

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد رواناب با استفاده از طرحواره‌های SIMTOP و BATS و تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از طرحواره پوشش گیاهی پویا در مدل سطح خشکی Noah-MP در حوضه نیشابور

سمیرا میرشفیعی^۱، حسین انصاری^{۲*}، کامران داوری^۳، علی نقی ضیایی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۳

چکیده

برنامه‌ریزی منابع آب سطحی نیاز به برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف دارد. از طرفی با توجه به عدم کفایت ایستگاه‌های مشاهداتی به لحاظ تعداد، پراکندگی و ثبت داده زمانی، مدل‌سازی عددی وضعیت سطح زمین ضروری است. در این تحقیق مدل Noah-MP با هدف مقایسه دو طرحواره SIMTOP و BATS در برآورد رواناب و همچنین ارزیابی طرحواره پوشش گیاهی پویا برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی حوضه آبریز نیشابور در گام زمانی ماهانه در سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ به کار گرفته شده است. به دلیل دقت کم و پراکندگی ایستگاه‌های هیدرومتری، از خروجی مدل SWAT برای ارزیابی استفاده شد. به منظور توسعه مدل ابتدا تحلیل حساسیت رواناب خروجی مدل نسبت به پارامترهای مدل انجام شد که بیشترین و کمترین حساسیت را به ترتیب به پارامتر خاک در رابطه کلب هورن برگر (b) و ضریب محو رواناب (f) داشت. بهترین مقدار معیارهای ارزیابی کارایی مدل شامل R^2 ، NSE و RMSE برای رواناب شبیه‌سازی شده توسط طرحواره BATS به ترتیب متعلق به مناطق کوهستانی با مقدار ۰/۸۱، ۰/۶۴ و ۱/۹۱، سپس مناطق دشت و کمترین آن‌ها برای رواناب شبیه‌سازی شده مناطق کوهپایه بود. بر اساس نتایج این تحقیق، مدل BATS در مناطق دشت و کوهپایه نتایج بهتر و مدل SIMTOP در مناطق کوهستانی نتایج تقریباً مشابه با نتایج BATS داشت. طرحواره پوشش گیاهی پویا توانسته است همگام با مراحل رشد گیاه تغییرات تبخیر-تعرق را شبیه‌سازی کند. مدل Noah-MP مقدار میانگین سالانه تبخیر-تعرق را ۳۰۵ میلی‌متر برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: حوضه نیشابور، طرحواره BATS، طرحواره پوشش گیاهی پویا، طرحواره SIMTOP، مدل Noah-MP

مقدمه

خالی روشی که بتواند آن را با دقت خوب و در مقیاس منطقه‌ای محاسبه کند به چشم می‌خورد. با توجه به اینکه مدل‌های هیدرولوژیکی موجود غالباً در سطح حوضه و با وجود داده‌های ورودی زیاد برای واحدهای کوچک هیدرولوژیکی، قادر به برآورد بیلان هستند، ارزیابی مدلی که بتواند در سطح وسیع، با دقت قابل قبول مؤلفه‌های بیلان آب سطحی را شبیه‌سازی کند، می‌بایست مدنظر قرار بگیرد. یکی از راه‌های تحقق این مسئله شبیه‌سازی مناطق وسیع با مدل‌های سطح خشکی است. مدل‌های سطحی عددی هستند که فرآیندهای سطح زمین را شبیه‌سازی می‌کنند و به‌طور کلی و صرف‌نظر از پیچیدگی آن‌ها، معادلات بیلان آب و انرژی را در سطح زمین حل می‌کنند. اساس این مدل‌ها قانون بقای انرژی و جرم است. عامل تبخیر-تعرق در هر دو بیلان آب و انرژی وجود دارد و این دو بیلان را به هم مرتبط می‌کند و برخلاف مدل‌های هیدرولوژیکی که غالباً اساس تجربی دارند، دارای مبنای فیزیکی

تعیین اجزای بیلان آبی یکی از راهکارهای مؤثر در مدیریت منابع آب با توجه به شرایط کمبود آب است. به‌طور کلی برای محاسبه بیلان آبی در سطح حوضه‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد اما جای

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

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.1.2.2

سطحی هم به صورت برخط و هم در حالت جفت شده، در چندین مقاله نشان داده شده است (Fan et al., 2007; Leung et al., 2011). در Noah-MP توده برف به سه لایه تقسیم می‌شود (Niu et al., 2011). فیزیک توده برف چندلایه‌ای، می‌تواند انباشتگی و ذوب برف را بهتر مدل کند بنابراین زمان شروع رواناب را بهتر نشان می‌دهد. Noah-MP چندین گزینه پارامتره‌سازی برای فرآیندهای مختلف دارد و می‌توان هر ترکیبی از این گزینه‌ها را تشکیل داد و بنابراین به جای استفاده از مدل‌های متعدد، یک مدل سطحی Noah-MP به‌تنهایی می‌تواند برای پیش‌بینی گروهی به کار رود. قدرت تفکیک مکانی این مدل از $0.1/1$ درجه تا 1 درجه است. در سال‌های اخیر مدل Noah-MP مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. از جمله اینکه ما و همکاران به شبیه‌سازی رواناب و تغییرات ذخیره آب زمینی (Ma et al., 2017) و چن و همکاران به بررسی اثر اضافه کردن پارامتره‌سازی مواد آلی به لایه خاک در مدل Noah-MP (Chen et al., 2016) پرداختند. بارلاچ و همکاران نتایج ترکیب مدل‌های سطح خشکی Noah و Noah-MP را با چند زیرمدل آب زیرزمینی (Barlage et al., 2015) مقایسه نموده و ژنگ و همکاران جذب آب از ریشه در مدل Noah-MP را مورد بررسی قرار دادند (Zheng et al., 2015). هدف از انجام این مطالعه معرفی، واسنجی و ارزیابی مدلی برای محاسبه بیلان آب در مقیاس بزرگ و با اساس فیزیکی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه نیشابور در منتهی‌الیه شمال شرقی حوزه آبریز کویر مرکزی و در مرکز استان خراسان رضوی قرار دارد که از شمال و شرق و جنوب به ارتفاعات و از غرب به حوضه آبریز دشت سبزوار محدود می‌شود. این حوضه دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. بلندترین نقطه این محدوده مطالعاتی 3300 متر (ارتفاعات کوه بینالود) و کمترین آن کمتر از 1050 متر از سطح دریا است. با توجه به نیاز این منطقه به برآورد بیلان آب و همچنین دسترسی به نتایج سایر محققان، این حوضه انتخاب شد. برای داده‌های واداشت، داده‌های پایگاه GLDAS-1 با دقت 0.25 درجه، که قبلاً داده‌های بارش آن اصلاح شده بود (میرشفیعی و همکاران، ۱۳۹۷)، به کار گرفته شد. برای داده‌های اولیه از نقشه اطلاعات پوشش گیاهی (کاربری اراضی) USGS در 24 طبقه به صورت جهانی و با دقت 30 ثانیه و نقشه بافت خاک ترکیبی از دو پایگاه FAO و STATSGO در 16 طبقه با دقت 5 دقیقه استفاده شد و نتایج آن‌ها با نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز نیشابور و نقشه واحدهای اراضی خاک موجود با دقت $1:100,000$ به‌روزرسانی شد (مهندسین مشاور سازآب شرق، ۱۳۸۷). مدل Noah-

هستند. مدل‌های سطحی عددی با گستره متنوعی که از قدرت تفکیک مکانی و زمانی دارند، امکان پژوهش در هر مقیاس را فراهم می‌کنند. اجرای مدل سطح خشکی به صورت جفت شده با مدل جوی، به دلیل لحاظ تأثیرگذاری هم‌زمان جو و سطح خشکی بر یکدیگر، باعث مدل‌سازی دقیق‌تری می‌شود که مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را ندارند. چنانچه مدلی پتانسیل اتصال به پایگاه‌های جهانی داده‌گواری و اجرای آنالین و خودکار در مقیاس زمانی مختلف از جمله ساعتی و روزانه را داشته باشد، از اهمیت دوچندان برخوردار خواهد بود. مدل‌های سطح خشکی دارای تاریخچه طولانی نیستند (Yang, 2004). مدل‌های سطح خشکی اولیه مثل مدل مخزن یا سطل (BUCKET) خاک‌های سطح خشکی را مانند سطلی می‌داند که با بارش پر می‌شود و با تبخیر خالی می‌شود (Manabe, 1969). مقدار اضافی بیشتر از ظرفیت یا همان مقدار بحرانی به رواناب تبدیل می‌شود. در نسل دوم این مدل‌ها بیش از یک لایه خاک به همراه اثرات گیاهان بر سطح خشکی اضافه شد (Deardorff, 1978). مدل‌های نسل سوم از روابط پیشرفته‌تری برای پاسخ روزنه‌ها به عوامل محیطی بهره می‌برند و به‌جای روابط تجربی، از یک مدل بیوشیمیایی برای فتوسنتز (Farquhar et al., 1980) و از مدل‌های نیمه‌تجربی برای هدایت روزنه (Ball et al., 1987; Leuning, 1990; Collatz et al., 1991) استفاده می‌کنند. مدل‌های نسل بعدی شامل شبیه‌سازی چرخه کربن بر روی زمین و شبیه‌سازی پوشش گیاهی پویا است. مدل Noah-MP نسخه ارتقا یافته مدل Noah است (Niu et al., 2011) که در آن نقایص برطرف شده و فرآیندهای سطح خشکی به صورت کامل‌تری ارائه شده است. بعضی از طرح‌هایی که به آن اضافه شده است، عبارتند از: ۱- اجزای اصلی شامل یک لایه پوشش گیاهی، سه لایه برف و ۴ لایه خاک ۲- طرحواره درون سلولی: در نظر گرفتن یک کاشی به صورت ترکیبی از خاک بایر و گیاه ۳- روش تکرار بیلان انرژی برای پیش‌بینی درجه حرارت پوسته تاج گیاهی و سطح خاک یا برف ۴- در نظر گرفتن ساختار سه‌بعدی تاج پوشش گیاهی ۵- فیزیک برف واقعی‌تر برای یک لایه نازک برف، گیرافتادگی آب مایع و یخ‌زدگی مجدد و متراکم شدن توده برف ۶- طرحواره رواناب با اساس طرحواره TOPMODEL ۷- یک سفره آب غیرمحصور برای در نظر گرفتن برهم‌کنش با خاک ۸- یک خاک یخ‌زده نفوذپذیرتر ۹- مقاومت روزنه به روش Ball-Berry در فتوسنتز ۱۰- مدل برگ پویا. اگرچه اضافه کردن مدل برگ پویا به دلیل افزایش پارامترها، روابط و عدم قطعیت آن‌ها عملکرد مدل را کاهش می‌دهد (Rosero et al., 2009; Jiang et al., 2010)، اما با اضافه شدن این بخش، گیاهان به‌عنوان حافظه فرآیندها، برای پیش‌بینی وضع هوای سطح به کار گرفته می‌شوند (Jiang et al., 2009). مزیت دیگر مدل Noah-MP در نظر گرفتن تغییرات آب زیرزمینی است که ضرورت لحاظ آن در مدل‌های

رواناب به روش BATS

گزینه چهارم مدل Noah-MP برای محاسبه رواناب طرحواره BATS است (Dickinson et al., 1993). در این طرحواره هنگامی که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی است رواناب کم و هنگامی که رطوبت خاک در حد اشباع است رواناب به صورت کامل اتفاق می‌افتد. در مدل BATS رواناب به صورت ضربی از آب ورودی است و این ضریب با توجه به درصد رطوبت لایه سطحی و لایه ناحیه ریشه به دست می‌آید. در این طرحواره نسبت رطوبت این دو لایه نسبت به حالت اشباع محاسبه می‌شود و به اندازه آن طی یک رابطه نمایی، آب ورودی تبدیل به رواناب می‌شود. در این روش همانند روش SIMTOP درصد اشباع یک سلول برای رواناب در نظر گرفته می‌شود و رواناب بر روی بخش‌های اشباع اتفاق می‌افتد.

$$R_s = \left(\frac{\rho_w}{\rho_{wsat}}\right)^4 G \quad T_{g1} \geq 0^\circ C \quad (4)$$

$$R_s = \left(\frac{\rho_w}{\rho_{wsat}}\right) G \quad T_{g1} < 0^\circ C \quad (5)$$

$$\rho_w = \rho_{wsat} \frac{(s_1 + s_2)}{2} \quad (6)$$

$$s_1 = S_{rw} / S_{rmax} \quad (7)$$

$$s_2 = S_{tw} / S_{tmax} \quad (8)$$

که در آن ρ_{wsat} چگالی آب خاک اشباع و ρ_w چگالی آب خاک است. S_{rw} مقدار آب خاک در منطقه توسعه ریشه است و مقدار حداکثری آن S_{rmax} است. S_{tw} کل آب در ستون خاک و بیشترین مقدار آن با S_{tmax} نشان داده شده است. مقدار G از رابطه (۹) تعریف می‌شود.

$$G = P_r + S_m - F_q \quad (9)$$

G آب خالص روی سطح، P_r مقدار بارش، S_m برف ذوب شده و F_q مقدار تبخیر است. مقدار منفی F_q تشکیل شبنم را نشان می‌دهد. زمانی که G منفی است رواناب وجود ندارد و زمانی که دمای زیر سطح کمتر از نقطه یخزدگی باشد رواناب افزایش می‌یابد. وابستگی رابطه محاسبه رواناب به دما در این طرحواره این اجازه را می‌دهد تا اثر خاک یخزده در تشکیل رواناب در نظر گرفته شود.

تبخیر - تعرق واقعی

در مدل Noah-MP تبخیر کلی شامل تبخیر مستقیم از لایه‌های بالایی خاک، تبخیر از آب گیر افتاده در تاج گیاه و تعرق است. در این مدل ابتدا تبخیر - تعرق پتانسیل با استفاده از روش پنمن مانیتیت و با توجه به شرایط گیاه طبق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود. شرایط گیاه از طریق ضریب هدایت تعرق گیاه از برگ به تاج گیاه، مشخص می‌شود و در رابطه قرار می‌گیرد. این پارامتر با توجه به شاخص سطح برگ در معرض نور، در معرض سایه، مقاومت لایه مرزی برگ، مقاومت روزنه در برابر نور خورشید و سایه تعیین می‌شود. مقادیر کلیه این پارامترها

MP نسخه ۱/۱ (به اختصار از این به بعد Noah-MP) برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ (معادل ۱۳۷۹ تا پایان ۱۳۸۸) اجرا شد. دو سال اول برای گرم‌سازی و هشت سال دوم برای واسنجی و ارزیابی مدل استفاده شده است.

رواناب به روش SIMTOP

SIMTOP گزینه پیشنهادی مدل Noah-MP برای محاسبه رواناب و یک TOPMODEL ساده شده برای محاسبه رواناب است (Niu et al., 2011) و آن را به دو طریق ساده می‌کند. اول - شاخص توپوگرافی را در قالب توزیع گسسته و با استفاده از یک رابطه نمایی ارائه می‌دهد دوم - رواناب زیرسطحی را با استفاده از حاصل ضرب یک تابع نمایی از عمق سطح آب و یک ضریب به دست می‌آورد. منظور از رواناب سطحی میزان رواناب بر اثر اشباع است. جزء مساحت اشباع شده (F_{sat}) عبارت است از:

$$F_{sat} = (1 - F_{frz}) F_{max} e^{-0.5f(z_T - z'_{bot})} + F_{frz} \quad (1)$$

در رابطه (۱) F_{max} پارامتر درصد حداکثر سطح اشباع یک سلول است. مقدار این پارامتر عبارت از نسبت تعداد پیکسل‌های با شاخص توپوگرافی برابر یا بزرگ‌تر از شاخص میانگین توپوگرافی به تعداد کل پیکسل در یک سلول شبکه است. دقت این شاخص به شدت بستگی به قدرت تفکیک مکانی نقشه رقومی (DEM) ارتفاع دارد. F_{frz} جزء مساحت غیرقابل نفوذ است. فاکتور f (m^{-1}) فاکتور محو رواناب یا میرایی و z_T (m) فاصله تا سطح ایستابی است. بعد از محاسبه درصد اشباع هر سلول، مقدار رواناب سطحی با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود. دبی تخلیه آب زیرزمینی (جریان پایه یا رواناب زیرسطحی) با رابطه (۳) پارامتره‌سازی می‌شود.

$$R_s = Q_{wat} ((1 - F_{sat}) F_{sat} + F_{sat}) \quad (2)$$

$$R_{sb} = R_{sb,max} e^{-\Lambda f (z_T - z'_{bot})} \quad (3)$$

مقدار جهانی پارامتر $R_{sb,max}$ ($=5.0 \times 10^{-4} mm/s$) از واسنجی اطلاعات رواناب از طریق آزمون‌های حساسیت به وجود آمده است. Λ برابر با میانگین شاخص توپوگرافی در یک سلول است. میانگین جهانی منتخب Λ در این مدل برابر با $10/46$ (مستخرج از اطلاعات HYDRO1K 1km) است. به خاطر برهم‌کنش بین تخلیه آب زیرزمینی و سطح ایستابی، مقدار بزرگ‌تری از Λ سطح آب زیرزمینی را افزایش خواهد داد در نتیجه رطوبت خاک هم افزایش پیدا می‌کند معمولاً شاخص توپوگرافی مستخرج از DEM با تفکیک مکانی زیادتر مثلاً ۲ متر خیلی کوچک‌تر از یک تفکیک مکانی کمتر مثلاً ۱ کیلومتر است (Wolock & McCabe., 2000). برای جبران خطایی که به خاطر مقادیر زیاد و غیرواقعی Λ به وجود می‌آید یک پارامتر اضافی $z'_{bot}=2m$ استفاده شده است که عمق انتهای مدل است.

به‌طور غیرمستقیم از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده شده است. به‌منظور واسنجی دستی در هر بار به صورت گروهی مقادیری به روش نمونه‌گیری روش مربع لاتین برای پارامترهای حساس تعیین و مدل با آن‌ها اجرا و سپس محدوده پارامترهای با مقادیر ارزیابی مطلوب، در نظر گرفته شد. در هر بار این محدوده کوچک‌تر شده و بعد از چند بار تکرار این مراحل، محدوده نهایی پارامترها تعیین شد.

نتایج و بحث

پس از بررسی ۲۸ پارامتر اصلی مدل، پارامترهای حساس مدل به ترتیب با توجه به شکل (۱)، پارامتر خاک در رابطه کلب هورن برگ (-b)، پخشیدگی هیدرولیکی خاک اشباع (-satdw)، پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع ($\text{maxsmc}(\text{m}^3/\text{m}^3)$)، میانگین جهانی ماکزیمم درصد سطح اشباع (-fsatmx)، سطح ویژه برگ ($\text{sla}(\text{m}^3/\text{m}^3)$) و مقدار خلل و فرج ریز (-cmic)، حساس شناسایی شدند. ضریب محو رواناب ($f(1/\text{m})$) در این نمودار حساسیت زیادی را نشان نمی‌دهد ولی با توجه به نتایج مقالات دیگر (Cai et al., 2014) و امکان حساس بودن این پارامتر در هنگام ترکیب با سایر پارامترها، به‌عنوان آخرین پارامتر حساس انتخاب شد. حدود نهایی پارامترها در واسنجی برای maxsmc در فاصله ۰/۴۱۲۱ تا ۰/۴۸، برای satdw در فاصله 1×10^{-6} تا $1/9 \times 10^{-5}$ ، مقدار پارامتر b در فاصله ۳/۶ تا ۶/۵۵، پارامتر cmic در فاصله ۰/۱۷۵ تا ۰/۹، پارامتر f در فاصله ۲/۹ تا ۴/۹، پارامتر fsatmx در فاصله ۰/۲ تا ۰/۳، پارامتر sla در فاصله ۵۰ تا ۷۵ قرار دارد.

رواناب

با توجه به اهمیت یکنواختی سلول از نظر پوشش گیاهی و بافت خاک و همچنین نقش توپوگرافی در محاسبه رواناب به روش SIMTOP و عدم دسترسی به سلول‌های کوچک‌تر برای این مدل، درنهایت کل حوضه به سه قسمت کوهستانی، کوهپایه و دشت تقسیم‌بندی شد و در هر سه قسمت رواناب به روش SIMTOP و BATS نسبت به رواناب مدل SWAT مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲) و جدول (۱) نتایج مدل‌سازی ماهانه رواناب را در این سه قسمت نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در هر سه شکل به لحاظ چشمی تطابق خوبی بین رواناب گزارش شده با بارش ورودی در مدل وجود دارد. طبق جدول (۱) بهترین شبیه‌سازی برای هر دو طرحواره مدل Noah-MP متعلق به مناطق کوهستانی و بعد از آن مناطق دشت و کوهپایه است. مناطق کوهستانی در این حوضه به صورت دست‌نخورده هستند و ویژگی‌های سطح خشکی از جمله بافت خاک و کاربری اراضی در آن‌ها دست‌خوش تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی نشده است. در نتیجه با اینکه مدل SWAT

کاملاً به دوره رشد گیاه وابسته است و با استفاده از طرحواره پوشش گیاهی پویا به دست می‌آید. بنابراین تبخیر - تعرق پتانسیل در مدل Noah-MP با زمان تغییر می‌کند. تبخیر - تعرق واقعی از تاج گیاه با توجه به تبخیر - تعرق پتانسیل و رطوبت موجود محاسبه می‌شود.

$$T_r = F_{veg} * \rho_{air} * C_p * C_{tw} * (E_s(T_v) - E_{ah}) / \gamma \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) T_r تعرق از سطح برگ (mm)، F_{veg} درصد پوشش گیاهی، C_p ظرفیت گرمایی هوای خشک در فشار ثابت j/kg/k،

ρ_{air} چگالی هوا kg/m^3 ، C_{tw} هدایت تعرق از برگ هوای اطراف تاج گیاه (m/s)، $E_s(T_v)$ فشار بخار اشباع در دمای گیاه (pa)، E_{ah} فشار بخار هوای تاج گیاهی (pa)، γ ثابت سایکرومتری (pa/k) است. تبخیر از سطح گیاه مشابه با رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود. برای تبخیر از سطح خاک از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\lambda = C_{ev} * (E_s(T_g) * RH_{sur} - E_a) \quad (11)$$

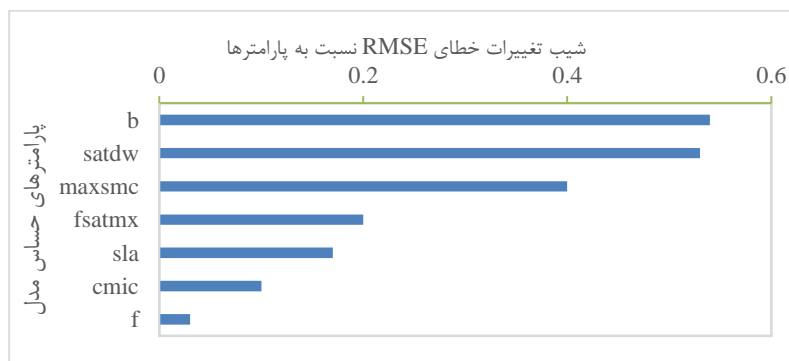
λ شار گرمای نهان تبخیر برحسب (w/m^2) ، C_{ev} ضریب در رابطه فشار بخار - فشار بخار اشباع، $E_s(T_g)$ فشار بخار اشباع در دمای سطح زمین برحسب (pa) ، RH_{sur} رطوبت نسبی هوای سطح خاک یا برف، E_a فشار بخار هوا برحسب (pa) است.

واسنجی و اعتبار سنجی مدل

به‌منظور انجام تحلیل حساسیت رواناب مدل و شناسایی پارامترهای حساس از یک روش دستی و ساده استفاده شد. در این روش پنج نقطه با فاصله یکسان در دامنه هر متغیر انتخاب شدند و مدل در هر نقطه اجرا شد و خطای جذر میانگین مربعات بین مقادیر رواناب مدل‌سازی شده و مقادیر مرجع (مقدار رواناب با مقادیر پیش‌فرض مدل) محاسبه شد. در این روش هر چه میانگین شیب تغییرات خطا نسبت به متغیرها، بیشتر باشد رواناب مدل به آن پارامتر حساس‌تر است. برای واسنجی مدل از ایستگاه‌های هیدرومتری به صورت مستقیم استفاده نشد. تعداد و پراکندگی این ایستگاه‌ها به‌گونه‌ای بود که بخش بزرگی از سلول‌های مدل، مبنایی برای مقایسه نداشتند و خروجی حوضه که می‌توانست نماینده کل حوضه برای مقایسه باشد به علت برداشته‌های متعدد در اکثر روزهای سال دبی صفر را گزارش می‌کرد که منطبق بر واقعیت نبود همچنین وجود مخازن تغذیه مصنوعی متعدد در نزدیکی ایستگاه‌های هیدرومتری، دبی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌داد، بنابراین در این پژوهش از رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل هیدرولوژیکی SWAT برای ارزیابی مدل Noah-MP استفاده شد. مدل SWAT به‌طور هم‌زمان با داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری، عملکرد گندم، برداشت از آبخوان و تراز آب زیرزمینی واسنجی شده و به‌این ترتیب ضعف موجود در داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری تا حد زیادی برطرف شده است (ایزدی، ۱۳۹۲). با مقایسه نتایج مدل Noah-MP با نتایج مدل SWAT

اصلاح شده است. همچنین روش محاسبه رواناب در دو مدل متفاوت است. در SWAT رواناب سطحی حاصل از بارندگی توسط روش شماره منحنی رواناب CN-SCS (Arnold et al., 1998) و در مدل Noah-MP رواناب با استفاده از دو طرحواره SIMTOP و BATS محاسبه می‌شود. با توجه به مقادیر ارزیابی عملکرد دو طرحواره در جدول (۱) به‌طور کلی تفاوت زیادی بین دو طرحواره دیده نمی‌شود اما مقدار R^2 در طرحواره BATS در مناطق کوهستانی و کوهپایه نسبت به طرحواره SIMTOP بزرگ‌تر و مقدار ضریب نش در هر سه منطقه بیشتر و خطای RMSE در هر سه منطقه کمتر است. به نظر می‌رسد علت این تفاوت در روش محاسبه رواناب است. روش BATS بر اساس رطوبت خاک و روش SIMTOP بر اساس توپوگرافی و فاصله تا سطح ایستابی، رواناب را تعیین می‌کند؛ بنابراین در مناطق کوهستانی که بارش شدیدتر است و فرصت نفوذ کمتر است اهمیت رطوبت خاک در تولید رواناب کمتر می‌شود و نقش توپوگرافی پررنگ‌تر می‌شود؛ بنابراین در این مناطق روش SIMTOP نیز پیش‌بینی خوبی از رواناب را ارائه می‌دهد. در مقابل در مناطق دشت، بارش کمتر است و به علت فرصت نفوذی که وجود دارد رطوبت خاک در تولید رواناب تأثیر بیشتری دارد، از طرفی سطح ایستابی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد؛ بنابراین در این مناطق روش BATS که بر مبنای رطوبت خاک بنا شده است، می‌تواند برآورد بهتری داشته باشد.

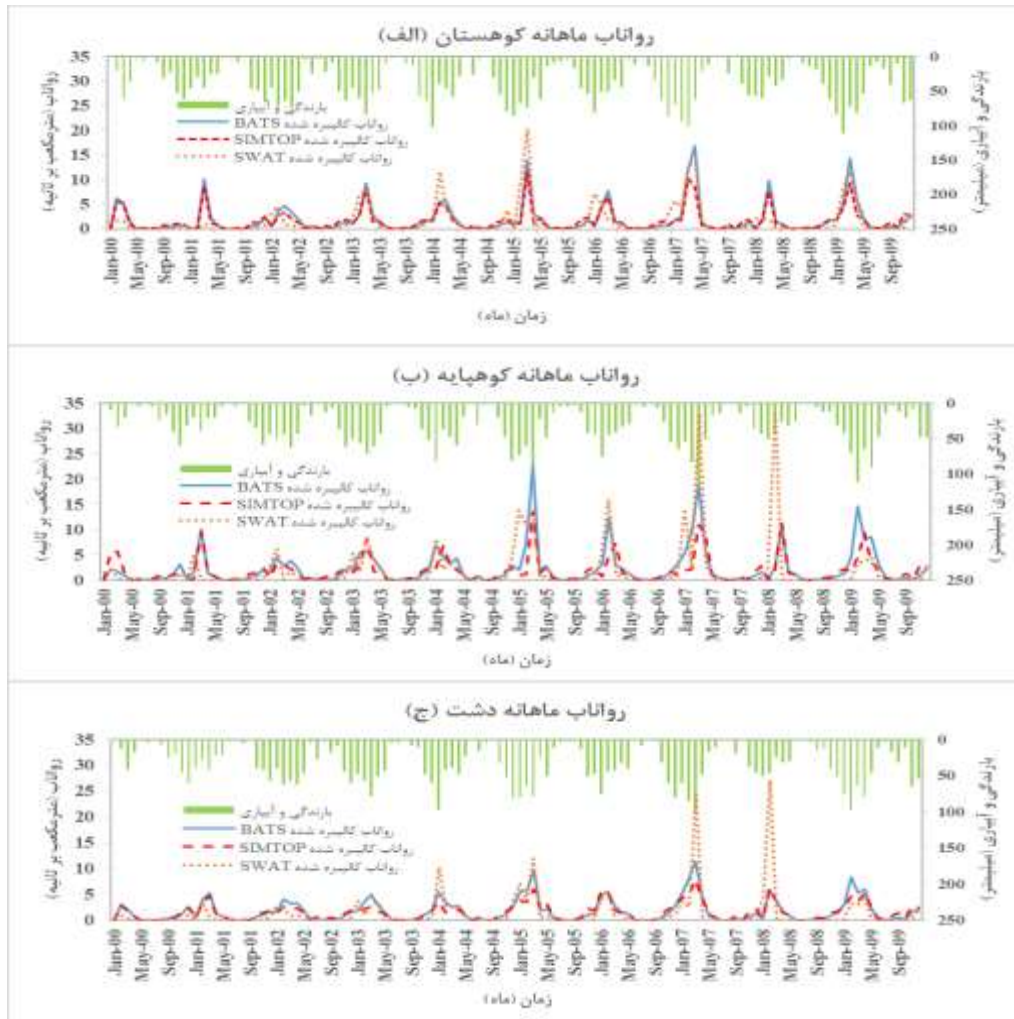
حدودی قابلیت اعمال مدیریت و دخالت انسانی در سطح خشکی را دارد و مدل Noah-MP فاقد آن است، هر دو مدل نتایج مشابهی دارند و ضریب نش ساتکلیف در مناطق کوهستانی از بقیه مناطق بیشتر است. مطابق با شکل (۲-ب) ضعیف‌ترین شبیه‌سازی از لحاظ تشابه به نتایج مدل SWAT مربوط به رواناب در مناطق کوهپایه به علت یکدست نبودن سلول از نظر کاربری اراضی، بافت خاک و شاخص توپوگرافی است. بر اساس نتایج مدل‌سازی در شکل (۲-ج) و جدول (۱) مدل در هر دو طرحواره SIMTOP و BATS در مناطق دشت نتوانسته است رواناب را به‌خوبی مناطق کوهستانی شبیه‌سازی کند که می‌تواند به چند علت باشد. در مناطق دشت فعالیت انسانی شامل کشت دیم، آبی و انجام آبیاری وجود دارد که در مدل SWAT لحاظ شده‌اند؛ بنابراین آب آبیاری با دور مشخص و در زمان مشخص در مدل SWAT وارد شده‌اند. این در حالی است که امکان وارد کردن آبیاری و فعالیت‌های انسانی برای مدل Noah-MP وجود ندارد و میزان آب آبیاری به بارش اضافه شده است. همین موضوع بر شکل‌گیری الگوهای مختلف رواناب تأثیر گذاشته است. از طرف دیگر بارش ورودی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل شکل‌گیری رواناب، در دو مدل الگوی متفاوتی دارند. مدل SWAT برای داده‌های اقلیمی از جمله بارش از نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل زیرحوضه استفاده می‌کند درحالی‌که بارش ورودی در مدل Noah-MP شامل داده‌های بارش GLDAS-1 است که با داده‌های چندین ایستگاه باران‌سنجی



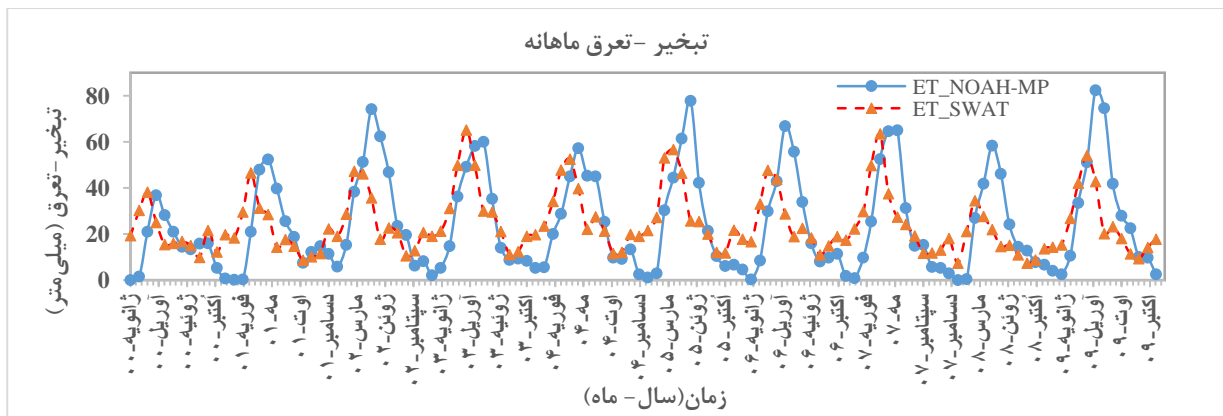
شکل ۱ - نمودار میزان حساسیت رواناب به پارامترها

جدول ۱- ارزیابی کارایی مدل بعد از واسنجی

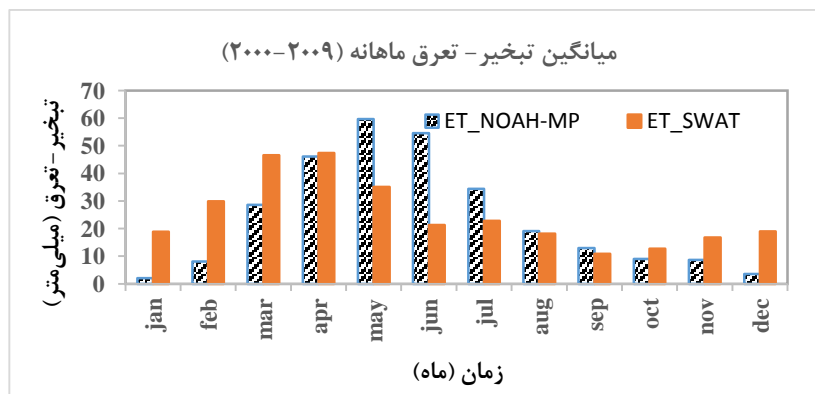
منطقه	قبل از واسنجی			بعد از واسنجی		
	RMSE	NSE	R^2	RMSE	NSE	R^2
SIMTOP	۲/۳۴	۰/۴۷	۰/۷۸	۱/۹۸	۰/۶۲	۰/۷۸
	۴/۴۸	۰/۱۹	۰/۵۲	۴/۲۷	۰/۲۷	۰/۵۲
	۲/۷	۰/۴۱	۰/۶۹	۲/۸	۰/۴۴	۰/۷۱
BATS	۲/۶۶	۰/۳۱	۰/۸۳	۱/۹۱	۰/۶۴	۰/۸۱
	۴/۷۵	۰/۰۹	۰/۵۶	۴/۰۲	۰/۳۵	۰/۶
	۴/۵۲	-۰/۵۴	۰/۴۹	۲/۶۳	۰/۴۷	۰/۷



شکل ۲- رواناب ماهانه مدل سازی شده توسط مدل Noah-MP و SWAT و مجموع آبیاری و بارش در مناطق کوهستانی، کوهپایه، دشت



شکل ۳- تبخیر- تعرق ماهانه دو مدل SWAT و Noah-MP



شکل ۴ - میانگین تبخیر-تعرق ماهانه دو مدل SWAT و Noah-MP

جدول ۲ - مقادیر سالیانه تبخیر-تعرق در مدل SWAT و Noah-MP

سال	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	میانگین
تبخیر-تعرق مدل SWAT (mm)	۲۳۹	۲۵۳	۳۰۰	۳۶۰	۳۳۱	۳۲۹	۲۹۰	۳۲۸	۲۰۰	۲۹۵	۳۲۰
تبخیر-تعرق مدل Noah-MP (mm)	۱۷۴	۲۵۳	۳۵۳	۳۰۴	۳۰۶	۳۰۹	۲۹۲	۱۹۷	۲۱۰	۳۶۸	۳۰۵

تبخیر-تعرق واقعی

میانگین تبخیر-تعرق ماهانه در ده سال در شکل (۳) رسم شده است. همان طور که دیده می‌شود مدل در ماه‌های سرد تبخیر-تعرق را کمتر و در ماه‌های گرم بیشتر از مدل SWAT گزارش می‌کند. همان طور که شکل (۴) نشان می‌دهد به طور متوسط تبخیر-تعرق مدل Noah-MP در ماه‌های مه، ژوئن و ژوئیه (از ۱۱ اردیبهشت تا ۹ مرداد) از مدل SWAT بیشتر و در ماه‌های نوامبر، ژانویه، فوریه و مارس (حدوداً از آبان تا اوایل فروردین) کمتر است و برخلاف مدل SWAT که اوج تبخیر-تعرق را در ماه آوریل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت) نشان می‌دهد بیشترین تبخیر-تعرق آن در ماه مه (۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد) است و در واقع در نشان دادن پیک تبخیر-تعرق، یک ماه عقب است. با توجه به نحوه محاسبه تبخیر-تعرق واقعی در مدل Noah-MP این مسئله مربوط به فعالیت گیاهی در طول سال است و مدل دینامیک گیاهی که رشد گیاه و افزایش فعالیت آن را شبیه‌سازی می‌کند، باعث شکل‌گیری این الگو شده است. با شروع فصل گرم مدل گیاهی شروع به محاسبه تعرق می‌کند و با افزایش رشد گیاه مقدار آن را افزایش می‌دهد که یکی از علت‌های بیش برآورد مدل Noah-MP است. همچنین بعد از تمام شدن فصول گرم مدل گیاهی با در نظر گرفتن پایان فصل رشد، کمترین شاخص سطح برگ را برای گیاه در نظر گرفته و به این ترتیب در ماه‌های سرد تعرق را صفر و یا نزدیک به صفر محاسبه

می‌کند و این در حالی است که در حوضه نیشابور کشت زمستانه وجود دارد و تعرق گیاهان در پاییز و زمستان ادامه دارد ولی مدل امکان در نظر گرفتن کشت زمستانه را ندارد. علت دیگر کم برآورد مدل در ماه‌های سرد با توجه به رابطه ۱۱ و وابستگی تبخیر به متغیرهای هواشناسی، مشخص می‌شود. علت این کم‌برآورد را باید در ضعف داده‌های ورودی جستجو کرد. همان طور که اشاره شد در این پژوهش به اصلاح داده‌های بارش پرداخته شده است ولی برای سایر داده‌های هواشناسی که اثر مستقیم در محاسبه تبخیر-تعرق دارند اصلاحی صورت نگرفته است اگرچه تلاش شده است با توجه به میانگین کلی داده‌های پایگاه و مقایسه آن‌ها با داده‌های ایستگاه‌های مشاهداتی و کم برآورد داده‌های پایگاهی، به صورت خطی داده‌های ورودی افزایش داده شود، اما خطای داده‌ها کاملاً برطرف نشده است. از طرف دیگر مدل SWAT برای محاسبه تبخیر-تعرق از روش هارگریوز و مدل Noah-MP از روش پنمن مانیت استفاده می‌کند که این خود عامل دیگری برای وجود تفاوت بین مقادیر این دو مدل است. علت دیگر تفاوت در الگوی تبخیر-تعرق دو مدل، احتمالاً به خاطر کشت در دشت و آبیاری‌های منظم در کل سال است که در مدل SWAT لحاظ شده است ولی در مدل Noah-MP برای ارائه آن گزینه‌ای در نظر گرفته نشده است. در جدول (۲) مقادیر سالانه تبخیر-تعرق در مقایسه با مدل SWAT آورده شده است. همان طور که دیده می‌شود در بیشتر سال‌ها مدل، تبخیر-تعرق را مشابه برآورد کرده است و میانگین تبخیر-تعرق مدل به نتایج سایر تحقیقات از جمله میان‌آبادی

(۱۳۹۵) و نظریه (۱۳۹۶) نیز نزدیک بوده است.

دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

نتیجه گیری

در این پژوهش دو طرحواره رواناب BATS و SIMTOP در مدل Noah-MP با هم مقایسه شد. هر دو طرحواره بر اساس دیدگاه دان (Dunne) (بر اساس این دیدگاه رواناب در هنگام جاری شدن آب ورودی بر روی بخش اشباع هر سلول مدل تولید می‌شود) طراحی شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که در اقلیم خشک و نیمه‌خشک حوضه نیشابور، طرحواره BATS در همه مناطق عملکرد خوبی داشت و طرحواره SIMTOP در مناطق کوهستانی عملکردی مساوی با مدل BATS داشت. طرحواره BATS سطح اشباع را بر اساس رطوبت لایه‌های خاک و طرحواره SIMTOP بر اساس شاخص توپوگرافی و فاصله تا سطح ایستابی تعیین می‌کند. به نظر می‌رسد با توجه به بارش کمتر و اهمیت رطوبت در دشت، طرحواره BATS در این منطقه و به علت بارش بیشتر در مناطق کوهستانی، فرصت نفوذ کمتر و احتمال بیشتر برای تشکیل رواناب در مناطق گود آن، روش SIMTOP کارایی بیشتری دارد (Niu et al., 2005). طرحواره پوشش گیاهی پویا تبخیر-تعرق را متناسب با مراحل رشد گیاه شبیه‌سازی می‌کند که به نظر می‌رسد علت اصلی تفاوت دو مدل در برآورد تبخیر-تعرق باشد. روش متفاوت دو مدل در برآورد تبخیر-تعرق و عدم امکان شبیه‌سازی فعالیت کشاورزی در مدل Noah-MP از علت‌های دیگر این تفاوت است. در مقیاس سالیانه مدل Noah-MP تبخیر-تعرق را نزدیک به سایر تحقیقات برآورد کرده است. پیشنهاد می‌شود سایر گزینه‌های مدل Noah-MP در برآورد رواناب مورد بررسی قرار گیرند که از جمله آن‌ها گزینه رواناب بر اساس تفاوت سرعت آب ورودی و نفوذ است. استفاده از این گزینه با توجه به شرایط و بافت خاک منطقه، می‌تواند نتایج متفاوتی را ارائه دهد.

منابع

- ایزدی، ع. ۱۳۹۲. کاربرد و ارزیابی یک مدل توسعه‌یافته تلفیقی آب زیرزمینی آب سطحی در حوضه آبریز نیشابور. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مهندسین مشاور سازآب شرق، ۱۳۸۸. مطالعات مدیریت بهم پیوسته منابع آب منطقه نیشابور، جلد شانزدهم گزارش تلفیق مطالعات طرح جامع مدیریت منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو.
- میان‌آبادی، آ. ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات تبخیر سالانه در حوضه‌های آبریز مناطق خشک با استفاده از نمایه خشکی (مطالعه موردی حوضه آبریز نیشابور). رساله دوره دکتری هواشناسی کشاورزی،
- Ball, J. T., Woodrow, I.E. and Berry, J.A. 1987. A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. *Progress in Photosynthesis Research*. 1: 221-234.
- Barlage, M., Tewari, M., Chen, F., Miguez-Macho, G., Yang, Z.-L. and Niu, G.-Y. 2015. The effect of groundwater interaction in North American regional climate simulations with WRF/Noah-MP. *Climatic Change*. 129(3-4): 485-498.
- Cai, X., Yang, Z.-L., David, C. H., Niu, G.-Y. and Rodell, M. 2014. Hydrological evaluation of the Noah-MP land surface model for the Mississippi River Basin, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 119: 23-38.
- Collatz G.J., Ball J.T., Grivet C. and Berry J.A. 1991. Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration: a model that includes a laminar boundary layer. *Agricultural and Forest Meteorology*. 54: 107-136.
- Chen, L., Li, Y., Chen, F., Barr, A., Barlage, M. and Wan, B. 2016. The incorporation of an organic soil layer in the Noah-MP land surface model and its evaluation over a boreal aspen forest, *Atmospheric Chemistry and Physics*. 16: 8375-8387.
- Deardorff, J. W. 1978. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation, *Journal of Geophysical Research*. 83: 1889-1903.
- Dickinson, R.E., Henderson-Sellers A. and Kennedy P.J. 1993. Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note. National Center for Atmospheric Research.
- Fan, Y., Miguez-Macho, G., Weaver C. P., Walko R. and Robock A. 2007. Incorporating water table dynamics in climate modeling: 1. Water table observation and equilibrium water table simulations.

- surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements, *Journal of Geophysical Research*. 116:D12109:1-19.
- Rosero, E., Yang Z.-L., Gulden, L. E., Niu G.-Y. and Gochis D. J. 2009. Evaluating enhanced hydrological representations in Noah LSM over transition zones: Implications for model development, *Journal of Hydrometeorology*. 10 (3):600-622.
- Rosero, E., Yang Z.-L., Wagener T., Gulden L. E., Yatheendradas S. and Niu G.-Y. 2010. Quantifying parameter sensitivity, interaction, and transferability in hydrologically enhanced versions of the Noah land surface model over transition zones during the warm season, *Journal of Geophysical Research*. 115.
- Wolock, D. M. and McCabe G. J. 2000. Differences in topographic characteristics computed from 100- and 1000-m resolution digital elevation model data, *Hydrology. Processes*, 14:987-1002.
- Yang, Z.-L. 2004. Modeling land surface processes in short-term weather and climate studies, in *Observation, Theory and Modeling of Atmospheric Variability*. World Scientific Series on Asia-Pacific Weather Climate. 3:288-313.
- Zheng, D., van der Velde, R., Su, Z., Wen, J., Booi, M. J., Hoekstra, A. Y. and Wang, X. 2015. Under-canopy turbulence and root water uptake of a Tibetan meadow ecosystem modeled by Noah-MP, *Water Resource Research*. 51:5735-5755.
- Journal of Geophysical Research*. 112, D10125: 1-17.
- Farquhar, G.D., Caemmerer von S. and Berry J.A. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta*. 149: 78-90.
- Jiang, X., Niu G.-Y. and Yang Z.-L. 2009. Impacts of vegetation and groundwater dynamics on warm season precipitation over the Central United States, *Journal of Geophysical Research*. 114, D06109: 1-15.
- Leung, L. R., Huang, M. Y., Qian, Y. and Liang, X. 2011. Climate-soil-vegetation control on groundwater table dynamics and its feedbacks in a climate model. *Climate Dynamics*. 36: 57-81
- Leuning, R. 1990. Modelling stomatal behavior and photosynthesis of *Eucalyptus grandis*. *Australian Journal of Plant Physiology* 17:159-175.
- Ma, N., Niu, G. Y., Xia, Y., Cai, X., Zhang, Y., Ma, Y. and Fang, Y. 2017. A systematic evaluation of Noah-MP in simulating land-atmosphere energy, water and carbon exchanges over the continental United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122:12,245-12,268.
- Manabe, S. 1969. Climate and the ocean circulation I. The atmospheric circulation and the hydrology of the Earth's surface, *Monthly Weather Review*. 97:739-774.
- Niu, G.-Y., et al. 2011, The community Noah land

Estimation of Runoff Using SIMTOP and BATS Schemes and Actual Evapotranspiration Using a Dynamic Vegetation Scheme in Noah-MP Land Surface Model in Neishaboor Watershed

S. Mirshafiee¹, H. Ansari^{2*}, K. Davary³, A.N. Ziaei⁴

Received: Oct.09, 2019

Accepted: Dec.04, 2019

Abstract

Surface water resource planning requires the estimation of water balance components at different spatial and temporal scales. Moreover, due to the inadequacy of the stations in terms of number, dispersion, and temporal data recording, numerical modeling of the land surface is necessary. In this study, the Noah-MP model was used to compare the simulated runoff by SIMTOP and BATS schemes and to evaluate the dynamic vegetation scheme for estimating actual evapotranspiration in the Neishaboor watershed monthly scale in 2000-2009. Due to the low accuracy and dispersion of hydrometric stations, the SWAT model output was used for evaluation. To develop the model, first, the sensitivity analysis of the modeled runoff to parameters of the model was performed. The model showed the highest and least sensitivity to the soil parameter in the Clapp-Hornberger relation (b) and runoff decay factor (f), respectively. The best and the first performance of simulated runoff by BATS scheme were in mountainous areas and the evaluation criteria including R^2 , NSE, and RMSE were respectively 0.81, 0.64, and 1.91. The second grade of performance was for the plain and the lowest values for simulated runoff were in foothills regions. Results indicate that the BATS scheme shows better results in the plain and foothills areas and the results of the SIMTOP scheme in the mountainous regions were similar to BATS results.

The dynamic vegetation scheme has been able to simulate evapotranspiration changes along with the stages of plant growth. The mean of annual evapotranspiration estimated by the Noah-MP model was 305 mm.

Keywords: BATS scheme, Dynamic vegetation scheme, Neishaboor watershed, Noah-MP model, SIMTOP scheme

1- PhD student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2 - Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3 - Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(* - Corresponding Author Email: ansary@um.ac.ir)