

# مقایسه و ارزیابی خسارت وسایل نقلیه سبک بر اساس نظریه‌های پایداری در سیلاب (مطالعه موردی: سیل شیراز)

ریحانه گل محمدی<sup>۱</sup> و علیرضا شکوهی<sup>۲\*</sup>

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.  
(۲) استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.  
\* ایمیل نویسنده مسئول: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰  
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

## چکیده:

**زمینه و هدف:** ارزیابی خسارات ناشی از وقوع سیل‌های ناگهانی در مناطق شهری یکی از دغدغه‌های مهم پس از وقوع آن است. وسایل نقلیه نیز مانند دیگر عناصر شهری در زمان وقوع سیل متحمل خساراتی می‌شوند که می‌بایست برای مدیریت سیل شهری آن‌ها را مد نظر قرار داد. مقادیر خسارت در اکثر مدل‌های برآورد خسارت خودروها در سیلاب با فرض پایداری آن‌ها و صرفاً برحسب عمق آب ارائه شده‌اند درحالی‌که متغیر مهم سرعت سیل نیز بر شدت خسارات وارده مؤثر است. در پژوهش حاضر ضمن ارزیابی هشت نظریه ارائه شده در راهنمای بارش و رواناب استرالیا (AR&R)، تلاشی صورت می‌گیرد تا بهترین نظریه به منظور ارائه الگوریتمی مناسب و ساده برای تعیین خسارت خودروهای سواری و سبک در سیل به صورت تابعی از عمق و سرعت ارائه شود.

**روش پژوهش:** برای دستیابی به هدف موردنظر ابتدا روابط و نمودارهای حد نهایی پایداری هشت نظریه ارائه شده در AR&R مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت و پس از حذف یکی از نظریات و اصلاح روابط دو نظریه Melbourne Water ارائه شده در سال ۱۹۹۶ و DPW ارائه شده در سال ۱۹۸۶، نقشه پایداری خودروهای سواری در سیل دروازه قرآن شیراز در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ برای هفت نظریه ارائه شده در این راهنما تولید شد. در ادامه، با تلفیق نمودارهای حد پایداری هر نظریه با نمودار عمق-خسارت HAZUS-MH و زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری به عنوان مناطق پایدار، الگوریتم تولید نقشه ریسک برای خودروهای سواری پایدار برای هر نظریه به طور جداگانه تهیه شد. سپس نقشه ریسک در محدوده پارکینگ مجاور استخر تجمع آب در بالادست دروازه قرآن شیراز برای هر نظریه تولید و به کمک آن‌ها مجموع خسارت برای خودرو پراید ۱۳۱ به عنوان خودرو شاخص محاسبه شد. در نهایت مقادیر خسارت ماکزیمم و هم‌چنین مجموع خسارت به دست آمده از هر کدام از نظریه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** از اصلی‌ترین و مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، ارائه الگوریتم تعیین خسارت خودروهای سواری و سبک در محدوده‌های مشخصی از عمق و سرعت برای هر یک از نظریه‌های ارائه شده در AR&R می‌باشد که با استفاده از آن‌ها نقشه‌های ریسک تولید شد. بعلاوه مجموع خسارت برای خودرو پراید ۱۳۱ به عنوان خودرو شاخص با استفاده از الگوریتم‌های ارائه شده محاسبه شد که در نتیجه کمترین مقدار خسارت با استفاده از الگوریتم نظریه (AR&R (1987) برابر با ۱۰ میلیارد و ۲۶۵ میلیون تومان و بیشترین مقدار خسارت نیز با استفاده از الگوریتم نظریه (AR&R (2011) برابر با ۱۴ میلیارد و ۳۲ میلیون تومان به دست آمد.

**نتایج:** با ارزیابی‌های صورت گرفته مشخص شد استفاده از صرفاً عمق جریان سیلاب به عنوان یک شاخص هیدرواستاتیک که عملاً در شرایط فعلی معیار محاسبه خسارت خودروها است از دقت لازم برخوردار نبوده و بهتر است از ترکیب سرعت و عمق و در واقع شاخص هیدرودینامیکی برای این منظور استفاده نمود. در عین حال ثابت شد که رابطه و حد نهایی پایداری ارائه شده در نظریه (AR&R (2011) نسبت به سایر نظریه‌ها به منظور ارائه مدلی برای تعیین خسارت وسایل نقلیه سواری و سبک در سیلاب به عنوان تابعی از عمق و سرعت نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را به همراه خواهد داشت. شایان ذکر است برای دستیابی به مقادیر هر چه دقیق‌تر خسارت خودروها در سیلاب، انجام مطالعات نظری و تجربی بیشتری با مدنظر قرار دادن انواع مختلف وسایل نقلیه ضروری است.

**واژگان کلیدی:** سیل، وسیله نقلیه، خسارت، پایداری، راهنمای بارش و رواناب AR&R

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

[iawsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iawsrcj@srbiau.ac.ir)

[iawsrcj@gmail.com](mailto:iawsrcj@gmail.com)

سال یازدهم

شماره چهارم

تابستان ۱۴۰۱

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۲/۳۰

صفحات: ۶۱-۴۱



## مقدمه

گرفتار در سیلاب از کفایت لازم برخوردار نیست. بر این اساس برای برآورد خسارت وسایل نقلیه لازم است مدلی ارائه گردد تا بتوان با استفاده از آن میزان خسارت وسایل نقلیه در سیلاب را در محدوده‌هایی از عمق و سرعت سیل تعیین کرد. برای این منظور باید آستانه ناپایداری وسایل نقلیه در سیلاب مدنظر قرار گیرد.

برای تعیین آستانه ناپایداری خودروها در سیلاب روش‌ها و فرمول‌های نظری و تجربی متعددی ارائه شده‌اند که تنها در برخی از آن‌ها علاوه بر عمق و سرعت سیل خصوصیات خودروها نیز مدنظر پژوهشگران بوده است. شایان ذکر است استفاده از این روابط محدود نیز به دلیل عدم وجود داده کافی، وجود پارامترهایی با مقادیر نامشخص در روابط ارائه شده و تفاوت ساختاری موجود بین وسایل نقلیه مختلف با عدم قطعیت زیادی روبرو است (Golmohammadi and Shokoohi, 2022). از میان روابط ارائه شده برای تعیین خسارت وسایل نقلیه، هشت نظریه ارائه شده در راهنمای بارش و رواناب استرالیا (AR&R<sup>3</sup>) که در آن‌ها عمق و یا هر دو پارامتر عمق و سرعت سیل برای تعیین آستانه ناپایداری وسایل نقلیه در سیلاب مورد توجه قرار گرفته است، جایگاه ویژه‌ای دارند. نظریه‌های ارائه شده در این راهنما بسیار پرکاربرد بوده به طوری که این راهنما به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع برای تعیین آستانه ناپایداری وسایل نقلیه در سیلاب شناخته شده است (Golmohammadi and Shokoohi, 2021). از بین هشت نظریه ارائه شده در این راهنما، روابط پایداری دو نظریه تابعی از عمق و بقیه تابعی از عمق و سرعت هستند.

مطالعه با هدف تعیین خسارت وسایل نقلیه در سیلاب در ایران از قدمت زیادی برخوردار نیست. گل محمدی<sup>۴</sup> و شکوهی<sup>۵</sup> (۲۰۲۱) یک مدل ریاضی برای تعیین خسارت وسایل نقلیه سواری در سیلاب و در محدوده‌های مشخصی از عمق و سرعت ارائه کردند. آن‌ها ابتدا سیل

به دنبال وقوع تغییرات اقلیمی در سطح جهان، احتمال وقوع سیل‌های ناگهانی در سطح شهرها افزایش یافته است. این سیل‌ها موجب وارد آمدن خسارات زیادی به جان و مال مردم از جمله وسایل نقلیه می‌شوند. یکی از نگرانی‌ها و دغدغه‌های مهم پس از وقوع سیلاب ارزیابی خسارات ناشی از آن است، مخصوصاً اگر این سیل‌ها در مناطق شهری رخ داده باشند. سیل دروازه قرآن شیراز در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ مثالی از این نوع سیل‌ها است که در پی وقوع آن خسارات زیادی به جان و مال مردم از جمله وسایل نقلیه وارد شد. سابقه مطالعه برای ارزیابی خسارت سیلاب زیاد است چنانکه وایت<sup>۱</sup> اولین مقاله در زمینه ارزیابی خسارات ناشی از وقوع سیلاب را در سال ۱۹۴۵ ارائه نمود (White, 1945). محقق نامبرده تلفات ناشی از وقوع سیل را با جزئیات تعریف و خسارات به اموال و مغازه‌ها در مناطق شهری را توصیف کرد. وی اظهار داشت عمق و سرعت سیل متغیرهایی هستند که میزان شدت خسارت به بناها و ساختمان‌ها را تعیین می‌کنند و عمق آب مهم‌ترین عامل برای تعیین چنین تلفاتی است. در حالی که در همه این سال‌ها خسارت مربوط به ساختمان‌ها و اموال غیرمنقول مورد توجه ویژه بوده است (Shahsavandi et al., 2017; Karbasi et al., 2019; Amirmoradi et al., 2019; Amirmoradi and Shokoohi, 2020). خسارات وارده به وسایل نقلیه در سیلاب با ارائه تنها سه مدل عمق- خسارت CRUE EU در سال ۲۰۰۸ توسط اتحادیه اروپا (Francés et al., 2008)، USACE در سال ۲۰۰۹ توسط مهندسی ارتش آمریکا (USACE, 2009) و HAZUS-MH در سال ۲۰۱۵ توسط مدیریت بحران فدرال آمریکا (FEMA<sup>۲</sup>, 2015) و به دنبال آن در مقالاتی محدود مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. مدل‌های تعیین خسارت ناشی از سیلاب بیشتر از پارامتر عمق استفاده می‌نمایند. این امر حتی اگر در مورد ساختمان‌ها درست باشد، برای وسایل نقلیه

<sup>3</sup> Australian Rainfall & Runoff

<sup>4</sup> Golmohammadi

<sup>5</sup> Shokoohi

<sup>1</sup> White

<sup>2</sup> Federal Emergency Management Agency

سپس به منظور تعیین خسارات خودروهای سواری در محدوده پارکینگ، نمودارهای حد پایداری هرکدام از نظریه‌ها به طور جداگانه با نمودار عمق-خسارت در مدل HAZUS-MH تلفیق و سطح زیر نمودار حد نهایی به عنوان مناطق پایدار زون بندی شد. پس از آن، الگوریتم تعیین خسارت برای هر نظریه نوشته شد و به کمک آن نقشه ریسک برای هر نظریه در محدوده پارکینگ در محیط ArcMap تولید و در نهایت با استفاده از نقشه‌های ریسک میزان خسارت خودروهای سواری پایدار به صورت توزیعی مشخص گردید.

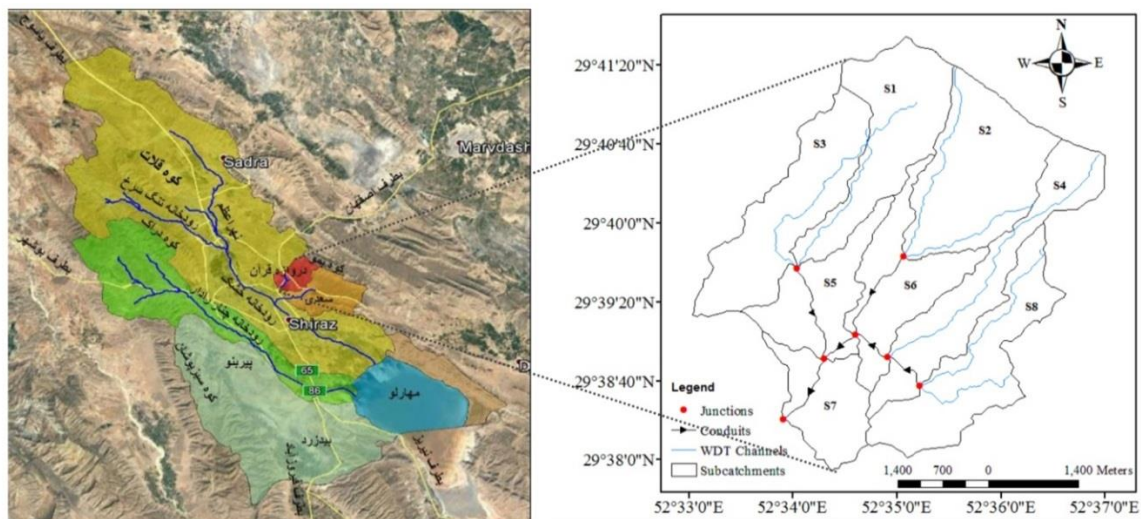
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

شیراز با ارتفاع ۱۵۱۹ متر از سطح آزاد دریاها و دارای اقلیم مدیترانه‌ای و بارش سالانه ۳۴۳ میلی‌متر بوده و بارش رگبارهای شدیدی با شدت ۱۲۸ میلی‌متر در روز را نیز شاهد بوده است. حوضه مورد مطالعه در این تحقیق، حوضه آبریز تنگ الله‌اکبر در عرض شمالی  $30^{\circ} 37' 29''$  تا  $32^{\circ} 41' 29''$  و طول شرقی  $52^{\circ} 33' 03''$  تا  $37^{\circ} 02' 37''$  در شهر شیراز واقع شده است. این حوضه از کوه‌های بمو در شمال شرقی آن سرچشمه می‌گیرد و در سمت جنوب غربی به کوه بابا کوهی و در سمت جنوب شرقی به کوه چهل مقام محدود می‌شود. تمامی رواناب شکل گرفته از این حوضه به مسیل آبرنگی در بالادست دروازه قرآن می‌ریزد و سپس و به استخر تجمع آب ریخته و به واسطه لوله‌ای به رودخانه خشک منتقل می‌شود و در نهایت به دریاچه مهارلو می‌ریزد. نمای کلی این حوضه در شکل (۱) نشان داده شده است. مساحت و محیط حوضه آبریز تنگ الله‌اکبر به ترتیب  $24/56$  کیلومتر مربع و  $23/69$  کیلومتر است. هم‌چنین طول بزرگ‌ترین آبراه این حوضه  $7/6$  کیلومتر می‌باشد (Golmohammadi and Shokoochi, 2021).

دروازه قرآن شیراز در سال ۹۸ را به صورت دوبعدی شبیه سازی نموده و نقشه‌های عمق و سرعت بیشینه را استخراج کردند. سپس به کمک آن نقشه‌ها و دستورالعمل راهنمای بارش و رواناب استرالیا با شرط پایداری  $D.V \leq 0.3$ ، نقشه پایداری خودروهای سواری در سیلاب را تولید نمودند. آن‌ها با مدنظر قرار دادن حد نهایی عمق (یک متر) در نمودار عمق-خسارت HAZUS-MH، محور عمق در منحنی پایداری خودروهای کوچک در (AR&R (2011) را تا یک متر بسط دادند. سپس منحنی به دست آمده را با نمودار HAZUS-MH به کمک فصل مشترک آن یعنی عمق تلفیق نمودند. در نهایت با زون بندی سطح زیر منحنی به دست آمده و تعیین درصد خسارت محتمل از نمودار HAZUS-MH، مقادیر خسارت خودروهای کوچک در سیلاب را در هر زون و برحسب عمق و سرعت شبیه‌سازی شده تعیین کردند (Golmohammadi and Shokoochi, 2021).

در پژوهش حاضر به ارزیابی و مقایسه جامع نظریه های پایداری ارائه شده در راهنمای بارش و رواناب استرالیا بانام‌های (DPW (1986)، (AR&R (1987)، (EMA (1997)، (Melbourne Water (1996)، (EMA Floodplain Moor and Power (2002)، (1999)، (Development Manual (2005)، (Austroads (2008) و (AR&R (2011) پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا منحنی‌ها و نمودارهای ارائه شده در هر نظریه مورد ارزیابی قرار گرفتند و رابطه پایداری نظریه‌های (DPW (1986) اصلاح و (Melbourne Water (1996) تکمیل شد. در این مطالعه از سیل دروازه قرآن شیراز در ۵ فروردین سال ۱۳۹۸ و اثرات برجای مانده از این سیل در پارکینگ مجاور دروازه قرآن که از ازدحام زیادی در ایام عید نوروز آن سال برخوردار بود به عنوان مطالعه موردی استفاده شد. در پژوهش حاضر با استفاده از نظریه‌های ارائه شده در راهنمای بارش و رواناب استرالیا، نقشه پایداری خودروهای سواری در محدوده پارکینگ مجاور استخر تجمع آب در بالادست دروازه قرآن شیراز تولید گردید.



شکل ۱. نمای کلی حوضه آبریز تنگ الله اکبر

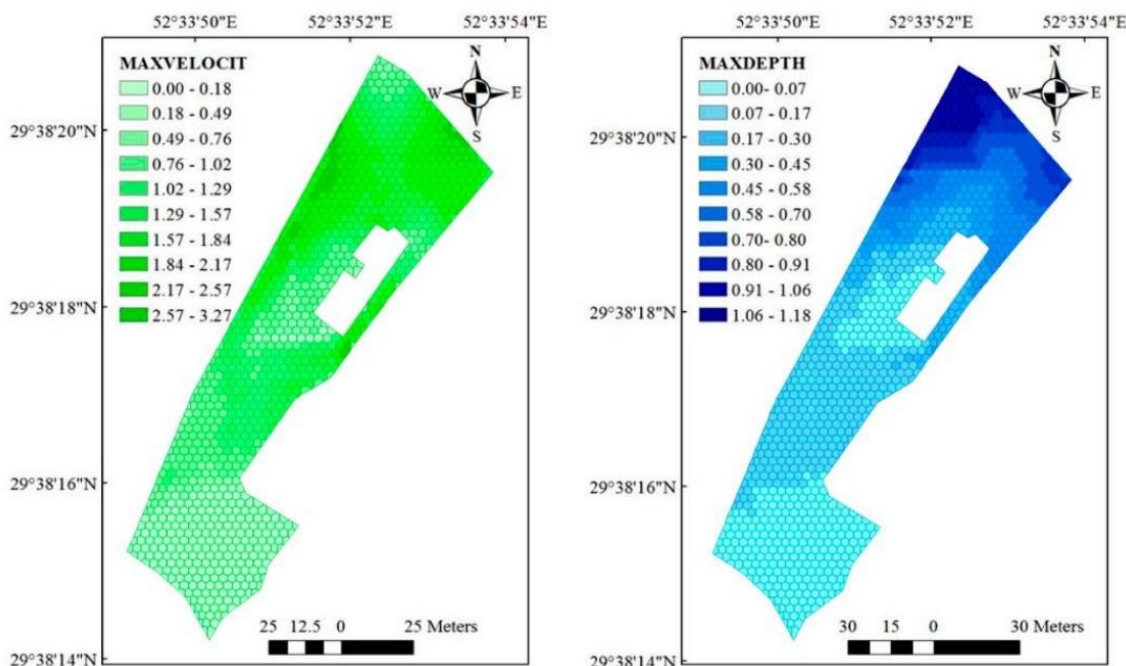
نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدرولیکی سیل شیراز توسط گل محمدی و شکوهی (۲۰۲۱) به شکل نقشه‌های عمق و سرعت بیشینه سیل ارائه گردیده است که در شکل (۲) قابل مشاهده است. این نقشه‌ها مقادیر عمق و سرعت بیشینه سیل مذکور در محدوده پارکینگ مجاور استخر تجمع آب در بالادست دروازه قرآن شیراز را در هر سلول دوبعدی به دست می‌دهند که در پژوهش حاضر از آنها برای تولید نقشه‌های پایداری و ریسک استفاده می‌شود. (Golmohammadi and Shokoohi, 2021).

#### 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 هرزمانی از روز در موقعیت‌های مختلف، برآورد ارزش پولی 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.

#### سیل دروازه قرآن شیراز

بر اساس گزارش آب منطقه‌ای استان فارس، بارش شدید در روز ۵ فروردین ۱۳۹۸ در حوضه تنگ الله اکبر از ساعت ۸ صبح تا ۱۲ ظهر رخ داد. بارندگی شدید از ساعت ۱۱ و ۳۲ دقیقه این روز آغاز شد و به مدت ۱۴ دقیقه ادامه یافت و در این مدت ۱۹ میلی‌متر بارید که معادل شدت ۸۱ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. این بارش شدید منجر به سیل دروازه قرآن شیراز در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ در بزرگراه شیراز- مرودشت شد. گل محمدی و شکوهی (۲۰۲۱) شبیه‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی این سیل را انجام دادند و نتیجه شبیه‌سازی هیدرولوژیکی را به شکل هیدروگراف با دبی اوج ۴۸/۹۳ مترمکعب بر ثانیه ارائه نمودند (Golmohammadi and Shokoohi, 2021). علل مختلفی برای خسارت‌زا بودن این سیل ذکر شده است که از آن جمله می‌توان به کم شدن پوشش گیاهی حوضه و عوامل انسانی شامل دست‌کاری مسیر و ایجاد موانع نظیر ریختن زباله ساختمانی در مسیر حرکت جریان سیلاب، عدم تناسب سیلاب و ظرفیت محدود کانال احداثی در ورودی دروازه قرآن (در حد ۱۲ الی ۱۹ مترمکعب بر ثانیه) و نهایتاً وجود آشغال در دهانه ورودی کانال اشاره کرد (Heidari et al., 2019).



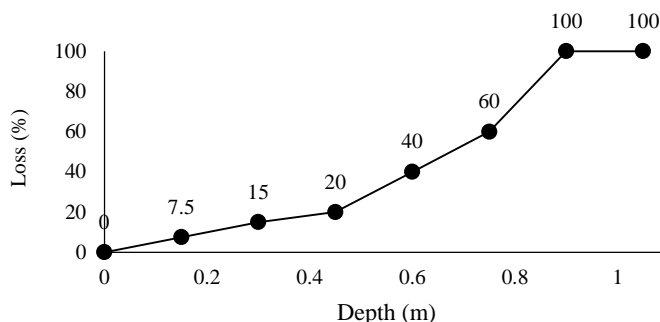
شکل ۲. نقشه‌های سرعت بیشینه و عمق بیشینه سیل دروازه قرآن شیراز

که محفظه موتور به‌طور کامل زیر آب رفته باشد. میزان خسارت برای هر نوع وسیله نقلیه (خودرو سواری، کامیون سبک، کامیون سنگین) بسته به اینکه سیل در زیر کف ماشین، بین کف ماشین و داشبورد یا بالای داشبورد باشد، مطابق جدول (۱) 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). با توجه به اهداف تحقیق، در مطالعه حاضر از منحنی عمق-خسارت خودروهای سواری ارائه شده در HAZUS -MH که در شکل (۳) نشان داده شده است، استفاده شد.

توزیع سن وسایل نقلیه و نرخ کامیون و اتومبیل‌ها توسط انجمن ملی فروشندگان خودرو (NADA) انجام می‌شود. در راهنمای مدل HAZUS-MH در سال ۲۰۱۵ آخرین قیمت پیشنهادی به‌طور متوسط برای سه نوع وسایل نقلیه معادل ۲۲۶۱۸/۴۷ دلار (اتومبیل سواری)، ۲۰۹۶۹/۲۱ دلار (کامیون‌های سبک) و ۷۶۰۸۷/۶۷ دلار (کامیون‌های سنگین) پیشنهاد شده است. همچنین بر اساس این مدل ارزش وسیله نقلیه دست‌دوم ۵۰ درصد قیمت ماشین نو در نظر گرفته می‌شود. در مدل HAZUS-MH منحنی‌های خسارت سیلاب برای وسایل نقلیه با در نظر گرفتن افزایش تدریجی عمق آب توسعه داده شده‌اند و زمانی خودرو ۱۰۰ درصد خسارت می‌بیند

جدول ۱. روابط عمق-خسارت وسایل نقلیه بر اساس مدل HAZUS -MH (FEMA, 2015)

درصد خسارت	کامیون سنگین	کامیون سبک	خودرو سواری	عمق سیلاب (متر)
٪۱۵	۱/۵۲ >	۰/۸۲ >	۰/۴۶ >	زیر کف ماشین
٪۶۰	۲/۲۹-۱/۵۲	۱/۱۳-۰/۸۲	۰/۷۳-۰/۴۶	بین کف ماشین و داشبورد
٪۱۰۰	۲/۲۹ >	۱/۱۳ >	۰/۷۳ >	بالای داشبورد

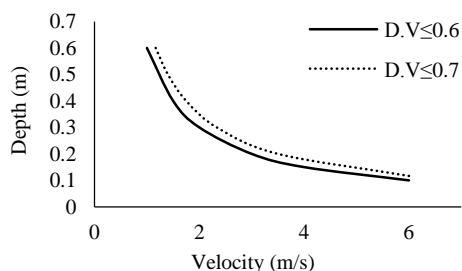


شکل ۳. منحنی عمق- خسارت وسایل نقلیه سواری مدل HAZUS-MH (FEMA, 2015)

(2005) کاملاً مشابه با رابطه (۱) و شکل (۴) است. لذا در تحقیق حاضر تمامی محاسبات و نقشه‌های تولید شده برای این دو نظریه مشابه هستند.

#### ۲. AR&R (۱۹۸۷)

معیار پایداری وسایل نقلیه در سیلاب در راهنمای AR&R (1987) به صورت  $D.V \leq 0.6-0.7$  ارائه شده است که در آن مقدار ثابت ۰/۶ تا ۰/۷ مترمربع بر ثانیه بر اساس نوع خودرو (خودروهای کوچک، SUV و غیره) در نظر گرفته می‌شود. حد نهایی پایداری پیشنهاد شده در این نظریه در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در این راهنما مقادیری برای حد نهایی عمق و سرعت ارائه نشده است. در پژوهش حاضر برای تعیین وضعیت پایداری و ناپایداری خودروهای سواری از  $D.V \leq 0.6$  استفاده شد.



شکل ۵. حد نهایی پایداری وسایل نقلیه در سیلاب بر اساس نظریه AR&R (1987) (Institution of Engineers, Australia, 1987)

#### ۳. Melbourne Water (۱۹۹۶)

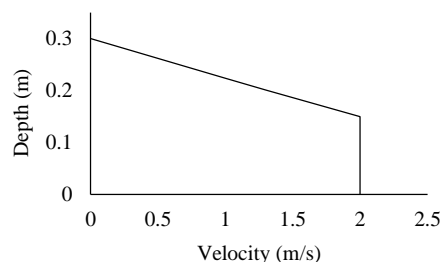
دستورالعمل‌های ارائه شده در این راهنما به منظور انجام محاسبات مربوط به ایمنی مسیل‌ها در ملبورن استرالیا تهیه

#### نظریه‌های ارائه شده در AR&R

##### ۱. Department of Public Works (۱۹۸۶)

در DPW (1986) صرفاً محدوده‌های پایداری توسعه داده شده توسط گوردون<sup>۱</sup> و استون<sup>۲</sup> (۱۹۷۳) مدنظر قرار گرفته است (Golmohammadi and Shokoohi, 2022). روابط پایداری ارائه شده در این راهنما به صورت مقادیر ثابت  $D.V$  نیست و حدهای نهایی پایداری عمق و سرعت سیلاب در آن ارائه شده است. در این نظریه عمق ۰/۳ متر و سرعت ۲ متر بر ثانیه به عنوان حد نهایی پایداری پیشنهاد شده است. رابطه پایداری ارائه شده در آن برای انواع مختلف وسایل نقلیه مطابق رابطه (۱) و نمودار حد نهایی پایداری این نظریه در شکل (۴) قابل مشاهده می‌باشد.

$$\frac{-11.V + 3.3}{D} < 1 \quad (1)$$



شکل ۴. حد نهایی پایداری وسایل نقلیه در سیلاب بر اساس نظریه Department of Public Works (1986)

لازم به ذکر است رابطه و نمودار حد نهایی پایداری ارائه شده در نظریه Floodplain Development Manual

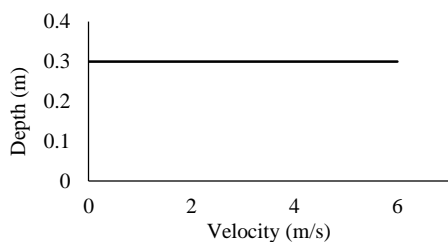
<sup>1</sup> Gordon  
<sup>2</sup> Stone

EMA (1997) مورد استفاده قرار نخواهد گرفت. به طور خلاصه در این راهنما توصیه شده است که اگر سطح آب به سپر جلو یا بالاتر از آن رسید آن قدر به خودرو شتاب دهند تا یک موج کمانی در جلوی خودرو ایجاد شود و آب وارد موتور نشود. بعلاوه برای حفظ این موج کمانی سرعت باید ثابت نگاه داشته شود. با توجه به این موضوع، برای جلوگیری از ورود آب به داخل محفظه موتور، یک ورق بوم یا برزنت در سراسر جلوی پنجره خودرو توصیه شده است. شرط پایداری ارائه شده در این نظریه مطابق رابطه (۲) است. همان طور که مشخص است در این نظریه مقداری برای حد نهایی سرعت تعریف نشده و تأثیر آن بر ناپایداری خودروها مدنظر قرار نگرفته است.

$$D \geq 750\text{mm} \quad (2)$$

#### ۵. EMA (۱۹۹۹)

در این راهنما که نسخه به روز شده (EMA 1997) می باشد بهترین راهکارها برای مدیریت سیلاب دشت‌ها در استرالیا جمع‌آوری شده است. در آن اظهار شده است خودروهای کوچک و سبک که ارتفاع موتور آن‌ها از سطح زمین کم است در عمق‌های بیشتر از ۰/۳ متر ناپایدار می‌شوند. این در حالی است که خودروهای بزرگ تر با ارتفاع موتور بیشتر تا عمق ۰/۴ متر پایدار هستند. نمودار حد نهایی پایداری این نظریه در شکل (۷) نشان داده شده است. در این راهنما نیز صحبتی از حد نهایی سرعت نشده و تأثیر آن بر ناپایداری وسایل نقلیه مدنظر نبوده است.

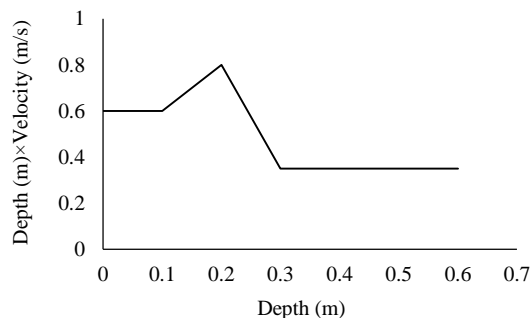


شکل ۷. حد نهایی پایداری وسایل نقلیه سبک در سیلاب بر اساس نظریه EMA (1999)

و در آن از نتایج تحقیقات کلر<sup>۱</sup> و میتچ<sup>۲</sup> (۱۹۹۳) استفاده شده است. شاخص هیدرودینامیکی پایداری ارائه شده در این راهنما به شکل حاصل ضرب عمق در سرعت سیلاب در بازه‌های مشخصی از عمق است که در جدول (۲) آورده شده است. هم‌چنین می‌توان نمودار حد نهایی پایداری این نظریه را در شکل (۶) مشاهده کرد. بعلاوه در این نظریه حد نهایی عمق ۰/۶ متر تعریف شده ولی مقداری برای حد نهایی سرعت معین نشده است (Keller and Mitsch, 1993).

جدول ۲. روابط پایداری ارائه شده در نظریه Melbourne Water (1996)

رابطه پایداری	محدوده عمق
$D.V \leq 0.6$	$D \leq 0.1 \text{ m}$
$D.V \leq 0.8$	$D = 0.2 \text{ m}$
$D.V \leq 0.35$	$D \geq 0.3 \text{ m}$



شکل ۶. حد نهایی پایداری وسایل نقلیه در سیلاب بر اساس نظریه Melbourne Water (1996)

#### ۴. EMA (۱۹۹۷)

EMA یک آژانس دولتی در استرالیا است که بحران‌های ناشی از وقوع بلایای طبیعی را مدیریت می‌کند. این سازمان به منظور برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران سیل چندین راهنما به کمک سازمان‌های محلی و دولتی منتشر کرده است. EMA (1997) فقط برای وسایل نقلیه چهارچرخ (4WD) و بزرگ ارائه شده است و بر روی دستورالعمل‌های کلی تمرکز دارد. همان طور که گفته شد، در تحقیق حاضر فقط به میزان خسارات خودروهای سبک و سواری در سیلاب پرداخته شده است و بنابراین نظریه

<sup>1</sup> Keller

<sup>2</sup> Mitsch

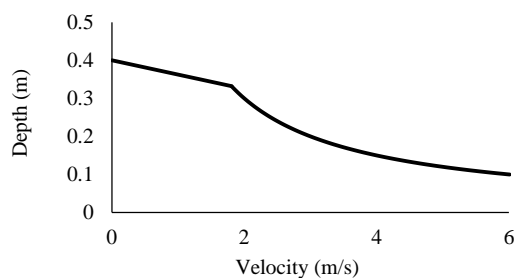
۶. Moor and Power (۲۰۰۲)

در این نظریه مور<sup>۱</sup> و پاور<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) اظهار داشتند زمانی که عمق سیل زیاد و سرعت آن کم است، نیروی شناوری در ناپایدار کردن خودرو تأثیر بیشتری دارد و زمانی که عمق سیل کم و سرعت آن زیاد باشد، نیروی کشنده (درگ) در این امر مؤثرتر است (Moor and Power, 2002). بر این اساس روابط پایداری پیشنهادشده در این نظریه در انتقال بین شرایط بحرانی به فوق بحرانی متغیر است. از این رو یک رابطه خطی برای زمانی که جریان بحرانی است ( $V \leq 1.81$ ) و یک رابطه غیرخطی برای جریان فوق بحرانی ( $V > 1.81$ ) پیشنهاد شد. هم چنین حد نهایی عمق  $0.4$  متر تعیین شده ولی مقداری برای حد نهایی سرعت تعریف نشده است. روابط پایداری این نظریه در جدول (۳) و نمودار آن‌ها در شکل (۸) نشان داده شده است.

جدول ۳. روابط پایداری ارائه شده در نظریه Moor and Power

(2002) برای شرایط بحرانی و فوق بحرانی

محدوده سرعت	رابطه پایداری
$V \leq 1.81$	$D \leq (0.4 - 0.0376V)$
$V > 1.81$	$D.V \leq 0.6$



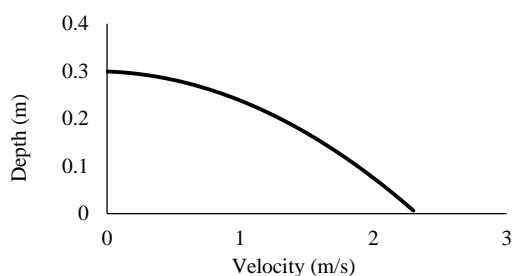
شکل ۸. حد نهایی پایداری وسایل نقلیه در سیلاب بر اساس نظریه Moor and Power (2002)

۷. Austroads (۲۰۰۸)

طبق آنچه در این راهنما آمده است و بر اساس طول مسیر و سرعت سیلاب، خودروهای سواری در عمق کمتر از  $30$  سانتیمتر پایدار هستند. هم چنین اگر ارتفاع

هیدرولیکی کل که برابر با مجموع عمق آب و ارتفاع معادل سرعت می باشد بیشتر از  $30$  سانتی متر شود، خودرو ناپایدار خواهد شد. شرط پایداری و نمودار حد نهایی پایداری ارائه شده در این راهنما مطابق رابطه (۳) و شکل (۹) است. در این راهنما حد نهایی عمق  $0.3$  متر و حد نهایی سرعت  $2/3$  متر بر ثانیه می باشد.

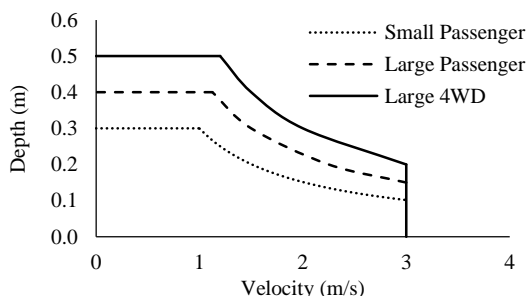
$$D + \frac{V^2}{2g} \leq 0.3 \quad (3)$$



شکل ۹. حد نهایی پایداری وسایل نقلیه در سیلاب بر اساس نظریه Austroads (2008)

۸. AR&R (۲۰۱۱)

این راهنما توسط مهندسين استرالیا ارائه شده است و کاربرد گسترده ای دارد. معیارها و روابط پایداری ارائه شده در این راهنما برای سه دسته خودرو کوچک، بزرگ و بزرگ 4WD و مقادیر حد نهایی عمق و سرعت در جدول (۴) آورده شده است. هم چنین نمودار حد نهایی پایداری این سه دسته خودرو در شکل (۱۰) قابل مشاهده می باشد.



شکل ۱۰. حد نهایی پایداری وسایل نقلیه در سیلاب بر اساس نظریه (Shand et al., 2011) AR&R (2011)

<sup>1</sup> Moor  
<sup>2</sup> Power



جدول ۴. روابط پایداری و حدهای عمق و سرعت وسایل نقلیه در سیلاب بر اساس نظریه (AR&R (2011) (Shand et al., 2011)

رابطه پایداری	حد نهایی سرعت (m/s)	حد نهایی عمق شناوری (m)	فاصله شاسی از سطح زمین (m)	وزن خالص (kg)	طول (m)	نوع وسیله نقلیه
$D.V \leq 0.3$	۳	۰/۳	$۰/۱۲ >$	$۱۲۵۰ >$	$۴/۳ >$	کوچک
$D.V \leq 0.45$	۳	۰/۴	$۰/۱۲ <$	$۱۲۵۰ <$	$۴/۳ <$	بزرگ
$D.V \leq 0.6$	۳	۰/۵	$۰/۲۲ <$	$۲۰۰۰ <$	$۴/۵ <$	بزرگ 4WD

نتایج و بحث  
همان‌طور که گفته شد، برای تعیین میزان خسارات وارده به وسایل نقلیه در سیلاب ابتدا باید وضعیت پایداری و ناپایداری آن‌ها مشخص شود. برای این منظور ابتدا رابطه پایداری و نمودار حد نهایی هر نظریه مورد ارزیابی قرار گرفت و اصلاحات لازم انجام شد. سپس به کمک روابط پایداری هر نظریه، نقشه پایداری در محدوده پارکینگ تولید گردید. پس‌از آن با تلفیق نمودار حد نهایی پایداری هر نظریه با نمودار خسارت HAZUS-MH، خسارت خودروهای سواری در سیلاب با استفاده از الگوریتم توسعه داده‌شده محاسبه شد. در ادامه محاسبات مربوط به هر نظریه و نقشه‌های تولیدشده برای هر کدام از نظریه‌های موردنظر به‌طور جداگانه شرح داده شده است.

جدول ۵. رابطه پایداری اصلاح‌شده نظریه‌های (DPW (1986) و

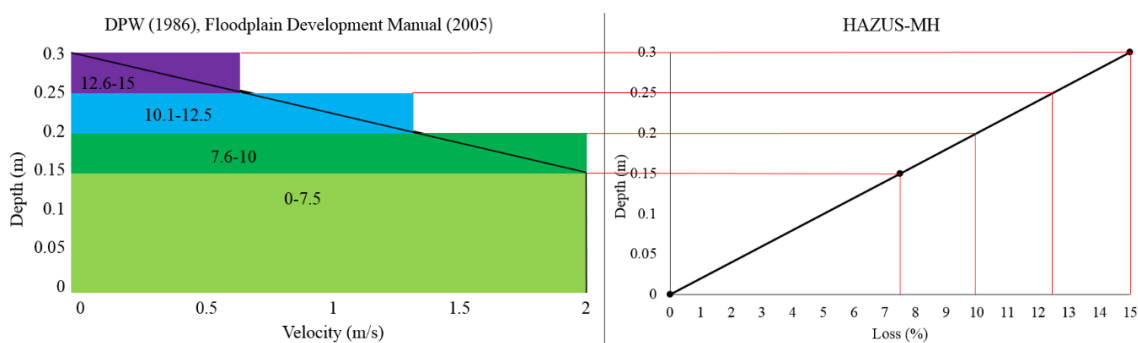
Floodplain Development Manual (2005)	
رابطه پایداری	محدوده عمق
$-0.075 \times V + 0.3 > D$	$D > 0.15$
$V = 2$	$D \leq 0.15$

برای تولید نقشه ریسک در محدوده پارکینگ، دو نمودار شکل‌های (۳) و (۴) به کمک فصل مشترک آن‌ها یعنی عمق با یکدیگر تلفیق شدند و سطح زیر نمودار پایداری به‌عنوان مناطق پایدار زون بندی شد. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار در شکل (۱۱) قابل مشاهده می‌باشد و الگوریتم‌های پایداری نوشته‌شده برای تولید نقشه ریسک در جدول (۶) آورده شده است. نقشه ریسک تولیدشده برای نظریه‌ها Department of Public Works Floodplain Development Manual (2005) و (1986) در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

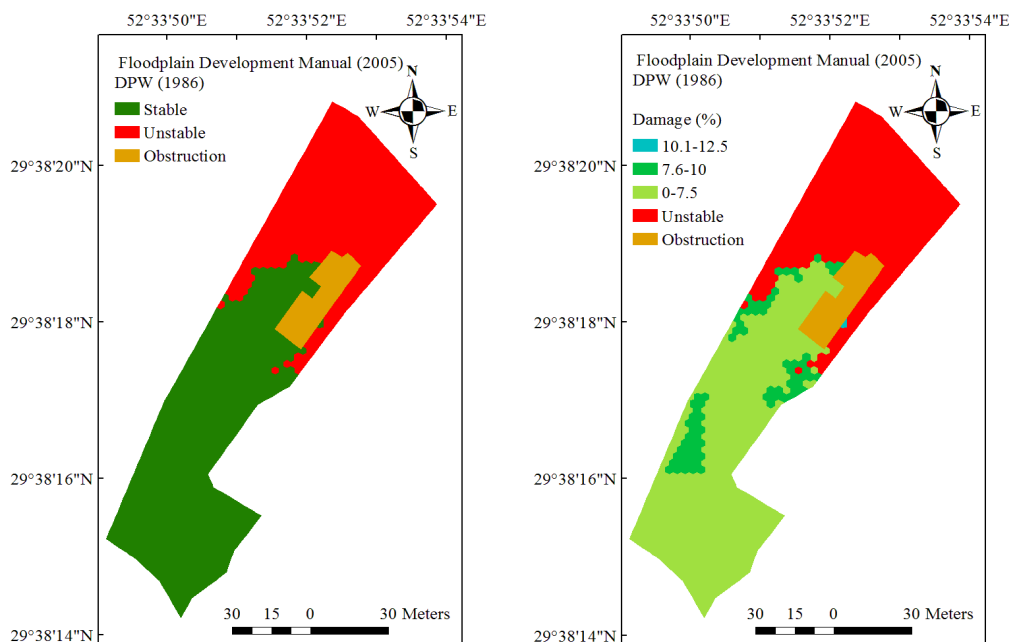
#### ۱. محاسبه خسارت با استفاده از نظریه Department of Public

#### Works (1986) و Floodplain Development Manual (2005)

با ارزیابی‌های صورت گرفته از این نظریه و با عددگذاری در رابطه (۱)، مشخص گردید این رابطه و نمودار شکل (۴) به‌طور کامل به هم همخوانی ندارند. لذا در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از رگرسیون، معادله



شکل ۱۱. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری نظریه‌های (DPW (1986) و Floodplain Development Manual (2005)



شکل ۱۲. نقشه‌های پایداری و ریسک تولیدشده برای نظریه‌های DPW (1986) و Floodplain Development Manual (2005)

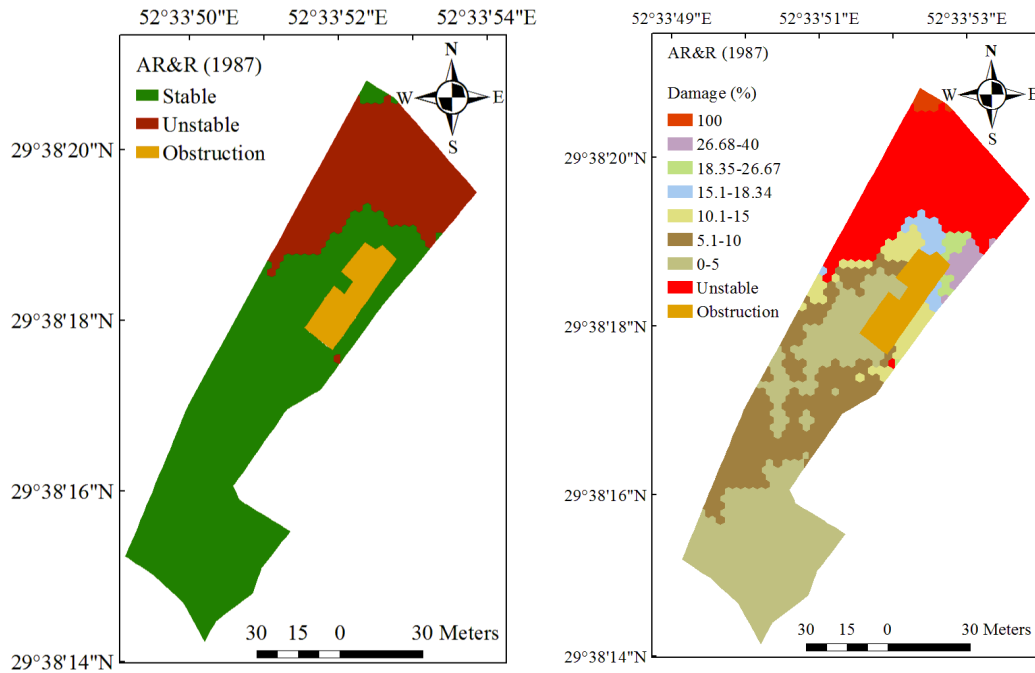
جدول ۶. الگوریتم نوشته‌شده برای تولید نقشه ریسک برای نظریه‌های DPW (1986) و Floodplain Development Manual (2005)

Zone number	SQL	Damage range (%)	Color
1	MaxDepth >= 0 AND MaxDepth < 0.15 AND MaxVelocit <= 2	0-7.5	Light Green
2	MaxDepth >= 0.15 AND MaxDepth < 0.2 AND MaxVelocit <= 2	7.6-10	Green
3	MaxDepth >= 0.2 AND MaxDepth < 0.25 AND MaxVelocit <= 1.3	10.1-12.5	Cyan
4	MaxDepth >= 0.25 AND MaxDepth < 0.28 AND MaxVelocit <= 0.65	12.6-15	Purple

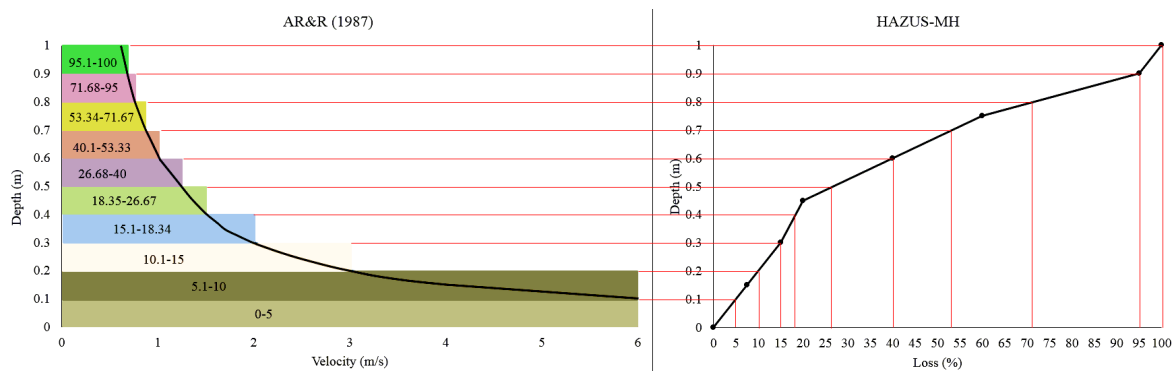
نکته قابل توجه در شکل (۱۳) وجود ۱۰ سلول پایدار می‌باشد که در هیچ‌کدام از زون‌های تعریف‌شده قرار نگرفته‌اند. با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد این سلول‌ها دارای اعماق بیشتر از یک متر و سرعت‌های کمتر از ۰/۵ متر بر ثانیه هستند. از این رو آن مقادیر در شاخص هیدرودینامیکی  $D.V \leq 0.6$  صدق می‌کنند اما به دلیل داشتن اعماق بالای یک متر در هیچ زونی جای نمی‌گیرند. پس مقادیر خسارت آن‌ها مطابق با الگوریتم زون شماره ۱۱ در جدول (۷) تعریف می‌گردد. یعنی اگر عمق سلولی بیشتر از یک متر باشد مقدار خسارت بدون در نظر گرفتن سرعت ۱۰۰ درصد تعیین می‌شود.

## ۲. محاسبه خسارت با استفاده از نظریه AR&R (1987)

برای تولید نقشه پایداری خودروهای سواری برای این نظریه از رابطه  $D.V \leq 0.6$  استفاده شد که در شکل (۱۳) نشان داده شده است. از آنجایی نمودار پایداری این نظریه (شکل (۵)) تا عمق یک متر قابل‌گسترش است و مقادیر خسارت را نیز می‌توان تا عمق یک متر از نمودار عمق-خسارت HAZUS-MH برداشت نمود، محور عمق در شکل (۵) تا یک متر توسعه یافت و سپس به کمک عمق با نمودار مدل HAZUS-MH تلفیق شد. در نهایت سطح زیر نمودار پایداری زون بندی و الگوریتم آن برای تولید نقشه ریسک (شکل (۱۳)) در محدوده پارکینگ نوشته شد. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار در شکل (۱۴) و الگوریتم خسارت نوشته‌شده در جدول (۷) آورده شده است.



شکل ۱۳. نقشه‌های پایداری و ریسک تولیدشده برای نظریه AR&R (1987)



شکل ۱۴. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری نظریه AR&R (1987)

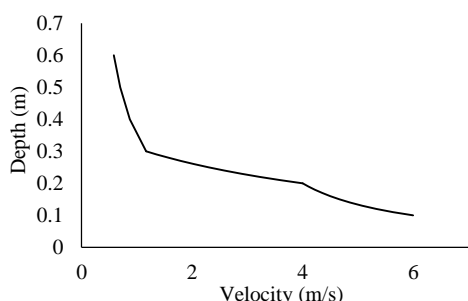
جدول ۷. الگوریتم نوشته شده برای تولید نقشه ریسک برای نظریه AR&R (1987)

Zone number	SQL	Damage range (%)	Color
1	MaxDepth >= 0 AND MaxDepth < 0.1 AND MaxVelocit <= 6	0-5	
2	MaxDepth >= 0.1 AND MaxDepth < 0.2 AND MaxVelocit <= 6	5.1-10	
3	MaxDepth >= 0.2 AND MaxDepth < 0.3 AND MaxVelocit <= 3	10.1-15	
4	MaxDepth >= 0.3 AND MaxDepth < 0.4 AND MaxVelocit <= 2	15.1-18.34	
5	MaxDepth >= 0.4 AND MaxDepth < 0.5 AND MaxVelocit <= 1.5	18.35-26.67	
6	MaxDepth >= 0.5 AND MaxDepth < 0.6 AND MaxVelocit <= 1.2	26.68-40	
7	MaxDepth >= 0.6 AND MaxDepth < 0.7 AND MaxVelocit <= 1	40.1-53.33	
8	MaxDepth >= 0.7 AND MaxDepth < 0.8 AND MaxVelocit <= 0.86	53.34-71.67	
9	MaxDepth >= 0.8 AND MaxDepth < 0.9 AND MaxVelocit <= 0.75	71.68-95	
10	MaxDepth >= 0.9 AND MaxDepth < 1 AND MaxVelocit <= 0.67	95.1-100	
11	MaxDepth >= 1	100	

چنین نقشه ریسک تولیدشده در محدوده پارکینگ برای این نظریه در شکل (۱۶) قابل مشاهده است.

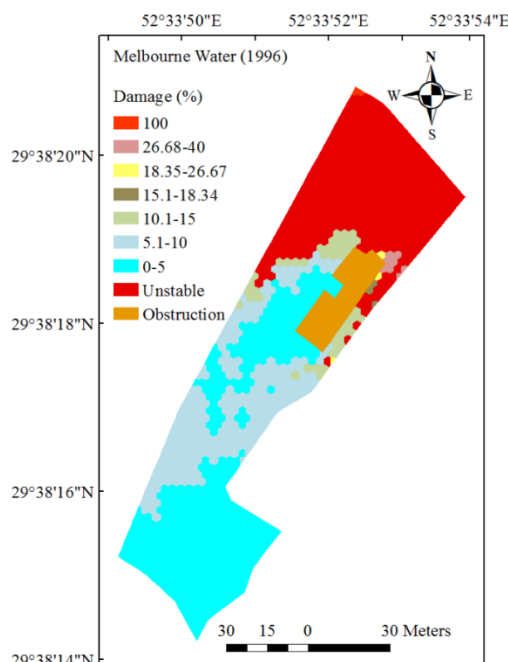
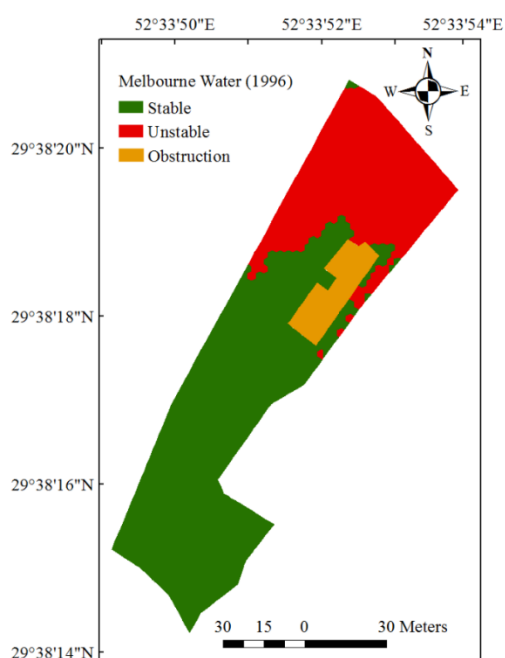
جدول ۸ روابط پایداری اصلاح شده نظریه (Melbourne Water 1996)

محدوده عمق	رابطه پایداری
$D \leq 0.1 \text{ m}$	$D.V \leq 0.6$
$0.1 < D \leq 0.2$	$D.V = 2D + 0.4 \rightarrow V \leq 2 + \frac{0.4}{D}$
$0.2 < D \leq 0.3$	$D.V = -4.5D + 1.7 \rightarrow V \leq \frac{1.7}{D} - 4.5$
$D > 0.3 \text{ m}$	$D.V \leq 0.35$

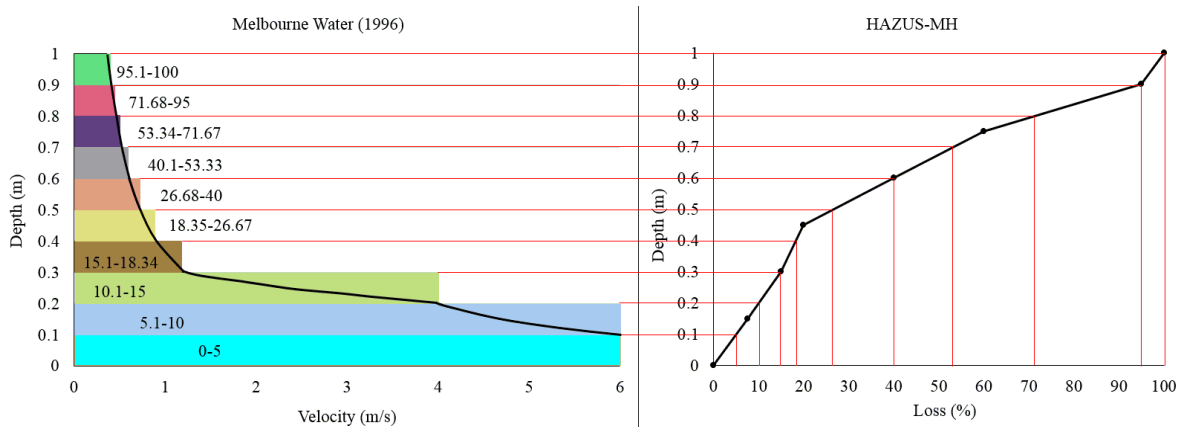


شکل ۱۵ نمودار عمق-سرعت نظریه (Melbourne Water 1996) ترسیم شده با استفاده روابط جدول (۸)

۳. محاسبه خسارت با استفاده از نظریه (Melbourne Water 1996) با توجه به شکل (۶) و روابط پایداری آورده شده در جدول (۲) مشخص است رابطه پایداری برای  $0.1 < D \leq 0.2$  و  $0.2 < D \leq 0.3$  ارائه نشده است. برای دستیابی به رابطه پایداری در دو بازه مذکور، ابتدا با استفاده از شکل (۶) و رگرسیون رابطه بین حاصل ضرب عمق در سرعت و عمق در دو بازه مذکور به دست آمد. سپس مطابق جدول (۸) روابط پایداری برای آن دو بازه برحسب عمق و سرعت حاصل گردید که نمودار عمق-سرعت در شکل (۱۵) و نقشه پایداری نشان داده شده در شکل (۱۶) با استفاده از آنها تولید شدند. بعلاوه همانطور که در شکل (۱۷) نشان داده شده است، برای تولید نقشه ریسک نیز ابتدا محور عمق در شکل (۱۵) تا یک متر بسط یافت و سپس با نمودار عمق-خسارت شکل (۳) تلفیق گردید و سپس سطح زیر نمودار شکل (۱۵) به عنوان مناطق پایدار زون بندی شد. در نهایت الگوریتم خسارت برای تولید نقشه ریسک نوشته شد که در جدول (۹) آورده شده است. هم



شکل ۱۶. نقشه‌های پایداری و ریسک تولیدشده برای نظریه (Melbourne Water 1996)



شکل ۱۷. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری نظریه Melbourne Water (1996)

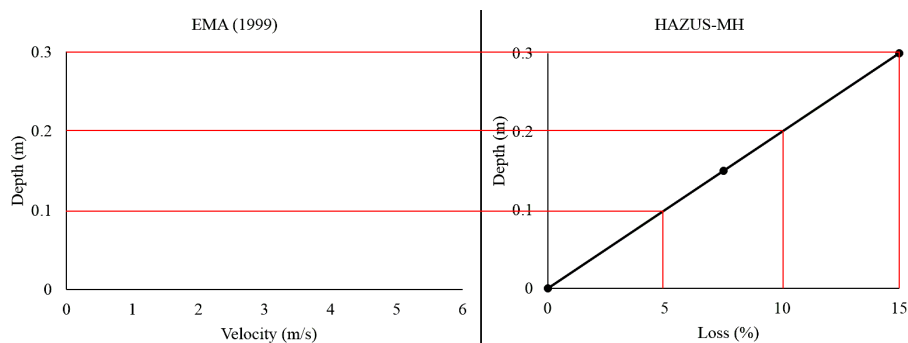
جدول ۹. الگوریتم نوشته شده برای تولید نقشه ریسک برای نظریه Melbourne Water (1996)

Zone number	SQL	Damage range (%)	Color
1	MaxDepth $\geq$ 0 AND MaxDepth $<$ 0.1 AND MaxVelocit $\leq$ 6	0-5	
2	MaxDepth $\geq$ 0.1 AND MaxDepth $<$ 0.2 AND MaxVelocit $\leq$ 6	5.1-10	
3	MaxDepth $\geq$ 0.2 AND MaxDepth $<$ 0.3 AND MaxVelocit $\leq$ 4	10.1-15	
4	MaxDepth $\geq$ 0.3 AND MaxDepth $<$ 0.4 AND MaxVelocit $\leq$ 1.17	15.1-18.34	
5	MaxDepth $\geq$ 0.4 AND MaxDepth $<$ 0.5 AND MaxVelocit $\leq$ 0.88	18.35-26.67	
6	MaxDepth $\geq$ 0.5 AND MaxDepth $<$ 0.6 AND MaxVelocit $\leq$ 0.7	26.68-40	
7	MaxDepth $\geq$ 0.6 AND MaxDepth $<$ 0.7 AND MaxVelocit $\leq$ 0.58	40.1-53.33	
8	MaxDepth $\geq$ 0.7 AND MaxDepth $<$ 0.8 AND MaxVelocit $\leq$ 0.5	53.34-71.67	
9	MaxDepth $\geq$ 0.8 AND MaxDepth $<$ 0.9 AND MaxVelocit $\leq$ 0.44	71.68-95	
10	MaxDepth $\geq$ 0.9 AND MaxDepth $<$ 1 AND MaxVelocit $\leq$ 0.39	95.1-100	
11	MaxDepth $\geq$ 1	100	

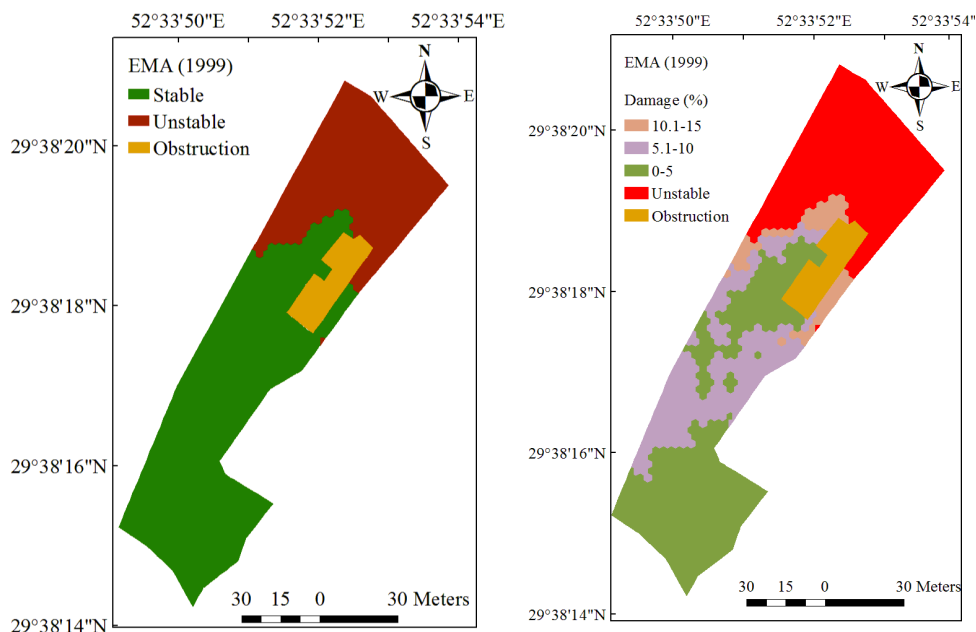
#### ۴. محاسبه خسارت با استفاده از نظریه EMA (1999)

ریسک در محدوده پارکینگ مقادیر خسارت مستقیماً از روی نمودار HAZUS-MH برداشت شد که الگوریتم تولید آن نقشه نیز در جدول (۱۰) آورده شده است. نقشه ریسک تولیدشده برای این نظریه در شکل (۱۸) نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، رابطه پایداری ارائه شده در این نظریه یعنی  $D \leq 0.3$  فقط برحسب عمق سیل است و تأثیر سرعت در ناپایدار کردن خودرو در آن مدنظر قرار نگرفته است. نقشه پایداری تولیدشده با استفاده از این رابطه در شکل (۱۹) قابل مشاهده است. با توجه به شکل (۱۸)، برای تولید نقشه



شکل ۱۸. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری نظریه EMA (1999) و برداشت مستقیم خسارت از روی نمودار مدل HAZUS-MH



شکل ۱۹. نقشه‌های پایداری و ریسک تولیدشده برای نظریه EMA (1999)

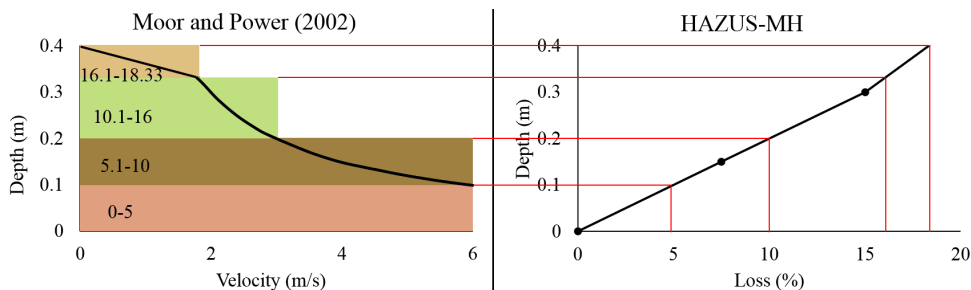
جدول ۱۰. الگوریتم نوشته‌شده برای تولید نقشه ریسک برای نظریه EMA (1999)

Zone number	SQL	Damage range (%)
1	MaxDepth >= 0 AND MaxDepth < 0.1	0-5
2	MaxDepth >= 0.1 AND MaxDepth < 0.2	5.1-10
3	MaxDepth >= 0.2 AND MaxDepth ≤ 0.3	10.1-15

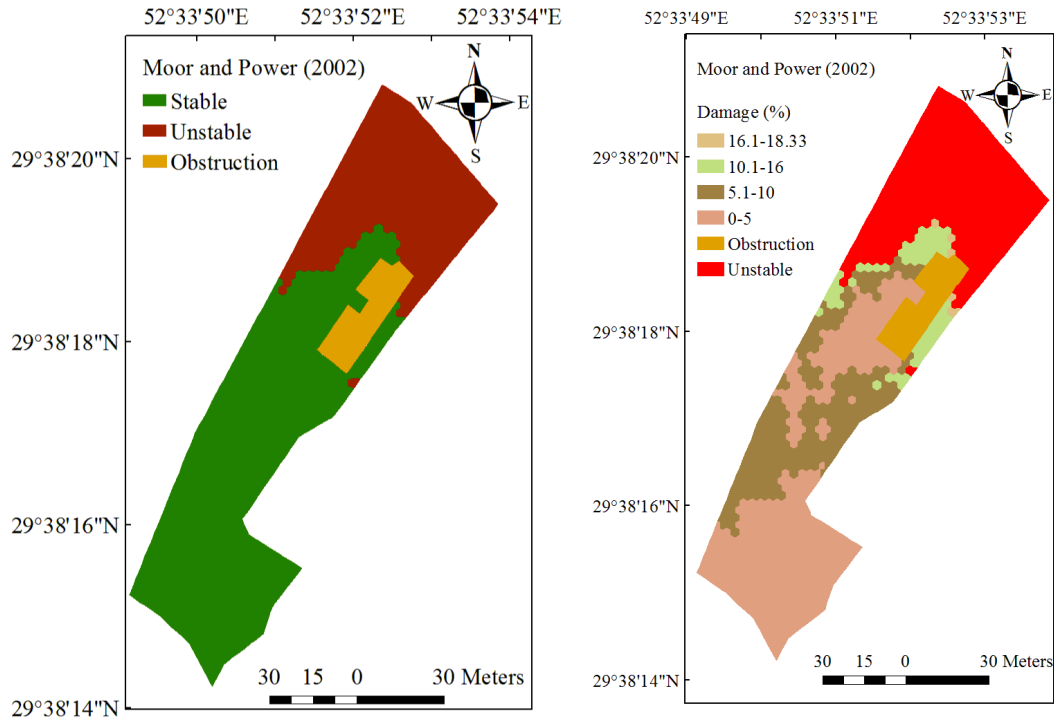
۵. محاسبه خسارت با استفاده از نظریه (Moor and Power (2002)

مور و پاور به‌عنوان مناطق پایدار زون بندی شد (Moor and Power, 2002). نحوه زون بندی و الگوریتم نوشته شده برای تولید نقشه ریسک مطابق با شکل (۲۰) و جدول (۱۱) می‌باشد. هم‌چنین نقشه ریسک تولیدشده در شکل (۲۱) قابل مشاهده است.

نقشه پایداری خودروهای سواری در محدوده پارکینگ با استفاده از روابط آورده‌شده در جدول (۳) تولید شد که در شکل (۲۱) نشان داده شده است. برای تولید نقشه ریسک دو نمودار در شکل‌های (۳) و (۸) با یکدیگر تلفیق شدند و سطح زیر نمودار پایداری نظریه



شکل ۲۰. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری نظریه (Moor and Power (2002)



شکل ۲۱. نقشه‌های پایداری و ریسک تولیدشده برای نظریه Moor and Power (2002)

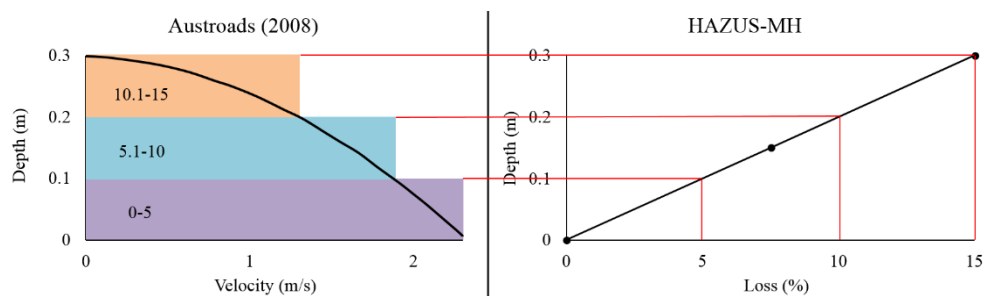
جدول ۱۱. الگوریتم نوشته‌شده برای تولید نقشه ریسک برای نظریه Moor and Power (2002)

Zone number	SQL	Damage range (%)	Color
1	MaxDepth >= 0 AND MaxDepth < 0.1 AND MaxVelocit <= 6	0-5	
2	MaxDepth >= 0.1 AND MaxDepth < 0.2 AND MaxVelocit <= 6	5.1-10	
3	MaxDepth >= 0.2 AND MaxDepth < 0.33 AND MaxVelocit <= 3	10.1-16	
4	MaxDepth >= 0.33 AND MaxDepth < 0.4 AND MaxVelocit <= 1.81	16.1-18.33	

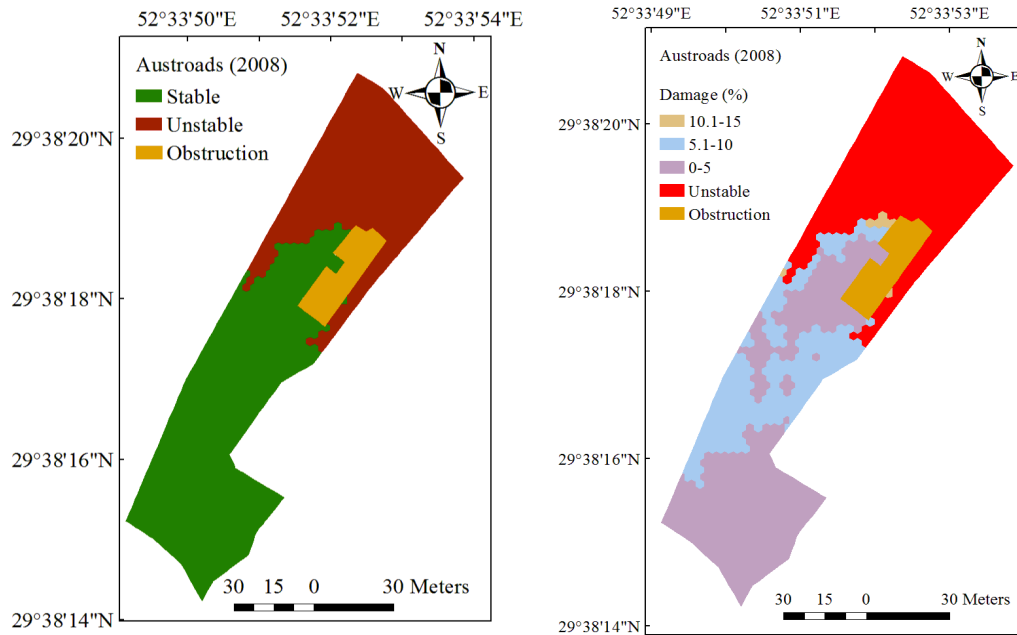
#### ۶. محاسبه خسارت با استفاده از نظریه Austroads (2008)

حد پایداری در شکل (۲۲) قابل مشاهده می‌باشد و الگوریتم‌های پایداری نوشته‌شده برای تولید نقشه ریسک در جدول (۱۲) آورده شده است. بعلاوه نقشه ریسک تولیدشده برای نظریه Austroads (2008) در شکل (۲۳) قابل مشاهده است.

برای تولید نقشه پایداری (شکل ۲۳) برای این نظریه از رابطه (۳) استفاده شد. هم‌چنین برای تولید نقشه ریسک در محدوده پارکینگ، دو نمودار شکل‌های (۳) و (۹) به کمک فصل مشترک آن‌ها یعنی عمق با یکدیگر تلفیق شدند و سطح زیر نمودار حد پایداری به‌عنوان مناطق پایدار زون بندی شد. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار



شکل ۲۲. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری نظریه Austroads (2008)



شکل ۲۳. نقشه‌های پایداری و ریسک تولیدشده برای نظریه Austroads (2008)

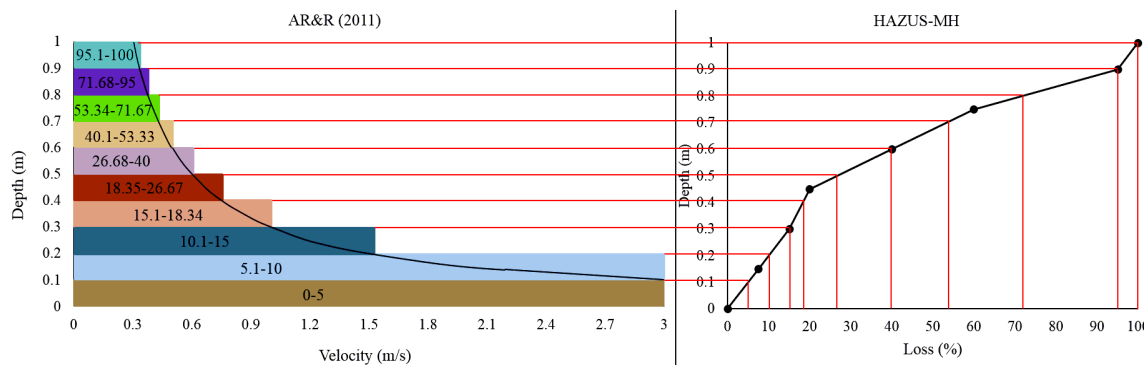
جدول ۱۲. الگوریتم نوشته‌شده برای تولید نقشه ریسک برای نظریه Austroads (2008)

Zone number	SQL	Damage range (%)	Color
1	MaxDepth >= 0 AND MaxDepth < 0.1 AND MaxVelocit <= 2.3	0-5	
2	MaxDepth >= 0.1 AND MaxDepth < 0.2 AND MaxVelocit <= 1.9	5.1-10	
3	MaxDepth >= 0.2 AND MaxDepth < 0.3 AND MaxVelocit <= 1.3	10.1-15	

۷. محاسبه خسارت با استفاده از نظریه AR&R (2011)

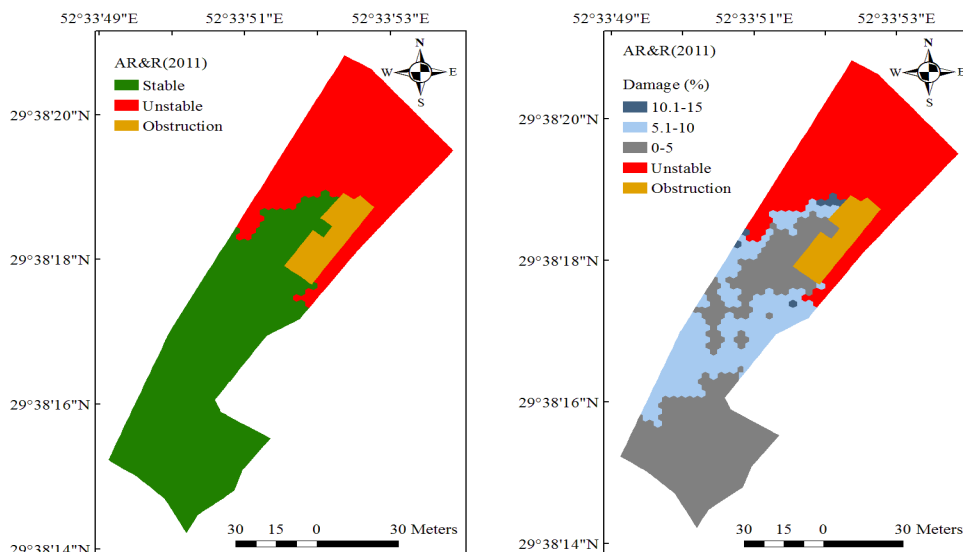
یک متر بسط یافت و سپس با کمک عمق با نمودار مدل HAZUS-MH تلفیق شد. در نهایت سطح زیر نمودار پایداری زون بندی و الگوریتم آن برای تولید نقشه ریسک (شکل ۲۵) در محدوده پارکینگ نوشته شد. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار در شکل (۲۴) و الگوریتم خسارت نوشته‌شده در جدول (۱۳) آورده شده است.

نقشه پایداری تولیدشده برای این نظریه با رابطه پایداری  $D.V \leq 0.3$  در شکل (۲۵) نشان داده شده است. از آنجایی نمودار پایداری این نظریه (شکل ۱۰) تا عمق یک متر قابل‌گسترش است و مقادیر خسارت را نیز می‌توان تا عمق یک متر از نمودار عمق-خسارت HAZUS-MH برداشت نمود، محور عمق در شکل (۱۰) تا عمق



شکل ۲۴. نحوه زون بندی سطح زیر نمودار حد پایداری نظریه AR&R (2011)





شکل ۲۵. نقشه‌های پایداری و ریسک تولیدشده برای نظریه Austroads (2008)

جدول ۱۳. الگوریتم نوشته‌شده برای تولید نقشه ریسک برای نظریه AR&R (2011)

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 < 0.2 AND MaxVelocit <= 3	5.1-10	Light Blue
3	MaxDepth >= 0.2 AND MaxDepth < 0.3 AND MaxVelocit <= 1.5	10.1-15	Dark Blue
4	MaxDepth >= 0.3 AND MaxDepth < 0.4 AND MaxVelocit <= 1	15.1-18.34	Light Red
5	MaxDepth >= 0.4 AND MaxDepth < 0.5 AND MaxVelocit <= 0.75	18.35-26.67	Dark Red
6	MaxDepth >= 0.5 AND MaxDepth < 0.6 AND MaxVelocit <= 0.6	26.68-40	Light Purple
7	MaxDepth >= 0.6 AND MaxDepth < 0.7 AND MaxVelocit <= 0.5	40.1-53.33	Orange
8	MaxDepth >= 0.7 AND MaxDepth < 0.8 AND MaxVelocit <= 0.43	53.34-71.67	Green
9	MaxDepth >= 0.8 AND MaxDepth < 0.9 AND MaxVelocit <= 0.38	71.68-95	Purple
10	MaxDepth >= 0.9 AND MaxDepth < 1 AND MaxVelocit <= 0.33	95.1-100	Cyan

### خلاصه نتایج

هر زون برابر با تعداد سلول‌های دوبعدی همان زون است. از طرفی با توجه به آنکه این سیل در ایام عید رخ داد، فرض شد به دلیل ازدحام جمعیت ظرفیت پارکینگ تکمیل بوده است. هم‌چنین مقدار خسارت خودروی ناپایدار نیز ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. برای محاسبه مقادیر مجموع خسارت آورده شده در جدول (۱۴)، ابتدا درصد خسارت‌های تعیین‌شده در الگوریتم‌های نوشته‌شده برای هرکدام از نظریه‌ها در قیمت خودرو مذکور ضرب شد. با فرض آنکه میانه هر دسته خسارت معرف آن دسته است و نیمی از خودروهای نو و نیمی دیگر دست‌دوم هستند (بر اساس مدل HAZUS-MH ارزشی برابر با ۵۰ درصد قیمت خودرو نو دارند)، مقادیر مجموع خسارت خودروهای پایدار و ناپایدار برای هرکدام از نظریه‌ها محاسبه شد.

در نهایت تعداد سلول‌های ناپایدار و پایدار و هم‌چنین ماکزیمم خسارت به‌دست‌آمده برحسب درصد پس از تولید نقشه ریسک در محدوده پارکینگ برای هر نظریه در جدول (۱۴) آورده شده است. به‌منظور کاربردی کردن نتایج به‌دست‌آمده مجموع خسارت وارده بر عمومی‌ترین خودروی ایران یعنی خودروی پراید ۱۳۱ به‌عنوان خودرو شاخص با قیمت ۴۰۵۰۰۰۰۰ تومان در تاریخ وقوع سیل دروازه قرآن شیراز (۵ فروردین ۱۳۹۸) محاسبه گردید. از آنجایی‌که مساحت این خودرو ۶/۳۲ مترمربع و مساحت هر سلول دوبعدی به‌طور متوسط ۷/۶ مترمربع است و با در نظر گرفتن فواصل پارک بین خودروها در پارکینگ، فرض شد در هر سلول دوبعدی یک خودرو پراید ۱۳۱ جای می‌گیرد. بنابراین تعداد خودروها در

جدول ۱۴. تعداد سلول‌های پایدار، ناپایدار و ماکزیمم خسارت خودرو سواری پایدار به دست‌آمده برای هر نظریه

نظریه	پایدار	ناپایدار	سواری پایدار (%)	(تومان)
DPW (1986), Floodplain Development Manual (2005)	۶۲۷	۴۲۳	۱۲/۵	۱۳,۶۸۳,۹۸۳,۰۶۳
AR&R (1987)	۷۶۲	۲۸۸	۴۰	۱۰,۲۶۴,۹۸۵,۲۱۳
Melbourne Water (1996)	۷۰۲	۳۵۸	۴۰	۱۲,۱۱۹,۲۷۲,۶۵۰
EMA (1999)	۶۹۱	۳۵۹	۱۵	۱۱,۹۶۸,۳۵۷,۵۰۰
Moor and Power (2002)	۷۰۰	۳۵۰	۱۸/۳۳	۱۱,۷۴۸,۹۳۰,۰۱۹
Austrroads (2008)	۶۳۲	۴۱۸	۱۵	۱۳,۵۴۳,۱۶۴,۵۶۳
AR&R (2011)	۶۰۱	۴۴۹	۱۵	۱۴,۰۳۱,۹۸۹,۴۳۸

## نتیجه‌گیری

نظریه (2011) AR&R نظریه‌های (1986) DPW و (2008) Austrroads بالاترین خسارت و در واقع مقادیری نزدیک به (2011) AR&R را محاسبه کردند. این امر نشان می‌دهد که علیرغم تئوری ضعیف این دو نظریه اخیر نسبت به (2011) AR&R، به علت محدوده وسیع ناپایداری که برای وسایل نقلیه به دست می‌دهند عملاً مقادیری نزدیک به هم برای خسارت را به دست می‌دهند. این‌طور به نظر می‌رسد که مشکلات تئوریک دو نظریه (1986) DPW و (2008) Austrroads در صورتی که بتوان برای محدوده ناپایداری وسایل نقلیه با مطالعات بیشتر مقدار واقعی خسارت را به دست داد، خود را آشکار خواهند ساخت و میزان خسارت محاسبه شده توسط سه روش اختلافی معنی‌دار پیدا خواهد کرد. از طرف دیگر از آنجایی که در الگوریتم‌های خسارت نوشته شده برای تمامی نظریه‌ها از مقادیر خسارت ارائه شده در مدل HAZUS-MH استفاده شده است و مقادیر عمق نیز در این نظریه‌ها یکسان و از صفر تا نهایتاً یک متر می‌باشد، به نظر می‌رسد علت اختلاف بین مقادیر خسارت به دست‌آمده برای هر یک از نظریه‌ها، مدنظر قرار دادن متغیر مهم سرعت سیل است که دستیابی به نتایج دقیق‌تری را موجب می‌شود.

در نظریه‌های پایداری وسایل نقلیه در سیلاب ارائه شده در AR&R از نتایج مطالعات انجام شده در این زمینه در سال‌های ۱۹۶۷-۱۹۹۳ استفاده شده است. بنابراین روابط پایداری و حدهای نهایی عمق و سرعت

با توجه به جدول (۱۴)، تعداد سلول‌های پایدار و مساحت مناطق پایدار تولیدشده با استفاده از نظریه (1987) AR&R با ۷۶۲ سلول از سایر نظریه‌ها بیشتر است. از طرفی در نقشه پایداری تولیدشده به کمک نظریه (1987) AR&R (شکل (۱۳)) حتی سلول‌هایی با عمق بیشتر از یک متر هم پایدار شناخته شده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد مقادیر ثابت D.V ارائه شده در این نظریه فراتر از نتایج آزمایشگاهی به دست‌آمده در مطالعات Bonham and Hattersley (1967), Gordon and Stone (1973) و Keller and Mitsch (1993) می‌باشد زیرا این اتفاق در هیچ‌یک از نقشه‌های تولیدشده به کمک نظریه‌های دیگر رخ نداده است.

در بین هفت نظریه مورد بررسی در این مقاله، امکان گسترش محور عمق تا یک متر فقط در سه نظریه AR&R (1987)، Melbourne Water (1996) و (2011) AR&R وجود دارد. به همین سبب فقط با استفاده از الگوریتم‌های خسارت نوشته شده برای این سه نظریه می‌توان مقادیر خسارت خودروهای سواری پایدار را تا ۱۰۰ درصد تعیین نمود. در صورتی که با استفاده از سایر نظریه‌ها مقادیر خسارت نهایتاً تا ۴۰ درصد تعیین می‌گردد. بعلاوه بیشترین مقدار خسارت برآورد شده متعلق به نظریه (2011) AR&R برابر با ۱۴ میلیارد و ۳۲ میلیون تومان و کمترین مقدار خسارت برای نظریه (1987) AR&R برابر با ۱۰ میلیارد و ۲۶۵ میلیون تومان محاسبه شد. پس از

شوند و به یک‌میزان خسارت می‌بینند. بنابراین لازم است مطالعاتی صورت گیرد تا آستانه ناپایداری و مقادیر خسارات انواع مختلف خودروها به‌طور مستقل مورد بررسی قرار گیرد.

شایان ذکر است امکان اظهارنظر قطعی راجع به میزان عدم قطعیت مقادیر خسارات محاسبه‌شده در جدول (۱۴) و تعیین بهترین نظریه با توجه به مقادیر خسارات برآورده شده برای هر یک از نظریه‌ها به دلیل نبود داده‌های واقعی برای مقادیر خسارت خودرو شاخص وجود ندارد؛ اما با توجه به مطالب گفته‌شده، در حال حاضر بهترین نظریه برای تولید مدلی که بتوان مقادیر خسارت خودروهای سواری پایدار در سیلاب را به‌عنوان تابعی از عمق و سرعت تعیین کرد، (AR&R (2011 می‌باشد. در نهایت باید گفت که برای دستیابی به مدل تعیین خسارت خودروهای پایدار در سیلاب که استفاده از آن نتایج قابل اعتمادی را به همراه داشته باشد باید مطالعات آزمایشگاهی و نظری مختلفی برای بررسی آستانه ناپایداری و مقادیر خسارات انواع مختلف خودروها در سیلاب انجام شود.

پیشنهادشده برای وسایل نقلیه مدرن ممکن است نتایج قابل‌اعتمادی به دست ندهد؛ اما با توجه به ضعف‌های موجود در مطالعات انجام‌شده تاکنون، هنوز هم این نظریه‌ها برای تعیین آستانه ناپایداری وسایل نقلیه در سیلاب پرکاربرد هستند. از طرفی با توجه به آنچه در AR&R آمده است، آستانه‌های ارائه‌شده در نظریه‌های نامبرده در این پژوهش، آستانه شناوری هستند و نمی‌توان با استفاده از آن‌ها وضعیت سر خوردن وسایل نقلیه در سیلاب را بررسی نمود. لذا انجام مطالعات تجربی و تئوری بیشتری در این زمینه برای ارزیابی وضعیت پایداری و خسارات خودروهای مدرن در سیلاب ضروری است. در میان نظریه‌های ارائه‌شده بهترین نحوه دسته‌بندی خودروها در نظریه (AR&R (2011 با سه دسته خودروهای سواری، بزرگ و بزرگ 4WD صورت گرفته است؛ اما استفاده از یک حد پایداری برای تمامی خودروهای سواری نتایج قابل‌اعتمادی را به همراه نخواهد داشت زیرا خصوصیات و ویژگی‌های خودروهای کوچک و سواری نیز بسیار متغیر و متفاوت است و نمی‌توان گفت انواع مختلف آن‌ها در یک عمق و سرعت ناپایدار می

#### Reference:

- Amirmoradi, K., Shokoohi, A. (2020). Tangible Damage Caused By Flash Floods in Residential Areas. 18<sup>TH</sup> Iranian Hydraulic Conference. Tehran. <https://civilica.com/doc/998835>. (In Persian).
- Amirmoradi, K., Shokoohi, A., Azizian, A. (2019). Evaluating Risk of Economic Loss due to River Flood in Urban areas. Iranian Journal of Soil and Water Research. 50(9). 2239-2259. DOI:10.22059/IJSWR.2019.283115.668228. (In Persian).
- AusRoads (2008). *Guide to Road Design, Part 5: Drainage Design*. AusRoads Inc. 210p.
- Bonham, A.J., Hattersley, R.T. (1967). Low-level causeways. Water Research Laboratory, Report no. 100. University of New South Wales, Australia.
- Department of Public Works. (1986). *Floodplain Development Manual*, New South Wales Government, Sydney, Australia.
- Department of Infrastructure, Planning & Natural Resources. (2005). *NSW Floodplain Development Manual*, New South Wales Government, Sydney, Australia.
- EMA (1997). *Four-Wheel-Drive Vehicle Operation*. Australian Emergency Manuals Series, Part IV, Manual 8: Skills for Emergency Services Personnel. Emergency Management Australia, Canberra.
- EMA (1999). *Managing the Floodplain*. Australian Emergency Management Series, Part 3, Volume 3, Guide 3, Emergency Management Australia, Canberra.
- 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.
- Golmohammadi, R., Shokoohi, A. (2021). Assessing Vehicle Damage in Flood in Urban Areas (Case Study: Shiraz Flood). Iran-Water Resources Research. 17(3). 282-301. (In Persian).

- Golmohammadi, R., Shokoohi, A. (2022). Review and evaluation of theories and empirical models of vehicle stability in floods. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. DOI: 10.22059/ijswr.2022.337500.669186. (In Persian).
- Gordon, A.D., Stone, P.B. (1973). Car stability on-road floodways. National Capital Development Commission, Report no. 73/12. Water Research Laboratory, University of New South Wales, Australia.
- Heidary, K, Gharadaghai, H, Javaheri, A. (2019). Investigating the causes and factors of floods in Shiraz (Case study: Quran Gate flood in Shiraz in 1398). National Conference on Natural Resources and Sustainable Development in Central Zagros, Sep. 2019, Shahrekord, Iran. (In Persian).
- Institution of Engineers, Australia (1987). *Australian Rainfall and Runoff*, Vol. 1&2. (Ed: Pilgrim, D.H.) Institution of Engineers, Australia.
- Karbasi, M. Shokoohi, A. & Saghafian, B. (2019). Estimating the number of fatalities due to flash floods in residential areas. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 15:236-246 (in Persian)
- Keller, R.J., Mitsch, B. (1993). Safety aspects of the design of roadways as floodways. Urban Water Research Association of Australia. ISBN: 1875298703.
- Melbourne Water (1996). Melbourne Water Land Development Manual, Appendix A: Floodway Safety Criteria. Melbourne Water Technical Working Group: R Sutherland, T Jones, N Craigie.
- Moore K A & Power R K (2002). Safe buffer distances for off-stream earth dams. *Aust J of Water Resources*, IEAust, 2002; 6(1):1-16.
- Shahsavandi, M., Attari, J., Vafaeinezhad, A.R., Eftekhari, M. (2017). Development of Digital Model for Estimating Flood Damage to Buildings By Considering Speed and Depth of Flow. 5<sup>th</sup> Comprehensive Conference On Flood Engineering and Management. Tehran. <https://civilica.com/doc/741650>. (In Persian).
- 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.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2009). Economic guidance memorandum, 09-04, generic depth-damage relationships for vehicles. Washington, DC. 9p.
- White G. F. (1945). Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States. Ph.D. Thesis, University of Chicago, USA.



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
**Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)**

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**

[iawwsrj@srbiau.ac.ir](mailto:iawwsrj@srbiau.ac.ir)  
[iawwsrj@gmail.com](mailto:iawwsrj@gmail.com)

**Vol. 11  
No. 4  
Summer 2022**

**Received:**  
2022-04-15

**Accepted:**  
2022-05-20

**Pages: 41-61**

# Comparison and Assessment of Light Vehicles Damages Based on Stability Theories in Floodwater (Case Study: Shiraz Flood)

Reyhaneh Golmohammadi<sup>1</sup> and Alireza Shokoohi<sup>2\*</sup>

1) MSc. Graduated Student of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2) Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

\*Corresponding author email: [shokoohi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:shokoohi@eng.ikiu.ac.ir)

**Abstract:**

**Introduction:** Evaluation of damages caused by flash floods in urban areas is one of the most important concerns after their occurrence. Like other urban elements, vehicles suffer damage that should be considered for managing urban floods. The damage values in most car damage models in flood are presented with the assumption of their stability and purely in terms of depth, while the flood velocity as flood important variable is also effective on the severity of damages. In the present research, while evaluating the eight theories presented in the Australian Rainfall and Runoff Guideline (AR&R), an attempt is made to provide the best theory to provide a simple and accurate algorithm for determining the damage to sedan vehicles in flood as a function of depth and velocity.

**Methods:** To achieve the goal of this research, the formulas and diagrams of the stability limit of eight theories presented in AR&R were evaluated and after deleting one of the theories and modifying the Melbourne Water presented in 1996 and DPW presented in 1986 formulas, the stability map of the sedan cars in Darwaze Quran flood on March 25, 2019 in Shiraz was produced for seven theories proposed in this guideline. Subsequently, by combining the stability limits of each theory with the HAZUS-MH depth-damage diagram and zoning below the stability limit diagram as stable areas, the risk map algorithm for stable sedan vehicles was provided separately for each theory. In the following, the risk map in the adjacent parking area of the water pool upstream of the Quran Gate of Shiraz for each theory and, with their help, the total damage for the Pride\_131 was calculated as a common vehicle in Iran. Finally, the measures of maximum damage, as well as the total damages were obtained from each one.

**Results:** One of the main and most important results of this research is providing an algorithm for determining the damage of the sedan vehicles in a certain range of depth and speed for each of the theories proposed in AR&R, which were used for producing the risk map. In addition, the total damages for the Pride-131 as an index car were calculated by the proposed algorithms. The minimum damage was obtained by using AR&R (1987) theory algorithm equal to 10 billion and 265 million toman and the maximum amount of damage was obtained by using achieved by using AR&R (2011) theory algorithm equal to 14 billion and 32 million toman.

**Conclusion:** It was found that the use of the depth of flood as a hydrostatic index, which is now the criterion for calculating car damage, is not accurate enough and it is better to use velocity and depth composition as a hydrodynamic index for this purpose. At the same time, it was proved that among the other theories, the relation and the final limit of stability presented in the AR&R (2011) theory to provide a model for determining the damage to small and light vehicles in the flood as a function of depth and velocity has better and more reliable results. It is worth noting in order to achieve the more accurate damage amounts of vehicles in flood, more theoretical and experimental studies considering different types of vehicles are essential.

**Keywords:** Flood, Vehicle, Damage, Stability, Rainfall and Runoff Guideline AR&R

