

Estimation of the Spatiotemporal pattern of Recharge by Distribute PRMS model (Case study: Neishaboer Watershed)

F. Nazarieh¹, H. Ansari^{2*}, A.N. Ziaei³, K. Davari² and A. Izady⁴

Abstract

In this study, distributed Precipitation-Runoff-Modeling-System (PRMS) was used to estimate the spatiotemporal pattern of recharge in Neishaboer Plain in monthly time steps. In this regard, first, it was illustrated based on a sensitivity analysis of PRMS model that the most effective parameters controlling the hydrologic budget components in the study area are evapotranspiration, preferential flow density, water-holding capacity of soil zone, and contributing area in the runoff. Then the calibration of the PRMS was performed using PEST, using runoff in hydrometric stations and actual evapotranspiration (ETEns1.0). The model calibration and validation periods were 7 years (2002-2009) and 2 years (2009-2011), respectively. PRMS calibration based on the two components of the hydrologic budget (runoff and actual ET) led to increase in reliability of calculated recharge. The results revealed that actual ET which was equal to 87 percent of the total rainfall and irrigation water, was the most important component in the hydrologic budget. The second most important component was recharge which covered 12.5 percent of the total rainfall and irrigation water. The PRMS simulation showed that annually 295 MCM of water enters the aquifer as recharge from surface water, most of which occurs in mountains foothill and irrigated areas. This recharge happens from November to the following May. Thus, there is insignificant recharge during the warm months due to the high amount of evapotranspiration and soil water deficit in root zone.

Keywords: Groundwater Recharge, Neishaboer Watershed, PRMS, Spatiotemporal Pattern.

Received: April 10, 2017

Accepted: October 10, 2017

برآورد توزیع مکانی و زمانی تغذیه با استفاده از مدل توزیعی PRMS (مطالعه موردی دشت نیشابور)

فرزانه نظریه^۱، حسین انصاری^{۲*}، علی نقی ضیائی^۳، کامران داوری^۲ و عزیزاله ایزدی^۴

چکیده

در این تحقیق، توزیع مکانی تغذیه ماهانه در دشت نیشابور توسط مدل PRMS برآورد گردید. بدین منظور در ابتدا حساسیت‌سنجی مدل PRMS نشان داد که مؤثرترین پارامترهای مؤثر بر بیلان در این منطقه، تبخیر و تعرق، جریان ترجیحی، رطوبت خاک و سطح مشارکت کننده در رواناب می‌باشند. پس از تحلیل حساسیت، واسنجی این مدل توسط نرم‌افزار PEST و با توجه به داده‌های رواناب ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین تبخیر و تعرق واقعی (ETEns1.0) برای مدت هفت سال (۱۳۸۱-۱۳۸۸) انجام گرفت. صحت‌سنجی مدل PRMS برای مدت دو سال (۱۳۸۸-۱۳۹۰) صورت پذیرفت. واسنجی مدل بر اساس دو مؤلفه اصلی بیلان، سبب افزایش اطمینان از مقادیر تغذیه به‌دست آمده توسط مدل PRMS گردید. نتایج نشان داد، تبخیر و تعرق که ۸۷٪ از مجموع بارش و آبیاری را شامل می‌شد، مهمترین مؤلفه بیلان در منطقه می‌باشد و پس از آن، تغذیه با اختصاص ۱۲/۵٪ از حجم کلی بارندگی و آبیاری، قرار دارد. مدل‌سازی PRMS نشان می‌دهد که تغذیه آبخوان دشت نیشابور به‌طور متوسط سالانه ۲۹۵ میلیون مترمکعب بوده که عمدتاً مربوط به مناطق کوهپایه‌ای و اراضی فاریاب می‌باشد. این مقدار تغذیه از آبان تا اردیبهشت ماه اتفاق می‌افتد و در ماه‌های گرم سال به علت بالا بودن میزان تبخیر و تعرق و کمبود رطوبت ناحیه ریشه، تغذیه ناچیز است.

کلمات کلیدی: تغذیه آب زیرزمینی، توزیع مکانی و زمانی، PRMS، حوضه آبریز نیشابور.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۷/۱۸

1- PhD Student, Water Science and Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Professor, Water Science and Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: ansary@um.ac.ir

3- Associate Professor, Water Science and Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Post-doctoral Researcher, Water Research Center, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- محقق دوره پسادکتری، مرکز تحقیقات آب دانشگاه سلطان قابوس، مسقط، عمان.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

مقیاس‌های مکانی مختلف در ایالات متحده استفاده نمود که نتایج تغذیه حاصل از تحقیق مذکور با نتایج به دست آمده از روش جداسازی هیدروگراف همخوانی خوبی نشان داد. (Mazi et al., 2004) از مدل PRMS برای محاسبه متوسط سالانه تغذیه در حوضه‌ای در کشور قبرس استفاده نمود. (Vaccaro and Olsen, 2007) از مدل‌های PRMS و DPM³ برای مقایسه میزان تغذیه در شرایط قبل و بعد از توسعه حوضه رودخانه یاکیما در واشنگتن⁴ استفاده نمودند. نکته قابل توجه در مورد مدل PRMS استفاده از تغذیه به دست آمده از این نرم‌افزار به‌عنوان ورودی مدل آب زیرزمینی MODFLOW در تحقیقات متعدد می‌باشد (Barth et al., 2007; Fulton et al., 2008; Markstrom et al., 2015; Hunt et al., 2016; Markstrom et al., 2008).

مدل‌های هیدرولوژیک توزیعی پیچیدگی زیادی دارند؛ چرا که چرخه هیدرولوژیکی دارای بخش‌های گوناگون و مؤلفه‌های مختلف می‌باشد. با مشخص شدن مؤلفه اصلی چرخه هیدرولوژیک از پیچیدگی این مدل‌ها کاسته می‌شود؛ چرا که مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیک (رواناب، تبخیر، تغذیه) در مناطق مختلف سهم یکسانی در این چرخه ندارند و اغلب یکی از مؤلفه‌های بیلان و در نتیجه پارامترهای مرتبط با آن مؤلفه دارای اهمیت بیشتری است (Markstrom et al., 2016). در تحقیقات انجام گرفته در سال‌های اخیر تلاش می‌شود که از بیش یک مؤلفه هیدرولوژیکی برای واسنجی مدل‌ها استفاده شود. به عنوان مثال Moazenzadeh et al. (2016) نشان دادند واسنجی مدل SWAT به کمک دو مؤلفه رواناب و تبخیر- تعرق واقعی نسبت به واسنجی مدل به تنهایی با رواناب، باعث بهبود نتایج مدل در برآورد رواناب می‌شود.

انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیک تأثیر هر پارامتر بر هر یک از مؤلفه‌های بیلان را نشان می‌دهد. تشخیص اینکه کدام پارامترها بر میزان تغذیه بیشتر تأثیرگذار هستند به هیدرولوژیست این امکان را می‌دهد که بیشتر بر روی داده‌های مرتبط با تغذیه آب زیرزمینی تمرکز داشته باشد. (Ely, 2006) حساسیت تغذیه محاسبه شده توسط مدل PRMS را به پارامترهای ورودی در هفت حوضه آبریز مورد بررسی قرارداد، نتایج این تحقیق نشان داد که در مناطق کوهستانی با بارش زیاد مدل به دما حساس می‌باشد، در حالی که در مناطق با کاربری اراضی عمدتاً کشاورزی بیشترین حساسیت مربوط به پارامترهای تبخیر و تعرق بوده است. (Markstrom et al., 2016) نیز در تحقیق خود با انجام تحلیل حساسیت جامع، پارامترهای مؤثر بر فرآیندهای هیدرولوژیک شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PRMS را در مناطق مختلف ایالات متحده مشخص نمودند (Markstrom et al., 2016).

تغذیه یکی از بخش‌های مهم در بیلان آب زیرزمینی می‌باشد. با افزایش رقابت برای استفاده از منابع محدود آب، توجه به استفاده مطلوب از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهمترین منابع در دسترس افزایش یافته است. لذا ضرورت استفاده از مدل‌های رایانه‌ای به‌منظور کمک به فرآیند تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب اهمیت بیشتری پیدا کرده است. نرخ تغذیه به‌کار رفته در مدل‌های عددی آب زیرزمینی تأثیر بسزایی در نتایج مدل‌سازی دارد؛ بنابراین برآورد دقیق میزان تغذیه نیازمند توجه ویژه می‌باشد (Markstrom et al., 2008; Markstrom et al., 2008).

روش‌های مختلف با رویکردهای متفاوت، برای برآورد تغذیه وجود دارند. انتخاب تکنیک مناسب برای محاسبه تغذیه، به داده‌های موجود، هدف از محاسبه تغذیه و مقیاس مکانی و زمانی مورد نیاز برای محاسبه تغذیه وابسته است. روش‌هایی که جریان در ناحیه غیراشباع را مدل‌سازی می‌نمایند، مانند استفاده از مدل‌های VS2DT (Lappala et al., 1987) و HYDRUS-2D (Simunek et al., 1996) نیازمند اطلاعات دقیق خصوصیات لایه‌های مختلف خاک می‌باشند. به دست آوردن این اطلاعات در مقیاس حوضه آبریز بسیار پرهزینه بوده و عموماً این اطلاعات در دسترس نمی‌باشند. روش‌هایی که از تکنیک‌های ژئوشیمی یا رادیو ایزوتوپ (Zhai et al., 2013) استفاده می‌کنند نیز پرهزینه بوده و همچنین برای محاسبه متوسط تغذیه در طولانی‌مدت به‌کار برده می‌شوند. محاسبه تغذیه به کمک روش‌های تجربی که بر پایه میزان بارندگی و خصوصیات زمین‌شناسی منطقه (Xu and Beekman, 2003) و یا روش‌هایی که از جداسازی هیدروگراف منطقه استفاده می‌کنند (Mau and Winter, 1997)، جریان در طول سال را شبیه‌سازی می‌نمایند و از نظر مکانی دقت زیادی ندارند. تکنیک‌هایی که در یک نقطه و یا منطقه‌ای محدود تغذیه را محاسبه می‌کنند باید به کل منطقه تعمیم داده شوند، بنابراین برآورد توزیع مکانی تغذیه توسط این روش‌ها امکان‌پذیر نیست.

از جمله روش‌های محاسبه تغذیه در مقیاس حوضه روش‌های فرآیند محور^۱ می‌باشند که بیلان آب در حوضه آبریز را به‌طور توزیعی محاسبه می‌کنند. مدل PRMS^۲ یک مدل فرآیند محور بوده که در مناطق مختلف برای شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیک و خصوصاً به‌منظور محاسبه میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی به‌کار گرفته شده است (Vaccaro and Olsen, 2007). به‌عنوان مثال (Cherkauer, 2004) از مدل توزیعی PRMS برای برآورد میزان تغذیه در هفت حوضه با

دارای وسعتی بالغ بر ۹۱۵۷ کیلومترمربع می‌باشد که حدود نیمی از آن را ارتفاعات (۴۲۴۱ کیلومترمربع) و مابقی را (۴۹۱۷ کیلومترمربع) دشت تشکیل می‌دهد. شبکه آبراهه سطحی از ارتفاعات شمالی، شمال غربی، شرقی و جنوبی سرچشمه گرفته و به صورت مسیل‌های مختلف (سرشاخه‌های رودخانه کال شور) به سمت مرکز دشت جریان می‌یابد. این مسیل‌ها پس از تغذیه آبخوان آبرفتی به سمت غرب تغییر جریان یافته و از حسین‌آباد جنگل خارج می‌شود (شکل ۱).

با توجه به مطالعات هواشناسی صورت گرفته و گردابان بارندگی به‌دست‌آمده برای منطقه، متوسط بارندگی سالانه در محدوده نیشابور ۲۷۸ میلی‌متر برآورد گردیده است که محدوده دشت با ارتفاع متوسط ۱۲۶۳ متر دارای متوسط بارندگی ۲۴۳ میلی‌متر و محدوده ارتفاعات با ارتفاع متوسط ۱۷۸۳ متر دارای متوسط بارندگی ۳۲۶ میلی‌متر در سال می‌باشد (Iran Ministry of Energy, 2010). تبخیر و تعرق در این منطقه حدوداً ۸۵٪ سهم بارش را به خود اختصاص می‌دهد (Alizadeh et al., 2013).

حوضه آبریز نیشابور در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است؛ بنابراین برای تأمین آب مورد نیاز برای بخش کشاورزی در این منطقه اغلب از آب زیرزمینی استفاده می‌شود. دشت نیشابور از سال ۱۳۶۶ به علت برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افت سریع سطح ایستابی ممنوعه بحرانی بوده است (Iran Ministry of Energy, 2010).

با توجه به ضرورت تعیین توزیع مکانی و زمانی تغذیه در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی بخش منابع آب و اثبات توانایی مدل PRMS در برآورد تغذیه در تحقیقاتی که در بخش قبل به آن‌ها اشاره گردید و همچنین در دسترس بودن اطلاعات مورد نیاز برای مدل، هدف از این تحقیق برآورد مؤلفه‌های بیلان خصوصاً تعیین توزیع مکانی و زمانی تغذیه در حوضه آبریز دشت نیشابور توسط مدل PRMS می‌باشد. بدین منظور در گام اول برای مشخص شدن تأثیرگذارترین پارامترها بر هر مؤلفه بیلان (تبخیر، رواناب، تغذیه) در PRMS، بر روی مدل تحلیل حساسیت مقیاس شده مرکب انجام می‌گیرد. سپس پارامترهای تأثیرگذار بر روی مؤلفه‌های اصلی بیلان با توجه به داده‌های مشاهداتی رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری و تبخیر و تعرق واقعی ETens1.0 به صورت خودکار و به کمک نرم‌افزار PEST واسنجی می‌شوند. در ادامه توزیع مکانی و زمانی تغذیه به دست آمده توسط مدل PRMS در حوضه نیشابور مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز نیشابور بخشی از حوضه آبریز کویر مرکزی ایران در عرض شمالی ۳۵° ۴۰' تا ۳۶° ۳۹' و طول شرقی ۵۸° ۱۳' تا ۵۹° ۳۰' با حداکثر ارتفاع ۳۳۰۵ متر در کوهستان بینالود و حداقل ارتفاع ۱۰۵۶ در خروجی رودخانه اصلی (حسین‌آباد جنگل) می‌باشد. این حوضه

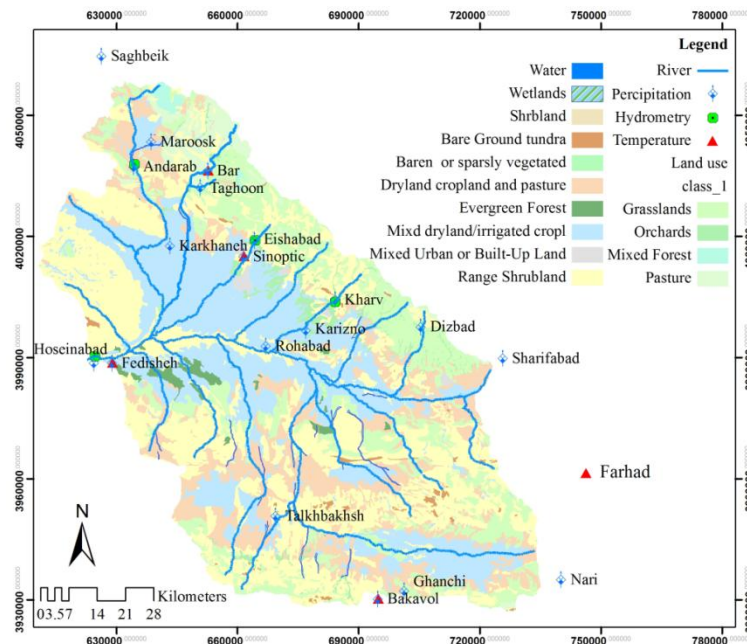


Fig. 1- Neishaboor land use, main rivers, and synoptic and hydrometric stations

شکل ۱- کاربری اراضی حوضه نیشابور، رودخانه‌های اصلی، ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

۲-۲-۲ مدل PRMS

PRMS یک مدل هیدرولوژیک قطعی^۵، فرآیند محور و توزیعی^۶ می‌باشد که به کمک قوانین فیزیکی و روابط تجربی حرکت آب در بخش‌های مختلف حوضه آبریز را شبیه‌سازی می‌نماید. این مدل به منظور بررسی تأثیر عوامل مختلف بر هیدرولوژی حوضه‌های آبریز طراحی شده است. PRMS اولین بار توسط Leavesley et al. (1983) ارائه گردیده و آخرین نسخه این مدل با اصلاحاتی و افزودن یک سری امکانات به مدل در سال ۲۰۱۵ توسعه داده شده است (Markstrom et al., 2015). این مدل به صورت یک نرم‌افزار متن‌باز از سایت USGS (https://www.brr.cr.usgs.gov/projects/SW_MoWS/PRMS.html) قابل دسترسی است.

فرآیند انتقال جریان در بخش‌های مختلف مدل PRMS و پارامترهای مورد استفاده در هر بخش، در شکل ۲ نمایش داده شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که قبل از رسیدن نزولات جوی به سطح زمین بخشی از بارش در سطوح باران‌گیر مانند شاخ و برگ گیاهان به دام می‌افتد. پس از رسیدن نزولات جوی به سطح زمین بخشی از آن در چالاب‌ها ذخیره شده، بخشی بر روی سطح جریان می‌یابد و بخشی به ناحیه ریشه نفوذ می‌کند. آب نفوذ کرده در ناحیه ریشه اغلب به صورت تبخیر و تعرق از این ناحیه خارج می‌شود. زمانی که ذخیره رطوبت در ناحیه ریشه از ظرفیت زراعی آب در خاک بیشتر باشد آب به عمق نفوذ کرده و با عبور از ناحیه غیراشباع به سمت لایه اشباع خاک حرکت می‌کند.

آب نفوذ یافته در عمق به‌عنوان تغذیه آبخوان زیرزمینی شناخته می‌شود. آب همچنین می‌تواند با توجه به گرادیان هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی منطقه از آبراهه‌ها به آبخوان و یا برعکس جریان پیدا کند. انتقال جریان بین بخش‌های مختلف توسط پارامترهایی که کاربر تعریف کرده، کنترل می‌شود (Markstrom et al., 2015).

در اغلب مدل‌های شبیه‌سازی جریان در سطح حوضه، در ابتدا حوضه به زیر حوضه‌هایی تفکیک شده و سپس هر زیر حوضه به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) متشابه^۷ تقسیم می‌شود. واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی از نظر خاک، کاربری اراضی و نقشه طبقات شیب و دیگر خصوصیات هیدرولوژیک همگن در نظر گرفته می‌شوند. در مدل PRMS، HRU ها مانند مخازن متصل به یکدیگر می‌باشند که خروجی تجمعی حاصل از آن‌ها پاسخ هیدرولوژیک کل منطقه را نشان می‌دهد. در هر HRU مقادیر پارامترهای فیزیکی ثابت بوده و بیلان آب و انرژی در آن در هر گام زمانی محاسبه می‌شود. در این تحقیق با توجه به تقسیمات انجام گرفته توسط Izady et al. (2015) و نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و توپوگرافی، منطقه به ۲۴۸ واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU) تقسیم شده است.

اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل PRMS دما کمینه و بیشینه روزانه، مقدار بارش روزانه می‌باشد. آبیاری انجام گرفته در HRUهای دارای کاربری اراضی کشت آبی با توجه به میزان برداشت چاه‌ها در هر HRU تعریف شده است.

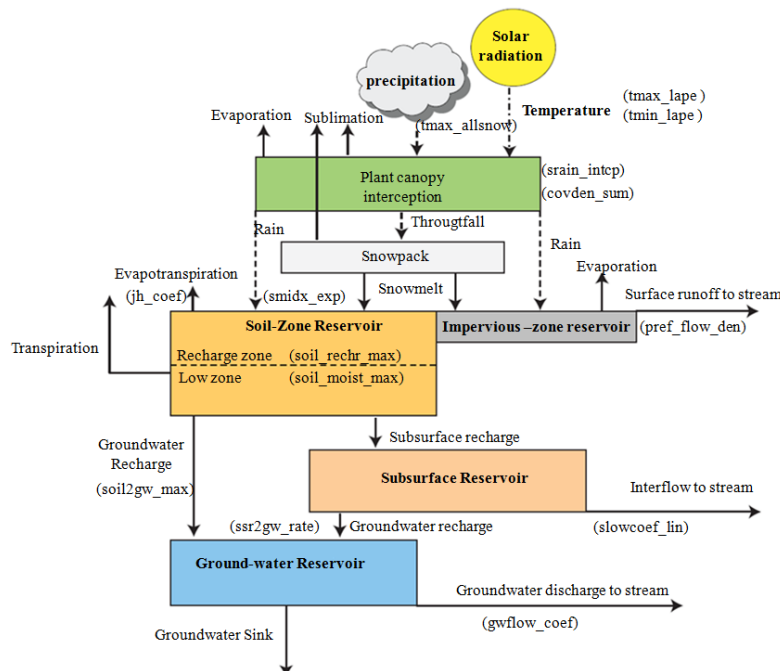


Fig. 2- Schematic of input data, (temperature, precipitation and radiation) in PRMS model

شکل ۲- نمای شماتیک داده‌های ورودی (دما، بارش و تابش) مدل PRMS

با استفاده از نقشه رقمی ارتفاعی (DEM)، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک منطقه مقادیر آن‌ها را استخراج نمود. واسنجی مدل در دو مرحله انجام گرفت، در گام اول با توجه به تحقیقات گذشته (Cherkauer, 2004; Ely, 2006; Fang et al., 2015; Hay et al., 2006; Lake, 2013; Markstrom et al., 2016; Mazi et al., 2004; Qi et al., 2009; Salvettia et al., 2002) از بین پارامترهای مدل، تعداد ۲۰ پارامتر برای واسنجی انتخاب گردید. پارامترهای مورد استفاده برای واسنجی و توضیح هر یک از این پارامترها در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند. سپس با توجه به شناخت موجود از منطقه، نقشه خاک، نقشه کاربری اراضی (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی) و دامنه پارامترهای به دست آمده در تحقیقات گذشته برای پارامترهای موجود در جدول ۱ مقادیر مناسبی اختصاص داده شد. در گام دوم پس از تحلیل حساسیت مدل و انتخاب پارامترهای مؤثر، واسنجی توسط مدل PEST و به طور خودکار انجام گرفت.

مدل در گام زمانی روزانه اجرا گردیده و در گام زمانی ماهانه برای ایستگاه‌های اندراب، خرومجموع و حسین‌آباد جنگل در خروجی حوضه واسنجی گردیده است. برای رسیدن به مقادیر قابل قبول رطوبت در ناحیه خاک قبل از واسنجی، مدل برای دوره سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰ تا ۱۳۸۱-۱۳۸۰ اجرا گردید، سپس برای دوره‌های هفت‌ساله (سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۳ تا ۱۳۷۸-۱۳۸۸) و دوساله (سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ تا ۱۳۸۹-۱۳۹۰) مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. در این تحقیق از داده‌های روزانه ۲۰ ایستگاه ثبت بارش، پنج ایستگاه ثبت دما و چهار ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است. محل این ایستگاه‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۳-۲- تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت سنجی

در مدل PRMS بیش از ۱۲۵ پارامتر وجود دارد، برخی از این پارامترها مربوط به خصوصیات توپوگرافی و فیزیوگرافی منطقه بوده و می‌توان

Table 1- Parameters used for PRMS calibration
جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در واسنجی مدل PRMS

Parameter	Description	Unit	Min	Max
tmax_lape	Monthly maximum air temperature lapse rate	temp_units	-10	10
tmin_lape	Monthly minimum air temperature lapse rate	temp_units	10	10
tmax_allsnow	Monthly maximum air temperature at which precipitation is snow	temp_units	-10	40
potet_sublim	Fraction of potential evapotranspiration sublimated	dimensionless	0.1	0.75
jh_coef	Monthly air temperature coefficient used in Jensen-Haise	temp_units	0.005	0.06
covden_win	Winter plant canopy density	dimensionless	1	0
covden_sum	Summer plant canopy density	dimensionless	1	0
wrain_intcp	Maximum summer rain storage in the plant canopy	inches	0	5
srain_intcp	Maximum winter rain storage in the plant canopy	inches	0	5
pref_flow_den	Decimal fraction of the soil available for preferential flow	dimensionless	0	1
smidx_exp	Exponent in non-linear contributing area algorithm	per inch	0.8	0.2
smidx_coef	Coefficient in non-linear contributing area algorithm	dimensionless	0.0001	1
soil_moist_max	Maximum available capillary water-holding capacity of soil	inches	0	20
soil_rechr_max	Maximum value in capillary reservoir where evaporation and transpiration occur simultaneously	inches	0	10
slowcoef_lin	Linear flow-routing coefficient for slow interflow	per day	0	1
slowcoef_sq	Non-linear flow-routing coefficient for slow interflow	per inch-day	0	1
ssr2gw_rate	linear coefficient in the equation used to gravity drainage	inches per day	0	1
ssr2gw_ex	Exponent in the equation used to compute gravity drainage	dimensionless	0	3
soil2gw_max	Maximum value of soil-water excess routed directly to PRMS ground-water reservoir	inch	0	5
gwflow_coef	Linear coefficient to route water in ground-water reservoir to streams	per day	0	1

روش مبتنی بر بیلان انرژی شامل MOD16¹⁴, SEBS¹³, SSEPop¹², CMRSET¹¹, ALEXI¹⁰, GLEAM¹⁶, ETMonitor¹⁵ در مقیاس مکانی ۲۵۰m×۲۵۰m و به طور ماهانه از دی ماه سال ۱۳۸۱ (ژانویه ۲۰۰۳) به بعد ارائه گردیده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل حساسیت

از نتایج تحلیل حساسیت مقیاس شده مرکب اغلب به صورت مقایسه‌ای استفاده می‌شود. به طوری که مقادیر بزرگتر CSS برای یک پارامتر نشان می‌دهد که امکان برآورد آن پارامتر توسط مشاهدات بیشتر است. در پژوهش حاضر حساسیت هر یک از مؤلفه‌های اصلی بیلان (تبخیر، تغذیه، رواناب) نسبت به تغییر پارامترهای مدل به طور مجزا مورد ارزیابی قرار گرفته است. از بین ۲۰ پارامتر ارائه شده در جدول ۲، ۱۲ پارامتر در تحلیل حساسیت بیشترین حساسیت را نشان دادند. مقادیر حساسیت این پارامترها در شکل ۳ نمایش داده شده است. حساسیت دیگر پارامترها کمتر از مقادیر ارائه شده در شکل ۳ بوده و برای وضوح بیشتر در شکل نمایش داده نشده‌اند. نرمال سازی با تقسیم مقادیر CSS بر بیشترین مقدار CSS در هر گروه، انجام گرفته است.

همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، مؤثرترین پارامترهای کنترل کننده بیلان در منطقه (NCSS بیشتر از ۰/۲) را می‌توان پارامتر مؤثر بر تبخیر و تعرق (jh_coef)، جریان ترجیحی (pref_flo_den)، میزان آب در خاک (soil_moist_mas و soil_rechr_max) و خصوصیت سطحی (smidx_exp) دانست و دیگر پارامترها در درجه دوم اهمیت قرار دارند. نکته دیگر حساس بودن رواناب به تعداد بیشتری پارامتر نسبت به دیگر مؤلفه‌های بیلان می‌باشد. نتایج تحقیق (Markstrom et al., 2016) نیز نشان داده است رواناب مدل سازی شده توسط PRMS به تعداد بیشتری پارامتر حساس می‌باشد.

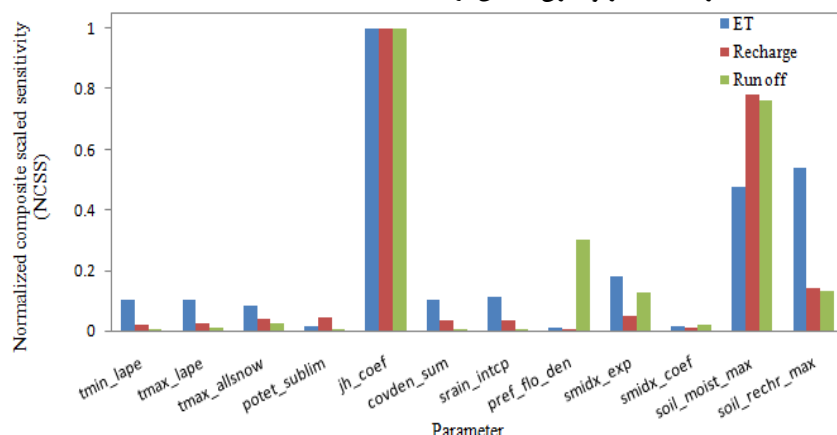


Fig. 3- Normalized composite scaled sensitivity (NCSS) for PRMS parameters

شکل ۳- نرمال حساسیت مقیاس شده مرکب (NCSS) برای پارامترهای PRMS

توانایی مشخص کردن دو، پنج و یا حتی ۱۰ پارامتری که بیشترین تأثیر را در مدل دارند، می‌تواند کارایی واسنجی خودکار مدل را تا حد بسیار زیادی افزایش دهد (Ely, 2006). بنابراین قبل از واسنجی خودکار مدل بر روی پارامترهای موجود در جدول تحلیل حساسیت انجام گرفت تا پارامترهای تأثیرگذار بر مدل PRMs در حوضه نیشابور مشخص گردند. تحلیل حساسیت مقیاس شده مرکب^۸ (CSS) حساسیت مشاهدات شبیه‌سازی شده را به هر یک از پارامترها نشان می‌دهد (Hill, 1998). حساسیت مقیاس شده مرکب (CSS) برای هر پارامتر b_j مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$CSS_j = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\partial y_i}{\partial b_j} \right) b_j \omega_i^{1/2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

در این رابطه y_i یکی از n مشاهده، i شماره مشاهده، j شماره پارامترها و ω_i وزن هر مشاهده می‌باشد. در CSS در واقع حساسیت خروجی‌های مدل به تغییرات در یک پارامتر می‌باشد. بدون بعد بودن CSS سبب می‌شود که بتوان پارامترها با واحدهای متفاوت را با یکدیگر مقایسه نمود. در نرم افزار PEST وزن هر مشاهده ω_i برابر با معکوس انحراف معیار آن مشاهده قرار داده می‌شود.

معمولاً واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های هیدرولوژیک بر اساس رواناب حوضه انجام می‌گیرد؛ اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک رواناب اغلب به صورت فصلی بوده و نمی‌تواند نماینده شرایط هیدرولوژیک در منطقه باشد (Mazi et al., 2004). با توجه به این نکته در تحقیق حاضر علاوه بر رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری از تبخیر و تعرق واقعی نیز برای واسنجی مدل استفاده شده است. بنابراین مدل PRMS به طور هم‌زمان بر اساس رواناب در ایستگاه‌های خرومجموع، اندراب، حسین‌آباد و همچنین تبخیر و تعرق واقعی ماهانه ETEns1.0 مورد واسنجی قرار گرفت. داده‌های تبخیر و تعرق ETEns1.0 توسط گروه حسابداری آب^۹ UNESCO-IHE با ترکیب تبخیر و تعرق حاصل از

همان‌گونه که در بخش تحلیل حساسیت نشان داده شد، پارامتر مربوط به تبخیر و تعرق تأثیر بسزایی در نتایج مدل‌سازی دارد؛ بنابراین در واسنجی خودکار مدل PRMS مقدار تبخیر و تعرق واقعی در سطح حوضه، در مقیاس ماهانه با داده‌های ETEns1.0 مطابقت داده شدند. مقایسه متوسط منطقه‌ای تبخیر تعرق واقعی برآورد شده توسط مدل PRMS و مقادیر اندازه‌گیری شده ETEns1.0 منطقه در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر ضریب تعیین برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۷۰۳ و ۰/۷۴۶ بوده است که با توجه به پیچیدگی هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه و طول دوره شبیه‌سازی مقادیری قابل قبول می‌باشند.

واسنجی مدل PRMS علاوه بر مبنای تبخیر و تعرق واقعی، به‌طور هم‌زمان بر مبنای رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری اندرآب، خرومجموع و حسین‌آباد جنگل نیز انجام گرفت.

هر چه فرآیند هیدرولوژیک پیچیده‌تر باشد پارامترهای بیشتری بر روی آن تأثیرگذار هستند، رواناب نیز تحت تأثیر عوامل مختلف بوده و نسبت به دیگر مؤلفه‌های بیلان برای محاسبه نیاز به پارامترهای بیشتر دارد.

اگر CSS برای پارامتری کمتر از ۱٪ مقدار بیشترین CSS باشد، فرآیند بهینه‌سازی برای محاسبه آن پارامتر با مشکل مواجه خواهد شد. در چنین شرایطی بهتر است به‌جای تخمین پارامتر در فرآیند بهینه‌سازی مقادیر اولیه پارامتر در مدل استفاده شود (Hill and Tiedeman, 2006). در این پژوهش پس از مشخص شدن میزان اهمیت پارامترها، واسنجی خودکار توسط نرم‌افزار PEST برای پارامترهایی که در درجه اول اهمیت قرار داشتند انجام گرفت. جدول ۲ دامنه نهایی و مقدار متوسط هر یک از پارامترها را پس از واسنجی دستی و خودکار مدل نشان می‌دهد.

Table 2- Finalized parameters of PRMS

جدول ۲- پارامترهای نهایی مدل PRMS

Parameter	Min	Max	Mean
tmax_lape	0	5	3
tmin_lape	0	5	3
tmax_allsnow	34.67	34.67	34.67
potet_sublim	0.42	0.42	0.42
jh_coef	0.004	0.014	0.01
covden_win	0.02	0.26	0.08
covden_sum	0.13	0.28	0.19
wrain_intcp	0.007	0.04	0.015
srain_intcp	0.01	0.06	0.02
pref_flow_den	1E-08	0.183	0.003
smidx_exp	0.365	0.365	0.365
smidx_coef	0.000002	0.004	0.00018
soil_moist_max	1.38	8.00	3.71
soil_rechr_max	0.94	4.25	1.84
slowcoef_lin	0.00004	0.01	0.004
slowcoef_sq	0.00001	0.0001	0.00002
ssr2gw_rate	0.01	0.07	0.05
ssr2gw_ex	1.00	1.00	1.00
soil2gw_max	0.10	1.50	0.79
gwflow_coef	1.00E-11	1.00E-11	1.00E-11

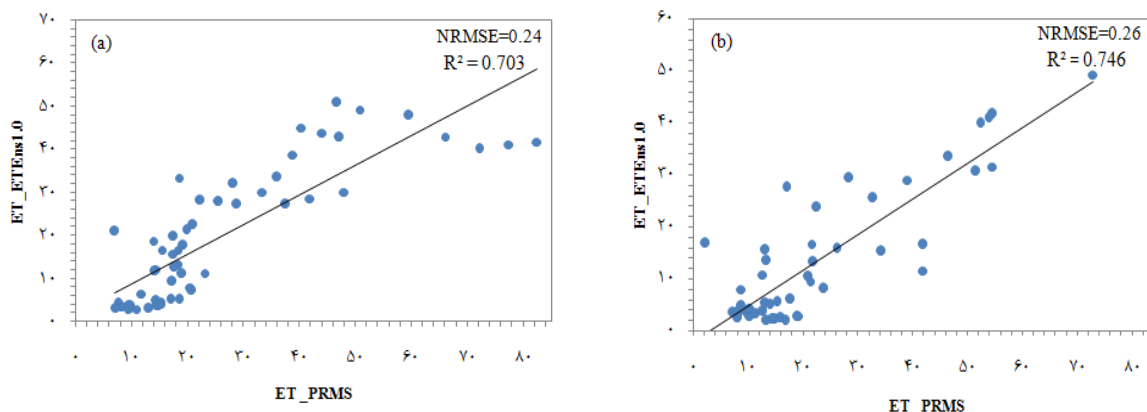


Fig. 4- Comparison between Monthly evapotranspiration in PRMS and ETEns1.0 in (a) calibration (b) validation

شکل ۴- مقایسه تبخیر و تعرق ماهانه در PRMS و ETEns1.0 در مرحله (الف) واسنجی، (ب) صحت‌سنجی

۳-۳- تغذیه آب زیرزمینی

از آنجایی که مدل PRMS برای دو مؤلفه بیلان آب در حوضه نیشابور یعنی تبخیر و تعرق و رواناب با دقت مناسبی واسنجی شده است، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که شبیه‌سازی مؤلفه دیگر بیلان یعنی تغذیه آب‌های زیرزمینی دارای صحت مطلوبی می‌باشد. توزیع مکانی تغذیه شبیه‌سازی شده در حوضه نیشابور در شکل ۶ نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان تغذیه در سطح حوضه آبریز از صفر تا ۴۵۶ میلی‌متر در سال متغیر است. متوسط تغذیه در کل منطقه ۴۸ میلی‌متر در سال می‌باشد. مقدار تغذیه در مناطق کوهستانی به دلیل شیب زیاد منطقه ناچیز بوده و آب نفوذ کرده در خاک در جهت شیب زمین به‌صورت جریان زیر سطحی حرکت نموده و با رسیدن به دشت و کم شدن شیب به دلیل درشت دانه بودن خاک در مخروط افکنه‌ها، وارد آبخوان می‌گردد. مقدار تغذیه در بخش میانی حوضه (دشت) که شامل آبخوان می‌باشد بیشتر از مناطق دیگر و سالانه در حدود ۱۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.

مرز محدوده آبخوان در شکل ۶ مشخص شده است. با مقایسه الگوی اراضی فاریاب موجود در شکل ۱ و توزیع مکانی تغذیه در شکل ۶ می‌توان دریافت که آب بازگشتی حاصل از کشاورزی نقش قابل توجهی در تغذیه آبخوان در منطقه دارد، چرا که اغلب چاه‌های برداشت از آب زیرزمینی در این منطقه قرار دارند. به‌طور کلی در حوضه نیشابور قسمت عمده تغذیه در مناطق با کاربری اراضی زراعت آبی و همچنین مخروط افکنه‌ها (بخشی از حوضه که در مرز کوه و دشت و در محدوده آبخوان قرار دارد) اتفاق افتاده است و مقادیر بیشینه تغذیه در مناطق فاریابی اتفاق افتاده است که بر اساس توپوگرافی و شبکه آبراهه‌ای در مخروط افکنه‌ها قرار دارند.

شکل ۵ رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ماهانه و مجموع بارندگی و آبیاری در بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری را برای کل دوره مدل‌سازی (واسنجی و صحت‌سنجی) نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود روند تغییرات رواناب در کلیه ایستگاه‌ها به خوبی شبیه‌سازی گردیده است؛ اما در ایستگاه‌های خرومجموع (شکل ۵-ب) و اندرآب (شکل ۵-الف) مقدار بیشینه جریان در برخی سال‌ها (سال‌های ۸۱، ۸۳ و ۸۵) کمتر از مقدار واقعی برآورد گردیده است که این امر به دلیل کوهستانی بودن بالادست این ایستگاه‌ها و تغییر میزان بارندگی با ارتفاع و حساسیت قابل توجه مدل به مقدار پارامتر مربوط به جریان ترجیحی (pref_flo_den) می‌باشد. نتایج ارزیابی کارایی مدل PRMS در شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول ۳ آورده شده است.

اگر شاخص NSE^{17} در بازه (۱-۰/۷۵) باشد مدل بسیار عالی، در بازه (۰/۶۵-۰/۷۵) خوب، در بازه (۰/۵۰-۰/۶۵) قابل قبول و در بازه (۰-۰/۵۰) نتایج مدل غیرقابل قبول می‌باشد (Moriasi et al., 2007). از بین سه ایستگاه هیدرومتری مورد بررسی بهترین نتایج NSE در ایستگاه خرومجموع مشاهده شده است. بالادست ایستگاه خرومجموع کوهستانی بوده و تغییرات انسانی طی زمان در این منطقه نسبت به بالادست ایستگاه‌های اندر آب و حسین‌آباد کمتر اتفاق افتاده، بنابراین شبیه‌سازی جریان در این منطقه با دقت بیشتری انجام گرفته است. به‌طور کلی با توجه به قابل قبول بودن معیار NSE و مطلوب بودن مقادیر معیارهای $NRMSE^{18}$ و R^2^{19} در برآورد رواناب در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین مطلوب بودن نتایج برآورد تبخیر و تعرق ماهانه می‌توان نتیجه گرفت که مدل PRMS توانایی شبیه‌سازی هیدرولوژیک در حوضه آبریز نیشابور را دارا می‌باشد.

این مقدار متوسط تغذیه در دامنه تغذیه برآورد شده برای آبخوان نیشابور در تحقیقات Ahmadi et al. (2012) (سالانه ۲۲۸-۳۵۴ میلیون مترمکعب) و Izady et al. (2015) (سالانه ۳۹۰ میلیون مترمکعب) قرار دارد.

طبق مدل‌سازی انجام‌گرفته در مدل PRMS، متوسط حجم سالانه آبی که در محدوده آبخوان دشت نیشابور به مخزن آب زیرزمینی وارد می‌شود برابر ۲۹۵ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است.

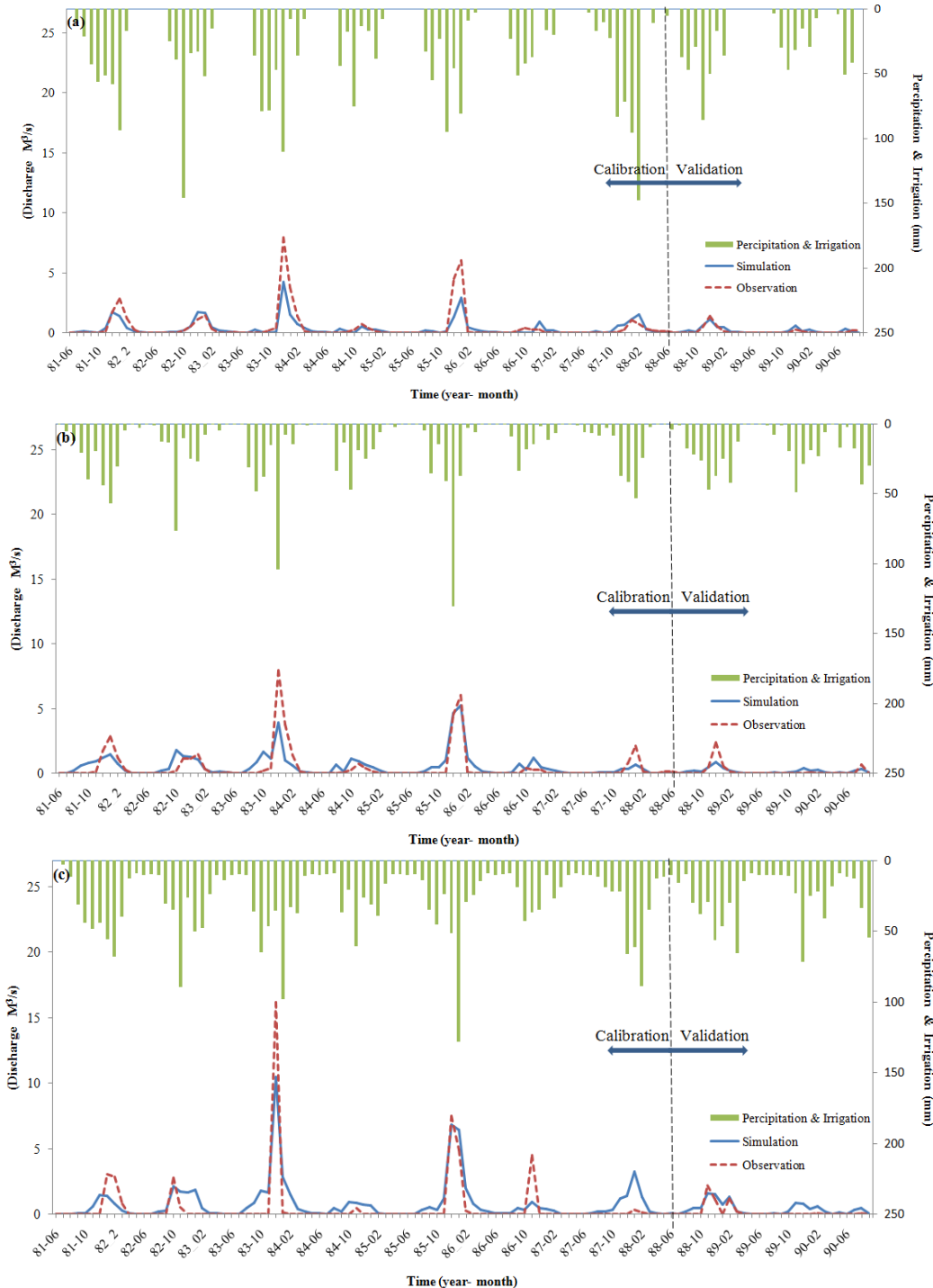


Fig. 5- Observed and simulated runoff and sum of precipitation and irrigation in upstream of (a) AndarAb, (b) Kharve and (c) Hossein Abad stations

شکل ۵- رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی، مجموع بارندگی و آبیاری در بالادست ایستگاه اندراب (الف)، خرومجمع (ب) و حسین‌آباد (ج)

Table 3- Statistical criteria of model in calibration and validation

Station	Calibration			Validation		
	NRMSE%	NSE	R ²	NRMSE%	NSE	R ²
Andar Ab	9.4	0.67	0.68	9.8	0.50	0.69
Kharve	9.3	0.67	0.82	4.1	0.75	0.79
Hossein Abad	6.9	0.72	0.74	2.3	0.51	0.64

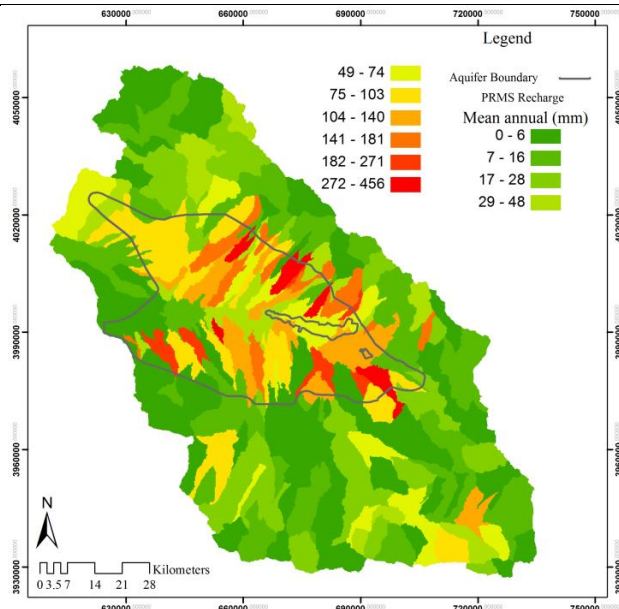


Fig. 6- Mean annual recharge in Neishaboor watershed (mm)
 شکل ۶- متوسط سالانه تغذیه در حوضه آبریز نیشابور (میلیمتر)

تغذیه در منطقه تاثیر گذار هستند.

شکل ۷ نشان می‌دهد که تغذیه در منطقه در بین ماه‌های آبان تا اردیبهشت اتفاق می‌افتد و بیشینه مقدار آن در ماه‌های دی و بهمن بوده است. در این ماه‌های سال علاوه بر وجود بارش قابل توجه، ناحیه خاک مرطوب می‌باشد، بنابراین امکان انتقال جریان به مخزن آب زیرزمینی نیز فراهم می‌باشد. درصدی از بارش و آبیاری که تبدیل به تغذیه می‌شود به طور متوسط ۱۳٪ می‌باشد. اما این مقدار در سال‌های مختلف بسته به مقدار بارندگی متغیر می‌باشد به طوری که در سال آبی ۸۵-۸۶ (ترسالی-مجموع بارش در سال آبی ۳۲۹ mm) حدود ۲۰٪ و در سال آبی ۸۴-۸۵ (خشکسالی-مجموع بارش در سال آبی ۱۸۰ mm) تنها ۷٪ بوده است. جدول ۴ تفکیک مؤلفه‌های بیلان را برای سال‌های آبی مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۴ نشان می‌دهد که تبخیر و تفرق مؤلفه اصلی بیلان در منطقه محسوب می‌گردد (به طور متوسط ۸۷٪ مجموع بارندگی و آبیاری). حساسیت بالای مدل PRMS به پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تفرق را می‌توان به دلیل نقش اساسی تبخیر و تفرق در بیلان منطقه دانست.

متفاوت بودن حجم تغذیه سالانه برآورد شده در تحقیقات مختلف به دلیل متفاوت بودن ماهیت فیزیکی روش‌های مورد استفاده در هر یک از تحقیقات و همچنین داده‌های مورد استفاده در این روش‌ها می‌باشد. اما در کل تغذیه سالانه محاسبه شده در این پژوهش در محدوده ارقام ارائه شده در تحقیقات گذشته می‌باشد.

متوسط تغییرات ماهانه هر یک از مؤلفه‌های بیلان برای کل منطقه در (شکل ۷) نمایش داده شده است. در این شکل کلیه مؤلفه‌های بیلان دارای الگویی شبیه تغییرات فصلی بارندگی می‌باشند، اما ذخیره‌سازی آب در ناحیه خاک سبب گردیده که نوسانات تغذیه و تبخیر و تفرق نسبت به بارندگی با یک تأخیر زمانی همراه باشند. رطوبت ذخیره شده در خاک با توجه به خصوصیات خاک و تبخیر و تفرق پتانسیل در منطقه، با یک تأخیر زمانی تبخیر تفرق (واقعی) می‌شود و یا در خاک نفوذ عمقی می‌کند. در واقع تبخیر تفرق واقعی بر میزان تغذیه آبخوان تاثیر بسزایی دارد. (Markstrom et al. 2016). نیز در تحقیق خود عنوان کرده‌اند که در مدل PRMS پارامترهایی که از نظر فیزیکی به تبخیر و تفرق مربوط می‌باشند در نهایت بر روی میزان

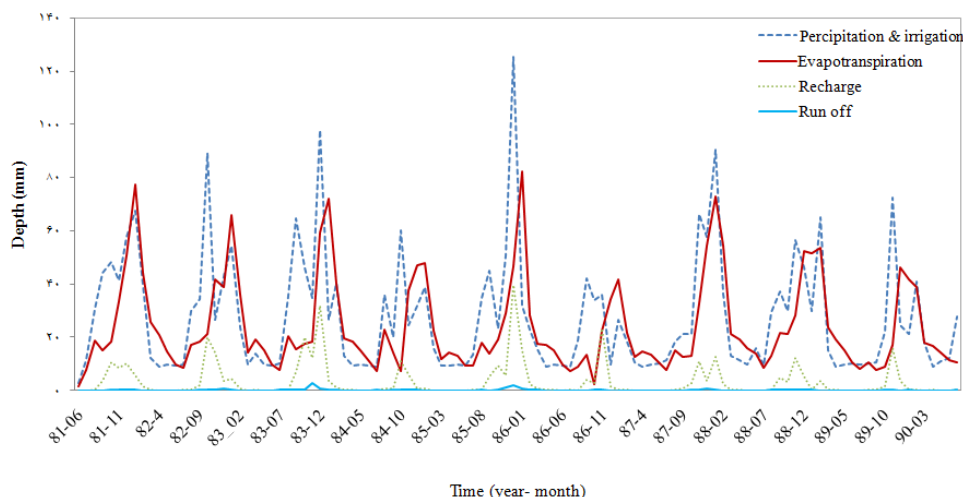


Fig. 7- Mean annual values for sum of precipitation and irrigation, evapotranspiration, recharge, and runoff

شکل ۷- متوسط ماهانه مجموع بارندگی و آبیاری، تبخیر و تعرق، تغذیه و رواناب

Table 4- Simulated components of the annual water balance by PRMS

جدول ۴- مؤلفه‌های بیلان سالانه شبیه‌سازی شده توسط مدل PRMS

Year	Precipitation & Irrigation (mm)	Evapotranspiration (%)	Recharge (%)	Runoff (%)	Storage changes (%)
81-82	376	87.30	12.00	0.30	0.30
82-83	355	86.28	13.01	0.64	0.07
83-84	400	78.86	19.43	1.52	0.19
84-85	276	93.20	7.35	0.46	-1.01
85-86	392	77.93	20.32	1.36	0.39
86-87	236	86.11	13.99	0.22	-0.32
87-88	369	89.61	9.43	0.55	0.41
88-89	355	90.84	8.66	0.57	-0.07
89-90	355	91.10	8.70	0.29	-0.10
Mean annual	346	87	12.5	0.66	-0.16

رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری خرومجموع، اندرآب و حسین‌آباد جنگل انجام گرفت. واسنجی چندگانه مدل بر اساس تبخیر و تعرق واقعی و جریان رودخانه در چند ایستگاه هیدرومتری در سطح حوضه سبب گردیده که صحت تغذیه شبیه‌سازی شده توسط مدل PRMS افزایش پیدا کند.

نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان داد که پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق (jh_coef) و میزان آب در خاک (soil_moist_mas) و soil_rechr_max کنترل‌کننده مقدار تبخیر و تعرق و تغذیه در منطقه می‌باشند. به دلیل پیچیدگی فرآیند شبیه‌سازی رواناب نسبت به دیگر مؤلفه‌های بیلان و تأثیر عوامل مختلف بر رواناب علاوه بر دو پارامتر ذکر شده، میزان رواناب به پارامترهای دخیل در جریان ترجیحی (pref_flo_den) و سطح مشارکت کننده در رواناب (smidx_exp) نیز حساس می‌باشد. در کل تحلیل حساسیت مدل کمک بسزایی در

در سال‌هایی خشک (به عنوان مثال ۸۴-۸۵) میزان تغذیه کم و تغییرات رطوبتی در منطقه منفی بوده است در حالی که در سال‌های مرطوب (به عنوان مثال ۸۵-۸۶) میزان ذخیره رطوبتی در خاک افزایش یافته است. در کل مؤلفه‌های بیلان سالانه محاسبه شده توسط مدل PRMS (جدول ۴) در محدوده معقولی برای حوضه آبریز نیشابور قرار داشته و با نتایج تحقیقات گذشته (Ahmadi et al., 2015; Alizadeh et al., 2013) همخوانی دارد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این مطالعه از سیستم شبیه‌سازی بارش-رواناب PRMS برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوضه آبریز نیشابور و مشخص کردن توزیع هر یک مؤلفه‌های بیلان استفاده شده است. واسنجی مدل PRMS با توجه به داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق واقعی ETEns1.0 و همچنین

۵- مراجع

- Ahmadi T, Ziaei AN, Davari K, Rasoulzadeh A, Faridhoseini A, Izadi A (2012) Estimation of groundwater recharge using various methods in Neishaboer Plain, Iran. in, 5th international groundwater symposium, Kuwait
- Ahmadi T, Ziaei AN, Rasoulzadeh A, Davary K, Esmaili K, Izady A (2015) Mapping groundwater recharge areas using CRD and RIB methods in the semi-arid Neishaboer Plain, Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 8(5):2921-2935
- Alizadeh A, Izadi A, Davari K, Ziaei AN, Akhavan S, Shafiee M (2013) Estimation of actual evapotranspiration at regional–annual scale using SWAT. *International SWAT conference: July 15-19, Toulous France*, 1-14
- Barth C, Krause P, Boyle D, Markstrom S (2007) Hydrological modeling of a groundwater dominated watershed using a loosely coupled modeling approach. in, *International Congress on Modelling and Simulation, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc.* pp.601-607
- Cherkauer DS (2004) Quantifying ground water recharge at multiple scales using PRMS and GIS. *Ground Water* 42(1):97-110
- Ely DM (2006) Analysis of sensitivity of simulated recharge to selected parameters for seven watersheds modeled using the precipitation-runoff modeling system. *US Geological Survey Scientific Investigations Report, 2006-5041* pp. 21
- Fang L, Liu C, Qin G, Zhang B, Liu T (2015) Application of the PRMS model in the Zhenjianguan watershed in the Upper Minjiang River basin. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 368:209-214
- Fulton JW, Risser DW, Regan RS, Walker JF, Hunt RJ, Niswonger RG, Hoffman SA, Markstrom S (2015) Water-budgets and recharge-area simulations for the Spring Creek and Nittany Creek Basins and parts of the Spruce Creek Basin. *Centre and Huntingdon Counties, Pennsylvania, Water Years 2000–06*, US Geological Survey
- Hay LE, Leavesley GH, Clark MP, Markstrom SL, Viger RJ, Umemoto M (2006) Step wise, multiple objective calibration of a hydrologic model for a snowmelt dominated basin. *Wiley Online Library*
- Hill MC (1998) *Methods and guidelines for effective model calibration* US Geological Survey Denver, CO, USA
- Hill MC, Tiedeman CR (2006) *Effective groundwater model calibration: with analysis of data, sensitivities, predictions, and uncertainty*. John Wiley & Sons

شناسایی پارامترهای مؤثر و واسنجی خودکار مدل توسط نرم‌افزار PEST داشت.

توزیع مکانی تغذیه محاسبه شده توسط نرم‌افزار PRMS نشان می‌دهد که بیشترین تغذیه اغلب در مخروط افکنه‌ها با خاک نسبتاً درشت‌دانه اتفاق می‌افتد. علاوه بر مخروط افکنه‌ها آب بازگشتی حاصل از کشاورزی از دیگر منابع تغذیه آبخوان می‌باشد. این دو منبع تغذیه سبب گردیده سالانه به‌طور متوسط ۲۹۵ میلیون مترمکعب آب به‌صورت تغذیه وارد آبخوان دشت نیشابور (تنها در محدوده آبخوان) گردد. تغذیه از نظر زمانی در فصول پر بارش (آبان تا اردیبهشت) رخ می‌دهد و در فصول خشک به دلیل بالا بودن تبخیر و تعرق پتانسیل و کمبود رطوبت خاک میزان تغذیه بسیار ناچیز می‌باشد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تغذیه محاسبه شده توسط مدل PRMS از نظر زمانی و مکانی دارای صحت مطلوبی می‌باشد و می‌تواند برای تغذیه مدل‌های عددی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار بگیرد. اغلب مدل‌های عددی آب زیرزمینی نیازمند داده توزیعی تغذیه می‌باشند و از آنجا که این داده موجود نمی‌باشد، در بسیاری موارد تغذیه به‌عنوان یک پارامتر، واسنجی می‌شود. استفاده از مدل توزیعی PRMS امکان برآورد مقادیر تغذیه در مقیاس مکانی و زمانی مناسب را فراهم ساخته است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از خروجی مدل PRMS به عنوان تغذیه مدل‌های آب زیرزمینی استفاده شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Process Based
- 2-Precipitation-Runoff Modeling System
- 3-Deep Percolation Model
- 4-Yakima River Basin Aquifer System, Washington
- 5-Deterministic
- 6-Distributed
- 7-Hydrologic Response Units (HRU)
- 8-Composite Scaled Sensitivities
- 9-Water Accounting Group of UNESCO-IHE
- 10- Atmosphere-Land Exchange Inversion Model
- 11-CSIRO MODIS Reflectance Scaling Actual ET
- 12-Operational Simplified Surface Energy Balance
- 13-Surface Energy Balance System
- 14-MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16)
- 15-Hybrid Remotely Sensed Eta Estimation Model
- 16-Global Land Evaporation Amsterdam Model
- 17-Nash-Sutcliffe Efficiency
- 18-Normalized Root Mean Square Error
- 19- Coefficient of Determination

- Mountain Watershed in a Temperate Humid Climate, New Hampshire, USA. *Ground Water* 35(2):291-304
- Mazi K, Koussis A, Restrepo P, Koutsoyiannis D (2004) A groundwater-based, objective-heuristic parameter optimisation method for a precipitation-runoff model and its application to a semi-arid basin. *Journal of Hydrology* 290(3):243-258
- Moazenzadeh R, Ghahraman B, Arshad S, Davary K (2016) Improving watershed modeling with aggregation of the main hydrological components in SWAT model. *Iran-Water Resources Research* 12(3):65-79 (In Persian)
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* 50(3):885-900
- Qi S, Sun G, Wang Y, McNulty S, Myers JM (2009) Streamflow response to climate and landuse changes in a coastal watershed in North Carolina. *Transactions of the ASABE* 52(3):739-749
- Salvettia A, Rufb W, Burlandob P, Juonb U, Lehmannb C (2002) Hydrotope-based river flow simulation in a Swiss Alpine Catchment Accounting for topographic, micro-climatic and landuse controls. *Forest* 25(17.1):17.7
- Simunek J, Sejna M, Van Genuchten MT (1996) HYDRUS-2D: Simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media. International Groundwater Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado
- Vaccaro JJ, Olsen TD (2007) Estimates of ground-water Rrecharge to the Yakima River Basin aquifer system, Washington, for predevelopment and current land-use and land-cover conditions US Department of the Interior. US Geological Survey
- Xu Y, Beekman HE (2003) Groundwater recharge estimation in Southern Africa UNESCO IHP Series. Paris UNESCO, pp.207
- Zhai Y, Wang J, Teng Y, Zuo R (2013) Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater evolution and recharge in aquifers in Beijing Plain, China. *Environmental Earth Sciences* 69(7):2167-2177
- Hunt RJ, Westenbroek SM, Walker JF, Selbig WR, Regan RS, Leaf AT, Saad DA (2016) Simulation of climate change effects on streamflow, groundwater, and stream temperature using GSFLOW and SNTMP in the Black Earth Creek Watershed, Wisconsin. Scientific Investigations ReportReston, VA.pp.1-117
- Iran Ministry of Energy (2010) Report of extended ban on the exploitation of groundwater resources development - Neishaboor Plain. pp.69 (In Persian)
- Izady A, Davary K, Alizadeh A, Ziaei A, Akhavan S, Alipoor A, Joodavi A, Brusseau M (2015) Groundwater conceptualization and modeling using distributed SWAT-based recharge for the semi-arid agricultural Neishaboor plain, Iran. *Hydrogeology Journal* 23(1):47-68
- Lake C (2013) Simulation of climate-change effects on streamflow, lake water budgets, and stream temperature using GSFLOW and SNTMP, Trout Lake Watershed, Wisconsin
- Lappala EG, Healy RW, Weeks EP (1987) Documentation of computer program VS2D to solve the equations of fluid flow in variably saturated porous media. Department of the Interior, US Geological Survey
- Leavesley GH, Lichty R, Thoutman B, Saindon L (1983) Precipitation-runoff modeling system: User's manual USGS Washington, DC
- Markstrom SL, Niswonger RG, Regan RS, Prudic DE, Barlow PM (2008) GSFLOW-Coupled Ground-water and Surface-water FLOW model based on the integration of the Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) and the Modular Ground-Water Flow Model (MODFLOW-2005). US Geological Survey techniques and methodspp.240
- Markstrom SL, Regan RS, Hay LE, Viger RJ, Webb RM, Payn RA, LaFontaine JH (2015) PRMS-IV, the precipitation-runoff modeling system, version 4. US Geological Survey techniques and methods:6-B7
- Markstrom SL, Hay LE, Clark MP (2016) Towards simplification of hydrologic modeling: identification of dominant processes. *Hydrology and Earth System Sciences* 20(11):4655
- Mau DP, Winter TC (1997) Estimating Ground-Water Recharge from Streamflow Hydrographs for a Small