

## ارزیابی مدل AquaCrop برای دو گونه مرتعی جو و یونجه خودرو در منطقه حفاظت شده شیمبار، استان خوزستان

مهری دیناروند<sup>۱</sup>، سید بهرام اندرزیان<sup>۲\*</sup>، حمید اجتهادی<sup>۳</sup> و محمد فرزام<sup>۴</sup>

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۲\* - نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اهواز، ایران، پست الکترونیک: bandarzian@yahoo.com

۳ - استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۴ - استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۵

### چکیده

مدل‌سازی مراحل رشد گونه‌های گیاهی و ارتباط آن با عوامل محیطی به‌ویژه تغییرات اقلیمی و خاکی، می‌تواند هدایت‌گر برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی مناسب برای احیا و اصلاح مراتع باشد. در این تحقیق هدف ارزیابی مدل AquaCrop برای گونه‌های جو خودرو (*Hordeum murinum subsp. glaucum* (Staud.) Tzvelev) و یونجه (*Medicago polymorpha* L.) در منطقه حفاظت شده شیمبار بود. بنابراین براساس داده‌های اندازه‌گیری شده سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴، ارزیابی مدل انجام شد. برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های سال دوم از شاخص‌های ارزیابی، ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات اشتباه (RMSE)، جذر میانگین مربعات اشتباه نرمال شده (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شد. ارزیابی کارکرد مدل AquaCrop در شبیه‌سازی روند تغییرات سایه‌انداز (درصد پوشش) و تولید ماده خشک گونه‌های انتخابی، نشان داد که مدل کارایی لازم را در شبیه‌سازی دارد. ارزیابی آماری مقادیر  $R^2$ ، EF و d در شبیه‌سازی و اعتبارسنجی برای تغییرات سایه‌انداز (درصد پوشش) و تولید ماده خشک در جو خودرو و یونجه نزدیک به ۱ هستند. نتایج ارزیابی آماری درصد پوشش جو خودرو و یونجه نیز نشان می‌دهد که مقدار عددی ضریب RMSE، بین ۱ تا ۳/۷ و برای ماده خشک بین ۰/۲۳ تا ۰/۰۳ است.

واژه‌های کلیدی: منطقه حفاظت شده شیمبار، مدل AquaCrop، شبیه‌سازی، صحت‌سنجی، جذر میانگین مربعات اشتباه، ماده خشک.

### مقدمه

پارامترهای ورودی آن ساده و از دقت کافی و توانمندی زیاد در شبیه‌سازی برخوردار است. با استفاده از مدل AquaCrop، میزان تولید محصول به‌عنوان معیاری برای بررسی مصرف آب در شرایط دیم، آبیاری و یا کمبود آب، شبیه‌سازی می‌شود. ابزار محاسبه رشد در AquaCrop، چرخه آب است. میزان تولید بیومس در ارتباط با آب یا به عبارتی تعرق، معیاری برای استفاده از  $CO_2$  و بخار آب

مدل فرایندگرایی AquaCrop، مدلی است که توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) برای شبیه‌سازی واکنش رشد و عملکرد گیاهان به آب (خشکی و ماندابی)، دما، تغییرات، مدیریت‌های زراعی و غیر زراعی طراحی شده است. این مدل نیاز به پارامترهای نسبتاً کم و داده‌های ورودی کمی برای شبیه‌سازی پاسخ عملکرد به آب دارد.

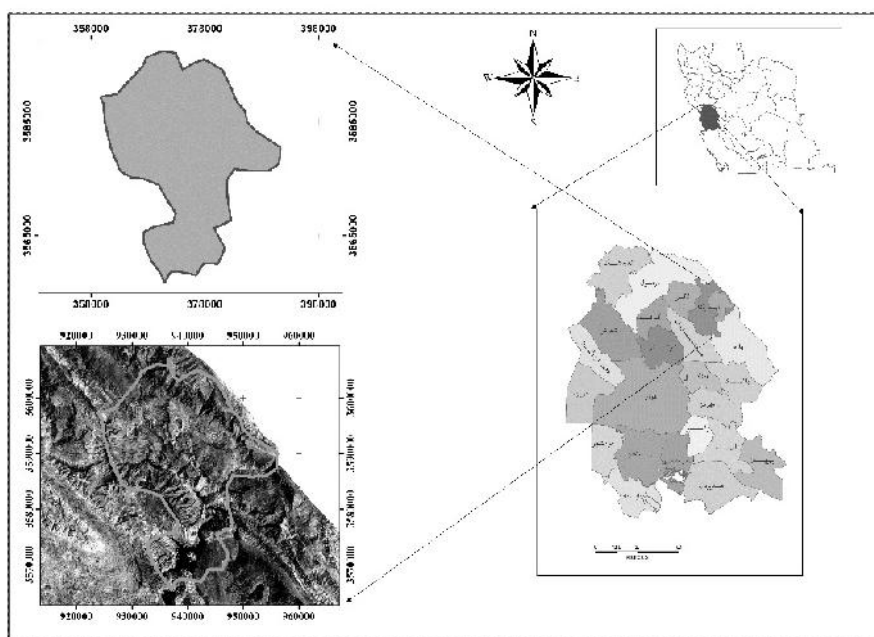
مدل‌سازی مراحل رشد گونه‌های گیاهی منطقه و اثر عوامل محیطی، اقلیمی و خاکی می‌تواند هدایت‌گر برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی مناسب برای احیا و اصلاح مراتع باشد. در این تحقیق هدف ارزیابی مدل AquaCrop برای گونه‌های جو خودرو (*Hordeum murinum* subsp. *glaucum* (Staud.) Tzvelev) و یونجه (*Medicago polymorpha* L.) در منطقه حفاظت شده شیمبار بود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه شیمبار یا شیرین‌بهار شامل محدوده‌ای در دامنه شمالی دریاچه سد شهید عباسپور در حوزه زاگرسی (ناحیه ایرانی تورانی) است. این منطقه در ۴۵ کیلومتری شمال شرقی مسجدسلیمان و در محدوده بخش اندیکا، بین مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). مساحت این منطقه ۵۳ هزار هکتار می‌باشد. تغییرات ارتفاعی منطقه بین ۴۰۰ تا ۳۴۰۰ متر از سطح دریاست. میانگین حداکثر دما ۳۴ درجه سانتی‌گراد در تیرماه و میانگین حداقل دما ۶ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه و متوسط بارندگی سالیانه ۴۰۰ میلی‌متر بصورت باران و تگرگ و در ارتفاعات مشرف به منطقه از نوع برف است. سیمای عمومی منطقه نیز شامل سه رویشگاه شاخص، جنگل (درخت‌زار) بلوط، مراتع با پوششی از گونه‌های علفی و تالاب با پوشش انبوهی از درختچه‌های آبدوست است.

موجود در اتمسفر است. این معیار کمک می‌کند که AquaCrop برای فصول و مکان‌های مختلف قابلیت کاربرد داشته باشد. شبیه‌سازی در دوره‌های دمایی و تغییرات دوره‌ای، حتی روزانه امکان‌پذیر است (Steduto *et al.*, 2009). این مدل به سه دسته داده برای اجرا نیاز دارد که عبارتند از: داده‌های اتمسفری مانند بارندگی، دما و تبخیر، داده‌های مربوط به گیاه مانند فنولوژی، عمق ریشه و میزان ماده خشک و داده‌های خاک محل مانند میزان رطوبت و بافت خاک (Shamsnia & Pirmoradian, 2013). همکاران (۲۰۱۵) از مدل AquaCrop برای محاسبه میزان آب موجود در خاک، تبخیر از سطح خاک، بیومس و تولید محصول در گیاه (*Glycine max* L.) Soybean در شمال چین استفاده کردند. برای اینکار داده‌های تجربی ۴ سال جمع‌آوری شد تا توانایی مدل سنجیده شود. کالیبره کردن مدل داده‌ها نشان داد که مقدار بیومس و محصول تولیدی با شبیه‌سازی شده از کمترین انحراف، کمتر از ۹ درصد برخوردار بوده و مقدار میانگین خطا RMSE کمتر از ۷/۳ درصد بود. این مدل همچنین برای ارزیابی عملکرد محصولاتی از جمله ذرت (Hsiao *et al.*, 2009)، پنبه (Geerts *et al.*, 2009) و کینوا (Garcia-Via *et al.*, 2009) بکار گرفته شد و نتایج حکایت از قابل اعتماد بودن مدل در شبیه‌سازی میزان تولید ماده خشک و محصول داشت. پژوهش اخیر با هدف ارزیابی مدل AquaCrop برای گونه‌های مرتعی جو خودرو و یونجه در منطقه حفاظت شیمبار طی سالهای ۱۳۹۲ تا ۹۴ انجام شد. این خطه به دلیل تنوع زیستگاهی، وجود تالاب، بیشه مردابی، درخت‌زار بلوط و مراتع بیلاقی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Dinarvand *et al.*, 2016).



شکل ۱- موقعیت منطقه حفاظت شده شیمبار در استان خوزستان

تهیه داده‌های مراحل رشد و نمو گونه‌های انتخابی در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ در فصل رویشی برای ثبت مراحل رشد به منطقه مراجعه و فاکتورهای مربوط به فنولوژی، درصد پوشش (با استفاده از پلات یک مترمربعی)، ماده خشک اندام‌های هوایی (برای ۱۰ پایه) و شاخص سطح برگ (برای یک پایه) گونه‌های انتخابی از مراحل اولیه رشد رویشی تا بلوغ و پیری اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رویشی نیز عملکرد دانه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بعضی ویژگی‌ها تحت عنوان صفات حفاظت‌شده برای هر گونه صفات تثبیت شده‌ای هستند که با تغییر منطقه رویشی، تغییر نمی‌کنند (Steduto et al., 2012) (جدول ۳).

ثبت داده‌های مربوط به خاک منطقه هر سال یک نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شد. خصوصیات مربوط به خاک منطقه مانند EC، pH، بافت خاک، درصد رطوبت، میزان کربن آلی، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای بررسی اثر تغییر اقلیم نتایج مشاهدات و اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد که بیشترین درصد پوشش منطقه یونجه و شبدرها از پهن‌برگان علفی (فورب‌ها) و گراس‌هاست. بنابراین دو گونه *Hordeum* و *Medicago polymorpha* L. به‌عنوان گونه‌های مناسب انتخاب شدند. لازم به ذکر است که گونه انتخابی یونجه زندگی همزیستی با ریزوبیوم‌های خاک دارد و نقش مؤثری در افزایش ازت خاک در منطقه داشته است.

#### تهیه داده‌های اقلیمی

داده‌های آب و هوایی سالهای ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ از سازمان آب و برق خوزستان، ایستگاه چلو و اندیکا تهیه شد. همه داده‌ها به اکسل وارد شد و پس از مرتب‌سازی و تبدیل از تاریخ شمسی به میلادی، خروجی اکسل به بخش ورود داده‌های مدل بارگذاری شد.

جدول ۱- ثبت مراحل رشد و ویژگی‌های گونه‌ها در فاصله سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴

گونه	شاخص سطح برگ (LIA)	سایه‌انداز	ماده خشک (g)	طول ریشه (cm)	تاریخ	درصد رطوبت خاک	فنولوژی
<i>Hordeum murinum</i>	۰/۰۰۰۱۸	۰/۶۷	۰/۰۴۳	۴	۹۲/۹/۲۶	۳۷	رشد رویشی
<i>Medicago polymorpha</i>	۰/۰۰۰۹۵	۵/۳۸	۰/۰۶۴	۴	۹۲/۹/۲۶	۳۷	رشد رویشی
<i>Hordeum murinum</i>	۰/۰۰۰۶۳	۴/۳۷	۰/۰۸۷	۸	۹۲/۱۲/۱۳	۱۶	رشد رویشی
<i>Medicago polymorpha</i>	۰/۲۶۷	۲۹/۶۵	۱/۱۰۷	۹	۹۲/۱۲/۱۳	۱۶	گلدهی
<i>Hordeum murinum</i>	۰/۰۰۰۳۹	۳/۳۸	۰/۰۷۲	۱۳	۹۳/۱/۲۷	۷/۵	گلدهی
<i>Medicago polymorpha</i>	۰/۱۰۰۰۸	۱۸/۱۸	۱/۶۹۴	۱۲	۹۳/۱/۲۷	۷/۵	میوه
<i>Hordeum murinum</i>	-	-	۱/۸۶۱	۰	۹۳/۲/۲۲	۸/۱۹	رکود
<i>Medicago polymorpha</i>	-	-	۱/۵۹	۰	۹۳/۲/۲۲	۸/۱۹	رکود
<i>Hordeum murinum</i>	۰/۰۰۰۵۴	۴/۰۴	۰/۲۵۵	۵	۹۳/۱۰/۹	۵۰/۹	رشد رویشی
<i>Medicago polymorpha</i>	۰/۰۲۹۹	۹/۷۴	۰/۲۲۹	۷	۹۳/۱۰/۹	۵۰/۹	رشد رویشی
<i>Hordeum murinum</i>	۰/۰۰۰۳۲	۳/۰۸	۰/۳۴۴	۹	۹۳/۱۱/۱۹	۳۲	گل
<i>Medicago polymorpha</i>	۰/۱۰۰۴۴	۱۸/۵	۰/۸۵۵	۱۱	۹۳/۱۱/۱۹	۳۲	گل و میوه
<i>Hordeum murinum</i>	۰/۰۴۸۲	۱۲/۴۶	۱/۱۹	۱۲	۹۳/۱۲/۲۶	۱۹	میوه
<i>Medicago polymorpha</i>	۰/۲۸۰۸	۳۰/۳۵	۲/۸۷	۱۴	۹۳/۱۲/۲۶	۱۹	میوه
<i>Hordeum murinum</i>	۰/۰۳۸۷	۱۱/۱۳	۲/۰۱	۱۳	۹۴/۲/۱۲	۸	میوه و رکود
<i>Medicago polymorpha</i>	۰/۱۶۶۵	۲۳/۴۲	۳/۱۴	۱۵	۹۴/۲/۱۲	۸	میوه و رکود

جدول ۲- ویژگی‌های خاک منطقه رویشگاه گونه‌های انتخابی

اسیدیت	هدایت الکتریکی	بافت خاک			درصد کربن ارگانیک	عنصر P	عنصر K
		Silt	clay	Sand			
۷/۲	۰/۸۴	۳۲	۵۲	۱۶	۱/۸	۳	۳۶۳
۷/۵	۰/۸	۳۸	۵۴	۱۷	۱/۲۴	۳/۲	۳۵۵

## توصیف مدل AquaCrop

با استفاده از مدل فرایندگرایی AquaCrop میزان تولید گیاه به‌عنوان معیاری برای بررسی مصرف آب در شرایط دیم، آبی و یا کم‌آبی شبیه‌سازی می‌شود (Steduto et al., 2009). ابزار محاسبه رشد در AquaCrop چرخه آب است. میزان تولید بیومس در ارتباط با آب یا به‌عبارتی تعرق، معیاری برای استفاده از CO<sub>2</sub> و بخار آب موجود در اتمسفر است. این معیار کمک می‌کند که AquaCrop برای فصول و

مکان‌های مختلف قابل کاربرد باشد. شبیه‌سازی در دوره‌های دمایی و تغییرات دوره‌ای و حتی روزانه امکان‌پذیر است. این مدل به سه دسته داده برای اجرا نیاز دارد (Steduto et al., 2009). که عبارتند از: داده‌های اتمسفری مانند بارندگی، تعداد روزهای آفتابی، دمای حداکثر و حداقل و تبخیر داده‌های مربوط به گیاه مانند فنولوژی، عمق ریشه و میزان ماده خشک

حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر مشاهده‌ای میسر می‌شود. برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده مربوط به شاخص‌های ارزیابی در سال دوم، از معادلات ۱ تا ۴ استفاده شد. ضریب تبیین (Coefficient of determination:  $R^2$ ) جذر میانگین مربعات اشتباه (RMSE)، جذر میانگین مربعات اشتباه نرمال شده (NRMSE) شاخص توافق ویلموت (d)، ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شد (Andarzian, et al. 2011). هرچه RMSE به صفر نزدیک‌تر و مقادیر  $R^2$ ، EF و d به ۱ نزدیکتر باشد، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است.

$$1) \ 2) \ RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5}$$

$$3) \ d = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O_{i\text{avg}}|) + (|O_i - O_{i\text{avg}}|)^2}$$

داده‌های خاک محل مانند میزان رطوبت و بافت خاک. این نرم‌افزار از سایت سازمان خواروبار جهانی (FAO) بارگیری شد.

### شاخص‌های ارزیابی

به منظور ارزیابی دقت و اعتبار مدل AquaCrop برای گونه‌های انتخابی، براساس داده‌های اندازه‌گیری شده سال اول مدل واسنجی و با استفاده از داده‌های سال دوم صحت‌سنجی گردید. هدف از واسنجی، تنظیم داده‌های ورودی گیاهی به مدل است که باید مقادیر حاصل از پیش‌بینی با مقادیر مشاهده‌ای کمترین اختلاف را داشته باشند. این مورد با اجرای مدل و مقایسه مقادیر

$$NRMSE = (1/\bar{O}) \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5}$$

$$4) \ EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}$$

### نتایج

واسنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب برای گونه‌های انتخابی شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول‌های ۵ و ۶ حکایت از توانمندی مدل در شبیه‌سازی این خصوصیت گیاهی در شرایط مختلف محیطی دارد.

در فرمول‌های بالا:  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده،  $n$  تعداد مشاهدات و  $O_{i\text{avg}}$  میانگین مقادیر مشاهده است.

پارامترهای (ضرایب صفات) ثابت مورد استفاده در مدل با استفاده از گونه‌های زراعی (جو و یونجه) تهیه شد و ضرایب صفات غیر ثابت برای گونه‌های انتخابی تحت شرایط منطقه حفاظت‌شده شیمبار در مدل AquaCrop تنظیم گردید (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳- پارامترهای (ضرایب صفات) ثابت مدل در شبیه‌سازی (Steduto, et al., 2012; Abrha et al., 2012; Allen, et al., 2006)

پارامتر	یونجه	جو خودرو	واحد اندازه‌گیری
دمای پایه	۵	۰	درجه سلسیوس
دمای حداکثر	۳۰	۳۵	درجه سلسیوس
سایه‌انداز اولیه (۹۰ درصد جوانه‌زنی)	۲/۵	۰/۳۸	سانتیمتر مربع
ضریب رشد سایه‌انداز	۱۱/۹	۱۲/۳	-
ضریب تنفس در شرایط ۱۰۰ درصد پوشش	۱/۱	۱/۱	-
ضریب کاهش سایه‌انداز بعد از رشد حداکثری	۱۱/۹	۸	-
ضریب کاهش سایه‌انداز در مرحله زوال	۰/۳۳۷	۰/۲۴۴	-
بهره‌وری آب	۱۳	۵	گرم بر مترمربع
آستانه حداکثری رشد برگ	۰/۲	۰/۲	-
آستانه حداقلی رشد برگ	۰/۵۵	۰/۶۵	-
شکل منحنی تنش (ضریب تنش رشد برگ)	۳	۳	-
آستانه حداکثری تحمل روزنه‌ای	۰/۲	۰/۶	-
شکل منحنی تنش (ضریب تنش بسته شدن روزنه‌ای)	۳	۳	-
حداکثر ضریب تغییرات پیری	۰/۴۵	۰/۵۵	-
شکل منحنی تنش (ضریب تنش پیری)	۳	۳	-
ضریب بازدارندگی رشد، مرگ در مرحله شاخص برداشت	Small	Small	-
ضریب بازدارندگی روزنه‌ای در مرحله شاخص برداشت	Small	Moderate	-

جدول ۴- پارامترهای (ضرایب صفات) تنظیم شده در شبیه‌سازی برای گونه‌های انتخابی در شرایط منطقه حفاظت‌شده شیمبار

پارامتر	یونجه	جو خودرو	واحد اندازه‌گیری
مدت زمان از مرحله جوانه‌زنی تا سبز شدن	۱۱/۹ (۱۳۸)	۷ (۹۳)	روز (درجه روز رشد یا GDD)
مدت زمان از مرحله سبز شدن تا گرده‌افشانی	۷۳۹	۱۰۱۸	درجه روز رشد یا GDD
حداکثر سایه‌انداز	۳۳	۱۳	درصد
مدت زمان از مرحله جوانه‌زنی تا پیری	۶۱ (۸۷۴)	۶۲ (۱۱۸۷)	روز (درجه روز رشد یا GDD)
ضریب کاهش سایه‌انداز	۱۷ (۰/۳۳۷)	۸ (۰/۲۴۴)	روز (درجه روز رشد یا GDD)
مدت زمان از مرحله جوانه‌زنی تا بلوغ	۸۶ (۱۳۵۹)	۷۴ (۱۵۰۶)	روز (درجه روز رشد یا GDD)
مدت زمان از مرحله جوانه‌زنی تا گلدهی	۵۷ (۷۸۹)	۵۴ (۱۰۱۸)	روز (درجه روز رشد یا GDD)
طول دوره گلدهی	۸ (۱۲۶)	۷ (۱۵۱)	روز (درجه روز رشد یا GDD)
حداکثر عمق مؤثر توسعه ریشه	۰/۳۵	۰/۲۵	متر
حداقل عمق مؤثر توسعه ریشه	۰/۱	۰/۱	متر
مدت زمان از مرحله جوانه‌زنی تا حداکثر عمق توسعه ریشه	۳۹ (۴۹۵)	۳۲ (۵۷۳)	روز (درجه روز رشد یا GDD)
شاخص برداشت پایه	۱۳	۲۶	درصد
شاخص برداشت نهایی	۲۷ (۵۱۳)	۱۸ (۴۲۶)	روز (درجه روز رشد یا GDD)

جدول ۵- ارزیابی آماری شبیه‌سازی تعیین درجه اعتماد به مدل در شبیه‌سازی درصد پوشش جو خودرو و یونجه

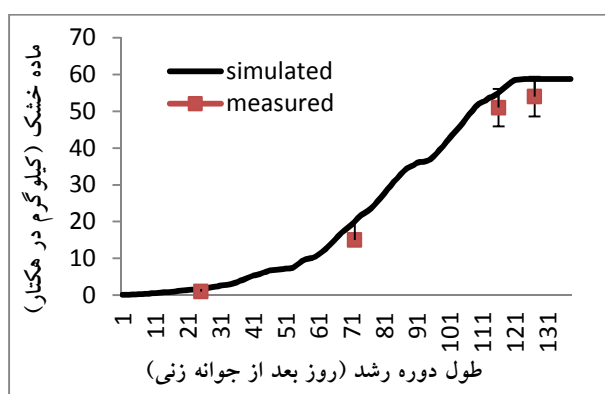
شاخص ارزیابی		واسنجی مدل		صحت‌سنجی مدل	
		یونجه	جو خودرو	یونجه	جو خودرو
$R^2$ ضریب تبیین		۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۹۸
RMSE (مجدور میانگین مربعات خطا)		٪۲/۴	٪۳/۷	٪۳/۷	٪۳/۷
NRMSE (نرمال شده مجدور میانگین مربعات خطا)		٪۳۳/۷	٪۱۷/۷	٪۲۱/۴	٪۱۶
EF (ضریب کارایی مدل‌سازی)		۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۹۶
d (شاخص سازگاری)		۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹

جدول ۶- ارزیابی آماری شبیه‌سازی تعیین درجه اعتماد به مدل در شبیه‌سازی تولید ماده خشک جو خودرو و یونجه

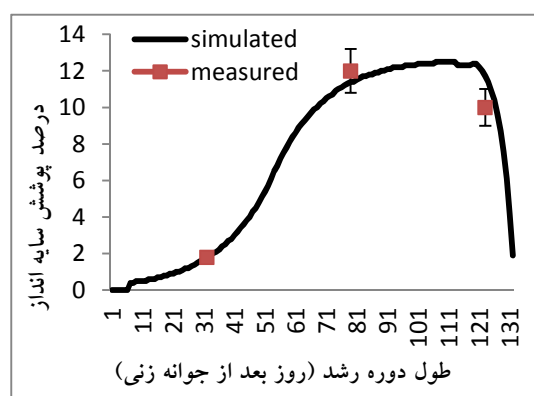
شاخص ارزیابی		واسنجی مدل		صحت‌سنجی مدل	
		یونجه	جو خودرو	یونجه	جو خودرو
$R^2$ ضریب تبیین		۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۶
RMSE (مجدور میانگین مربعات خطا)		۰/۰۶۴	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۳
NRMSE (نرمال شده مجدور میانگین مربعات خطا)		٪۲۸/۳	٪۲۱/۳	٪۲۳/۱	٪۱۳/۲
EF (ضریب کارایی مدل‌سازی)		۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۷
d (شاخص سازگاری)		۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹

ماده خشک با تفاوت کم تقریباً منطبق بر مقادیر شبیه‌سازی شده خروجی مدل است.

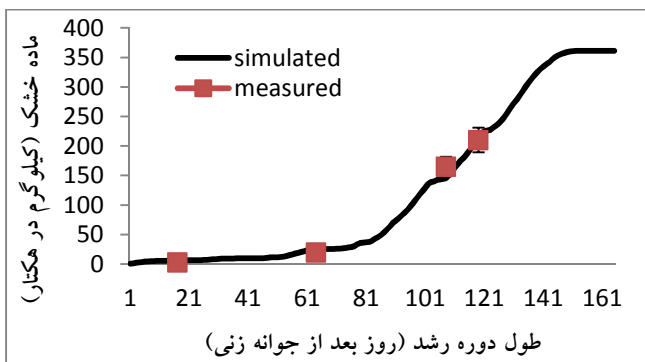
نمودار مقایسه تغییرات ماده خشک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در جو خودرو و یونجه (شکل‌های ۱ تا ۴) نیز نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده درصد پوشش و



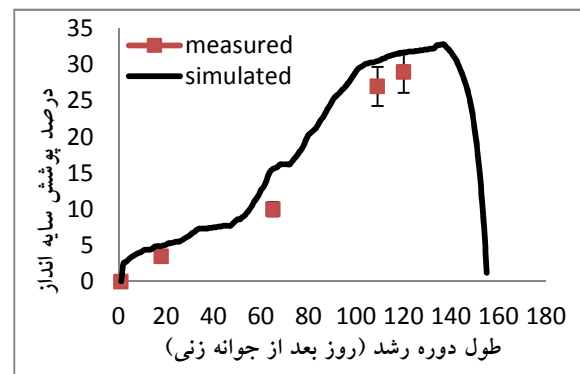
شکل ۲- نمودار مقایسه تغییرات ماده خشک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در جو خودرو



شکل ۱- نمودار مقایسه تغییرات درصد پوشش شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در جو خودرو



شکل ۴- نمودار مقایسه تغییرات ماده خشک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در یونجه



شکل ۳- نمودار مقایسه تغییرات درصد پوشش شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در یونجه

مقادیر شبیه‌سازی شده خروجی مدل هستند. این مدل برای گیاهان زراعی مانند برنج، گندم، جو، یونجه، سویا و ذرت ارزیابی شده و نتایج نهایی نشان داد که کارایی مدل در این محصولات نیز در حد مطلوب و قابل استفاده بوده و می‌توان برای بهبود مدیریت زراعی به‌ویژه آبیاری و زهکشی استفاده کرد ( Babazadeh & Sarai Tabrizi, 2012; Kim & Kaluarachchi, 2015; Zabihi *et al.*, 2015; Khoshrovesh *et al.*, 2015).

Andarzian و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی مدل AquaCrop از داده‌های مزرعه‌ای سه فصل رویشی گندم مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷ اهواز استفاده کردند و میزان آب در دسترس گیاه (در خاک و اطراف سیستم ریشه‌ای)، تولید بیومس و دانه شبیه‌سازی شد. در این تحقیق میزان RMSE کمتر از ۱۰ درصد بود. Mabhaudh و همکاران (۲۰۱۴) داده‌گذاری و ارزیابی مدل AquaCrop را برای گیاه دارویی *Colocasia esculenta* L. Schott در آفریقای جنوبی انجام دادند. در این پژوهش شاخص  $R^2$  برابر ۰/۸۴ و RMSE برابر با ۱/۸ درصد بود. Abi Saab و همکاران (۲۰۱۵) توانمندی دو مدل AquaCrop و CropSyst را برای رشد و میزان باردهی گیاه جو *Hordeum vulgare* تحت آبیاری و کوددهی مختلف مورد مقایسه قرار دادند. این

ارزیابی کارکرد مدل AquaCrop در شبیه‌سازی روند تغییرات سایه‌انداز (درصد پوشش) و تولید ماده خشک گونه‌های انتخابی، نشان داد که مدل قادر است به خوبی روند تغییرات سایه‌انداز و تولید ماده خشک گیاه را شبیه‌سازی نماید. ارزیابی آماری مقادیر  $R^2$ ، EF و d در شبیه‌سازی و اعتبارسنجی برای تغییرات سایه‌انداز (درصد پوشش) و تولید ماده خشک در جو خودرو و یونجه نزدیک به ۱ هستند. نتایج جدول‌های ۳ تا ۶ برای ارزیابی آماری درصد پوشش جو خودرو و یونجه نیز نشان داد که مقدار عددی ضریب RMSE، بین ۱ تا ۳/۷ و برای ماده خشک بین ۰/۲۳ تا ۰/۰۳ است. شکل‌های ۱ تا ۴ نیز نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده درصد پوشش (سایه‌انداز) و ماده خشک با اندکی تفاوت تقریباً منطبق بر مقادیر شبیه‌سازی شده خروجی مدل هستند.

## بحث

ارزیابی نتایج کارکرد مدل AquaCrop در شبیه‌سازی روند تغییرات سایه‌انداز (درصد پوشش) و تولید ماده خشک گونه‌های انتخابی در این تحقیق، بیانگر کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی روند تغییرات سایه‌انداز و تولید ماده خشک گیاه است. به‌نحوی که مقادیر اندازه‌گیری شده درصد پوشش (سایه‌انداز) و ماده خشک با اندکی تفاوت تقریباً منطبق بر



- influence the performance of crop growth models. *Agriculture Water Management*, 147: 21-33.
- Abbrha, B., Delbecque, N., Raes, D., Tsegay, A., Todorovic, M., Heng, L., Vanutrecht, E., Geerts, S., Garcia-Vila, M. and Deckers, S., 2012. Sowing strategies for Barley (*Hordeum vulgare* L.) based on modelled yield response to water with Aquacrop. *Experimental Agriculture*, 48 (2): 252-271.
  - Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 2006. FAO irrigation and drainage paper. (56): 12p.
  - Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Barati, M. A. and Rahnama, A., 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100: 1-8.
  - Babazadeh, H. and Sarai Tabrizi, M., 2012. Assessment of AquaCrop model under Soybean deficit irrigation management conditions. *Journal of Water and Soil*, 2(26): 329-339.
  - Dinarvand, M., Ejtehadi, H., Jankju, M. and Andarzian, B., 2016. Species diversity and identification of plant functional types of woodland in Shimbar protected area. *Applied Ecology*, 5(15): 1-12.
  - Garcia-Via, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F. and Steduto, P., 2009. Deficit irrigation optimization of Cotton with AquaCrop. *Agronomy Journal*, 101: 477-487.
  - Geerts, S., Raes, D., Gracia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J. A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanca, R., Mamani, A., Condori, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V. and Steduto, P., 2009. Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop. *Agronomy Journal*, 101: 499-508.
  - Hsiao, T. C., Heng, L. K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. and Fereres, E., 2009. AquaCrop- the FAO crop model to simulate yield response to water III parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101: 448-459.
  - Khoshravesh, M., Ghadami Firouzabadi, A., Shirazi, P. and Najafi-Mood, M. H., 2015. Cotton response simulation to dry and salinity stress by using of AquaCrop model. *Irrigation & Water Engineering*, 6(21): 166-178.
  - Kim, D. and Kaluarachchi, J., 2015. Validating FAO AquaCrop using Landsat images and regional crop information. *Agricultural Water Management*, 149: 143-155.
  - Mabhaushi, T., Modi, A. T. and Beletse, Y. G., 2014. Parameterisation and evaluation of the FAO-AquaCrop model for a South African taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) landrace. *Agricultural and Forest Meteorology*, 192-193: 132-139.
  - Paredes, P., Wei, Z. Liu, Y., Xin, Y., Zhang, B. and
- بررسی به مدت ۳ سال از ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ در جنوب ایتالیا انجام شد. نتایج نشان داد، هردو مدل از توانمندی مناسبی برخوردارند اما مدل AquaCrop نسبت به مدل CropSyst از قابلیت و توانایی بهتری برخوردار است و میزان RMSE برای بیومس در AquaCrop پایین تر (۰/۵ تا ۰/۰۹) بود، درحالیکه برای CropSyst ۰/۱۷ تا ۰/۱۵ بدست آمد.
- نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop برای دو گونه خودرو جو و یونجه در منطقه شیمبار نشان داد که این مدل قادر است با دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی عملکرد در شرایط طبیعی بکار رود. عوامل تأثیرگذار منفی و آشفته‌گی‌های ناشی از فعالیتهای انسانی مانند چرای دام، تأمین سوخت و فعالیتهای مربوط به ساخت‌وساز جاده‌ای سبب تغییر سیمای منطقه گردیده است. مدل‌سازی مراحل رشد گونه‌های گیاهی منطقه و اثر عوامل محیطی به‌ویژه تغییرات اقلیمی و خاکی و میزان تأثیر آنها بر پوشش گیاهی می‌تواند هدایت‌گر برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی مناسب برای احیا و اصلاح مراتع منطقه گردد. بطور مسلم بدون آگاهی از فاکتورهای محیطی مؤثر، ارائه راهکارهای جلوگیری از انقراض و نحوه گسترش گونه‌های گیاهی امکان‌پذیر نیست. از سوی دیگر این مدل به دلیل داشتن پائل مربوط به تغییرات آب و هوایی و میزان دی‌اکسید کربن قابل پیش‌بینی در سالهای آینده، این توانمندی را دارد که بتواند اثر تغییر اقلیم بر پوشش غالب یا گونه‌های خاصی را در منطقه بررسی کند. انطباق مقادیر اندازه‌گیری شده درصد پوشش (سایه‌انداز) و ماده خشک بر مقادیر شبیه‌سازی شده خروجی مدل برای گونه‌های انتخابی اخیر، قابل اعتماد بودن مدل را برای ادامه کار و استفاده آن برای سایر گونه‌ها به‌ویژه گونه‌های اندمیک، نادر و درخطر انقراض ممکن می‌سازد.
- منابع مورد استفاده**
- Abi Saab, M. T., Todorovic, M. and Albrizio, R., 2015. Comparing AquaCrop and CropSyst models in simulating barley growth and yield under different water and nitrogen regimes. Does calibration year

2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. concepts and underlying principles, *Agronomy journal*, 101 (3): 426-437.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E. and Raes, D., 2012. Crop yield response to water, FAO of the United Nations, FAO Irrigation and Drainage paper. (66):13p.
  - Zabihi, A., Darzi-Nafchahi, A. and Khoshravesh, M., 2015. Rice yield under surface and subsurface drainage managements and evaluation of AquaCrop model. *Irrigation & Water Engineering*, 5(21): 149-162.
  - Pereira, L., S. 2015. Performance assessment of the FAO AquaCrop model for soil water, soil evaporation, biomass and yield of soybeans in North China Plain. *Agricultural Water Management* 152: 57-71.
  - Shamsnia, S. A. and Pirmoradian, N., 2013. Simulation of rainfed Wheat yield response to climate fluctuations using-Model (Case study: Shiraz region in Southern of Iran). *International Journal of Engineering Science Invention*, 2(5): 51-56.
  - Steduto, P., Hsiao, Th. C., Raes, D. and Fereres, E.,

## Evaluation of AquaCrop model for two rangeland species (*Hordeum murinum* and *Medicago polymorpha*) in Shimbar protected area, Khuzestan

M. Dinarvand<sup>1</sup>, S. B. Andarzian<sup>2\*</sup>, H. Ejtehadi<sup>3</sup> and M. Farzam<sup>4</sup>

1- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

2\*- Corresponding author, Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran, Email: bandarzian@yahoo.com

3- Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4- Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received:4/28/2015

Accepted:6/11/2017

### Abstract

Modeling the growth stages of plant species and its relation with environmental factors, especially climatic and edaphic changes, can lead to appropriate management and conservation plans for rangeland rehabilitation and improvement. The objectives of this study were to evaluate the AquaCrop model for two species (*Medicago polymorpha* L., *Hordeum murinum* subsp. glaucum (Staud.)Tzvelev) in the Shimbar protected area. Therefore, model evaluation was performed based on the data recorded during 2013-2015. Coefficient of determination ( $R^2$ ), absolute and normalized root mean square error (RMSE, NRMSE), Willmott agreement index (d) and Efficiency Coefficient (EF) were used to compare the simulated data with the data of the second year. The evaluation of AquaCrop model for canopy cover and biomass in selected species demonstrated that the model had the necessary efficiency for simulation. The values of  $R^2$ , EF, and, d recorded for the canopy cover and biomass of *Medicago polymorpha* and *Hordeum murinum* subsp. glaucum were near 1. The values of RMSE calculated for canopy cover and biomass were between 1 to 3.7 and 0.03 to 0.23, respectively.

**Keywords:** Shimbar protected area, AquaCrop model, simulation, validation, root mean square error, biomass.