Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 711-722

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۷۲۲-۷۱۱

# شبیه‌سازی بهره‌وری آب در برنج تحت مدیریت کم‌آبیاری و نیتروژن با استفاده از مدل گیاهی CropSyst

مجتبی میرآخوری[۱]- بهرام میرشکاری[۲*]- ابراهیم امیری[۳]- فرزاد پاک‌نژاد[۴]- مهرداد یارنیا[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۰۳

## چکیده

استفاده از روش کم‌آبیاری از استراتژی‌های مورد استفاده در سال‌های اخیر برای کسب حداکثر سود محصولات، به این‌منظور تحقیقی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار شامل سه رژیم آبیاری (غرقاب دائم=I1 ، هر پنج روز یکبار = I2، هر هشت روز یکبار = I3) به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر کود نیتروژن در چهار سطح (صفر=N1، ۹۰= N2، ۱۲۰= N3 و ۱۵۰= N4 کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره) به‌عنوان عامل فرعی در مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اجرا گردید . نتایج نشان داد که مدل CropSyst با توجه به ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده هفت و ۱۵درصد و ضریب تبیین ۰/۷۳ و ۰/۸۴ در شبیه‌سازی عملکرد دانه از دقت مناسبی برخوردار است. نتایج ارزیابی جهت شبیه‌سازی بهره‌وری آب بر اساس میزان تعرق برای هر دو سال نشان داد که تیمار $I_3N_2$ و$I_3N_3$ دارای بیش‌ترین مقدار بودند . نتایج ارزیابی مدل CropSyst جهت شبیه‌سازی بهره‌وری آب بر اساس میزان آب مصرفی و بارش برای هر دو سال نشان داد که تیمار $I_3N_4$و$I_3N_3$ دارای بیش‌ترین مقدار بودند. نتایج بررسی مقدار تبخیر در دوره ۲ساله مورد مطالعه نشان داد که در مدیریت‌های آبیاری غرقاب ۳۹درصد از تبخیر و تعرق صرف تبخیر می‌شود، در حالی‌که مقدار آن در مدیریت‌های آبیاری متناوب پنج و هشت روز یکبار به‌ترتیب ۳۵درصد و ۳۲درصد بود. در مدیریت‌های کود نیتروژن شاهد، ۱۵۰،۱۲۰،۹۰کیلوگرم درهکتار به‌ترتیب ۳۹ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۲درصد از تبخیر و تعرق صرف تبخیر می‌شود. این مطالب حاکی از این است که باتوجه به شبیه‌سازی خوب مدل‌ها و هم‌خوانی حداکثری داده‌ها ،اگر مدیریت با هدف حداکثر کردن بهره‌وری آب مصرفی باشد، می‌توانیم از این مدل‌ها به‌عنوان ابزاری جهت پشتیبانی و برنامه‌ریزی استفاده کنیم.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری نوبتی، بهره‌وری آب، شبیه‌سازی، مدیریت آب و کود

## مقدمه

حدود ۷۵درصد از کل برنج تولید شده در قاره آسیا از اراضی پست شالیزاری به‌دست می‌آید که عموماً تحت آبیاری با روش غرقاب دائم می‌باشد، این روش از تولید باعث افزایش نیاز واقعی آب مصرفی شده است. در این شرایط مهم‌ترین چالش در رابطه با تولید برنج، ذخیره آب، افزایش بهره‌وری آب و تولید برنج بیش‌تر با آب کمتر است (Bouman *et al.,* 2005). اخیراً سیستم‌های مختلف تولید برنج که در آن می‌توان با آب کمتر، برنج بیش‌تری تولید نمود در منطقه آسیا مورد استفاده قرار گرفته است (Bouman *et al.,* 2005; Razavipour and Nahvi 2006; Bolinga *et al.,* 2011; Rezaei *et al.,* 2013; Pala *et al.,* 1996).

تلاش‌های زیادی برای کاهش مصرف آب در اراضی برنج‌کاری ایران انجام گرفته است و گزارشات متعددی درباره تأثیر روش کم‌آبیاری در کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب برنج منتشر شده است (Pirmoradian *et al.,*2004; Razavipour *et al.,* 2000; Salami and Abdi 2003). بر اساس این گزارشات، با تغییر شیوه آبیاری از غرقابی به آبیاری تناوبی می‌توان بدون کاهش عملکرد و یا با درصد قابل‌قبولی از آن در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و بازده کاربرد آب را به مقدار قابل‌توجهی افزایش داد. (Asadi *et al.,* 2003; Bouman *et al.,* 2005; Barker *et al.,* 2004).

این گزارشات نشان داد ایجاد غرقاب دائم نه‌تنها یک ضرورت

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان
۴- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
۵- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: Mirshekari@iaut.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v14i4.46515

www.SID.ir

Archive of SID



نیست بلکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که حصول بازده مصرف بالاتر حائز اهمیت است، مقرون به‌صرفه‌تر است که با پذیرش هزینه‌های مدیریتی و کاهش زمان یا مقدار آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Razavipour *et al.*,2000). هم‌چنین در مواردی تنش ملایم آبی برای رسیدن به عملکرد بالاتر نیز توصیه شده است (Asadi *et al.*, 2003; Salami and Abdi 2003). تنش‌های مقطعی در برخی از دوره‌های فیزیولوژیکی برنج باعث افزایش عملکرد در مقایسه با حالت غرقاب دائم می‌شود، گرچه با افزایش تنش، عملکرد کاهش می‌یابد (Mohseni*et al.*, 2008; Ma and Lu, 2003).

بهبود مصرف آب در کشاورزی به‌دلیل پیچیدگی‌های موجود در فرآیند تولید و بهره‌برداری، در مقایسه با سایر بخش‌های مصرف کننده آب از اهمیت بالایی برخوردار است و کاربرد بهینه آب آبیاری و نیتروژن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت آبی مواجه می‌باشند، از اهداف مهم در این بخش محسوب می‌شود. برای بازه‌های زمانی و مکانی مختلف، تعیین سطوح متفاوت عملکرد از طریق آزمایش‌های مزرعه‌ای مشکل است. در این راستا مدل‌های شبیه‌ساز رایانه‌ای می‌توانند، به‌عنوان ابزار مناسبی در مطالعه سیستم کشت مورد استفاده قرار گرفته و زمینه تدوین و تبیین الگوی بهینه مصرف این دو نهاده را فراهم نمایند؛ لذا استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی راه‌کاری است که امکان بررسی بیلان آبی، شبیه‌سازی فرآیند رشد و مطالعه سناریوهای مختلف مدیریتی را فراهم می‌نماید.( Honer *et al.*, 2010; Bannayan and Hoogenboom 2009; Razavipour*et al.*,2000).

تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد[1]،که در آن عملکرد قابل‌حصول بدون محدودیت مواد مغذی وآب باعملکرد واقعی مورد مقایسه قرار می‌گیرد، می‌تواند مشخص گردد که چقدراز عملکرد می‌تواند توسط کاهش این محدودیت افزایش پیدا کند. تجزیه و تحلیل سیستم‌ها و شبیه‌سازی مدل‌سازی عملکرد و رشددر رابطه با آزمایشات مزرعه‌ای و تحلیل خلاء عملکرد در مناطق کشت برنج آبی در آسیا مورد استفاده قرار گرفته است (Bolinga *et al.*, 2011). تجزیه و تحلیل محدودیت‌های عملکرد با استفاده ازآزمایش و مدل‌سازی رشد محصول می‌تواند برای کمی‌کردن نقش عوامل محدودکننده در تعیین عملکرد محصولات زراعی مفید باشد (Bouman *et al.*, 2007). یکی از روش‌های مؤثر برای رسیدن به این اهداف، استفاده از مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی نظیر Cropsyst است تا بتواند با انجام محاسباتی که توسط آمار و داده‌های وضعیت آب و خاک و هوا و سیستم مدیریت و ژنتیک گیاه، به‌عنوان داده‌های ورودی در اختیار دارد، نتایج صحیحی را به‌دست دهد. با استفاده از این مدل و نتایج آن می‌توان از مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژن و آب جلوگیری نمود (Beni *et al.*, 2007; Saadati *et al.*, 2012).

از سال Stöckle *et al,* 1994 توسعه مدل CropSyst را آغازگردند .مدل CropSyst در طول ۱۵سال گذشته توسعه پیدا کرده و تبدیل به یک مدل با قابلیت شبیه‌سازی چندساله و چندگیاهی و توانایی برقراری ارتباط با نرم‌افزار GIS شده است که شامل برنامه‌های شبیه‌ساز سیستم کشت (CropSyst)، بازسازی داده‌های هواشناسی (ClimGen)، برنامه همراه با GIS (ArcCS)، مدل آب‌پخشان (CropSyst watershed) و چندین برنامه مفید دیگر است (Honer *et al.*, 2010).

این مدل برای مناطق مختلف و در موارد متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (Singh *et al.*, 2008). در جنوب شرقی استرالیا، مدل CropSyst توانست فنولوژی، ماده خشک و عملکرد گندم، نخود سبز و خردل را به خوبی شبیه‌سازی کند (Donatelli *et al.*, 1996). در شمال ایتالیا، عملکرد گیاه برنج توسط این مدل به‌خوبی شبیه‌سازی شده است. ارزیابی بیلان آب در مدل CropSyst برای سیستم‌های مختلف کشت در منطقه جنوب ایتالیا نشان داد که مدل عملکرد خوبی داشته است (Bocchi *et al.*, 2001). ارزیابی بیلان نیتروژن در مدل CropSyst بر روی گیاه ذرت، نشان داد که مطابقت خوبی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده رطوبت خاک و نیترات وجود دارد. هم‌چنین نتایج مشابهی، برای گیاه ذرت در مرکز ایتالیا به‌دست آمد (Dastmalchi*et al.*, 2009). Singh *et al,* 2008 مدل‌های CERES-Wheat و CropSyst را در شبیه‌سازی اثر توأمان آب و نیتروژن بر روی گیاه گندم ارزیابی کردند. نتایج حاصل نشان داد که مدل CropSyst عملکرد و ماده خشک گندم را با دقت بیش‌تری نسبت به مدل CERES-Wheat شبیه‌سازی می‌کند. بر این اساس با توجه به اهمیت کشت برنج در استان گیلان و با توجه به ضرورت استفاده بهینه و صرفه‌جویی در نهاده‌های کشاورزی و لزوم استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه در مدیریت آبیاری شالیزار، این آزمایش با هدف یافتن بهترین مدیریت آبیاری و نیتروژن و ارزیابی توانایی استفاده از مدل CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد برنج تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و نیتروژن انجام شد .

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کود نیتروژن و آبیاری نوبتی بر بهره‌وری آب و عملکرد برنج رقم هیبرید دیلم (بهار) آزمایشی در سال‌های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳در مزرعه مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت با مختصات جغرافیایی ۳۷درجه و ۱۲دقیقه عرض شمالی و ۴۹درجه و ۳۸دقیقه طول شرقی با ارتفاع هفت‌متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل

1-Yield Gap

www.SID.ir

Archive of SID



تصادفی درسه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش سه مدیریت آبیاری (غرقاب دائم، دور پنج و هشت روز) به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر کود نیتروژن در چهار سطح (۰،۹۰و۱۲۰و۱۵۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

برای تعیین خصوصیات خاک محل آزمایش، پیش از نشاءکاری و قبل از اضافه‌نمودن کودها چند نمونه تصادفی از عمق صفر-۳۰سانتی‌متری خاک توسط آگر تهیه و پس از مخلوط‌کردن، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه خاک‌شناسی بخش تحقیقات خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج ارسال گردید که نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جداول ۱و۲ نشان داده شده است.

**جدول۱- مشخصات فیزیکی خاک**

**Table 1-The soil physical properties**

| عمق خاک Soil depth (cm) | وزن مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$) | درصد رس Clay (٪) | درصد سیلت Silt (٪) | درصد شن Sand (٪) |
|---|---|---|---|---|
| 0 -30 | 1.32 | 47 | 44 | 9 |

**جدول ۲- نتایج آزمایش حاصلخیزی خاک مزرعه**

**Table 2-The test results field soil fertility**

| عمق خاک Soil depth (cm) | اسیدیته گل اشباع pH of paste | نیتروژن کل Total N(٪) | کربن آلی O. C(٪) | فسفر قابلجذب P( ppm) | پتاسیم قابل جذب K (ppm) | ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq/100g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 -30 | 7.2 | 0.13 | 1.3 | 11 | 188 | 31 |

طرح با آماده‌سازی زمین خزانه طبق روال مرسوم در منطقه در اول اردیبهشت سال‌های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ شروع گردید. عملیات مرزبندی و احداث جوی‌های آبیاری انجام شد. اولین نوبت کوددهی نیتروژن در تاریخ ۱۷خردادماه، دومین نوبت کوددهی در تاریخ ۲۹تیرماه و آخرین مرحله کوددهی در تاریخ ۱۷مردادماه سال‌های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳بوده است. حدود ۲۰روز بعد از نشاءکاری مدیریت آبیاری اعمال گردید. به‌منظور اندازه‌گیری آب ورودی در هر کرت از کنتور استفاده شد و در هر نوبت آبیاری (غرقاب دائم، دور پنج و هشت روز )، آب ورودی به‌طور دقیق ثبت شد. عمق آبیاری غرقاب دائم در طی دوره رشد حدود پنج سانتی‌متر بود. در هر دو سال زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ پس از مشاهده علامت رسیدگی، زرد شدن بوته و سفت‌شدن دانه‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، در تاریخ ۳۱شهریورماه برداشت انجام گردید.

به‌منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه برنج از مدل گیاهی CropSyst که یک مدل شبیه‌سازی سیستم‌های کشت چندساله، چندمحصوله و با گام زمانی روزانه است استفاده شد. برای اجرای مدل از چهار دسته داده به‌عنوان ورودی شامل فایل‌های موقعیت، خاک، گیاه و مدیریت استفاده شد(Dastmalchi*et al.*, 2009) .تعریف و دامنه تغییرات تمام پارامترهای موردنیاز مدل در راهنمای مدل بیان شده است (Stöckle*et al.*, 1996; Dastmalchi*et al.*, 2009). بعد از واسنجی مدل و تعیین ضرایب بهینه گیاهی (جدول۳)، اعتبار سنجی مدل با استفاده از تیمارهای سال دوم انجام گرفت. برای ارزیابی قابل‌اعتماد بودن مدل از تحلیل خطاهای باقی مانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده شد. نمودار پراکنش داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و خطوط ۱:۱ نیز به‌منظور نشان‌دادن تناسب کلی مدل مورد استفاده قرار گرفت. اگر مقادیر زیر خط ۱:۱ قرار گیرند به این معناست که مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از مقادیر مشاهده شده است، اگر روی خط قرار گیرند، یعنی مقادیر شبیه‌سازی شده برابر با مقادیر مشاهده شده است و چنانچه مقادیر در بالای خط قرار گیرند، یعنی مقادیر شبیه‌سازی شده بزرگ‌تر از مقادیر مشاهده شده است. شاخص‌های آماری لازم برای این‌کار عبارت‌اند از :(Tanner and Sinclair, 1983)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{n}\right]^{1/2} \quad (۱)$$

$$RMSEn = \frac{R}{} \quad (۲)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2} \quad (۳)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^{n}(Q_i -} {\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2} \quad (۴)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n}}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \quad (۵)$$

که درآن‌ها Pi مقادیر پیش‌بینی شده و Qi مقادیراندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه های به‌کار رفته مقدارمتوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در حالت اُپتیمم یا حالتی که مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند، برابر با صفر هستند، آشکار است هرچه مقدار این دو پارامتر به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل دقیق‌تر است. چنانچه مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر از

www.SID.ir

Archive of SID



۱۰درصد باشد، نشان‌دهنده حالت عالی شبیه‌سازی و بین ۲۰-۱۰درصد حالت خوب، بین ۳۰-۲۰درصد حالت متوسط و بالای ۳۰درصد حالت ضعیف شبیه‌سازی می‌باشد.هرچه مقدار $R^2$ حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع و خط ۱:۱ به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده همبستگی بالا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است و توانایی بالای مدل را در شبیه‌سازی نشان می‌دهد. از طرفی لازم به توضیح است که در ارزیابی توانایی مدل‌ها برای پیش‌بینی گفته شده است که مقدار $R^2$ باید بیش از ۶۰درصد باشد (Amiri*et al.,* 2011; 2013).

در روابط زیر $WP_T$ بهره‌وری آب بر اساس میزان تعرق (کیلوگرم بر مترمکعب)، $WP_{ET}$ بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیرتعرق (کیلوگرم بر مترمکعب)، $WP_{I+R}$بهره‌وری آب بر اساس مجموع آب مصرفی و بارش (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)، T مقدار تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل (میلی‌متر)، E مقدار تبخیر شبیه‌سازی شده توسط مدل (میلی‌متر)، I مقدار آبیاری (میلی‌متر) و R مقدار بارش (میلی‌متر) می‌باشند (Saadati *et al.,* 2012). هم‌چنین مقدار بارندگی، تبخیر، میانگین حدکثر دمای روزانه و آبیاری در سال‌های مورد مطالعه در جدول (۴) آمده است.

**جدول۳- پارامترهای گیاهی استفاده شده در مدل CropSyst جهت شبیه‌سازی عملکرد گیاه برنج**

**Table 3- Some relevant crop parameters used in CropSyst model for Rice simulation**

| پارامترهای گیاهی | Crop Parameters | Amount | Unit |
|---|---|---|---|
| دمای بهینه روزانه برای رشد ($T_{opt}$) | Optimum temperature ($T_{opt}$) | 27 | $C^0$ |
| حداکثر جذب آب | Maximum water uptake | 10 | $mmday^{-1}$ |
| حداکثر عمق ریشه | Maximum rooting depth | 1.5 | m |
| حداکثر شاخص سطح برگ مورد انتظار | Maximum expected leaf area index (LAI) | 5.9 | $m^2m^{-2}$ |
| سطح ویژه برگ (SLA) | Specific leaf area (SLA) | 30 | $m^2\ kg^{-1}$ |
| دوام برگ | Leaf duration | 750 | $C^0$ -days |
| ضریب خاموشی تابش خورشیدی (k) | Extinction coefficient for solar radiation (k) | 0.5 | - |
| ضریب تبخیرتعرق گیاه در حالت پوشش کامل | Coefficient ET | 1.05 | - |
| درجه روز جوانه‌زنی | Emergence Stage | 135 | $C^0$ -days |
| درجه روز حداکثر شاخص سطح برگ | Peak LAI | 1350 | $C^0$ -days |
| درجه روز گلدهی | Begin flowering | 1290 | $C^0$ -days |
| درجه روز شروع پر شدن دانه | Begin grain filling | 1300 | $C^0$ -days |
| درجه روز رسیدگی فیزیولوژیکی | Physiological maturity | 1900 | $C^0$ -days |
| دمای پایه | Temperature Basic | 12 | $C^0$ |
| ضریب جذب نیتروژن | Coefficient nitrogen absorption | 1.12 | - |

**جدول٤-مقادیر آب آبیاری،تبخیر،حداکثر دمای روزانه و بارندگی در سال۱۳۹۲ و ۱۳۹۳**

**Table4-Amounts Water Irrigation and Precipitation and Evaporation and Max Temperature in the 2013 and 2014**

| تیمارها Treatments | | ۱۳۹۳ 2013 | | | | ۱۳۹۲ 2014 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| نیتروژن | آبیاری | میانگین حداکثر دمای روزانه | تبخیر | بارندگی | آبیاری | میانگین حداکثر دمای روزانه | تبخیر | بارندگی | آبیاری |
| Nitrogen | Irrigation | Max T | E | P | I | Max T | E | P | I |
| $N_1$ | | | | | 804 | | | | 744 |
| $N_2$ | $I_1$ | | | | 801 | | | | 724 |
| $N_3$ | | | | | 789 | | | | 712 |
| $N_4$ | | | | | 759 | | | | 732 |
| $N_1$ | | | | | 726 | | | | 701 |
| $N_2$ | $I_2$ | 28 | 312 | 59 | 741 | 27 | 291 | 79 | 703 |
| $N_3$ | | | | | 746 | | | | 701 |
| $N_4$ | | | | | 746 | | | | 707 |
| $N_1$ | | | | | 419 | | | | 469 |
| $N_2$ | $I_3$ | | | | 459 | | | | 459 |
| $N_3$ | | | | | 496 | | | | 461 |
| $N_4$ | | | | | 466 | | | | 429 |

$$WP_{ET}=Y/ET \quad (۷) \qquad WP_T=Y/T \quad (۶)$$

www.SID.ir

Archive of SID



$$WP_{I+R} = Y/I+R \quad (۸)$$

پس از وارد نمودن اطلاعات مورد نیاز مدل CropSyst به‌صورت فایل‌های جداگانه، مدل اجرا گردید و داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده مورد بررسی قرار گرفتند. جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، برای بررسی دقت مدل CropSyst از نسخه ۳ این نرم‌افزاراستفاده گردید و با استفاده از شاخص‌های آماری ذکر شده، دقت این مدل مورد ارزیابی قرار گرفت.

## نتایج و بحث

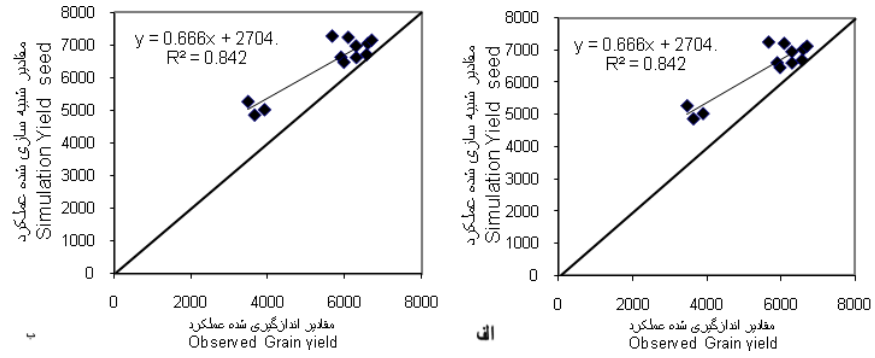
### نتایج واسنجی مدل

اطلاعات ورودی مدل درقالب فایل‌های هواشناسی، اطلاعات گیاه و خاک و مدیریت آماده‌سازی شد . مدل با استفاده از داده‌های اندازگیری درسال ۱۳۹۲ واسنجی شد و ارزیابی مدل توسط داده‌های سال۱۳۹۳ انجام گرفت. با تغییر ضرایب واسنجی مدل و بر اساس بهترین نتایج خروجی ضرایب واسنجی به‌صورت مقادیر گزارش شده در جدول ۶ به‌دست آمد .

### نتایج ارزیابی مدل

مقایسه مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد و حداکثر شاخص سطح برگ توسط مدل CropSyst در هر دو سال با خط یک‌به‌یک در شکل های۱و۲ نشان داده شده است. همان‌طوری‌که در شکل‌ها دیده می‌شود مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده در بیش‌تر تیمارها به‌ویژه برای سطوح نیتروژن بالاتر (۶۰ و ۹۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار) کمتر از مقدار مشاهده شده بوده است. که این مسئله می‌تواند ناشی از این باشد که در واسنجی مدل بحث نیتروژن خوب در نظر گرفته نشده است. ولی در دامنه عملکردهای زراعی خارج از محدوده ۴۵۰۰ تا ۵۵۰۰کیلوگرم بر هکتار و در محدوده‌ی داده‌های این مطالعه مدل CropSyst نتایج رضایت‌بخشی را نشان داد.هم‌چنین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. در نتیجه مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی عملکرد و شاخص سطح برگ در محدوده‌ی داده‌های مورد مطالعه در مدل CropSyst اختلاف ناچیزی داشتند. تجزیه و تحلیل آماری از طریق آزمون F برای مقایسه خط یک‌به‌یک و خط روند نشان داد که در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. ضریب تبیین ($R^2$) برای سال اول و دوم برابر ۰/۷۳و ۰/۸۴ بود که نشان از مناسب‌بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد. بالا بودن نسبی $R^2$ بیان‌گر پراکندگی پائین داده‌ها می‌باشد که نشان از مناسب‌بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد.

ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه با استفاده از پارامترهای آماری در جداول (۳و۴) نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۴۶۱و ۸۴۷کیلوگرم در هکتار و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌ترتیب هفت و ۱۵درصد به‌دست آمد. در تیمارهای مورد ارزیابی، ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۸۴۷کیلوگرم بر هکتار، ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برابر با ۱۵درصد و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۱۴- به‌دست آمد که به‌ترتیب با مقادیر ۳۸۶کیلوگرم در هکتار، هشت درصد و ۰/۱۲ بیش‌تر از مرحله واسنجی بود که نشان از نزدیک‌بودن مقادیر شبیه‌سازی و اعتبارسنجی می‌باشد.



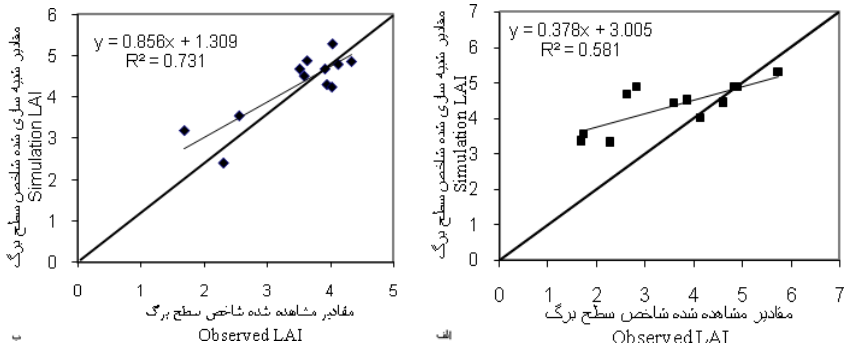

**شکل ۱- الف و ب مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده عملکرد دانه توسط مدل CropSystدر مقابل مقادیر مشاهده شده در سال (۱۳۹۳،۱۳۹۲)**

**Figure1- a,b:Amounts observed and simulated grain yield and line 1: 1 for plant rice in year 2014 ,2013**

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل۲-الف وب مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده شاخص سطح برگ توسط مدل CropSyst در مقابل مقادیر مشاهده شده در سال (۱۳۹۳،۱۳۹۲)**

**Figure 2- a,b: Amounts observed and simulated LAI and line 1: 1 for plant rice in year 2014 ,2013**

کارایی مدل‌سازی (EF) نیز در شرایط واسنجی و ارزیابی به‌ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۸۷ به‌دست آمد. در تحقیقی شبیه‌سازی این مدل در سطوح مختلف نیتروژن بر روی گیاه ذرت انجام شد، شاخص EF در مرحله واسنجی و ارزیابی به‌ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۹۰ به‌دست آمد (Pala *et al.,* 1996). باتوجه به پارامترهای آماری مورد بررسی نشان از شبیه‌سازی مطلوب عملکرد دانه در طول فصل زراعی به‌وسیله مدل دارد که می‌توان از این مدل در برنامه‌ریزی آبیاری و کود نیتروژن برنج استفاده نمود. Pala *et al,* 1996 جهت تشخیص کارایی مدل CropSyst در شبیه‌سازی تولید ماده خشک و عملکرد در واکنش به آب و نیتروژن محصولات مجزا در یک فصل جداگانه و تحت شرایط آزمایشی، ترتیب وسیعی از شرایط خشک تا کاملاً آبیاری شده و از مقدار کم نیتروژن موجود در خاک تا شرایط عالی را مورد بررسی قرار دادند. در این ارزیابی‌ها، مقدار RMSE برابر با ۰/۴۴۳تن بر هکتار گزارش شد. هم‌چنین در تحقیقات Belder *et al*, 2005 برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه گندم توسط مدل CropSyst مقدار RMSE برابر با ۰/۲۱مگاگرم بر هکتار و مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۲ به‌دست آمد. در تحقیقات Mohseni *et al,* 2008 برای شبیه‌سازی اثر آب و نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری آب گندم عملکرد دانه‌ی شبیه‌سازی شده سازگاری مطلوبی با مقادیر واقعی داشته به‌طوری‌که RMSE آن در طول سه فصل رشد معادل ۰/۴۱، ۰/۳۳ و ۰/۳۴تن در هکتار به‌دست آمد. در تحقیقات Confalonieri and Bocchi, 2005 بر روی شبیه‌سازی عملکرد گیاه برنج در شمال ایتالیا با استفاده از مدل CropSyst، دامنه‌ی $RMSE_n$ ماده خشک شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای سال واسنجی و ارزیابی به‌ترتیب ۱۱ تا ۲۹درصد و ۱۰ تا ۵۲درصد به‌دست آمد و دامنه‌ی $C_{RM}$ ماده خشک شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای سال واسنجی و ارزیابی به‌ترتیب ۰/۰۳- تا ۰/۱۷ و ۰/۰۲- تا ۰/۱۷ به‌دست آمد.

هم‌چنین در تحقیقات Singh *et al,* 2008، بر روی ارزیابی مدل‌های CERES-Wheat و CropSyst در شبیه‌سازی اثر توأمان آب و نیتروژن بر روی گیاه گندم، مقدار RMSE برای شبیه‌سازی عملکرد در مدل CropSyst برابر ۰/۳۶مگاگرم بر هکتار و در مدل CERES-Wheat برابر ۰/۶۳مگاگرم بر هکتار و مقدار RMSE برای شبیه‌سازی ماده خشک در مدل CropSyst برابر ۱/۲۷مگاگرم بر هکتار و در مدل CERES-Wheat برابر ۱/۹۴مگاگرم بر هکتار به‌دست آمد. مقایسه‌ی این نتایج با مقادیر به‌دست آمده در این پژوهش برای گیاه برنج نشان می‌دهد که مدل CropSyst توانسته عملکرد برنج را نیز به خوبی شبیه‌سازی نماید.

تغییرات مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی شده مدل CropSyst در شکل (۳) در هردو سال ارائه شده است، کمترین مقدار عملکرد دانه در شرایط بدون استفاده ازکود نیتروژن و بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در شرایط استفاده از تیمار نیتروژن ۱۲۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار و آبیاری نوبتی هر هشت روز یکبار به‌دست آمد. نتایج نشان داد با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، عملکرد دانه افزایش می‌یابد که مدل نیز کاهش و افزایش مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی شده را به‌خوبی نشان داد.

مقدارعملکرد دانه با افزایش مقدارکود نیتروژن در مدیریت‌های آبیاری افزایش پیدا می‌کند، امادرسطوح بالای نیتروژن ۱۵۰ و ۱۲۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار مقدار آن کمتر اضافه می‌شود. از طرفی درشرایط آبیاری غرقاب، مقدار عملکرد دانه کم می‌شود. به‌عبارتی با تغییر روش آبیاری غرقاب به تیمارهای آبیاری نوبتی( پنج روز و هشت روز یکبار )، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده کمی بیش‌تر می‌باشدکه نشان‌دهنده بیش تر بودن مقدارنیتروژن مصرفی از نیاز غذایی برنج رقم بهار موردارزیابی دراین تحقیق می‌باشد .

www.SID.ir

Archive of SID



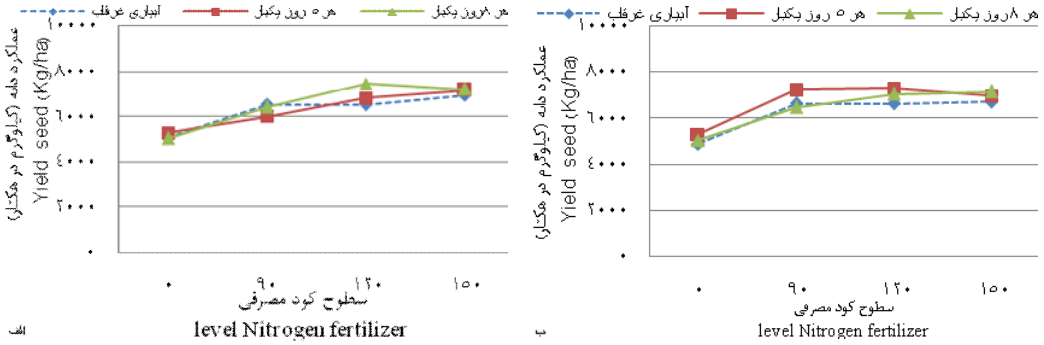
**جدول ٤- نتایج شبیه‌سازی پارامترهای گیاهی مدل CropSyst در سالهای ۱۳۹۲و ۱۳۹۳**

**Table 4- Results crop parameters in cropsyst model for rice simulated in year 2013 and 2014**

| پارامترگیاهی | Plant Parameter | سال | EF | $C_{RM}$ | T test | $RMSE_n$ | RMSE | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد بیولوژیک | Biology Yield(Kg/h) | | 0.98 | 0.06 | 0.13 | 9 | 1264 | 0.77 |
| عملکرددانه | Grain Yield(Kg/h) | | 0.89 | −0.02 | 0.32 | 7 | 461 | 0.73 |
| حداکثر شاخص سطح برگ | LAI | 1392 | 0.22 | 0.2 | 0.04 | 29 | 1 | 0.58 |
| نیتروژن جذب شده | Absorb N(Kg/h) | | 0.75 | −0.2 | 0.02 | 27 | 37 | 0.77 |
| عملکرد بیولوژیک | Biology Yield(Kg/h) | | 0.80 | −0.04 | 0.27 | 10 | 1219 | 0.82 |
| عملکرددانه | Grain Yield(Kg/h) | | 0.87 | −0.14 | 0.03 | 15 | 847 | 0.84 |
| نیتروژن جذب شده | LAI | 1393 | 0.38 | −0.7 | 0.02 | 68 | 82 | 0.82 |
| حداکثر شاخص سطح برگ | Absorb N(Kg/h) | | 0.80 | −0.2 | 0.1 | 23 | 0.8 | 0.73 |

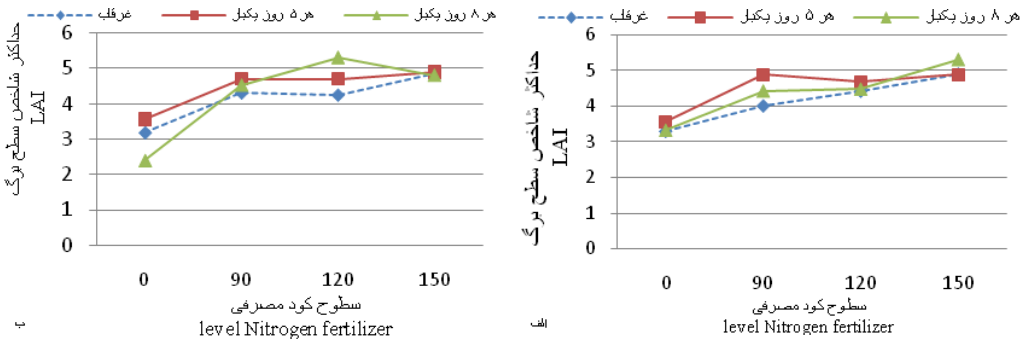
Ttest: تست میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده ، $C_{RM}$: جذر میانگین مربعات خطا، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، $RMSE_n$: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده. R2: ضریب تبیین .EF : کارایی مدل .

T test:Test Amounts measured the mean ،$C_{RM}$ :Coefficient of residual mass ،RMSE :Root mean square error ،$RMSE_n$ :Root mean square error.Normalized R2 :coefficient of determination EF :Efficiency of Model.




**شکل ۳-الف و ب مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد دانه توسط مدل CropSyst در سطوح آبیاری و کود در سالهای ۱۳۹۲و۱۳۹۳**

**Figure 3- a, b.: Amounts simulated grain yield by cropsyst model in levels N & R in year 2013 and 2014**




**شکل ٤- الف و به مقادیر شبیه‌سازی شده حداکثر شاخص سطح برگ توسط مدل CropSyst در سطوح آبیاری و کود در سالهای۱۳۹۲و۱۳۹۳**

**Figure 4- a, b.: Amounts simulated LAI by cropsyst model in levels N & R in year 2013 and 2014**

تغییرات مقدار حداکثر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده مدل CropSyst در شکل (۴) در هر دو سال ارائه شده است. کمترین مقدار حداکثر شاخص سطح برگ در شرایط بدون استفاده از کود نیتروژن و بیش‌ترین مقدار حداکثر شاخص سطح برگ در شرایط استفاده از تیمار نیتروژن ۱۵۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال اول و سال دوم درشرایط استفاده از تیمار نیتروژن ۱۲۰کیلوگرم نیتروژن درهکتار و آبیاری نوبتی هر هشت روز یکبار به‌دست امد.

www.SID.ir

Archive of SID



**شبیه‌سازی بهره‌وری آب**

مدل CropSyst بر اساس نتایج شبیه‌سازی ، میزان بهـره‌وری را بر اساس میزان آب و تشعشع در شکل‌های مختلـف ارائـه مـی‌دهـد. براین اساس مقـادیر بهـره‌وری بـر اسـاس میـزان تعـرق، بهـره‌وری براساس میزان تبخیر و تعرق و بهره‌وری بر اساس مجموع آبیـاری و بارش درتیمارهای مختلف در هر ۲سال در جدول (۶) ارائه شده است.

نتایج نشان داد که تیمار$I_3N_2$ و$I_3N_3$ بیش‌ترین مقـدار بهـره‌وری آب بر اساس میزان تعرق در هر دو سال را دارا بودنـد. بهـره‌وری آب براساس میزان تعرق بر روی مکانسیم گیاه بحث می‌کند و بستگی به نوع گیاه دارد . نتایج نشان داد که تیمار $I_2N_4$ و $I_3N_3$ بیش‌ترین مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق برای هر دو سـال را دارا بودند. بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعـرق بـر روی مسـائل مربوط به خاک و گیاه و سایه‌انداز بحث می‌کند و بستگی به نوع خاک و اقلیم و گیاه دارد. نتایج نشان داد که تیمار $I_3N_4$و$I_3N_3$ بـیش‌تـرین مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان آب مصرفی و بارش برای هـر دو سال را دارا بودند. بهره‌وری آب بر اساس میزان آب مصرفی و بـارش بیش‌تر به راه‌کارهای مدیریتی مربوط مـی‌شـود و بسـتگی بـه روش آبیاری و مقاومت گیاه دارد. این نتیجه بیان‌گر آن است که مکانیسـم گیاه در تولید عملکرد، علی‌رغم کاهش میزان آب در دسترس تا ایـن سطح، موفق بوده است. نتایج نشان داد کـه بـا تغییـر روش آبیـاری غرقاب به آبیاری نوبتی، بهره‌وری آب زیاد و با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، بهره‌وری آب افزایش می‌یابد که مدل نیز کاهش و افـزایش مقدار بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده را به‌خوبی نشان داد. اما در مورد کودهای شاهد درصد خطای مدل بیش‌تر است که هر چقدر بر مقـدار مصرف کود در مدیریت‌های آبیاری افزوده شد، خطای مـدل کـاهش می‌یافت، البتـه در ایـن تحقیـق بـیش‌تـر ارزیـابی بهـره‌وری آب در تیمارهای مختلف بر اساس مجموع آب مصرفی و بارش مدنظر بود.

**جدول ٦- مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSystدر سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳**

**Table 6- Amounts simulated grain yieldandwater productivity via cropsyst model in year 2013 and 2014.**

| پارامترهای شبیه‌سازی شده | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تیمارها | | | بهره‌وری آب | | | بارندگی | آبیاری | تعرق | تبخیر و تعرق | عملکرد دانه |
| نیتروژن | آبیاری | سال | $(WP_{I+ER})$ | $WP_{ET}$ | $(WP_T)$ | | | | | |
| Nitrogen | Irrigation | Year | Water Productivity (kg/m$^2$) | | | Precipitation (mm) | Irrigation (mm) | Transpiration (mm) | ET (mm) | Grain Yield(Kg/h) |
| $N_1$ | $I_1$ | 1392 | 0.61 | 0.94 | 1.53 | 79 | 744 | 330 | 537 | 5053.8 |
| $N_2$ | | | 0.81 | 1.11 | 1.87 | 79 | 724 | 350 | 586 | 6533.6 |
| $N_3$ | | | 0.83 | 1.19 | 1.88 | 79 | 712 | 347 | 550 | 6525.6 |
| $N_4$ | | | 0.86 | 1.28 | 1.92 | 79 | 732 | 363 | 544 | 6953.6 |
| $N_1$ | $I_2$ | | 0.68 | 1.08 | 1.55 | 79 | 701 | 340 | 487 | 5273.3 |
| $N_2$ | | | 0.77 | 1.21 | 1.82 | 79 | 703 | 329 | 495 | 6001 |
| $N_3$ | | | 0.88 | 1.37 | 1.79 | 79 | 701 | 382 | 498 | 6825.9 |
| $N_4$ | | | 0.91 | 1.54 | 1.86 | 79 | 707 | 385 | 464 | 7163.1 |
| $N_1$ | $I_3$ | | 0.92 | 1.17 | 1.86 | 79 | 469 | 270 | 429 | 5024 |
| $N_2$ | | | 1.19 | 1.44 | 2.35 | 79 | 459 | 273 | 444 | 6405 |
| $N_3$ | | | 1.38 | 1.73 | 2.51 | 79 | 461 | 297 | 431 | 7466 |
| $N_4$ | | | 1.42 | 1.47 | 2.18 | 79 | 429 | 331 | 431 | 7213 |
| $N_1$ | $I_1$ | 1393 | 0.56 | ۰/۹۱ | 1.48 | 59 | 804 | 330 | 533 | 4867 |
| $N_2$ | | | 0.77 | ۱/۱۳ | 1.63 | 59 | 801 | 407 | 586 | 6622.6 |
| $N_3$ | | | 0.78 | ۱/۲ | 1.91 | 59 | 789 | 347 | 550 | 6614.6 |
| $N_4$ | | | 0.79 | ۱/۲۳ | 1.86 | 59 | 759 | 360 | 544 | 6705 |
| $N_1$ | $I_2$ | | 0.67 | ۰/۹۶ | 1.65 | 59 | 726 | 319 | 550 | 5276.3 |
| $N_2$ | | | 0.9 | ۱/۳۱ | 2 | 59 | 741 | 362 | 551 | 7225.1 |
| $N_3$ | | | 0.9 | ۱/۴۷ | 1.9 | 59 | 746 | 382 | 493 | 7266 |
| $N_4$ | | | 0.87 | ۱/۳۹ | 1.94 | 59 | 746 | 360 | 502 | 6966.8 |
| $N_1$ | $I_3$ | | 1.05 | ۰/۹۷ | 1.86 | 59 | 419 | 271 | 518 | 5030.1 |
| $N_2$ | | | 1.2 | ۱/۴۸ | 2.03 | 59 | 459 | 318 | 436 | 6470 |
| $N_3$ | | | 1.27 | ۱/۴ | 2.8 | 59 | 496 | 251 | 439 | 7040.4 |
| $N_4$ | | | 1.3 | ۱/۶۶ | 2.1 | 59 | 466 | 330 | 429 | 7140 |

دور آبیاری (غرقاب دائمی =$I_1$، در ۵ روز =$I_2$، در ۸ روز =$I_3$) و کود نیتروژن (N1=0 و N2=90و N3=120 و N4=150 کیلوگرم در هکتار)

Irrigation($I_1$=Continuously flooded، $I_2$=5perday،$I_3$= 8 per day)and N fertilizer(N1=0 ,N2=90, N3=120, N4=150 Kg ha$^{-1}$)

www.SID.ir

Archive of SID



این مطالب حاکی از این است که باتوجه به شبیه‌سازی خوب مدل‌ها و هم‌خوانی حداکثری داده‌ها ،اگر مدیریت با هدف حداکثر کردن بهره‌وری آب مصرفی باشد، می‌توانیم از این مدل‌ها به‌عنوان ابزاری جهت پشتیبانی و برنامه‌ریزی استفاده کنیم.

مقادیر شبیه‌سازی شده تعرق ، تبخیر وتعرق توسط مدل CropSyst در جدول ۶ در طی سال‌های ۱۳۹۲و۱۳۹۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با تغییر روش آبیاری غرقاب به آبیاری نوبتی میزان تعرق کاهش پیدا می‌کند. به‌طوری‌که مقدار آن در مدیریت‌های آبیاری غرقاب ، تناوب پنج و هشت روز به‌طور متوسط به‌ترتیب ۳۶۰ ،۳۴۷ ،۲۹۲میلی‌متربه‌دست آمد. با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، تعرق افزایش می‌یابد که مدل نیز این کاهش و افزایش مقدار تعرق شبیه‌سازی شده را به‌خوبی نشان داد به‌طوری‌که مقدار آ ن در مدیریت‌های کود نیتروژن شاهد ،۹۰ ،۱۲۰ ، ۱۵۰کیلوگرم درهکتار به‌طور متوسط ۳۰۶ ،۳۲۲، ۳۲۶ ،۳۵۰میلی‌متر به‌دست آمد. مقدار تعرق در دوره رشد گیاه تحت تأثیر وضعیت رطوبتی، کم آبی و میزان پوشش گیاهی می‌باشد .

نتایج بررسی مقدار تبخیر در دوره ۲ساله مورد مطالعه نشان داد که در مدیریت‌های آبیاری غرقاب ۳۹درصد از تبخیر و تعرق صرف تبخیر می‌شود، در حالی‌که مقدار آن در مدیریت‌های آبیاری تناوب پنج و هشت روز به‌ترتیب ۳۵درصد و ۳۲درصد می‌باشد، به‌طوری‌که حداکثر مقدار تبخیر در مدیریت آبیاری غرقاب و مدیریت شاهد مشاهده شد و هم‌چنین حداقل مقدار تبخیر در مدیریت آبیاری با تناوب هشت روز و مدیریت۱۲۰ و۱۵۰کیلوگرم درهکتار به‌دست آمد، در مدیریت‌های کود نیتروژن شاهد ، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰کیلوگرم درهکتار به‌ترتیب ۳۹، ۳۴، ۳۵، و ۳۲درصد از تبخیر و تعرق صرف تبخیر می‌شود. از آنجایی‌که در این نوع از مدیریت به‌علت عدم وجود آب در سطح زمین در زمان بیش‌تری از رشد گیاه نسبت به سایر مدیریت‌های آبیاری میزان تبخیر کاهش پیدا می‌کند. مقدار تبخیر و تعرق در طول دوره رویش در سال‌های مورد بررسی در محدوده ۴۱۰-۵۸۶میلی‌متر متغیر است. به‌طور کلی مقدار تبخیر و تعرق با تغییر روش آبیاری غرقاب به آبیاری‌های نوبتی کاسته می‌شود. Aroa *et al,* 2008 در تحقیقی در هند با استفاده از مدل ORYZA 2000 گزارش کرد، تغییر روش آبیاری از غرقاب به آبیاری با تناوب ۲روز منجر به کاهش تبخیر و تعرق از ۶۲۸ به ۵۹۱میلی‌متر می‌شود.

در تحقیقی از مدلORYZA 2000 به‌منظور محاسبه پارمترهای بیلان آب در مدیریت‌های آبیاری و کود نیتروژن در چین و فیلیپین درطی سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۳ استفاده نمود، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که افزایش کود نیتروژن و تغییر روش آبیاری ازغرقاب به غیر غرقاب باعث کاهش مقدار تلفات آب از طریق تبخیر و نفوذ عمقی می‌شود. با تغییر مدیریت آبیاری ازغرقاب به غیرغرقاب از فشار هیدرواستاتیکی آب درسطح زمین کاسته می‌شود که منجر به کاهش میزان تلفات آب از طریق نشت و نفوذ عمقی می‌شود( Bouman *et al.,* 2005).

نتایج تحقیقAmiri*et al.,* 2011 and 2013 نیز نشان داد که تغییر در مدیریت آبیاری غرقاب، میزان تلفات عمقی را کم می‌کند به‌طوری‌که بررسی نتایج مقدار نشت و نفوذ عمقی دردوره موردمطالعه نشان داد که حداقل و حداکثر متوسط مقدار تلفات آب از طریق نفوذ عمقی به‌ترتیب ۱۱۷ و۲۲۱میلی‌متر در مدیریت‌های غرقاب و غیرغرقاب به‌دست آمد. این نتایج هم‌چنین نشان داد که با تغییر روش آبیاری از غرقاب به غیرغرقاب از مقدارآبیاری کاسته می‌شود، که با تحقیق سایر محققین (Pirmoradian *et al.,* 2004; Zare*et al.,* 2014; Spaskhar and Tavakoli 2005) هم‌خوانی دارند، به این‌صورت که آن‌ها نشان دادند که تغییرروش آبیاری ازغرقاب به غیرغرقاب منجر به صرفه‌جویی مقدار آب آبیاری می‌شود.

## نتیجه‌گیری

مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی می‌توانند به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری برای مدیریت کود و آب مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق مدل CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد دانه از دقت مناسبی برخوردار بود. بر اساس نتایج حاصل از آزمونF بین مقادیر عملکرد شبیه‌سازی و مشاهده شده از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج ارزیابی مدل جهت شبیه‌سازی بهره‌وری آب بر اساس میزان آب مصرفی و بارش برای هر دو سال نشان داد که تیمار $I_3N_4$و $I_3N_3$ دارای بیش‌ترین مقدار می‌باشند. نتایج بررسی مقدار تبخیر در دوره ۲ساله مورد مطالعه نشان داد که در مدیریت‌های آبیاری غرقاب ۳۹درصد از تبخیر و تعرق صرف تبخیر می‌شود ، در حالی‌که مقدار آن در مدیریت‌های آبیاری تناوب پنج و هشت روز به‌طور به‌ترتیب ۳۵ و ۳۲درصد می‌باشد. بنابراین، مدیریت آبیاری مذکور می‌تواند برای رقم‌های فوق در منطقه مورد مطالعه توصیه شود. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق، کارایی مطلوب مدل در شبیه‌سازی فرآیند رشد و نمو گیاه برنج و هم‌چنین تأثیر آب بر عملکرد و بهره‌وری آب در مناطق مرطوب را تأیید می‌نماید.

## References

1. Amiri, E., Razavipor, T., Farid, A., and Banayan, M. 2011. Effects of Crop Density and Irrigation Management on

www.SID.ir

Archive of SID



Water Productivity of Rice Production in Northern Iran: Field and Modeling Approach .Communications in Soil Science and Plant Analysis 42: 2085–2099. (In Persian with English Abstract)

2. Amiri, E., and Rezaei, M. 2013. Evaluation of Water Balance Components and Water Productivity of Rice under interval irrigation and nitrogen fertilizer conditions. Iranian Journal of irrigation and drainage. 4(6): 306-315. (In Persian with English Abstract).
3. Arora, A. R., Sairam, K. and Srivastava, G. C. 2002. Oxidative stress and anti oxidative systems in plants. Current Siecnce.82: 1227-1238 .
4. Asadi, R., Rezaei, V., Motamed, K., 2003. A simple solution to cope with drought sin the Caspian fields. Iranian Journal of Dryland Drought. 4(1): 91-87. (In Persian with English Abstract).
5. Bannayan, M., Hoogenboom, G. 2009.Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. Field Crops Research, 111, 3: 290-302.
6. Barker, R., Tuong, T. P., Li, Y., Castillo, E. G., Bouman, B. A. M. 2004. Growing more rice with less water: research findings from a study in China. Paddy Water Environ. 2, 185.
7. Belder, P., Spiertz, J. H. J., Bouman, B. A. M., Tuong T. P. 2005. Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation .Field Crops Research 93: 169-185.
8. Benli, B., Pala, M., Stockle C., and Oweis T. 2007. Assessment of winter wheat production under early sowing with supplemental irrigation in a cold highland environment using CropSyst simulation model. Agric. Water Manage.93: 45-53.
9. Bouman, B.A.M., van Keulen, H., Rabbinge, R. 1996. The `School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. Agric. Sys. 52:171-198.
10. Bouman, B.A.M., Peng, S., Castaneda, A. R., Visperas, R. M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Manag. 74: 87-105.
11. Bouman, B.A.M., Liping Fenga, c., Tuonga, T.P., Guoan, Lu d. 2007. Exploring options to grow rice using less water in northern China using a model ling approach II. Quantifying yield, water balance components,and water productivity agr i c u l tura l water management 88:23 –3 3.
12. Bocchi, S., Confalonieri, R., and Bechini, L. 2001. CropSyst for rice in Northern Italy. Proc. 2nd Modelling Cropping Sys. Intl. Symp., Florence, Italy.
13. Bolinga, A.A., Boumana, B.A.M., Tuonga, T.P., Konboonb, Y. 2011. Harnpichitvitayaa, Yield gap analysis and the effect of nitrogen and water on photoperiod-sensitive Jasmine rice in north-east Thailand. NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences 58: 11-19.
14. Confalonieri, R., and Bocchi, S. 2005.Evaluation of CropSyst for Simulation the Yield of Flooded Rice inNorthern Italy. Europ .J. Agronomy. 23:315-326.
15. Dawe, D. 2005.Increasing water productivity in rice-based systems in Asia-past trends, current problems, and future prospects. Plant Prod. Sci. 8:221-230.
16. Dastmalchi, A., Soltani, A., Latifi N. 2012. Evaluation Model CropSyst Wheat for predicting the development, growth and yield response to planting date Iranian Journal of Field Crops Research Vol. 10, No. 3, Fall, p. 511-521 . (In Persian with English Abstract).
17. Diaz-Ambrona, C. G. H., O'Leary, G. J., O'Connell, M. G., and Connor, D. J. 2001.Application of CropSyst to a new location and crops: advantages and limitations. Proc. 2nd Intl. Symp. Modelling Cropping Systems, Florence, Italy.
18. Donatelli, M., Stockle, C.O., Ceotto, E., and Rinaldi, M. 1996.CropSyst validation for cropping systems at twolocations of Northern and Southern Italy. Eur. J. Agron. 6: 35-45.
19. Honar, T., Sabet, T., Sarvestani, A., Kamkar, A. A., Shams, S. 2010.calibration model CropSyst to estimate crop yield and growth seed oil . Iranian Journal of Sciences Water and Soil 25 (3). 593_605. (In Persian with English Abstract).
20. Kumar, R., A. K. Sarawgi, C. Ramos, S. T. 2006.Amarante, A. M. Ismail, and L. J. Wade. Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. Field Crops Res. 98:1-11.
21. Ma, Y.F and Lu. Dz. 1990.Effect of irrigation methods on senescence and physiological activities in hybrid rice after heading. Chinese Journal of Rice Sci. 4(2): 56-62.
22. Mohseni, M., Montazer, A., Rahimi, A. 2008. The evaluation model of plant CropSyst In the simulation, the combined effect of water and nitrogen on yield and water productivity of wheat. Iranian Journal of Sciences Irrigation & Drainage iran. 3 (1)113-125. (In Persian with English Abstract)
23. Pala, M., Stockle, C. O. , and Harris, H. C. 1996.Simulation of durum wheat (Triticum turgidum ssp. durum) growth under different water and nitrogen regimes in a Mediterranean environment using CropSyst. Agric. Syst., 51, 147-163.
24. Pirmoradian, N., Sepaskhah, A.R., Maftoun, M. 2004.Effects of water-saving irrigation and nitrogen fertilization on yield and yield components of rice (Oryza sativa L.). Plant Production Science, 7(3):337-346.
25. Razavipour, T., Yazdani, M., Kavosi, M. 2000.The effects of water stress in different growing stage on rice yield. Presented in the 6th national conference on soil science. 26-28 Jun. 2007. Tehran. Pp 613-614. (In Persian with

www.SID.ir

Archive of SID



English Abstract).
26. Razavipour, T., Nahvi, M. 2006.The effects of of irrigation methods growing stage on WUE in Local Rice Varieties in Gilan. Journal of Agricultural Sciences. 15-25 .N 9. (In Persian with English Abstract).
27. Rezaei, M., Davatgar, N., Khaledian, M., Pirmoradian, N. 2013.Effect of intermittent irrigation with salinewater on rice yield in Rasht, Iran/ provinci Guilan, Rasht, Iran. Act a agriculturae Slovenica, 101, 1(49-57). (In Persian with English Abstract).
28. Saadati, Z. Pirmoradian, N., Rezaei, M. 2012. Assessment of CropSyst model in yield simulating of tworice varieties, under different irrigation regimes. Dissertation. Iranian Journal of Sciences Water and Soil . 64 (17: 1_12). (In Persian with English Abstract)
29. .Salemi, H ., Abedi, E . 2003 Effect of irrigation methods and physiological activities in hybrids rice in zone lanhan (Esfhan) .(Final report of theresearch project).
30. Spaskhar, A., Tavakoli, A. 2005.Principles and application of deficit irrigation. Publications National Committee of Irrigation and Drainage. (In Persian with English Abstract).
31. Stöckle, C.O., Donatelli, M., Nelson R. 2003.CropSyst, a cropping systems simulation model. European Journal of Agronomy, 18, 3: 289-307.
32. Singh, A.K., Tripathy, R., and Chopra, U.K. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop. Agricultural Water Management. 95: 776-786.
33. Tanner, C., Sinclair, T. 1983.Efficient water use in crop production: research or re-search In Limitations to efficient water use in crop production. Madison: American Society of Agronomy: 1-27.
34. Zare, N., Khaledian, M., Pirmoradian, N., Rezaei, M. 2014.Simulation of rice yield under different irrigation and nitrogen application managements by CropSyst model. Agrovoc descriptors oryza,rice,irrigation,flood irrigation, fertilizer application, nitrogen, plant models.103.2.3. (In Persian with English Abstract).

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 711-722

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۷۲۲-۷۱۱

# Simulation of Rice Water Productivity via CropSyst Model under Low Irrigation and Nitrogen Fertilizer

**M. Mirakhori[1]- B. Mirshekari[2*]- E. Amiri[3]- F. Paknejad[4]- M. Yarnia[5]**

Received: 05-05-2015
Accepted: 25-07-2015

**Introduction**

Water consumption improvement in agriculture is very important compare with other sections. Because of existing complexity in production and exploitation processes and optimized application of irrigation water and nitrogen especially in dry and semi-dry areas facing with water constraint is an important goal in this field. Yield gap analysis can help to identify how much yield increase can be expected without examine the actual nutrient and water limitations. Application of crop growth models is one of those effective methods to reach these goals. CropSyst is a simulation model for a variety of crops such as rice to enable us through calculations of data statistics regarding situation of water, weather, soil, management system, and plant genetic to get the correct results. CropSyst has been developed during the last 15 years into a multi-crop, multi-year simulation model and can connect to GIS software consisting programs of CropSyst cultivation simulator system, reconstruction of meteorological data (ClimGen), GIS connection program (ArcCs), watershed model, and several other useful programs.

**Materials and Methods**

In order to evaluate the effect of nitrogen fertilizer and irrigation on growth and yield of rice this study was conducted at the rice research institute of Iran, located in Rasht. To simulate the response function a split plot experiment as a randomized complete block design with three replications was conducted with three irrigation treatments (continuous, around 5and 8 days) as the main factor and the amount of nitrogen in four levels (0, 90, 120 and150kg N $ha^{-1}$ Source of urea) as sub-factor. Version 3 of CropSyst was used in this study.To run the model four sets of data are required as input, including files location, soil, and plant management. Definition, application and all the required parameters of the model and parameter ranges is stated in the model manual.

**Results and Discussion**

The model validations were based on the comparison between simulated and observed data for all treatments other than those used in model calibration. Results of the evaluation showed that CropSyst model with regard to $RMSE_n$ 7, 15 percent and $R^2$ 0.73, 0. 84 To simulate the yield seed rice and also with regard to $RMSE_n$ 9, 10 Percent accuracy of simulations appropriate.The results of the simulation based on the amount of transpiration water productivity for both years showed that $I_3N_2$ and $I_3N_3$ treatments had the highest amount. The results showed to simulated based on the amount of water and rain water productivity for both years showed that treatment$I_3N_4$ and $I_3N_3$ had the highest amount. The amount of evaporation in irrigation water management two-year periodonly39% of evapotranspiration is evaporated, While the amount of intermittent irrigation management 5 and 8days, respectively, 35% and 32% respectively. The nitrogen fertilizer management control, 90, 120, 150kg ha, respectively, 39%and 34%, 35% and 32% of the evapotranspiration just evaporates.

**Conclusions**

In the present study, the CropSyst model was calibrated, validated, and used as a tool to estimate climatically-driven potential yield, yield production and water balance components of rice under a range of N fertilizer and water regimes in a humid region of Iran.

CropSyst can be applied for simulation the effect of N and water management on growth, yield and water productivity of wheat under Iranian subtropical conditions.

**Keywords:** Intermittent irrigation, Management water and nitrogen, Simulation, Rice, Water productivity

1- PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Iran
4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Karaj Branch, Iran
5- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: Mirshekari@iaut.ac.ir)

www.SID.ir