نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۸۹، ص. ۱۰۱۸-۱۰۰۸

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 1008-1018

پیش‌بینی رطوبت نیمرخ خاک در سه مزرعه گندم با استفاده از مدل SWAP

هادی دهقان[1*]- امین علیزاده[2]- سید ابوالقاسم حقایقی‌مقدم[3]- حسین انصاری[4]

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۳
تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۲۸

چکیده

استفاده از مدل‌های ریاضی برای مدیریت آبیاری در مزارع تأثیر بسزایی در افزایش محصول و راندمان آبیاری دارد. در این مطالعه نتایج شبیه‌سازی رطوبت توسط مدل SWAP با مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده در پروفیل خاک مزرعه مقایسه شد. برای پیش‌بینی رطوبت از داده‌های اندازه‌گیری شده در سه مزرعه گندم دشت نیشابور استفاده شد. نتایج تطابق مناسب مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده با مقادیر رطوبت اندازه گیری شده را نشان داد. مقدار ضریب R^2 در مزرعه فاروب رومان ۰/۶۱۱، مزرعه حاجی آباد ۰/۶۴۸ و مزرعه سلیمانی ۰/۶۷۹ به دست آمد. مقدار خطای مطلق مدل بین ۱/۵ تا ۲/۹ درصد و مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ۱/۹ تا ۴ درصد بود. براساس شاخص‌های آماری ارائه شده ، مدل SWAP توانسته است رطوبت را در نیمرخ خاک در اعماق و زمان‌های مختلف به خوبی شبیه‌سازی کند. بنابراین از مدل SWAP می‌توان با دقت نسبتاً مناسبی در دشت نیشابور برای مدیریت آبیاری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی رطوبت، مدیریت آبیاری، پارامترهای هیدرولیکی خاک، دشت نیشابور، SWAP

مقدمه [1 2]

کمبود آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک امنیت غذایی را برای میلیون‌ها انسان تهدید کرده است. با توجه به اینکه بیشتر نقاط کشورمان در کمربند خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، تولید محصول بدون در نظر گرفتن آبیاری امکان‌پذیر نمی‌باشد. در مناطقی که گیاهان تحت آبیاری هستند، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده بهینه از آب ضروری به نظر می‌رسد. اصلاح مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی دقیق جهت استفاده بهینه از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با کاربرد مدل‌های ریاضی امکان‌پذیر می‌باشد. در دهه‌های اخیر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به عنوان ابزاری نوین، روز به روز در حال توسعه است (۲). مدل SWAP توسط محققین مختلف برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در نیمرخ خاک (۶، ۸ و ۱۰) پیش‌بینی عملکرد محصول (۳) و برنامه‌ریزی آبیاری (۱) مورد استفاده قرار گرفته و نتایج رضایت‌بخشی داشته است.

سینگ و همکاران (۲۰۱۰) حرکت آب در خاک و اجزای بیلان آب را با استفاده از مدل SWAP و تکنیک سنجش از دور در مزارع تحت کشت گندم در شمال غربی چین شبیه‌سازی کردند. در این تحقیق تبخیر و تعرق واقعی گیاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد. نتایج نشان داد از مدل SWAP می‌توان به عنوان ابزاری مفید برای شبیه‌سازی حرکت و توزیع رطوبت در خاک و محاسبه اجزای بیلان آب استفاده کرد (۱۱).

بونفانت و همکاران (۷) در تحقیقی سه مدل شناخته شده SWAP ، CropSyst و MACRO را در شبیه‌سازی رطوبت نیمرخ خاک در مزارع تحت کشت ذرت در مناطق شمالی ایتالیا مقایسه و بررسی کردند. نتایج نشان داد که هر سه مدل عملکرد مشابهی دارند. مقدار RMSE (مجذور میانگین مربعات خطا) به طور متوسط برای هر سه مدل، صرف‌نظر از زمان و مکان $0.032 cm^3 cm^{-3}$ محاسبه شد. در مجموع مدل SWAP به دلیل بهره‌گیری از تکنیک‌های متفاوت حل عددی معادله ریچاردز با توجه به در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب در بالا و پایین نمونه خاک عملکرد بهتری نشان داد.

خاکساری و همکاران (۴) در تحقیقی کارایی مدل‌های SWAP و LEACHC در آبشویی مزرعه‌ای املاح خاک در منطقه چاه افضل یزد را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که در شبیه سازی حرکت

۲،۱ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار 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

Archive of SID
www.SID.ir

و توزیع رطوبت در خاک، مدل SWAP نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. با وجود برتری مدل SWAP نسبت به مدل LEACHC در پیش‌بینی رطوبت خاک، براساس شاخص‌های آماری محاسبه شده، هر دو مدل نتایج رضایت‌بخشی داشتند. در پیش‌بینی شوری نیم‌رخ خاک در زمان‌های مختلف، مدل LEACHC به دلیل بهره‌گیری از سه مکانیسم انتقال املاح یعنی جابجایی، انتشار و پخشیدگی و نیز در نظر گرفتن برهم‌کنش‌های شیمیایی در محیط خاک مانند جذب، رسوب، انحلال و غیره در مقایسه با مدل SWAP نتایج بهتری را نشان داد.

سینگ و همکاران (۱۰) عملکرد مدل SWAP را در شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در مزارع گندم، پنبه و برنج مورد ارزیابی و واسنجی قرار دادند. نتایج نشان داد مدل به خوبی توانسته است رطوبت و شوری را در طول فصل رشد شبیه سازی کند. دروگرزو همکاران (۸) در تحقیقی مدل SWAP را برای برآورد رطوبت خاک تحت دو نوع کشت پنبه و گندم مورد ارزیابی قرار داده و ضریب همبستگی برای دو گیاه گندم و پنبه را به ترتیب برابر ۰/۶۷ و ۰/۸۴ تعیین نمودند. در تحقیقی مدل SWAP به مدت دو سال زراعی (۸۱-۸۰ و ۸۲-۸۱) در زمین تحت کشت گندم در شمال گرگان توسط کیانی (۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با وجود متغیرهای گوناگون در شرایط مزرعه‌ای، مدل SWAP ، مقدار رطوبت، شوری خاک و عملکرد نسبی گندم را به خوبی شبیه‌سازی کرد. در همه موارد ضریب همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد و میانگین مربعات خطا کمتر از انحراف معیار داده‌ها بود. نتایج تحقیقات وظیفه‌دوست و همکاران (۱۴) در زمینه پیش‌بینی رطوبت در خاک با استفاده از مدل SWAP نشان داد مدل به خوبی توانسته است مقادیر رطوبت را در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان شبیه‌سازی کند. در تحقیق ایشان پارامترهای هیدرولیکی خاک از روش مدل‌سازی معکوس و میانگین مربعات خطا در طول مراحل واسنجی و صحت‌سنجی رطوبت بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۵۲ محاسبه شده بود.

هدف از تحقیق حاضر در مرحله اول پیش‌بینی رطوبت در مزارع تحت کشت گندم در دشت نیشابور و در مرحله دوم ارزیابی کارایی مدل SWAP در پیش‌بینی رطوبت در مقایسه با مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده در پروفیل خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دشت نیشابور که یکی از دشت‌های مهم استان خراسان رضوی می‌باشد، به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب گردید (شکل۱). 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 می‌دهند. آب و هوای منطقه نیمه‌خشک و خشک، متوسط درجه حرارت آن ۱۲ درجه سانتیگراد و میزان بارندگی آن بطور متوسط برای کل حوضه ۲۹۲ میلی‌متر گزارش شده است. میزان تبخیر بعلت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد بوده و متوسط آن برای کل حوضه ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال است. منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه چاه‌ها هستندکه از آبخانه زیرزمینی دشت نیشابور تغذیه می‌شوند. بحران آب با وجود اعلام ممنوعیت دشت کماکان تداوم یافته است که می‌تواند پیامدهای فراوانی را برای منطقه بدنبال داشته باشد. اگرچه رهایی کامل از این بحران و بازگشت به حالت اولیه غیرمحتمل بنظر می‌رسد، پس از مطالعه و بررسی وضعیت کنونی منابع آب و بحران شکل گرفته، راهکارهای جلوگیری از تشدید بحران و برون‌رفت احتمالی از آن قابل ارائه می‌باشد (۵).

معرفی مدلSWAP و داده‌های مورد نیاز مدل

در این پژوهش برای شبیه‌سازی رطوبت نیم‌رخ خاک از مدل SWAP استفاده گردید. SWAP یک مدل اگروهیدرولوژیک بسیار جامع برای انتقال آب، گرما و املاح در محیط اشباع و غیراشباع است و شامل زیرمدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی عملیات آبیاری و رشد گیاه می‌باشد. بررسی حرکت آب براساس معادله ریچاردز صورت می‌گیرد که از روش عددی تفاضل‌های محدود و اعمال شرایط مرزی و استفاده از توابع هیدرولیکی خاک استفاده می‌گردد (۱۴). توابع هیدرولیکی خاک به عنوان روابط بین هدایت هیدرولیکی K ، رطوبت خاک و بار فشاری آب خاک تعریف می‌شوند. در SWAP توابع تحلیلی ارائه شده توسط ون-گنوختن و معلم برای تعریف توابع هیدرولیکی خاک با روابط زیر استفاده می شوند (۱۲):

$$\theta(h) = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{[1 + |\alpha h|^{n}]^{\frac{n-1}{n}}} \quad (۱)$$

که در آن:

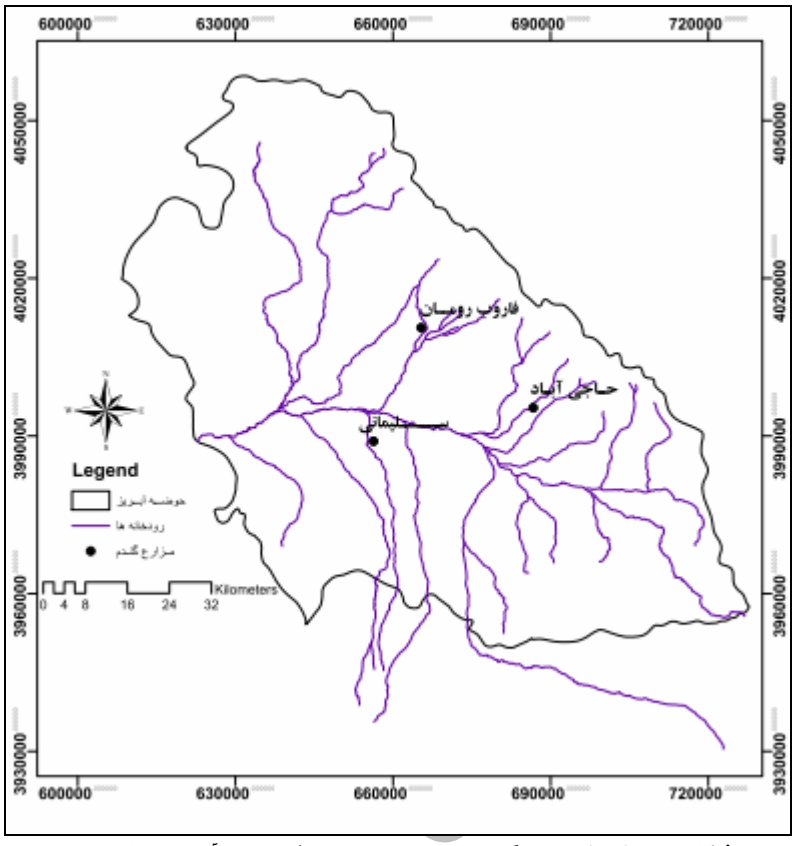
$\theta_{res}(cm^3cm^{-3})$ مقدار رطوبت باقی مانده، $\theta_{set}(cm^3cm^{-3})$ مقدار رطوبت اشباع، $\alpha(cm^{-1})$ و $n(-)$ ضرایب تجربی هستند. تابع هدایت هیدرولیکی به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$K(\theta) = K_{sat} S_e^{\lambda} [1 - (1 - S_e^{n/n-1})]^2 \quad (۲)$$

$$S_e = \frac{(\theta - \theta_{res})}{(\theta_{sat} - \theta_{res})} \quad (۳)$$

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱- مزارع انتخابی گندم در بخش‌های مختلف حوضه آبریز نیشابور

که در آن: $K_{sat}(cmd^{-1})$ هدایت هیدرولیکی اشباع ، S_e اشباع نسبی و λ ضریب تجربی (بدون بعد) می‌باشد.

شرایط مرزی لایه سطحی نیز با استفاده از شار تبخیر و تعرق $ET_p(mmd^{-1})$، میزان آب آبیاری $I(mmd^{-1})$ و بارندگی $P(mmd^{-1})$ تعیین می‌شود. مقدار ET_p از روش پنمن- مانتیث با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی تشعشع، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد و همچنین مشخصات گیاهی از قبیل حداقل مقاومت گیاه، آلبیدوی سطحی و ارتفاع گیاه محاسبه می‌شود (۱۴).

تعداد ۳ مزرعه گندم به نام‌های فاروب‌رومان، حاجی‌آباد و سلیمانی به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مدلSWAP انتخاب گردید (شکل۱). این مزارع از بخش‌های مختلف دشت انتخاب شدند. مزرعه فاروب‌رومان در بخش مرکزی، سلیمانی در بخش میان‌جلگه و حاجی‌آباد در بخش زبرخان واقع شده‌اند. برای تهیه اطلاعات هواشناسی شامل تشعشع خورشیدی، بارندگی، درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع ۲متری ، از اطلاعات روزانه ایستگاه سینوپتیک نیشابور برای فصل زراعی ۸۸-۱۳۸۷ استفاده شد. اطلاعات زراعی موردنیاز مدل در طول فصل رشد، تاریخ آبیاری، میزان و شوری آب آبیاری، عمق توسعه ریشه، شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه در مزارع انتخابی ثبت و اندازه‌گیری شد. عمق آبیاری با استفاده از حاصل‌ضرب دبی آب در زمان آبیاری و تقسیم آن بر مساحت مزرعه تعیین گردید. روش آبیاری استفاده شده در مزرعه فاروب رومان شیاری، درمزرعه حاجی‌آباد کرتی و درمزرعه سلیمانی نواری (روی خطوط تراز) بود. 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 ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰، ۵۰-۴۰، ۶۰-۵۰، ۷۰-۶۰ و ۸۰-۷۰ سانتی‌متری در طول فصل رشد در کلیه مزارع آزمایشی با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج از نوع TRIME-FM در فاصله زمانی یک تا دو هفته اندازه‌گیری شد.

آنالیز حساسیت مدل

برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌یابی مدل ضروری می‌باشد. آنالیز حساسیت مدل تکنیکی است که برای ارزیابی و واسنجی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این روش می‌توان تاثیرپذیری مدل را از مقدار داده‌های ورودی مورد بررسی قرار داد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع آزمایشی

مزارع	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک							
	عمق خاک (سانتی متر)	چگالی ظاهری (gr/cm^3)	بافت خاک	رس	سیلت	شن	درصد وزنی رطوبت درظرفیت زراعی	EC (دسی‌زیمنس بر متر)
				درصد				
فاروب رومان	۰-۳۰	۱/۵۱	سیلت لوم	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	شنی لوم	۱۸	۲۲	۶۰	۱۲/۹	۲/۶۹
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	لوم	۱۶	۳۶	۴۸	۱۱/۷	۲/۰۲
سلیمانی	۰-۳۰	۱/۷۲	سیلت لوم	۱۷	۵۵	۲۸	۱۷	۶/۹۶
	۳۰-۶۰	۱/۷۰	سیلت لوم	۱۶	۶۲	۲۲	۲۳	۷/۵
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	سیلت لوم	۱۶	۶۰	۲۴	۱۸/۲	۸/۲

اگر با تغییر کمی در یک پارامتر، مقدار متغیر وابسته به آن (در اینجا رطوبت حجمی) تغییر کمی را نشان دهد می‌توان این‌طور استنباط کرد که این پارامتر تاثیر ناچیزی روی نتایج دارد و بدون خطای قابل ملاحظه‌ای آن پارامتر را می‌توان اندازه‌گیری کرد و یا تخمین زد. برعکس، در صورت تاثیرپذیری زیاد متغیر از پارامتر، آن پارامتر را باید با دقت بیشتری اندازه‌گیری یا پیش‌بینی نمود. در غیر این صورت باید خطای فاحشی را قبول نمود (۲). در تحقیق حاضر آنالیز حساسیت مدل به روش پیشنهادی لین و همکاران (۹) انجام شد. در این روش از رابطه زیر برای تعیین پارامترهای حساس مدل استفاده می شود:

$$D_{\max} = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| * 100 \quad (۴)$$

که در آن:

$D_{\max}$ = اختلاف مطلق ماکزیمم

P_m = مقدار برآورد رطوبت بر اساس داده ورودی تعدیل شده

P_b = مقدار برآورد رطوبت بر اساس داده ورودی پایه

شبیه‌سازی رطوبت در نیمرخ خاک با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی بسیار حساس به میزان آب آبیاری و خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها می‌باشد (۱۴). براین اساس ابتدا پارامترهای هیدرولیکی خاک در هر کدام از مزارع با استفاده از مدل RETC تخمین زده شد (۳). به طوری که 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_{set}، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک $K_{sat}(cmd^{-1})$ و پارامترهای $n(-)$ ،$\lambda(-)$ ،$\alpha(cm^{-1})$ به عنوان خروجی به دست آمد (۱۳). در ادامه برای آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک، ابتدا داده‌های خروجی مدل RETC در لایه‌های مختلف در ۳ مزرعه به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. سپس در هر نوبت یکی از داده‌های ورودی مقداری تغییر داده شد (برای هر مولفه 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 براساس مقدار $D_{\max}$ پارامترهای حساس مدل به صورت جدول ۲ تعیین گردید (۹):

جدول ۲- دامنه تغییرات شاخص حساسیت ($D_{\max}$) در روش لین و همکاران (۱۹۹۰)

تعریف	شاخص حساسیت
غیر حساس	$D_{\max} = 0, SI = 0,$
کمی حساس	$0 \prec D_{\max} \leq 10, SI = 1,$
حساس	$10 \prec D_{\max} \leq 50, SI = 2,$
خیلی حساس	$50 \prec D_{\max}, SI = 3,$

شاخص‌های آماری ارزیابی مدل

برای ارزیابی و مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده، از شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات

Archive of SID

www.SID.ir

خطا[1] (RMSE) ، کارایی مدل‌سازی[2] (EF)، ضریب باقی‌مانده[3] (CRM)، خطای مطلق[4](MAE) و ضریب تعیین[5] (R^2) با روابط زیر استفاده شد (۲ و ۴):

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{1/2} \quad (۵)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۶)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}O_i - \sum_{i=1}^{n}P_i}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \quad (۷)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i|}{n} \quad (۸)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{O})^2} \quad (۹)$$

که در آن ، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد داده‌های به کار رفته و $\overline{O}$ مقدار متوسط اندازه‌گیری‌ها می‌باشند. مقدار RMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد، اندازه‌گیری‌ها را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند. مقدار R^2 نسبت میان پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده را به دست می‌دهد. مقدار EF و CRM می‌تواند منفی باشد. مقدار EF مقادیر پیش‌بینی شده را با مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF منفی نشان می‌دهد که مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده تخمین بهتری نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده به دست می‌دهد. شاخص CRMگرایش مدل به سمت تخمین بیش از حد یا کمتر از حد را نشان می‌دهد. مقدار CRM منفی نشانگر گرایش به سمت تخمین بیش از حد است. در شرایطی که مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند (بهترین حالت) مقادیر عددی شاخص‌های آماری به صورت زیر خواهند بود:

$$CRM = 0 \; RMSE = 0, MAE = 0, EF = 1, R^2 = 1$$

1- Root Mean Square Error
2- Modeling efficiency
3- Coefficient of Residual Mass
4- Mean Absolute Error
5- Coefficient of Determination

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت و واسنجی مدل

آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک به روش لین و همکاران (Lane et al.,1990) نشان داد مدل نسبت به پارامترهای α، n و θ_{sat} از حساسیت با درجه متوسط و نسبت به سایر پارامترهای ورودی از حساسیت کم برخوردار است. از میان پارامترهای با حساسیت متوسط α و n حساس‌ترین پارامترها می‌باشند. نمودار آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامتر n به عنوان نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از تعیین پارامترهای حساس مدل برای واسنجی و صحت‌یابی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک استفاده گردید.

بدین ترتیب داده‌های اندازه‌گیری شده به دو دسته تقسیم شدند: دسته اول برای واسنجی و دسته دوم برای صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله واسنجی مدل در صورت لزوم در بعضی از اعماق خاک پارامترهای حساس مدل مقداری تغییر داده شدند (به میزان ۵۰ درصد در جهت مثبت و منفی) تا مقادیر رطوبت مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بر هم منطبق گردیدند. مقادیر پارامترهای واسنجی شده و سایر پارامترهای هیدرولیکی خاک (θ_{res} ، θ_{set}، K_{sat} و λ) در جدول ۳ نشان داده شده است. داده‌های واسنجی شده به منظور صحت‌یابی مدل مورد استفاده قرار گرفت که نتایج در ادامه ارائه شده است.

مقایسه مقادیر رطوبت پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده

همانگونه که در بالا ذکر شد داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت در این مطالعه به دو قسمت تقسیم شد: دسته اول برای واسنجی مدل و دسته دوم برای صحت‌یابی مدل مورد استفاده قرار گرفته است. در این قسمت نتایج ارزیابی مدل در پیش‌بینی رطوبت در مرحله صحت‌یابی به دو روش ترسیمی و محاسبه شاخص‌های آماری ارائه شده است. مقایسه ترسیمی مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل SWAP به همراه درصد خطای برآورد در مزرعه فاروب رومان به عنوان نمونه ارائه شده است (شکل۳). برای سایر مزارع فقط شاخص‌های آماری ارائه گردیده است.

در مزرعه فاروب رومان با توجه به شکل ۳ 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. خطای مدل در ابتدای فصل رشد ممکن است به دلیل خطای ناشی از مشاهدات مزرعه‌ای باشد که در تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده نقش اساسی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل۲- نتایج آنالیز حساسیت مدل نسبت به ضریب n در معادله ون-گنوختن

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 (شکل۳). در مجموع با توجه به شکل ۳ و مقدار خطای مدل در اعماق مختلف خاک، مدل رطوبت را به خوبی پیش‌بینی کرده است. بخشی از اختلاف بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ممکن است ناشی از محدودیت‌های ذاتی مدل‌ها باشد. برای مثال تاثیر پدیده پس‌ماند رطوبت[1] و جریان معبری آب از میان منافذ درشت خاک در مدل منظور نشده است. این مکانیسم‌ها می‌توانند سرعت جریان آب به زیر عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک را بعد از عمل نفوذ تغییر دهند. دلیل دیگر برای بی‌دقتی مدل‌ها، ساده‌سازی‌های مرتبط با بعضی داده‌های ورودی است. به طور مثال مقادیر روزانه بارندگی با این فرض توسط مدل SWAP استفاده می‌شود که باران به طور یکنواخت در تمام طول روز توزیع شود. بدین‌ترتیب عدد ثابتی که ممکن است دقت زیادی هم نداشته باشد، به مدل وارد می‌شود. بنابراین تأثیر الگوی واقعی باران در نفوذ و توزیع رطوبت نمی‌تواند به درستی بیان شود (۴).

برای بررسی بهتر نتایج ، محاسبات شاخص‌های آماری برای مزارع گندم منتخب دشت نیشابور در جدول ۴ ارائه شده است. مقدار RMSEنشان 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 ۳ مزرعه بین ۰/۰۱۹ تا ۰/۰۴ در نوسان می‌باشد. مشاهده می‌شود مقدار RMSE نسبتاً کم و قابل قبول است.

مقدار MAE نشان‌دهنده دقت عمومی مدل است. مقادیر خطای مطلق به دست آمده نشان‌دهنده دقت خوب مدل در برآورد رطوبت خاک می‌باشد. مقدار CRM نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد بالاتر یا پایین‌تر در مقایسه با اندازه‌گیری‌هاست. مقادیر مثبت برای CRM نشان‌دهنده برآورد کمتر مدل و مقادیر منفی CRM به معنی برآورد بیشتر مدل نسبت به اندازه‌گیری‌هاست. براساس این شاخص مدل در مزارع حاجی‌آباد و سلیمانی تمایل به برآورد کمتر و در مزرعه فاروب‌رومان تمایل به برآورد بیشتر دارد که به دلیل اعمال آبیاری بیشتر در مزرعه فاروب رومان نسبت به سایر مزارع می‌باشد.

مقدار EF مقادیر شبیه‌سازی شده را نسبت به مقدار میانگین مشاهدات مقایسه می‌کند. در صورتی که تمام پیش‌بینی‌ها برابر با مشاهدات باشد، مقدار EF برابر با یک می‌شود. در صورت اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، این اختلاف نسبت به اختلاف بین مشاهدات با مقدار میانگین مشاهدات سنجیده می‌شود. در صورت بزرگ‌تر بودن اختلاف بین پیش‌بینی‌ها و مشاهدات متناظر نسبت به اختلاف بین مشاهدات و میانگین مشاهدات، مقدار EF به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. همان‌طور که از مقادیر جدول۳ مشاهده می‌شود مقدار این شاخص در مزرعه فاروب رومان بهترین حالت و در مزرعه حاجی‌آباد بدترین حالت می‌باشد. این مطلب نشان از پیش‌بینی قابل قبول و بهتر رطوبت توسط مدل SWAP در مزرعه فاروب‌رومان دارد. مقدار ضریب کارایی مدل در همه مزارع به جز مزرعه حاجی‌آباد در حد قابل قبولی می‌باشد.

براساس ضریب R2 مدل SWAP در همه مزارع رطوبت را در حد نسبتاً قابل قبولی پیش‌بینی کرده است. در تحقیق حاضر متوسط ضریب R2 برای گیاه گندم ۰/۶۴ به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که مدل توانسته است رطوبت نیمرخ خاک را در اعماق و زمان‌های مختلف به خوبی پیش‌بینی کند.

1- Hysteresis

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳- خصوصیات هیدرولیکی لایه های مختلف خاک مزارع آزمایشی

مزارع	عمق خاک (سانتی متر)	θ_{res} (cm^3cm^{-3})	θ_{sat} (cm^3cm^{-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	۱/۰۱
	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	۱/۰۱
	۶۰–۹۰	۰/۰۳۵	۰/۳۰۲	۱۶/۲۹	۰/۰۳۱	۰/۵	۱/۲۷

جدول٤- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده رطوبت خاک

مزارع	RMSE	MAE	CRM	EF	R^2
بهترین حالت	۰	۰	۰	۱	۱
فاروب رومان	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵	–۰/۰۰۶	۰/۶۰۲	۰/۶۱۱
حاجی آباد	۰/۰۴	۰/۰۲۹	۰/۱۲۶	۰/۳۷۳	۰/۶۴۸
سلیمانی	۰/۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۶۱	۰/۵۲	۰/۶۷۹

مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد مدل از لحاظ آماری نیز (به جز مزرعه حاجی‌آباد) از دقت قابل قبولی برخوردار است. دروگرزو همکاران (۸) در تحقیقی مدل SWAP را برای برآورد رطوبت خاک در مزرعه تحت کشت گندم مورد ارزیابی قرار داده و ضریب R^2 گیاه گندم را ۰/۶۷ تعیین نمودند که مشابه با رقم به دست آمده در دشت نیشابور می‌باشد. در تحقیقات خاکساری و همکاران (۴) مقدار RMSE توسط مدل SWAP بین ۰/۰۶۸ تا ۰/۰۸۳ ، مقدار EF بین ۰/۴۷۳ تا ۰/۶۱۱، مقدار CRM بین ۰/۰۰۴– تا ۰/۰۲۳ و مقدار R^2 بین ۰/۵۴۸ تا ۰/۶۶۶ گزارش شده است و از این مدل به عنوان یک مدل قابل قبول یاد شده است.

با توجه به اینکه دشت نیشابور یکی از دشتهای بحرانی استان خراسان رضوی می‌باشد و دشت مذکور با کسری مخزن مواجه است، ارائه راهکارهایی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری برای صرفه‌جویی در مصرف آب ضروری می‌باشد. از نتایج جنبی این پژوهش می‌توان برای برنامه‌ریزی آبیاری در سطح دشت استفاده کرد. با توجه به اینکه مدل SWAP بعد از واسنجی به خوبی می‌تواند تغییرات رطوبت خاک را تحت سناریوهای مختلف آبیاری پیش‌بینی کند، لذا در این زمینه می‌تواند مفید واقع گردد. بدین منظور لازم است که کارشناسان منطقه روشهای مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح آبیاری را به کشاورزان آموزش دهند که این امر از طریق مدل شبیه‌سازی SWAP امکان‌پذیر خواهد بود.

نتیجه گیری

در این تحقیق از قابلیت مدل شبیه‌سازی SWAP برای پیش‌بینی رطوبت در نیمرخ خاک 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. به طور کلی نتایج این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک نشان داد که مدل نسبت به ضرایب α و n حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. از آنجایی که این پارامترها از خصوصیات فیزیکی خاک‌ها تخمین زده می‌شوند، لذا باید با دقت بیشتری برآورد گردند.

۲- مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی شده در پروفیل خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده صرف‌نظر از زمان و مکان، درشرایط مزرعه تطابق خوبی داشتند. به طوری که متوسط ضریب R^2، ۰/۶۴ و مقدار خطای مطلق بین ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۲۹ تغییر می‌کند. مقایسه عملکرد مدل با نتایج سایر تحقیقات نشان داد که مدل از دقت خوبی برخوردار است.

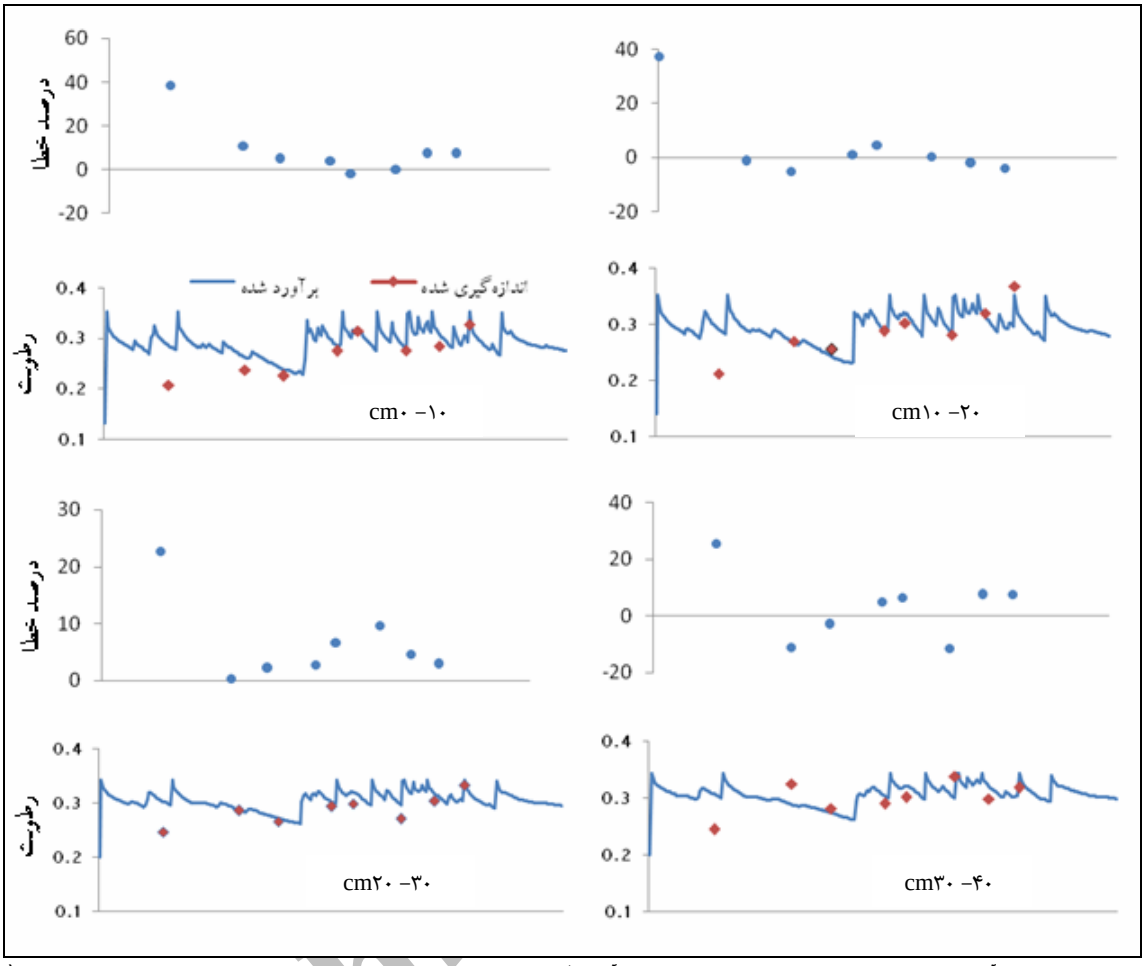
۳- در کل مدل در مزارع فاروب رومان و سلیمانی نتایج بهتری نشان داد، هر چند در مزرعه حاجی‌آباد نیز نتایج نسبتاً قابل قبول است. به طور کلی مدل مقادیر رطوبت را کمتر از واقعیت برآورد کرد.

۴- با اندازه‌گیری و تخمین برخی از ویژگی‌های زودیافت خاک

Archive of SID

www.SID.ir

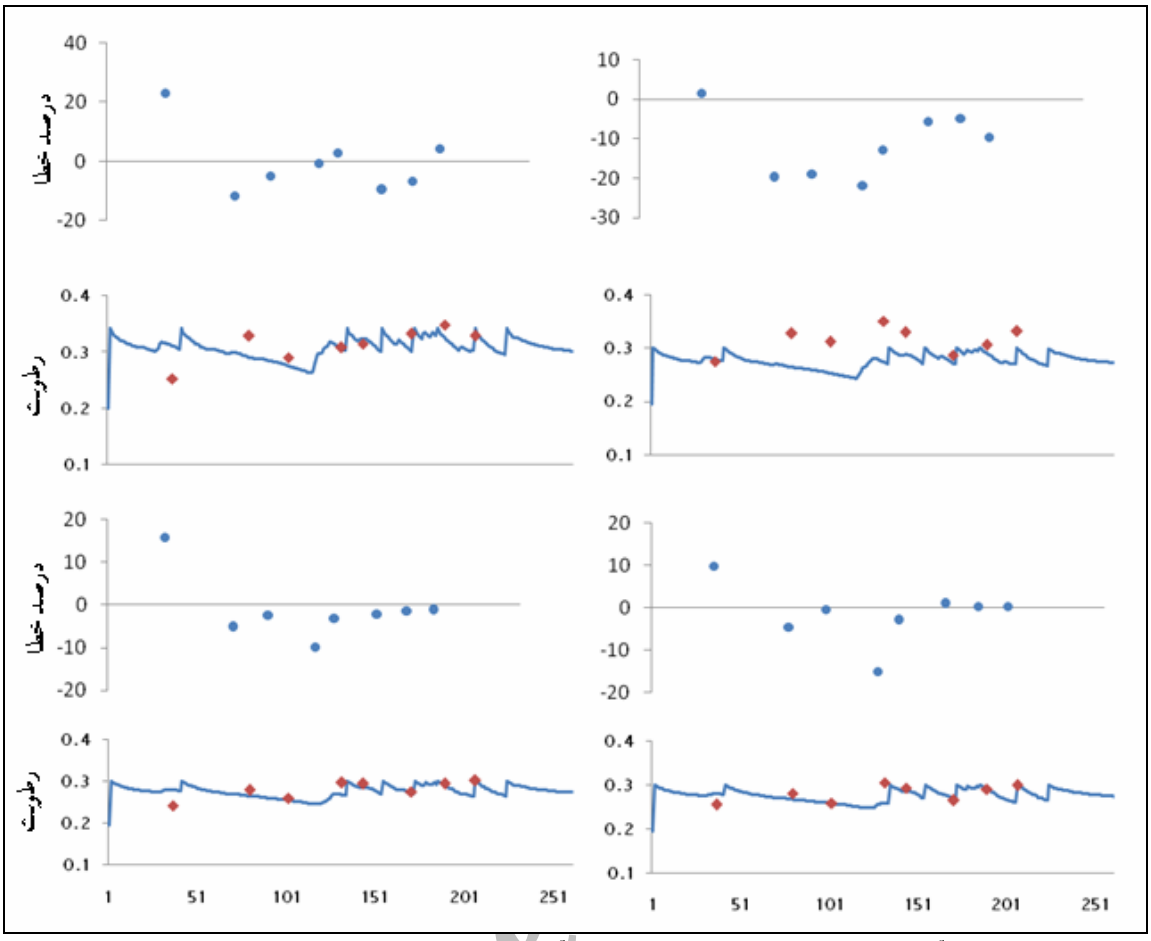
مانند بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری و همچنین اندازه‌گیری برخی از پارامترهای گیاهی مانند ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ می‌توان از مدل SWAP با دقت قابل قبولی برای مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد.



شکل۳- درصد خطای برآورد مدل و مقایسه رطوبت اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل در مزرعه فاروب رومان در اعماق مختلف خاک (عمق ۴۰- ۰ سانتی‌متر)

Archive

www.SID.ir



ادامه شکل ۳- درصد خطای برآورد مدل و مقایسه رطوبت اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل در مزرعه فاروب رومان در اعماق مختلف خاک (عمق ۸۰- ۴۰ سانتی‌متر)

منابع

۱- اکبری م.، دهقانی‌سانیچ ح. و میرلطیفی س.م. ۱۳۸۸. تاثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر بهره‌وری آب در کشاورزی (مطالعه موردی در شبکه آبشار اصفهان). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۳). ص:۶۹-۷۹

۲- جلینی م.، کاوه ف. ، پذیرا ا. ، پاره‌کار م. و عابدی م. ۱۳۸۴. برآورد رطوبت در محدوده توسعه ریشه چغندرقند با استفاده از مدل LEACHM. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، ویژه‌نامه زراعت و اصلاح نباتات. ص:۳۸-۲۸

۳- خانی قریه‌گپی م.، داوری ک. ، علیزاده ا. ، هاشمی‌نیا س.م. و ذوالفقاران ا. ۱۳۸۶. ارزیابی مدلSWAP در برآورد عملکرد چغندرقند تحت کمیت‌ها و کیفیت‌های مختلف آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۲)، ص:۱۱۷-۱۰۶

۴- خاکساری و.، موسوی س.ع.ا. ، چراغی س.ع.م. ، کامکارحقیقی ع.ا. و زند پارسا ش. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل‌های رایانه‌ای SWAP و LEACHC در آبشویی مزرعه‌ای املاح خاک در منطقه چاه افضل یزد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی،۱۰ (۲). ص:۶۸-۵۷

۵- 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

۶- کیانی ع. ۱۳۸۶. استفاده از مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب ، املاح و عمکرد نسبی گندم. مجموعه مقالات نهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر

Archive

www.SID.ir