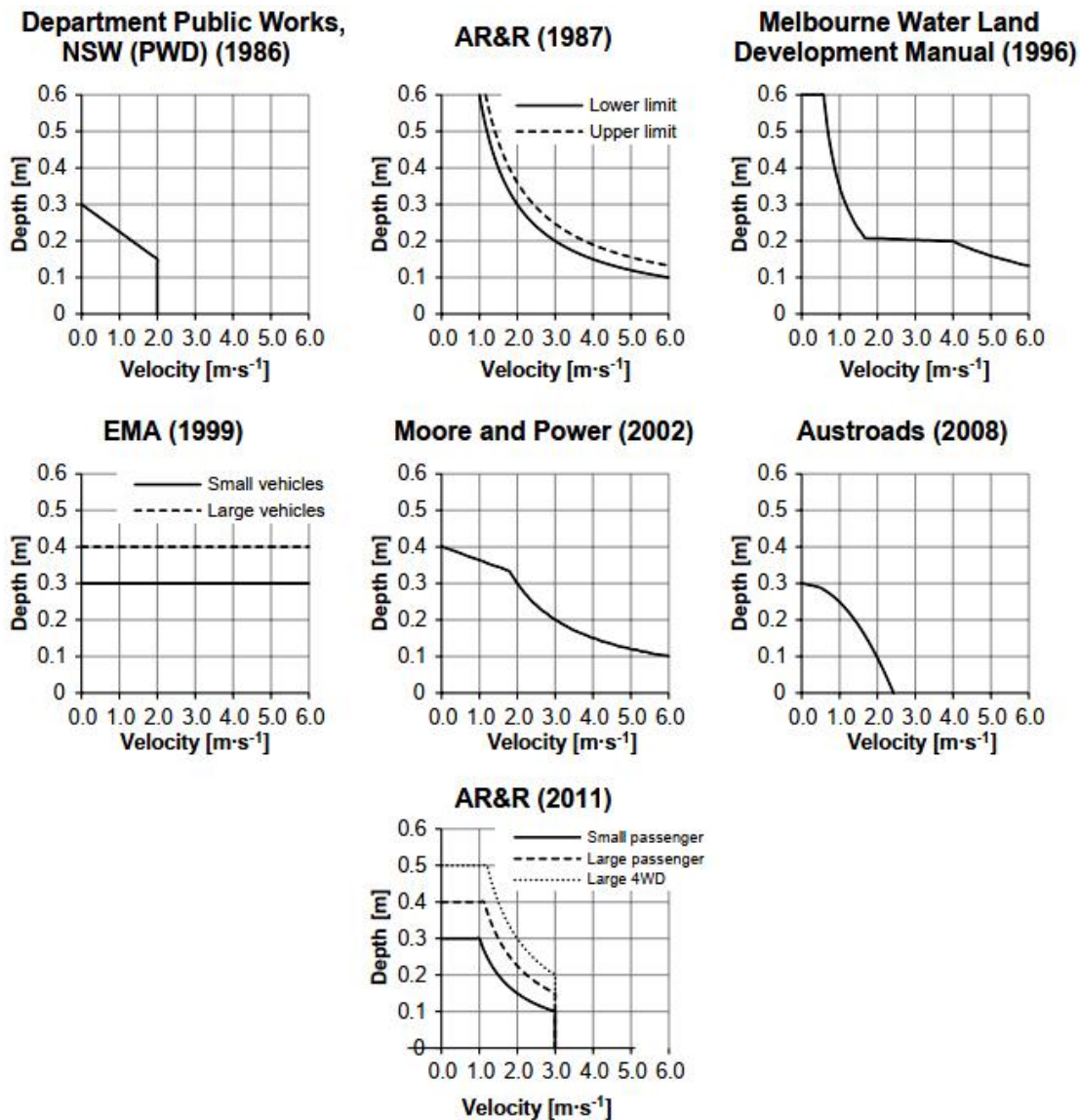


Fig. 9- Eight theories in the Australian Rain and Runoff Guides and Recommendations (Martínez-Gomariz et al., 2018)

شکل ۹- نمایش هشت نظریه موجود در راهنماها و توصیه‌های بارش و رواناب استرالیا (Martínez-Gomariz et al., 2018)

Table 6- Vehicle instability threshold in flood (AR & R, 2011)

جدول ۶- آستانه ناپایداری وسایل نقلیه در سیلاب (AR & R, 2011)

Class of vehicle	Length (m)	Kerb weight (kg)	Ground clearance (m)	Limiting still water depth (m)	Limiting velocity	Equation of stability ( $m^2/s$ )
Small passenger	<4.3	<1250	<0.12	0.3	3	$D.V \leq 0.3$
Large passenger	>4.3	>1250	>0.12	0.4	3	$D.V \leq 0.45$
Large 4WD	>4.5	>2000	>0.22	0.5	3	$D.V \leq 0.6$



Fig. 10- Dimensions of Pride 131 Car

شکل ۱۰- ابعاد خودرو پراید ۱۳۱

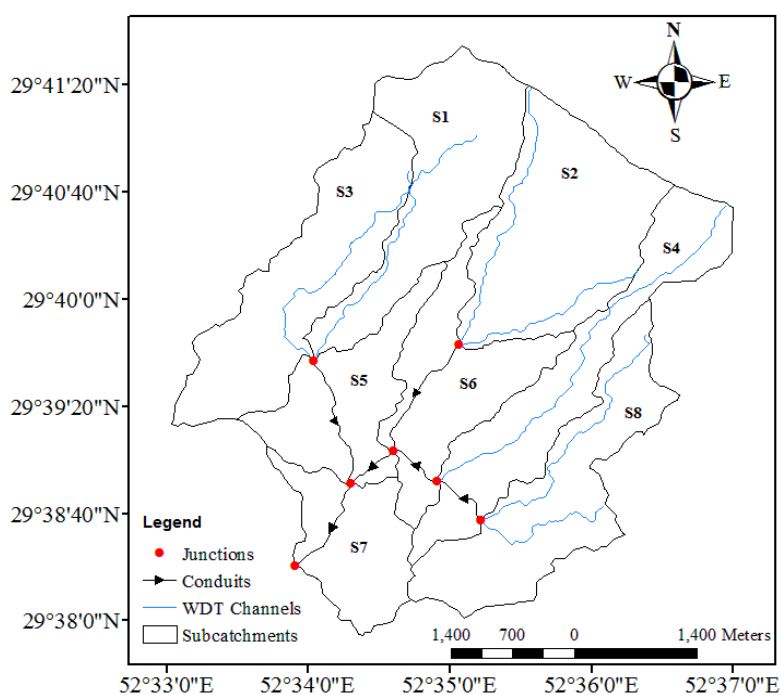


Fig. 11- Subcatchments and physical structure of Tang Allah Akbar Basin

شکل ۱۱- زیر حوضه‌ها و ساختار فیزیکی حوضه آبریز تنگ الله اکبر

Table 7- Physiographic characteristics of Tang Allah Akbar catchment

جدول ۷- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز تنگ الله اکبر

Area (km <sup>2</sup> )	Perimeter (km)	Length of the longest stream (m)	The largest stream order	Average slope (%)
24.56	23.69	7571.2	3	22.77

دبی اوج در ساعت ۱۱:۵۰ با مقدار ۴۸/۹۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. سیل اتفاق افتاده با توجه به کوتاه بودن  $t_p$  از نوع سیلاب‌های ناگهانی است که می‌تواند با غافلگیر کردن مردم خسارات زیادی بر جای بگذارد.

مقادیر نفوذ کل، رواناب‌ها، دبی پیک و ضریب رواناب محاسبه شده توسط PCSWMM برای هر زیر حوضه در جدول ۹ آورده شده است. نتیجه شبیه‌سازی هیدروگراف سیل دروازه قرآن شیراز در سال ۱۳۹۸ با استفاده از مدل PCSWMM در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

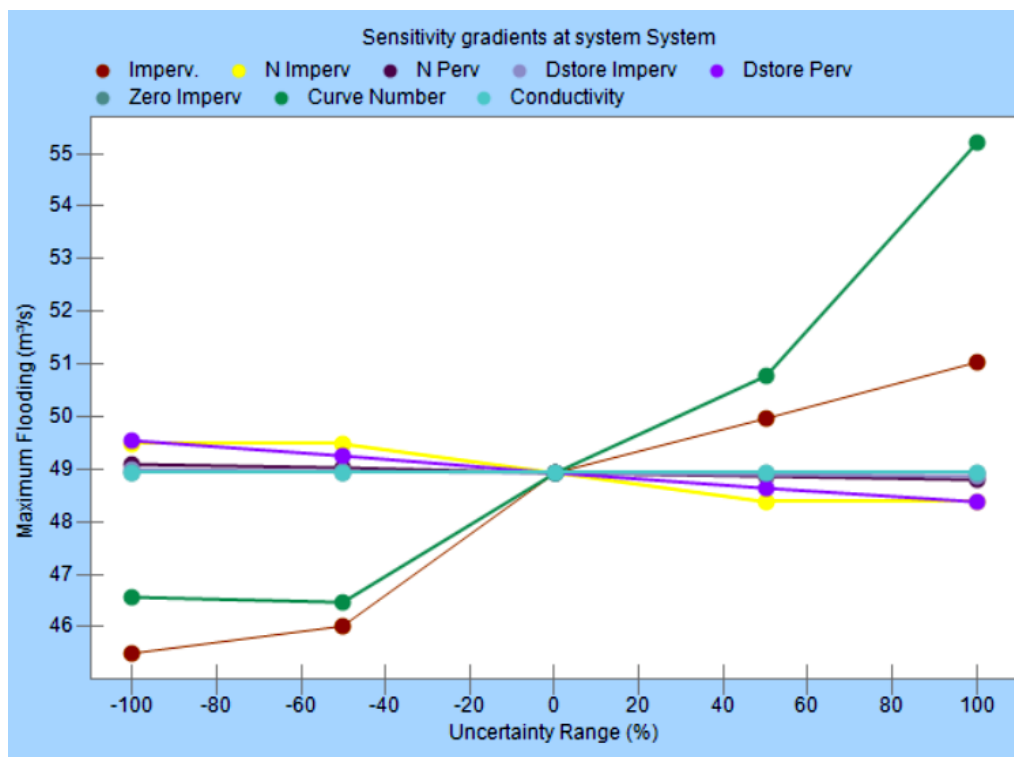
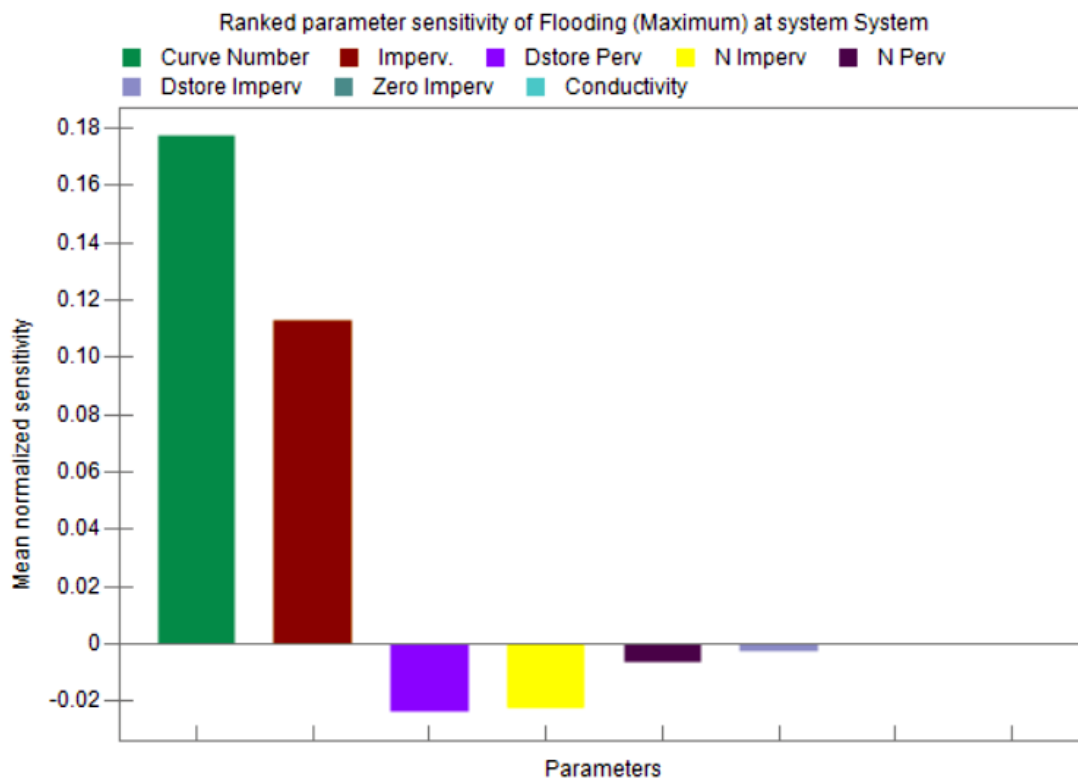


Fig. 12- Sensitivity analysis performed by PCSWMM  
 شکل ۱۲- تحلیل حساسیت انجام شده توسط PCSWMM

**Table 8- Physiographic characteristics and calibrated parameters of Tang Allah Akbar Basin subcatchments**

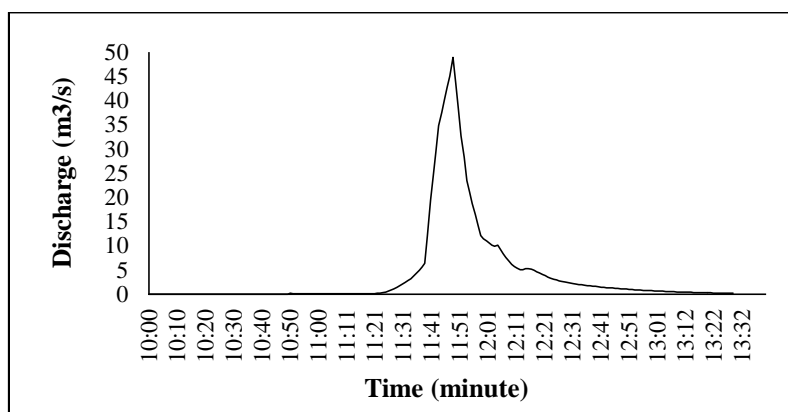
جدول ۸- خصوصیات فیزیوگرافی و پارامترهای واسنجی شده زیر حوضه‌های حوضه آبریز تنگ الله اکبر

Subcatchment number	Area (km <sup>2</sup> )	Perimeter (km)	Slope (%)	Impervious area (%)	N imperv	N perv	Dstore perv (mm)	Dstore Imperv (mm)	CN
1	3.42	10.94	22.98	9.73	0.011	0.251	4.99	0.599	87.03
2	4.13	9.17	36.46	0.7	0.011	0.25	5	0	86
3	3.68	11.1	20.11	24.26	0.011	0.233	4.98	2.08	87.97
4	3.22	13.35	25.62	1.22	0.011	0.25	5	0.502	87.06
5	2.21	8.9	19.37	9.64	0.011	0.27	5.22	0.921	86.62
6	2.62	11.6	13.29	5.58	0.011	0.25	5.02	0.959	86.97
7	1.91	7.14	24.39	10.71	0.011	0.21	5.16	1.489	82.15
8	3.37	12.13	15.39	1.32	0.011	0.25	5	0.5	87.07

**Table 9- Total infiltration, runoff, peak discharge, and runoff coefficient values calculated for each subcatchment by PCSWMM**

جدول ۹- مقادیر نفوذ کل، رواناب‌ها، دبی پیک و ضریب رواناب محاسبه شده برای هر زیر حوضه توسط PCSWMM

Subcatchment number	Total precipitation (mm)	Total infiltration (mm)	Imperv runoff (mm)	Perv runoff (mm)	Total runoff (mm)	Peak discharge (m <sup>3</sup> /s)	Runoff coefficient
1	25.14	18.2	2.43	0.19	2.62	8.97	0.104
2	25.14	20.9	0.18	0.19	0.37	0.95	0.015
3	25.14	14.62	5.73	0.26	5.98	20.76	0.238
4	25.14	19.89	0.3	0.23	0.53	1.21	0.021
5	25.14	18.54	2.38	0.47	2.85	6.06	0.114
6	25.14	19.09	1.38	0.38	1.76	4.21	0.07
7	25.14	21.31	2.57	0.19	2.77	5.69	0.11
8	25.14	19.86	0.33	0.25	0.58	1.37	0.023



**Fig. 13- Simulated flood hydrograph in Tang Allah Akbar Basin**

شکل ۱۳- هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شده در حوضه آبریز تنگ الله اکبر

شبیه‌سازی با خطای بسیار کمی انجام شده است. با توجه به آنکه بارش ۴ ساعته ۵ فروردین ۹۸ علاوه بر حوضه آبریز اصلی بر روی پارکینگ نیز باریده بود، لازم است رواناب ناشی از آن نیز مضاف بر مقداری که از حوضه بالادست بدان می‌رسد در نظر گرفته شود.

هم‌چنین مقادیر خطای پیوستگی محاسبه شده برای رواناب و روندیابی توسط PCSWMM در جدول ۱۰ آورده شده است. با توجه به اینکه مقدار خطای پیوستگی قابل قبول کمتر از ۵ درصد می‌باشد لذا مقدار خطای مدل که برای رواناب برابر با ۰/۱۲ - درصد و برای روندیابی ۰/۰۳۵ درصد بدست آمده قابل قبول قلمداد شده و نشان می‌دهد

**Table 10- Hydrological simulation continuity error values in Tang Allah Akbar Basin calculated by PCSWMM**

جدول ۱۰- مقادیر خطای پیوستگی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در حوضه آبریز تنگ الله اکبر محاسبه شده توسط PCSWMM

		Volume (ha-m)	Depth (m)
<b>Runoff quantity continuity</b>	Total precipitation	61.75	23.139
	Evaporation loss	0	0
	Infiltration loss	46.51	18.935
	Surface runoff	5.235	2.131
	Final storage	10.078	4.103
	Continuity error (%)	-0.119	
		Volume (ha-m)	Volume (106 ltr)
<b>Flow routing continuity</b>	Wet weather inflow	5.233	52.335
	Flooding loss	5.177	51.768
	Final stored volume	0.055	0.549
	Continuity error (%)	0.035	

وقوع سیلاب در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است مقدار عمق از ۰ تا ۱/۱۸ متر و مقدار سرعت از ۰ تا ۳/۲۷ متر بر ثانیه در میدان حل متغیر می‌باشد. با استفاده از این مقادیر می‌توان مناطق پایدار و ناپایدار را تعیین و میزان خسارات را محاسبه نمود.

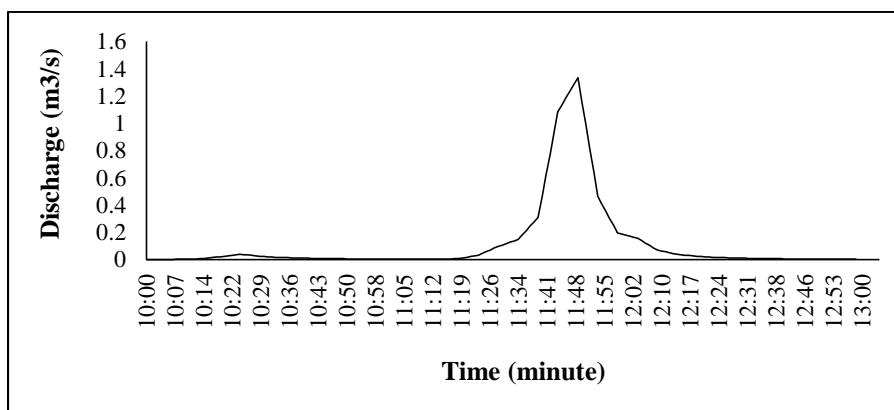
### ۳-۳- نقشه پایداری و ناپایداری خودروها در پارکینگ بر اساس (AR & R (2011)

شاخص هیدرودینامیک پایداری، برای تمام نقاطی که در مرز پایداری و ناپایداری خودرو قرار می‌گیرند برابر  $0.3 \text{ m}^2/\text{s}$  می‌باشند. لذا بر اساس پیشنهاد راهنمای (AR & R (2011) (Shand et al., 2011) خودروهایی که در سلول‌هایی با مشخصه هیدرودینامیک  $D.V \leq 0.3$  قرار گیرند و به عبارت بهتر نقاطی که زیر سطح منحنی صورتی‌رنگ در شکل ۱۶ قرار گیرند پایدار هستند.

مقادیر نفوذ کل، دبی پیک و رواناب‌های ناشی از بارش مستقیم بر پارکینگ توسط PCSWMM محاسبه شده و هیدروگراف حاصل در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، دبی پیک برابر با ۱/۳۴ مترمکعب بر ثانیه و در اینجا نیز هم‌زمان با سیل ورودی به استخر، در ساعت ۱۱:۵۰ رخ داده است. همچنین مقدار خطای پیوستگی این شبیه‌سازی نیز برابر با ۱/۷- درصد برآورد شد.

### ۳-۲- نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی

برای دستیابی به مشخصه‌های هیدرولیکی موردنیاز برای تعیین خسارت وسایل نقلیه در پارکینگ مجاور استخر تجمع آب، شبیه‌سازی هیدرولیکی با داشتن مقادیر مرزی برای ورود به مدل هیدرودینامیکی دوبعدی و با استفاده از PCSWMM 2D انجام شد و خروجی موردنیاز برای تولید نقشه توزیعی ریسک یعنی مقادیر سرعت و عمق سیل در سلول‌ها به دست آمد. نقشه عمق و سرعت حداکثر در هر سلول در اثر



**Fig. 14- Simulated flood hydrograph in parking lot**

شکل ۱۴- هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شده در پارکینگ

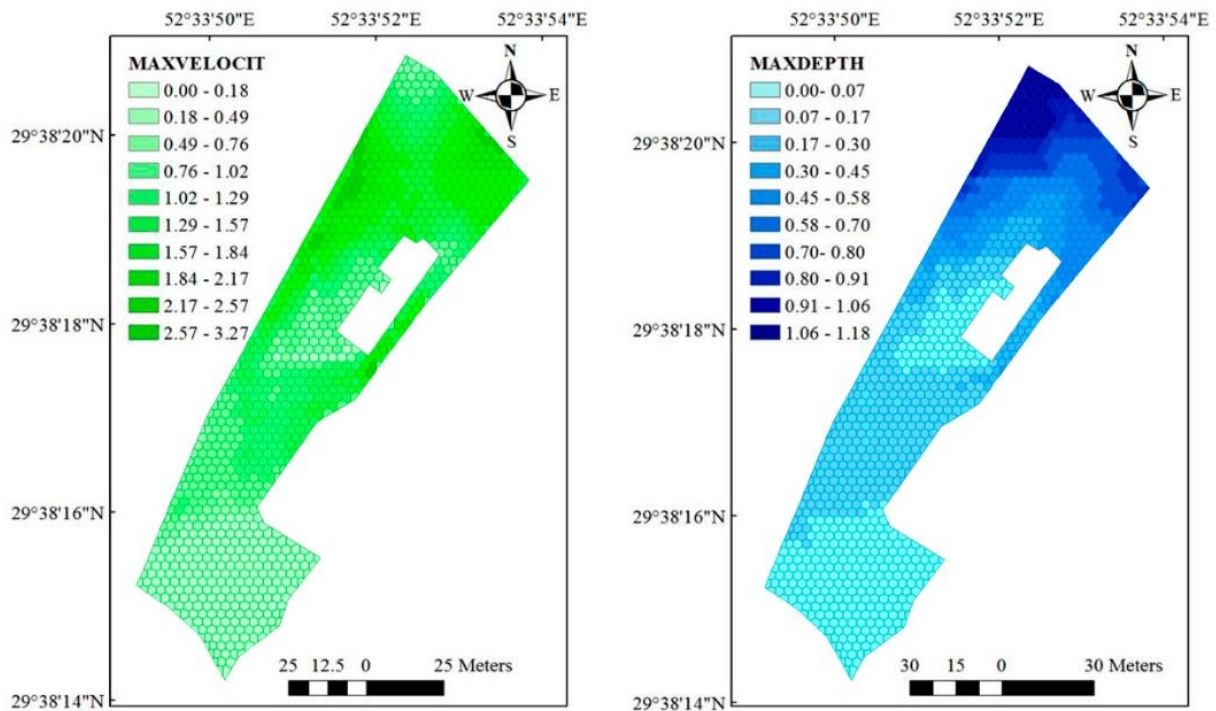


Fig. 15- Distribution map for flood maximum depth and velocity in parking lot

شکل ۱۵- نقشه توزیعی عمق و سرعت حداکثر سیل در پارکینگ

مشخص شدند که در شکل ۱۷ نشان داده شده است. در نهایت ۶۰۱ سلول پایدار و ۴۴۹ سلول ناپایدار شناخته شد.

### ۳-۴- محاسبه خسارت خودروهای سواری

همان طور که گفته شد و بر اساس آنچه تاکنون مرسوم بوده است، برای ارزیابی میزان خسارت وسایل نقلیه در سیلاب از منحنی عمق-خسارت استفاده می‌شود. این در حالی است که سیل دارای دو متغیر مهم عمق و سرعت است و صرفاً در نظر گرفتن عمق آب نمی‌تواند ارزیابی مناسبی را از میزان خسارت به دست دهد.

بر این اساس در تحقیق حاضر تلاشی صورت گرفت تا میان خروجی مدل هیدرودینامیک با استفاده از امتیاز در دست داشتن هر دو پارامتر مهم سرعت و عمق و منحنی‌های عمق-خسارت موجود ارتباطی برقرار شود. همان طور که در بخش قبل بیان شد منحنی AR&R (2011) تا عمق یک متر بسط داده شد و با نمودار مدل HAZUS-MH که میزان خسارت را تا عمق یک متر به دست می‌دهد به واسطه فصل مشترک خود یعنی عمق تلفیق و مرتبط شدند.

مشکلی که در (AR & R (2011) وجود دارد نادیده گرفتن وضعیت پایداری و ناپایداری خودروها و احتمال بروز خسارت در اعماق بزرگتر از ۳۰ سانتی‌متر با رعایت همان شرط  $D.V \leq 0.3$  است. این در حالی است که در منحنی خسارت (HAZUS-MH (2015 تا عمق ۱ متر نیز میزان خسارت وسیله نقلیه در معرض سیل و آب‌گرفتگی ناشی از آن قابل محاسبه است. براساس این مدل برای اعماق بالاتر از ۱ متر خسارت وارده صد درصد می‌باشد. برای اینکه بتوان از هر دو معیار مورد استفاده در دو مدل بهره‌برداری کرد و نتایجی قابل قبول تر به دست آورد، منحنی AR & R با حفظ و رعایت همان شرط شاخص هیدرودینامیک بحرانی برای پایداری و عدم پایداری وسیله نقلیه تا ارتفاع یک متر توسعه داده شد. برای توسعه منحنی یادشده برونمایی انجام شد که منجر به تولید منحنی سبزنگ در شکل ۱۶ گردید. بر این اساس تمامی نقاطی که در سطح زیر منحنی‌های صورتی و سبزنگ یعنی منحنی توسعه یافته در این پژوهش قرار گیرند پایدار و بقیه ناپایدار هستند.

پس از تعیین معیار یادشده با اجرای مدل هیدرودینامیک و دوبعدی PCSWMM سلول‌های پایدار و ناپایدار در محدوده پارکینگ

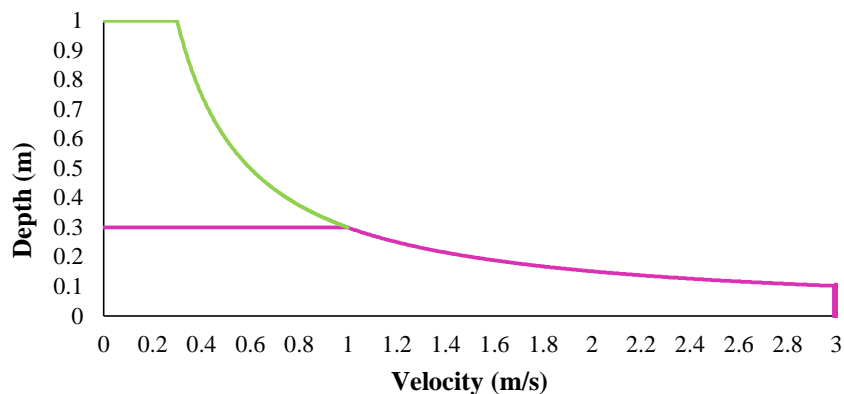


Fig. 16- The way of determining stable and unstable cells based on the instability threshold presented in AR&R (2011)

شکل ۱۶- نحوه تعیین سلول‌های پایدار و ناپایدار بر اساس آستانه ناپایداری ارائه شده در AR & R (2011)

منحنی (AR & R (2011) توسعه یافته و HAZUS-MH به دست آمده و در شکل ۱۸ ارائه شده است.

یکی از اهداف این پژوهش تولید نقشه توزیعی ریسک سیل (میزان خسارت) برای استفاده در مدیریت بحران و همچنین بیمه حوادث سیلاب برای خودروها است. برای تولید این نقشه معیارهای بکار گرفته شده در تعریف زون‌های مورد استفاده در توسعه مدل خسارت وسایل نقلیه، به زبان SQL و در محیط PCSWMM نوشته شد. شروط مورد استفاده برای تولید نقشه ریسک در جدول ۱۱ آورده شده است. بدین ترتیب هر زون در نمودار (AR & R (2011) بین دو عمق و دو سرعت قرار می‌گیرد که مقادیر خسارت متناظر با آن از نمودار HAZUS-MH خوانده می‌شود.

### ۳-۵- نقشه ریسک سیل در محدوده پارکینگ

نقشه ریسک سیل مقدار خسارت وارده به خودروهای سواری را به صورت توزیعی در محدوده پارکینگ نشان می‌دهد. هر سلول در میدان جریان در یکی از زون‌های خسارت جدول ۱۱ قرار می‌گیرد. در این حالت می‌توان از روی منحنی خسارت، درصد خسارت هر وسیله‌ای که در سلول مورد نظر قرار داشته باشد را به دست آورد. شکل ۱۹ نقشه خسارت توزیعی (ریسک) پارکینگ مجاور استخر را برحسب درصد و جدول ۱۲ مساحت و تعداد سلول‌های هر زون از زون‌های ۱۱ گانه تعریف شده برای خسارت آورده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است مقدار خسارت ۱۰٪ نشان داده شده بارنگ قرمز در شکل ۱۹ مربوط به سلول‌هایی است که بر اساس هیدرودینامیک خودروها در سیلاب در ناپایدار می‌باشند.

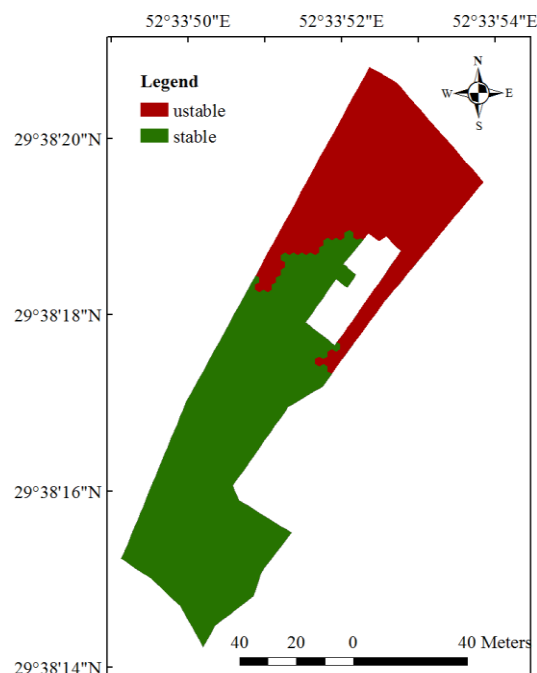


Fig. 17- Stability and instability areas of small cars in the parking lot

شکل ۱۷- مناطق پایداری و ناپایداری خودروهای کوچک در پارکینگ

برای تعیین دقیق‌تر میزان خسارات خودروهای سواری در سیلاب، سطح زیر نمودار توسعه یافته (AR & R (2011) (نمودار شکل ۱۶) زون بندی شد. سپس با داشتن عمق در محدوده پایدار در هر یک از زون‌های تعریف شده مقادیر خسارت در هر زون نیز به ازای عمق‌های متناظر از روی منحنی مدل HAZUS-MH مشخص شد. نتیجه این کار، منحنی عمق خسارت جدیدی است که عملاً از ترکیب دو



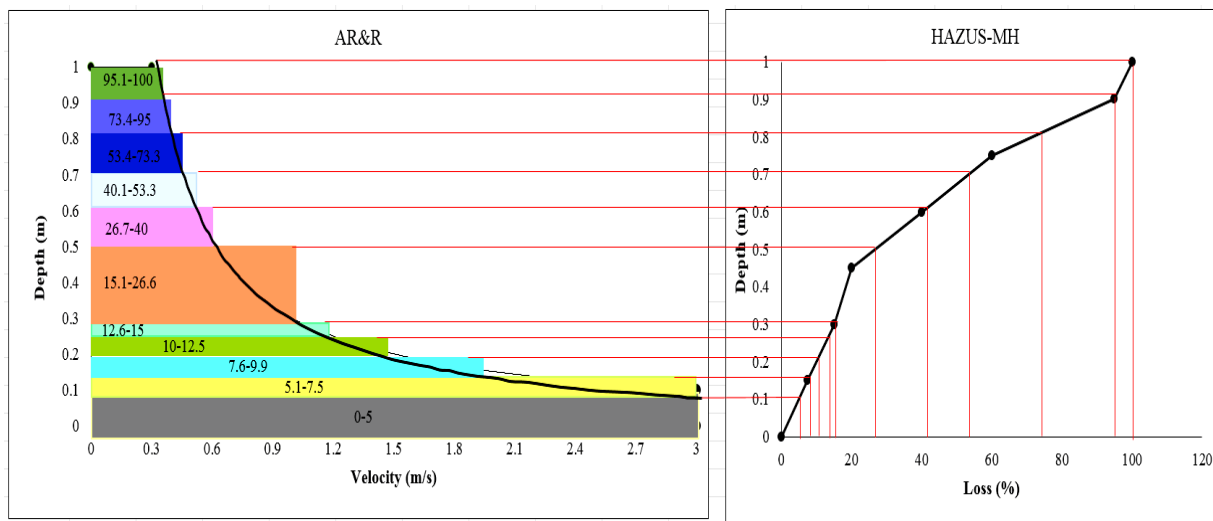


Fig. 18- The way of zoning the area under AR&R (2011) curve and determining damages in each zone as stable area

شکل ۱۸- نحوه زون بندی سطح زیر منحنی AR&R (2011) و تعیین خسارت در هر زون به عنوان مناطق پایدار

Table 11- Zones designated to generate the risk map in the PCSWMM model  
جدول ۱۱- محدوده زون ها تعیین شده برای تولید نقشه ریسک در مدل PCSWMM

Zone number	SQL	Damage range (%)	Color
1	MaxDepth >= 0 AND MaxDepth < 0.1 AND MaxVelocit <= 3	0-5	Grey
2	MaxDepth >= 0.1 AND MaxDepth < 0.15 AND MaxVelocit <= 3	5.1-7.5	Yellow
3	MaxDepth >= 0.15 AND MaxDepth < 0.2 AND MaxVelocit <= 2	7.6-9.9	Light Green
4	MaxDepth >= 0.2 AND MaxDepth < 0.25 AND MaxVelocit <= 1.5	10-12.5	Green
5	MaxDepth >= 0.25 AND MaxDepth < 0.3 AND MaxVelocit <= 1.2	12.6-15	Cyan
6	MaxDepth >= 0.3 AND MaxDepth < 0.5 AND MaxVelocit <= 1	15.1-26.6	Brown
7	MaxDepth >= 0.5 AND MaxDepth < 0.6 AND MaxVelocit <= 0.6	26.7-40	Pink
8	MaxDepth >= 0.6 AND MaxDepth < 0.7 AND MaxVelocit <= 0.5	40.1-53.3	Light Blue
9	MaxDepth >= 0.7 AND MaxDepth < 0.8 AND MaxVelocit <= 0.43	53.4-73.3	Dark Blue
10	MaxDepth >= 0.8 AND MaxDepth < 0.9 AND MaxVelocit <= 0.38	73.4-95	Blue
11	MaxDepth >= 0.9 AND MaxDepth < 1 AND MaxVelocit <= 0.33	95.1-100	Orange

حال می توان با ضرب مقدار درصد خسارت تعیین شده برای هر زون در قیمت کل خودرو شاخص، مقدار خسارت را برحسب تومان محاسبه کرد. قیمت پراید صفر و نو در تاریخ ۲ تا ۱۷ فروردین ۱۳۹۸، ۴۰۵۰۰۰۰۰ تومان بوده است و بر اساس مفروضات معقول و همچنین پیشنهاد مدل HAZUS-MH برای خودرو دست دوم می توان ۵۰٪ قیمت خودروی صفر را در نظر گرفت. جدول ۱۳ مقدار خسارت محتمل به وسایل نقلیه را برحسب وسیله نقلیه شاخص در زون های مختلف نشان می دهد.

### ۳-۶- خسارت وسیله نقلیه شاخص

با در نظر گرفتن فواصل بین خودروها به واسطه پارک شدن آنها در کنار هم و مساحت هر سلول در نظر گرفته شده در این مطالعه که ۷/۸ مترمربع می باشد، با فرض تراکم و ازدحام زیاد جمعیت و لذا شلوغی و اشغال کل سطح پارکینگ در ایام تعطیلات عید، هر سلول از میدان حل در نظر گرفته شده برای پارکینگ یک خودروی پراید را در خود جای می دهد. بنابراین تعداد خودرو پراید در هر زون برابر با تعداد سلول های دوی بعدی همان زون است (جدول ۱۲).

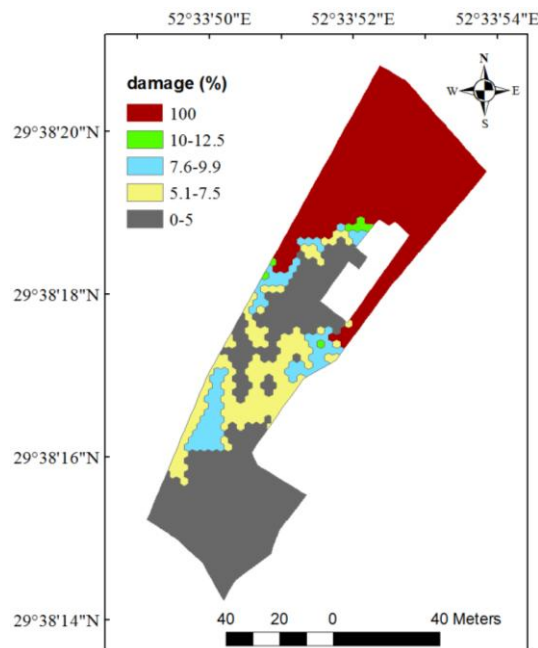
تومان در نظر گرفته شود هزینه حال حاضر کل خسارت سیل فروردین شیراز برای وسیله نقلیه شاخص یک میلیارد و شش صد میلیون تومان خواهد بود.

**Table 12- Area and number of 2D stable cells in each zone**

جدول ۱۲- مساحت و تعداد سلول‌ها دوبعدی پایدار در هر

زون خسارت

Zone number	Damage (%)	Area (m <sup>2</sup> )	Number of 2Dcells
1	0-5	2964.55	378
2	5.1-7.5	1045	134
3	7.6-9.9	606.66	78
4	10-12.5	82.32	11
5	12.6-15	0	0
6	15.1-26.6	0	0
7	26.7-40	0	0
8	40.1-53.3	0	0
9	53.4-73.3	0	0
10	73.4-95	0	0
11	95.1-100	0	0



**Fig. 19- Damage map to passenger cars in the parking lot**

شکل ۱۹- نقشه خسارت خودروهای سواری در پارکینگ

#### ۴- نتیجه گیری و پیشنهادات

از اصلی ترین اهداف این پژوهش تعیین میزان خسارات مالی وسایل نقلیه در سیلاب و به دنبال آن تولید نقشه ریسک سیل است. تاکنون در ایران میزان خسارت وارده به وسایل نقلیه در سیلاب محاسبه نشده است و لذا در این تحقیق سعی شد تا با بررسی مطالعات صورت گرفته در کشورهای دیگر، ابتدا وضعیت پایداری و ناپایداری خودروهای سواری در هر قسمت از منطقه سیل زده مشخص شد و سپس میزان خسارت وارده به خودرو پراید ۱۳۱ به عنوان خودرو شاخص برحسب تومان تعیین شود.

اگر فرض شود در هر زون نیمی از خودروها صفر و نیمی دیگر دست دوم هستند و میانه هر دسته معرف آن دسته خسارت محسوب شود، کل خسارت وارده بر خودروهای پایدار در پارکینگ دروازه قرآن شیراز در حادثه سیلاب عید سال ۹۸ حدوداً برابر ۳۹۴ میلیون تومان می باشد. برای تبدیل این نرخ به قیمت روز کافی است قیمت روز پراید را بر قیمت پراید مورداستفاده در این پژوهش که مربوط به روز واقعه می باشد (۴۰ میلیون تومان) تقسیم و حاصل را در کل خسارت به دست آمده ضرب کرد. به عنوان مثال اگر قیمت روز پراید ۱۶۰ میلیون

**Table 13- Damage amounts for new and second-hand cars in the Shiraz Darwazeh-Quran flood in Toman**

جدول ۱۳- مقادیر خسارت برای خودرو شاخص صفر و دست دوم در سیل دروازه قرآن شیراز برحسب تومان

Zone number	New car damage (Toman)	Second-hand car (Toman)
1	0-202500	0-1012500
2	2065500-3037500	1032750-1518750
3	3078000-4009500	1539000-2004750
4	4050000-5062500	2025000-253250
5	5103000-6075000	2551500-3037500
6	6115500-10773000	3057750-5386500
7	10813500-16200000	5406750-8100000
8	16240500-21586500	8120250-10793250
9	21627000-29686500	10813500-14843250
10	29727000-38475000	14863500-19237500
11	38515500-40500000	19257750-20250000

مختلف خودروهای سواری مورداستفاده در آمریکا در عمقی مشخص مقدار خسارت یکسانی ارائه شده است. در ایران تفاوت ساختاری و فیزیکی زیادی بین خودروهای سواری مورداستفاده وجود دارد و نمی‌توان برای همه آن‌ها یک مقدار خسارت را تعیین کرد. بنابراین، مطالعاتی که در این زمینه برای مقاصد هم‌چون تولید مستندات برای بیمه سیلاب انجام می‌شود باید به‌طور جداگانه برای هر نوع از وسایل نقلیه صورت گیرد.

در مدل‌های خسارت موجود، مقادیر خسارت وارده به وسایل نقلیه در سیلاب فقط با در نظر داشتن عمق آب ارائه شده‌اند در صورتی سیل دارای دو متغیر مهم عمق و سرعت است و نمی‌توان صرفاً با در نظر داشتن عمق آب راجع به مقادیر خسارت ناشی از آن قضاوت کرد. در این تحقیق با ادغام دو منحنی سرعت-عمق (AR & R (2011) و عمق-خسارت HAZUS-MH تلاش شد تا این ضعف رفع شود. با استفاده از نتایج این تحقیق که برای اولین بار در ایران انجام شده است می‌توان به این نتیجه رسید که نیاز است تا ابتدا مطالعاتی نظری و آزمایشگاهی برای تعیین آستانه ناپایداری انواع مختلف خودروهای ایرانی انجام شود و پس از آن با کمک کارشناسی زنده مقادیر خسارات آن‌ها را تعیین کرد. با این کار می‌توان الگوریتم ارائه‌شده در جدول (۱۱) را برای خودروهای ایرانی ارائه کرد. بعلاوه باید تأثیر شیب زمین بر آستانه خودروها را نیز در نظر گرفت؛ زیرا وسایل نقلیه در سطوح شیب‌دار راحت‌تر ناپایدار می‌شوند و به عمق و سرعت کمتری برای ناپایدار شدن نیاز دارند. آستانه ارائه‌شده در (AR & R (2011) فقط برای تعیین وضعیت پایداری و ناپایداری خودروهایی قابل استفاده است که در سطحی بدون شیب قرار داشته باشند. پارکینگ دروازه قرآن شیب نزدیک به ۰/۵ درصد دارد و تقریباً مسطح است و تأثیر زیادی در ناپایداری خودروها ندارد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Federal Emergency Management Agency
- 2- Australian Rainfall & Runoff
- 3- Personal Computer Stormwater Management Model
- 4- Diffusive Wave
- 5- Saint-Venant
- 6- Sensitivity-based Radio Tuning Calibration
- 7- Mean Normalized Sensitivity
- 8- National Automobile Dealers Association

در این راستا استفاده از دو متغیر مهم سیل یعنی عمق و سرعت ضروری است. در این مقاله نقشه‌های عمق و سرعت بیشینه (شکل ۱۵) در محدوده پارکینگ در بالادست دروازه قرآن با استفاده از مدل دوبریدی هیدرودینامیک PCSWMM تولید شد. مهم‌ترین دستاورد این تحقیق توسعه مدل (AR & R (2011) (Shand et al., 2011) برای تعریف شرایط ناپایداری خودروها به‌منظور تلفیق آن با منحنی عمق-خسارت (HAZUS-MH (2015) و در نهایت توسعه مدل جدید خسارت-عمق در منطقه پایدار تعریف شده به‌وسیله یک شاخص هیدرودینامیکی می‌باشد. تعریف زون‌های ریسک به کمک منحنی‌های توسعه‌یافته با برنامه‌نویسی به زبان SQL برای اولین بار به تهیه نقشه توزیعی ریسک وسایل نقلیه انجامید. سیل دروازه قرآن شیراز به دلیل تغییر کاربری مسیل دروازه قرآن و تبدیل آن به منطقه شهری و خیابان رخ داد. با استفاده از نتایج مطالعه حاضر و پیش‌بینی ریسک محتمل، می‌توان با مدیریت بهتر و دوراندیشی از بروز چنین خساراتی پیشگیری کرد و یا حداقل مقدار خسارت را کاهش داد. با توجه به اینکه وسایل نقلیه به‌سرعت قابل حرکت دادن هستند، با تولید نقشه توزیعی ریسک در مناطق پرخطر می‌توان با استفاده از سیستم‌های هشدار سیلاب می‌توان به‌احتی وقوع چنین حوادثی را پیش‌بینی کرد تا به جان و مال مردم خسارت ضرر و زیان وارد نشود. حاصل این تحقیق می‌تواند گامی مهم در ایجاد مبانی لازم برای بیمه خودروهای سواری در قبال سیلاب تلقی گردد.

در تابع حدی  $D.V \leq 0.3$  ارائه‌شده در (AR & R (2011) که در پژوهش حاضر به‌عنوان معیاری برای تعیین وضعیت پایداری و ناپایداری خودروهای سواری و تولید نقشه آن (شکل ۱۷) استفاده شد،  $D$  عمق شناوری و  $V$  سرعت جریان است. بنابراین در این مقاله فقط ناپایداری از نوع شناوری مورد ارزیابی قرار گرفته است در صورتی که ممکن است ماشین قبل از آنکه شناور شود در اثر وارد آمدن نیروی درگ لیز بخورد و ناپایدار شود. از طرفی در مطالعات صورت گرفته و روابط ارائه‌شده برای تعیین آستانه لیز خوردن خودروها، پارامترهایی وجود دارد که مقادیر قابل اعتماد و مشخصی برای آن‌ها موجود نیست و فقط برای خودروهای مشخصی در آزمایشگاه به‌دست آمده‌اند. لذا تعیین این آستانه به‌صورت تئوری ممکن نیست و تابع حدی هم تاکنون برای آن پیشنهاد نشده است. بنابراین، لازم است تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد تا بتوان ناپایداری وسایل نقلیه در سیلاب را در ترکیب دو نوع شناوری و لیز خوردن مورد ارزیابی و بحث قرار داد. برای تعیین مقادیر خسارت خودروهای سواری در این تحقیق از نمودار HAZUS-MH استفاده شد. در این منحنی برای انواع

## ۵- مراجع

- Akan O A (1993) Urban stormwater hydrology: A guide to engineering calculations. CRC Press
- Beitollahi A, Basiri M, Abedi A, Mahdavi M, Soleimani M, Dehghan F (2019) Shiraz Darwazeh-Quran flood report. Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran. (In Persian)
- Special Reporting Committee on Iran Floods (2019) Narrative of Iran's 2019 Floods. 103p. (In Persian)
- ASCE (1992) Design & construction of urban stormwater management systems. New York, NY.
- Computational Hydraulics International (CHI) (2016) PCSWMM Professional 2D. Guelph, Ontario, Canada, 2016. [Online], Available at: [www.chiwater.com](http://www.chiwater.com) [Accessed July 22, 2015]
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2015) Multi-hazard loss estimation methodology, Flood model, Hazus-MH MR5 technical manual. Washington, DC: Department of Homeland Security. Mitigation Division 449p.
- Francés F, García-Bartual R, Ortiz E, Salazar S, Miralles J L, Blöschl G, Blume T (2008) Efficiency of non-structural flood mitigation measures: "Room for the river" and "Retaining water in the landscape." London, UK: CRUE Research Report No I-6. 242p.
- Martínez-Gomariz E, Gómez M, Russo B, & Djordjević S (2018) Stability criteria for flooded vehicles: A state-of-the-art review. *Journal of Flood Risk Management* 11(S2):S817-S826
- Musgrave GW (1995) How much of the rain enters the soil? In *Water: U.S. Department of Agriculture Yearbook*; United States Government Publishing Office (GPO): Washington, DC, USA, 151-159
- Shand T D, Cox R J, Blacka M J, & Smith G P (2011) Australian rainfall and runoff (AR&R). Revision project 10: appropriate safety criteria for vehicles. Report Number: P10/S2/020, 2011
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2009) Economic guidance memorandum, 09-04, generic depth-damage relationships for vehicles. Washington, DC. 9p.