



Evaluation of DWB Model and Its Modified Version on Estimation of Annual Water Balance Components of Watershed (Case Study: Neyshabur and Rokh Watershed)

S. Emamifar¹, K. Davari^{2*}, H. Ansari²,
B. Ghahreman², S.M. Hosseini³ and M. Nasser⁴

Abstract

The main purpose of this study was to implement, evaluate and modify the Dynamic Water Balance model (DWB) considering the proportional coefficients, like hydrological reality-based constraints, and implement the withdrawal of groundwater and surface water resources along with calibration and uncertainty analysis of its parameter. Based on the results and principal of equifinality, it is clear that a unique best set of optimal parameters of SDDWB and DWB models cannot be achieved in general, and often the models' parameters in the selected study areas to test (Neyshabur and Rokh watersheds) had similar effect on the simulated water balance. The average total amount of surface water balance error in DWB model for Neyshabur and Rokh watersheds were respectively -9.74 and -69.63 m³ which represented the poor performance of the model. There was a significant difference between the simulated and observed aquifer volume changes for which the main reason was that the effects of groundwater withdrawals were not employed in the model. Reviewing the performance results showed that the relative PRMSE index of the SDDWB model for both study areas were less than 10 percent, indicating the acceptable accuracy of the SDDWB model. In general, the results depicted that the overall error rate of surface and groundwater discharge equation components in SDDWB model were much lower than the DWB model which indicated the positive effects of its modification and development versus its original structure, DWB model.

Keywords: Water Balance, Proportionality Coefficient, SDDWB, Uncertainty.

Received: April 13, 2017

Accepted: November 3, 2017

ارزیابی مدل DWB و اصلاح آن برای برآورد مؤلفه‌های بیان آب در مقیاس سال-حوضه (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور)

سعید امامی فر^۱، کامران داوری^{۲*}، حسین انصاری^۲،
بیژن قهرمان^۲، سید محمود حسینی^۳ و محسن نصری^۴

چکیده

هدف اصلی از پژوهش حاضر استفاده، ارزیابی و توسعه مدل دینامیکی بیان آب «DWB» با کاربست ضرایب تناسبی و اعمال میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به همراه واسنجی و تحلیل عدم قطعیت پارامترهای آن، نتایج گویای این واقعیت است که به طور کلی نمی‌توان یک مجموعه پارامتر بهینه برای واسنجی مدل DWB و شکل اصلاح شده آن، SDDWB، به دست آورد و اغلب پارامترهای این مدل‌ها برای دو محدوده مطالعاتی (رخ و نیشابور) در واسنجی مدل از قابلیت تشخیص‌پذیری پایینی برخوردار بودند. مقدار متوسط خطای کلی بیان سطحی مدل DWB، بیانگر عملکرد ضعیف مدل بوده و بین مقادیر تغییرات حجم آبخوان محاسباتی و مشاهداتی اختلاف معنی‌دار وجود داشت که شاید دلیل اصلی آن عدم اعمال اثرات برداشت از منابع آب زیرزمینی در مدل DWB بوده است. بررسی نتایج عملکرد مدل SDDWB نشان داد که مقدار نسبی شاخص‌های PRMSE برای هر دو محدوده مطالعاتی، کمتر از ۱۰ درصد برآورد شده که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل SDDWB است. بطور کلی نتایج بیانگر کمتر بودن مقدار خطای کلی تخمین مؤلفه‌های معادله‌ی بیان آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل SDDWB در مقایسه با مدل DWB است و این امر بیانگر تأثیر مثبت اصلاحات و توسعه صورت گرفته روی مدل DWB است.

کلمات کلیدی: بیان آب، ضرایب تناسبی، SDDWB، عدم قطعیت.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۸/۱۲

1- Ph.D. Student in Irrigation and Drainage, 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, Iran. Email: k.Davary@um.ac.ir.

3- Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

4-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, College of Engineering Faculties, Tehran University, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۴- استادیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

اثرات میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به منظور مصارف کشاورزی، به عنوان یکی از منابع اصلی آب در دسترس برای تبخیر-تعرق و در نتیجه مدل‌سازی و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس حوضه آبریز و در قالب مقیاس زمانی سالانه است. موضوع مهم دیگر، تغییرپذیری عواملی مانند بارندگی و خصوصیات حوضه آبریز است که تأثیر معناداری بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه خواهد گذاشت. این امر سبب شده تا محققین مختلف تأکید بر اعمال خصوصیات حوضه آبریز از قبیل تأثیر کاربری و پوشش اراضی و به نوعی به نقش پوشش گیاهی و نوع آن بر رواناب (Melesse and Shih, 2002; Wang et al., 2008; Rimal and Lal, 2009; Mohammad and Adam, 2010)، عمق مؤثر در نگهداشت رطوبت لایه سطحی خاک برای تبخیر-تعرق (Emamifar et al., 2016 a)، تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر تبخیر-تعرق واقعی (Allen et al., 1998; Liu et al., 2003) و همچنین اعمال و استفاده از مفهوم نواحی مؤثر مشارکت کننده در ایجاد رواناب مستقیم (Dunne and Black, 1970; Portoghesi et al., 2005;) (Razavi, 2013) داشته باشند. بر این اساس با در نظر گرفتن رویکرد ارائه شده در مدل DWB می‌توان یک مدل بیلان آب با قابلیت بکارگیری ضرایب تناسبی در جهت اعمال خصوصیات مبتنی بر واقعیت‌های هیدرولوژیکی حاکم بر حوضه آبریز را توسعه داد. در واقع برای مدل‌سازی بیلان آب، می‌توان بر اساس اطلاعات و داده‌هایی از قبیل داده‌های هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، اطلاعات فیزیوگرافی که معمولاً برای نواحی جغرافیایی مختلف نیز در دسترس است (اطلاعاتی که به راحتی در دسترس قرار می‌گیرند)، ضرایب تصحیحی که مبتنی بر خصوصیات و واقعیت‌های حاکم بر حوضه آبریز بوده و به نوعی دارای مبنای «قیاسی/تناسبی» برای بیان ویژگی‌های مؤلفه‌های بیلان آب در بخش‌های مختلف حوضه نسبت به یکدیگر هستند، استخراج کرده و به منظور تدقیق مدل‌سازی بیلان آب در مقیاس حوضه آبریز، استفاده نمود. لذا از دیگر اهداف پژوهش حاضر، اعمال ضرایب تصحیح/تناسبی در مدل بیلان آبی DWB به منظور اعمال منطق حاکم بر اندرکنش بین مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس حوضه‌های آبریز، است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه، اطلاعات و داده‌ها

محدوده‌های مطالعاتی رخ (با مساحت ۲۰۶۱/۸ کیلومتر مربع) و نیشابور (با مساحت ۷۳۸۷/۶ کیلومتر مربع) که به ترتیب در طول جغرافیایی بین ۵۸° ۳۴' تا ۵۹° ۳۵' و ۵۸° ۳۰' تا ۵۹° ۳۰' درجه شرقی و عرض

فهم درست و درک دقیق از مقوله بیلان آب دارای اهمیت بسیاری در مطالعات هیدرولوژیک و منابع آب است. با این پیش فرض، می‌توان تدوین صحیح بیلان آبی را یکی از اصلی‌ترین و مقدماتی‌ترین اقدامات در فرآیند مدیریت درست منابع آب، بخصوص در نواحی خشک دانست. در این راستا مشکلاتی از قبیل کمبود اطلاعات به علت نبود تجهیزات پایش و اندازه‌گیری کافی (مکانی-زمانی)، مشکل بودن اندازه‌گیری برخی از مؤلفه‌های بیلان آب در سطح حوضه و وجود خطا در اطلاعات مربوط به عوامل قابل اندازه‌گیری به علت تغییرات شدید آن‌ها مانع از برآورد دقیق اجزای بیلان آب می‌شود (Khazaei and Hosseini, 2015). همچنین زمان‌بر بودن محاسبه بیلان به دلیل ضرورت توجه به همجواری حوضه‌های آبریز و در نتیجه اتصال بیلان آن‌ها به یکدیگر از دیگر مشکلات موجود در این زمینه است. در این راستا مدل‌ها و روش‌های مختلفی تحت عنوان مدل‌های بیلان برای محاسبه مؤلفه‌های بیلان منابع آب، ارائه شده که در این میان، چارچوب ارائه شده به وسیله Zhang et al. (2008) از بین سایر ساختارهای محاسبه بیلان آب، از اهمیت خاصی برخوردار بوده و مورد توجه قرار گرفته است. این مدل به نام "DWB¹" و مبتنی بر چارچوب ارائه شده توسط Budyko (1974) است که از آن به منظور مدل‌سازی رواناب در مقیاس حوضه آبریز و همچنین بررسی اثر پوشش گیاهی بر تغییرات رواناب برای مقیاس‌های زمانی مختلف (روزانه، ماهانه و سالانه) استفاده شده است (Fang, 2009; Tekleab et al., 2011; Rahnama et al., 2012; Emamifar et al., 2016). در ساختار مدل DWB میزان ذخیره رطوبتی لایه سطحی خاک ناشی از بارندگی، به عنوان منابع آب در دسترس برای تبخیر-تعرق مد نظر قرار گرفته، اما به مقدار آب برداشت شده از منابع آب سطحی و زیرزمینی به عنوان یکی دیگر از منابع اصلی آب قابل عرضه برای تبخیر-تعرق واقعی (به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک)، توجه نشده است. در واقع میزان آب در دسترس برای تبخیر-تعرق "بخصوص در نواحی خشک و نیمه خشک"، علاوه بر بارندگی شامل آب برداشته شده از آبخوان برای مصارف آبیاری است (Bromley et al., 1997; Domingo et al., 2001; Weiskel et al., 2007) و این اثرگذاری به نوعی است که بیلان آبی بصورت مستقیم تحت تأثیر میزان برداشت به منظور آبیاری است (Han and Hu, 2012; Grave et al., 2016; Mianabadi et al., 2016). در جهت تأیید این اهمیت است که Jackson et al. (2001) حدود نیمی از آب مورد استفاده به منظور مصارف آبیاری را تلفات تبخیر-تعرق می‌دانند. بر این اساس، یکی از اهداف اصلی پژوهش حاضر، اصلاح مدل DWB از طریق اعمال

متر مکعب)، ΔL_{An} تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی (بر حسب متر)، S_y آبدهی ویژه آبخوان و A مساحت آبخوان است. مساحت آبخوان محدوده‌های مطالعاتی رخ و نیشابور به ترتیب $837/7$ و $2902/6$ کیلومتر مربع است. به منظور تخمین مقدار پارامتر S_y از مقدار $0/102$ بر اساس مطالعه Izadi (2012) که بر اساس روش میانگین وزنی از منحنی‌های هم مقدار S_y در محدوده مطالعاتی نیشابور به دست آمده، برای هر دو محدوده مطالعاتی استفاده شده است. همچنین میزان تبادل جریان زیرزمینی ورودی و خروجی محدوده مطالعاتی رخ با محدوده‌های مجاور آن صفر است ولی مهمترین محل خروجی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی نیشابور مربوط به ناحیه حسین آباد جنگل (واقع در غرب دشت این محدوده) است که به محدوده مطالعاتی عطائیه وارد می‌شود. به منظور بهره‌گیری از اطلاعات حجم جریان زیرزمینی خروجی از محدوده مطالعاتی نیشابور در تعیین بیلان آب زیرزمینی برای سال‌های مختلف، از اطلاعات مطالعه ایزدی (2012) Izadi استفاده شد. نقشه‌هایی مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های مربوط به کاربری اراضی، زمین‌شناسی، توپوگرافی «با سلول‌های با ابعاد $28/2 \times 28/2$ متر»، محدوده‌های تفکیک شده کوه و دشت و همچنین شبکه آبراهه‌ها (مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی $SRTM^2$) است که از سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت شده است.

جغرافیایی و $35' 30''$ تا $36' 39''$ درجه شمالی واقع شده‌اند، جهت مدل‌سازی بیلان آب و ارزیابی مدل مورد نظر، استفاده شده‌اند. با بررسی‌های صورت گرفته ۱۹ ایستگاه بارانسنجی، ۷ ایستگاه تبخیرسنجی و ۲ ایستگاه سینوپتیک در اطراف و داخل محدوده‌های مطالعاتی شناسایی و انتخاب شدند (شکل ۱). در محدوده مطالعاتی رخ هیچگونه ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد، ولی در محدوده مطالعاتی نیشابور ۹ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که ۷ ایستگاه در ارتفاعات شمالی و ۲ ایستگاه در محدوده‌ی دشت قرار دارد (Khorasan Razavi Regional Water Com., 2011) که از بین آن‌ها، از داده‌های آبدهی ثبت شده در ایستگاه حسین آباد به عنوان مقادیر خروجی واقعی از محدوده مطالعاتی نیشابور، بررسی و بهره گرفته شده است (شکل ۱).

اطلاعات مربوط به تغییرات تراز آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی از سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی و در دوره آماری ۸ ساله (از سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ الی ۸۹-۱۳۸۸)، تهیه و سپس از رابطه زیر به منظور برآورد تغییرات حجم آبخوان استفاده شده است (Soleimami et al., 2017):

$$\Delta G_{An} = \Delta L_{An} \times S_y \times A \quad (1)$$

در رابطه فوق، ΔG_{An} تغییرات سالانه حجم آبخوان (بر حسب میلیون

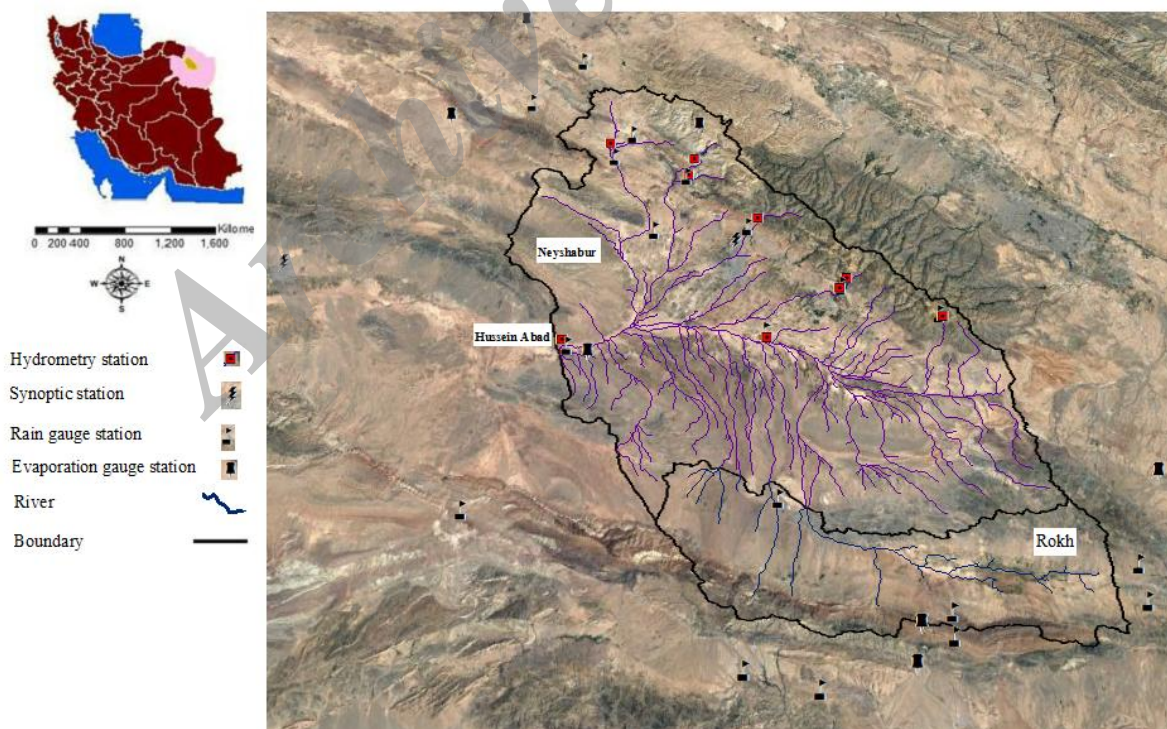


Fig. 1- Location of the study areas and distribution of meteorological and hydrometric stations

شکل ۱- موقعیت محدوده‌های مطالعاتی و وضعیت پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

همچنین اطلاعات مربوط به عمق مؤثر لایه سطحی برای تبخیر-تعرق، خصوصیات رطوبتی خاک در نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی از تحقیق Emamifar et al. (2016a) دریافت شد.

۲-۲- رویکردهای مقیاس مکانی-زمانی مدل سازی

از منظر مقیاس مکانی مدل سازی هیدرولوژیکی، روش مدل سازی توزیعی به منظور شبیه سازی بیلان سطحی و روش یکپارچه^۳ به منظور بیلان آب زیرزمینی به عنوان دو زیر سیستم متصل بهم، انتخاب شده است. بطور کلی مؤلفه های اصلی و شکل روابط بین آنها برای مدل بیلان آب سطحی و زیرزمینی در رابطه های (۲ و ۳) ارائه شده است:

$$\Delta s(t) = P(t) + I_{sg}(t) - ET(t) + \Delta Q_T(t) - R(t) + \eta_1 \quad (2)$$

$$\Delta G(t) = R(t) - I_g(t) + q_{in}(t) - q_{out}(t) + \eta_2 \quad (3)$$

در این رابطه ها پارامتر $\Delta s(t)$ تغییرات زمانی ظرفیت رطوبتی خاک در لایه سطحی (حداکثر عمق برای این لایه ۲ متر در این تحقیق)، $P(t)$ بارندگی، $ET(t)$ تبخیر-تعرق واقعی، $\Delta Q_T(t)$ تبادلات رواناب سطحی بین محدوده های مجاور (مجموع مؤلفه های جریان پایه (رواناب زیرسطحی) $(Q_b(t))$ و رواناب مستقیم $(Q_d(t))$ ، $R(t)$ میزان تغذیه، $I_{sg}(t)$ آب برداشت شده از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای مصرف آبیاری و $I_g(t)$ آب برداشت شده از منابع آب زیرزمینی برای مصرف آبیاری، η_1 جمله مغایرت مدل بیلان سطحی، $q_{out}(t)$ آب زیرزمینی خروجی از محدوده مطالعاتی، $q_{in}(t)$ آب زیرزمینی ورودی به محدوده های مطالعاتی و $\Delta G(t)$ تغییرات ذخیره آب زیرزمینی (تغییرات حجم آبخوان) و η_2 جمله مغایرت مدل بیلان آب زیرزمینی در مقیاس زمانی (سالانه در تحقیق حاضر) مورد نظر (t) هستند و همه این مؤلفه ها از نظر ابعادی دارای واحد $(\frac{L^3}{T})$ می باشند. در این راستا برای مدل سازی توزیعی، مقیاس مکانی با سلول های مربعی شکل با ابعاد ۲/۵ کیلومتر مربع برای هر دو محدوده مطالعاتی (متناظر با ۳۱۹ و ۱۱۸۵ سلول به ترتیب برای محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور)، مورد بررسی قرار گرفت. اما از نظر مقیاس زمانی، هر چند تحلیل و بررسی دقت مدل در مقیاس سالانه مد نظر است، اما گام زمانی داده های ورودی از قبیل تبخیر-تعرق پتانسیل و بارندگی به مدل، بصورت روزانه خواهد بود. در واقع با توجه به اینکه بعد وقایع بارندگی یا حتی آبیاری، لایه سطحی خاک به عنوان مخزن اصلی نگهداری رطوبت برای تأمین نیاز آبی و در نتیجه آب در دسترس گیاهان، محسوب می شود، در نتیجه در این پژوهش به منظور ردیابی تبخیر-تعرق و در نتیجه تخمین مناسب و قابل قبول از آن، گام زمانی اجرای مدل بصورت روزانه خواهد بود و نهایتاً در انتهای هر سال آبی همه مؤلفه های بیلان از مجموع آن مؤلفه برای کل پیکسل های هر محدوده مطالعاتی و در طی سال،

به دست خواهد آمد و مقدار آن به عنوان مقادیر سالانه آن مؤلفه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بطور کلی در مطالعه حاضر شکل اصلاح شده مدل DWB بدلیل رویکرد نیمه توزیعی، یک مدل نیمه توزیعی دینامیکی بیلان آب (SDDWB^۴) محسوب کرد و بر این اساس در پژوهش حاضر از عنوان SDDWB برای این مدل بهره گرفت خواهد شد.

۲-۳- ضرایب تناسبی / قیاسی

به منظور اعمال تأثیر ویژگی ها و خصوصیات مبتنی بر ضرایب تناسبی «قیود تناسبی» در سطح حوضه آبریز و در نتیجه به کارگیری آن برای توسعه مدل مورد نظر (SDDWB)، از ضریب تصحیح تفکیک نواحی مؤثر برای ایجاد رواناب (RSA^۵)، ضریب تفکیک نواحی مؤثر برای آبیاری (ISA^۶)، ضریب تصحیح نفوذپذیری سطحی (SI^۷)، ضریب تراکم پوشش گیاهی (CC^۸) و ضریب تصحیح نفوذپذیری عمقی (DP^۹) استفاده شد.

ضریب تفکیک نواحی مؤثر برای ایجاد رواناب مستقیم

(RSA): اعمال مفهوم نواحی مؤثر مشارکت کننده در ایجاد رواناب مستقیم، اجازه تفکیک و جداسازی بخش هایی از حوضه به خصوص آن قسمت از سطح حوضه که در نواحی مسطح و با فاصله دورتر از آبرهه یا زهکش حوضه آبریز واقع شده اند و عملاً در ایجاد رواناب مستقیم مؤثر نیستند، را فراهم می کند. بر این اساس برای آبراهه های واقع در نواحی دشت، آبراهه های واقع در کلاس شیب بین ۰ تا ۳ درصد، باندی به پهنای یک کیلومتر و برای نواحی با درصد شیب بیشتر از ۳ درصد، باندی به پهنای ۲ کیلومتر در هر طرف از آبراهه ها، به عنوان نواحی RSA در نظر گرفته شد (Razavi, 2013).

ضریب تصحیح نفوذپذیری سطحی (SI) و نواحی تحت

آبیاری (ISA): به منظور اعمال تأثیر نوع پوشش و کاربری اراضی موجود، بر روی میزان رواناب مستقیم از ضریب تصحیح سهم نفوذپذیری سطحی (SI)، بهره گرفته شد. برای تعیین ضریب SI، مبتنی بر نظر افراد خبره به هر کدام از کاربری های موجود در سطح محدوده های مطالعاتی، یک مقدار بین دامنه ۰ تا ۱ اختصاص داده شد. همچنین به منظور تفکیک نواحی تحت آبیاری (ISA)، به کاربری زراعت های آبی، باغی و جنگل های دست کشت کد یک و برای سایر کاربری ها کد صفر اختصاص یافت.

ضرب تصحیح تراکم پوشش گیاهی (CC): ضرب تصحیح تراکم پوشش گیاهی بر اساس نقشه کاربری اراضی و مبتنی بر نظر کارشناسی، استخراج شد و به عنوان یک ضرب تصحیح، به منظور اعمال بر مقدار عمق مؤثر لایه سطحی برای تبخیر-تعرق و همچنین تصحیح خصوصیات رطوبتی پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی، مد نظر قرار گرفت.

ضرب نفوذپذیری عمقی (DP): با استفاده از نقشه زمین‌شناسی محدوده‌های مطالعاتی، سازندهای زمین‌شناسی استخراج شد و بر اساس نظر کارشناسی و با بهره‌گیری از نظر افراد خبره و همچنین بر اساس میزان توان هدایت هیدرولیکی آن‌ها (Domenico and Schwartz, 1990; Fetter, 1994)، واحدهای سنگی مربوط به این سازندها، از منظر میزان قابلیت نفوذپذیری عمقی در ۶ کلاس رتبه بندی شدند و سپس برای واحدهای سنگی مربوط به هر کلاس، ضرب نفوذپذیری عمقی بین صفر تا یک اختصاص یافت.

۴-۲- تبخیر-تعرق پتانسیل

به منظور برآورد مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل بصورت روزانه و توزیعی (برای هر پیکسل) به عنوان یکی از داده‌های ورودی در دوره آماری مورد نظر (سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا ۸۹-۱۳۸۸)، از روش (1982) Hargreaves and Samani بهره گرفته شد. با توجه به اینکه داده‌های روزانه دمای متوسط و حداکثر در مقایسه با دمای حداقل دارای همبستگی بهتری با ارتفاع از سطح آزاد دریا هستند، لذا شکل ریاضی معادله هارگریوز-سامانی بر اساس رابطه همبستگی داده‌های روزانه متوسط و حداکثر دمای هوا، برای موقعیت مکانی هر پیکسل و برای هر روز، مورد استفاده قرار گرفت (Razavi, 2013). به منظور جبران عدم تخمین و پهنه‌بندی تبخیر-تعرق پتانسیل منطقه‌ای از روی اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای، یک ضرب تعدیل (Cep) با بازه عددی بین ۰/۷ تا ۱/۵ به عنوان یکی از پارامترهای ثابت مدل که باید از طریق واسنجی، بهینه شود، مورد استفاده قرار گرفته است.

۵-۲- بارندگی

از اطلاعات بارندگی ۲۸ ایستگاه هواشناسی و به روش معکوس فاصله وزن دار برای برآورد میزان بارندگی در هر پیکسل و بصورت روزانه، استفاده شد. بر این اساس در ابتدا یک ضرب وزنی مبتنی بر فاصله اقلیدسی بین موقعیت مکانی هر پیکسل نسبت به ایستگاه‌های هواشناسی، برآورد شد. همچنین در این ضرب به منظور اعمال تأثیر ارتفاع بر میزان بارندگی، از مقادیر اختلاف ارتفاع موقعیت پیکسل و

ایستگاه‌های هواشناسی با ضرب تأثیر ۱۰ برابر و مبتنی بر نظر کارشناسی استفاده شد. سپس از این ضرب به همراه مقادیر روزانه بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی، جهت برآورد بارندگی روزانه در موقعیت هر پیکسل بهره گرفته شد. همچنین به منظور جبران عدم دقت تخمین و پهنه‌بندی بارندگی منطقه‌ای از روی اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای، ابتدا یک ضرب تعدیل (Cp) با بازه عددی بین ۰/۲ تا ۱/۵، به عنوان پارامتری که باید از طریق واسنجی بهینه شود، استفاده شده است.

۶-۲- ساختار مدل SDDWB و نحوه ارتباط اجزاء آن

بطور کلی با توجه به مطالب ذکر شده، نمودار گردش مدل بیان DWB و ساختار توسعه یافته آن، SDDWB، در ادامه ارائه شده است:

۷-۲- واسنجی پارامترهای مدل

مدل SDDWB جهت برآورد مؤلفه‌های نگهداشت واقعی حوضه آبریز (X)، فرصت تبخیر-تعرق واقعی (Y) و تبخیر-تعرق واقعی (ET) به معادله (Fu (1981) استناد کرده و مقدار آن مؤلفه به مقدار تابع حاکم

بر نسبت $\frac{ETP}{Wt}$ تقاضا عرضه دارد. به عنوان مثال، این نسبت در مرحله برآورد تبخیر-

تعرق واقعی برابر با نسبت تبخیر-تعرق پتانسیل به رطوبت در دسترس $(\frac{ETP}{Wt})$ بوده در صورتی که در مرحله برآورد فرصت تبخیر-تعرق مقدار آن برابر با نسبت مجموع تبخیر-تعرق پتانسیل و حداکثر رطوبت خاک به رطوبت در دسترس $(\frac{ETP+Smax}{Wt})$ است. همچنین نگهداشت حوضه آبریز که از مقدار بهینه پارامتر ω_1 و در مرحله برآورد تبخیر-تعرق واقعی و فرصت تبخیر-تعرق واقعی از مقدار بهینه ω_2 برای هر پیکسل محاسبه می‌شود، برآورد خواهد شد. اما مسأله‌ای که در اینجا باید به آن توجه داشت این است که به دلیل متفاوت بودن خصوصیات آب و هوایی و فیزیکی حاکم بر هر پیکسل، مقدار پارامترهای مدل در پیکسل‌های مختلف با هم متفاوت خواهند بود و در نتیجه بسته به تعداد پیکسل‌های هر محدوده مطالعاتی، مقدار پارامتر بهینه مورد نیاز است که باید به روش واسنجی محاسبه شوند. این امر به دلیل زیاد بودن تعداد پارامترهای مورد نیاز جهت واسنجی، دارای هزینه محاسباتی بالایی است، همچنین از طرفی دیگر به دلیل تغییرات زمانی شرایط آب و هوایی و همچنین خصوصیات ماند پوشش گیاهی برای هر پیکسل، می‌توان انتظار داشت که مقدار پارامتر بهینه در هر پیکسل، نسبت به زمان تغییر نماید. به عنوان مثال، برای یک پیکسل ثابت مقدار بهینه پارامتری مانند ω_2 به دلیل تغییر در شرایط پوشش گیاهی از سالی به سال دیگر می‌تواند متفاوت باشد.

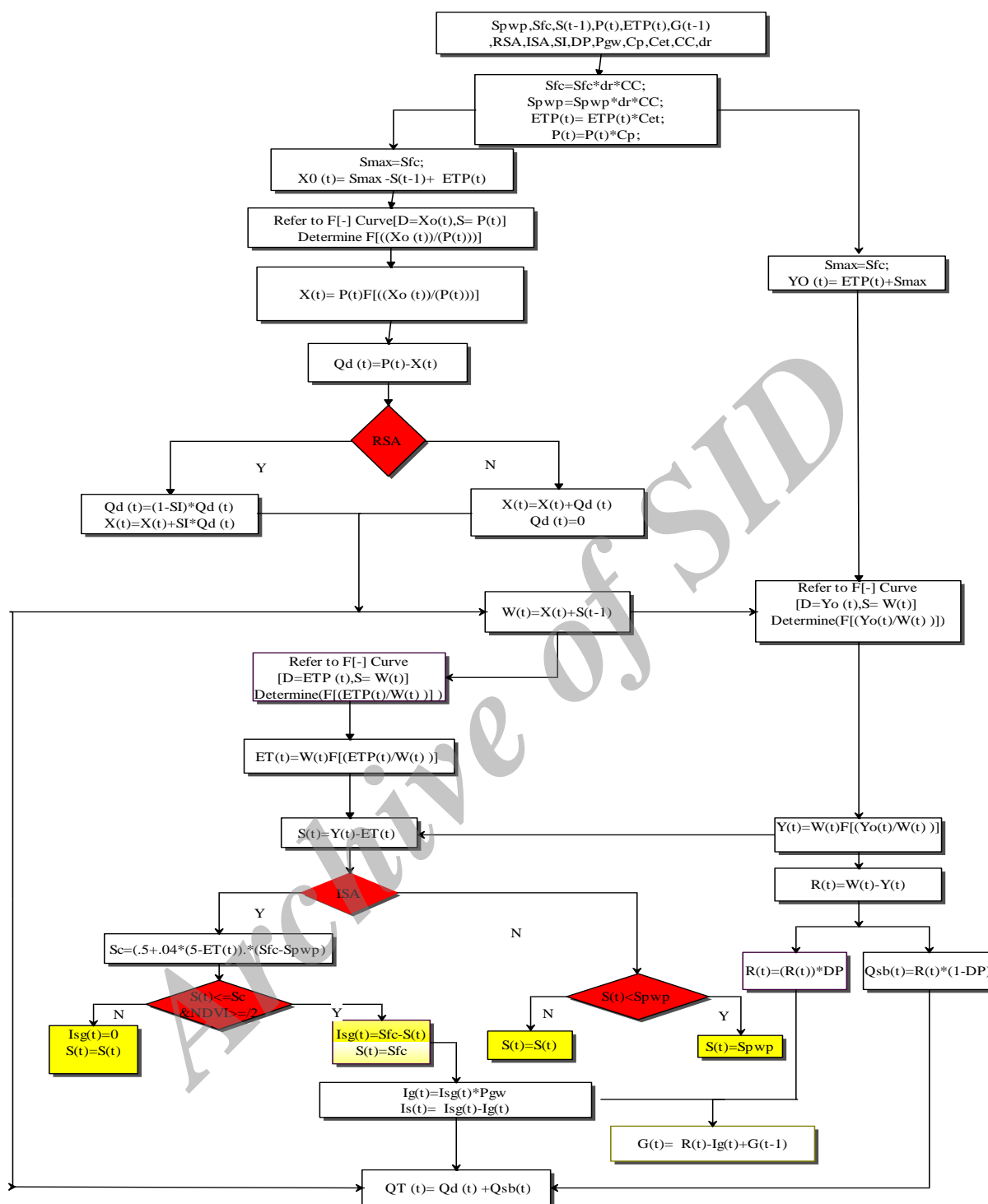


Fig. 2- Flow chart interconnection of water balance components by SDDWB model

شکل ۲- نمودار گردش‌ی نحوه ارتباط اجزاء در ساختار بیلان آبی SDDWB

بین این پارامترها بصورت تابعی از سایر خصوصیات حوضه آبریز قائل شد و سپس از این رابطه ریاضی در برآورد مؤلفه‌های بیلان، بجای مقدار بهینه پارامترهای مدل برای هر پیکسل استفاده نمود. در پژوهش

بر این اساس برای اینکه مقادیر بهینه پارامترهای مدل (مانند پارامترهای ω_1 و ω_2)، نیز بصورت توزیعی در سطح محدوده‌های مطالعاتی حاصل شود، فرض می‌شود که می‌توان یک رابطه ریاضی

در این روابط a , b , c و e ضرایب مدل بوده و باید از راه واسنجی، مقادیر بهینه آنها تعیین شده و سایر پارامترهای این روابط همان تعاریف قبلی را دارند.

۲-۸- ارزیابی عدم قطعیت

در مقاله حاضر از روش GLUE به منظور واسنجی و ارزیابی عدم قطعیت پارامترهای دو مدل DWB (بصورت یکپارچه) و SDDWB (بصورت توزیعی) برای مدل‌سازی بیلان آب در سطح محدوده‌های مطالعاتی بهره گرفته شد (Beven and Binley, 1992). به این منظور، دامنه اولیه پارامترها مدل منطبق با آنچه در جدول ۱ ارائه شده، در نظر گرفته شد. با توجه به هدف پژوهش، جهت ارزیابی مدل مورد توسعه برای برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در سطح محدوده‌های مطالعاتی و برای مقیاس زمانی سالانه، با توجه به در دسترس بودن داده‌های تغییرات حجم آبخوان برای هر دو محدوده مطالعاتی از این اطلاعات و بر اساس معیار تشابه آماری (Nash and Sutcliffe (1970) به عنوان معیار درست‌نمایی استفاده شده است. همچنین علاوه بر معیار NS از معیارهای متفاوت دیگری از قبیل شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای انحراف از میانگین (MBE) به همراه درصد نسبی ریشه میانگین مربعات خطا (PRMSE) و درصد نسبی انحراف خطا (PMBE) نیز جهت ارزیابی عملکرد مدل SDDWB استفاده شده است.

۴- یافته‌ها و بحث

۴-۱- بررسی شاخص NDVI

مشخصات آماری شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در سطح محدوده‌های مطالعاتی رخ و نیشابور برای هر سال در طی دوره آماری مورد بررسی، در جدول ۲ ارائه شده است.

حاضر، از شاخص $NDVI^{10}$ به عنوان متغیر مستقل جهت ارتباط بین پارامترهای مدل (پارامترهای ω_1 و ω_2) به عنوان متغیرهای وابسته، استفاده شده است. بر این اساس از طریق پایگاه اینترنتی محصولات دورسنجی MODIS (<http://modis/gsfc/nasa/gov>) اقدام به دریافت تصاویر این سنجنده با زیر گروه داده‌های سطح سه (L3) با کد مشخصه MOD13A1 که شامل شاخص‌های گیاهی از جمله NDVI با توان تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ می‌باشد، استفاده شد. در این راستا با توجه به دوره آماری ۸ ساله مورد بررسی در این پژوهش، برای هر ماه، یک تصویر به عنوان معرف وضعیت پوشش گیاهی تهیه و در نتیجه تعداد ۹۶ تصویر برای دوره آماری مورد نظر انتخاب شد. در ادامه به منظور واسنجی پارامترهای مدل بصورت توزیعی، برای برآورد مؤلفه‌های $X(t)$ ، $Y(t)$ و $ET(t)$ در هر پیکسل و بر اساس چارچوب ذکر شده در بالا، بجای پارامترهای ω_1 و ω_2 از روابط زیر در مدل SDDWB استفاده شد:

$$\omega_1 = a \times NDVI + b \quad (4)$$

$$\omega_2 = c \times NDVI + e \quad (5)$$

$$X(t) = P(t) \times \left(1 + \frac{X_0(t)}{P(t)} \right) - \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{X_0(t)}{P(t)} \right)^{a \times NDVI + b} \right)^{\frac{1}{a \times NDVI + b}}} \quad (6)$$

$$Y(t) = W(t) \times \left(1 + \frac{ETP(t) + S_{max}}{W(t)} \right) - \frac{1}{\left(\frac{ETP(t) + S_{max}}{W(t)} \right)^{c \times NDVI + e} \times NDVI + e} \quad (7)$$

$$ET(t) = W(t) \times \left(1 + \frac{ETP(t)}{W(t)} \right) - \frac{1}{\left(\frac{ETP(t)}{W(t)} \right)^{c \times NDVI + e} \times NDVI + e} \quad (8)$$

Table 1- Selected initial range for the model parameters

جدول ۱- دامنه اولیه انتخابی برای پارامترهای مدل

Modeling approach	Parameter name	Lower limit	Upper limit
DWB	d	0	1
	smax	0	500
	ω_1	1	5
	ω_2	1	5
	Cet	0.7	1.5
SDDWB	Cp	0.2	1.5
	Pgw	0	1
	a	0	1
	b	1.5	5
	c	0	1
	e	1.5	5

Table 2- Statistical Characteristics of the NDVI Index of the study areas
جدول ۲- خصوصیات آماری شاخص NDVI در محدوده‌های مطالعاتی

Case Study	Index	Water year								Period Average
		1381-82	1382-83	1383-84	1384-85	1385-86	1386-87	1387-88	1388-89	
Neyshabur	Min	-0.12	-0.13	-0.18	-0.12	-0.15	-0.15	-0.14	-0.18	-0.15
	Max	0.86	0.82	0.83	0.82	0.85	0.82	0.78	0.79	0.82
	Ave	0.159	0.156	0.159	0.156	0.149	0.158	0.11	0.156	0.15
Rokh	Min	-0.2	-0.12	-0.16	-0.13	-0.19	-0.17	-0.11	-0.16	-0.16
	Max	0.86	0.85	0.85	0.83	0.82	0.84	0.78	0.85	0.84
	Ave	0.156	0.157	0.153	0.154	0.141	0.146	0.107	0.159	0.15

برای مدل DWB دامنه پارامترهای ω_1 و ω_2 بطور معنی‌داری نسبت به کران بالا و پایین توزیع پیشین آن‌ها (جدول ۱) کوچکتر شده و بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که پارامترهای ω_1 و ω_2 دارای رفتار مقاومی در خصوص بروز خطا از خود نشان می‌دهد و به اصطلاح پایستار هستند. همچنین، (Mein and Brown (1978) اظهار داشتند که پارامترهای دارای ضریب تغییرات کمتر (پارامترهای دارای دامنه کمتر نسبت به کران اولیه توزیع پیشین)، را می‌توان به‌عنوان پارامتر حساس شناخت که عدم قطعیت مدل را کاهش می‌دهند، البته از طرفی نیز (Vrugt et al. (2009) اظهار داشتند که برخی از پارامترها با وجود داشتن ضریب تغییرات پایین، بدلیل اینکه توزیع آن‌ها نرمال نیست و تمرکز احتمالاتی بیشتری بر محدوده‌های بالا یا پایین دارند در نتیجه نمی‌توان بطور قطع در مورد مقدار فیزیکی آن در حوزه اظهار نظر نمود، زیرا در حقیقت ممکن است توزیع مذکور به نحوی جبران کننده برخی کاستی‌ها یا حتی خطاهای سیستماتیک در داده‌های مشاهداتی باشند. بررسی نتایج مقادیر پارامتر Pgw نشان می‌دهد که درصد برداشت از منابع آب زیرزمینی برای مصارف آبیاری در سطح محدوده مطالعاتی نیشابور بیشتر از رخ بوده که این نتیجه مطابق با فیزیک حاکم (سطح کاربری زراعت‌های آبی و باغی در این محدوده‌ها) بر محدوده‌های مطالعاتی می‌باشد.

۳-۴- ارزیابی عملکرد مدل DWB و SDDWB برای برآورد مؤلفه‌های بیلان آب

نتایج عملکرد مدل DWB بر مبنای مقایسه بین میزان تغییرات حجم آبخوان مشاهداتی در محدوده‌های مطالعاتی با مقادیر برآورد شده بوسیله مدل DWB برای دوره آماری مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در هر دو محدوده مطالعاتی مقادیر تغییرات حجم آبخوان شبیه‌سازی شده بوسیله مدل دارای تفاوت بسیار معنی‌داری با مقادیر مشاهداتی در این محدوده‌ها است. بر این اساس این مرحله از ارزیابی تأکید بر عملکرد بسیار ضعیف مدل DWB در حوضه‌های تحت آبیاری جهت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب و

وضعیت شاخص پوشش گیاهی (NDVI) معرف آن است که در هر دو محدوده مطالعاتی وضعیت پوشش سطح زمین از سطوح آبی (مقادیر منفی NDVI) تا وضعیت پوشش گیاهی مترکم (مقادیر بالای ۰/۵) متفاوت است. همچنین مشاهده می‌شود که مقادیر این شاخص در هر محدوده برای سال‌های مختلف دارای تغییر است که این امر بیانگر تغییرات وضعیت پوشش گیاهی تحت تأثیر عواملی از قبیل تغییرات آب و هوای و همچنین الگوی مدیریتی از نظر کشت محصولات کشاورزی در سال‌های مختلف است و بر این اساس انتظار می‌رود بهره‌گیری از شاخص NDVI (به دلیل اعمال تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز) در امر مدل‌سازی هیدرولوژی و بخصوص مدل‌سازی بیلان آب، بتواند به بهبود نتایج کمک کند.

۲-۴- تحلیل عدم قطعیت پارامترهای مدل DWB و SDDWB

پس از بکارگیری روش GLUE برای برآورد مؤلفه‌های بیلان با استفاده از مدل DWB در حالت یکپارچه و مدل SDDWB در حالت توزیعی، شکل توزیع پسین پارامترهای آن‌ها بر اساس مقادیر شبیه‌سازی‌های قابل قبول بدست آمد که نتایج آن در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هر کدام از پارامترها دارای رفتارهای متفاوتی هستند. در این راستا مقایسه توابع چگالی پسین و پیشین نشان می‌دهد که برای مدل DWB، دامنه خصوصیات فیزیکی S-max و پارامتر d و برای مدل SDDWB دامنه پارامترهای a ، b ، c ، d و e در هر دو محدوده مطالعاتی و همچنین پارامتر e در محدوده مطالعاتی نیشابور نسبت به توزیع پیشین (یکنواخت) تغییر قابل توجهی نداشته و از قابلیت تشخیص^{۱۱} کمی برخوردار هستند که این امر نشان دهنده عدم قطعیت بالای این پارامترها برای مناطق مورد مطالعه، است. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که در هر دو محدوده مورد مطالعه، برای مدل SDDWB شکل توزیع پسین پارامتر Pgw از توزیع نرمال و پارامتر Cp و همچنین پارامتر e در محدوده مطالعاتی رخ از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کنند بطوریکه مقادیر عددی آن‌ها بسمت دامنه‌ای (مقدار مشخص) با فراوانی بیشتر همگرا شده است.

در نهایت نتایج ارزیابی عملکرد مدل DWB و SDDWB برای برآورد مؤلفه‌های بیلان اصلی بیلان دارد. در مقابل نتایج عملکرد مدل SDDWB (شکل ۵) نشان‌دهنده آن است که مقدار شاخص RMSE مدل برای محدوده‌های رخ و نیشابور به ترتیب برابر با $4/68$ و $25/15$ میلیون مترمکعب است که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل بر اساس این معیار ارزیابی است. در این راستا مقدار نسبی شاخص‌های PRMSE برای هر دو محدوده مطالعاتی، کمتر از ۱۰ درصد برآورد شده (برای محدوده رخ $7/48$ و نیشابور $9/93$ درصد) که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل SDDWB است. معیار خطای PMBE برای هر دو محدوده مطالعاتی کمتر از ۳ درصد و ناچیز است (برای محدوده مطالعاتی رخ $-0/68$ و نیشابور $-2/19$ درصد) و مقادیر کمی آن بیانگر آن است که مدل SDDWB در هر دو محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور برای برآورد مقادیر تغییرات حجم آبخوان (و سایر مؤلفه‌های بیلان)، دارای کم برآوردی^{۱۳} است. همچنین منطبق بر مقدار شاخص ضریب تعیین (R^2) و نمودار پراکنش (شکل ۵- «A») برای هر دو محدوده مطالعاتی، می‌توان عملکرد مدل SDDWB را مطلوب ارزیابی کرد. در این راستا همچنین مشاهده می‌شود (شکل ۵- «B») برای هر دو محدوده مطالعاتی، تغییرات زمانی تغییرات حجم آبخوان برآورد شده بوسیله مدل SDDWB و مقادیر مشاهداتی دارای روند یکسان و تطابق مناسب بوده و در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که مدل اثرات تغییرات آب و هوایی (مانند بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل) و خصوصیات فیزیکی (مانند تغییرات کاربری اراضی در سال‌های مختلف) حاکم بر محدوده‌های مطالعاتی، را به خوبی شناخته و در خود اعمال نموده است.

از منابع آب سطحی و زیرزمینی در این نواحی شده است.

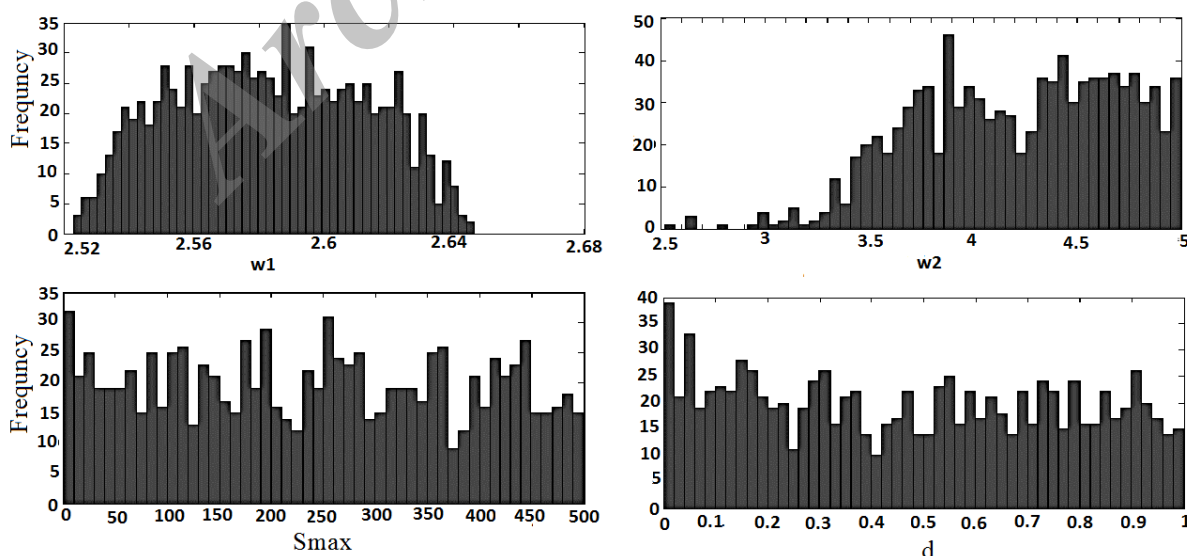


Fig. 3- The posterior distribution of DWB model parameters

شکل ۳- توزیع پسین پارامترهای مدل DWB

تحقیقات منابع آب ایران، سال چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 2, Summer 2018 (IR-WRR)

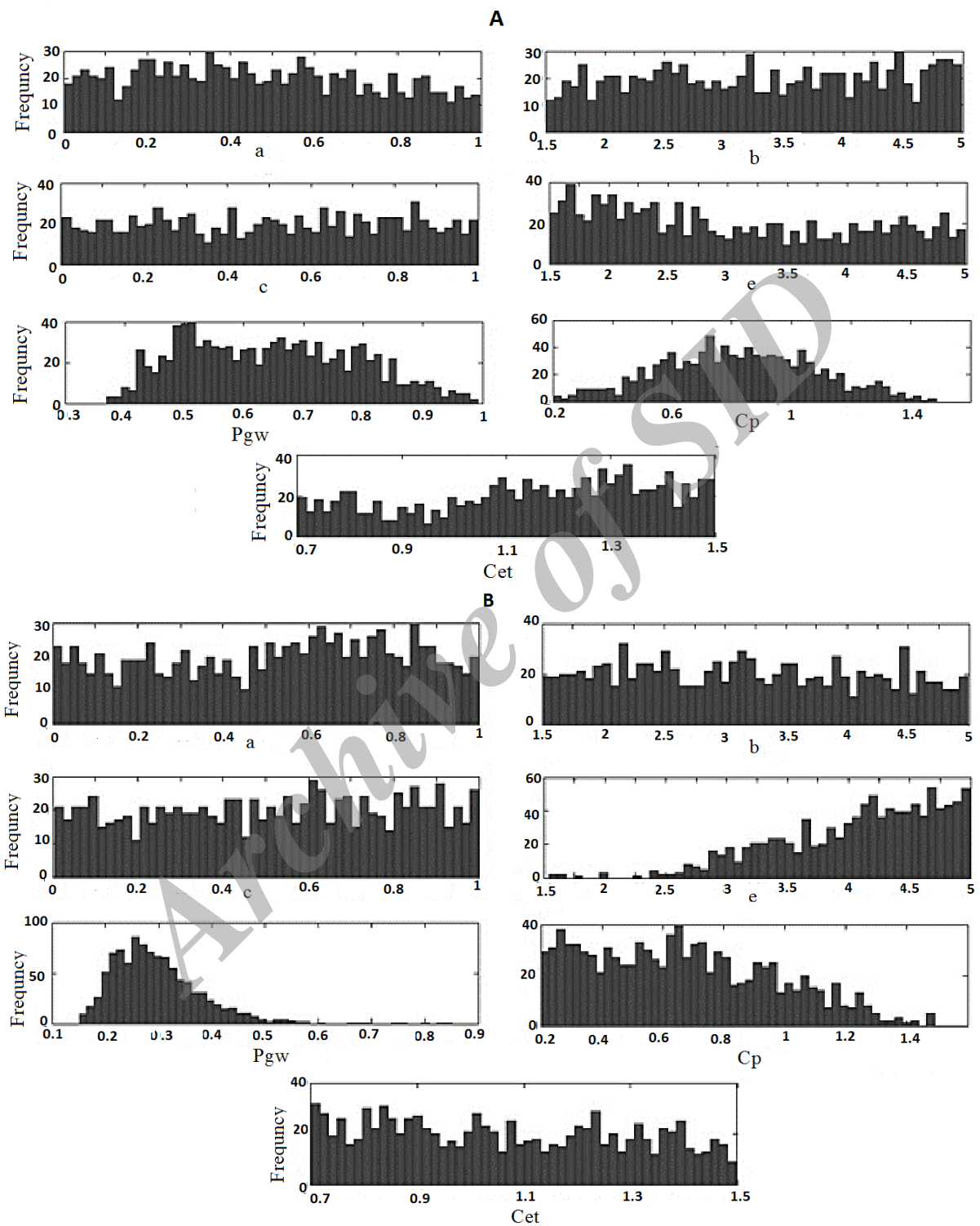


Fig. 4- The posterior distribution of SDDWB model parameters in the study areas A) Neyshabur B) Rokh
 شکل ۴- توزیع پسین پارامترهای مدل SDDWB در محدوده‌های مطالعاتی (A) نیشابور (B) رخ

Table 3- Observed and estimated values of aquifer volume changes by DWB model

جدول ۳- مقادیر تغییرات حجم آبخوان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بوسیله مدل DWB

Water year	Rokh		Neyshabur	
	$\Delta G_{ob}(MCM)$	$\Delta G_{sim}(TCM)$	$\Delta G_{ob}(MCM)$	$\Delta G_{sim}(TCM^*)$
1381-	-45.28	0.00	-189.48	330.3391
1382-	-62.37	0.00	-202.24	-115.3651
1383-	-46.99	0.00	-198.36	292.5941
1384-	-65.79	0.00	-281.26	-454.8964
1385-	-57.24	0.00	-207.24	429.7197
1386-	-63.22	0.00	-304.94	-468.4803
1387-	-74.33	0.00	-251.65	52.1895
1388-	-87.15	0.00	-393.76	163.3245

* مقادیر تغییرات حجم آبخوان برآورده شده بوسیله مدل، به دلیل کوچک بودن در واحد هزار متر مکعب می‌باشند. در این جدول ΔG_{sim} و $\Delta G_{ob}(MCM)$ به تغییرات حجم آبخوان شبیه‌سازی شده بوسیله مدل DWB (بر حسب هزار متر مکعب) و مشاهداتی (میلیون متر مکعب) می‌باشند.

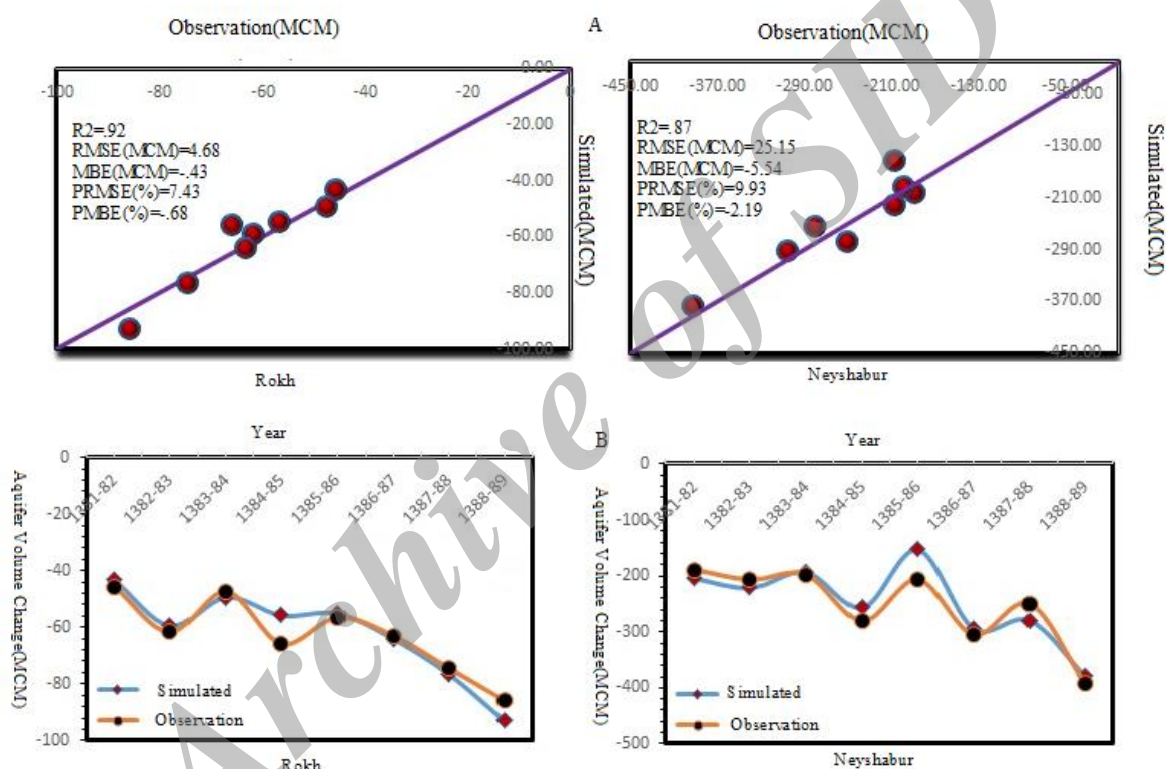


Fig. 5- Comparison of computed versus observed values of aquifer volume (by SDDWB model) in study areas A) data dispersion to line 1: 1 B) time trend adaptation

شکل ۵- مقایسه تغییرات مقادیر برآورده شده و مشاهده شده حجم آبخوان (بوسیله مدل SDDWB) در محدوده‌های مطالعاتی (A) پراکنش داده‌ها نسبت به خط ۱:۱ (B) تطابق روند تغییرات زمانی

در مدل DWB را می‌توان یکی دیگر از دلایل خطای برآورد مؤلفه‌های بیان آب بوسیله این مدل دانست. همچنین مبتنی بر نتایج مدل SDDWB (جدول ۴)، نسبت متوسط سالانه تبخیر-تعرق واقعی به بارندگی برای هر دو محدوده مطالعاتی بزرگتر از یک می‌باشد (این نسبت برای کل سطح محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور به ترتیب برابر ۲/۰۶ و ۱/۳۲ است) و بدیهی است که نسبت فوق در مناطق خشک و

بنابراین عدم اعمال تأثیر اثرات برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی در مدل‌سازی بیان آب بوسیله مدل DWB را می‌توان یکی از دلایل اصلی عملکرد ضعیف مدل‌سازی این مدل دانست. همچنین تغییرپذیری خصوصیات فیزیکی (از قبیل خصوصیات زمین‌شناسی و متفاوت بودن تغییرات ذخیره رطوبتی در لایه سطحی خاک) و عوامل آب و هوایی در سطح محدوده‌های مطالعاتی و عدم اعمال تأثیر آن‌ها

چشمه و قنات) در محدوده مطالعاتی نیشابور برای دوره آماری ۸۲-۱۳۸۱ (۱۱۸۴ میلیون مترمکعب) و ۸۸-۱۳۸۷ (۷۶۹ میلیون مترمکعب)، به طور متوسط معادل ۹۷۶/۵ میلیون مترمکعب در سال است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰)، که در این راستا مقدار مؤلفه I_{sg} برآورد شده بوسیله مدل SDDWB (برای دوره مورد بررسی بطور متوسط ۱۰۰۷/۷۷ میلیون مترمکعب) نشان می‌دهد، که نتایج این مدل دارای همخوانی و تطابق مناسبی با مقدار ثبت شده برای این مؤلفه (۹۷۶/۵ میلیون مترمکعب) است و در نتیجه از این منظر نیز می‌توان عملکرد مدل اصلاح شده DWB (مدل SDDWB) را قابل قبول دانست. همچنین مقدار متوسط سالانه تبخیر-تعرق واقعی در هر دو محدوده مطالعاتی بوسیله مدل SDDWB (۲۸۴ میلیمتر) با مقادیر متوسط نتایج مطالعه Myan Abadi et al. (2016) که بر اساس یک روش اصلاح شده مبتنی بر چارچوب بادیکو، برابر ۳۱۰ میلیمتر (دوره آماری ۸۰-۱۳۷۹ الی ۹۱-۱۳۹۰) گزارش شده، همخوانی مناسبی دارد.

نیمه خشک که علاوه بر بارندگی، آبیاری نیز نقش عمده‌ای در تبخیر-تعرق واقعی دارد می‌تواند بزرگتر از یک شود (Jacson et al., 2001; Izadi, 2012; Han and Hu, 2012). مطالعه ایزدی (Izadi, 2012) که به ارزیابی یک مدل توسعه یافته تلفیقی آب زیرزمینی-سطحی (SWAT-MODFLOW) در حوضه آبریز نیشابور صورت گرفته بود، این نتیجه را مورد تأیید قرار داده (در این مطالعه نسبت متوسط سالانه تبخیر-تعرق واقعی به بارندگی برای کل حوضه آبریز برابر ۱/۱۶ گزارش شده) و بطور کلی این نتیجه اعمال تأثیر اثرات برداشت در برآورد مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی را مورد تأکید بیشتری قرار می‌دهد. مقدار متوسط دوره ۸ ساله تغذیه صورت گرفته برای محدوده مطالعاتی نیشابور بوسیله مدل SDDWB برابر با ۱۹۰ میلیمتر برآورد شده که این نتیجه دارای تطابق مناسبی با مقادیر برآورد شده برای این محدوده بر اساس روش‌های مستقل دیگر که برابر با ۱۷۶ میلیمتر گزارش شده است (Izadi, 2012) می‌باشد. به عنوان یک شاهد دیگر، منطبق بر بانک اطلاعاتی آمار مطالعات پایه منابع آب، میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی (آمار منابع بهره‌برداری شامل چاه،

Table 4- The Annual amounts of surface water balance (mcm) simulated by the DWB and SDDWB models *

جدول ۴- مقادیر سالانه مؤلفه‌های بیلان آب سطحی برآورده شده «بر حسب میلیون مترمکعب» بوسیله مدل DWB و SDDWB*
(در این جدول برای مقادیر سالانه آبدهی خروج از محدوده مطالعاتی نیشابور همان مقادیر ثبت شده در ایستگاه حسین آباد جنگل بکارگرفته شده است)

Model	Year	**Balance components							
		P	I_{sg}	ET	R	Q_{TIN}	Q_{TOUT}	Δs	η_1
DWB	1381-82	2116.21(715.85)	0.00(0.00)	2115.79(590.31)	0.47(0.06)	113.29(0.00)	17.53(113.29)	0.00(0.01)	-95.70(-12.18)
	1382-83	1952.80(619.16)	0.00(0.00)	1952.54(522.41)	0.31(0.02)	86.64(0.00)	3.56(86.64)	0.00(0.00)	-83.03(-10.09)
	1383-84	2372.68(708.57)	0.00(0.00)	2372.04(585.97)	0.71(0.05)	110.55(0.00)	45.35(110.55)	0.00(0.00)	-65.12(-12.00)
	1384-85	1434.50(410.00)	0.00(0.00)	1434.45(361.37)	0.08(0.00)	42.75(0.00)	1.20(42.75)	-0.01(0.00)	-41.54(-5.88)
	1385-86	2413.99(758.66)	0.00(0.00)	2413.38(626.12)	0.68(0.06)	119.53(0.00)	27.97(119.53)	0.01(0.01)	-91.48(-12.94)
	1386-87	1061.03(313.82)	0.00(0.00)	1061.02(283.47)	0.02(0.00)	26.32(0.00)	0.44(26.32)	-0.01(0.00)	-25.87(-4.03)
	1387-88	2276.77(714.18)	0.00(0.00)	2276.69(624.92)	0.10(0.01)	78.53(0.00)	1.39(78.53)	0.00(0.00)	-77.11(-10.73)
	1388-89	2076.72(628.53)	0.00(0.00)	2076.43(534.86)	0.33(0.02)	83.55(0.00)	6.28(83.55)	0.00(0.00)	-77.22(-10.10)
	Average	1963.09(608.60)	0.00(0.00)	1962.79(516.18)	0.34(0.03)	82.64(0.00)	12.97(82.64)	0.00(0.00)	-69.63(-9.74)
	SDDWB	1381-82	1528.38(456.54)	927.32(408.98)	1944.80(779.82)	529.06(39.10)	43.31(0.00)	17.53(43.31)	5.48(0.57)
1382-83		1410.29(394.70)	961.88(489.65)	1811.19(797.56)	541.10(39.26)	37.78(0.00)	3.56(37.78)	0.27(7.41)	-53.82(-2.34)
1383-84		1713.99(451.80)	978.32(417.96)	2052.26(794.87)	581.55(35.00)	39.70(0.00)	45.35(39.70)	12.64(-1.62)	-40.20(-1.81)
1384-85		1036.27(261.29)	990.24(459.55)	1468.79(659.94)	529.65(36.80)	24.32(0.00)	1.20(24.32)	1.25(-1.24)	-49.94(-1.02)
1385-86		1743.74(483.46)	894.98(469.06)	2060.58(860.95)	557.87(39.31)	45.18(0.00)	27.97(45.18)	7.77(4.51)	-29.72(-2.57)
1386-87		765.92(200.12)	1028.29(496.23)	1273.88(647.93)	522.30(35.92)	16.74(0.00)	0.44(16.74)	3.90(-5.01)	-10.44(-0.78)
1387-88		1644.50(455.37)	943.44(502.14)	2249.05(881.04)	469.82(24.67)	36.59(0.00)	1.39(36.59)	-2.78(13.54)	92.97(-1.66)
1388-89		1500.30(400.68)	1337.69(689.95)	2190.44(999.39)	679.28(46.02)	31.59(0.00)	6.28(31.59)	6.73(14.80)	13.14(-1.17)
Average		1417.92(388.00)	1007.77(491.69)	1881.38(802.69)	551.33(37.01)	34.40(0.00)	12.97(34.40)	4.41(4.12)	-10.02(-1.46)

* در این جدول مؤلفه‌های بیلان سالانه عبارتند از جریان زیرزمینی ورودی به محدوده مطالعاتی (G_{IN})، جریان زیرزمینی خروجی از محدوده مطالعاتی (G_{OUT})، تغییرات حجم آبخوان محدوده مطالعاتی (ΔG)، جمله مغایرت معادله بیلان آب زیرزمینی (η_1) و سایر مؤلفه‌های همان تعاریف قبلی را دارند.
** اعداد خارج و داخل پرانتز به ترتیب معرف مقادیر پارامترهای مربوط به محدوده مطالعاتی نیشابور و رخ می‌باشد.

Table 5- Annual values of simulated groundwater discharge (mcm) components by DWB and SDDWB models *

جدول ۵- مقادیر سالانه مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی برآورده شده «بر حسب میلیون مترمکعب» بوسیله مدل DWB و SDDWB* (در این جدول برای مقادیر سالانه تغییرات حجم آبخوان محدوده‌های مطالعاتی، همان مقادیر مشاهداتی بکار گرفته شده است)

Model	year	**Balance Components					
		G _{IN}	G _{OUT}	I _g	R	ΔG	η _z
DWB	1381-82	0.00(0.00)	25.72(0.00)	0.00(0.00)	0.47(0.06)	-189.48(-45.28)	-164.23(-45.34)
	1382-83	0.00(0.00)	25.74(0.00)	0.00(0.00)	0.31(0.02)	-202.24(-62.37)	-176.81(-62.39)
	1383-84	0.00(0.00)	26.92(0.00)	0.00(0.00)	0.71(0.05)	-198.36(-46.99)	-172.15(-47.04)
	1384-85	0.00(0.00)	29.46(0.00)	0.00(0.00)	0.08(0.00)	-281.26(-65.79)	-251.88(-65.79)
	1385-86	0.00(0.00)	28.52(0.00)	0.00(0.00)	0.68(0.06)	-207.24(-57.24)	-179.40(-57.30)
	1386-87	0.00(0.00)	30.75(0.00)	0.00(0.00)	0.02(0.00)	-304.94(-63.22)	-274.21(-63.22)
	1387-88	0.00(0.00)	33.09(0.00)	0.00(0.00)	0.10(0.01)	-251.65(-74.33)	-218.66(-74.34)
	1388-89	0.00(0.00)	35.00(0.00)	0.00(0.00)	0.33(0.02)	-393.76(-87.15)	-359.09(-87.17)
	Average	0.00(0.00)	29.40(0.00)	0.00(0.00)	0.34(0.03)	-253.62(-62.80)	-224.56(-62.82)
SDDWB	1381-82	0.00(0.00)	25.72(0.00)	733.74(82.40)	529.06(39.10)	-189.48(-45.28)	40.92(-1.99)
	1382-83	0.00(0.00)	25.74(0.00)	761.09(98.65)	541.10(39.26)	-202.24(-62.37)	43.49(-2.98)
	1383-84	0.00(0.00)	26.92(0.00)	774.09(84.21)	581.55(35.00)	-198.36(-46.99)	21.10(2.22)
	1384-85	0.00(0.00)	29.46(0.00)	783.53(92.59)	529.65(36.80)	-281.26(-65.79)	2.07(-10.00)
	1385-86	0.00(0.00)	28.52(0.00)	708.15(94.50)	557.87(39.31)	-207.24(-57.24)	-28.43(-2.05)
	1386-87	0.00(0.00)	30.75(0.00)	813.64(99.98)	522.30(35.92)	-304.94(-63.22)	17.15(0.84)
	1387-88	0.00(0.00)	33.09(0.00)	746.49(101.17)	469.82(24.67)	-251.65(-74.33)	58.11(2.05)
	1388-89	0.00(0.00)	35.00(0.00)	1058.45(139.00)	679.28(46.02)	-393.76(-87.15)	20.42(5.83)
	Average	0.00(0.00)	29.40(0.00)	918.00(99.06)	551.33(37.01)	-253.62(-62.80)	85.21(-0.76)

* در این جدول مؤلفه‌های بیلان سالانه عبارتند از جریان زیرزمینی ورودی به محدوده مطالعاتی (G_{IN})، جریان زیرزمینی خروجی از محدوده مطالعاتی (G_{OUT})، تغییرات حجم آبخوان محدوده مطالعاتی (ΔG)، جمله مغایرت معادله بیلان آب زیرزمینی (η_z) و سایر مؤلفه‌های همان تعاریف قبلی را دارند.

ETP(t)/P(t)، نیز مد نظر قرار گرفت (شکل ۶- «B»). می‌توان با بررسی میزان پیروی نسبت (ET(t)/P(t) در مقابل ETP(t)/P(t) نتیجه گرفت که سهم میزان تبخیر-تعرق واقعی از بارندگی بسیار بیشتر بوده و بر این اساس پراکنش نقاط در برخی از موارد خارج از منحنی آب محدود (خط افقی)، منحنی بادیکو قرار گرفته‌اند و این امر تأکیدی بر لزوم اعمال اثرات آبیاری در جهت برآورد میزان تبخیر-تعرق واقعی و در نتیجه لزوم اعمال آن در مدل‌سازی و در نتیجه شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس حوضه آبریز است. از طرفی دیگر در هر دو منطقه مورد مطالعه، برای پارامتر ω₂ همبستگی مناسبی بین ETP(t)/W(t) و ET(t)/W(t) بر اساس روابط ارائه شده در مدل SDDWB وجود داشته و بطور کلی نسبت ET(t)/W(t) از شکل منحنی پیشنهادی بوسیله بادیکو، پیروی می‌کند و این نتیجه بیانگر آن است که مدل اثرات آبیاری که بصورت میزان آب در دسترس برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی اعمال شده را بخوبی شبیه‌سازی و برآورد نموده است. بر مبنای شاخص NDVI، شکل توزیع مکانی و زمانی پارامتر (ω₂ = 0.54 × NDVI + 1.7) برای تصاویر NDVI انتخابی در تاریخ‌های ۱۸ اردیبهشت (هشت می) و ۱۰ آبان (یک

۴-۴- تحلیل نتایج عملکرد مدل SDDWB بر اساس منحنی بادیکو

بررسی رفتار نتایج حاصل از عملکرد مدل SDDWB به عنوان رویکرد برتر شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آبی در مناطق مورد مطالعه، نسبت به منحنی بادیکو (Budyko, 1974) مد نظر قرار گرفت. در مدل توسعه یافته، مقدار آب در دسترس برابر W(t) است که این مؤلفه میزان آب در دسترس ناشی از بارندگی و آبیاری را شامل می‌شود. در نتیجه برای مقیاس سالانه، رابطه نسبت ET(t)/W(t) در مقابل ETP(t)/W(t) و برای مقدار پارامتر «ω₂ = 0.91 × NDVI + 4.58» و «ω₂ = 0.54 × NDVI + 1.7»، به ترتیب مربوط به محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور و مرتبط با ضرایب بهترین شبیه‌سازی، برای هر دو منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۶- «A») ارائه شده است. همچنین به منظور مقایسه میزان تأثیر اعمال تغییرات ذخیره رطوبتی (که در برآورد مؤلفه رطوبت در دسترس (W(t)) بکار گرفته شده است) و همچنین اثرات آبیاری بر میزان تبخیر-تعرق واقعی، رابطه نسبت ET(t)/P(t) در مقابل

اساس تاریخ‌های مورد بررسی بیانگر آن است در شرایط مکانی یکسان، مقدار این پارامتر در فصل بهار (تصویر ۱۸ اردیبهشت) به دلیل حاکم بودن پوشش گیاهی، نسبت به فصل پاییز (تصویر ۱۰ آبان)، دارای مقادیر کمی بزرگتر است (دامنه ۲/۱۴-۱/۷ برای ۱۸ اردیبهشت در مقایسه با دامنه ۲/۰۸-۱/۶۹ برای ۱۰ آبان). به عنوان مثال، بر اساس مشاهدات در نواحی مرکزی حوضه آبریز (با تمرکز کاربری اراضی بر زراعت‌های آبی و باغی) به دلیل اینکه در طی فصل بهار (فصل رشد) پوشش گیاهی گسترده‌تر و همچنین متراکم‌تری در مقایسه با فصل پاییز حاکم است و همانطور که انتظار می‌رود مقدار پارامتر ω_2 در طی این دو فصل با هم متفاوت بوده و از این منظر نیز می‌توان بیان داشت رویکرد مورد استفاده به خوبی توانسته است تغییرات زمانی پارامتر ω_2 در برآورد مؤلفه‌های بیلان را اعمال نماید.

نوامبر) به ترتیب به عنوان معرف پارامتر ω_2 در فصل بهار (فصل با پوشش کاربری متراکم) و پاییز (فصل غیر رشد با پوشش کاربری اراضی کم)، برای سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ و در سطح محدوده مطالعاتی نیشابور، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۷). از منظر مقیاس مکانی به دلیل متفاوت بودن تغییرات پوشش گیاهی در سطح محدوده مطالعاتی، مقدار پارامتر ω_2 نیز متفاوت بوده و از منطبق حاکم بر فیزیک حوضه آبریز، پیروی می‌کند. به عنوان نمونه نواحی شمالی و مرکزی حوضه آبریز که دارای پوشش گیاهی بیشتری در مقایسه با نواحی جنوبی و غربی هستند، به طور متناسب دارای مقادیر ω_2 بزرگتری می‌باشند. این نتیجه با نتایج مطالعه Zhang et al. (2004)، که در آن حوضه‌های با مقادیر بالای ω در کلاس جنگلی و باغی و حوضه‌های با مقادیر کم پارامتر ω در کلاس حوضه‌های با پوشش علفی قرار داده بودند، همخوانی دارد. همچنین مقایسه تغییرات زمانی پارامتر ω_2 بر

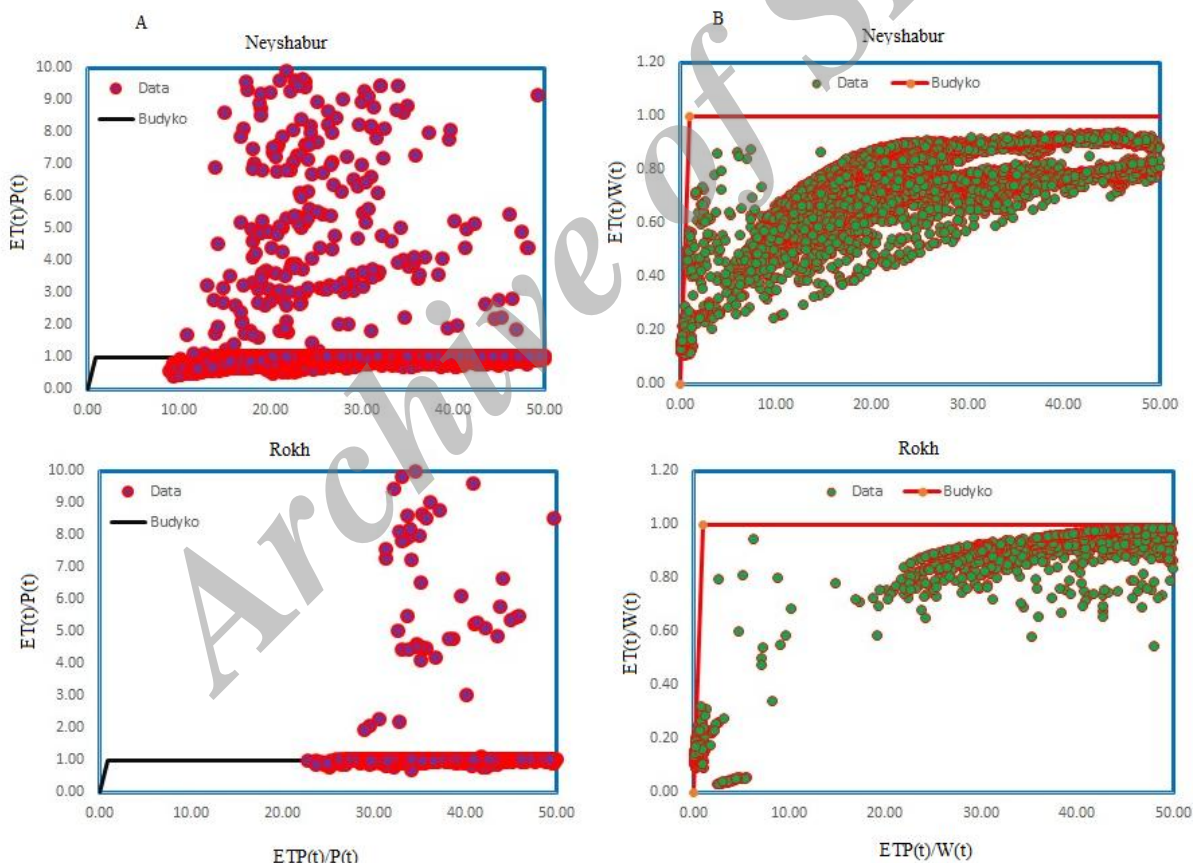


Fig. 6- Model performance based on the Budyko Curve in study areas *

شکل ۶- عملکرد مدل بر اساس منحنی بادیکو برای محدوده‌های مطالعاتی *

* به منظور نمایش بهتر شکل پراکنش داده‌ها نسبت به منحنی بادیکو و در نتیجه تحلیل مناسب‌تر نتایج عملکرد مدل SDDWB، مقادیر عددی محور افقی نمودارهای شکل ۹ حداکثر تا عدد ۵۰ نمایش داده شده است.

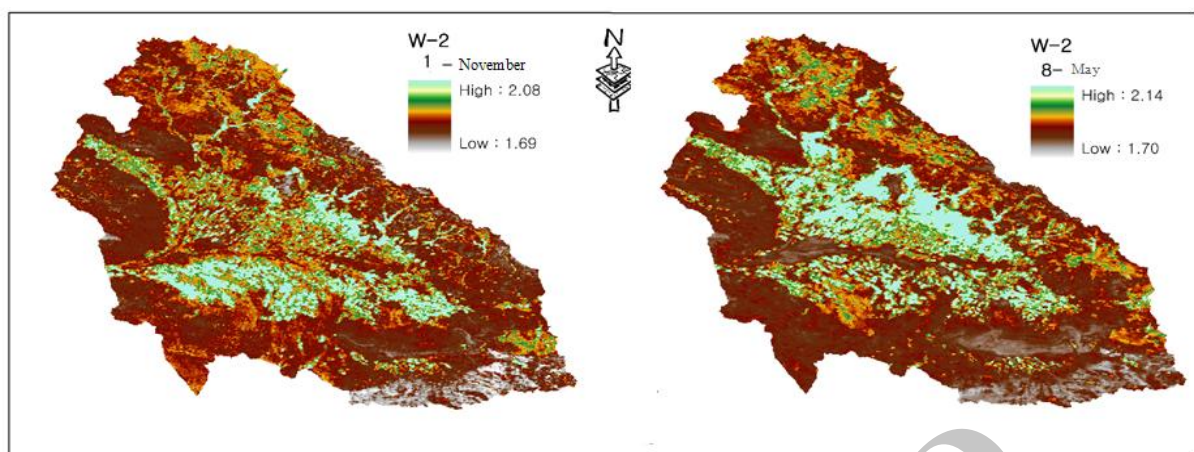


Fig. 7- Spatiotemporal variations of the parameter ω_2 in the Neyshabur study area (The images of November 10 and April 18, 2005)

شکل ۷- تغییرات مکانی-زمانی پارامتر ω_2 در سطح محدوده مطالعاتی نیشابور (تصاویر مربوط به تاریخ ۱۰ آبان و ۱۸ اردیبهشت سال آبی ۵۸-۱۳۸۴)

مشاهداتی و محاسباتی بر اساس مدل SDDWB بیانگر آن است که رویکرد بکارگرفته شده از اطلاعات شاخص NDVI که بوسیله آن تأثیر تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات فیزیکی محدوده‌های مطالعاتی (مانند تغییرات پوشش گیاهی) را در امر واسنجی پارامترهای مدل اعمال شده در بهبود عملکرد مدل بسیار تأثیرگذار بوده است. همچنین نتایج مناسب مدل SDDWB بیانگر آن است که رویکرد بکارگرفته شده در جهت اعمال اثرات برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به عنوان یکی مؤلفه‌های اصلی تأثیرگذار در برآورد مؤلفه‌های بیلان بخصوص در نواحی خشک و نیمه خشک و همچنین رویکرد مدل‌سازی توزیعی و بهره‌گیری از ضرایب تناسبی (در قالب نقشه‌هایی مانند ISA, RSA, SI, CC و DP) به خوبی توانسته نتایج عملکرد مدل DWB (شکل توسعه یافته آن SDDWB) را بهبود دهد. بطور کلی با توجه به آنچه گفته شده می‌توان بیان داشت که مدل SDDWB به دلیل مزایایی از قبیل سادگی، تعداد کم پارامترهای مورد نیاز برای واسنجی (تعداد ۷ پارامتر در مقایسه با مطالعاتی مانند مطالعه Izadi (2012) که به واسنجی ۲۱ پارامتر هیدرولوژیکی در مدل تلفیقی مورد بررسی پرداخته بودند، بسیار مطلوبتر محسوب می‌شود)، در دسترس بودن داده‌های ورودی مدل، کاهش خطای ناشی از جابجایی دستی داده‌ها و افزایش سرعت و دقت محاسباتی، می‌تواند به عنوان یک مدل کاربردی جهت تهیه مؤلفه‌های بیلان آب در سطح محدوده‌های مطالعاتی در راستای مدیریت منابع آب، علی‌الخصوص در نواحی خشک و نیمه خشک، بکار گرفته شود. البته این ادعا باید در پژوهش‌های بیشتری مورد تأیید قرار گیرد.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر ضمن ارزیابی مدل DWB، با هدف اصلاح، توسعه (شکل توسعه یافته با نام SDDWB) و ارزیابی این مدل برای محدوده‌های مطالعاتی رخ و نیشابور صورت گرفت. نتایج مدل DWB بیانگر وجود اختلاف معنادار بین مقادیر تغییرات حجم آبخوان محاسباتی و مشاهداتی در هر دو محدوده‌های مطالعاتی است. دلیل اصلی این امر عدم اعمال اثرات برداشت از منابع آب زیرزمینی در مدل DWB است. مقدار نسبی شاخص‌های PRMSE برای مدل SDDWB در هر دو محدوده مطالعاتی، کمتر از ۱۰ درصد برآورد شده (برای محدوده رخ ۷/۴۸ و نیشابور ۹/۹۳ درصد) که نشان‌دهنده دقت قابل قبول آن می‌باشد. مقادیر خطای کلی مدل بیلان SDDWB در هر دو حالت بیلان آب سطحی و زیرزمینی و برای هر دو محدوده مطالعاتی در مقایسه با مدل DWB بسیار کمتر است و این امر بیانگر تأثیر مثبت اصلاحات و توسعه صورت گرفته بر روی مدل DWB است. به عبارتی دیگر رویکرد بکارگرفته شده در پژوهش حاضر به خوبی توانسته نتایج مدل‌سازی و در نتیجه برآورد مؤلفه‌های بیلان آب سطحی و زیرزمینی را بهبود بخشد. بررسی میزان تبعیت نسبت $ET(t)/P(t)$ در مقابل $ETP(t)/P(t)$ بیانگر آن است که سهم میزان تبخیر-تعرق واقعی از بارندگی بسیار بیشتر بوده و بر این اساس پراکنش نقاط در برخی از موارد خارج از منحنی آب محدود، منحنی بادیکو قرار گرفته‌اند و این امر تأکیدی بر لزوم اعمال اثرات آبیاری در جهت برآورد میزان تبخیر-تعرق واقعی و در نتیجه لزوم اعمال آن در مدل‌سازی و در نتیجه شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس حوضه آبریز است. تطابق و همخوانی روند تغییرات حجم آبخوان

- Andaraab and Gharoob roman). *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 6(1):125-145 (In Persian)
- Fang Z, Zhang L, and Xu Z (2009) Effects of vegetation cover change on stream flow at a range of spatial scales. 18th World IMACS/MODSIM Congress Cairns Australia 13-17 July
- Fetter CW (1994) *Applied Hydrogeology*. 3rd ed, Macmillan, New York, 691 pp
- Greve P, Gudmundsson L, Orłowsky B, Seneviratne S I (2016) A two-parameter Budyko function to represent conditions under which evapotranspiration exceeds precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences* 20(6):2195–2205, DOI:10.5194/hess-20-2195-2016
- Han S, Hu H (2012) Spatial variations and temporal changes in potential evaporation in the Tarim Basin northwest China (1960-2006) influenced by irrigation? *Hydrol. Process* 26:3041-3051
- Hargreaves GH, Samani ZA (1982) Estimating potential evapo-ration. *J, Irrig, Drain, Eng.-ASCE*, 108(3):225-230, <http://modis/gsfc/nasa/gov>
- Izadi A (2012) Application and evaluation of an integrated development model for surface water in the Neyshabur basin. Ph.D, Thesis, Ferdowsi University, Faculty of Agriculture, Department of Water Engineering, 227 p (In Persian)
- Jackson RB, Carpenter SR, Dahm CN, McKnight DM, Naiman RJ, Postel SL, Running SW (2001) Water in a changing world. *Ecological Application* 11:1027-1045
- Khazaei B, Hosseini SM (2015) Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. *Journal of Hydrology* 524:538-548
- Khorasan Razavi Regional Water Company (2011) Report of the consolidation of water resources studies in the desert basin. Volume III, Analysis of statistics and information and water balance, Section V Combined studies and water bill, Appendix No, 38, Water Balance in the Neyshabur Studies Area (In Persian)
- Liu YB, Gebremeskel S, De Smedt F, Hoffmann L and Pfister (2003) A diffusive transport approach for flow routing in GISbased flood modeling. *Journal of Hydrology* 283, 1-4:91-106
- Mein RG, Brown BM (1978) Sensitivity of optimized parameters in watershed models. *Water Resources Research* 14:299-303
- Melesse AM and Shih SF (2002) Spatially distributed storm runoff depth estimation using landsat image

- 1- Dynamic Water Balance Model
- 2- Shuttle Radar Topography Mission
- 3- Lumped
- 4- Semi Distributed Dynamic Water Balance
- 5- Runoff Source Area
- 6- Irrigation Source Area
- 7- Surface Infiltration
- 8- Crop Cover
- 9- Deep Seated Permeability
- 10-Normalize Difference Vegetation Index
- 11-Identifiability
- 12-Underestimate

۷- مراجع

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. In FAO irrigation and drainage paper, no 56, FAO, Roma, Italy
- Beven KJ, Binley A (1992) The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes* 6(3):272-228
- Bromley J, Brouwer J, Barker AR, Gaze SR, Valentin C (1997) The role of surface water redistribution in an area of patterned vegetation in a semiarid environment south-west Niger. *Journal of Hydrology* 198
- Budyko M (1974) *Climate and Life*. 508, Academic, San Diego, Calif
- Domenico PA and Schwartz WW (1990) *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York, 824 pp
- Domingo F, Villagarc' L, Boer MM, Alados-Arboledas L, Puigdefa' bregasa J (2001) Evaluating the long-term water balance of arid zone stream bed vegetation using evapotranspiration modelling and hillslope runoff measurements. *Journal of Hydrology* 243:17-30
- Dunne T, Black R (1970) Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resources Research* 6(5):1296-1311
- Emamifar S, Davari K, Ansari H, Ghahraman B, Hosseini SM, Nasser M (2016a) Estimation of soil moisture properties as input variables of hydrological modeling using small scale soil maps. *Journal of Iran Water and Irrigation* 23(6):49-65 (In Persian)
- Emamifar S, Davari K, Ansari H, Ghahraman B, Hosseini SM, Nasser M (2016b) DWB uncertainty analysis using GLUE (Case Study: Watershed

- groundwater balance and level in Ramhormoz plain. Extension and Development of Watershed Management 17(5):19-28 (In Persian)
- Tekleab S, Uhlenbrook S, Mohamed Y, Savenije HHG, Temesgen M, Wenninger J (2011) Water balance modeling of Upper Blue Nile catchments using a top-down approach. *Hydro Earth Syst Sci.* 15:2179-2193
- Vrugt JA, Braak CJFT, Diks CGH, Robinson BA, Hyman JM, Higdon D (2009) Accelerating Markov chain Monte Carlo simulation by differential evolution with self-adaptive randomized subspace sampling. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation* 10:273-290
- Wang S, Kang S, Zhang L, Li F (2008) Modelling hydrological response to different land-use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. *Journal of Hydrological Processes* 22:2502-2510
- Weiskel PK, Vogel RM, Steeves PA, Zarriello PJ, DeSimone LA, Ries KGR III (2007) Water use regimes: characterizing direct human interaction with hydrologic systems. *Water Resources Research* 43:W04402. DOI: 04410.01029/02006WR005062
- Zhang L, Potter N, Hickel K, Zhang Y, Shao Q (2008) Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework-Model development and testing. *Journal of Hydrology* 360(1):117-131
- Zhang LK, Hickel WR, Dawes FHS, Chiew AW, Western and Briggs PR (2004) A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resources Research*, 40, W02502, doi:10.1029/2003WR0027101
- and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture* 37:173-183
- Mianabadi A (2016) Annual evapotranspiration forecasting in dry areas watersheds with drought index (study dated catchment Neyshabur). Ph.D. Thesis, Ferdowsi University, Faculty of Agriculture, Department of Water Engineering, 183 p
- Mohammad AG, Adam MA (2010) The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses Catena model. *Journal of Hydrology*, doi:10.1016/j.catena.2010.01.008
- Nash JE, Sutcliffe JV (1970) River flow forecasting through conceptual models part1: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10:282-290
- Portoghese I, Uricchio V, Vurro M (2005) A GIS tool for hydrogeological water balance evaluation on a regional scale in semi-arid environments. *Computers & geosciences* 31(1):15-27
- Rahnama B, Nasserli M, Zohrai B (2012) Optimal structure detection and uncertainty analysis of monthly water balance model. *Iranian Water Research*, Eighth, No, 14:77-86 (In Persian)
- Razavi S (2013) Development of quasi-distributive model of balance (QDWB) and its evaluation in the Rokh-Neyshabur study area. M.Sc. thesis in Ferdowsi University, Faculty of Agriculture, Department of Water Engineering, 114 p (In Persian)
- Rimal BK and Lal R (2009) Soil and carbon losses from five different land management areas under simulated rainfall. *Soil & Tillage Research* 106:62-70
- Soleimani FB, Kolahchi A, Arsham A (2017) Investigation of climate change effect on