

## توسعه مدل شبه توزیعی برای برآورد بیلان (QDWB) و ارزیابی آن در محدوده مطالعاتی رخ - نیشابور

سید سجاد رضوی کهنمویی<sup>1</sup> - کامران داوری<sup>2\*</sup> - بیژن قهرمان<sup>3</sup> - علی نقی ضیائی<sup>4</sup> - عزیزالله ایزدی<sup>5</sup> - کاظم اسحاقیان<sup>6</sup> - مهری

شاهدی<sup>7</sup> - فاطمه طالبی<sup>8</sup>

تاریخ دریافت: 1394/06/16

تاریخ پذیرش: 1395/08/03

### چکیده

محدود بودن توان منابع آب در کشورمان، حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آن را به منظور تأمین نیازهای آبی آینده‌گان طلب می‌کند و دستیابی به این اهداف جز با تهیه بیلان منابع آب و ارزیابی پتانسیل آن امکان‌پذیر نمی‌باشد. هدف این پژوهش، برآورد پارامترهای بیلان با استفاده از روش توزیعی می‌باشد. در این راستا پس از بررسی مدل‌ها و روش‌های توزیعی موجود، مدل شبه توزیعی (QDWB) Qausi Distributed Water Balance model در محیط برنامه‌نویسی متلب توسعه داده شد. برای اجرای این مدل لازم است تا داده‌های مورد نیاز (بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل، داده‌های کاربری و خاک و اطلاعات مرتبط، ضرایب تصحیح رواناب و نفوذ) به صورت توزیعی و در قالب سلول‌های 500 در 500 متر در سطح حوضه تهیه شده و به صورت لایه‌های جداگانه و به فرم ماتریسی به مدل وارد شود. مدل برای تخمین رواناب و نفوذ عمقی، معادله بیلان آب‌های سطحی را حل می‌کند و نیاز آبیاری را بر اساس تأمین کمبود رطوبت خاک (شرایط مطلوب) تخمین می‌زند. محدوده مطالعاتی مورد نظر در این تحقیق حوضه آبریز نیشابور - رخ با مساحت 9157 کیلومتر مربع است. بررسی روابط میان عوامل بیلان مانند مقایسه بارندگی - تبخیر و تعرق، بارندگی - رواناب، بارندگی - نفوذ حاکی از این مطلب است که مدل به خوبی فرآیندهای هیدرولوژیکی حاکم بر حوضه را درک کرده است. نتایج تبخیر و تعرق مدل توسعه یافته حاضر با نتایج مدل SWAT مقایسه شد که نشان دهنده روند مشابه تغییرات تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط هر دو مدل می‌باشد. بخصوص در سال‌های آبی 82-1381، 84-1383، 86-1385 و 88-1387 که بارش‌های سالانه بیشتر از 300 میلی‌متر بوده، تبخیر - تعرق برآورد شده در مدل QDWB بسیار نزدیک به مقادیر برآوردی SWAT است. بطوری‌که اختلاف مابین نتایج مدل QDWB و SWAT به ترتیب در سال‌های فوق‌الذکر، 3، 10، 13 و 21 میلی‌متر می‌باشد. این امر حاکی از آن است که در سال‌های پر بارش، سهم بیشتری از نیاز آبی محصولات از بارش تأمین شده و شرایط واقعی آبیاری مزارع (فواصل زمانی طولانی دو آبیاری) به شرایط اصولی مدیریت آبیاری نزدیک می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بیلان آب سطحی، حوضه آبریز رخ - نیشابور، کمبود رطوبت خاک، مدل شبه توزیعی

### مقدمه

محدود بودن توان منابع آب در کشورمان، حفاظت، حراست و بهره‌برداری بهینه از آن را به منظور تأمین نیازهای آبی آیندگان طلب می‌کند و دستیابی به این اهداف جز با تهیه بیلان منابع آب و ارزیابی پتانسیل آن امکان‌پذیر نمی‌باشد. ارزیابی منابع آب یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مراحل مدیریت منابع آب و لازمه مدیریت پایدار منابع آب است. دخالت انسان در چرخه طبیعی آب موجب تغییر در مقادیر و عوامل معادله بیلان گردیده که خود پیام‌آور ضرورت برآورد دقیق و سریع بیلان به منظور حفظ و نگهداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. علاوه بر غیر ممکن بودن اندازه‌گیری برخی از عوامل بیلان آب در حوضه؛ در حال حاضر برای محاسبه بیلان مشکلاتی وجود دارد. پرهزینه و زمان‌بر بودن تأمین داده‌های موثق و کافی برای برآورد بسیاری از مؤلفه‌های بیلان (در سطح حوضه) و اتکا به روش‌های تجربی (تخمینی) برای برآورد این مؤلفه‌ها در اکثر حوضه‌های کشور، و از طرفی نبود روش‌های تجربی واسنجی شده و

محدود بودن توان منابع آب در کشورمان، حفاظت، حراست و بهره‌برداری بهینه از آن را به منظور تأمین نیازهای آبی آیندگان طلب

1، 2، 3، 4، 7 و 8 - به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استاد، استادیار و دانش آموخته‌گان کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(\* - نویسنده مسئول: (Email: K.Davary@ferdowsi.um.ac.ir)

5- محقق دوره پس‌دکتری، مرکز تحقیقات آب دانشگاه سلطان قابوس، مسقط، عمان

6- کارشناس ارشد، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

DOI: 10.22067/jsw.v30i6.47416

سطح زمین داشته باشد استفاده از مدل‌های توزیعی است. مدل‌های یکپارچه توان شبیه‌سازی تأثیرات فرآیندهای هیدرولوژیکی بر حوضه آبریز را ندارند چرا که این فرآیندها و عوامل از جمله توپوگرافی، شیب، بافت خاک، بارش، دما و... در سطح حوضه آبریز متغیر هستند (7).

مدل‌های توزیعی، مدل‌هایی هستند که حوضه را به بخش‌هایی بسیار کوچکتر از مقیاس حوضه تقسیم می‌کنند. در مدل‌های توزیعی دو رویکرد در تفکیک مکانی حوضه وجود دارد: روش اول تقسیم حوضه به بخش‌هایی که واحدهای واکنش هیدرولوژیکی نام دارند (6 و 8). از جمله مدل‌هایی که بر اساس زیرحوضه‌های ریز مقیاس (واحدهای واکنش هیدرولوژیکی) عمل می‌کند مدل SWAT است. این واحدها دارای ترکیبات یکسانی از خاک، پستی و بلندی و کاربری اراضی می‌باشند (6). ممکن است این چنین مدل‌هایی را در مقیاسه با مدل‌هایی که شبکه‌بندی منظم دارند نیمه‌توزیعی نامید. علیزاده و همکاران (3) از این مدل برای تخمین تبخیر - تعرق واقعی در مقیاس سال - حوضه در حوضه نیشابور استفاده کردند. این مدل با استفاده از جریان رودخانه و عملکرد گیاه برای دوره 7 و 3 ساله به ترتیب و اسنجی شده است. اما با توجه به اینکه مدل‌هایی مانند SWAT ورودی‌های زیادی را می‌طلبد و اهداف اینگونه مدل‌ها بسیار فراتر از برقراری بیلان حوضه می‌باشد؛ اجرای اینگونه مدل‌ها صرفاً برای بیلان توجیهی ندارد.

در بسیاری از مدل‌های توزیعی از شبکه‌بندی منظم در تفکیک مکانی حوضه استفاده می‌شود (5 و 19). به عنوان مثال می‌توان به PRO-GRADE اشاره کرد که علاوه بر این که داده‌های ورودی را به صورت توزیعی دریافت می‌کند، نتایج بیلان را نیز در همان سلول‌ها ارائه می‌دهد. این مدل توسط لین و همکاران (17) برای محاسبه تغذیه آبخوان‌های کم‌عمق ارائه شده است. هر یک از روش‌های تقسیم‌بندی مزایا و معایبی دارند؛ در تقسیم‌بندی نامنظم ویژگی‌های هر زیرحوضه باید متناسب با فرآیندهای هیدرولوژیکی باشد بنابراین با افزایش تقسیمات جزئیات افزایش پیدا خواهد کرد و با کاهش آن می‌باید از مسئله همگن بودن زیرحوضه‌ها چشم‌پوشی کرد. در تقسیم‌بندی منظم، مسئله غیرهمگن بودن ویژگی‌های فیزیکی درون هر سلول مطرح است؛ کاهش اندازه سلول‌ها غیرهمگنی را کاهش داده در عین حال باعث افزایش محاسبات خواهد شد (27). ایزدی و همکاران برای تعیین یک چارچوب جهت تولید مدل مفهومی که به عنوان اساسی برای مدل‌سازی عددی می‌باشد، ابتدا دشت نیشابور را با استفاده از شبکه‌بندی منظم به سلول‌هایی تقسیم‌بندی کردند. بدین ترتیب هر سلول به طور جداگانه از نظر موجود بودن اطلاعات و داده‌های لازم برای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و همچنین از لحاظ کیفیت اطلاعات موجود مورد مطالعه قرار گرفت تا با جمع‌آوری اطلاعات مدل‌سازی عددی انجام گیرد (12).

مدل‌های توزیعی بیلان علاوه بر تفاوتی که با مدل‌های یکپارچه

بومی برای برآورد دقیق‌تر عوامل بیلان، و همچنین وجود خطاهای انسانی و طبیعی در محاسبه این عوامل می‌باشد. از دیگر مشکلات موجود در این زمینه، زمان‌بر بودن محاسبه بیلان، به دلیل ضرورت اتصال بیلان حوضه‌های مجاور به یکدیگر می‌باشد. از طرفی به دلیل ماهیت تغییرپذیری پارامترهای هیدرولوژیکی، آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی مؤلفه‌های بیلان از اهمیت خاصی برخوردار است (26).

مدل‌ها و روش‌های مختلفی تحت عنوان مدل‌های بیلان وجود دارد که بر اساس معیارهای مختلف از جمله نوع توزیع پارامترها و فرضیات به کار رفته قابل طبقه‌بندی می‌باشند. در ادامه به شرح انواع مدل‌ها و روش‌های موجود برای محاسبه بیلان منابع آب پرداخته شده است.

تعداد زیادی از مدل‌های یکپارچه‌ی بارش - رواناب از اواسط قرن 19 تولید و استفاده شده است. مفهوم اساسی این مدل‌ها بیلان آب حوضه و هسته مرکزی این مدل‌ها، محاسبه تغییرات رطوبت خاک می‌باشد (27). مدل بیلان برای اولین بار در سال 1948 توسط تورنت وایت (23) مطرح شد و در سال‌های 1955 و 1975 توسط تورنت وایت و ماتر اصلاحاتی بر روی آن انجام شد (24). ایده اصلی این مدل محاسبه تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (به عنوان ورودی و خروجی حجم کنترل) و به دست آوردن آب مازاد و یا کمبود در پروفیل خاک، با در نظر گرفتن ظرفیت ذخیره رطوبتی خاک می‌باشد. این مدل‌ها تاکنون در جنبه‌های مختلفی از هیدرولوژی به کار گرفته شده، اصلاح و به‌هنگام شده‌اند. علاوه بر مدل‌های یکپارچه، مدل‌های بیلان از نظر توزیع پارامترها به مدل‌های نیمه‌توزیعی و توزیعی تقسیم می‌شوند منظور از مدل‌های نیمه‌توزیعی مدل‌هایی هستند که حوضه را به چند زیرحوضه تقسیم کرده و پارامترها را به طور متوسط به هر یک از این زیرحوضه‌ها اختصاص داده و بیلان را محاسبه می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان منطقه را بر اساس تشابه بافت، پوشش گیاهی، و تجمع برف به سه منطقه تقسیم کرده و میزان رواناب، تبخیر و تغییرات ذخیره رطوبت خاک و آب زیرزمینی را در هر یک از این بخش‌ها تخمین زد (10). احمدی و همکاران (1) به منظور نشان دادن نحوه توزیع تغذیه در دشت از روش پهنه‌بندی چند ضلعی‌های تیسن استفاده کردند. قلعه‌بان و همکاران (20) برای مدل‌سازی مفهومی بیلان آب حوضه نیشابور این تقسیم‌بندی را بر اساس ایستگاه‌های هیدرومتری انجام دادند. آنها برای صحت‌سنجی مدل رابطه بین متغیرهای هیدرولوژیکی و انطباق آن‌ها با فیزیک حوضه را بررسی کرده و با توجه به بررسی رابطه بین بارش با رواناب، تبخیر و تعرق و نفوذ کارایی مدل را نشان دادند.

اما مدل‌های یکپارچه و یا حتی نیمه توزیعی قادر نیستند تا تأثیر تغییرات شیب و یا شبکه آبراه‌های و دیگر پارامترها را بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه نشان دهند. متداولترین روش برای اینکه یک مدل بتواند بهترین انطباق را با فرآیندهای هیدرولوژی

فرضیاتی است که برای تفکیک لایه‌های خاک دارند. یو و همکاران (28) با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دما و سایر پارامترهای هیدرولوژیکی مدل VB را به کار بستند. در این مدل ستون خاک از لحاظ مفهومی به 6 لایه با ضخامت‌های مختلف تقسیم می‌شود. روندیابی جریان در لایه‌های مختلف خاک اغلب به دلیل نبود داده‌های کافی کار آسانی نبوده و بنابراین به طور تجربی درصدی از ظرفیت رطوبتی ستون خاک به هر کدام از لایه‌ها تخصیص داده می‌شود (22). همچنین می‌توان به مدل IBIS که یک شبیه‌ساز یکپارچه بیوسفری برای تعیین الگوی توزیع متغیرهای هیدرولوژیکی بیلان آب می‌باشد، اشاره کرد که دارای دو لایه پوشش گیاهی، سه لایه برف و شش لایه خاک برای هر سلول می‌باشد (29).

در این پژوهش برای انتخاب مدلی که مناسب منطقه مورد مطالعه باشد با توجه به قابلیت‌های زیاد مدل‌های توزیعی بیلان آب، این مدل‌ها مورد مطالعه قرار گرفته تا بتوان بهترین انتخاب ممکن را انجام داد. در جدول 1 خلاصه نتایج به دست آمده از مطالعه کلی مدل‌های توزیعی بیلان آب جمع‌بندی و ارائه شده است. بر این اساس ایده اصلی مدل حاضر بر اساس مدل پورتوگیس و همکاران (21) انتخاب گردیده است. ملاک‌های اصلی انتخاب، قابل دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، دارا بودن فرضیاتی که مناسب برای محاسبه بیلان حوضه آبریز و همچنین مناسب بودن برای مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش ارائه یک مدل کامپیوتری برای محاسبه سریع بیلان به روش توزیعی است، که عوامل نامشخص بیلان را بر مبنای داده‌ها و اطلاعات موجود در کشور و واقعیات فیزیکی حوضه تخمین می‌زند. به این منظور کارایی مدل توسعه‌یافته در حوضه آبریز نیشابور مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور با وسعت کل 9157 کیلومتر مربع در طول جغرافیایی  $17^{\circ} 58'$  تا  $30^{\circ} 59'$  و عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 40'$  تا  $36^{\circ} 39'$  واقع شده و از شمال به خط الرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلاجوق و یالپلنگ، و از جنوب به تپه ماهورهای نیزه بند، سیاه کوه و کوه نمک و از غرب به حوضه آبریز دشت سبزوار محدود می‌شود. شهر مشهد در شرق حوضه نیشابور واقع شده است. در شکل 1 این موارد همراه با موقعیت شهر نیشابور و مرز حوضه آبریز رخ - نیشابور مشخص شده است.

دارند، با مدل‌های توزیعی فیزیکی که مختص شبیه‌سازی هیدرولوژیک هستند نیز متفاوت هستند. دقت مورد نیاز مدل‌های توزیعی بیلان از نظر زمانی ماهانه/سالانه و از نظر مکانی حوضه آبریز می‌باشد؛ در حالی که دقت مدل‌های توزیعی شبیه‌سازی هیدرولوژیک بسیار ریزمقیاس‌تر است. لذا پارامترهای مدل‌های بیلان بسیار کمتر از مدل‌های توزیعی سنتی است. ضمن اینکه فراهم آوردن داده‌های لازم برای تخمین پارامترها در یک منطقه وسیع به آسانی مقدور نخواهد بود (27)؛ و یا بسیار زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. مدل‌های فیزیکی از روابط پیوستگی و گشتاور برای توصیف فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده می‌کنند (9). در اکثر موارد مدل‌هایی که به منظور شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه توسعه داده شده‌اند تلفیقی از روابط تجربی و فیزیکی را مورد استفاده قرار می‌دهند. به عنوان مثال LISFLOOD توسط مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک موجود در حوضه آبریز تولید و برای حوضه‌های مختلف اروپا مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل برای پیش‌بینی سیلاب، بررسی تأثیرات تغییر اقلیم، کاربری زمین و .. می‌باشد (25).

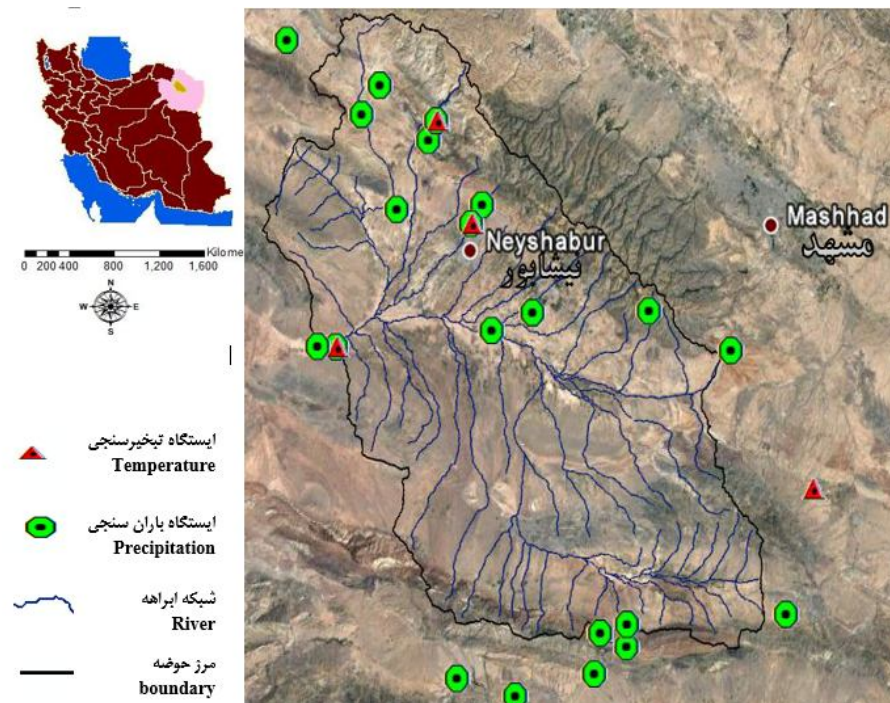
امروزه با پیشرفت فرآیندهای که در فن‌آوری‌های سنجش از راه دور و ثبت داده‌های متغیر مکانی/زمانی وجود دارد؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی نیز به عنوان پردازشگر این داده‌ها و نقشه‌های توپوگرافی، بارش و ... در بسیاری از موارد می‌تواند دقت و سرعت انجام محاسبات را افزایش داده، امکان تلفیق داده‌ها و خصوصیات مکانی را در قالب یک پایگاه داده فراهم نماید (7). بر همین اساس بسیاری از مدل‌های توزیعی دارای نرم‌افزار قابل نصب در ArcGIS و یا ArcView هستند، به طوری که داده‌های توزیعی مورد نیاز به راحتی در GIS تهیه و وارد نرم‌افزار شده و خروجی‌ها نیز به صورت نقشه‌های توزیعی تولید می‌شود. پورتوگیس و همکاران (21) یک مدل بیلان را، به منظور تخمین تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که اندازه‌گیری‌ها ضعیف هستند، به کار بردند که قابل اجرا در GIS می‌باشد. همچنین SWBM مدلی در محیط GIS است که دسترسی به آب و استفاده از آن را تحت شرایط گوناگون در حوضه آبریز نشان می‌دهد (18). WetSpa نیز یک مدل توزیعی و قابل نصب در GIS است و جزو مدل‌های هیدرولوژیکی فیزیکی محسوب می‌شود (16). کبیر و بهره‌مند (14) این مدل را برای تخمین روزانه جریان رودخانه و آنالیز بیلان آب حوضه گرگان رود استفاده کردند و توانستند تغییرات بیلان آب حوضه را نسبت به دهه‌های گذشته نشان دهند.

علاوه بر تفاوتی که مدل‌ها در نوع و اندازه تفکیک مکانی و همچنین گام زمانی دارند، تفاوت‌ها در پارامترهای مدل و نوع

جدول 1- دسته‌بندی مدل‌های توزیعی بیلان آب

Table 1- Distributed water balance models classification

سال Year	مؤلف Authors	نام مدل بیان Model name	زیرزمینی Ground	سطح Surface	نوع مدل سطحی Surface process		گام زمانی Time resolution			نوع توزیع مکانی Spatial resolution	
					چند لايه More	یک لايه One	سال انه Annual	ماهانه Monthly	روزانه یا کمتر Daily, hourly	نا منظم Regular	منظم Irregular
1979	باير و همکاران Baier & et al.	VB	*	*	*				*	*	
1996	وانگ و باتلان Wang & Batelaan	WetSpa	*	*	*				*		*
1999	آئرتس Aerts	STREAM		*		*		*			*
2000	لوییتن و همکاران Luijten & et al.	SWBM		*	*				*	*	
2000	پیمنتا Pimenta	-		*	*				*		*
2001	باتلان و اسمیت Batelaan & Smedt	WetSpa ss	*	*	*			*			*
2002	کورنل و وندلند Kunkel & Wendland	GROW A		*		*		*			*
2003	شابلوا و همکاران Shabalova & et al.	RHINE FLOW		*		*		*			*
2003	آلماو و همکاران Alemaw & et al.	DGHM		*		*		*	*		*
2004	رود و همکاران Ruud & et al.	-		*		*		*	*	*	
2005	پورتوگیس و همکاران Portoghese & ea al.	-		*		*		*	*		*
2005	کرولی و همکاران Croley & ea al.	DLBR M	*	*	*			*			*
2007	ویکتوریا و همکاران Victoria & et al.	-		*		*		*			*
2008	رو Roo	LISFLO OD	*	*	*			*			*
2008	لین و همکاران Lin & et al.	PRO- GRADE water	*	*			*	*			*
2010	دایر Dyer	balance toolbox		*		*		*			*
2010	USGS	SWB		*		*		*			*
2010	ژو و همکاران Zhu & et al.	IBIS		*	*			*			*
2011	بارتولینی و همکاران Bartolini & et al.	-	*	*	*			*			*
2012	مور و همکاران Moore & et al.	-		*		*		*			*



شکل 1- موقعیت حوضه رخ - نیشابور و ایستگاه‌های بارانسنجی و تبخیرسنجی همراه با شبکه آبراهه‌ای  
Figure 1- Nishapur- Rokh basin and precipitation, temperature stations and River Network

70 درصد از اراضی زراعی به گندم و جو آبی، و نزدیک به 30 درصد به پنبه، چغندر قند و یونجه اختصاص دارد که پس از گندم دیم از عمده‌ی محصولات کشت شده به‌شمار می‌آیند. عمده محصولات باغی شامل درختان سیب، آلو، پسته و همچنین انگور می‌باشد. مقداری از کشت حوضه نیز مربوط به محصولات جالیزی است (13).

#### ورودی‌های مورد نیاز مدل و روش برآورد آن‌ها

این مدل نیازمند داده‌های ورودی به صورت توزیعی است و لذا ورودی‌های مدل، همگی به صورت ماتریس با سلول‌های 500 در 500 متر می‌باشد که تعداد 36946 سلول محدود رخ - نیشابور را پوشش می‌دهد. ورودی‌های مدل در جدول 2 خلاصه و در ادامه نحوه آماده‌سازی آن‌ها شرح داده شد است. در رابطه با مقیاس زمانی مدل نیز از داده‌های روزانه بارش و دما استفاده شده تا تغییرات روزانه رطوبت خاک قابل محاسبه باشد، ولی در نهایت نتایج بیلان به صورت سالانه ارائه گردیده است.

داده‌های هواشناسی: میان‌یابی بارش بر اساس اطلاعات روزانه 23 ایستگاه باران‌سنجی و با روش عکس فاصله و پهنه‌بندی دما بر اساس افت‌آهنگ دما و عکس فاصله با استفاده از 4 ایستگاه تبخیرسنجی انجام گرفت با این توضیح که بر اساس رابطه هارگریوز - سامانی مقدار  $(T_{max} - T_{min})$  برای هر روز برابر متوسط مقدار مشاهده شده در 4 ایستگاه فرض شد.

#### داده‌ها و اطلاعات پایه

DEM به عنوان یک مدل پایه در تهیه بسیاری از نقشه‌ها از جمله نقشه شیب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش از SRTM90 استفاده شده است. شبکه رودخانه توسط مرکز ملی نقشه‌برداری در مقیاس 1:25000 تولید گردیده است. در نقشه مذکور با استفاده از نرم افزار Google Earth و دانش افراد خبره تغییراتی داده شده است. برای محاسبه متوسط بارش در سطح محدوده مطالعاتی رخ - نیشابور از داده‌های روزانه 23 ایستگاه داخل و خارج محدوده و برای محاسبه تبخیر از داده‌های دمای 4 ایستگاه تبخیرسنجی استفاده شده است (شکل 1). برای تعیین پارامترهای خاک و نیز برای برآورد CN از نقشه خاک که دارای 41 واحد و کاربری اراضی با 14 کلاس اصلی با دقت 1:10000 تهیه شده توسط مهندسین مشاور ساز آب شرق (1387)، استفاده شده است. مهمترین پارامترهای مورد نیاز برای هر لایه از پروفایل خاک شامل بافت خاک، درصد ذرات خاک و درصد سنگریزه است. برخی از این داده‌ها از گزارش‌های تفصیلی خاکشناسی - آبخیزداری استخراج گردیده است. عمده‌ی محصولات کشت شده در حوضه را گندم و جو آبی، چغندر قند، پنبه، یونجه و گندم دیم تشکیل می‌دهند. حدود 47 درصد از پوشش گیاهی سطح محدوده مربوط به اراضی کشاورزی آبی و دیم، و 49 درصد را مراتع (اغلب با پوشش کم) تشکیل می‌دهد. حدود

جدول 2- ورودی‌های مورد نیاز مدل  
Table 2- Model's parameters and input data

علامت Acronym	ورودی Inputs
P	بارش روزانه Daily precipitation
Tav	دمای متوسط روزانه Daily mean temperature
ET0	تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه Potential evapotranspiration
Kc	ضرایب گیاهی Crop coefficient
CC	تراکم پوشش گیاهی Crop Cover index
Irr	مناطق مورد آبیاری Irrigation
FC, wp	ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی Field capacity, Wilting point
CN	شماره منحنی Curve number
RSA	مناطق موثر در رواناب Runoff Source Area
Inf	نسبت نفوذپذیری سطحی Surface permeability
GP	نفوذ پذیری عمقی Geology Permeability

زهکش افزایش می‌یابد، همچنین در نواحی مسطح حوضه، رواناب قابل چشم‌پوشی بوده و نفوذ ناشی از بارندگی افزایش می‌یابد (7). نواحی کوهستانی که دارای شیب بیش از 20 درصد هستند، به عنوان مناطق مؤثر در رواناب فرض می‌شود. در نواحی که دارای شیب بین 20 تا 3 درصد بوده باندی به پهنای 2 کیلومتر در اطراف آبراه‌ها و در محدوده دشت که شیب به کمتر از 3 درصد می‌رسد این پهنای 1 کیلومتر در نظر گرفته می‌شود. عدد 1 برای مناطق مؤثر در رواناب و صفر برای سایر مناطق می‌باشد.

نفوذ پذیری: برای تعیین قابلیت نفوذپذیری سطحی عددی بین 0 (غیرقابل نفوذ) تا 1 (کاملاً نفوذپذیر) به طور نسبی بر اساس نوع پوشش سطحی تعیین می‌شود. برای تعیین وضعیت نفوذ زیرسطحی فرض شده است، در مناطق کوهستانی 90 درصد آبی که نفوذ می‌کند (عبور از منطقه ریشه) به علت وجود اختلاف ارتفاع و ساختار زمین شناسی این مناطق دوباره به رواناب تبدیل شده و نفوذ عمقی کمتری

پوشش گیاهی: ضرایب گیاهی (ماهانه) برای پوشش و کشت‌های مختلف بر اساس FAO56 (4) و تراکم پوشش (ماهانه) به صورت نسبی برای پوشش‌های مختلف و در دوره رشد تعیین می‌شود. این متغیر نمایه‌ای از وضعیت سطح تبخیر/ تعرق کننده است.

مناطق آبیاری: برای تعیین مناطق مورد آبیاری سلول‌های بدون آبیاری صفر و سلول‌های فاریاب 1 منظور گردید.

مشخصات رطوبتی خاک: پارامترهای رطوبتی خاک از جمله ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی از حاصل ضرب درصد حجمی (بر اساس بافت خاک) در عمق متوسط ریشه (با توجه به نوع پوشش) بر حسب میلی‌متر آب به مدل وارد شده‌اند. شماره منحنی بر اساس گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری زمین تعیین شده (2). تصحیح برای شیب (11) و شرایط رطوبتی خاک انجام گردید.

شاخص رواناب: در شبیه‌سازی رواناب از مفهوم «نواحی مؤثر در تولید رواناب» استفاده شد (15). جریان رواناب در نواحی اطراف شبکه

خاک،  $k_e$  ضریب رطوبتی خاک،  $Eta$  تبخیر و تعرق واقعی و  $ETo$  تبخیر و تعرق پتانسیل هستند.  $t$  اندیس روز و  $m$  اندیس ماه می باشد. همه پارامترها متغیر مکانی بوده و برای هر سلول تعیین شده اند.

### نحوه برآورد پارامترهای مدل

الگوریتم مدل در ابتدا با برآورد رواناب آغاز می شود. به این صورت که در روزهایی که بارش رخ داده است، برآورد رواناب از روش شماره منحنی (Curve Number) انجام می گیرد. در این مدل روش شماره منحنی با در نظر گرفتن ضریب  $RSA$ ، تنها برای مناطق رواناب خیز (عدد 1 برای این مناطق و عدد صفر برای سایر مناطق) عمل می کند. بعد از محاسبه رواناب، باقیمانده بارش به عنوان نفوذ سطحی در خاک در نظر گرفته می شود. مقادیر به دست آمده در ضریب  $Inf$ ، ضرب می شود تا در مناطقی که غیرقابل نفوذ هستند مقدار نفوذ تصحیح شود. این اعداد نسبی بوده به عنوان مثال برای مناطق مسکونی عدد 0/2، برای زمین های سنگ لایخی 0/3 و زمین های زراعی عدد 1 اختصاص داده شده است؛ بنابراین از مقدار نفوذ کاسته شده و به رواناب اضافه می گردد. بعد از محاسبه نفوذ، با توجه به رطوبت اولیه خاک و نفوذ حاصل از بارش، رطوبت اولیه موجود در خاک محاسبه می شود (رابطه 2).  $SWo$  در واقع رطوبت موجود در لایه سطحی خاک در هر روز قبل از در نظر گرفتن تبخیر - تعرق است. در این رابطه  $I(t)$  مقدار آب نفوذ یافته از مناطق نفوذ پذیر،  $SW(t-1)$  رطوبت موجود در خاک از روز قبل می باشد.

$$SWo(t) = SW(t-1) + I(t) \quad (2)$$

بعد از تعیین رطوبت خاک اگر مقدار رطوبت بیشتر از ظرفیت زراعی باشد، مازاد رطوبت به عنوان نفوذ عمقی در نظر گرفته شده و رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی باقی خواهد ماند. سپس با استفاده از نمایه  $GP$  (توان نفوذ پذیری عمقی که در جدول 2 شرح داده شده) مقدار نفوذ عمقی تصحیح می شود (رابطه 3). بنابراین از مقدار نفوذ کاسته شده و به رواناب اضافه می گردد. در واقع مقداری از نفوذ عمقی بدست آمده در مناطق با نفوذ پذیری عمقی پایین، به صورت رواناب دیررس ظاهر شده و با مقدار رواناب سطحی حاصل از مرحله قبل جمع می شود تا رواناب کل از رابطه 4 بدست آید.

$$DP(t) = DPo(t) \times GP \quad (3)$$

$$R(t) = (DP(t) \times (1 - GP)) + R(t) \quad (4)$$

$$f = \frac{SWo(t) - W_{WP}}{W_{FC} - W_{WP}} \quad (5)$$

$$ETca(t) = f \times K_c(m) \times CC \times ETo(t) \quad (6)$$

در این نواحی اتفاق می افتد ولی در دشت تقریباً تمام آب نفوذ یافته تا یک عمق مشخص، به آبخوان می رسد. بر اساس این فرض عدد 0/1 به مناطق کوهستانی و یک برای دشت اختصاص داده می شود.

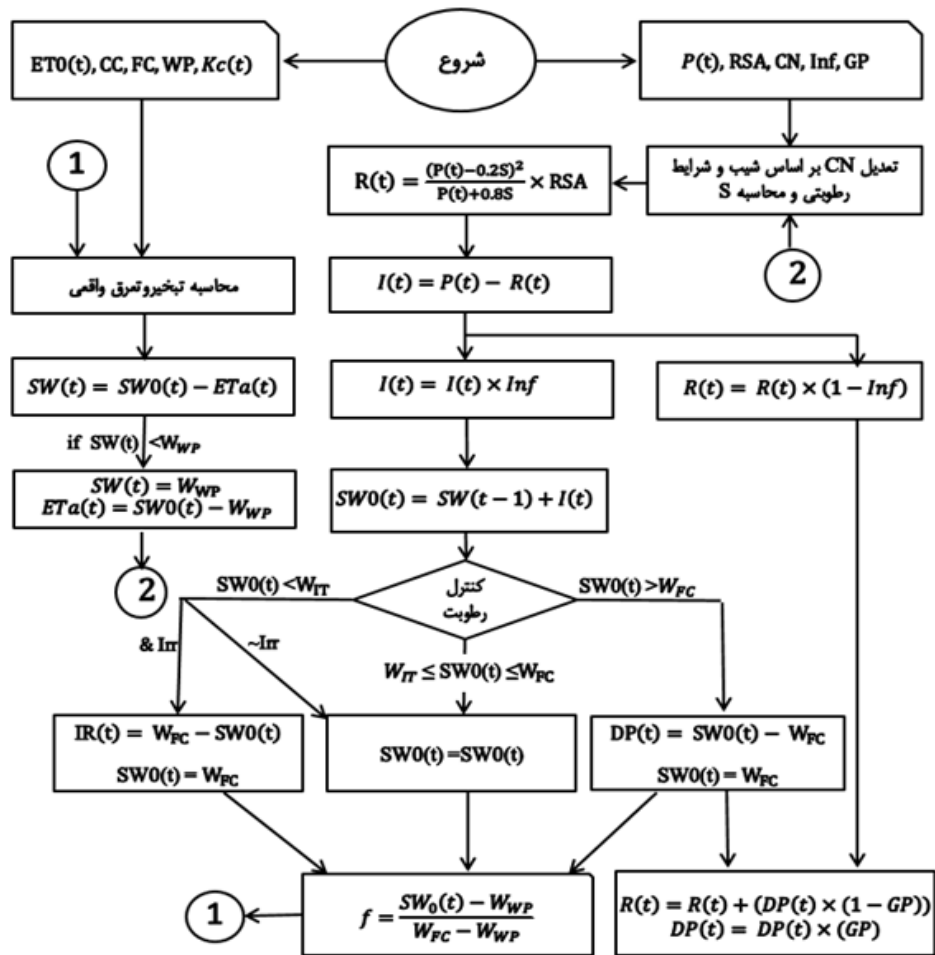
### معرفی مدل QDWB

ایده اصلی مدل QDWB از مدل پورتوگیس و همکاران (21) گرفته شده و با اعمال تغییراتی در فرآیند آن، کد مدل در محیط برنامه نویسی متلب نوشته شده است. مدل معرفی شده در این پژوهش برای محاسبه پارامترها از رویکرد توزیعی استفاده می کند. در عین حال، با توجه به اینکه ردیابی جریان از سلولی به سلول دیگر انجام نشده، مدل شبه توزیعی نامیده می شود. از نظر فرضیات سعی گردیده تا مدل حداقل پیچیدگی را دارا بوده و در عین حال مناسب برای محاسبه بیلان آب سطحی در سطح حوضه آبریز باشد. در این مدل، پارامترهای مؤثر در بیلان سطحی شامل رواناب، نفوذ از بارش، نفوذ عمقی، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و نیاز آبیاری قابل محاسبه است. به کمک این مدل، معادله بیلان سطحی (معادله 1) که بر مبنای تفاوت بین پارامترهای ورودی (بارش و آبیاری) و خروجی (تبخیر و تعرق و رواناب سطحی) بوده، قابل حل می باشد. در این معادله بیلان  $\Delta S$  نمایانگر تغییرات ذخیره رطوبت خاک در سطح حوضه است. همچنین در این معادله  $P$  بیانگر بارش،  $ETa$  تبخیر و تعرق واقعی،  $R$  رواناب سطحی،  $IR$  آب آبیاری و  $DP$  نفوذ عمقی که همگی آن ها برحسب میلی متر در روز می باشند.

$$\Delta S = P + IR - ETa - R - DP \quad (1)$$

روند کلی مدل به این صورت می باشد که تبخیر و تعرق واقعی با توجه به سطوح مختلف (پوشش گیاهی، بدون پوشش و...) و شرایط رطوبتی خاک محاسبه می شود. پس از کسر رواناب، باقیمانده بارش به عنوان نفوذ سطحی به خاک در نظر گرفته می شود. رطوبت نفوذ کرده در خاک علاوه بر تبخیر و تعرق، در صورتی که بالاتر از حد ظرفیت مزرعه باشد به نفوذ عمقی تبدیل می شود. در اراضی فاریاب، اگر رطوبت خاک از حد معینی (به عنوان مثال کمتر از نصف رطوبت در دسترس) پایین تر باشد، کمبود رطوبت خاک از آبیاری جبران خواهد شد.

برای درک بهتر، روند نمای مدل در شکل 2 نشان داده شده است. در این شکل  $P$  بارندگی،  $R$  رواناب،  $I$  نفوذ،  $DP$  نفوذ عمقی،  $IR$  آب آبیاری،  $RSA$  شاخص مناطق مؤثر در رواناب (0 یا 1)،  $GP$  ضریب نفوذ پذیری عمقی،  $S$  ضریب نگهداشت سطحی،  $CN$  شماره منحنی،  $Inf$  نسبت نفوذ پذیری سطحی (0 تا 1، صفر برای زمین آسفالت شده)،  $IRt$  پارامتر تعیین سلول های مورد آبیاری،  $CC$  تراکم پوشش گیاهی،  $Kc$  ضریب گیاهی،  $WP$  و  $FC$  نقطه پژمردگی و ظرفیت مزرعه،  $IT$  حد رطوبتی بین این دو می باشد،  $SW$  رطوبت



شکل 2- فلوجارت کلی مدل QDWB  
 Figure 2- ODWB flowchart

زراعی و یک حد رطوبتی IT باشد، رطوبت خاک بدون تغییر باقی می‌ماند. ولی اگر رطوبت مابین حد رطوبتی IT و نقطه پژمردگی باشد، کمبود رطوبت از طریق آبیاری جبران شده و رطوبت به ظرفیت زراعی می‌رسد ( $SW_0 = W_{FC}$ ). به عبارتی در این شرایط، رطوبت خاک در مدل به دلیل نیاز آبیاری تصحیح می‌شود. حد رطوبتی IT با توجه به شرایطی مدیریتی مزارع تعیین می‌شود، به عنوان مثال این مقدار می‌تواند نصف رطوبت در دسترس باشد. به عبارت دیگر در اینجا فرض بر این است که هر زمان رطوبت خاک پایین تر از حد IT باشد، میزان کمبود رطوبت بوسیله آبیاری جبران خواهد شد و محدودیت مکانی و زمانی برای آب آبیاری وجود ندارد. بنابراین میزان نیاز آبیاری اراضی زراعی در فصل رشد با فرضیات ذکر شده از این طریق قابل محاسبه است. سپس باید از مقدار رطوبت خاک اولیه بدست آمده از مرحله قبل مقدار تبخیر و تعرق واقعی روزانه کم شود تا میزان رطوبت باقیمانده خاک در انتهای هر روز بدست آید. تبخیر و تعرق واقعی

$$\left. \begin{aligned} & \text{if } : ETca(t) \leq SW_0(t) - W_{WP} \\ & \text{then } : SW(t) = SW_0(t) - ETca(t) \\ & \text{if } : ETca(t) > SW_0 - W_{WP} \\ & \text{then } : SW(t) = W_{WP} \ \& \ ETca(t) = SW_0(t) - W_{WP} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$Ea(t) = f \times (1 - CC) \times ET_0(t) \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} & \text{if } : Ea(t) \leq W_S(t) - W_{WP} \\ & \text{then } : SW(t) = SW_0(t) - Ea(t) \\ & \text{if } : Ea(t) > W_S(t) - W_{WP} \\ & \text{then } : SW(t) = W_{WP} \ \& \ Ea(t) = W_S(t) - W_{WP} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

برای اراضی زراعی در فصل رشد نیز، اگر رطوبت مابین ظرفیت



در نهایت مقادیر تبخیر و تعرق واقعی برای مناطق دارای پوشش گیاهی و مناطق غیرپوشش دار که به تفکیک محاسبه شد، با هم جمع گردیده تا مقدار  $ETa(t)$  یا تبخیر و تعرق واقعی کل به دست آید (رابطه 10):

$$ETa(t) = ETca(t) + Ea(t) \quad (10)$$

### نتایج و بحث

نتایج مدل بیلان QDWB در یک دوره 10 ساله برای حوضه آبریز رخ - نیشابور در جدول 3 ارائه شده است.

روزانه  $ETca(t)$  در مناطق پوشش دار، از رابطه‌های 5 و 6 به دست می‌آید.  $f$  تابع کاهش رطوبتی خاک (21) در عمق ریشه گیاه،  $Kc(m)$  ضرایب گیاهی ماهانه و  $CC$  ضریب تراکم پوشش گیاهی و  $ETo$  تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه می‌باشد.

با توجه به مقدار رطوبت اولیه موجود در خاک، تبخیر و تعرق به دست آمده طبق رابطه 7، تصحیح می‌شود. در مناطق فاقد پوشش گیاهی نیز تبخیر واقعی روزانه از سطح خاک لخت یا  $Ea$  از رابطه 8 محاسبه می‌شود. در این رابطه  $f$  تابع کاهش رطوبتی در لایه سطحی خاک،  $W_s(t)$  رطوبت در لایه سطحی است و رابطه 9 برای تصحیح نتایج به دست آمده می‌باشد.

جدول 3- مقادیر مؤلفه‌های بیلان در مدل QDWB (میلیون متر مکعب)  
Table 3- Water balance component Results from QDWB model (MCM)

سال Year	P	ETa_p	Irr	ETa	DP	R	ورودی‌ها Input	خروجی‌ها Output	تغییرات $\Delta s$
80-79	1473	1215	1118	2333	156	110	2591	2599	-8
81-80	2366	1681	968	2655	425	220	3339	3299	34
82-81	2908	1981	825	2811	579	309	3738	3698	34
83-82	2694	1770	935	2705	606	327	3629	3638	-9
84-83	3152	1790	1010	2800	925	444	4163	4169	-7
85-84	1792	1333	1172	2505	302	189	2964	2996	-32
86-85	3058	1844	1056	2900	798	388	4114	4087	28
87-86	1303	1014	1344	2358	208	112	2646	2678	-31
88-87	2805	2137	910	3053	392	239	3721	3684	32
89-88	2540	1925	1019	2944	395	219	3559	3557	1

در روزهای بیشتری از دوره رشد محصولات زراعی در نزدیکی ظرفیت زراعی باقی بماند بیشتر شده، بنابراین از میزان نیاز آب آبیاری کاسته شده و بخش بیشتری از نیاز آبی مزارع، از بارش تأمین می‌شود. این مطلب به خوبی در شکل 4 قابل مشاهده است.

همچنین درصد تبخیر کل نسبت به بارش و درصد تبخیر از بارش در شکل 5 مقایسه شده است. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش بارش سالانه، سهم تبخیر و تعرق ناشی از بارش کاهش می‌یابد. این امر به دلیل افزایش سهم نفوذ عمقی و رواناب بوده و می‌توان گفت این روند به صورت خطی است. اما تبخیر - تعرق واقعی که علاوه بر تبخیر از بارش، شامل تبخیر - تعرق از اراضی تحت آبیاری - که تأمین آب آن از ذخایر آب سطحی و زیرزمینی بوده - نیز می‌باشد، نسبت تبخیر تعرق کل به بارش، در سال‌های پر بارش به دلیل کاهش آبیاری به صورت نمایی کاهش می‌یابد. به عبارتی در سال‌های پر بارش به دلیل آبیاری کمتر، میزان تبخیر - تعرق ناشی از آبیاری نیز کم شده و سهم بیشتر تبخیر - تعرق کل را تبخیر از بارش در بر می‌گیرد. این امر در بارش‌های سالانه بیشتر از 300 میلی‌متر به خوبی دیده می‌شود. زیرا در این سال‌ها

می‌بایست صحت نتایج مدل که در واقع همان مؤلفه‌های بیلان هستند، بررسی شود. با توجه به اینکه مجموع مؤلفه‌های مدل بیلان هیدروکلیماتولوژی شامل رواناب، نفوذ عمقی و تبخیر از بارش، برابر با مقدار بارش است، لذا برای بررسی اثر مقدار بارش بر رواناب، درصدی از بارش که به رواناب، نفوذ و یا تبخیر تبدیل می‌شود، در هر سال از دوره آماری 10 ساله محاسبه شده که نتایج در شکل 3 ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد در سال‌هایی که مقدار بارش بیشتر است، درصد رواناب و نفوذ عمقی از بارش نیز افزایش یافته و به تبع آن سهم تبخیر از بارش کاهش می‌یابد. این موضوع نشان‌گر این مطلب است که در سال‌های با بارش کم به علت خشک بودن خاک، عمده حجم بارش صرف مرطوب کردن خاک سطحی شده و در نهایت تبخیر می‌شود. هر چه میزان و تناوب بارش‌های سالانه افزایش یابد خاک زودتر اشباع شده و باقیمانده بارش به رواناب و نفوذ عمقی تبدیل می‌شود. به همین دلیل بطور کلی در بارش‌های با مقادیر بالاتر سهم نفوذ عمقی و رواناب نیز افزایش می‌یابد.

با توجه به اینکه این مدل بر اساس تأمین نیاز آبی اراضی زراعی اجرا شده است، با افزایش بارش سالانه، احتمال اینکه رطوبت خاک

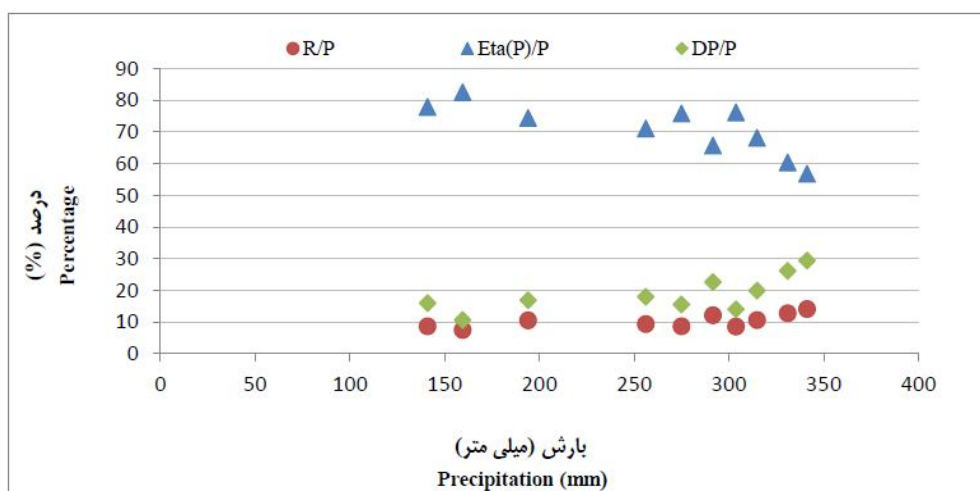
واحدهای واکنش هیدرولوژیک (HRU) بررسی می‌کند. در این مدل تبخیر از خاک و گیاه به طور جداگانه محاسبه می‌شود و تبخیر و تعرق پتانسیل توسط روش‌های پنمن - مونتیث، پریستلی-تایلور، و هارگریوز می‌تواند صورت گیرد (6).

برای مقایسه نتایج مدل مورد مطالعه با مدل SWAT که اجرای آن ورودی‌های زیادی را می‌طلبد، تبخیر و تعرق حاصل از SWAT برای حوضه نیشابور (12) و همچنین نتایج حاصل از مدل QDWB در دو حالت مختلف IT (آبیاری زمانی انجام گیرد که رطوبت خاک نصف رطوبت در دسترس و یا 1/3 رطوبت در دسترس باشد) در شکل 6 ارائه شده است.

احتمال اینکه بارش در روزهای بیشتری از فصل رشد محصولات زراعی اتفاق بیفتد بیشتر شده، بنابراین سهم بیشتری از نیاز آبیاری محصولات از بارش تأمین می‌گردد. با بررسی رابطه مؤلفه‌های بیلان نسبت به بارش و روند تغییرات آن، می‌توان نتیجه گرفت که مدل درک خوبی نسبت به قوانین حاکم بر چرخه آب در مقیاس سالانه دارد و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

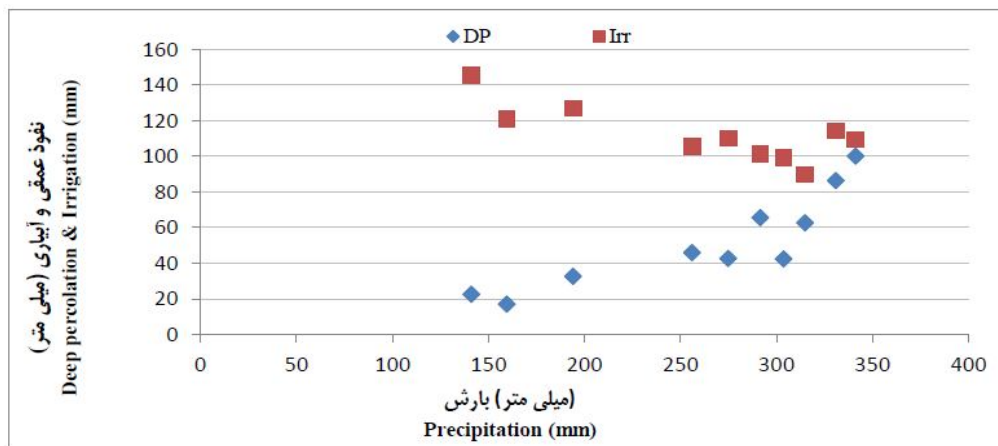
### مقایسه نتایج مدل QDWB با نتایج مدل SWAT

مدلی در مقیاسی حوضه آبریز است و شبیه‌سازی را در مقیاس روزانه انجام می‌دهد. این مدل ناهم‌هنگی‌های مکانی در منطقه مورد مطالعه را با تقسیم حوضه به زیرحوضه‌هایی به نام



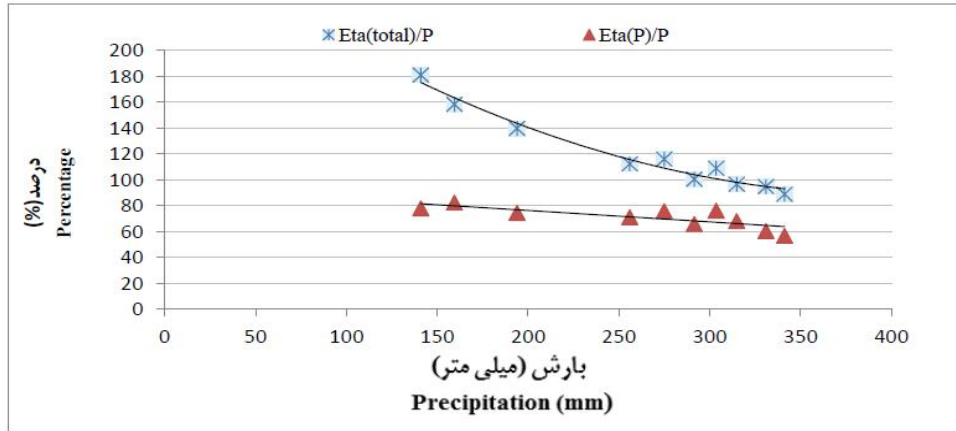
شکل 3- مقایسه درصد تبخیر، نفوذ عمقی و رواناب نسبت به بارش

Figure 3- Comparison of evaporation, infiltration and runoff from rain with total rain



شکل 4- مقایسه مقادیر نفوذ عمقی و آبیاری با بارش

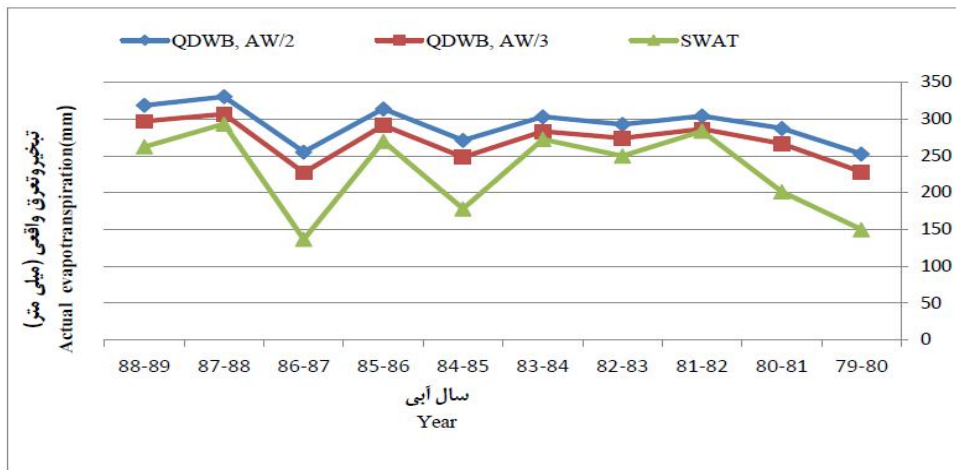
Figure 4- Comparison irrigation and deep percolation by precipitation



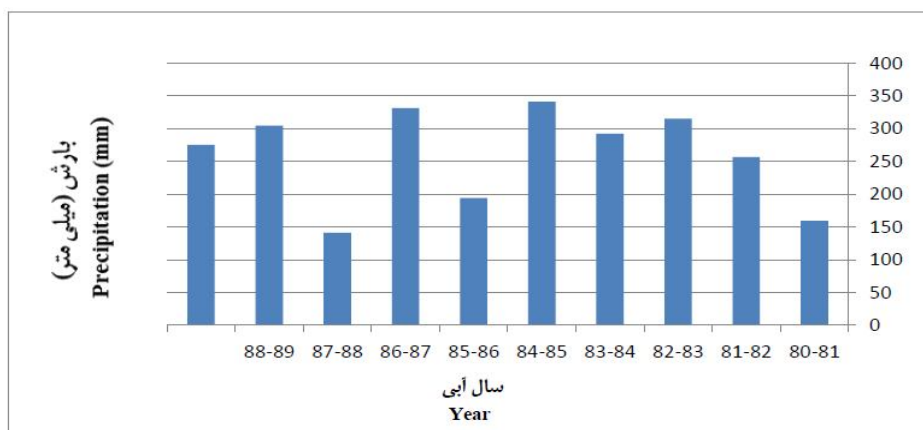
شکل 5- درصد تبخیر از بارش و درصد تبخیر - تعرق واقعی در مقایسه با بارش  
Figure 5- Total evapotranspiration and evaporation from precipitation in compare to precipitation

مابین نتایج مدل SWAT و QDWB به ترتیب در سال‌های فوق الذکر، 3، 10، 13 و 21 میلی‌متر می‌باشد. این امر حاکی از آن است که در سال‌های پر بارش، سهم بیشتری از نیاز آبی محصولات از بارش تأمین شده و شرایط واقعی آبیاری مزارع (فواصل زمانی طولانی دو آبیاری) به شرایط اصولی مدیریت آبیاری نزدیک می‌شود. این مقایسه نشان می‌دهد که مدل QDWB با جزئیات بسیار کمتر از SWAT و با شبکه‌بندی 500 × 500 متر (که برای محاسبه بیلان در سطح حوضه آبریز مناسب‌تر از مدل‌های ریزمقیاس است) با فرض تأمین نیاز آبی محصولات به وسیله آبیاری، نتایج قابل قبولی را بخصوص در ترسالی‌ها ارائه داده است. به عبارتی اگر شرایط واقعی آبیاری با لحاظ کردن دور آبیاری در مدل اعمال شود، نتایج به دست آمده تبخیر - تعرق نیز به شرایط واقعی نزدیک‌تر خواهد شد.

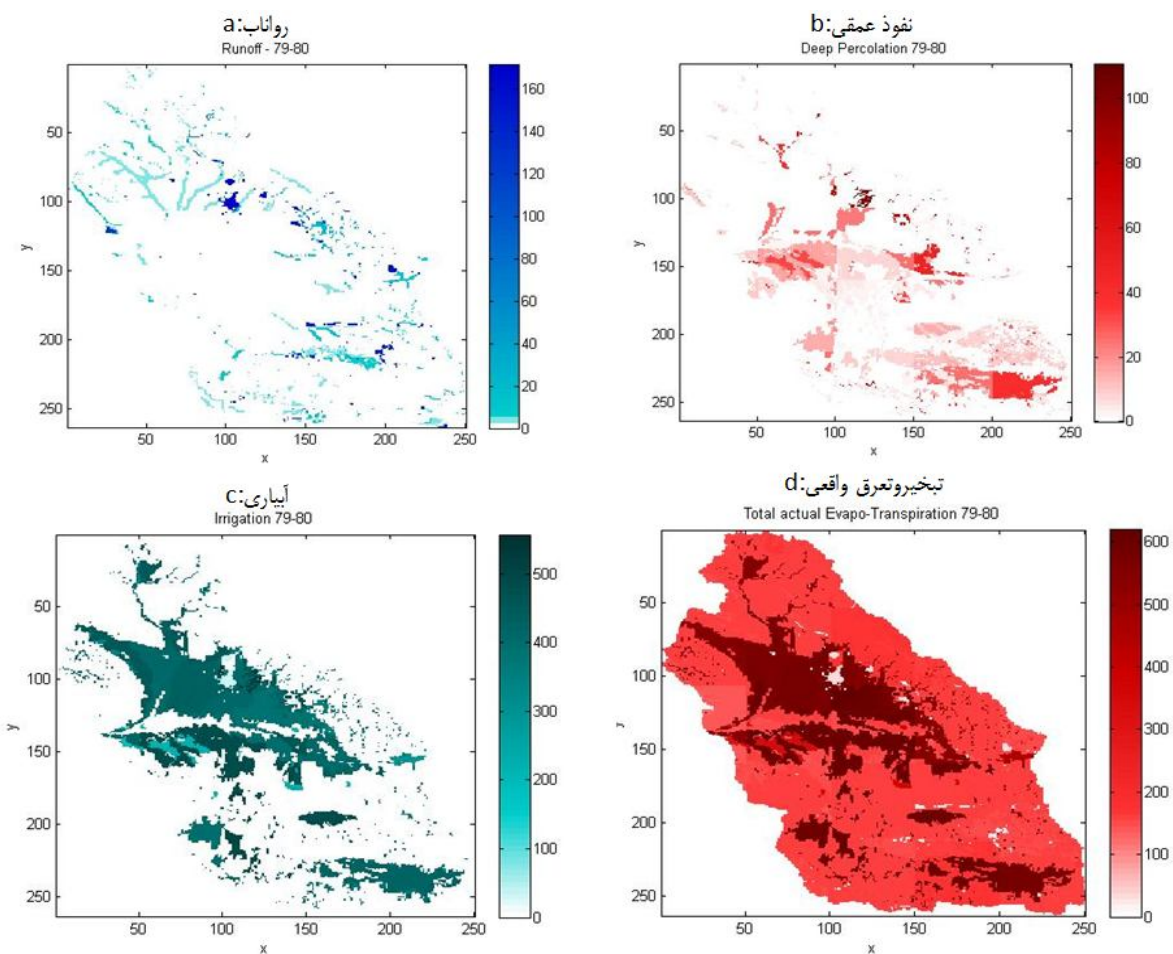
باید توجه داشت که مدل ارائه شده در این پژوهش بر اساس تأمین نیاز آبی اراضی زراعی اجرا شده است و تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده در آن، با توجه به دور آبیاری ثابت و با فاصله نسبتاً طولانی در مزارع کشور، همیشه نشان‌دهنده شرایط واقعی مزرعه نیست. به عبارتی مدل QDWB در مقایسه با شرایط واقعی، کمی بیش برآورد را نشان می‌دهد. در عین حال همانطور که در شکل 6 مشاهده می‌شود روند تغییرات تبخیر - تعرق واقعی در دوره 10 ساله برای هر دو مدل مشابه به یکدیگر می‌باشد، بخصوص در سال‌های آبی 82-1381، 84-1383، 86-1385 و 88-1387 که بارش‌های سالانه بیشتر از 300 میلی‌متر بوده (شکل 7)، تبخیر - تعرق برآورد شده در مدل QDWB (به ویژه هنگامی که فرض شود آبیاری زمانی انجام گیرد که رطوبت خاک 1/3 رطوبت در دسترس باشد)، بسیار نزدیک به مقادیر برآوردی SWAT است. بطوری که اختلاف



شکل 6- مقایسه نتایج تبخیر - تعرق واقعی حاصل از مدل‌های SWAT و QDWB در دو حالت رطوبتی مختلف  
Figure 6- Actual evapotranspiration from SWAT and QDWB models



شکل 7- بارندگی سالانه حوضه رخ - نیشابور  
Figure 6- Rokh- Neishabour Annual precipitation



شکل 8- به ترتیب a: نقشه توزیعی رواناب، b: نفوذ عمقی، c: آبیاری و d: تبخیر و تعرق واقعی در سطح حوضه نیشابور - رخ  
Figure 8- a, b, c and d: Surface runoff, Deep percolation, Net irrigation and Total actual Evapo-Transpiration

در دوره 10 ساله در هر دو مدل مشابه به یکدیگر می‌باشد. می‌توان گفت مدل شبه توزیعی QDWB به دلیل استفاده از داده‌های روزانه برای متغیرهای وابسته به زمان مثل بارش و دما و همچنین در نظر گرفتن تغییرات مکانی عوامل مختلف تأثیرگذار در بیلان، به خوبی فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه آبریز را در مقیاس مکانی - زمانی مناسب دنبال نموده، بطوری که در مقیاس سالانه تخمین قابل قبولی از مؤلفه‌های بیلان هیدروکلیماتولوژی بدست می‌دهد.

### توزیع مکانی نتایج مدل QDWB

خروجی‌های مدل QDWB به صورت نقشه توزیعی برای سال آبی 79-80 در شکل 8 نشان داده شده است به طوری که شکل 8a رواناب سطحی و شکل 8b توزیع نفوذ عمقی را در سطح حوضه رخ - نیشابور می‌دهد. در مناطق کوهستانی و مناطق شهری و اطراف آبراهه‌ها مقدار رواناب زیاد ولی در دشت رواناب چندانی وجود ندارد. مقادیر نفوذ عمقی نیز در دشت بیشتر از مناطق کوهستانی است. شکل‌های 8c و 8d به ترتیب نحوه توزیع آبیاری خالص مورد نیاز گیاه و تبخیر و تعرق کل را نشان می‌دهند. مشخص است که در مناطقی از دشت که کشت وجود دارد و آبیاری می‌شوند مقدار تبخیر و تعرق کل نیز افزایش پیدا کرده است.

### نتیجه‌گیری

مدل‌های بیلان از نظر فرضیات به کار رفته در آن‌ها با یکدیگر متفاوت هستند. به عنوان مثال برخی مدل‌ها ممکن است مقدار رطوبت ذخیره شده در پوشش گیاهی و باران‌گیرش را مد نظر قرار داده سپس بیلان رطوبتی خاک را حل کنند (مناطق جنگلی). برای حل معادله بیلان سطحی نیز، برخی از مدل‌ها خاک را به صورت یک لایه (منطقه ریشه) فرض می‌کنند. در مقابل برخی دیگر از مدل‌ها خاک را از لحاظ نگهداشت رطوبت به لایه‌های مختلف تقسیم کرده و فرضیاتی را برای پر شدن ظرفیت رطوبتی هر لایه و انتقال مازاد رطوبت به لایه بعد در نظر می‌گیرند. مدل‌های بیلان از نظر توزیع زمانی در گام‌های روزانه، ماهانه و سالانه و از نقطه نظر مکانی به صورت یکپارچه، نیمه‌توزیعی و توزیعی تقسیم می‌شوند. در مدل حاضر تمام ورودی‌های مورد نیاز در سلول‌های  $500 \times 500$  تهیه شده و در هر سلول پارامترهای مؤثر در بیلان سطحی شامل رواناب، نفوذ از بارش، نفوذ عمقی، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و نیاز آبیاری محاسبه گردیده است. با این وجود به علت اینکه ردیابی جریان رواناب از یک سلول به سلول دیگر انجام نشده، مدل شبه توزیعی نامیده می‌شود. مدل QDWB از نظر رویکرد سطحی در مناطق دارای پوشش گیاهی، تا عمق ریشه و در مناطق فاقد پوشش، لایه سطحی خاک را برای محاسبه رطوبت خاک در نظر گرفته و معادله بیلان سطحی را حل می‌کند. به این ترتیب که بعد از تخمین رواناب و نفوذ عمقی، تبخیر و تعرق را محاسبه و با توجه به کمبود رطوبت خاک میزان آب آبیاری را تعیین می‌کند. روابط بین پارامترهای مدل از جمله رواناب - بارش، نفوذ - رواناب، تبخیر و تعرق - بارش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از منطبق بودن مدل با واقعیت‌های هیدرولوژیکی حاکم بر حوضه است. تبخیر و تعرق به دست آمده از مدل با نتایج به دست آمده از مدل SWAT نیز مقایسه شد که تغییرات تبخیر - تعرق واقعی

## منابع

- 1- Ahmai T. 2013. Groundwater Recharge Estimation Using Various Methods and Making Comparison Their Results, Case Study: Neishaboor Plain. Iran. MSc Thesis. Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.(in Persian with English abstract).
- 2- Alizadeh A., Principles of Applied hydrology University pres of Imam Reza, mashhad twenty eighth. 2012. Mashhad.
- 3- Alizadeh A., Izady A., Davary K., Ziaei A. N., Akhavan S., and Hamidi Z. 2013. Estimation of Actual Evapotranspiration at Regional – Annual scale using SWAT, Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 7(2).
- 4- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO
- 5- Arnell N. W. 1999. A simple water balance model for the simulation of streamflow over a large geographic domain. *J. Hydrol*, 217 (3/4): 314–335.
- 6- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., and Williams J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment—Part 1. Model development, *Journal of the American waterresources association (JAWRA)*, 34: 73–89.
- 7- Baxter E. V. Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. 2005, Springer Science and Kluwer Academic Publishers, NEW YORK, BOSTON, DORDRECHT, LONDON, MOSCOW.
- 8- Becker A., and Braun P. 1999. Disaggregation, aggregation and spatial scaling in hydrological modelling, *J. Hydrol*, 217: 239–252.
- 9- Davary K., Ghahraman B., and Sadeghi M. 2007. Review and Classification of Modeling Approaches of Soil Hydrology Processes, *Iran Agricultural Research*, 27:1-2.
- 10- Flerchinger G., and Cooley K.R. 2000. A ten-year water balance of a mountainous semi-arid watershed, *Journal of Hydrology* 237(1): 86-99.
- 11- Huang M., Gallichand J., Wang Z., and Goulet M. 2006. A modification to the SoilConservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China. *Hydrological processes*, 20(3): 579-589.
- 12- Izady A., Davary K., Alizadeh A., Ziaei A. N., Alipoor A., Joodavi A., and Brusseau M.L. 2013. A framework toward developing a groundwater conceptual model, *Arabian Journal of Geosciences*.
- 13- Izady A. 2014. Application and Assessment of a Developed Coupled-Groundwater–Surface Water Model in the Neishaboor Watershed. Iran. PhD Dissertation. Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.(in Persian with English abstract).
- 14- Kabir A., and Bahremand A. 2011. Water balance of Gorganrood river basin East of Iran, *African Journal of Agricultural Research*, 6(25): 5591-5599.
- 15- Kim C. P., Salvucci G. D., and Entekhabi D. 1999. Groundwater-surface water interaction and the climatic spatial patterns of hillslope hydrological response, *Hydrology and Earth System Sciences*, 3(3): 375-384.
- 16- Liu Y., and De Smedt F. 2004. WetSpa extension, a GIS-based hydrologic model for flood prediction and watershed management, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel.
- 17- Lin Y. F., Wang J., and Valocchi A. J. 2008. A new GIS approach for estimating shallow groundwater recharge and discharge, *Transactions in GIS*, 12(4): 459-474.
- 18- Luijten J.C., Knapp E.B., and Jones J.W. 2001. A tool for community-based sssessment of the implications of development on water security in hillside watersheds, *Agricultural Systems* 70: 603–622.
- 19- Matheussen B., Kirschbaum R. L., Goodman I. A., O'Donnell G. M., and Lettenmaier D. P. 2000. Effects of land cover change on streamflow in the interior Columbia River basin (U.S.A. andCanada). *Hydrol. Process.* 14: 867–885.
- 20- M G.T. 2012. Conceptual Modelling of Water Balance in Basin Scale. Iran, MSc Thesis. Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.(in Persian with English abstract).
- 21- Portoghese I., Uricchio V., and 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.
- 22- Sophocleous M., and Mc Allister J. 1987. Basinwide water-balance modeling with emphasis on spatial distribution of ground water recharge1, *Journal of the American Water Resources Association* 23(6): 997-1010.
- 23- Thornthwaite C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate, *Geogr. Rev.* 38(1): 55–94.
- 24- Thornthwaite C. W., and Mather J. R. 1955. The water balance, *Publ. Climatol. Lab. Climatol. Dresel Inst. Technol*, 8(8): 1–104.
- 25- Van Der Knijff J. M., Younis J., and De Roo A. P. J. 2010. LISFLOOD: a GIS-based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation, *International Journal of Geographical Information Science*, 24(2): 189-212.
- 26- Wolock D., and McCabe G. 1999. Estimates of Runoff Using Water-Balance and Atmospheric General Circulation

- Models, *Journal of the American Water Resources Association*, 35(6):1341-1350.
- 27- Xu C.Y., and Singh V. 2004. Review on regional water resources assessment models under stationary and changing climate. *Water Resources Management*, 18(6): 591-612.
- 28- Yu Z., Gburek W. J., and Schwartz F. W. 2000. Evaluating the spatial distribution of water balance in a small watershed, Pennsylvania, *Hydrological processes*, 14(5): 941-956.
- 29- Zhu Q., Jiang H., Liu J., Wei X., Peng C., Fang X., Liu S., Zhou G., Yu S., and Ju W. 2010. Evaluating the spatiotemporal variations of water budget across China over 1951–2006 using IBIS model. *Hydrological Processes*, 24(4): 429-445.

## Development and Application of the Quasi Distributed Water Balance Model (QDWB) in the Neishaboor-Rokh Watershed

S. Razavi<sup>1</sup>- K. Davary<sup>2\*</sup>- B. Gahraman<sup>3</sup>- A. N. Ziaei<sup>4</sup>- A. Izady<sup>5</sup>- K. Eshaghian<sup>6</sup>- M. Shahedi<sup>7</sup>- F. Talebi<sup>8</sup>

Received: 07-09-2015

Accepted: 24-10-2016

**Introduction:** During the last five decades there has been a sharp increase in water consumption owing to the population explosion, unprecedented rise in standard of living, and enormous economic development. Limitation of water resources in Iran motivates sustaining and preserving of these resources in order to supply future water needs. Fulfilling these objectives will not be possible unless accurate water balance of watersheds. An assessment of the available water resources is a pre-requisite to undertake an analysis of the stress on the water resources and to subsequently adopt appropriate management strategies to avoid adverse environmental effects and reconcile conflicts between users. Water balance models have been developed at various time scales (e.g. hourly, daily, monthly and yearly) and various spatial resolutions to varying degrees of complexity. Monthly water balance models were first developed in the 1940s by Thornthwaite (1948) and later revised by Thornthwaite and Mather (1955, 1957). These models have since been adopted, modified, and applied to wide spectrum of hydrological problems. Using GIS and computer models are useful tools for water balance calculating and results analyze. A spatial hydrology model is one which simulates the water flow and transport in a specified region of the earth using GIS data structures. The purpose of this study was to develop a computer model for rapid calculation of the water balance which is based on distributed meteorological data, and estimate uncertain factors of water balance on the basis of physical data. Try to minimize the complexity of the assumptions and also it is suitable for Basin water balance evaluation. Daily evapotranspiration and precipitation data were used to calculate daily changes of soil moisture balance, but the result is presented annually.

**Materials and Methods:** Model applied for Neishaboor- Rokh watershed. The total geographical area is 9,158 km<sup>2</sup> that consists of 4,241 km<sup>2</sup> mountainous terrains and about 4,917 km<sup>2</sup> plain 9157 square kilometers. Neishaboor watershed is located between 35° 40' N to 36° 39' N latitude and 58° 17' E to 59° 30' E longitude with semi-arid to arid climate, in the northeast of Iran . Neishaboor watershed is located between Binalood and central Iran structural zones, and is separated into two distinct parts from a geological viewpoint. However, the model requires the distributed input data cells (500 per 500 mm) for the entire study area but model was called quasi distributed because to calculate runoff, has not been tracing flow from one cell to another and it uses the concept of effective runoff source area which it is assumed cells were integrated in these areas as Transmitter runoff to water ways. Model uses of the surface water budget equation, which is based on the difference between the input parameters (rainfall and irrigation) and outputs (evapotranspiration and surface runoff). Daily evapotranspiration calculated based on daily soil moisture changes from vegetation and bare soil. After calculating the runoff, precipitation surplus infiltrate to soil and after subtracting amount of evapotranspiration if soil moisture was higher than field capacity occurs deep percolation. In Irrigated land, if soil moisture is lower than a certain limit, the soil moisture deficit corrected with irrigation. .

**Results and Discussion:** The results of QDWB balance model were investigated for a **10 years period from 1998 to 2000** for Neishaboor –Rokh watershed. By examination the outputs of Hydro Climatology water balance those contain runoff, deep percolation and evaporation from precipitation, below results obtained: It is clear with increasing infiltration of rainfall reduces the amount of water needed for irrigation. By increasing infiltration, soil moisture content increase to field capacity, so the greater part of the soil deficient would be compensated from rainfall thus irrigation needs would be reduced. The results showed there was a good correlation between water balance parameters such as precipitation-runoff, precipitation-evapotranspiration, and precipitation- deep percolation and demonstrated that QDWB model was consistent with the basin hydrological process. Comparing SWAT evapotranspiration and QDWB results showed both models have a same trend over a 10 years period. Especially in years of high rainfall, amounts were closer to each other. In rainy years, a greater proportion of crop water requirement supply from precipitation and model presented the better results. The distributed pattern

1, 2, 3, 4, 7 and 8- M.Sc. Student, Professor, Professor, Assistant Professor and M.Sc. Students of Water Engineering Department Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Respectively

(\*- Corresponding Author Email: K.Davary@ferdowsi.um.ac.ir)

5- Post-doctoral Researcher, Water Research Centre, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman

6- MA of Khorasan Regional Water Company



of runoff, infiltration, evapotranspiration and irrigation need showed that in mountainous and urban areas there was high runoff whereas in plain this parameter was little. Deep percolation rates in the plains were more than from mountains areas. In lowlands and irrigated lands evapotranspiration amounts was greater.

**Conclusion:** In this model the soil profile was divided into root zone and Evaporating layer. After estimating surface runoff and evapotranspiration, deep percolation was calculated and according to soil moisture deficit, amount of water needed for irrigation was determined. The results showed there is a good correlation between water balance parameters such as precipitation-runoff, precipitation-evapotranspiration, and precipitation- deep percolation and demonstrate that QDWB model is consistent with the basin hydrological process. The evapotranspiration results from a distributed model" SWAT" and QDWB model were in good agreement. It should be noted that the determination of the amounts to be used by tools such as remote sensing. The results of the model are consistent with physical models, such as SWAT at the basin scale.

**Keywords:** Quasidistributed, Neyshabour- Rokh, Water balance, Watershed