شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

دانشگاه زنجان، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸

محور مقاله: کیفیت خاک و مدیریت پایدار خاک

واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop در خاکی با آب زیرزمینی کم‌عمق و شور در جنوب خوزستان

محی‌الدین گوشه[۱*]، بهرام اندرزیان[۲]

[۱] عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

[۲] عضو هیات علمی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

چکیده

به منظور افزایش دقت در ارزیابی مشاهدات مزرعه‌ای، لازم است یک مدل ابتدا واسنجی و سپس اعتبارسنجی گردد. واسنجی برای کالیبره کردن مدل در شرایط محل تحقیق است و اعتبارسنجی صحت داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده) را می‌سنجد. زمانی خروجی‌های مدل قابل اعتماد خواهند بود که بین این دو گروه داده، همبستگی قابل قبولی بر اساس شاخص‌های آماری تعریف شده و استاندارد وجود داشته باشد. مدل AquaCrop مدلی است که توانایی شبیه‌سازی روابط بین آب و خاک و گیاه را در شرایط نرمال و شور دارد. لیکن در جهان تحقیقات کمی برای واسنجی و اعتبارسنجی این مدل در شرایط توام شوری و زهکشی ضعیف (سطح ایستابی کم‌عمق) انجام شده است. در ایران نیز تاکنون در این خصوص گزارشی ارائه نشده است. برای این منظور تحقیق حاضر با هدف واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop در شرایط وجود سطح ایستابی کم‌عمق و شور در اراضی تحت کشت گندم خوزستان اجرا گردید. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مدل، آزمایش مزرعه‌ای در فصل کشت گندم در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. نتایج ارزیابی حاکی از توانایی خوب مدل در پیش‌بینی سطح سبز گیاه، بیوماس و تغییرات رطوبت خاک در شرایط شوری و آب زیرزمینی کم‌عمق بود.

کلمات کلیدی: سطح ایستابی، شوری خاک، مدل شبیه‌سازی، مناطق خشک

مقدمه

مدل AquaCrop برای واسنجی به دو گروه پارامتر گیاهی نیاز دارد، ثابت و غیر ثابت (متغیر). پارامترهای ثابت آن‌هایی هستند که تحت تاثیر شرایط مختلف تغییر نکرده و برای یک گیاه مشخص همواره ثابت هستند. این گروه داده پیش‌فرض مدل بوده و قابل تغییر نیستند (Raes و همکاران، ۲۰۰۹). اما گروه دوم پارامترهایی می‌باشند که بسته به شرایط محیطی و اقلیمی حتی برای یک گیاه مشخص، تغییر کرده و لازم است از طریق انجام آزمایشات مزرعه‌ای بدست آیند. برخی از این پارامترها وابسته به رقم-گونه[۱] و برخی وابسته به شرایط محل و مدیریت مزرعه می‌باشند (Andarzian و همکاران، ۲۰۱۱). این مدل در نسخه ۴ خود (Raes و همکاران، ۲۰۱۲) قابلیت شبیه‌سازی تغییرات رشد و عملکرد گیاه در شرایط شوری را به قابلیت‌های خود اضافه نمود و در آخرین نسخه خود (نسخه ۵) آن را تکمیل کرد (Raes و همکاران، ۲۰۱۵). جدید بودن این قابلیت باعث شده تا تعداد تحقیقاتی که شبیه‌سازی در شرایط شور را برای محصولات مختلف انجام داده‌اند به گستردگی شرایط غیر شور نباشد. مدل در مورد پاسخ عملکرد به شرایط شور برای محصولات برنج (Mondal و همکاران، ۲۰۱۵)، ذرت (Hasanli و همکاران، ۲۰۱۶) و گندم (Kumar و همکاران، ۲۰۱۴) توانایی خوبی داشته است. یکی از مزایای این مدل نسبت به سایر مدل‌های شبیه‌سازی قابلیت ارزیابی توام تنش‌های شوری و آبی با استفاده از داده‌های سهل‌الوصول اقلیمی و خاک است. این مزیت باعث شده تا کاربرد این مدل برای شرایط تنش‌های مختلف همچنان متداول و مفید باشد. البته گزارشی وجود دارد که نشان می‌دهد دقت مدل برای شبیه‌سازی توام تنش‌های شوری و آبی به اندازه هر کدام به تنهایی نبوده است (Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۶). کاربرد مدل در شرایط شور برای کشت برنج با اغلب پارامترهای پیش‌فرض آن، نتایج قابل قبولی داشته است. به طوری‌که مقادیر خطای میانگین مربعات ریشه و خطای میانگین مطلق[۲] مدل به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۰۳ تن در هکتار بدست آمد (Mondal و همکاران، ۲۰۱۵). تنش

* ایمیل نویسنده مسئول: amgoosheh@gmail.com

[1] cultivar-specific

[2] Root mean square error and mean absolute error

شوری به طور غیر مستقیم بر تبخیر و تعرق، بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)، و تولید بیوماس تاثیر دارند. همچنین تنش شوری از طریق تحریک بسته‌شدن روزنه‌ای، مستقیما بر تبخیر و تعرق تاثیر دارد (Raes و همکاران، ۲۰۱۲).

مواد و روش‌ها

برای حصول هدف تحقیق، منطقه الهایی از مزارع طرح ۵۵۰ هزار هکتاری جهادنصر خوزستان با مختصات ′۳۸ °۳۱ شمالی و ′۳۷ °۴۸ شرقی انتخاب گردید. برای جمع‌آوری داده‌های زراعی، خاک، آب زیرزمینی و آب آبیاری (ورودی‌های مدل) از یک آزمایش مزرعه‌ای در طی فصل کشت گندم در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ استفاده شد. برای این منظور دو مزرعه با مدیریت و خاک متفاوت انتخاب گردید. لیکن برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در دو شرایط نرمال (غیر شور) و شور نیاز به داده‌های بیشتر بود. لذا از چهار آزمایش مزرعه‌ای دیگر در مناطق ویس (′۳۰ °۳۱ شمالی و ′۵۴ °۴۸ شرقی) و بوزی (′۴۲ °۳۰ شمالی و ′۴۴ °۴۸ شرقی) با شرایط مشابه از نظر وجود سطح ایستابی کم‌عمق و شور، استفاده گردید. در مجموع، اطلاعات جمع‌آوری شده دو مزرعه برای واسنجی و چهار مزرعه در اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. در تمام مزارع، کشت انتخابی گندم[3] از رقم چمران بود. تاریخ کاشت در مناطق الهایی، ویس و بوزی به ترتیب ۱۴، ۲۵ و ۲۸ آبان ۱۳۹۳ بود. در طول فصل رشد (حدود ۱۴۵روز از کاشت تا برداشت) مراحل فنولوژیکی گیاه ثبت گردید.

برای تعیین تغییرات سایه‌انداز سبز از روش تصویربرداری دیجیتال رنگی قائم استفاده شد. سپس تصاویر توسط یک نرم‌افزار که توسط سازمان کشاورزی و غذای کانادا[4] تهیه گردیده است[5]، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا روند تغییرات سطح سایه‌انداز گیاه در فصل رشد به‌دست آید. در AquaCrop این پارامتر جایگزین شاخص سطح برگ گردیده است. نمونه‌برداری از لایه‌های ۳۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۲۰ سانتیمتر خاک از نظر تغییرات رطوبت و شوری نیمرخ خاک، در قبل از کاشت، قبل از برداشت و قبل و بعد از هر بار آبیاری انجام شد. همچنین تغییرات سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی در کل دوره رشد گیاه یادداشت گردید. در هر آبیاری نیز نمونه آب تهیه شد. داده‌های هواشناسی ۱۲ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۲) از ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز برای مناطق الهایی و ویس، و از ایستگاه هواشناسی شادگان برای منطقه بوزی تهیه گردید. فاصله مستقیم این ایستگاه‌ها تا مناطق الهایی، ویس و بوزی به ترتیب ۲۱، ۱۲، و ۱۷ کیلومتر است. این اطلاعات شامل داده‌های روزانه درجه حرارت حداکثر و حداقل هوا، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و بارندگی بودند. برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) از نرم افزار تهیه شده توسط فائو[6] استفاده گردید (Raes ، ۲۰۱۲).

به منظور افزایش دقت در ارزیابی مشاهدات مزرعه‌ای، واسنجی و اعتبارسنجی مدل در هر دو شرایط نرمال و شور انجام گردید. در شرایط نرمال، برای واسنجی از داده‌های مزرعه ۱ در منطقه الهایی و برای صحت سنجی آن از اطلاعات جمع‌آوری شده در مزارع ۳ و ۴ (ویس) استفاده گردید. در شرایط شور، برای واسنجی داده‌های مزرعه ۵ (بوزی) و صحت سنجی آن داده‌های مزرعه ۲ (الهایی) و مزرعه ۶ (بوزی) مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت برای هر دو واسنجی و اعتبارسنجی مدل، مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده پوشش سایه‌انداز گیاه، بیوماس اندام‌های هوایی و مقدار آب خاک مقایسه و تحلیل آماری گردیدند. برای ارزیابی آماری نیز از شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون (r)، خطای میانگین مربعات ریشه (RMSE)، خطای میانگین مربعات ریشه نرمال شده (NRMSE)، ضریب راندمان مدل[7] (EF) و شاخص سازش ویلموت (d)، استفاده گردید (Raes و همکاران، ۲۰۱۵). در جدول ۱ مقادیر پارامترهای غیر ثابت مورد استفاده مدل درج شده است.

نتایج و بحث

واسنجی مدل در شرایط شور

شکل (۱) روابط بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز، و بیوماس اندام‌های هوایی را برای واسنجی مدل در شرایط شور نشان می‌دهد. هر مقدار اندازه‌گیری در شکل، میانگین سه مشاهده است (n=۳). نتایج حاصل از شکل (۱) و مقادیر شاخص‌های آماری مقایسه داده‌ها در جدول (۲)، نشان‌دهنده انطباق خوب مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای پوشش سایه‌انداز و بیوماس است. در مورد پارامتر مقدار آب خاک، اگرچه میزان انطباق به اندازه دو مورد دیگر نبود، لیکن تحلیل آماری نشان داد که میزان انطباق آن‌ها در حد قابل قبول است. این به دلیل

[3] Triticum aestivum
[4] Agriculture and Agri-Food Canada
[5] Green Crop Tracker v. 1.0
[6] ET_0 Calculator v. 3.2
[7] Nash-Sutcliffe

تغییرپذیری مکانی خاک از محلی به محل دیگر در شرایط واقعی آن (شرایط مزرعه) بوده که خود تابعی از خاصیت غیرهمگنی خاک است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۶). در واقع مقدار آب حتی در یک حجم محدود خاک مقدار ثابتی نیست، در حالی که مدل آن را محیطی همگن فرض می‌نماید و در نتیجه در همان حجم مشخص خاک مقدار آب ثابتی را محاسبه می‌نماید. تفاوت بین این دو شرایط باعث ایجاد اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری (شرایط واقعی) و شبیه سازی شده (فرضی) گردیده است. البته در این تحقیق این اختلاف شدید نبوده و لذا میزان انطباق داده‌ها در حد قابل قبول شده است.

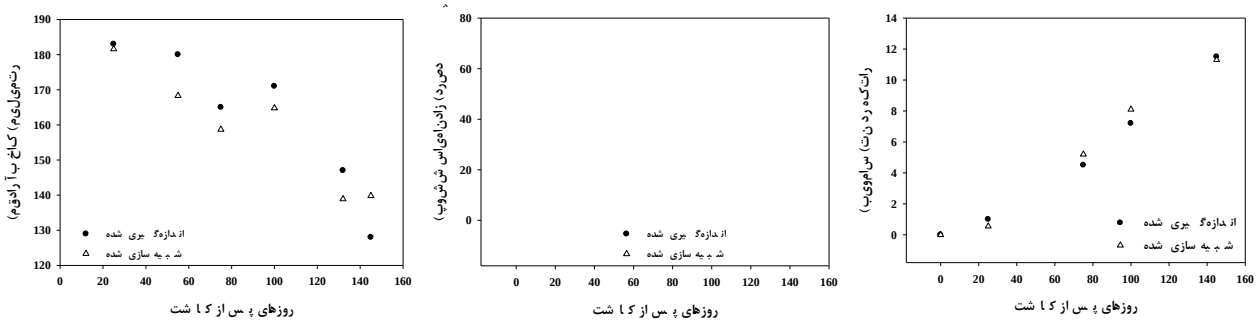
جدول ۱- مقادیر پارامترهای غیر ثابت برای واسنجی مدل در شرایط نرمال و شور از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای

متغیر	مقادیر در شرایط		واحد/ مفهوم
	نرمال	شور	
پوشش سایه‌انداز اولیه (CCo)	۷/۹۵	۷/۹۳	درصد
تراکم کشت	۲۳۵	۲۳۵	کیلوگرم بر هکتار
حداکثر سایه‌انداز	۹۲	۸۲	درصد
شاخص برداشت مرجع (HIo)	۰/۳۵	۰/۳۵	بدون بعد
زمان از کاشت تا جوانه‌زنی	۷	۷	روز
زمان از کاشت تا حداکثر سایه‌انداز	۸۵	۸۶	روز
زمان از کاشت تا گل‌دهی	۹۱	۹۰	روز
طول دوره گل‌دهی	۱۲	۱۲	روز
زمان از کاشت تا پیری	۱۰۵	۱۰۵	روز
زمان از کاشت تا رسیدگی کامل	۱۴۵	۱۴۵	روز
نزول سایه‌انداز	۴۲	۴۱	روز (خیلی آرام)
ضریب نزول سایه‌انداز (CDC)	۶/۸	۶/۷	روز
توسعه سایه‌انداز	-	-	آرام
حداقل منطقه توسعه ریشه	۳۰	۳۰	سانتیمتر
حداکثر منطقه توسعه ریشه	۶۰	۶۰	سانتیمتر
زمان از کاشت تا حداکثر عمق ریشه	۸۵	۸۵	روز
تنش شوری (آستانه ECe)			
حد پایین آستانه	-	۶	دسی‌زیمنس برمتر
حد بالای آستانه	-	۲۰	دسی‌زیمنس برمتر
تنش دمایی	-	-	قابل توجه نبود
تنش حاصلخیزی	-	-	قابل توجه نبود

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های آماری برای واسنجی داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در شرایط نرمال (مزرعه دوم الهایی) و شور (مزرعه اول بوزی)

شاخص	مقدار آب خاک		پوشش سایه‌انداز		بیوماس	
	نرمال	شور	نرمال	شور	نرمال	شور
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
خطای میانگین مربعات ریشه*	۸/۱۰	۸/۴۰	۷/۴۰	۵/۵	۱/۰	۰/۶۰
خطای نرمال میانگین مربعات ریشه**	۵/۰۰	۵/۲۰	۱۳/۰	۱۳/۴	۱۱/۴	۱۰/۱
ضریب راندمان مدل نش- ساکلیف	۰/۶۵	۰/۸۱	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷
شاخص سازش ویلموت	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹

*واحد آن برای مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز و بیوماس به ترتیب میلیمتر آب، درصد و تن بر هکتار است؛ **واحد آن برحسب درصد، سایر شاخص‌ها بدون بعد می‌باشند



شکل ۱- مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز و بیوماس برای واسنجی مدل در شرایط شور

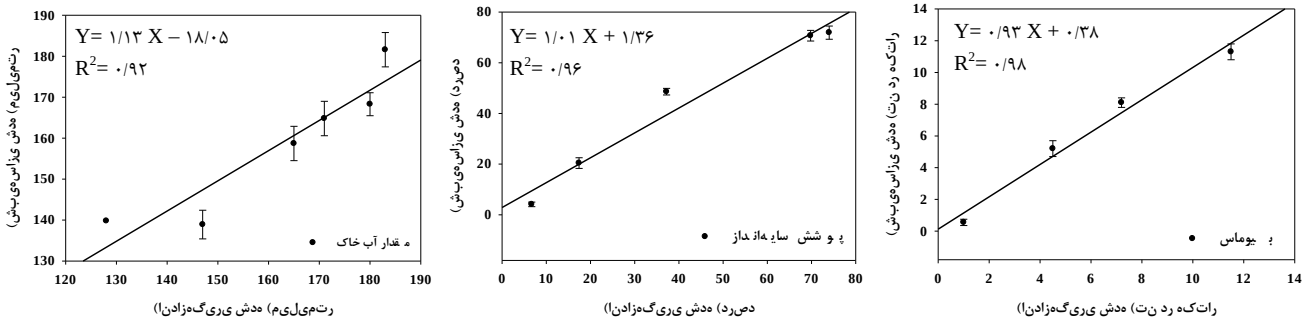
اعتبارسنجی مدل

روابط بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز و بیوماس در شرایط شور برای اعتبارسنجی مدل در شکل (۲) نشان داده شده است. ضرایب R^2 بدست آمده از مقایسه داده‌ها نشان‌دهنده همبستگی خیلی خوب بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در هر سه پارامتر است. شاخص‌های آماری مطرح شده در بخش واسنجی، برای اعتبارسنجی مدل نیز بکار برده شد. جدول (۳) مقادیر این شاخص‌ها را برای هر سه پارامتر در شرایط شور نشان می‌دهد. مطابق جدول، در هر سه پارامتر میزان انطباق مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده بین خوب تا خیلی خوب قرار داشته‌اند.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری برای اعتبارسنجی داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مدل در شرایط شور (مزارع اول الهایی و دوم بوزی)

شاخص	مقدار آب خاک		پوشش سایه‌انداز		بیوماس	
	مزرعه ۱	مزرعه ۲	مزرعه ۱	مزرعه ۲	مزرعه ۱	مزرعه ۲
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
خطای میانگین مربعات ریشه *	۷/۰۰	۱۰/۱	۷/۳۰	۵/۰۰	۰/۷۰	۰/۵۰
خطای نرمال میانگین مربعات ریشه **	۴/۳۰	۵/۳۰	۱۲/۶	۱۶/۴	۸/۳	۱۲/۲
ضریب راندمان مدل نش- ساکلیف	۰/۷۳	۰/۶۱	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۶
شاخص سازش ویلموت	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹

* واحد آن برای مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز و بیوماس به ترتیب میلیمتر آب، درصد و تن بر هکتار است؛ **واحد آن برحسب درصد، سایر شاخص‌ها بدون بعد هستند



شکل ۲- مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز و بیوماس برای اعتبارسنجی مدل در شرایط شور

نتیجه‌گیری

نسخه پنجم مدل AquaCrop با هدف واسنجی و اعتبارسنجی آن در شرایط شوری خاک و آب زیرزمینی شور و کم‌عمق اجرا گردید. برای جمع‌آوری داده‌های لازم جهت ورودی مدل، آزمایش مزرعه‌ای در فصل کشت گندم و در سال زراعی ۹۴-۹۳ در منطقه الهایی با سطح آب زیرزمینی کم عمق و شور پیاده گردید. مدل ابتدا واسنجی و سپس اعتبارسنجی شد. نتایج ارزیابی حاکی از توانایی خوب مدل در پیش‌بینی سطح سبز گیاه، بیوماس و تغییرات رطوبت خاک در شرایط خاک شور و وجود آب زیرزمینی کم‌عمق و شور بود.

منابع

Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A., Rahnama, A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management, 100, 1-8.

Hassanli, M., Ebrahimian, H., Mohammadi, E., Rahimi, A., Shokouhi, A. 2016. Simulating maize yields when irrigating with saline water, using the AquaCrop, SALTMED, and SWAP models. Agricultural Water Management, 176, 91-99.

Kumar, P., Sarangi, A., Singh, D.K., Parihar, S.S. 2014. Evaluation of AquaCrop model in predicting wheat yield and water productivity under irrigated saline regimes. Irrigation and Drainage, 63, 474-487.

Mohammadi, M., Ghahramani, B., Davary, K., Ansari, H., Shahidi, A., Bannayan, M. 2016. Nested validation of AquaCrop model for simulation of winter wheat grain yield, soil moisture and salinity profiles under simultaneous salinity and water stress. Irrigation and Drainage, 65, 112-128.

Mondal, M.S., Saleh, A.F.M., Akanda, A.R., Biswas, S.K., Moslehuddin, A.Z., Zaman, S., Lazar, A.N., Clarke, D. 2015. Simulating yield response of rice to salinity stress with the AquaCrop model. Environmental Science: Processes Impacts, 17, 1118-1126.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. 2009. AquaCrop- the FAO crop model to simulate yield response to water: II Main algorithms and software description. Agronomy Journal, 101(3): 438-447.

Raes, D. 2012. The ET_0 Calculator. Version 3.2. Rome: FAO. http://www.fao.org/nr/water/ ET_0.html

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. 2012. Reference manual AquaCrop. Version 4.0. Rome: FAO land and water division.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. 2015. AquaCrop new features and updates. Version 5.0. Rome: FAO land and water division.

Zhang, L., Li, J., Li, X., Zhang, J., Zhu, H. 2016. Stability Analysis and Probabilistic Assessment. In: (unknown editor). Rainfall-Induced Soil Slope Failure. CRC Press, p. 299-327.

Topic for submission: Soil Quality and Sustainable Soil Management

Calibration and Validation of AquaCrop Model in a Soil with Shallow, Saline Groundwater in Southern Khuzestan

Mohiaddin Goosheh[1*], Bahram Andarzian[2]

[1] Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran

[2] Seed and Plant Improvement Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran

Abstract

In order to increase the accuracy in evaluating field observations, the first necessary step is to calibrate the model and then validate it. Calibration is used to calibrate the model in the location of the research, and validation compares the accuracy of simulated data to measured data. Once the outputs of the model are trusted that there is an acceptable correlation between these two groups based on standardized statistical indicators. AquaCrop is a model with the ability of the simulating the relationships between soil, water and plant in normal and saline conditions. However, in the world, quantitative research has been carried out to calibrate and validate this model in combination with salinity and poor drainage conditions. There is also no report on this in Iran. For this purpose, the present study was conducted to calibrate and validate the model under shallow, saline groundwater conditions in Khuzestan wheat lands. To collect the required data for calibration and validation of the model, a field experiment was carried out during wheat growing season (2014-2015). The results of the evaluation indicated that the model had good ability to predict crop green canopy, dry biomass, and soil water content in the research conditions.

KEY WORDS: arid region; groundwater table; simulation model; soil salinity