

بررسی عملکرد مدل Aquacrop در شرایط تنش شوری و خشکی برنج

ابراهیم امیری^{۱*}، مجتبی رضایی^۲ و فهیمه شیرشاهی^۳

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل AquaCrop در شبیه سازی عملکرد دانه و بیوماس کل در شرایط مدیریت شوری و خشکی آبیاری در گیاه برنج در رشت طی سال های زراعی ۹۰-۸۹ به صورت کشت گلدانی در ستاد موسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. تیمارها شامل ۴ سطح شوری آب آبیاری به شرح: S1، آب معمولی با شوری کمتر از ۱ دسی زیمنس بر متر، S2، S3، S4 به ترتیب شوری آب ۲، ۴، ۶ دسی زیمنس بر متر و همچنین پنج روش آبیاری شامل IO: آبیاری غرقاب دائم، I1، I2، I3، I4 به ترتیب آبیاری در حالت اشباع (AWD)، آبیاری در ظرفیت زراعی (FC)، آبیاری در نقاط رطوبتی ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود. مدل AquaCrop برای برنج نسبت به تنش شوری و خشکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. داده های اندازه گیری شده سال اول برای واسنجی و سال دوم برای صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمالایز شده (RMSEn)، درصد خطای نسبی و آزمون تی (T-test) مقایسه نتایج شبیه سازی شده با داده های اندازه گیری شده انجام شد. مدل AquaCrop بیوماس کل را به طور میانگین با ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۰/۸۳ و ۱۱٪ در تیمارهای شوری کمتر از آستانه تحمل شوری گیاه تا ۰/۶ و ۳۸٪ در تیمارهای شوری بالاتر از آستانه و عملکرد دانه را به ترتیب در تیمارهای کمتر تا بیشتر از آستانه ۰/۸۵ و ۹٪ تا ۴۳٪ و ۳۳٪ شبیه سازی کرد نتایج نشان می دهد که مدل در شوری های کمتر از آستانه تحمل شوری گیاه عملکرد قابل قبول دارد.

واژه های کلیدی: برنج، رشت، مدل Aquacrop، مدیریت شوری

مقدمه

میلیارد مترمکعب) را شامل می شود. با توجه به توزیع نامناسب دبی رودخانه ها به ویژه رودخانه سفیدرود که حوزه اصلی آبریز آن در خارج از استان گیلان می باشد، هرساله کشاورزان استان گیلان به ویژه شالیکاران که عمده استفاده کنندگان از شبکه آبیاری مدرن سد سفیدرود می باشند، با مشکلات فراوانی جهت تأمین آب اراضی خود مواجه می شوند. مصارف آبی پروری، شرب شهری، صنایع و باغات زیتون نیز متحمل تنش های شدید آبی می شوند. مناطق زیادی از این اراضی به دلایل گوناگون از جمله هم جوارگی با دریا از این مزیت بی بهره بوده و از معضل شوری خاک و آب رنج می برند. این در حالی است که هرگونه شوری آب و یا خاک باعث توقف جوانه زنی، کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شده و در نتیجه آن کشاورزان متحمل ضرر زیادی می شوند (Kiani et al., 2006).

در این زمینه هم در محافل کشاورزان و هم در مطالعات محققین تجربیات زیادی در دنیا وجود دارد. به منظور کاهش آزمایش های صحرایی پرهزینه و زمان بر، استفاده از نرم افزارها، گزینه معقولی به شمار می رود. در این میان، بررسی واکنش عملکرد محصول به آب در نشریه ۳۳ فائو (Doorenbos and Kassam, 1979) قابل ملاحظه است. اندازه گیری تمام پارامترهای مورد نیاز و نیز روند تجمعی شکل گیری محصول

با توجه به مسئله بحران رو به رشد آب در کشور، شوری و کمبود آب از محدودیت های عمده تولید محصولات زراعی هستند. کاهش آب گاهی با استفاده از آب های شور توسط کشاورزان جبران می شود. شوری باعث بروز مسائل و مشکلات زیادی در مناطق وسیعی از اراضی کشاورزی جهان می باشد (Kijne, 2006). رودخانه سفیدرود منبع اصلی تأمین آب آبیاری دشت گیلان می باشد. این رودخانه دارای آورد سالانه ای در حدود ۴۷۰۰ میلیون مترمکعب می باشد (بر اساس متوسط ۴۰ ساله سال های ۱۳۴۶-۱۳۴۵ لغایت ۱۳۸۵-۱۳۸۴) و شریان اصلی تأمین آب کشاورزی گیلان محسوب می شود و نیمی از مجموع آورد سالانه رودخانه های استان گیلان (در حدود ۸

۱ استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان.

(# نویسنده مسئول: eamiri57@yahoo.com)

۲ موسسه تحقیقات برنج کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، رشت، ایران

۳ دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، باشگاه پژوهشگران

جوان و نخبگان، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۱۵

کشت جو (۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹) در ایتیوی با اعمال سناریوهای آبیاری کامل و کم آبیاری و شبیه سازی آن با مدل AquaCrop نشان داد مدل در پیش بینی عملکرد دانه و مقدار کل ماده خشک، تحت شرایط کم آبیاری، بیش برآورد می نماید (Alemie et al., 2010).

در بخش شمالی ایتیوی در سال های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ در کشت غلات بومی شمال آفریقا (Teff) مدل AquaCrop پس از واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد ضریب واکنش عملکرد محصول نسبت به آب، بیوماس و رطوبت خاک شبیه سازی شده با مدل کاملاً مطابقت داشت (Araya et al., 2010).

در یک بررسی بلندمدت به منظور تعیین میزان عملکرد ذرت در بارندگی و دماهای مختلف در کنیا مدل AquaCrop برای ذرت واسنجی و صحت سنجی شد. طبق نتایج مدل بیوماس را بیشتر از مقدار اندازه گیری شده تخمین زده است که علت این امر کم بودن تعداد اندازه گیری های صحرایی گزارش شد (Wamari et al., 2012).

در تحقیقی بر روی سیب زمینی در یکی از شهرهای آرژانتین میزان ضریب همبستگی بین داده های اندازه گیری شده و مقادیر شبیه سازی شده بیوماس کل 0.94 ($P < 0.001$) بدست آمد. همچنین در این تحقیق مدل در شبیه سازی پوشش تاج سبز کم برآورد و در شبیه سازی بیوماس بیش برآورد بود (Casa et al., 2013).

در هند دقت مدل AquaCrop در شبیه سازی عملکرد محصول گندم و بهره وری آب با استفاده از تیمارهای شوری مختلف بررسی و مقادیر R^2 در برآورد عملکرد دانه، بیوماس و بهره وری آب به ترتیب 0.85 ، 0.7 و 0.7 بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل در برآورد عملکرد دانه در قیاس با بیوماس و بهره وری آب توانا تر عمل نموده است (Kumar et al., 2014). بیشتر تحقیقات در زمینه مدل AquaCrop، در شرایط بدون شوری و عمدتاً برای شبیه سازی کم آبیاری و عملکرد محصول صورت گرفته است (Patel et al., 2008).

با توجه به تحقیقات فوق الذکر، کمبود مطالعه در زمینه دقت مدل در شبیه سازی در شرایط مدیریت تنش شوری و تنش توأمان شوری و خشکی در گیاهان مختلف و مناطق جغرافیایی مختلف حس می شود. لذا هدف این تحقیق بررسی و ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی عملکرد دانه و بیوماس کل در شرایط مدیریت شوری و خشکی آب آبیاری در گیاه برنج در رشت می باشد.

مواد و روش ها

این آزمایش طی سال های زراعی ۹۰-۸۹ به صورت کشت

(زیست توده و دانه) در سطح مزرعه دشوار است، اما با به کارگیری مدل های شبیه سازی تولید این کار میسر خواهد بود (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). مدل AquaCrop نسبت به سایر مدل های گیاهی ساده و دقیق است که اصول اساسی برای شبیه سازی به وسیله استدیو و همکاران (Steduto et al., 2009) و الگوریتم مورد استفاده در مدل، به وسیله رایس و همکاران (Raes et al., 2009) ارائه شده است. از آنجاکه نسخه جدید این مدل به تازگی توسعه یافته است، تحقیقاتی در ایران و جهان به منظور واسنجی مدل در مناطق مختلف و برای گیاهان مختلف انجام گرفته که گزیده ای از آن ها به شرح زیر می باشد:

علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی عملکرد شبیه سازی مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم پرداختند. نتایج این طرح نشان دادند که این شبیه سازی از دقت کافی در تخمین عملکرد محصول در شرایط آبیاری کامل، کم آبیاری و آبیاری تکمیلی برخوردار است.

حیدری نیا و همکاران (۱۳۹۱) به امکان سنجی استفاده از مدل AquaCrop در برنامه ریزی آبیاری برای گیاه آفتابگردان در اهواز پرداختند. نتایج شاخص های آماری نشان از دقت بالای مدل در شبیه سازی عملکرد داشته است به عنوان مثال میزان مجذور مربعات خطای بین عملکرد مشاهده شده و اندازه گیر شده کمتر از ۵ درصد بوده است.

در جنوب ایتالیا با کشت آفتابگردان تحت رژیم های مختلف آبیاری طی سه فصل زراعی (۲۰۰۷-۲۰۰۵) و ارزیابی نتایج با مدل های AquaCrop، CropSyst و WOFOST نشان داد مدل AquaCrop، ضمن نیاز به داده های کمتر، مقدار عملکرد محصول و کل ماده خشک را بهتر از دو مدل دیگر برآورد می نماید (Todrovic et al., 2009).

فراهانی و همکاران (۲۰۰۸) به کالیبراسیون مدل AquaCrop و سپس آزمایش مدل تحت آبیاری کامل و ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل برای پنبه در سوریه پرداختند. نتایج این طرح میزان خطای حداکثر ۱۰ درصد را بین مقادیر شبیه سازی شده و واقعی در حالت های آبیاری کامل و ۴۰ درصد نشان داد اما در ۶۰ و ۸۰ درصد کامل آبیاری، میزان خطا تا حدود ۳۲ درصد افزایش یافت (Farahani et al., 2008).

کاشت گیاه بومی کوئینوا طی سه فصل زراعی (۲۰۰۷-۲۰۰۴) در بولیوی و شبیه سازی دوره رشد آن با مدل AquaCrop نشان داد مدل به خوبی توانسته است کاهش شاخص برداشت را طی دوره خشکی اعمالی، در دوره پر شدن دانه ها شبیه سازی نماید. همچنین، مقادیر ضریب تبیین 0.87 و 0.83 به ترتیب برای مقدار بیوماس کل و عملکرد دانه، تحت رژیم های مختلف آبیاری به دست آمد (Geerts et al., 2009).

گلدانی در ستاد موسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت با در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. گیاه مورد مطالعه برنج رقم محلی هاشمی بود. آستانه‌ی شوری برنج رقم هاشمی در شهرهای شمالی برابر با ۱/۳ - ۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (کاووسی، ۱۳۷۴؛ اسدی و همکاران، ۱۳۸۸). تیمارها شامل ۴ سطح شوری آب آبیاری به شرح: S1، آب معمولی با شوری کمتر از ۱ دسی زیمنس بر متر، S2، S3، S4 به ترتیب شوری آب ۲، ۴، ۶ دسی زیمنس بر متر و همچنین پنج روش آبیاری شامل I0: آبیاری غرقاب دائم، I1، I2، I3، I4 به ترتیب آبیاری در حالت اشباع (AWD)، آبیاری در ظرفیت زراعی (FC)، آبیاری در نقاط رطوبتی ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود. برای جلوگیری از ورود باران به گلدان‌ها، این آزمایش زیر شلتری به ارتفاع ۵ متر که فقط سقف آن با پلاستیک روشن پوشانیده شده بود انجام گردید. برای جلوگیری از افزایش دمای ناشی از عدم جریان هوا، اطراف شلتر کاملاً باز بوده و هوا به راحتی در آن جریان داشت. شلتر مذکور در وسط مزرعه تحقیقاتی قرار داشته است.

حدود ۹ کیلوگرم خاک شالیزاری از یک مزرعه به مقدار لازم و یکسان در گلدان‌های پلاستیکی ریخته و پس از غرقاب نمودن خاک‌ها، نشاکاری با ۳ نخ نشاء ۲۵ روزه انجام شد. به مدت ده روز آبیاری با آب معمولی انجام و سپس تیمارها اعمال شد. تمامی فسفر و پتاسیم و نصف مقدار نیتروژن به صورت پایه به ترتیب از منابع کودی سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره و در زمان آماده سازی خاک کاملاً با آن مخلوط گردید. بقیه مقدار نیتروژن در مرحله حداکثر پنجه زنی مصرف و با خاک مخلوط گردید. شوری‌های مورد نظر آب آبیاری با هدف شبیه سازی آب کانال‌های آبیاری منطقه و با استفاده از $CaSO_4$ و $NaCl$ خالص با نسبت (۱:۲) تهیه و در هر مرحله عملیات آبیاری با آن‌ها انجام گرفت، برای جلوگیری از تجمع نمک گلدان‌ها در چند مرحله آبشویی با آب معمولی انجام شد. در زمان مقرر آبیاری تا ارتفاع ۵ سانتیمتر از سطح خاک گلدان انجام گرفت و تمامی مراحل زراعی طبق توصیه‌های موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. در نهایت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه گیری شد.

مدل Aquacrop

مدل Aquacrop خصوصاً در مناطقی که کمبود آب فاکتوری کلیدی است، جهت تعیین واکنش محصول به مقدار آب بکار می‌رود. این مدل از اصلاح و بازنگری نشریه ۳۳ فائیم توسط متخصصان برجسته از سرتاسر جهان به دست آمده است

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x} \right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x} \right) \quad (1)$$

در این معادله، Y_x عملکرد حداکثر، Y_a عملکرد واقعی، ET_x تبخیر - تعرق حداکثر، ET_a تبخیر - تعرق واقعی و K_y ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر - تعرق می‌باشد.

درواقع، Aquacrop با تفکیک تبخیر از تعرق، توسعه یک مدل ساده رشد و پیری تاج پوشش گیاهی به عنوان پایه برآورد تعرق و تفکیک آن از تبخیر، شبیه سازی عملکرد نهایی (Y) به عنوان تابعی از زیست توده نهایی (B) و شاخص برداشت (HI) و تفکیک اثرات تنش آبی در چهار جزء رشد پوشش تاجی گیاه، پیری پوشش تاجی گیاه، بسته شدن روزنه ها و کاهش تعرق و شاخص برداشت توسعه یافته است. تفکیک ET به Tr و E ، از اثر مصرف غیر تولیدی آب از طریق E به خصوص در زمانی که شرایط پوشش گیاهی کامل نیست جلوگیری می‌کند. تعرق روزانه (Tri) با استفاده از ET_0 روزانه و بهره‌وری آب (WP) که با استفاده از نیاز تعرقی و غلظت دی اکسید کربن نرمال شده است، به وزن بیوماس قسمت هوایی گیاه تبدیل می‌شود. معادله (۲) بیانگر این رابطه می‌باشد:

$$B_i = WP^* \left(\frac{Tr_i}{ET_{0i}} \right) \quad (2)$$

در معادله (۲)، B_i وزن تولید شده قسمت هوایی گیاه در روز i بر حسب gr/m^2 ، Tri مقدار تعرق روزانه (mm)، ET_{0i} تبخیر - تعرق گیاه مرجع در روز i بر حسب (mm)، WP^* بهره‌وری آب نرمال شده بر حسب gr/m^2 و مقدار آن در شرایط اقلیمی مشابه، برای گیاهان C3 و همچنین گیاهان C4 ثابت و برابر است (Steduto et al., 2007).

در Aquacrop سیستم گیاهی از پنج جزء تشکیل شده است که شامل پاسخ‌های دینامیک فنولوژی، کانوپی، عمق ریشه‌زنی، تولید بیوماس کل و عملکرد اقتصادی است. در برنامه Aquacrop پاسخ کانوپی به کم آبی در طی ۳ مرحله رخ می‌دهد. ۱- کاهش در سرعت توسعه و گسترش نظیر کاهش (CGC)، ۲- کاهش در هدایت روزنه‌ای، ۳- پیری زودرس نظیر افزایش ضریب کاهش کانوپی (CDC).

AquaCrop برای برنج نسبت به تنش شوری و خشکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور، داده‌های مورد نیاز مدل شامل اطلاعات اقلیمی، گیاهی، مقادیر آبیاری اعمال شده و داده‌های خاک به مدل داده شد. برای هر کلاس بافت خاک، مدل تعدادی از خصوصیات هیدرولیکی را دارا می‌باشد. به علاوه خصوصیات هیدرولیکی کاربر نیز می‌تواند به جای مقادیر تعیین شده به وسیله مدل، به مدل داده شود. نتایج تجزیه شیمیایی و نتایج منحنی مشخصه خاک منطقه به ترتیب در جدول ۱ و جدول ۲ ارائه شده است. داده‌های اقلیم در مؤلفه Climate مدل AquaCrop مورد بحث قرار می‌گیرد و شامل متغیرهای هواشناسی است. داده‌های ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در همسایگی محل انجام پروژه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. ET0 از روش فائو پنمن - مانیتیت بحث شده در نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار جهانی محاسبه گردید (Allen et al., 1998).

تنش‌های تأثیرگذار بر CC شامل تنش آب، تنش درجه حرارت هوا، تنش شوری خاک و تنش مواد مغذی معدنی می‌باشد. در مدل AquaCrop پارامترهای گیاهی در شرایط تنش آبی از طریق تأثیر ضریب حساسیت گیاه به کم‌آبی (Ky) تعدیل می‌شوند. اگرچه مدل AquaCrop مبنی بر فرآیندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است (استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹)، اما نیاز به پارامترهای ورودی کم و ساده‌ای دارد. پارامترهای مورد نیاز این مدل به دو دسته پارامترهای ثابت و متغیر تقسیم بندی می‌شوند. اطلاعات ورودی شامل: اطلاعات اقلیم، خاک، مدیریت و خصوصیات گیاه می‌باشد. چهار متغیر ورودی اقلیم برای اجرای مدل مورد نیاز می‌باشد: دمای حداکثر و حداقل روزانه، بارش روزانه و میانگین سالانه غلظت CO2 اتمسفر. برای هر لایه خاک بافت خاک به علاوه خصوصیات هیدرولیکی شامل هدایت هیدرولیکی اشباع (Ksat) و مقدار رطوبت حجمی خاک در حالت اشباع (Θ_{sat})، ظرفیت مزرعه (Θ_{fc}) و نقطه پژمردگی (Θ_{wp}) لازم می‌باشند. مهم‌ترین خصوصیات گیاهی به طور مفصل در جدول ۳ ارائه شده است. در این تحقیق، مدل

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک

pH	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)
۷/۴	۰/۱۵۵	۱۷	۲۹۰

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی خاک

نقاط رطوبتی	اشباع	FC*	%90 FC	%80 FC	نوع خاک
درصد رطوبت حجمی	۶۵	۵۰	۴۵	۴۰	Si-Cl

*: رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه‌ای (۳۳ کیلو پاسکال)

جدول ۳- مقادیر واسنجی شده پارامترهای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه برنج

میزان	واحد	پارامتر
۸	سانتی‌گراد	دمای پایه
۱۴/۰۲	درصد در هر درجه روز	ضریب افزایش سطح سایه‌انداز
۸۷	درصد	ماکزیمم سطح سایه‌انداز
۹/۲۴	درصد در هر روز	ضریب کاهش پوشش در پیری
۰/۵	-	آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاجی
۳	-	ضریب شکل منحنی گیاه ضریب تنش آبی خاک تاجی گیاه
۰/۶	-	آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی
۳	-	ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای پیری پوشش گیاه
۰/۰۰	کسری از کل آب موجود در خاک	حد بالای تخلیه آب جهت توسعه برگ‌ها
۰/۴	کسری از کل آب موجود در خاک	حد پایین تخلیه آب جهت توسعه برگ‌ها
۱۹	میزان بیوماس در هر مترمربع	بهره‌وری آب تعدیل شده
۴۷	درصد	شاخص برداشت

آنالیز داده‌ها

بررسی نتایج حاصل از مدل با نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت یابی نتایج و ارزیابی قابلیت اعتماد بودن مدل به واسطه شاخص‌های ارزیابی شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (RMSEn)، درصد خطای نسبی و آزمون تی (T-test) انجام شد. روابط شاخص‌های به صورت زیر می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_n = 100 \left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \quad (4)$$

$$ME = 100 (O_i - P_i) / O_i \quad (5)$$

که در آن‌ها P_i و O_i مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده و n تعداد مشاهدات است.

آزمون تی (T-test) اگر نتیجه آزمون تی بیشتر از ۰/۰۵ باشد می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیست.

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی مقادیر بیوماس کل و عملکرد روزانه توسط مدل و داده‌های بیوماس کل و عملکرد اندازه‌گیری شده در سال اول (استفاده‌شده در واسنجی مدل گیاهی) و در سال دوم (به کاررفته در صحت سنجی مدل گیاهی) در جدول ۴ تا جدول ۷ نشان داده شده است.

واسنجی مدل

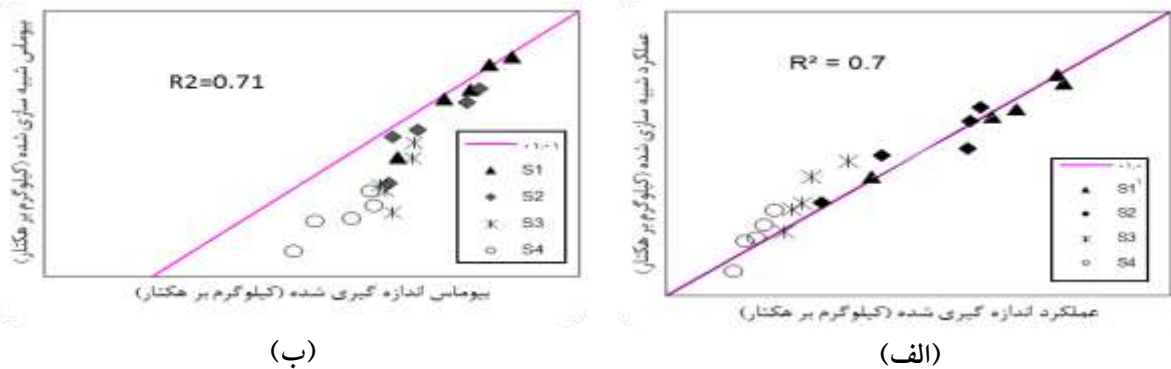
دقت نتایج واسنجی مدل Aquacrop بر اساس داده‌های صحرائی در شکل ۱، جدول ۴ و جدول ۵ نشان داده شده است.

دامنه عملکرد دانه مدل ۴۶۶۷ تا ۵۳۰ و دامنه عملکرد دانه در مزرعه از ۴۶۵۴ تا ۸۰۲ بود (جدول ۵). مقدار RMSEn تیمارهای S1 و S2 در هر دو سال کمتر از ۱۵ درصد می‌باشد. در شکل ۱ میزان عملکرد دانه و بیوماس کل با خط یک‌به‌یک مقایسه شده است و در تیمارهای S3 و S4 میزان انحراف از خط یک‌به‌یک بیشتر است. طبق جدول ۵ دامنه بیوماس کل مدل از ۹۹۲۹ تا ۱۱۲۹ و دامنه بیوماس کل در مزرعه از ۱۰۱۱۳ تا ۳۹۶۴ بود، شبیه‌سازی مدل AquaCrop با ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۰/۸۵ و ۸ تا ۰/۶۵ و ۵۰٪ در شبیه‌سازی بیوماس کل بود. مقادیر آزمون Ttest در S1 و S2 به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۱۴ بود این در حالی است که این شاخص در تیمارهای S3 و S4 صفر بود (جدول ۵). در هر تیمار R2 و RMSEn به ترتیب ۰/۹۸ و ۴ تا ۰/۷ و ۳۱٪ در شبیه‌سازی عملکرد دانه محاسبه شد، لذا مدل در برآورد عملکرد محصول و مقدار بیوماس کل عالی عمل نموده است (Rinaldy et al., 2003). با توجه به میزان شاخص‌ها در تیمارهای آبیاری، کاهش میزان آب دریاقتی منجر به کاهش عملکرد دانه و بیوماس کل شده مدل نیز کاهش عملکرد را نشان می‌داد اما با تنش آبی شدید دقت مدل به خاطر ساختار ضعیف آن کاهش یافته است. همچنین در تیمارهای S3 و S4 در بیوماس کل و عملکرد دانه به ترتیب بین ۳۷-۵۰ و ۳۰-۳۱ می‌باشد (جدول ۴ و جدول ۵). میزان خطای در شوری S1 و تیمارهای غرقاب تا I4 از ۲- تا ۲۲- افزایش و در هر یک از تیمارهای آبیاری از S1 تا S4 افزایش یافت. بیشترین خطا در تیمار I4S4 رخ داد (جدول ۴). لذا هرکدام از تنش‌های شوری و خشکی با دقت‌های متفاوت سبب کاهش عملکرد مدل شدند. این تأثیر در تیمار شوری شدیدتر بود.

جدول ۴- عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری ۱۳۸۹

	S4=6 (dS/m)			S3=4 (dS/m)			S2=2 (dS/m)			S1=1 (dS/m)			
	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O*	S*	خطا %	
غرقاب	۱۲۹۴	۱۸۱۷	۳۱	۲۱۶۷	۲۸۴۴	۷	۳۷۳۹	۳۹۹۰	۰	۴۶۵۴	۴۶۶۷		
I1	۱۱۶۶	۱۵۰۰	۴۶	۱۷۲۲	۲۵۱۷	۲	۳۶۲۳	۳۷۰۱	-۵	۴۷۳۰	۴۵۰۱		
I2	۱۰۷۰	۱۲۳۲	۲۰	۱۶۲۳	۱۹۵۲	-۱۳	۳۵۸۹	۳۱۱۵	-۵	۴۱۷۵	۳۹۵۵		
I3	۹۳۱	۱۱۶۶	۲۱	۱۵۰۳	۱۸۲۴	۱۶	۲۵۶۶	۲۹۷۰	-۳	۳۸۸۲	۳۷۷۹		
I4	۸۰۲	۵۳۰	-۳	۱۴۰۵	۱۳۵۹	۶	۱۸۵۴	۱۹۷۴	۳	۲۴۴۶	۲۵۲۱		
R2	۰/۷			۰/۷۷			۰/۸۱			۰/۹۸			
RMSEn	۳۱			۳۰			۱۱			۴			
T test	۰/۲۱			۰/۱۰			۰/۴۴			۰/۴۴			
R2	۰/۷۰			۰/۷۷			۰/۸۱			۰/۹۸			

S* = شبیه‌سازی شده O = مشاهده و اندازه‌گیری شده



شکل ۱- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در مرحله واسنجی: الف. عملکرد دانه، ب. بیوماس کل

جدول ۵- بیوماس اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری سال ۱۳۸۹

S4=6 (dS/m)		S3=4 (dS/m)		S2=2 (dS/m)		S1=1 (dS/m)					
O	S	O	S	O	S	O	S	خطا %	O*	S*	
۶۱۲۱	۳۸۶۶	۷۳۵۱	۶۰۵۱	۹۱۷۹	۸۵۰۳	۱۰۱۱۳	۹۹۲۹	۳۷			غرقاب
۶۲۲۸	۳۱۹۲	۷۳۳۰	۵۳۵۵	۸۸۳۸	۷۸۷۴	۹۴۷۱	۹۵۷۶	۴۹			I1
۵۵۸۶	۲۶۲۴	۶۴۱۶	۴۱۵۳	۷۴۶۴	۶۶۲۸	۸۹۴۹	۸۴۵۱	۵۳			I2
۴۵۸۱	۲۴۸۲	۶۵۴۳	۳۸۸۱	۶۷۵۵	۶۳۲۰	۸۱۹۷	۸۰۴۱	۴۶			I3
۳۹۶۴	۱۱۲۹	۶۷۵۶	۲۸۹۲	۶۶۴۸	۴۱۹۹	۶۸۸۹	۵۳۶۵	۷۲			I4
۲۶۶۵		۲۵۵۸		۱۲۸۶		۷۲۷					RMSE
۵۰		۳۷		۱۷		۸					RMSEn
۰/۰		۰/۰		۰/۱۴		۰/۳۳					T test
۰/۶۵		۰/۳		۰/۷۲		۰/۸۵					R2

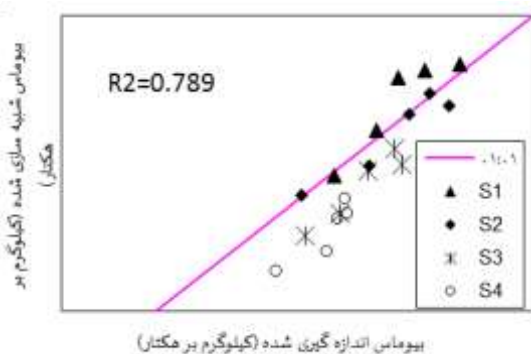
O = مشاهده و اندازه‌گیری شده S* = شبیه‌سازی شده

R² و RMSEn به ترتیب ۰/۸۸ و ۸٪ تا ۰/۱۹ و ۴۸٪ شبیه‌سازی کرد. دقت در سایر شاخص‌های آماری نیز نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل در این دو تیمار است. حیدری نیا و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی بر آفتابگردان در اهواز به منظور بررسی و امکان‌سنجی استفاده از مدل Aquacrop تأثیر منفی شوری را بر عملکرد مدل گزارش کردند. آستانه‌ی شوری برنج رقم هاشمی در شهرهای شمالی برابر با ۱/۳ - ۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (کاووسی، ۱۳۷۴؛ اسدی و همکاران، ۱۳۸۸) که با توجه به تیمارها، آب آبیاری در تیمارهای S3 و S4 بالاتر از حد آستانه شوری بوده است لذا، نظر به این که این مدل قادر به احتساب شوری در محاسبات عملکرد دانه نیست، می‌توان گفت که بخشی از خطای محاسباتی از این طریق وارد گردیده و سبب افزایش عملکرد دانه زیاده‌تر و بیوماس کل کمتر شبیه‌سازی شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده بود. این مدل برای محاسبه تنش شوری از ماس و هافمن (Maas and Hoffman, 1977) استفاده می‌کند. آن‌ها گزارش کردند که تا هدایت الکتریکی

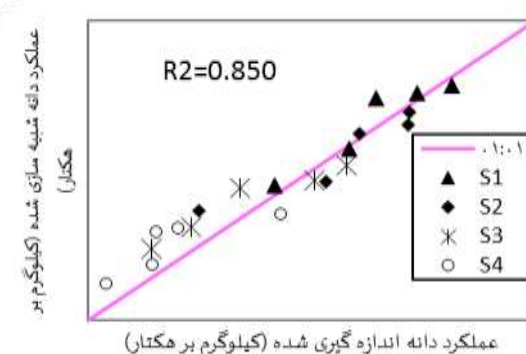
دقت نتایج اعتبار یابی مدل AquaCrop بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در سال دوم در شکل ۲ و جدول ۶ و جدول ۷ نشان داده شده است. دامنه عملکرد دانه شبیه‌سازی شده از ۴۷۰۴ تا ۷۴۲ و عملکرد دانه اندازه‌گیری شده از ۴۸۷۰ تا ۲۵۰ بود (جدول ۶). در شکل ۲ میزان عملکرد دانه و بیوماس کل با خط یک‌به‌یک مقایسه شده است و در تیمارهای S3 و S4 میزان انحراف از خط یک‌به‌یک بیشتر است. مقدار ضریب تبیین در عملکرد دانه ۰/۸ و در بیوماس کل ۰/۷۸ می‌باشد. این موضوع به علت همبستگی پایین بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. همان‌طور که در مورد سال اول ذکر شد، شاخص RMSEn طبق نتایج موجود در جدول ۶ و جدول ۷ در تیمارهای S3 و S4 در بیوماس کل و عملکرد دانه به ترتیب بین ۲۴-۴۲٪ و ۲۲-۴۸٪ بود. بیوماس کل شبیه‌سازی شده از ۱۰۰۰۸ تا ۱۵۷۹ و محدوده تغییرات بیوماس کل اندازه‌گیری شده از ۹۶۸۵ تا ۳۸۴۲ بود. مقدار R² از ۰/۸۵ تا ۰/۶۱ و مقدار RMSEn از ۱۳٪ تا ۴۲٪ در شبیه‌سازی بیوماس کل افزایش یافت (جدول ۷). مدل عملکرد دانه را با

آستانه، کاهش محصول صفر است و پس از آن معادله افت عملکرد نسبی به ازای افزایش هر واحد شوری هدایت الکتریکی عصاره اشباع منطقه ریشه از نوع خطی درجه یک می‌باشد (اسدی و همکاران، ۱۳۸۸). از طرفی تأثیر شوری و کم‌آبی بر

شاخص برداشت سبب تأثیر بر عملکرد دانه و بیوماس کل می‌شود. مدل شاخص برداشت را مبنای محاسبه عملکرد در نظر گرفته است که این موضوع نیز سبب کاهش عملکرد مدل در تنش‌های بالا می‌باشد.



(ب)



(الف)

شکل ۲- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در مرحله اعتباریابی : الف. عملکرد دانه، ب. بیوماس کل

جدول ۶- عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری سال ۱۳۹۰

S4=6 (dS/m)			S3=4 (dS/m)			S2=2 (dS/m)			S1=1(dS/m)			
%خطا	O	S	%خطا	O	S	%خطا	O	S	%خطا	O	S	
-۱۸	۲۵۹۰	۲۱۲۴	-۱۱	۳۴۶۴	۳۰۹۶	-۴	۴۳۱۴	۴۱۵۶	-۳	۴۸۷۰	۴۷۰۴	غرقاب
۵۲	۱۲۱۹	۱۸۵۰	-۸	۳۰۳۶	۲۷۹۰	-۹	۴۲۸۴	۳۹۰۹	۳	۴۴۱۷	۴۵۴۹	I1
۸۹	۹۳۱	۱۷۵۸	۳۰	۲۰۳۹	۲۶۶۰	۳	۳۶۴۳	۳۷۴۳	۱۵	۳۸۵۸	۴۴۴۸	I2
۲۸	۸۷۲	۱۱۱۵	۳۴	۱۳۹۰	۱۸۵۸	-۱۳	۳۱۸۵	۲۷۷۰	-۲	۳۵۰۷	۳۴۴۱	I3
۱۹۷	۲۵۰	۷۴۲	۶۶	۸۶۲	۱۴۲۹	۴۶	۱۵۰۰	۲۱۹۲	۸	۲۵۰۰	۲۷۰۰	I4
۵۶۶			۴۷۴			۴۰۷			۲۹۶			RMSE
۴۸			۲۲			۱۲			۸			RMSEn
۰/۲۴			۰/۳۶			۰/۴۸			۰/۴۱			T test
-۰/۱۹			۰/۴۲			۰/۷۳			۰/۸۸			R ²

جدول ۷- بیوماس اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری سال ۱۳۹۰

S4=6 (dS/m)			S3=4(dS/m)			S2=2(dS/m)			S1=1(dS/m)			
خطا %	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O	S	
-۲۵	۶۰۲۸	۴۵۱۹	-۱۳	۷۵۹۴	۶۵۸۸	۲	۸۶۹۷	۸۸۴۲	۳	۹۶۸۵	۱۰۰۰۸	غرقاب
-۳۵	۶۰۸۴	۳۹۳۵	-۲۴	۷۸۳۱	۵۹۳۵	-۱۱	۹۳۲۴	۸۳۱۷	۱۴	۸۵۶۲	۹۷۷۵	I1
-۳۵	۵۷۹۲	۳۷۴۱	-۱۶	۶۷۷۳	۵۶۵۹	-۱	۸۰۴۴	۷۹۶۴	۲۳	۷۷۱۷	۹۴۶۴	I2
-۵۶	۵۴۵۴	۲۳۷۳	-۳۳	۵۸۸۲	۳۹۵۴	۱۳	۶۷۷۹	۵۸۹۳	۴	۷۰۲۵	۷۳۲۲	I3
-۵۹	۳۸۴۲	۱۵۷۹	-۳۶	۴۷۵۹	۳۰۴۱	۱	۴۶۳۷	۴۶۶۴	-۳	۵۶۷۰	۵۴۷۷	I4
۲۲۶۸			۱۵۸۲			۶۰۵			۹۷۵			RMSE
۴۲			۲۴			۸			۱۳			RMSEn
۰/۰۱			۰/۰۶			۰/۳۸			۰/۲۸			T test
۰/۶۱			۰/۸۳			۰/۹۱			۰/۸۵			R²

رهیافت ترویجی

نتایج ارزیابی مدل Aquacrop در این تحقیق نشان داد که مدل برای برآورد عملکرد برنج در شرایط توأم شوری و خشکی تا حد آستانه شوری کارایی مطلوبی دارد. در شوری کمتر از حد آستانه شوری برنج RMSEn در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس کل کمتر از ۱۵ درصد بود ولی قادر به احتساب تنش شوری و تنش توأم خشکی و شوری در شوری بالاتر از آستانه نبود. به عبارت دیگر تنش شوری از طریق افزایش فشار اسمزی سبب اعمال تنش به گیاه در تمام مراحل رشد شده و نبود آب کافی سبب کاهش سطح سایه‌انداز و بیوماس کل نیز گردیده است و دقت قابل قبول را ندارد. لذا مدل در شوری‌های کمتر از آستانه شوری گیاه قابل استفاده می‌باشد. به طور خلاصه هر کدام از تنش‌های شوری و خشکی با دقت‌های متفاوت سبب کاهش عملکرد مدل شدند. در نهایت بهبود مدل در زیرساخت‌های تنش آبی و شوری توصیه می‌شود.

مراجع

- اسدی، ر.، رضایی، م.، و امیری، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام اصلاح شده برنج. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۳: ۲۴-۳۷.
- حیدری نیا، م.، ناصری، ع. ع.، و برومند نسب، س. ۱۳۹۱. بررسی امکان کاربرد مدل AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز. مجله مهندسی منابع آب. سال ۵: ۳۷-۵۰.
- علیزاده، ح. ع.، نظری، ب.، پارسى‌نژاد، م.؛ رضانی اعتدالی، ه.؛ و جانباز، ح. ر. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در منطقه کرج. مجله آبیاری و زهکشی ایران، سال چهارم، ش ۲، ص ۲۸۳-۲۷۳.
- کاووسی، م. ۱۳۷۴. تعیین مدل مناسب پیش‌بینی عملکرد برنج در شوری‌های مختلف برای ارقام سپیدرود، حسن سرائی و خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز. ص ۹۰.
- Alemie, A., S. Habtu, K. M. Hadgu, A. Kebede and Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*) Agricultural Water Management, vol. 97, issue 11, 1838-1846.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrig. Drain. Paper No.56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Araya, A. Keesstra, S. D. and Stroosnijder, L. 2010. Simulating yield response to water of Teff (*Eragrostis teff*) with FAO's AquaCrop model. Field Crop Research Journal, 116: 196-204.
- Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L. and Martinez, J. 2013. Aquacrop Model Calibration in Potato and its use to estimate yield variability under field condition. Atmospheric and Climate Sciences, 3: 397-407.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrig. And Drain. Paper No. 33. PP. 193.
- Farahani, H. J. Izzi, G. and Oweis, T. Y. 2008. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigation Cotton". Agron J, 101: 469-476.
- Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, R. Miranda, J. A. Cusicanqui, C. Taboada, J. Mendoza, R. Huanca, A. Mamani, O. Condori, J. Mamani, B. Morales, V. Osco and Steduto, P. 2009. Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop. Agronomy J, 101(3): 499-508.
- Kiani, R., Homaei, M. and Latifi, M. 2006. Evaluation of water yield decrease in simultaneous condition of salinity and water scarcity. Journal of water and soil science, 20(1): 73-83.
- Kijne, J. W. 2006. Abiotic stress and water scarcity: Identifying and resolving conflicts from plant level to global level. Field Crops Research, 97: 3-18.
- Kumar, P., Sarangi, A., Singh, D. K. and Parihar, S.S. 2014. evaluation of aquacrop model in predicting wheat yield and water PRODUCTIVITY UNDER IRRIGATED SALINE REGIMES. Irrigation and Drainage, 63(4): 474-487.
- Maas, E. V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig. and Drainage Div., ASCE, 103 (IR2): 115-134.
- Patel, N., Kumar, P. and Sign, N. 2008. Performance evaluation of AquaCrop in simulating Potato yield under varying water availability condition. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi-110012.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. and Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to predict yield response to water: II Main algorithms and soft ware description. Agronomy Journal, 101: 438-447.
- Rinaldy, M., Losavio, N. and Flagella, Z. 2003. Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agricultural systems, 78: 17-30.
- Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, and Fereres, E. 2009. AquaCrop. The FAO crop model to predict yield response to water. Agronomy Journal, 101: 426-437.

- Steduto, P., Hsiao, T. C., and Fereres, E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci*, 25: 189-207.
- Todrovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M. T., Stockle, C. and Steduto, P. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST model in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy J*, 101(3): 509-521.
- Wamari, J. O., Isaya, S. V., kheng, L.M., Obutiatia, E. A. 2012. Use of Aquacrop Model to predict Maize yield under varying rainfall and temprature in semi-arid environment in kenya. *Journal of Meteorology Rel. Sci.*, 6:23-32.

Evaluating the Performance of the Aquacrop Model under Deficit and Saline Irrigation Management of Rice

E. Amiri^{1*}, M. Rezaei² and F. Shirshahi³

Abstract

This study conducted in order to assess accurate of Aquacrop Model in yield grain and Biomass simulation under rice (Hasham cultivar) deficit and saline irrigation management conditions in Rasht Rice Research Institute of Iran, during two year from 2009-2011. This experiment was conducted in form of factorial randomized complete block design with 3 replications. Treatments consisted of 4 levels of salinity as follows: S1, tap water with salinity less than 1 dS m, S2, S3, S4, respectively salinity of 2, 4, 6 dS m and five irrigation methods include I0: Irrigation continuous, I1, I2, I3, I4, respectively, in water saturation (AWD), irrigation at field capacity (FC), irrigation water content of 100, 90 and 80% of field capacity. AquaCrop model was evaluated for rice under deficit and salinity stress. Measured data of first and second year were used to calibrate and validate respectively. the root mean square error (RMSE), normalized root mean square error (RMSEn), the percentage relative error and test (T-test) was used in order to comparing simulation results with measured data. Grain yield was simulated with lower the threshold 0.85 and 9% to 0.43 and 33% in the model simulation results show that Model has acceptable performance in salinities less than the threshold salinity.

Keywords: Rice, Rasht, Aquacrop Model, Salinity Management.

¹ Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Iran. (*Corresponding author, eamiri57@yahoo.com)

² Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

³ Ph. D. Candidate, Young Researchers and Elite Club, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

Received: 29 May 2019

Accepted: 6 Sep 2019