



ارائه یک روش پیش‌بینی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های دورپیوندی (مطالعه موردی: کبوترآباد اصفهان)

سید مسعود مصطفوی دارانی^۱، جواد خوشحال دستجردی^{۲*}، راجر استون^۳، فریبرز عباسی^۴، ایمان بابائیان^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴

چکیده

گیاه جو (*Hordeum Vulgare. L*) منبع غذایی مهمی برای تغذیه انسان و دام است و از لحاظ سطح زیر کشت دومین غله مهم ایران به‌شمار می‌رود. هدف از انجام این پژوهش، ارائه روشی برای پیش‌بینی عملکرد گیاه جو به کمک تلفیق یک مدل زراعی با شاخص‌های اقلیمی دورپیوندی در کبوترآباد اصفهان می‌باشد. به این منظور، آزمایشی در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد اصفهان طی سال‌های زراعی ۹۱-۹۰ و ۹۲-۹۱ انجام شد. پس از صحت و اعتبارسنجی مدل گیاهی AquaCrop طی دو سال زراعی، عملکرد دانه با استفاده از داده‌های تاریخی یک دوره ۱۵ ساله اعتبارسنجی شد. سپس عملکرد دانه برای دوره ۶۲ ساله (۱۳۳۰-۱۳۹۲) آمار هواشناسی شبیه‌سازی گردید. بانک اطلاعاتی ماهانه ۵ فاز شاخص نوسان جنوبی و ۳ فاز شاخص دوقطبی اقیانوس هند به‌عنوان دو شاخص دورپیوندی برای ۳ ماه پیش از تاریخ کاشت (شهریور، مهر، آبان) از سال ۱۳۳۰ لغایت ۱۳۹۲ انتخاب و توزیع احتمالات تجمعی عملکرد شبیه‌سازی شده محاسبه گردید. نتایج نشان داد به‌جز فازهای دوقطبی اقیانوس هند در ماه آبان، اختلاف معنی‌داری بین فازهای مختلف وجود ندارد. آزمون کروسکال-والیس اختلاف معنی‌داری ($P=0/005$) را بین فازهای دوقطبی اقیانوس هند نشان داد و آزمون من-ویتنی بیانگر اختلاف معنی‌داری بین فازهای نرمال و منفی ($P=0/012$) و مثبت و منفی ($P=0/006$) شاخص مذکور بود. از آنجا که پیش‌بینی‌های ۳ تا ۶ ماهه نوسان دو قطبی اقیانوس هند بر اساس خروجی‌های مدل‌های اقلیمی قابل دسترس می‌باشند، امکان پیش‌بینی عملکرد ۳ ماه پیش از کاشت وجود داشته و در شرایط وقوع فازهای منفی و مثبت نوسان دوقطبی اقیانوس هند، مدیریت عملیات مزرعه‌ای نظیر استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، کاهش تراکم و سایر راهبردهای سازگار با شرایط خشکی می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل AquaCrop، شاخص نوسان جنوبی، شاخص دوقطبی اقیانوس هند، پیش‌بینی فصلی

مقدمه

(۱۹۹۰). بیش از ۶۰ درصد کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است (مدرس و داسیلوا^۷، ۲۰۰۷). گیاه جو (*Hordeum Vulgare. L*) مقاوم به شوری و خشکی بوده و منبع مهم غذایی برای انسان و دام به‌شمار می‌آید. جو از لحاظ سطح زیر کشت دومین غله مهم ایران به‌شمار می‌رود (بانک اطلاعات زراعت، ۱۳۹۳). با این وجود با واردات (۱۱۹۶۸۴۴ تن، ایران در زمره ده کشور عمده واردکننده جو

کمبود آب و شوری خاک در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مسئله‌ساز می‌باشد (لائوچی و اپشتاین^۶،

^۱ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان
^۲ دانشیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

(* نویسنده مسئول: javadkshshal@yahoo.com)

^۳ استاد اقلیم‌شناس، دانشگاه کوئینزلند جنوبی استرالیا، رئیس مرکز بین-

المللی علوم اقلیم کاربردی

^۴ استاد رشته آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات مهندسی کشاورزی کرج

^۵ دکترای اقلیم‌شناسی، رئیس گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم-شناسی مشهد

^۶ Lauchi & Epstein

^۷ Modarres & Da Silva

هندوستان گزارش نمودند. سلیلیا و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۰) با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد گیاه، اثرات فازهای انسو بر عملکرد ذرت را مورد مطالعه قرار دادند. امور و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۱) با استفاده از بارش روزانه حاصل از مدل گردش عمومی جو پیش‌بینی عملکرد ذرت در کنیا را ارتقاء دادند. هنسن و ایندجه^{۱۲} (۲۰۰۴) جهت پیش‌بینی عملکرد ذرت در کنیا، خروجی پیش‌بینی فصلی به روش دینامیکی را با مدل شبیه‌سازی رشد گیاه تلفیق نمودند. نکته مهم در تلفیق سیستم‌های پیش‌بینی گیاه با مدل‌های اقلیمی فصلی، اختلاف مقیاس آن‌ها می‌باشد. مدل‌های گیاهی معمولاً برای کاربرد در سطوح مزرعه‌ای تهیه شده‌اند درحالی‌که خروجی‌های مدل‌های اقلیم جهانی در مقیاس‌های ملی یا منطقه‌ای به کار می‌آیند. افزون بر این ممکن است بین مقیاس زمانی دو مدل مذکور نیز عدم همخوانی وجود داشته باشد (استون و مینکه، ۲۰۰۵). روش‌های مختلفی جهت تلفیق مدل‌های شبیه‌سازی‌های گیاهی با مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی وجود دارد. در پژوهش حاضر تلفیق مدل گیاهی آکواکراپ^{۱۳} با شاخص‌های دورپیوندی نوسان جنوبی و نوسان دوقطبی اقیانوس هند^{۱۴} با استفاده از روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی مورد آزمون قرار گرفته است. اهداف این پژوهش شامل الف- واسنجی مدل آکواکراپ و اعتبارسنجی آن برای عملکرد دانه گیاه جو و ب- تلفیق نمودن شاخص‌های دورپیوندی نوسان جنوبی و دوقطبی اقیانوس هند با مدل گیاهی آکواکراپ با استفاده از روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی جهت پیش‌بینی عملکرد جو در کبوترآباد اصفهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شاخص‌های دورپیوندی ال‌نینو- نوسان جنوبی و نوسان

دوقطبی اقیانوس هند

پدیده ال‌نینو- نوسان جنوبی (انسو) با تغییرات منظم شرایط درجه حرارت اقیانوس آرام و گردش جو حاصل از آن در ارتباط می‌باشد (هامر و همکاران، ۱۹۹۶). شاخص ماهانه

در جهان قرار دارد (فاتو^۱، ۲۰۱۴). در سالیان اخیر عدم وجود پیش‌بینی عملکرد محصولات مبتنی بر پیش‌بینی‌های آب و هوایی و عدم توجه به تنظیم بازار در سطوح ملی و بین‌المللی هزینه‌های هنگفتی را به دولت و بخش خصوصی تحمیل نموده است. پیش‌بینی فصلی شرایط مساعد آب و هوایی به صورت به‌هنگام امکان آن را فراهم می‌آورد که کشاورزان بتوانند عملیات و مصرف نهاده‌های کشاورزی را در جهت بهره‌مندی هرچه بیشتر از شرایط مذکور انجام دهند. پیش‌بینی مذکور زمان کافی را جهت آماده‌سازی در اختیار بازار محصولات کشاورزی و کاربران نهایی نظیر صنایع تبدیلی کشاورزی قرار داده و باعث بهبود مدیریت آب در کشاورزی می‌گردد (آرندت و همکاران^۲، ۲۰۰۰؛ سیواکومار^۳، ۲۰۰۶). پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی در مدیریت ذخیره‌سازی، انبارداری و حمل و نقل مورد استفاده صنایع و مؤسسات بازاریابی داخلی و بین‌المللی قرار گرفته و حتی در مداخلات سیاسی دولت‌ها به‌ویژه در شرایط خشکسالی به کار می‌آید (هامر و همکاران^۴، ۲۰۰۱). امروزه تلفیق مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی فصلی با مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان به‌عنوان یک سیستم جامع به‌صورت کاربردی در مدیریت کشاورزی و سیاست‌های بازاریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیش‌بینی‌های مذکور از پیش‌بینی فصلی شاخص‌های دور- پیوندی نظیر شاخص نوسان جنوبی^۵ گرفته تا خروجی مدل- های گردش عمومی جو^۶ به‌عنوان ورودی مدل‌های گیاهی متغیر می‌باشند. امروزه نمونه‌هایی موفقیت‌آمیز از تلفیق سامانه‌های پیش‌بینی اقلیمی فصلی با سامانه‌های مدلسازی کشاورزی جهت پیش‌بینی عملکرد در کشورهای مختلف گسترش یافته است (استون و مینکه^۷، ۲۰۰۵). سلواراجو و همکاران^۸ (۲۰۰۴) استفاده از سیستم پیش‌بینی رشد گیاه مبتنی بر شاخص انسو (ال‌نینو - نوسان جنوبی^۹) را در مدیریت زراعی و انتخاب گیاهان پنبه و بادام زمینی در

¹ FAO (Food and agriculture Organization)

² Arndt et al.

³ Sivakumar

⁴ Hammer et al.

⁵ SOI (Southern Oscillation Index)

⁶ GCMs (General Circulation Models)

⁷ Stone & Meinke

⁸ Selvaraju et al.

⁹ ENSO (El-Nino Southern Oscillation)

¹⁰ Celia et al.

¹¹ Amor et al.

¹² Hansen & Indeje

¹³ AquaCrop

¹⁴ IOD (Indian Ocean Dipole)

(۱۳۹۰) کاهش عملکرد گندم و جو دیم و آبی را در فازهای ال- نینو در مقایسه با فازهای لانینا در غرب ایران گزارش نمودند. پژوهشگران دریافته‌اند که همبستگی بالا و معنی‌داری مابین فعالیت ال- نینو نوسان جنوبی و تولیدات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان وجود دارد (جونز و همکاران، ۲۰۰۰) که برخی از آن‌ها را در پژوهش‌های زیر می‌توان یافت (هنسن و همکاران، ۱۹۹۸؛ فریرا و همکاران^۳؛ ۲۰۰۱؛ لگler و همکاران^۴، ۱۹۹۹؛ نایلور و همکاران^۵، ۲۰۰۱؛ پاز و همکاران^۶، همکاران^۷، ۲۰۰۷؛ مجده و کپلینگر^۷، ۱۹۹۸؛ پاتگیتتر و همکاران^۸، ۲۰۰۲؛ جیمینو و همکاران^۹، ۲۰۰۲؛ آدامز و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۳). دیگر شاخص دورپیوندی مورد استفاده، دوقطبی اقیانوس هند می‌باشد که پدیده‌ای جوی- اقیانوسی در بخش‌های استوایی اقیانوس هند به‌شمار می‌رود (ساجی و همکاران^{۱۱}، ۱۹۹۹). شاخص فراوانی دوقطبی^{۱۲} به‌عنوان نشان‌گر میزان شدت دوقطبی اقیانوس هند مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص فراوانی دوقطبی به‌عنوان اختلاف ناپهنجاری‌های دمای سطح اقیانوس هند مابین بخش غربی (۶۰ الی ۸۰ درجه شرقی- ۱۰ درجه شمالی تا ۱۰ درجه جنوبی) و شرقی (۹۰ الی ۱۱۰ درجه شرقی- صفر تا ۱۰ درجه جنوبی) منطقه حاره‌ای اقیانوس هند تعریف می‌شود (ساجی و یاماگاتا^{۱۳}، ۲۰۰۳). برخلاف شاخص نوسان جنوبی، پژوهش‌های محدودی در زمینه بررسی تأثیر نوسان دوقطبی اقیانوس هند بر بارش ایران انجام شده‌است. رسولی و همکاران (۱۳۹۰) طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹، رابطه بین بارش فصلی ایران و درجه حرارت سطح آب پهنه‌های آبی اطراف را مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودند که طی فصول زمستان و بهار مهم‌ترین مراکز تغییرپذیری درجه حرارت سطح آب در مقیاس فصلی، در پهنه‌های آبی نزدیک سواحل سودان و شمال غربی اقیانوس هند واقع گردیده‌اند. جهانبخش

نوسان جنوبی نشان‌گر اصلی انسو بوده و به‌صورت اختلاف فشار جو استاندارد شده ما بین تاهیتی و داروین محاسبه می‌گردد (هامر و همکاران، ۱۹۹۶). شاخص نوسان جنوبی معیاری را در اختیار قرار می‌دهد که می‌تواند در ایجاد یک سامانه پیش‌بینی فصلی مورد استفاده قرار گیرد (استون و همکاران، ۱۹۹۶). بارزترین سامانه پیش‌بینی، سامانه فازی شاخص نوسان جنوبی می‌باشد که توسط استون و اولیسیم^۱ (۱۹۹۲) ارائه گردیده است و بسته به میزان و سرعت تغییر نوسان جنوبی، فصول را به ۵ فاز طبقه‌بندی می‌نماید (هامر و همکاران، ۱۹۹۶). استون و همکاران (۱۹۹۶) با استفاده از فازهای شاخص نوسان جنوبی احتمالات بارش را در سطح جهان پیش‌بینی نمودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اگر فاز منفی پایدار در ماه‌های ژوئن و ژولای اتفاق بیافتد، به احتمال زیاد میانه بارش در ایران برای سه ماه پس از آن (آگوست، سپتامبر و اکتبر) افزون بر میانه اقلیمی خود خواهد بود. ناظم‌السادات و کوردری^۲ (۲۰۰۰) همبستگی منفی مابین شاخص نوسان جنوبی و بارش پاییزه را برای اکثر نقاط ایران گزارش نمودند و مشخص گردید که طی پدیده ال- نینو، میزان بارش در برخی نقاط مختلف کشور ایران چندین برابر بیش از میزان مشابه طی لانینا می‌باشد. هر چند بارش زمستانه بیشتر (کمتر) از نرمال در ایران با فازهای سرد (گرم) انسو همخوانی دارد، مورد مذکور به‌عنوان قاعده‌ای عمومی به شمار نیامده و جهت کمی‌سازی و تعدیل رابطه بارش با انسو طی فازهای گرم و سرد انسو، پژوهش‌های بیشتری مورد نیاز می‌باشد (ناظم‌السادات و قاسمی، ۲۰۰۴). همبستگی منفی معنی‌داری بین بارش پاییزه و شاخص نوسان جنوبی از ژوئن تا آگوست در جنوب‌غربی ایران وجود دارد (دزفولی و همکاران، ۲۰۱۰). هر چند رابطه مابین انسو و بارش در ایران به میزان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است اما رابطه آن با عملکرد گیاهان به‌خوبی شناخته نشده است. بنایان و همکاران (۲۰۱۱) نقش انسو را بر عملکرد گندم و جو دیم در شمال شرقی ایران مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که عملکرد در شمال منطقه مورد بررسی، در فازهای مثبت و منفی نینو ۳-۴ به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. زارع ابیانه و همکاران

³ Ferreyra et al.

⁴ Legler et al.

⁵ Naylor et al.

⁶ Paz et al.

⁷ Mjelde & Keplinger

⁸ Potgieter et al.

⁹ Gimeno et al.

¹⁰ Adams et al.

¹¹ Saji et al.

¹² DMI (Dipole Mode Index)

¹³ Saji & Yamagata

¹ Stone & Aluiciems

² Nazemosadat & Cordery

و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر نوسان دوقطبی اقیانوس هند را بر تغییرپذیری فصلی بارش استان‌های جنوبی ایران بررسی نموده و نتیجه‌گیری کردند که همبستگی مثبتی بین بارش‌های پاییزه استان‌های جنوبی ایران و نوسان دوقطبی اقیانوس هند وجود دارد. هادیانی و همکاران (۲۰۱۲) اعلام نمودند که رابطه معنی‌داری بین میانگین بارش سالانه و شاخص نوسان جنوبی در شمال ایران وجود دارد.

منطقه مورد مطالعه

این آزمایش در ایستگاه هواشناسی کشاورزی کبوترآباد با مختصات عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی طی سال‌های زراعی ۹۰-۹۱ (۲۰۱۱-۲۰۱۲) و ۹۱-۹۲ (۲۰۱۲-۲۰۱۳) انجام گردید. با توجه به اینکه جهت انجام پژوهش حاضر داده‌های بلندمدت اقلیمی و عملکرد (بیش از ۵۰ سال) موردنیاز بود، داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک اصفهان با دوره آماری ۶۲ ساله (۱۳۹۲-۱۳۳۰) پس از صحت و اعتبارسنجی مدل آکواکراپ، جهت شبیه‌سازی عملکرد مورد استفاده قرارگرفت. ایستگاه اصفهان دارای مختصات عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی در فاصله ۱۱/۹ کیلومتری شرق ایستگاه کبوترآباد قرارگرفته است. بارش و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دوره آماری طی فصل رشد تقریباً برابر با ۱۱۹ و ۱۳۸۶ میلی‌متر بود. داده‌های آب و هوایی روزانه و ماهانه شامل درجه حرارت، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، تشعشع خورشیدی و سرعت باد و بارش جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل آکواکراپ طی دو سال زراعی، اعتبارسنجی عملکرد دانه طی دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۷) و همچنین شبیه‌سازی سری زمانی عملکرد جو طی دوره آماری ۶۲ ساله (۱۳۹۲-۱۳۳۰) مورد استفاده قرار گرفتند. ورودی‌های مورد نیاز مدل آکواکراپ شامل داده‌های اقلیمی (درجه حرارت، رطوبت نسبی، باد، تشعشع خورشیدی، تبخیر و تعرق مرجع و بارش)، خصوصیات گیاهی، مدیریت مزرعه و خصوصیات خاک و آبیاری می‌باشند. داده‌های تشعشع خورشیدی به‌علت خارج بودن از دامنه، مورد قبول مدل واقع نگردید. بنابراین مدل آنگستروم با ضرایب $(a=0/4)$ و $(b=0/34)$ که توسط کمالی و

مرادی (۱۳۸۵) گزارش شده بود، جهت ایجاد داده‌های تشعشع از ساعات آفتابی مورد استفاده قرار گرفت. تبخیر و تعرق مرجع توسط نرم افزار ETcalculator و با استفاده از روش فائو پنمن مانیتث محاسبه گردید. خاک محل آزمایش سیلت رسی به عمق ۰/۶ متر و فاقد لایه غیر قابل نفوذ بود. خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه گردیده است.

مدل گیاهی آکواکراپ^۱

مدل‌ها عموماً به‌منظور خلاصه یا ساده نمودن یک سامانه حقیقی استفاده می‌شوند (لوومیس و ربینگ^۲، ۱۹۷۹). مدل‌های گیاهی برای پژوهش‌های مختلف از جمله تلفیق مدل‌های گیاهی و شاخص‌های اقلیمی دورپیوندی ابزارهای سودمندی به‌شمار می‌روند. مدل آکواکراپ توسط سازمان خوار و بار جهانی (فائو) ایجاد شده و اساساً بر شبیه‌سازی زیست‌توده گیاهی قابل حصول و عملکرد قابل برداشت در عکس‌العمل به آب قابل دسترس استوار بوده و در مقایسه با دیگر مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه از پارامترهای نسبتاً کمی استفاده می‌نماید. سعی بر این بوده که در طراحی مدل تعادلی ما بین سادگی، صحت و پایایی برقرار گردد (استدوتو و همکاران^۳، ۲۰۰۹). لذا مدل مذکور جهت استفاده در کشورهای در حال توسعه که در آن‌ها کمبود داده محدودیت اصلی محسوب می‌گردد، مناسب می‌باشد. در صورت عدم وجود داده‌های روزانه آب و هوایی، مدل با استفاده از روش میان‌یابی گومز^۴ (۱۹۸۳) از میانگین‌های ماهانه و ده روزه دما و تبخیر و تعرق، مقادیر روزانه را استخراج می‌نماید (رائز و همکاران^۵، ۲۰۰۹). همچنین مدل قادر است داده‌های ماهانه بارش را به‌عنوان ورودی مورد استفاده قرار دهد. مورد مذکور خصوصیت منحصربه‌فردی می‌باشد که مدل آکواکراپ را مناسب استفاده از داده‌های اقلیمی یا خروجی‌های مدل‌های اقلیمی در مقیاس ماهانه می‌نماید. زینینگره و همکاران^۶ (۲۰۱۱) از پیش بینی فصلی اقلیمی مبتنی بر انسو (ال نینو-

¹ AquaCrop

² Loomis & Rabbinge

³ Steduto et al.

⁴ Gommès

⁵ Raes et al.

⁶ Zinyengere et al.

پارامترها و اندازه‌گیری‌های گیاهی

تعداد روزهای پس از کاشت تا مراحل مختلف فنولوژیکی نظیر سبز شدن، حداکثر پوشش کانوبی، آغاز زرد شدن و رسیدگی فیزیولوژیکی در مزرعه اندازه‌گیری گردید. درجه-روز رشد در مدل آکواکراپ بر اساس روش مک مستر و ویلهلم^۳ (۱۹۹۷) محاسبه می‌گردد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق (متر)	نقطه پژمردگی دائم	نقطه اشباع	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	هدایت هیدرولیکی (میلی‌متر در روز)
۰/۳-۰	۲۲	۵۴	۱/۳۲	۰/۲۶
۰/۶-۰/۱۳	۲۶	۵۶	۱/۴۸	۰/۳۳

اندازه‌گیری عمق توسعه ریشه در مرحله رسیدگی و پس از شستشوی نمونه‌های خاک انجام شد. در ۲ سال آزمایش زیست‌توده در مراحل سه‌برگی، پنجه‌زنی و خمیری از سطحی برابر ۰/۵ مترمربع اندازه‌گیری شد و ۴ نمونه در هر بار برداشت گردید. زیست‌توده پس از خشک نمودن در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت محاسبه گردید. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، زیست‌توده نهایی و عملکرد دانه علاوه بر تمامی کوادرات‌ها از ۴ کوادرات تصادفی از سطحی معادل ۸ متر مربع در هر سال به‌دست آمد و وزن هزار دانه نیز در هر سال اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک در طی دوره رشد به روش وزنی و قبل و بعد از هر آبیاری در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر انجام شد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی مدل در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ از طریق تغییر پارامترهای گیاهی در راستای ایجاد حداکثر انطباق مابین خروجی‌های مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای به‌صورت سعی و خطا و تخمین پارامترهای غیر ثابت انجام گردید. پارامترهای گیاه جو در مدل آکواکراپ شامل

نوسان جنوبی) تلفیق شده با مدل آکواکراپ جهت ایجاد ابزار حمایتی تصمیم‌گیری مبتنی بر اقلیم در تولید ذرت در زیمبابوه استفاده نمودند. مدل آکواکراپ در ایران تاکنون برای گیاه جو واسنجی و اعتبارسنجی نشده است لذا واسنجی و اعتبارسنجی آن قبل از تلفیق با شاخص‌های دورپیوندی ضروری می‌باشد. آرایا و همکاران^۱ (۲۰۱۰) واسنجی و اعتبارسنجی جو را در شمال اتیوپی انجام دادند. اندرزیان و همکاران (۲۰۱۱) اعتبارسنجی مدل آکواکراپ را در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری گندم در جنوب‌غربی ایران انجام دادند. مدل آکواکراپ همچنین جهت مدیریت کم‌آبیاری گندم زمستانه در مرکز ایران مورد استفاده قرار گرفته است (سالمی و همکاران، ۲۰۱۱).

اندازه‌گیری‌ها و عملیات زراعی

گیاه جو رقم M79-4 برای سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲ بدون اعمال تیمار و تحت شرایط زارعین منطقه کشت گردید. گیاه در تاریخ‌های کاشت ۲۲ آبان ۱۳۹۰ و ۲۱ آبان ۱۳۹۱ و تحت آبیاری سطحی کاشته شد. جهت انجام دیده‌بانی‌های فنولوژیک و بیولوژیک و اندازه‌گیری‌ها از کاشت تا برداشت، تعداد ۴ کوادرات (چهارچوب) در آرایشی تصادفی با رعایت اثر حاشیه‌ای ۱/۵ متری در هر هکتار مورد استفاده قرار گرفت. در هر چهارچوب ۱۰ گیاه به‌عنوان نمونه جهت دیده‌بانی‌های فنولوژیک و بیومتریک از کاشت تا برداشت انتخاب شدند. میزان آب مصرفی در هر آبیاری توسط فلوم^۲ WSC اندازه‌گیری گردید. نیازهای غذایی بر اساس آزمایشات خاک تعیین و با مصرف کودهای شیمیایی تأمین گردید. کود ازته مورد نیاز به‌میزان مساوی طی دو مرحله کاشت و آغاز رشد ساقه مورد استفاده قرار گرفت. علف‌های هرز توسط علف‌کش‌ها کنترل گردیده و آفات و امراض در طی مرحله رشد مشاهده نگردید. کاشت توسط ردیف‌کار غلات انجام گردیده و میزان بذر مصرفی در هر دو سال ۲۰ کیلوگرم در هکتار با در نظر گرفتن ۹۰ درصد جوانه‌زنی و وزن هزار دانه ۳۸/۶ گرم و تراکم تقریبی ۱۵۵ گیاه در هر متر مربع بود.

¹ Araya et al.

² Washington State College

³ McMaster & Wilhelm

جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت که به جهت تخلص از ذکر آن خودداری گردید. علاوه بر این از مدل واسنجی شده جهت اعتبارسنجی داده‌های درازمدت ۱۵ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۷) عملکرد دانه استفاده گردید. با توجه به اینکه جهت استفاده از پیش‌بینی‌های فصلی مبتنی بر شاخص‌های دورپیوندی و روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی، اطلاعات درازمدت عملکرد مورد نیاز بوده و اطلاعات مذکور در سطح استان و یا حتی کشور فراهم نمی‌باشد، پس از اعتبارسنجی مدل، اطلاعات اقلیمی ماهانه ۶۲ ساله ایستگاه سینوپتیک اصفهان (۱۳۹۲-۱۳۳۰) شامل درجه حرارت و بارش جهت شبیه‌سازی عملکرد دانه جو مورد استفاده قرار گرفت. جهت شبیه‌سازی دوره‌های زمانی ۱۵ و ۶۲ ساله، کلیه ورودی‌های مدل به جز داده‌های اقلیمی ثابت و خروج ۳۵ درصد از آب سهل‌الوصول مبنای انجام آبیاری در نظر گرفته شد (هاسن و همکاران، ۲۰۰۲). روش‌های تلفیق مدل‌های گیاهی با پیش‌بینی‌های فصلی اقلیمی را می‌توان به ۴ گروه تقسیم نمود (هنسن و ایندجه، ۲۰۰۴). ۱- شبیه‌سازی رشد گیاه با خروجی‌های روزانه مدل‌های اقلیمی ۲- استفاده از داده‌های آب و هوایی روزانه تولیدشده مصنوعی مشروط بر پیش‌بینی‌های اقلیمی ۳- پیش‌بینی آماری عکس‌العمل شبیه‌سازی شده گیاه با داده‌های اقلیمی گذشته ۴- روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی. در پژوهش حاضر روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. روش مذکور از نظر کاربرد در سطح جهانی رایج‌ترین روش بوده و معضل عدم همخوانی مقیاس‌های زمانی و مکانی مدل‌های گیاهی و مدل‌های اقلیمی در این روش وجود ندارد. در این روش تغییرپذیری پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیم نظیر شاخص‌های دورپیوندی به طبقات یا فازهای مختلف تقسیم شده و سپس احتمال سال‌هایی از دوره آماری که دارای فاز مشخصی هستند، تعیین گردیده و توزیع آماری عملکردهای شبیه‌سازی شده برای دوره آماری با فازهای مشابه، امکان انجام پیش‌بینی‌های احتمالی را فراهم می‌نماید (هنسن و ایندجه، ۲۰۰۴). به عبارت دیگر در این روش با طبقه‌بندی شاخص‌های دورپیوندی به فازهای مشخص، عملکرد محصول طی سال-های گذشته به فازهای مذکور اختصاص یافته و با استفاده از توزیع پیش‌بینی احتمالی مربوطه، آماره‌های توزیع متغیر مورد

پارامترهای ثابت و غیرثابت می‌باشند. پارامترهای ثابت در طی زمان و اختلاف در مدیریت مزرعه، مکان جغرافیایی و اقلیم ثابت باقی می‌مانند (رائز و همکاران، ۲۰۱۰). سایر پارامترهای گیاهی توسط کاربر قابل تغییر بوده و تحت تأثیر مدیریت مزرعه، شرایط خاک، رقم و اقلیم قرار می‌گیرند. پارامترهای ثابت و غیر ثابت گیاه جو توسط رائز و همکاران (۲۰۱۲) ارائه گردیده است. فایل‌های مورد نیاز مدل شامل اقلیم، آبیاری، خاک و میزان رطوبت اولیه خاک بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده ساخته شد و فایل گیاه از مراحل فنولوژیکی مشاهده شده در مزرعه به دست آمد. اعتبارسنجی مدل در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ با مقایسه مشاهدات مزرعه‌ای زیست‌توده گیاهی با خروجی مدل با استفاده از آزمون‌های آماری نکویی برازش نظیر ضریب تبیین (R^2) که مجذور ضریب همبستگی می‌باشد (معادله ۱)، خطای جذر میانگین مربعات خالص^۱ و نرمال شده^۲ (معادله‌های ۲ و ۳) انجام شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{[(P_i - \bar{P})^2]^{0.5} \cdot [(O_i - \bar{O})^2]^{0.5}} \quad (1)$$

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

$$NRMSE = \frac{100}{M} \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - \bar{P})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (3)$$

که در آن P_i و O_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، n تعداد مشاهدات و M میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشد. خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده درصد اختلاف نسبی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. هنگامی که مقدار آن کمتر از ۱۰، کمتر از ۲۰ و بیشتر از ۱۰، بیشتر از ۲۰ و کمتر از ۳۰، بیشتر از ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی انجام شده به ترتیب عالی، خوب، قابل قبول و ضعیف در نظر گرفته می‌شود (جمیسن و همکاران^۳، ۱۹۹۱). دیگر پارامتر گیاهی نظیر پوشش اجتماع گیاهی نیز

¹ RMSE (Root Mean Square Error)

² NRMSE (Normalized Root Mean Square Error)

³ Jamieson et al.

آمده مدل توانست مقادیر زیست‌توده گیاهی و رطوبت خاک را به ترتیب به‌طور خوب و عالی شبیه‌سازی نماید. میزان عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به ترتیب ۴/۹۵ و ۴/۹۹ تن در هکتار بود.

جدول ۳- پارامترهای گیاهی واسنجی شده مدل آکواکراپ

پارامتر گیاهی	مقدار	واحد
راندمان آبی گیاه	۱/۱	کیلوگرم بر مترمکعب
ضریب کاهش اجتماع گیاهی	۷/۷	درصد به روز
پوشش اجتماع گیاهی اولیه	۲/۳۳	درصد
حداکثر پوشش اجتماع گیاهی	۷۷	درصد
ضریب رشد اجتماع گیاهی	۴/۴	درصد به روز
آستانه بالایی برای انسداد روزنه	۰/۶	-
شکل منحنی ضریب تنش روزنه‌ای	۳	-
ضریب افزایش شاخص برداشت به‌علت توقف رشد برگ‌ها در هنگام گلدهی	۰/۸۵	-
ضریب افزایش شاخص برداشت به‌علت توقف رشد برگ‌ها قبل از گلدهی	۵	-
ضریب افزایش شاخص برداشت به‌علت تنش آبی مؤثر بر انسداد روزنه‌ها طی تشکیل عملکرد	۵	-
ضریب تنش زوال اجتماع گیاهی	۰/۵۵	-
شکل منحنی ضریب تنش زوال گیاهی	۳	-
آستانه بالایی گسترش اجتماع گیاهی	۰/۲	-
آستانه پائینی گسترش اجتماع گیاهی	۰/۶۵	-
شکل منحنی ضریب تنش گسترش سطح برگ	۳	-
حداکثر عمق مؤثر ریشه	۰/۷	متر

اعتبارسنجی مدل

پارامترهای غیر ثابت گیاهی مورد استفاده در واسنجی مدل جهت اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت و آماره‌های نکویی برازش مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده زیست‌توده و رطوبت خاک برای اعتبارسنجی مدل محاسبه گردید (جدول ۴). مدل مقادیر زیست‌توده گیاهی و رطوبت خاک را به ترتیب به‌طور خوب و عالی شبیه‌سازی نمود. شکل ۱

نظر همچون میانگین وزنی، میانه عملکرد یا دیگر آماره‌ها در قالب نمودارهای احتمالاتی محاسبه می‌گردد. لذا پنج فاز شاخص نوسان جنوبی (منفی، مثبت، درحال صعود، درحال نزول، خنثی) که با استفاده از روش تحلیل مؤلفه مبنا توسط استون و آتولیسیم (۱۹۹۲) به‌دست آمده بود به همراه سه فاز شاخص نوسان دوقطبی اقیانوس هند (نرمال، مثبت، منفی)، طی دوره آماری ۶۲ ساله (۱۳۹۲-۱۳۳۰) به‌صورت ماهانه یک تا سه ماه پیش از تاریخ کاشت (ماه‌های شهریور، مهر و آبان) تعیین گردیده و منحنی‌های توزیع احتمال تجمعی مربوطه مبتنی بر شاخص‌های مذکور پیش از کاشت جهت پیش‌بینی عملکرد به‌دست آمد. آزمون‌های آماری کروسکال-والیس^۱ و کولموگروف-اسمیرنوف^۲ جهت مقایسه فازهای مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های شاخص دوقطبی اقیانوس هند و نوسان جنوبی اقیانوس آرام به ترتیب از طریق تارنمای سازمان علوم و فن‌آوری زمین-دریایی ژاپن و تارنمای رسمی ایالت کوئینزلند استرالیا به‌دست آمدند (مراجعه به منابع).

نتایج

واسنجی مدل آکواکراپ

مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده گیاهی مربوط به واسنجی مدل در جدول ۲ و مقادیر پارامترهای غیر ثابت واسنجی شده در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- مراحل فنولوژیکی جو مورد استفاده جهت واسنجی

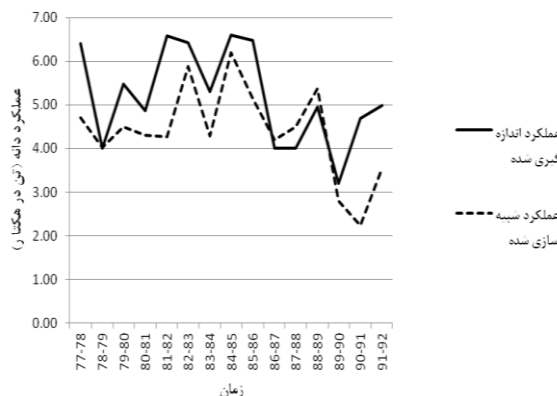
کاشت تا سبز شدن	کاشت تا گلدهی	دوره گلدهی	کاشت تا زرد شدن برگ‌ها	کاشت تا حداکثر پوشش کلانی	کاشت تا برداشت
۹	۱۵۱	۱۰	۱۷۲	۱۵۱	۴۸/۸
(روز)					
درصد					
۲۰۲	۱۵۱	۱۷۲	۱۵۱	۴۸/۸	۲۰۲

ضریب تبیین^۳، خطای جذر میانگین مربعات خالص و نرمال شده مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده زیست‌توده گیاهی و رطوبت خاک جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل مورد محاسبه قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس نتایج به‌دست

^۱ Kruskal-Wallis

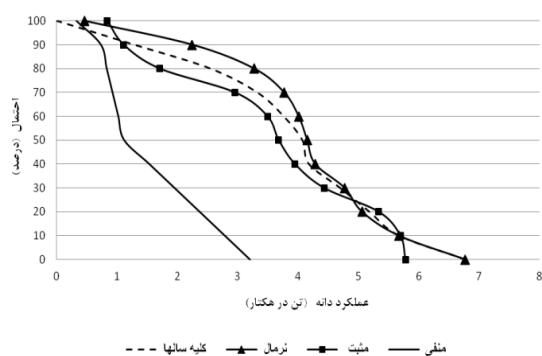
^۲ Kolmogrov-Smirnov

^۳ r² (Coefficient of determination)



شکل ۲- شبیه سازی عملکرد دانه طی دوره آماری ۱۵ ساله

همچنین آماره های میانه و دامنه میان چارکی جهت مقایسه فازهای مختلف مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۴ و ۵). هرچند تفاوت بین فازهای شاخص نوسان جنوبی و شاخص دوقطبی اقیانوس هند مشخص می باشد اما اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ بین فازهای شاخص نوسان جنوبی مشاهده نگردید. در خصوص فازهای دو قطبی اقیانوس هند به جز ماه آبان اختلاف معنی داری بین فازهای مختلف مشاهده نگردید. در مورد اخیر آزمون کروسکال-والیس در سطح احتمال ۵٪ نشان دهنده اختلاف معنی داری بین فازها بود. آزمون من-ویتنی^۲ نیز جهت مقایسه بین فازهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در آبان ماه اختلاف معنی داری بین فاز شمال و منفی ($P=0/012$) و مثبت و منفی ($P=0/006$) وجود دارد (اشکال ۳ و ۴). عملکرد از ماه شهریور تا آبان به ترتیب طی فازهای شمال، مثبت و منفی به دست آمد.



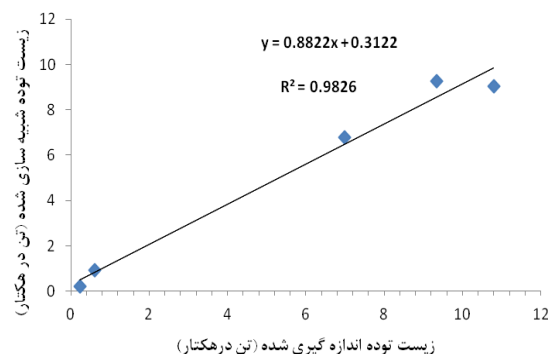
شکل ۳- احتمالات دستیابی به عملکردهای مختلف جو طی فازهای دوقطبی اقیانوس هند در آبان ماه

مقایسه مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده زیست توده را طی دوره اعتبارسنجی نشان می دهد.

جدول ۴- مقادیر آماره های نکویی برازش زیست توده گیاهی و رطوبت خاک جهت واسنجی و صحت سنجی مدل

سال	زیست توده گیاهی			رطوبت خاک		
	r^2	RMSE	NRMSE	r^2	RMSE	NRMSE
۹۰-۹۱	۰/۹۸	۰/۸۰	۱۴/۴	۰/۸۴	۲۰	۹/۱
۹۱-۹۲	۰/۹۸	۰/۹۵	۱۴/۸	۰/۹۳	۱۴	۷/۹

میزان عملکرد دانه شبیه سازی و اندازه گیری شده به ترتیب ۴/۵۸ و ۴/۶۸ تن در هکتار بود. اعتبارسنجی عملکرد دانه در دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۲) انجام گردید و مقادیر خطای جذر میانگین مربعات و مقدار نرمال شده آن و ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۴، ۱۸/۲ و ۰/۴۸ نشان دهنده آن بود که مدل قادر است عملکرد دانه را به خوبی شبیه سازی نماید (شکل ۲). پس از اعتبارسنجی مدل، شبیه سازی ۶۲ ساله (۱۳۳۰-۱۳۹۲) عملکرد دانه و آزمون نرمال بودن داده ها توسط آزمون شاپیروویلیک^۱ انجام گردید و پس از تعیین منحنی های توزیع احتمال تجمعی عملکرد، جهت مقایسه بین فازهای مختلف شاخص نوسان جنوبی و شاخص دوقطبی اقیانوس هند، آزمون کروسکال والیس با سطح معنی داری ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱- مقایسه زیست توده اندازه گیری و شبیه سازی شده طی فصل رشد (۲۰۱۱-۲۰۱۲)

² Mann-Whitney

¹ Shapiro- Wilk

جدول ۴- مقایسه عملکرد جو برای فازهای مختلف ال نینو- نوسان جنوبی

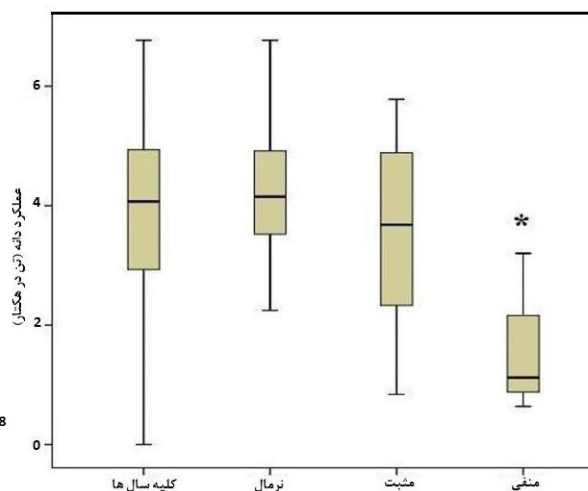
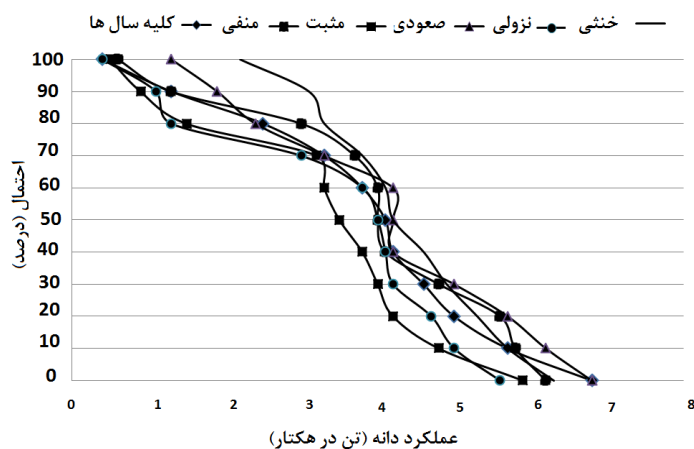
آبان		مهر		شهریور		فاز
مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	
۰/۶۳۶	۴/۱[۲/۵-۵]	۰/۵۹۱	۴/۱[۲/۵-۵]	۰/۴۰۰	۴/۱[۲/۵-۵]	کل سال‌ها
	۴ [۳-۵/۶]		۴ [۳/۷-۴/۹]		۴/۱[۳/۴-۵/۲]	منفی
	۳/۵[۱/۵-۴/۲]		۴/۱[۳/۲-۴/۷]		۴ [۳/۲-۴/۴]	مثبت
	۴/۲[۲/۴-۵/۷]		۵/۶[۳/۱-۵/۷]		۳/۹[۳/۳-۴]	در حال صعود
	۴ [۱/۳-۴/۷]		۳/۶[۱/۷-۴/۱]		۴/۷[۳/۴-۵/۹]	در حال نزول
	۴/۲[۳/۳-۵/۳]		۴/۱[۲-۵/۱]		۳/۲[۱/۱-۵/۵]	خنثی

* داده‌ها به صورت میانه [دامنه میان چارگی] ارائه گردیده‌اند.

جدول ۵- مقایسه عملکرد جو برای فازهای مختلف دو قطبی اقیانوس هند

آبان		مهر		شهریور		فاز
مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	
۰/۵۰۰	۴/۰۷[۲/۵-۵/۱]	۰/۲۱۶	۴/۰۷[۲/۵-۵/۱]	۰/۱۱۲	۴/۰۷[۲/۵-۵/۱]	کل سال‌ها
	۴ [۳-۵/۶]		۴ [۳/۷-۴/۹]		۴/۱[۳/۴-۵/۲]	منفی
	۳/۵[۱/۵-۴/۲]		۴/۱[۳/۲-۴/۷]		۴ [۳/۲-۴/۴]	مثبت
	۱/۱[۰/۸۳-۲/۳]		۳/۲[۲/۳-۳/۹]		۳/۱[۱/۵-۳/۵]	منفی

* داده‌ها به صورت میانه [دامنه میان چارگی] ارائه گردیده‌اند.



شکل ۵- احتمالات دستیابی به عملکردهای مختلف جو طی فازهای مختلف نوسان جنوبی در آبان ماه

می‌باشد (جدول ۵). هرچند اختلاف بین فازهای شاخص نوسان جنوبی معنی‌دار نمی‌باشد ولی حداکثر پتانسیل

شکل ۴- نمودار جعبه‌ای نشان‌دهنده صدک‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ عملکرد جو طی فازهای مختلف دو قطبی اقیانوس هند در آبان‌ماه

برای فازهای نرمال و منفی در ماه آبان، پتانسیل عملکرد مورد انتظار به صورت میانه، به ترتیب ۴/۱ و ۱/۱ تن در هکتار

عملکرد مورد انتظار به صورت میانه، به ترتیب برای ماه‌های شهریور، مهر و آبان ۴/۷، ۵/۶ و ۴/۲ تن در هکتار می‌باشد. شکل ۵ منحنی احتمالاتی عملکرد ماه آبان را برای فازهای ۵ گانه شاخص نوسان جنوبی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری و بحث

هرچند یافته‌های پژوهشی بیانگر همبستگی بالا و معنی‌داری مابین فعالیت ال-نینو نوسان جنوبی و تولیدات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد (جونز و همکاران^۱، ۲۰۰۰) اما معنی‌دار نشدن تأثیر فازهای مختلف آن بر عملکرد دانه جو در منطقه کبوترآباد اصفهان می‌تواند به این دلیل باشد که اکثر پژوهش‌های انجام شده در مناطقی (نظیر استرالیا، آفریقا و آمریکای جنوبی و ...) انجام گردیده است که به پهنه‌های عظیم آبی نظیر اقیانوس‌های آرام و هند نزدیک بوده و در مناطق پست واقع گردیده‌اند. حال آن‌که محصول مورد مطالعه در پژوهش حاضر در منطقه فلات مرکزی ایران و دور از پهنه‌های عظیم آبی بوده و به نظر می‌رسد بیشتر تحت تأثیر سامانه‌های جوی عرض‌های میانه قرار داشته باشد. با این وجود در پژوهش حاضر تأثیر شاخص‌های دورپیوندی مذکور بر کشاورزی مناطق مرکزی ایران مورد بررسی قرار گرفت. مدل آکواکراپ توانست عملکرد دانه جو آبی را به خوبی در دوره ۱۵ ساله شبیه‌سازی نماید این امر می‌تواند به این دلیل باشد که تحت شرایط کشت معمول غلات زمستانه، کشاورزان در منطقه مرکزی ایران معمولاً ۵ تا ۶ آبیاری را طی فصل رشد انجام می‌دهند که نخستین آن‌ها، در هنگام کاشت (کلوخ آب) و دومین آبیاری (پی‌آب) بعضی اوقات پس از اولین آبیاری انجام شده و طی ۳ تا ۴ ماه فصول پاییز و زمستان (آبان تا اسفند)، کشت غلات به بارش انجام شده طی دوره مذکور متکی بوده و شرایط مناسب رطوبتی خاک حاصل از بارش‌های پاییز و زمستان طی این دوره نقش حیاتی در میزان عملکرد سالانه دارد که در این راستا تأثیر معنی‌دار نوسان دوقطبی اقیانوس هند بر عملکرد جو در منطقه مرکزی ایران نیز می‌تواند در نتیجه تأثیرات آن بر بارش‌های فصول پاییز و زمستان باشد. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) همبستگی مثبتی را بین بارش‌های پاییزه استان‌های

جنوبی ایران و نوسان دوقطبی اقیانوس هند گزارش نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که بر خلاف شاخص نوسان جنوبی، نوسان دوقطبی اقیانوس هند می‌تواند بر عملکرد گیاه جو در منطقه مرکزی ایران (کبوترآباد اصفهان) مؤثر باشد. وقوع فاز نرمال یک تا سه ماه پیش از تاریخ کاشت در مقایسه با فازهای منفی و مثبت نوسان دوقطبی اقیانوس هند جهت دستیابی به عملکردهای اقتصادی مناسب‌تر می‌باشد. از آنجا که پیش‌بینی‌های ۳ تا ۶ ماهه نوسان دوقطبی اقیانوس هند بر اساس خروجی‌های مدل‌های اقلیمی قابل دسترس می‌باشند، (به‌عنوان مثال <http://www.bom.gov.au/climate/IOD>) امکان مدیریت عملیات مزرعه‌ای جهت دستیابی به عملکردهای مطلوب جو برای فصل رشد پیش رو وجود خواهد داشت. به این طریق که حداقل ۳ ماه پیش از تاریخ کاشت (آبان ماه) یعنی در مرداد و شهریور، درصد احتمالات دستیابی به عملکردهای مختلف قابل بررسی بوده و برای فازهای منفی و مثبت نوسان دوقطبی اقیانوس هند، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی و در نظر گرفتن تراکم‌های کمتر قابل توصیه می‌باشد. نظر به اینکه پژوهش حاضر یکی از نخستین تجربیات در زمینه تلفیق شاخص‌های دورپیوندی و پیش‌بینی‌های اقلیمی-فصلی با مدل گیاهی در ایران به‌شمار می‌رود، انجام پژوهش‌های بیشتری در زمینه تلفیق شاخص‌های اقلیمی دورپیوندی و مدل‌های گیاهی مختلف توصیه می‌گردد. استفاده از رویکرد اخیر می‌تواند جهت پیش‌بینی عملکرد گیاهان و اتخاذ راهبردهای مدیریتی جهت استفاده از شرایط مساعد اقلیمی پیش از آغاز فصل رشد و همچنین سیاست‌گذاری در زمینه تنظیم بازارهای کشاورزی در سطوح ملی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

بانک اطلاعات زراعت وزارت جهاد کشاورزی، <http://dbagri.maj.ir/zrt/product.asp> (۹۳/۳/۱۵).

۱۳۹۳.

جهانبخش، س.، ساری صراف، ب.، قائمی، ه.، پوراصغر، ف. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر پدیده دوقطبی دمایی اقیانوس هند بر

¹ Jones et al.

- Celilia, M., Soler, T., Sentelhas, P. C., Hoogenboom, G. 2010. The impact of El Nino Southern Oscillation phases on off-season maize yield for a subtropical region of Brazil. *Int. J. Climatol.*, 30: 1056-1066.
- Dezfuli, A. K., Karamouz, M., Araghinejad, S. H. 2010. On the relationship of regional meteorological drought with SOI and NAO over southwest Iran. *Theor. Appl. Climatol.*, 100: 57-66.
- Ferreira, R. A., Podesta, G. P., Messina, C. D., Letson, D., Dardanelli, J., Guevara, E., Meira, S. 2001. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. *Agr. Forest. Meteorol.*, 107: 177-192.
- Food and Agriculture Organization. 2014. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved May 10, 2014. from <http://faostat.fao.org/site/611/default.aspx#ancor>.
- Gimeno, L., Ribera, P., Iglesias, R., Torre, L., Garcia, R., Hernandez, E. 2002. Identification of empirical relationship between indices of ENSO and NAO and agricultural yields in Spain. *Clim. Res.*, 21: 165-172.
- Gommes, R. A. 1983. Pocket computers in agrometeorology. Plant production and protection paper No. 45. FAO. Rome. 140 p.
- Hadiani, M., Jahanbakhsh Asl, S., Rezaei Banafsheh, M., Dinpajouh, Y., Yasari, E. 2012. Investigation the Southern Oscillation Index effect on dry/wet periods in north of Iran. *Intl. J. Agri. Crop. Sci.*, 4 (17): 1291-1299.
- Hammer, G. L., Hansen, J. W., Philips, J., Mjelde, J. W., Hill, H. S. J., Love, A., Potgieter, A. 2001. Advances in application of climate prediction in agriculture. *Agr. Syst.*, 70: 515-553.
- Hammer, G. L., Holzworth, D. P., Stone, R. 1996. The value of skill in seasonal climate forecasting to wheat crop management in a region with high climate variability. *Aust. J. Agr. Res.*, 47: 717-737.
- Hansen, W. H., Hodges, A. W., Jones, J. W. 1998. ENSO influences on agriculture in the southern United State. *J. clim.*, 11: 404-411.
- Hansen, J. W., Indeje, M. 2004. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. *Agr. Forest. Meteorol.*, 125:143-157.
- تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان‌های جنوبی کشور. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۶، ۴(۱۰۳): ۲۷-۴۶.
- رسولی، ع. ا.، بابائیان، ا.، قائمی، ه.، زواررضا، پ. ۱۳۹۰. ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران، دمای پهنه‌های آبی منطقه ای. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲(۵، ۶): ۶۹-۹۲.
- زارع ایبانه، ح.، بیات ورکشی، م.، ایلدرومی، ع. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر برخی پارامترهای اقلیمی و پدیده انسو در عملکرد گندم و جو (مطالعه موردی: منطقه همدان). مجله پژوهش آب ایران، ۵(۹): ۱۸۱-۱۹۲.
- کمالی، غ.، مرادی، ا. ۱۳۸۵. تابش خورشید (اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو). انتشارات قرن ۲۱، ۳۰۰ صفحه.
- Adams, R. M., Houston, L. H., McCarl, B. A., Tiscareno, L. M., Matus, G. J., Weiher, R.F. 2003. The benefits to Mexican agriculture of an El Nino-Southern Oscillation (ENSO) early warning system. *Agr. Forest. Meteorol.*, 115: 183-194.
- Amor, V. M. I., Hansen, J. W., Robertson, A. W. 2011. Enhancing the utility of daily GCM rainfall for crop yield prediction. *Int. J. Climatol.*, 31: 2168-2182.
- Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. A., Rahnema, A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agr. Water. Manage.*, 100: 1-8.
- Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K. M., Kebede, A., Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in simulation biomass and yield of water deficient and irrigated barely (*Hordeum vulgare*). *Agr. Water. Manage.*, 97: 1838-1846.
- Arndt, C., Hazell, P., Robinson, S. 2000. Economic value of climate forecasts for agricultural systems in Africa. In: Sivakumar MVK (Eds.) Climate prediction and agriculture. Proc START/WMO Int Workshop. Geneva. Switzerland. 27-29 September 1999. International START Secretariat. Washington. DC. pp: 157-180.
- Bannayan, M., Sadeghi Lotfabadi, S., Sanjani, S., Mohamadian, A., Aghaalikhani, M. 2011. Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran. *Int. J. Biometeorol.*, 55: 387-401.

- decision support tool for peanut production in the southeastern US. *Comput. Electron. Agr.*, 55: 28-35.
- Potgieter, A. B., Hammer, G. L., Butler, D. 2002. Spatial and temporal patterns in Australian wheat yield and their relationship with ENSO. *Aust. Agr. Res.*, 53: 77-89.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2012. Reference manual, Annex I - AquaCrop (version 4.0). Rome. Italy: Land and water development division. FAO. 89 p.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2010. Reference manual AquaCrop (version 3.1). Rome. Italy: Land and water development division. FAO. 89 p.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: Main Algorithms and software description. *Agron. J.*, 101: 438-447.
- Saji, N. H., Yamagata, T. 2003. Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate. *Clim. Res.*, 25: 151-169.
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., Yamagata, T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian ocean. *Nature.*, 401: 360-363.
- Salemi, H., Mohd Soom, M. A., Lee, T. S., Mousavi, S. F., Ganji, A., KamilYusoff, M. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. *Afr. J. Agr. Res.*, 610: 2204-2215.
- Selvaraju, R., Meinke, H., Hansen, J. 2004. Approaches allowing smallholder farmers in India to benefit from seasonal climate forecasting. *Proceedings of the 4th International crop science congress. 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia.* pp: 1-12.
- Sivakumar, M. V. K. 2006. Climate prediction and agriculture: current status and future challenges. *Clim. Res.*, 33: 3-17.
- Steduto P, Hsiao TC, Raes D, Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: concepts and underlying principles. *Agron J.* 101: 426-437.
- Stone, R., Meinke, H. 2005. Operational seasonal forecasting of crop performance. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360: 2109-2124. DOI:10.1098/rstb.2005.1753
- Stone, R. C., Hammer, G. L., Marcussen, T. 1996. Prediction of global rainfall probabilities using Husman, S.H., Ottman M.J., Wegener, R.J., Rogers, MT. 2002. Barley response to soil water depletion levels at Maricopa, forage and grain report: The university of Arizona college of agriculture and life sciences. <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1185>
- Jamieson, P. D., Porter, J. R., Wilson, D. R. 1991. A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crop grown in New Zealand. *Field Crop Res.*, 27: 337-350.
- Jones, J. W., Hansen, J. W., Royce, F. S., Messina, C. D. 2000. Potential benefits of climate forecasting to agriculture. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 82: 169-184.
- Lauchi, A., Epstein, E. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. In: *Agricultural salinity assessment and management manual.* K. K. Tanji (Eds). ASCE. NewYork. Pp: 113-137.
- Legler, D. M., Bryant, K. J., O'Brien, J. J. 1999. Impact of ENSO-related climate anomalies on crop yields in the US. *Clim. Change*, 42: 351-375.
- Loomis, R. S., Rabbinge, R., Ng, E. 1979. Explanatory models in crop physiology. *Annu. Rev. Plant. Phys.*, 30: 339-369.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree days: one equation, two interpretations. *Agr. Forest. Meteorol.*, 87: 291-300.
- Mjelde, J. W., Keplinger, K. 1998. Using the southern Oscillation to forecast Texas winter wheat and sorghum crop yields. *J. Clim.*, 11: 54-60.
- Modarres, R., Da Silva, V. P. R. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *J. arid. Environ.*, 70: 344-355.
- Naylor, R. L., Falcon, W. P., Rochberg, D., Wada, N. 2001. Using El Nino/Southern Oscillation climate data to predict rice production in Indonesia. *Clim. Change*, 50: 255-265.
- Nazemosadat, M. J., Ghasemi, A. R. 2004. Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran. *J. Clim.*, 17: 4005-4018.
- Nazemosadat, M. J., Cordery, I. 2000. On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. *Int. J. clim.*, 20: 47-61.
- Paz, J. O., Fraisse, C. W., Hatch, L. U., Garcia y Garcia, A., Guerra, L. C., Uryasev, O., Bellow, J. G., Jones, J. W., Hoogenboom, G. 2007. Development of an ENSO-based irrigation

- production decision support in Zimbabwe. *Agr. Forest. Meteorol.*, 151: 1792-1799.
- <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/DATA/dmi.monthly.txt>
- <http://www.longpaddock.qld.gov.au/seasonalclimateoutlook/southernoscillationindex/soidatafiles/index.php>
- phases of the southern oscillation index. *Nature.*, 384: 252-255.
- Stone, R. C., Auliciems, A. 1992. SOI phase relationship with rainfall in eastern Australia. *Int. J. Climatol.*, 12: 625-635.
- Zinyengere, N., Mhizha, T., Mashonjowa, E., Chipindu, B., Geerts, S., Raes, D. 2011. Using seasonal climate forecasts to improve maize



An approach to yield prediction of barley using teleconnection signals (Case study: Kabootarabad, Isfahan)

S. M. Mostafavi Darani¹, J. Khoshhal^{2*}, R. Stone³, F. Abbasi⁴, I. Babaeian⁵

Received: 21/12/2014

Accepted: 23/02/2015

Abstract

Barley (*Hordeum Vulgare. L*) is an important source of food and second major cereal crop in Iran. The objective of this study is proposing an approach for barley yield forecasting by means of coupling AquaCrop model with several climate teleconnection signals in Kabootarabad-Isfahan, Iran. The experiments were conducted at Kabootarabad agrometeorological station during 2011-2012 and 2012-2013 seasons. The crop model was calibrated using field observations. For validation purpose, the available 15 years historical data were used. Then using 62 years (1951-2013) weather data, crop yield was simulated. Monthly historical records of five phases of SOI (South Oscillation Index) and three phases of IOD (Indian Ocean Dipole) phases for three months prior to planting date (i.e. September, October and November) from 1951 till 2013 were selected and cumulative probability distributions functions of simulated barley yields were worked out for 62 years. Results showed that there are no significant differences between the SOI and IOD phases except for IOD phases of November. Kruskal-Wallis test showed significant differences between IOD phases ($P=0.005$). Also, Mann-Whitney test indicated that there were significant differences between normal and negative ($p=0.012$) and positive and negative ($p=0.006$) IOD phases. Since IOD values are available 3 to 6 months in advance, therefore yield prediction 3 month before sowing might be feasible. During negative and positive IOD phases, using drought resistant cultivars, lower plant densities and other drought mitigation strategies could be considered as management options.

Keywords: AquaCrop, SOI, IOD, Seasonal climate forecast

1 Ph.D. student of Agroclimatology, Department of Climatology, Faculty of Geographical Science and Planning, University of Isfahan

2 Associate Professor of Climatology, Department of Climatology, Faculty of Geographical Science and Planning, University of Isfahan

(*Corresponding author email address: javadkhoshhal@yahoo.com)

3 Professor of Climatology, International Centre for Applied Climate Sciences, USQ, Australia

4 Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj-Iran

5 Faculty Member and Head, Climate Change Division, Climatological Research Institute, Mashhad, Iran