تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نهم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۲
Volume 9, No. 2, Fall 2013 (IR-WRR)
۷۳-۷۷

یادداشت فنی

مدل‌سازی پیوسته جریان روزانه رودخانه کارون به کمک مدل تابع تلفات SMA

محمدرضا غفوری[۱*]، حمید طاهری شهرآئینی[۲]
و بهرام ثقفیان[۳]

چکیده

در این تحقیق مدل HEC-HMS به همراه مدل محاسبه تلفات SMA در شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه کارون در محل ایستگاه هیدرومتری پل شالو مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای واسنجی مدل از داده‌های دبی روزانه پنج سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا ۱۳۷۵-۱۳۷۴ و برای اعتبارسنجی مدل از داده‌های سه سال آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸-۱۳۷۷ استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده تطابق مناسب (R^2=0.82) بین داده‌های جریان مشاهده‌ای و مدل‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی می‌باشد. همچنین درصد خطای حجم کل، ضریب راندمان Nash-Sutcliffe و جذر میانگین مربعات خطای مدل به ترتیب برابر با ٪ ۱۱/۳، ۰/۸۲ و ۱۵۱ cms می‌باشد. مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات مشابه، بیانگر قابلیت مناسب مدل HEC-HMS به همراه مدل محاسبه تلفات SMA برای مدل‌سازی پیوسته جریان روزانه در دوره‌های خشک و تر در حوضه کارون می‌باشد.

کلمات کلیدی: رودخانه کارون، مدل‌سازی رواناب، HEC-HMS و SMA.

تاریخ دریافت مقاله: ۹ اردیبهشت ۱۳۹۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۷ آبان ۱۳۹۱

۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران.
۳- استاد گروه مهندسی عمران آب، دانشکده فنی مهندسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی.
*- نویسنده مسئول

Technical Note

Modeling of Continuous Daily Runoff of Karoon River using SMA Loss Function

M.R. Ghafouri [1], H. Taheri Shahraiyni [2] and B. Saghafian [3]*

Abstract

In this study, HEC-HMS with its continuous loss function module (SMA: Soil Moisture Account) has been applied for the daily runoff modeling in the Pol-e-Shaloo hydrometric station on Karoon river. The daily runoff data from Iranian water year of 1370-1371 to 1374-1375 (1991.Sep.24 to 1996. Sep.23) were utilized as calibration data and the model verification has been performed using the daily data from 1375-1376 to 1377-1378 (1996.Sep.24 to 1999. Sep.23). Model verification exhibited appropriate consistency between the observation and simulation data (R^2=0.82). The percent of total volume error (PTVE) values, Nash-Sutcliffe coefficient, and root mean square error (RMSE) of developed model were 11.3 %, 0.82 and 151 cms, respectively. Comparison between the results of this study and other similar studies demonstrated the ability of HEC-HMS with SMA module for the continuous modeling of daily runoff in the Karoon basin.

Keywords: Karoon River, Runoff simulation, HEC-HMS, Soil Moisture Account.

Received: April 28, 2012
Accepted: November 17, 2012

1- Msc in Hydrogeology, Shahrood University, Shahrood, Iran. Email: mrgh.ghafouri@gmail.com
2- Assistant Professor, Faculty of Civil Eng., Shahrood University, Shahrood, Iran.
3- Professor, Technical and Engineering Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

مسأله تخمین و پیش‌بینی جریان رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاکنون نرم‌افزارهای مختلفی برای انجام این مهم توسعه یافته‌اند و از آنها به وفور در سراسر دنیا (مثل Srinivasan et al. 1998; Arnold et al. 2000; Arnold et al. 2005) و در ایران (مثل نجف‌زاده و همکاران، ۱۳۸۳؛ نجفی و همکاران، ۱۳۸۳) استفاده شده است. هم‌چنین مدل‌های مختلفی مثل SDI[1]، SRM[2]، AWBM[3] و SWAT[4] جهت مدل‌سازی رواناب در زیر حوضه‌های مختلف حوضه آبریز کارون بزرگ مثل زیرحوضه‌های خرسان، بهشت آباد، ونک، بازفت، کوهرنگ، فارسان و زرین درخت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (مثل شریفی و همکاران، ۱۳۸۳؛ پرهمت و همکاران، ۱۳۸۴؛ شریفی و همکاران، ۱۳۸۵؛ Rostamian et al. 2008) اما تاکنون مدل‌سازی رواناب در زیر حوضه سد کارون ۳ توسط مدل HEC-HMS (USACE, 2000) به همراه مدل پیوسته محاسبه تلفات آن که SMA[5] نامیده شده و توسط Bennett (1998) توسعه یافته، استفاده نشده است. لذا هدف از این تحقیق، مدل‌سازی جریان در حوضه آبریز سد کارون ۳ به کمک مدل HEC-HMS به همراه مدل پیوسته محاسبه تلفات SMA می‌باشد.

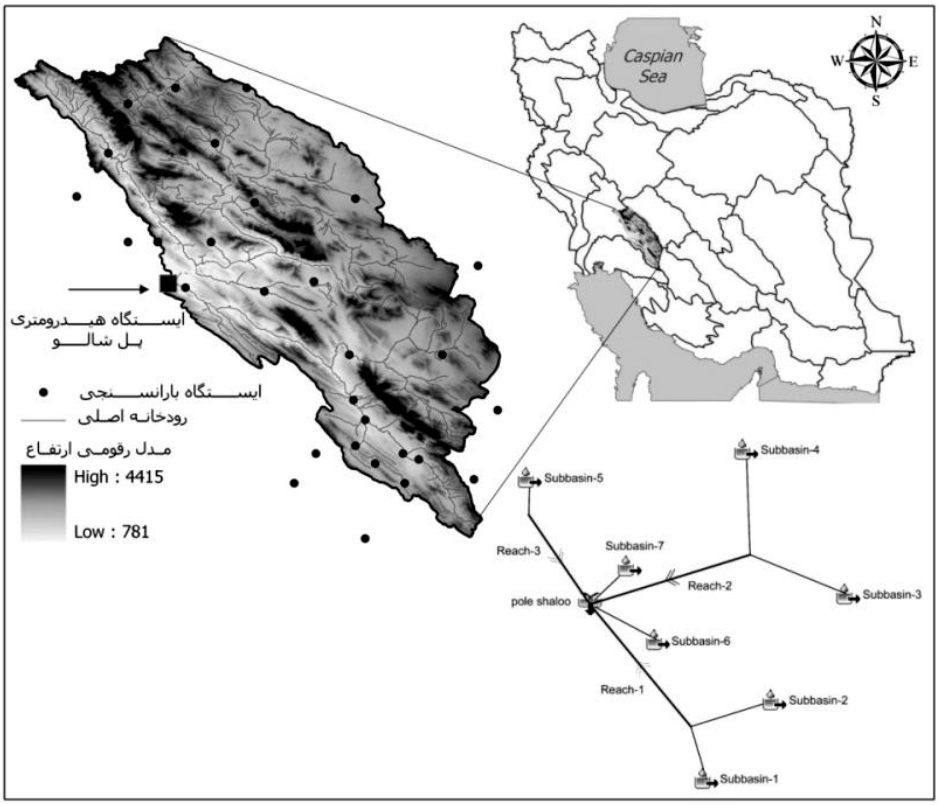
۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سد کارون ۳ در جنوب غربی ایران و بخش شرقی حوضه آبریز کارون بزرگ در حد فاصل طول شرقی ´۳۰ °۴۹ تا °۵۲ و عرض شمالی °۳۰ تا ´۳۰ °۳۲ قرار گرفته است. وسعت این حوضه تا محل خروجی یعنی ایستگاه هیدرومتری پل‌شالو (شکل ۱) حدود ۲۴۲۰۲ کیلومتر مربع است و دارای میانگین بارش سالانه ۷۶۷ میلیمتر و میانگین جریان روزانه برابر با ۳۸۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. در شکل ۱ نقشه رقومی ارتفاع به همراه سیستم آبراهه‌های اصلی حوضه و همچنین مولفه‌های مختلف مدل حوضهٔ در نظر گرفته شده در HEC-HMS نشان داده شده است.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- انتخاب مدل‌های محاسبه تلفات، جریان پایه، تبدیل رواناب و روندیابی

در این پژوهش برای مدل‌سازی پیوسته فرآیند بارش ـ رواناب از مدل تلفات SMA استفاده می‌شود زیرا این مدل، تنها مدل پیوسته در نرم‌افزار HEC-HMS می‌باشد (Bennett, 1998). بنابر توصیه‌های صورت گرفته به همراه مدل SMA از مدل جریان پایه



شکل ۱ـ نقشه رقومی ارتفاع، سیستم آبراهه‌ای و اجزای مدل HEC-HMS در حوضه کارون ۳

مخزن خطی[۶] برای محاسبه جریان پایه (Bennett 1998) و همچنین از بین مدل‌های مختلف تبدیل بارش مازاد به رواناب نقطه‌ای، مدل هیدروگراف واحد کلارک با توجه به تناسب مفهومی آن با مدل مخزن خطی (USACE 2000) بهره گرفته شده است. برای روندیابی هیدروگراف در طی بازه‌ها و مسیرها از روش روندیابی ماسکینگام و برای مدل‌سازی ذوب برف از روش شاخص دما[۷] استفاده شده است.

۳-۲- ساختار مدل پیوسته محاسبه تلفات SMA

این مدل با استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره کننده، حوضه آبریز را معرفی می‌نماید (Bennett 1998). هنگامی که بارش صورت می‌گیرد اولین لایه‌ای که ظرفیت آن پر می‌گردد ذخیره برگابی است. دومین لایه ذخیره‌ای، ذخیره چالابی است و سپس نفوذ سطحی رخ می‌دهد لذا سومین لایه ذخیره، ذخیره پروفیل خاک می‌باشد. آب مازاد بر ذخایر مذکور به صورت رواناب سطحی ظاهر می‌شود. پروفیل خاک بر اثر تبخیر و تعرق، بخشی از آب خود را از دست می‌دهد و بخشی از آب آن توسط نفوذ عمقی به لایه‌های آب زیرزمینی می‌رسد و ذخایر آب زیرزمینی به مدل مخزن خطی جهت مدل‌سازی جریان پایه رودخانه مرتبط می‌گردد (Bennett 1998).

۳-۳- زیرحوضه‌ها و داده‌های بارش و رواناب

در این تحقیق از داده‌های دبی، بارش و دمای روزانه طی سال‌های آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا ۱۳۷۵-۱۳۷۴ جهت واسنجی و از داده‌های سالهای آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸-۱۳۷۷ جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. داده‌های بارش از آمار بارندگی روزانه ۳۰ ایستگاه وزارت نیرو بدست آمده و همچنین حوضه آبریز بر اساس شبکه آبراهه‌ای و ویژگی‌های توپوگرافی به هفت زیرحوضه کوچکتر تقسیم شده است (شکل ۱). جهت برآورد توزیع مکانی بارش، میزان بارش متوسط از روش وزنی مجذور عکس فاصله محاسبه شده است. این روش جهت برآورد توزیع مکانی بارش روزانه در جنوب غرب ایران مناسب تشخیص داده شده است (Saghafian et al. 2003).

۳-۴- معیارهای ارزیابی مدل

نتایج مدل‌سازی‌ها با استفاده از بهینه سازی معیارهای مختلفی مانند ضریب راندمان NS[۸] $(NS = 1 - [\frac{\sum_i^n \langle O_i - S_i \rangle^2}{\sum_i^n \langle O_i - \hat{O} \rangle^2}])$، ضریب تعیین $(R^2 = (Cov\langle O_i, S_i \rangle / \sqrt{Cov\langle O_i, O_i \rangle . Cov\langle S_i, S_i \rangle})^2)$ R^2، میانگین درصد خطای مطلق (MPAE)[۹] $(MPAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \left|\frac{O_i - S_i}{O_i}\right| * 100)$، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)[۱۰] $(RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \langle O_i - S_i \rangle^2})$، ریشه میانگین مربعات خطای وزندار شده بر اساس پیک‌ها (PW-RMSE)[۱۱] $(PW - RMSE = \left\{\frac{1}{n}\langle \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2 \langle \frac{O_i + \hat{O}}{2\hat{O}} \rangle \rangle\right\}^{0.5})$ و درصد خطای حجم کل $(PTVE)$[۱۲] $(PTVE = \frac{\sum_i^n O_i - \sum_i^n S_i}{\sum_i^n O_i} * 100)$ استفاده شده است. در روابط ارائه شده برای معیارها، n برابر با تعداد داده‌های جریان، O_i و S_i داده‌های جریان روزانه مشاهده‌ای و شبیه سازی شده در گام زمانی i، $\hat{O}$ دبی میانگین جریان روزانه مشاهده‌ای و Cov کوواریانس داده‌ها می‌باشد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- واسنجی مدل

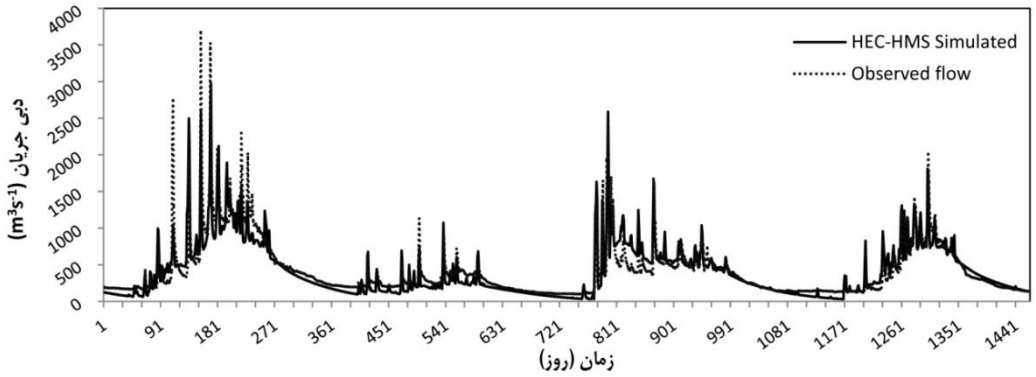
در این مطالعه واسنجی پارامترهای مدل به صورت دستی و با استفاده از قضاوت مهندسی و روش سعی و خطا صورت گرفته است. مقادیر اولیه برخی پارامترها با استفاده از منابع مختلف (مثل (Bennett 1998; Fleming and Neary 2004; USACE 2000; USDA 1986) تعیین شده است. مقادیر میانگین پارامترهای کالیبره شده مدل SMA در جدول ۱ ارائه شده است. هیدروگراف مقادیر مدل‌سازی شده و مشاهده‌ای برای دوره واسنجی مدل در شکل ۲ و معیارهای سنجش خطا در جدول ۲ ارائه شده است که حاکی از مناسب بودن واسنجی انجام شده در دوره‌های تر سالی و خشکسالی می‌باشند.

۴-۲- صحت‌سنجی مدل

پس از واسنجی، مدل تحت اعتبارسنجی قرار گرفت. میانگین، واریانس و چولگی داده‌های جریان در دوره واسنجی به ترتیب برابر با ۴۳۷ cms، $۴/۵\times۱۰^{۵}$ cms^2 و ۲/۴ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۲۹۴ cms، $۹/۹\times۱۰^{۴}$ cms^2 و ۴/۸ می‌باشند. هیدروگراف مقادیر مدل‌سازی شده و مشاهده‌ای برای دوره اعتبار سنجی در شکل ۳ و معیارهای سنجش خطا در جدول ۲ ارائه شده است. اختلاف حجم کل ۱۱/۳ درصدی نشان‌دهندهٔ برآورد زیادتر مدل در دوره اعتبارسنجی می‌باشد. مقدار NS برابر با ۰/۸۲، ضریب همبستگی ۰/۸۴ و RMSE برابر ۱۵۱/۳ با توجه به مقدار دبی میانگین (۲۹۴ cms)، نشانگر دقت بالای مدل می‌باشد. اختلاف بین مقادیر PW-RMSE و RMSE نشان‌دهندهٔ برآورد نامناسب‌تر دبی‌های اوج نسبت به سایر بخش‌های هیدروگراف می‌باشد. اگر چه نتایج نشان می‌دهند که دقت مدل در دبی‌های کم، بیشتر از دبی‌های پیک است اما بطور کلی می‌توان قضاوت نمود که مدل حتی دبی‌های اوج را با دقت معقول و مناسبی برآورد نموده است.

جدول ۱ـ میانگین پارامترهای کالیبره شده مدل SMA برای تمامی زیرحوضه‌ها

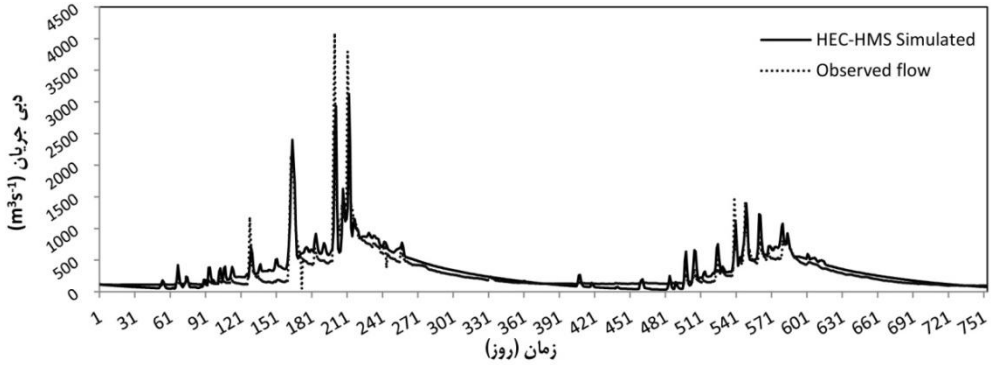
پارامتـرها	مقدار	پارامتـرها	مقدار	پارامتـرها	مقدار
ذخیره برگابی ٪	۰	ذخیره چالابی (mm)	۴/۵	ذخیره آب زیرزمینی ۱ (mm)	۸۵
ذخیره چالابی ٪	۰	حداکثر نفوذ (mm/hr)	۱۱	نفوذ آب زیرزمینی ۱ (mm/hr)	۲
ذخیره خاک ٪	۵	نفوذ ناپذیری ٪	۱۵	روندیابی آب زیرزمینی ۱ (hr)	۴۰۰
ذخیره آب زیرزمینی ۱ ٪	۲۰	ذخیره خاک (mm)	۱۱۵	ذخیره آب زیرزمینی ۲ (mm)	۹۵
ذخیره آب زیرزمینی ۲ ٪	۳۰	ذخیره کششی (mm)	۱۷/۵	نفوذ آب زیرزمینی ۲ (mm/hr)	۰/۰۸
ذخیره برگابی (mm)	۱/۷۵	نفوذ عمقی (mm/hr)	۳/۷۵	روندیابی آب زیرزمینی ۲ (hr)	۶۰۰



شکل۲ـ هیدروگراف مشاهده‌ای و مدل‌سازی شده در دوره چهار ساله واسنجی از سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ تا ۷۵-۱۳۷۴

جدول ۲ـ معیارهای آماری نکویی برازش برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی

معیارهای آماری نکویی برازش	واسنجی	صحت‌سنجی
Mean Discharge (cms)	437	294
Nash-Sutcliffe	0.80	0.82
R^2	0.81	0.84
MPAE %	27.5	36.5
PTVE %	-4.5	11.3
RMSE (cms)	168	151.3
PW-RMSE (cms)	240	265



شکل۳ـ هیدروگراف مشاهده‌ای و مدل‌سازی شده در دوره دو ساله اعتبارسنجی از سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا ۷۷-۱۳۷۶

مقایسه نتایج مدل HEC-HMS با نتایج حاصله از مدل‌سازی توسط مدل SWAT (مثل Kaur et al. 2004 و Rostamian et al. 2008) و مدل SRM (مثل پرهمت و همکاران ۱۳۸۴ و نجف‌زاده و همکاران ۱۳۸۳) و همچنین مدل‌سازی‌های انجام شده در زیرحوضه‌های مختلف کارون (شریفی و همکاران ۱۳۸۳) تأییدکننده مناسب بودن مدل‌سازی انجام شده توسط مدل HEC-HMS است.

۵- نتیجه‌گیـری

با توجه به معیارهای متعدد سنجش خطا، توانمندی مدل HEC-HMS به همراه مدل محاسبه تلفات SMA که قابلیت مدل‌سازی پیوسته جریان در دوره‌های تر و خشک متوالی را دارا می‌باشد در مدل‌سازی جریان رودخانه در حوضه آبریز کارون ۳ مورد ارزیابی قرار گرفت و مدل توانست در دوره اعتبارسنجی نتایج مناسبی مانند Nash-Sutcliffe و ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۲ و ۰/۸۴ را برای مدل‌سازی رواناب روزانه ارائه نماید. مدل در دوره صحت‌سنجی مقادیر دبی‌های اوج شدید را به خوبی برآورد نموده و در مقایسه صورت گرفته با سایر مدل‌های مفهومی، قابلیت خود را برای مدل-سازی جریان به اثبات رساند.

پی‌نوشت‌ها

1. Soil Dryness Index
2. Snowmelt Runoff Model
3. Australian Water Balance Model
4. Soil and Water Assessment Tool
5. Soil Moisture Account
6. Linear reservoir
7. Temperature Index
8. Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NS)
9. Mean Percent of Absolute Error (MPAE)
10. Root Mean Square Error (RMSE)
11. Peak Weighted-RMSE (PW-RMSE)
12. Percent of Total Volume Error (PTVE)

۶- مراجع

پرهمت ج، ثقفیان ب، صدقی ح (۱۳۸۴) بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوضه‌های بدون آمار برف: مطالعه موردی حوضه خرسان در کارون. تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۱)، ۱-۱۱.

شریفی ف، نام‌درست ج، ایوب‌زاده س ع، وکیل‌پور ج (۱۳۸۳) تکمیل، اصلاح و ارزیابی مدل رایانه‌ای ISDI در تعدادی از حوضه‌های آبریز ایران. مجله منابع طبیعی ایران، ج ۵۷،شماره۴.

شریفی ف، صفاپور ش و ایوب زاده س ع (۱۳۸۵) ارزیابی مدل رایانه‌ای AWBM2002 در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوضه‌های آبریز ایران. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۳.

نجف زاده ر، ابریشم‌چی ا، تجریشی م ، طاهری شهرآئینی ح (۱۳۸۳) شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف. مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۲.

نجفی م، شیخی‌وند ج، پرهمت ج (۱۳۸۳) برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های برف گیر با استفاده از مدل SRM، مطالعه موردی حوضه سد مهاباد. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره ۳.

Arnold JG, Potter KN, King KW and Allen PM (2005) Estimation of soil cracking and the effect on surface runoff in a Texas Blackland Prairie Watershed, Hydrol. Process. 19(3): 589-603.

Arnold JG, Muttiah RS, Srinivasan R and Allen PM (2000) Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi Basin. J. Hydrol. 227: 21-40.

Bennett T (1998) Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System, HEC-HMS: MSc Thesis Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ of California, Davis, Calif.

Fleming M, Neary V (2004) Continuous hydrologic modeling study with the hydrologic modeling system. J.Hydrol. Eng. 9(3): 175-183.

Kaur R, Singh O, Srinivasan R, Das SN and Mishra K (2004) Comparison of a subjective and a physical approach for identification of priority areas for soil and water management in a watershed—A case study of Nagwan watershed in Hazaribagh District of Jharkhand, India. Environ. Model. Assess. 9(2): 115-127.

Rostamian R, Jalali A, Afyuni M, Mousavi SF, Heidarpour M, Jalalian A and Abbaspour KC (2008) Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques 53(5): 977-988,.

Saghafian B, Tajrishi M, Taheri Shahraini H and Jalali M (2003) Modeling spatial variability of daily rainfall in southwest of Iran. Scientia Iranica. 10(2): 164-174.

Srinivasan R, Ramanarayanan TS, Arnold JG and Bednarz ST (1998) Large area hydrologic modelling and assessment, part II: Model application. J. Amer. Water Resour. Assoc. 34(1): 91-101.

United States Department of Agriculture (USDA) (1986) Urban Hydrology for Small Watersheds, TR-55.

US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources (USACE) (2000) HEC-HMS Technical Reference Manual, Davis, C.A. http://www.hec.usace.army.mil/.