



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

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

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

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 13
No. 3 (51)**

**Received:
2023-04-25**

**Accepted:
2023-08-16**

Pages: 1-15



Verification of Water Infiltration in the Soil in the Flood Occurrence Model Using SCS Probability Distribution Equations and HEC-HMS Model

Sohrab Alizadeh¹, Alireza Zamani Nouri^{2*} and Babak Aminnejad³

1) Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
2) Department of Civil Engineering, Shahr_e_Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3) Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
* Corresponding author email: dr.zamani1979@gmail.com

Abstract

Background and Aim: One of the biggest challenges of the rainfall-runoff model is to accurately determine the rate of water infiltration into the soil as one of the parameters that determine the size and shape of the hydrographs of historical floods. The studies conducted in different climates that show different morphometry of the earth indicate the weakness of widely used methods such as SCS-CN in determining the rate of water infiltration into the soil. For the SCS-CN method, as the soil storage index approaches infinity, the soil moisture ratio approaches 1, and this is due to the limitation of the SCS-CN method. In this research, focusing on this weakness in the basic relationships of loss calculations, and an integrated approach in determining the infiltration of water into the soil, the magnitude of the historical floods in the watershed was analyzed. The importance of this analysis can be in verifying the magnitude of floods, which is the criterion for determining structures or crisis control programs.

Method: Considering that in order to solve the problem of infiltration calculations at the basin scale, and based on the new equations to determine flow losses, a homogeneous but raster criterion is needed, in this research, based on the sensitivity of the produced flow to the amount of losses in the probabilistic investigation of the index humidity and flow ratio, a depth-infiltration model was prepared from the two-dimensional comprehensive model in the range. In this study, based on the new relationships of losses determination, numerical calculations were done in the software and script environment sequentially and based on the outputs of the hydrological model. First, the HEC-HMS rainfall-runoff model structure was generated with Arc Hydro and HEC_GeoHMS extensions in Shadegan catchment. Then, infiltration parameters were determined by SMA method in the analysis of remote sensing images from the basin. In the next stage, the development of the primary continuous model, calibration and validation was done focusing on soil moisture information. After determining the soil moisture relationship based on the results of the soil wetting model, the artificial unit occurrence hydrograph was determined by determining the flood volume based on the SCS-CN and VIC combined method.

Results: The general results of the implementation of the hydraulic model of the flood plain showed that the maximum inflow was equal to 3023 cubic meters per second at the 90th hour of the event, and the maximum outflow flood was at the 93rd hour with a figure of 2137 cubic meters per second. The discharge value is assumed to be 0 at the beginning of the calculations. The flow volume at the end of the calculations was equal to 141.03 million cubic meters, which is the remaining volume of 918.36 million cubic meters in the whole event. The difference between the inlet and outlet discharge was calculated as a deficiency of about 6.14%. Also, the layer of flow depth changes shows that the water level in the plain is trying to be at a possible and reasonable level by filling the lower points. So that a large part of the volume of water from the southern strip of the borders of Trava for the active area of modeling will eventually flow into the sea. However, the direction of water movement has even been estimated to be perpendicular to the direct path towards the sea in some cases. These results indicate a maximum depth of 16.4 units in some areas, with a minimum depth of 5.3 units. The important point is that in the plains, according to the cell size, definitely in some cases much lower depths can be calculated. The average depth in active cells is 11.9 meter calculated locally. These figures can change according to different rainfall events.

Conclusions: The results showed that it is possible to verify the infiltration based on the new base distribution equations with a probabilistic condition in the estimation of the basin shape parameter. The amount of hydrograph calibration in response to water infiltration in soil is dependent on the correct estimation of initial soil moisture. Flow losses in large-scale watersheds are obtained more suitably based on SCS-based distribution equations. Numerical and hydrological models such as HEC-HMS or modelers such as HEC_GeoHMS are completely dependent on the DEM raw layer introduced for the purpose of upstream demarcation. Changes in land cover in flat areas can actually produce a closed border of the watershed compared to the reality of the land in different simulation models. According to the basic assumptions such as calibration coefficients, the single hydrograph method can be a good substitute for areas without rainfall-runoff statistics. The TUFLOW software model gave the best response to one-dimensional to two-dimensional flow for Shadgan plain according to the type of boundary conditions.

Keywords: Infiltration verification, flood occurrence model, SCS probability distribution equations, HEC-HMS model



تدقیق نفوذ آب در خاک در مدل رخدادی سیلاب با استفاده از معادلات توزیع

احتمالاتی SCS و مدل HEC-HMS

سهراب علیزاده^۱، علیرضا زمانی نوری^{۲*} و بابک امین نژاد^۳

۱) گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

۲) گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳) گروه مهندسی عمران، واحد رودهن دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: dr.zamani1979@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: یکی از بزرگترین چالش‌های مدل بارش-رواناب، تعیین دقیق نرخ نفوذ آب به خاک به عنوان یکی از پارامترهای تعیین کننده بزرگی و شکل هیدروگراف‌های سیلاب‌های تاریخی است. مطالعات صورت گرفته در اقلیم‌های متفاوت که ریخت شناسی مختلف زمین را نمایش می‌دهند، حاکی از ضعف روش‌های پرکاربردی نظیر SCS-CN در تعیین نرخ نفوذ آب به خاک است. برای روش SCS-CN، با نزدیک شدن شاخص ذخیره‌سازی خاک به بی نهایت، نسبت رطوبت خاک به ۱ نزدیک می‌شود و این به دلیل محدودیت روش SCS-CN است. در این پژوهش با محوریت همین ضعف در روابط پایه محاسبات تلفات، و رویکرد یکپارچه‌ای در تعیین نفوذ آب به داخل خاک، بزرگی مقدار سیلاب‌های رخدادی در حالت تاریخی خود در حوضه آبریز تحلیل شد. اهمیت این تحلیل می‌تواند در تدقیق بزرگی سیلاب‌هایی باشد که معیار تعیین سازه‌ها و یا برنامه‌های کنترل بحران است.

روش پژوهش: با توجه به آنکه به منظور حل مشکل محاسبات نفوذ در مقیاس حوضه، و بر پایه معادلات جدید تعیین تلفات جریان، نیاز به یک معیار همگن اما رستری می‌باشد، در این پژوهش بر اساس حساسیت تولید شده جریان به مقدار تلفات در بررسی احتمالاتی شاخص‌های رطوبت و نسبت جریان، اقدام به تهیه یک الگوی عمق-نفوذ از مدل جامع دو بعدی در محدوده شد. در این مطالعه بر اساس روابط جدید تعیین تلفات، محاسبات عددی در محیط نرم‌افزار اسکریپت به صورت متوالی و بر اساس خروجی‌های مدل هیدرولوژیکی صورت پذیرفت. ابتدا تولید ساختار مدل بارش-رواناب HEC-HMS با افزونه‌های ArcHydro و HEC_GeoHMS در حوضه آبریز شادگان انجام شد. سپس پارامترهای نفوذ به روش SMA در تحلیل تصاویر سنجش از دور از حوضه تعیین شد. در مرحله بعد توسعه مدل تداومی اولیه، واسنجی و صحت‌سنجی با محوریت اطلاعات رطوبتی خاک انجام شد. پس از تعیین رابطه رطوبت خاک بر اساس نتایج مدل (Soil Wetting)، هیدروگراف رخدادهای مصنوعی با تعیین حجم سیلاب بر پایه روش ترکیبی SCS-CN و VIC تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج کلی اجرای مدل هیدرولوژیکی دشت سیلابی، نشان داد که حداکثر دبی ورودی به محدوده معادل ۳۰۲۳ متر مکعب بر ثانیه در زمان ساعت ۹۰ رخداده، و حداکثر سیلاب خروجی در زمان ۹۳ با رقم ۲۱۳۷ متر مکعب بر ثانیه بوده است. مقدار دبی در آغاز محاسبات صفر فرض گردیده است. حجم جریان در پایان محاسبات برابر با ۱۴۱،۰۳ میلیون متر مکعب بود که این مقدار از حجم ۹۱۸،۳۶ میلیون متر مکعب در کل رخداده باقی مانده است. درصد اختلاف دبی ورودی و خروجی در حدود ۶/۱۴ درصد به صورت کمبود محاسبه شد. همچنین لایه تغییرات عمق جریان نشان می‌دهد که تراز آب در محدوده دشت با پر شدن نقاط پست‌تر سعی در قرار گرفتن در یک حد ممکن و معقول را دارد. آنچنان که بخش زیادی از حجم آب از نوار جنوبی مرزهای تراوا برای ناحیه فعال مدل‌سازی، در نهایت به دریا خواهد ریخت. با این حال جهت حرکت آب حتی در برخی موارد عمود بر مسیر مستقیم به سمت دریا نیز تخمین زده شده است. این نتایج حاکی از عمق حداکثری ۱۶/۴ متر در برخی نواحی می‌باشد که کمینه آن به رقم ۵/۳ متر می‌رسد. نکته مهم آنکه در محدوده دشت با توجه به اندازه سلولی، قطعا در برخی موارد عمق‌های بسیار کمتر نیز قابل محاسبه است. متوسط عمق در سلول‌های فعال برابر ۱۱/۹ متر به صورت محلی محاسبه شده است. این ارقام با توجه به رخدادهای مختلف بارش می‌تواند تغییر کند.

نتایج: نتایج نشان داد تدقیق نفوذ بر اساس معادلات توزیع مبتنی بر لحاظ یک شرایط احتمالاتی در تخمین پارامتر شکل حوضه ممکن است. رقوم واسنجی هیدروگراف در واکنش به نفوذ آب در خاک وابسته به تخمین درست رطوبت اولیه خاک دارد. تلفات جریان در حوضه‌های بزرگ مقیاس بر اساس معادلات توزیع مبنای SCS، به صورت مطلوب‌تری حاصل می‌شود. مدل‌های عددی و هیدرولوژیکی نظیر HEC-HMS و یا مدل‌سازهایی نظیر HEC_GeoHMS به منظور مرزبندی بالادست جریان، کاملا وابسته به لایه خام DEM معرفی شده هستند. تغییرات پوشش زمین در نواحی مسطح می‌تواند عملا مرز بسته شده حوضه آبریز را نسبت به واقعیت زمین در مدل‌های شبیه‌سازی متفاوت خروجی دهد. روش هیدروگراف واحد با توجه به پیش فرض‌های اساسی نظیر ضرایب واسنجی، می‌تواند جایگزین خوبی برای نواحی فاقد آمار بارش-دبی باشند. همچنین مدل نرم‌افزاری TUFLOW بهترین پاسخ‌گویی به جریان یک بعدی به دو بعدی را برای دشت شادگان با توجه به نوع شرایط مرزی داد.

کلید واژه‌ها: تدقیق نفوذ، مدل رخدادی سیلاب، معادلات توزیع احتمالاتی SCS، مدل HEC-HMS



که برای پیش بینی رواناب در مقیاس حوضه آبریز و شبیه سازی‌های هیدرولوژیکی سطح زمین در مقیاس بزرگ استفاده می‌گردد. بارلت و همکاران^۵ (۲۰۱۶) یک چارچوب ذخیره سازی احتمالی مبتنی بر رویداد را برای یکپارچه سازی TOPMODEL، نوع مدل VIC و روش SCS-CN پیشنهاد دادند و این چارچوب شامل توصیف مکانی مفهوم رواناب^۶ پیش آستانه^۷ و "آستانه مازاد" است (Bartlett et al., 2016a). اینکه در بسیاری از محاسبات هیدرولوژیکی، نتایج با آنچه خروجی مدل‌های هیدرولوژیکی است، اختلاف عمده‌ای را داراست، می‌تواند ناشی از همین فرض‌های غیر قابل تحقق معادلات تجربی قلمداد شود. بنابراین یک مشکل بزرگ در استفاده از مدل‌های هیدروگراف بر اساس بهبود فرضیات می‌تواند کمرنگ‌تر شود.

حتی اگر روش SCS-CN به عنوان یک مدل رواناب کاملاً اشباع در نظر گرفته شده باشد، یک اختلاف تئوریک برای ارتباط مستقیم بین روش SCS-CN و مدل Xinanjiang و VIC بر اساس یک تابع توزیع احتمال وجود دارد که مشخصاً مربوط به تنوع مکانی ظرفیت ذخیره سازی آب در خاک است. اگر روش SCS-CN یک مدل رواناب کاملاً اشباع باشد، آیا توزیع معینی برای ظرفیت ذخیره آب در خاک وجود دارد که منجر به روش SCS-CN شود؟ اگر پاسخ این سوال مثبت است، تابع چگالی احتمال (PDF) آن چیست؟ این سوال توسط وانگ^۸ (۲۰۱۸) بررسی شد که نتایج آن با ارائه یک رابطه جدید محاسبه رواناب ارائه گردید. به عنوان مثال، کشف عملکرد توزیع ظرفیت ذخیره سازی آب خاک که منجر به روش SCS-CN می‌شود. در مطالعه وانگ (۲۰۱۸) روش مدل سازی معکوس بوده است، به عبارتی دیگر، شناسایی عملکرد توزیع مدل رواناب کاملاً اشباع برای یک شکل عملکردی شناخته شده از حوضه تولید رواناب است. شناسایی تابع توزیع جدید با ارتباط بین روش SCS-CN و معادله بودیکو^۹ است (Budyko, 1974). با استفاده از فرضیه تناسب تعمیم یافته از روش SCS-CN به معنی تعادل سالانه آب، وانگ و تانگ^۸ (۲۰۱۴) معادله یک پارامتر بودیکو را برای میانگین نسبت تبخیر سالانه (یعنی نسبت تبخیر به بارندگی) به شکل تابع استخراج کردند. از شاخص خشکی آب و هوا (به عنوان مثال، نسبت تبخیر پتانسیل به بارش) برای تشبیه به چارچوب بودیکو، روش SCS-CN و مدل VIC در مقیاس رویداد را می‌توان با رابطه بین نسبت رطوبت و بارش خاک و شاخص ذخیره خاک، نشان داد، که در اصل به صورت نسبت بین ظرفیت رطوبت خاک و میزان بارندگی تعریف می‌شود. نمایش تولید رواناب در چارچوب بودیکو، شناسایی عملکرد توزیع جدید ظرفیت ذخیره سازی خاک را که منجر به توسعه روش SCS-CN می‌شود، تسهیل کرد (Wang, 2018).

یکی از بزرگترین چالش‌های مدل بارش-رواناب، تعیین دقیق نرخ نفوذ آب به خاک به عنوان یکی از پارامترهای تعیین کننده بزرگی و شکل هیدروگراف‌های سیلاب‌های تاریخی است. مطالعات صورت گرفته در اقلیم‌های متفاوت که مورفومتری مختلف زمین را نمایش می‌دهند، حاکی از ضعف روش‌های پرکاربردی نظیر SCS-CN در تعیین نرخ نفوذ آب به خاک است. روش شماره منحنی رواناب سازمان حفاظت از خاک ایالات متحده، تحت عنوان SCS-CN برای تخمین رواناب مستقیم در علوم مهندسی محیطی بارها مورد استفاده قرار گرفته است (Mockus, 1972). حتی اگر روش SCS-CN از نظر تجربی بدست آمده باشد (Beven, 1996; Ponce, 2012)، اغلب از آن به عنوان یک مدل رواناب مازاد نفوذ تعبیر می‌شود (Bras, 1990; Mishra and Singh, 1999). در یک مطالعه یو^۱ (۱۹۹۸) نشان داد که نفوذ در ناحیه جزئی تولید رواناب، کاملاً در یک توزیع آماری از ویژگی‌های معادله نفوذ خاک، مشابه روش SCS-CN عمل می‌کند. همچنین وانگ و هوشیار^۲ (۲۰۱۶) یک راه حل تحلیلی برای معادله ریچاردز در نفوذ به یک ستون خاک محدود شده توسط یک سطح آب استخراج کرده اند؛ آنها نشان دادند که روش SCS-CN به عنوان یک مدل اشباع نفوذ، از راه حل عمومی مشتق شده مدل رواناب، به شکل کاملاً اشباع تفسیر و فرض شده است (Easton et al., 1995; Steenhuis et al., 2004; Lyon et al., 2008). در طی یک بیان، موکوس^۳، که رابطه تناسب روش SCS-CN را ایجاد کرد، اظهار داشت که "جریان اشباع زمینی محتمل‌ترین مکانیسم رواناب است که با این روش شبیه سازی می‌شود" (Ponce, 1996). بعلاوه، بارلت و همکاران (۲۰۱۶) یک چارچوب احتمالی ایجاد کردند، که توجیه آماری روش SCS-CN را فراهم می‌کند و تفسیر کاملاً اشباع رواناب مبتنی بر رخداد را گسترش می‌دهد.

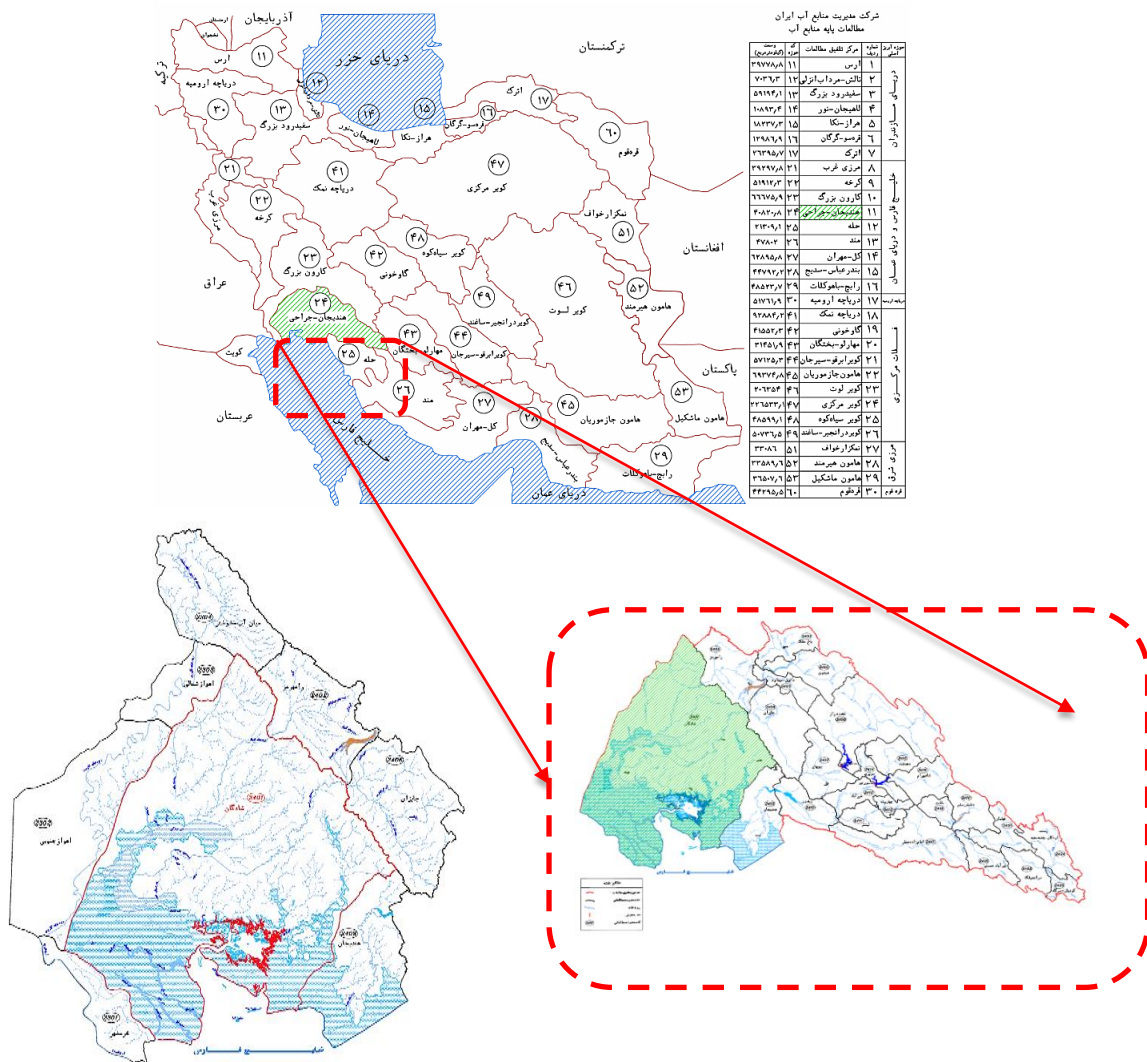
از دهه ۱۹۷۰، مدل‌های مختلف رواناب اشباع بر اساس مفهوم توزیع احتمالاتی ظرفیت ذخیره خاک تولید شده‌اند (Moore, 1985). TOPMODEL یک مدل رواناب کاملاً اشباع شناخته شده است که بر اساس توپوگرافی توزیع شده مکانی ساخته شده است (Beven and Kirkby, 1979; Sivapalan et al., 1987). برای تعیین کمی تغییر منطقه اشباع در رخداد بارندگی، تنوع مکانی ظرفیت ذخیره سازی رطوبت خاک توسط یک توزیع احتمال تجمعی در مدل Zhao Xinanjiang (Zhao, 1977; Zhao و همکاران, 1992) و ظرفیت نفوذ متغیر (مدل VIC) (Wood et al., 1992; Liang et al., 1994) ایجاد شد. توزیع مکانی ظرفیت ذخیره سازی در این مدل‌ها با توزیع عمومی پارتو^۴ توصیف شده است،

در این پژوهش با محوریت ضعف در روابط پایه محاسبه تلفات، و رویکرد یکپارچه‌ای در تعیین نفوذ آب به داخل خاک، بزرگی مقدار سیلاب‌های تک واقعه ای در حوضه آبریز شادگان در جنوب غرب ایران تحلیل شد. اهمیت این تحلیل می‌تواند در تدقیق بزرگی و حجم سیلاب‌هایی باشد که معیار تعیین مقاومت سازه‌های آبی است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز هندیشان-جراحی که مختصات مورد مطالعه در این پژوهش در بخشی از آن واقع شده است، در جنوب غرب کشور قرار دارد. وسعت این حوضه ۴۰۸۲۰/۸ کیلومتر مربع است. این حوضه بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است که به لحاظ تقسیمات کشوری، از این گستره در حدود ۶۰ درصد در استان خوزستان واقع شده است.

در مطالعه وانگ (۲۰۱۸)، معادلات جدیدی برای روش محاسبه تلفات آب در خاک در معادلات SCS-CN و مدل‌های رواناب کاملاً اشباع بر اساس توابع توزیع (به عنوان مثال، مدل VIC) از نظر رطوبت خاک (به عنوان مثال، نفوذ) ارائه شد. آنچنان که در چارچوب بودیکو، رابطه بین نسبت رطوبت خاک و شاخص ذخیره خاک برای روش SCS-CN و مدل VIC بدست می‌آید؛ شرایط مرزی نیز برای توابع مربوطه کاملاً به یکدیگر مطابقت ندارند. برای روش SCS-CN با نزدیک شدن شاخص ذخیره سازی خاک به بی نهایت، نسبت رطوبت خاک به ۱ نزدیک می‌شود که به دلیل محدودیت روش SCS-CN است. به عنوان مثال، شرایط اولیه رطوبت خاک به صراحت در رابطه تناسب نشان داده نمی‌شود. با این حال، برای نوع مدل VIC، نسبت رطوبت خاک برابر با شاخص ذخیره خاک است، زمانی که شاخص ذخیره خاک کمتر از یک مقدار معین باشد، به دلیل محدود بودن عملکرد توزیع ظرفیت ذخیره سازی است.



شکل ۱. موقعیت حوضه - کد مطالعاتی حوضه های آبریز مورد مطالعه در بین حوضه های آبریز درجه ۲ کشور

احتمالاتی شاخص‌های رطوبت و نسبت جریان، اقدام به تهیه یک الگوی عمق-نفوذ از مدل جامع دو بعدی در محدوده شد. در این مطالعه بر اساس روابط جدید تعیین تلفات، محاسبات عددی در محیط نرم افزار و اسکریپت به صورت متوالی و بر اساس خروجی‌های مدل هیدرولوژیکی صورت پذیرفت. ابتدا تولید ساختار مدل بارش-رواناب HEC-HMS با افزونه‌های ArcHydro و HEC_GeoHMS انجام شد. سپس پارامترهای نفوذ به روش SMA در تحلیل تصاویر سنجش از دور از حوضه تعیین شد. در مرحله بعد توسعه مدل تداومی اولیه، واسنجی و صحت سنجی با محوریت اطلاعات رطوبتی خاک انجام شد. پس از تعیین رابطه رطوبت خاک بر اساس نتایج مدل (Soil Wetting)، هیدروگراف واحد مصنوعی با تعیین حجم سیلاب بر پایه روش ترکیبی SCS-CN و VIC تعیین گردید.

مدل HEC-HMS

سیستم مدل سازی هیدرولوژیکی برای شبیه سازی فرآیندهای بارش-رواناب در سیستم حوضه‌های آبخیز شجری^۹ طراحی شده است. این مدل برای کاربرد در محدوده وسیعی از نواحی جغرافیایی جهت حل دامنه وسیعی از مسایل، شامل منابع آب و هیدرولوژی حوضه‌های بزرگ و رواناب و سیلاب حوضه‌های آبخیز طبیعی یا شهری کوچک، طراحی شده است. هیدروگراف‌های محاسبه شده توسط این مدل به طور مستقیم یا در تلفیق با نرم افزارهای دیگر برای اهداف مختلف مطالعات نظیر آبرسانی، زهکشی شهری، پیش بینی سیل و دبی جریان، تاثیر تغییر کاربری اراضی، طراحی سرریز سدها، مطالعات کنترل سیلاب و بهره برداری از سیستم مخازن به کار می‌رود.

در محدوده مطالعاتی شادگان مجموعاً ۳۰ ایستگاه تحت نظارت وزارت نیرو و سازمان هواشناسی شناسایی گردیده است. از بین این ایستگاه‌ها، ۱۰ ایستگاه به وزارت نیرو و ۲۰ ایستگاه به سازمان هواشناسی تعلق دارد. درجه حرارت، یکی از پارامترهای هواشناسی می‌باشد که در ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی تحت نظارت سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های تبخیرسنجی وابسته به وزارت نیرو اندازه گیری و ارائه می‌گردد. در محدوده مطالعاتی شادگان ۴ ایستگاه سینوپتیک، ۲ ایستگاه کلیماتولوژی و یک ایستگاه تبخیرسنجی وجود دارد. بارندگی یکی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی می‌باشد و در ایستگاه‌های وابسته به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو اندازه گیری می‌گردد. در تمام ایستگاه‌های موجود در محدوده مطالعاتی شادگان، بارندگی اندازه گیری می‌شود و از آمار آن‌ها در بررسی روند بارندگی در دوره‌های کوتاه مدت و بلند مدت شاخص استفاده شده است.

آمار موجود حدود ۶۵ سال دبی متوسط ماهانه و داده‌های بیشینه لحظه‌ای سالانه، مختصات‌های جغرافیایی، میانگین بارش سالانه، مساحت حوضه بالادست و برخی دیگر اطلاعات مرتبط با ایستگاه‌های هیدرومتری با نام و کد مشخص در محدوده معین شده مدل بارش-رواناب در جدول ۱ آمده است. اطلاعات بارندگی با دقت تجمعی ۶ ساعته و طول ۱۰ سال برای ایستگاه‌های سینوپتیک اهواز، مسجد سلیمان، یاسوج، دوگنبدان و امیدیه موجود است.

با توجه به آنکه به منظور حل مشکل محاسبات نفوذ در مقیاس حوضه، و بر پایه معادلات جدید تعیین تلفات جریان، نیاز به یک معیار همگن اما رستری می‌باشد، در این پژوهش بر اساس حساسیت تولید شده جریان به مقدار تلفات در بررسی

جدول ۱. مشخصات اصلی ترین ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مطالعاتی.

کد ایستگاه	مختصات جغرافیایی (UTM)		سال تاسیس	ارتفاع متوسط (m)	مساحت حوضه بالادست (km ²)
	X	Y			
۲۲-۰۰۱	۳۴۸۷۶۲۲	۳۹۴۷۸۶	۱۳۵۱	۶۸۷	۱۸۵
۲۲-۰۰۲	۳۴۹۵۹۸۰	۴۰۷۴۴۹	۱۳۸۴	۱۰۶۹	۳۰۱
۲۲-۰۰۹	۳۴۹۱۱۶۲	۳۸۷۹۹۸	۱۳۶۴	۳۵۴	تعریف نشده
۲۲-۰۱۱	۳۴۷۲۷۷۸	۳۷۷۹۵۵	۱۳۴۸	۳۳۹	۸۶۳
۲۲-۰۱۳	۳۴۶۸۰۰۲	۳۷۸۶۶۳	۱۳۳۴	۳۰۶	۲۲۷۹
۲۲-۰۱۵	۳۴۲۳۸۷۶	۴۴۵۳۲۴	۱۳۴۵	۶۰۲	۲۷۷۶
۲۲-۰۱۷	۳۳۹۳۷۵۱	۴۳۷۰۰۳	۱۳۴۳	۳۵۳	۳۸۰۱
۲۲-۰۲۱	۳۴۰۲۲۰۹	۳۹۶۴۰۱	۱۳۵۶	۱۷۸	۵۳۶۵
۲۲-۰۲۳	۳۴۳۱۳۴۶	۳۵۱۲۵۶	۱۳۴۴	۲۲	۱۰۸۱۸
۲۲-۰۲۵	۳۴۱۹۶۱۶	۳۴۷۰۸۶	۱۳۳۳	۳۸۰	تعریف نشده
۲۲-۲۱۵	۳۴۲۷۵۷۸	۴۸۷۲۶۸	۱۳۷۴	۱۳۴۰	۹۵۸

در انتها به هر نوع خاک بر اساس مشخصات آن عددی بین ۳۰ تا ۱۰۰ تحت عنوان شماره منحنی رواناب تعلق خواهد گرفت. برای ایجاد لایه Grid شماره منحنی رواناب منطقه هدف، ابتدا سه فایل Soil و Landuse و DEM (به ترتیب لایه تنوع خاک ها، لایه کاربری اراضی و مدل رقمی ارتفاع) و بعلاوه لایه پلیگونی مرز حوضه آبریز به محیط نرم افزاری GIS اضافه گردید. سپس بر اساس مرز حوضه هدف (Lایه Borders) از دو لایه خاکها و کاربری اراضی، مقدار مشخص حوضه هدف جدا گردید.

الحاقی HEC-GeoHMS

در مرحله دوم، دسته دوم فایل‌های مورد نیاز در تکمیل فرایند مدل سازی حوضه آبریز هدف (لایه‌های ورودی به الحاقی HEC-GeoHMS) آماده شد. در گام الحاقی HEC-GeoHMS در یک فایل جدید Mxd از نرم افزار GIS تحت عنوان GeoHMS، لیست داده‌های زیر به محیط GIS اضافه شد.

در مرحله بعد فاکتورهای مورد نیاز هر زیرحوضه که با توجه به نوع روش‌های محاسباتی انتخاب شده در مرحله تولید مدل عبارت بودند از: مشخصات نفوذ از قبیل مقدار متوسط شماره منحنی (CN) هر زیر حوضه و مقدار زمان تأخیر هر زیر حوضه، که به نرم افزار معرفی گردید. در مراحل پیشین مقادیر شماره منحنی بر اساس لایه کاربری اراضی، مشخصات تنوع پوشش گیاهی و نوع خاک منطقه با استفاده از روش مجزایی برابر با حدود (میانگین) مشخص برای کل حوضه بدست آمد.

در پهنه وسیع دشت شادگان برای مدل بارش-رواناب، دو مخزن بزرگ در بخش‌های غربی و شرقی، وجود دارد که بر طبق آمار و اطلاعات سایت وزارت نیرو، به عنوان سدهای جره و مارون به مدل نهایی اضافه شد. معادلات استخراج شده برای روش ارتفاع-ذخیره و ذخیره-خروجی در این محاسبات از طریق مشخصات در دسترس از منبع سایت وزارت نیرو به وسیله رگرسیون‌های بازبینی شده قابل دستیابی بود. در یک مورد از تناسب ارتفاع در مقابل حجم و در مورد دیگر از اطلاعات حجم در برابر خروجی سد دو معادله گام به گام تغییرات بدست آمد. این معادلات (ارقام) مستقیماً در ساختار سد در درون مدل HEC-HMS بکار گرفته شد. جهت اجرای نتایج در محیط نرم افزار HEC-HMS از نسخه ۴،۲،۱ این مدل استفاده گردید.

واسنجی مدل

در اجرای اولیه مدل دی‌های محاسباتی نه در مقدار اوج خود و نه در مقدار زمان پایه با ارقام مشاهداتی تطابق بالایی ندارند. این تطابق در مرحله واسنجی حاصل می‌شود و علت آن شرایط طبیعی مدل سازی و تفکیک روش تخمین داده به صورت اشنایدر و ایجاد مدل به صورت هیدروگراف SCS است. به منظور انجام واسنجی مدل بارش-رواناب منطقه، در هر مورد

مدل HEC-HMS در واقع سیستم یا مجموعه‌ای از مدل-های ریاضی تلفات، تبدیل بارش-رواناب در زیرحوضه‌ها و روندیابی جریان در رودخانه و مخازن و نیز سازه‌های آبی است. این بسته نرم افزاری مشتمل بر یک برنامه اصلی و پنج زیر برنامه^۱ می‌باشد. دو زیر برنامه وظیفه بهینه سازی هیدروگراف واحد، مقدار تلفات آب یا پارامترهای روندیابی جریان سطحی را در مرحله واسنجی اتوماتیک به عهده دارند. سایر زیر برنامه‌ها محاسبه هیدروگراف واحد، روندیابی و ترکیب هیدروگراف‌ها را انجام می‌دهند. در این مدل، شبیه سازی بارش-رواناب به صورت سیستمی از اجزای دارای ارتباطات درونی صورت می‌گیرد که هر جز یک جنبه از فرآیند بارش-رواناب را در یک زیرحوضه یا زیر ناحیه شبیه سازی می‌کند.

محدوده مطالعاتی، آنچنان که پیشتر اشاره شد، بخش وسیعی از حوضه آبریز شادگان با کد مطالعاتی ۲۴۰۱ است. به منظور تهیه پارامترهای ابدی حوضه آبریز و به دنبال آن توسعه مدل جریان آب سطحی دشت سیلابی، الزام بکارگیری لایه‌های مکانی پایه بود. در مرحله اول فایل‌های ابتدایی و مورد نیاز (لایه‌های ورودی به الحاقی ArchHydro) جهت تولید دسته دوم فایل‌های ورودی آماده شد. سپس در یک فایل جدید Mxd از نرم افزار GIS تحت عنوان ArchHydro_Report آخرین داده‌های شبکه آبراه‌های و مدل رقمی ارتفاع اضافه شد. نکته مهم در استفاده از الحاقی ArchHydro سیستم هماهنگ کننده لایه‌ها چه از نوع رستری و چه نوع برداری می‌باشد. به این معنا که تمامی لایه‌ها باید دارای سیستم مختصات Projection باشند که در غیر این صورت و انتخاب نوع جغرافیایی سیستم-های مختصات، قادر به طی گام‌های این بخش نمی‌بودیم. از آنجا که عموم لایه‌های GIS در ایران دارای سیستم مختصات جغرافیایی می‌باشند (GCS_WGS_1984) با استفاده از شاخه ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی از دستور (Define Projection (Data Management توانستیم نوع سیستم تصویر مناسب را برای لایه‌های موجود از منطقه مورد مطالعه تعریف نماییم. بهترین سیستم تصویر در ایران نوع UTM می‌باشد و از آنجا که منطقه مورد مطالعه در زون ۳۹ واقع شده است سیستم تصویر مناسب برای هر یک از داده‌ها WGS_1984_UTM_Zone_39N خواهد بود. با فعال کردن ابزار ArchHydro دسته دوم فایل‌های مورد نیاز که در مطالعات هیدرولوژی و مدل سازی حوضه با استفاده از الحاقی HEC-GeoHMS به عنوان ورودی استفاده می‌گردند، ایجاد گردید.

تولید لایه شماره منحنی رواناب (CN) حوضه

با توجه به این تقسیم بندی و طبق استاندارد SCS جدولی برای مقایسه هیدرولوژیکی خاک‌ها بر اساس لایه‌های کاربری اراضی، نوع خاک و مشخصات پوشش گیاهی ایجاد می‌گردد که

اشباع شده اولیه ایجاد می‌شود. در همین حال، هنگامی که ذخیره سازی اولیه ناچیز باشد، این مدل به روش دقیق-SCS-CN تبدیل می‌شود. بنابراین، عملکرد توزیع جدید برای ظرفیت ذخیره سازی آب خاک، روش SCS-CN را به عنوان مدل رواناب کاملا اشباع توضیح می‌دهد و روش SCS-CN و مدل VIC را برای مدل سازی رواناب سطحی متحد می‌کند.

بر اساس پیشنهاد وانگ (۲۰۱۸) کارهای مطالعاتی آینده می‌تواند عملکرد توزیع پیشنهادی جدید را برای توزیع مکانی ظرفیت ذخیره سازی از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های توزیع شده خاک، آزمایش کنند. از یک طرف، توابع مدل توزیع شده احتمالی (Moore, 1985)، مدل VIC و مدل Xinanjiang می‌توانند با تابع توزیع جدید جایگزین شوند و عملکرد مدل بیشتر ارزیابی شود.

در این مطالعه سوال اساسی، تعیین آستانه محتمل بزرگی هیدروگراف سیلاب حوضه آبریز هدف است که با تمرکز بر ضعف محاسبات نفوذ بر پایه تحقیقات Wang (2018) اقدام به واسنجی ضرایب موثر بر قطعیت بزرگی سیلاب شده است. کشف یک رابطه معنا دار بر مبنای شاخص رطوبت خاک در تحلیل تصاویر ماهواره (سنجش از دور) در زیرحوضه‌های مدل تداومی حوضه آبریز هدف خواهد بود. این رابطه بر اساس تفکیک رخدادهای سیلابی با شرایط پیشین مختلف رطوبت خاک به منظور تعیین بزرگی تغییرات سیلاب در چند زیرحوضه تجمع شده محدوده کلی مطالعاتی، و با توجه به خروجی بیلان نرم افزار HEC-HMS در مدل واسنجی شده بلند مدت انجام خواهد گرفت. توسعه مدل با استفاده از افزونه‌های ArchHydro و HEC_GeoHMS و بر طبق لایه‌های زمین شناسی انجام می‌گیرد. در مدل تداومی به منظور محاسبه نرخ نفوذ جریان به خاک از روش Soil Moisture Accounting استفاده می‌گردد. به عبارتی دیگر، به منظور تحلیل اثر رطوبت پیشین خاک، تحت عنوان دقیق‌تر "ظرفیت ذخیره" خاک که به صورت معادله-ای از پارامتر S_b نمایش داده می‌شود، اقدام به توسعه مدل تداومی بر مبنای آمار بلند مدت اقلیمی در حوضه آبریز هدف شد. مدل تداومی با توجه به در دسترس بودن آمار روزانه

از داده‌های تخمین سیلاب واقعه به وسیله هیدروگراف‌های شنايدر، المان‌های بالادستی هر نقطه واسنجی به عنوان پارامترهای بهینه سازی به مدل معرفی شد. خروجی بهینه سازی با بازه تخمین معقول که توسط نرم افزار تعیین می‌شود، به نزدیکی بالای دبی مشاهداتی و محاسباتی انجامید. ساختار مدل جریان سطحی در نرم افزار HEC-HMS به صورتی است که برای تهیه ارقام بهینه پارامتری که منجر به خروجی تصحیح شده می‌شود، روند سلسله مراتبی داشته و تنها با تکمیل فرآیند واسنجی بالادستی، امکان اجرای مرحله بعدی وجود خواهد داشت.

تدقیق روش عمومی محاسبه نفوذ SCS-CN

علی رغم رویکرد هیدروگراف واحد شنايدر در این پژوهش، رقوم نفوذ را می‌توان برای این هیدروگراف از طریق روابط SCS نیز محاسبه کرد. تا به این مرحله یکی از ضعف‌های اساسی در محاسبات هیدرولوژیکی، میانگین‌گیری رقوم نفوذ آب به داخل خاک و یا ثابت فرض کردن سرعت نفوذ در طی رخداد بارش-های حدی و تاریخی در معادلات موسوم به SCS است. حتی اگر روش SCS-CN به عنوان یک مدل رواناب کاملا اشباع تفسیر شده باشد، یک فاصله دانش برای ارتباط مستقیم بین روش SCS-CN و مدل Xinanjiang و VIC بر اساس یک تابع توزیع احتمال وجود دارد که برابر تنوع مکانی ظرفیت ذخیره سازی آب در خاک است. همانطور که اشاره شد در مطالعه وانگ (۲۰۱۸)، یک توزیع جدید، به جای مرز فوقانی محدود پشتیبانی می‌شود، که برای توصیف توزیع مکانی ظرفیت ذخیره خاک پیشنهاد شده است. از این تابع توزیع جدید، برای رابطه بین نسبت رطوبت خاک و شاخص ذخیره سازی، معادله-ای بدست آمده است و این معادله شرایط مرزی جدول ۲ را برآورده می‌کند.

هنگامی که شاخص ذخیره سازی به صفر نزدیک می‌شود، نسبت رطوبت خاک به صفر نزدیک می‌شود. وقتی شاخص ذخیره به بی نهایت نزدیک می‌شود، نسبت رطوبت خاک بسته به ذخیره اولیه به یک مقدار مشخص (≥ 1) نزدیک می‌شود. به عنوان مثال، در ابتدای یک رویداد بارشی، رواناب در مناطق

جدول ۲. شرایط مرزی توابع مربوط به نسبت رطوبت (W/P) به شاخص ذخیره خاک Φ_{sc} . (Wang, 2018).

شرایط مرزی نهایی	شرایط مرزی اولیه	پارامترها	مدل رواناب سطحی
$\frac{W}{P} \rightarrow 1 \text{ as } \phi_{sc} \rightarrow \infty$	$\frac{W}{P} \rightarrow 0 \text{ as } \phi_{sc} \rightarrow 0$	S_p, ϵ	روش SCS-CN
$\frac{W}{P} \rightarrow (1 - \psi)^{\frac{p}{\beta+1}} \text{ as } \phi_{sc} \rightarrow \infty$	$\frac{W}{P} = \phi_{sc} \text{ when } \phi_{sc} \leq b$	C_m, β	روش توزیع عمومی پارتو (مدل VIC)
$\frac{W}{P} \rightarrow \frac{\sqrt{(m+1)^2 - 2am + a - m - 1}}{a\sqrt{(m+1)^2 - 2am}} \text{ as } \phi_{sc} \rightarrow \infty$	$\frac{W}{P} \rightarrow 0 \text{ as } \phi_{sc} \rightarrow 0$	S_b, a	روش اصلاح شده SCS-CN بر اساس توزیع پیشنهادی ضریب ذخیره



شکل ۲. فلوجارت مراحل انجام تحقیق

است. لایه مهم تغییرات نوع مواد ساخت زمین که به صورت ضریب مانینگ تعیین می‌شود، با ترکیبی از نوع خاک، نوع پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی محاسبه گردید. فلوجارت روش کار در شکل ۲ نشان داده شده است.

نتایج و بحث

نتایج مدل HEC-HMS

با انتخاب خروجی افزونه‌های HEC-GeoHMS در HEC-HMS نمایش المان های شماتیک در شکل ۳ بدست آمد. همچنین شکل ۴ از محل قرار گیری المان‌های مدل و ساختار آن بر روی حدود لایه TIN در دسترس است که همچنان درستی مرز بندی‌های مدل را نشان می‌دهد. مدل ساخته شده در بخش‌هایی از خود جریان را چه در حالت عادی و چه در مواقع سیلابی به زمین‌های کشاورزی و یا به مناطقی که از شبکه کلی خارج است منتقل می‌کند که در توسعه مدل نهایی و تخمین دبی‌های واسنجی این محدوده‌ها با عنوان PolyLand در نظر گرفته شد.

جدول‌های ۳ و ۴، اطلاعات مهمی از روابط هیدروگراف واحد اشنایدر را شامل می‌شود. در هر مورد، نوع داده و محدوده مد نظر تنها با بهره گیری از روش‌های خودکار استخراج آمار بدست داده شده است. برای نمونه، علاوه بر شماره منحنی رواناب، مدل رقومی ارتفاع، شیب که با استفاده از دستورات Zonal و مستقیماً از لایه‌های مکانی خودکار بدست داده شده بود، اطلاعات مساحت، طول بزرگ‌ترین آبراهه و فاصله تا مرکز ثقل نیز بر روی ارقام و لایه‌های مدل سازهای ArcHydro و HEC_GeoHMS بوده است.

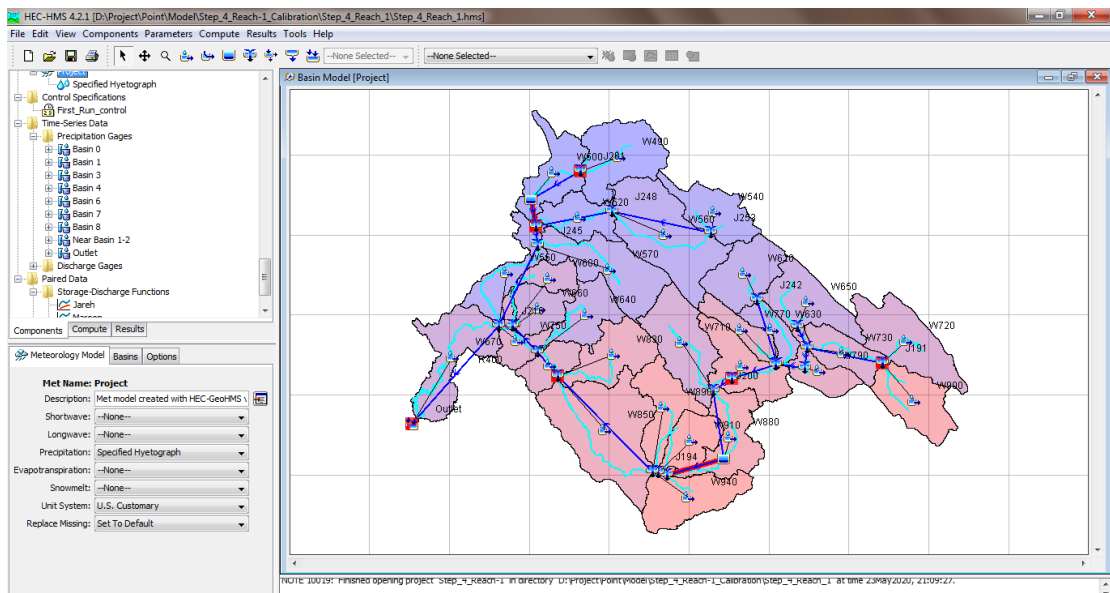
سیلاب در ناحیه هدف، بر مبنای آمار هیدرومتری واسنجی شد. در نهایت از رابطه بدست آمده نفوذ-رواناب (خروجی مدل تداومی) به منظور اجرای مدل رخدادی با رابطه پایه نفوذ SCS-CN و روش جدید توزیع احتمالی نفوذ SCS-CN استفاده شد. قرابت بالاتر خروجی محاسبات در تحلیل هیدروگراف سیلاب تاریخی PMF مدل رخدادی، با نمودار سیلاب مورد انتظار که توسط روش‌های تئوری نظیر Index Flood Method حاصل می‌شود، تعیین کننده درستی روش استخراج مقدار PMF حاصله است. به این ترتیب دستیابی به یک شاخص محلی در بهبود روش تعیین نرخ نفوذ بر مبنای شاخص رطوبت پیشین خاک نیز مورد انتظار است. با استفاده از روابط هیدروگراف واحد، مقدار حداکثر دبی محتمل، به صورت بی بعد در حوضه آبریز هدف تعیین شد.

مدل TUFLOW

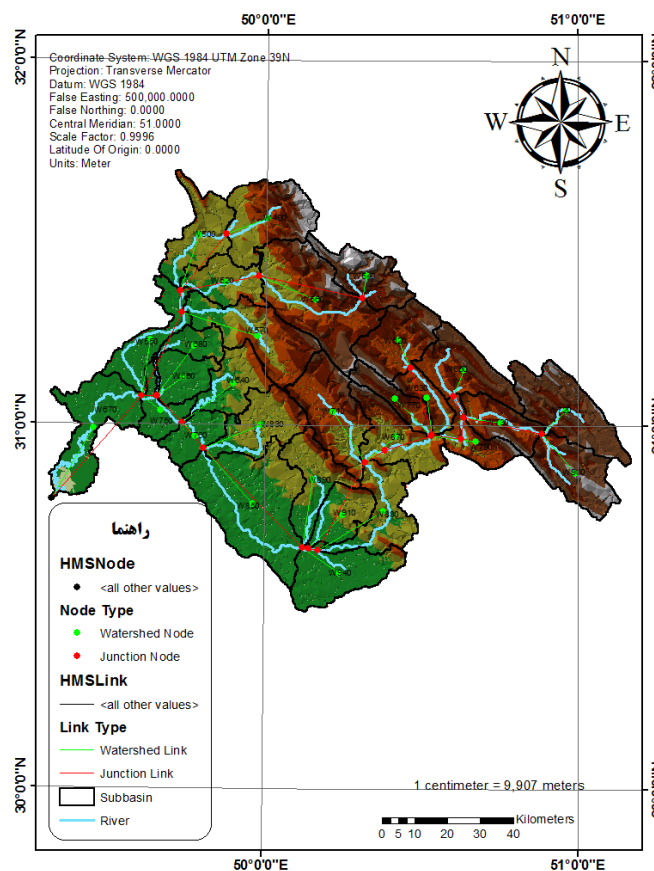
TUFLOW یک موتور محاسباتی قدرتمند است که راه حل‌های یک بعدی و دو بعدی معادلات جریان سطح آزاد را برای شبیه سازی انتشار سیل و انتشار موج جزر و مد فراهم می‌کند. موتور TUFLOW با نرم افزار GIS مانند MapInfo، ArcGIS یا SAGA و یا از طریق رابط کاربری Aquaveo SMS کار می‌کند. آنچه در این مطالعه مد نظر است، حجم نحوه انتشار و زمان بندی ورود جریان‌های کوتاه مدت مخرب به موقعیت مشخص شده در داخل مرز بسته شده محدوده مطالعاتی می‌باشد. لایه تغییرات ارتفاعی بکار رفته در اینجا، مدل رقومی ارتفاع با اندازه سلول ۳۰ متری (۲۷ متری) است که نقشه‌های HillShade و شیب مستقیم در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی از همین لایه زمین مرجع استخراج شده

محاسبات بارش با دوره‌های بازگشت مشخص بوده است. اما در آخر به سبب وجود عدم قطعیت‌های غیر قابل کنترل در داده‌ها و ابزارهای محاسباتی، مقدار کلی بارندگی در هر محدوده به صورت آنچه ذکر شد با واسنجی اوج سیلاب حاصله تخمین زده شد.

در جدول ۴، پس از توسعه هر یک از هیدروگراف‌های واحد شناسیدر، مقدار بارش موثری که به هیدروگراف واقعی منتهی می‌شود، پس از صحت یابی اوج سیل با دبی‌های دوره بازگشت مستقل تعیین گردید. ارقام اولیه بارندگی در اینجا، خروجی



شکل ۳ انتخاب مدل در HMS-HEC و نمایش المان‌های شماتیک



شکل ۴. مدل و نقاط پروژه بر روی لایه TIN منطقه.

جدول ۳. مشخصات مکانی نقاط واسنجی مدل بارش-رواناب.

فاصله تا مرکز ثقل (متر)	طول بزرگ-ترین آبراهه (متر)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط ناحیه (درصد)	شماره منحنی رواناب-CN	مساحت ناحیه (متر مربع)	شرح ناحیه	نام ایستگاه کمکی	محل واسنجی
۱۲۷۷۷	۴۴۷۰۳	۲۲۱۸	۱۰ درصد	۰۴۴.۷۹	۹۱۷۱۶۸۳۱۴	زیر حوضه ۷	۲۱۵-۲۲	خروجی حوضه ۷
۴۰۵۲۰	۸۱۶۰۰	۱۵۹۳	۹ درصد	۰۲۵.۸۲	۲۰۰۹۹۹۲۷۹۳	زیر حوضه ۳	۰۱۵-۲۲	ایستگاه کمکی
۵۴۵۸۰	۱۱۰۳۳۶	۱۱۰۴	۶ درصد	۷۷۲.۸۳	۸۹۶۰۰۷۶۸۳	زیر حوضه ۶	۰۱۷-۲۲	ایستگاه کمکی
۳۰۴۰۷	۵۴۸۵۳	۶۲۵	۹ درصد	۲۱۶.۸۵	۳۰۴۲۹۳۱۸۵۷	زیر حوضه ۴	۰۵۵-۲۲	خروجی حوضه ۴ و ۸
۴۸۳۹۸	۸۵۳۸۹	۴۸۰	۳ درصد	۹۲۹.۸۲	۲۵۴۱۱۱۰۶۴۹	زیر حوضه ۸	۰۲۱-۲۲	۸
۱۵۹۳۱	۴۱۸۰۰	۱۵۳۵	۸ درصد	۲۴۶.۸۱	۴۹۹۵۶۷۳۹۳	زیر حوضه ۰	۰۰۱-۲۲	خروجی حوضه ۰
۲۳۹۲۵	۳۶۰۹۸	۷۰۱	۱۱ درصد	۶۵۹.۸۴	۳۵۶۹۶۴۴۹۴	زیر حوضه ۱	۰۱۱-۲۲	خروجی حوضه ۱
۵۱۷۷۸	۹۶۱۲۲	۱۶۳۹	۴ درصد	۷۷۹.۸۲	۱۳۹۳۹۰۲۰۱۵	زیر حوضه ۲	۰۱۳-۲۲	محل ایستگاه کمکی
۹۹۰۲۰	۱۴۷۱۵۱	۴۲۸	۴ درصد	۳۸۰.۸۴	۱۹۱۷۶۴۴۹۱۹	زیر حوضه ۵	۰۲۵-۲۲	خروجی کل

جدول ۴. مشخصات بارش و دبی انتظار نقاط واسنجی مدل بارش-رواناب.

دبی اوج حاصل از هیدروگراف	انتظار دبی بر اساس دوره بازگشت	بارش با دوره برگشت ۵۰ ساله (میلیمتر)	توضیحات	شرح ناحیه نام ایستگاه کمکی	محل واسنجی
۰۴۶.۱۰۰۵	۰۴۶.۱۰۰۵	۵۳۳.۱۲۸	حوضه مستقل	زیر حوضه ۷	خروجی حوضه ۷
۲۸۸.۴۵۳۲	۲۸۸.۴۵۳۲	۶۵۲.۲۷۹	ایستگاه اندکی بالاتر از خروجی حوضه پایین دست سد مارون - ایستگاه اندکی بالاتر از خروجی حوضه	زیر حوضه ۳	محل ایستگاه کمکی
۰۰۰.۴۸۰۰	۰۰۰.۴۸۰۰	۵۹۲.۹۵	حوضه مستقل	زیر حوضه ۶	ایستگاه کمکی
۰۰۰.۱۷۱	۰۰۰.۱۷۱	۳۹۷.۸۷	زمین‌های وسیع کشاورزی (ضریب نفوذ) و موقعیت میانی ایستگاه (دبی زیر حوضه ۸ هیدروگراف مقایسه ای)	زیر حوضه ۴	خروجی حوضه ۴ و ۸
۷۱۴.۴۴۶۵	۷۱۴.۴۴۶۵	۳۳۷.۱۵۷	حوضه مستقل	زیر حوضه ۰	خروجی حوضه ۰
۰۰۰.۳۶۷	۰۰۰.۳۶۷	۵۷۵.۹۸	پایین دست سد جره	زیر حوضه ۱	خروجی حوضه ۱
۷۸۶.۱۵۴۸	۷۸۶.۱۵۴۸	۹۲۷.۱۱۸	ایستگاه در مسیر دو حوضه ۰ و ۱ هم قرار دارد	زیر حوضه ۲	ایستگاه کمکی
۵۴۷.۴۴۵۶	۵۴۷.۴۴۵۶	۳۷۱.۱۴۳	زمین‌های وسیع کشاورزی (ضریب نفوذ)	زیر حوضه ۵	خروجی کل

اشنایدر در همان دوره تناوب رخداد، می‌شود صحت مدل را حداقل در تخمین سیل‌های واقع‌های تایید کرد. در اینجا مراحل واسنجی بر روی یک رخداد با دوره بازگشت حداکثر محتمل انجام شد.

مدل TUFLOW

مطابق با شکل ۵ شبکه آبراه‌های که جریان سیلابی را ایجاد می‌کند، در نقطه خروجی مرز بسته شده مدل بارش-رواناب، این حجم از آب را به کانال‌هایی که به منظور تغذیه زمین‌های کشاورزی ایجاد شده‌اند تحویل می‌دهد. نسبت تحویل جریان از طریق آمار ایستگاه‌های هیدرومتری پایین دست ۴۰ درصد تخمین زده شد. مقدار حجم جریانی که در نهایت در کانال کنترل سیلاب به سمت دشت‌های بلااستفاده سیلابی سرازیر می‌گردد برابر ۶۰ درصد از حجم آب خروجی حوضه مدل بارش-رواناب است.

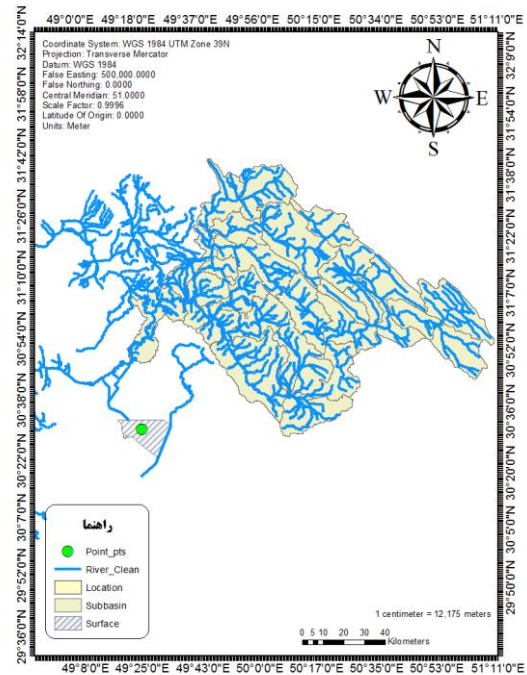
دقت بالای محاسبات واسنجی که در مجموع در تمامی موارد خطای نش را تا بیش از ۹۵ درصد رساند، توانست مدل را در اجرای کلی همگرا کند. خروجی نشان می‌داد که در دو سد جره و مارون درست به اندازه انتظار، حجم جریان ذخیره شده است. مقدار جریانی که پس از ذخیره سازی از هر مخزن خارج می‌شود، دو برابر دبی پایه رودهای تغذیه کننده و برابر حبابه محیط زیستی در نظر گرفته شده بود. با توجه به آنکه در فرآیند مدل سازی، رقوم واقعی از جریان آب در اختیار نبوده است، بنابراین انجام صحت سنجی تنها بر اساس اعداد تخمین جریان میسر بود. ارقام تخمین جریان می‌تواند اینبار در مرحله صحت سنجی یا صحت یابی مدل، مرتبط با دوره بازگشت دیگری از رخداد سیلاب باشد. در صورت برابری مقدار بارش که از روش مجزایی محاسبه گردیده است، با مقدار جریان خروجی محاسباتی مدل با ارقام تخمین هیدروگراف

ادامه آمده است در ۲۴۳ گام زمانی (ساعت) حاصل گردید. حداکثر دبی ورودی به محدوده معادل ۳۰۲۳ متر مکعب بر ثانیه در زمان ساعت ۹۰ رخداد، و حداکثر سیلاب خروجی در زمان ۹۳ با رقم ۲۱۳۷ متر مکعب بر ثانیه بوده است. مقدار دبی در آغاز محاسبات صفر فرض گردیده است. حجم جریان در پایان محاسبات برابر با ۱۴۱،۰۰۳ میلیون متر مکعب بود که این مقدار از حجم ۹۱۸،۳۶ میلیون متر مکعب در کل رخداد باقی مانده است. درصد اختلاف دبی ورودی و خروجی در حدود ۶/۱۴ درصد به صورت کمبود محاسبه شد.

ورود جریان آب به ناحیه سیلابی، در نهایت با حرکت آن از مرز شمال شرقی و از میان پستی و بلندی‌های با شیب حداکلی به سمت نوار ساحلی، شکل ۶ را بدست داد. در این تصویر می‌توان مشاهده کرد که جریان در حرکت خود دارای مسیر قابل پیش بینی نمی‌باشد. در ابتدا عمده آب در بخش‌های با ارتفاع کمتر چالاب‌های حاشیه کانال ذخیره می‌شود. اما به سبب شیب بسیار کم محدوده، مسیر مستقیم به سمت نوار ساحلی طی نمی‌گردد. تعیین دقیق نقطه به نقطه حرکت آب در مقیاس کمتر از اندازه سلولی ۳۰ متری تنها با پهنه بندی میسر است. آنچه به عنوان خروجی نرم افزار است و برای مختصات مورد نظر در این محاسبات در شکل های ۷ الی ۱۱ نمایش داده شده است.

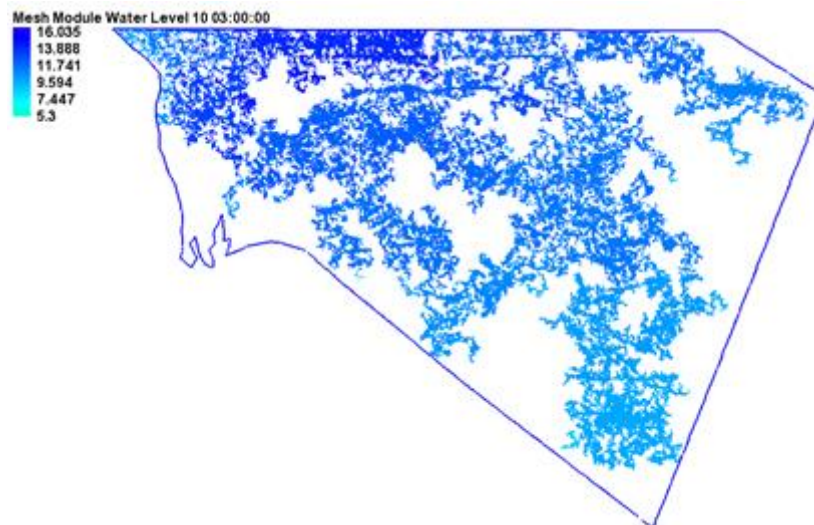
لایه تغییرات عمق جریان نشان می‌دهد که تراز آب در محدوده دشت با پر شدن نقاط پست‌تر سعی در قرار گرفتن در یک حد ممکن و معقول را دارد. آنچنان که بخش زیادی از حجم آب از نوار جنوبی مرزهای تراوا برای ناحیه فعال مدل سازی، در نهایت به دریا خواهد ریخت. با این حال جهت حرکت آب حتی در برخی موارد عمود بر مسیر مستقیم به سمت دریا نیز تخمین زده شده است. خلاصه آماری لایه عمق جریان در

این آب از طریق کانالی که در مرز شمال غربی ناحیه دشت سیلابی به محیط مورد مطالعه وارد خواهد شد. چگونگی حرکت آب در محیط سیلابی با توجه به آنکه تمام محیط این محدوده لزوماً در هر رخداد اشباع از آب نمی‌شود، تنها از طریق کدهای عددی و با تهیه صحیح از مدل شبکه مش آن میسر می‌باشد.



شکل ۵ موقعیت نقطه هدف در مقابل محدوده مدل بارش-رواناب

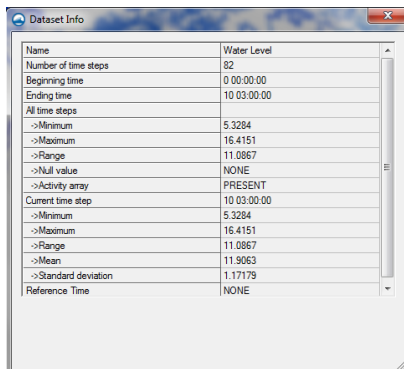
محدوده فعال شبکه تفاضل محدود دو بعدی کد TUFLOW در ادامه به ساختار Mesh آن منتقل گردید. که با تنظیم پارامترهای موتور محاسباتی، در نهایت پس از حدود ۶ ساعت و ۱۳ دقیقه اجرای مداوم کد، نتایج به شرح آنچه در



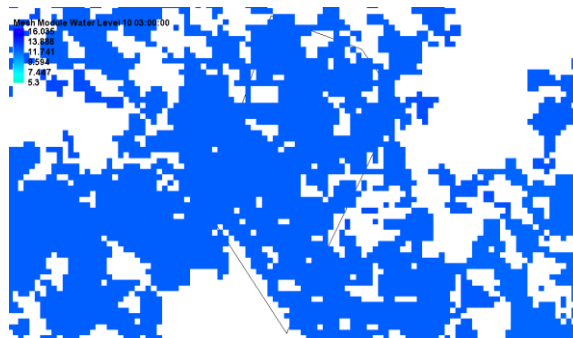
شکل ۶ گسترش جریان در ناحیه مطالعاتی

آنچه به عنوان هدف نهایی این محاسبات مطرح می‌باشد، تعیین ارتفاع آب و نوع حرکت جریان در حاشیه و محل مختصات از پیش تعیین شده است. خروجی‌ها نشان می‌دهد که جریان آب از بالا دست این مختصات به سبب انحراف شیب و نوع جنس مواد بستر منطقه در پهنه وسیعی از دشت رخ خواهد داد که در نهایت جریان را از ضلع شرقی و جنوبی به این محدوده وارد می‌کند. شکل ۱۲ پیکان‌های جهت جریان را برای این محاسبات به عنوان خروجی کد TUFLOW به نمایش گذاشته است.

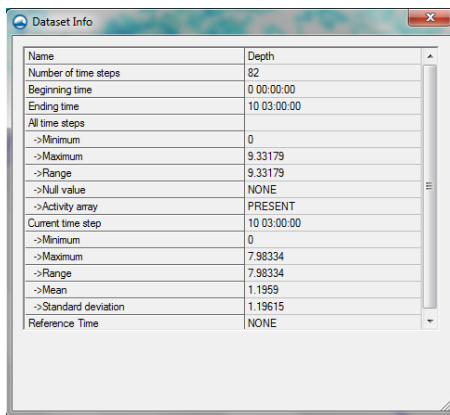
کل شبکه در شکل بالا قابل دستیابی است. این نتایج حاکی از عمق حداکثری ۱۶/۴ متری در برخی نواحی می‌باشد که کمینه آن به رقم ۵/۳ متر می‌رسد. نکته مهم آنکه در محدوده دشت با توجه به اندازه سلولی، قطعا در برخی موارد عمق‌های بسیار کمتر نیز قابل محاسبه است. متوسط عمق در سلول‌های فعال برابر ۱۱/۹ متر محاسبه شده است. این ارقام با توجه به رخداد‌های مختلف بارش می‌تواند تغییر کنید. برای مثال رخداد بارش با دوره بازگشت ۵۰ ساله عمق‌های به مراتب کمتری را در این مجموعه بدست خواهد داد. این محاسبات برای سیلاب طراحی حداکثر محتمل می‌باشد.



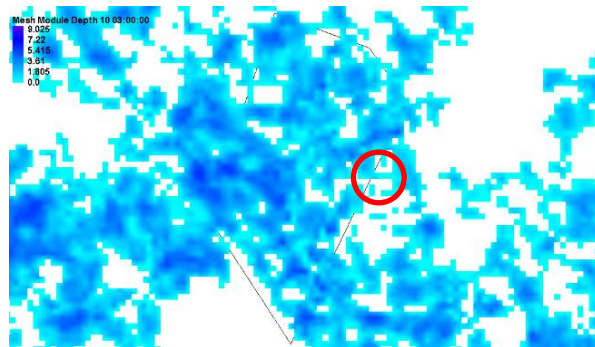
شکل ۸. خلاصه آماری تراز آب مدل SMS



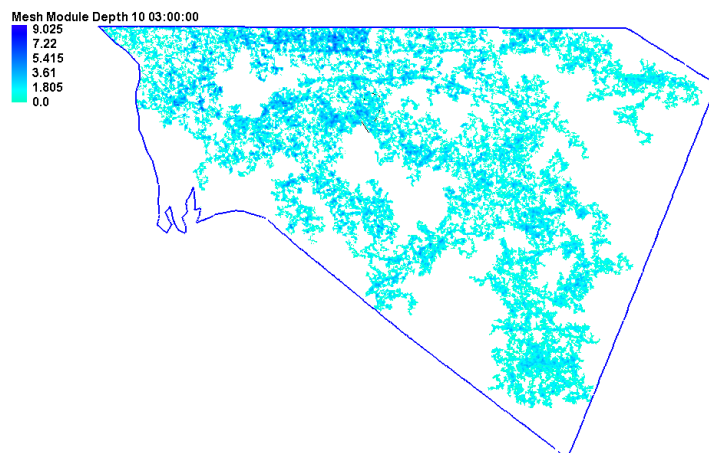
شکل ۷. سلول‌های ۳۰ متری تراز آب مدل SMS



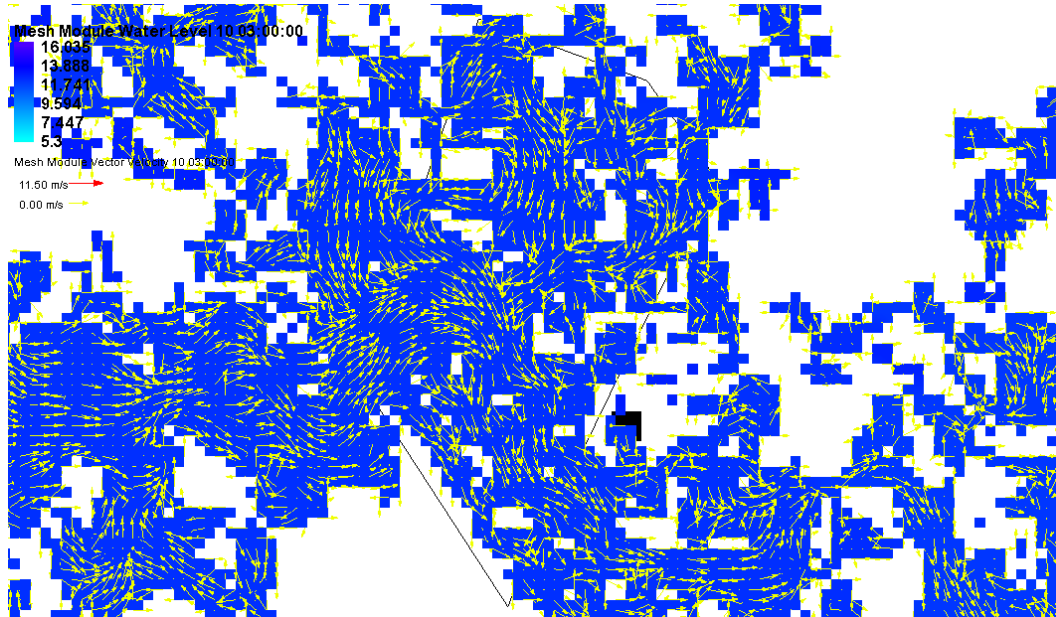
شکل ۱۰. خلاصه آماری عمق جریان مدل SMS



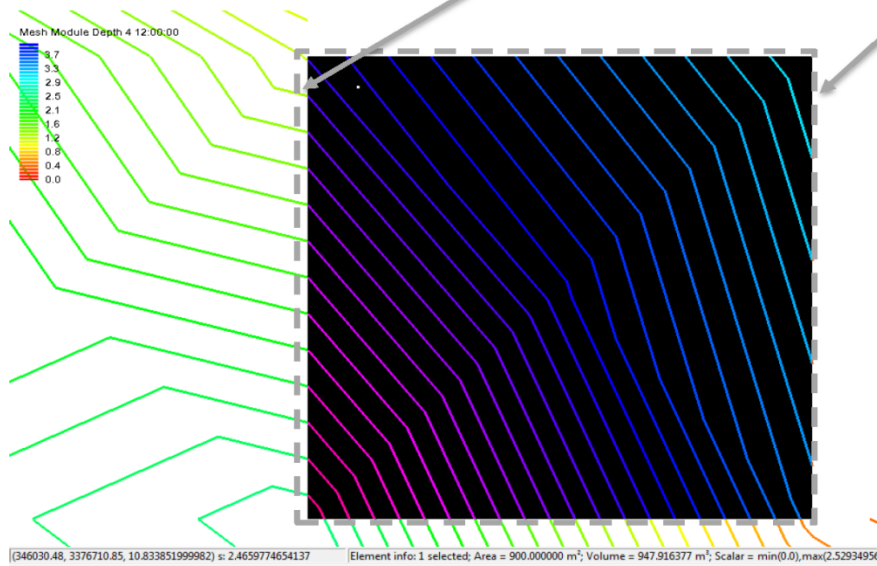
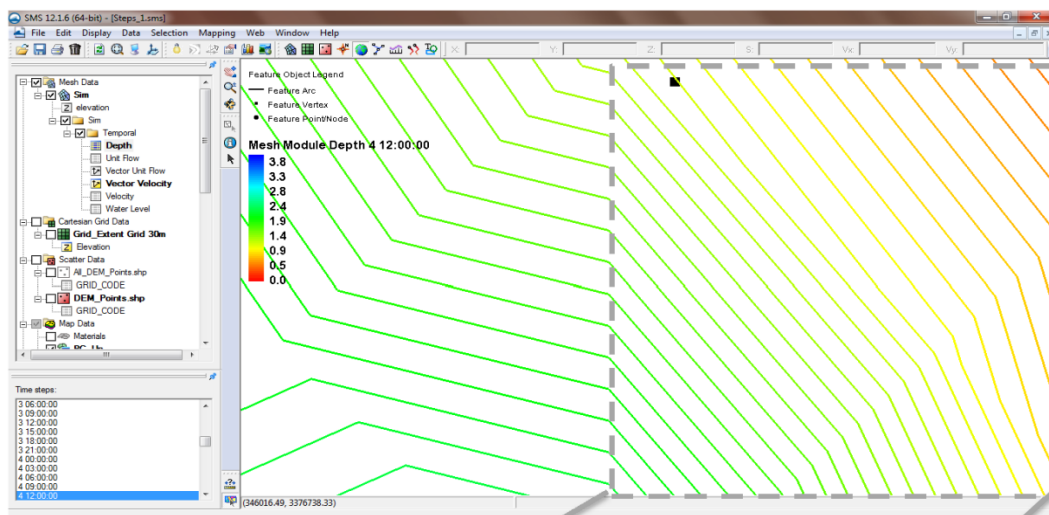
شکل ۹. عمق جریان سیلابی با بزرگنمایی نقطه هدف مدل SMS



شکل ۱۱. لایه عمق جریان در گسترش سیل محدوده مدل SMS



شکل ۱۲. خطوط جهت جریان بر سلول‌های ۳۰ متری تراز آب مدل SMS



شکل ۱۳. تغییرات عمق آب در سلول محل مورد مطالعه در اوج مقدار خود

جزییات اشاره شده است)، و از طریق محاسبات سه بعدی ساختار جزیری تر تغییرات ارتفاعی (لایه TIN) می‌توان رقم نهایی در هر محدوده‌ای را با قابلیت اطمینان بالاتری تعیین کرد.

مشخصاً در مختصات مورد مطالعه (نقطه هدف) جهت جریان از شمال غربی بوده و فروکش کردن سیل بسیار کندتر از وقوع آن به سبب شیب کم منطقه، صورت می‌پذیرد. در صورت لحاظ عدم قطعیت ساختاری و داده‌ای در این محاسبات، تخمین مقدار عمق آب در این محدوده می‌تواند برای بارش‌های حداکثری صرفاً از بارندگی بالادست، تا حداکثر ۲/۴۶ متر نیز افزایش داشته باشد. این رقم بر پایه نقطه حداکثری ضلع جنوب غربی سلول منفرد شبکه محاسبات مدل TUFLOW در اوج مقدار جریان و در محل مورد مطالعه بدست داده شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد تدقیق نفوذ بر اساس معادلات جدید توزیع مینا با یک شرایط احتمالاتی در تخمین پارامتر شکل حوضه ممکن است. رقوم واسنجی هیدروگراف در واکنش به نفوذ وابسته به درستی تخمین رطوبت خاک اولیه دارد. تلفات جریان در حوضه های بزرگ مقیاس بر اساس معادلات توزیع مینای SCS مطلوب تر حاصل می‌شود. مدل‌های عددی و هیدرولوژیکی نظیر HEC-HMS و یا مدل سازهایی نظیر HEC_GeoHMS به منظور مرز بندی بالادست جریان، کاملاً وابسته به لایه خام DEM معرفی شده هستند. تغییرات پوشش زمین در نواحی مسطح می‌تواند عملاً مرز بسته شده حوضه آبریز را نسبت به واقعیت زمین در مدل‌های شبیه سازی متفاوت خروجی دهد. روش هیدروگراف واحد با توجه به پیش فرض‌های اساسی نظیر ضرایب واسنجی، می‌تواند جایگزین خوبی برای نواحی فاقد آمار بارش-دبی باشند. مدل نرم افزاری TUFLOW بهترین پاسخ گویی به جریان یک بعدی به دو بعدی را برای دشت شادگان با توجه به نوع شرایط مرزی داد. انتخاب صحیح رویکرد مدل سازی رخدادی، نظیر روش تلفات SCS و... می‌تواند در اجرای درست مدل و کاهش خطای کلی موثر باشد. انتخاب نوع هیدروگراف محاسباتی بین روش‌های پرکاربردتر SCS، نشان داد که روش SCS در مدل‌های منطقه-ای زیرحوضه‌های درجه سوم جواب درستی می‌دهد.

Reference:

- Bartlett, M. S., Parolari, A. J., McDonnell, J. J., and Porporato, A. (2016a) Beyond the SCS-CN method: A theoretical framework for spatially lumped rainfall-runoff response, *Water Resour. Res.*, 52, 4608–4627.
- Bartlett, M. S., Parolari, A. J., McDonnell, J. J., and Porporato, A. (2016b). Framework for event-based semidistributed modeling that unifies the SCS-CN method, VIC, PDM, and TOPMODEL, *Water Resour. Res.*, 52, 7036–7052.

آنچه به عنوان عمق آب در یک مختصات مشخص از خروجی مدل دشت سیلابی TUFLOW می‌تواند بدست دهد، رقم حداقل یک متری برای بارش بالادستی در اوج جریان را نشان می‌دهد. در صورت وجود یک سیلاب گسترده که بخش-های وسیعی از حوضه ۲۴۰۱ را مطابق با بازه مدل بارش-رواناب تحت پوشش یک رخداد سیل قرار دهد، ترکیب این جریان بر طبق مطالعات هیدرولوژی و مدل بارش-رواناب، حاکی از انتقال حجم آبی به بزرگی محاسبه شده در این مطالعه و جابجایی آن از مسیر کانال انسان ساختی کاهش خسارت سیل به سمت ساحل خلیج فارس است. این جریان بر اساس نتایج مدل TUFLOW، به صورت پراکنده و غیر قابل پیش بینی در سطح دشت سیلابی منتشر می‌شود. انتشار جریان محاسبه شده، وابستگی بالایی به مقدار رقوم ارتفاعی و ضرایب مانینگ حساب شده در محدوده دارد. با تغییر این ارقام، شکل گسترش جریان می‌تواند تا حدی تغییر کند.

در تعیین رقم نهایی عمق آب انباشت شده در این محل (نقطه مختصاتی هدف)، باید در نظر داشت که سلول‌های محاسباتی در این پژوهش از حداکثر دقت ۳۰ متری برخوردار هستند. به بیانی دیگر، بالاترین دقت تغییرات ارتفاعی که اساس بسیاری از لایه‌های ورودی مدل نیز می‌باشد، ۳۰ متر در ۳۰ متر شبکه تک سلول این منطقه از ساختار شبکه بزرگ تفاضل محدود دشت سیلابی است. همچنین در شکل نهایی بالا برای ساختار محاسباتی، خطوط هم مقدار را برای عمق آب صرفاً بر اساس پهنه خطی در یک سلول محاسبه کرده است. تغییرات توپوگرافی جزئی در محدوده ۹۰۰ متر مربعی می‌تواند شرایط را در صورت وجود عوارض موثر، تا حدی تغییر دهد (مقدار عمق در مختصات هدف، کمتر و یا بیشتر از ۱ متر محاسبه شود). بعلاوه این مدل سازی در شرایطی انجام شده است که فرض بر نبود بارندگی در محدوده دشت سیلابی می‌باشد. این درحالی است که وقوع بارش در این ناحیه، به خودی خود در حالات رخداد سیل بالادست بسیار محتمل است؛ اما از طرفی وجود بارندگی موجب افزایش شماره منحنی رواناب در این دشت نیز می‌شود که در نهایت مقدار جریان را با سرعت بیشتری به سمت خروجی‌های مرز بسته شده هدایت کرده و تراز آب را در مقابل کاهش می‌دهد. بخش‌های با ارتفاع بیشتر، قاعدتاً در شرایط سیلابی دارای عمق کمتری از آب خواهد بود که از مقدار حجم جریان وارد شده به ناحیه (در بخش‌های قبل به مقدار و

- Beven, K. and Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Sci. J.*, 24, 43–69.
- Beven, K. (2012) *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*, 2nd Edn., Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Bras, R. L. (1990) *Hydrology: an introduction to hydrologic science*, Addison Wesley Publishing Company, Reading, MA.
- Budyko, M. I. (1974). *Climate and Life*, Academic Press, New York, 508 pp.
- Easton, Z. M., Fuka, D. R., Walter, M. T., Cowan, D. M., Schneiderman, E. M., and Steenhuis, T. S. (2008). Re-conceptualizing the soil and water assessment tool (SWAT) model to predict runoff from variable source areas, *J. Hydrol.*, 348, 279–291.
- Hooshyar, M. and Wang, D. (2016). An analytical solution of Richards' equation providing the physical basis of SCS curve number method and its proportionality relationship, *Water Resour. Res.*, 52, 6611–6620.
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., and Burges, S. J. (1994). A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 99, 14415–14428.
- Lyon, S. W., Walter, M. T., Gérard-Marchant, P., and Steenhuis, T. S. (2004). Using a topographic index to distribute variable source area runoff predicted with the SCS curve – number equation, *Hydrol. Process.*, 18, 2757–2771.
- Mishra, S. K. and Singh, V. P. (1999). Another look at SCS-CN method, *J. Hydrol. Eng.*, 4, 257–264.
- Mockus, V. (1972). *National Engineering Handbook Section 4, Hydrology*, NTIS, (last access: 19 December 2018).
- Moore, R. J. (1985). The probability-distributed principle and runoff production at point and basin scales, *Hydrol. Sci. J.*, 30, 273–297.
- Ponce, V. M. and Hawkins, R. H. (1996). Runoff curve number: has it reached maturity? *J. Hydrol. Eng.*, 1, 9–20.
- Ponce, V. (1996). Notes of my conversation with Vic Mockus, unpublished material, (last access: 29 September 2017).
- Sivapalan, M., Beven, K., and Wood, E. F. (1987). On hydrologic similarity: 2. A scaled model of storm runoff production, *Water Resour. Res.*, 23, 2266–2278.
- Steenhuis, T. S., Winchell, M., Rossing, J., Zollweg, J. A., and Walter, M. F. (1995). SCS runoff equation revisited for variable-source runoff areas, *J. Irrig. Drain. Eng.*, 121, 234–238.
- Wang, D. and Tang, Y. (2014). A one-parameter Budyko model for water balance captures emergent behavior in Darwinian hydrologic models, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 4569–4577.
- Wood, E. F., Lettenmaier, D. P., and Zartarian, V. G. (1992). A land – surface hydrology parameterization with subgrid variability for general circulation models, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 97, 2717–2728.
- Yu, B. (1998). Theoretical justification of SCS method for runoff estimation, *J. Irrig. Drain. Eng.*, 124, 306–310, 1998.

یادداشت ها

- ¹ Yu
- ² Hooshyar and Wang
- ³ Mockus
- ⁴ Pareto
- ⁵ Bartlett et al.
- ⁶ Wang
- ⁷ Budyko
- ⁸ Wang and Tang
- ⁹ Dendritic
- ¹⁰ Subroutine