

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد نفوذ خالص و سایر اجزای بیلان آب خاک با کد SWB₂ (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور)

صدیقه فصیحی^۱، علی اصغر بهشتی^{۲*}، علی نقی ضیائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

چکیده

برای حفظ و مدیریت پایدار منابع محدود آب، مدل سازی و برآورد بیلان آب خاک در حوضه امری ضروری می باشد. مدل سازی بیلان آب خاک، روند تقسیم بارش به رواناب، تبخیر و تغییرات رطوبت خاک را بررسی می کند. از آنجایی که این عوامل نسبت به زمان و مکان متغیر هستند، بنابراین استفاده از یک مدل توزیعی برای برآورد دقیق و مدیریت بهتر مفید می باشد. هدف این تحقیق استفاده از مدل SWB₂ بر اساس روش محاسبه بیلان تورنت وایت-ماتر و برآورد اجزای بیلان آب خاک، به همراه نفوذ خالص است. عمق ناحیه ریشه به عنوان حجم کنترل برای محاسبه نفوذ خالص در نظر گرفته شد. مدل پس از تأثیر دادن بارش، رواناب، تبخیر و... بر تغییرات رطوبت خاک، حداکثر آب در دسترس در ناحیه ریشه را نیز محاسبه و با کم کردن آن ها از یکدیگر نفوذ خالص را برآورد می کند. محدوده مورد مطالعه، حوضه آبریز نیشابور با مساحت کل ۹۱۵۷ کیلومتر مربع و اندازه سلول های ۵۰ در ۵۰ متر انتخاب شد. مدل برای چهار سال از سال ۷۹-۸۳ اجرا شد. به طور میانگین سهم تبخیر و تعرق، رواناب و نفوذ برای ۴ سال به ترتیب ۲۳/۹، ۴۲، میلی متر برآورد گردید که نشان می دهد سهم تبخیر و تعرق در منطقه نسبت به رواناب و نفوذ بیشتر است. نفوذ خالص و ظرفیت آب موجود (۲/۷) در اراضی زیر کشت با گروه هیدرولوژیکی خاک A و B، در سال های پر بارش از نرخ بالاتری برخوردار می باشد. غالب خاک مناطق کوهستانی جزء گروه هیدرولوژیکی B با نفوذپذیری بالا می باشد اما به دلیل شیب زیاد نفوذ عمقی نداشته، اغلب بارش به صورت رواناب سطحی جریان دارد. تبخیر و تعرق محاسبه شده با داده های اندازه گیری شده مقایسه، ضریب همبستگی ۰/۸۵ حاصل شد که نتیجه قابل قبولی است.

واژه های کلیدی: داده های شبکه ای، روش قطعات، کاربری اراضی، مدل توزیعی، نرم افزار GIS

مقدمه

جمعیت جهانی و محدودیت های موجود در منابع طبیعی، به ویژه در مناطق آسیب پذیر کشاورزی که کمبود آب از اهمیت زیادی برخوردار است، بسیار حیاتی است (Pereira et al., 2017). در ایران که دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک می باشد، این نیاز بیشتر احساس می شود تا برای مدیریت هرچه بهتر، تمام جوانب را سنجید و بیلان آب خاک را محاسبه کرد. رضوی کهنمویی و همکاران به نقل از وولاک و همکاران به این نتیجه رسیدند که در حال حاضر برای محاسبه بیلان مشکلاتی وجود دارد؛ پرهزینه و زمان بر بودن تأمین داده های موثق و کافی برای برآورد بسیاری از مؤلفه های آن (در سطح حوضه)، اتکا به روش های تجربی (تخمینی) برای برآورد این مؤلفه ها در اکثر حوضه های کشور، نبود روش های تجربی و استجی شده بومی برای برآورد دقیق تر عوامل بیلان؛ همچنین وجود خطاهای انسانی و طبیعی در محاسبه این عوامل می باشد. از دیگر مشکلات موجود در این زمینه، زمان بر بودن محاسبه ها، به دلیل ضرورت اتصال بیلان

کاهش آسیب پذیری کشاورزی در برابر تغییرات آب و هوایی و در نهایت کاهش خطرهای مرتبط با امنیت غذایی؛ به مدیریت یکپارچه و پایدار آب مثل سازگاری سیستم های زراعی و مدیریتی به استفاده کارآمد از بارندگی و آب آبیاری، نیاز دارد. مطابق با نظر پیرا و همکاران، روش های پایدار مدیریت آب با توجه به افزایش مداوم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

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

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*-نویسنده مسئول: (Email: ali_abeheshti@yahoo.com)

محاسبه‌شده و مشاهده‌شده، همبستگی ۵۳ درصد حاصل شد. از نظر زمانی در ماه‌های خشک نرخ نفوذ سطحی کمترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد.

ترک قشقای نژاد و همکاران (۱۳۹۶)، برای برآورد تغذیه آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی گلگیر، از روش بیلان آب خاک (SWB) بر اساس روش تورنت وایت-ماتر، برای مدت ۸ سال استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این مدل برای برآورد تغذیه سطحی مناسب است.

برخورداری و همکاران (۱۳۹۴)، بیلان ماهانه آب-خاک حوضه آبخیز یزد اردکان را در چهارچوب کاری نرم‌افزار GIS به صورت توزیعی، بر اساس روش تورنت وایت-ماتر اصلاح‌شده به صورت درازمدت تهیه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بیش از ۸۰ درصد بارندگی حوضه صرف تبخیر و تعرق شده و حدود ۸ درصد از طریق رواناب سطحی از حوضه خارج می‌شود. تغذیه آب زیرزمینی در ماه‌های آذر تا اسفند با نرخ ۸/۵ میلی‌متر در آذر تا ۱۷ میلی‌متر در دی ماه رخ می‌دهد.

حصاری (۱۳۹۰) بیلان آب را به صورت ماهانه در محیط نرم‌افزار GIS به روش تورنت وایت-ماتر برای حوضه نازلوچای ارومیه برآورد کرده و آن را با آمار مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری مقایسه نمود که نتایج در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود.

مهدوی و آذرخشی (۱۳۸۳) به هدف برآورد دبی متوسط ماهانه در مناطق نیمه‌خشک رابطه بیلان تورنت وایت را برای ۱۲ حوضه در منطقه آذربایجان و شمال خراسان محاسبه نمودند. آن‌ها بین اجزای بیلان آب معادله‌های رگرسیون را محاسبه کردند و در سطح اعتماد ۵ درصد مورد تحلیل قرار دادند. با توجه به آزمون t استیودنت اختلاف بین میانگین دبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در سطح اعتماد ۵ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از مدل بیلان آبی ماهانه، برای برآورد رواناب ماهانه در حوضه‌های فاقد آمار می‌توان استفاده نمود.

وستن بروک و همکاران با استفاده از رویکرد تورنت وایت-ماتر اصلاح‌شده به برآورد اجزای بیلان آب خاک و نفوذ خالص برای جزیره مائویی و ویسکانسین آمریکا با کد SWB₂ پرداختند. نفوذ خالص برآورد شده (۱۳۰۱ میلیون گالن در روز)، ۲/۸ درصد کمتر از مطالعه جانسون و همکاران، در این خصوص بود در منطقه سنترال سند ایالت ویسکانسین آمریکا به هدف برآورد میزان آبیاری و تأثیر آن بر نرخ نفوذ خالص از این کد استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده تقریباً مشابه ورژن ۱ کد SWB بود (Johnson et al., 2018) و با محاسبه بردبری و همکاران، برای نیاز آبیاری، ۱۰ درصد اختلاف را نشان داد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از این کد برای برآورد نیاز آبیاری برای مناطقی که هیچ سابقه پیمایشی ندارد، می‌تواند مفید واقع شود (Bradbury et al., 2017).

حوضه‌های مجاور به یکدیگر می‌باشد. از طرفی به دلیل ماهیت تغییرپذیری پارامترهای هیدرولوژیکی، آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است (S. Razavi-k, et al., 1999, qtd.in Wolock et al., 2016). برای تحقق محاسبه بیلان برای حوضه‌های بزرگ مقیاس استفاده از شبیه‌سازی منطقه با مدل‌های موجود ضروری است زیرا در صورت استفاده از سایر روش‌ها، پیچیدگی و مشکلات خاص خودش را دارد؛ بنابراین استفاده از مدل‌هایی که نیاز به داده‌های کمی داشته باشد، درعین حال به راحتی در دسترس باشد تا از طریق آن‌ها بتوانیم برآورد دقیقی را از نظر زمانی و مکانی در سطح حوضه داشته باشیم ضرورت پیدا می‌کند. ولی مسئله حائز اهمیت این است که برآورد آن به‌طور کاملاً دقیق پیچیده بوده لذا ممکن است با عدم قطعیت مواجه شود. باین حال، بنا بر نظر ژانگ و همکاران، عدم قطعیت تخمین ممکن است از عدم دقت مدل مفهومی و محاسبه مقادیر مؤلفه‌های فردی نشأت بگیرد (Zhang et al., 2020). برای محاسبه بیلان و جمع‌آوری اطلاعات موردنظر، چه به صورت یکپارچه، نیمه توزیعی یا توزیعی، روش‌ها و مدل‌های مختلفی وجود دارد از جمله استفاده از دورکاوی یا سنجش از دور است که بر مبنای امواج الکترومغناطیس منعکس‌شده از سطح اجسام و پدیده‌ها می‌باشد، این امواج توسط سنجنده‌ها برای به دست آوردن اطلاعات از محیط پردازش می‌شود. همچنین می‌توان از داده‌های سنجش از دور و تلفیق آن با نرم‌افزار GIS بهره برد. رضوی کهنمویی و همکاران (۱۳۹۵) عنوان کردند؛ دیگر مدل‌های یارانه‌ای زیادی هم در جهت برآورد پدیده‌هایی چون بارش، رواناب، تبخیر، نفوذ، تهیه شده‌اند که هر یک از مزایا و معایبی برخوردار است و نمی‌توان گفت که یک مدل بتواند بیلان را کاملاً تحلیل کند. در این میان مدل تورنت وایت اولین و ساده‌ترین مدل تجربی است که می‌توان توسط آن سطح یک حوضه را مدل‌سازی کرد. مدل بیلان توسط تورنت وایت مطرح و به‌وسیله تورنت وایت و ماتر اصلاح شد. ایده اصلی این مدل محاسبه تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (به‌عنوان ورودی و خروجی) و به دست آوردن آب مازاد و یا کمبود در پروفیل خاک با در نظر گرفتن ظرفیت ذخیره رطوبتی خاک می‌باشد. مطالعه‌های زیادی در خصوص محاسبه بیلان با روش و مدل‌های مختلف صورت گرفته است که در اینجا به برخی از تحقیق‌ها، بر اساس روش تورنت وایت-ماتر اشاره می‌شود.

داودی و همکاران (۱۳۹۶) بیلان رطوبتی خاک حوضه بهشت‌آباد را از نظر تغییرات زمانی-مکانی، به روش توزیعی، بر اساس معادله تورنت وایت-ماتر برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۳ محاسبه کردند. نتایج نشان داد که از نظر توزیع مکانی در نواحی مرتفع بیشترین رواناب در فصل بهار و تابستان (۸/۹۸ میلی‌متر) است. کم‌ترین مقدار در خروجی حوضه می‌باشد. برخلاف آن در زمستان بیشترین رواناب در خروجی حوضه و کم‌ترین آن در ارتفاعات اتفاق می‌افتد. بین رواناب

شبیه‌سازی توسط مدل SWB₂ می‌باشد.

سنجش ارتباط بارندگی با تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ، شبیه‌سازی لایه سطحی خاک، نه لایه‌های غیراشباع، برآورد نیاز آبی اراضی زیر کشت و ارتباط نفوذ با میزان آبیاری نیز از دیگر اهداف این تحقیق است. از هدف‌های جانبی این تحقیق می‌توان به کنترل حساسیت و صحت مدل اشاره داشت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بر اساس مطالعه صورت گرفته توسط میرشفیعی و همکاران (۱۳۹۸) حوضه آبریز نیشابور (شکل ۱)، یکی از زیر حوضه‌های حوضه کویر مرکزی (شماره ۴۷۳۸) با وسعت ۹۱۵۷ کیلومترمربع واقع در عرض شمالی ۳۵° ۴۰' تا ۳۵° ۳۹' و طول شرقی ۵۸° ۱۳' تا ۵۹° ۳۰' می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از شرق، شمال، جنوب، به کوه‌ها و از غرب به حوضه آبریز دشت سبزوار محدود شده و در مرکز استان خراسان رضوی قرار دارد. این محدوده شامل ۴۹۱۷ کیلومترمربع دشت، ۴۲۴۱ کیلومترمربع ارتفاعات است. در شمال آن ارتفاع‌های بینالود، در شرق آن بلندی‌های لیلاجوق و یال‌پلنگ، در جنوب آن تپه‌ماهورهای نیزه‌بند، سیاه کوه و کوه نمک واقع شده است. ارتفاعات بینالود با اختلاف ارتفاع ۳۳۰۰ متر از سطح دریا به‌عنوان بلندترین نقطه و محل خروجی دشت (حسین‌آباد جنگل) با اختلاف ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا به‌عنوان پایین‌ترین نقطه این حوضه می‌باشد.

وستنبروک و همکاران به شبیه‌سازی روزانه نفوذ خالص، آبیاری و دیگر مجموعه داده‌های مربوط به بیلان آب برای آبخوان منطقه‌ای در می‌سی‌سی‌پی برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، با استفاده از مدل SWB₂ پرداختند. آن‌ها اجزای بیلان آب خاک همچون نفوذ خالص، تبخیر و تعرق واقعی، آبیاری، ذخیره رطوبت خاک، بارش ناخالص را به فرمت NC به‌عنوان خروجی دریافت کردند (Westenbroek et al., 2021).

دی برای شهرستان‌هایی در آیووا به مدت ۲۰ سال، از مدل توزیعی ارائه‌شده (SWB) توسط سازمان USGS اجزای بیلان آب خاک و میانگین سالانه تغذیه پتانسیل (MAPR) را برآورد کرد. او به این نتیجه رسید که تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر MAPR در کاربری‌ها با پوشش‌های مختلف وجود دارد. همچنین رابطه قوی بین میزان بارش و MAPR برقرار است. نرخ MAPR، ۱۵۹ میلی‌متر (۶/۳ اینچ) در سال برآورد گردید (Day et al., 2019).

وستنبروک و همکاران برای تعیین تغییرات مکانی-زمانی تغذیه آب زیرزمینی از کد SWB استفاده کردند. این مدل از داده‌های موجود و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت محاسبه اجزای بیلان و تغذیه آبخوان، بر اساس بیلان آب-خاک تورنت و ایت-ماتر؛ استفاده می‌کند. نتایج این مدل از نظر مقیاس زمانی می‌تواند روزانه، ماهانه یا سالانه باشد (Westenbroek et al., 2010).

جهت مدیریت پایدار منابع آبی دانستن بیلان آب در سطح حوضه ضروری می‌باشد. البته برآورد آن در سطوح بزرگ‌تر مشکلات خاص خود را دارد به همین جهت استفاده از مدل‌سازی این امر را آسان‌تر نموده است. هدف از این پژوهش، برآورد اجزای بیلان آب-خاک و نفوذ خالص، به روش توزیعی و روزانه در سطح حوضه و از طریق



شکل ۱- موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی، ابراهه حوضه آبریز نیشابور (رضوی کهنومی، ۱۳۹۲)

می‌شود.

SWB₂ یک مدل توزیعی روزانه، به زبان فورترن است و از شبکه‌بندی منظم در تفکیک مکانی حوضه استفاده می‌کند، نتایج

روش تحقیق

مدل‌ها از نظر زمانی و مکانی به گروه‌های مختلفی؛ از جمله روزانه، ماهانه، سالانه، یکپارچه، نیمه توزیعی و توزیعی تقسیم‌بندی

کارتوگرافی می‌شود. جدول جستجو نیز برای ارتباط دادن مؤلفه‌های مدل به کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک، به فرمت اکسل می‌باشد. داده‌های اصلی مدل شامل کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک، جهت جریان، ظرفیت آب موجود، داده‌های دما و بارندگی می‌باشد که به‌طور خلاصه به هر یک پرداخته می‌شود.

کاربری اراضی: این مدل از اطلاعات کاربری اراضی به همراه اطلاعات ظرفیت آب موجود، برای محاسبه رواناب سطحی و حداکثر ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک، برای هر سلول شبکه استفاده می‌کند. این نقشه را می‌شود؛ ۱: از طریق ماهواره مودیس یا گوگل ارث انجیل سنتیل ۱ یا ۲ دانلود کرد (نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین ۱۰ متری کل ایران برای سال ۲۰۱۷ از طریق سایت گوگل ارث انجیل قابل دریافت می‌باشد). ۲: می‌توان از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ استفاده کرد. ۳: استفاده از سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ فریم ۰۳۵-۱۶۵. مطالعه مهندسی مشاور سازاب شرق (۱۳۸۷) که نقشه کاربری اراضی نیشابور را در ۱۴ طبقه اراضی طبقه‌بندی کردند (حدود ۴۷ درصد سطح آن را اراضی کشاورزی اعم از زراعت آبی، دیم، باغ‌ها و ۴۹ درصد را مراتع با پوشش کم می‌پوشانند) با نقشه دانلود شده از سایت گوگل ارث انجیل <http://code.earthengine.google.com> که ترکیبی از ماهواره لندست و مودیس است، مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت با توجه به طبقه‌بندی اصلاح‌شده اندرسون سطح ۲، کلاسه‌بندی شد (Anderson et al., 1976). این سیستم منتشرشده از سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده بوده که توسط درپیز و همکاران اصلاح‌شده است (Dripps and Bradbury, 2007). در آن از کدهای عددی برای نشان دادن کاربری اراضی سطح ۲ استفاده شده است (جدول ۱). شکل ۲، نقشه رستری کاربری اراضی حوضه آبریز نیشابور به فرمت ASCII با اندازه سلول ۵۰ متر را نشان می‌دهد که بر اساس طبقه‌بندی اصلاح‌شده اندرسون، کلاسه‌بندی شده است. برای شبکه‌بندی بهتر اطراف منطقه کادری با مقدار صفر ترسیم گردید.

گروه هیدرولوژیکی خاک: وستنبروک و همکاران در تحقیق‌های خود به این نتیجه رسیدند که گروه هیدرولوژیکی خاک یک شبکه با ارزش عددی است. سازمان کشاورزی ایالات متحده، بیش از ۱۴۰۰۰ مجموعه خاک در ایالات متحده را به ۱-۴ گروه هیدرولوژیکی (A-D) بر اساس ظرفیت نفوذ مطابق جدول ۲، دسته‌بندی کرده است (Westenbroek et al., 2018). در مدل‌سازی SWB گروه‌های هیدرولوژیکی (A-D) به کدهای عددی تبدیل می‌شوند و خروجی آن‌ها به شکل ASCII یا شبکه‌بندی سطحی می‌باشد. پس از تعیین بافت خاک منطقه (تهیه نقشه بافت خاک) و تعیین سرعت نفوذ آن‌ها، اقدام به کلاسه‌بندی کرده، نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک با نرم‌افزار GIS ترسیم شد (شکل ۳).

جهت جریان سطحی: مدل SWB از شبکه جهت جریان برای

محاسبه بیلان را برای هر سلول ارائه و با توجه به آن بیلان کل حوضه یا دشت را برآورد می‌کند. این مدل از روش محاسبه تغییرات رطوبت خاک، نسبت به ورودی (بارش، رطوبت خاک روز قبل، جریان ورودی، ذوب برف، آبیاری) و خروجی (رواناب خروجی، برگاب، تبخیر و تعرق) مطابق با روش اصلاح‌شده تورنت وایت-ماتر و رابطه ۱ استفاده می‌کند.

$$\theta_t = \theta_{t-1} + \text{rainfall} + \text{runon} + \text{snowmelt} + \text{foginterception} + \text{irrigation} - \text{interception} - \text{runoff} - \text{ET} \quad (1)$$

که در آن θ_t رطوبت فعلی خاک برای شبیه‌سازی روزانه، θ_{t-1} رطوبت خاک شبیه‌سازی شده روز قبلی، ET تبخیر و تعرق واقعی، rainfall بارش باران؛ runon رواناب ورودی، snowmelt ذوب برف، fog interception برگاب مه، irrigation آبیاری، runoff رواناب خروجی است.

مقدار کل آب در دسترس گیاه (TAW) با توجه به رابطه ۲ تعریف می‌شود. فرض می‌شود نفوذ خالص زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار رطوبت خاک (معادله ۱) از کل آب موجود (معادله ۲) برای سلول بیشتر شود.

$$\text{TAW} = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \text{ Rooting Depth} \quad (2)$$

در این معادله Rooting Depth عمق ریشه دهی، θ_{FC} ظرفیت زراعی، θ_{WP} نقطه پژمردگی دائمی است.

داده‌های ورودی

ورودی‌های اصلی موردنیاز برای اجرای این کد، شامل چند نوع داده‌ی شبکه‌بندی و جدولی در دسترس عموم می‌باشد. طراحی و آماده‌سازی آن‌ها مثل شبکه‌بندی، کدگذاری، تبدیل آن‌ها به فرمت موردنیاز این کد (ASC) را می‌توان از طریق نرم‌افزار Arc map انجام داد که در نتیجه آن ارزش هر پیکسل به‌صورت یک عدد مشخص می‌شود. کاربر می‌تواند با توجه به میزان دسترسی به داده‌ها و اقلیم منطقه، روش موردنظر را برای برآورد پارامتر انتخاب کند. این مدل به یک سری داده‌های اولیه، از جمله لایه کاربری اراضی، جهت جریان، ظرفیت آب موجود، گروه هیدرولوژیکی خاک، اطلاعات آب‌وهوایی، فایل کنترل، جدول جستجو نیاز دارد. فایل کنترل معرف اسم، نوع شبکه، آدرس محل شبکه، جدول‌های ورودی و روش‌های برآورد پارامترها است. یکی از ویژگی‌های قابل‌توجهی که از زمان انتشار اولیه به SWB اضافه شده است؛ کتابخانه نرم‌افزاری PROJ4 است که در این ورژن، با استفاده از آن می‌توان شبکه‌هایی را مورد استفاده قرار داد که از نظر مختصات جغرافیایی یا اندازه سلول با یکدیگر متفاوت هستند. این کتابخانه توسط جرال دایوندن از سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده نوشته شده است (Evenden, 1990). مونتاژ یک رشته از چندین پارامتر PROJ.4 منجر به تعریف یک طرح

آن، مسیریابی بین سلول‌ها به گونه‌ای است که جریان از یک سلول مرکزی به سمت سلولی با شیب کمتر جریان پیدا می‌کند تا پیوند بین سلول‌ها تعریف شود. جهت جریان سطحی همیشه متأثر از توپوگرافی منطقه است. برای تعیین جهت جریان از لایه‌های رستری DEM استفاده می‌شود. نقشه جهت جریان سطحی حوضه آبریز نیشابور با توجه به روش ذکر شده رسم گردید (شکل ۴).

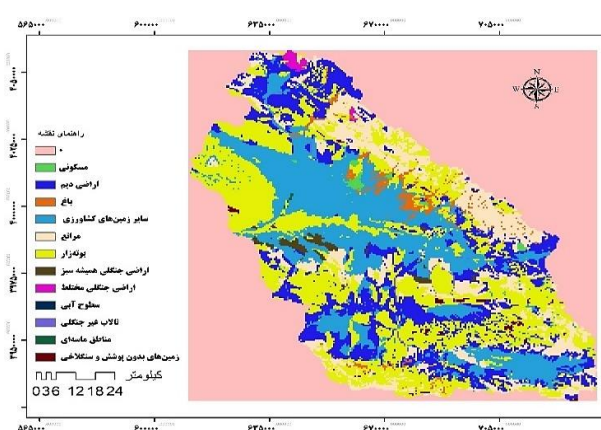
تعیین چگونگی مسیر جریان سطحی بین سلول‌های حوضه استفاده می‌کند. این لایه با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه مورد مطالعه و به کارگیری الگوریتم مسیریابی D₈ توسط کاربر، با نرم‌افزار GIS ایجاد می‌شود که در آن ارزش هر پیکسل نشان‌دهنده مقدار شیب آن برحسب درجه است و اتصال بین سلول‌ها به عنوان یک عدد صحیح در شبکه جهت جریان، کدگذاری می‌شود. مطابق الگوریتم مسیریابی D₈ با تعیین شیب بین سلول مرکزی و هشت سلول مجاور

جدول ۱- طبقه‌بندی کاربری اراضی اصلاح شده اندرسون

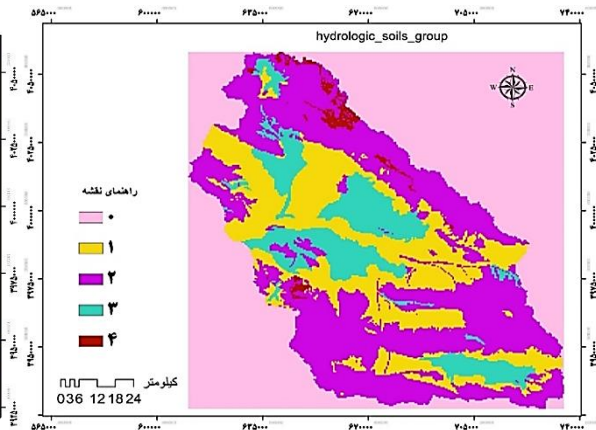
طبقه‌بندی سطح یک	طبقه‌بندی سطح دو (Dripps and Bradbury 2007)
	مسکونی (۱۱)
	تجاری (۱۲)
	صنعتی (۱۳)
شهر یا ساختمان (۱)	حمل و نقل (۱۴)
	فضای باز/پارک/گلف (۱۷)
	زراعت دیم (۲۱)
	باغ (۲۲)
	سایر زمین‌های کشاورزی (۲۴)
	محصولات با عمق ریشه کم مثل اسفناج، هویج، لوبیا (۲۵)
زمین کشاورزی (۲)	محصولات با عمق ریشه متوسط مانند ذرت، تنباکو، دانه حبوبات (۲۶)
	محصولات با عمق ریشه زیاد همچون یونجه (۲۷)
	زمین آیش (۲۸)
مرتع (۳)	مرتع (۳۱)
	مراتع بوته‌ای (۳۲)
جنگل (۴)	اراضی جنگلی همیشه‌سبز (۴۲)
	اراضی جنگلی مختلط (۴۳)
آب (۵)	تمام انواع مجموعه‌های آبی (۵۱)
تالاب (۶)	تالاب جنگلی (۶۱)
	تالاب غیر جنگلی (۶۲)
	مناطق ماسه‌ای (۷۲)
زمین بایر (۷)	سنگ‌های لخت (۷۴)

جدول ۲- نرخ نفوذ برای گروه‌های مختلف هیدرولوژیکی خاک و کدهای عددی آن‌ها (هاوکین و همکاران، ۲۰۰۹)

کدهای عددی شبکه	بافت	نرخ نفوذ (اینچ در ساعت)	گروه هیدرولوژیکی خاک
۱	شن، شن لومی، لوم شنی	>۰/۳۰	A
۲	لوم سیلتی، لوم	۰/۱۵-۰/۳۰	B
۳	لوم رسی شنی	۰/۰۵-۰/۱۵	C
۴	لوم رسی، لوم رسی سیلتی، رس شنی، رس سیلتی یا رس	<۰/۰۵	D



شکل ۳- نقشه گروه هیدرولوژیکی حوضه آبریز نیشابور



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز نیشابور

عمق ناحیه ریشه گیاه \times ظرفیت آب موجود = حداکثر ظرفیت نگهداری آب خاک (۳)
 مطابق گفته درپیز اگر داده‌های مربوط به ظرفیت آب موجود در دسترس نباشد؛ می‌توان از بافت خاک مطابق با جدول ۳، این پارامتر را تخمین زد (Dripps, 2006). مطابق با جدول ۱۰ در مطالعات تورنت وایت-متر (جدول ۴) و بافت خاک، مقدار این پارامتر برای بافت‌های مختلف خاک به دست می‌آید (Thorntwaite and Mather, 1955). تورنت وایت عنوان کرد؛ ظرفیت آب-موجود در هر خاکی، معمولاً به صورت اینچ ظرفیت نگهداری آب در هر فوت ضخامت خاک داده می‌شود (Thorntwaite, 1948).

ظرفیت آب موجود: SWB برای تعیین اندازه مخزن ذخیره‌سازی خاک، به یک یا چند مجموعه داده شبکه‌بندی شده نیاز دارد؛ به عنوان مثال: الف) تعیین حداکثر ظرفیت نگهداری آب-خاک (ب) تعیین ظرفیت آب-موجود (ج) تعیین مقادیر عمق ریشه برای هر ترکیب از کاربری اراضی و نوع خاک. اگر شبکه حداکثر ظرفیت نگهداری آب-خاک به طور مستقیم موجود نبود، باید به هر سلول در ناحیه مدل، ظرفیت آب-موجود و به هر ترکیب از کاربری اراضی و نوع خاک یک عمق ریشه در Lookup table اختصاص داده شود. حداکثر ظرفیت نگهداری آب-خاک برای هر سلول با رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

جدول ۳- ظرفیت آب-موجود برآورد شده برای انواع بافت خاک (Dripps, 2006)

ظرفیت آب-موجود (inch/foot)	بافت خاک
۱/۲	شن
۱/۴	شن لومی
۱/۶	لوم شنی
۱/۸	لوم و شن
۲	لوم و شن
۲/۲	لوم
۲/۴	لوم سیلت
۲/۵۵	سیلت
۲/۷	لوم رسی شنی
۲/۸۵	لوم رسی سیلتی
۳	لوم رسی
۳/۲	رس شنی
۳/۴	رس سیلتی
۳/۶	رس

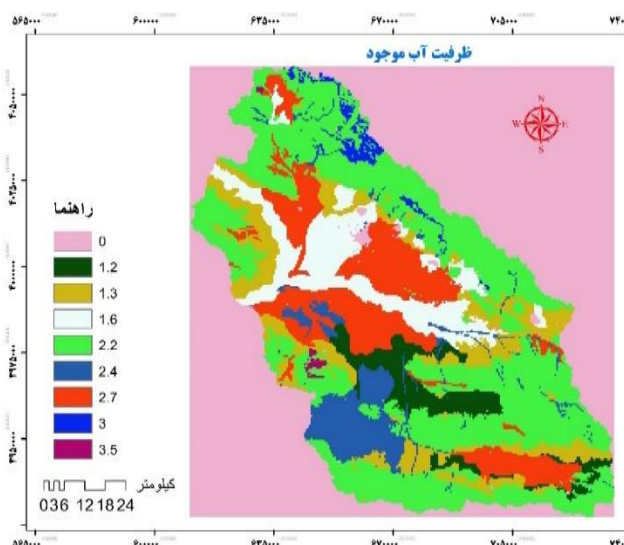
جدول ۴- ظرفیت نگهداشت آب با توجه به انواع خاک و گیاه (Thorntwaite and Mather, 1955)

عمق ریشه				آب موجود	گروه خاک
feet	m	In/foot	mm/m		
محصولات با عمق ریشه کم (اسفناج، عدس، لوبیا، هویج)					
۱/۶۷	۰/۵	۱/۲	۱۰۰	شن	
۱/۶۷	۰/۵	۱/۸	۱۵۰	لوم شنی	
۲/۰۸	۰/۶۲	۲/۴	۲۰۰	لوم سیلتی	
۱/۳۳	۰/۴	۳/۰	۲۵۰	لوم رسی	
۰/۸۳	۰/۲۵	۳/۶	۳۰۰	رس	
محصولات با عمق ریشه متوسط (ذرت، کتان، تنباکو، دانه حبوبات)					
۳/۳۳	۱/۰۰	۱/۲	۱۰۰	شن	
۳/۳۳	۱/۰۰	۱/۸	۱۵۰	لوم شنی	
۴/۱۷	۱/۲۵	۲/۴	۲۰۰	لوم سیلتی	
۳/۳۳	۱/۰۰	۳/۰	۲۵۰	لوم رسی	
۲/۲۲	۰/۶۷	۳/۶	۳۰۰	رس	
باغ					
۵/۰۰	۱/۵	۱/۲	۱۰۰	شن	
۵/۵۵	۱/۶۷	۱/۸	۱۵۰	لوم شنی	
۵/۰۰	۱/۵	۲/۴	۲۰۰	لوم سیلتی	
۳/۳۳	۱/۰۰	۳/۰	۲۵۰	لوم رسی	
۲/۲۲	۰/۶۷	۳/۶	۳۰۰	رس	
جنگلزار					
۸/۳۳	۲/۵	۱/۲	۱۰۰	شن	
۶/۶۶	۲/۰۰	۱/۸	۱۵۰	لوم شنی	
۶/۶۶	۲/۰۰	۲/۴	۲۰۰	لوم سیلتی	
۵/۳۳	۱/۶	۳/۰	۲۵۰	لوم رسی	
۳/۹۰	۱/۱۷	۳/۶	۳۰۰	رس	

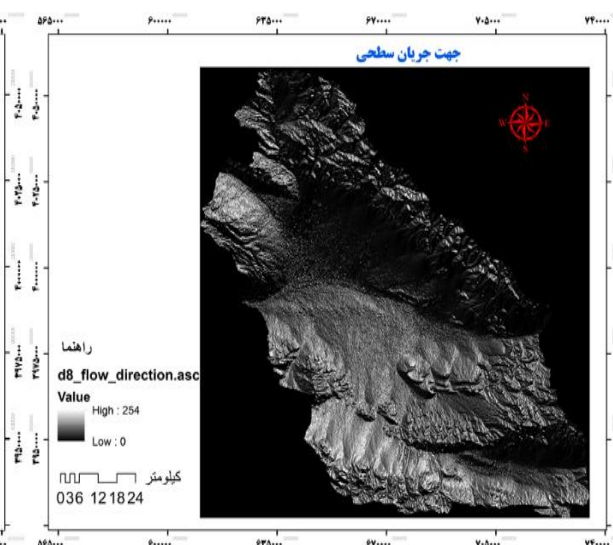
IDW به فرمت گرید کرده و سپس تبدیل به فرمت Ascii شدند؛ بنابراین نقشه‌های ماهانه گریدی بارندگی، دمای حداقل و حداکثر رسم گردید. در روش قطعات نیاز است با توجه به هر ایستگاه، حوضه را تیسین بندی کرده به سلول‌های هر تیسین کد آن ایستگاه تعلق بگیرد نقشه حاصل از آن به فرمت Ascii و Prj تهیه می‌شود. شکل ۶ نقشه‌ی موقعیت مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی و شبکه آبراهه، شکل ۷ چندضلعی‌های تیسین حوضه آبریز نیشابور را نشان می‌دهد. فایل قطعات از تقسیم بارندگی روزانه بر بارندگی ماهانه هر ایستگاه حاصل می‌شود؛ بنابراین برای هر روز از ماه یک قطعه تولید خواهد شد. علاوه بر داده‌های فوق، یک شبکه ضریب اصلاحی بارش برای تصحیح مکانی از مقادیر بارندگی ماهانه به فرمت Ascii, Prj نیز موردنیاز است. اگر این داده موجود نباشد می‌توان آن را با دستور CONSTANT مقدار ثابت ۱ در نظر گرفت. برای برآورد بارندگی از این روش نیازی به واردکردن اطلاعات در جدول جستجو نیست.

برای تهیه لایه موردنظر، با توجه به جدول‌های فوق، برخی اطلاعات مثل عمق ریشه، درصد رس، سیلت، شن خاک منطقه، نقشه پایه‌ای بافت خاک از کتاب هیدرولوژیکی دکتر علیزاده، رضوی کهنمویی و همکاران (۱۳۹۵)، شفییعی و همکاران (۱۳۸۸)، استخراج و نقشه ظرفیت آب موجود به فرمت Ascii، با اندازه سلول ۵۰ متر رسم گردید (شکل ۵)، البته مناطق مسکونی مقدار صفر گرفتند. اندازه عمق ریشه به صورت جدولی به مدل ارائه شد.

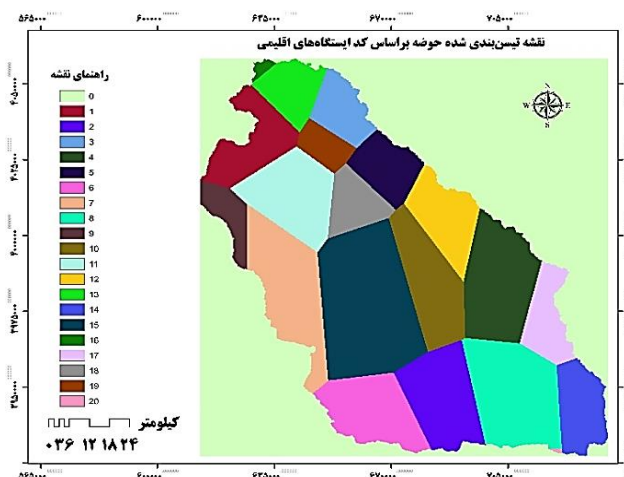
داده‌های اقلیمی: اطلاعات آب و هوایی شامل بارندگی، حداقل دما، حداکثر دما به صورت روزانه است که می‌تواند به فرمت NC و یا به فرمت Asc و Prj به صورت نقشه‌های Grid ارائه شود. اگر منطقه کوچک باشد داده‌ها به صورت جدولی ارائه می‌شود. به دلیل بزرگ بودن منطقه مورد مطالعه از داده‌های جدولی استفاده نشد. داده‌های به فرمت NC مختص مدل برای منطقه وجود نداشت؛ بنابراین از روش قطعات برای داده‌های اقلیمی استفاده شد. پس از ایجاد فایل نقطه‌ای، مرز حوضه فراخوانی و اقدام به تولید نقشه شبکه‌ای با روش میان‌یابی



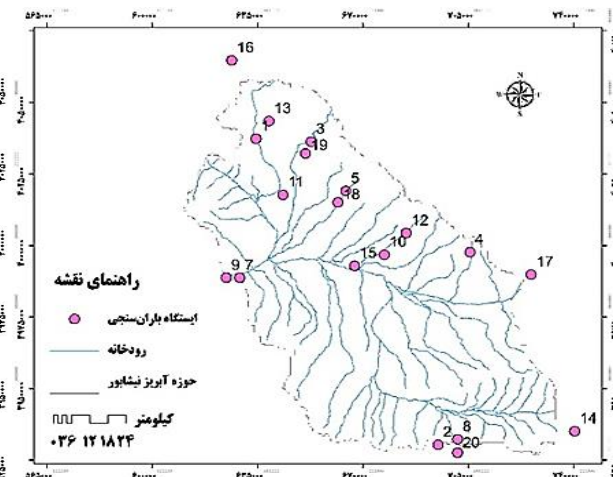
شکل ۵- نقشه ظرفیت آب موجود حوضه آبریز نیشابور



شکل ۴- نقشه جهت جریان سطحی حوضه آبریز نیشابور



شکل ۷- چندضلعی‌های تیسندی شده حوضه براساس کد ایستگاه



شکل ۶- موقعیت مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی و شبکه آبراهه

سایر داده‌های ورودی

برگاب: برای محاسبه برگاب از روش باکت استفاده شد برای این روش نیاز است برگاب فصل رشد و غیر رشد در جدول جستجو وارد شود. رواناب: از روش شماره منحنی استفاده شد. CN مطابق نشریه منتشر شده در وزارت کشاورزی ایالت متحده (USDA) توسط کرونشی و همکاران تعیین گردیده است (Cronshey et al., 1986). رواناب سطحی غیرقابل نفوذ: نیازمند دسترسی به درصد یا کسر نفوذپذیری هر کاربری است. به کاربری‌هایی که در دشت واقع شده‌اند نفوذپذیری ۱، آن‌هایی که در کوهستان هستند ۰/۸ و کاربری‌هایی که در کوهستان بوده ولی دارای پوشش گیاهی هستند ۰/۲ فرض شد. تبخیر و تعرق پتانسیل: برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل روش هارگریوز سامانی انتخاب شد. عمق ریشه: برای برآورد حداکثر ظرفیت

آب در دسترس خاک نیاز به داده‌های عمق ریشه می‌باشد تا مدل آن را در ظرفیت آب موجود ضرب و حداکثر ظرفیت آب در دسترس را به دست آورد. حداکثر ظرفیت آب خاک: روش محاسباتی انتخاب شد. مدل از طریق ضرب عمق ریشه در ظرفیت آب موجود آن را به دست می‌آورد. تبخیر و تعرق واقعی از مخزن خاک: روش فائو-۵۶ دوگانه انتخاب شد. این روش مطابق نمودار تورنت وایت-متر، فرآیند را در دو مرحله در نظر می‌گیرد. در مرحله اول سطح رطوبت خاک بین رطوبت آستانه و ظرفیت زراعی است و فرض می‌شود تبخیر و تعرق واقعی با تبخیر و تعرق مرجع برابر باشد. در رطوبت خاک زیر سطح رطوبت آستانه فرض می‌شود که نسبت بین تبخیر و تعرق واقعی و مرجع به صورت خطی کاهش پیدا می‌کند با رسیدن رطوبت خاک به نقطه پژمردگی دائمی این نسبت دارای مقدار صفر می‌شود. ضرایب گیاهی:

یک مقدار را در نظر گرفته و فقط برای بافت خاک تفاوت قائل شده، داده‌های مدل برای حوضه آبریز نیشابور مطابق هر گروه هیدرولوژیکی در نظر گرفته شد زیرا خصوصیات خاک‌ها شبیه هم هستند.

نتایج و بحث

مدل برای چهار سال، از سال ۷۹ تا ۸۳ اجرا شد (جدول ۵) که در این جدول بارش (P)، رواناب (R)، نفوذ خالص (Net In)، تبخیر و تعرق واقعی (Eta)، می‌باشد. داده‌های خروجی را به صورت روزانه و به فرمت ASCII و NC ارائه می‌دهد. برای تحلیل داده‌های خروجی می‌توان از نرم‌افزارهای GIS, Grads, NCO, NCL, anaconda, Matlab, jupyter, ncdump_h, panoply (آناکوندا) دارای کتابخانه‌های زیادی از جمله پایتون و Jupyter notebook می‌باشد)، استفاده کرد. در این تحقیق برای تحلیل نتایج از نرم‌افزار ARC GIS 10.1 استفاده شد.

به روش فائو-۵۶ محاسبه می‌شود. محاسبه درجه روز رشد: دمای پایه که برای گیاهان مختلف متفاوت است همچنین حداکثر و حداقل دمای قابل تحمل هر پوشش گیاهی در منطقه لازم است تعیین گردد. فصل رشد: برای هر کاربری اراضی تاریخ شروع و پایان فصل رشد در جدول جستجو وارد می‌شود. تعیین این پارامتر به دلیل تأثیرگذاری بر نرخ برگاب و شرایط اولیه رواناب مهم است. برنامه و نیاز آبیاری: هنگامی که از روش فائو-۵۶ برای برآورد نیاز آبی گیاه استفاده شد نیاز است تا تاریخ شروع و پایان آبیاری برای هر کاربری، راندمان برنامه آبیاری حداکثر کمبود رطوبت مجاز، برنامه زمان‌بندی آبیاری ماهانه، زمان اعمال آب آبیاری مشخص شود. در صورت موجود بودن داده‌های نشت از چاه فاضلاب یا شبکه زهکشی شهری و ... که به عنوان منابعی برای اضافه شدن به منبع ذخیره رطوبتی خاک یا نفوذ خالص است؛ وارد جدول جستجو می‌شود؛ اما برای حوضه آبریز نیشابور فرض بر این است که نشت وجود ندارد. نفوذ خالص عبور داده‌شده: برای برآورد این پارامتر باید حداکثر نفوذ خالص برای هر کاربری و نوع خاک تعیین شود، از آنجایی که مدل برای همه کاربری‌ها

جدول ۵- مقادیر مؤلفه‌های اصلی بیلان آب خاک، حاصل از خروجی مدل SWB₂، برحسب واحد میلی‌متر

سال	p	R	Net In	ETa	Irr
۷۹-۸۰	۱۶۰	۱۰	۱۹	۲۵۲.۵	۱۲۳
۸۰-۸۱	۲۳۱	۲۰	۳۷	۲۸۶	۱۱۰
سال	p	R	Net In	ETa	Irr
۸۱-۸۲	۳۰۷	۳۱.۵	۵۷	۳۱۵	۹۲
۸۲-۸۳	۲۹۰	۳۴	۵۵	۳۰۲	۱۰۳

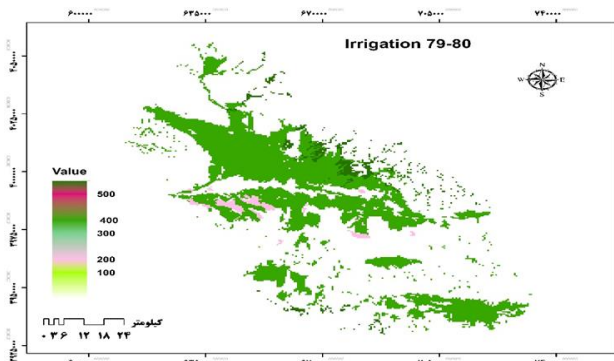
بافت خاک از نوع گروه هیدرولوژیکی A با نفوذپذیری زیاد، شیب کم، سطح زیر کشت، پتانسیل تولید رواناب کمتری را دارد. برعکس آن در مناطق کوهستانی، شهری و اطراف آبراهه‌ها رواناب بیشتری جریان دارد. غالب بافت خاک مناطق کوهستانی جزء گروه هیدرولوژیکی B با نفوذپذیری بالا می‌باشد اما به دلیل شیب زیاد نفوذ عمقی نداشته، اغلب بارش به صورت رواناب سطحی جریان دارد. بر اساس نقشه توزیع نفوذ خالص (شکل ۱۲)، در اطراف آبراهه اصلی که مسیر خروج رواناب از حوضه است به دلیل رطوبت بالای خاک و پتانسیل بالای تولید رواناب، نفوذ کم می‌باشد. در دشت به دلیل داشتن بافت خاک شن لومی، لوم شنی که در گروه هیدرولوژیکی A قرار می‌گیرد، به دلیل سرعت و فرصت نفوذپذیری بالا، پتانسیل تولید رواناب پایین، دارای نرخ نفوذ خالص بیشتری نسبت به مناطق کوهستانی با فرصت نفوذپذیری پایین می‌باشد. همچنین در این منطقه به دلیل وجود اراضی زیر کشت، آبیاری نیز انجام شده و بر مقدار نفوذ خالص می‌افزاید. علاوه بر موارد ذکر شده در دشت، به دلیل بافت خاک و نوع کاربری آن، ظرفیت آب موجود بالا و برابر با ۲/۷ بوده که باعث

از نظر زمانی توزیع نزول بارش در سال ۸۱-۸۲ بیشتر از سه سال دیگر است و به نسبت آن نرخ رواناب، نفوذ، افزایش و نرخ آبیاری کاهش یافته است. از نظر توزیع مکانی خروجی‌ها برای یک سال (۷۹-۸۰) مورد بررسی قرار گرفته شد. در نقشه توزیع بارندگی (شکل ۸)، در نواحی کوهستانی به دلیل دمای کمتر بارش بیشتر بوده و هر چی به سمت دشت پیشروی می‌شود از مقدار آن کمتر می‌شود. برحسب نقشه توزیع نرخ آبیاری خالص مورد نیاز اراضی زیر کشت (شکل ۹)، با توجه به نوع پوشش کاربری مقدار نیاز آبیاری نیز متفاوت از یکدیگر هستند. همچنین در دشت به دلیل دارا بودن خاک با گروه هیدرولوژیکی A نرخ نفوذ و به دنبال آن نرخ آبیاری نیز بالا می‌باشد. مناطق دارای اراضی سطح زیر کشت که در آنجا آبیاری صورت می‌گیرد، با توجه به شکل ۵ ظرفیت آب موجود بالاتر (۲/۷) و در نتیجه تبخیر و تعرق بیشتری را دارند (شکل ۱۰). در مناطق شهری به دلیل داشتن پوشش کاربری سخت مسکونی و ظرفیت آب موجود صفر، نرخ تبخیر و تعرق واقعی کمتری را نسبت به سایر کاربری‌ها دارا می‌باشد. مطابق شکل ۱۱، در دشت مقدار رواناب به دلیل داشتن

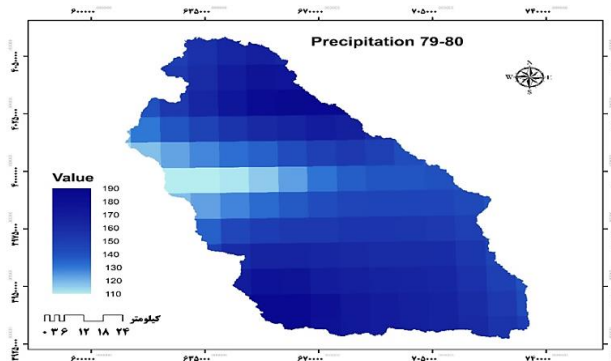
سنجش حساسیت مدل

بارش یکی از اجزای اصلی و تأثیرگذار بر بیلان حوضه می‌باشد، بنابراین برای تحلیل حساسیت مدل ۲۰ درصد به بارش ورودی سال ۹۷-۸۰ افزوده و مدل برای یک سال اجرا شد. مقایسه نرخ رواناب و نفوذ خروجی، نسبت به قبل از افزایش بارندگی، نشان داد مدل نسبت به افزایش نرخ بارندگی واکنش داده و باعث افزایش مقدار رواناب و نفوذ شده است (به ترتیب شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

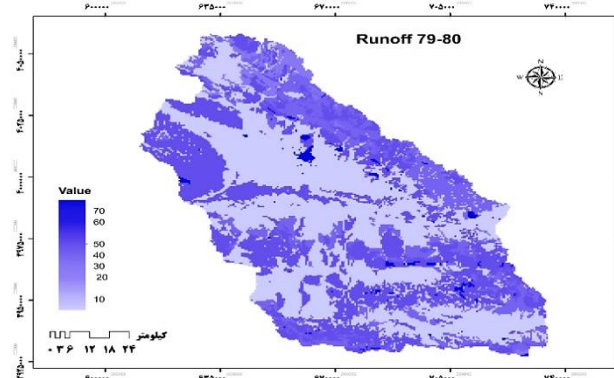
افزایش نرخ نفوذ شده، در این حالت آب کمتری صرف مرطوب کردن خاک و تبخیر و تعرق می‌شود. جنگل‌های دست کاشت و باغ‌های آبی به دلیل آبیاری، نوع پوشش کاربری اراضی با پتانسیل پایین تولید رواناب، بافت خاک لومی (B) و ظرفیت آب موجود ۲/۴ به نسبت دشت، نرخ نفوذ بالاتری را دارا می‌باشد.



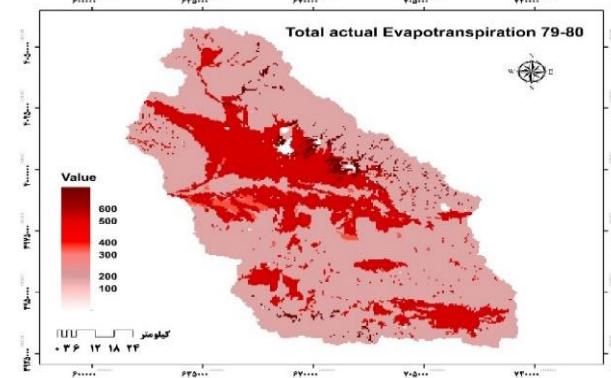
شکل ۹- نقشه توزیع نیاز آبیاری در منطقه مورد مطالعه



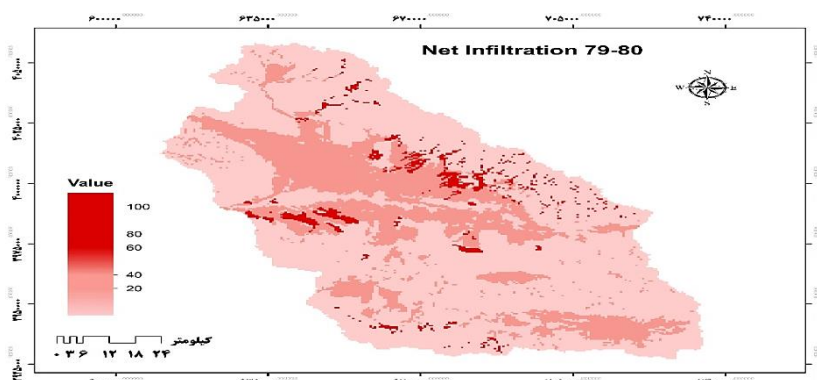
شکل ۸- نقشه توزیع بارندگی در سطح منطقه مورد مطالعه



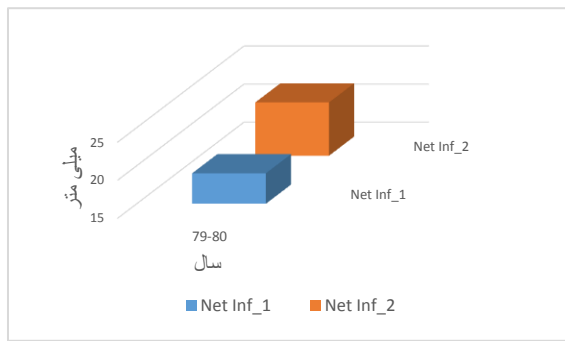
شکل ۱۱- نقشه توزیع رواناب در سطح حوضه مورد مطالعه



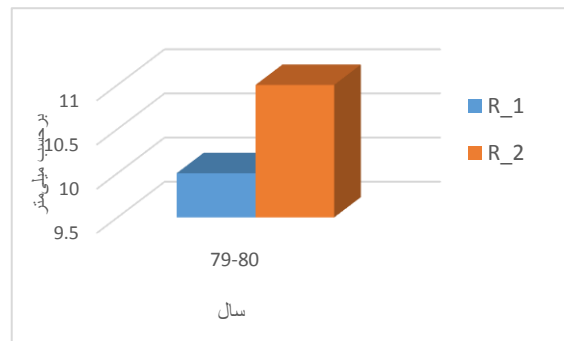
شکل ۱۰- نقشه توزیع تبخیر و تعرق واقعی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۲- نقشه نفوذ خالص در سطح حوضه مورد مطالعه



شکل ۱۴- تغییرات ایجادشده در نرخ نفوذ خالص با افزایش بارندگی



شکل ۱۳- تغییرات ایجادشده در نرخ رواناب با افزایش بارندگی

نسبت به بارش محاسبه شد. مطابق این جدول درصد تبخیر و تعرق از بارش با افزایش بارش کاهش می‌یابد. در واقع در بارش‌های کم به دلیل کمبود رطوبت و پتانسیل منفی خاک، اکثر بارش صرف تأمین رطوبت سطحی خاک و تبخیر می‌شود. به دلیل افزایش آبیاری در این مواقع، تبخیر و تعرق کل نیز افزایش می‌یابد (شکل ۱۶). در این شرایط رواناب و نفوذ کمتری اتفاق می‌افتد. برعکس آن در بارش‌های زیاد، این عوامل برطرف شده، درصد نفوذ (شکل ۱۷)، رواناب (شکل ۱۸) افزایش، درصد تبخیر و آبیاری (شکل ۱۹) نیز کاهش می‌یابد.

صحت‌سنجی نتایج

وقتی در منطقه‌ای بارش می‌بارد، بخشی از آن صرف نفوذ خالص بخشی رواناب و تبخیر می‌شود ولی مجموع این مقادیر برابر با مقدار بارش بوده، ارتباط تنگاتنگی بین بارش و این عوامل می‌باشد. این ارتباط را می‌توان در شکل ۱۵ مشاهده نمود که با افزایش نرخ بارش، میزان رواناب، تبخیر و نفوذ خالص نیز افزایش می‌یابد. درصدی از بارش که به نفوذ، رواناب و تبخیر تبدیل می‌شود جهت بررسی اثر نرخ بارش بر این پارامترها در جدول ۶ به همراه ضریب همبستگی هریک

جدول ۶- درصد مؤلفه‌های بیلان نسبت به بارش

Irr/P(%)	Eta/P(%)	Net In/p(%)	R/P(%)	P (mm)	Year
۷۶.۸۸	۱۵۷.۸۲	۱۱.۸۸	۶.۲۵	۱۶۰	۷۹-۸۰
۴۷.۶۲	۱۲۳.۸۱	۱۶.۰۲	۸.۶۶	۲۳۱	۸۰-۸۱
۲۹.۹۷	۱۰۲.۶۱	۱۸.۵۷	۱۰.۲۶	۳۰۷	۸۱-۸۲
۳۵.۵۲	۱۰۴.۱۴	۱۸.۹۷	۱۱.۷۳	۲۹۰	۸۲-۸۳
-۰.۹۹	-۰.۹۹	۰.۹۸	۰.۹۴	ضریب همبستگی با بارش	

تعرق (شکل ۲۲) در هر دو مدل با ضریب همبستگی (۰/۹۶) می‌توان دریافت که در سال ۷۹-۸۰ کمترین و در سال ۸۱-۸۲، بیشترین نرخ را دارا می‌باشند. میر شفییعی و همکاران (۱۳۹۸) داده‌های به‌دست‌آمده از تبخیر و تعرق سالانه مدل Noah-MP را با مطالعه نظریه (۱۳۹۶) و میان‌آبادی (۱۳۹۵) که به‌طور میانگین نرخ تبخیر و تعرق را ۳۰۰ میلی‌متر در سال برآورد کردند، مورد مقایسه قرار داد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده از مدل Noah-MP نیز در همین حدود بوده، نتیجه قابل قبولی از مدل حاصل شده است. تبخیر و تعرق محاسبه‌شده با داده‌های اندازه‌گیری‌شده نظریه (۱۳۹۶) و میان‌آبادی (۱۳۹۵) مقایسه، ضریب همبستگی ۰/۸۵ حاصل شد. RMSE نیز ۰/۴ برآورد گردید که نتیجه قابل قبولی است و می‌توان گفت علت تفاوت اندک در هر دو مدل به این دلیل است که هر مدل از روش‌های متفاوتی برای برآورد پارامترها استفاده کرده است، به‌طور

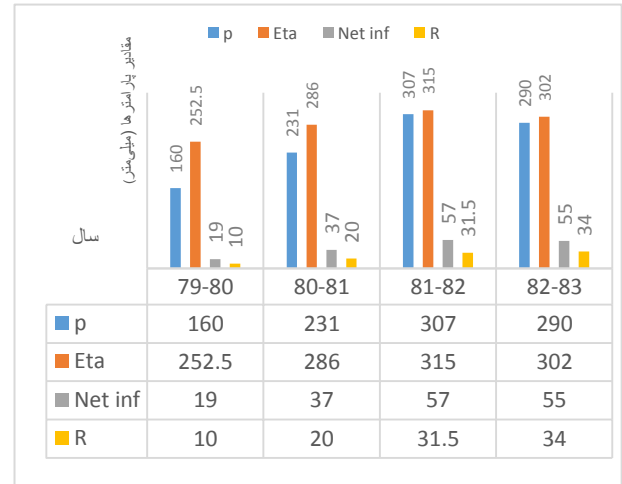
در مجموع اگر همه این عوامل را با یکدیگر و با نرخ بارش مورد مقایسه قرار دهیم مطابق شکل ۲۰، با افزایش بارندگی نفوذ و به دنبال آن تغذیه، رواناب افزایش و نرخ تبخیر و آبیاری کم می‌شود. در این صورت سهم نیاز آبی از بارش بیشتر می‌گردد. از آنجایی که تمام عوامل تأثیرگذار بر بیلان، در محاسبه‌ها تأثیر داده شده و ورودی‌ها نیز به‌صورت روزانه به مدل ارائه می‌شود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت خروجی‌های SWB_2 ، نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. در این خصوص نفوذ به همراه تبخیر و تعرق حاصل از SWB_2 با نتایج مطالعه ایزدی و همکاران (۱۳۹۲) در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ مورد مقایسه قرار گرفت. آن‌ها نیز بیلان سطحی را به‌صورت روزانه و با مدل SWAT محاسبه کردند. شکل ۲۱ نشان می‌دهد؛ در سال ۸۱-۸۲ هر دو مدل روند مشابه و نزدیکی را در افزایش نفوذ با ضریب همبستگی مثبت (۰/۸۸) اتخاذ کرده‌اند. این روند را نیز در مقایسه نرخ تبخیر و

گرفته درحالی که در این مدل شرایط بارندگی را نیز تأثیر داده است. مراحل مختلف رشد، فصل رشد و غیر رشد در مدل SWB₂ در نظر گرفته شده درحالی که در مدل SWAT در نظر گرفته نشده است.

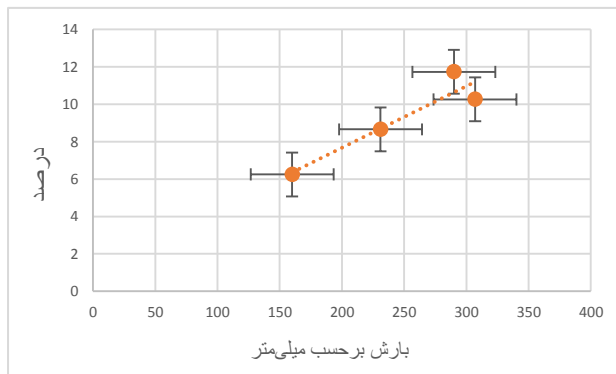
مثال برای برآورد تبخیر و تعرق در مدل SWAT از روش هارگریوز سامانی استفاده شده است درحالی که در مدل SWB₂ از روش فائو-۵۶ دوگانه استفاده شده است. در مدل SWAT، آبیاری منظم صورت



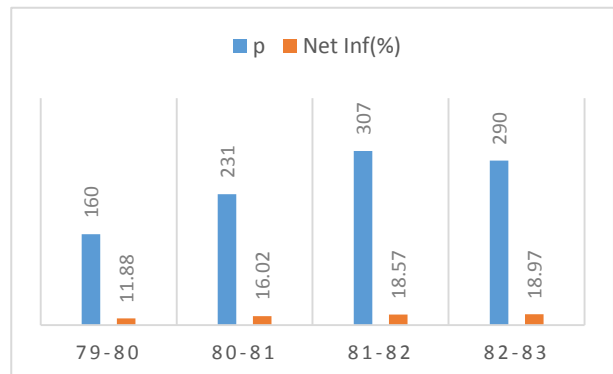
شکل ۱۶- درصد تبخیر از بارش و تبخیر کل نسبت به بارش



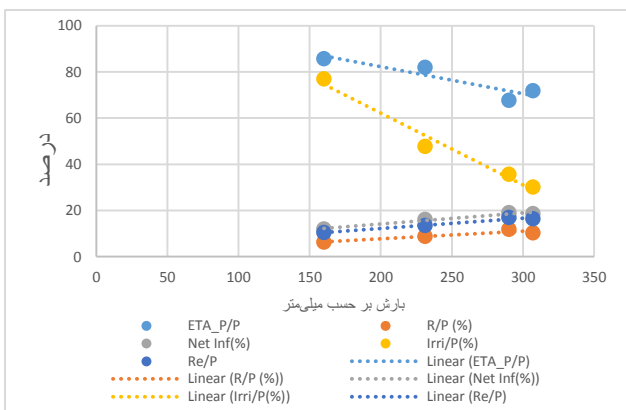
شکل ۱۵- مقادیر مؤلفه‌های بیلان بر حسب میلی‌متر



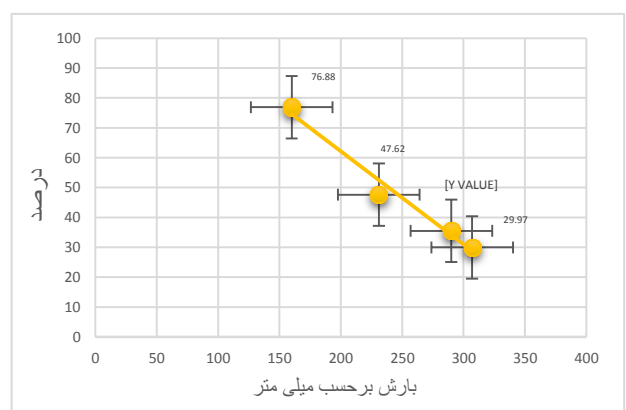
شکل ۱۸- درصد رواناب نسبت به بارش



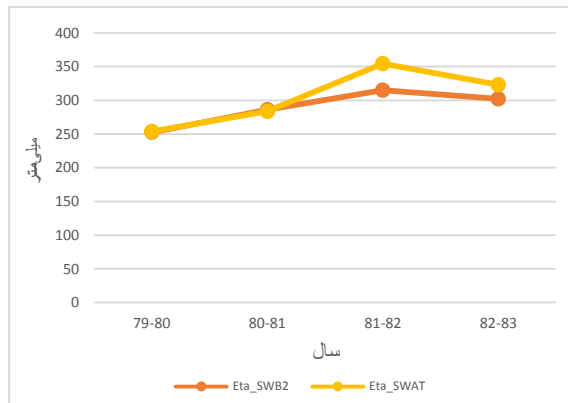
شکل ۱۷- درصد نفوذ خالص نسبت به بارش



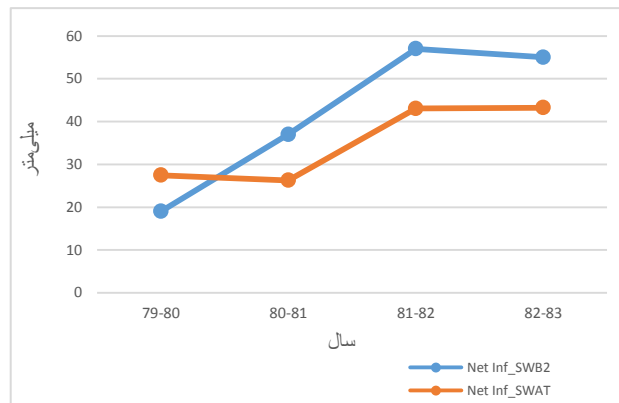
شکل ۲۰- مقایسه درصد اجزای اصلی بیلان نسبت به بارش



شکل ۱۹- درصد آبیاری نسبت به بارش



شکل ۲۲- مقایسه تبخیر و تعرق حاصل از دو مدل



شکل ۲۱- مقایسه نفوذ حاصل از دو مدل

می‌دهد سهم تبخیر و تعرق در منطقه نسبت به رواناب و نفوذ بیشتر است. پردازش سریع و آسان، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای رایگان موجود، کاربرد نرم‌افزار و زبان‌های مختلف برنامه‌نویسی برای پردازش داده‌ها به‌خصوص نرم‌افزار در دسترس GIS، تحلیل توزیعی مکانی-زمانی، مدل‌سازی حوضه‌های بزرگ، تعریف پروژه چهار استرینگ برای یکسان‌سازی در مختصات و اندازه‌های متفاوت سلول نقشه‌ها، ارائه داده‌ها به‌صورت شبکه‌ای و جدولی به‌صورت دلخواه، از مزیت‌های این مدل است.

در یک جمع‌بندی از ارزیابی مکانی-زمانی بیلان آب خاک تورنت وایت-ماتر می‌توان نتیجه گرفت که با وجود ساده بودن روابط، مدل SWB₂ که بر اساس رابطه تورنت وایت-ماتر هست، خروجی را به‌صورت جزئی و دقیق در اختیار کاربر قرار می‌دهد. زیرا مدلی روزانه بوده، در تیپ‌های مختلف خاک و کاربری اراضی برای تولید رواناب، تبخیر و تعرق و... تفاوت قائل شده است. جهت جریان، عمق ریشه، برگاب و تراکم پوشش گیاهی را نیز در نظر گرفته است. پس می‌توان گفت تخمین قابل قبولی از مؤلفه‌های بیلان در مقیاس سالانه ارائه می‌دهد؛ بنابراین پیچیده بودن روابط مورد استفاده در چرخه هیدرولوژیکی همیشه به معنای کاربردی بودن روابط نیست. با استفاده از این مدل می‌توان دید خوبی نسبت به وضعیت بیلان آب خاک و اجزای آن به دست آورد.

منابع

ایزدی، ع. ۱۳۹۲. کاربرد و ارزیابی یک مدل توسعه‌یافته تلفیقی آب زیرزمینی آب سطحی در حوضه آبریز نیشابور. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

برخورداری، ج.، وارتانیان، ت. و خسروی، ح. ۱۳۹۴. تهیه مدل توزیعی بیلان ماهانه آب خاک به روش تورنت وایت - ماتر (مطالعه موردی: حوضه آبخیز یزد اردکان). نشریه تحقیقات مرتع و بیابان

نتیجه‌گیری

با به‌کارگیری مدل SWB₂ در این تحقیق، همه عوامل تأثیرگذار بر بیلان، از جمله برگاب نیز مدنظر قرار گرفت البته ذوب برف برای منطقه صفر فرض شد. حجم کنترل، منطقه ریشه در نظر گرفته شد و نفوذ زمانی اتفاق می‌افتاد که رطوبت خاک از حداکثر آب در دسترس ناحیه ریشه بیشتر شود. از نظر زمانی مدل‌ها به‌صورت روزانه، ماهانه یا سالانه می‌باشند. ورودی و خروجی مدل استفاده‌شده به‌صورت روزانه بوده ولی چون منطقه دارای اقلیم گرم و خشک با نزولات جوی کم و تبخیر و تعرق زیاد است، باعث تأخیر در نفوذ و رسیدن آن به آب‌های زیرزمینی می‌گردد؛ بنابراین ارائه نتایج به‌صورت روزانه از اعتبار آن کاسته، خروجی‌ها به‌صورت سالانه تحلیل شدند. از نظر مکانی نیز مدل‌ها به‌صورت توزیعی، نیمه توزیعی و یکنواخت هستند؛ اما در این مدل که یک مدل توزیعی از نظر مکانی است؛ منطقه به شبکه‌های با اندازه سلول مشخص تقسیم و ورودی‌ها محاسبه، خروجی‌ها برای هر سلول به‌صورت جداگانه تعلق می‌گیرد. در این مطالعه اندازه سلول‌ها ۵۰ در ۵۰ متر است. این مدل تمام عوامل تأثیرگذار بر رطوبت سطحی خاک را بررسی، سپس وارد ناحیه ریشه و مقدار آب موجود آن شده، نفوذ را بر اساس پردازش‌های این دو ناحیه محاسبه می‌کند. به‌علاوه متناسب با رطوبت خاک، نرخ آب برای آبیاری را نیز مشخص می‌کند. رابطه‌های بارش، تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ، تحلیل شدند. خروجی‌ها حاکی از انطباق مدل با روابط هیدرولوژیکی حوضه بود. حساسیت سپس صحت سنجی مدل انجام و نتایج قابل قبولی ارائه شد. مطابق با فرضیه‌های تحقیق حاضر نتیجه‌گیری شد؛ نوع کاربری و جنس خاک بر نفوذ تأثیرگذار است. مدل از نظر مکانی و زمانی تفاوت‌های موجود را در نظر گرفته، با توجه به داده‌های موجود منطقه، برآورد مناسبی از بیلان و نفوذ خالص ارائه می‌دهد. به‌طور میانگین سهم تبخیر و تعرق، رواناب و نفوذ برای ۴ سال به ترتیب ۲۸۸/۹، ۲۳/۹، ۴۲ میلی‌متر برآورد گردید که نشان

ایران. ۲۲ (۳): ۴۶۶-۴۸۰.

دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

نظریه، ف. ۱۳۹۶. توسعه و ارزیابی مدل یکپارچه شبیه‌سازی جریان سطحی، ناحیه غیراشباع و اشباع در دشت نیشابور. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

Anderson, J. R. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data (Vol. 964). US Government Printing Office.

Bradbury, K., Fienen, M. N., Kniffin, M., Krause, J., Westenbroek, S. M., Leaf, A. T. and Barlow, P. M. 2017. Groundwater flow model for the Little Plover River basin in Wisconsin's Central Sands (No. 111). Wisconsin Geological and Natural History Survey.

Cronshey, R. 1986. Urban hydrology for small watersheds (No. 55). US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.

Dripps, W. R. and Bradbury, K. R. 2007. A simple daily soil-water balance model for estimating the spatial and temporal distribution of groundwater recharge in temperate humid areas. *Hydrogeology Journal*. 15(3): 433-444.

Day, E. S. 2019. Application of the USGS soil-water-balance (SWB) model to estimate spatial and temporal aspects of groundwater recharge in north-central Iowa (Doctoral dissertation, Iowa State University).

Evenen, G. I. 1990. Cartographic projection procedures for the UNIX environment: A user's manual (p. 64). United States Geological Survey.

Johnson, A. G., Engott, J. A., Bassiouni, M. and Rotzoll, K. 2018. Spatially distributed groundwater recharge estimated using a water-budget model for the Island of Maui, Hawaii, 1978-2007 (No. 2014-5168). US Geological Survey.

Hawkins, S. J., Sugden, H. E., Mieszkowska, N., Moore, P. J., Poloczanska, E., Leaper, R., ... and Burrows, M. T. 2009. Consequences of climate-driven biodiversity changes for ecosystem functioning of North European rocky shores. *Marine Ecology Progress Series*. 396(9): 245-259.

Pereira, A. C. and Romero, F. 2017. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*. 13: 1206-1214.

Thorntwaite C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate, *Geogr. Rev.* 38(1): 55-94.

Thorntwaite C. W., and Mather J. R. 1955. The water balance, *Publ. Climatol. Lab. Climatol. Dresel Institute Technology*. 8(8): 1-104.

Wolock, D. M. and McCabe, G. J. 1999. ESTIMATES

ترک قشقای، س. ۱۳۹۶. برآورد تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های گوناگون در دشت گلگیر. رساله دکتری زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.

حصاری، ب. ۱۳۹۰. بررسی تهیه مدل بیلان آب خاک با استفاده از GIS (مطالعه موردی حوضه آبریز نازلوچای). *مجله منابع طبیعی ایران*. ۵۷ (۳): ۴۲۷-۴۱۵.

داوودی، ا، قاسمیه، ه.، عبدالمی، خ. و بتلان، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی بیلان رطوبتی خاک به روش تورنت وایت-ماتر (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بهشت‌آباد). *نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*. ۹ (۱): ۹۲-۷۴.

رضوی کهنمویی، س، داوری، ک. قهرمان، ب. ضیایی، ع. ایزدی، ع. اسحاقیان، ک. شاهدی، م. و طالبی، ف. ۱۳۹۵. توسعه مدل شبه توزیعی برای برآورد بیلان (QDWB) و ارزیابی آن در محدوده مطالعاتی رخ-نیشابور. *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۳۰ (۶): ۱۸۸۸-۱۹۰۴.

شفیعی، م. ۱۳۸۸. بیلان هیدرولوژیکی آب‌های سطحی توسط مدل SWAT و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

علیزاده، ا. ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد. ۳۵. ۴۱.

میرشفیعی، س. ۱۳۹۸. مدل‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب سطحی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از مدل سطح زمین Noah MP. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

مهدوی، م، آذرخشی، م. ۱۳۸۳. تعیین مدل بیلان آبی مناسب ماهانه در حوضه‌های آبخیز کوچک کشور (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی و شمال خراسان). *مجله منابع طبیعی ایران*. ۵۷ (۳): ۴۲۷-۴۱۵.

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

میان‌آبادی، آ. ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات تبخیر سالانه در حوضه‌های آبریز مناطق خشک با استفاده از نمایه خشکی (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). رساله دکتری هواشناسی کشاورزی،

- Techniques and Methods, book 6, chap. A59, 118 p.
- Westenbroek, S.M., Nielsen, M.G. and Ladd, D.E. 2021, Initial estimates of net infiltration and irrigation from a soil-water-balance model of the Mississippi Embayment Regional Aquifer Study Area: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021-1008, 29 p.
- Zhang, Z., Wang, W., Gong, C., Zhang, M. 2020. A comparison of methods to estimate groundwater recharge from bare soil based on data observed by a large-scale lysimeter. *Hydrological Processes*. 34(13): 2987-2999.
- OF RUNOFF USING WATER- BALANCE AND ATMOSPHERIC GENERAL CIRCULATION MODELS 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 35(6): 1341-1350.
- Westenbroek, S.M., Kelson, V.A., Dripps, W.R., Hunt, R.J. and Bradbury, K. R. 2010. SWB—A modified Thornthwaite-Mather Soil-Water-Balance code for estimating groundwater recharge: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6—A31, 60 p.
- Westenbroek, S.M., Engott, J.A., Kelson, V.A. and Hunt, R.J. 2018, SWB Version 2.0—A soil-water-balance code for estimating net infiltration and other water-budget components: U.S. Geological Survey

Estimation Net Infiltration Rate and Other Soil-Water-Balance with Code SWB₂ (Case Study Neishabour Plain)

S. Fasihi¹, A. A. Baheshti^{*2}, A. N. Ziaei³

Received: Oct.11, 2021

Accepted: Nov.16, 2021

Abstract

To maintain and sustainably management the limited water resources, modeling and estimation of soil water balance needed. Soil water balance modeling examines the trend of rainfall division into runoff, evaporation, and changes in soil moisture. Since these factors are variable during the time and space, the use of a distributed model for accurate estimation and better management can be helpful. The purposes of this study are to use the SWB model based on the Thornthwaite-Mather method and to estimate the components of soil water balance and net infiltration. The depth of the root zone is considered as the control volume to calculate the net infiltration. The model, after affecting rainfall, runoff, evaporation, etc. on changes in soil moisture, calculates the maximum available Water in the root zone and by subtracting them from each other, calculates the net infiltration. The study area, Neishabour catchment area with a total area of 9157 square kilometers and cell size of 50 by 50 meters was selected. The model was implemented for four years from 79-83. The average share of evapotranspiration, runoff and infiltration for 4 years was estimated to be 288.9, 23.9, 42 mm, respectively which shows that the share of evapotranspiration in the region is higher than runoff and infiltration. Net infiltration and available water capacity (2/7) in cultivated lands with soil hydrological groups A and B has a higher rate in rainy years. Most of the soil in mountainous areas is part of hydrological group B with high permeability but due to the steep slope, it does not penetrate deeply and most of the rainfall flows as surface runoff. The calculated evapotranspiration was compared with the measured data. The correlation coefficient was 0.85 which is an acceptable result.

Keywords: Distributive Model, Fragments Method, GIS Software, Grid Data, Soil-Water-Balance

1- M.Sc. student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

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

(*- Corresponding Author Email: ali_abeheshti@yahoo.com)