

بررسی حساسیت پارامترهای مدل پیوسته محاسبه رطوبت خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز رود زرد)

پدرام مهدوی^۱، حسین قربانی زاده خرازی^{۱*}، حسین اسلامی^۱، نرگس ظهراپی^۲، مجید رزاز^۱

۱. گروه مهندسی علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2020.188459.2290](https://doi.org/10.22113/jmst.2020.188459.2290)

چکیده

منابع آب شیرین سطحی یکی از بزرگترین منابع آب شیرین جهان می‌باشند. از این رو انتخاب مدل مناسب جهت بررسی تغییرات بارش و رواناب در راستای برنامه‌ریزی و استفاده صحیح از این منابع حائز اهمیت می‌باشد. به منظور انجام این تحقیق از مدل‌سازی هیدرولوژیکی پیوسته موجود در نرم‌افزار HEC-HMS با استفاده از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک برای حوضه رود زرد بهره گرفته شد. به منظور کاربرد مدل HEC-HMS از داده‌های فضایی نظیر نقشه خاک، مدل‌های رقومی ارتفاعی و نقشه کاربری اراضی برای مشخص کردن مرز حوضه و دیگر خصوصیات فیزیولوژیکی حوضه استفاده گردید. مدل برای سال‌های آبی ۱۳۵۴-۵۵ الی ۱۳۵۶-۵۷ کالیبره و برای سال‌های ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۴-۱۳۸۳ صحت سنجی شد. نتایج کالیبراسیون نشان داد که با توجه به مقادیر $R^2 = 0.92$ ، $R^2 \text{Log} = 0.93$ ، $PEV = 1\%$ (خطای توازن حجمی)، $RMSE = 8.5 (m^3/s)$ (خطای جذر میانگین مربعات) و $MAE = 3.2 (m^3/s)$ (میانگین خطای مطلق)، مدل دارای بازه عملکرد خوب تا خیلی خوب بود. نتایج نشان داد که نگهداشت خاک و منطقه تنش حساس‌ترین پارامترها و تراوش لایه دوم آب زیرزمینی و درصد آب زیرزمینی اولیه لایه دوم از کمترین حساسیت برخوردار بودند. از نتایج می‌توان این‌گونه برداشت کرد که الگوریتم محاسبه رطوبت خاک موجود در مدل مفهومی HEC-HMS از عملکردی خوبی برخوردار می‌باشد و می‌توان از آن برای مدل‌سازی طولانی‌مدت و پیوسته بارش-رواناب در حوضه رود زرد بهره گرفت.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی هیدرولوژیکی پیوسته، الگوریتم محاسبه رطوبت خاک، رود زرد، آنالیز حساسیت، مدل HEC-HMS

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ghorbanizadeh.iau@yahoo.com

۱. مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره دارای منابع آب محدود می‌باشند. بخش وسیعی از ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. این مناطق معمولاً دارای بارش‌های نامنظم و کم و همچنین تغییرات شدید بارش در زمان و مکان می‌باشند. درواقع زمان با نیازهای انسان در تضاد می‌باشد و باعث ایجاد مشکل می‌شود. مشخصاً مدیریت مؤثر منابع آب یک امر ضروری است. به این منظور ابزارهای مدل‌سازی موردنیاز می‌باشد که مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب مربوط به یک حوضه آبریز می‌تواند به مدیریت مؤثر منابع آب کمک کند (Chow V.T et al., 1988). دریافت نتایج دقیق و قابل‌اطمینان از مدل‌ها یکی از مشکلات بسیاری از محققین می‌باشد که اکثراً عقیده دارند که انتخاب مدل و روش‌های مدل‌سازی مناسب می‌تواند این مشکل را تا حدودی مرتفع نماید (Jothityangkoon C et al., 2001). نرم‌افزار HEC-HMS به‌منظور شبیه‌سازی فرایند کامل هیدرولوژیک موجود در حوضه آبریز طراحی شده است (Manual HEC-HMS). تحقیقات زیادی با استفاده از مدل مذکور صورت گرفته است به‌مانند تحقیقات (Tassew et al., 2019) که به شبیه‌سازی جریان رودخانه تنا^۱ در اتوپیا^۲ با استفاده از نرم‌افزار HMS-HEC پرداختند، اشاره کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به $R^2=0.92$ بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل مذکور توانایی مناسبی در شبیه‌سازی رواناب داشت. در تحقیقی دیگر (Ihimekpen NI et al., 2018) که به بررسی رابطه مدل‌سازی و شبیه‌سازی بارش-رواناب با مدیریت پایدار آب برای حوضه اتوپیا در نیجریه پرداختند، اشاره کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل HEC-HMS توانایی بالایی در مدل‌سازی تک‌واقع بارش-رواناب برای حوضه مذکور داشت. در تحقیقی دیگر، (DAHDOUNH et al.,

2018) به بررسی دو روش محاسبه تلفات در شبیه‌سازی رواناب سطحی برای حوضه زعفرانیه^۳ در الجزایر پرداختند. در این تحقیق از دو روش محاسبه تلفات شماره منحنی سرویس حفاظت خاک (SCS) و گرین-امپت^۴ استفاده گردیده است. نتایج نشان داد که روش شماره منحنی SCS از عملکرد بهتری نسبت به روش گرین-امپت برخوردار بود. در پژوهشی دیگر، (DERDOUR et al., 2018) به بررسی رابطه مدل‌سازی بارش-رواناب در منطقه نیمه‌خشک برای حوضه آبن سفرا^۵ در الجزایر پرداختند. در این تحقیق از مدل‌سازی تک‌واقع و روش شماره منحنی سرویس حفاظت خاک^۶ موجود در نرم‌افزار HEC-HMS به‌منظور شبیه‌سازی بارش-رواناب بهره گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های شبیه‌سازی شده از همبستگی بالایی با داده‌های مشاهداتی برخوردار بودند و مدل دارای ضریب نش ۰/۹۵ بود. اما تحقیقات کمی در ایران و همچنین بر روی حوضه رود زرد با استفاده از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک^۷ صورت گرفته است. که علت این امر ممکن است در گسترده بودن پارامترهای الگوریتم مذکور و نیاز به حجم اطلاعات زیاد برای کالیبراسیون مدل با استفاده از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک باشد. در موضوع آنالیز حساسیت پارامترهای الگوریتم مذکور می‌توان به تحقیقات (Haque et al., 2017)، که به آنالیز حساسیت پارامترهای الگوریتم محاسبه رطوبت خاک برای حوضه رود سری-گوین^۸ پرداخته است، اشاره کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که منطقه تنس حساس‌ترین پارامتر در بین پارامترهای الگوریتم محاسبه رطوبت خاک بود. (Waikhom RS et al., 2015) در تحقیقی دیگر به مدل‌سازی پیوسته هیدرولوژیکی با استفاده از الگوریتم محاسبه رطوبت

^۳ Zaafrania^۴ Green-Ampt^۵ Ain Sefra^۶ Soil Conservative Service Curve Number^۷ Soil Moisture Accounting^۸ Sari Gowain^۱ Tana^۲ Ethiopia

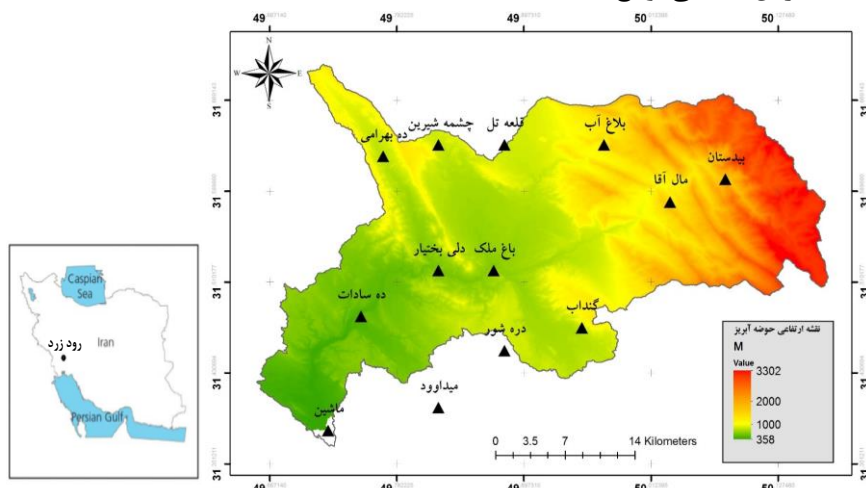
موقعیت این حوضه به همراه ایستگاه‌های باران‌سنجی در مدل رقوم ارتفاعی ۳۰ متری در شکل ۱ نشان داده شده است. رودخانه زرد یکی از شاخه‌های مهم رودخانه اله بوده و با شبکه رودخانه‌ای متراکم در بخش باغ‌ملک (جانکی) شهرستان ایذه واقع گردیده است. شاخه اصلی و اولیه آن به نام ابوالعباس یا بولوان نامیده می‌شود و از دامنه‌های شرقی سفیدکوه و کوه منگشت سرچشمه می‌گیرد پس از تلاقی با دره‌ای که با نام تنگ کور به جنوب غربی تغییر مسیر می‌دهد. این رودخانه در ادامه مسیر، نیاز آبی روستاهای مال آقا، رباط ابوالعباس، زلاب و سنگ را برطرف می‌نماید و سپس وارد باغ‌ملک می‌شود. در ادامه این رودخانه با رودخانه‌های دم آب منگیان، آب گلال، آل خورشید، دم دلی ترکیب شده و رودخانه زرد را تشکیل می‌دهد. رودخانه زرد سپس به جنوب باختری جریان می‌یابد در نزدیکی روستای رود زرد با رودخانه اعلا تلاقی کرده و رودخانه اله را تشکیل می‌دهد و سپس به رود جراحی راه می‌یابد. طول رودخانه زرد تا محل ایستگاه هیدرومتری ماشین حدود ۷۷/۴ کیلومتر و مساحت حوضه آن در حدود ۸۸۹/۲ کیلومتر مربع می‌باشد.

خاک پرداختند. نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای الگوریتم محاسبه رطوبت خاک نشان داد که نگهداشت خاک حساس‌ترین پارامتر از میان دیگر پارامترها بود.

با توجه به کمبود تحقیقات در زمینه الگوریتم محاسبه رطوبت خاک به‌عنوان پیچیده‌ترین الگوریتم محاسبه تلفات در نرم‌افزار HEC-HMS و عدم شناخت کافی در مورد حساسیت پارامترهای مختلف آن و عدم بررسی نقش کالیبراسیون خودکار و دستی در بهبود نتایج خروجی، می‌توان اهداف پژوهش را به: (۱) ارزیابی توانایی مدل HEC-HMS در مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب با استفاده از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک، (۲) آنالیز حساسیت پارامترهای مدل تلفات به‌عنوان اساس کار مدل‌سازی پیوسته و شناخت بهتر پارامترها به‌منظور ساده‌سازی فرآیند کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل، تقسیم کرد.

۲. مواد و روش‌ها

رود زرد در ناحیه جنوب غربی ایران و در منطقه شرق و شمال شرقی شهر رامهرمز در محدوده جغرافیایی ۴۰° تا ۴۹° طول شرقی و ۳۱°۰۵' تا ۳۱°۴۲' عرض شمالی واقع شده است.



شکل ۱. مدل رقوم ارتفاعی ۳۰ متری به همراه موقعیت مکانی حوضه رود زرد و ایستگاه‌های باران‌سنجی

رودخانه و اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز استفاده شد، که این داده‌ها در طول دوره

جهت بررسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی و فیزیکی حوضه آبریز رود زرد از داده‌هایی هواشناسی، دبی

آماری موجود از سازمان آب و برق خوزستان تهیه گردید. بدین منظور از بین داده‌های تاریخی ثبت شده از بین ۱۳ ایستگاه باران‌سنجی، ۳ ایستگاه که بیشترین میزان همبستگی را به منظور تولید رواناب مورد نیاز را داشتند یعنی ایستگاه‌های ماشین، باغملک

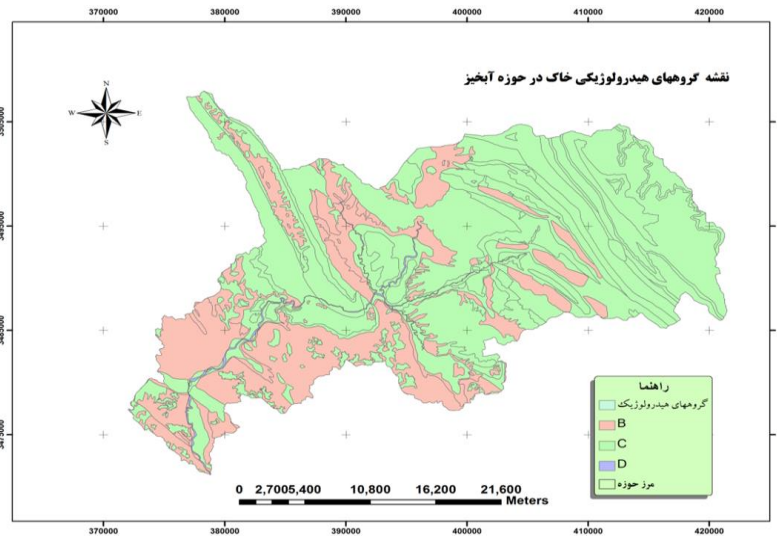
و قلعه تل مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین به منظور کنترل رواناب از ایستگاه هیدرومتری ماشین بهره گرفته شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب مورد استفاده

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال تأسیس	متوسط بارش سالانه
باغملک	باران‌سنجی و تبخیر سنجی	۴۹,۸۷	۳۱,۵۲	۱۳۵۵	۴۱۶,۴
ماشین	باران‌سنجی و تبخیر سنجی و هیدرومتری	۴۹,۷۲	۳۱,۳۸	۱۳۴۹	۶۰۴,۹
قلعه تل	باران‌سنجی	۴۹,۸۸	۳۱,۶۳	۱۳۵۵	۵۹۷,۵

آماده‌سازی داده‌ها جهت ورود به نرم‌افزار HEC-HMS با استفاده از نرم‌افزار GIS صورت پذیرفت. با استفاده از نقشه DEM ۳۰ متری (شکل ۱) مرزبندی حوضه و

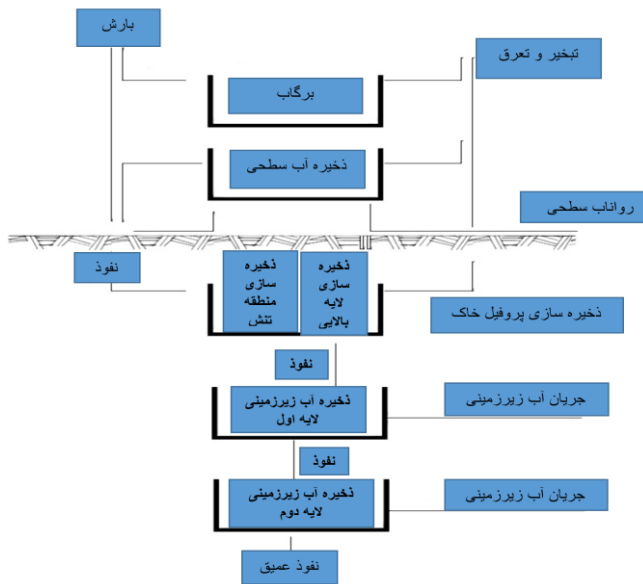
استخراج شبکه آبراهه انجام گرفت. همچنین جهت استخراج خصوصیات فیزیکی حوضه از نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک شکل ۲ استفاده شد.



شکل ۲. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک

در این پژوهش از روش جریان پایه ثابت موجود در نرم‌افزار HEC-HMS بهره گرفته شده است. به منظور محاسبه جریان پایه از داده‌های مشاهداتی و استخراج جریان‌های کم برای سه سال آبی ۵۵-۱۳۵۴ الی ۵۷-۱۳۵۶ استفاده گردید. به منظور شفاف‌سازی، در جدول ۲ روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی به کمک نرم‌افزار HEC-HMS آورده شده است.

پیچیده‌ترین قسمت در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مازول تلفات می‌باشد. و علت این امر آن است که تعداد زیادی فعالیت به طور هم‌زمان در این مازول انجام می‌گیرد پس نیاز است که مقادیر اجزاء به خوبی تعریف شده باشند. در این تحقیق از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک بهره گرفته شد. این الگوریتم برای شبیه‌سازی ارتباط طولانی‌مدت بین بارش، رواناب،



شکل ۳. نمای شماتیک الگوریتم محاسبه رطوبت خاک

ذخیره و تبخیر و تعرق و تلفات خاک در حوضه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم سطح حوضه را به ۵ قسمت تبدیل می‌کند. (شکل ۳) از آنجایی که تمامی فرمول‌های مربوط به الگوریتم رطوبت خاک قابل شرح در این پژوهش نیست، به تعدادی از فرمول‌های کلیدی اشاره می‌شود. این فرمول‌ها فرآیندهای مختلفی نظیر نفوذ^۱ و تراوش^۲ و حرکت جانبی آب‌های زیرزمینی و... را شامل می‌شوند. فرایند نفوذ در خاک در الگوریتم محاسبه رطوبت خاک ابتدا توسط نفوذپذیری بالقوه خاک^۳ (PSI) محاسبه می‌شود. واحد این متغیر میلی‌متر بر ساعت می‌باشد.

$$(1) \quad PSI_t = MSI - \left(\frac{SOS_t}{SOS_m} \right) MS$$

جدول ۲. روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی

اجزا مدل	روش محاسبه
تلفات ^۴	الگوریتم محاسبه رطوبت خاک ^۵
انتقال ^۶	هیدروگراف واحد SCS
جریان پایه ^۷	ثابت ماهانه ^۸
تبخیر و تعرق ^۹	میانگین ماهانه ^{۱۰}
جمع‌آوری ^{۱۱}	زمان تأخیر ^{۱۲}

^۱ Infiltration

^۲ Percolation

^۳ Potential Soil Infiltration

^۴ Loss

^۵ Soil moisture accounting algorithm

^۶ Transform

^۷ Base flow

^۸ Constant monthly

^۹ Evapotranspiration

^{۱۰} Average monthly

^{۱۱} Routing

^{۱۲} Lag time

در این تحقیق همان‌طور که گفته شد به‌منظور مدل‌سازی تلفات از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک و از هیدروگراف واحد SCS برای روندیابی بارش مازاد به هیدروگراف خروجی و روش جریان پایه ثابت برای محاسبه جریان‌های پایه بهره گرفته شد. به‌منظور استفاده از روش هیدروگراف واحد SCS از فرمول زیر بهره گرفته شد.

$$TL = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900Y^{0.5}} \quad (4)$$

که در این فرمول TL زمان تأخیر حوضه برحسب ساعت، L طول بزرگ‌ترین آبراهه اصلی برحسب فوت، Y شیب رودخانه اصلی برحسب درصد و S تلفات کل می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی مدل از معیارهای خطای زیر بهره گرفته شد:

خطای جذر میانگین مربعات^۱ (حداکثر دبی):

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum (Q_{PO} - Q_{PS})^2 \right]^{0.5} \quad (5)$$

که Q_{PS} و Q_{PO} به ترتیب دبی حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشند.

میانگین خطای مطلق^۲:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_{PO} - Q_{PS}|$$

ضریب تشخیص^۳:

$$R^2 = \left[\frac{\sum (V_O - \bar{V}_O)(V_S - \bar{V}_S)}{\sqrt{\sum (V_O - \bar{V}_O)^2 \sum (V_S - \bar{V}_S)^2}} \right]^2 \quad (7)$$

که V_O و V_S به ترتیب حجم رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده همچنین \bar{V}_O و \bar{V}_S به ترتیب میانگین حجم رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشند.

۳. نتایج

به‌منظور واسنجی مدل پیوسته از داده‌های تبخیر، بارش و رواناب مربوط به ۳ سال آبی (۷۶-۱۹۷۵ الی ۷۸-۱۹۷۷ یا ۵۵-۱۳۵۴ الی ۵۷-۱۳۵۶) استفاده شد. این دوره به دلیل ایجاد توازن حجمی موردنیاز و تقارن نسبی داده‌های بارش و رواناب انتخاب شد. همچنین به‌منظور واسنجی و صحت سنجی از سه

SOS_m موجود در خاک برحسب میلی‌متر و حداکثر نگهداشت خاک برحسب میلی‌متر می‌باشند. این فرمول به این نکته اشاره دارد که نفوذپذیری بالقوه خاک هرگز نمی‌تواند از حداکثر نفوذپذیری خاک بیشتر شود و به‌طور خطی به حجم آب موجود در خاک وابسته است.

فرآیند تراوش به فرآیند نفوذ شبیه است و درواقع مقدار آبی است که از لایه‌های خاک به آب زیرزمینی وارد می‌شود. نفوذپذیری بالقوه خاک^۱ (PSP) از فرمول زیر محاسبه می‌گردد که واحد آن میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. که MSI حداکثر نفوذپذیری خاک برحسب میلی‌متر بر ساعت، SOS_t مقدار حجم آب

(۲)

$$PSP_t = MSP \left(\frac{SOS_t}{SOS_m} \right) \cdot \left(1 - \frac{GWS_t}{GWS_m} \right)$$

که MSP حداکثر نفوذپذیری خاک برحسب میلی‌متر بر ساعت، SOS_t مقدار حجم آب موجود در خاک برحسب میلی‌متر و SOS_m نگهداشت خاک برحسب میلی‌متر می‌باشند. ذخیره آب زیرزمینی برای لایه فعلی آب زیرزمینی برحسب میلی‌متر و GWS_m حداکثر ذخیره آب زیرزمینی برحسب میلی‌متر می‌باشند.

جریان خروجی از لایه‌های آب زیرزمینی نشان‌دهنده جریان آب زیرزمینی جانبی می‌باشد (جریانی که در نهایت به‌عنوان جریان پایه به جریان سطحی اضافه می‌شود). الگوریتم محاسبه رطوبت خاک این جریان جانبی را به‌صورت زیر محاسبه می‌کند:

(۳)

$$GWF_t = \frac{(ASP_t \Delta t) + GWS_{t-1} - (PGWP_t \Delta t) - (0.5 GWF_{t-1} \Delta t)}{K + 0.5 \Delta t}$$

GWF_t جریان آب زیرزمینی برحسب میلی‌متر بر ساعت، $PGWP_t \Delta t$ نفوذپذیری بالقوه آب زیرزمینی برحسب مترمکعب بر ساعت و K ضریب لایه ذخیره آب زیرزمینی برحسب ساعت می‌باشند.

^۱ Root Mean Square Error

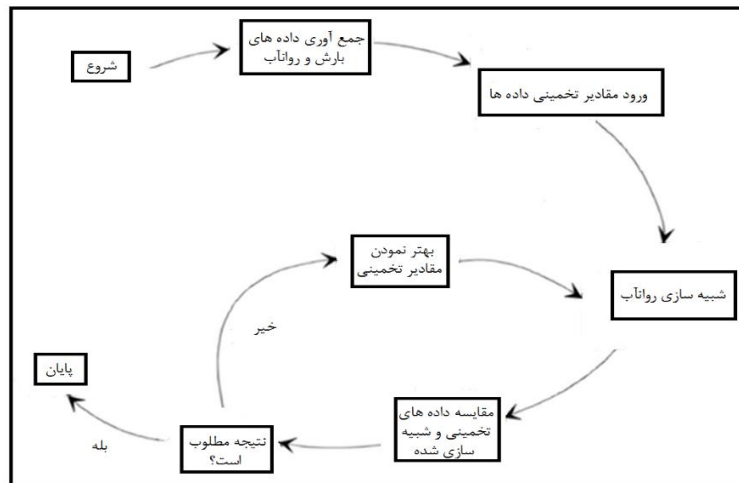
^۲ Mean Absolute Error

^۳ Coefficient of Determination

^۱ Potential Soil Percolation

واسنجی خودکار با استفاده از گزینه بهینه‌سازی در برنامه انجام می‌شود و نحوه انجام واسنجی دستی به صورت شماتیک در شکل ۴ آمده است. در واسنجی خودکار از خطای توازن حجمی و خطای جذر میانگین مربعات به عنوان تابع هدف و در واسنجی دستی از خطای جذر میانگین مربعات استفاده شد. نتایج خطای واسنجی مدل در جدول ۳ آمده است. همچنین دبی روزانه مشاهداتی و محاسباتی در مرحله واسنجی در شکل ۵ ارائه شده است.

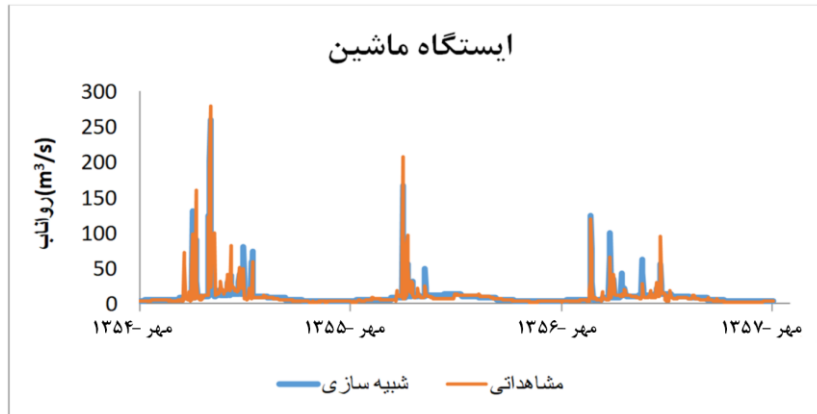
ایستگاه باغملک، قلعه تل و ماشین که نسبتاً معرف قسمت مرکزی و ارتفاعات بالایی و پایینی حوضه هستند استفاده شد. همچنین این سه ایستگاه توازن حجمی مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری را به خوبی ایجاد می‌کردند و درجه همبستگی بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها با یکدیگر داشتند. منظور از سال آبی در این پژوهش از ۱ مهر تا ۳۱ شهریور سال بعد می‌باشد. مدل را می‌توان به دو صورت خودکار و دستی واسنجی کرد که در این تحقیق هر دو روش مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۴. نمای شماتیک از مراحل واسنجی دستی (HEC-HMS Technical Reference Manual)

جدول ۳. نتایج مربوط به واسنجی مدل پیوسته به تفکیک سال آبی

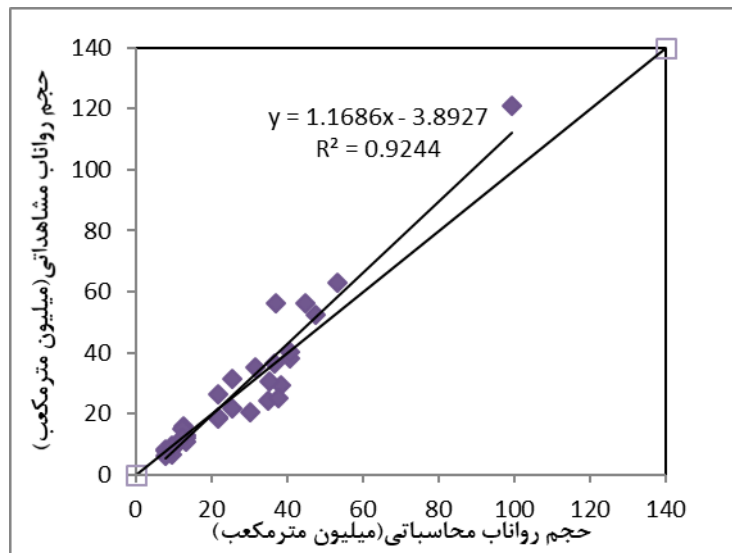
MAE (حداکثر دبی روزانه) (m^3/s)	RMSE (حداکثر دبی روزانه) (m^3/s)	خطای توازن حجمی (ماهانه) (درصد)	R^2 Log (ماهانه)	R^2 (ماهانه)	سال آبی
۴/۳	۱۱/۸	۱۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۵۵-۱۳۵۴
۳	۱۱/۸	۱	۰/۸۹	۰/۸۶	۵۶-۱۳۵۵
۳/۱	۹/۲	-۱۲	۰/۹۵	۰/۹۱	۵۷-۱۳۵۶
۳/۲	۸/۵	۱	۰/۹۳	۰/۹۲	۵۷-۱۳۵۴



شکل ۵. دبی روزانه محاسباتی و مشاهداتی در ایستگاه ماشین در مرحله واسنجی

که مدل در شبیه‌سازی روند تغییرات دبی روزانه در طول ۳ سال آبی موردنظر به‌خوبی عمل می‌کند. با این‌وجود از آنجائی که برآورد حجم ماهانه آورد رودخانه‌ای در برنامه‌ریزی منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است، لذا از شکل ۶ برای بیان دقت مدل در برآورد حجم آورد رودخانه استفاده شده است. در این شکل نمودار خط ۴۵ درجه مربوط به حجم دبی مشاهداتی در برابر حجم دبی محاسباتی رسم شده است.

مقدار خطای توازن حجمی، ضریب تشخیص و ضریب تشخیص لگاریتم رواناب ماهانه نشان می‌دهند که مدل در برآورد دبی ماهانه به‌خوبی واسنجی شده است. همچنین میزان خطا در برآورد دبی حداکثر روزانه در برابر میزان دبی حداکثر رخ داده بسیار ناچیز است. بطوریکه مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در تمامی سال‌ها کمتر از ۱۲ مترمکعب بر ثانیه بوده و میانگین خطای وزنی دبی اوج کمتر از ۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل ۵ نیز نشان می‌دهد



شکل ۶. مقایسه حجم ماهانه دبی مشاهداتی و محاسباتی در مرحله واسنجی

شمسی) استفاده شد. این دو سال آبی نیز بعد از بررسی سال‌های آبی اخیر و با توجه به دو معیار انتخاب گردید. اول اینکه تطابق مناسبی بین بارش و

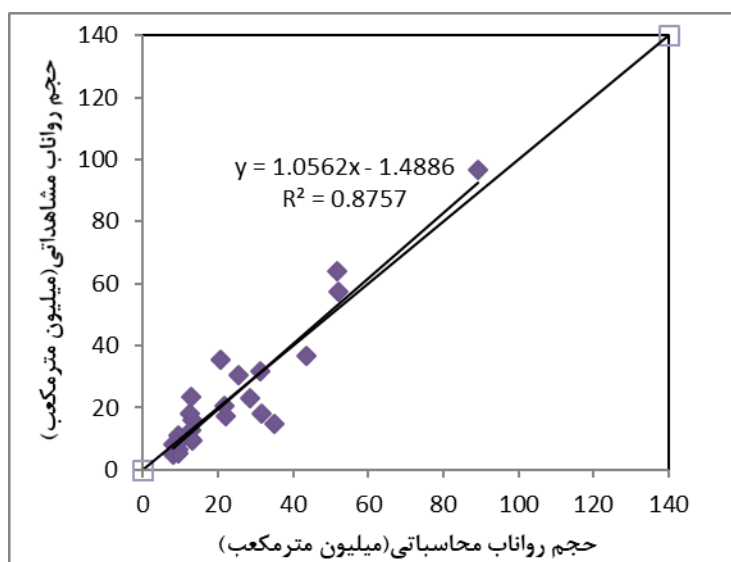
به‌منظور صحت‌سنجی مدل نیز از داده‌های تبخیر، بارش و رواناب مربوط به ۲ سال آبی (۲۰۰۳-۲۰۰۴ تا ۲۰۰۴-۲۰۰۵ میلادی یا ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۴-۱۳۸۳

میزان خطای توازن حجمی بازهم کمتر از ۱۲ درصد در برآورد دبی‌های ماهانه خواهد بود. همچنین خط ۴۵ درجه و برازش شده در شکل ۷ و شکل ۸ نشان می‌دهند مدل واسنجی شده در برآورد حجم ماهانه نیز به خوبی عمل کرده است.

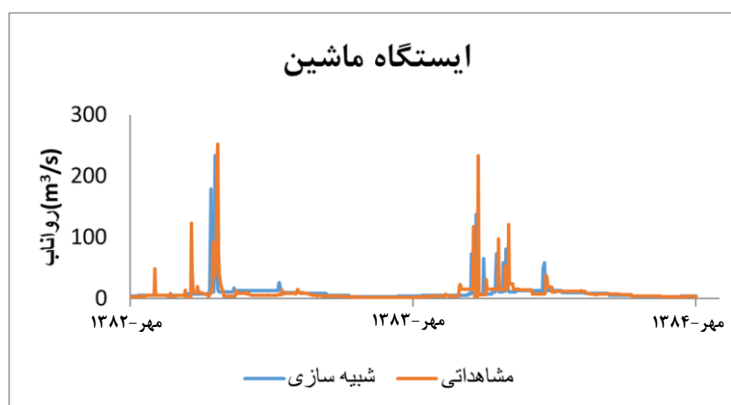
رواناب در این سال‌ها وجود داشته باشد، و دوم اینکه سال‌هایی انتخاب شوند که رواناب ثبت شده در آن‌ها تحت تأثیر مراحل احداث و بهره‌برداری سد جره نباشند. جدول ۴ میزان خطا را در مرحله صحت-سنجی نشان می‌دهد. اگرچه میزان همبستگی از ۰/۹۲ در مرحله واسنجی به ۰/۸۷ رسیده است، اما

جدول ۴. نتایج مربوط به صحت‌سنجی مدل پیوسته

سال آبی	R ² (ماهانه)	R ² Log (ماهانه)	خطای توازن حجمی (ماهانه)(درصد)	RMSE (حداکثر دبی روزانه) (m ³ /s)	MAE (حداکثر دبی روزانه) (m ³ /s)
۸۳-۱۳۸۲	۰/۸۷	۰/۸	-۱۲/۱	۱۹/۱	۶/۳
۸۴-۱۳۸۳	۰/۹۱	۰/۸۷	۹	۲۰/۴	۶
۸۴-۱۳۸۲	۰/۸۷	۰/۸	-۰/۵	۱۸/۳	۶/۲



شکل ۷. مقایسه حجم ماهانه دبی مشاهداتی و محاسباتی در مرحله صحت‌سنجی

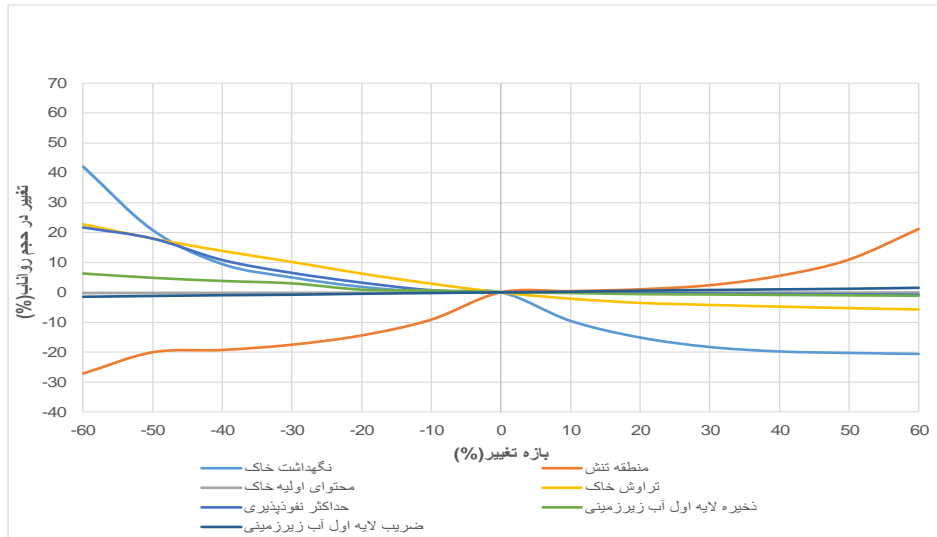


شکل ۸. دبی روزانه محاسباتی و مشاهداتی در ایستگاه ماشین در مرحله صحت‌سنجی

بازه تغییرات از $+60$ الی -60 درصد در نظر گرفته شد. شکل ۹ میزان تغییرات حجم رواناب را برحسب درصد در برابر درصد تغییرات ۷ پارامتر که بیشترین میزان حساسیت را داشتند نشان می‌دهد. در جدول ۵ پارامترها بر اساس بیشترین حساسیت به کمترین حساسیت از بالا به پایین نمایش داده شده است.

آنالیز حساسیت با استفاده از مدل HEC-HMS و بر روی پارامترهای الگوریتم رطوبت خاک صورت پذیرفت. در مجموع ۱۳ پارامتر مورد آنالیز قرار گرفتند. به منظور بررسی حساسیت پارامترها هر پارامتر به صورت جداگانه و درحالی که دیگر پارامترها ثابت بودند به میزان ۱۰ درصد اضافه و کم شدند و

آنالیز حساسیت مربوط به سال های ۱۳۵۷-۱۳۵۴



شکل ۹. آنالیز حساسیت مربوط به حساس ترین پارامترهای مدل Hec-Hms

جدول ۵. رتبه بندی پارامترهای مدل از نظر حساسیت

رتبه بندی از نظر حساسیت	پارامترهای مدل
۱	نگهداشت خاک
۲	منطقه تنش
۳	تراوش خاک
۴	حداکثر نفوذپذیری
۵	ذخیره سازی لایه اول آب زیرزمینی
۶	ضریب لایه اول آب زیرزمینی
۷	محتوای اولیه خاک
۸	درصد آب زیرزمینی اولیه لایه اول
۹	تراوش لایه اول آب زیرزمینی
۱۰	ذخیره سازی لایه دوم آب زیرزمینی
۱۱	ضریب لایه دوم آب زیرزمینی
۱۲	درصد آب زیرزمینی اولیه لایه دوم
۱۳	تراوش لایه دوم آب زیرزمینی

خاک و حداکثر نفوذپذیری از بیشترین حساسیت و پارامترهای تراوش لایه دوم آب زیرزمینی و درصد آب

همان طور که در جدول و شکل مشاهده می‌شود پارامترهای نگهداشت خاک، منطقه تنش، تراوش

تحقیق (Kianisalmi et al., 2018) که در پژوهشی مشابه به تحلیل حساسیت مدل احتساب کننده رطوبت خاک برای شبیه‌سازی پیوسته در حوضه بهشت‌آباد پرداختند، مقایسه نمود. این تحقیق نتایج مشابهی در تحلیل حساسیت با تحقیق حاضر داشت و نگهداشت خاک و منطقه تنش حساس‌ترین پارامترها شناخته شدند. اما در تحقیق فوق‌الذکر از بین پارامترهای مربوط به الگوریتم محاسبه رطوبت خاک تنها ۶ پارامتر در بررسی حساسیت لحاظ گردیده است و همچنین در کالیبراسیون فقط از روش دستی بهره گرفته شده است و در واقع نقشی برای کالیبراسیون خودکار در نظر گرفته نشده که از تفاوت‌های آن با تحقیق حاضر می‌باشد. در این تحقیق برخلاف اکثر تحقیقات گذشته بررسی جامع‌تر مدل‌سازی پیوسته و نقش کالیبراسیون خودکار و دستی در بهبود نتایج و آنالیز حساسیت پارامترهای مدل مورد تأکید قرار گرفت.

در مجموع با توجه به خطای جذر میانگین مربعات، خطای میانگین مطلق، ضریب تشخیص و خطای توازن حجمی، مدل عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده است. بر اساس ارزیابی کلی مدل می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم محاسبه رطوبت خاک موجود در مدل HEC-HMS قابلیت خوبی برای مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب در حوضه رود زرد دارد.

منابع

- Abdessamed DERDOUR., Abderrazak BOUANANI , Kamila BABAHA MED. 2018. Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS in a semi-arid region: Case study in Ain Sefra watershed, Ksour Mountains (SW Algeria). journal of water and land development.
- Ajmal Muhammad., Waseem Muhammad., Ahn Jae-Hyun., Kim Tae-Woong. 2015. Improved Runoff Estimation Using Event-Based Rainfall-Runoff Models. Springer Science+Business Media Dordrecht.

زیرزمینی اولیه لایه دوم از کمترین حساسیت برخوردار بودند. پارامتر نگهداشت خاک نسبت عکس با رواناب از خود نشان داد و با افزایش مقدار این پارامتر رواناب روند کاهش از خود بروز داد و این در حالی است که پارامتر منطقه تنش نسبت مستقیم با حجم رواناب بروز داد و با افزایش این پارامتر رواناب نیز افزایش یافت همچنین باید به این نکته توجه داشت که مقدار عددی پارامتر منطقه تنش نمی‌تواند برابر یا بیشتر از پارامتر نگهداشت خاک باشد و این دو پارامتر نسبت عکس باهم دارند. همچنین دو پارامتر تراوش و حداکثر نفوذپذیری نیز مشخصاً با رواناب نسبت عکس دارند و با افزایش این پارامترها رواناب کاهش می‌یابد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق را می‌توان به صورت زیر تبیین نمود:

(۱) مدل با موفقیت برای حوضه رود زرد در ایران کالیبره و صحت سنجی شد و همچنین نتایج کالیبراسیون مدل نشان داد که کالیبراسیون دستی مدل بعد از فرآیند کالیبراسیون خودکار نقش بسزایی در بهبود نتایج کالیبراسیون داشت.

(۲) نگهداشت خاک و منطقه تنش دارای بیشترین حساسیت و تراوش لایه دوم آب زیرزمینی دارای کمترین حساسیت در بین پارامترها بودند. شرایط رطوبتی لایه‌های بالایی خاک تأثیر به مراتب بیشتری نسبت به لایه‌های آب زیرزمینی در آنالیز حساسیت داشتند و شاید علت این موضوع تغییرات بیشتر رطوبت لایه‌های بالایی خاک نسبت به لایه‌های آب زیرزمینی باشد البته از تأثیر روش‌های محاسبه جریان پایه در عدم تغییر محسوس آب لایه‌های زیرزمینی نیز نباید غافل گشت.

(۳) پیچیدگی فرآیند مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب با استفاده از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک و نیاز به بررسی و آنالیز تعداد پارامترهای زیاد این روش، می‌تواند علت کمبود تحقیق در این زمینه باشد به همین منظور نتایج این تحقیق را می‌توان با نتایج

- Watershed of Loess Plateau. American Society of Civil Engineers.
- Rahul Singh Waikhom., Jain Manoj K. 2015. Continuous Hydrological Modeling using Soil Moisture Accounting Algorithm in Vamsadhara River Basin, India. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering*. Vol. 4 Iss. 4, PP. 398-408.
- Roy D., Begam S., Ghosh S., and Jana S. 2013. Calibration and validation of HEC-HMS model for a river basin in eastern India. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(1): 40-56, 2013.
- Kianisalmi Elham., Honarbakhsh Afshin., Khodayar Abdollahi 2018. Sensitivity of the SMA HEC-HMS model for continuous hydrological modeling in Beheshtabad basin. *Ecohydrology journal*, Volume 4, Issue 4, Winter 2018, Page 1117-1127
- Shammi Haque., Mohammed Abed Hossain., Mashfiqus Salehin., Munsur Rahman. 2017. Sensitivity analysis of SMA based continuous hydrologic simulation for SariGowain river basin. *International Conference on Engineering Research, Innovation and Education*, 2017.
- Tassew, B.G., Belete, M.A., Miegel, K. 2019. Application of HEC-HMS Model for Flow Simulation in the Lake Tana Basin: The Case of Gilgel Abay Catchment, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 6, 21
- Waikhom RS., Manoj K, Jain. 2015. Continuous Hydrological Modeling using Soil Moisture Accounting Algorithm in Vamsadhara River Basin, India. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering*. 2015: 4: 398-408.
- Wurbs R. A. 1998. Dissemination of generalized water resources models in the United States. *Water Int.* 23, 190-198.
- Yacina DAHDOUH., Lahbassi OUERDACHI. 2018. Assessment of two loss methods for estimation of surface runoff in Zaafrania urban catchment, North-East of Algeria. *journal of water and land development*.
- Yilmaz, A., Imteaz, M., and Ogwuda, O. 2012. Accuracy of HEC-HMS and LBRM models in simulating snow runoffs in Upper Euphrates Basin. *J. Hydrol. Eng.*, 17(2), 342–347.
- Aristeidis G. Koutroulis., Ioannis K. Tsanis., Ioannis N. Daliakopoulos., Daniela Jacob. 2013. Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete island, Greece. *Journal of Hydrology*, Volume 479, 4 February 2013, Pages 146–158.
- Chiew F.H.S., Kirono D.G.C., Kent D.M., Frost A.J., Charles S.P., Timbal B., Nguyen K.C., Fu G. 2010. Comparison of runoff modelled using rainfall from different downscaling methods for historical and future climates. *Journal of Hydrology*, Volume 387, Issues 1–2, 7 June 2010, Pages 10-23.
- Choudhari Kishor., Panigrahi Balram., Chandra Paul Jagadish. 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES*. Vol 5, No 2.
- Chow V.T., Maidment, D.R., Mays., L.W.(1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill Book Company. pp. 572.
- Ihimekpen NI., Ilaboya IR, Onyeacholem. 2018. Modelling and Simulation of Rainfall-Runoff Relations for Sustainable Water Resources Management in Ethiopie Watershed using SCS-CN, ARC-GIS, ARC-HYDRO, HEC-GEOHMS and HEC-HMS. *Trends in Civil Engineering and its Architecture*
- Jothityangkoon C., Sivapalan M., Farmer DL. 2001. Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: downward approach to hydrological model development. *Hydrology*. 254:174-198.
- Khazaei Mohammad Reza., Zahabiyouna Bagher., Saghafianc Bahram 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model". *International Journal of Climatology*.
- Morid S., Gosain A.K., Keshari K. 2002. Comparison of the SWAT model and ANN for daily simulation of runoff. *Fifth International conference Hidroinformatics*, 707-714.
- Qingyun Li., Xinxiao Y., Zhongbao Xin., and Yanwei Sun. 2013. Modeling the Effects of Climate Change and Human Activities on the Hydrological Processes in a Semiarid

Investigating Parameter Sensitivity of Continuous Soil Moisture Accounting Model (case study: Zard River basin)

Pedram Mahdavi¹, Hossein Ghorbanizadeh Kharazi^{1*}, Hossein Eslami¹, Narges Zohrabi², Majid Razaz¹

1. Department of Civil Engineering-Water Resources Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

2. Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

(DOI): [10.22113/jmst.2020.188459.2290](https://doi.org/10.22113/jmst.2020.188459.2290)

Abstract

This study was conducted using continuous hydrological modeling available in HEC-HMS model with respect to SMA method for Zard River basin in Iran. To perform the HEC-HMS model in the present study, spatial data such as soil map, digital elevation model, land use land cover map were used to define catchment boundary and other physiological characteristics of basin. The model was calibrated for period of 1975-1978 and it was validated for the period of 1978-80. The evaluation of calibrated model showed that the performance of the model ranges from good to very good with a coefficient of determination for monthly volumes $R^2=0.92$, $\text{Log}R^2=0.93$, Percentage error for monthly volumes (PEV)=1%, Root Mean Square Error of daily peak flows (RMSE)=8.5(m³/s) and Mean Absolute Error of daily peak flows (MAE)=3.2(m³/s). Sensitivity analysis showed that soil storage and tension storage are most sensitive parameters and initial GW2 content and GW2 percolation are least sensitive parameters in the model. From the results it can be concluded that SMA method in HEC-HMS conceptual model perform good enough and can be used for continuous long-term rainfall-runoff modeling in Zard River basin.

Keywords: Continuous Hydrological Modeling, SMA, Zard River, Sensitivity Analysis, HEC-HMS Model

List of tables & figures

Figure 1. 30meter dem of Zard river basin along with location of rainfall stations and Zard river basin.

Figure 2. Map of soil hydrological groups

Figure 3. Schematic of soil moisture accounting method

Figure 4. Schematic of calibration procedure

Figure 5. Simulated daily runoff compared to Observed daily runoff in calibration step

Figure 6. Simulated monthly volume versus observed monthly volume in calibration step

Figure 7. Simulated daily runoff compared to Observed daily runoff in validation step

Figure 8. Simulated monthly volume versus observed monthly volume in validation step

Figure 9. Sensitivity analysis of most sensitive parameters of HEC-HMS model

Table 1. Specification of selected weather stations

Table 2. Calculation methods for components of model

Table 3. Results of calibration of the continuous model by water year

Table 4. Results of validation of the continuous model

Table 5. Ranking of model parameters in terms of sensitivity

^{1*} Corresponding author, E-mail: ghorbanizadeh.iau@yahoo.com