



## مدل‌سازی عملکرد زعفران با توجه به شاخص‌های حدی اقلیمی (مطالعه موردی: بیرجند)

سعیده کوزه‌گران<sup>۱</sup>، محمد موسوی بایگی<sup>۲\*</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۳</sup>، ایمان باباییان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب.

۲\* - استاد هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

۴- استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد.

\* نویسنده مسئول: *E-mail: mousavib@um.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۴

### چکیده

آب و هوا، هم به لحاظ میانگین‌ها و هم رویدادهای حدی از جمله عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد محصولات می‌باشد. رویدادهای حدی آب و هوایی، در حال حاضر یک چالش مهم برای تولیدکنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد که در حال افزایش است و پیش‌بینی و محاسبه اثرات آنها بر عملکرد محصولات از مهمترین موضوعات مورد بررسی در بحث امنیت غذایی، جهت افزایش کارایی اقتصادی تولیدات می‌باشد. بررسی روند چند سال گذشته زعفران نشان می‌دهد، در حالی که سطح زیر کشت زعفران در ایران افزایش داشته، میزان عملکرد در واحد سطح کاهش داشته است. با توجه به اهمیت زعفران و اینکه عملکرد آن به طور قابل توجهی تحت تأثیر شاخص‌های اقلیمی می‌باشد، بررسی و شناخت الگوی رویدادهای حدی و تأثیرگذاری آن بر عملکرد می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و بهره‌برداری بهتر این محصول کمک نماید. در این مطالعه جهت بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی، از ۳۸ شاخص بارش و دما که توسط تیم کارشناسی شکارسازی تغییرات اقلیمی سازمان جهانی هواشناسی به عنوان شاخص‌های حدی و تغییرات آب و هوایی، استفاده گردید. سپس با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیره، اثر شاخص‌های حدی اقلیمی بر عملکرد بررسی و با انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌ها، مدل عملکرد بر اساس شاخص‌ها ارائه شد. نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌ها، روند گرم شدن منطقه و کاهش بارش را نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد که روند افزایشی شاخص‌های حدی گرم و روند کاهشی و منفی شاخص‌های بارش می‌توانند از عوامل مهم و عمده در کاهش عملکرد زعفران باشند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های بارش، شاخص‌های دما، رویدادهای حدی اقلیمی، عملکرد.

## مقدمه

مورد انتظار بوده و پتانسیل رویدادهای حدی دمایی افزایش یافته که بر تولید تأثیرگذار خواهد بود.

مطالعات متعددی با تمرکز بر توزیع زمانی و مکانی رویدادهای حدی دما و بارندگی و میزان و نوسان رویداد آنها در فصول و سال‌های مختلف انجام شده است (Magliano et al., 2015). مطالعات اخیر رویدادهای حدی در اروپا افزایش، تعداد روزها و شب‌های گرم و کاهش تعداد روزها و شب‌های سرد را نشان داد (Field et al., 2014). در مطالعه‌ای در نیمکره شمالی کریستیدیس و همکاران (Christidis et al., 2005) بیان داشتند که دمای حداقل و حداکثر از سال ۱۹۵۰ میلادی افزایش قابل توجهی داشته که باعث تغییر در شدت رویدادهای حدی مانند خشکسالی شده است. سهرابی و همکاران (Sohrabi et al., 2012) در مطالعه‌ای روی شاخص‌های حدی اقلیمی و ارتباط آن با خشکسالی منطقه ایداهو، آمریکا، روند کاهشی بارش و روند افزایشی دما را نتیجه گرفتند. همچنین دریافتند که شب‌های حاره‌ای و روزهای تابستان افزایش و روزهای یخبندان کاهش یافته است. همچنین مطالعاتی جهت بررسی اثر این رویدادها بر عملکرد محصولات در کشورها و مناطق مختلف انجام شده است.

به طور کلی، دماهای روزانه حدی بالا دارای تأثیر مخرب و حتی گاهی اوقات مهلک برای محصولات می‌باشد (Schlenker et al., 2009; Porter et al., 1999). روزنویگ و همکاران (Rosenzweig et al., 2001) طی مطالعه‌ای روی بررسی تأثیر رویدادهای حدی در مناطق کشاورزی با محصولات مختلف نشان دادند که رویدادهای حدی دمایی بالا می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد محصولات گردد. در مطالعه‌ای تأثیر رخداد تنش‌های آب و هوایی متعدد بر کاهش عملکرد گندم در ۱۴ منطقه اروپا بررسی شد (Trnka et al., 2014). نتایج مطالعه‌ای روی بررسی روند رویدادهای حدی آب و هوایی و تأثیر آن بر عملکرد گندم زمستانه در هلند نشان داد که تعداد روزهای با دماهای حدی بالا به طور قابل توجهی از سال ۱۹۰۰ میلادی افزایش یافته است؛ در حالی که تعداد رویدادهای حدی دماهای پایین در این دوره کاهش یافت. بررسی اثر رویدادهای آب و هوایی بر عملکرد گندم در دوره

آب و هوا، به لحاظ میانگین‌ها و رویدادهای حدی از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد محصولات می‌باشد. نمایه‌های حدی اقلیمی توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO)<sup>۱</sup> به عنوان پدیده‌های اقلیمی و هواشناسی نادر که فراتر از یک حد آستانه می‌باشد، تعریف شده است. رویدادهای حدی آب و هوایی، در حال حاضر یک چالش مهم برای تولیدکنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد و در سناریوهای اقلیمی آینده پیش‌بینی شده است که افزایش می‌یابد (Zheng et al., 2012). با توجه به افزایش رویدادهای حدی اقلیمی در سراسر جهان، پیش‌بینی و محاسبه اثرات آنها بر عملکرد محصولات از مهمترین موضوعات مورد بررسی در بحث امنیت غذایی، جهت افزایش کارایی اقتصادی تولیدات از زیست‌توده می‌باشد. با توجه به ماهیت محلی آب و هوا، بهتر است این اثرات در سطح محلی سنجیده شود (Powell et al., 2016). افزایش فرکانس رویدادهای حدی از اثرات تغییر اقلیم است. رویدادهای حدی اقلیمی در شرایط دمایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهد. بنابراین، تجزیه و تحلیل دما و بارش‌های حدی ضروری به نظر می‌رسد. رویدادهای حدی آب و هوایی مانند یخبندان‌ها ( $>0^{\circ}\text{C}$ ) و تنش‌های گرمایی با درجه حرارت‌های بالا ( $<33^{\circ}\text{C}$ ) بر تولید محصولات تأثیرگذار بوده و بیانگر مخاطرات مهمی هستند که برای حفظ تولید سودآور نیاز به مدیریت آنها می‌باشد (Wardlaw et al., 1989; Stone and et al., 1994).

همانگونه که اشاره شد، یکی دیگر از شاخص‌های حدی مورد بررسی پارامتر دما می‌باشد که به عنوان یک عامل مؤثر بر نرخ رشد گیاه است. با توجه به روند تغییر اقلیم، رخداد درجه حرارت‌های گرم‌تر و همچنین افزایش پتانسیل رویدادهای حدی دمایی مورد انتظار می‌باشد که تأثیر زیادی بر تولید محصولات خواهد گذاشت. دما یکی از مهمترین عناصر آب و هوایی در کشاورزی و یک عامل مؤثر بر نرخ رشد گیاه است که در همه ابعاد تولیدات زراعی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد (Sharifan et al., 2011). در اثر تغییر اقلیم درجه حرارت‌های گرم‌تر

(Kafi, 2002). تولید موفق زعفران نیازمند شناخت نیازهای اکولوژیکی این گیاه به خصوص نیازهای اقلیمی است. درجه حرارت و بارندگی دو عامل تأثیرگذار بر عملکرد زعفران می‌باشد. نقش درجه حرارت در نمو گیاه زعفران و به خصوص مکانیزم عمل گلدهی این گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هالوی (Halvey, 1991)، تغییرات دمای ماهانه را مهم‌ترین عامل محیطی در تنظیم گلدهی بسیار از گیاهان پیازدار می‌داند و معتقد است که دما می‌تواند مهم‌ترین عامل تنظیم‌کننده گلدهی زعفران باشد. بررسی‌های متعدد (Molina et al., 2004; Behdani et al., 2004) نشان داد که درجه حرارت حداقل، عامل اصلی و تعیین‌کننده تشکیل و خروج گل از خاک می‌باشد. نتایج مطالعه‌ای روی بررسی درجه حرارت‌های حداقل، میانگین و حداکثر در خراسان جنوبی به منظور شناسایی مناطق مستعد کشت زعفران با استفاده از GIS نشان داد که درجه حرارت حداقل در ماه‌های مهر، آبان، آذر و دی تأثیرگذارتر بر عملکرد نسبت به سایر ماه‌ها می‌باشند. از نظر درجه حرارت میانگین، ماه‌های مهر، آبان، آذر و دی مؤثرتر می‌باشند. درجه حرارت حداکثر در ماه‌های آبان، آذر، دی و اسفند، بیشترین تأثیر را بر عملکرد می‌گذارد (Kouzegaran et al., 2011).

گلدهی زعفران در دمای پایین انجام می‌شود و بهترین و مطلوب‌ترین دما ۹ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد برای تمایز گل‌ها می‌باشد و همچنین درجه حرارت عامل اصلی مؤثر بر رشد پیاز است (Jafarbayglo, 2008). وقوع یخبندان‌های پاییزی در زمان گلدهی زعفران بر عملکرد آن تأثیر زیان‌باری دارد و باعث از بین رفتن آن می‌گردد. از سویی دیگر، هر گونه گیاه زراعی برای شروع جوانه‌زنی و رشد خود به حداقل درجه حرارت نیاز دارد که در دمای پایین‌تر، رشد آغاز نشده و یا متوقف می‌شود. این درجه حرارت برای گیاه زعفران پنج درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Nokandi, 1999). اثر نوسانات درازمدت درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد زعفران در مطالعه‌ای توسط حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2008) بررسی شد. نتایج مطالعه‌ای روی بررسی بارندگی و عملکرد زعفران نشان داد بارندگی در طی ماه‌های زمستان و اوایل بهار سبب رشد مناسب‌تر شده و بر

زمانی نشان داد که رویدادهای درجه حرارت بالا و بارش‌های حدی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش عملکرد می‌شوند (Powell et al., 2016). تیان و همکاران (Tian et al., 2016) به آنالیز روند رویدادهای حدی درجه حرارت و بارندگی در مناطق عمده تولید غلات پرداختند. در این مطالعه توزیع مکانی و زمانی شاخص‌های حدی دما و بارش در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۶۱ میلادی بر روی داده‌های روزانه از ۲۹۹ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده روند افزایشی و معنی‌داری در رویدادهای حدی گرم و روند کاهشی در رویدادهای حدی سرد در اغلب مناطق بود. روند رویدادهای حدی بارشی اغلب غیرمعنی‌دار بود. همچنین روندهای مثبت رویدادهای حدی بارشی نوسانات بیشتری نسبت به روندهای منفی داشتند. نتایج نشان داد که وقوع و روند رویدادهای حدی بر عملکرد گندم تأثیرگذار می‌باشد؛ به‌طوری‌که روند کاهشی روزهای یخبندان ( $FD_0$ ) و همچنین روند افزایشی شاخص حداکثر ماهانه درجه حرارت حداکثر روزانه ( $TX_{25}$ ) و روزهای گرم ( $SU_{25}$ ) باعث کاهش عملکرد گندم می‌شود. از نتایج روند رویدادهای حدی آب و هوا جهت برنامه‌ریزی توسعه کشاورزی منطقه از جمله تنظیم انطباق کاشت محصول، توزیع مناسب کاشت تغییر در روش‌های آبیاری و زهکشی و تهیه پروژه‌های کنترل سیلاب استفاده می‌شود. تأثیر رویدادهای حدی سرد و گرم بر تولید محصول گندم توسط بارلو و همکاران (Barlow et al., 2015) شبیه‌سازی و بررسی شد. هتفیلد و همکاران (Hatfield et al., 2015) در مطالعه‌ای روی اثر رویدادهای حدی دمایی و تأثیر آن بر رشد و نمو گیاهان، دریافتند که دماهای حدی بالا در طول مرحله باروری تأثیر عمده بر عملکرد ذرت داشته و عملکرد را ۸۰ تا ۹۰ درصد نسبت به رژیم حرارتی نرمال کاهش می‌دهد. اثرات رویدادهای حدی درجه حرارت بالا با کمبود آب بیشتر بود، در نتیجه آنها دریافتند که تعامل بین درجه حرارت و آب نیاز است تا استراتژی‌های انطباق و سازگاری مؤثرتری جهت جبران تأثیر منفی رویدادهای حدی درجه حرارت انجام پذیرد.

زعفران گیاهی است نیمه‌گرمسیری و مناطقی که دارای زمستان‌های ملایم و دارای تابستان‌های گرم و خشک باشند برای کشت این گیاه مناسب هستند

بررسی روند الگوی رویدادهای حدی و آنالیز میزان تأثیرگذاری این شاخص‌ها بر عملکرد زعفران به مدلسازی انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی یکی از قطب‌های تولید زعفران در کشور می‌باشد. این استان از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست، و آب و هوای نیمه‌خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است. این مطالعه در شهرستان بیرجند با طول جغرافیایی ۵۹/۲ و عرض جغرافیایی ۳۲/۹ با ارتفاع ۱۵۰۴ و با اقلیم خشک انجام شده است (شکل ۱).

آمار داده‌های اقلیمی در دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵ میلادی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند از سازمان هواشناسی و آمار عملکرد زعفران بر حسب کیلوگرم بر هکتار برای این دوره زمانی از سازمان جهاد کشاورزی دریافت شد و میانگین عملکرد طی دوره آماری مورد بررسی ۴/۳ کیلوگرم بر هکتار بوده است.

عملکرد تأثیرگذارتر می‌باشد (Kouzegaran et al., 2013).

زعفران یکی از گیاهان سودآور در الگوی کشت خراسان جنوبی می‌باشد. بررسی روند چند سال گذشته تولید این گیاه نشان می‌دهد، در حالی که سطح زیر کشت زعفران در ایران افزایش داشته، عملکرد در واحد سطح کاهش داشته است (Behdani et al., 2015)، تغییرات در پدیده‌های اقلیمی حدی تأثیر بسیار زیادتری از تغییرات در میانگین‌های اقلیمی بر جوامع انسانی و کشاورزی می‌گذارد و کشاورزی از مهم‌ترین قسمت‌هایی است که از رویدادهای حدی تأثیر می‌پذیرد. با توجه به اینکه عملکرد زعفران به طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی می‌باشد و تاکنون بررسی‌های انجام شده بیشتر بر روی میانگین عوامل اقلیمی بوده و تأثیر شاخص‌های حدی اقلیمی بر آن بررسی نشده است. از این‌رو، بررسی و شناخت الگوی رویدادهای حدی و تأثیرگذاری آن بر عملکرد و مدلسازی بر اساس شاخص‌های حدی اقلیمی می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در راستای توسعه و بهره‌برداری اقتصادی این محصول در منطقه کمک شایانی نماید، لذا این پژوهش با هدف



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. The study area

## روش مطالعه

در این مطالعه، جهت بررسی روند نمایه های حدی اقلیمی، از شاخص های بارش و دما که توسط تیم کارشناسی *WMO*، *CCI*، *CLIVAR*، *JCOMM* بعنوان شاخص های حدی و شاخص های تغییرات آب و هوایی تعریف شده استفاده شد.

این تیم با ارائه شاخص های استاندارد اقلیمی امکان بررسی تغییرپذیری و بررسی الگوی روند این شاخص ها را با روش های یکسان و مشابه در سراسر جهان جهت بهره‌وری در بخش های مختلف اجتماعی- اقتصادی فراهم آورده‌اند. شاخص های دما و بارش در محیط  $R_{2.15.2}$  تهیه شده که منوط به نصب و راه اندازی نرم افزار  $R$  می باشد.

قبل از محاسبه شاخص ها، داده ها توسط نرم افزار کنترل کیفی شده و اطلاعات نادرست مانند بارندگی منفی و یا بزرگتر یا مساوی بودن دمای حداقل از حداکثر چک و داده های پرت بررسی شد. سپس شاخص های اقلیمی از داده های روزانه محاسبه می شود. از میان شاخص ها، ۱۱ شاخص بارندگی و ۲۷ شاخص درجه حرارت که در منطقه مورد مطالعه تعریف شده می باشد، با این نرم افزار در مقیاس های سالانه محاسبه شد.

شاخص های حدی مورد مطالعه شامل شاخص های حدی مبتنی بر صدک ها، شاخص های حدی مطلق، شاخص های حدی آستانه ای، شاخص های حدی دوره ای و سایر شاخص ها مانند دامنه تغییرات می باشند (Alexander et al., 2006) که این شاخص ها در سطح معنی داری ۰/۰۵ برآورد می گردد. با توجه به تعدد شاخص ها در جدول ۱، شاخص های مؤثر بر عملکرد زعفران آورده شده است.

هدف از فرآیند  $ETCCDMI$ <sup>۵</sup> تعیین مجموعه استاندارد از شاخص هایی است که بتوان توسط آن ویژگی های مناطق مختلف را بررسی و مقایسه نمود.

در این بررسی با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیره، اثر متغیرهای مستقل (شاخص های حدی دما و بارش) به صورت همزمان بر روی متغیر وابسته (عملکرد) بررسی شد. با توجه به زیاد بودن متغیرهای مستقل با استفاده از آنالیز رگرسیون گام به گام<sup>۶</sup>، حذف تدریجی<sup>۷</sup>، رابطه بین عملکرد و شاخص ها در سال های مختلف، بررسی و انتخاب شاخص های مناسب تر انجام و مدل عملکرد بر اساس شاخص های مؤثر ایجاد شد. برای انجام عملیات رگرسیون از نرم افزار *JMP 4* استفاده شد. با توجه به مقادیر ضریب تبیین  $R^2$  و جذر میانگین خطا ( $RMSE$ ) مناسب ترین شاخص ها انتخاب و مدل عملکرد و مناسب ترین شاخص ها ارائه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله،  $X_{obs,i}$  و  $X_{model,i}$ : به ترتیب مقدار مشاهده شده و پیش بینی شده و  $n$ : تعداد داده ها می باشد. هرچه میزان  $R^2$  بیشتر و جذر میانگین خطا ( $RMSE$ ) کمتر باشد، دقت مدل بالاتر است.

در مطالعات رگرسیونی، مرحله مهم، سنجیدن درجه اطمینان و اعتبار مدل است (Bazgeer et al., 2008). صحت سنجی مدل با تخمین میزان عملکرد محصول برای سال های ۲۰۱۳ الی ۲۰۱۵ میلادی و مقایسه با آمار ثبت شده، انجام و برای مقایسه از معادله (۲) استفاده شد.

$$RD = \left( \frac{Y_e - Y_a}{Y_a} \right) * 100 \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله،  $RD^A$ : انحراف نسبی از میزان واقعی محصول،  $Y_a$ : میزان عملکرد ثبت شده و  $Y_e$ : میزان عملکرد تخمینی استخراج شده از مدل است.

6-Stepwise  
7-Backward  
8- Relative deviation

1- World meteorological  
2- Commission for climatology  
3- Climate and ocean: variability, predictability and change  
4- Joint technical commission for oceanography and marine meteorology  
5- ETCCDM: Expert team on climate change detection monitoring

جدول ۱. شاخص‌های حدی توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCV/CLIVAR/JCOMM

Table 1. Extreme indices recommended by the expert group of CCV/CLIVAR/JCOMM

نمایه Index	معرفی نمایه Definition	واحد Units
$SU_{25}$	تعداد روزهای تابستانی (دمای حداکثر روزانه) <i>Summer days</i> ( $T_{max}$ )	روز Days
$TX_x$	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه <i>(Maximum T<sub>max</sub>)</i>	درجه سانتی‌گراد °C
$TN_{90}$ P	شب‌های گرم، درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدمک نودم باشد. <i>(Warm nights)</i>	روز Days
$TN_{10}$ P	شبهای سرد، درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدمک دهم باشد. <i>(Cool nights)</i>	روز Days
$TM_{5b}$	تعداد روزها در سال با میانگین درجه حرارت کمتر از ۵ درجه سلسیوس <i>Annual count when TM &lt; 5°C</i> <i>TM below 5°C</i>	روز Days
$PRCPTOT$	$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^{365} R_{Rij}$ (RR>=1mm) مقدار سالانه بارش در روزهای تر <i>total wet days precipitation Annual</i>	میلی‌متر mm
$Rx5day$	حداکثر بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی <i>Max5day precipitation amount</i>	میلی‌متر mm
$SPEI_{12}$	<i>Standardised Precipitation Evapotranspiration Index</i> شاخص خشکسالی بارش، تبخیر-تعرق استاندارد شده	

نتایج و بحث

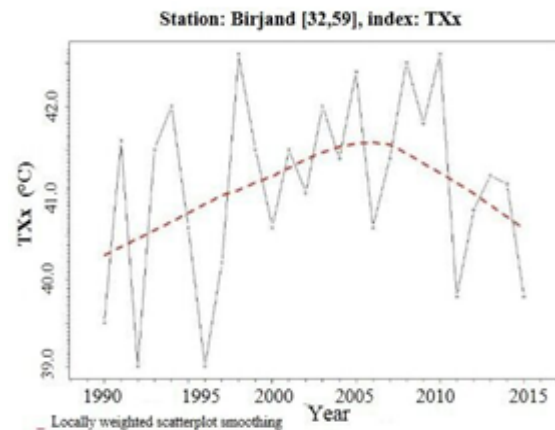
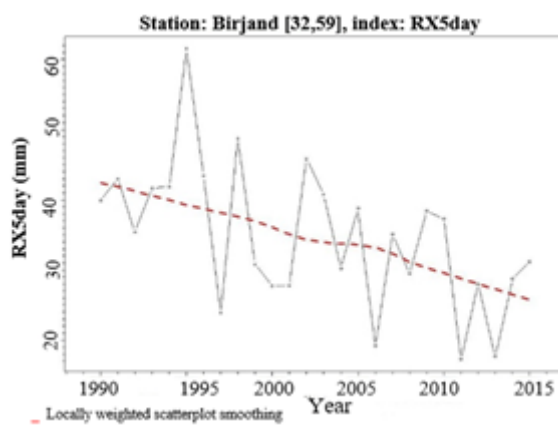
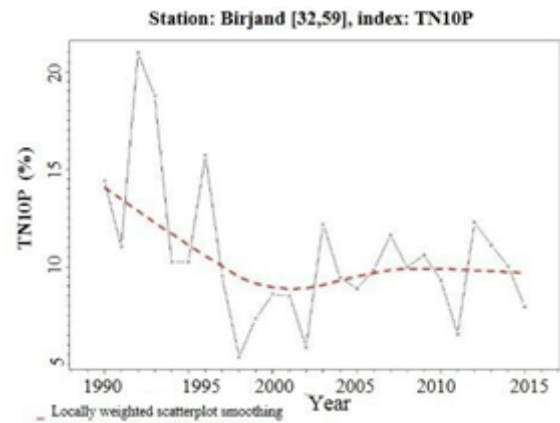
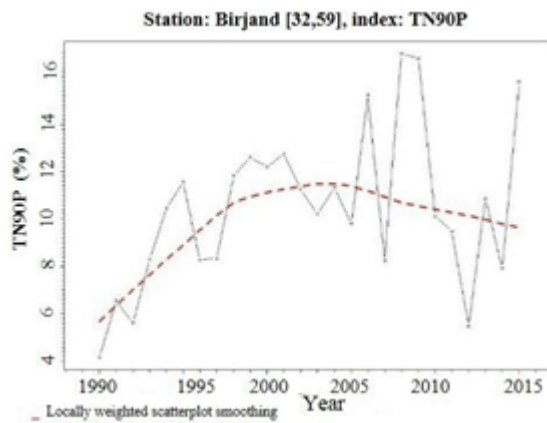
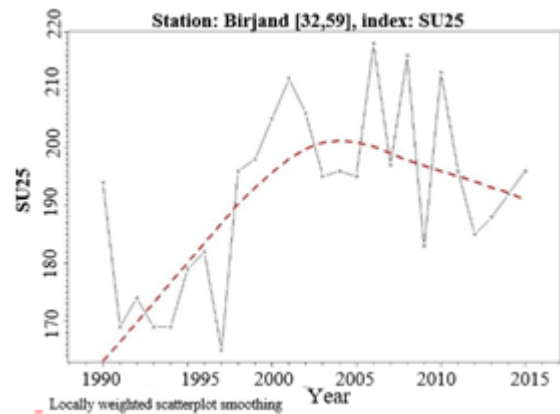
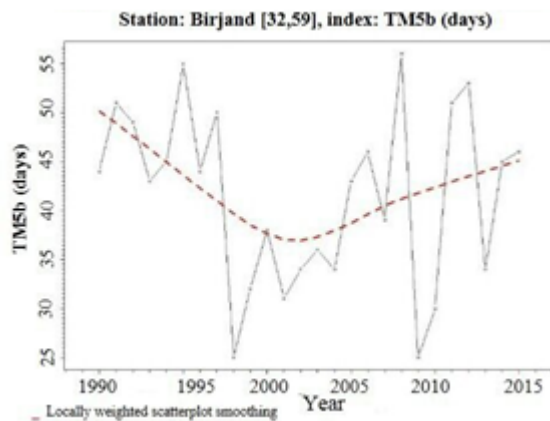
الگوی روند شاخص‌های حدی اقلیمی

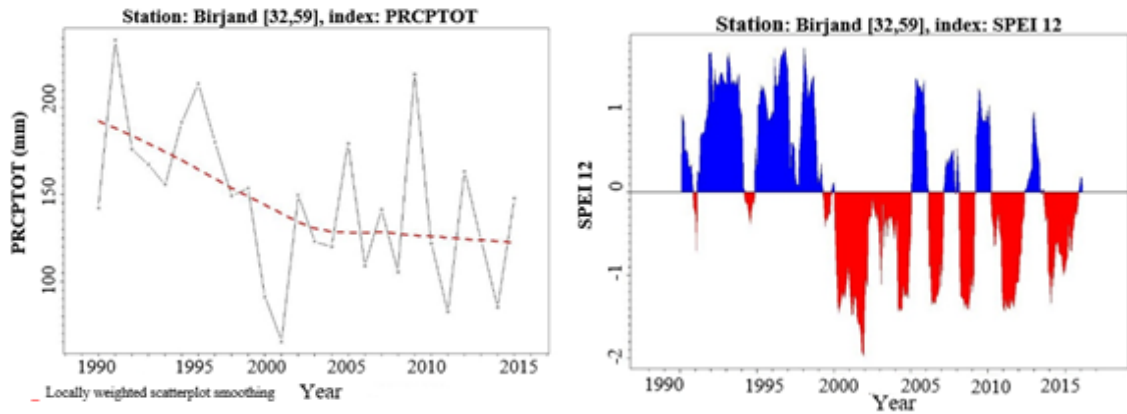
نتایج بررسی روند ۳۸ شاخص در طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۱ میلادی در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند نشان داد که شاخص‌های حدی گرم مانند شاخص روزهای تابستانی ( $SU_{25}$ )، تعداد شب‌های حاره‌ای ( $TR_{20}$ )، روزهای گرم، درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدمک نودم باشد ( $TX_{90P}$ ) و شب‌های گرم که درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدمک نودم باشد ( $TN_{90P}$ ) و بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ( $TX_x$ ) و بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه ( $TN_x$ ) در بیرجند روند افزایشی دارند؛ در حالی که روند شاخص‌های حدی سرد کاهش می‌باشد. تعداد روزهایی که درجه حرارت میانگین کمتر از پنج درجه سانتی‌گراد می‌باشد ( $TM_{5b}$ ) کاهش یافته، درصد روزهایی که دمای حداکثر و حداقل کمتر از صدمک دهم باشد تغییر یافته است که نشان‌دهنده کاهش روزها و شب‌های سرد می‌باشد و روند معنی‌داری منفی در مورد شاخص روزهای سرد ( $TX_{10P}$ ) و شاخص شب‌های سرد ( $TN_{10P}$ ) ایجاد شده است. تعداد روزهای یخبندان هم روند کاهشی را نشان داد و کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ( $TX_n$ ) دارای شیب مثبت بود.

به طور کلی، نتایج نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد بوده در حالی که در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به طور قابل توجهی روند افزایشی داشتند.

با مقایسه پرباران ترین و کم باران‌ترین سال‌ها مشاهده شد که دامنه نوسانات بارش از سالی به سال دیگر بسیار زیاد می‌باشد. بررسی شاخص‌های بارش در ایستگاه مورد مطالعه، نشان داد که شاخص‌های بارش با روند کاهشی و منفی همراه هستند. به عنوان مثال، روند تعدادی از شاخص‌ها به شرح زیر می‌باشد. شاخص ( $PRCPTOT$ ) مقدار سالانه بارش در روزهای تر، را نشان می‌دهد که این شاخص در بیرجند روند منفی و معنی‌داری را نشان می‌دهد و میزان کاهش بارش مشهود می‌باشد. شاخص حداکثر بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی ( $Rx5day$ )، در این ایستگاه روند کاهشی و معنی‌دار داشت. شاخص شدت روزانه بارش، ( $SDII$ ) و روزهای تر ( $CWD$ )، در اغلب ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است؛ در حالی که شاخص‌های روزهای خشک متوالی، ( $CDD$ ) که در ایستگاه روند افزایشی را نشان می‌دهد که هماهنگ با کاهش بارش در منطقه در سال‌های اخیر می‌باشد و شاخص خشکسالی  $SPEI$  روند وقوع خشکسالی را برای سال‌های متوالی نشان می‌دهد (شکل ۲). با توجه به تعدد شاخص‌ها، در شکل‌های زیر

روند شاخص‌های مؤثرتر بر عملکرد زعفران نشان داده شده است.





شکل ۲. الگوی روند رویدادهای حدی اقلیمی  
 Fig. 2. Trend patterns of climate extremes

رگرسیون چند متغیره گام به گام شاخص‌های حدی اقلیمی مناسب بر عملکرد زعفران در منطقه شناخته و سپس مدل پیش‌بینی عملکرد زعفران بر اساس شاخص‌های مناسب ایجاد شد.

ارتباط شاخص‌های حدی اقلیمی با عملکرد برای تهیه مدل پیش‌بینی محصول بر اساس رخداد‌های حدی اقلیمی، شناسایی و تعیین شاخص‌های حدی مؤثر بر عملکرد مورد نیاز می‌باشد. با استفاده از آنالیز معادله (۳)

$$Yield = 11.32 - 0.000622 * SU_{25} - 0.070534 * TM_{5b} + 0.0986115 * TN_{10P} + 0.0385502 * TN_{90P} - 0.04686 * TX_x - 0.026794 * PRCPTOT + 0.005828 * RX_{5day} + 1.6671193 * SPEI_{12}$$

$$R^2=0.88$$

$$RMSE=0.57$$

دمای حداکثر روزانه ( $TX_x$ )، شاخص ( $PRCPTOT$ ) مقدار بارش سالانه در روزهای تر، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی ( $Rx5day$ ) و شاخص خشکسالی  $SPEI$  و عملکرد ( $Yield$ ) بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشد.

که مدل، شامل شاخص روزهای تابستانی ( $SU_{25}$ )، تعداد روزهایی که درجه حرارت میانگین کمتر از پنج درجه سانتی‌گراد می‌باشد ( $TM_{5b}$ )، شاخص شب‌های سرد ( $TN_{10P}$ )، شب‌های گرم ( $TN_{90P}$ )، بیشینه ماهانه

جدول ۲. مقادیر تخمین زده شده، واقعی و خطای مدل عملکرد زعفران برای سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۵

Table 2. Estimated and actual values and error for saffron yield during 2013-2015

سال Year	عملکرد واقعی Actual yield (kg/ha)	عملکرد تخمین زده شده Predictive yield (kg/ha)	درصد خطا Error percent
2013	3.9	3.6	-6.5
2014	4.0	3.6	-9.9
2015	4.2	3.8	-9.5
میانگین Mean	4	3.7	-7.5



(Koocheki, 2009). دماهای بالا در کشاورزی باعث تنش حرارتی شد، زیرا در دماهای بالا تبخیر و تعرق گیاه افزایش یافته و گیاه علاوه بر تنش حرارتی و اثرات فیزیولوژیکی آن با کمبود آب نیز مواجه می شود (Kamali, 2005) رویدادهای حدی درجه حرارت های حداکثر باعث تنش های حرارتی شده و بر عملکرد تأثیر گذار است. نتایج پژوهش های کوزه گران و همکاران (Kouzegaran et al., 2011a, b) بر روی تأثیر درجه حرارت های حداقل، میانگین و حداکثر بر عملکرد زعفران نشان داد در مناطقی که درجه حرارت حداکثر کمتر بوده عملکرد بیشتر بوده و رابطه معکوس بین درجه حرارت حداکثر و عملکرد موجود می باشد. در نتیجه افزایش شاخص های حدی گرم مانند شاخص روزهای تابستانی ( $SU_{25}$ ) می تواند از عوامل کاهش عملکرد زعفران باشد.

زعفران گیاهی است که بخش بیشتری از دوره رشد خود را در فصل سرد و مرطوب سال می گذراند و به دلیل بارش باران و نیاز کمتر به آبیاری در این فصل، گیاه مناسبی برای کاشت در مناطق نیمه خشک می باشد. هر چند خصوصیات فوق، این گیاه را نسبت به مناطق نیمه-خشک سازگار کرده است، لکن نمی توان چنین استدلال کرد که این گیاه نسبت به خشکی مقاوم است، چرا که وجود بارندگی و رطوبت کافی در این فصل از سال می تواند دلیل سازگاری آن به این مناطق باشد (Alizadeh et al., 2009) و کاهش بارندگی و رطوبت می تواند تأثیر منفی بر عملکرد این گیاه گذارد.

در مدل پیش بینی عملکرد زعفران که در این پژوهش تهیه شده است، شاخص مقدار سالانه بارش در روزهای تر ( $PRCP_{TOT}$ )، شاخص حداکثر بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی ( $Rx5day$ ) و شاخص خشکسالی  $SPEI$  به عنوان شاخص های حدی بارندگی مؤثر بر عملکرد زعفران شناخته شده است. بارندگی در ماه هایی که زعفران از نظر ظاهری در مرحله ای است که برگ ها به بلوغ رسیده و ذخایر لازم برای بنه ها را از طریق فتوسنتز فراهم می کنند، سبب می شود که گیاه بتواند مواد فتوسنتزی بیشتری تولید نموده و بخش قابل توجهی را به اندام های ذخیره ای که بنه ها هستند، انتقال دهد. این امر موجب می شود در فصل رشد بعدی بنه های با ذخیره غذایی بالاتر از پتانسیل بیشتری برای رشد و تولید گل برخوردار باشند. در نتیجه بارندگی تأثیر زیادی در رشد و

مراحل رشد و نمو گیاه زعفران متأثر از عوامل محیطی است که در میان این عوامل، درجه حرارت و دامنه حرارتی در طول دوره رشد و نمو گیاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Amirshekar, 2011). تغییرات دمای روزانه برای گلدهی زعفران مؤثر می باشد و نوسانات دمای شب و روز مهم ترین عامل تنظیم گلدهی می باشد (Halevy, 1990). دماهای بالا در کشاورزی باعث تنش حرارتی شد، زیرا در دماهای بالا تبخیر و تعرق گیاه افزایش یافته و گیاه علاوه بر تنش حرارتی و اثرات فیزیولوژیکی آن با کمبود آب نیز مواجه می شود (Kamali, 2005).

بررسی ها (Behdani et al., 2004; Molina et al., 2004) نشان داده است که درجه حرارت حداقل عامل اصلی و تعیین کننده تشکیل و خروج گل از زعفران می باشد. عامل درجه حرارت حداقل در ماه هایی که مصادف با ظهور گل زعفران می باشد از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مکانیسم عمل گلدهی در زعفران به صورتی است که هر چه افت درجه حرارت در شب بیشتر باشد، روز بعد تعداد گل بیشتری ظاهر خواهد شد و مناطقی که درجه حرارت در آن زودتر پایین می آید، از نظر گلدهی جلوتر می باشد و می توان درجه حرارت حداقل را عامل محرک گلدهی زعفران معرفی نمود. در مناطقی که زودتر سرد می شود، زودتر نیز گلدهی زعفران آغاز می شود (Kouzegaran et al., 2011). با توجه به اینکه شاخص شب های گرم که درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد ( $TN90P$ ) در بیرجند روند افزایشی دارند و روند معنی داری منفی در مورد شاخص شب های سرد ( $TN10P$ ) ایجاد شده است و همچنین اهمیت درجه حرارت حداقل، افزایش شاخص شب های گرم و روند کاهش شب های سرد بر کاهش عملکرد زعفران تأثیر گذار بوده در نتیجه شناخته شدن این شاخص ها جزء شاخص های مؤثر بر عملکرد در مدل پیش بینی عملکرد قابل توجه می باشد. همچنین تعداد روزهایی که درجه حرارت میانگین کمتر از پنج درجه سانتی گراد می باشد ( $TM5b$ ) کاهش یافته که بر کاهش عملکرد تأثیر گذار می باشد. با افزایش روند شاخص های درجه حرارت گرم، نیاز به سرمایه گذاری در محصولات کشاورزی با کوتاه شدن دوره سرما تأمین نمی شود و باعث نقصان آغازش جوانه های گل شده و عملکرد را کاهش خواهد داد

حدی آب و هوایی و تأثیر آنها بر عملکرد گندم زمستانه در هلند نشان داد که تعداد روزهای با دماهای حدی بالا در مناطق رشد گندم به طور قابل توجهی از سال ۱۹۰۰ میلادی افزایش یافته است؛ در حالی که تعداد رویدادهای حدی دماهای پایین در این دوره کاهش یافته است. بررسی اثر رویدادهای آب و هوایی بر عملکرد گندم در دوره زمانی نشان داد که رویدادهای درجه حرارت بالا و بارش‌های حدی به طور معنی‌داری باعث کاهش عملکرد می‌شوند (Powell et al., 2016). تیان و همکاران (Tian et al., 2016) به آنالیز روند رویدادهای حدی درجه حرارت و بارندگی در مناطق عمده تولید غلات پرداختند. نتایج نشان‌دهنده روند افزایشی و معنی‌داری در رویدادهای حدی گرم و روند کاهشی در رویدادهای حدی سرد در اغلب مناطق بوده و وقوع و روند رویدادهای حدی بر عملکرد گندم تأثیرگذار می‌باشد؛ به طوری که روند کاهشی روزهای یخبندان ( $FD_0$ ) و همچنین روند افزایشی شاخص حداکثر ماهانه درجه حرارت حداکثر روزانه ( $TX_x$ ) و روزهای گرم ( $SU_{25}$ ) باعث کاهش عملکرد گندم می‌شود. در پژوهشی در فرانسه واندر ولد (vander Velde et al., 2012) دریافتند که شرایط حدی آب و هوایی به شدت می‌تواند تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد و باعث کاهش عملکرد محصولات گردد. با توجه به نقش تعیین‌کننده دما و نوسانات دمایی بر زعفران و همچنین تغییرات الگوی بارش، ارزیابی و بررسی رویدادهای حدی اقلیمی بر عملکرد زعفران، و بر اساس نتایج آنالیزها و بررسی‌های انجام شده مبنی بر افزایش رخداددهای حدی درجه حرارت بالا و کاهش بارندگی و کاهش عملکرد زعفران، توجه به این مسئله از اهمیت بالایی جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های آینده و مدیریت این محصول برخوردار است.

بزرگ شدن بنه‌ها دارد (Kouzegaran et al., 2013). در نتیجه روند منفی معنی‌دار و کاهش شاخص  $PRCPTOT$  مقدار سالانه بارش در روزهای تر، در بیرجند و شاخص حداکثر بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی ( $Rx5day$ ) و روند وقوع خشکسالی شاخص خشکسالی  $SPEI$  را برای سال‌های متوالی می‌تواند از عوامل عمده و مهم کاهش عملکرد در منطقه می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

بررسی روند زعفران طی ۳۰ سال گذشته نشان می‌دهد که سطح زیر کشت آن در ایران حدود ۱۶ برابر افزایش و متوسط عملکرد در واحد سطح کاهش یافته است. عوامل مختلفی بر میزان عملکرد زعفران تأثیرگذار است، عوامل اقلیمی و درجه حرارت، تراکم و روش کاشت، فراهمی آب و عناصر غذایی، رطوبت خاک و مدیریت آبیاری اندازه بنه از عوامل مؤثر بر عملکرد زعفران می‌باشد. با وجود اینکه طی چند سال اخیر عوامل متعدد زراعی، مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی همه رو به رشد بوده است و بایستی باعث روند مثبت و افزایشی الگوی عملکرد زعفران می‌بود (Hosseini et al., 2008)، اما عملکرد در واحد سطح در منطقه کاهش یافته که با توجه به رخداد تغییرات زیاد شاخص‌های آب و هوایی این مسئله می‌تواند بیانگر اهمیت تغییرات این شاخص‌ها و میزان اثرگذاری آنها بر عملکرد زعفران می‌باشد.

در طی دوره آماری مورد مطالعه شاخص‌های حدی دمایی و بارشی تغییرات قابل توجهی داشته‌اند و منطقه مورد مطالعه با افزایش دمای هوا و رخداددهای حدی درجه حرارت بالا و کاهش بارندگی و رخداد خشکسالی‌های شدید همراه بوده است که از عوامل عمده و مهم کاهش عملکرد در منطقه می‌باشند.

این نتایج دارای روندی همسو با نتایج مطالعات جهانی می‌باشد. نتایج مطالعه‌ای روی بررسی روند رویدادهای

### منابع

Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K.,

Revadekar, J.V., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D., Burn, J., Aguilar E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., and Vazquez-Aguirre, J.L., 2006. *Global Observed Changes in*

- daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophysic. Res.* 111(D5).
- Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., and Mohamadian, A., 2009. Study for zoning the most appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus sativus*) in Khorasan Razavi, north and southern provinces. *J. Water Soil.* 23(1), 109-118. [in Persian with English Summary].
- Barlow, K.M., Christy, B.P., O'leary, G.J., Riffkin, P.A., and Nuttall, J.G., 2015. Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: A review. *Field Crop Res.* 171, 109-119.
- Bariabaghuyi, B., 2008. Check investigate climatic factors on flowering of saffron. MSc. Thesis Islamic Azad University, Science and Research. [in Persian with English Summary].
- Bazgeer, S., Kamali, G.A., Sedaghatkerdar, A., and Moradi, A., 2008. Pre-harvest wheat yield prediction using agrometeorological indices for different regions of Kordistan Province. *J. Environ. Sci.* 2, 275-280. [in Persian with English Summary].
- Behdani, M.A., Nassiri, M., and Koocheki, A., 2004. Modeling saffron flowering time across a temperature gradient. *Acta Hort.* 650, 215-218.
- Behdani, M.A., and Fallahi, H.R., 2015. Saffron: Technical Knowledge base on Research Approaches. University of Birjand Publication, Birjand, Iran. [in Persian with English Summary].
- Christidis, N., Stott, P.A., Brown, S., Hegerl, G.C., and Caesar, J., 2005. Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geoph. Res. Let.* 32(20), 1-4.
- Halevy, A.H., 1990. Resent advanced in control of flowering habit of geophytes. *Acta Hort.* 66, 35-42.
- Hatfield, J.L., and Prueger, J.H., 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extr.* 10, 4-10.
- Hosseini, M., Molafillabi, A., and Nassiri, M., 2008. The impact of long term fluctuations of heat and rain on *Crocus sativus* revenue. *Iran. J. Agric. Res.* 1(2), 32-88. [in Persian with English Summary].
- Jafarbayglo, M., and Mobaraki, Z., 2008. Detecting the landing proportion of Qazvin province for cultivating saffron based on the multi- criterion decision-making methods. *J. Physic. Geograp. Res.* 66, 101-119. [in Persian with English Summary].
- Kafi, M., 2002. Saffron: Production and Processing Technology. Zaban and Adab Publication. Mashhad, Iran. [in Persian].
- Kamali, G., 2007. The bioclimatic plan of saffron in south Khorasan by cooperating with Khorasan meteorology administration. The Organization of Scientific and Industrial Research. Mashhad, Iran. [in Persian].
- Koocheki, A., 2009. Evaluate the performance of saffron for drug crops. *Iran. J. Agric. Res.* 7(1), 175-191. [in Persian with English Summary].
- Kouzegaran, S., Moosavi, M., Sanayinejad, H., and Behdani, M.A., 2011. Studying the minimum, average and maximum temperature degrees of south Khorasan in order to identify feasible cultivation areas of *Crocus sativus* by using GIS. *J. Water Soil* 92(2), 825-223. [in Persian with English Summary].
- Kouzegaran, S., Moosavi, M., Sanayinejad, H., and Behdani, M.A., 2011. Identification relevant areas for saffron cultivation according to precipitation and relative humidity in South Khorasan using GIS. *J. Saffron Res.* 1(2), 85-96. [in Persian with English Summary].
- Magliano, P.N., Fernandez, R.J., Mercuau, J.L., and Jobbagy, E.G., 2015. Precipitation event distribution in central Argentina: Spatial and temporal patterns. *Ecohydrol.* 8(1), 94-104.
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., and García-Luis, A., 2004. The effect of time of corm lifting and duration of incubation at inductive temperature on flowering in the saffron plant (*Crocus sativus* L.) *Sci. Hort.* 103, 79-91.
- Field, C.B., Barros, V.R., Michael, D., Mastrandrea, Mach, K.J., Abdrabo, M.A.K., Adger, W.N., Anokhin, Y.A., Anisimov, A., Arent, D.J., Barnett, J., Burkett, V.R., Cai, R., Chatterjee, M., Cohen, S.J., W., Cramer, Dasgupta, P., Davidson, D.J., Denton, F., Döll, P.,

- Dow, K., Hijioka, Y., Hoegh-Guldberg, O., Jones, R.G., Jones, R.N., Kitching, R.L., R.S., Kovats, Lankao, P.R., Larsen, J.N., Lin, E., Lobell, D.B., Losada, I.J., Magrin, G.O., Marengo, J.A., Markandya, A., McCarl, B.A., McLean, R.F., Mearns, L.O., Midgley, G.F., Mimura, N., Morton, J.F., Niang I., Noble, I.R., Nurse, L.A., O'Brien, K.L., Oki, T., Olsson, L., Oppenheimer, M., Overpeck, J.T., Pereira, J.J., Poloczanska, E.S., Porter, J.R., Pörtner, H.O., Prather, M.J., Pulwarty, R.S., Reisinger, A.R., Revi, A., Ruppel, O.C., Satterthwaite, D.E., Schmidt, D.N., Settele, J., Smith, K.R., Stone, D.A., Suarez, A.G., Tschakert, P., Valentini, R., Villamizar, A., Warren, R., Wilbanks, T.J., Wong, P.P., Woodward, A., and Gary, W.Y., 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. IPCC, authors include: Coordinating Lead Authors, Lead Authors, Contributing Authors and Review Editors.*
- Porter, J., and Gawith, M., 1999. *Temperatures and the growth and development of wheat: A review. Eur. J. Agron. 10, 23-36.*
- Powell, J.P., and Reinhard, S., 2016. *Measuring the effects of extreme weather events on yields. Weather Clim. Extr. 12, 69-79.*
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X.B., Epstein, P.R., and Chivian, E., 2001. *Climate change and extreme weather events. Implications for food production, plant diseases, and pests. Glob. Chang. Hum. Health. 2(2), 90-104.*
- Sneyers, R., 1990. *On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note. No. 143, Geneva, 192 pp.*
- Sohrabi, M.M., Jae, H.R., Abatzoglou, J., and Tracy, J., 2012. *Climate extreme and its linkage to regional drought over Idaho, USA. Nat. Hazard. 65(1), 653-681.*
- Stone, P., and Nicolas, M., 1994. *Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. Func. Plant Biol. 21, 887-900.*
- Stone, P., and Nicolas, M., 1995. *A survey of the effects of high temperature during grain filling on yield and quality of 75 wheat cultivars. Aust. J. Agric. Res. 46, 475-492.*
- Taghavi, F., and Mohamadi, H., 2007. *Investigation of return period of extreme climate events to identify the environmental consequences. J. Environ. Stud. 33(43), 11-20. [in Persian with English Summary].*
- Tian, J., Liu, J., Wang, J., Li, C., Niew, H., and Yua, F., 2016. *Trend analysis of temperature and precipitation extremes in major grain producing area of China. Int. J. Climatol. 37(2), 672-687.*
- Trnka, M., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K.C., Oleson, J.E., Žalund, Z., and Semenov, M.A., 2014. *Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. Nature Clim. Chang. 4, 637-643.*
- vander Velde, M., Tubiello, F.N., Vrieling, A.J., and Bouraoui, F., 2012. *Impacts of extreme weather on wheat and maize in France: evaluating regional climate simulations against observed data. Clim. Chang. 113(3-4), 751-765.*
- Wardlaw, I., Dawson, I., Munibi, P., and Fewster, R., 1989. *The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth: I. Survey procedures and general response patterns. Aust. J. Agric. Res. 40, 1-13.*
- Wardlaw, I., and Moncur L., 1995. *The response of wheat to high temperature following anthesis: I. The rate and duration of kernel filling. Func. Plant Biol. 22, 391-397.*
- Wardlaw, I., and Wrigley, C., 1994. *Heat tolerance in temperate cereals: An overview. Func. Plant Biol. 21, 695-703.*
- Zheng, B., Chenu, K., Fernanda Dreccer, M., and Chapman, S.C., 2012. *Breeding for the future: what are the potential impacts of future frost and heat events on sowing and flowering time requirements for Australian bread wheat (Triticum aestivium) varieties? Glob. Chang. Biol. 18, 2899-2914.*



## ***Modeling of the Saffron Yield Based on Meteorological Extreme Events (Case study: Birjand)***

***Saeedeh Kouzegaran<sup>1</sup>, Mohammad Mousavi Baygi<sup>\*2</sup>, Abbas Khashei-Siuki<sup>3</sup> and Iman Babaeian<sup>4</sup>***

*1- PhD Student in Agrometeorology, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.*

*2- Professor in Meteorology, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad*

*3- Associate Professor of Water engineering, Dpt. University of Birjand, Iran*

*4- Assistant Professor of Climatological Research Institute*

*\*Corresponding Author E-mail: mousavib@um.ac.ir*

*Received 26 November 2016; Accepted 14 March 2017*

### ***Abstract***

*Weather, whether in terms of averages or events, is an important determinant of yields. Extreme weather events, already a significant challenge for crop producers, are predicted to increase under future. Extreme weather events are expected to increase worldwide, therefore, anticipating and calculating their effects on crop yields is important for topics ranging from food security to the economic viability of products. During recent years, monitoring of saffron has revealed that in spite of increase in Iranian cultivated areas in Iran. Its yield per unit area has decreased. Due to its importance and determinant that it is highly dependent on meteorological events, recognition and evaluation of extreme events and their influences on saffron yield can lead to a better utilization and management planning. To evaluate the extreme climate indices trend (during 1991-2015), 38 indices of rainfall and temperature that defined by the CCI/CLIVAR/JCOMM team were used. Afterward, using the stepwise regression analysis, the effects of weather extreme events were evaluated. Then, by selecting the best indices, saffron yield model was proposed. Analysis of indices demonstrate the trends of region warming and precipitation decrement. From the results of this study, it could be concluded that the incremental trend of warming extreme indices coupled with the negative trend of precipitation are the most significant factors in decrease of saffron yield.*

***Key words:*** *Precipitation index, Temperature index, Meteorological extreme events.*