Archive of SID

علوم و مهندسی آبیاری

جلد ۴۲، شماره‌ی ۱، تابستان ۹۸، ص. ۶۲-۴۹

ارزیابی کارایی مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد گیاه سویا رقم ویلیامز در استان گلستان تحت تنش شوری ناشی از آب دریای خزر و سطوح مختلف آبیاری

اسماعیل شعبانی[۱]، مهدی ذاکری نیا[۲*] و موسی حسام[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲*- نویسنده مسئول، نویسنده مسئول، دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
mzakerinia@gmail.com

۳-دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱ بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۰

چکیده

یکی از راه‌کارهای سازگاری با کاهش منابع آبی، استفاده از منابع آبی نامتعارف نظیر آب دریای خزر برای محصولات غالب استان نظیر سویا می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی مدلAquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد سویا و استفاده از نتایج حاصل از واسنجی مدل برای بهینه‌سازی مصرف آب، تحت تنش‌های مختلف آبی و شوری است. به این منظور آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. سه سطح آبیاری شامل ۷۵ درصد، ۱۰۰ درصد و ۱۲۵ درصد نیاز آبی و ۳ سطح شوری شامل آبیاری با آب معمولی با شوری $\frac{ds}{m}$ ۰/۶، آب با شوری $\frac{ds}{m}$ ۵ (شوری حد آستانه قابل تحمل توسط سویا) و آب با شوری $\frac{ds}{m}$ ۸ (بیش از حد آستانه) در کرت‌های با ابعاد ۳×۳ متر بود. به کمک داده‌های حاصل از سطح آبیاری کامل و بدون تنش شوری، مدل AquaCrop برای گیاه سویا واسنجی شد. ضریب تعیین بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده در شرایط مختلف شوری و تنش خشکی برای عملکرد دانه و عملکرد بیوماس به‌ترتیب ۰/۹۶۹ و ۰/۹۵۷ و مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۹۵ تن درهکتار محاسبه گردید که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل است. هم‌چنین مدل در شبیه‌سازی سطح آبیاری دقت بیشتری نسبت به تنش شوری در عملکرد دانه و عملکرد بیوماس داشت . در مجموع مدل پس از واسنجی شدن از دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی برخوردار می‌باشد بر این اساس می‌توان در استان گلستان شبیه‌سازی عملکرد سویا تحت تنش شوری ناشی از آب دریا و سطوح آبیاری از مدل AquaCrop استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: زیست توده، شوری، بهره‌وری آب، کمبود آب.

مقدمه

نزولات آسمانی اندک، پراکنش نامنظم این نزولات و درجه حرارت‌های بالا، موجب تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان زراعی مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است و کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید باشد. از سویی به علت رشد صنعت و جمعیت شهری و در نتیجه کاهش سهم آب بخش کشاورزی، بهبود کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency) WUE مبتنی بر تولید بیشتر به ازای هر واحد آب مصرفی بسیار با اهمیت است. علاوه بر موارد فوق، کیفیت آب کشاورزی از نظر شوری و کاربرد آن با هدف کشاورزی پایدار، بسیار حایز اهمیت است و استان گلستان نیز یکی از استان‌های شمالی کشور و مجاور دریای خزر است که در سال‌های اخیر به‌دلیل کمبود بارش‌ها، با مشکل کم‌آبی مواجه شده است.

آگاهی دقیق از رابطه بین مصرف آب و عملکرد محصول تحت‌تأثیر شرایط مختلف امری ضروری است. تلاش‌های اولیه برای درک این روابط باعث یافتن رابطه‌های تجربی بین آب و عملکرد موسوم به توابع تولید آب شد. توابع تولید به‌طور گسترده در تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی پاسخ عملکرد محصول به آب، استفاده شده است. یکی از راه‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی عملکرد گیاهان استفاده از مدل‌های گیاهی می‌باشد. یکی از این مدل‌ها، مدل AquaCrop است که جهت بررسی کارایی مصرف آب گیاه و تعیین واکنش محصول به عوامل تولید، توسط بخش آب و خاک سازمان خواروبار جهانی (FAO) با تجدید نظر در مقاله شماره ۳۳ سازمان FAO طراحی شده است (Doorenbos and Kassam, 1979).

سویا گیاهی با ریشه اصلی عمیق است که می تواند تا ۱۵۰ سانتی‌متری خاک نیز نفوذ نماید. در سویا علاوه بر ریشه اصلی،

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2017.18343.1332

ریشه فرعی به صورت حجمی نیز وجود دارد که در صورت مساعد بودن شرایط و وجود باکتری‌های همزیست سویا، ازت موجود در هوا را در گره‌های ریشه سویا تثبیت می‌نماید. سویا گیاهی روزکوتاه است. رنگ گل‌های آن متنوع می‌باشد. (از جمله سفید ، بنفش و صورتی) گل آذین آن خوشه‌ای و دانه‌ی آن کلیوی یا گرد می‌باشند. (Mahmum, 2013) در آزمایشی به واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد گرگان در سال 2013 پرداختند. طرح به‌صورت کرت‌های خردشده نواری و تیمارهای مقادیر مختلف آب آبیاری (W) به‌عنوان فاکتور اصلی و تیمارهای مقادیر مختلف کود نیتروژن (N) و ارقام گلستان و ب۵۵۷ به‌عنوان فاکتورهای فرعی در نظر گرفتند. واسنجی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه پنبه روی تیمارهای مختلف رقم گلستان با درصد خطای متوسط پیش‌بینی شده coefficient of < ۰/۹۱ ،۰/۹۵ < Er (Error) < ۰/۹۹ RMSE (Root < ۰/۴۲ و ۰/۹۰ < R^2 (determination) Mean Square Error) < ۰/۲۹ انجام شد. هم‌چنین این مقادیر برای رقم ب۵۵۷ برابر ۰/۹۹ > Er > ۰/۹۵ ،۰/۹۱ > R^2 > ۰/۹۰ و ۰/۴۲ >) RMSE > ۰/۲۹ به‌دست آمد. حداقل و حداکثر خطا پیش‌بینی عملکرد دانه تحت سطوح مختلف آب، کود و رقم به‌ترتیب برابر ۰/۱۸ و ۳۰ درصد به‌دست آمد. در انتها مدل AquaCrop با دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی عملکرد پنبه‌دانه تحت سطوح مختلف کاربرد آب و کود ارزیابی شد.

Babazadeh و Saraii Tabrizi (2012) به‌منظور ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop از داده‌های مزرعه‌ای تحت کشت گیاه سویا با اعمال چهار تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و کم آبیاری سنتی ۷۵ و ۵۰ درصد و آبیاری بخشی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد در منطقه کرج استفاده کردند که نتایج نشان داد مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول، تبخیر و تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب سویا عملکرد قابل قبولی دارد، هم‌چنین تحلیل حساسیت نشان می‌دهد ورودی‌های مدل به زمان سبز شدن بذرها، رطوبت اولیه خاک و عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل هیچ حساسیتی ندارد. (Farahani et al., 2009) به واسنجی مدل AquaCrop برای پنبه در سوریه تحت آبیاری کامل و ۴۰، ۶۰ و۸۰ درصد نیاز آبی پرداختند. نتایج این طرح میزان خطای ۱۰ درصد را بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و واقعی در حالت‌های آبیاری کامل و ۴۰ درصد نیاز آبی نشان داد. اما در تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری میزان خطا حدود ۳۲ درصد افزایش یافت. (Abedinpour et al., 2010) در ارزیابی مدل AquaCrop در مناطق نیمه‌خشک در شمال هندوستان روی ذرت به این نتیجه رسید که این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب از دقت کافی برخوردار است. (Patel et al., 2008) به بررسی قابلیت AquaCrop در شبیه‌سازی محصول پنبه تحت سطوح آبی مختلف پرداختند. نتایج آن نشان داد این مدل از قابلیت بالایی در شبیه‌سازی شاخص‌های محصول تحت شرایط آبیاری کامل و انواع مختلف کم‌آبیاری برخوردار بوده، اما دقت آن تحت تنش‌های شدید کاهش می‌یابد. (Kanian et al., 2012) طی پژوهشی به ارزیابی مدل AquaCrop در شرایط کم‌آبیاری در ایستگاه طرق مشهد پرداختند. در این تحقیق همبستگی بین نتایج حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی عملکرد و عملکرد بیولوژیکی به‌ترتیب برابر ۰/۹۸ و ۰/۹۹ تعیین شد. هم‌چنین همبستگی بین نتایج کارایی مصرف آب در عملکرد در دو حالت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده ۰/۹۴ تعیین شد. در ادامه با بررسی سناریوهای کم‌آبیاری مدیریت‌شده نشان داد اگرچه اعمال تنش در طول دوره رشد باعث کاهش جزیی عملکرد نسبت به دو حالت اعمال تنش قبل و بعد از گل‌دهی شده است اما شاخص‌های بهره‌وری آب محصول و بیوماس آن‌ها یکسان ارزیابی شد.

مناطق شمالی کشور ایران همانند اکثر نقاط کشور، در سال‌های اخیر به‌دلیل کمبود بارش‌ها با بحران منابع آب شیرین مواجه شده است. با وجود آن‌که استان گلستان رتبه نخست کشت سویا در کشور را داراست اما در تابستان با کمبود آب مواجه است. از این رو استفاده تلفیقی از منابع آبی غیرمتعارف (مانند آب دریای خزر که دارای شوری حدود یک سوم آب دریاهای آزاد است) در صورت امکان با منابع آبی محدود موجود، قابل استفاده خواهد بود. از سویی استفاده از مدل‌های گیاهی در شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصولات زراعی نظیر AquaCrop می‌تواند در هزینه و زمان انجام تحقیقات به‌صرفه باشد. لذا هدف از انجام این تحقیق ارزیابی کارایی این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه سویا و استفاده از نتایج حاصل از واسنجی مدل جهت بهینه‌سازی مدیریت آب، تحت تنش‌های مختلف آبی و شوری در استان گلستان است.

با توجه به اهمیت موضوع و اهمیت تولیدات در استان و از آن‌جایی‌که در ارتباط با مباحث و مشکلات بخش شوری مطالعات تخصصی اندکی صورت گرفته است، لزوم توجه ویژه به مبحث شوری احساس می‌شود. هدف اصلی در این طرح، استفاده از منابع آب جدید مانند آب دریا و ارزیابی عملکرد مدل AquacCrop در برآورد عملکرد محصول در تیمارهای مختلف آب و تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی شماره یک (شصت کلا) دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی با ارتفاع متوسط ۱۳ متر از سطح دریا در تابستان ۱۳۹۳ انجام شده است.

تحقیق حاضر در قطعه زمینی به ابعاد ۱۱×۳۶ مترمربع با ۲۷ کرت شامل ۹ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل ۷۵ درصد، ۱۰۰ درصد و ۱۲۵ درصد نیاز آبیاری و ۳ تیمار شوری آبیاری شامل آب معمولی با شوری $\frac{ds}{m}$ ۰/۶ ، آب با شوری $5\frac{ds}{m}$

www.SID.ir

Archive of SID

(شوری حد آستانه قابل تحمل توسط سویا) و آب با شوری ۸ $\frac{ds}{m}$ بود. شوری مورد نظر از اختلاط نسبت‌های مختلف آب شاهد با آب دریای خزر با شوری ۳۱/۲ $\frac{ds}{m}$ به‌دست آمد. ابعاد کرت‌ها ۳×۳ متر و فاصله ردیف‌ها در هر کرت ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ها روی ردیف ۷ سانتی‌متر بود.

مدل AquaCrop تحت تیمارهای مختلف کم‌آبی و بیش‌آبیاری و شوری واسنجی شد. میانگین پارامترهای اقلیمی گرگان طی فصل رشد در سال زراعی ۱۳۹۳ از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک هاشم‌آباد که در نزدیکی مزرعه واقع شده است، دریافت شد. تیمارهای I_1 و I_2 و I_3 به‌ترتیب نشان‌دهنده آبیاری ۷۵ درصد، ۱۰۰ درصد و ۱۲۵ درصد نیاز آبی و مقادیر S_1 و S_2 و S_3 به ترتیب نشان دهنده شوری ۰/۶ $\frac{ds}{m}$ ، ۵ $\frac{ds}{m}$ و ۸ $\frac{ds}{m}$ است.

مشخصات آب و هوایی ایستگاه هاشم‌آباد در جدول (۱) آمده است. این ایستگاه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای بوده و زمستان های آن نسبتاً ملایم و تابستان‌های آن نسبتاً مرطوب است.

جدول۱- پارامترهای اقلیمی در ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد

Table 1- Climate parameters at the Hashemabad Meteorological Station.

Months	Average Temperature		Average Relative Humidity (RH)		Rain (mm)	Average Sunshine daily (hr)	Average wind speed at 10 meters (m/s)
	Min (C^0)	Max (C^0)	Min (C^0)	Max (C^0)			
may	15.6	28.4	48	82	15	7.6	3.5
june	2.4	33.1	43	77	44.2	8.9	3.9
july	24.1	33.5	49	75	1.3	7.4	3.7
august	23.6	34.9	46	75	13.2	1.1	3.3
september	23.3	33.9	51	80	12	8.3	3.7
october	15	26.2	52	87	38.1	5.1	3.9

جدول۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 2- Soil physical and chemical characteristics

Soil Depth (Cm)		0-30	30-60
Physical	Clay (%)	36	35
	Sand (%)	6	5
	Silt (%)	58	60
	Soil Texture	Si.C.L	Si.C.L
	FC (cm^3 cm^{-3})	44	44.5
	PWP (cm^3 cm^{-3})	23	23.2
	θs (cm^3 cm^{-3})	55.3	55
Chemical	EC (ds/m)	1.86	1.86
	pH	7.9	7.9

θs: Saturated water content, FC: Field Capacity, PWP: Permanent Wilting Point, EC: Electrical Conductivity, OM: Organic Matter, Si.C.L: Silty clay loam

جدول ۳- متوسط ترکیبات شیمیایی آب موجود (شاهد) و آب دریای خزر به‌کار گرفته‌شده در آزمایش

Table 3- Chemical properties of tube well water (Control) and source of saline water (Caspian Sea water)

Water	EC (dS/m)	PH	SAR	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cl^-
				meq/L						
Well	0.86	7	0.14	0.27	4.4	2.8	0.48	0.7	7	1
Sea	26.6	8	36	237.9	25.2	61.71	8.21	24.5	31.5	221

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2017.18343.1332

قبل از کاشت سویا، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، درصد رطوبت، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، شوری و اسیدیته خاک با نمونه‌گیری از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۲) ارائه گردیده است و مشخصات آب معمولی چاه مزرعه و آب دریای خزر که در این پژوهش استفاده شده، در جدول (۳) ارائه شده است.

میزان نیاز آبی به‌وسیله اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از هر آبیاری تا رسیدن به نقطه ظرفیت زراعی تعیین شد. دو نوبت آبیاری اولیه بدون اعمال تیمارهای تنش و شوری براساس نیاز رطوبتی خاک انجام گردید. بعد از استقرار گیاه و پایان مرحله اولیه رشد و شروع مرحله توسعه رشد، تیمارهای تنش آبی و شوری اعمال شد.

مدل AquaCrop

این مدل از معادله (Doorenbos and Kassam., 1979) رابطه (۱) ، که در نشریه ۳۳ فائو برای محاسبه ضریب حساسیت کم‌آبی براساس تعیین نسبت تبخیر و تعرق نسبی و عملکرد نسبی بیان شده است، استفاده می‌کند و بر اساس معادله بیلان آب عمل می‌کند. نسخه سال 2012 آن قابلیت شبیه‌سازی رشد گیاهان در شرایط تنش شوری را نیز دارا می‌باشد. این مدل خصوصاً در مناطقی که کمبود آب، عامل کلیدی است، برای تعیین واکنش محصول به مقدار آب به‌کار می‌رود.

$$(\frac{Y_x-Y_a}{Y_x}) = K_Y(\frac{ET_x-ET_a}{ET_x}) \qquad (۱)$$

که در آن Y_x عملکرد حداکثر، Y_a عملکرد واقعی، ET_x تبخیر و تعرق حداکثر، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_Y ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر و تعرق می‌باشد.

از جمله کاربردهای مدل مذکور عبارتند از شبیه‌سازی دوره رشد گیاه، ارزیابی سطح آبیاری و میزان محصول در منطقه، ارزیابی تنش شوری و میزان محصول در منطقه، مقایسه کارایی مصرف آب در مزرعه و حتی در منطقه با میزان شبیه‌سازی‌شده، ابزاری آزمایشی جهت تعیین میزان اختلاف محصول شبیه‌سازی‌شده و واقعی در منطقه، هم‌چنین شناسایی عوامل محدودکننده، ارزیابی محصول کشت دیم در طولانی‌مدت، توسعه برنامه‌ریزی‌های آبیاری جهت دست‌یابی به بیشترین محصول در اقلیم‌های متفاوت، ارزیابی سطح آبیاری و میزان محصول در منطقه، برنامه‌ریزی‌های کم‌آبیاری و آبیاری تکمیلی، ارزیابی برنامه‌ریزی آبیاری با عمق ثابت بر میزان محصول، ارزیابی تأثیر کمبود مواد غذایی و آب در مزرعه و حتی در منطقه با میزان شبیه‌سازی‌شده، بررسی و شبیه‌سازی روند تغییرات رطوبت خاک می‌باشد. بهره‌وری آبWP (Water Productivity) در مزرعه برابر با نسبت ماده خشک تولیدی به کل حجم آب مصرفی می‌باشد و IWUE (Irrigation Water Use Efficiency) نسبت ماده خشک تولیدی به حجم آب آبیاری است.

در این تحقیق برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل با نتایج مزرعه‌ای از نمایه‌های آماری ریشه میانگین حداقل مربعات (RMSE) ، ضریب کارایی نش–ساتکلیف E (Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient)، ضریب انحراف استاندارد کلی GSD (General Standard Deviation) ، میانگین خطای قدرمطلق MAE (Mean Absolute Error) و ضریب تعیین (R^2)، استفاده گردید.

آزمون RMSE برای مقادیر شاخص‌های مورد بررسی هر محصول انجام شد. مقدار این شاخص به واحد مورد استفاده در مقادیر به‌کار رفته در آن بستگی دارد؛ مثلاً اگر مقادیر مورد استفاده در آن برحسب تن در هکتار باشد و مقدار این پارامتر برابر ۰/۲ باشد بیان‌گر این است که حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار خطا در شبیه‌سازی وجود دارد. هرچه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، بهترین برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد. رابطه مورد استفاده به شکل زیر می‌باشد. (رابطه ۲).

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(\mathrm{Ai}-\mathrm{Bi})2}{\mathrm{N}}} \qquad (۲)$$

در این رابطه Ai مقادیر محاسبه‌شده توسط مدل، Bi مقادیر واقعی و N نشان‌دهنده تعداد مشاهدات است.

ضریب کارایی نش–ساتکلیف (E) رابطه (۳) نیز استفاده شد تا بدین‌وسیله میزان خطای مقادیر شبیه‌سازی‌شده نسبت به داده‌های واقعی مشخص شود و نتیجه‌گیری نهایی در مورد مدل صورت گیرد. این فرمول به شرح زیر می‌باشد:

$$\mathrm{E}=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}(B_i-A_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(B_i-\bar{B}_i)^2} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳) $\bar{\mathrm{B}}\mathrm{i}$ میانگین مقادیر مشاهده، Ai مقادیر محاسبه‌شده توسط مدل، Bi مقادیر واقعی و N نشان‌دهنده تعداد مشاهدات است.

هم‌چنین از فرمول ضریب انحراف استاندارد کلی (رابطه ۴) نیز استفاده می‌شود.

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{B}} \qquad (۴)$$

که در آن $\bar{B}$ میانگین مقادیر مشاهده می‌باشد.

میانگین خطای قدر مطلق نیز از رابطه ۵ به‌دست می‌آید.

$$\mathrm{MAE} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}\frac{|\mathrm{Ai}-\mathrm{Bi}|}{\mathrm{N}} \qquad (۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که Ai مقادیر محاسبه‌شده توسط مدل، Bi مقادیر واقعی و N ، تعداد مشاهدات است.

همچنین از ضریب تعیین استفاده شد. ضریب تعیین شاخصی است که جهت و مقدار رابطه بین دو متغیر را توصیف می‌کند.

ضریب تعیین به‌عنوان معیاری برای سنجش تغییرات مقادیر شبیه‌سازی‌شده و واقعی نسبت به هم دارای خواص مطلوبی است: ۱. به مبدأ و واحد اندازه‌گیری متکی نیست ۲. بین صفر و یک متغیر است.

اگر R^2 به یک نزدیک باشد، یافته‌های اطراف یک خط راست می‌باشند و اگر صفر باشد متغیرها ناهمبسته‌اند. (رابطه ۶)

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \qquad (۶)$$

در این روابط Xi و Yi به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده توسط مدل، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین کل داده‌های Xi و Yi در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند.

نتایج و بحث

میزان آب آبیاری و میزان آب مصرفی توسط گیاه، همچنین میزان عملکرد دانه و عملکرد بیوماس برداشت‌شده از مزرعه در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به جدول (۴) مشخص است که کارایی مصرف آب در شوری‌های اعمال‌شده دارای روند کاهشی بوده است، به‌طوری‌که کمتری میزان آن برای تیمار ۱۲۵ درصد آبیاری با شوری $\frac{dS}{m}$ ۸ و بیشترین میزان برای تیمار شاهد بود.

جدول ٤- عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا در سطوح مختلف آبیاری و شوری

Table 4- grain yield and biomass in different irrigation and salinity levels

Parameters	Irrigation water	Crop water use	Grain yield	Biomass	Wp	IWUE
	(mm)	(mm)	ton/ha	ton/ha	Kg/m^3	Kg/m^3
Irrigation level 75%(I_1)						
S_1	187	210	6.01	7.87	28.62	32.14
S_2	187	210	3.84	4.57	18.29	20.53
S_3	187	210	3.25	3.71	15.48	17.38
Irrigation level 100%(I_2)						
S_1	250	273	8.14	13.4	29.82	32.56
S_2	250	273	6.82	11.15	24.98	27.28
S_3	250	273	6.15	10.02	22.53	24.60
Irrigation level 125%(I3)						
S_1	312	335	6.07	7.13	18.12	19.46
S_2	312	335	4.47	5.01	13.34	14.33
S_3	312	335	2.03	2.63	6.06	6.51

جدول ٥- پارامتر های گیاهی وارد شده در مدل

Table 5- Plant parameters that given to the model

Parameters	Default	Measured	Unit
Row Spacing		35	Cm
Plant Spacing		7	Cm
Planting		2014/6/11	
Sprout		2014/6/20	
Harvesting		2014/10/21	
Maximum canopy cover	70		%
Maximum canopy cover time	72		Day
Maximum deep root	155		Cm
Maximum deep root time	92		Day
Reduce canopy cover	104		Day

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2017.18343.1332

واسنجی مدل Aquacrop

ارقام مختلف پاسخ متفاوتی نسبت به تنش شوری و سطوح آبیاری می‌دهند به‌طوری‌که طبق پژوهش (Rostami Hir et al., 2004) حساس‌ترین رقم به شوری در گیاه سویا، رقم ویلیامز می‌باشد، بنابراین مدل قادر به شبیه‌سازی گیاهی با تفکیک رقم نیست لذا در شبیه‌سازی مدل نسبت به واقعیت اختلاف‌هایی وجود دارد، پس واسنجی مدل امری ضروری می‌باشد. این واسنجی در قسمت خصوصیات گیاهی و به‌صورت سعی و خطا انجام شد. تا مدل نسبت به حالت مزرعه نزدیک شود و برای اقلیم گرگان و رقم ویلیامز منطبق گردد. پارامترهای گیاهی وارد شده در مدل در جدول (۵) و نتایج واسنجی پارامترهای مدل در جدول (۶) ارائه شده است. در مدل AquaCrop برخی از پارامترهای خصوصیات گیاهی با توجه به خصوصیات اقلیمی و نوع گیاه قابل واسنجی است. پس از واسنجی، در سطوح مختلف آبیاری و شوری، عملکرد محصول سویا شامل دانه و بیوماس در مدل شبیه‌سازی و با داده‌های اندازه‌گیری شده از مزرعه مقایسه گردید (جدول ۷). باتوجه به این نتایج، شبیه‌سازی عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیوماس از دقت بیشتری برخوردار است، که با نتیجه Babazadeh و Saraii Tabrizi (2012) هم‌خوانی دارد. ایشان در تحقیق خود که در شرایط کمبود آب مدل مذکور را ارزیابی نموده بودند، اذعان داشتند که مقدار عملکرد محصول علاوه بر میزان آب قابل‌دسترس به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی به عوامل بسیار متعددی نظیر مقدار و زمان مصرف کود، نحوه مصرف کود، درجه شوری خاک، درجه حاصل‌خیزی مزرعه، وضعیت مزرعه از نظر نوع کشت در سال قبل و آفات و بیماری‌ها بستگی دارد.

جدول ٦- پارامترهای واسنجی شده در مدل

Table 6- Calibrated values of AquaCrop model

Parameters	Treatment	Calibrated values	Unit
Water productivity (WP*)	I_1S_1	15	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		80	%
Max. crop canopy (CCX)		66	%
Water productivity (WP*)	I_1S_2	15	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		78	%
Max. crop canopy (CCX)		57	%
Water productivity (WP*)	I_1S_3	15	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		68	%
Max. crop canopy (CCX)		56	%
Water productivity (WP*)	I_2S_1	18	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		66	%
Max. crop canopy (CCX)		98	%
Water productivity (WP*)	I_2S_2	19	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		63	%
Max. crop canopy (CCX)		69	%
Water productivity (WP*)	I_2S_3	17	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		63	%
Max. crop canopy (CCX)		70	%
Water productivity (WP*)	I_3S_1	15	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		74	%
Max. crop canopy (CCX)		68	%
Water productivity (WP*)	I_3S_2	15	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		71	%
Max. crop canopy (CCX)		57	%
Water productivity (WP*)	I_3S_3	15	gr/m^3
Reference harvest index (HI_o)		50	%
Max. crop canopy (CCX)		52	%

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقایسه عملکرد دانه و بیوماس سویا اندازه گیری شده و شبیه سازی شده.

Table 7- Comparison of measured and simulated grain yield and biomass of soybean's

Treatment	Observed data		Simulated data		Model predicted error For grain yield (%)	Model predicted error For biomass (%)
	Grain yield (ton/ha)	Biomass (ton/ha)	Grain yield (ton/ha)	Biomass (ton/ha)		
I_1S_1	6.01	7.87	6.26	8.26	4.16	4.96
I_1S_2	3.83	4.57	4.18	5.57	9.14	21.88
I_1S_3	3.25	3.71	3.31	4.88	1.85	31.54
I_2S_1	8.14	13.4	8.35	13.21	2.58	1.42
I_2S_2	6.82	11.15	7.56	11.94	10.85	7.09
I_2S_3	6.15	10.02	6.74	10.63	9.59	6.09
I_3S_1	6.07	7.13	6.18	8.4	1.81	17.81
I_3S_2	4.47	5.01	4.67	6.47	4.47	29.14
I_3S_3	2.03	2.63	2.53	3.56	24.63	35.36

جدول ۸- ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد بیوماس

Table 8- Evaluation of the Aquacrop model for biomass simulation

Treatment	Biomass Observed (Ton/ha)	Biomass Simulated (Ton/ha)	RMSE	E	MAE	R^2
I_1S_1	7.87	8.26				
I_1S_2	4.57	5.57				
I_1S_3	3.71	4.88				
I_2S_1	13.4	13.21				
I_2S_2	11.15	11.94	0.95	0.92	0.87	0.9895
I_2S_3	10.02	10.63				
I_3S_1	7.13	8.4				
I_3S_2	5.01	6.47				
I_3S_3	2.63	3.56				

باتوجه به جدول (۷) هر چه میزان تنش اعمال شده بیشتر باشد، مدل در شبیه‌سازی دارای خطای بیشتری نسبت به حالت واقعی است به‌طوری‌که این اختلاف در تیمارهای I_1S_3، I_2S_3 و I_3S_3 بیشترین مقدار است. بهترین حالت شبیه‌سازی برای تیمار I_2S_1 (شاهد) بود و تیمار I_3S_3 دارای بیشترین خطا (۳۵/۳۶٪) بود. جدول (۷) نشان داد که مدل در شبیه‌سازی عملکرد بیوماس در شرایط تنش شوری و سطح آبیاری از دقت کمتری برخوردار بوده است. شبیه‌سازی عملکرد دانه با توجه به جدول (۷) در آبیاری ۷۵ درصد و شوری ۸ دسی زیمنس (I_1S_3) نسبت به شوری آب معمولی و ۵ دسی زیمنس (I_1S_2 و I_1S_1) دارای اختلاف کم‌تری نسبت به حالت مزرعه بوده. هم‌چنین تیمار آبیاری کامل بدون شوری (شاهد) I_2S_1 دارای اختلاف کمتری نسبت به تیمار آبیاری کامل با شوری ۸ (I_2S_3) و آبیاری کامل با شوری ۵ دسی‌زیمنس (I_2S_2) است. در بیش‌آبیاری (۱۲۵ درصد) آبیاری با آب معمولی (I_3S_1) دارای اختلاف کم نسبت به حالت مزرعه است ولی در تیمارهای I_3S_2 و I_3S_3 اختلاف در شبیه‌سازی نسبت به آبیاری با آب معمولی بیشتر بوده است. در حالت کلی می‌توان به این نتیجه رسید که دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس در شوری‌های بالاتر از دقت کمتری نسبت به آب معمولی برخوردار است. این نتایج با تحقیق Sharafi (2014) که اعلام داشتند، نرم افزار AquaCrop به خصوص در شوری‌های بالاتر از ۵ دسی‌زیمنس جواب‌های دقیقی ارائه نمی‌نماید، هم‌خوانی دارد.

سپس کارایی شبیه سازی مدل به کمک آمارهای خطای مربع میانگین ریشه (RMSE)، میانگین خطای قدر مطلق (MAE) ضریب کارایی (E) و ضریب تعیین R^2 ارزیابی شد. در جدول (۸) و شکل (۱) ارزیابی بیوماس و در جدول (۹) و شکل (۲) ارزیابی عملکرد دانه مشخص شده است که‌بیانگر کارایی مطلوب مدل است.

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2017.18343.1332

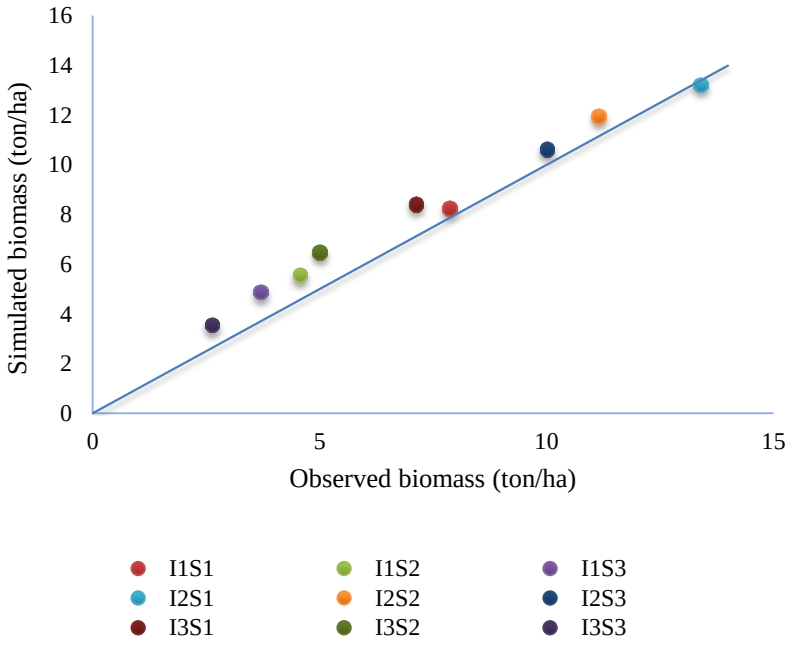

Fig. 1- Model calibration results for biomass in all treatments
شکل ۱- کالیبراسیون مدل برای عملکرد بیوماس در تمام تیمارها

جدول ۹- ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه

Table 9- Evaluation of the Aquacrop model for grain yield simulation

Treatment	Grain yield Observed (Ton/ha)	Grain yield Simulated (Ton/ha)	RMSE	E	MAE	R^2
I_1S_1	6.01	6.26				
I_1S_2	3.83	4.18				
I_1S_3	3.25	3.31				
I_2S_1	8.14	8.35				
I_2S_2	6.82	7.56	0.4	0.95	0.33	0.9865
I_2S_3	6.15	6.74				
I_3S_1	6.07	6.18				
I_3S_2	4.47	4.67				
I_3S_3	2.03	2.53				

www.SID.ir

Archive of SID

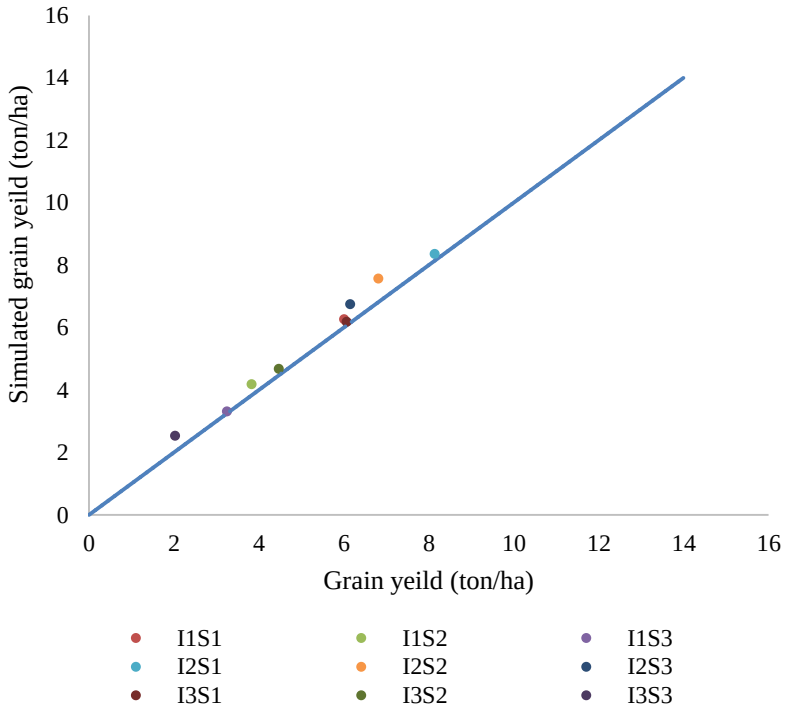

Fig. 2- Model calibration results for grain yield in all treatments
شکل ۲- کالیبراسیون مدل برای عملکرد دانه در تمام تیمارها

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل AquaCrop برای گیاه سویا با شرایط استان واسنجی گردید. در شبیه‌سازی مدل تیمار شاهد دارای کمترین اختلاف با حالت واقعی بود و با افزایش و کاهش سطح آبیاری نسبت به شاهد و اعمال تنش شوری دقت مدل در شبیه‌سازی کاهش یافت. مدل در شبیه‌سازی سطح آبیاری دقت بیشتری نسبت به تنش شوری در عملکرد دانه و عملکرد بیوماس داشت. در مجموع مدل پس از واسنجی شدن از دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی برخوردار می‌باشد. پیشنهاد می‌شود از سایر مدل‌های شبیه‌سازی برای پیش‌بینی عملکرد استفاده شود و نتایج آن با مدل AquaCrop مقایسه گردد همچنین از آن‌جا که سویا محصول استراتژیک استان می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌شود برای سایر ارقام سویا نیز شبیه‌سازی با AquaCrop انجام شود و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با رقم ویلیامز مقایسه گردد. در پژوهش‌های بعدی شبیه‌سازی مدل AquaCrop در شرایط مختلف کودی برای گیاه سویا مورد ارزیابی قرار گیرد.

References

1- Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T.B.S., Man Singh, P. and Ahmad, T., 2010. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 110, PP.55–66.

2- Babazadeh, H. And Sarai Tabrizi, M., 2012. Assessment of AquaCrop Model Under soybean deficit irrigation management conditions. *Journal of Water and Soil*, 26(2), PP.329-339. (In Persian).

3- Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *Irrigation and Drainage paper no.* 33. FAO, Rome.

4- Farahani, H.J., Izzi, G. and Oweis, T.Y., 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy Journal*, *101*(3), pp.469-476.

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2017.18343.1332

5- Kanian, H., Nazari, B., Beiginezhad, M., Rahimi. and Eghbali, H., 2012. Evaluation of AquaCrop model in dificit irigation management of wheat in the Torogh of Mashhad. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(5), pp.216-226. (In Persian).

6- Mahmum, S., 2013. Evaluation and calibration of AquaCrop model under various diets of water and nitrogen fertilizers in cotton cultivation in Golestan climate, M.S Thesis, *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Iran.90p. (In Persian).

7- 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, India.

8- Rostami Hir, M.,Galeshi, S., Soltani, A. and Zeinali, E., 2004. Symbiotic nitrogen fixation in soybean cultivars (Gycine max L.). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gorgan*, 11(2), PP.127-136. (In Persian).

9- Sharafi, A., 2014. Determinetion of the water use efficiency and yield of soybean Under different level of water and salinity stress and evaluation of AquaCrop model, M.S Thesis, *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Iran.85p. (In Persian).

www.SID.ir