شبیه‌سازی عملکرد گندم تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری توسط مدل CropSyst در منطقه زرقان فارس

فرزانه زارعی[۱]، ناصر گنجی خرمدل [۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۴/۰۸/۰۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۰۲/۰۶

چکیده

آب منبعی محدود و در عین حال ضروری برای جوامع بشری و سیستم های اکولوژی وابسته به آن می‌باشد. با رشد جمعیت و توسعه اقتصادی در بسیاری از کشورها و مناطق جهان، این منبع باارزش به شکلی فزاینده روبه کاهش است. در چنین شرایطی، نیاز به افزایش بهره‌وری آب محصول است.جهت بهینه سازی عملیات مدیریتی در محیط های متغیر از مدل‌های گیاهی استفاده می‌شود. مدل بعنوان ابزاری تحلیل‌گر برای مطالعه اثر مدیریت سیتم‌های کشت روی حاصلخیزی محصول و محیط عمل می‌کند. مدل رشد گیاهی CropSyst نمونه‌ای جامع از یک مدل شبیه‌سازی می-باشد که تاکنون در بسیاری از مناطق دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از مدل‌های رشد گیاهی با توجه به کاهش نیاز به بازدیدها و اندازه‌گیری‌های مستقیم مزرعه‌ای می‌تواند در بهینه‌یابی مدیریت آب آبیاری و کوددهی موثر واقع گردد. این پژوهش در قالب طرح آزمایشی اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور اصلی رقم با ۳ سطح و رژیم آبیاری با ۴ سطح در ۳ تکرار به اجرا در آمد. ارقام بکار برده شده ارقام تجاری با اسامی فلات، شیراز و چمران بودند. رژیم‌های آبیاری براساس فاصله تا لوله لاترال تنظیم شدند. در این تحقیق فواصل سه متری جهت اعمال رژیم‌های آبیاری در نظر گرفته شد. بر این اساس رژیم‌های رطوبتی شامل فواصل ۵، ۸، ۱۱، ۱۴ متر فاصله از لوله لاترال بودند. آزمایش در طول سالهای زراعی ۹۱، ۹۲و ۹۳ انجام شده است. داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به‌منظور واسنجی و داده‌های سال ۱۳۹۳ به‌منظور اعتبارسنجی مدل استفاده شدند. مقادیر آماره‌های nRMSE و Crm برای سال‌های واسنجی در خصوص عملکرد دانه به ترتیب معادل ۹/۳ درصد و ۰/۰۶ و برای سال اعتبارسنجی نیز به‌ترتیب ۹/۷ درصد و ۰/۱۱ حاصل شدند. مدل گیاهی CropSyst کارایی رده عالی را در شبیه‌سازی عملکرد دانه براساس آماره nRMSE دارا می‌باشد.

واژه های کلیدی: مدل رشد گیاهی CropSyst، گندم، سناریوهای مدیریتی، شبیه سازی، عملکرد محصول

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری وزهکشی، مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۷۸۴۶۷۷۸۰.
Zarei.Farzaneh12@gmail.com
[2] استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران (مسئول عهده دار مکاتبات)، تفن تماس: ۰۹۱۲۳۹۷۹۳۹۶.
Naser.ganjikhorramdel@gmail.com

مقدمه

با توجه به آمارهای بدست آمده طی سالهای متمادی، استان فارس دارای اولین مقام تولید کننده گندم در کشور می باشد، به طوریکه ۲۰٪ کل تولید گندم را به خود اختصاص داده است.این استان دارای سه اقلیم گرم، معتدل و سرد میباشد. در سالهای اخیر با بروز خشکسالی های متمادی عملکرد این محصول به شدت تحت تاثیر قرار گرفته است. لذا این موضوع ضرورت اعمال مدیریت صحیح آبیاری را در شرایط کمبود آب بیش از پیش نشان می دهد. مدیریت صحیح آبیاری باعث می شود که آب به اندازه کافی و در زمان مناسب به گیاه داده شود و از بروز تنش های آبی تا حد امکان جلوگیری نمود. البته این نکته قابل توجه است که اعمال کم آبیاری در برخی از بازه های دوره رشد باعث افزایش کیفیت محصول نیز گردیده است (دهقانیان و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه استفاده از مدلهای شبیه سازی آب، خاک، گیاه و اتمسفر برای انجام یک مدیریت صحیح و همچنین رسیدن به بهترین عملکرد کمی و کیفی گیاه متداول گردیده است. مدلهای گیاهی می توانند با استفاده از متغیرهای محیطی و خصوصیات ژنتیکی، رشد و عملکرد گیاه را پیش بینی کند. از دیگر موارد کاربرد مدل های گیاهی می توان به ابزار تصمیم گیری برای مدیریت سیستم اشاره نمود. یکی از کارامد ترین مدلهای شبیه سازی گیاهی که در بسیاری از مطالعات دقت عمل و اعتبار آن به اثبات رسیده است مدل رشد گیاهی CropSyst می باشد (Stockle *et al.*, 2003). مدل رشد گیاهی CropSyst نمونه‌ای جامع از یک مدل شبیه‌ساز می‌باشد که تاکنون در بعضی از مناطق دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. CropSyst، سامانه گیاهی را با گام‌های زمانی روزانه شبیه‌سازی می‌کند. همچنین مدل مذکور این قابلیت را دارد که شبیه‌سازی را در شرایط چند ساله و چند گیاهی نیز انجام دهد. این مدل اثر عوامل مختلف، از جمله هواشناسی، خاک، مدیریت و خصوصیات گیاهی را بر قابلیت تولید سامانه‌های گیاهی و محیط‌زیست مورد بررسی قرار می‌دهد. ویژگی قابل‌توجه این مدل، برقراری ارتباط با نرم‌افزار GIS می‌باشد. این مدل رشد گیاه را براساس زمان رسیدن در هر مرحله فنولوژیکی با توجه به میزان دمای تجمعی مورد نیاز، شبیه‌سازی می‌کند. نیتروژن خاک و گیاه، رشد و توسعه گیاه، رشد ریشه، تولید ماده خشک، عملکرد گیاه، تولید و تجزیه بقایای گیاهی، فرسایش خاک به‌وسیله آب و شوری را می‌توان توسط مدل شبیه‌سازی کرد (Stockle *et al.*,2003).

از آنجا که داده‌برداری‌های مزرعه‌ای هزینه‌بر است و علاوه بر آن نیاز به صرف زمان برای رسیدن به اهداف تحقیقاتی می‌باشد، لذا استفاده از مدل‌های گیاهی پیشنهاد می‌شود تا علاوه بر صرفه‌جویی در وقت و هزینه، بتوان از سایر مزیت‌های مدل‌های گیاهی مانند آزمون سناریوهای مختلف مدیریتی نیز استفاده کرد.

مدل CropSyst، توسط (Abraha *et al.*,2007) درجنوب آفریقا به‌جهت پیش‌بینی بیلان آب خاک در زمین‌های آیش و آبیاری شده، به‌کار برده شد. نتایج نشان داد که دقت مدل در شبیه‌سازی بیلان آب در زمین‌های خشک، بالاتر است. همچنین در مورد پیش‌بینی رشد، نمو و عملکرد گندم، مدل شبیه‌ساز CropSyst مورد ارزیابی واقع شد. در مطالعه مذکور توانایی مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی، تولید ماده خشک در گرده‌افشانی و رسیدگی، شاخص سطح برگ در گرده‌افشانی، تجمع نیتروژن در گیاه در مرحله گرده‌افشانی، رسیدگی و عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار RMSE برای روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی به ترتیب ۵/۲ و ۹/۵ روز محاسبه شد. برای سایر ویژگی‌های نمو و رشد نیز پیش‌بینی‌های مدل مناسب بود (دستمالچی و همکاران، ۱۳۹۰). تحقیقی در خصوص واسنجی مدل CropSyst در مورد گیاه کلزا تحت تیمارهای مختلف آبی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام گرفت. عوامل مورد بررسی، وزن خشک و شاخص سطح برگ بود که با توجه به ضریب تبیین حاصله (به

ترتیب، بیش از ۰/۹۹ و ۰/۹۵) تخمین مدل مناسب ارزیابی شد (هنر و همکاران، ۱۳۹۰).

اثرات متقابل کاربرد نیترات و سطوح مختلف آب در خصوص گیاه ذرت در مزرعه تحقیقات دانشگاه دیسپیا در ایتالیا مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه داده‌های مزرعه‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst، مقادیر شاخص کارایی مدل بدست آمده در خصوص تخمین ماده خشک و درصد آب خاک به‌ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۷۵ گزارش شد (Confalonieri *et al.*,2010). در پژوهشی دیگر در منطقه فوگیو واقع در جنوب ایتالیا، این مدل درطی سال‌های ۹۳-۱۹۸۶، در مورد گیاهان سورگوم و آفتاب‌گردان ارزیابی شد که باتوجه به مقادیر nRMSE حاصل از شبیه‌سازی عملکرد دانه این دو گیاه (به ترتیب ۱۱ و ۲۵ درصد)، مدل CropSyst، مدلی مناسب ارزیابی شده است(Ventrella *et al.*,1999).

در شمال ایتالیا مطالعه ای بر روی سه مدل CropSyst، SWAP و MACRO در دو نوع خاک سنگین و لوم ریز شنی انجام شد. برای شبیه‌سازی توزیع مجدد آب از معادله ریچاردز استفاده شد. مدل‌ها براساس تواناییشان در پیش‌بینی آب خاک اندازه‌گیری‌شده توسط TDR درطی دو سال، مقایسه شدند. این سه مدل کارایی خوبی را از خود نشان‌دادند. به طوریکه مقدار RMSE حاصله، معادل ۰/۰۳۲سانتی متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بدست آمد. در این تحقیق، برتری CropSyst نسبت به دو مدل دیگر شامل نداشتن تفاوت در کارایی در دو زمان واسنجی و اعتبارسنجی بوده است((Bonfante *et al.*, 2010).

Stockele و همکاران در سال ۲۰۱۴ از CropSyst بعنوان ابزاری برای کارایی مصرف آب و ضریب گیاهی درختان آلوی ژاپنی استفاده کردند که نتایج بدست آمده کارایی مدل را خوب ارزیابی کرد.

مواد و روشها:

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ایستگاه تحقیقاتی زرقان، درطی سه سال ۱۳۹۳-۱۳۹۰ انجام گردید. این آزمایش توسط یک سیستم آبیاری بارانی با یک خط لوله لاترال از جنس آلومینیم اجرا گردید. برروی لوله لاترال در فاصله ۶ متری از هم آبپاش‌هایی از نوع رین‌برد با اندازه نازل ۱۱/۶۲×۳/۳۲ اینچ و دبی ۰/۴۹ لیتر در ثانیه و شعاع پاشش ۱۳/۶متر که بر روی لوله‌های رایزر بقطر ۳/۴ اینچ و به ارتفاع ۱ متر قراردارند، نصب گردید.

این تحقیق در قالب طرح آزمایشی اسپیلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور اصلی رقم با سه سطح و رژیم آبیاری با چهارسطح و در ۳ تکرار به اجرا در آمد. ارقام بکار برده شده شامل ارقام تجاری فلات، شیراز و چمران بودند. رژیم‌های آبیاری بر اساس فاصله تا لوله لاترال تنظیم گردیده و فواصل سه متری جهت اعمال رژیم‌های آبیاری در نظر گرفته شد. بر این اساس رژیم‌های رطوبتی شامل فواصل ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴ متر فاصله از لوله لاترال انتخاب شدند. برای جلوگیری از خطا ۲ متر اول از هر طرف لوله لاترال جزو طرح به آورده نشد. کشت در آبان ماه بصورت ردیفی با تراکم ۴۰۰ بوته در واحد سطح (متر مربع) انجام گردید. جهت خطوط کاشت بموازات لوله آبرسان بگونه‌ای است که اگر روانابی هم احیانا ایجاد شود، در جهت رژیم‌های رطوبتی اعمال شده حرکت نکند. ابعاد کشت هر رقم ۱۵×۲ متر مربع بصورت قطعات مستطیل مانند عمود بر لوله آبرسان در نظر گرفته شدند. در این تحقیق طراحی سیستم بگونه ای است که با افزایش فاصله از لوله آبرسان اصلی میزان آب دریافتی بوته‌های کشت شده کاهش می یابد و این بطور یکنواخت و یکسان در تمام مزرعه اعمال می‌گردد. بطوریکه ارقام در یک شیب رطوبتی یکنواخت مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. شیب رطوبتی اعمال شده منجر به یک شیب رشدی واضح و چشمگیر در بین بوته‌ها می‌گردد. بطوریکه بوته‌های نزدیک لوله آبرسان که در رژیم رطوبتی مطلوب قراردارند از رشد طبیعی و نرمال برخوردار بوده و بوته‌های دورتر از لوله آبرسان که در رژیم رطوبتی تحت

تنش قراردارند از رشد کمی برخوردار هستند و این موضوع با افزایش فاصله تشدید می گردد.

کشت در آبان ماه و برداشت در اردیبهشت ماه انجام شد. آبیاری ها بر اساس نیاز خالص آبیاری در هر دهه از ماههای دوره رشد محصول با توجه به فرمول پنمن مانتیث و کاهش بارش موثر از آن صورت گرفت. کوددهی براساس فرمول کودی N.P.K معادل ۵۰-۱۰۰-۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد که بر اساس آزمایشات خاک قبل از کشت بصورت پایه و سرک به خاک داده شد.

در ضمن قوطی‌هایی نیز برای جمع آوری آب آبپاش‌ها در درون هر کرت قرار داده شد.جهت لحاظ نمودن بارندگی در مقدار آب مصرفی، از آمار ایستگاه هواشناسی مجاور مزرعه استفاده گردید. جهت اندازه گیری آب رسیده به هر تیمار که در واقع همان عمق آب آبیاری ما می‌باشد از یک لیوان که بر روی پایه‌ای قرار داده شده است و در طول فصل رشد در بالای پوشش سبز گیاه قرار می‌گیرد استفاده می‌شود. سطح مقطع لیوان ذکر شده حدود ۸۰ سانتی متر مربع بود. جهت محاسبه وزن خشک، نمونه های برداشت شده پس از قطع ریشه از محل طوقه به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون با حرارت ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شده و سپس وزن آنها با دستگاه دیجیتال دقیق محاسبه گردید. مدل با استفاده از تیمارهای اعمال شده مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفته و از پیش بینی مدل و داده‌های مزرعه‌ای، با استفاده از شاخص‌های آماری نظیر nRMSE و Crm[1]، با یکدیگر مقایسه و دقت مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. بر طبق منابع در دسترس، شبیه‌سازی با nRMSE کم‌تر از ۱۰ درصد، عالی، بین ۱۰ و ۲۰ درصد، خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد، متوسط و بیش از ۳۰ درصد، ضعیف طبقه‌بندی می‌شود. شاخص دیگری با نام Crm نیز برای ارزیابی بهتر داده‌ها استفاده گردیده است. هر چه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد، مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای به یکدیگر نزدیک‌تر خواهد بود. شاخص Crm گرایش مدل به سمت تخمین بیش از حد یا کمتر از حد را نشان می‌دهد به‌طوری‌که مقدار منفی Crm نشانگر گرایش به سمت تخمین بیش از حد و مقادیر مثبت، بیانگر کم‌برآوری مدل می‌باشند(Bannayan *et al.*,2006). در جدول (۱) و (۲) خصوصیات هواشناسی و خاک منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

جدول۱- عوامل هواشناسی در طول فصل رشد در منطقه زرقان فارس

عوامل هواشناسی در طول فصل رشد	فصل رشد گندم		
	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳
بارندگی (mm)	۹۳/۳	۴۱	۵۳،۸۶
میانگین حداکثر دمای روزانه (°C)	۱۹/۲	۱۸	۱۹/۱
میانگین حداقل دمای روزانه (°C)	۳،۵	۳	۳/۷
تشعشع با طول موج کوتاه (MJ m-2 d-1)	۱۹/۵۷	۲۰/۲۲	۱۹/۸۷
میانگین حداکثر رطوبت نسبی (٪)	۷۴	۷۸	۷۵
میانگین حداقل رطوبت نسبی (٪)	۲۹	۳۰	۲۹
میانگین سرعت باد (m s-1)	۱۰	۱۵	۱۳

جدول ۲: برخی ازویژگیهای فیزیکی اندازه گیری شده خاک محل آزمایش

عمق (سانتی متر)	بافت خاک	توزیع ذرات خاک (درصد وزنی)			وزن مخصوص ظاهری	رطوبت خاک (درصد حجمی)	
		رس	لای	شن	(گرم بر سانتیمتر مکعب)	ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دائم
۰-۳۰	Silty clay	۴۱	۴۲/۶	۱۶/۴	۱/۳۸	۲۹/۵	۱۳/۷
۳۰-۶۰	Silty clay	۴۲	۴۲/۶	۱۵/۴	۱/۶۰	۲۷/۵	۱۳/۹

مدل رشد گیاهی CropSyst نمونه‌ای جامع از یک مدل شبیه‌ساز می‌باشد که تاکنون در بعضی از مناطق دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. CropSyst، سامانه گیاهی را با گام‌های زمانی روزانه شبیه‌سازی می‌کند. همچنین مدل مذکور این قابلیت را دارد که شبیه‌سازی را در شرایط چند ساله و چند گیاهی نیز انجام دهد. این مدل اثر عوامل مختلف، از جمله هواشناسی، خاک، مدیریت و خصوصیات گیاهی را بر قابلیت تولید سامانه‌های گیاهی و محیط‌زیست مورد بررسی قرار می‌دهد. ویژگی قابل‌توجه این مدل، برقراری ارتباط با نرم‌افزار GIS می‌باشد. این مدل رشد گیاه را براساس زمان رسیدن در هر مرحله فنولوژیکی با توجه به میزان دمای تجمعی مورد نیاز، شبیه‌سازی می‌کند. نیتروژن خاک و گیاه، رشد و توسعه گیاه، رشد ریشه، تولید ماده خشک، عملکرد گیاه، تولید و تجزیه بقایای گیاهی، فرسایش خاک به‌وسیله آب و شوری را می‌توان توسط مدل شبیه‌سازی کرد (Stockle *et al*., 2003).

در این مطالعه از نسخه 4.13.09 مدل CropSyst استفاده گردید. ورودی‌های مدل از طریق دو قسمت پایگاه داده[1] و سناریو[2] وارد مدل می‌شوند. در قسمت پایگاه داده که مهم‌ترین قسمت مدل محسوب می‌شود، عوامل هواشناسی، خاک، گیاه و مدیریت‌های آبی و کودی وارد می‌گردند. در نهایت برای اجرای مدل از سناریوی مدل استفاده می‌شود. در این قسمت، برخی خصوصیات اولیه، دوره شبیه‌سازی و روش مناسب تبخیر و تعرق نیز، مشخص می‌گردند.

مدل این امکان را به کاربر می‌دهد که عوامل خروجی که مدل تولید خواهد کرد را مشخص کند. همچنین روزانه یا سالانه بودن خروجی‌ها نیز قابل تنظیم است. همان طور که گفته شد، مدل توانایی شبیه‌سازی عملکرد گیاه، میزان محصول خشک، شاخص سطح برگ و شوری را دارد. بنابراین اینکه مدل چه عواملی را شبیه‌سازی کند کاملا انتخابی است.

برای استفاده از یک مدل ابتدا باید مدل مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گیرد. براین اساس در خصوص واسنجی نیاز است که عوامل حساس مدل تعیین گردند که برای این کار ابتدا باید آنالیز حساسیت انجام پذیرد. شرط لازم برای استفاده عملی از مدل، وجود دانش کمی از حساسیت مدل‌ها نسبت به تغییرات عوامل می‌باشد (*et al*., 2010 Confalonieri).

برای تعیین آن دسته از عوامل ورودی که تاثیر چشمگیری در مقادیر عوامل خروجی دارند، از آنالیز حساسیت استفاده می‌شود. بنابراین باید به اندازه‌گیری و واسنجی عوامل مذکور توجه خاصی شود. حساسیت داده خروجی به عوامل ورودی مدل را می‌توان این گونه تعریف کرد که در صورت تغییر یک عامل ورودی و ثابت نگه داشتن سایر عوامل، چه میزان عامل خروجی دچار تغییر خواهد شد (Kato *et al*., 2006) آنالیز حساسیت با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله روش‌های رگرسیونی و موریس صورت می‌گیرد (Jamieson P.D *et al*., 1991). در بررسی حاضر از شاخص حساسیت برای این موضوع استفاده شده است (Loomis *et al*., 1984).

$$SI = \frac{(\frac{100}{N})\times\sum_{i=1}^{N}(Xni-Xci)/Xci}{\Delta}$$

[1]Database

[2]Scenario

Xni: مقدار خروجی جدید ناشی از تغییر مقدار ورودی
Xci: مقدار خروجی ناشی از مقدار ورودی اولیه
N: تعداد تغییرات داده ورودی
Δ: مقدار مطلق تغییر داده ورودی
SI: درصد تغییر عامل خروجی در اثر تغییر در عامل ورودی است.

ضریب حساسیت همان طور که از اسمش مشخص است هر چه مقدارش بیشتر باشد یعنی مدل نسبت به تغییر آن پارامتر حساس تر بوده است. درصد تغییراتی که برای عوامل ورودی در نظر گرفته شده، ۲۵ و ۱۰ درصد بوده است. تغییرات ۲۵ درصد برای پارامترهای مرتبط با مدل و ۱۰ درصد تغییرات برای مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر برگرفته شده از مقالات در نظر گرفته شد (Khaledian *et al.*, 2009). پس از انجام آنالیز حساسیت، نوبت به مرحله واسنجی مدل می‌رسد. هدف از واسنجی مدل، تشریح شرایط محیطی محل انجام آزمایش برای مدل است. مقادیر عوامل ورودی مدل شامل مقادیر تعریف شده، استفاده از اعداد بیان شده در مقالات و تحقیقات گذشته و اندازه‌گیری‌های انجام گرفته می‌باشد. اگر تعدادی از عوامل حساس، شامل عوامل اندازه‌گیری شده بودند، بهتر است از آن مقادیر کمک گرفته شود. واسنجی از عوامل حساس‌تر شروع می‌شود. مقادیر اولیه مدل بصورت پلکانی با روند تغییرات ۵ درصد، وارد مدل می‌شوند.در هر مرحله مقادیر شبیه‌سازی شده مدل با مقادیر مشاهده شده براساس شاخص‌های آماری مقایسه می‌گردند. در نهایت براساس شاخص‌های آماری، مقدار مناسب داده ورودی مشخص می‌گردد. شاخص‌های آماری که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، nRMSE و Crm می‌باشند.

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

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2/n} \qquad (۱)$$

$$\mathrm{nRMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2/n}.\frac{100}{\bar{O}} \qquad (۲)$$

در روابط فوق:
O_iمقدارعملکرد مشاهده شده در هر تیمار
P_i عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل در هر تیمار
$\bar{O}$ میانگین میزان عملکرد مشاهده شده تمام تیمارهای یک سال و n تعداد تیمارهای هر سال می باشد.

نتایج و بحث

داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به‌منظور واسنجی و داده‌های سال ۱۳۹۳ به منظور اعتبارسنجی مدل استفاده شدند. بر اساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌های انجام شده در طی سال‌های آزمایش، مشخص گردید که حداکثر دمای روزانه در تمامی روزها، از دمای توقف رشد پایین‌تر بوده است. همچنین از مقایسه حداقل دمای روزانه تمامی روزهای فصل رشد با دمای پایه، مشاهده شد که تنها چند روز دارای دمای پایین‌تری نسبت به دمای پایه بوده است. بنابراین در طی دوره سه ساله مطالعه، دمای هوا در محدوده مناسب رشد گیاه، نوسان داشته است. عوامل گیاهی که برای مدل مورد استفاده قرار گرفت، در جدول(۳) ارائه شده است. با توجه به داده‌های مزرعه-ای شاخص برداشت محاسبه شده برای سال‌های واسنجی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب ۰/۴ و ۰/۴۹ حاصل شد و برای سال اعتبارسنجی ۱۳۹۳، ۰/۴۶ بدست آمد. در جدول(۳) عوامل گیاهی مدل ارائه شده‌اند. در این جدول M عوامل اندازه گیری شده، C عوامل واسنجی، D مقدار پیش فرض مدل و L مقدار برگرفته از منابع می باشد.

جدول ۳-عوامل گیاهی مدل برای گندم و منبع استخراج اطلاعات

		نحوه تعیین مقادیر	واحد
ضریب گیاهی تبخیر و تعرق	۱/۱۳	C	-
پتانسیل آب برگ در شروع بسته شدن روزنه	-۱۶۷۰	L	J kg-1
پتانسیل آب برگ در نقطه پژمردگی	-۲۵۰۰	L	J kg-1
ضریب تعرق ماده خشک بالای سطح زمین (BTR)	۲/۴	L	kPa kg m-3
راندمان مصرف تشعشع حداکثر	۰/۰۰۳	L	kg MJ-1
درجه روز جوانه‌زنی	۱۳۰	M	° C-days
درجه روز حداکثر رشد ریشه	۲۰۰۰	M	° C-days
درجه روز پایان رشد رویشی گیاه	۱۰۰۰	M	°C-days
درجه روز شروع گلدهی	۱۳۱۶	M	° C-days
درجه روز شروع پرشدن دانه	۱۶۲۵	M	° C-days
درجه روز رسیدگی فیزیولوژیکی	۲۱۷۰	M	° C-days
درجه روز دوام برگ	۱۹۰۰	D	° C-days
حداکثر عمق ریشه	۰/۹۶	M	m
دمای پایه	۴	M	° C
دمای قطع	۴۴	M	° C
ماکزیمم سطح برگ	۰/۸	M	m2 m-2

M: عوامل اندازه‌گیری شده، C: عوامل واسنجی، D: مقدار پیش فرض مدل و L برگرفته از منبع می باشد.

نتایج آنالیز حساسیت و یا به عبارتی عوامل حساس مدل حاکی از آن بود که سطح ویژه برگ[1] و ضریب تعرق ماده خشک بالای سطح زمین[2] می باشند. یادآور می‌شود که عواملی که برای واسنجی انتخاب شدند، معادل عوامل حساس ذکر شده هستند. در جدول(۴) میزان عملکرد دانه در هر سه سال زراعی مشخص گردیده است.

براساس شاخص‌های آماری اندازه‌گیری‌شده (جدول ۵)، در سال‌های واسنجی میانگین مقادیر Crm و nRMSE برای عملکرد دانه به ترتیب ۰/۰۶ و ۹/۳ درصد محاسبه شدند. در سال اعتبارسنجی (۱۳۹۳)، مقدار nRMSE برای عملکرد دانه ۹/۷ درصد حاصل شد و Crm این عامل معادل ۰/۱۱ بدست آمد. بر اساس این شاخص‌ها می‌توان گفت که مدل CropSyst ، مدلی مناسب برای شبیه‌سازی میزان عملکرد محصول گندم در این منطقه می‌باشد.

[1] Specific leaf area

[2] Above Ground Biomass transpiration coefficient for annuals

جدول ۴- مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده ($kg\ ha^{-1}$) در سال‌های زراعی مختلف

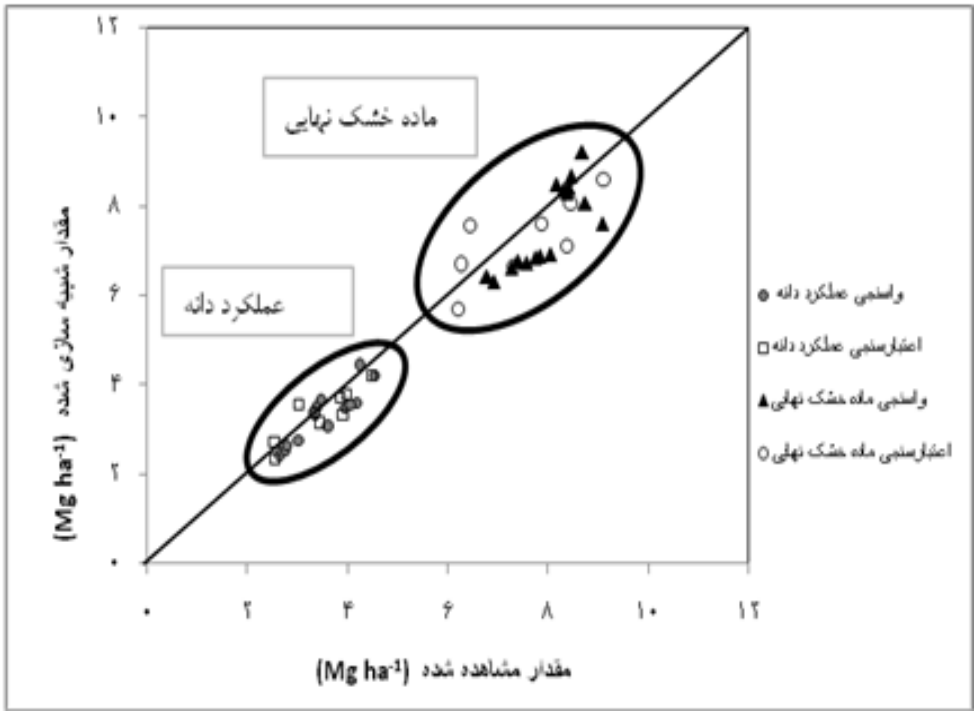
سال	عاملگیاهی	مقدارمشاهدهشده	مقدارشبیه‌سازی شده
۱۳۹۱	ماده خشک نهایی	۸۱۹۵	۷۹۵۴
	عملکرد دانه	۳۲۴۳	۳۱۴۹
۱۳۹۲	ماده خشک نهایی	۷۷۹۳	۷۱۵۳
	عملکرد دانه	۳۸۵۷	۳۵۳۸
۱۳۹۳	ماده خشک نهایی	۷۵۱۰	۷۲۵۹
	عملکرد دانه	۳۴۷۹	۳۳۶۰

جدول ۵- نتایج شاخص‌های آماری اندازه‌گیری شده برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل

	Crm	RMSE ($kg\ ha^{-1}$)	nRMSE (%)
واسنجی (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲)			
ماده خشک نهایی	۰/۰۱	۶۵۹	۸/۳
عملکرد دانه	۰/۰۶	۳۳۱	۹/۳
اعتبار سنجی (۱۳۹۳)			
ماده خشک نهایی	۰/۰۳	۷۲۲	۹/۶
عملکرد دانه	۰/۱۱	۳۳۶	۹/۷

در شکل (۱) خط یک به یک بین مقادیر شبیه-سازی و اندازه‌گیری شده برای مقدار عملکرد دانه و ماده خشک بالای سطح زمین برای سال‌های واسنجی و اعتبارسنجی رسم شده است که شامل ۷۲ نقطه می‌باشد. مقدار محاسبه شده nRMSE برابر ۹/۸ درصد و Crm معادل ۰/۰۴ می‌باشد. با توجه به شکل نقاط، عمدتا در اطراف خط یک به یک به‌طرز مناسبی توزیع یافته‌اند. از طرفی باتوجه به اینکه نقاط به زیر این خط متمایل‌تر هستند، می‌توان گفت که مدل قدری کم‌برآوردی دارد. در شکل یک، همبستگی بین مقادیر تخمینی و مشاهده ای را نشان داده است. در حالت ایده ال باید این مقادیر در اطراف خط راست ۴۵ درجه توزیع شده باشند. در این صورت مبین این حقیقت است که تخمین ناریب بوده است. در این تحقیق از این روش برای بررسی تغییر پذیری مقادیر مشاهده ای و تخمینی نسبت به هم استفاده شده است.

شکل ۱- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده توسط خط یک به یک



نتیجه‌گیری کلی

با توجه به شاخص‌های آماری بدست آمده (nRMSE برابر ۹/۸ درصد و Crm معادل ۰/۰۴)، این مدل در مورد محصول گندم در منطقه زرقان فارس از کارایی مناسب برخوردار است. براین اساس علاوه بر محصول گندم می‌توان از این مدل برای سایر محصولات، پس از انجام واسنجی و اعتبارسنجی نیز استفاده کرد. با توجه به اهمیت آب در منطقه و هزینه متحمل شده بر کشاورز می‌توان سناریوهای مختلف مدیریت آب را با استفاده از مدل‌های گیاهی شبیه‌سازی کرد و مدیریت بهینه از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی را به تصمیم-گیرندگان امر معرفی کرد. در صورتی‌که تحقیقات در مقیاس وسیع‌تر انجام شود؛ با توجه به امکان ارتباط با سامانه موقعیت جغرافیایی (GIS) امکان توصیه سناریوهای مناسب از نظر اقتصادی به کشاورزان یک منطقه وسیع (کل استان فارس) وجود خواهد داشت.

منابع

دهقانیان و همکاران.۱۳۹۳. ارزیابی بازدهی مصرف آب بعنوان معیارهای انتخاب در تولید ارقام متحمل به خشکی گندم. طرح تحقیقاتی در استان فارس.

دستمالچی، ع. سلطانی، ا. لطیفی ن. و زینلی، ا. ۱۳۹۰. برآورد پارامترها و ارزیابی مدل CropSyst-Wheat برای ارقام استان گلستان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. (۲)۴. ص ۸۰-۶۳.

هنر، ت. ثابت سروستانی، ع. کامگار حقیقی، ع. و شمس، ش. ۱۳۹۰. واسنجی مدل گیاهی CropSyst جهت تخمین عملکرد و شبیه‌سازی رشد گیاه کلزا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). دانشگاه فردوسی مشهد. (۳)۲۵. ص ۶۰۵-۵۹۳.

Abraha, M.G., and Savage M.J. 2007. The soil water balance of rainfed and irrigated oats, Italian rye grass and rye using the CropSystmodel.Irrigation Science, 26:203-212.

Bannayan, M., Hoogenboom G. 2006. Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model.Field Crops Research, 111:290–302.

Bonfante, A., A. Basile, M. Acutis, R. De. Mascellis, P. Manna, A. Perego and F. Terrible. 2010. SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in northern italy. Agricultural Water Management 97: 1051-1062.

Confalonieri, R., Bellocchi G., BregaglioS., Donatelli M., and Acutis M. 2010. Comparison of sensitivity analysis techniques: A case study with the rice model WARM. Ecological Modelling, 221:1897-1906.

Jamieson, P.D., Porter J.R., and Wilson D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, 27:337–350.

Kato, Y., Kamoshita A., Yamagishi J., and Abe J. 2006. Growth of three rice (Oryza sativa L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply. I. Nitrogen content and dry matter production. Plant Production Science. 9 (4):422-434.

Khaledian, M.R., J.C. Mailhol, P. Ruelle and P. Rosique. 2009. Adapting PILOTE model for water and yield management under direct seeding system: The case of corn and durum wheat in a Mediterranean context. Agricultural Water Management 96: 757–770.

Loomis, R.S., and Ng, N. 1984. Simulation of Growth and Yield for the Potato Crop. Simulation Monographs. Pudoc (Centre for Agricultural Publishing and Documentation), Wageningen, 147 pp

Stockle, C.O., Donatelli M., and Nelson R. 2003. CropSyst, A cropping system simulation model. European Journal of Agronomy, 18(3-4):289-307.Stockle, C.O., Martin S., and Campbell G.S. 2014. CropSyst, a cropping systems simulation model: water/nitrogen budgets and crop yield. Agricultural Systems. 46:335-339.Ventrella, D., and Rinalda M. 1999. Comparison between two simulation models to evaluate cropping systems in Southern Italy: yield response and soil water dynamics. AgricolturalMediterranea, 129:99-110.

Simulation of Wheat Yield under Different Irrigation Management by CropSyst in ZARAGHAN, FARS Province

Farzaneh Zarei[1], Naser Ganji Khorramdel[2] *

Abstract

Water is a limited and also essential source for the human societies and ecological systems which depend on it. This valuable source is decreasing rapidly because of population growth and economic development in many countries and regions of the world. In such situation, it is needed to increase water productivity. Plant models are used for optimization of management operations in variable environment. The model acts as an analyst tool on the fertility of the product and the environment. Crop growth model CropSyst is a comprehensive sample of a simulated model which is used in many region of the world so far. Due to the need reduction of visits and direct measurements in field, crop growth models can become effective in optimisation of water irrigation management and fertilization. This study is performed in the form of split plot plan based on RCB with two main factors, cultivar with ۳levels and irrigation regimes with ۴levels and ۳repetitions. Cultivars are commercial cultivars named Falat, Shiraz and Chamran. Irrigation regimes were set based on the distance to the lateral pipe. In this study ۳meter distances are considered for Irrigation regimes. Accordingly, moisture regimes were 5, 8, 11, 14 meter distances from lateral pipe. The experiment was done in the crop years 2013, 2014 and 2015. The data of the year 2013 and 2014 was used for calibration and 2015 for the validation of the model. nRMSE and Crm for the grain performance in calibration years was obtained 9.3 and 0.06 percent respectively and for the validation year 9.7 and 0.11 percent respectively. According to nRMSE statistic for simulation of grain performance, Crop growth model CropSyst works in the best performance.

Key words: Crop Growth Model, CropSyst, Wheat, Management, Scenario, Simulation, Crop Yeild.

[1] Ms.c Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University. Email: Zarei.Farzaneh۱۲@gmail.com

[2] Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University. Arak. ۸۳۴۹-۸-۳۸۱۵۶. Phone: ۰۹۱۲۳۹۷۹۳۹۶, Email: naser.ganjikhorramdel@gmail.com (Correspondig Author.(