



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی ریسک خشکسالی زعفران با استفاده از روش مونت کارلو

سیبویه آقامحمدی^۱، عباس خاشعی سیوکی^{۲*}، علی شهیدی^۳ و سید رضا هاشمی^۴

تاریخ پذیرش: ۶ شهریور ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: ۲۷ بهمن ۱۳۹۶

آقامحمدی، س.، خاشعی سیوکی، ع.، شهیدی، ع.، و هاشمی، س. ر. ۱۳۹۸. ارزیابی ریسک خشکسالی زعفران با استفاده از روش مونت کارلو. زراعت و فناوری زعفران، ۷(۳): ۳۷۷-۳۹۵.

چکیده

تغییرات اقلیمی و پدیده‌هایی از جمله خشکسالی در میزان عملکرد محصولات کشاورزی موثر هستند. یکی از راهکارهای مقابله با این پدیده‌ها، جایگزینی مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران است، به طوری که با ارزیابی ریسک، قبل از وقوع بحران، میزان خسارت‌ها به حداقل می‌رسد. در این پژوهش نیز در جهت کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی به‌عنوان پدیده‌ای طبیعی و غیر قابل کنترل، بر روی محصول زعفران، به ارزیابی ریسک خشکسالی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو پرداخته شد. شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) ماهانه و میانگین دمای ماهانه به عنوان متغیرهای مستقل در تابع توزیع عملکرد محاسبه می‌شود. با کمک روش فراابتکاری شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ارتباط بین متغیرهای مستقل (دما و SPI) و متغیر وابسته (عملکرد محصول زعفران) برقرار می‌شود. سپس داده‌ی تصادفی از متغیرهای مستقل ساخته می‌شود و با شبکه عصبی مصنوعی آموزش یافته، ۲۰۰۰ عملکرد شبیه‌سازی شده تولید می‌گردد. انتخاب یک ایستگاه مرجع و با استفاده از توزیع تجمعی به دست آمده، عامل ریسک محاسبه شد و با رسم نمودار عامل ریسک-عملکرد استاندارد، ریسک نسبی ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی شده است. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که بیشترین سال‌های مورد مطالعه در محدوده نرمال قرار دارند و فراوانی خشکسالی در چهار ایستگاه خراسان جنوبی دو برابر ایستگاه‌های مورد مطالعه در خراسان رضوی می‌باشد. همین‌طور شبکه عصبی مصنوعی با ضریب همبستگی ۰/۸۵ توانست به خوبی عملکرد را پیش‌بینی نماید. در پایان بر اساس نتایج به دست آمده از نمودار ریسک-عملکرد استاندارد، ایستگاه‌های قاین، بیشترین و نهبندان کمترین ریسک نسبی نسبت به ایستگاه مرجع (ترت حیدریه) را داشتند.

کلمات کلیدی: مدیریت ریسک، باران استاندارد شده (SPI)، شبکه عصبی مصنوعی، شبیه‌سازی

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران
۲ - دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران
۳ - استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران
* - نویسنده مسئول: (abbaskhashei@birjand.ac.ir)

مقدمه

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، 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 پدیده‌ای بلندمدت است که باعث خسارت‌های قابل توجهی در زندگی بشر و زیان‌های اقتصادی می‌شود. این پدیده نقش مهمی در بسیاری از امور انسانی بازی می‌کند. عملکرد خشکسالی نسبت به سایر خطرات طبیعی متفاوت است به طوری که، این پدیده به کندی صورت می‌پذیرد و اغلب به عنوان پدیده‌ای خزنده به آن اشاره شده است. به دلیل ماهیت خزنده آن، اثراتش به آرامی در طی یک دوره قابل توجه از زمان تجمع می‌یابد و تعیین شروع و پایان آن دشوار است (Alcarno et al., 2007).

زعفران به‌عنوان با ارزش‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان، جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارد. لذا لازم است قبل از وقوع بحران در زمینه تولید این محصول، تمهیدات مناسبی جهت مدیریت و مقابله با بحران در نظر گرفته شود.

مدیریت ریسک لازمه مدیریت بهینه بحران در زمینه خشکسالی می‌باشد، زیرا از طریق آن و با ارزیابی و تهیه نقشه‌های ریسک خشکسالی، مناطق خطرپذیر کشور شناسایی و قبل از وقوع بحران با اعمال راهکارهای مناسب، ریسک ناشی از

این پدیده به حداقل رسانده می‌شود. از این روی، این تحقیق با هدف ارزیابی ریسک خشکسالی زعفران و در جهت حفظ این محصول در برابر بحران خشکسالی و تغییر اقلیم در مناطق مورد مطالعه انجام می‌گیرد.

بررسی عملکرد چهار محصول دیم شامل گندم، جو، هندوانه و نخود در منطقه مشهد و بیرجند با استفاده از متغیرهای هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی در قالب سه مدل رگرسیونی اتوماتیک، گام به گام و رایج نشان داد که از میان متغیرهای هواشناسی، دو متغیر تعداد روزهای بارانی در منطقه بیرجند و دمای بیشینه هوا در منطقه مشهد، بیشترین مقدار همبستگی‌ها را بر عملکرد محصولات زراعی داشته است (Zare Abyaneh, 2013). بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و بر اساس داده‌های بارندگی ۴۰ ساله‌ی منطقه سورت در پژوهشی و مقایسه آن با خشکسالی واقعی نشان داده‌است که به جز شرایط خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی واقعی با خشکسالی به‌دست آمده از SPI بسیار مشابه می‌باشد (Shaha et al., 2015). با وجود تأثیر مهم پیش‌بینی عملکرد محصول با داده‌های موجود بر تصمیمات اقتصادی اجتماعی و سیاسی در مقیاس منطقه‌ای در پژوهشی، به پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در استان خراسان رضوی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم‌های استنتاج نرونی فازی (ANFIS) پرداخته شد. کارایی مدل چند لایه پرسپترون شبکه عصبی مصنوعی، برای پیش‌بینی عملکرد گندم مورد آزمایش قرار گرفته و مدل‌های ANFIS و MLP با استفاده از شاخص‌های آزمون آماری مقایسه شدند. بر اساس این نتایج، مدل ANFIS در صورت وجود دما به عنوان متغیر مستقل، نسبت به MLP، عملکرد گندم دیم را دقیق‌تر پیش‌بینی نمود (Khashei-siuki et al., 2011).

به‌منظور سنجش توانایی تکنولوژی شبکه عصبی مصنوعی

بهترین روش جلوگیری از پیامدهای ناشی از بلایای طبیعی از جمله خشکسالی، مدیریت ریسک می‌باشد. پژوهش حاضر با اهداف زیر برای مدیریت ریسک و بحران ناشی از خشکسالی در محصولات کشاورزی انجام می‌شود:

- ۱- تعیین میزان تأثیر خشکسالی بر عملکرد زعفران
- ۲- ارزیابی کارایی مناسب شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد زعفران
- ۳- برآورد توزیع احتمالاتی عملکرد زعفران با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو
- ۴- تهیه نمودارهای ریسک خشکسالی زعفران برای مناطق مورد مطالعه

در این پژوهش نیز سعی شده است با محاسبه و مقایسه‌ی ریسک خشکسالی بین شهرستان‌ها، اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی موردنیاز در راستای کاهش ریسک در مناطق پرخطر، صورت پذیرد.

مواد و روش

محدوده مطالعاتی در این پژوهش در دو استان خراسان جنوبی و خراسان رضوی تعریف شده است. استان خراسان جنوبی با وسعت ۹۵۳۸۵ کیلومترمربع (به مرکزیت شهرستان بیرجند) در شرق کشور بین طول‌های جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی از خط استوا واقع شده است (Shahidi & Dowlatabadi, 2017).

استان خراسان رضوی (به مرکزیت شهرستان مشهد) دارای وسعتی بیش از ۱۲۷ هزار کیلومترمربع می‌باشد که بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۶ درجه ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۸

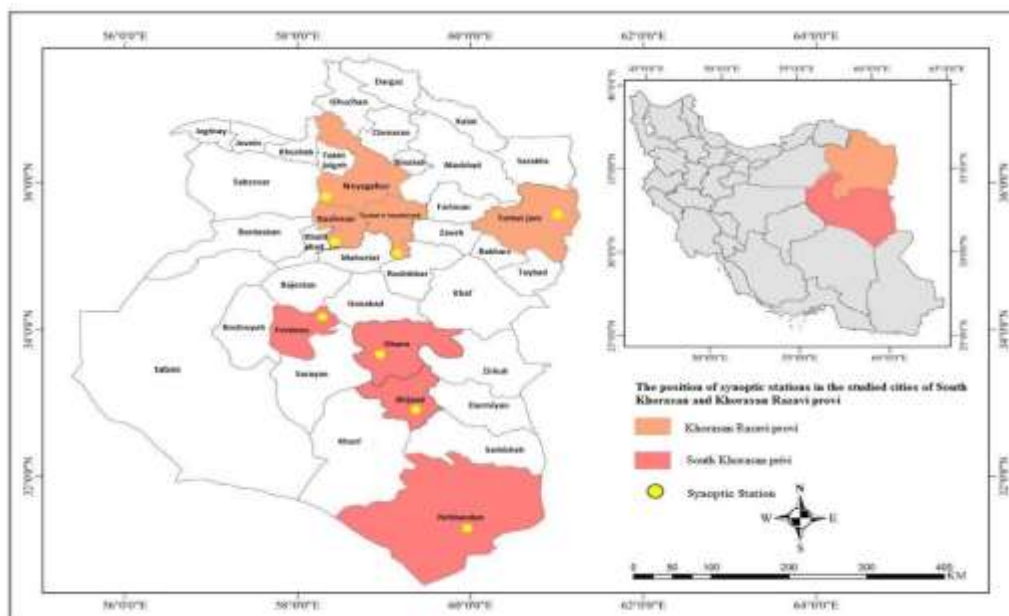
در پیش‌بینی عملکرد محصول زعفران، در پژوهشی عملکرد زعفران را با استفاده از داده‌های هواشناسی به کمک شبکه عصبی مصنوعی در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی، پیش‌بینی نموده‌اند. این مقاله کارایی مدل چند لایه پرسپترون شبکه عصبی، برای پیش‌بینی عملکرد محصول مورد ارزیابی قرار داده است. نتایج، نشان داده، حداکثر دما، بارندگی، تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی فصل پاییز و عملکرد سال قبل، به‌عنوان متغیرهای مستقل در پیش‌بینی عملکرد محصول بهترین نتیجه را نشان داده است (Nekouei et al., 2014).

در تحقیقی ریسک خشکسالی کشاورزی در استان کرمانشاه ارزیابی و برای تحلیل این ریسک و مقایسه آن در شهرستان‌های این استان، یک روش‌شناسی بر پایه آمار و اطلاعات کشت دیم گندم توسعه داده شده است. بدین منظور با استفاده از روش‌های رگرسیون و سیستم فازی-عصبی (ANFIS) مدلی برای برآورد عملکرد محصول با ورودی شاخص‌های خشکسالی تهیه‌شده که پس از بررسی‌های لازم، شاخص‌های خشکسالی Z-index و SPI به عنوان ورودی مدل ANFIS انتخاب گردیده است. سپس جهت برآورد توزیع احتمالاتی عملکرد، از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده و ریسک خشکسالی در شهرستان‌های منطقه مورد مطالعه که استان کرمانشاه بود، برآورد شده است. نتایج نشان داده که به‌طور نسبی شهرستان هرسین بیشترین و شهرستان سنقر کمترین ریسک را در مواجهه با خشکسالی دارا می‌باشد (Mirzae Nodushan et al., 2011).

در این تحقیق با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و بررسی آن در مناطق مختلف از کشور، مشخص شده است که شدت و وسعت خشکسالی در حال افزایش می‌باشد لذا شناسایی عوامل تشدیدکننده خشکسالی و پیش‌بینی زمان آن بسیار ضروری عنوان گردیده است.

در مباحث کشاورزی به‌دلیل مواجه بودن با عوامل طبیعی،

دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. سینوپتیک مورد استفاده در هر شهر را نشان می‌دهد. شکل ۱ موقعیت شهرهای مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک شهرهای مورد مطالعه استان‌های خراسان جنوبی و خراسان رضوی
Figure 1- The location of synoptic stations in the studied cities of South Khorasan and Khorasan Razavi provinces.

سینوپتیک تربت حیدریه، کاشمر، تربت‌جام و نیشابور از خراسان رضوی طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۹۳ استفاده شد. ۰۰ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

در این پژوهش به دلیل عدم وجود داده‌های کافی در کلیه شهرستان‌های استان‌های مورد مطالعه، از داده‌های بارش ساعتی و متوسط درجه‌حرارت روزانه، ۴ ایستگاه سینوپتیک بیرجند، قاین، فردوس و نهبندان از خراسان جنوبی و ۴ ایستگاه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در پژوهش
Table 1- Specifications of synoptic stations used in research

ردیف Row	ایستگاه Station	سال تاسیس Established year	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع ایستگاه Altitude (m)
1	بیرجند / Birjand	1334	'17°59	'53°32	1504
2	قاین / Ghaen	1364	'11°59	'44°33	1439
3	فردوس / Ferdos	1352	'11°58	'1°34	1292
4	نهبندان / Nehbandan	1364	'02°60	'32°31	1188
5	تربت حیدریه Torbat-e-heydariyeh	1336	'47°58	'59°34	1451
6	نیشابور / Neyshabur	1370	'07°58	'35°35	1213
7	کاشمر / Kashmar	1363	'58°57	'54°34	1093
8	تربت جام / Torbat-e-jam	1370	'18°61	'58°34	928

خراسان جنوبی و رضوی تهیه و داده‌های SPI برآورد شده است تا میزان و شدت فواصل زمانی رویداد خشکسالی مشخص گردد. توزیع گاما توسط تابع چگالی احتمال و با استفاده از روابط زیر تعریف می‌شود:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \tau^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (۱)$$

در این رابطه، α فاکتور شکل و β فاکتور اندازه می‌باشد و $\beta > 0, \alpha > 0$

$$\Gamma(a) = \int_0^\infty x^{a-1} e^{-x} dx \quad (۲)$$

$\Gamma(a)$ در رابطه بالا تابع گاما می‌باشد.

برای محاسبه SPI بایستی یک تابع چگالی احتمال گاما را به توزیع فراوانی مشخصی از مجموع بارش باران یک ایستگاه تبدیل نمود. از فرمول‌های زیر برای تخمین α و β استفاده می‌شود.

$$\dot{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (۳)$$

$$\dot{\beta} = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (۴)$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (۵)$$

n در اینجا تعداد مشاهدات بارش می‌باشد.

احتمال تجمعی داده‌ها نیز به روش ذیل محاسبه می‌گردد:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \dot{\alpha}^\alpha} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (۶)$$

$$\text{Letting } t = X/\beta \quad (۷)$$

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma \dot{\alpha}} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (۸)$$

لازم به توضیح است که تابع گاما برای $x = 0$ تعریف نشده است در حالی که توزیع بارندگی ممکن است دارای صفر باشد،

عملکرد زعفران در مناطق مذکور در طی دوره آماری مورد بررسی نیز از سایت سازمان جهادکشاورزی هر استان دریافت گردید.

خشکسالی و شاخص خشکسالی SPI

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت پارامترهای اقلیمی از جمله بارندگی و درجه حرارت در رشد گیاه و میزان تولید محصول در یک منطقه، سعی شده است که عملکرد محصول زعفران در هشت شهر مورد مطالعه با کمک شاخص‌های وابسته به این پارامترها مورد ارزیابی قرار گیرد. شاخص خشکسالی SPI دارای ویژگی‌های متعددی است که سادگی و انعطاف‌پذیری بالا، مزیت آن نسبت به دیگر شاخص‌ها می‌باشد (Dutta et al., 2015). در این تحقیق از بین شاخص‌های خشکسالی، شاخص بارش استاندارد (SPI) انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است. شاخص SPI، جهت پایش خشکسالی هواشناسی است که اساس آن احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی می‌باشد (McKee et al., 1993). شاخص بارش استاندارد شده از برازش توزیع گاما بر مقادیر بارندگی سالانه یا مجموع بارندگی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه به دست می‌آید. با فرض پیروی مقدار بارندگی از توزیع گاما، گام بعدی در محاسبه‌ی شاخص SPI، انتقال احتمال تجمعی به دست آمده از توزیع گاما به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف از معیار یک می‌باشد. در واقع SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد، که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از توزیع گامای به دست آمده، مساوی باشد (Mosaedi & Ghabaei sogh, 2012). طبق این روش دوره‌ی خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت گردد. داده‌های بارش باران ماهانه از اداره هواشناسی استان

تقلید می‌کند (Khashei-siuki, 2011). این سیستم‌های مبتنی بر هوش محاسباتی، سعی در مدل‌سازی ساختار نرو سیناپتیکی مغز بشر دارند. ایده اصلی این روش بر مبنای شبیه‌سازی عملکرد مغز انسان بوده و می‌تواند در مقیاس خیلی کوچک مانند شبکه‌های زیستی، یادگیری داشته باشد و این یادگیری را تعمیم دهد (Nekouei et al, 2014). شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (MLP)، یکی از شبکه‌های پرکاربرد در پیش‌بینی و حل مسایل غیر خطی می‌باشد (Coulibaly et al., 1999). ساختار کلی این شبکه عصبی مصنوعی از سه لایه با وظایف مجزا شامل لایه ورودی، میانی و خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی، با نقش توزیع داده‌ها در شبکه تعریف شده است؛ لایه میانی یا پنهان، عمل پردازش اطلاعات را برعهده دارد و لایه خروجی، علاوه بر پردازش، به ازای بردار ورودی شبکه، نتایج و خروجی آن را نشان می‌دهد (Akbarpour et al., 2013).

شبکه عصبی در زمینه‌های مختلف از جمله منابع آب به‌طور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است و قادر به حل مشکلات پیچیده غیرخطی می‌باشد (Khashei-siuki, 2011). در این پژوهش از این روش جهت ایجاد ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته در محیط MATLAB استفاده شده است. تعداد نورون‌های لایه ورودی قابل تغییر است اما تعداد نورون‌های خروجی را نمی‌توان تغییر داد و مقدار نورون‌های آن همواره برابر تعداد خروجی‌ها است.

با افزایش تعداد داده‌ها و یا تغییر تعداد نورون‌ها می‌توان دقت روش را بالاتر برد و نتیجه بهتری را بدست آورد اما افزایش بیش از حد تعداد نورون‌ها نیز سبب ایجاد نوسان می‌شود. در این پژوهش از یک شبکه ۲ لایه با تعداد نورون‌های لایه پنهان ۱۰ استفاده می‌گردد.

برای صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از روش شبکه عصبی از شاخص‌های آماری ذیل استفاده شده است.

لذا احتمال تجمعی با استفاده از روش ذیل به متغیر تصادفی نرمال استاندارد شده تبدیل می‌شود:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (9)$$

در این رابطه q احتمال صفر شدن را نشان می‌دهد به طوری که اگر m تعداد صفر بودن بارش در نظر گرفته شود، q برابر با $\frac{m}{n}$ خواهد بود. بنابراین احتمال تجمعی $H(x)$ به متغیر تصادفی نرمال استاندارد شده که همان مقدار SPI می‌باشد، تبدیل می‌شود (Shaha et al, 2015). در روش SPI خشکسالی با توجه به محدوده‌های ذیل طبقه‌بندی می‌شود:

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی SPI

Table 2- SPI drought index classification

ردیف	طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار SPI
row	Drought category	SPI value
1	فوق‌العاده مرطوب Extremely wet	$2.0 \leq$
2	خیلی مرطوب Very wet	1.5-1.99
3	کمی مرطوب Moderately wet	1.0-1.49
4	نرمال Near normal	-0.99 to 0.99
5	خشکسالی ملایم Moderately dry	-1.0 to -1.49
6	خشکسالی شدید Very dry	-1.5 to -1.99
7	خشکسالی بسیار شدید Extremely dry	$2.0 \geq$

لازم به توضیح است که در این پژوهش برای محاسبه SPI ابتدا داده‌های میلادی بارندگی ساعتی به مجموع بارندگی ماهانه شمسی تبدیل و سپس از نرم‌افزار DIP استفاده شده است.

جعبه‌ابزار (Toolbox) شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در

MATLAB

شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)

شکلی از هوش مصنوعی است که برخی از توابع مغز انسان را

مبتنی بر خلق دوباره و مجازی به کمک فرایندی تصادفی (معمولاً توسط یک کامپیوتر) است که بارها اجرا می‌شود و نتایج در آن به‌طور مستقیم قابل مشاهده است (Barreto & Howland, 2005). این روش، این امکان را می‌دهد که تمام نتایج ممکن یک تصمیم را مشاهده و تأثیر خطرات آن را ارزیابی کنیم، و در نتیجه اجازه می‌دهد تصمیم‌گیری بهتر با عدم قطعیت کمتر داشته باشیم.

در این پژوهش مراحل محاسبه ریسک با استفاده از روش مونت کارلو به‌صورت زیر صورت گرفته است:

- ۱- تعیین توزیع احتمال تجمعی برای متغیر عملکرد،
- ۲- شبیه‌سازی فرضی برای متغیرهای دما و SPI، به این معنی که براساس فرایند ایجاد اعداد تصادفی، مقادیری برای متغیرها به کمک یک نرم‌افزار (در این مطالعه، MATLAB 2015) ایجاد یا تولید شده است.
- ۳- محاسبه و تعیین مقدار متغیر عملکرد از روی متغیرهای شبیه‌سازی شده دما و SPI،
- ۴- تکرار مراحل ۲ و ۳ برای سناریوسازی و بررسی همه‌ی حالات ممکن،
- ۵- مقایسه‌ی مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی و ارزیابی ریسک.

برای تولید داده‌های تصادفی در این پژوهش، از مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد، از روش مونت کارلو استفاده شد. که با توجه به توانایی بسیار بالا در شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آن‌ها وجود دارد، و قدرت شبیه‌سازی مناسب داده‌ها برای همه گزینه‌های ممکن، نسبت به سایر روش‌های موجود، برای محاسبه خطر خشکسالی در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اساس شبیه‌سازی روش مونت کارلو، نمایش ترکیبات تصادفی حالات ممکن از عدم قطعیت‌هایی است که در یک فرایند رخ می‌دهد. (Mirzae Nodushan et al., 2011). برای

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$RMSE = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - P_i| \quad (12)$$

در این روابط

R^2 : ضریب تعیین (Determination Coefficient)

RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا (Root Mean

Square Error)

MAE: میانگین کامل خطا (Mean Absolute Error)

N: تعداد مشاهدات

P_i : مقادیر تخمین زده شده

O_i : مقادیر مشاهده شده

\bar{P} و \bar{O} : به ترتیب میانگین‌های P_i و O_i می‌باشند.

۸۵ درصد از داده‌های SPI و دما برای هشت ایستگاه مورد مطالعه به‌عنوان ورودی شبکه و عملکرد متناظر سال زراعی، برای هشت ایستگاه، به‌عنوان داده خروجی استفاده می‌شوند. و ۱۵ درصد داده باقی‌مانده به‌عنوان تست، به شبکه داده می‌شود و عملکرد به‌دست آمده با عملکرد واقعی مقایسه می‌گردد.

روش شبیه‌سازی مونت کارلو

تجزیه و تحلیل ریسک، بخشی از تصمیماتی است که گرفته می‌شود. عدم اطمینان، ابهام و تغییرپذیری مواردی است که به‌طور مداوم در مسائل مختلف مطرح می‌باشد و حتی با وجود دسترسی بی‌سابقه به اطلاعات، نمی‌توان آینده را دقیقاً پیش‌بینی نمود.

در روش شبیه‌سازی مونت کارلو، لغت شبیه‌سازی بر ایجاد یک مدل مجازی از سیستمی واقعی برای مطالعه و درک سیستم دلالت می‌کند و عبارت «مونت کارلو» نیز به استفاده از اعداد تصادفی اشاره دارد. شبیه‌سازی مونت کارلو روش تجزیه و تحلیل

ایستگاه مورد نظر می‌باشد.

برای هر مکان، مقادیر RF نشان‌دهنده میزان ریسک عملکرد آن ایستگاه نسبت به ایستگاه مرجع است. در زمینه عملکرد کشاورزی، مناطقی بیشترین ریسک را دارند که احتمال عملکرد پایین‌تر از میانگین آن‌ها بیشتر باشد. مقادیر مثبت RF زمانی که عملکرد، پایین‌تر از میانگین باشد، ریسک بیشتری را نشان می‌دهد زیرا احتمال بیشتری برای دستیابی به عملکرد پایین در مقایسه با ایستگاه مرجع وجود دارد. مقادیر منفی RF، هنگامی که عملکرد، بالاتر از میانگین باشد، نشان می‌دهد که ریسک پایین‌تر است، زیرا احتمال بیشتری برای رسیدن به عملکرد بالاتر از میانگین در مقایسه با سناریو مرجع وجود دارد.

نتایج و بحث

در ادامه به ارائه نتایج به‌دست آمده از این پژوهش پرداخته می‌شود.

تبدیل داده‌های بارندگی به SPI

تبدیل داده‌های بارندگی به شاخص خشکسالی SPI انجام شد و درصد فراوانی و شدت وقوع خشکسالی و ترسالی طی سال‌های زراعی ۱۳۶۸ لغایت ۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های SPI ۱۲ ماهه مربوط به مناطق مورد مطالعه و نمودارهای شاخص خشکسالی مربوطه به تفکیک برای شهرهای بیرجند، قاین، فردوس، نهبندان، تربت‌حیدریه، تربت‌جام، نیشابور و کاشمر در شکل ۳ تا شکل ۹ ارائه شده است. در این شکل‌ها، سال‌های مورد بررسی بر روی محور افقی و مقدار شاخص SPI بر روی محور قائم نشان داده شده‌اند.

محاسبه ریسک در هر شهرستان و مقایسه بین آن‌ها، یکی از شهرستان‌ها که به تابع توزیع نرمال نزدیک‌تر است به‌عنوان مرجع انتخاب می‌شود و بر اساس آن ریسک نسبی دیگر شهرستان‌ها نیز تعیین می‌گردد (Quiroga & Iglesias, 2007).

ساخت داده‌های تصادفی

برای ساخت داده‌های تصادفی ابتدا با استفاده از دستور `dhsnorm` ۲۰۰۰ داده‌ی تصادفی با توزیع نرمال برای SPI و با استفاده از دستور `unifrand` ۲۰۰۰ داده‌ی تصادفی با توزیع یکنواخت برای میانگین دمای ماهانه هر ایستگاه در MATLAB تولید می‌گردد. در دستور `dhsnorm` جهت تولید تصادفی از داده‌های موجود (SPI ماهانه)، میانگین و انحراف معیار مورد استفاده قرار می‌گیرد و داده‌های تصادفی تولید شده از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. دستور `unifrand` برای انتخاب تصادفی داده‌ها از داده‌های موجود (میانگین دمای ماهانه)، از ماکزیمم و مینیمم استفاده می‌کند به صورتی که داده‌ها از توزیع یکنواخت برخوردارند.

عامل ریسک

در این پژوهش، محاسبه فاکتور ریسک ابتدا با انتخاب یکی از شهرستان‌ها به‌عنوان مرجع انجام شد. پس از انتخاب شهرستان مرجع، بر اساس رابطه زیر ریسک نسبی در دیگر شهرستان‌ها تعیین می‌گردد:

$$RF_i = \log_{10} (EPCF_i / EPCF_r) \quad (13)$$

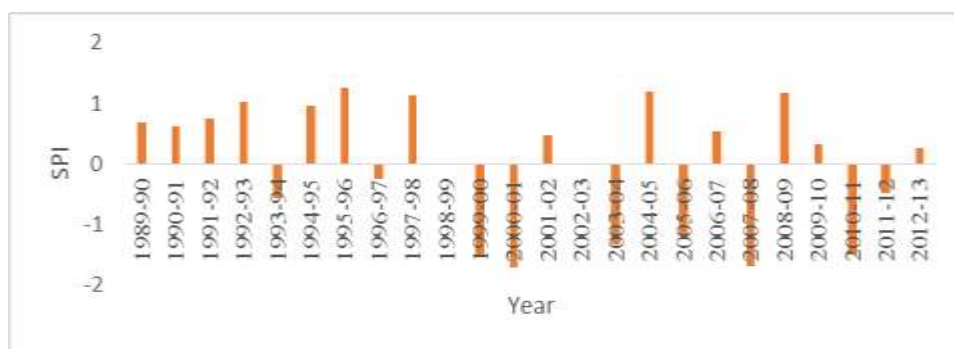
در این رابطه:

RF: فاکتور ریسک

EPCF_r: توزیع احتمالی تجمعی متغیر عملکرد برای ایستگاه

مرجع

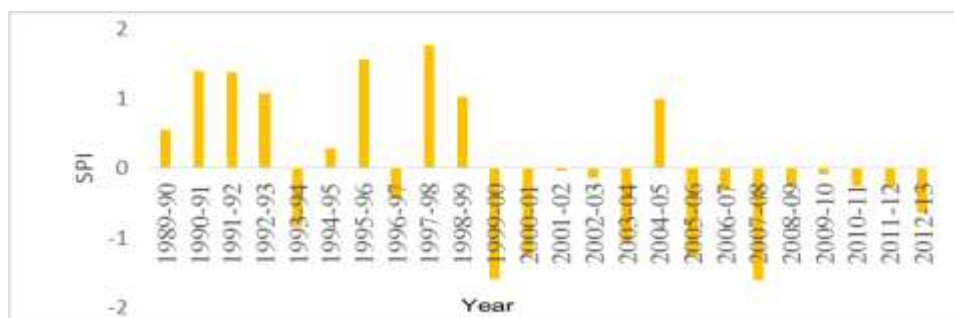
EPCF_i: توزیع احتمالی تجمعی متغیر عملکرد برای



شکل ۲- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه بیرجند
Figure 2- 12-months SPI drought index for Birjand.

شکل ۳ نمودار میله‌ای شاخص SPI ۱۲ ماهه ایستگاه قاین را نمایش می‌دهد.

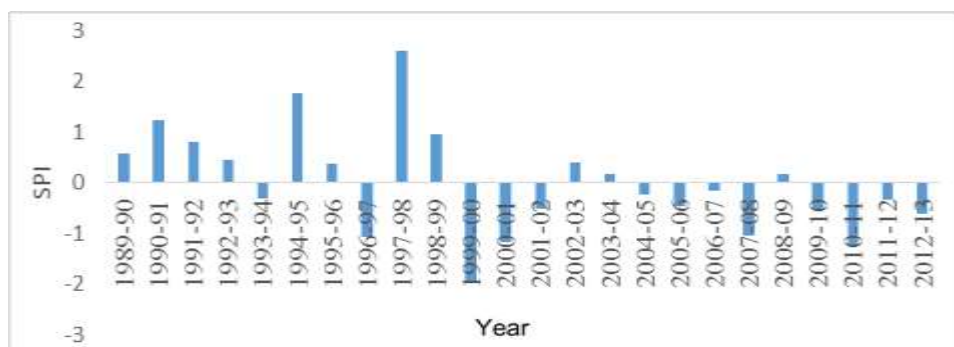
مطابق شکل ۲، ۵۴ درصد از ۲۳ سال مورد بررسی در محدوده نرمال، ۲۵ درصد در محدوده خشکسالی و ۲۱ درصد در محدوده ترسالی قرار دارد.



شکل ۳- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه قاین
Figure 3- 12-months SPI drought index for Ghaen.

در محدوده ترسالی قرار دارد.

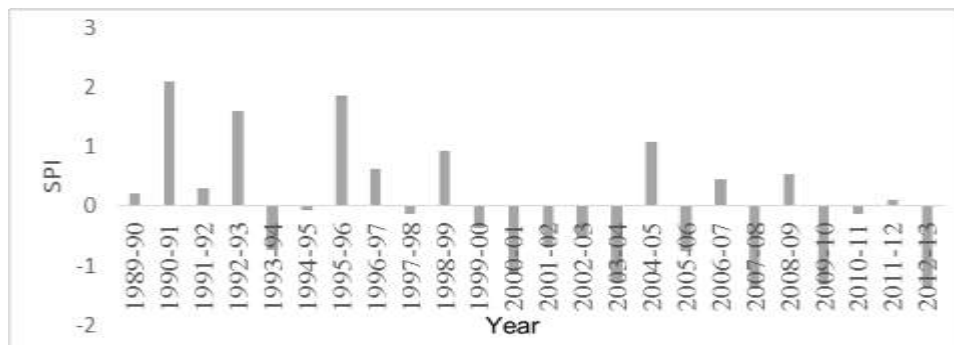
مشخص است که در طول ۲۳ سال مورد بررسی ۵۴ درصد در محدوده نرمال، ۲۱ درصد در محدوده خشکسالی و ۲۵ درصد



شکل ۴- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه فردوس
Figure 4- 12-months SPI drought index for Ferdows.

بررسی در محدوده نرمال، ۲۱ درصد در محدوده خشکسالی و ۱۳ درصد در محدوده ترسالی می‌باشد.

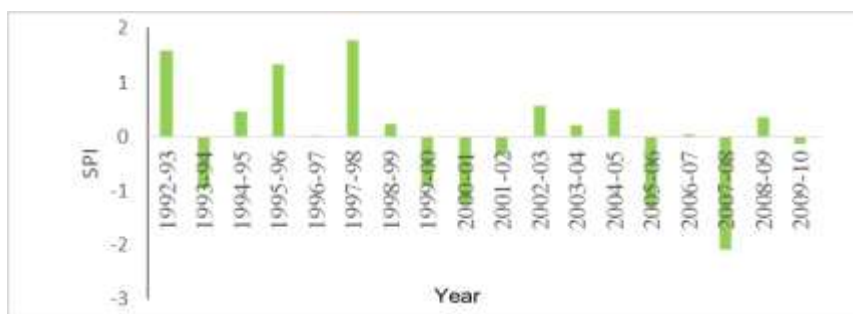
در بررسی نمودار میله‌ای SPI ایستگاه فردوس همانطور که در شکل ۴ نیز مشخص است، ۶۷ درصد از سال‌های مورد



شکل ۵- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه نهبندان
Figure 5- 12-months SPI drought index for Nehbandan.

۲۳ سال مورد بررسی در محدوده نرمال، ۲۱ درصد در محدوده خشکسالی و ۱۷ درصد در محدوده ترسالی قرار دارد.

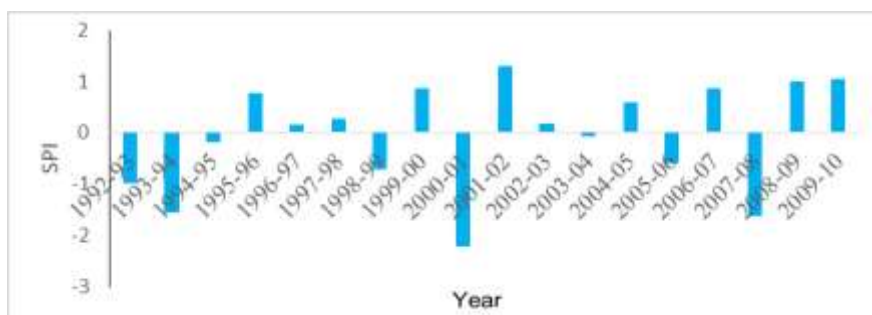
نمودار شاخص خشکسالی باران استاندارد شده ۱۲ ماهه ایستگاه نهبندان در شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که ۶۲ درصد از



شکل ۶- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه تربت حیدریه
Figure 6- 12-months SPI drought index for Torbat heydariyeh.

محدوده نرمال و به‌طور برابر، ۱۷ درصد در محدوده خشکسالی و ترسالی قرار دارد.

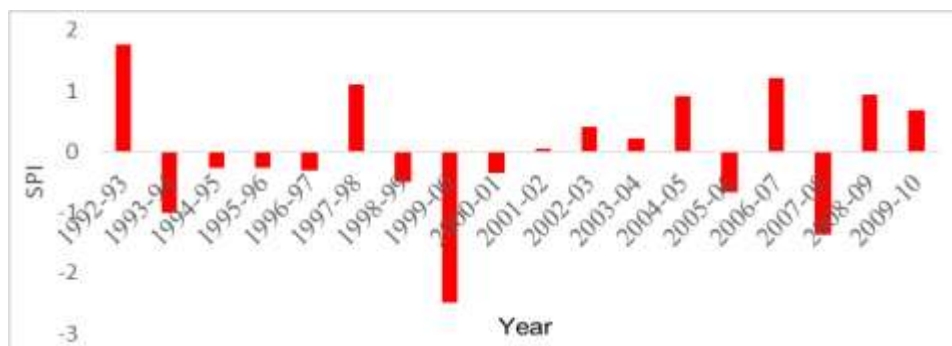
نمودار میله‌ای شاخص SPI ۱۲ ماهه ایستگاه تربت حیدریه در شکل ۶ نشان می‌دهد ۶۷ درصد از ۱۸ سال مورد بررسی در



شکل ۷- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه تربت جام
Figure 7- 12-months SPI drought index for torbat Jam.

نرمال، ۱۷ درصد در محدوده خشکسالی و ۱۱ درصد در محدوده ترسالی می‌باشد.

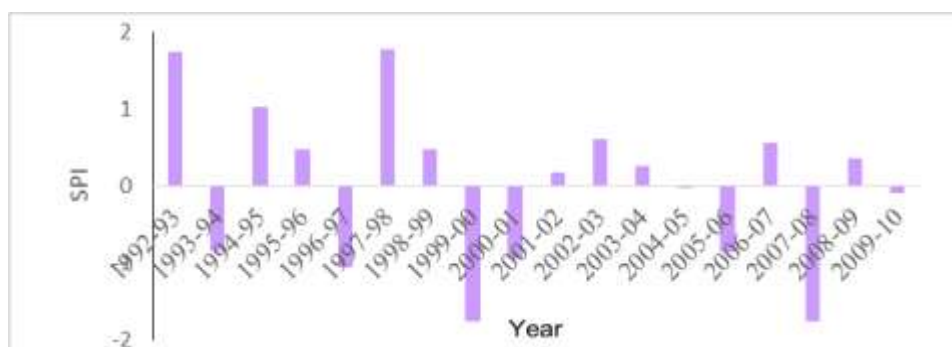
داده‌های SPI ۱۲ ماهه ایستگاه تربت‌جام در شکل ۷ نیز نشان می‌دهد، ۷۲ درصد از سال‌های مورد بررسی در محدوده



شکل ۸- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه نیشابور
Figure 8- 12-months SPI drought index for Neyshabur.

در محدوده خشکسالی و ۱۷ درصد در محدوده ترسالی قرار دارد.

شکل ۸، SPI ۱۲ ماهه ایستگاه نیشابور را نشان می‌دهد که ۷۲ درصد از ۲۳ سال مورد بررسی در محدوده نرمال، ۱۱ درصد



شکل ۹- نمودار شاخص خشکسالی SPI ۱۲ ماهه ایستگاه کاشمر
Figure 9- 12-months SPI drought index for Kashmar.

خشکسالی‌های شدید با شدت‌های بین ۰ تا ۱۳ درصد و در مرحله آخر خشکسالی‌های بسیار شدید قرار دارد که بین صفر تا ۶ درصد از کل سال‌های زراعی را شامل می‌شود. از بررسی این جدول مشاهده می‌شود درصد فراوانی خشکسالی‌های بسیار شدید در چهار ایستگاه خراسان رضوی برابر ۶ درصد می‌باشد که این حدودا برابر با یک سوم از کل خشکسالی‌های اتفاق افتاده در این استان می‌باشد در صورتی که در خراسان جنوبی هیچ

SPI ۱۲ ماهه ایستگاه کاشمر در شکل ۹ مشخص می‌باشد. ۶۷ درصد از ۱۸ سال مورد بررسی در محدوده نرمال و به طور برابر، ۱۷ درصد در محدوده خشکسالی و ترسالی قرار دارد. نتایج SPI سالانه ایستگاه‌ها در ۰ جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که از بررسی جدول ۳ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین فراوانی بعد از محدوده نرمال، مربوط به خشکسالی‌های ملایم با شدت‌های متفاوت بین ۰ تا ۲۱ درصد می‌باشد و در رتبه بعد

بر اساس تقسیمات شاخص استاندارد بارش، زمانی خشکسالی رخ می‌دهد که SPI کمتر از -0.99 باشد، لذا با در نظر گرفتن این مقدار، حداقل میزان بارش لازم جهت شکل‌گیری خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. آستانه بحران خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه گردیده است.

خشکسالی بسیار شدیدی رخ نداده است و با وجود اینکه فراوانی خشکسالی در این استان دو برابر خراسان رضوی بوده است، ۵۰ تا ۱۰۰ درصد خشکسالی‌ها در چهار ایستگاه خراسان جنوبی، در محدوده خشکسالی ملایم بوده است. به نظر می‌رسد دلیل این تفاوت، آستانه بحران خشکسالی بسیار متفاوت در این دو استان باشد.

جدول ۳- فراوانی و شدت وقوع خشکسالی و ترسالی براساس تقسیم‌بندی شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Table 3- Frequency and severity of drought and drought based on the split of SPI index in the studied stations

ایستگاه- Station	خشکسالی بسیار شدید- Extremely dry		خشکسالی شدید- Very dry		خشکسالی ملایم- Moderately dry		نرمال -Near normal		کمی مرطوب - Moderately wet		خیلی مرطوب - Very wet		فوق العاده مرطوب - Extremely wet	
	فراوانی	%	فراوانی	%	فراوانی	%	فراوانی	%	فراوانی	%	فراوانی	%	فراوانی	%
	Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%
بیرجند /Birjand	0	0	3	13	3	13	13	54	5	21	0	0	0	0
قاین /Ghaen	0	0	2	8	3	13	13	54	4	17	2	8	0	0
فردوس /Ferdos	0	0	1	4	4	17	16	67	1	4	1	4	1	4
نهبندان /Nehbandan	0	0	0	0	5	21	15	63	1	4	2	8	1	4
ترت‌حیدریه Torbat-e- heydariyeh	1	6	0	0	2	11	12	67	1	6	2	11	0	0
نیشابور /Neyshabur	1	6	2	11	0	0	13	72	2	11	0	0	0	0
کاشمر /Kashmar	1	6	0	0	1	6	13	72	2	11	1	6	0	0
ترت‌جام /Torbat-e- jam	0	0	2	11	1	6	12	67	1	6	2	11	0	0

جدول ۴- آستانه بحران خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4- Drought crisis thresholds at study stations

Khorasan Razavi خراسان رضوی -		southern Khorasan خراسان جنوبی -	
آستانه خشکسالی (mm) Drought Thresholds	ایستگاه Station	آستانه خشکسالی (mm) Drought Thresholds	ایستگاه Station
169	Torbat-e-heydariyeh / ترت-حیدریه	90	Birjand / بیرجند
220	Neyshabur / نیشابور	100	Ghaen / قاین
127	Kashmar / کاشمر	85	Ferdos / فردوس
199	Torbat-e-jam / ترت-جام	46	Nehbandan / نهبندان

می‌شود. برای نمونه ایستگاه کلانی در استان فارس با بالاترین آستانه بحران، نسبت به ایستگاه آباده با کمترین آستانه بحران، دارای خشکسالی بیشتری است. در این پژوهش نیز همان‌طور

نتایج به‌دست آمده در پژوهش‌های شاهیان و همکاران (Shahiyan et al, 2009) نشان داد آستانه بحران خشکسالی بالا در یک محدوده سبب ایجاد خشکسالی‌های بیشتر و شدیدتر

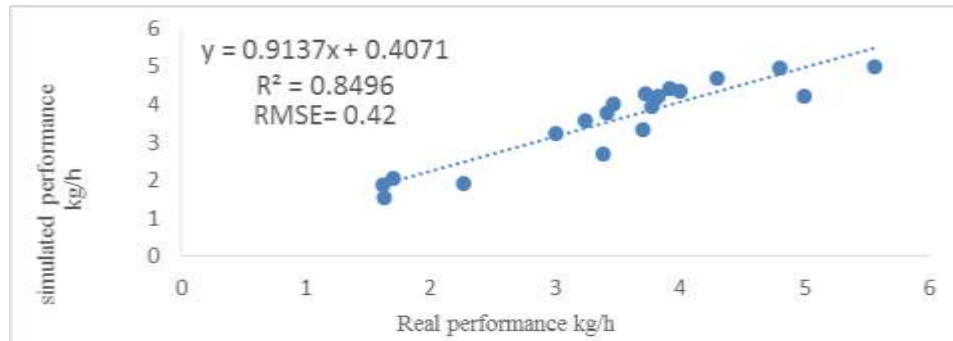
شرکت داده شده است. تعداد لایه پنهان و نرون در این مدل به- ترتیب ۱ و ۱۰ می‌باشد که این تعداد بر اساس آزمون و خطا انتخاب گردیده است.

شبکه‌عصبی مصنوعی با سناریوهای ماهانه، چهار فصل، سه فصل (پاییز و زمستان و بهار) و دو فصل پاییز و زمستان، اجرا و مورد بررسی قرار گرفته است. جهت صحت‌سنجی شبکه پرسپترون به منظور مقایسه کمی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده در سناریوهای مطرح، شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2) ، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه و سناریو ماهانه با ضریب تعیین $0/85$ و ریشه میانگین مربعات $0/42$ ، بهترین نتیجه را کسب نموده است. مقایسه نتایج واقعی و پیش‌بینی شده در سناریو ماهانه، در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

که مشاهده می‌شود، آستانه بحران خشکسالی در استان خراسان جنوبی، بین ۴۶ تا ۹۰ میلی‌متر و در استان خراسان- رضوی بین ۱۶۹ تا ۲۲۰ میلی‌متر تعیین گردیده است که می‌تواند دلیل عدم وجود خشکسالی‌های بسیار شدید و وجود ترسالی‌های بسیار شدید در چهار ایستگاه خراسان جنوبی باشد.

نتایج پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی

در این بخش شبکه پرسپترون چند لایه در محیط MATLAB اجرا می‌شود و مکانیزم عملکرد محصول با استفاده از داده‌های شاخص خشکسالی SPI و میانگین دمای ماهانه با سیستم شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی گردیده است. تابع غیرخطی سیگموئید به‌عنوان تابع تبدیل شبکه، مورد استفاده قرار گرفته است و ۷۰ درصد داده‌ها در آموزش شبکه، ۱۵ درصد در اعتبارسنجی و ۱۵ درصد باقی‌مانده به‌منظور ارزیابی مدل



شکل ۱۰- مقایسه نتایج واقعی با نتایج مدل

Figure 10- Compare actual results with model results.

نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو ساخت داده‌های تصادفی

مقدار ۲۰۰۰ داده تصادفی تولید و به‌عنوان ورودی به سیستم شبکه عصب مصنوعی که قبلاً آموزش داده شده وارد و ۲۰۰۰ داده عملکرد به‌عنوان خروجی برنامه تولید شد. این مدل برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه اجرا گردید.

نتایج به‌دست آمده از این مدل، نشان داد که عملکرد محصول زعفران ارتباط مناسبی با شاخص بارش استاندارد ماهانه و میانگین دمای ماهانه دارد و شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های ورودی به‌طور صحیح آموزش دیده است و می‌توان با داده‌های مناسب SPI و دما، عملکرد را پیش‌بینی نمود.

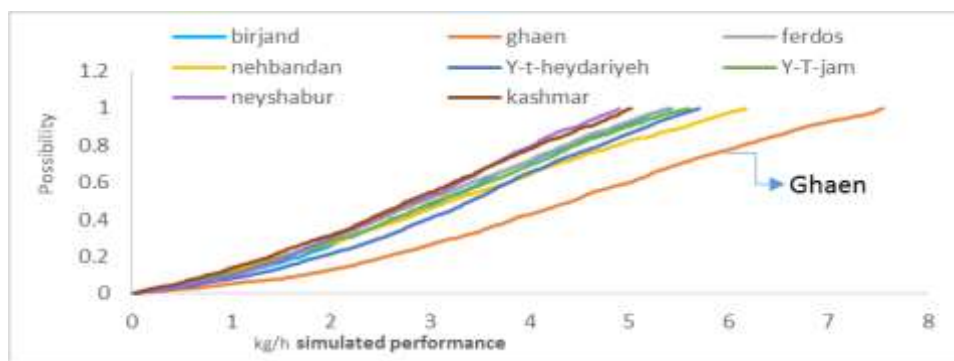
توزیع احتمال تجمعی عملکرد واقعی و استاندارد شده

بر اساس مدل ساخته شده از داده‌های تولید شده بر اساس روش مونت کارلو، سری جدید عملکرد زعفران برای هر یک از ایستگاه‌ها حاصل شده و توزیع فراوانی تجمعی آنها جهت تعیین احتمال فراوانی رخدادهای به دست آمده است (شکل ۱۱). همانطور که در شکل مشخص است، عملکردهای ایستگاه‌ها قاین در محدوده بالاتری نسبت به دیگر ایستگاه‌ها شبیه‌سازی شده‌اند که این با نمودار تجمعی عملکردهای واقعی هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که اعداد شبیه‌سازی شده به واقعیت نزدیک و روش مونت کارلو به درستی انجام گرفته است.

هم‌چنین به دلیل مقایسه‌ی عملکرد ایستگاه‌های مختلف با حذف تفاوت‌های منطقه‌ای، توزیع استاندارد عملکرد نیز محاسبه گردیده است (شکل ۱۳). عملکرد استاندارد در محور افقی نمودار ارزیابی ریسک، این امکان را فراهم می‌کند که فاکتور ریسک در شرایط یکسان شده برای تمامی ایستگاه‌ها، مقایسه شود.

تولید عملکرد شبیه‌سازی شده

نتایج به دست آمده از اجرای این مدل همبستگی پایینی نشان داده است، که دلیل آن ارتباط بین دما و بارش استاندارد شده می‌باشد. داده‌های تصادفی تولید شده با وجود رعایت ماکزیمم و مینیمم در هر ماه و داده‌های تصادفی SPI با رعایت میانگین و واریانس در تولید داده، محدودیت قرار گرفتن در کنار یکدیگر در طول یک سال را دارند، به طوری که در برخی سال‌های تولید شده، مقدار دما و SPI منطقی و نزدیک به واقعیت نمی‌باشد و این امر سبب می‌شود با وجود آموزش صحیح مدل، خروجی پرت و غیر منطقی تولید گردد. برای جلوگیری از این خطا، ابتدا، ارتباط بین دما و SPI به شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده می‌شود به طوری که داده‌های SPI به عنوان ورودی و دما به عنوان خروجی به شبکه وارد گردند. سپس با دادن ۲۰۰۰ داده‌ی تصادفی SPI، داده‌های دمای متناظر آن تولید می‌شود. به این ترتیب خطای تولید عملکرد زعفران با استفاده از داده‌های تصادفی بسیار کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱- نمودار توزیع احتمال تجمعی عملکردهای شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 11- Cumulative likelihood distribution graph of simulated performance of studied stations.

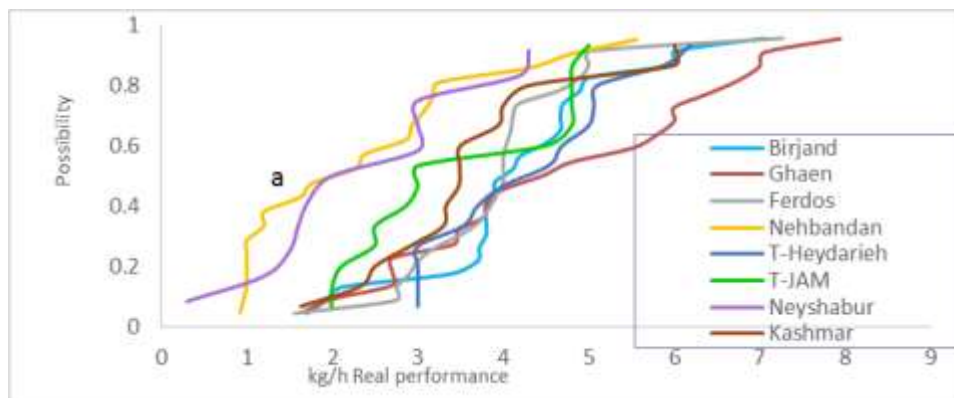
محاسبه شاخص ریسک

مرجع انتخاب شد. این روش انتخاب را گویروگا و ایگلسیاس (Quiroga & Iglesias, 2007) و میرزایی ندوشن (Mirzaei Nadooshan et al., 2011) استفاده نموده‌اند. پس از انتخاب ایستگاه مرجع، فاکتور ریسک از لگاریتم مبنای ده عملکرد

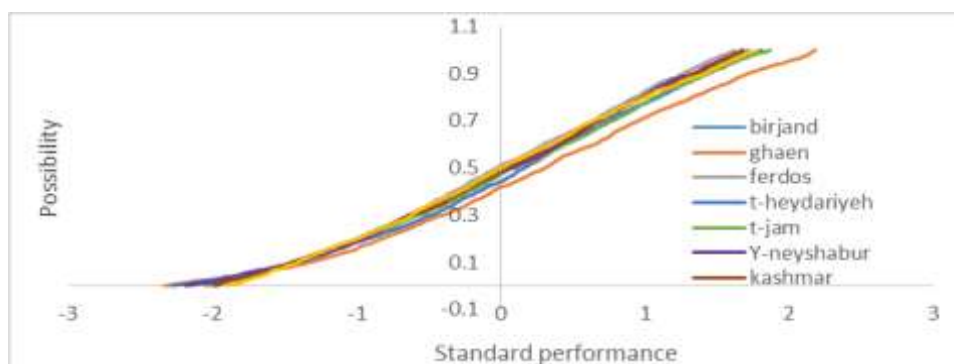
برای به دست آوردن مقدار ریسک در هر ایستگاه و مقایسه آنها، یکی از ایستگاه‌ها به عنوان مرجع انتخاب شد. در این پژوهش ایستگاه تربت حیدریه به دلیل اینکه منحنی عملکرد استاندارد آن به توزیع نرمال نزدیک‌تر است به عنوان ایستگاه

ثابت فاکتور ریسک در دو حالت عملکرد کمتر از میانگین و بیشتر از میانگین متفاوت است، جهت تحلیل صحیح نمودارهای ریسک شکل ۱۴ از ۰ استفاده می‌شود.

ایستگاه مورد نظر بر عملکرد ایستگاه مرجع برای همه‌ی ایستگاه‌ها محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از عملکردهای استاندارد در محور افقی و فاکتور ریسک در محور قائم، نمودارهای ریسک نسبی به‌دست آمد. با توجه به اینکه مقدار



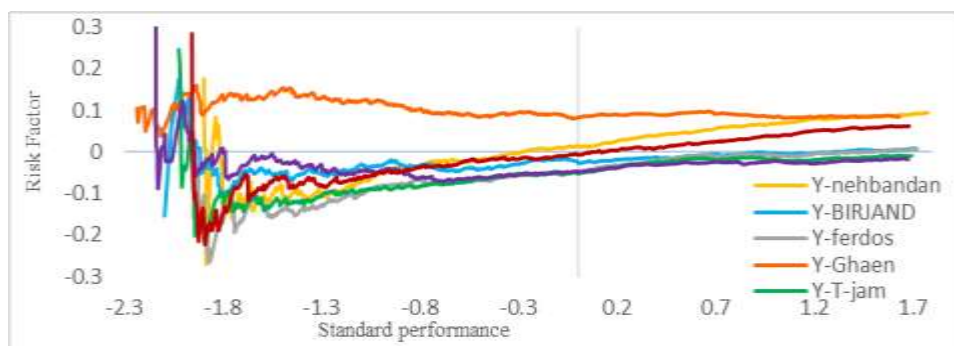
شکل ۱۲. نمودار توزیع احتمال تجمعی عملکردهای واقعی ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 12- Cumulative probability distribution graph of real functions studied stations



شکل ۱۳- نمودار توزیع احتمال تجمعی استاندارد ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 13- Standard cumulative probablistic distribution criteria for student stations.

جدول ۵- ارزیابی کیفی ریسک نسبی عملکرد
Table 5- Qualitative assessment of relative performance risk

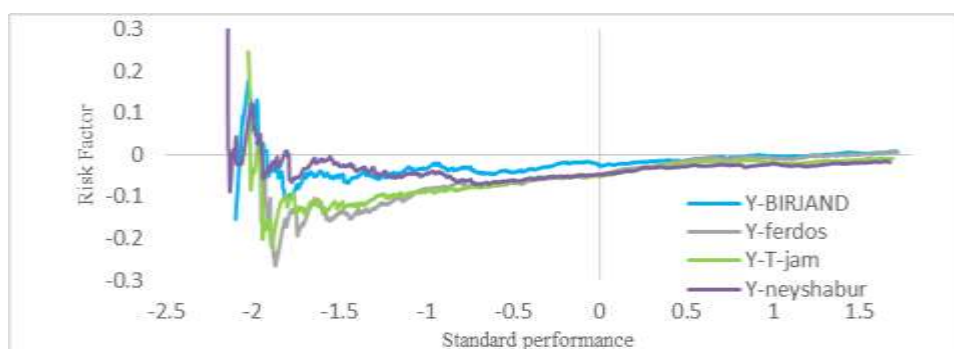
مقدار ریسک Risk value	عملکرد استاندارد Standard performance	فاکتور ریسک Risk factor
ریسک بسیار زیاد Excessive risk	< 0	> 0
ریسک زیاد High risk	< 0	< 0
ریسک کم Low risk	> 0	< 0
ریسک بسیار کم Very low risk	> 0	> 0



شکل ۱۴- نمودار ریسک نسبی ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 14- Relative risk graph of studied stations.

بالاتر از میانگین می‌رسد کمی ریسک را نسبت به قبل بالاتر می‌آورد زیرا اگر چه عملکرد این چهار ایستگاه از عملکرد مرجع کمتر است، احتمال عملکرد بالاتر از میانگین در آن بالاتر می‌باشد. با توجه به نمودارها، شهر نیشابور و بیرجند به دلیل فاکتور ریسک بالاتر در یک مقدار عملکرد استاندارد مشخص، نسبت به تربت‌جام و فردوس، دارای ریسک نسبی بالاتری می‌باشند.

با توجه به شکل ۱۵، نمودارهای ایستگاه‌های بیرجند، فردوس، تربت‌جام و نیشابور تقریباً مشابه می‌باشد. در ابتدای نمودار، احتمال بالایی از عملکرد پایین‌تر از میانگین را نشان می‌دهد که نشانه ریسک بسیار بالا در این ایستگاه‌ها می‌باشد اما در ادامه فاکتور ریسک زمانی که عملکرد پایین‌تر از میانگین است کم می‌شود که نشانه ریسک پایین در ایستگاه‌های مذکور می‌باشد. اما از جایی که فاکتور ریسک منفی، به محدوده عملکرد



شکل ۱۵- نمودار ریسک سه ایستگاه بیرجند، تربت‌جام و فردوس در مقایسه با ایستگاه مرجع

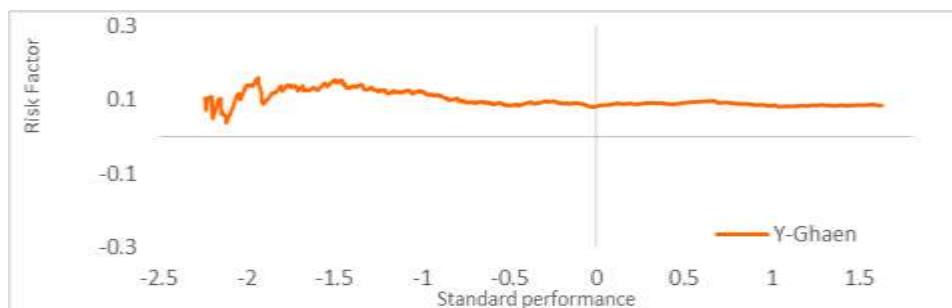
Figure 15- Risk chart for three stations in Birjand, Torbat Jam and Ferdows compared to the reference station.

است که انتظار می‌رود محصولات در قاین، یکنواخت‌تر از ایستگاه‌های دیگر باشد.

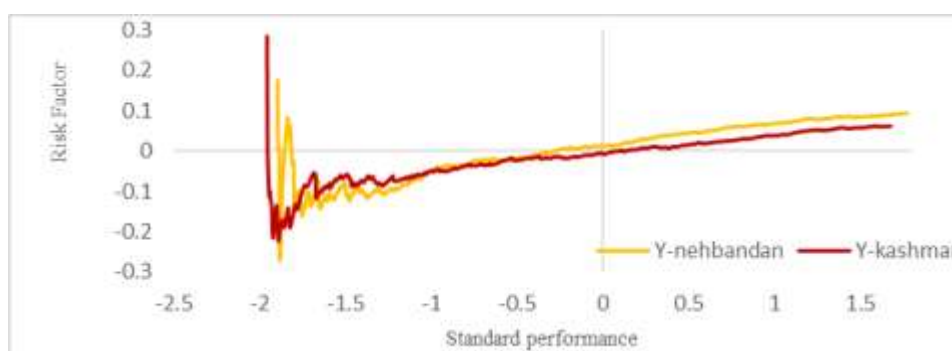
نمودار ایستگاه‌های نهبندان و کاشمر در شکل ۱۷ نسبتاً مشابه می‌باشد. گستردگی نمودار در نیمه اول و سوم دستگاه مختصات، نشان دهنده ریسک نسبی پایین در این دو ایستگاه

نمودار ایستگاه قاین در شکل ۱۶ نشان می‌دهد که فاکتور ریسک در عملکردهای کمتر از میانگین بسیار بالاست و این به معنی ریسک بالای این ایستگاه نسبت به ایستگاه مرجع می‌باشد. اما در مقابل، احتمال عملکرد بالاتر از میانگین نیز بالا می‌باشد که ریسک را در این ایستگاه پایین می‌آورد. این نتایج به این معنی

می‌باشد. ایستگاه کاشمر نسبت به نهبندان ریسک بالاتری دارد زیرا در عملکرد استاندارد برابر، فاکتور ریسک نهبندان بالاتر است. پس احتمال عملکرد بالاتر از میانگین نسبت به ایستگاه مرجع، بالاتر است.



شکل ۱۶. نمودار ریسک ایستگاه قاین در مقایسه با ایستگاه مرجع
Figure 16- Ghaen stations risk diagram compared to the reference station.



شکل ۱۷- نمودار ریسک ایستگاه‌های نهبندان و کاشمر در مقایسه با ایستگاه مرجع
Figure 17- Nehbandan and Kashmar stations risk diagram compared to the reference station.

نتیجه‌گیری

بحران خشکسالی بالاتری نسبت به خراسان جنوبی هستند که نشان می‌دهد خشکسالی با میانگین و انحراف معیار بارندگی در ارتباط است نه صرفاً میزان بارندگی. تربت‌جام با ۲۲۰ میلی‌متر بارندگی سالانه بیشترین و نهبندان با ۴۶ میلی‌متر بارش سالانه کمترین آستانه بحران خشکسالی را دارد.

نتایج شبکه عصبی مصنوعی با ضریب همبستگی ۰/۸۵ نشان داد که رابطه مناسبی بین متغیرهای مستقل SPI ماهانه و میانگین دما ماهانه و متغیر وابسته عملکرد زعفران وجود دارد.

از نتایج شبکه عصبی برای استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. با مقایسه نمودار احتمال تجمعی

نتایج بررسی مقدار SPI در این پژوهش، نشان داد که فراوانی خشکسالی در خراسان جنوبی بیشتر از خراسان رضوی است هر چند که شدت خشکسالی در خراسان رضوی بیشتر بوده است. بیش‌ترین فراوانی بعد از محدوده نرمال، مربوط به خشکسالی‌های ملایم با شدت‌های بین ۰ تا ۲۱ درصد، خشکسالی‌های شدید با شدت‌های بین ۰ تا ۱۳ درصد و در آخر خشکسالی‌های بسیار شدید قرار دارد که بین صفر تا ۶ درصد از کل سال‌های زراعی را شامل می‌شود.

آستانه بحران خشکسالی نیز برای همه‌ی ایستگاه‌ها محاسبه شد. نتایج نشان دادند ایستگاه‌های خراسان رضوی دارای آستانه

نتایج به دست آمده از این پژوهش، نشان داد که همیشه کم بودن و یا بیشتر بودن عملکرد نسبت به عملکرد مرجع، دلیل بر بالابودن ریسک نسبی نیست بلکه کم یا بیشتر بودن از عملکرد میانگین نیز تأثیرگذار می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از نمودارهای ریسک نسبی، ایستگاه نهبندان کمترین و ایستگاه قاین بیشترین ریسک نسبی را در میان دیگر ایستگاه‌ها دارا می باشند.

عملکردهای شبیه‌سازی شده با نمودار احتمال تجمعی عملکردهای مشاهداتی، می توان به دو نتیجه رسید. نتیجه اول این است که شبکه عصبی به درستی آموزش دیده و اعداد مناسبی را ساخته است. نتیجه دوم این است که اعداد تصادفی ساخته شده از داده‌های SPI و دما مناسب بوده‌اند، بنابراین می توان گفت که توزیع نرمال برای ساخت داده‌های تصادفی SPI و توزیع یکنواخت برای ساخت داده‌های تصادفی از دما مناسب هستند.

منابع

- Akbarpour, A., Khorashadizadeh, O., Shahidi, A., and, Ghochanian, E. 2013. Performance evaluation of artificial neural network models in estimate production of yield saffron based on climate parameters. *Journal of Saffron Research* 1 (1): 27-35. (In Persian with English Summary).
- Alcamo, J., Dronin, N., Endejan, M., Golubev, G., and Kirilenko, A. 2007. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. *Global Environmental Change* 17 (3-4): 429-444.
- Barreto, H., and Howland, F. 2005. *Introductory Econometrics: Using Monte Carlo Simulation with Microsoft excel*. Cambridge University Press.
- Coulibaly, P., Anctil, F., and Bobee, B. 1999. Hydrological forecasting with artificial neural networks: the State of the art. *Canadian Journal of Civil Engineering* 26 (3): 293-304.
- Dutta, D., Kundu, A., Patel, N.R., Saha, S.K., and Siddiqui, A.R. 2015. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived vegetation condition index (VCI) and standardized precipitation index (SPI). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 18 (1): 53-63.
- Agricultural Organization of South Khorasan. 2017. Agricultural organization of South Khorasan database. Available at Web site <http://kj-agrijahad.ir/dbagri/baghebani>.
- Khashei, S.A., Kouchakzadeh, M., and Ghahraman, B. 2011. Predicting Dryland Wheat Yield From Meteorological Data Using Expert System, Khorasan Province, Iran.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17 (22): 179-183. Boston, MA: American Meteorological Society.
- Mirzaei Nadooshan, F., Morid, S., and Arshad, S. 2011. Agriculture drought risk in the cities of Kermanshah province. *Journal of Agricultural Engineering Research* 11 (3): 1-14. (In Persian with English Summary).
- Moradi, A.R., Sharifi, M.A. 2016. The analysis of precipitation time series related to Iran's main catchments using fourier and wavelet transforms. *Geospatial Engineering Journal* 7: 137-145.
- Mosaedi, A., and Ghabaei Sough, M. 2012. Modification of standardized precipitation index (SPI) based on relevant probability distribution function. *Journal of Water and Soil*

- 25 (5): 1206-1216. (In Persian with English Summary).
- Nekouei, N., Behdani, M.A., and Khashei Siuki, A., 2014. Predicting saffron yield from meteorological data using expert system, Razavi and South Khorasan province, Iran. *Journal of Saffron Research* 2 (1): 13-31. (In Persian with English Summary).
- Quiroguá, S., and Iglesias, A. 2007. Methods for drought risk analysis in agriculture. *Options Méditerranéennes* 58: 103-113.
- Shaha, R., Bharadiya, N., and Manekar, V. 2015. Drought index computation using Standardized Precipitation Index (SPI) method for Surat district. Gujarat. *Aquatic Procedia* 4: 1243-1249.
- 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. 1st National Conference on Green University, Bushehr, Iran.
- Zare Abyaneh, H. 2013. Evaluating roles of drought and climatic factors on variability of four dry farming yields in Mashhad and Birjand. *Journal of Water and Soil Science* 23 (1): 39- 56. (In Persian with English Summary).
- Shahiyani, R., Jame, A., Ariyanfar, R., Haghghat, M., and Dehghan, H. 2009. Drought crisis density zone Fars province using Standardized Precipitation Index SPI and GIS. *Journal of Water Resources Engineering* 2 (4): 33-42. (In Persian).