

برآورد تاریخ کاشت بهینه بر پایه تاریخچه اقلیمی با استفاده از مدل همانندساز رشد AquaCrop در منطقه دشت مغان استان اردبیل

امیر ایزد فرد^۱، محمدرضا جهانسوز^{۲*}، فریدون سرمدیان^۳، غلامرضا پیکانی^۴ و محمدرضا چایی^۲

۱ و ۲. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۳. استاد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۴. دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱)

چکیده

از مدل AquaCrop برای برآورد تاریخ کاشت مناسب برای تولید بیشترین عملکرد بر پایه تاریخچه اقلیمی منطقه دشت مغان استفاده شد. برای این منظور با استفاده از داده‌های پدیدشناختی (فنولوژیک) هشت گیاه زراعی عمده در دشت مغان، در کنار داده‌های اقلیمی سی ساله این منطقه، پس از واسنجی (کالیبراسیون) مدل، تاریخ کاشت بهینه هر محصول تعیین شد. مدل با استفاده از درجه روز رشد تجمعی، آستانه‌های دمایی فعال و مؤثر و شاخص برداشت محاسباتی، عملکرد هر محصول را محاسبه کرد. ضریب تشخیص، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال و شاخص تطابق به ترتیب ۰/۹۹، ۲۹/۱۶ و ۰/۹۷ بود. این آمارها نشان‌دهنده کارکرد مناسب مدل در برآورد عملکرد محصولات عمده زراعی در منطقه است. بر پایه نتایج، بازه کاشت همانندسازی شده برای گندم پاییزه کوتاه‌تر بود. محصول جو پاییزه نیز از روند همسانی با گندم پاییزه پیروی می‌کرد. بازه کاشت ذرت بهاره درازمدت‌تر از بازه معمول منطقه بود، اما بازه کاشت همانندسازی شده در کلزا پاییزه، پنبه، سویا و ذرت کشت دوم همسان با بازه کشت منطقه بود. همچنین نیاز آبی گیاهان باغی مختلف در تاریخ کاشت‌های تعیین شده نیز توسط مدل محاسبه شد. این نتایج با خروجی نرم‌افزار NETWAT برای این منطقه مقایسه شد. در این مقایسه ضریب تبیین، ۰/۹۲ و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، ۱۴/۰۷ و شاخص تطابق، ۰/۹۹ محاسبه شد. بنابر نتایج، کشت گیاهان پاییزه به‌منظور بهره‌مندی هرچه بیشتر از بارندگی‌های فصل‌های پاییز و زمستان در منطقه و کاهش مصرف آب آبیاری، باید توجه بیشتر شود.

واژه‌های کلیدی: بازه کاشت، درجه روز رشد تجمعی، کارایی مصرف آب.

Optimum sowing date determination based on historical climate data using AquaCrop growth simulator model in Moghan plain Ardabil province Iran

Amir Izadfar¹, Mohammad Reza Jahansouz^{2*}, Fereydoon Sarmadian³, Gholam Reza Peykani⁴ and Mohammad Reza Chaichi²

1, 2. Ph.D. Student in Crop Ecology and Professor, Department of Field Crop Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Professor, Department of Soil Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

4. Associate Professor, Faculty of Economics & Agricultural Development, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Nov. 1, 2016 - Accepted: Dec. 21, 2016)

ABSTRACT

The AquaCrop model has been used for optimum sowing date determination for maximum yield production based on historical climate data in Moghan plain, Ardabil province, Iran. Based on phenological data for the eight main cultivated crop gathering from Moghan plain and thirty years climate data, the optimum sowing dates were determined after model calibration. The model used cumulative growing degree days, effective and active base temperature and calculated harvest index to perform each crop yield. Determination coefficient, normalized root mean squared and index of agreement were 0.99, 29.16 and 0.97 respectively. The statistics showed that the model could accurately perform the crop yield estimation in this region. Based on the results the simulated sowing window for winter wheat was a little bit shorter. The winter barley also performed as winter wheat. The spring maize simulated sowing window was longer than usual period. But the simulated sowing window for winter canola, cotton, soybean and maize was the same as actual sowing window. The net Irrigation requirement in the determined planting dates have been calculated by the AquaCrop and compared with the NETWAT software outputs. In this Comparison, determination coefficient, normalized root mean squared and index of agreement were 0.92, 14.07 and 0.99 respectively. The results showed the importance of using winter precipitation in crop production in the region and lower water irrigating input using winter cultivation should be noted.

Keywords: Cumulative growing degree day, Sowing window, Water productivity.

* Corresponding author E-mail: Jahansouz@ut.ac.ir

مقدمه

تاریخ کاشت از عوامل مهم در تولید گیاهان زراعی است. با استفاده از تاریخ کاشت بهینه امکان بهره‌مندی از عوامل اقلیمی همچون دما و بارش در هر منطقه فراهم می‌شود (Mugalavai *et al.*, 2008). هنگامی که بارش‌ها به کمک آبیاری متداول بیاید به‌طور طبیعی بهره‌وری آب افزایش خواهد یافت. برای کشور پهناور ایران که در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، به‌طور قطع بهره‌وری آب در مقایسه با عملکرد یا بهره‌وری زمین اهمیت بسیار بالاتری دارد. نظر به محدودیت آب در کشور امروزه و در آینده، دور از ذهن نخواهد بود، اگر در پژوهش‌ها، گزارش عملکرد با گزارش بهره‌وری آب جایگزین شود. در زراعت آبی با توجه به اولویت میزان تولید و دسترسی گیاه به آب مورد نیاز در فاصله‌های معین، تعیین تاریخ کاشت مناسب در جهت بهترین استفاده از بارش‌ها و دمای محیط برای تجمع دمای روز رشد گیاه و رسیدن گیاه به مرحله برداشت و بدون برخورد مراحل حساس رشد با دماهای نامناسب اولویت بیشتری دارد. دمای روز رشد میزان میانگین دماست که گیاه بالاتر از دمای پایه مخصوص خود در هر روز دریافت می‌کند. به‌طور معمول هر گیاه برای آغاز یا پایان هر مرحله پدیدشناختی (فنولوژیک) خود نیازمند میزانی خاص از دمای روز رشد است (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). در حقیقت دمای روز رشد ابزاری در دست بوم‌شناسان زراعی برای تعیین زمان تغییر مراحل پدیدشناختی گیاه در دوره رشد است.

تغییر اقلیم و گرمایش زمین موجب افزایش دما در بسیاری از نقاط زمین از جمله کشور ایران شده است. در چنین شرایطی تعیین تاریخ کاشت بهینه از چالش‌های پیشرو در آینده کشاورزی ایران خواهد بود. به‌طور معمول در هر منطقه برای کشت هر گیاه یک بازه زمانی در نظر گرفته می‌شود. این دوره هنگامی که امکان کشت اقتصادی یک محصول در آن فراهم است، بازه کاشت (Window Sowing) نامیده می‌شود (Rao *et al.*, 2000). پژوهش‌های بسیاری در تعیین بهترین زمان کشت در این بازه کاشت برای به دست آوردن بیشترین بهره‌مندی ممکن از اقلیم هر منطقه و

مصرف نهاده‌های کمتر و تولید محصول بیشتر صورت گرفته است.

مدل‌های همانندساز رشد گیاهی، ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی رفتار رشدی گیاه، در یک اقلیم معین و در شرایط مدیریتی مشخص هستند. در بررسی‌های بسیاری از مدل‌های همانندساز رشد برای تعیین تاریخ کاشت بهینه استفاده شده است. در یک بررسی با استفاده از مدل همانندساز DSSAT تاریخ کاشت بهینه گندم در پنج منطقه از استان خوزستان تعیین شد (Andarzian *et al.*, 2015). در بررسی دیگری توانایی مدل همانندساز AquaCrop برای برآورد عملکرد و تعیین تاریخ کاشت مناسب پنج رقم (واریت) مختلف جو در چهار کشور آمریکا، ایتالیا، اتیوپی و سوریه بررسی شد. بر پایه نتایج این بررسی، مدل امکان برآورد مناسب عملکرد جو بر پایه داده‌های محدود محیطی را به‌خوبی دارد (Abrha *et al.*, 2012). از مدل AquaCrop برای تعیین تاریخ کاشت مناسب ارزن مرواریدی، سویا و آفتابگردان استفاده شده است (Dera *et al.*, 2014; Saab *et al.*, 2014). بررسی‌های زیادی در تعیین تاریخ کاشت مناسب ذرت به‌واسطه تغییر اقلیم در زیمبابوه توسط AquaCrop انجام شده است. در این بررسی‌ها، برای جبران تأثیر تغییر اقلیم، تعویق کشت ذرت تولید بهتری داشت (Masanganise *et al.*, 2012; Mhizha *et al.*, 2014). از مدل AquaCrop برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت در شرق هند نیز استفاده شده است. در این بررسی مشخص شد، تغییر در تاریخ کاشت، مدیریت آبیاری و تغذیه گیاهی می‌تواند به‌عنوان عامل کنترل‌کننده تغییر اقلیم عمل کند (Deb & Babel, 2015).

استفاده از مدل‌های همانندساز رشد برای تعیین تاریخ کاشت بهینه هر گیاه در یک محیط و یک اقلیم معین، از کاربردهای مهم مدل‌های همانندساز رشد است. زیرا این مدل‌ها با همانندسازی محیط مورد نظر، امکان پیش‌بینی آنچه در کشتزار رخ خواهد داد را فراهم می‌کنند. بدین‌صورت بسیاری از هزینه‌های مورد نیاز، برای تعیین این فراسنجه (پارامتر)ها کاهش خواهد یافت. مدل همانندساز رشد AquaCrop نیز با

است. محدوده دشت مغان شامل سه شهرستان پارس‌آباد، بيله‌سوار و گرمی است. از نظر مختصات جغرافیایی، منطقه مورد بررسی در دشت مغان در حدفاصل ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۹ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و به‌طور میانگین در ارتفاع ۲۴۰ متری از سطح دریا قرار دارد.

داده‌های سی‌ساله هواشناسی از ایستگاه هواشناسی همدید (سینوپتیک) پارس‌آباد فراهم شد (جدول ۱). بر پایه آمار این ایستگاه هواشناسی میانگین دمای سالانه ۱۵/۲ درجه سلسیوس، مجموع بارندگی سالیانه ۲۷۱/۲ میلی‌متر است. پراکنش ریزش باران در همه ماه‌های سال وجود دارد، به‌گونه‌ای که در گرم‌ترین ماه سال، میانگین بارندگی ۷/۳ میلی‌متر است.

خاک منطقه مورد آزمایش

بر پایه بررسی‌های تفصیلی خاکشناسی، منطقه ۴۱ سری خاک متفاوت دارد. برای به کمینه رساندن تأثیر خاک زراعی در مدل، یکی از سری خاک‌ها، به نام سری خاک کاظم اولان ۱ که کمترین محدودیت‌ها را داشت، به‌عنوان خاک مرجع برای همانندسازی استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این خاک در (جدول ۲) آمده است.

در نظر گرفتن عامل‌های اقلیمی مربوطه و دیگر مؤلفه‌ها مانند خاک، شیوه و میزان آبیاری، این امکان را ارائه می‌دهد. از آنجاکه در تاریخ کاشت‌های مختلف تأثیر اقلیم متفاوت خواهد بود، لذا تعیین یک تاریخ کاشت بهینه در بازه کاشت هر منطقه از عامل‌های لازم در برآورد عملکرد واقعی هر محصول است. هدف کلی از انجام این بررسی تعیین بهترین تاریخ کاشت هشت محصول عمده زراعی دشت مغان (گندم پاییزه، جو پاییزه، کلزای پاییزه، پنبه بهاره، سویای بهاره، ذرت بهاره، سویای تابستانه و ذرت تابستانه) بر پایه مراحل پدیدشناختی، درجه رشد جمعی و دمای پایه فعال و مؤثر هر گیاه زراعی، در بازه کشت هر محصول در منطقه بود. برای این منظور با استفاده از مدل AquaCrop بهترین تاریخ کاشت ممکن برای هشت گیاه زراعی اصلی بر پایه سطح زیر کشت در دشت مغان، شامل گندم پاییزه، جو پاییزه، کلزای پاییزه، پنبه بهاره، ذرت بهاره و تابستانه، و سویای بهاره و تابستانه برآورد شد.

مواد و روش‌ها

اقلیم و مختصات جغرافیایی منطقه آزمایشی

دشت مغان در شمال غربی ایران و در شمال استان اردبیل و نیز در همسایگی کشور آذربایجان واقع شده

جدول ۱. فراسنجه‌های اقلیمی منطقه دشت مغان

Table 1. Climate parameters of Moghan plain

Months	Mar-Apr	Apr-May	May-Jun	Jun-Jul	Jul-Aug	Aug-Sep	Sep-Oct	Oct-Nov	Nov-Dec	Dec-Jan	Jan-Feb	Feb-Mar	Annual
Average daily temperature (°C)	11.97	17.40	22.73	26.3	26.93	23.8	18.23	12	6.77	4.2	4.43	7.13	181.9
Average minimum daily temperature (°C)	6.47	11.30	16.03	19.6	20.53	17.97	13.17	7.53	2.53	-0.13	-0.17	2.17	117
Average maximum daily temperature (°C)	17.47	23.40	29.4	33	33.33	29.63	23.3	16.47	10.93	8.5	9.3	12.1	246.6
Average monthly precipitation (mm)	31	33.7	43.24	11.3	7.30	18.97	31.2	30.33	22.97	16.63	17.47	25.93	271.2
Average monthly Sunny hours (hr)	161.7	215.6	267.57	258.5	273.23	224.8	173.5	131.13	115.2	116.27	120.53	136.1	2221.3
Monthly potential Evapotranspiration (mm)	79	120	169	196	185	135	78	40	24	23	32	50	1131

جدول ۲. ویژگی‌های خاک کاظم اولان ۱

Table 2. KO1 soil parameters

Depth (cm)	0-18	18-45	45-95	95-150
Texture	Silty clay loam	Silty clay loam	Clay loam	Silty clay
Clay %	34	36	36	48
Silt %	56	44	40	44
Sand %	10	20	24	8
Bulk density grcm ⁻³	1.48	1.48	1.42	1.34
Field capacity	31	31	30	33
Wilting point	20	20	20	24
Saturation %	52	55	56	60
T.N.V	2.2	3.4	17.2	11
Gypsum %	1	1.7	1.5	2.2
PH	7.09	7.40	8.02	7.67
Electrical conductivity	1.08	1.16	1.41	7.47
Organic Matter	1.32	0.72	0.4	0.16

انجام شد. در این مقایسه از ضریب تبیین، Normalized RMSE یا ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق (d) یا Index of Agreement که روابط آن‌ها در زیر آمده است، استفاده شد. RMSE نرمال شده همان RMSE است که با استفاده از میانگین مشاهده‌ها به صورت درصد بیان می‌شود. در این رابطه P_i نمایانگر برآوردها، O_i نشان‌دهنده مشاهده‌ها، n معرف شمار برآورد و مشاهده و M میانگین مشاهده‌ها است. اگر درصد این معیار بین ۰ تا ۱۰ باشد، همانندسازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ خوب، ۲۰ تا ۳۰ قابل پذیرش و بیشتر از ۳۰ ضعیف خواهد بود (Jamieson et al., 1991). شاخص توافق (d) نیز، از شاخص‌های مهم برای تعیین دقت یک مدل است. در این رابطه P'_i معرف میزان برآورد منهای میانگین مشاهده‌ها، O'_i مشخص‌کننده اختلاف میزان مشاهده و میانگین مشاهده‌ها است (Willmott et al., 1985).

$$NRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \times \frac{100}{M}$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| - |O'_i|)^2} \right]$$

نتایج و بحث

واسنجی مدل AquaCrop برای منطقه بررسی شده نخستین مرحله در استفاده از مدل‌های همانندسازی، واسنجی مدل، برای شرایط منطقه مورد آزمایش و گیاهان زراعی مورد استفاده است. برای واسنجی مدل در حالت درجه روز رشد GDD از داده‌های پدیدشناختی گیاهان زراعی مختلف در دشت مغان در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ استفاده شد. این داده‌ها در جدول ۳ آورده شده است. بر پایه داده‌های مربوط به طول مراحل مختلف رشد و داده‌های دمایی متناظر با آن‌ها، میزان درجه روز رشد لازم برای جوانه‌زنی، بیشینه تاج پوشش، گلدهی، آغاز پیری و رسیدگی کامل تعیین شد. شرایط مزرعه شامل مدیریت آبیاری و تغذیه گیاهی، در مدل‌سازی نزدیک به بهینه در نظر گرفته شد (Raes et al., 2009).

ارزیابی مدل AquaCrop برای منطقه بررسی شده پس از واسنجی مدل، عملکردهای برآوردشده، با استفاده از مشاهده‌های میانگین عملکرد در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، ارزیابی شد. در نهایت بر پایه بهترین

نرم‌افزار AquaCrop میزان زیست‌توده (بیوماس) را از میزان بهره‌وری آب نرمال در میزان تبخیر و تعرق تاج پوشش آن محصول محاسبه می‌کند. همان‌گونه که از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود، B زیست‌توده، K_{sb} ضریب تنش دما، Tr معرف تعرق گیاه برحسب میلی‌متر، ET_0 معرف تبخیر و تعرق پایه است.

$$B = K_{sb} WP^* \sum [Tr/ET_0]$$

$$HI = f_{ante} * f_{post} * HI_{adj}$$

$$Y_{act} = HI_{adj} * B_{act}$$

لذا HI بالاترین زیست‌توده به معنای بیشترین کارایی مصرف آب در نورساخت (فتوسنتز) و کمترین تبخیر آب از خاک و تعرق گیاهی ناشی از گرمای محیط، است. عملکرد از حاصل ضرب زیست‌توده در شاخص برداشت محاسباتی توسط نرم‌افزار به دست می‌آید. همان شاخص برداشت در انتهای فصل رشد، f_{ante} مؤلفه تعیین تأثیر تنش آبی پیش از گلدهی، f_{post} مؤلفه تعیین تأثیر تنش آبی پس از گلدهی و HI_{adj} مؤلفه تعیین تأثیر تنش دمایی در گلدهی است. در نتیجه کمترین ضریب تنش گرمایی به معنای بیشترین تناسب دما برای فعالیت‌های حیاتی گیاه است. به عبارت دیگر بالاترین میزان عملکرد، به معنای بهترین استفاده از عامل‌های اقلیمی محیط است، زیرا هم زیست‌توده و هم شاخص برداشت تحت تأثیر عامل‌های دمایی بوده‌اند. البته باید توجه داشت، دمای محیط هم تأثیر افزاینده و هم کاهنده در شاخص برداشت دارد.

با در نظر گرفتن هر سه رابطه، تأثیر تنش‌های آبی و دمایی بر تولید مشخص خواهد شد. از آنجایی که در همانندسازی، نیاز آبی گیاه برطرف خواهد شد، لذا اقلیم تأثیر خود را به صورت تأثیر تنش دمایی در زیست‌توده و شاخص برداشت نشان خواهد داد. در نتیجه تاریخ کاشتی که بالاترین عملکرد را ایجاد کند به‌عنوان تاریخ کاشت بهینه اقلیمی در بازه کاشت در نظر گرفته می‌شود (Raes et al., 2009).

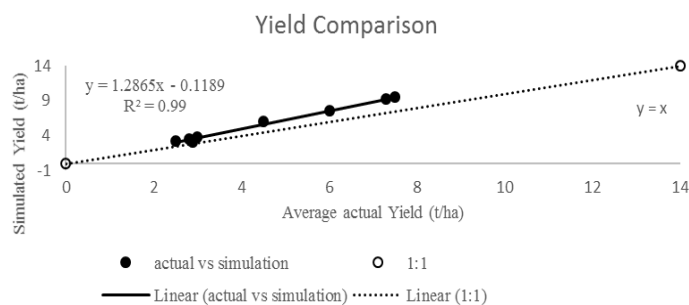
یکی از مراحل مهم در همانندسازی رشد، اعتبارسنجی مدل با استفاده از مشاهده‌های انجام شده است. از میانگین عملکرد گیاهان زراعی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در دشت مغان به‌عنوان مشاهده‌ها بهره گرفته شد. برای این منظور بین برآوردها و مشاهده‌ها مقایسه

به‌عنوان تاریخ کاشت بهینه معرفی شد. با توجه به نامحدود بودن امکان همانندسازی گیاهان بر پایه تاریخ کشت‌های مختلف، هرگاه عملکرد همانندسازی شده از ۸۵ درصد بیشترین عملکرد همانندسازی کمتر شد همان تاریخ‌ها به‌عنوان آغاز و پایان همانندسازی و به‌بیان‌دیگر بازه کاشت همانندسازی شده در نظر گرفته می‌شود. در شکل‌های زیر میزان عملکرد برآورد زده‌شده با استفاده از مدل AquaCrop بر پایه تاریخ کاشت‌های مختلف در منطقه آورده شده است.

گندم از محصولات اصلی در دشت مغان و راهبردی‌ترین محصول کشور است. با توجه به وجود زمستان‌های ملایم و تابستان‌های زودرس و گرم در این منطقه به‌طور عمده گندم‌های تیپ رشد بهاره است. رقم شیرودی که در این بررسی مورد ارزیابی واقع شد، عملکرد خوبی در منطقه داشت. بازه مناسب گندم پاییزه در این منطقه از مهرماه تا آذرماه توصیه می‌شود، اما همان‌گونه که از همانندسازی شکل ۲ برداشت می‌شود، بازه کشت همانندسازی شده محدودتر بوده و کشت در اوایل مهرماه زمان مناسب‌تری خواهد بود. زیرا هرچه کشت به تعویق افتد احتمال رویارویی گرده‌افشانی و دانه‌بندی محصول با دماهای نامناسب که موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود، بیشتر است (Sacks *et al.*, 2010). همچنین کاشت زود هنگام نیز موجب تولید گیاهچه‌های ضعیف با شبکه ریشه محدود، که در مرحله ساقه‌دهی با روزهای سرد زمستان روبه‌رو شده و خوشه‌های آغازین درون میان‌بندها نابارور می‌شوند (Zamani & Nasseri, 2008). لذا کشت در اوایل بازه کاشت در این منطقه عملکردی بهتری خواهد داشت.

عملکرد برآوردشده، تاریخ کاشت بهینه هر گیاه زراعی تعیین شد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، خط برازش داده‌شده بین برآوردها و مشاهده‌های عملکرد در منطقه $R^2=0/99$ دارد. بالا بودن ضریب تبیین در مقایسه، نشان از دقت بالای مدل، در تخمین برآوردها نسبت به مشاهده‌ها دارد. شاخص NRMSE برای همانندسازی عملکرد هشت محصول گیاه زراعی در دشت مغان برابر با ۲۹/۱۶ شد. با توجه به تقسیم‌بندی خروجی این شاخص، چنین درصدی نشان‌دهنده قابل پذیرش بودن نتایج این همانندسازی است. باید توجه داشت که در این بررسی هشت گیاه مختلف همزمان با هم در نظر گرفته شده که خود موجب پایین آمدن شاخص NRMSE شده است.

هرچه شاخص توافق به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بالاتر در همانندسازی است. این شاخص برای این همانندسازی ۰/۹۷ محاسبه شده است. البته همان‌گونه که از نتایج در شکل ۱ مشخص است، همه همانندسازی‌ها بالای خط ۱:۱ قرار دارد که با توجه به مقایسه همانندسازی‌ها با میانگین عملکرد منطقه، درست است. با توجه به شکل ۱ و دستیابی به دقت مدل AquaCrop در برآورد عملکرد ظرفیت گیاهان عمده زراعی در منطقه مورد بررسی، از مدل برای تعیین تاریخ کاشت بهینه استفاده شد. این تاریخ کاشت نمایانگر بهترین استفاده از عامل‌های اقلیمی در منطقه خواهد بود. برای این منظور تاریخ کشت‌های متوالی با فاصله‌های پنج تا ده روزه در بازه کاشت برای نرم‌افزار تعریف شد. تاریخ کاشت متناظر با بالاترین عملکرد که بر پایه ویژگی‌های اقلیمی منطقه است



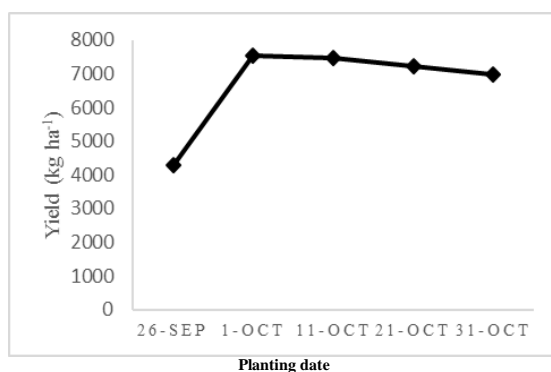
شکل ۱. رگرسیون خطی بین برآوردهای عملکرد گیاهان زراعی توسط مدل AquaCrop و مشاهده‌های میانگین عملکرد گیاهان در سال ۹۴-۱۳۹۳

Figure 1. Comparison between simulated main crop yields using AquaCrop and actual average yield for 1393-94

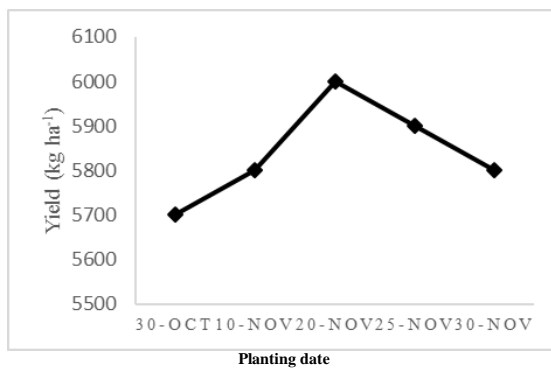
جدول ۳. مؤلفه‌های واسنجی برای شش گیاهی عمده در منطقه بر پایه مدل AquaCrop

Table 3. Calibration parameters for six main crops based on AquaCrop model

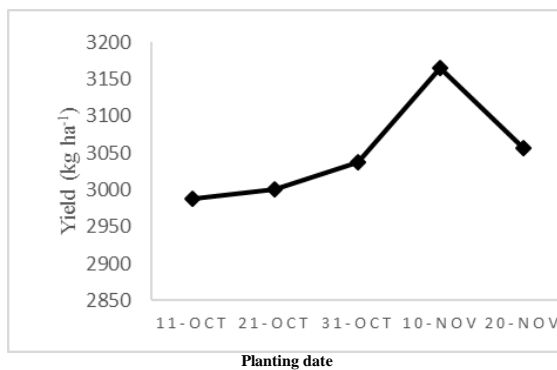
Crop parameters	Wheat	Barley	Developmental Parameters				Units
			Canola	Cotton	Soybean	Maize	
Active base temperature	0	0	0	12	5	8	°C
Effective base temperature	5	5	5	15	8	10	°C
Upper temperature	26	15	30	35	30	30	°C
P upper canopy expansion	0.2	0.35	0.2	0.2	0.15	0.14	-
P lower canopy expansion	0.65	0.7	0.65	0.7	0.65	0.72	-
P upper stomatal closure	0.75	0.75	0.6	0.65	0.5	0.69	-
P upper early canopy senescence	0.75	0.8	0.7	0.75	0.7	0.69	-
crop water productivity	15	16	17	15	15	33.7	g/m ²
			Phenological Parameters				
Initial Canopy cover	6.75	5.75	0.7	0.72	0.1	0.49	%
Maximum canopy cover	90	89	75	95	80	90	%
Crop growth coefficient	3.9	3.8	5.2	7.8	13.6	12.7	%/day
Canopy decline coefficient	0.386	0.6	0.781	0.247	0.150	0.565	%/GDD
From sowing to emergence	150	98	191	36	200	96	GDD
From sowing to senescence	1704	1517	1556	1419	2200	1664	GDD
From sowing to maturity	2414	1805	1757	1918	2700	2164	GDD



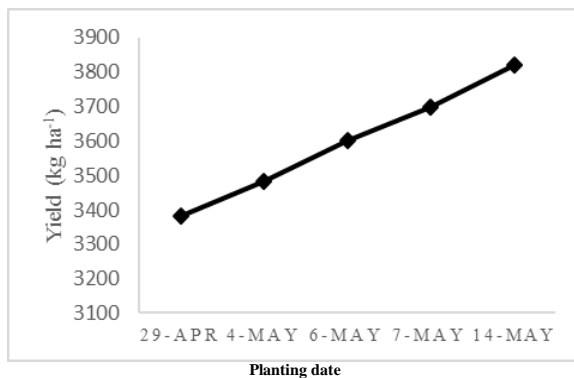
شکل ۲. همانند سازی عملکرد گندم پاییزه در تاریخ کاشت‌های مختلف
Figure 3. Simulation of winter wheat yield at different planting dates



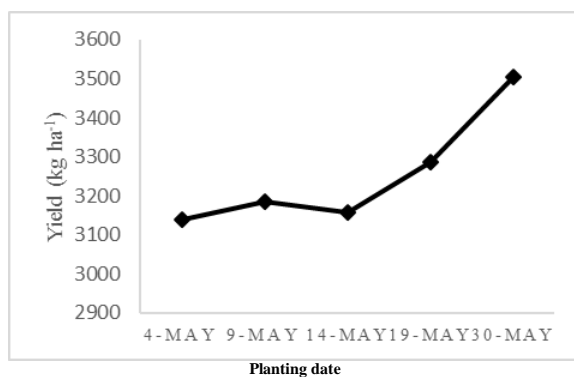
شکل ۳. همانند سازی عملکرد جو پاییزه در تاریخ کاشت‌های مختلف
Figure 3. Simulation of winter barley yield at different planting dates



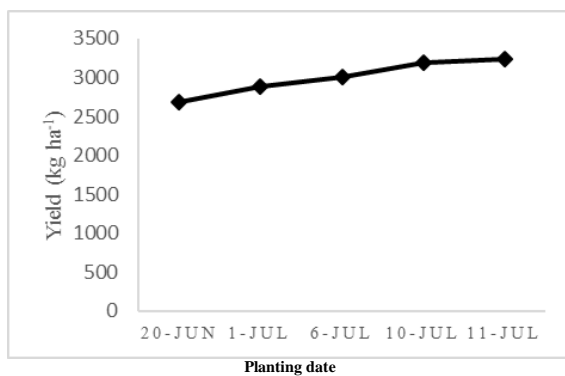
شکل ۴. همانند سازی عملکرد کلزا پاییزه در تاریخ کاشت‌های مختلف
Figure 4. Simulation of winter canola yield at different planting dates



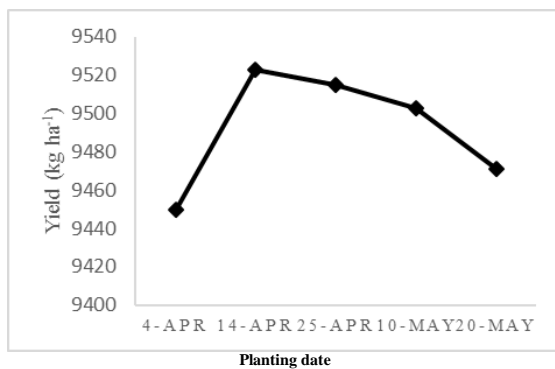
شکل ۵. همانندسازی عملکرد پنبه بهاره در تاریخ کاشت‌های مختلف
 Figure 5. Simulation of spring cotton yield at different planting dates



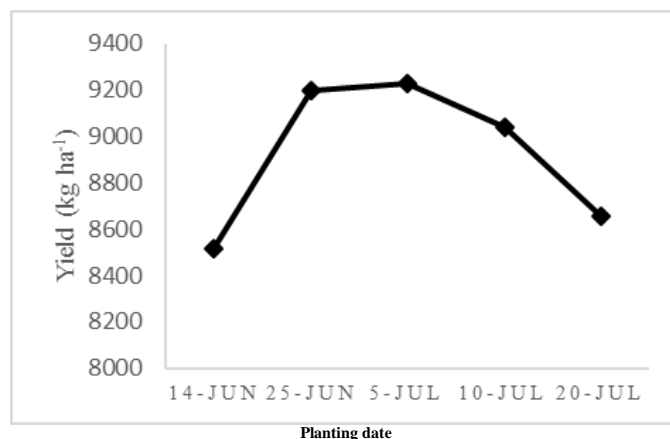
شکل ۶. همانندسازی عملکرد سویا بهاره در تاریخ کاشت‌های مختلف
 Figure 6. Simulation of spring soybean yield at different planting dates



شکل ۷. همانندسازی عملکرد سویا تابستانه در تاریخ کاشت‌های مختلف
 Figure 7. Simulation of summer soybean yield at different planting dates



شکل ۸. همانندسازی عملکرد ذرت بهاره در تاریخ کاشت‌های مختلف
 Figure 8. Simulation of spring maize yield at different planting dates



شکل ۹. همانندسازی عملکرد ذرت تابستانه در تاریخ کاشت‌های مختلف
Figure 9. Simulation of summer maize yield at different planting dates

منطقه، اوایل مهر تا اوایل آبان است. همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده است، بازه کاشت این همانندسازی شده همسان با منطقه بود. اما کشت این محصول در اواخر آبان با توجه به دوره رشد کوتاه‌تر نسبت به گندم عملکرد بهتری خواهد داشت. البته با توجه به همانندسازی، تأخیر بیش‌ازحد کشت نیز موجب افت عملکرد قابل ملاحظه‌ای شده است. این افت ناشی از برخورد گیاهچه‌ها با یخبندان است. چنین افت عملکردی در اثر تأخیر در کشت پاییزه کلزا در دیگر مناطق جهان نیز مشاهده شده است (Torriani *et al.*, 2007).

رقم‌های مختلف پنبه نسبت به تاریخ کاشت حساس هستند. تأخیر در کشت، موجب کاهش در طول دوره رشد، کاهش شمار و اندازه غوزه‌ها و افت شدید در عملکرد خواهد شد. همچنین در تعیین تاریخ کاشت بهینه، توجه به خطر سرمای بهاره برای گیاهچه‌ها و رخداد باران‌های پائیزه، که موجب افت عملکرد و کیفیت الیاف می‌شود، ضروری است (Arshad *et al.*, 2007). رقم پنبه ورامین با توجه به ویژگی‌های مناسب عملکردی رقم متداول برای کشت، در منطقه است. این رقم برای جوانه‌زنی نیاز به دمای ۱۴ درجه سلسیوس در خاک دارد. این دما در ماه اردیبهشت در منطقه فراهم می‌شود. همان‌طور که از شکل ۵ استفاده می‌شود، کشت این محصول در اواخر اردیبهشت عملکرد بهتری خواهد داشت. با توجه به نتایجی که از همانندسازی به دست آمد در صورت تعویق کشت، مرحله زایشی مختل

گیاه جو افزون بر ارزش علوفه‌ای به علت مقاومتش نسبت به شوری خاک در بیشتر کشورهای جهان کشت می‌شود. البته جو در مقاومت به سرما از گندم حساس‌تر است. تاریخ کاشت این گیاه در مناطق گرم مانند منطقه مورد بررسی بر پایه میانگین دما محیط در زمان گرده‌افشانی تعیین می‌شود. رقم جودشت، رقمی است که کشت آن در دشت مغان متداول است (Yousofinia *et al.*, 2012). بازه کاشت مناسب این گیاه مهر و آبان است. در شکل ۳ روند پاسخ گیاه به تغییر تاریخ کاشت روندی همسان با گیاه گندم وجود دارد، با این تفاوت که در ظاهر گیاه جو، بازه زمانی محدودتری دارد. بدین‌صورت که در صورت کشت در اوایل مهر و اواخر آبان با کاهش محصول روبه‌رو خواهیم بود. این همسانی روند تغییرپذیری عملکرد در تاریخ کشت‌های مختلف بین گیاه جو و گندم در بررسی‌های دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Chanders *et al.*, 2008).

توانایی رقم‌های مختلف گیاه کلزا، در جوانه‌زنی و رشد در دماهای پایین و همچنین نیاز کشور به گیاهان دانه روغنی، این گیاه را گزینه مناسبی برای کشت در فصول سرد در مناطق معتدل و گرم همچون دشت مغان ساخته است. مقاومت اصلی این گیاه به دماهای پایین و یخبندان در مرحله ریزش است. لذا تاریخ کاشت باید به‌گونه‌ای باشد که گیاه پیش از نخستین یخبندان به مرحله ریزش وارد شده باشد (Abdoli *et al.*, 2004). بازه کشت معمول این گیاه در

آن وجود دارد. گیاه ذرت دانه‌ای نیز مانند سویا در دو کشت اول و دوم امکان کشت در کشتزارهای منطقه را دارد. لذا رقم‌های دیررس مناسب کشت اول و رقم‌های زودرس مناسب کشت دوم است. مدل AquaCrop برای برآورد عملکرد ذرت دقت بالایی ندارد. علت این موضوع مربوط به وابستگی گیاه ذرت به حاصل‌خیزی خاک و مدیریت دقیق فرآیند داشت، است (Abedinpour *et al.*, 2012). البته دقت برآورد این مدل برای گیاه ذرت در مناطق مرطوب به‌مراتب بالاتر و قابل پذیرش است (Stricevic *et al.*, 2011). بر پایه نتایج به‌دست‌آمده، کشت بهاره این گیاه (شکل ۸) در اوایل اردیبهشت‌ماه و کشت تابستانه آن (شکل ۹) در اواخر خرداد عملکرد خوبی دارد. علت این موضوع تأثیر بیشتر تابش خورشیدی در دوره شکل‌گیری دانه ذرت نسبت به دوره پر شدن آن است. لذا کشت زود هنگام بهاره پس از فراهم شدن کمینه دمای مورد نیاز موجب همانندی بالاترین میزان تابش خورشیدی با دوره شکل‌گیری دانه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود. به همین طریق کشت در اواخر بازه کاشت ذرت تابستانه نیز موجب افزایش عملکرد خواهد شد. البته کشت بسیار دیر هنگام ذرت تابستانه، با توجه به کاهش تابش خورشیدی در اواخر فصل رشد موجب کامل نشدن نیاز درجه روز رشد جمعی گیاه خواهد شد (Cirilo & Andrade, 1994). لذا بازه کشت همانندسازی شده در ذرت بهاره طولانی‌تر و در ذرت تابستانه منطبق با بازه کاشت متداول منطقه بود.

به‌منظور جمع‌بندی تأثیر تاریخ کاشت، در استفاده مناسب از اقلیم، بازه کاشت، تاریخ کاشت معین‌شده، طول دوره رشد، میزان بارش‌های جوی و میزان تبخیر و تعرق پایه محاسباتی توسط نرم‌افزار AquaCrop در جدول ۴ آمده است. بر پایه این نتایج در کشت‌های پاییزه تبخیر و تعرق کمتر بوده و نیاز به آبیاری در این فصل‌ها کمتر است. لذا سیاست ترویج کشت‌های پاییزه در این منطقه می‌تواند موجب آبیاری کمتر و کارایی مصرف آب بالاتر شود. همچنین نیاز آبی گیاهان زراعی مختلف در تاریخ کاشت معین شده، عملکرد برآوردی مدل، عملکرد میانگین سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و نیاز آبی گیاهان زراعی بر پایه نرم‌افزار NETWAT که به سند ملی آب نیز معروف است، در

می‌شود. این نتیجه، نشان‌دهنده همخوانی بازه کاشت منطقه و بازه کاشت همانندسازی شده است.

گیاه سویا نیز از گیاهان زراعی مهم در خودکفایی تولید دانه‌های روغنی در کشور است. این گیاه در منطقه در دو گروه بهاره به‌عنوان کشت اول و تابستانه به‌عنوان کشت دوم، به‌طور معمول پس از غلات، کشت می‌شود. از رقم‌های مهم این گیاه در دشت مغان، رقم ویلیامز است (Paredes *et al.*, 2014). در دشت مغان بازه کاشت برای کشت اول، ۱۵ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد است، و برای کشت دوم که ۹۵ درصد کشت غالب منطقه بوده، بسته به تاریخ برداشت غلات در منطقه و با توجه به شرایط آب و هوایی، بین ۱۰ خرداد، تا پایان تیرماه است. برای دستیابی به محصول شایان‌توجه در سویا لازم است یک دوره رشدی دست‌کم به مدت نود تا صد روز برای این گیاه در منطقه در نظر گرفته شود (Razmi, 2011). بهترین زمان کشت بهاره این گیاه اوایل خرداد شکل ۶ و در کشت تابستانه اواخر تیر شکل ۷ خواهد بود (Bastidas *et al.*, 2008). همچنین در تاریخ‌های مختلف در بازه کشت، برای کشت تابستانه تفاوت‌چندانی در عملکرد دیده نشد. این نبود تفاوت مؤثر در نتایج بررسی‌های دیگر نیز گزارش شده است. علت این شرایط می‌تواند پاسخ گیاه سویا به تاریخ کاشت باشد. کشت زود هنگام این گیاه موجب افزایش شمار غلاف اما کاهش شمار دانه در غلاف نسبت به کشت دیر هنگام باشد. لذا پاسخ گیاه به تاریخ کاشت‌های مختلف در بازه کاشت توسط عامل‌های مختلف مؤثر بر شاخص برداشت خنثی شده و تفاوت‌چندانی در تاریخ کاشت‌های مختلف، در بازه کشت دوم دیده نمی‌شود (Pedersen & Lauer, 2004). البته این نداشتن تغییر محسوس تا پایان تیرماه ادامه دارد و پس‌از آن، مرحله زایشی مختل خواهد شد. نتایج برای محصول بهاره و تابستانه سویا نشان داد که بازه کشت منطقه و بازه کشت همانندسازی شده همسان هستند.

ذرت از جمله غلاتی است که با توجه به طول رشد کمتر، نسبت به دیگر غلات عملکرد بالایی دارد. با توجه به اینکه ذرت گیاهی است گرم‌دوست، هنگامی که دمای خاک به ۱۰ تا ۱۲ درجه سلسیوس برسد امکان کشت

آب همانندسازی شده در گیاهان زراعی بهاره و تابستانه شد. اما در گیاهان زراعی پاییزه افزایش مصرف آب نسبت به نرم افزار NETWAT دیده می شود. این مطلب ناشی از تفاوت میزان باران مؤثر محاسباتی در دو نرم افزار است. در مدل AquaCrop از رابطه انجمن خاکشناسی ایالات متحده آمریکا و در نرم افزار NETWAT از ضریب ثابت ۸۰ درصد میزان کلی بارش استفاده می شود (Hasanvand et al., 2013).

جدول ۵ بیان شده است. در شکل ۱۰ مقادیر نیاز آبی محاسباتی توسط مدل AquaCrop و NETWAT با یکدیگر مقایسه شد. در این مقایسه برابر شکل ۱۰ ضریب تبیین ۰/۹۲ و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۱۴/۰۷ و شاخص تطابق ۰/۹۹ محاسبه شد. این نتایج بیانگر برآورد خوب مدل AquaCrop از نیاز آبی گیاهان زراعی در منطقه است. به طور کلی واسنجی مدل و تاریخ کاشت معین شده موجب کاهش مصرف

جدول ۴. تاریخ کاشت بهینه، طول دوره رشد، مجموع درجه روز رشد، مجموع بارش و مجموع تبخیر و تعرق پایه گیاهان زراعی

عمده دشت مغان

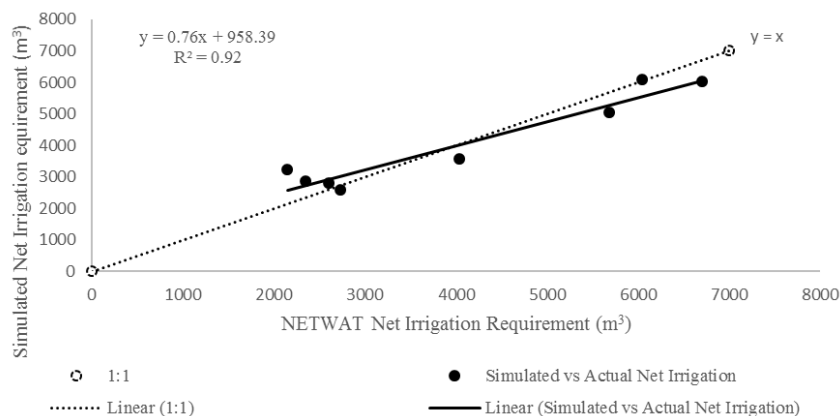
Table 4. Optimum planting date, crop growing length, precipitation and base evapotranspiration for main crops of Moghan plain

Crops	Planting window	Planting date	Crop cycle (day)	Precipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)
Irrigated winter wheat	September-November	30 September	232	210.5	529.1
Irrigated winter barley	October-December	20 November	200	173.1	452.4
Irrigated winter canola	October-November	10 November	192	170	427.3
Irrigated spring maize	April-May	15 April	133	92.5	767.3
Irrigated summer maize	June-July	25 June	119	72	444.8
Irrigated spring soybean	April-May	30 May	142	94	584.5
Irrigated summer soybean	June-July	10 July	115	80.1	331.8
Irrigated spring cotton	April-May	14 May	174	121	711.4

جدول ۵. مقادیر واقعی و همانندسازی عملکرد و نیاز آبی خالص

Figure 5. Actual and simulated yields and net water requirement

Crops	Actual yields (t/ha)	Net water (m ³)	Simulated yields (t/ha)	Simulated net water (m ³)
Irrigated winter wheat	6	2600	7.532	2801
Irrigated winter barley	4.5	2150	6	3227
Irrigated winter canola	2.9	2350	3.165	2881
Irrigated spring cotton	3	6700	3.82	6027
Irrigated spring soybean	2.8	5680	3.506	5048
Irrigated summer soybean	2.5	2730	3.241	2579
Irrigated spring maize	7.5	6050	9.515	6096
Irrigated summer maize	7.3	4040	9.229	3565



شکل ۱۰. مقایسه میزان نیاز آبی خالص در دشت مغان و مقادیر همانندسازی شده توسط مدل AquaCrop

Figure 10. Comparison between net irrigation requirement and simulated irrigation requirement using AquaCrop

است تاریخ کاشت تغییر کند. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده، همپوشانی در دوره رشد گیاهان مختلف بر پایه تاریخ کاشت بهینه پیشنهادی، مشاهده می شود. بسیاری از این گیاهان از نظر زمان کشت و مصرف آب رقیب یکدیگر هستند. لذا برای تصمیم گیری در کشت هر گیاه، بررسی های اقتصادی هزینه تولید و سود خالص اهمیت بالایی دارد. لذا بهترین راه برای انتخاب گیاهان زراعی منتخب، ارزیابی اقتصادی است.

نتیجه گیری کلی

باید توجه داشت که در هر سال عامل های اقلیمی ثابت نبوده و در یک دامنه ثابت در حال تغییر است، لذا برای دقت بیشتر در تعیین تاریخ کاشت، عامل های اقلیمی در همان سال کاشت، با تاریخچه اقلیمی منطقه مقایسه شده و بر پایه آن، تاریخ کاشت مناسب نسبت به تاریخ کاشت بهینه، در نظر گرفته شود. البته در شرایط شیوع بیماری، آفت و یا علف هرز، برای شکستن چرخه زندگی این عامل های خسارت زا، لازم

REFERENCES

1. Abdoli, P., Siadat, S. A. E., Fathi, G. & Farshadfar, E. (2004). Effect of planting date on yield criteria of some canola genotypes in Kermanshah. *Scientific Journal of Agriculture*, 27(1), 105-118. (in Farsi)
2. Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T. B. S., Singh, M. & Ahmad, T. (2012). Performance evaluation of aquacrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 110, 55-66.
3. Abrha, B., Delbecque, N., Raes, D., Tsegay, A., Todorovic, M., Heng, L. & Deckers, S. (2012). Sowing strategies for barley (*Hordeum vulgare* L.) based on modelled yield response to water with AquaCrop. *Experimental Agriculture*, 48(02), 252-271.
4. Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M. & Andarzian, B. (2015). Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(2), 189-199.
5. Arshad, M., Wajid, A., Maqsood, M., Hussain, K., Aslam, M. & Ibrahim, M. (2007). Response of growth, yield and quality of different cotton cultivars to sowing dates. *Pakistan Journal of Agricultural Science* 44(2), 208-212.
6. Bastidas, A. M., Setiyono, T. D., Dobermann, A., Cassman, K. G., Elmore, R. W. & Specht, J. E. (2008). Soybean sowing date: The vegetative, reproductive, and agronomic impacts. *Crop Science*, 48(2), 727-740.
7. Chanders, S., Kumar, P. R., Bhadrarays, S. & Barman, D. (2008). Effect of increasing temperature on yield of some winter crops in northwest India. *Current Science*, 94(1), 82-88.
8. Cirilo, A. G. & Andrade, F. H. (1994). Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science*, 34(4), 1039-1043.
9. Deb, P. & Babel, S. (2015). Assessment of impacts of climate change and adaptation measures for maize production in East Sikkim, India. *Hydrology and Meteorology*, 9(1), 15-27.
10. Dera, J., Mpofu, L. T. & Tavirimirwa, B. (2014). Response of pearl millet varieties to different dates of sowing at Makoholi and Kadoma research stations, Zimbabwe. *Academia Journal of Agricultural Research*, 2(4), 110-113.
11. Hasanvand, M., Joolaie, R., Keramatzadeh, A. & Eshraghi, F. (2013). Studying impact of available water quantity decrease on cropping pattern of agriculture crops to confronting drought condition: case study Neka city, Mazandaran province. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(10), 600.
12. Igartua, E., Gracia, M. P. & Lasa, J. M. (1995). Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. *Field Crops Research*, 42(1), 15-25.
13. Jamieson, P. D., Porter, J. R. & Wilson, D. R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27(4), 337-350.
14. Masanganise, J., Chipindu, B., Mhizha, T. & Mashonjowa, E. (2012). Model prediction of maize yield responses to climate change in north-eastern Zimbabwe. *African Crop Science Journal*, 20(2), 505-515.
15. Mhizha, T., Geerts, S., Vanuytrecht, E., Makarau, A. & Raes, D. (2014). Use of the FAO AquaCrop model in developing sowing guidelines for rainfed maize in Zimbabwe. *Water*, 40(2), 233-244.
16. Mugalavai, E. M., Kipkorir, E. C., Raes, D. & Rao, M. S. (2008). Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(6), 1123-1135.

17. Paredes, P., Wei, Z., Liu, Y., Xu, D., Xin, Y., Zhang, B. & 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.
18. Pedersen, P. & Lauer, J. G. (2004). Response of soybean yield components to management system and planting date. *Agronomy Journal*, 96(5), 1372-1381.
19. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. & Fereres, E. (2009). AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water: *reference manual annexes*. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.
20. Rao, N. K., Gadgil, S., Rao, S. P. & Savithri, K. (2000). Tailoring strategies to rainfall variability-The choice of the sowing window. *Current Science*, 78(10), 1216-1230.
21. Razmi, N. (2011). Effect of sowing date and plant density on some agronomic characteristics, grain yield and its components in soybean genotypes in Moghan region. *Seed and Plant Production Journal*, (4), 403-418. (in Farsi)
22. Saab, M. A., Albrizio, R., Nangia, V., Karam, F. & Roupheal, Y. (2014). Developing scenarios to assess sunflower and soybean yield under different sowing dates and water regimes in the Bekaa valley (Lebanon): Simulations with AquaCrop. *International Journal of Plant Production*, (8), 4-12.
23. Sacks, W. J., Deryng, D., Foley, J. A. & Ramankutty, N. (2010). Crop planting dates: an analysis of global patterns. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 607-620.
24. Salazar-Gutierrez, M. R., Johnson, J., Chaves-Cordoba, B. & Hoogenboom, G. (2013). Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 4(14), 741-762.
25. Stricevic, R., Cosic, M., Djurovic, N., Pejic, B. & Maksimovic, L. (2011). Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management*, 98(10), 1615-1621.
26. Torriani, D., Calanca, P. L., Schmid, S., Beniston, M. & Fuhrer, J. (2007). Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland. *Climate Research*, 34, 59-69.
27. Willmott, C. J., Ackleson, S. G., Davis, R. E., Feddema, J. J., Klink, K. M., Legates, D. R. & Rowe, C. M. (1985). *Statistics for the evaluation and comparison of models*. *Journal of Geophysical Research*, 90(5), 8995-9005.
28. Yousofinia, M., Ghassemian, A., Sofalian, O. & Khomari, S. (2012). Effects of salinity stress on barley (*Hordeum vulgare* L.) germination and seedling growth. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(18), 1353-1357.
29. Zamani, A. S. & Nasser, A. (2008). Response of dryland wheat production and precipitation water productivity to planting date. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(3), 323-326.