نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۹-۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 1-9

ارزیابی عملکرد مدل فازی و ظرفیت نفوذ متغیر (VIC) در برآورد متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژی (مطالعه موردی: حوضه آب‌ریز نیشابور)

آیدا هاشمی‌نسب[۱]، حسین انصاری[۲*] و سیدحسین ثنائی‌نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۳۰

چکیده

هدف این مطالعه، کاربرد مدل نیمه توزیعی ظرفیت نفوذ متغیر (VIC) جهت برآورد رواناب، تبخیر - تعرق و رطوبت خاک در حوضه آب‌ریز نیشابور برای سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۳ در مقیاس ماهانه است. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که مدل VIC در مکانیزم شبیه‌سازی رواناب نسبت به پارامترهای شکل منحنی ظرفیت نفوذ و عمق لایه دوم خاک حساس‌تر است. ابتدا مدل VIC با استفاده از مقایسه داده‌های رواناب شبیه‌سازی شده با خروجی حوضه برای سال‌های ۷۴-۱۳۷۲ واسنجی شد. نتایج حاکی از عملکرد بالای مدل در شبیه‌سازی جریان خروجی حوضه می‌باشد. به‌طوری که مقادیر R^2 و NSE به ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۰/۹۹ به‌دست آمد. هم‌چنین، مدل VIC با داده‌های رواناب ایستگاه حسین‌آباد جنگل و تبخیر - تعرق شبیه‌سازی شده با مدل SWAT و الگوریتم SEBAL صحت‌سنجی شد. مقادیر R^2 و NSE برای رواناب برابر ۰/۸ و ۰/۹ است. نتایج نشان‌دهنده توافق بیش‌تر تبخیر - تعرق شبیه‌سازی شده مدل VIC با داده‌های مدل SWAT می‌باشد و مقادیر R^2 و NSE به‌دست آمده به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۷ است. با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان از مدل VIC در شبیه‌سازی متغیرهای مورد نیاز در مطالعات منابع آب و هواشناسی استفاده کرد.

واژه های کلیدی: حوضه آبریز نیشابور، شکل منحنی ظرفیت نفوذ، مدل VIC، مدل فازی

مقدمه

برآورد صحیح و دقیق آمار هواشناسی و هیدرولوژیک، به‌خصوص در مناطقی که با نبود یا کمبود آمار مواجه هستند، از اهمیت چشم-گیری برخوردار است. اغلب مدل‌های مفهومی[۴] بر انواع دیگر مدل‌های هیدرولوژیک، از جمله مدل‌هایی که بر مبنای فیزیکی[۵] هستند ترجیح داده می‌شوند، چون مدل‌های مفهومی ضمن ارایه پاسخ‌های قابل قبول، به تلاش محاسباتی و داده‌های ورودی کم‌تری نیاز دارند (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به پیچیده بودن فرآیندهای هیدرولوژیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، چگونگی کاربرد مدل‌های مفهومی هیدرولوژی در این مناطق از مهم‌ترین مسایل مورد توجه محققین است. این مدل‌ها از تعدادی پارامتر برخوردارند که چکیده‌ای از ویژگی‌های حوضه هستند و اغلب این پارامترها از ویژگی‌های حوضه به‌دست نمی‌آیند. بنابراین، لازم است از طریق واسنجی مدل برآورد شوند (Winchell et al., 2009).

در این میان، مدل ظرفیت نفوذ متغیر[۶] (VIC) (Liang et al., 1996)، به‌طور گسترده‌ای در مطالعات اقلیمی و مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است (Lobmeyer et al., 1999; Te Linde et al., 2008; Stephen et al., 2010). VIC یک مدل نیمه‌تجربی بزرگ‌مقیاس است که تمامی مولفه‌های بیلان آب را در گام‌های زمانی ساعتی یا روزانه شبیه‌سازی می‌کند. اساس مدل VIC تقسیم‌بندی حوضه آب‌ریز به تعدادی سلول است. به‌طوری که با استفاده از اطلاعات خاک‌شناسی و پوشش‌گیاهی هر سلول، بیلان انرژی و آبی هر سلول به‌صورت جداگانه حل می‌شود (پرویز و همکاران، ۱۳۸۹).

مدل VIC به‌طور گسترده در مطالعات جریان آب‌های سطحی در مقیاس‌های مکانی متفاوت استفاده شده است (Nijssen et al., 2001; Sheffield and Wood, 2007; Shi et al., 2008; Pan and Wood, 2009; Leng et al., 2015). در دو پژوهش، با

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Ansary@um.ac.ir)

4- Conceptual models
5- Physical
6- Variable Infiltration Capacity

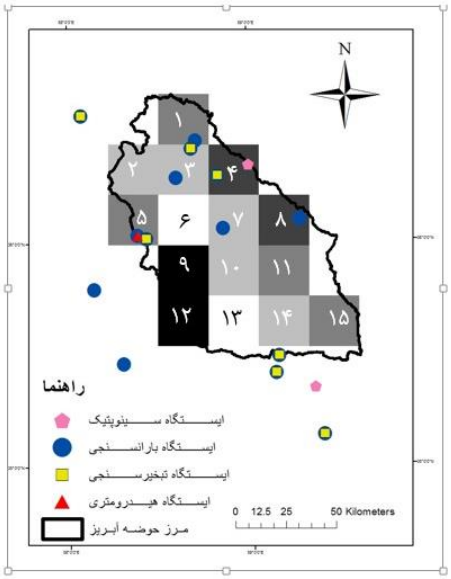
استفاده از مدل VIC، به شبیه‌سازی رطوبت خاک و رواناب جهت آنالیز خشک‌سالی به ترتیب در قاره آمریکا و حوضه آبریز رودخانه یلو در چین پرداختند (Andreadis et al., 2005; Huang et al., 2015). هم‌چنین، در مطالعه‌ای دیگر، از مدل هیدرولوژیک VIC جهت تولید داده‌های رواناب، تبخیر – تعرق و رطوبت خاک در ایالت تگزاس آمریکا استفاده کردند (Rajeskhar et al., 2014). نتایج پژوهش‌ها حاکی از عملکرد بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیک در مقایسه با داده‌های مشاهداتی بود. چندین پژوهش دیگر در زمینه شبیه‌سازی داده‌های رطوبت خاک توسط مدل VIC صورت گرفته است. Nijssen et al. (2001) با استفاده از مدل VIC به تولید ۱۴ سال (۱۹۸۰–۱۹۹۳) داده روزانه رطوبت خاک پرداختند .ون و همکاران از مدل VIC جهت تولید ۶۰ سال داده روزانه رطوبت خاک در مراتع کانادا استفاده کردند. (Wen et al., 2011). در پژوهشی به شبیه‌سازی داده‌های رطوبت خاک توسط مدل VIC برای دوره آماری ۲۰۰۹ –۱۹۵۱ جهت آنالیز خشک‌سالی در چین پرداختند. نتایج نشان داد که آنومالی رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC دارای توافق بالایی با داده‌های مشاهداتی می‌باشد(Wu et al., 2011, 2015). از مدل VIC جهت شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آماری ۲۰۱۱–۱۹۵۶ در استان ژیانگسو چین، استفاده کردند. آن‌ها به مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های سنجش از دور رطوبت خاک با داده‌های اندازه گیری شده پرداختند. نتایج نشان دهنده همبستگی بیش‌تر داده‌های شبیه‌سازی شده رطوبت خاک توسط مدل VIC با داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. به‌طوری که مقدار ضریب همبستگی رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و تخمینی از سنجش از دور با داده‌های اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۳۵ بود (Mao et al., 2017).

هدف این مطالعه برآورد رواناب، تبخیر – تعرق و رطوبت خاک در مقیاس ماهانه با استفاده از مدل VIC در حوضه آبریز نیشابور می‌باشد. برای این منظور، ابتدا با استفاده از مدل فازی آمار بارش و میانگین دما به سطح حوضه آبریز تعمیم داده شد. سپس مدل VIC با استفاده از داده‌های رواناب خروجی حوضه واسنجی شد. در نهایت خروجی‌های رواناب و تبخیر – تعرق مدل VIC با داده‌های رواناب و تبخیر – تعرق مشاهداتی صحت‌سنجی شد و تحلیل‌های مربوط به آن از زوایای مختلف انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز نیشابور با وسعت کل ۹۳۴۹ کیلومترمربع است که در طول جغرافیایی ۱۷ ˚۵۸ تا ˚۳۰ ۵۹ و عرض جغرافیایی ˚۴۰ ۳۵ تا ˚۳۹ ۳۶ واقع شده است (شکل ۱). بلندترین نقطه منطقه در ارتفاعات بینالود بوده که از سطح دریا ۳۳۰۰ متر ارتفاع دارد. پایین‌ترین نقطه در محل خروجی حوضه آبریز (حسین‌آباد جنگل) قرار دارد که حدود ۱۰۵۰ متر از سطح دریا بلندتر است. آب و هوای منطقه نیمه‌خشک تا خشک بوده و میانگین دمای ماهانه در ایستگاه بار (معرف مناطق کوهستانی) ۱۳ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه محمدآباد – فدیشه (معرف مناطق دشتی) ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی در کل حوضه معادل ۲۴۶ میلی‌متر و متوسط تبخیر ۲۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز، شبکه‌بندی حوضه و ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

داده‌های ورودی مدل VIC

در این بخش، ابتدا به معرفی مدل VIC پرداخته شد. سپس، داده‌های مورد استفاده در این مدل به تفکیک توضیح داده شد و در نهایت به نحوه واسنجی و صحت‌سنجی مدل اشاره خواهد شد.

معرفی مدل VIC

مدل VIC یک مدل بزرگ‌مقیاس (مقیاس حوضه آبریز) با قابلیت تحلیل کارآمد در شبیه‌سازی بیلان رطوبتی و انرژی است. این مدل می‌تواند در حالت موازنه آب یا موازنه آب و انرژی اجرا شد. مدل در حالت موازنه آب، معادلات موازنه انرژی سطح را حل نمی‌کند و بجای آن، فرض می‌کند که دمای سطح خاک برابر دمای هوا در گام زمانی موردنظر است. VIC شامل مدل‌سازی متغیرهایی مانند تبخیر – تعرق ، رواناب سطحی، زیرسطحی و رطوبت خاک می‌باشد. در این مدل، حوضه آبریز به سلول‌های مختلف شبکه‌بندی شد، در هر سلول نوع و پارامترهای خاک و پوشش‌گیاهی و اطلاعات هواشناسی

موردنیاز مشخص شدند. مدل‌سازی هر سلول به‌صورت جداگانه انجام می‌گیرد و خروجی مدل VIC بصورت داده‌های ساعتی یا روزانه می‌تواند انتخاب شود. جزییات کار با مدل VIC توسط Liang et al. (1996) توضیح داده شده است.

داده‌های موردنیاز مدل VIC

داده‌های موردنیاز مدل شامل اطلاعات هواشناسی، خاک و پوشش‌گیاهی می‌باشند. بررسی و تحلیل کاملی جهت گردآوری و صحت داده‌های موردنیاز صورت گرفت.

آماده سازی فایل‌های هواشناسی

داده‌های ۱۳ ایستگاه باران‌سنجی، ۷ ایستگاه تبخیرسنجی و ۲ ایستگاه سینوپتیک (شکل ۱) برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۴) در مدل‌سازی با VIC مورد استفاده قرار گرفت.

تعمیم داده‌های بارش و میانگین دمای نقطه‌ای به سطح حوضه

همان‌طور که در قسمت‌های قبل ذکر شد، حوضه آب‌ریز نیشابور به تعدادی سلول شبکه‌بندی شد. مرکز هر سلول به عنوان مختصات آن سلول تعیین شد. با توجه به این مطلب که داده‌های بارش و میانگین دما با تغییر فاصله و ارتفاع تغییر می‌کنند، در نتیجه از روش منطق فازی جهت تعمیم داده‌های بارش و میانگین دمای نقطه‌ای ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی حوضه آب‌ریز نیشابور به هر سلول شبکه استفاده می‌شود.

مدل فازی

مراحل مدل‌سازی فازی به شرح زیر می‌باشد:

فازی سازی

اولین قدم، تعیین درجه تاثیر هر یک از ایستگاه‌های اطراف در تطویل و بازسازی داده‌های هواشناسی هر سلول شبکه، با توجه به تغییرات طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، است. توابع فازی را می‌توان با بیان جبری به‌صورت رابطه ۱ نوشت:

$$\mu(x)=\begin{cases}\frac{x-x_i}{(x_{i+1}-x_i)} & x_i \le x \le x_{i+1}\\ 1 & x_{i+1} \le x \le x_{i+2}\end{cases} \quad (۱)$$

که $\mu(x)$ مقدار تابع عضویت x و مقادیر x مربوط به تابع فاصله یا ارتفاع است. هم‌چنین i محدوده تابع فاصله یا ارتفاع را مشخص می‌کند.

مدل‌سازی استنتاج

تعریف قوانین فازی و ترکیب آن‌ها از مهم‌ترین مراحل ساخت مدل فازی می‌باشد. برای این‌کار، در ابتدا توابع فاصله و اختلاف ارتفاع در مقابل همدیگر قرار گرفتند تا نحوه تعیین هر یک از قوانین مشخص شود (جدول ۱).

دی‌فازی‌سازی

در مرحله آخر، با استفاده از روش غیرفازی‌سازی مرکز سطح، ضرایب ایستگاه‌ها به‌دست می‌آیند.

آماده‌سازی فایل خاک

فایل پارامترهای خاک در مدل VIC، خصوصیات منحصر به‌فرد خاک را برای هر یک از سلول‌های شبکه حوضه نیشابور بیان می‌کند. فایل خاک اصلی‌ترین فایلی است که مشخص می‌کند کدام‌یک از سلول‌های شبکه باید شبیه‌سازی شوند و هم‌چنین طول و عرض جغرافیایی هر سلول را مشخص می‌کند (که در پیدا کردن فایل‌های هواشناسی سلول‌های شبکه استفاده می‌شود). جهت دست‌یابی به پارامترهای موردنیاز خاک از نقشه واحدهای اراضی خاک با دقت ۱:۱۰۰۰۰۰۰ اخذ شده توسط مهندسین مشاور ساز آب شرق (۱۳۸۷) و جداول خاک‌شناسی استفاده شد.

آماده‌سازی فایل پوشش گیاهی

داده‌های گیاهی مدل VIC به دو فایل Vegetation parameters و Vegetation library تقسیم‌بندی می‌شوند. جهت دست‌یابی به پارامترهای موردنیاز پوشش گیاهی از نقشه کاربری اراضی با دقت ۱:۱۰۰۰۰۰۰ اخذ شده توسط مهندسین مشاور ساز آب شرق (۱۳۸۷) و تصاویر ماهواره مودیس استفاده شد.

جدول ۱- ضرایب ترکیبات مختلف اختلاف توابع ارتفاع و فاصله

گروه‌های فازی	مجاور	متوسط نزدیک	متوسط دور	دور
هم‌ارتفاع	۱	۰/۸۷۵	۰/۷۵	۰/۶۲۵
اختلاف ارتفاع متوسط کم	۰/۸۷۵	۰/۷۵	۰/۶۲۵	۰/۵
اختلاف ارتفاع متوسط زیاد	۰/۷۵	۰/۶۲۵	۰/۵	۰/۳۷۵
اختلاف ارتفاع زیاد	۰/۶۲۵	۰/۵	۰/۳۷۵	۰/۲۵

واسنجی و صحت‌سنجی مدل VIC

پارامترهای مدل VIC به چهار گروه تقسیم می‌شوند: پارامترهای جغرافیایی، پوشش گیاهی، خاک و هیدرولوژیک. پارامترهای جغرافیایی با استفاده از متغیرهای هواشناسی و مکان مورد مطالعه تعیین می‌شوند. پارامترهای پوشش گیاهی توسط کلاس‌های پوشش‌گیاهی مشخص می‌شوند. پارامترهای خاک به طور مستقیم توسط بافت خاک محاسبه می‌شوند. سه پارامتر ذکر شده بعد از یک‌بار اجرای مدل ثابت می‌مانند. تعیین پارامترهای هیدرولوژیک به دلیل ساختار پیچیده و متغیر رواناب، مشکل می‌باشد. در نتیجه، باید به وسیله اندازه گیری داده‌های هیدرولوژیک حوضه آبریز واسنجی شوند. برای بررسی کمی عملکرد مدل، نتایج مدل در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، با استفاده از دو پارامتر آماری ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش- ساتکلیف (NSE) با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شدند. نحوه محاسبه R^2 و NSE به شرح رابطه ۲ و ۳ می‌باشد:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{M}(S_i-\bar{S})(O_i-\bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M}(S_i-\bar{S})^2\sum_{i=1}^{M}(O_i-\bar{O})^2}}\right)^2 \quad (۲)$$

$$NSE = 1-\frac{\sum_{i=1}^{M}(O_i-S_i)^2}{\sum_{i=1}^{M}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۳)$$

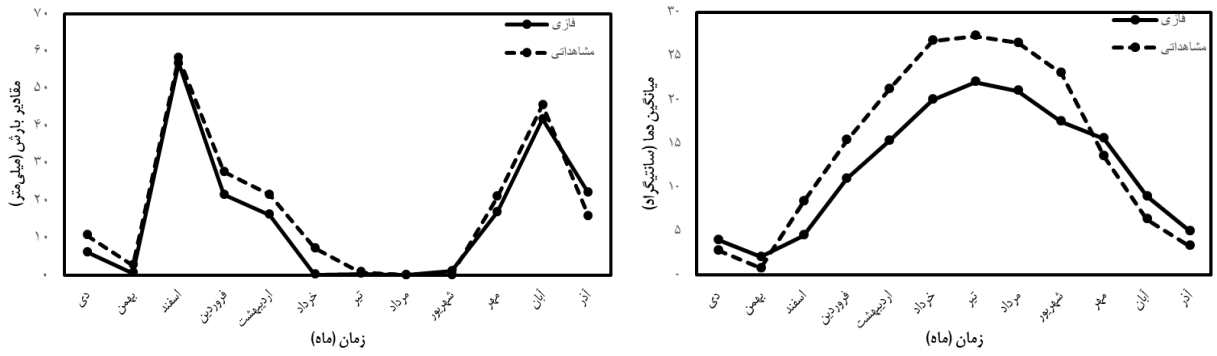
که در آن‌ها S_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار مشاهده شده، i نمایه مربوط به هر داده و M تعداد داده‌هاست. از ضعف‌های بزرگ معیار NSE این است که اعداد بزرگ را بیش‌برآورد و اعداد کوچک را کم‌برآورد می‌کند. این مسئله موجب می‌شود که برای مقادیر کوچک، معیار NSE عمکرد مدل را ضعیف نشان دهد و به‌عکس. جهت رفع حساست NSE به مقادیر شدید، تبدیل لگاریتمی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می تواند جهت دست‌یابی به معیار NSE محاسبه شود (Krause et al., 2005).

نتایج و بحث

ابتدا حوضه آب‌ریز نیشابور به ۱۵ سلول با ابعاد ۲۵ کیلومتر تقسیم شد (شکل ۱). تعداد پارامترهای پوشش‌گیاهی در فایل‌های ورودی مدل ۱۴ عدد هستند که بیش‌تر پارامترهای پوشش جهت محاسبه تبخیر – تعرق به‌کار می‌روند. برای هر سلول حوضه آب‌ریز از اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS اقدام به استخراج پارامترهای شاخص سطح برگ و آلبیدو شد. تعداد پارامترهای خاک در فایل‌های ورودی مدل ۳۰ پارامتر است که برخی از پارامترها مانند هدایت هیدرولیکی اشباع و رطوبت ظرفیت زراعی از اطلاعات جداول خاک‌شناسی برای هر نوع بافت خاک به‌دست می‌آیند. هم‌چنین، جهت تهیه فایل‌های هواشناسی از آمار ۱۳ ایستگاه باران‌سنجی، ۷ ایستگاه تبخیرسنجی و ۲ ایستگاه سینوپتیک استفاده شد که جهت درون‌یابی مقادیر بارش و میانگین دما در هر سلول با مدل‌سازی فازی مورد ارزیابی قرار گرفت.

ارزیابی عملکرد مدل فازی

مقایسه سری زمانی مقادیر بارش و میانگین دمای مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک نیشابور و شبیه‌سازی شده مدل فازی برای سال ۱۳۹۳ در شکل ۲ نشان داده شده است. در بسیاری از پژوهش‌های قبلی (Huang et al., 2015; Rajeskhar et al., 2014) از روش معکوس مجذور فاصله جهت درون‌یابی داده‌های بارش و میانگین دما استفاده شد. در حالی‌که باید علاوه بر فاصله، عامل ارتفاع نیز لحاظ شود. مقادیر R^2 و NSE به ترتیب برای بارش ۰/۹۵ و ۰/۹۷ و برای میانگین دما ۰/۹۲ و ۰/۹۴ می‌باشد. نتایج حاکی از عملکرد بالای مدل در تخمین متغیرهای بارش و میانگین دما با در نظر گرفتن تاثیر توام اختلاف فاصله و ارتفاع می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه سری زمانی بارش (سمت راست) و میانگین دمای (سمت چپ) مشاهداتی و محاسباتی مدل فازی

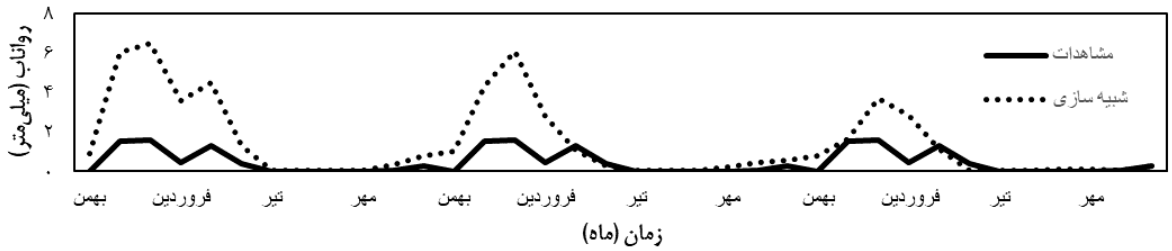
واسنجی و صحت‌سنجی مدل VIC

در مدل VIC، برخی از پارامترهای خاک از حساسیت بیش‌تری در شبیه‌سازی جریان‌های سطحی برخوردار هستند. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مبین این مطلب است که دو پارامتر شکل منحنی

ظرفیت نفوذ (b_i) و عمق لایه دوم خاک (d_2) در مکانیزم تولید رواناب دارای حساسیت بیش‌تری هستند. اهمیت شکل منحنی ظرفیت نفوذ و عمق لایه دوم خاک در شبیه‌سازی رواناب توسط مدل VIC در بسیاری از تحقیقات از جمله تحقیقات (Rajeskhar et al., 2014) ، (Huang et al., 2015) و پرویز و همکاران (۱۳۸۹) آمده است. دامنه تغییرات b_i و d_2 در جدول ۲ آورده شده است. مقدار کم‌تر b_i موجب نفوذ بیش‌تر و در نتیجه رواناب سطحی کم‌تر می‌شود. بیش‌ترین گنجایش ذخیره رطوبت خاک به وسیله تغییر ضخامت خاک مشخص می‌شود. خاک با عمق بیش‌تر لایه دوم (در نتیجه ذخیره بیش‌تر رطوبت در لایه‌های خاک) رواناب کم‌تری تولید می‌کند. بهترین مقدار پارامتر ظرفیت نفوذ و عمق لایه دوم خاک با استفاده ار واسنجی دستی به ترتیب ۰/۲ و ۰/۳ تخمین زده شد. سری زمانی میانگین رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC برای تمام سلول‌های حوضه آب‌ریز نیشابور در مقابل داده‌های رواناب مشاهداتی ایستگاه حسین‌آباد جنگل (خروجی حوضه آب‌ریز نیشابور) در شکل ۳ آورده شده است. مقادیر R^2 و NSE به‌ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۹ تعیین شدند که نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی رواناب خروجی حوضه می‌باشد. به‌جز در جریان‌های اوج، سری زمانی رواناب شبیه‌سازی شده به‌خوبی روند داده‌های مشاهداتی را دنبال می‌کند. به‌طور کلی، مدل‌های شبیه‌سازی حوضه آب‌ریز عملکرد ضعیفی در مقادیر اوج جریان از خود نشان می‌دهند. از دلایل عملکرد ضعیف مدل در شبیه‌سازی رواناب خروجی در جریان‌های حداکثر و بیش‌برآورد کردن آن را می‌توان به عدم اعمال تاثیر رواناب ناشی از ذوب برف دانست. با توجه به این موضوع که حوضه مورد مطالعه دارای زیرحوضه کوهستانی است و در نتیجه در این نواحی برای ماه‌های بهمن تا اسفند احتمال وقوع بارش به‌صورت برف انتظار می‌رود، در نتیجه عدم اعمال تاثیر رواناب ناشی از ذوب برف در مدل، عملکرد آن در شبیه‌سازی رواناب‌های حداکثر ضعیف است. مدل‌سازی جریان در نواحی با اقلیم خشک تا نیمه‌خشک نسبت به مناطق مرطوب بسیار طاقت فرساست، به دلیل این‌که جریان در این مناطق کم و در اکثر مواقع گسسته می‌باشد و تنها برای بارش‌هایی با مقادیر زیاد، پیوستگی جریان برقرار است (Ward., 1989; Walker and Poff and Thoms., 1993).

جدول ۲- پارامترهای حساس بر خروجی رواناب مدل VIC

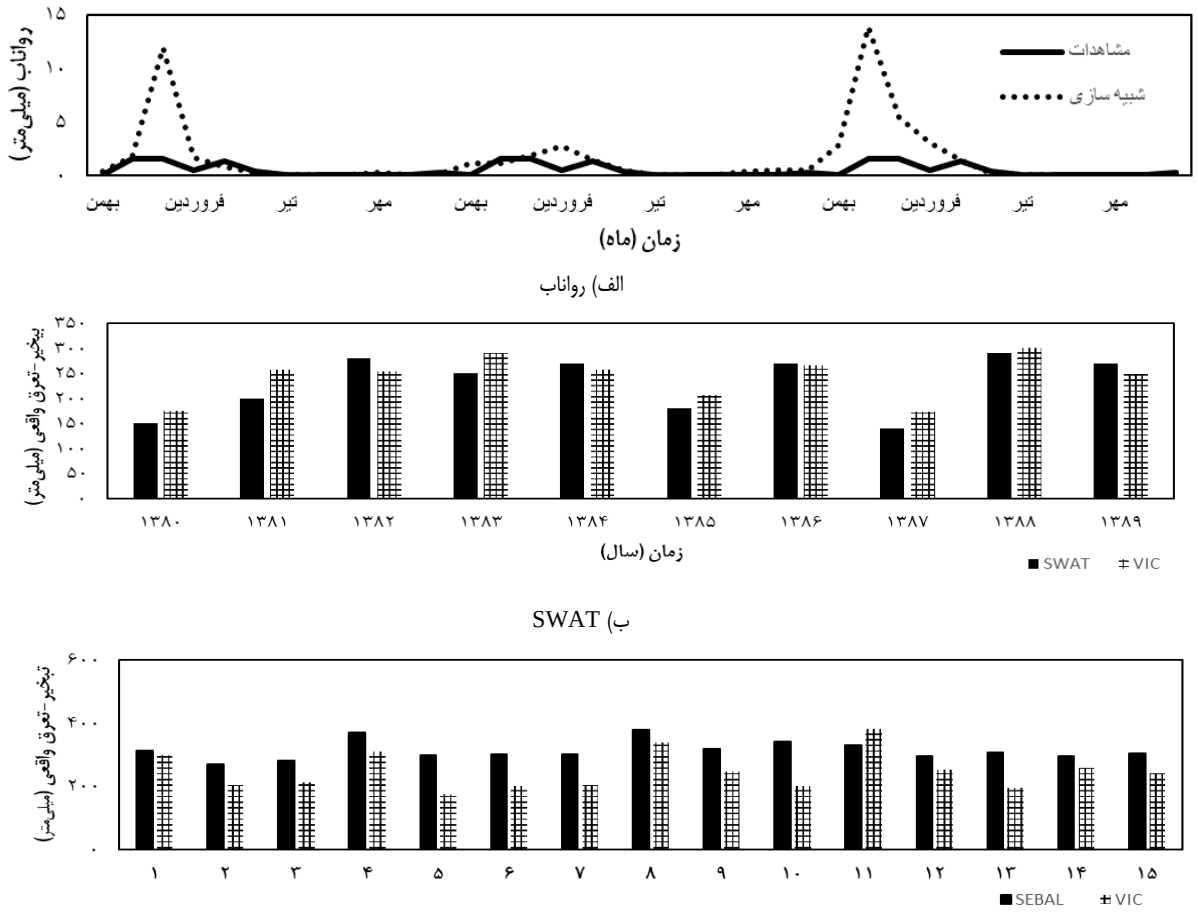
نام پارامتر	شرح پارامتر	حدود پارامتر
b_i	شکل منحنی گنجایش نفوذ متغیر	$۰/۴ < b_i < ۰$
d_2	عمق لایه دوم خاک	$۱/۵ < d_2 < ۰/۱$



شکل ۳- مقایسه سری زمانی رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC با سری زمانی رواناب مشاهداتی ایستگاه حسین‌آباد جنگل برای دوره آماری ۷۴-۱۳۷۲

جهت صحت‌سنجی مدل از مقایسه داده‌های رواناب و تبخیرتعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC با داده‌های مشاهداتی حوضه آب‌ریز نیشابور استفاده شد. متوسط رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده برای کل حوضه با داده‌های مشاهداتی ایستگاه حسین‌آباد جنگل برای دوره آماری ۷۷-۱۳۷۵ با هم مقایسه شدند (شکل ۴-الف). مقادیر آماری R^2 و NSE برای سری زمانی داده‌های رواناب به ترتیب ۰/۸ و ۰/۹ تعیین شدند که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی رواناب خروجی حوضه است. هم‌چنین، داده‌های تبخیر - تعرق شبیه‌سازی شده مدل با داده‌های سالانه تبخیر - تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT برای دوره آماری ۸۹-۱۳۸۰ (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲) هم‌چنین با داده‌های تخمینی تبخیر - تعرق توسط الگوریتم سبال برای سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ (آزاد مرزآبادی، ۱۳۹۳) مقایسه شدند. نتایج در شکل‌های (۴-ب و ۴-ج) نشان داده شده است. مقادیر معیارهای R^2 و NSE برای صحت‌سنجی با مدل SWAT به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۰ و با الگوریتم سبال به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۲۶ به‌دست آمد. نتایج حاکی از همبستگی بیش‌تر مقادیر

شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC با مقادیر به‌دست آمده توسط مدل SWAT برای حوضه نیشابور می‌باشد. گاو و لانگ نیز ذکر کردند که در بعضی موارد ممکن است الگوریتم‌های سنجش از دور در مقیاس پیکسل دقت مناسبی نداشته باشند (Gao and Lang., 2008). البته عدم قطعیت‌های موجود در مدل VIC نیز ممکن است دلیل اختلاف موجود باشد اما به دلیل شباهت بیش‌تر ساختار دو مدل VIC و SWAT نتایج آن‌ها دارای همبستگی بیش‌تری می‌باشد.



الف) رواناب

ب) SWAT

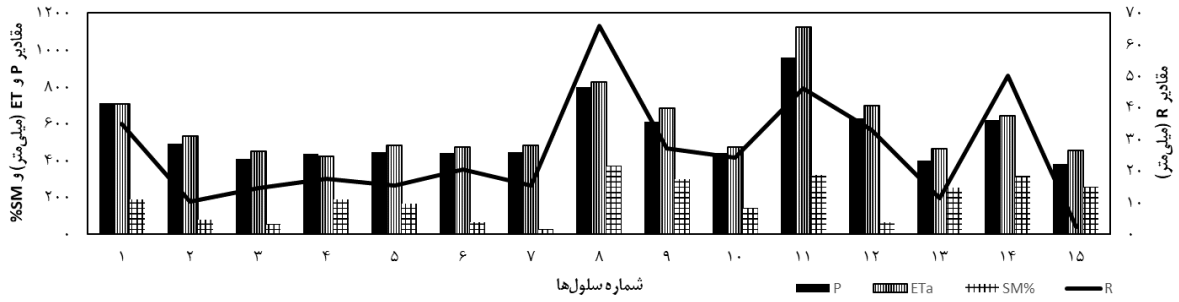
ج) الگوریتم SEBAL

شکل ٤- مقایسه سری زمانی متغیرهای شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC با سری زمانی متغیرهای مشاهداتی: الف) رواناب ایستگاه حسن‌آباد جنگل ب) مدل SWAT و ج) الگوریتم SEBAL

آنالیز مکانی متغیرهای شبیه‌سازی شده

شکل ۵، نمودار تغییرات مکانی متغیرهای شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC را نشان می‌دهد. بارش (P) در سلول‌هایی که در ارتفاعات بالاتر حوضه آبریز قرار دارند دارای مقدار بیش‌تری در طول ۳۰ سال دوره آماری مورد مطالعه است. در نتیجه، میزان بارش حوضه آبریز نیشابور از شرق به غرب حوضه رو به کاهش می‌باشد. میزان تبخیرتعرق (ET_a) در حوضه آبریز به میانگین دما در هر سلول، درصد پوشش گیاهی، نوع پوشش گیاهی، بافت خاک و میانگین بارش بستگی دارد. بیش‌ترین میزان تبخیر - تعرق در حوضه آبریز نیشابور هماهنگی بالایی با کاربری اراضی دارد. به‌طوری‌که در نواحی کوهستانی شمال‌شرق حوضه آبریز، در دامنه‌های رو به غرب آن، با توجه به بالا بودن میانگین بارش و دبی در این مناطق، که باعث ایجاد پوشش گیاهی متراکم شده است، در نتیجه آن، موجب افزایش تبخیر - تعرق گشته است. در کل، میانگین تبخیر - تعرق در قسمت‌های جنوبی حوضه آبریز به دلیل کشت آبی در این مناطق بیش‌تر می‌باشد. بر عکس، در قسمت‌های شمالی حوضه آبریز نیشابور، به دلیل این‌که اکثرا دارای کشت گندم می‌باشد و در نتیجه آن در فصل زمستان آبیاری کمی احتیاج دارد و در اوایل تابستان هم

برداشت می‌شود، میزان میانگین تبخیر – تعرق کم می‌باشد. درصد رطوبت خاک (SM) بستگی به عوامل خارجی شامل بارش، دما، بافت خاک، وجود پوشش گیاهی، آبیاری، میزان رطوبت نسبی منطقه و سایر عوامل محیطی دارد که در نتیجه آن میزان رطوبت خاک شبیه‌سازی شده در مناطق شرقی و جنوبی حوضه آبریز به دلیل بیش‌تر بودن مقادیر بارش و همین‌طور آبیاری در مناطق جنوبی بیش‌تر می‌باشد. میزان رواناب حوضه آب‌ریز نیشابور ارتباط مستقیمی با میزان بارش حوضه آب‌ریز دارد. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، مناطق شرقی حوضه آب‌ریز نیشابور با مقادیر بارش بیش‌تر، دارای رواناب بیش‌تری می‌باشند.



شکل ۵- مجموع مقادیر بارش (P)، تبخیر - تعرق واقعی (ET_a)، درصد رطوبت خاک (SM%) و رواناب (R) در مقیاس ماهانه برای سلول‌های حوضه آب‌ریز نیشابور

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به ارزیابی دو مدل فازی و VIC جهت تخمین داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه آب‌ریز نیشابور پرداخته شد. به دلیل تغییرات قابل توجه مولفه‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در مقیاس زمان و مکان در حوضه‌های آب‌ریز، آگاهی از عوامل تاثیرگذار بر تغییرات آن‌ها، به‌خصوص در مطالعات مدیریت منابع آب، حایز اهمیت می‌باشد. انجام تحقیقات و مطالعات گسترده در زمینه مدیریت منابع آب، مستلزم آگاهی از بارش، تبخیر – تعرق، رواناب و رطوبت خاک در مقیاس زمانی و مکانی می‌باشد. عملکرد مدل فازی در تخمین داده‌های بارش و میانگین دما، با توجه به تاثیر توام اختلاف فاصله و ارتفاع رضایت‌بخش بود. مقادیر R^2 و NSE برای تخمین داده‌های بارش و دما به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۷ و ۰/۹۲، ۰/۹۴ می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل VIC در حوضه آب‌ریز نیشابور حاکی از عملکرد قابل‌قبول مدل در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیک است. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که مدل VIC در برآورد رواناب نسبت به پارامترهای شکل منحنی ظرفیت نفوذ و عمق لایه دوم خاک دارای حساسیت بیش‌تری است. افزایش پارامتر شکل منحنی ظرفیت نفوذ باعث می‌شود که با رطوبت کم، قسمت زیادی از سلول اشباع شود. بنابراین تاثیر این پارامتر در جریان‌های اوج بیش‌تر می‌باشد. نتیجه واسنجی رواناب در ایستگاه هیدرومتری حسین‌آباد جنگل به‌عنوان خروجی حوضه که اکثر مواقع بدون جریان یا با جریان کم بود، بسیار رضایت‌بخش بود. به‌طوری که مقادیر R^2 و NSE به ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۰/۹ به‌دست آمد. هم‌چنین، مدل VIC به‌صورت قابل‌قبولی قادر به شبیه‌سازی تبخیر – تعرق است. نتایج مقایسه تبخیر – تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC با مدل SWAT و الگوریتم SEBAL حاکی از همبستگی بیش‌تر داده‌ها با مدل SWAT بود. مقادیر R^2 و NSE در مقایسه با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT ۰/۷۶ و ۰/۷ به‌دست آمد. آنالیز مکانی متغیرهای شبیه‌سازی شده توسط مدل VIC نشان دهنده مقادیر بارش و رواناب بیش‌تر در شمال شرق حوضه آب‌ریز می‌باشد. در کل، هرچه از شرق به غرب حوضه پیش برویم بر میزان خشکی منطقه افزوده می‌شود. مدل VIC بر محدودیت نبود اطلاعات طولانی‌مدت هیدرولوژی غلبه می کند و می‌تواند در بسیاری از مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

آزاد مرزآبادی،م.ر .۱۳۹۳. مقایسه الگوریتم‌های SEBAL و S-SEBI در برآورد تبخیر – تعرق در دشت نیشابور با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پرویز،ل. ۱۳۸۹. ارزیابی عملکرد مدل تلفیقی ظرفیت نفوذ متغیر و روندیابی جریان در حوضه آب‌ریز سفیدرود. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵. ۳: ۵۸۲-۵۷۰.

علیزاده،ا.، ایزدی،ع.، داوری،ک.، ضیائی،ع.، اخوان،س و حمیدی،ز. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر – تعرق واقعی در مقیاس سال- حوضه با استفاده از SWAT. نشریه آبیاری و زهکشی. ۲. ۷ :۲۵۷-۲۴۳.

شفیعی،م.، انصاری،ح.، داوری،ک.، قهرمان،ب. ۱۳۹۲. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت یک مدل نیمه توزیعی در یک منطقه نیمه‌خشک، مطالعه موردی حوضه آبریز نیشابور. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک). ۶۴: ۱۴۸-۱۳۷.

مهندسین مشاور ساز آب شرق. ۱۳۸۷. مطالعات بهم پیوسته منابع آب حوضه نیشابور. گزارش‌های هواشناسی، هیدرولوژی و خاک‌شناسی. مشهد.

Andreadis,K.M., Clark,E., A.,Wood,A.W., Hamlet,A.F and Lettenmaier,D.P. 2005. Twentieth- century drought in the conterminous united states. journal of hydrometeorology. 6: 985–1001.

Gao,Y and Long,D. 2008. Intercomparison of remote sensing-based models for estimation of evapotranspiration and accuracy assessment based on swat. hydrometeorology process. 22: 4850–4869.

Huang,S., Huang,Q., Chang,J., Zhu,Y., Leng,G and Xing,L. 2015. Drought structure based on a nonparametric multivariate standardized drought index across the Yellow River basin. china. journal of hydrology, 530:127-136.

Krause,P., Boyle,D.P and Base,F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. advance geoscience. 5: 89–97.

Leng,G., Tang,Q., Huang,M., Hong,Y and Leung,L.R. 2015. Projected changes in mean and interannual variability of surface water over continental china. Science china earth. 58: 739–754.

Liang,X., Wood,E.F and Lettenmaier,D.P. 1996. Surface soil moisture parameterization of the VIC-2L model: Evaluation and modification. global and planetary change. 13: 195-206.

Lobmeyr,M., Lohmann,D and Ruhe,C. 1999. An application of a large scale conceptual hydrological model over the elbe region, hydrology earth system science. 3: 363–374.

Mao,Y., Wu,Z., He,H., Lu,G., Xu,H., Lin,Q. 2017. Spatio-temporal analysis of drought in a typical plain region based on the soil moisture anomaly percentage index. science of the total environment. 576: 752–765.

Nijssen,B., Donnel.G.M and Lettenmaier,D.P. 2001. Predicting the discharge of global rivers, journal of climatilogy, 14: 3307-3323.

Pan,M Wood,E.F. 2009. A multiscale ensemble filtering system for hydrologic data assimilation. Part II: application to land surface modeling with satellite rainfall forcing. journal of hydrometeorology. 10:1493–1506.

Poff,N.L and WardJ.V. 1989. Implications of streamflow variability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow pattern. Canadian journal of fish and aquatic sciences, 46:1808– 1818.

Rajsekhar,D., Singh,V.P., Mishra,M.K. 2014. Multivariate drought index: An information theory based approach for integrated drought assessment. Journal of hydrology. 526:164–182.

Sheffield,J., Wood,E.F. 2007. Characteristics of global and regional drought, 1950– 2000: analysis of soil moisture data from off-line simulation of the terrestrial hydrologic cycle. journal of geophysic resources. 112:D17115.

Shi,X., Wood,A.W., Lettenmaier,D.P. 2008. How essential is hydrologic model calibration to seasonal streamflow forecasting? journal of hydrometeorology. 9: 1350–1363.

Stephen,H., Ahmad,S., Piechota,T.C and Tang,C. 2010. Relating surface backscatter response from TRMM precipitation radar to soil moisture: results over a semi-arid region. hydrology earth system science. 14: 193–204.

Te Linde,A.H., Aert,J.C.J., Hurkmans,R. T.W., and Eberle,M. 2008. Comparing model performance of two rainfall-runoff models in the Rhine basin using different atmospheric forcing data sets. hydrology and earth system sciences. 12: 943-957.

Walker,K and Thoms,M.C. 1993. Environmental effects of flow regulation on the lower river murray, australia. regulated rivers: research and management. 8:103–19.

Wen,L., Lin,C.A., Wu,Z.Y., Lu,G.H., Pomeroy,J., Zhu,Y.F. 2011. Reconstructing sixty year (1950–2009) daily soil moisture over the Canadian Prairies using the variable infiltration capacity model, canadian water resources. J. 15: 2881–2894.

Winchell,M.,R., Srinivasan,M. Di Luzio,B and Arnold,J. 2009. ArcSWAT 2.1.5 Interface for SWAT2005 User's Guide. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment station and USDA Agricultural Research Service. Available online, www.brc.tamus.edu

Wu,Z.Y., Lu,G.H., Wen,L., Lin,C.A. 2011. Reconstructing and analyzing China's fifty-nine year (1951–2009) drought history using hydrological model simulation. hydrology earth system science 15.9: 2881–2894.

Wu,Z.Y., Mao,Y., Lu,G.H., Yang,Y., Zhang,J.H. 2015. Spatial-temporal variation and trend of meteorological variables in jiangsu, china. in: balkema, advanced engineering and technology – proceedings of the 2014 annual congress on advanced engineering and technology. hongkong. 12: 189–194.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 1-9

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۹-۱

Performance Valuation Fuzzy Model and Variable Infiltration Capacity (VIC) Model in Estimation of Meteorological and Hydrological Variables (Case Study: Neyshabour Basin)

A.Hashemi Nasab[1], H.Ansari[2*], S. H.Sanai Nezhad[3]

Recived: Oct.23, 2017 Accepted: Nov.21, 2017

Abstract

The purpose of this study is to use a semi-distributed VIC model to estimate monthly runoff, actual evapotranspiration and soil moisture in the Neyshabour basin for the period of 1985 to 2014. Results of sensitivity analysis showed that in the mechanism of simulating runoff, the VIC model is more sensitive to infiltration capacity parameter and second soil layer. First, the VIC model was calibrated using a simulated runoff data comparison with the basin outlet for the years 1995-1993. The results indicate the high performance of the model in simulating the flow of the basin outlet. So that the values of R^2 and NSE were 0.85 and 0.99, respectively. Also, the VIC model was verified with runoff data of Hossein Abad Jangal station and simulated evapotranspiration with SWAT and SEBAL algorithm. Values of R^2 and NSE for runoff were 0.8 and 0.9. The results indicate that the simulated VIC model is more compatible with SWAT model data, and the values of R^2 and NSE are 0.76 and 0.7, respectively. According to the obtained results, the VIC model can be used to simulate the variables required in water resources and meteorological studies.

Keywords: Fuzzy model, Infiltration capacity shape, Neyshabour basin, VIC model

1- PhD Student of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Associate Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: Ansary@um.ac.ir)