

# شناسایی الگوهای جوی مولد سیلاب شهری و شبیه‌سازی رواناب ناشی از آن در شهر میناب

احمد نوحه گر\*؛ محسن فوزی<sup>۱</sup>؛ محمود بهروزی<sup>۲</sup>

۱- گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
 ۲- گروه آب‌وهواشناسی و مخاطرات محیطی، پژوهشکده انگور و کشمش، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۹/۱۷ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۴/۲۸

## چکیده

شناخت رفتار هیدرولیکی سیلاب‌های شهری در ارزیابی و بهسازی سیستم جمع‌آوری رواناب‌ها در شهر حائز اهمیت است. در این پژوهش برای دستیابی به این رهیافت مدیریتی در شهر میناب، ابتدا الگوهای جوی مولد سیلاب شناسایی شد. سپس رفتار هیدرولیکی سیلاب در مجاری زهکشی با مدل SWMM شبیه‌سازی شده و برای صحت‌سنجی مدل از سه واقعه‌ی بارش متناظر استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد کم‌فشار سودانی با عبور از دریای خلیج فارس و کسب رطوبت تقویت شد و در برخورد با کوهستان شمالی جلگه میناب بر ناپایداری آن افزوده شده و در نهایت موجب وقوع بارش سنگین و سیلاب شهری در میناب شد. نتایج حاصل از واسنجی مدل با مقادیر مشاهداتی در مولفه‌های دبی، عمق و سرعت رواناب با معیارهای NS و RMSE بیان‌گر انطباق مناسب آن‌ها و توانایی مدل در شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی سیلاب است. خروجی مدل نشان داد که در واقعه بارش ۱۰۰ میلی‌متری در ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵ در شهر میناب، ۱۹۵ میلیون لیتر آب به راه افتاد و منهول‌ها و مجاری زهکشی در زیرحوزه‌های مسکونی و پرتراکم ظرفیت کافی برای انتقال رواناب ندارند که موجب سیل‌گرفتنی زیرحوزه‌های شهری شد. از آنجایی‌که شبکه زهکشی میناب ترکیبی بوده و یک خط لوله برای انتقال آب‌ها سطحی و فاضلاب خام شهری وجود دارد، سیلاب شهری و عدم ظرفیت کافی مجاری و پرشدگی کانال‌ها در زیرحوزه‌های مسکونی و پرتراکم موجب پس‌زدگی فاضلاب خام در نقاط مسکونی شد. بنابراین، نتایج این مدل نشان می‌دهد که سیستم دفع آب‌های سطحی شهر میناب نیاز به بهسازی و طراحی مناسب برای انتقال رواناب ناشی از سیلاب دارد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب، سیکلون، SWMM، مجاری زهکشی، میناب.

## مقدمه

امروزه افزایش جمعیت، گسترش تأسیسات صنعتی و کمبود مکان برای ساخت‌وساز شهری موجب تغییر در مورفولوژی حوضه‌های آبخیز شده است. هم‌چنین تسطیح اراضی، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های آب‌رو، تبدیل کاربری‌های اراضی طبیعی به چشم‌اندازهای انسانی منجر به تغییر در الگوی زهکشی طبیعی، اختلال در رفتار هیدرولیکی جریان‌های آبی و در نهایت جاری شدن سیلاب در سطح شهرها می‌شود (Schilling et al, 2014). پی‌آمد این تغییرات، افزایش خطر سیل-خیزی و آب‌گرفتگی معابر و افزایش هزینه‌های نگه‌داری شهر می‌باشد که خسارت‌های مالی و جانی بر پیکره زندگی شهری وارد می‌سازد (Tang et al, 2005). مهم‌ترین مولفه افزایش مخاطره سیلاب شهری، گسترش کاربری‌های سکونتگاهی در حوضه‌های آبخیز است که سبب افزایش سطوح نفوذناپذیری می‌شود که استفاده از مصالح بتنی، آسفالت و ایزوگام دلیل اصلی آن بوده و این مولفه انسان‌ساخت باعث افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی حداکثر لحظه‌ای و تغییر کیفیت سیلاب می‌گردد (Garner et al, 2019). این موارد موجب افزایش فراوانی وقوع سیلاب در سکونتگاه‌های شهری شده است و سیلاب را به یکی از مخاطرات محیطی خسارت‌زا تبدیل نموده است؛ چون در گذشته سیلاب‌ها اغلب در رودخانه‌های بزرگی اتفاق می‌افتاد که محیط اطراف آن خالی از کاربری‌های انسانی بود، اما با گذشت زمان و اشغال زمین‌ها به وسیله‌ی انسان و گسترش چشم‌اندازهای فرهنگی در سیلاب‌دشت رودخانه‌ها، خسارت‌های اقتصادی و مالی سیلاب نیز افزایش یافته است (Elliott et al, 2020). پایگاه داده بین‌المللی مخاطرات<sup>۱</sup>، سیلاب را مولفه‌ای از مخاطرات هیدرولوژیکی شناسایی نموده و حدود

۴۹٪ از مخاطرات طبیعی را به خود اختصاص داده است. براساس گزارش این پایگاه در سال ۲۰۱۹، حدود ۳۹۶ مخاطره در جهان اتفاق افتاد که ۱۳۰ میلیارد دلار خسارت اقتصادی در بر داشته و موجب مرگ ۱۱/۷۵۵ نفر در جهان شده است که از این تعداد ۱۹۴ مخاطره و ۴۳٪ از مرگ و میرها مربوط به سیلاب بوده است. آمار رسمی جهانی نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ میلادی، حدود ۶۷/۵۷۲ نفر در جهان بر اثر مخاطرات طبیعی فوت کرده‌اند که سیلاب با مرگ ۵/۰۳۲ نفر پس از زلزله، امواج گرمایی و طوفان در رتبه چهارم قرار دارد؛ از لحاظ اقتصادی نیز سیلاب با خسارت بالغ بر ۳۶/۳ میلیارد دلار پس از زلزله و طوفان در رتبه سوم قرار دارد (EM-DAT, 2019). سیلاب پدیده‌ای محیطی است که اگرچه در طبقه مخاطرات هیدرولوژیکی قرار دارد، اما برای شناسایی علت وقوع و راهکارهای مدیریتی جهت کنترل آن، نیاز به بهره‌گیری از دیگر علوم محیطی هم‌چون آب و هواشناسی، آبخیزداری و مدیریت حوزه‌های آبریز است، چون سیستم‌های اتمسفری در وقوع بارش‌های رگباری نقش دارد و در محیط در ترکیب با عوامل توپوگرافیکی، توپولوژی سطحی، کاربری اراضی و مورفولوژی حوزه‌های آبریز بر مبنای شیب و هیدرولیک رودخانه و مسیل‌های آبراهه‌ی شهری، موجب وقوع پدیده سیلاب می‌گردد (Hua et al, 2020). بنابراین در بررسی مسأله سیلاب به‌ویژه در مناطق سکونتگاهی، ترکیبی از علوم محیطی می‌تواند در شناخت سازوکار و تکوین سیلاب شهری نقش مهمی ایفا کند. هم‌چنین مدل‌های رایانه‌ای به‌منظور شبیه‌سازی رفتار سیلاب شهری ارتقاء یافته‌اند که رویکرد آن‌ها مبتنی بر تبدیل بارش به رواناب است که با ارزیابی و صحت‌سنجی این مدل‌ها می‌توان به نتایج آن‌ها در زمینه برآورد حجم و دبی رواناب ناشی از سیلاب اعتماد نمود. رفتار

سطح زمین می‌شود. در عربستان هوای گرم سطحی از روی دریای خلیج فارس عبور کرده و با کسب رطوبت و انرژی ترمودینامیکی ناشی از نهان تبخیر رطوبت، ناپایدار شده و وزش بادهای گرم و مرطوب شمال غربی در عراق موجب وقوع بارش‌های سیل- آسا می‌شود که در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ بیش از ۶۷ درصد بارش‌های سنگین در بغداد ناشی از بادهای گرم و مرطوب خلیج فارس و ناوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در اتمسفر منطقه بود که موجب سیلاب شهری در پایتخت عراق شد (Al-Nassar et al, 2020). کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک از جهان قرار دارد، اما ویژگی‌های توپوگرافیکی و پهنای گسترده‌ی آن در عرض‌های جغرافیایی به‌همراه وجود منابع رطوبتی خزر و خلیج فارس، الگوهای متفاوتی موجب وقوع سیلاب در آن می‌شوند. به‌طوری‌که در جلگه خزر بادهای مرطوب ناشی از پرفشار سرد سیبری و عبور آن از مخزن رطوبتی خزر در برخورد با دامنه شمالی البرز موجب وقوع بارش‌های سیلابی به‌ویژه در پاییز می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). در یک بررسی جامع، مسیرهای ورودی رطوبت و بارش‌های سنگین در ایران شناسایی شد که ۵۲ درصد آن از مسیر خلیج عدن و دریای سرخ وارد ایران می‌شود که از شبه‌جزیره عربستان عبور کرده و در بازه زمانی ژانویه تا مارس (دی‌ماه تا اسفندماه) اتفاق می‌افتد و حدود ۶۷ درصد آن نیز از سمت جنوب و جنوب- غربی وارد ایران می‌شود (Esfandiari and Lashkari, 2020). از طرف دیگر، سیستم کم‌فشار سطحی و باران‌زای دریای سرخ که به‌سمت شرق حرکت می‌کند، عمده رطوبت خود را طی بارش‌های متوالی در شبه‌جزیره عربستان و کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس از دست می‌دهد؛ اما این سیستم ضعیف‌شده بارشی به دریای خلیج فارس که می‌رسد، مجدداً رطوبت کسب نموده و ناپایدار می‌شود،

هیدرولیکی سیلاب شهری نیز با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی قابل شبیه‌سازی است که مدل SWMM کاربرد فراوانی در این زمینه دارد. سیلاب نتیجه ترکیب عوامل حدی هواشناختی و هیدرولوژیکی است که عوامل انسانی موجب تشدید این پدیده شده و خسارت‌های آن را نیز افزایش می‌دهد (جمال و همکاران، ۱۳۹۸). سیلاب‌ها در ابتدا ناشی از عوامل هواشناختی هستند که الگوهای اتمسفری مولد بارش سنگین با ورود به منطقه منجر به ریزش سیل‌آسای بارش می‌شود. در کینابالوی مالزی، گسترش ناوهای کم‌ارتفاع در جنوب دریای چین و سیستم کم‌فشار سطحی در دریای فلیپین موجب تشدید ناپایداری سطحی هوای منطقه شده و به‌دلیل جذب رطوبت کافی از دریاها منطقه، موجب وقوع سیلاب شهری می‌شود (Chang et al, 2020). در ایالات متحده آمریکا، رودباد قطبی در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، موج‌های کوتاه و ناوهای کم‌ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، هم‌گرایی هوا در کم‌فشار سطح زمین موجب ناپایداری شدید اتمسفر آمریکا شده و با تقویت ناپایداری ترمودینامیکی ناشی از رطوبت دریاچه‌های بزرگ آمریکا موجب ریزش بارش‌های سنگین شده و در سطوح شهری منجر به وقوع پدیده سیلاب شهری می‌شود (Jennrich et al, 2020). سیستم کم‌فشار تابستانه‌ی موسمی هندوستان در ترکیب با رودباد جنب‌حاره‌ای تراز ۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال تقویت می‌شود.

از آنجائی که سیستم موسمی بر روی اقیانوس هند تشکیل می‌شود، گرمای بالا و انرژی ترمودینامیکی آن در بالا بردن توده هوای موسمی به شدت سهیم است که در مناطق شهری منجر به وقوع سیلاب می‌شود (Nikumbh et al, 2020). در منطقه خاورمیانه و به‌ویژه عراق، وجود ناوهای عمیق قطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال موجب ناپایداری در

به طوری که سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۹ موجب بالآمدن و سرریز شدن آب از سد استقلال در رودخانه میناب شده و مناطق پایین دست رودخانه را آب فرا گرفت و خسارت زیادی بر اراضی کشاورزی و تأسیسات زیربنایی آن وارد نمود. تکرار این سیلاب‌ها و عدم شناخت رفتار هیدرولیکی آن در مناطق شهری می‌تواند اثرات آن را دوچندان کند. بنابراین در این پژوهش سعی شد تا با شناخت الگوهای جوی مولد سیلاب و برآورد حجم و دبی سیلاب در مجاری زهکشی شهر میناب، رفتار هیدرولیکی سیلاب مشخص شود و نتایج آن جهت بهبود کانال‌های زهکشی و ظرفیت مجاری در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار بگیرد.

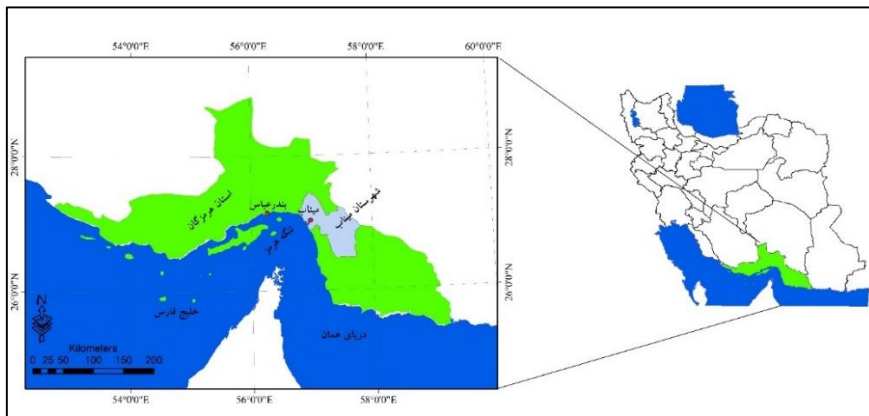
#### منطقه مورد مطالعه

میناب با ارتفاع متوسط ۵۰ متر از سطح دریا در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۰۴ دقیقه شمالی و ۲۷ درجه و ۰۸ دقیقه عرض شمالی در ساحل شمالی تنگه هرمز قرار دارد (شکل ۱). طول جلگه میناب در حدود ۱۵۰ کیلومتر و عرض نسبی آن ۲۵ کیلومتر است. مهم‌ترین رودخانه منطقه، رود میناب است که سد استقلال در فاصله ۳ کیلومتری از شهر میناب در میان ارتفاعات ۲۶۰ متری در مسیر رودخانه احداث شده است که آب آشامیدنی و کشاورزی منطقه و حتی بندرعباس را تأمین می‌کند. این جلگه عمدتاً تحت سیطره‌ی چشم‌اندازهای انسانی از قبیل سکونتگاه‌های شهری و روستایی، اراضی کشاورزی، استخرهای ماهی‌گیری و هم‌چنین مراتع و پوشش گیاهی متوسط از نوع درختچه‌های مقاوم به تنش خشکی و گرما از قبیل آکاسیا، کرت و گز بیابانی به همراه مسیل‌های فرعی رودخانه‌ی میناب می‌باشد (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۸۴). توپوگرافی منطقه به گونه‌ای است که شمال جلگه میناب، کوهستان‌های زاگرس چین‌خورده

درواقع بر عمر این سیکلون افزوده می‌شود؛ چون انرژی ترمودینامیکی کسب نموده و فعال می‌شود. این سیکلون هر چه به سمت شمال و شرق حرکت می‌کند و از روی دریای خلیج فارس عبور می‌کند، ناپایدارتر شده و با رسیدن به ارتفاعات زاگرس چین‌خورده در شمال هرمزگان به صورت تنش برشی به ارتفاعات بالاتر صعود کرده که با چگالش رطوبت موجود در این توده هوا، موجب وقوع بارش‌های سنگینی در استان هرمزگان می‌شود و در مناطق شهری آن از جمله بندرعباس، میناب، پارسیان، بندرلنگه و حاجی‌آباد به صورت سیلاب شهری ظاهر می‌گردد (احمدی و جعفری، ۱۳۹۴؛ Soltani et al, 2014). در مدیریت و بررسی رواناب‌های شهری و شناخت رفتار هیدرولیکی سیلاب از مدل SWMM استفاده می‌شود که طی سال‌های اخیر کاربرد فراوانی در شبیه‌سازی سیلاب شهری و برآورد حجم و دبی روان‌آب در مجاری زهکشی شهری دارد. این مدل رایانه‌ای با استفاده از اطلاعات مکانی زیرحوزه‌های شهری، داده‌های هواشناسی و اقلیمی، توپوگرافی و شیب زیرحوزه‌های شهری، اطلاعات مربوط به مجاری زهکشی، معادلات نفوذ و روندیابی جریان، میزان دبی خروجی از هر زیرحوزه و حجم سیلاب شهری را مدلسازی می‌کند (Jiang et al, 2015). پژوهشگران ابتدا با ارزیابی و صحت‌سنجی داده‌های روان‌آب شهری در این مدل، به خروجی آن اعتماد کرده و در طراحی، بهبود مجاری زهکشی و ظرفیت کانال‌های شهری از آن استفاده می‌کنند (بدیعی زاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ حیدرزاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ رشیدپور و همکاران، ۱۳۹۶؛ Zeng et al, 2016؛ Harsha et al, 2020). بارش‌های رگباری به‌ویژه در ماه‌های سرد سال موجب سیلاب در شهر میناب می‌شود که خسارت‌های آن طی سال‌های اخیر، عواقب مالی و جانی زیادی بر جای گذاشته است؛

ارتفاع کاهش می‌یابد و شهر میناب در دامنه جنوبی کوهستان و رو به جلگه قرار دارد (شکل ۱).

است که ارتفاع آن به ۳۰۰ متر می‌رسد؛ اما به سمت جنوب که به جلگه و ساحل تنگه هرمز می‌رسد،



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر میناب در استان هرمزگان و سواحل شمالی دریای خلیج فارس- عمان

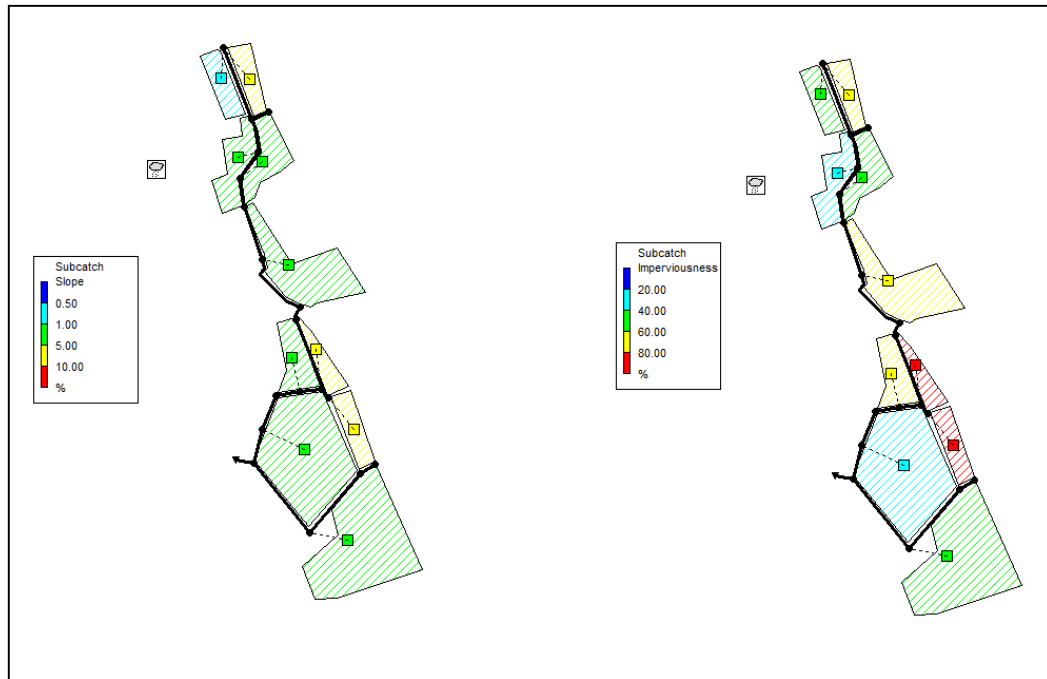
شهری و مدل‌سازی رفتار هیدرولیکی جریان سیلاب در شبکه زهکشی آب‌های سطحی شهر میناب از مدل SWMM استفاده شد؛ به گونه‌ای که ابتدا مدل با وقایع سیلاب‌های مشاهداتی واسنجی و ارزیابی شد و پس از صحت‌سنجی آن، دبی خروجی از زیرحوزه‌های شهری، حجم آب در مجاری زهکشی، آب‌گرفتنی در کانال‌ها و ظرفیت مجاری در زیرحوزه‌های شهری میناب شبیه‌سازی شد. در این پژوهش، براساس نقشه توپوگرافی و شیب منطقه، حوزه شهری میناب به ۱۰ زیرحوزه (Sub catchment) تقسیم شد. سپس بر مبنای بازدیدهای میدانی و نقشه‌های کارتوگرافیکی شرکت آب و فاضلاب شهری میناب، تعداد ۱۸ گره یا منهول (Junction) و هم‌چنین ۱۸ خط لوله‌ی زهکشی شهری (Conduit) شناسایی و در محیط SWMM نقشه‌گرافیکی آن‌ها تهیه شد و نقشه شیب و میزان نفوذپذیری زیرحوزه‌های شهری میناب براساس نوع کاربری آن‌ها نیز تهیه شد (شکل ۲).

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور شناخت الگوهای جوی مولد سیلاب در شهر میناب، ابتدا وضعیت پارامترهای هواشناسی منطقه طی بازه زمانی ۱۹ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۸) از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید و پارامترهای جوی شامل میانگین دمای سالانه، میانگین حداقل و حداکثر ماهانه، میانگین بارش ۲۴ ساعته، تعداد روزهای بارشی ماهانه و تعداد روزهای سیلابی (بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر در روز) در جدول ارائه شد. سپس از بین سیلاب‌های اتفاق افتاده، تعداد دو رویداد سیلاب شهری انتخاب شد و فراسنج‌های جوی آن روز در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا از تارنمای مرکز داده‌های NCEP/ NCAR استخراج و در محیط پردازشی نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های هواشناسی آن روز ترسیم و تفسیر شد.

## شبیه‌سازی سیلاب شهری با مدل SWMM

پس از شناخت الگوهای جوی مولد سیلاب شهری در میناب، به منظور برآورد رواناب ناشی از سیلاب



شکل ۲: نقشه‌ی تقسیم‌بندی زیرحوزه‌های شهری میناب در مدل SWMM

### مدل SWMM

در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی سیلاب شهری، مدل‌های بسیاری توسعه داده شده است. SWMM یک بسته نرم‌افزاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های سیلاب‌رو می‌باشد. این نرم‌افزار که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) تهیه شده، یک بسته نرم‌افزاری رابط برای آماده‌سازی مجموعه داده‌ها برای مدل مدیریت سیلاب سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (US. EPA SWMM) می‌باشد (Zeng et al, 2019). SWMM یک مدل پویای بارش- رواناب می‌باشد که برای شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف هیدرولوژیکی شهری و چرخه‌ی کمی و کیفی آن از جمله بارش، ذوب برف، جریان رو زمینی، روندیابی جریان در شبکه زهکشی و تمرکز آلودگی‌های غیرنقطه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل SWMM از مفاهیم شناخته شده هیدرولیکی و هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی سیلاب در حوزه شهری استفاده می‌کند. مدل SWMM به چندین بلوک تقسیم‌بندی

می‌شود که در این پژوهش از دو بلوک رواناب و انتقال توسعه یافته به منظور تحلیل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی جریان مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

### مبنای تحلیل هیدرولوژیکی مدل

تحلیل هیدرولوژیکی در مدل SWMM توسط بلوک رواناب انجام می‌شود. بلوک رواناب، رواناب سطحی و بارهای آلودگی را در پاسخ به بارش و تجمع آلودگی سطحی برآورد می‌نماید. کلید استفاده از رواناب تقسیم‌نمودن حوضه به تعدادی زیرحوضه است که هر زیرحوضه باید نسبتاً همگن باشد. سطح هر زیرحوضه به صورت یک مخزن غیرخطی با یک ورودی منفرد (بارش) عمل می‌نماید. در مقابل، خروجی‌ها عبارتند از نفوذ، تبخیر و رواناب سطحی. ظرفیت این مخزن برابر است با حداکثر ذخیره نگهداشت که مساوی است با حداکثر ذخیره سطحی ایجاد شده به وسیله گودال-ها، رطوبت سطحی و برگاب. رواناب سطحی هنگامی اتفاق می‌افتد که عمق آب در مخزن از حداکثر ذخیره نگهداشت بیش‌تر شود. هم‌چنین

حاضر، به منظور تخمین و شبیه‌سازی سیلاب و رواناب شهری میناب، از مدل SWMM استفاده شد و مراحل آن به تفکیک شامل: ایجاد زیرحوضه‌های شهری میناب (Sub catchment)، ترسیم نقشه کانال‌های زهکشی (Conduit)، منهول‌ها (Junction) و خروجی نهایی رواناب (Outlet)، اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژیکی (Weather data)، روندیابی جریان غیرماندگار آب (Dynamic Wave) و معادله نفوذ آب (Horton) بود.

#### داده‌های موردنیاز مدل

ورودی‌های موردنیاز مدل عبارتند از: خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها، مشخصات شبکه زهکشی و داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی میناب می‌باشند. به منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب و سیلاب شهری لازم است تا یک سری پارامترهای زیرحوضه‌ها به- عنوان ورودی به مدل اعمال شود. این پارامترها شامل عرض معادل، مساحت، شیب، درصد نفوذناپذیری، ضریب زبری مانینگ روی سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر و ذخیره سطحی مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر نیز می‌باشد. در این مطالعه برای تعیین مرز حوزه شهری از نقشه‌ی کاربری اراضی و بررسی‌های میدانی راجع به نحوه جمع- آوری آب‌های سطحی و شیب‌بندی خیابان‌ها و کوچه‌ها و همچنین استفاده از نقاط ارتفاعی نقشه کاربری اراضی مرز حوضه و زیرحوضه‌ها تعیین گردید. برای محاسبه خصوصیات مجاری بازدید میدانی و یادداشت خصوصیات آن مانند طول آب‌رو، ضریب زبری، شکل مقطع، عرض کف و سطح مقطع الزامی است که در این پژوهش اطلاعات موردنیاز برداشت شد. مشخصات اتصالات و محل ورود رواناب هر زیرحوضه به مجاری شبکه زهکشی از طریق بازدید میدانی و تعیین مشخصات فیزیوگرافی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. اطلاعات هواشناسی شامل مقادیر

آب ذخیره شده در اثر نفوذ و تبخیر کاهش می‌یابد. نفوذ تنها هنگامی اتفاق می‌افتد که سطح زمین نفوذپذیر باشد. جریان خروجی به وسیله شکل کلی معادله مانینگ رابطه ۱ به دست می‌آید:

رابطه ۱)

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

که در این رابطه، S شیب زیرحوضه بر حسب متر بر متر، W عرض جریان بر روی زیرحوضه یا عرض جریان سطح‌الارضی بر حسب متر، d عمق آب روی زیرحوضه بر حسب متر، dp عمق حداکثر ذخیره چالایی بر حسب متر است. پیچیده‌ترین پارامتر در معادله بالا عرض جریان رو زمینی W می‌باشد که برابر است با عرضی که در طول آن رواناب سطحی به وقوع می‌پیوندد.

#### مبنای تحلیل هیدرولیکی مدل

تحلیل هیدرولیکی در مدل SWMM توسط بلوک انتقال توسعه‌یافته (Extran) انجام شد. بلوک مذکور قابلیت‌های هیدرولیکی بلوک انتقال را توسعه می‌دهد (Junaidi et al, 2020). در این بلوک سیستم‌های مجاری آبرو به صورت شبکه‌ای از مجاری و گره‌ها نشان داده شد. روندیابی جریان در لوله‌ها و اتصالات با استفاده از شکل کامل معادله سنت‌وانت که از ترکیب معادلات پیوستگی و اندازه حرکت و برای جریان غیرماندگار تدریجی به دست می‌آید، انجام می‌پذیرد. این معادلات عبارتند از (رابطه ۲):

رابطه ۲)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f + gAh_L = 0$$
 که در آن، x فاصله از ابتدای مجرا، t زمان، A سطح مقطعی جریان، Q دبی جریان، H بار آبی در مجرا، S<sub>f</sub> شیب اصطکاکی، h<sub>L</sub> افت موضعی انرژی در واحد طول مجرا، g شتاب ثقل می‌باشد. در پژوهش

ثبات سخت و پرهزینه است؛ در پژوهش حاضر، از سه واقعه نمونه برداری شد که از دو مورد برای واسنجی و یک مورد برای ارزیابی مدل استفاده شد. برای واسنجی مدل هشت پارامتر مهم انتخاب شد. در بین این عوامل شیب، عرض معادل و درصد مناطق نفوذناپذیر با استفاده از GIS محاسبه می‌شود. از آنجا که واسنجی مدل با توجه به پارامترهای متعدد و تعداد زیاد زیرحوضه‌ها کاری سخت و زمان‌بر است، برای یک واسنجی دقیق و مناسب باید پارامترها را به حداقل رساند. از این روش به‌طور گسترده برای واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (Temprano et al, 2007). میزان صحت فرآیند واسنجی با استفاده از ضریب ناش ساتکیف (NS) محاسبه شد. ضریب ناش ساتکیف از طریق رابطه ۴ به دست می‌آید:

رابطه ۴)

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{av})^2}$$

که در آن،  $Q_{sim}$  و  $Q_{obs}$  دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهداتی در زمان  $t$ ام،  $Q_{av}$  برابر میانگین دبی مشاهداتی، و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد (Sourisseau et al, 2008). پایین‌ترین مقدار قابل قبول NS، ۰/۵ است و هرچه مقدار NS نزدیک به یک باشد، نشان‌دهنده بالابودن دقت شبیه‌سازی است (Santhi et al, 2001).

بارش (تک واقعه)، تبخیر ماهانه، سرعت باد و هم-چنین اطلاعات و پارامترهای برف می‌باشد. با توجه به فرضیه‌های استفاده از مدل در واقعه رگباری (بارش- رواناب شبکه جمع‌آوری) اطلاعات فوق-الذکر تأثیر عمده‌ای بر نتایج مدل نداشته و حساسیت چندانی ندارند، بنابراین این اطلاعات با فرض واقعه رگباری فقط اطلاعات بارش در مدل وارد شد. در این پژوهش از ۳ واقعه بارندگی رگباری همراه با سیلاب شهری برای ارزیابی و واسنجی مدل استفاده شد. نفوذ به‌عنوان یکی از اجزای مهم در چرخه آب بوده و عامل کلیدی در تمام مدل‌های بارش- رواناب است که برای پیش‌بینی صحیح میزان رواناب و ارزیابی مناسب برای مدیریت منابع آب، تخمین مناسب از میزان نفوذ در منطقه عامل اساسی می‌باشد. در این پژوهش از معادله‌ی هورتن<sup>۲</sup> رابطه ۳ برای تخمین میزان نفوذ آب باران در سطوح شهری میناب استفاده شد.

رابطه ۳)

$$I = i_f t + \frac{(i_0 - i_f)}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$

که در آن،  $I$  (L) نفوذ تجمعی،  $i$  سرعت اولیه نفوذ،  $i_f$  سرعت نهایی نفوذ،  $\beta$  (-) ثابت تناسب و  $t$  (T) زمان نفوذ است.

واسنجی مدل

نمونه‌برداری از رواناب شهری به‌دلیل پیش‌بینی ناپذیر بودن رگبارها و عدم استفاده از دستگاه‌های

جدول ۱: مقادیر اولیه و پارامترهای مهم برای واسنجی مدل SWMM

مقادیر حد اکثر	مقیاس تغییرات	مقادیر اولیه	پارامترهای کالیبراسیون
-	± ۳۰	-	درصد مناطق نفوذناپذیر
-	± ۳۰	-	شیب (/.)
-	± ۳۰	-	عرض معادل (متر)
۰/۰۱۸	۰/۰۱۱ - ۰/۰۳۳	۰/۰۱۳	N- نفوذناپذیر
۰/۲	۰/۰۲ - ۰/۸	۰/۰۵	N- نفوذپذیر
۲	۰/۳ - ۲/۵	۱/۷۷۸	ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر (mm)
۱/۴	۲/۵ - ۵/۱	۳/۸۱	ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر (mm)
۱۸	۵ - ۲۰	۱۶	درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی



## ارزیابی مدل

که در آن،  $n$  تعداد نقاط مشاهده‌ای،  $Q_{sim}$  مقدار برآوردنی بر نقطه‌ی نام و  $Q_{obs}$  مقدار مشاهده‌ای برای نقطه‌ی نام است.

برای بررسی این که بین هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مدل چه مقدار انطباق وجود دارد از روابط ریاضی استفاده می‌شود (Dongquan et al, 2009). در پژوهش حاضر، ارزیابی مدل بر پایه بررسی کمی میزان خطای برآورد رواناب در یک واقعه مشاهداتی با استفاده از مجذور میانگین مربعات خطا RMSE انجام شد (رابطه ۵):

رابطه ۵)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}$$

## بحث و نتایج

نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های آب‌وهوایی جلگه میناب بیان گر این است که میانگین دمای سالانه‌ی آن ۲۸/۷ درجه‌ی سلسیوس است و بیشینه‌ی آن در خرداد و تیرماه (ژوئن و جولای) با ۳۸ درجه سلسیوس و کمینه آن در دی‌ماه (ژانویه) با ۱۹ درجه سلسیوس بود (جدول ۲).

جدول ۲: میانگین پارامترهای آب‌وهوایی جلگه میناب طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰

روزهای سیلابی (روز)	میانگین تعداد روزهای بارشی در ماه (روز)	میانگین بارش روزانه (mm)	میانگین حداکثر دمای ماهانه (c)	میانگین حداقل دمای ماهانه (c)	میانگین دمای ماهانه (c)	فصل	ماه
۱	۱	۱۰	۳۶	۲۲	۳۱		فروردین
۰	۰	۰	۳۶	۲۵	۳۵	بهار	اردیبهشت
۰	۰/۵	۷	۴۲	۲۹	۳۸		خرداد
۰	۰	۰	۴۲	۳۰	۳۸		تیر
۰	۱	۲	۴۲	۲۹	۳۶	تابستان	مرداد
۰	۰/۸	۰	۳۹	۲۷	۳۵		شهریور
۰	۰/۵	۱۰	۳۷	۲۵	۳۲		مهر
۵	۲/۲	۱۸	۳۰	۱۹	۲۷	پاییز	آبان
۳	۱/۸	۲۲	۲۷	۱۴	۲۱		آذر
۴	۴	۱۳	۲۵	۱۲	۱۹		دی
۴	۲/۵	۱۵	۲۶	۱۴	۲۲		بهمن
۵	۲/۵	۱۷	۳۰	۱۷	۲۵	زمستان	اسفند

سال‌ها یک‌بار بارش سنگین رخ داده است که منجر به سیلاب شهری در میناب شده است.

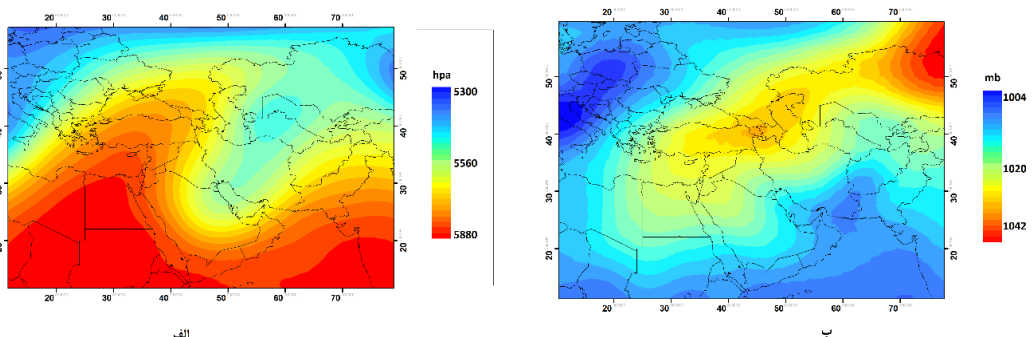
## الگوی اول اتمسفری مولد سیلاب

در روز ۱۹ ژانویه سال ۲۰۱۴ بارشی به میزان ۹۳ میلی‌متر در جلگه میناب به وقوع پیوست که منجر به سیلاب شهری در میناب شد. این شرایط باعث بالآمدگی و پس‌زدگی آب از مجاری زهکشی، خسارت بر تأسیسات زیربنایی شهری و زیان‌های اقتصادی بر مزارع کشاورزی پایین‌دست جلگه

بیش‌ترین بارش‌های جلگه میناب نیز در در ماه‌های آبان تا اسفندماه اتفاق می‌افتد که اوج آن در آذرماه (نوامبر) با ۲۲ میلی‌متر است. ستون آخر جدول ۲ مربوط به روزهای سیلابی است که در آن روز بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر گزارش شده است و ارقام این ستون مربوط به تعداد روزهای سیلابی در ماه طی ۱۹ سال است که در این سال‌ها بارش‌های سنگین از آبان‌ماه (نوامبر) شروع شده و در اسفندماه (مارس) خاتمه می‌یابد و در فروردین نیز طی این

از خراسان به سمت ایران مرکزی جریان یافته است؛ اما به دلیل قرارگیری سواحل خلیج فارس - دریای عمان در جلوی ناوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، هوای سطح زمین ناپایدار بوده و موجب تشکیل سیستم کم فشار دینامیکی خلیج فارس شده است. کم فشار دینامیکی خلیج فارس با داشتن رطوبت کافی که از دریا کسب کرده است، تقویت شده و به دلیل حرکت هم‌گرایی توده هوا به ارتفاعات بالاتر صعود کرده است. این توده هوای ناپایدار در برخورد با ارتفاعات شمالی جلگه میناب به صعود خود ادامه داده و انرژی نهان تبخیر حاصل از رطوبت درونی موجب آزاد شدن انرژی ترمودینامیکی شده و توده هوا را به ارتفاعات بالاتر رانده است. هرچه توده هوا مرطوب باشد و به ارتفاعات صعود کند، چگالش رطوبت سریع‌تر اتفاق می‌افتد و ابرهای ضخیم پوشش استراتوکومولوس تشکیل می‌شود. به همین دلیل در این روز توده هوای مرطوب ناشی از کم-فشار خلیج فارس با همراه داشتن رطوبت و انرژی ترمودینامیکی کافی برای صعود، موجب وقوع بارش سنگینی در جلگه میناب شد. این بارش به دلیل سطوح نفوذناپذیر شهری میناب، به رواناب‌های سطحی با حجم و دبی جریان بالا تبدیل شد و باعث وقوع پدیده سیلاب شهری در میناب شد.

میناب شد. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که در واقع ویژگی‌های اتمسفر در ارتفاع ۵ کیلومتری را بازگو می‌کند، نشان می‌دهد که موج بادهای غربی در این ماه سرد به سمت جنوب ایران گسترش یافته است و باعث ایجاد ناوه کم فشار در ایران شده است. در ناوه‌های اتمسفری، هوای پایدار و نزولی در عقب (سمت چپ ناوه) و هوای ناپایدار و صعودی در جلوی ناوه (سمت راست ناوه) حادث می‌شود. در شکل (۳الف) نیز شرایط به‌گونه‌ای است که اتمسفر سواحل شمالی خلیج فارس - عمان به دلیل قرارگیری در جلوی ناوه ناپایدار است. تراز میانی جو شرایط سطح زمین را کنترل می‌کند؛ به‌گونه‌ای که اگر منطقه‌ای در سطح زمین در جلوی ناوه قرار گرفته باشد، هوای سطحی ناپایدار می‌شود که در این روز جلگه میناب در جلوی ناوه قرار گرفته است. بادهای غربی در این روز از سمت عربستان وزیده و با عبور از مخزن رطوبتی خلیج فارس، رطوبت کافی کسب کرده و با افزایش انرژی ترمودینامیکی خود و با حرکت چرخندی خود به سمت جلگه‌های شمالی خلیج فارس می‌رسیده است و در برخورد با نوار کوهستانی زاگرس چین‌خورده در هرمزگان، بر شدت ناپایداری آن افزوده شده است. در سطح زمین سیستم حرارتی پرفشار سیبری در عرض‌های بالای جغرافیایی تشکیل شده است و هوای سرد آن

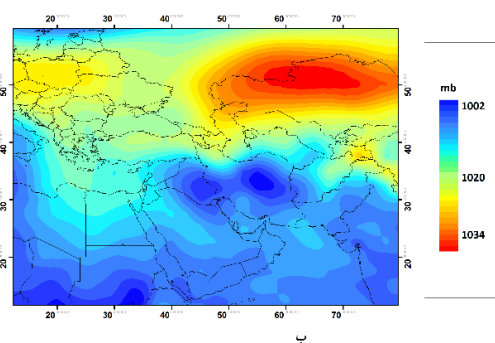
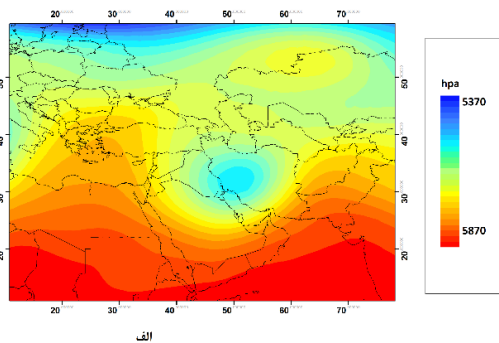


شکل ۳: نقشه ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال: الف) و نقشه فشار تراز دریا، ب) در روز ۲۷ دسامبر ۲۰۰۴

## الگوی دوم اتمسفری مولد سیلاب

در روز ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵ بارشی به میزان ۶۲ میلی-متر در جلگه میناب به وقوع پیوست که منجر به سیلاب شهری در میناب شد و خسارت‌های اقتصادی آن بر شبکه حمل‌ونقل شهری و مجاری زهکشی به‌همراه فاضلاب شهری وارد نمود. در این روز در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک سردچال بسته در اتمسفر ایران تشکیل شده و موجب سرمایش شدید هوا شد (شکل ۴). در این روز از سال سردچال ایران مرکزی موجب ناپایداری هوای اتمسفر جنوبی، مرکزی و شرقی ایران شد و مناطقی که رطوبت کافی در اختیار داشتند، شاهد ریزش بارش سنگین بودند. جلگه میناب در سمت راست سردچال قرار دارد و توده هوا با حرکت پادساعتگرد خود، هوای مرطوب خلیج فارس را به سمت سواحل و ارتفاعات شمالی خلیج فارس- مکران رانده است و موجب ناپایداری دینامیکی- ترمودینامیکی توده هوا شده است. سردچال ایران موجب تشکیل دو کم‌فشار سطحی در شرق و غرب ایران شد که فشار مرکزی آن‌ها کم‌تر از ۱۰۰۲ میلی‌بار است. میزان فشار در سواحل خلیج فارس و بر روی دریای عمان

اندکی بیش‌تر از ایران مرکزی است. هوای گرم دریای عمان با حرکت ساعت‌گرد خود به سمت کم-فشار ایران مرکزی جریان یافت. ناگفته نماند که زیانه کم‌فشار ایران مرکزی حتی به سواحل شمالی خلیج فارس- مکران نیز رسیده و موجب ناپایداری هوای این منطقه و جلگه‌های ساحلی نیز شده است. بنابراین هوای واچرخندی از دریای عمان به سمت جلگه‌های ساحلی که از رطوبت دریا نیز بهره‌مند است، حرکت کرده و با رسیدن به خشکی، ناپایدار شده و با قرارگیری در کم‌فشار دینامیکی جلگه‌های شمالی و برخورد با ارتفاعات شمالی منطقه‌ی هرمزگان- مکران بر شدت ناپایداری آن افزوده شده است. از طرف دیگر، توده‌های دریای عمان به دلیل داشتن رطوبت کافی، طی برخورد با کوهستان شمالی، انرژی نهان آن آزاد شده و گرمای ترمودینامیکی در اختیار هوای مرطوب صعودکننده داده است که با چگالش رطوبت، موجب تشکیل ابرهای باران‌زا شده است که در نهایت بارش سنگینی در جلگه میناب به‌وقوع پیوست. این بارش موجب به راه افتادن رواناب‌های شهری شده که در سطح شهر میناب به‌صورت سیلاب ظاهر شده است.



شکل ۴: نقشه ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ الف) و نقشه فشار تراز دریا، ب) در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹

Nash استفاده شد. از واقعه سوم ۲۰۱۵/۱۱/۱۲ برای ارزیابی مدل استفاده شد و برای تجزیه و تحلیل نتایج از ضریب ناش و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد و نتایج آن در جدول ۳

## واسنجی و ارزیابی مدل SWMM

در این پژوهش از دو واقعه (۲۰۱۴/۱/۱۹) و (۲۰۱۵/۳/۱۱) برای واسنجی مدل SWMM استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج از معیار

ارائه شد که براساس آن دبی، عمق و سرعت رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل SWMM مقایسه شده و اختلاف آن‌ها معنی‌دار نیست و گویای این موضوع است که مدل قادر به برآورد و شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی سیلاب شهری می‌باشد.

جدول ۳: نتایج واسنجی و ارزیابی مدل SWMM در وقایع مشاهداتی سیلاب شهری میناب

مدل SWMM	واقعه سیلاب	فاکتورهای رواناب	معیار NS	معیار RMSE
واسنجی مدل	۲۰۱۴/۱/۱۹	دبی	۰/۷۳	۰/۰۱۸
		عمق	۰/۵۹	۰/۰۱۴
		سرعت	۰/۹۱	۰/۰۰۹
	۲۰۱۵/۳/۱۱	دبی	۰/۷۹	۰/۰۰۹
		عمق	۰/۶۲	۰/۰۱۴
		سرعت	۰/۷۷	۰/۰۱۱
ارزیابی مدل	۲۰۱۵/۱۱/۱۲	دبی	۰/۸۴	۰/۰۰۵
		عمق	۰/۷۸	۰/۰۱۱
		سرعت	۰/۹۵	۰/۰۰۱

بررسی حاصل از ورودی و خروجی بارش و تبدیل آن به رواناب در حوزه شهری میناب نشان می‌دهد که از ۱۰۰ میلی‌متر بارندگی در ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵ در میناب، ۶۷/۲ میلی‌متر آن به رواناب تبدیل شد. در هنگام بارندگی، براساس کاربری اراضی منطقه و میزان درصد نفوذپذیری و نفوذناپذیری شهر میناب، حدود ۲۴/۶ میلی‌متر نیز به داخل خاک نفوذ کرده است. در نهایت، حدود ۸/۵ میلی‌متر نیز در چالاب-های سطحی ذخیره شد.

بررسی حاصل از ورودی و خروجی بارش و تبدیل آن به رواناب در حوزه شهری میناب نشان می‌دهد که از ۱۰۰ میلی‌متر بارندگی در ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵ در میناب، ۶۷/۲ میلی‌متر آن به رواناب تبدیل شد. در هنگام بارندگی، براساس کاربری اراضی منطقه و میزان درصد نفوذپذیری و نفوذناپذیری شهر میناب، حدود ۲۴/۶ میلی‌متر نیز به داخل خاک نفوذ کرده است. در نهایت، حدود ۸/۵ میلی‌متر نیز در چالاب-های سطحی ذخیره شد.

جدول ۴: میزان ورودی بارش و خروجی رواناب‌ها در حوزه شهری میناب با بارش ۱۰۰ میلی‌متری

ورودی و خروجی از سیستم	پارامتر	عمق سیلاب (میلی‌متر)
ورودی	بارش	۱۰۰
خروجی	حذف از طریق نفوذ	۲۴/۶
	تبدیل آب به رواناب	۶۷/۲
	ذخیره در چالاب سطحی	۸/۵

از بارش ۱۰۰ میلی‌متری در حوزه شهری میناب، حدود ۱۹۵ میلیون لیتر آب به راه افتاده که حدود ۱۸۹/۶ میلیون لیتر از آن به صورت سیلاب هدر

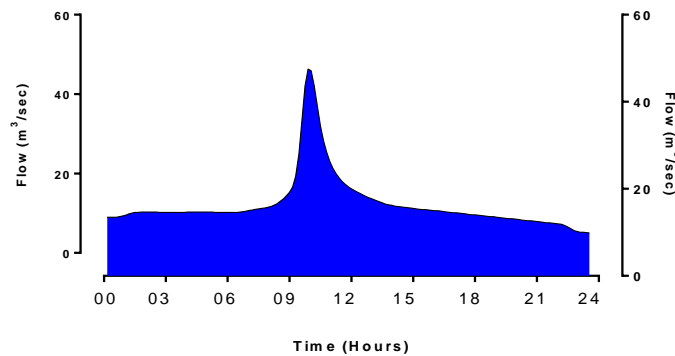
رفته و حدود ۵/۷ میلیون لیتر از این آب در چالاب-های سطحی ذخیره شده است (جدول ۵).

جدول ۵: میزان ورودی و خروجی حجم آب در حوزه شهری میناب پس از وقوع بارش ۱۰۰ میلی‌متری

جریان	پارامتر	حجم آب (میلیون لیتر)
ورودی	جریان آب ناشی از بارندگی	۱۹۵
خروجی	هدررفت آب از طریق سیلاب	۱۸۹/۶
	ذخیره در چالاب سطحی	۵/۷

طول ۱۰ دقیقه دبی آن به ۴۸ مترمکعب در ثانیه رسیده است. اوج روانابها (پیک هیدروگراف واحد) در بازه ساعتی ۰۹:۰۰ تا ۱۲:۰۰ بوده است و پس از آن دبی حوزه در روند یکسان ۱۳ مترمکعب در ثانیه ادامه یافته است.

در این پژوهش، هیدروگراف ۲۴ ساعته شبیه‌سازی شده با مدل SWMM در خروجی حوزه شهری میناب (Outfall) نیز در پراکنش ۱۰ دقیقه‌ای ترسیم شد (شکل ۵). نتایج این هیدروگراف بیان‌گر این است که رواناب‌های ناشی از بارش ۱۰۰ میلی-متری در ساعت ۰۹:۰۰ به اوج خود رسیده و در



شکل ۵: پراکنش ۱۰ دقیقه‌ای هیدروگراف در خروجی منطقه مورد مطالعه در روز ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵

درصد و نوع کاربری اراضی شهری میناب به صورت جدول ۶ ارائه شد و سپس خصوصیات روانابها و نفوذ در هر یک از زیرحوزه‌های شهری میناب بررسی شد.

#### رواناب در زیرحوزه‌های شهری میناب

رواناب‌های سطحی ناشی از بارش، تحت تأثیر نوع کاربری اراضی، توپوگرافی، شیب و درصد سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر متفاوت است. در این پژوهش

جدول ۶: نوع کاربری اراضی در زیرحوزه‌های شهری میناب

پوشش گیاهی	تجاری	نوع کاربری اراضی (درصد)			زیرحوزه شهری میناب
		مسکونی کم تراکم	مسکونی متوسط تراکم	مسکونی پر تراکم	
۳۵	۰	۵۳	۱۲	۰	پشته علی آباد
۴۰	۰	۵۰	۱۰	۰	خیرآباد
۳۰	۱۰	۳۰	۲۰	۱۰	ولی عصر
۰	۰	۱۰	۵۰	۴۰	قلعه هزاره
۰	۳۰	۰	۰	۷۰	سیتی سنتر
۱۰	۰	۰	۲۰	۷۰	پارک ولایت
۲۰	۰	۲۰	۳۰	۳۰	۹۵ دستگاه
۶۰	۱۰	۲۰	۱۰	۰	پارک ملت
۲۵	۵	۵۰	۲۰	۰	پشته آزادگان
۲۰	۱۰	۵۰	۲۰	۰	احمد آباد

نسبی بالا و متوسطی برخوردار است، میزان نفوذ در آن کم بوده است که موجب افزایش رواناب سطحی شده است که می‌توان به زیرحوزه‌های قلعه هزاره،

نتایج حاصل از ویژگی رواناب‌های سطحی و نفوذ در زیرحوزه‌های شهری میناب نشان داد زیرحوزه‌هایی که کاربری آن اغلب مسکونی بوده و از تراکم

رواناب (۰/۹۳) در زیرحوزه ولایت است که در شمال شهر میناب قرار داشته و شیب توپوگرافی زیاد بوده و حدود ۷۰ درصد اراضی آن به کاربری مسکونی پرتراکم تعلق دارد؛ اما کمترین ضریب رواناب (۰/۵۴) در زیرحوزه پارک ملت است که بزرگترین زیرحوزه شهری میناب بوده و عمدتاً از پوشش گیاهی، زمین ورزشی و مراتع و درختچه-های بومی منطقه تشکیل شده است.

سیتی سنتر، پارک ولایت و ۹۵ دستگاہ اشاره نمود (جدول ۷)؛ اما در زیرحوزه‌های شهری میناب که پوشش گیاهی کاربری غالب حوزه بوده و تراکم کاربری مسکونی اندک می‌باشد، سطوح نفوذپذیر زیاد بوده و سطوح نفوذناپذیر اندک است که در نهایت ضریب رواناب در آن‌ها کاهش یافته است که می‌توان به زیرحوزه‌های پارک ملت، پشته آزادگان، پشته علی‌آباد و خیرآباد اشاره کرد. اوج ضریب

جدول ۷: ویژگی رواناب‌ها و نفوذ بارش به تفکیک زیرحوزه‌های شهری میناب در روز ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵

زیرحوزه	بارش (میلی‌متر)	کل نفوذ (میلی‌متر)	رواناب در حوزه نفوذ پذیر (میلی‌متر)	کل رواناب (میلی‌متر)	کل رواناب (میلیون لیتر)	پیک رواناب	ضریب رواناب
پشته علی‌آباد	۱۰۰	۱۹/۸۵	۴۱	۳۰/۲۵	۷۱/۲۵	۲/۸۵	۰/۷۱
خیرآباد	۱۰۰	۳۰/۲۳	۲۴/۵۹	۳۲/۸۴	۵۷/۴۳	۲/۴۵	۰/۵۷
ولی عصر	۱۰۰	۱۴/۸۵	۷۵/۴۲	۶/۱	۸۱/۵۲	۳/۶۶	۰/۸۱
قلعه هزاره	۱۰۰	۱۲/۹۲	۸۳/۹۶	۱/۹۳	۸۵/۸۹	۱/۰۶	۰/۸۵
سیتی سنتر	۱۰۰	۱۰/۸۳	۶۴/۰۲	۲۲/۴۸	۸۶/۵۰	۱/۲۳	۰/۸۶
پارک ولایت	۱۰۰	۵/۸۵	۷۹/۲۹	۱۳/۷۸	۹۳/۰۴	۰/۹۸	۰/۹۳
۹۵ دستگاہ	۱۰۰	۳۶/۴۶	۴۴/۳۱	۱۰/۳۷	۵۴/۶۸	۲/۸۸	۰/۵۴
پارک ملت	۱۰۰	۴۰	۳۰/۰۶	۱۶/۰۶	۴۶/۱۱	۲/۴۲	۰/۴۶
پشته آزادگان	۱۰۰	۷/۷۴	۷۳/۵۳	۱۶/۱۷	۸۹/۷	۲/۳۵	۰/۸۹
احمد آباد	۱۰۰	۱۷/۹۰	۴۸/۵۹	۲۵/۷۶	۷۴/۳۵	۱/۵۰	۰/۷۴

کلی بیشترین حجم سیلاب در منهول شماره ۱۶ است که در واقع خروجی رواناب از حوزه شهری میناب بوده که در این منهول حجم سیلاب ۴۳/۹۵ میلیون لیتر برآورد گردید. حداکثر جریان آب در منهول ۷ بوده که حدود ۴/۴۶ مترمکعب در ثانیه بوده است. حداکثر عمق آب در منهول ۱۶ بوده که به ۱/۹۶ متر رسیده است و هم‌چنین حداکثر عمق آب نیز در منهول ۱۶ بوده که ۱/۳۰ متر برآورد گردید (جدول ۸).

در این پژوهش، ویژگی‌های حجم و عمق رواناب در گره‌ها (منهول‌ها) نیز شبیه‌سازی و برآورد گردید؛ نتایج نشان داد که حجم جریان آب و سیلاب در منهول‌های ابتدایی که در محله‌های بالای شهر میناب در مناطق مرتفع‌تر قرار دارد، اندک بوده و با تشدید بارندگی حجم رواناب افزایش یافته و در منهول‌های پایینی و مناطق پست که رواناب‌های زیرحوزه‌های بالاتر به آن اضافه می‌شود، میزان حجم و جریان آب افزایش پیدا کرده است. به‌طور

جدول ۸: ویژگی‌های آب در منهول‌های حوزه شهری میناب

زیرحوزه	شماره منهول	حداکثر جریان آب (مترمکعب در ثانیه)	حجم جریان آب (میلیون لیتر)	حجم سیلاب (میلیون لیتر)	میانگین عمق آب (متر)	حداکثر عمق آب (متر)
---------	-------------	---------------------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------	------------------------

۰/۹۰	۰/۷۷		۳۴/۵	۳/۸۵	۱	آزادگان
.	.	۱۵/۵	.	.	۲	
۰/۷۷	۰/۶۴		۱۸/۹	۱/۱۳	۳	
۰/۹۰	۰/۷۵	۱۴/۸۵	۴۰/۸	۳/۵۸	۴	احمدآباد
۰/۹۰	۰/۷۷	۲۳/۴۳	۵۱/۳	۴/۴۱	۵	
۰/۹۰	۰/۷۶	۱۳/۵۶	۲۷/۶	۱/۶۳	۶	
۰/۹۰	۰/۷۷		۴۷	۴/۴۶	۷	ولی عصر
۱	۰/۸۳	۳۴/۶۳	۱۱/۷	۰/۷۵	۸	
۰/۰۱	۰/۰۱	۱۱/۱۳	۰/۰۴۶	۰/۰۰۳	۹	
۰/۹۰	۰/۴۹	۰/۲۶	۱۸/۷	۲/۰۵	۱۰	هزارقلعه
۰/۹۰	۰/۶۶		۲۹/۱	۳/۰۲	۱۱	سیتی سنتر
۰/۸۴	۰/۶۱	۶/۴۷	۲۲/۴	۱/۵۹	۱۲	
۰/۸۵	۰/۶۱		۲۲/۲	۱/۵۹	۱۳	پارک ولایت
۰/۴۰	۰/۲۱		۸/۳۳	۰/۹۲	۱۴	
۰/۹۰	۰/۷۷	۲۲/۷۱	۴۵/۵	۴/۴	۱۵	پارک ملت
۱/۳۰	۱/۰۹	۴۳/۹۵	۴۵/۳	۲/۹۷	۱۶	
.	.		.	.	۱۷	شیخ آباد
.	.		.	.	۱۸	
۰/۹۰	۰/۶۴	۳/۷۶	۲۷/۳	۲/۸۸	۱۹	المهدی

زیرحوزه‌های هزارقلعه و پارک ولایت، حداکثر جریان آب به ۱/۸۰ مترمکعب در ثانیه رسید و حداکثر شدت رواناب نیز در این کانال‌ها ۲/۸۶ متر در ثانیه بود؛ اما در زیرحوزه‌هایی که از سطوح نفوذپذیر و با کاربری مسکونی کم تراکم تشکیل شده‌اند، شدت جریان رواناب در کانال‌ها حداقل بوده و حتی در بعضی از زیرحوزه‌های شهری، جریان روانابی در کانال‌ها مشاهده نشد (جدول ۹).

نتایج بررسی حداکثر جریان و شدت جریان رواناب در مجاری زهکشی شهری میناب نشان داد که اوج جریان و شدت رواناب در کانال‌های ۱۲ و ۱۳ است که در زیرحوزه هزارقلعه و پارک ولایت است که از کاربری‌های مسکونی پرتراکم و تراکم متوسط تشکیل شده‌اند. آب باران بدون نفوذ به زمین سریعاً در سطح جاری شده و وارد کانال‌های زهکشی شده است. در روز ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵ که بارش ۱۰۰ میلی-متری اتفاق افتاد، در کانال‌های ۱۲ و ۱۳ در

جدول ۹: حداکثر جریان و شدت رواناب در مجاری زهکشی (کانال) شهری میناب

مجماری	زیرحوزه	حداکثر جریان (مترمکعب در ثانیه)	حداکثر شدت (متر در ثانیه)
کانال ۱	آزادگان	۱/۱۳	۲/۱۲
کانال ۲		.	.
کانال ۳	احمدآباد	۱/۱۳	۱/۹۳
کانال ۴		۱/۵۶	۲/۴۸
کانال ۵	خیرآباد	۱/۶۳	۲/۶۰
کانال ۶	ولی عصر	۰/۸۰	۱/۲۸
کانال ۷		۰/۷۴	۱/۲۷
کانال ۸		.	.

۰	۰	سیتی سنتر	کانال ۹
۰	۰	هزار قلعه	کانال ۱۰
۲/۲۵	۰/۹۲	پارک ولایت	کانال ۱۱
۲/۸۶	۱/۸۰	پارک ملت	کانال ۱۲
۲/۷۰	۱/۵۹		کانال ۱۳
۲/۶۱	۱/۵۹	پارک ملت	کانال ۱۴
۲/۴۱	۱/۳۷	بیمارستان	کانال ۱۵
۲/۴۶	۱/۸۰	خروجی نهایی	کانال ۱۶
۰	۰	شیخ آباد	
۰	۰	۹۵ دستگاه	کانال ۱۷
۲/۶۱	۱/۶۴	المهدی	

همگرایی و ناپایداری توده هوایی می‌شود که از سمت دریا وارد خشکی شده است. به‌طور کلی، مولفه‌های بارش سنگین در جلگه میناب شامل توپوگرافی منطقه، مخزن رطوبتی و سیستم کم-فشار خلیج فارس- دریای عمان به‌همراه ناوه کم-ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. سیلاب‌های شهری ناشی از بارش‌های سنگین و نوع استفاده از زمین شهری و کاربری‌های اراضی موجود در منطقه نشأت می‌گیرد (Kilavi et al, 2018). همان‌طور که گفته شد، اغلب بارش‌های بیش از ۳۰ میلی‌متر در سطوح شهری با کاربری‌های سکونتگاهی پرتراکم منجر به وقوع سیلاب می‌شود. در این پژوهش نیز نتایج موید همین موضوع می‌باشد.

پس از وقوع سیلاب به‌دلیل سطوح نفوذناپذیر کاربری‌های سکونتگاهی در شهر، آب نزول‌یافته سریعاً به رواناب تبدیل شده و وارد مجاری زهکشی و کانال‌های آبرو می‌شود که در نهایت با تخریب تأسیسات زیربنایی و خسارت اقتصادی بر شهر از خروجی حوزه بیرون می‌رود (Wu et al, 2019)؛ Shen et al, 2019؛ معیری و انتظاری، ۱۳۸۷؛ دلیران فیروز و همکاران، ۱۳۹۴؛ جهان‌دیده و همکاران، ۱۳۹۸). شناخت رفتار هیدرولیکی رواناب‌های ناشی از سیلاب شهری نقش مهمی در برنامه‌ریزی و تدوین راهبردهای مدیریتی جهت کنترل سیلاب دارد و پژوهشگران نیز با استفاده از

نتایج این پژوهش نشان داد که گسترش ناوه‌ی کم-ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌سمت عرض‌های پایین جغرافیایی به‌همراه سیستم کم‌فشار گرم و مرطوب خلیج‌فارس- دریای عمان موجب وقوع بارش‌های سنگین و سیلابی در جلگه میناب می‌شود. احمدی و جعفری (۱۳۹۴) در مطالعه خود اثر تقویتی رطوبت دریای خلیج‌فارس را در کم‌فشار سودانی و وقوع بارش سنگین در منطقه جنوبی ایران موثر دانسته‌اند. سیستم‌های رطوبتی که از دریای سرخ وارد ایران می‌شوند، با تخلیه رطوبت به‌صورت بارش در مناطق خشک شبه‌جزیره عربستان ضعیف می‌شوند، اما با عبور از دریای خلیج فارس مجدداً رطوبت کافی کسب نموده و موجب بارش‌های سنگین در جنوب و جنوب‌غربی ایران می‌شوند (Esfandiari and Lashkari, 2020). توپوگرافی و کوهستان اثر مضاعفی بر ناپایداری توده‌های هوای سطحی دارد؛ به‌گونه‌ای که سیکلون‌های بارشی که از غرب و جنوب‌غربی وارد ایران می‌شوند، با برخورد به کوهستان زاگرس، در دامنه غربی آن ناپایدار شده و موجب همگرایی توده هوای سطحی می‌شود و در نهایت منجر به وقوع بارش‌های سنگین همرفتی در منطقه‌ی غرب و جنوب‌غربی ایران می‌شود (Kiani et al, 2019). در این پژوهش نیز کوهستان زاگرس چین‌خورده در امتداد سواحل شمالی خلیج‌فارس- مکران موجب



پژوهشگران نشان دادند که نتایج آن قابل اعتماد می باشد (حیدرزاده و همکاران، ۱۳۹۶).

### نتیجه گیری

سیستم های جمع آوری آب های سطحی و شبکه زهکشی شهری یکی از زیرساخت های مهم شهری محسوب می شود و نقش مهمی در هدایت رواناب های ناشی از سیلاب دارد؛ اما قبل از آن می بایست رفتار هیدرولیکی رواناب ها از قبیل دبی پیک، شدت جریان و حجم آب ورودی به شبکه را شناسایی نمود. در مواقع وقوع بارش های سنگین، در سطوح نفوذناپذیر شهری که از کاربری های مسکونی و پرتراکم تشکیل شده است، سیلاب شهری به راه می افتد و حجم رواناب زیادی در چندین دقیقه وارد شبکه زهکشی شهری می شود که در صورت عدم ظرفیت کافی مجاری، پس زدگی آب و پرشدگی کانال ها اتفاق می افتد و خسارت های اقتصادی و ترافیکی و جانی شدیدی بر شهر وارد می سازد. پس ابتدا شناخت الگوهای جوی مولد سیلاب و سپس شبیه سازی و برآورد مولفه های رواناب شهری نقش مهمی در تدوین راهبردهای مدیریتی در طراحی زهکش شهری و سیستم هدایت آب های سطحی دارد. در پژوهش حاضر که سیلاب شهری میناب مورد بررسی قرار گرفت، نتایج آن نمایانگر اثر توپوگرافی و سیستم های کم فشار سودانی - خلیج - فارس به همراه ناوهی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال موجب وقوع سیلاب در جلگه میناب می شود. هم چنین با استفاده از مدل SWMM کمیت رواناب شهری برآورد گردید که در ارزیابی مدل از مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده استفاده گردید و نتایج معیارهای صحت سنجی بیانگر قابل قبول بودن نتایج شبیه سازی مدل بود. نتیجه مدلسازی سیلاب شهری در میناب بیانگر این بود که مناطق پرتراکم مسکونی شهر میناب به دلیل عدم

مدل های رایانه ای هم چون HEC-HMS، HEC-RAS و به همراه سامانه اطلاعات جغرافیایی به شبیه سازی و برآورد جریان سیلاب در کاربری های مختلف پرداخته اند (Cowles et al, 2019؛ Kabeja et al, 2019؛ Stoleriu et al, 2020؛ رحیم زاده و حبیبی، ۱۳۹۷؛ جهان بخش اصل و همکاران، ۱۳۹۷). برای شبیه سازی و برآورد رفتار سیلاب شهری پژوهشگران مدل SWMM را طراحی نموده و از آن استفاده می نمایند. در این پژوهش نیز از مدل SWMM برای شناخت سیلاب شهری میناب استفاده گردید که ارزیابی و صحت سنجی نتایج مدل با مشاهدات تجربی به وسیله معیار ناش سائکلیف و RMSE بیانگر قابل اعتماد بودن نتایج مدل در برآورد رفتار هیدرولیکی سیلاب شهری می باشد. پژوهشگران نیز در ارزیابی مدل SWMM و صحت سنجی آن از معیار ناش سائکلیف و RMSE استفاده نموده که نتایج آن ها بیانگر قابل اعتماد بودن مدل و توانایی آن در شبیه سازی رفتار هیدرولیکی سیلاب شهری و رواناب های ناشی از آن است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ طاعت پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ Babaei et al, 2018). خلیقی سیگارودی و همکاران (۱۳۹۴) از مدل SWMM برای شبیه سازی رواناب شهری در شهرک امام علی مشهد استفاده نموده و نتایج آن با نتایج پژوهش حاضر همسو بود که نشان داد می توان از این مدل در طراحی و ارزیابی سیستم شبکه زهکشی شهری استفاده کرد. هم چنین مدل SWMM توانایی قابل قبولی در شبیه سازی هیدروگراف و برآورد حجم جریان و دبی اوج سیلاب ها دارد که در مواقع بحران سیلابی نتایج آن می تواند در اختیار برنامه ریزان شهری قرار بگیرد (رشیدپور و همکاران، ۱۳۹۶). در ضمن این مدل کارآیی قدرتمندی در شبیه سازی کمیت رواناب ها در شهرهای ساحلی دارد و

ظرفیت کافی برای انتقال رواناب ندارند. با این شرایط، نتایج این پژوهش می‌تواند در اختیار برنامه‌ریزان و طراحان سیستم‌های هدایت آب‌های سطحی و شبکه زهکشی شهری میناب قرار بگیرد.

نفوذپذیری در سیلاب شهری و پس‌زدگی آب نقش مهمی دارد که منهول‌ها و مجاری زهکشی در این زیرحوزه‌ها هم‌چون زیرحوزه قلعه‌ی هزاره، پارک ولایت، سیتی‌سنتر و شیخ‌آباد در زمان وقوع سیلاب

## پانوشت

### 1-EM-DAT

از مدل HEC-HMS. نشریه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۶، ص ۱۰۱-۱۱۸.  
 -حیدرزاده، م.، نوحه‌گر، ا.، ملکیان، ا. و خورانی، ا.، ۱۳۹۶. ارزیابی و آنالیز حساسیت کمیت رواناب و سیستم زهکشی در حوضه شهری ساحلی (مطالعه موردی: شهر ساحلی بندرعباس)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، ص ۲۱۸-۲۰۳.  
 -خلیقی سیگاردوی، ش.، رستمی خلیج، م.، مهدوی، م. و سلاجقه، ع.، ۱۳۹۴. واسنجی و ارزیابی مدل SWMM به‌منظور شبیه‌سازی رواناب شهری (مطالعه موردی: شهرک امام علی (ع) شهر مشهد)، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۸، شماره ۳، ص ۴۸۷-۴۹۸.  
 -دلیران فیروز، ه.، مختاری خوزانی، ف.، سلطانی، س. و موسوی، س.ع.ر.، ۱۳۹۴. ارزیابی خسارات ناشی از سیل در حوزه‌های آبخیز قمصر و قهرود با استفاده از نرم‌افزار HEC-FIA، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۱۹، شماره ۷۴، ص ۶۳-۷۵.  
 -رحیم‌زاده، ز. و حبیبی، م.، ۱۳۹۷. شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با مدل هیدرولوژیک HEC-HMS و پیش‌بینی دوره بازگشت در حوضه روانسر کرمانشاه، جغرافیا و توسعه، شماره ۵۳، ص ۱۷۵-۱۹۴.

### 2-Hurton

## منابع

-احمدی، م. و جعفری، ف.، ۱۳۹۴. واکاوی بارش فوق‌سنگین ۲۳ اسفندماه ۱۳۹۲ مولد سیلاب مخرب در شهرستان بندرعباس، نشریه دانش مخاطرات، دوره ۲، شماره ۳، ص ۳۰۷-۳۲۴.  
 -بدیعی‌زاده، س.، بهره‌مند، ع.ر.، دهقانی، ا.ا. و نورا، ن.، ۱۳۹۴. مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان، استان گلستان، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۴، ص ۱۵۵-۱۷۰.  
 -جمال، ع.ر.، پروان، ع. و والی‌زاده، د.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در رودخانه ایران‌شهر با استفاده از مدل‌سازی عددی دوبعدی و GIS، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۲۳، ویژه‌نامه سیل و فرسایش خاک، ص ۷۱-۸۳.  
 -جهان‌دیده، ا.، اسدی نیلوان، ا.، فرجی، ن. و ولیون کیوج، م.، ۱۳۹۸. شناسایی انواع سیلاب به عنوان یم بحران محیطی و عوامل موثر در بروز آن، چهاردمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، آبخیزداری و مدیریت جامع منابع آب و خاک، ۲۵ و ۲۶ تیرماه ۱۳۹۸، دانشگاه ارومیه.  
 -جهانبخش اصل، س.، رضایی بنفشه، م.، رستم‌زاده، ه. و عالی‌نژاد، م.ح.، ۱۳۹۷. شبیه‌سازی پیوسته بارش- رواناب حوضه‌ی شهرچای ارومیه با استفاده

- مدیریت حوزه آبخیز، سال ۶، شماره ۱۱، ص ۱۶۲-۱۷۰.
- محمدی، ع.، سلیقه، م.، حمیدی میرکلایی، ا. و حسامی، ع.، ۱۳۹۴. تحلیل همیدی بارش‌های سیل‌زای حوضه آبریز دریای مازندران (مطالعه موردی: سیل نوشهر در زمستان سال ۱۳۹۱)، مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، سال ۱۰، شماره ۲، ص ۶۹-۷۹.
- معیری، م. و انتظاری، م.، ۱۳۸۷. سیلاب و مروری بر سیلاب‌های استان اصفهان، فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی، سال ۳، شماره ۶، ص ۱۱۰-۱۲۴.
- نوحه گر، ا.، حسین زاده، م.م. و صلاحی، ب.، ۱۳۸۴. سیلاب و تمهیدات مدیریتی برای مهار آن در رودخانه میناب (حداقل سد میناب تا تنگه هرمز)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال ۲، شماره ۸، ص ۶۹-۸۲.
- Al-Nassar, A.R., Pelegrí, J.L., Sangrà, P., Alarcon, M. and Jansa, A., 2020. Cut-off low systems over Iraq: Contribution to annual precipitation and synoptic analysis of extreme events. *International Journal of Climatology*, v. 40(2), p. 908-926.
- Babaei, S., Ghazavi, R. and Erfanian, M., 2018. Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 105, p. 3-11.
- Chang, J.H.W., Kong, S.S.K., Sentian, J., Dayou, J. and Chee, F.P., 2020. Synoptic analysis and mesoscale numerical modelling of heavy precipitation: a case study of flash flood event in Kota Kinabalu, Malaysia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 132(2), p. 181-201.
- Cowles, A., Willson, C. and Twilley, R., 2019. Effects of Land-Use Change (1938–2018) on Surface Runoff and Flooding in the Amite River Basin, Louisiana, USA Using Coupled 1D/2D HEC-RAS–HEC-HMS Hydrological Modeling.
- Dongquan, Z., Jining, C., Haozheng, W., Qingyuan, T., Shangbing, C. and Zheng, S., 2009. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Macau. *Environmental Earth Sciences*, v. 59(2), 465 p.
- Elliott, E., Bain, D., Shelef, E., Thomas, B., River, M. and Guy, M., 2020. Flooding in Southwestern Pennsylvania: Knowledge Gaps and Approaches. EM-DAT, The international Disaster Database, 2019.
- Esfandiari, N. and Lashkari, H., 2020. Identifying atmospheric river events and their paths into Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 140, p. 1125-1137.

- Garner, M., Sebastian, A., Hakkenberg, C.R., Juan, A., Gori, A. and Bedient, P.B., 2019. Integrating Annual Landsat Imagery in a Hydrologic Impact Analysis of Localized Land Use Change for a Rapidly Developing Watershed in Houston, Texas. AGUFM, H53L-1943.
- Hua, P., Yang, W., Qi, X., Jiang, S., Xie, J., Gu, X. and Krebs, P., 2020. Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development. *Journal of Cleaner Production*, v. 242, p. 118-135.
- Jennrich, G.C., Furtado, J.C., Basara, J.B. and Martin, E.R., 2020. Synoptic Characteristics of 14-Day Extreme Precipitation Events Across the United States. *Journal of Climate*, pbt.
- Jiang, L.E.I., Chen, Y. and Wang, H., 2015. Urban flood simulation based on the SWMM model. *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, v. 368(1), p. 186-191.
- Junaidi, A., Putra, H., Istijono, B., Nurhamidah, N. and Utama, M., 2020. Eco-drainage system planning with SWMM model: a case study of Sawah Liat drainage, Kuranji watershed in Padang City, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 419(1), p. 12-34.
- Kabeja, C., Li, R., Guo, J., Rwabuhungu, D., Manyifika, M., Gao, Z. ... and Zhang, Y., 2019. The Impact of Reforestation Induced Land Cover Change (1990-2017) on Flash Flood Peak Discharge Using HEC-HMS Hydrological Model and Satellite Observations: A study in Data Scarce Tributary of Sichuan Basin, China. *Water*, v. 12(5), <https://doi.org/10.3390/w12051347>.
- Kiani, M., Lashkari, H. and Ghaemi, H., 2019. The effect of Zagros Mountains on rainfall changes of Sudanese low pressure system in western Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 5(4), p. 1769-1779.
- Kilavi, M., MacLeod, D., Ambani, M., Robbins, J., Dankers, R., Graham, R. ... and Todd, M.C., 2018. Extreme rainfall and flooding over central Kenya including Nairobi city during the long-rains season 2018: causes, predictability, and potential for early warning and actions. *Atmosphere*, v. 9(12), p. 472-491.
- Nikumbh, A.C., Chakraborty, A., Bhat, G.S. and Frierson, D.M., 2020. Large-scale extreme rainfall producing synoptic systems of the Indian summer monsoon. *Geophysical Research Letters*, v. 4711, p. 1-15.
- Santhi, C., Arnold, J.G., Williams, J.R., Dugas, W.A., Srinivasan, R. and Hauck, L.M., 2001. Validation of the swat model on a large rwer basin with point and nonpoint sources 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 37(5), p. 1169-1188.
- Schilling, K.E., Gassman, P.W., Kling, C.L., Campbell, T., Jha, M.K., Wolter, C.F. and Arnold, J.G., 2014. The potential for agricultural land use change to reduce flood risk in a large watershed. *Hydrological processes*, v. 28(8), p. 3314-3325.
- Shen, Y., Morsy, M.M., Huxley, C., Tahvildari, N. and Goodall, J.L., 2019. Flood risk assessment and increased resilience for coastal urban watersheds under the combined impact of storm tide and heavy rainfall. *Journal of Hydrology*, v. 579, p. 124-159.
- Soltani, M., Molanejad, M., Khoshakhlagh, F., SaadatAbadi, A.R. and Ranjbar, F., 2014. Synoptic and thermodynamic characteristics of 30 March–2 April 2009 heavy rainfall event in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 126(1-2), p. 49-63.
- Sourisseau, S., Bassères, A., Périé, F. and Caquet, T., 2008. Calibration, validation and sensitivity analysis of an

- ecosystem model applied to artificial streams. *Water research*, v. 42(4-5), p. 1167-1181.
- Stoleriu, C.C., Urzica, A. and Mihupintilie, A., 2020. Improving flood risk map accuracy using high-density LiDAR data and the HEC-RAS river analysis system: A case study from north-eastern Romania. *Journal of Flood Risk Management*, v. 13, p. 72-95.
- Tang, Z., Engel, B.A., Pijanowski, B.C. and Lim, K.J., 2005. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of environmental management*, v. 76(1), p. 35-45.
- Temprano, J., Arango, Ó., Cagliao, J., Suárez, J. and Tejero, I., 2006. Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. *Water Sa*, v. 32(1), p. 55-63.
- Wu, S., Jang, J., Wu, T., Lin, J. and Li, B., 2019. An evaluation of the flood diversion project d Junaidi ue to extreme rainfall event in Taipei City. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Zeng, Z., Lai, C., Wang, Z., Chen, J., Chen, P., He, S. and Li, S., 2019. Rapid Simulation of Urban Rainstorm Flood Based on WCA2D and SWMM Model. AGUFM, AmericanGeophysical Union, Fall Meeting.