

## برآورد عملکرد زعفران با استفاده از شاخص خشکسالی *RDI* (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)

سپیده دولت آبادی<sup>۱</sup> و عباس خاشعی سیوکی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

\*نویسنده مسئول: [Email: abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۲۶

### چکیده

خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی و قابل تکرار است که کلیه اقلیم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما فراوانی وقوع آن در مناطق خشک و نیمه خشک همچون ایران بیشتر است. با توجه به محدودیت منابع آب و غیرساختاری بودن خسارت‌های ناشی از خشکسالی، ایجاد سیستم نظارت و مراقبت دائمی بر این پدیده، پایش خشکسالی، امری اجتناب‌ناپذیر است. شاخص‌های خشکسالی برای پایش خشکسالی و کاهش اثرات آن، استفاده می‌شوند. از جمله شاخص‌های مزبور می‌توان به شاخص شناسایی خشکسالی (*RDI*) اشاره نمود. لذا با توجه به شرایط خشک آب و هوایی استان خراسان جنوبی و سهم غیرقابل انکار آن در تولید زعفران، رابطه بین عملکرد زعفران و شاخص *RDI* در چهار شهر مستعد کشت و تولید آن مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، شاخص *RDI* سه ماهه در بازه زمانی ۹۳-۱۳۶۸ (۲۵ سال آماری) در ایستگاه‌های سینوپتیک بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان محاسبه و پس از مقایسه با عملکرد، رابطه رگرسیونی بین شاخص خشکسالی هر ماه با عملکرد تعیین شد. تجزیه و تحلیل رگرسیونی و نتایج، علاوه بر تایید وجود رابطه بین عملکرد زعفران و شاخص *RDI*، مؤید این نکته بود که شاخص خشکسالی ماه‌های بهمن-اسفند، اسفند-فروردین، فروردین-اردیبهشت در بیرجند و قاین؛ بهمن-اسفند در فردوس و ماه‌های دی-بهمن، بهمن-اسفند، اسفند-فروردین در نهبندان بر عملکرد مؤثر بودند. شدیدترین خشکسالی در بیرجند و قاین در سال ۸۰-۱۳۷۹، ۲۵ سال آماری مورد مطالعه و در فردوس و نهبندان در سال ۷۹-۱۳۷۸ به وقوع پیوست؛ به طوری که در کلیه ایستگاه‌ها، خشکسالی متوسط (بهنجار) بیشترین تداوم را داشته و وقوع آن به طور متوسط هر سه سال یکبار حتمی است.

واژه‌های کلیدی: رشد رویشی، رگرسیون، عملکرد زعفران، مناطق خشک و نیمه خشک

## مقدمه

ایران اهمیت زعفران کاری از جنبه‌های دیگر نظیر بهره‌وری بالای آب در سطح زیر کشت در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، اشتغال و جلوگیری از مهاجرت روستایی، درآمدزایی همچنین از لحاظ توسعه صادرات غیرنفتی، با توجه به سیاست دولت برای افزایش صادرات غیرنفتی، قابل بررسی است (Ghorbani, 2005).

خشکسالی از جمله پرهزینه‌ترین حوادثی است که اثرات زیان‌بار اقتصادی را بر بخش‌های اقتصادی و کشاورزی وارد می‌سازد. به همین دلیل اهمیت خدمات هواشناسی در کمک به بهبود راندمان کشاورزی بارزتر می‌شود. در مواقع خشکسالی با تغییر شرایط محیطی، وضعیت تولید به شدت تحت تأثیر عوامل جوی قرار گرفته و موجب کاهش محصول می‌شود (Zare Abyaneh, 2013). عملکرد زعفران به بارش حساس بوده و تغییرات زمانی بالایی را در پاسخ به خشکسالی نشان می‌دهد (Kafi et al., 2006). با توجه به خشکسالی، عملکرد زعفران به خصوص در طول سال‌های اخیر کاهش یافته است (Ghorbani, 2005).

به دلیل طبیعت پنهانی این پدیده، توصیف زمانی و مکانی آن بسیار دشوار بوده که این مسئله اهمیت پایش گسترده و ایجاد یک سیستم هشداردهنده را به خصوص در مناطق مستعد خشکسالی نشان می‌دهد. شاخص‌های خشکسالی از جمله ابزارهای پایش محسوب می‌شوند که علاوه بر کمی‌سازی شدت و وسعت خشکسالی، امکان ارزیابی آن را به صورت دوره‌ای فراهم می‌نمایند. بنابراین می‌توانند کمک شایان توجهی به برنامه‌ریزان بخش‌های مختلف جهت اتخاذ تصمیمات مناسب نمایند. پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی یکی از ابزارهای مدیریتی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بخش کشاورزی است که متغیرهای آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی نقش اساسی در پیش‌بینی عملکرد ایفا می‌کنند (Zare Abyaneh, 2013).

از جمله شاخص‌های خشکسالی می‌توان به شاخص شناسایی خشکسالی<sup>۱</sup> (RDI) اشاره نمود. این شاخص بارندگی را به عنوان ورودی و تبخیر تعرق پتانسیل را به عنوان خروجی در نظر گرفته و برای محاسبه به داده‌های

زندگی بشر در طول تاریخ و در سراسر جهان همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار داشته است. بخشی از این خطرات و حوادث ناشی از فعالیت‌ها و فرآیندهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی هستند، اما شمار دیگری از آن‌ها که از فراوانی و گستردگی نسبتاً بیشتری برخوردارند، حوادث ناشی از فرآیندهای آب و هوایی می‌باشند. از جمله این حوادث می‌توان به طوفان‌های سهمگین، خشکسالی، بارش‌های سیل‌آسا و رعد و برق اشاره نمود که در این میان، خشکسالی از اهمیت و گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است (Moradi & Sharifi, 2016).

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که در هر وضعیت اقلیمی ممکن رخ دهد (Alizadeh, 2005). این پدیده از پیچیده‌ترین بلایای طبیعی و پدیده‌ای خزنده محسوب می‌شود که خسارت‌های ناشی از آن غیرساختاری بوده و به صورت تدریجی در بخش‌های مختلف هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی ظاهر می‌گردد. خشکسالی ممکن است به طور همزمان تمام اجزای یک سیستم هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار ندهد. از طرفی خشکسالی پدیده‌ای مطلق نیست بلکه معرف کمبود نسبی رطوبت است. لذا بسته به هدف مطالعه، تعاریف متفاوتی توسط افراد و سازمان‌های مختلف برای آن ذکر شده است. به عنوان مثال، پالمر (Palmer, 1965) خشکسالی را کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی تعریف می‌کند. در تعریف وی، واژه مستمر، بیانگر زمان آغاز تا پایان خشکسالی یا زمان تداوم و واژه غیرطبیعی به انحراف یا نوسان منفی نسبت به شرایط میانگین طبیعی دلالت دارد (Palmer, 1965).

ایران، یونان، مراکش، کشمیر، اسپانیا و ایتالیا از کشورهای اصلی هستند که با تولید زعفران سر و کار دارند. در میان این کشورها، ایران به عنوان خانه اصلی زعفران با دارا بودن بیش از ۹۰ درصد از کل سطح برداشت جهان همواره بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده زعفران در جهان است. استفاده‌های فراوان و گسترده زعفران، خصوصیات دارویی ویژه آن، نقش مهم آن در زندگی اقتصادی کشاورزان استان‌های خراسان، فارس و کرمان و ارزش افزوده بالای زعفران، لزوم توجه ویژه به مسایل تولید، صادرات و بازاریابی این محصول با ارزش را بیش از پیش روشن می‌سازد. در

1. Reconnaissance Drought Index

بیشترین اثر را بر عملکرد دارند. هم‌چنین مشخص شد که برای پیش‌بینی عملکرد محصول، مدل‌های چندمتغیره بسیار بهتر از مدل‌های یک متغیره می‌باشند. در نهایت بررسی رابطه چندمتغیره بین پارامترهای آب و هوایی و ضرایب مختلف خشکسالی بر عملکرد محصول جو نشان داد که سرعت متوسط باد و شاخص خشکسالی نگوین بیشترین ضریب همبستگی را با عملکرد داشته‌اند (Rahmani et al., 2008). دوره بازگشت خشکسالی کشاورزی گندم در استان فارس با استفاده از شاخص RDI مورد ارزیابی قرار گرفت (Zandi Lak et al., 2014). آن‌ها هم‌چنین، با این شاخص رابطه‌ای را جهت تخمین شدت خشکسالی گندم بر مبنای تخییر تعرق و بارندگی در این استان ارائه دادند (Zandi Lak, 2012). در این تحقیق پیش‌بینی عملکرد چهار محصول دیم شامل گندم، جو، هندوانه و نخود در منطقه مشهد و بیرجند براساس متغیرهای هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی در قالب سه مدل رگرسیونی اتوماتیک، گام به گام و ریج انجام گرفت. برای این منظور از ده پارامتر هواشناسی و هفت شاخص خشکسالی در قالب سه ساختار اطلاعاتی در ورودی مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که از بین متغیرهای هواشناسی، دو متغیر تعداد روزهای بارانی در منطقه بیرجند و دمای بیشینه هوا در منطقه مشهد، بیشترین تعداد همبستگی‌ها را بر عملکرد محصولات زراعی داشتند. به همین ترتیب از بین شاخص‌های خشکسالی، شاخص نگوین چنین وضعیتی را نشان داد (Zare Abyaneh, 2013). پارامترهای اقلیمی مانند بارندگی، رطوبت و درجه حرارت نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد گیاه و میزان تولید محصول در یک منطقه دارند (Kouzegaran et al., 2013). ولیکن در مطالعات گذشته معمولاً بارندگی به عنوان عمده‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر کاهش عملکرد زعفران در نظر گرفته شده است. در حالی‌که نقش غیرقابل انکار تخییر تعرق پتانسیل در برآورد شدت خشکسالی به اثبات رسیده است (Tsakiris et al., 2007). دلایل فوق در کنار اهمیت زعفران در استان خراسان جنوبی، خشکسالی‌های اخیر و نتایج موفقیت‌آمیز استفاده از شاخص RDI در ارزیابی خشکسالی به‌ویژه خشکسالی کشاورزی سبب شد که در این تحقیق رابطه عملکرد زعفران و شاخص خشکسالی

هواشناسی و بارندگی نیاز دارد که تقریباً همه جا در دسترس هستند (Tsakiris & Vangelis, 2005). در مناطق شمال مکزیک برای تعیین کمیت خشکسالی کشاورزی، یک سری روابط کمی بین  $SPI-x$  و عملکرد محصولات لوبیا و ذرت به دست آمد ( $x$ : نشان‌دهنده دوره برگشت ۳، ۴، ۵ و ۶ ماهه است). از بین آن‌ها فقط روابط بین  $SPI-3$  و عملکرد دارای ضریب تبیین بهتری (۰/۵۴) و (۰/۲۶) بود (Boken et al., 2005). با ارائه تعریف بر اساس عملکرد نسبی محصول برای خشکسالی کشاورزی، شاخصی جدید برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی پیشنهاد گردید. با کاربرد این شاخص، شدت خشکسالی‌های کشاورزی طی ۳۰ سال گذشته بر عملکرد گندم دیم در منطقه تبریز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داده است که شدت افزایش عملکرد نسبی با افزایش بارندگی‌ها متناسب نبوده و حتی در برخی سال‌ها با وجود افزایش بارندگی، عملکرد نسبی محصول به دلیل عدم توزیع یکسان بارندگی در کلیه سال‌ها کاهش داشته است (Darbandi et al., 2007). استفاده از دو شاخص RDI و سلامت پوشش گیاهی<sup>۲</sup> (VHI) به ترتیب جهت ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی در یونان و ترسیم نقشه‌های خشکسالی در GIS نشان داد که، هر دو شاخص ویژگی‌های خشکسالی مربوطه را به خوبی توصیف می‌کنند (Kanellou et al., 2008). کاهش عملکرد زعفران استان خراسان در یک دهه گذشته به طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات شاخص‌های آب و هوایی قرار دارد. به طوری که کاهش ۳۱ تا ۶۶ درصدی عملکرد زعفران در شهرستان‌های اصلی تولیدکننده زعفران خراسان با دو عامل درجه حرارت و رطوبت قابل توصیف است (Hosseini et al., 2008). به منظور تخمین عملکرد محصول جو در آذربایجان شرقی با استفاده از پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی به روش کلاسیک، ده پارامتر هواشناسی و دوازده شاخص خشکسالی در ایستگاه‌های تبریز و میانه از نظر نرمال بودن و هم‌راستایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این بررسی نشان داد که از بین شاخص‌های مطالعه شده، شاخص‌های نگوین، ترانسو تغییر یافته، استاندارد شده بارش ۲۴ ماهه و ناهنجاری بارش

#### 1. Vegetation Health Index

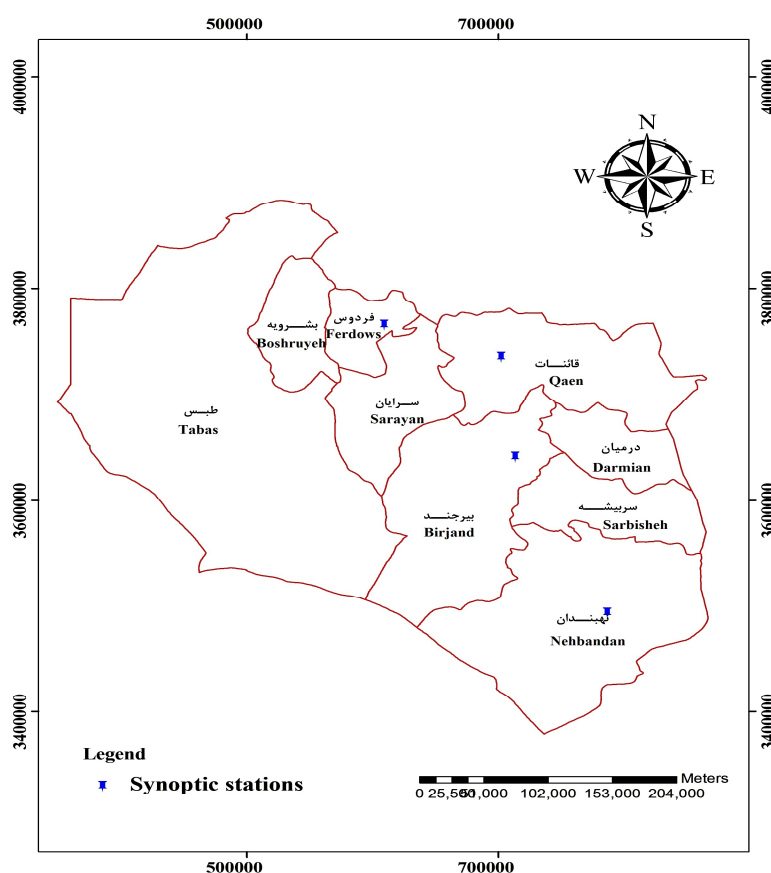
## معرفی منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی با وسعت ۹۵۳۸۵ کیلومتر مربع (به مرکزیت شهرستان بیرجند) در شرق کشور بین طول‌های جغرافیایی  $32^{\circ} 57'$  تا  $61^{\circ} 50'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $31^{\circ} 30'$  تا  $34^{\circ} 15'$  شمالی واقع شده است. این استان از شمال به استان خراسان رضوی، از شرق به کشور افغانستان، از جنوب با استان سیستان و بلوچستان، از جنوب غربی با استان کرمان و از غرب با استان‌های یزد، اصفهان و سمنان همسایه است. نواحی پست استان، از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی و نواحی کوهستانی از آب و هوای نیمه‌خشک برخوردار هستند (Shahidi & Dowlatabadi, 2017). شکل ۱ موقعیت شهرستان‌های استان خراسان جنوبی به همراه چهار ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

*RDI* در چهار شهر بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان مورد مطالعه قرار گیرد.

با بررسی منابع می‌توان گفت پژوهش حاضر اولین مطالعه با هدف بررسی رابطه و اثرات خشکسالی بر عملکرد زعفران با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی بارندگی و تبخیر تعرق (درجه حرارت) در داخل کشور است. نتایج و روابط به دست آمده در این تحقیق می‌تواند جهت پیش‌بینی عملکرد آینده زعفران با در نظر گرفتن وضعیت خشکسالی و ترسالی سال‌های آتی مورد استفاده قرار گیرد. برآورد عملکرد زعفران به کمک شاخص‌های *RDI* ماه‌های مؤثر (در نظر گرفتن اثر خشکسالی بر زعفران) را می‌توان، به عنوان ابزاری مناسب برای مدیران جهاد کشاورزی جهت ارائه خدمات و حمایت تولیدکنندگان زعفران در زمان وقوع خشکسالی و کاهش عملکرد این محصول معرفی کرد.

## مواد و روش‌ها



شکل ۱. موقعیت شهرستان‌های استان خراسان جنوبی به همراه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

Fig. 1. Location of cities South Khorasan province with studied synoptic stations

مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. عملکرد زعفران در مناطق مذکور در طی دوره آماری مورد بررسی نیز از سایت و سازمان جهادکشاورزی استان دریافت گردید. براساس اطلاعات کسب شده از سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی سطح زیرکشت زعفران شهرهای بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان در سال ۱۳۹۵ به ترتیب ۱۰۵۶، ۴۶۴۲، ۲۵۷۶ و ۲۴۹ هکتار بوده است.

در مطالعات خشکسالی داده‌های بارندگی و هواشناسی به عنوان مهم‌ترین منابع اطلاعاتی به حساب می‌آیند. هر چه تراکم ایستگاه‌های مورد استفاده بیشتر و بازه زمانی طولانی‌تر (حداقل ۲۵ سال) نتایج به دست آمده دقیق‌تر خواهد بود. به منظور انجام این تحقیق از داده‌های بارش و متوسط درجه حرارت روزانه، ۴ ایستگاه سینوپتیک بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان طی دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۶۸ استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده

Table 1. Characteristics of used synoptic stations

ایستگاه <i>Station</i>	عرض جغرافیایی <i>Latitude</i>	طول جغرافیایی <i>Longitude</i>	سال تأسیس <i>Year</i>	ارتفاع ایستگاه (متر) <i>Altitude (m)</i>
بیرجند <i>Birjand</i>	32°53'	59°17'	1334	1504
قاین <i>Qaen</i>	33°44'	59°11'	1364	1439
فردوس <i>Ferdows</i>	34°1'	58°11'	1352	1292
نهبندان <i>Nehbandan</i>	31°32'	60°02'	1364	1188

### شاخص $RDI$

در این مطالعه، جهت تعیین خشکسالی از شاخص خشکسالی شناسایی یا  $RDI$  استفاده شد. این شاخص توسط تیساکریس و ونجلیس در سال ۲۰۰۵ میلادی ارائه گردید. اگر خشکسالی به صورت یک عدم توازن بین ورودی و خروجی در نظر گرفته شود، مدلی کارا خواهد بود که ورودی و خروجی را با هم در نظر بگیرد. در شاخص  $RDI$ ، بارندگی به عنوان ورودی ( $P$ ) و تبخیر تعرق پتانسیل ( $ETP$ ) به عنوان خروجی معرفی می‌شوند. واضح است که تبخیر تعرق واقعی، خروجی حقیقی می‌باشد، اما به دلیل پیچیده شدن مدل با برآورد تبخیر تعرق واقعی، تبخیر تعرق پتانسیل به عنوان خروجی سیستم معرفی می‌شود.

برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص  $RDI$ ، به آمار بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر نیاز است. روش محاسبه بدین گونه است که ابتدا برای هر سال ( $i$ ) از دوره آماری مورد مطالعه مقداری با عنوان  $a_0$  محاسبه می‌شود (Tsakiris & Vangelis, 2005):

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad (1)$$

در این معادله،  $P$ : بارندگی و  $ET$ : تبخیر تعرق پتانسیل در  $j$  امین ماه سال  $i$  هستند. مقدار  $i$  از یک تا  $N$  (تعداد سال-هایی که آمار آن‌ها در دسترس است) تغییر خواهد کرد. چنانچه بارندگی و تبخیر تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی محاسبه شاخصی به عنوان  $RDI_n$  نرمال ( $RDI_n$ ) هر سال است که از فرمول زیر محاسبه خواهد شد (Tsakiris & Vangelis, 2005):

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}_0} - 1 \quad (2)$$

در این فرمول،  $\bar{a}_0$ : میانگین حسابی اعداد  $a_0$  می‌باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده  $RDI_s$  ( $RDI_s$ ) از مقادیر سالانه  $a_0$  لگاریتم گرفته که عددی با عنوان  $y_i$  به دست خواهد آمد (Tsakiris & Vangelis, 2005):

$$y_i = \ln(a_0^{(i)}) \quad (3)$$

سپس با محاسبه میانگین حسابی ( $\bar{y}_k$ ) و انحراف معیار استاندارد ( $\sigma_{y_k}$ ) این اعداد، شاخص استاندارد شده  $RDI$  در

1. Tsakiris and Vangelis

هر سال به کمک فرمول زیر محاسبه شد ( Tsakiris & Vangelis, 2005):

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\sigma_{yk}} \quad (4)$$

## جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص RDI

Table 2. RDI classification

طبقه‌بندی خشکسالی Drought classification	مقدار RDI RDI value
به شدت مرطوب Extremely wet	2 و بیشتر 2 or more
خیلی مرطوب Very wet	1.5 - 1.99
نسبتاً مرطوب Moderately wet	1 - 1.49
متوسط (بهنجار) Moderate	-0.99-0.99
نسبتاً خشک Moderately dry	-1.49 - -1
خیلی خشک Very dry	-1.99 - -1.5
به شدت خشک Extremely dry	-2 و کمتر -2 or less

داشته باشد، محاسبه می‌گردد. در حالی که تعداد روزهای ماه و تعداد ساعات روشنایی در ماه‌های سال متفاوت هستند. بنابراین تبخیر تعرق پتانسیل به دست آمده از معادله ۸ با ضرب کردن در ضریب اصلاحی  $N_m$ ، اصلاح می‌شود (معادله ۹). مقادیر  $N_m$  برای ماه‌ها و عرض‌های جغرافیایی مختلف در منابع مختلف (Alizadeh, 2005) ارائه شده است. در انتها به برخی از مزایای شاخص RDI اشاره می‌گردد ( Tsakiris & Vangelis, 2005):

۱- این شاخص فیزیکی محور است. چون کسری تجمعی را بین تقاضای تبخیری اتمسفر و بارندگی محاسبه می‌کند.  
۲- برای هر دوره زمانی قابل محاسبه است. اما دوره‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه پیشنهاد می‌شوند. چون این دوره‌ها برای مقایسه بین وضعیت‌ها و موقعیت‌های مختلف مناسب‌ترند.  
۳- می‌تواند به طور مؤثری با خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی ارتباط برقرار کند.

در گام نخست، به منظور بررسی کیفیت و همگنی داده‌ها، آزمون ران تست بر روی داده‌های بارش (ماهانه و سالانه)، درجه حرارت (ماهانه و سالانه) و عملکرد سالانه زعفران شهرهای مورد نظر انجام شد. برای انجام این آزمون،

لازم به یادآوری است که جهت محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه از روش تورنت وایت استفاده می‌شود. فرمول‌های این روش به صورت زیر هستند ( Alizadeh, 2005):

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.514} \quad (5)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} = \sum_{i=1}^{12} i \quad (6)$$

(7)

$$\alpha = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0.49239$$

$$ETP = 16 \left(\frac{10T_i}{I}\right)^\alpha \quad (8)$$

$$ETP = 16N_m \left(\frac{10T_i}{I}\right)^\alpha \quad (9)$$

در معادلات فوق،  $T_m$ : متوسط درجه حرارت در ماه مورد نظر ( $C$ )،  $i_m$ : نمایه حرارتی هر ماه و  $I$ : نمایه حرارتی سالانه هستند.  $ETP$ : تبخیر تعرق پتانسیل هر یک از ماه‌های سال است. از آنجا که تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از معادله ۸ با فرض اینکه هر ماه ۳۰ روز و هر روز ۱۲ ساعت روشنایی

شدند. از آنجا که اثر مقدار پارامترهای اقلیمی در هر سال در عملکرد سال آینده زعفران خود را نشان می‌دهد. لذا در گام بعدی پس از بررسی داده‌های عملکرد زعفران و رویت برخی داده‌های مشکوک در آن، نمودار مقدار بارش سالانه هر سال با عملکرد زعفران سال آینده در طول ۲۵ سال آماری مورد مطالعه ترسیم شد. مشاهده تغییرات بعضاً متضاد بین بارش و عملکرد در نمودارهای ترسیم شده، وجود داده‌های مشکوک را تایید نمود. بنابراین سال‌هایی که عملکرد زعفران آن‌ها دارای خطا بود از لیست سال‌های آماری حذف و رابطه رگرسیونی بین سال‌های آماری باقیمانده و بارش سالانه هر ایستگاه با استفاده از نرم‌افزار SPSS استخراج شد. روابط رگرسیونی مستخرج جهت استفاده و استناد مورد آنالیز قرار گرفتند. پس از بررسی برقرار بودن مفروضات رگرسیون خطی و با توجه به معنی‌دار بودن این روابط رگرسیونی در سطح اعتماد ۹۵ درصد در هر چهار ایستگاه، از آن‌ها برای تخمین عملکرد زعفران در سال‌هایی که از دوره آماری حذف شدند استفاده گردید. جدول ۳، نتایج بررسی مفروضات رگرسیون خطی در بیرجند را نشان می‌دهد.

پس از مرتب شدن داده‌ها براساس سال وقوعشان و محاسبه میانگین داده‌ها، به داده‌هایی که مقدار آن‌ها بالاتر از میانگین داده‌هاست علامت  $a$  و به هر کدام که پایین‌تر از میانگین علامت  $b$  اختصاص داده شد. لازم به ذکر است اگر خود میانگین در میان داده‌ها وجود داشته باشد علامتی به آن تعلق نمی‌گیرد. با شمارش تعداد  $a$  و  $b$ ،  $n_a$  و  $n_b$  بدست می‌آیند. دنباله‌های  $a$  و  $b$  را شمارش کرده (منظور از دنباله، یک  $a$  یا یک سری  $a$ های پشت سرهم است و به همین ترتیب دنباله  $b$  تعیین می‌شود) و مجموع هر دو دنباله را با حرف  $U$  نشان داده شد. با توجه به تعداد  $n_a$  و  $n_b$  حدود مجاز  $U$  از جدول مربوط به این آزمون تعیین شده و اگر  $U$  محاسباتی بین حدود تعیین شده از جدول قرار بگیرد داده‌ها همگن بوده یعنی تصادفی بودن آن‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد مورد قبول است (Alizadeh, 2005).

با توجه به این نکته که برداشت زعفران تقریباً در ۱۵ آذر هر سال در سطح استان پایان می‌یابد. هر سال آماری در این مطالعه، با شروع آن در ۱۵ آذر ماه هر سال و اتمام آن در ۱۴ آذر ماه سال بعد تعریف می‌گردد. بنابراین داده‌های بارندگی و متوسط درجه حرارت روزانه هر ایستگاه در دوره آماری ۹۳-۱۳۶۸ با توجه به سال آماری تعریف شده مرتب

جدول ۳. بررسی مفروضات رگرسیونی خطی بین عملکرد و بارش در بیرجند

**Table 3. Review the assumptions of linear regression between yield and rainfall in Birjand**

پارامتر <i>Parameter</i>	چولگی <i>Skewness</i>	کشیدگی <i>Kurtosis</i>	کلموگروف-اسمیرنوف <i>Kolmogorov-Smirnov (K-S)</i>
متغیر وابسته (عملکرد) <i>Dependent variable (Yield)</i>	0.091	-0.733	0.2
خطاها <i>Errors</i>	-0.697	-1.002	0.07

بر اساس جدول ۳، چون چولگی و کشیدگی عملکرد به عنوان متغیر وابسته و خطاها در بازه (۲، ۲-) قرار گرفته‌اند لذا این دو پارامتر از توزیع نرمال برخوردار هستند. پس از بررسی عادی یا نرمال بودن کشیدگی و یا چولگی داده‌ها، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده می‌شود تا از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردد. با توجه به بیشتر بودن سطح معنی‌داری از ۰/۰۵، می‌توان با اطمینان بالایی داده‌ها را نرمال فرض کرد.

شرایط رطوبتی خاک به کمبودهای نسبتاً کوتاه‌مدت بارندگی و درجه حرارت واکنش نشان می‌دهد (Komuscu,

1999). به همین دلیل تصمیم به محاسبه شاخص  $RDI$  سه ماهه گرفته شد. بنابراین جهت محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل به روش تورنت وایت، ابتدا ضرایب اصلاحی هر ایستگاه با توجه به عرض جغرافیایی و تبدیل ماه مورد بررسی به ماه میلادی معادل آن محاسبه شد. سپس با توجه به روابط روش تورنت وایت، ذکر شده در قسمت قبلی، تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه برای هر ایستگاه به دست آمد. شاخص  $RDI$  با استفاده از مقادیر مجموع بارش و تبخیر تعرق پتانسیل سه ماه ابتدایی محاسبه و مقدار آن برای ماه میانی (ماه دوم) منظور گردید روند محاسبات برای کل دوره



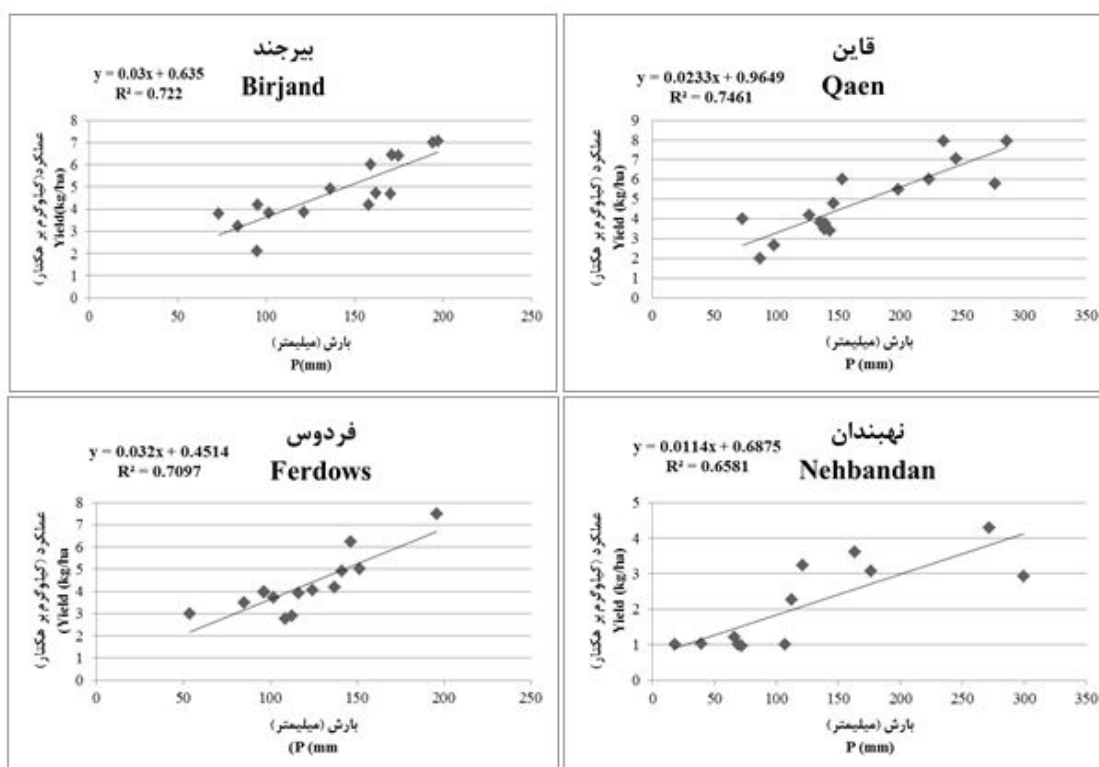
SPSS انجام شد. جهت مشخص کردن وضعیت ترسالی یا خشکسالی هر سال، شاخص  $RDI$  سالانه محاسبه و در انتها رابطه رگرسیونی چندمتغیره بین  $RDI$  سالانه و  $RDI$  ماه‌های مؤثر در SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

پس از حذف سال‌هایی که عملکرد آن‌ها با خطا گزارش شده بودند، معادله رگرسیونی بین بارش و عملکرد سالانه برای هر ایستگاه در طول دوره آماری مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۲).

آماري به همين گونه ادامه يافت. با توجه به وضعيت خشک اقليمي استان، وجود ماه‌هایی در هر سال که بارندگی آن‌ها صفر می‌باشد اجتناب ناپذیر است. با توجه به فرمول‌های ارائه شده جهت محاسبه  $RDI$  و نیاز این شاخص به بارندگی غیرصفر، پس از تشکیل سری زمانی ماه‌هایی که مجموع بارندگی سری زمانی سه ماهه آن‌ها صفر بودند از روند محاسبات حذف شدند.

جهت شناسایی ماه‌های مؤثر بر عملکرد زعفران، رابطه رگرسیونی بین شاخص‌های  $RDI$  محاسبه شده هر ماه با عملکرد سالانه زعفران هر ایستگاه در طول ۲۵ سال آماری مورد بررسی قرار گرفت. استخراج رابطه رگرسیونی چندمتغیره و آنالیز معنی‌دار بودن آن به کمک نرم‌افزار



شکل ۲. معادلات رگرسیونی بین بارش و عملکرد سالانه گل زعفران در مناطق مورد مطالعه

Fig. 2. Regression equations between annual precipitation and flower yield of saffron in the studied areas

سالانه همبستگی بالایی برقرار است. مقدار  $R^2$  نشان می‌دهد که چه مقدار از متغیر وابسته یعنی عملکرد، می‌تواند توسط متغیر مستقل یعنی بارش، تبیین شود. بنابراین بارش می‌تواند به ترتیب ۷۲/۲، ۷۴/۶، ۷۰/۹ و ۶۵/۸ درصد از تغییرات عملکرد را در شهرهای بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان تبیین نماید.

نتایج تحلیل به همراه معادلات منتج شده برای هر شهر در جدول ۴ نیز ارائه شده‌اند. در این معادلات،  $Y$ : عملکرد سالانه زعفران برحسب کیلوگرم بر هکتار و  $P$ : بارش سالانه برحسب میلی‌متر می‌باشند. در این جدول  $R$  اشاره به همبستگی ساده بین دو متغیر دارد و به عبارتی شدت همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. همانطور که از مقادیر  $R$  مشخص است در کلیه شهرها بین عملکرد و بارش



جدول ۴. معادلات رگرسیونی مستخرج بین عملکرد زعفران و بارش سالانه

Table 4. Obtained regression equations between saffron yield and annual rainfall

ایستگاه Station	معادله Equation	R	R Square	معنی‌داری آماری معادله با آزمون فیشر Statistical significant with Fisher test
بیرجند Birjand	$Y=0.03P+0.635$	0.85	0.722	$6.075 \times 10^{-5}$
قاین Qaen	$Y=0.023P+0.964$	0.864	0.746	0
فردوس Ferdows	$Y=0.032P+0.451$	0.842	0.709	$15.58 \times 10^{-5}$
نهبندان Nehbandan	$Y=0.011P+0.687$	0.811	0.658	0.001

شده است. در این معادلات،  $Y$  عملکرد برحسب کیلوگرم بر هکتار،  $RDI_{B-E}$  شاخص خشکسالی بهمن- اسفند،  $RDI_{E-F}$  مقدار شاخص در ماه اسفند- فروردین،  $RDI_{F-O}$  در ماه فروردین- اردیبهشت و  $RDI_{D-B}$  در دی- بهمن می‌باشند. با توجه به شکل ۳ و جدول ۵، ماه‌های بهمن- اسفند، اسفند- فروردین، فروردین- اردیبهشت در بیرجند و قاین؛ بهمن- اسفند در فردوس و ماه‌های دی- بهمن، بهمن- اسفند، اسفند- فروردین در نهبندان به عنوان ماه‌های مؤثر معرفی می‌شوند.

مرحله رشد رویشی زعفران در استان خراسان جنوبی از اواخر آبان ماه شروع و تا آخر اردیبهشت ماه ادامه می‌یابد و برخلاف محصولات دیگر، آغاز رشد رویشی زعفران پس از ظهور گل و رشد زایشی است (Kouzegaran et al., 2013). ماه‌های شناسایی شده مؤثر بر عملکرد زعفران در کلیه شهرها دقیقاً با مرحله رشد رویشی این محصول انطباق دارند.

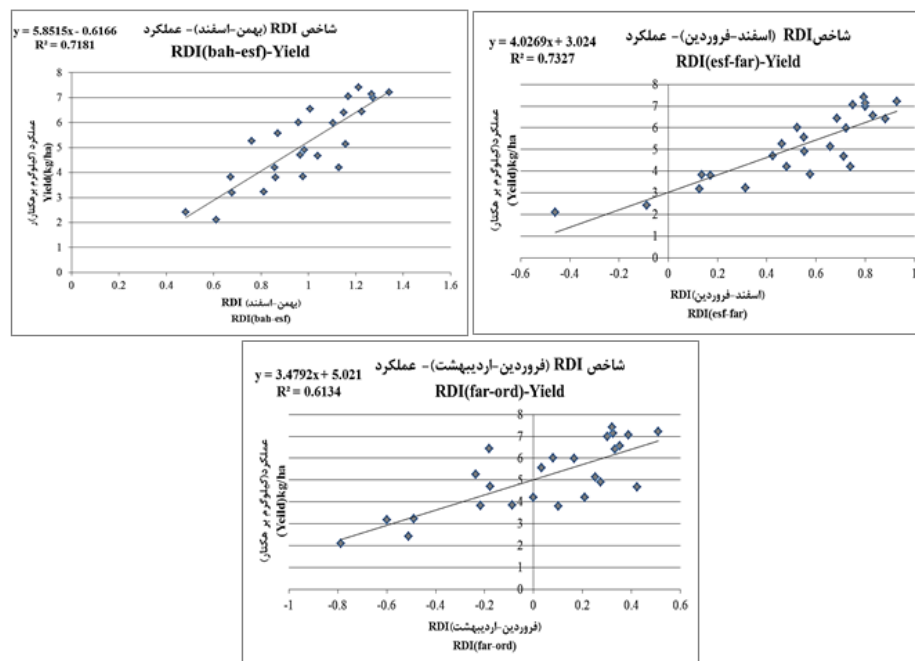
در این ماه‌ها زعفران از نظر ظاهری در مرحله‌ای است که برگ‌ها به بلوغ رسیده و ذخایر لازم برای بنه‌ها را از طریق فتوسنتز فراهم می‌کنند، در حقیقت شرایط رشدی مناسب در این ماه‌ها سبب می‌شود که گیاه بتواند مواد فتوسنتزی بیشتری تولید نموده و بخش قابل توجهی از آن را به اندام‌های ذخیره‌ای که همان بنه‌ها هستند انتقال دهد. این امر موجب می‌شود در فصل رشد بعدی بنه‌های با ذخیره غذایی بالاتر از پتانسیل بیشتری برای رشد و تولید گل برخوردار باشند (Kouzegaran et al., 2013). بنابراین وقوع خشکسالی در این ماه‌ها تأثیر زیادی در رشد و بزرگ شدن

ستون انتهایی جدول ۴ بیانگر معناداری آماری مدل رگرسیونی است و نشان می‌دهد که آیا مدل رگرسیون می‌تواند به طور معنی‌دار و مناسبی تغییرات متغیر وابسته (عملکرد) را پیش‌بینی کند. با توجه به انتخاب سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، چنان‌چه  $Significance$  به دست آمده کمتر از ۰/۰۵ باشد می‌توان نتیجه گرفت که مدل به کار رفته، پیش‌بینی‌کننده خوبی برای متغیر وابسته (عملکرد) است. بنابراین با توجه به این توضیحات روابط رگرسیونی به دست آمده در کلیه شهرها به دلیل کمتر بودن از ۰/۰۵ معنی‌دار بوده و پیش‌بینی‌کننده‌های مناسبی برای عملکرد سالانه زعفران هستند. معمولاً در سالی که بارندگی کم می‌باشد میزان عملکرد زعفران در سال بعد کاهش زیادی خواهد داشت، زیرا بارندگی فصل پائیز و زمستان هر سال نتیجه خود را روی محصول سال بعد می‌گذارد (Kamali, 2007). مشخص می‌شود عوامل اقلیمی تأثیر مهمی بر کاهش عملکرد زعفران در سال‌های اخیر داشته است (Hosseini, 2007).

پس از محاسبه شاخص  $RDI$  سه ماهه به ترتیبی که قبلاً توضیح داده شد، نمودار پراکنش شاخص  $RDI$  هر ماه در مقابل عملکرد سالانه زعفران، هر دو در طول ۲۵ سال آماری، ترسیم گردید و به کمک روابط رگرسیونی، ماه‌هایی که خشکسالی آن‌ها بر عملکرد سالانه زعفران مؤثر هستند در هر ایستگاه شناسایی شدند. شکل ۳، نمودار پراکنش شاخص  $RDI$  ماه‌های مؤثر و عملکرد سالانه در بیرجند را نشان می‌دهد. رابطه رگرسیونی بین  $RDI$  ماه‌های مؤثر و عملکرد سالانه برای سه شهر دیگر نیز در جدول ۵ ارائه

رابطه رگرسیونی چندمتغیره بین عملکرد سالانه زعفران و ماه‌های مؤثر در هر شهر نیز استخراج و مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

بنه‌ها و در نتیجه کاهش عملکرد زعفران خواهد داشت. نتایج حاصله سبب تقویت این فرضیه می‌شود که با توجه به جذب آب از طریق برگ در مرحله رشد رویشی زعفران، آبیاری بارانی در این مرحله از رشد روش مناسبی جهت آبیاری این محصول خواهد بود.



شکل ۳. نمودارها و روابط رگرسیونی بین عملکرد سالانه زعفران و هر شاخص RDI ماه مؤثر در بیرجند  
 Fig. 3. Charts and regression equations between saffron yield and RDI of each effective month in Birjand

جدول ۵. معادلات رگرسیونی مستخرج بین عملکرد زعفران و شاخص RDI هر ماه مؤثر

Table 5. Obtained regression equations between saffron yield and RDI of effective months

ایستگاه Station	معادله Equation	R Square
قاین Qaen	$Y = 5.287RDI_{B-E} - 0.1984$	0.5959
فردوس Ferdows	$Y = 4.1911RDI_{E-F} + 2.4276$	0.5998
نهبندان Nehbandan	$Y = 4.2053RDI_{F-O} + 4.2815$	0.6351
	$Y = 4.7417RDI_{B-E} + 0.4642$	0.6177
	$Y = 2.8437RDI_{D-B} - 1.4645$	0.665
	$Y = 1.8186RDI_{B-E} + 0.3747$	0.5763
	$Y = 1.51RDI_{E-F} + 1.4533$	0.5946

ماه‌های مؤثر می‌توانند به ترتیب ۷۷/۵، ۷۲/۴، ۶۰ و ۷۶/۳ درصد از تغییرات عملکرد را در شهرهای بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان تبیین نماید.

نتایج علاوه بر نشان دادن همبستگی بالای عملکرد و شاخص RDI ماه‌های مؤثر، معنی‌دار بودن روابط به دست آمده را نیز متذکر می‌شوند. همچنین شاخص‌های RDI

جدول ۶. معادلات رگرسیونی مستخرج بین عملکرد زعفران و شاخص RDI ماه‌های مؤثر

Table 6. Obtained regression equations between saffron yield and RDI of effective months

ایستگاه Station	معادله Equation	R	R square	معنی‌داری آماری معادله با آزمون فیشر Statistical significant with Fisher test
بیرجند Birjand	$Y=1.526+2.702RDI_{B-E}+1.777RDI_{E-F}+0.682RDI_{F-O}$	0.88	0.775	0
قاین Qaen	$Y=1.858+3.095RDI_{B-E}-0.635RDI_{E-F}+3.087RDI_{F-O}$	0.851	0.724	0
فردوس Ferdows	$Y=0.464+4.741RDI_{B-E}$	0.776	0.6	$8.23 \times 10^{-6}$
نهبندان Nehbandan	$Y=-0.678+2.109RDI_{D-B}-0.268RDI_{B-E}+0.901RDI_{E-F}$	0.874	0.763	0

در این معادلات،  $Y$  عملکرد برحسب کیلوگرم بر هکتار،  $RDI_s$  شاخص RDI استاندارد شده سالانه،  $RDI_{B-E}$  شاخص خشکسالی بهمن-اسفند،  $RDI_{E-F}$  مقدار شاخص در ماه اسفند-فروردین،  $RDI_{F-O}$  در ماه فروردین-اردیبهشت و  $RDI_{D-B}$  در دی-بهمن می‌باشند.

در انتها با محاسبه شاخص خشکسالی شناسایی ( $RDI$ ) سالانه علاوه بر تعیین وضعیت خشکسالی و ترسالی هر شهر در هر سال دوره آماری مورد مطالعه، رابطه رگرسیونی آن با شاخص خشکسالی ماه‌ها مؤثر حاصل شده و تحلیل رگرسیونی آن انجام شد. نتایج ارائه شده در جدول ۷ همبستگی بالای بین شاخص RDI سالانه و ماه‌های مؤثر و معنی‌دار بودن روابط را نشان می‌دهند.

جدول ۷. معادلات رگرسیونی مستخرج بین شاخص RDI استاندارد شده سالانه و ماه‌های مؤثر

Table 7. Obtained regression equations between yearly standardized RDI and effective months

ایستگاه Station	معادله Equation	R	R square	معنی‌داری آماری معادله با آزمون فیشر Statistical significant with Fisher test
بیرجند Birjand	$RDI_s=-2.853+2.199RDI_{B-E}+1.332RDI_{E-F}-0.094RDI_{F-O}$	0.889	0.79	0
قاین Qaen	$RDI_s=-2.58+1.886RDI_{B-E}+1.269RDI_{E-F}+0.821RDI_{F-O}$	0.971	0.942	0
فردوس Ferdows	$RDI_s=-2.959+3.328RDI_{B-E}$	0.84	0.646	$2.16 \times 10^{-6}$
نهبندان Nehbandan	$RDI_s=-2.352+1.21RDI_{D-B}+0.468RDI_{B-E}+0.873RDI_{E-F}$	0.962	0.925	0

آنکه مقادیر  $RMSE$  به دست آمده برای کلیه روابط از میانگین داده‌های محاسبه شده متغیرها کمتر هستند لذا خطای کمی بین مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده وجود دارد.

میانگین مربع خطاها ( $RMSE$ ) میزان خطای بین دو مجموعه داده را اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین جهت مقایسه مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده از طریق سه سری روابط رگرسیونی ارائه شده برای هر ایستگاه،  $RMSE$  آن‌ها محاسبه گردید. نتایج در جدول ۸ مندرج است. با توجه به

#### 1. Root Mean Square Error

جدول ۸. مقادیر RMSE معادلات رگرسیونی

Table 8. RMSE values of regression equations

ایستگاه Station	عملکرد - بارش سالانه Yield-Yearly rainfall RMSE (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد - RDI ماه‌های مؤثر Yield- RDI of effective months RMSE (kg.ha <sup>-1</sup> )	RDI استاندارد شده سالانه و ماه‌های مؤثر Yearly standardized RDI and effective months RMSE
بیرجند Birjand	1.84	0.73	0.45
قاین Qaen	1.76	0.81	0.24
فردوس Ferdows	1.63	0.88	0.58
نهبندان Nehbandan	1.52	0.51	0.27

در ۱۳۷۰-۱۳۶۹ و ۱۳۸۰-۱۳۷۹ رخ داده است. هر دو سال یکبار وقوع خشکسالی با شدت متوسط در منطقه حتمی به نظر می‌رسد.

#### فردوس

شانزده سال خشکسالی متوسط، پنج سال ترسالی و چهار سال خشکسالی در منطقه به وقوع پیوسته که وقوع خشکسالی با شدت متوسط هر دو سال یکبار اجتناب‌ناپذیر است. طی سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ شدیدترین خشکسالی و ۱۳۷۶-۷۷ شدیدترین ترسالی منطقه دیده می‌شود.

#### نهبندان

منطقه در مجموع در ۲۵ سال آماری مورد بررسی دارای ۱۷ سال خشکسالی متوسط، سه سال ترسالی و پنج سال خشکسالی نسبتاً تا به شدت خشک بوده است؛ به طوری که از سال ۹۳-۱۳۷۵ منطقه با خشکسالی متوسط تا به شدت خشک روبرو گردید که شدیدترین خشکسالی در طی سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ و شدیدترین ترسالی در ۱۳۷۰-۱۳۶۹ رخ داده است.

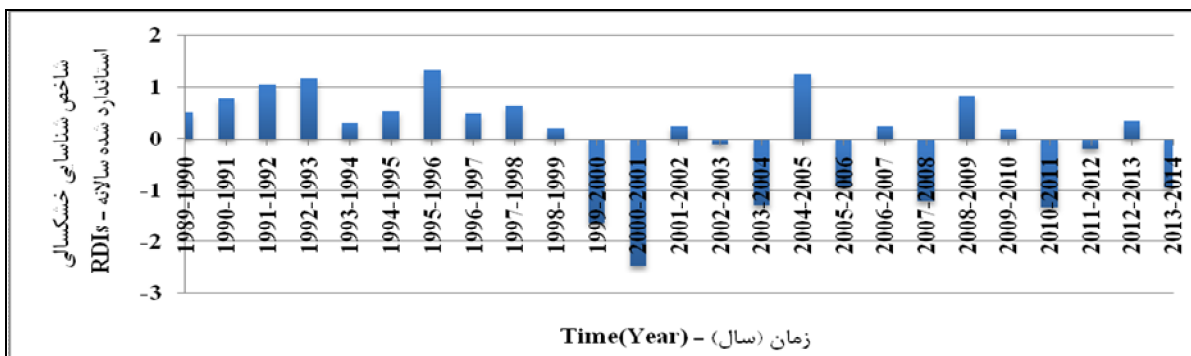
شکل ۴، نمودار تغییرات زمانی شاخص RDI<sub>s</sub> در ایستگاه‌های بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان را در بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۳ را نشان می‌دهد. مقدار کمی این شاخص با استفاده از جدول طبقه‌بندی شاخص RDI (جدول ۲) به مقادیر کیفی شدت خشکسالی تبدیل گردیدند. بررسی این نمودارها نشان داد که خشکسالی با طبقه‌بندی متوسط (بهنجار) در تمام ایستگاه‌ها مورد مطالعه بیشترین تداوم را داشته است. نتایج کلی بررسی خشکسالی و ترسالی در طول دوره آماری مورد مطالعه هر ایستگاه در زیر ذکر می‌شوند:

#### بیرجند

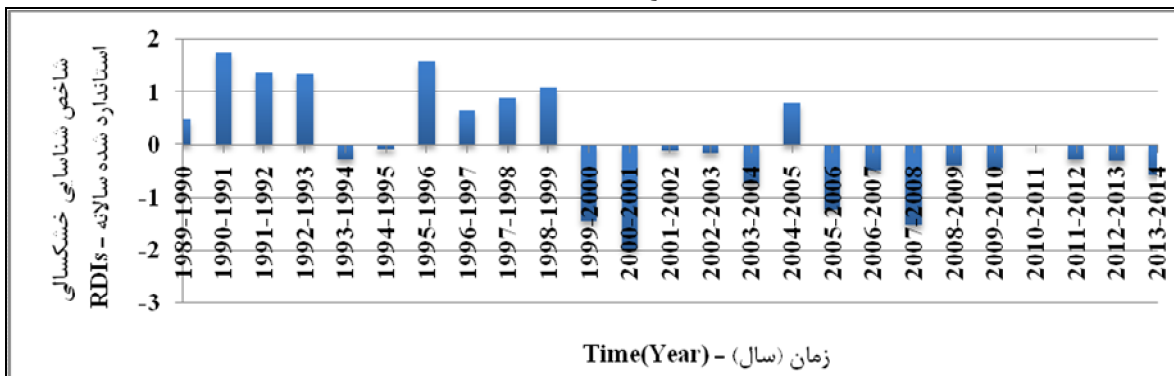
شانزده سال وضعیت خشکسالی متوسط، چهار سال ترسالی و ۵ سال خشکسالی با وضعیت نسبتاً خشک تا به شدت خشک در منطقه حکم‌فرما بوده است. شدیدترین خشکسالی در طی سال‌های ۸۰-۱۳۷۹ و شدیدترین ترسالی در ۷۵-۱۳۷۴ رخ داده است. در ۲۵ سال گذشته هر سه سال یک بار خشکسالی با شدت متوسط به وقوع پیوسته است.

#### قاین

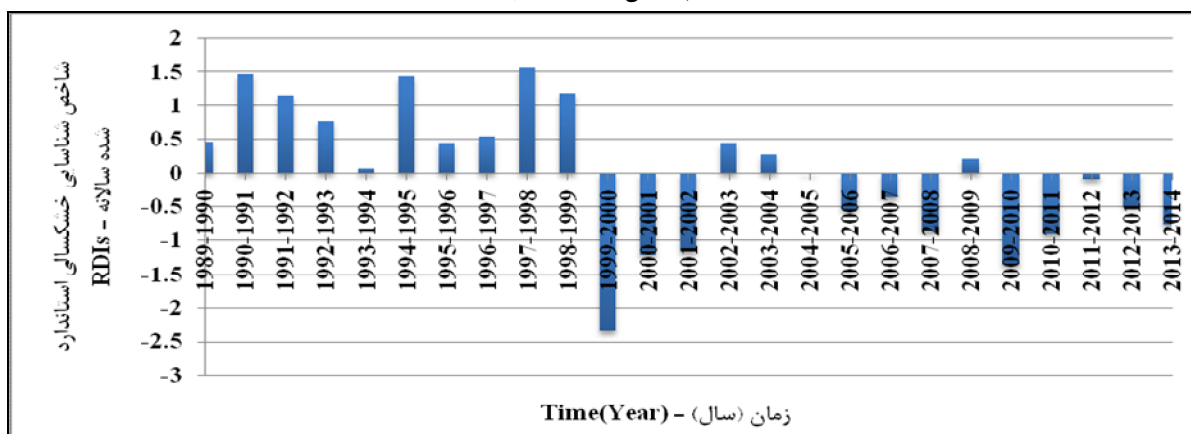
۱۶ سال خشکسالی متوسط، ۴ سال خشکسالی با وضعیت نسبتاً خشک تا به شدت خشک و ۵ سال ترسالی در نتایج مشاهده می‌گردد. شدیدترین ترسالی و خشکسالی به ترتیب



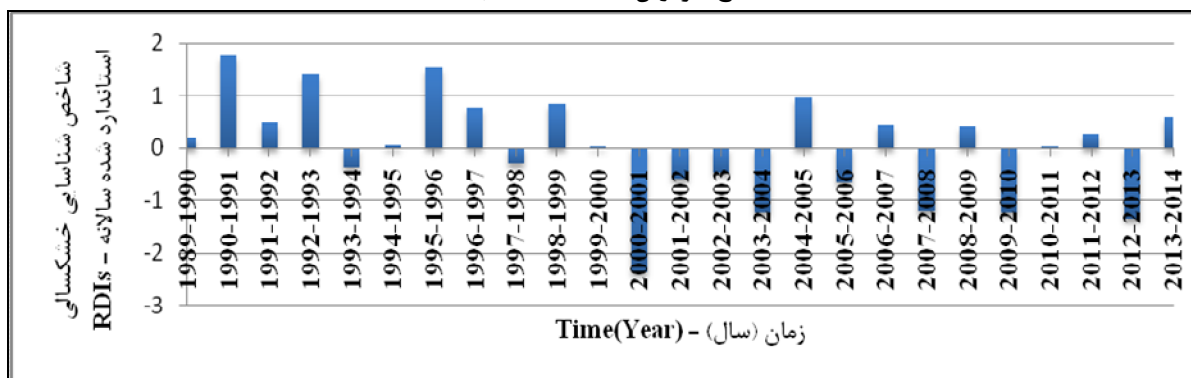
a) Birjand (الف) بیرجند



b) Qaen (ب) قاین



c) Ferdows (ج) فردوس



d) Nehbandan (د) نهبندان

شکل ۴. نمودار تغییرات زمانی شاخص RDI در ایستگاه‌های بیرجند، قاین، فردوس، نهبندان

Fig.4. The time changes diagram of RDI index in Birjand, Qaen, Ferdows, Nehbandan stations

## نتیجه‌گیری

عملکرد سالانه و استخراج روابط رگرسیونی بین آن‌ها ماه‌های بهمن- اسفند، اسفند- فروردین، فروردین- اردیبهشت در بیرجند و قاین؛ بهمن- اسفند در فردوس و ماه‌های دی- بهمن، بهمن- اسفند، اسفند- فروردین در نهبندان به عنوان ماه‌های مؤثر معرفی شدند. عملکرد سالانه از طریق دو سری روابط رگرسیونی به دست آمده بین این پارامتر و بارش سالانه و شاخص  $RDI$  ماه‌های مؤثر برای هر ایستگاه می‌تواند مورد پیش‌بینی قرار گیرد. با محاسبه شاخص  $RDI_s$  سالانه، مشخص شد که خشکسالی با شدت متوسط بیشترین فراوانی را در ۲۵ سال گذشته در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است و به طور متوسط هر دو یا سه سال یک بار وقوع خشکسالی با شدت متوسط در کلیه ایستگاه‌ها حتمی است.

عوامل اقلیمی تأثیر مهمی بر کاهش عملکرد زعفران در سال‌های اخیر داشته است. با توجه به نقش کلیدی تبخیر تعرق بر روی خشکسالی و عملکرد زعفران، اکتفا نمودن به شاخص‌های خشکسالی‌ای که تنها پارامتر مؤثر آن‌ها بارندگی است منطقی به نظر نمی‌رسد. در این تحقیق از شاخص  $RDI$  که بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل را در روابط خود دارد برای پایش خشکسالی ایستگاه‌های بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان در بازه زمانی سال‌های ۹۳-۱۳۶۸ استفاده شد. نتایج نشان داد که این شاخص، می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت تعیین خشکسالی زعفرانی و متضرر شدن کشاورزان از کاهش عملکرد زعفران به کار رود. با بررسی تأثیر شاخص‌های  $RDI$  هر ماه بر شاخص شناسایی خشکسالی استاندارد شده سالانه ( $RDI_s$ ) و

## منابع

- Alizadeh, A., 2005. *Principles of Applied Hydrology*. Imam Reza University Publication, Mashhad, Iran. 940 pp. [in Persian].
- Boken, K., Cracknell, P., and Heathcote, L., 2005. *Monitoring and predicting Agricultural Drought: A Global Study*. First. ed., Oxford University Press Inc., London. 496 pp.
- Darbandi, S., Fereydoun, K., Fakhelifard, A., Sedghi, H., and Kamali, G.H., 2007. *Introduction of a new index for assessing the severity of agricultural drought based on relative yield*. *Agric. Sci.* 13(1), 107-123.
- Ghorbani, M., 2005. *The Economics of Saffron in Iran*. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Saffron Biology and Technology, Mashhad, Iran. [in Persian].
- Hoseini, N., 2007. *Evaluation and predict saffron yield using by water- air- product models*. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Department of Agrometeorology. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. [in Persian with English Summary].
- Hosseini, M., Mollafilabi, A., and Nassiri, M., 2008. *Spatial and temporal patterns in Saffron (Crocus sativus L.) yield of Khorasan province and their relationship with long term weather variation*. *Iran. J. Field Crop Res.* 6(1), 79-88. [in Persian With English Summary].
- Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H., and Nassiri, M., 2006. *Saffron (Crocus sativus): Production and Processing*. Enfield, NH, USA: Science Publishers. 244 p.
- Kamali, G., 2007. *Bioclimatology saffron project in south Khorasan collaboration with the Department of Meteorology of Khorasan*. Scientific and Industrial Research Organization. [in Persian].
- Kanellou, E., Domenikiotis, C., Tsiros, E., and Dalezios, N.R., 2008. *Satellite-based drought estimation in Thessaly*. *European Water* 23/24: 111-122. E.W. Publications.
- Komuscu, A.U., 1999. *Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey*. *Drought Network New.* 11(1), 7-13.
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, H., and Behdani, M.A., 2013. *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].
- Moradi, A.R., and Sharifi, M.A., 2016. *The analysis of precipitation time series related to Iran's main catchments using fourier and wavelet transforms*. *Geo.*

- Eng. J. 7(2), 137-145. [in Persian with English Summary].
- Palmer, W.C., 1965. *Meteorological Drought. Research paper, No. 45, U.S. weather Bureau. Washington, D.C. Feb., 58p.*
- Rahmani, E., Khalili, A., and Liaghat, A., 2008. *Quantitative survey of drought effects on barley yield in East Azerbaijan by classical statistical methods. JWSS. 12(44), 25-36. [in Persian with English Summary].*
- Shahidi, A., and Dowlatabadi, S., 2017. *Assessment of use of wastewater treatment of Birjand University in order to fulfill the objectives of the Green University. 1<sup>st</sup> National Conference on Green University, Bushehr, Iran. [in Persian].*
- Tsakiris, G., and Vangelis, H., 2005. *Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. Eur. Water. 9(10), 3-11.*
- Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H., 2007. *Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). Water Resour. Manage. 21(5), 821-833.*
- Zandi Lak, H., 2012. *Determination of wheat agricultural drought using RDI index. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, The Islamic Azad University of Marvdasht, Iran. [in Persian with English Summary].*
- Zandi Lak, H., Fooladmand, H., and Boostani, F., 2014. *Return period assessment of wheat agricultural drought using RDI index. Water Eng. 7(22), 1-10.*
- Zare Abyaneh, H., 2013. *Evaluating roles of drought and climatic factors on variability of four dry farming yields in Mashhad and Birjand. Water Soil Sci. 23(1), 39-56. [in Persian with English Summary].*





**Original Article:**

***Estimation of Saffron Yield using Reconnaissance Drought Index  
(Case study: South Khorasan Province)***

*Sepideh Dowlatabadi<sup>1</sup> and Abbas Khashei Siuki<sup>2\*</sup>*

*1- PhD student in Water Resources, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran*

*2- Associate Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran*

*\*Corresponding author E-mail: [abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)*

*Received 28 February 2017; Accepted 17 July 2017*

**Abstract**

*Drought is a natural disaster and repeatable that influencing all climates, but the frequency of its occurrence is more in arid and semi-arid regions such as Iran. Due to water scarcity and the non-structural damages caused by drought, a system of continuous surveillance on the phenomenon, drought monitoring, is inevitable. Drought indices are used for monitoring and decreasing the effects of drought. Among the indicators can be mention to Reconnaissance Drought Index (RDI). Therefore, due to dry weather conditions in South Khorasan province and its undeniable role in the production of saffron, the relationship between saffron yield and RDI was studied in four prone sites for production and cultivation of saffron. In this regard, RDI of three months in the period 1989-2014 (25 years) calculated in synoptic stations of Birjand, Qaen, Ferdows and Nehbandan and then comparing with the yield, regression equation between drought index of each month and yield was determined. Regression analysis and the getting results, in addition to confirming the existence of the relationship between the RDI of saffron yield confirmed this point that the drought index of February, March and April months in Birjand and Qaen; February in Ferdows and months of January, February, March in Nehbandan were effective on saffron yield. The extreme drought occurred in Birjand and Qaen in years 2000-2001, 25 years under study, and in Ferdows and Nehbandan in the years 1999-2000, so that moderate drought (normal) has the most continuity in all the studied stations and its occurrence is Imminent each three years once.*

**Keywords:** *Drought, Saffron yield, RDI, South Khorasan province, Regression, Vegetative phase*