

تخمین اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAP (مطالعه موردی: منطقه نیشابور)

هادی دهقان^{*۱} - امین علیزاده^۲ - سید ابوالقاسم حقایقی مقدم^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۹

تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۱

چکیده

برای بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی اطلاع دقیق از همه اجزای بیلان آب ضروری می‌باشد. از طرفی، اندازه‌گیری اجزای بیلان آب در فاصله‌های زمانی مورد نیاز به خاطر وقت‌گیر و پرهزینه بودن مشکل است. مدل‌هایی که منطقه غیراشباع خاک را شبیه‌سازی می‌کنند، ابزار مفیدی برای پیش‌بینی آثار مدیریت کشاورزی بر آب استفاده شده توسط گیاه می‌باشند و از این مدل‌ها می‌توان برای بهینه‌سازی عملیات کشاورزی مانند مصرف آب استفاده کرد. این تحقیق در مزارع تحت آبیاری گندم در دشت نیشابور که یکی از دشت‌های مهم استان خراسان رضوی می‌باشد، انجام شده است. برای شبیه‌سازی اجزای بیلان آب و رشد گیاه از مدل اگروهیدرولوژیک SWAP در سه مزرعه تحت کشت گندم به نام‌های فاروب رومان، حاجی‌آباد و سلیمانی استفاده شد. ورودی‌های مدل از ترکیب اطلاعات مزرعه‌ای و هواشناسی تعیین شد. برای ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک از بسته نرم‌افزاری RETC بهره گرفته شد. دوره شبیه‌سازی مطابق با فصل رشد گندم از آبان ماه ۱۳۸۷ تا اوایل تیر ماه ۱۳۸۸ انتخاب شد. آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک حاکی از آن بود که مدل نسبت به ضرایب α و n حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شاخص‌های آماری ارائه شده، نتایج این مطالعه نشان داد مدل SWAP به خوبی توانسته است جریان آب در خاک را شبیه‌سازی کند. مقدار ضریب R^2 به طور متوسط $0/62$ ، خطای متوسط بین $0/1$ تا $2/28$ - و خطای نسبی بین $0/33$ تا $12/69$ - متغیر بودند. بنابراین از مدل واسنجی شده SWAP می‌توان به عنوان ابزاری مفید بدون صرف وقت و هزینه زیاد برای محاسبه اجزای بیلان آب در سطح مزرعه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: توابع هیدرولیکی خاک، مدل SWAP، اجزای بیلان آب

مقدمه

مهمترین عامل محدودیت در افزایش تولید کشاورزی است. بنابراین ضروری است تا مصرف آب در کشاورزی بهینه شود.

گرچه بیشترین آب استفاده شده در بخش آبیاری می‌باشد، اما توجه به سایر اجزای بیلان آب نیز ضروری به نظر می‌رسد. به هر حال بیشتر مطالعات هنوز به بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری یا روش‌های آبیاری بر عملکرد محصول می‌پردازند. تمرکز اصلی این مطالعات بیشتر روی به دست آوردن محصول بیشتر به ازای آب آبیاری مصرف شده می‌باشد و سایر موضوعات مهم در نظر گرفته نمی‌شوند. در این مطالعات، بیشتر آب آبیاری محاسبه می‌شود و آب مصرف شده توسط گیاه از سایر منابع مانند بارندگی، صعود موئینگی از آب زیرزمینی و ذخیره رطوبتی خاک در نظر گرفته نمی‌شود. تلاش برای رسیدن به محصول زیادتر در بیشتر اوقات همراه با افزایش بهره‌وری که نسبت محصول تولیدی به حجم آب مصرف شده است، نمی‌باشد. به هر حال برای اندازه‌گیری مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، دانستن همه اجزای بیلان آب قابل توجه و مهم می‌باشد (۸).

کمبود آب به صورت یک تهدید واقعی برای زندگی انسان بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک در کشورهای در حال توسعه در آمده است. رشد جمعیت و از طرفی بالا رفتن استانداردهای زندگی مصرف آب را افزایش داده است. مقدار آب مورد استفاده در کشاورزی مهم و قابل توجه است و صرفه‌جویی در بخشی از آب استفاده شده در کشاورزی ممکن است به عنوان راهکاری برای مشکل کمبود آب موثر باشد. با توجه به اینکه بیشتر نقاط ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته و دارای منابع آب محدود می‌باشد، آب اولین و

۱-۲ دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) نویسنده مسئول: (Email: Dehghan63.ha@gmail.com)

۳- مربی پژوهش بخش فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

استفاده کرد. در تحقیق دیگری اکبری و همکاران (۲) جهت ارزیابی اثر تغییرات کمی و کیفی آب آبیاری محصول پنبه بر بیلان آب و املاح در منطقه رودشت مدل SWAP را ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج حاصل از شبیه سازی کمی آب، نشان داد که تعرق گیاه و عملکرد نسبی در زمانی که میزان آب آبیاری حدود ۱۰۰۰ میلیمتر باشد، به حداکثر مقدار خود می رسد. افزایش میزان آب آبیاری به بیش از ۱۱۰۰ میلیمتر، باعث افزایش نفوذ عمقی، ماندابی شدن و شوری خاک گردید، لذا آبیاری محصول پنبه با ۹۰۰ میلیمتر آب آبیاری سالیانه (شرایط مدیریتی موجود)، نزدیک به حد بهینه بوده و عملکرد محصول پنبه حدود ۶۶ درصد پتانسیل می باشد.

نتایج مطالعات بونفانت و همکاران (۶) در زمینه شبیه سازی رطوبت نیمرخ خاک در مزارع ذرت شمال ایتالیا با استفاده از مدل های SWAP، CropSyst و MACRO نشان داد که هر سه مدل تقریباً عملکرد مشابهی دارند. مقدار RMSE به طور متوسط برای هر سه مدل، ۰/۰۳۲ محاسبه شد. در مجموع مدل SWAP به دلیل بهره گیری از تکنیک های متفاوت حل عددی معادله ریچاردز با توجه به در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب در بالا و پایین نمونه خاک عملکرد بهتری نشان داد.

محاسبه اجزای بیلان آب در سطح مزرعه در مقیاس های زمانی کوتاه مدت مشکل و هزینه بر می باشد. از طرفی، برای تعیین اعتبار مدل SWAP لازم است که مدل مذکور در مناطق و شرایط اقلیمی مختلف مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس اهداف این تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- واسنجی و صحت یابی مدل SWAP در شبیه سازی جریان آب در خاک
- ۲- برآورد اجزای بیلان آب با استفاده از مدل صحت سنجی شده جهت بهینه سازی مصرف آب

مواد و روش ها

معرفی منطقه

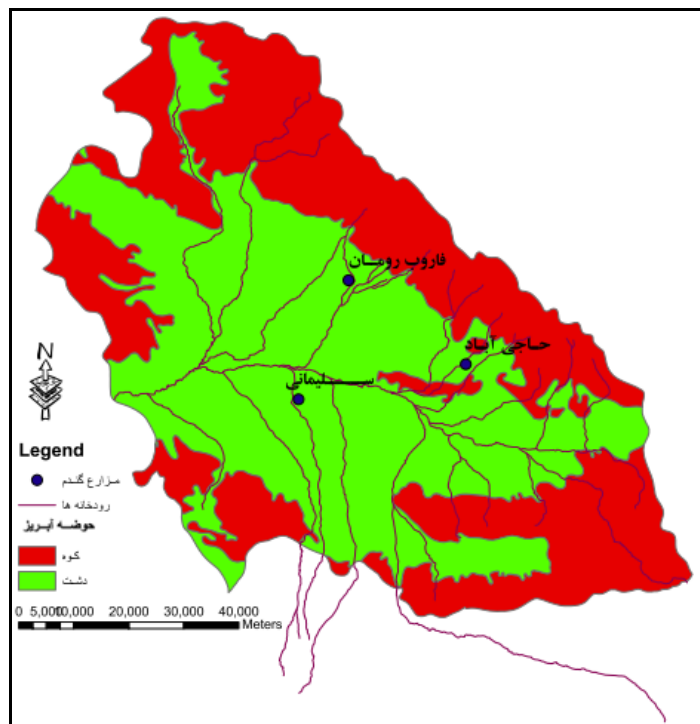
دشت نیشابور یکی از دشت های مهم استان خراسان رضوی می باشد (شکل ۱). بحران آب دشت نیشابور در نتیجه بهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و افزایش تقاضا از منابع آبی از سال ۱۳۶۵ به بعد نمود پیدا کرده است. این دشت جزئی از حوضه آبریز کال شور است که در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود و در شمال شرق کویر مرکزی واقع شده است. وسعت کل حوضه ۷۳۰۰ کیلومتر مربع است که ۳۹۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می دهند. آب و هوای منطقه نیمه خشک و خشک، متوسط دمای آن ۱۲ درجه سانتیگراد و میزان بارندگی سالانه آن به طور متوسط برای کل حوضه ۲۹۲ میلی متر گزارش شده است (۴).

امروزه استفاده از مدل های شبیه سازی بسیاری از مسائل مربوط به مدیریت آبیاری، شوری خاک و بیلان آب در محدوده توسعه ریشه را حل کرده است. در این زمینه، بیلان آب در منطقه توسعه ریشه با استفاده از یک مدل شبیه سازی ساده توسط پانیگراهی و همکاران (۱۰) برآورد گردید. محققین مذکور برای صحت یابی مدل از داده های یک مزرعه آزمایشی در طول دو سال استفاده کردند. در آزمایش مذکور میزان رطوبت خاک در لایه های مختلف خاک به طور مستقیم با استفاده از دستگاه نوترون متر اندازه گیری شده بود. با استفاده از اطلاعات خاکشناسی، داده های زراعی و تاریخ های آبیاری مزرعه آزمایشی بیلان آب در خاک شبیه سازی گردید. ضریب همبستگی و میزان خطای نسبی بین مقادیر رطوبت های اندازه گیری شده خاک و مقادیر شبیه سازی شده به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۵۱ بدست آمد که در حد مطلوبی است و استفاده از مدل شبیه سازی را توصیه نمودند (۱۰). تاکنون مدل های متعددی برای مسائل مربوط به حرکت آب در خاک و رشد محصول طراحی گردیده است. یکی از این مدل ها، مدل SWAP می باشد که قابلیت بالایی در شبیه سازی حرکت آب در خاک و اجزای بیلان آب دارد (۱۳). این مدل در موارد مختلفی مانند شبیه سازی رطوبت در خاک، برنامه ریزی آبیاری، انتقال املاح و رشد محصول استفاده می شود. مدل SAWP همچنین در مقیاس های مختلف مانند مزرعه، شبکه آبیاری و حوضه مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که مدل SAWP مدلی توانمند برای شبیه سازی جریان آب در خاک و همچنین بیلان آب در سطح مزرعه می باشد (۶ و ۱۲).

اکبری و همکاران (۱) در تحقیقی تأثیر برنامه ریزی آبیاری بر بهره وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAP را در شبکه آبخیز اصفهان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با اصلاح برنامه آبیاری، عملکرد محصول جو و گندم به مقدار قابل ملاحظه ای (۱۵ درصد) افزایش می یابد. از طرف دیگر با بهبود مدیریت زراعی و کاهش ۲۰ درصدی عمق آب آبیاری، عملکرد محصول تغییر معنی داری نداشت.

وظیفه دوست و همکاران (۱۴) در تحقیقی در منطقه برخوار اصفهان برای شبیه سازی مقادیر بیلان آبی مانند تعرق، تبخیر از خاک و نفوذ عمقی و پیش بینی عملکرد محصولات، مدل SWAP را ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج نشان داد این مدل می تواند برای پیش بینی حرکت آب در خاک و شبیه سازی اجزای بیلان آب در مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

سینگ و همکاران (۱۲) جریان آب در خاک و اجزای بیلان آب را با استفاده از مدل شبیه سازی SWAP و تکنیک سنجش از دور در مزارع تحت کشت گندم در غرب چین شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد از مدل SWAP می توان به عنوان ابزاری مفید برای شبیه سازی حرکت و توزیع رطوبت در خاک و همچنین برآورد اجزای بیلان آب



شکل ۱- محدوده دشت نیشابور و مزارع انتخابی در بخش‌های مختلف آن

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S(h) \quad (1)$$

که در آن: h = بار فشاری آب در خاک (cm)، K = هدایت هیدرولیکی غیر اشباع (cm/d)، z = ارتفاع نقطه از سطح مبنا (cm)، θ = رطوبت حجمی خاک (cm³/cm³)، S = میزان جذب آب توسط ریشه (cm³/cm³ day) می‌باشد. برای حل این معادله از روش عددی تفاضل‌های محدود و اعمال شرایط مرزی و استفاده از توابع هیدرولیکی خاک استفاده می‌گردد. توابع هیدرولیکی خاک به عنوان روابط بین هدایت هیدرولیکی، رطوبت خاک و بار فشاری آب خاک تعریف می‌شوند. در SWAP توابع تحلیلی ارائه شده توسط معادله ون- گنوختن برای تعریف منحنی مشخصه استفاده می‌شوند (۱۳). سایر داده‌های ورودی مدل SWAP شامل پارامترهای هواشناسی، مشخصات خاک، پارامترهای آبیاری و پارامترهای گیاهی می‌باشند. در این تحقیق برای شبیه‌سازی رشد گیاه از زیرمدل ساده گیاهی که بر پایه معادله دورنباس و کسام می‌باشد، استفاده شده است.

جریان آب در لایه سطحی خاک یکی از اجزاء مهم در شبیه‌سازی بیلان آب در خاک است. با در نظر گرفتن جهت جریان آب در خاک (جهت جریان به سمت بالا مثبت و به سمت اعماق منفی)، معادله بیلان آب در منطقه ریشه را می‌توان به شکل زیر نوشت (۱۳):

این دشت از سال ۱۳۷۱ به بعد به طور متوسط هر ساله با حدود ۰/۲ متر افت سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است. کل تخلیه دشت ۷۸۸ میلیون متر مکعب می‌باشد، که حدود ۹۵ درصد آن به مصارف کشاورزی می‌رسد. در منطقه مورد مطالعه بیش از ۸۰ درصد اراضی قابل آبیاری و مناسب برای کشت و زرع است که باعث شده این دشت موقعیت کشاورزی مطلوبی را در استان خراسان رضوی داشته باشد. بیش از ۷۰ درصد کشت‌ها آبی است. بیشترین سطح زیر کشت را غلات و محصولات صنعتی و باغی به خود اختصاص می‌دهند که از نظر نیاز آبی در حد بالایی بوده و با شرایط کم آبی منطقه سازگار نمی‌باشند (۴).

مدل شبیه‌سازی SWAP

SWAP یک مدل اگروهیدرولوژیک بسیار جامع برای انتقال آب، گرما و محلول در محیط اشباع و غیر اشباع می‌باشد. این مدل شامل زیرمدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی عملیات آبیاری و رشد گیاه است. حرکت آب براساس معادله ریچاردز که ترکیبی از معادله داریسی و پیوستگی می‌باشد، شبیه‌سازی می‌شود. این معادله به صورت زیر می‌باشد:

برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های غیر اشباع استفاده می‌شود. این مدل در مطالعات دیگر نیز توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته و مدل مناسبی تشخیص داده شده است (۵). مشخصات هر لایه خاک مانند بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (FC) به عنوان ورودی به مدل داده شد و پارامترهای معادله ون-گنوختن شامل رطوبت باقی مانده θ_{res} ، درصد رطوبت اشباع خاک θ_{sat} ، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک K_{sat} ($cm\ d^{-1}$) و پارامترهای α (cm^{-1})، λ (-) و n (-) به عنوان خروجی به دست آمد (۱۴). بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزارع مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. رطوبت خاک به طور مستقیم از اعماق ۰-۱۰، ۰-۲۰، ۱۰-۳۰، ۲۰-۴۰، ۳۰-۵۰، ۴۰-۶۰، ۵۰-۷۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متری در طول فصل رشد در کلیه مزارع آزمایشی با استفاده از دستگاه رطوبت سنج از نوع TRIME-FM در فواصل زمانی یک تا دو هفته اندازه گیری شد. ضمناً تا حد امکان سعی شد اندازه‌گیری رطوبت قبل و بعد از آبیاری انجام شود. داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت به دو دسته تقسیم شدند: دسته اول برای واسنجی مدل و دسته دوم برای صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

واسنجی مدل

برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌یابی مدل ضروری می‌باشد. از آنجایی که پارامترهای هیدرولیکی خاک تأثیر بسزایی در شبیه‌سازی اجزای بیلان آب دارند، در این پژوهش برای انجام این مراحل از بخش‌های مربوط به حرکت آب در خاک استفاده شد (۱۵). آنالیز حساسیت مدل به روش پیشنهادی لین و همکاران (۹) انجام شد. برای تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک، داده‌های خروجی مدل RETC در لایه‌های مختلف و همچنین در مزارع منتخب به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. در هر نوبت یکی از داده‌های ورودی مقداری تغییر داده شد (برای هر پارامتر دو تغییر مثبت و منفی به میزان ۵۰ درصد انجام گرفت) و بقیه داده‌ها ثابت نگه داشته شدند و مدل با استفاده از شرایط جدید اجرا گردید. نتایج به دست آمده در دو حالت مذکور با نتایج به دست آمده در حالت مبنا مقایسه و پارامترهای حساس مدل تعیین شد. برای ارزیابی نتایج از شاخص‌های آماری ضریب تعیین R^2 ، مجذور میانگین مربعات خطا $(RMSE)^2$ ، خطای متوسط MBE و خطای نسبی RE با روابط زیر استفاده شده است (۳، ۵):

$$Q_{in} = (q_{bot} - q_{top} - q_{root} - q_{drain})\Delta t \quad (2)$$

که در آن: Q_{in} = میزان آب ورودی به منطقه توسعه ریشه (cm)، q_{bot} = شدت جریان آب از پایین نیمرخ خاک به سمت منطقه ریشه (cm/day)، q_{top} = شدت جریان آب از سطح خاک (cm/day)، q_{root} = شدت جریان آب جذب شده توسط ریشه (cm/day)، q_{drain} = شدت جریان آب زهکشی (cm/day).
شدت جریان آب از سطح خاک از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$q_{top} = q_{eva} - q_{prec} - q_{irrig} - \frac{h_{pond}}{\Delta t} \quad (3)$$

که در آن: q_{eva} = تبخیر واقعی از سطح خاک (cm/day)، q_{prec} = میزان بارش در سطح خاک (cm/day)، q_{irrig} = میزان آبیاری در سطح خاک (cm/day)، h_{pond} = ارتفاع ماندابی (غرقاب) در سطح خاک (cm)

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از مزارع کشاورزان

تعداد ۳ مزرعه گندم به نام‌های فاروب‌رومان، حاجی‌آباد و سلیمانی با مشورت کارشناسان خبره محلی به عنوان نماینده کل سطح دشت، به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مدل SWAP انتخاب گردیدند (شکل ۱). این مزارع در بخش‌های مختلف دشت شامل مزرعه فاروب‌رومان در بخش مرکزی، سلیمانی در بخش میان‌جلگه و حاجی‌آباد در بخش زبرخان واقع شده‌اند. برای تامین داده‌های هواشناسی شامل تشعشع خورشیدی، بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، از اطلاعات روزانه ایستگاه سینوپتیک نیشابور برای فصل زراعی ۸۸-۱۳۸۷ استفاده شد. به منظور تهیه اطلاعات زراعی مورد نیاز مدل در طول فصل رشد، تاریخ آبیاری، میزان و شوری آب آبیاری، عمق توسعه ریشه، شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه در مزارع انتخابی اندازه‌گیری شدند. همچنین در انتهای فصل رشد، تاریخ برداشت و میزان عملکرد محصول اندازه‌گیری و ثبت گردید. عمق ناخالص آبیاری با استفاده از حاصل ضرب دبی آب در زمان آبیاری و تقسیم آن بر مساحت مزرعه تعیین شد. روش آبیاری استفاده شده در مزرعه فاروب‌رومان شیاری، در مزرعه حاجی‌آباد کرتی و در مزرعه سلیمانی نواری (روی خطوط تراز) بود. تقویم آبیاری و مقدار آب اختصاص داده شده در طول فصل رشد به مزارع مطابق عرف منطقه و مدیریت زارع بوده و تغییری در آن اعمال نشد. هدایت الکتریکی آب آبیاری در مزرعه فاروب‌رومان ۰/۶ ds/m، مزرعه حاجی‌آباد ۰/۹ ds/m و مزرعه سلیمانی ۳/۸۹ ds/m اندازه‌گیری شد.

در تحقیق حاضر برای به دست آوردن پارامترهای هیدرولیکی خاک از مدل RETC استفاده شد (۱۴). مدل RETC برای آنالیز و

1- Coefficient of Determination

2- Root Mean Square Error

3- Mean Bias Error

4- Relative Error

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

مزرعه	عمق خاک (سانتی متر)	چگالی ظاهری ($gr.cm^{-3}$)	بافت خاک	رس	سیلت	شن	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک	
							درصد وزنی رطوبت	EC
							در ظرفیت زراعی	(دسی‌زیمنس بر متر)
فاروب رومان	۰-۳۰	۱/۵۱	لوم سیلتی	۱۸	۵۲	۳۰	۲۰/۱	۱/۰۶
	۳۰-۶۰	۱/۵۷	لوم	۲۲	۴۴	۳۴	۱۷/۱	۰/۶۸
	۶۰-۹۰	۱/۷۸	لوم	۲۰	۴۶	۳۴	۱۹/۷	۰/۸
حاجی آباد	۰-۳۰	۱/۴۳	لوم	۱۸	۳۶	۴۶	۱۵/۵	۱/۵۶
	۳۰-۶۰	۱/۴۹	لوم شنی	۱۸	۲۲	۶۰	۱۲/۹	۲/۶۹
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	لوم	۱۶	۳۶	۴۸	۱۱/۷	۲/۰۲
سلیمانی	۰-۳۰	۱/۷۲	سیلتی لوم	۱۷	۵۵	۲۸	۱۷	۶/۹۶
	۳۰-۶۰	۱/۷۰	سیلتی لوم	۱۶	۶۲	۲۲	۲۳	۷/۵
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	سیلتی لوم	۱۶	۶۰	۲۴	۱۸/۲	۸/۲

حساسیت کم برخوردار است. از میان پارامترهای با حساسیت متوسط α و n حساس‌ترین پارامترها بودند. بنابراین در مرحله واسنجی مدل این پارامترها آنقدر تغییر داده شدند تا بهترین تطابق بین رطوبت مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حاصل گردید. مقادیر پارامترهای واسنجی شده و سایر پارامترهای هیدرولیکی خاک (θ_{res} ، θ_{sat} ، K_{sat} و λ) در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی جریان آب در خاک به دو روش ترسیمی و محاسبه شاخص‌های آماری ارائه شده است. مقایسه ترسیمی مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت و مقادیر برآورد شده توسط مدل SWAP به عنوان نمونه در مزرعه فاروب رومان در شکل نشان داده شده است. برای سایر مزارع فقط شاخص‌های آماری ارائه گردیده است.

در مزرعه فاروب رومان با توجه به شکل ۲ ملاحظه می‌گردد که مدل تا عمق ۵۰ سانتی‌متری رطوبت در ابتدای فصل رشد را بیش از واقعیت برآورد کرده است و در باقی فصل رشد با روند تقریباً مشابهی رطوبت را پیش‌بینی کرده است. در عمق ۶۰ سانتی‌متری مدل رطوبت را کمتر برآورد کرده است. با این حال در اعماق ۷۰ و ۸۰ سانتی‌متری که نزدیک عمق توسعه ریشه گیاه می‌باشد، مدل رطوبت را خوب پیش‌بینی کرده است و از دقت قابل قبولی برخوردار است (شکل ۲).

برای بررسی بهتر، شاخص‌های آماری برای مزارع گندم (صحت یابی مدل) در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار RMSE نشان می‌دهد که تا چه حد اختلاف بین تک‌تک مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده متناظر، صرف‌نظر از این که کمتر یا بیشتر باشد، وجود دارد. مقدار این شاخص در مزارع مختلف بین ۱/۸۵ تا ۴/۰۳ درصد در نوسان می‌باشد. مشاهده می‌شود مقدار RMSE نسبتاً کم و قابل قبول است. مقدار خطای متوسط (MBE) از ۰/۱- در مزرعه فاروب رومان تا ۱/۶۸- در مزرعه سلیمانی متغیر می‌باشد و با

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (6)$$

$$RE = (MBE / \bar{O}) * 100 \quad (7)$$

در روابط بالا، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد داده‌های به کار رفته و \bar{O} مقدار متوسط اندازه‌گیری‌ها می‌باشند. مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا، خطای متوسط و نسبی در حالت پهنه یا حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند برابر صفر و مقدار R^2 در این حالت برابر یک می‌باشد.

مقدار R^2 نسبت میان پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده را به دست می‌دهد. مقدار RMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد، اندازه‌گیری‌ها را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند. خطای متوسط شاخصی از مقایسه با مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشابه است (۳).

نتایج و بحث

شبیه‌سازی جریان آب در خاک

آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک به روش لین و همکاران (۹) نشان داد مدل نسبت به پارامترهای α ، n و θ_{sat} از حساسیت با درجه متوسط و برای سایر پارامترهای ورودی از

میلیمتر محاسبه نمودند. وظیفه دوست و همکاران (۱۴) تبخیر تعرق گندم در منطقه برخوردار اصفهان با استفاده از مدل SWAP را ۵۱۷ میلیمتر برآورد نمودند. متوسط تبخیر تعرق گندم در دشت نیشابور با استفاده از مدل واسنجی شده SWAP، ۴۷۲ میلیمتر به دست آمد.

مدل SWAP قادر به تفکیک تبخیر- تعرق گیاهی به تبخیر (آب مصرفی غیر مؤثر) و تعرق (آب مصرفی مؤثر) با استفاده از شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. در شکل ۳ مقدار تعرق و تبخیر روزانه در طول فصل رشد در مزرعه فاروب رومان نمایش داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود در ابتدای فصل به دلیل کم بودن پوشش گیاهی، سهم تبخیر بیشتر از تعرق است. هرچه به اواسط یا انتهای دوره رشد نزدیک می‌شویم از مقدار تبخیر کاسته شده و به مقدار تعرق افزوده می‌شود، به طوری که در مراحل انتهایی دوره رشد تبخیر به صفر و تعرق به حداکثر مقدار خود می‌رسد (شکل ۳). این مسئله به نوعی اهمیت کاهش جزء تبخیر در ابتدای فصل رشد را نشان می‌دهد که می‌تواند از طریق مالچ‌پاشی خاک یا استفاده از روش‌های آبیاری زیر سطحی در مدیریت آب در مزرعه لحاظ شود. همچنین در شکل‌های ۳ تا ۵ مقدار تعرق پتانسیل و واقعی در طول فصل رشد در مزارع نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در انتهای فصل رشد در همه مزارع تعرق پتانسیل بیش از تعرق واقعی می‌باشد که احتمالاً به دلیل این است که نیاز آبی در انتهای فصل رشد تأمین نشده است و گیاه تحت تنش آبی قرار گرفته است.

در مزرعه فاروب رومان به دلیل انجام آبیاری‌های سنگین و عدم طراحی صحیح سیستم آبیاری سطحی، از مجموع آب کاربردی (آبیاری + بارندگی) حدود ۴۷ درصد به صورت نفوذ عمقی و ۱۳ درصد رواناب سطحی تلف شده است (جدول ۴). لذا مشاهده می‌شود در عین حالی که مقدار آبیاری در این مزرعه نسبت به سایر مزارع بالاتر است، تبخیر و تعرق واقعی به دلیل تلفات نفوذ عمقی و رواناب سطحی تقریباً در حدود سایر مزارع می‌باشد. در مزارع حاجی‌آباد و سلیمانی تلفات نفوذ عمقی به ترتیب ۲۳ و ۳۴ درصد می‌باشد. در مزارع مذکور تلفات رواناب سطحی صفر می‌باشد که احتمالاً به دلیل برخورداری از سیستم آبیاری کرتی و نواری (روی خطوط تراز) می‌باشد. در سیستم‌های آبیاری سطحی بخصوص آبیاری جویچه‌ای و شیاری تلفات رواناب سطحی می‌تواند مشکل جدی باشد. همانگونه که نشان داده شد در تحقیق حاضر بیشترین تلفات رواناب سطحی در مزرعه فاروب رومان با سیستم آبیاری شیاری بود. میزان آب کاربردی در هر نوبت آبیاری به عوامل مختلفی از جمله اندازه جریان در واحد عرض شیاری یا نوار آبیاری، شیب زمین، ناهمواری‌های سطح زمین، میزان نفوذپذیری خاک و عمق آب قابل ذخیره در خاک بستگی دارد. با بهبود مدیریت زراعی و انتخاب پارامترهای فوق براساس اصول مهندسی آبیاری می‌توان تلفات نفوذ عمقی و رواناب سطحی را کاهش داد (۱).

توجه به علامت منفی آن نشان‌دهنده آن است که مدل رطوبت را کمتر برآورد می‌کند. مقدار خطای نسبی (RE) بین ۰/۳۳- تا ۱۲/۶۹- تغییر می‌کند. در کل با توجه به مقدار کم MBE و RE مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است. مقدار ضریب تعیین (R^2) از ۰/۵۵ در مزرعه فاروب رومان تا ۰/۶۷ در مزرعه سلیمانی محاسبه شده است. متوسط ضریب تعیین در مزارع مورد مطالعه، ۰/۶۲ به دست آمد. سینگ و همکاران (۱۲) مقدار میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) در شبیه‌سازی جریان آب در خاک با استفاده از مدل SWAP را بین ۱/۱ تا ۶ درصد محاسبه نمودند. دروگرز و همکاران (۸) مدل مذکور را برای برآورد رطوبت خاک در دو مزرعه تحت کشت گندم و پنبه در غرب ترکیه صحت‌یابی نمودند و ضریب تعیین را برای گیاهان گندم و پنبه را به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۸۴ برآورد کردند. مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد مدل در شرایط مزرعه‌ای از دقت قابل قبولی برخوردار است.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های آماری در مزارع مختلف

مزارع	R^2	RMSE (%)	MBE (%)	RE (%)
بهترین حالت	۱	۰	۰	۰
فاروب رومان	۰/۵۵	۱/۸۵	-۰/۱	-۰/۳۳
حاجی‌آباد	۰/۶۴	۴/۰۳	-۲/۲۸	-۱۲/۶۹
سلیمانی	۰/۶۷	۳/۰۲	-۱/۶۸	-۶/۱۹

محاسبه اجزای بیلان آب

از ترکیب پارامترهای هیدرولیکی خاک و داده‌های جمع‌آوری شده، اجزای بیلان آب در مزارع مختلف توسط مدل واسنجی شده SWAP محاسبه گردید. جدول ۳ اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده در مزارع مختلف در دشت نیشابور را نشان می‌دهد. بارندگی در طول فصل رشد گندم منبع مهمی برای تبخیر-تعرق گیاهی می‌باشد. مقدار بارندگی در طول فصل رشد ۲۸۰ میلی‌متر بوده است. با این میزان بارندگی می‌توان آبیاری‌های غیرضروری در فصل پاییز و زمستان را حذف کرد. مقدار آب آبیاری اختصاص داده شده به مزارع بین ۴۰۰ تا ۹۲۰ میلی‌متر بود. یکی از قابلیت‌های مدل SWAP برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه به صورت دو ترم جدا از هم می‌باشد که اندازه‌گیری آن در مزرعه سخت و وقت‌گیر می‌باشد. در شرایط مزرعه‌ای تبخیر-تعرق واقعی گندم (محاسبه شده توسط مدل) بین ۴۵۱ تا ۴۹۸ میلی‌متر متغیر بود. مقدار تبخیر-تعرق در مزارع حاجی‌آباد و سلیمانی به دلیل کاربرد میزان یکسان آب تقریباً مشابه می‌باشد. به طور کلی تبخیر و تعرق واقعی گندم با توجه به شرایط اقلیمی و دوره رشد گیاه متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال دورنباس و کسام (۷) مقدار تبخیر و تعرق گندم را بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلیمتر گزارش کردند. سینگ و همکاران (۱۱) مقدار تبخیر و تعرق گندم را در منطقه‌ای در هند ۳۹۳

خوب نمی‌باشد.

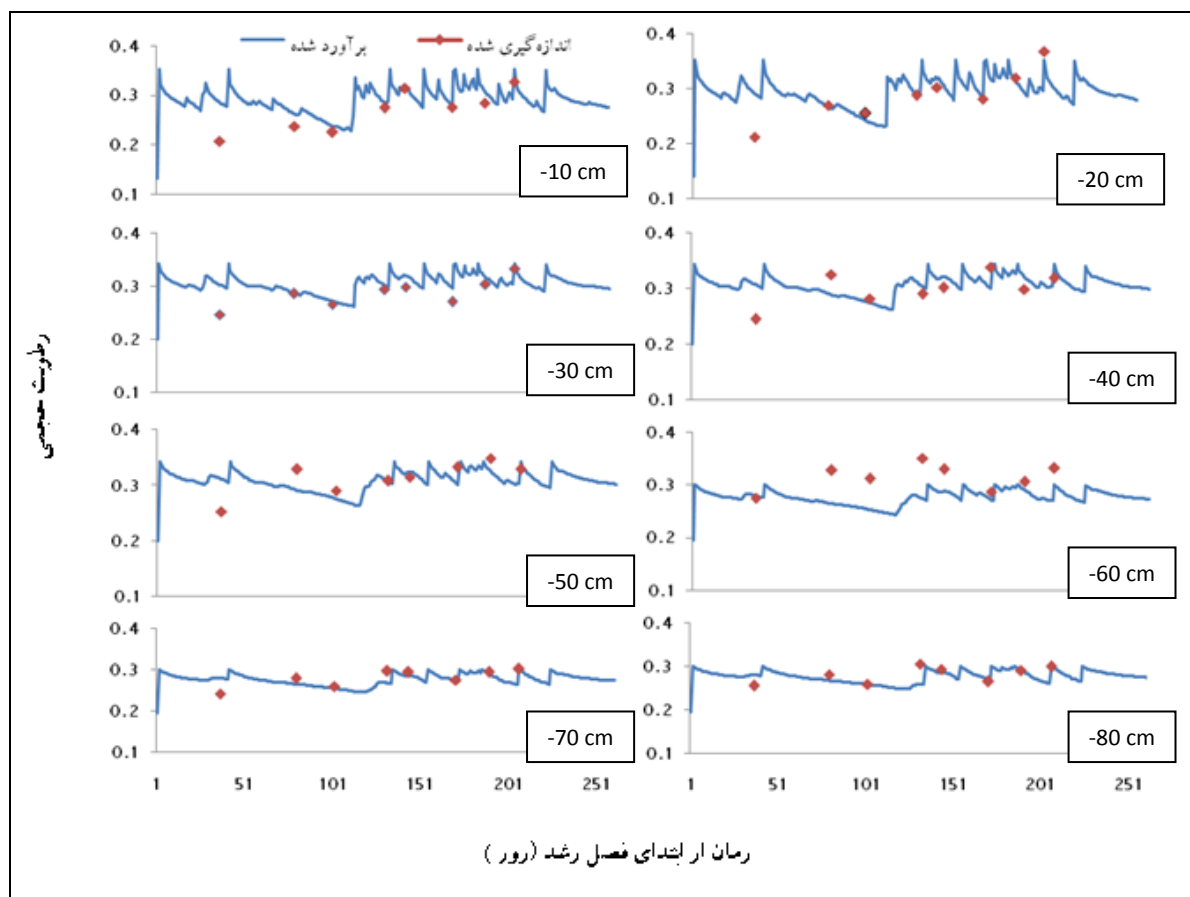
با توجه به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و نتایج شبیه‌سازی اجزای بیلان آب راندمان آبیاری در مزارع مختلف محاسبه گردید (جدول ۴). راندمان آبیاری در مزرعه فاروب رومان ۳۹ درصد و در مزرعه حاجی آباد با ۷۳ درصد بیانگر کمترین و بیشترین راندمان آبیاری محاسبه شده بودند. متوسط راندمان آبیاری حدود ۵۸ درصد بدست آمد که با توجه به اینکه اکثر مزارع با به روش آبیاری سطحی سنتی آبیاری می‌شوند، در حد مطلوبی است. از علل اصلی بالا بودن راندمان آبیاری بخصوص در مزارع سلیمانی و حاجی‌آباد می‌توان به کم بودن آب قابل دسترس اشاره کرد.

نتیجه گیری

در این تحقیق از مدل اگروهیدرولوژیک SWAP برای شبیه سازی اجزای بیلان آب استفاده گردید. برای ارزیابی و واسنجی مدل از داده‌های جمع‌آوری شده رطوبت خاک در سه مزرعه تحت کشت گندم در دشت نیشابور در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ استفاده شد.

در شکل ۳ نتایج مربوط به شبیه‌سازی رواناب سطحی و نفوذ عمقی در مزرعه فاروب رومان (شرایط واقعی مدیریت زارع) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ابتدای دوره رشد گیاه رواناب سطحی بیشتر از نفوذ عمقی می‌باشد که احتمالاً به دو دلیل می‌باشد. دلیل اول این است که عمق آبیاری در نوبت اول آبیاری (خاک‌آب) حدود ۲۳۰ میلی‌متر می‌باشد که از ظرفیت نگهداری خاک بیشتر می‌باشد. دلیل دوم به نظر می‌رسد به خاطر ضعف سیستم آبیاری سطحی در توزیع رطوبت در خاک باشد. در آبیاری‌های بعدی (۶ نوبت) با عمق آبیاری ۱۱۵ میلی‌متر، نفوذ عمقی بیش از رواناب سطحی می‌باشد.

میزان عملکرد گندم در مزارع مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد بیشترین میزان عملکرد در مزرعه فاروب رومان (۶ تن در هکتار) و کمترین آن در مزرعه سلیمانی (۳ تن در هکتار) می‌باشد. پتانسیل عملکرد گندم با توجه به اطلاعات منطقه به طور متوسط حدود ۵۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. براین اساس مقدار عملکرد در مزرعه فاروب رومان مطلوب و در سایر مزارع



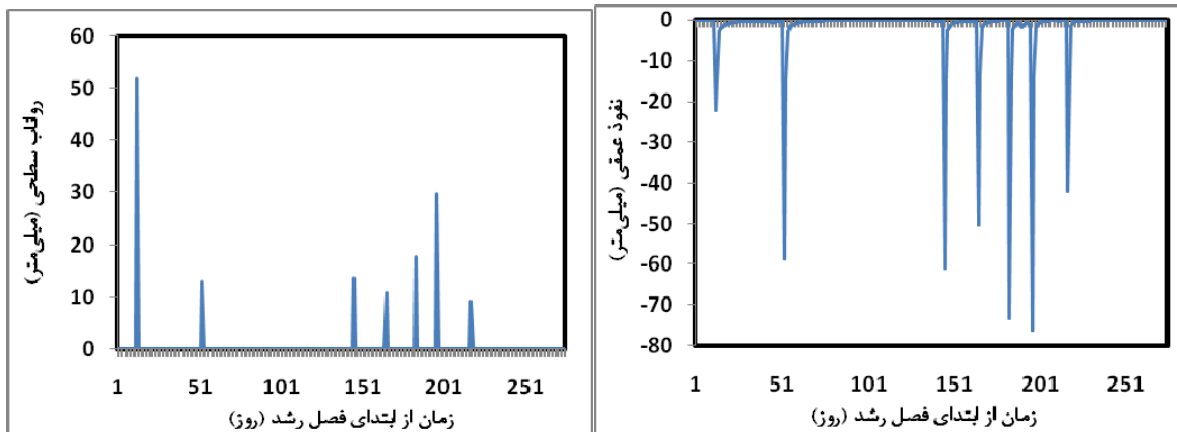
شکل ۲- رطوبت مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مزرعه فاروب‌رومان در اعماق مختلف خاک

جدول ۳- خصوصیات هیدرولیکی لایه‌های مختلف خاک مزارع مورد مطالعه

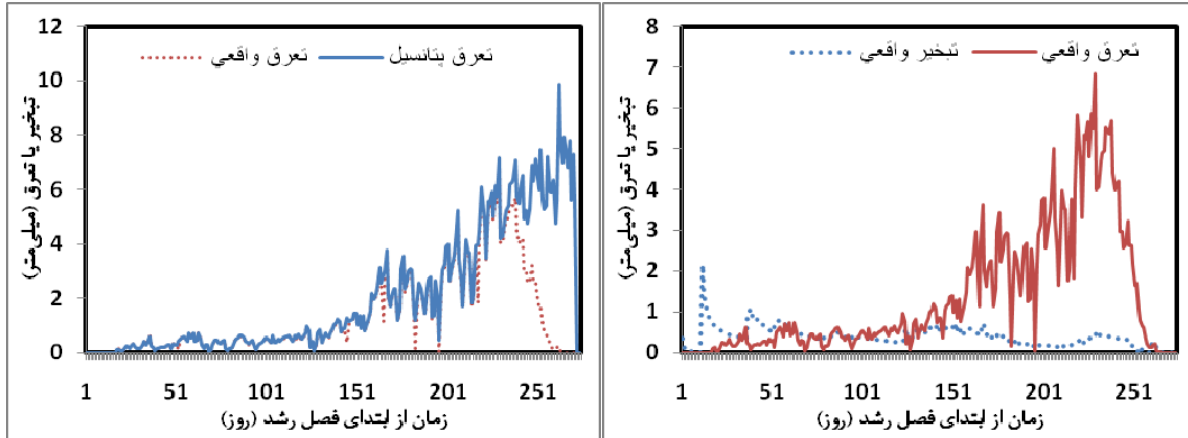
مزرعه	عمق خاک (سانتی متر)	θ_{res} ($cm^3 cm^{-3}$)	θ_{sat} ($cm^3 cm^{-3}$)	K_{sat} (cmd^{-1})	α (cm^{-1})	λ (-)	n (-)
فاروب رومان	۰-۳۰	۰/۰۴۴	۰/۳۵۳	۲۰/۶۱	۰/۰۲۱	۰/۵	۱/۳۹
	۳۰-۶۰	۰/۰۵۰	۰/۳۴۳	۲۰/۴۴	۰/۰۲۶	۰/۵	۱/۱۳
	۶۰-۹۰	۰/۰۴۱	۰/۳۰۰	۹/۰۴	۰/۰۳۷	۰/۵	۱/۲۴
حاجی آباد	۰-۳۰	۰/۰۵۱	۰/۳۸۱	۴۱/۵۱	۰/۰۳۹	۰/۵	۱/۸۰
	۳۰-۶۰	۰/۰۵۹	۰/۳۸۲	۱۱۵/۴۱	۰/۰۴۸	۰/۵	۱/۱۰
	۶۰-۹۰	۰/۰۴۲	۰/۳۰۴	۴۱/۴۰	۰/۰۶۲	۰/۵	۱/۴۴
سلیمانی	۰-۳۰	۰/۰۳۶	۰/۲۹۸	۱۵/۹۵	۰/۰۳۸	۰/۵	۱/۲۷
	۳۰-۶۰	۰/۰۴۰	۰/۳۲۱	۱۱/۹۶	۰/۰۰۸	۰/۵	۱/۱۰
	۶۰-۹۰	۰/۰۳۵	۰/۳۰۲	۱۶/۲۹	۰/۰۳۱	۰/۵	۱/۲۷

جدول ۴- میزان آب کاربردی توسط زارع و اجزای بیلان آب برآورد شده توسط مدل SWAP در مزارع مورد مطالعه

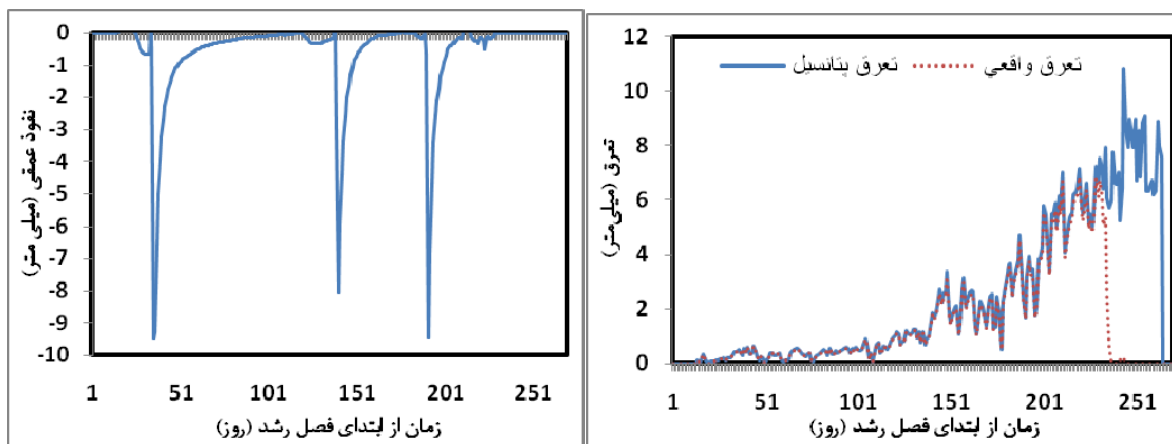
اجزای بیلان آب (میلی متر)	مزارع منتخب		
	فاروب رومان	حاجی آباد	سلیمانی
بارندگی	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰
میزان آب کاربردی زارع	۹۲۰	۴۰۰	۴۲۰
تبخیر واقعی	۱۰۸	۱۰۹	۱۰۱
تعرق واقعی	۳۵۹	۳۸۹	۳۵۰
تعرق پتانسیل	۵۵۶	۶۲۸	۶۵۰
تبخیر و تعرق واقعی	۴۶۷	۴۹۸	۴۵۱
رواناب سطحی	۱۶۰	۰	۰
رطوبت در ابتدای فصل رشد	۱۶۶	۵۲	۱۱۶
رطوبت در انتهای فصل رشد	۱۴۶	۴۹	۹۷
ذخیره رطوبتی	-۲۰	-۳	-۱۹
نفوذ عمقی	-۵۶۵	-۱۶۰	-۲۴۲
عملکرد (Ton/ha)	۶	۵/۲۳	۳
راندمان آبیاری (درصد)	۳۹	۷۳	۶۴



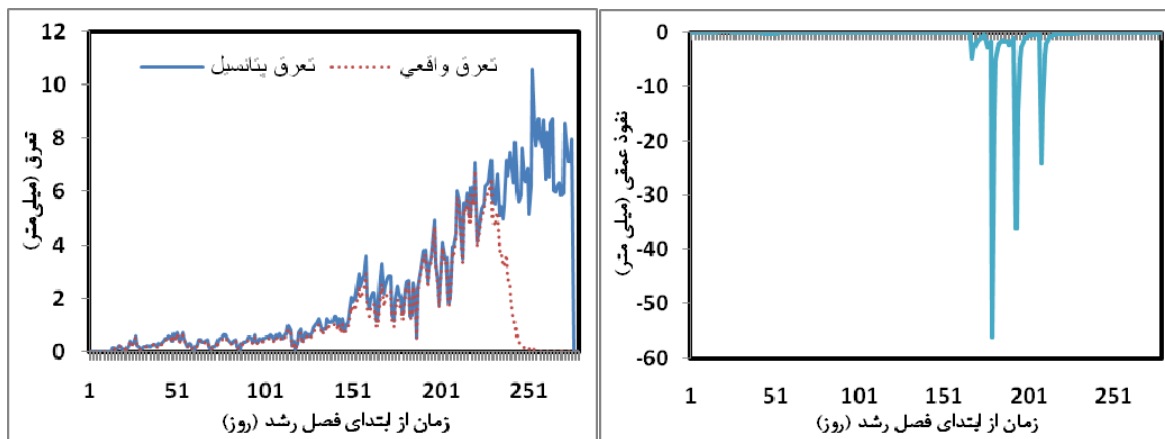
شکل ۳- مقادیر اجزای بیلان آب شبیه سازی شده توسط مدل در مزرعه فاروب رومان در طول دوره رشد گیاه (روش آبیاری: شیباری)



ادامه شکل ۳- مقادیر اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده توسط مدل در مزرعه فاروب رومان در طول دوره رشد گیاه (روش آبیاری: شپاری)



شکل ۴- مقادیر اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده توسط مدل در مزرعه حاجی آباد در طول دوره رشد گیاه (روش آبیاری: کرتی)



شکل ۵- مقادیر اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده توسط مدل در مزرعه سلیمانی در طول دوره رشد گیاه (روش آبیاری: نواری)

مقادیر اندازه‌گیری شده صرف‌نظر از زمان و مکان، در شرایط مزرعه تطابق خوبی داشتند. به طوری که ضریب R^2 در مزارع مختلف بین ۰/۵۵ تا ۰/۶۷ متغیر می‌باشد. مقایسه نتایج بدست آمده از تحقیق

نتایج آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک نشان داد که مدل نسبت به ضرایب α و n حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی شده در پروفیل خاک با

گیری از روشهای آبیاری تحت فشار و انجام آبیاری در زمان مناسب و متناسب با نیاز واقعی گیاه می‌توان تلفات رواناب سطحی و نفوذ عمقی را در مزرعه کاهش داد و راندمان آبیاری و عملکرد محصول را بهبود بخشید. با توجه به نظام آبیاری سنتی و توزیع گردشی آب بین کشاورزان و حقابه‌داران، توصیه می‌شود شیوه‌های برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، بهبود مدیریت آب در مزرعه از طریق کارشناسان منطقه به کشاورزان آموزش داده شود.

حاضر دلالت بر آن دارد که مدل SWAP از دقت قابل قبولی برخوردار است. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد با اندازه‌گیری و تخمین برخی از ویژگی‌های زودپافت خاک مانند بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری و همچنین اندازه‌گیری برخی از پارامترهای گیاهی می‌توان از مدل SWAP با دقت قابل قبولی برای مدیریت آبیاری و محاسبه اجزای بیلان آب در مزرعه استفاده کرد. با تسطیح دقیق اراضی کشاورزی، طراحی مناسب سیستم‌های آبیاری سطحی، بهره

منابع

- ۱- اکبری م.، دهقانی سانچ ح. و میرلطیفی س.م. ۱۳۸۸. تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر بهره‌وری آب در کشاورزی (مطالعه موردی در شبکه آبشار اصفهان). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۳). ص: ۶۹-۷۹
- ۲- اکبری م.، دهقانی سانچ ح. و ترابی م. ۱۳۸۶. بررسی شوری در مزرعه با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAP (مطالعه موردی برای منطقه رودشت اصفهان). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۱ (۲): ۱۰۵ تا ۱۱۴.
- ۳- جلینی م.، کاوه ف.، پذیرا ا.، پاره‌کار م. و عابدی م. ۱۳۸۲. شبیه‌سازی رطوبت در پروفیل خاک با استفاده از مدل LEACHM. مجله علوم کشاورزی، ۹ (۳): ۳۵-۵۳.
- ۴- فرج زاده م.، ولایتی س. و حسینی آ. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه‌ریزی محیطی. طرح پژوهشی کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی.
- ۵- کیانی ع. و همایی م. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در نیم‌رخ خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸ (۱): ۳۰-۱۳.
- 6- Bonfante A., Basile A., Acutis M., Mascellis R., Manna D., Perego P., and Terribile F. 2010. SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in Northern Italy, *Agricultural Water Management*, 97:1051-1062.
- 7- Doorenbos J., Kassam A.H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper 33*, FAO, Rome, Italy.
- 8- Droogers P., Bastiaanssen W.G.W., Beyazgul M., Kayam Y., Kite G.W., and Murray-Rust H. 2000. Distributed agro-hydrological modeling of an irrigation system in western Turkey, *Agricultural Water Management*, 43: 183-202.
- 9- Lane J.W., and Ferrira V.A. 1990. Sensitivity in CREAMS: A field scale model for chemical runoff and erosion from agricultural management systems. Ed. W. g. knisel, 113-158. Vol. A. model Documentation. USDA Conservation Res. Report No. 26. Washington D.C.
- 10- Panigrahi B., and Sudhindra N.P. 2003. Field test of a soil water balance simulation model. *Agricultural Water Management*, 58: 223-240.
- 11- Singh R., Van Dam J.C., Feddes R.A. 2006. Water Productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India, *Agricultural Water Management*, 82: 253-278.
- 12- Singh U.K., Ren L., and Kang S. 2010. Simulation of soil water in space and time using an agro-hydrological model and remote sensing techniques, *Agricultural Water Management*, 97 (8): 1210-1220.
- 13- Van Dam J.C., Huygen J., Wesseling J.G., Feddes R.A., Kabat P., VanWalsum P.E., Groenendijk P., and Van Diepen C.A. 1997. Theory of SWAP version 2.0. Technical Document 45. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Center.
- 14- Van Genuchten M., Moalem J., and Yates S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. *US Environmental Protection Agency*, pp:85.
- 15- Vazifedoust M., Van Dam J.C., Feddes R.A., and Feizi M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale, *Agricultural Water Management*, 95: 89-102.

Water Balance Components Estimating in Farm Scale

Using Simulation Model SWAP

(Case Study: Neyshabur Region)

H. Dehghan^{1*} - A. Alizadeh² - S.A. Haghayeghi³

Received: 30-6-2010

Accepted: 3-10-2010

Abstract

Precise knowledge of all components of water balance is essential to optimize water use in irrigated agriculture. However, water balance components are difficult to measure in required time intervals because their measuring is time consuming and costly. Unsaturated zone simulator models are useful tools for predicting the effects of agricultural management on crop water use and can be used to optimize agricultural practices such as agricultural water use. This research has been done on Wheat irrigated farms in Neyshabur plain, that is one of important plains in Khorasan Razavi province. SWAP Agro-hydrological model, was used for simulation of water balance components and crop growth in three wheat fields: Farob Roman, Hajiabad and Soleimani. Input data for model was a combination meteorological and field data. RETC software package was employed to evaluate and calibrate the soil hydraulic parameters, used. Simulation period was selected from October 2008 until early June 2009, in accordance with the wheat growing season. Sensitivity analysis to soil hydraulic parameters showed that the model is more sensitive to α and n coefficients. Also, according to presented statistical parameters, the results showed that SWAP is able to simulate water flow in soil, truly. Mean R^2 coefficient value was 0.62, Mean Error was between -0.1 to -2.28 and Relative Error was fluctuated between -0.33 and -12.69. Therefore, calibrated SWAP model can be used as an instrumental tool for calculating all components of water balance in field scale, with time and cost saving.

Keywords: Soil hydraulic functions, SWAP model, Water balance components

1,2- MSc Student and Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: Dehghan63.ha@gmail.com)

3- Scientific member, Agricultural Engineering, Department of Khorasane Razavi Agricultural Research Center