نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲، ص. ۴۶۱-۴۵۲

Agroecology
Vol. 5, No. 4, Winter 2014, p. 452-461

معرفی شاخصی برای ارزیابی خشکی با استفاده از تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

سروناز فرهنگ فر[۱]، جعفر کامبوزیا[۲*]، رضا دیهیم فرد[۲]، سعید صوفی‌زاده[۲] و بابک میرباقری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰٤/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۰۸

چکیده

استان اصفهان در مرکز ایران واقع شده و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. در سال‌های اخیر کمبود آب در این منطقه شدت گرفته و تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. گندم از جمله محصولات مهم این استان است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیمی موجود و تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، شاخصی برای ارزیابی خشکی (DEI) در استان ارائه شد و شهرستان‌های مورد مطالعه از نظر شدت خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. علاوه بر DEI برای کمّی کردن اثر خشکی، شاخص خشکی (AI) در مقیاس‌های زمانی مختلف در هر شهرستان محاسبه شد. داده‌های اقلیمی و عملکرد دانه‌ی گندم به ترتیب از سازمان هواشناسی کشور و جهاد کشاورزی استان اصفهان جمع‌آوری شدند. جهت حذف اثرات مثبت بهبود ژنتیکی و مدیریت زراعی بر عملکرد گندم، روش هموارسازی نمایی اجرا شد. بر اساس DEI، اصفهان، شهرضا، گلپایگان و نطنز اقلیم نیمه خشک و اردستان، خوروبیابانک، کاشان و نایین اقلیم خشک داشتند. بر اساس AI، شهرستان‌های مورد مطالعه دارای اقلیم خشک بودند. مقدار AI، تنها در گلپایگان درحالی‌که DEI، در اصفهان، شهرضا، گلپایگان، کاشان و نطنز از مقادیر عددی بالاتری برخوردار بودند. نتایج PCA نشان داد که در این شهرستان‌ها درجه حرارت حداکثر (ضریب ۳/۵۱) مهم‌ترین متغیر در تعیین شرایط اقلیمی و میانگین سرعت وزش باد (ضریب ۲/۲۷) نیز بر شرایط اقلیمی این مناطق مؤثر بوده است. همبستگی ضعیف شاخص‌های خشکی محاسبه شده با عملکرد نشان داد که استفاده از سایر شاخص‌های اقلیمی در توجیه نوسانات عملکرد گندم در این استان مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: شاخص خشکی، گندم، هموارسازی نمایی

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی است که سطح زیر کشت فراوانی در دنیا دارد .زراعت گندم از سایر غلات اهمیت بیشتری داشته و نزدیک به ۳۰ درصد سطح زیر کشت و کل تولید غلات در جهان را به خود اختصاص می‌دهد (Feiziasl et al., 2009). در سال‌های اخیر میزان مصرف گندم در کشور رو به افزایش نهاده و از نظر آمارهای بین‌المللی، ایران هشتمین کشور مصرف کننده‌ی گندم دنیا (۱/۶ درصد) با مصرف سرانه‌ی حدود ۱۳۵ کیلوگرم است، درحالی‌که متوسط سرانه‌ی جهانی مصرف گندم ۶۸ کیلوگرم می‌باشد (Salehnia & Falahi, 2010). ۴۰ درصد از اراضی آبی و ۷۰ درصد از اراضی دیم کشور (مجموعاً حدود ۶/۳ میلیون هکتار) زیر کشت این محصول است (Vazifedoust, 2007).

خشکی پدیدهٔ اقلیمی برگشت‌پذیری است که از کمبود بارندگی در یک دوره‌ی زمانی گسترده (یک فصل یا چندین سال) ناشی می‌شود. یک ناحیه‌ی خشک به طور قراردادی به عنوان ناحیه‌ای تعریف می‌شود که بارندگی سالانه‌ی آن از ۲۵۰ میلی‌متر کمتر است (Anynomous, 2012a). کشاورزی بخشی است که به شدت تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرد. از دست دادن محصول در یک سال خشک ممکن است از یک سوم تا نصف میانگین عملکرد تجاوز کرده و در بعضی نقاط جهان منجر به کمبود مواد غذایی و سوء تغذیه در سطوح محلی و ناحیه‌ای گردد (Maybank et al., 1994).

برای کمّی کردن خشکی چندین شاخص معرفی شده است. شاخص‌های ارزیابی خشکی بسته به نوع داده‌های مورد استفاده به دو دسته‌ی شاخص‌های هواشناسی و سنجش از دور تقسیم می‌شوند. یکی از شاخص‌های خشکی هواشناسی که به طور گسترده استفاده می‌شود، شاخص بارندگی استاندارد[۴] (SPI) است که توسط مک‌کی و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکترای بوم شناسی زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده‌ی علوم محیطی و مربی گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی
(*- نویسنده مسئول: Email: J_kambouzia@sbu.ac.ir)

4- Standard precipitation index (SPI)

همکاران (McKee et al., 1993) با هدف تشخیص و سنجش خشکی‌های محلی ارائه شد. SPI از برازش توزیع گاما بر مقادیر بارندگی سالانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه به دست می‌آید. برای محاسبه این شاخص، ابتدا با برازش توزیع گاما بر داده‌های بارندگی ماهانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن را محاسبه نموده سپس با انتقال احتمال تجمعی به‌دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده، مقادیر شاخص SPI محاسبه می‌شود. ابرقویی و همکاران (Abarghouei et al., 2011) در مطالعه‌ای SPI را برای تعیین خشکی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در ۲۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کشور مورد استفاده قرار دادند. این تحقیق روند خشکی را در ایران بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ توصیف کرد. نتایج این بررسی نشان داد که بخش‌های جنوب شرقی و شمال غربی ایران با روند منفی SPI رو به رو شده و شدت و فراوانی خشکی در این مناطق بیشتر بوده است. شاخص شدت خشکی پالمر[1] (PDSI) شاخص دیگری است که توسط پالمر (Palmer, 1965) به‌عنوان یک شاخص هواشناسی برای تشخیص و ارزیابی شدت پدیده‌ی خشکی معرفی گردیده است. این شاخص سری‌های زمانی ماهانه‌ی بارندگی و درجه حرارت را برای تولید یک مقدار عددی واحد به‌کار می‌برد که نشان دهنده مرطوب بودن و یا خشک بودن یک ماه معین است. بنایان و همکاران (Bannayan et al., 2010)، نیز مطالعه‌ای را برای بررسی شاخص‌های اقلیمی، شاخص خشکی[2] (AI) و عملکرد گندم و جو دیم در شمال شرقی ایران انجام دادند. نتایج، همبستگی قابل توجهی را بین شاخص خشکی و عملکرد محصول به ویژه در بخش مرکزی استان خراسان نشان داد و چنین نتیجه‌گیری شد که شاخص خشکی قادر است نوسانات عملکرد محصول در طول زمان را در مناطق مختلف نشان دهد.

استان اصفهان در مرکز ایران واقع شده و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. در سال‌های اخیر کمبود آب در این منطقه رایج بوده و تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. گندم یکی از محصولات مهم استان است. کل تولید گندم آبی در استان اصفهان ۴۰۰ هزار تن و کل تولید گندم دیم آن حدود ۱۵ هزار تن می‌باشد. با توجه به جایگاه این محصول و شرایط اقلیمی کشور، ارزیابی اثرات خشکی بر عملکرد گندم در کشور به ویژه در نواحی گرم و خشک مرکزی، ضروری می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های شاخص‌های خشکی معرفی شده، به عنوان نمونه روش پیچیده‌ی محاسبه شاخص بارندگی استاندارد، نیاز به داده‌های رطوبت خاک برای برآورد شاخص شدت خشکی پالمر و محاسبه‌ی تبخیر تعرق برای محاسبه شاخص خشکی (AI) که ممکن است در ایستگاه‌های سینوپتیک ثبت نشده باشند، در این مطالعه با استفاده از داده‌های اقلیمی ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و تکنیک تجزیه مؤلفه‌های اصلی، شاخصی برای ارزیابی خشکی در استان اصفهان و شهرستان‌های مورد مطالعه ارائه شد و شهرستان‌های مورد مطالعه از نظر شدت خشکی مورد بررسی قرار گرفته و طبقه‌بندی شدند. شاخص ارزیابی خشکی، شاخصی محلی بوده و ارائه آن در جهت نقض سایر شاخص‌ها نیست، بلکه شاخص جدیدی است که به دلیل استفاده از تکنیک آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی محاسبه آن ساده‌تر است. این روش آماری همچنین همبستگی میان متغیرهای مورد مطالعه را (در صورت وجود) و چند بعدی بودن داده‌ها، به عبارتی هم واحد نبودن متغیرها را از بین برده و در نهایت حجم و تعداد متغیرها را کاهش می‌دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تعدادی از شهرستان‌های استان اصفهان با مشخصات جغرافیایی ´۴۳ °۳۰ و °۳۴ ´۲۷ عرض شمالی و ´۳۶ °۴۹ تا ´۳۱ °۵۵ طول شرقی به انجام رسیده است (جدول ۱).

در این بررسی ابتدا اقدام به جمع‌آوری داده‌های اقلیمی و عملکرد دانه گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه شد. داده‌های اقلیمی بلندمدت ۱۷ ساله (۸۷-۱۳۷۱) از سازمان هواشناسی کشور (شامل میانگین سرعت باد، درجه حرارت‌های حداقل، حداکثر و نقطه‌ی شبنم، تعداد ساعات آفتابی، بارندگی و رطوبت نسبی) و داده‌های مربوط به عملکرد دانه (۱۳۸۸-۱۳۶۸) از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان جمع‌آوری شد. با توجه به محدودیت داده‌های اقلیمی و عدم وجود هم‌خوانی میان داده‌های عملکرد و اقلیم که هر یک مناطق مختلفی را پوشش داده‌اند، هشت شهرستان در استان انتخاب گردید. ملاک اصلی در انتخاب این شهرستان‌ها وجود هم‌زمان داده‌های اقلیمی بلندمدت و عملکرد به همراه پوشش مناسبی از کل استان بود (جدول ۱). بازه‌ی زمانی داده‌های اقلیمی در سه ایستگاه کاشان، اصفهان و خوروبیابانک، داده‌های عملکرد گندم را پوشش می‌دادند، درحالی‌که در پنج ایستگاه دیگر بازه‌ی زمانی داده‌ها از داده‌های عملکرد کوتاه‌تر بودند (۱۷ ساله) که این موضوع داده‌های ۲۰ ساله‌ی عملکرد (۱۳۸۷-۱۳۶۸) را محدود می‌کرد.

بنابراین، با استفاده از برنامه‌ی زیر مدل اطلاعات هواشناسی[3] در مدل DSSAT[4] داده‌های درجه حرارت حداقل و حداکثر و بارندگی برای این ایستگاه‌ها، تولید شدند تا با بازه‌ی زمانی داده‌های عملکرد هم‌خوانی پیدا کنند.

1- Palmer drought severity index (PDSI)
2- Aridity Index (AI)
3- Weather data manager
4- Decision support system for agrotechnology Transfer

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و داده‌های اقلیمی موجود در شهرستان‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

Table 1- Geographical information and available climatic data of studied townships in Isfahan province

شهرستان Township	طول جغرافیایی (درجه) Latitude (degree)	عرض جغرافیایی (درجه) Longitude (degree)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation from sea level (m)	زمان داده‌های اقلیمی موجود Time scale of available climatic date	زمان داده‌های عملکرد Time scale of yield date
اردستان Ardestan	52.38	33.38	1252.4	1992-2008	1989-2009
اصفهان Isfahan	51.66	32.61	1550.4	1976-2008	1989-2009
خوروبیابانک Khoorobiabanak	55.08	33.78	845	1976-2008	1989-2009
شهرضا Shahreza	51.83	31.98	1845.2	1993-2008	1989-2009
کاشان Kashan	51.45	33.98	982.3	1976-2008	1989-2009
گلپایگان Golpaygan	50.28	33.46	1870	1992-2008	1989-2009
نایین Naein	53.08	32.85	1549	1992-2008	1989-2009
نطنز Natanz	51.9	33.53	1684.9	1992-2008	1989-2009

بدین منظور، ابتدا داده‌های اقلیمی واقعی که در ایستگاه‌های هواشناسی سنجیده شده بود، به‌عنوان ورودی در نرم‌افزار تعریف شد و نرم‌افزار بر اساس مشخصات جغرافیایی منطقه (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا)، داده‌های اقلیمی درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر و بارندگی را برای سال‌هایی که داده‌ها ثبت نشده بودند شبیه‌سازی نمود. میزان تشعشع روزانه نیز با استفاده از تعداد ساعات آفتابی و برنامه Photoperiod Calculator شبیه‌سازی شد. این برنامه با استفاده از زبان برنامه نویس C^{++} و توسط محققین واحد تحقیقات سیستم‌های تولید کشاورزی (APSRU)[1] در کشور استرالیا نوشته شده است و شدت تشعشع روزانه در یک منطقه معین را با داشتن عرض جغرافیایی و ضریب عبور اتمسفری شبیه سازی می‌کند (Anynomous, 2012b). پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی و بازسازی آنها، شدت خشکی در شهرستان‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص خشکی (AI)[2]، محاسبه گردید. این شاخص تغییرات همزمان بارندگی و تبخیر – تعرق و تأثیرات آن در بخش کشاورزی را نشان می‌دهد. شاخص خشکی توسط برنامه‌ی محیط زیست سازمان ملل (UNEP[3]) ارائه شده (۱۹۹۲) و با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود:

معادله (۱) $$AI = \frac{P}{PET}$$

که در آن P: بارندگی تجمعی (میلی‌متر) و PET[4]: تبخیر– تعرق بالقوه (میلی‌متر) در مقیاس زمانی مورد نظر است. محدوده عددی این شاخص بین صفر تا یک در نوسان است که مقادیر عددی کمتر از ۰/۰۵ نشان دهنده‌ی شرایط بسیار خشک و مقادیر عددی بزرگ‌تر از ۰/۷۵ شرایط مرطوب را نشان می‌دهند.

تعیین شاخصی برای ارزیابی خشکی با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

با در نظر گرفتن این مسئله که محاسبه شاخص AI نیازمند داده-های زیادی است که در بسیاری از موارد به راحتی در دسترس نبوده و بخشی از آنها را بایستی تخمین زد، در این مطالعه با استفاده از داده-های هواشناسی موجود و روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[5]، شدت خشکی شهرستان‌های مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روش آماری مفیدی جهت تشخیص مهم-ترین متغیرها و کاهش داده‌هایی است که تعداد آنها زیاد است (Sharma, 1996).

برای این منظور ابتدا میانگین‌های ماهانه‌ی متغیرهای اقلیمی شامل میانگین سرعت وزش باد، تعداد ساعات آفتابی، درجه حرارت

1- Agricultural production systems research unit
2- Aridity index
3- United nations environment programme
4- Potential evapotranspiration
5- Principal component analysis (PCA)

حداقل، درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت نقطه‌ی شبنم، رطوبت نسبی و بارندگی برای هر شهرستان محاسبه شدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی میانگین‌های ماهانه‌ی متغیرهای اقلیمی هر شهرستان اجرا شد. در این روش با استفاده از فرمول‌هایی سهم هر مؤلفه از کل واریانس تعیین شده و از میان هفت مؤلفه اصلی ایجاد شده، مؤلفه‌های اول و دوم که مقدار ویژه[1] (سهم آنها از واریانس کل) بزرگ‌تر از یک بود انتخاب و سایر مؤلفه‌ها از مراحل بعدی تجزیه حذف گردیدند. این دو مؤلفه در مجموع ۹۰ درصد تغییرات کل را توصیف می‌کردند. در گام بعدی مقدار ویژه هر یک از متغیرهای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در وزن[2] هر متغیر (که نشان دهنده‌ی اهمیت نسبی آن متغیر در مؤلفه مربوطه است) ضرب شدند. بنابراین، برای هر متغیر دو ضریب حاصل شد که مربوط به مؤلفه‌های اصلی اول و دوم بودند. در مرحله بعد و به منظور ارزیابی خشکی، ضرایب محاسبه شده مربوط به هر متغیر با هم جمع شدند. در نهایت، میانگین‌های ماهانه هر متغیر در هر شهرستان در این ضرایب ضرب شد و تمام مقادیر به دست آمده با هم جمع گردیدند که در نهایت به شاخصی منتج گردید (شاخص ارزیابی خشکی[3]) که با استفاده از آن می‌توان وضعیت خشکی در هر شهرستان را معین نمود (Sharma, 1996). این روش یک مرتبه در سطح شهرستان و یک بار نیز در سطح استان انجام شد. برای محاسبه دامنه این شاخص، خشک‌ترین (حداقل میزان بارندگی، رطوبت نسبی و درجه حرارت نقطه‌ی شبنم و از سوی دیگر بیشترین مقادیر درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، تعداد ساعات آفتابی و سرعت وزش باد در نظر گرفته شد) و مرطوب‌ترین روزها در میان تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه در استان (عکس خشک‌ترین حالت موجود) و نیز میانگین آنها (به‌عنوان حدود حد وسط) محاسبه شد (جدول ۲).

پس از تعیین شاخصی برای ارزیابی خشکی، ارتباط بین تغییرات بلندمدت عملکرد دانه‌ی گندم با شاخص‌های خشکی بررسی شد. با توجه به اینکه هموارسازی یک روش علمی قابل قبول برای حذف اثرات ژنتیکی و بهبود مدیریت از داده‌های عملکرد دانه گندم می‌باشد (Bannayan et al., 2010)، در این روش به داده‌ها بر حسب گذر زمان و با توجه به میزان پیشرفت مدیریت زراعی و ژنتیکی ارقام، وزن داده شده و به صورت نمایی اثر این عوامل از آنها حذف می‌شود. بر این اساس میزان تغییرات عملکرد دانه در سال‌های جدید نسبت به سال‌های اولیه بیشتر است، زیرا سهم پیشرفت ژنتیکی در بهبود عملکرد با گذشت زمان افزایش یافته است. پس از انجام هموارسازی، داده‌های هموار شده‌ی عملکرد، جایگزین داده‌های خام گردیدند. در این تحقیق ارتباط کلی هر دو شاخص خشکی با عملکرد، با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و نیز رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفت. تمامی نمودارها با استفاده از نرم افزارهای Excel و 11 Sigma Plot رسم شدند.

جدول ۲- دامنه‌ی عددی شاخص ارزیابی خشکی
Table 2- Drought evaluation index limits

وضعیت خشکی Drought condition	محدوده‌ی شاخص Index limits
مرطوب Humid	-80>
نیمه مرطوب Semi humid	-80 to -50
نیمه مرطوب خشک Arid sub humid	-50 to -30
نیمه خشک Semi arid	-30 to 5
خشک Arid	5 to 35
بسیار خشک Hyper arid	35<

نتایج و بحث

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در اردستان نشان داد که در PC_1 تمام متغیرهای اقلیمی به جز بارندگی و درجه حرارت نقطه‌ی شبنم و در PC_2 دو متغیر درجه حرارت نقطه‌ی شبنم و رطوبت نسبی مهم‌ترین بودند. در اصفهان، خوروبیابانک و گلپایگان در PC_1 تمام متغیرهای مورد مطالعه به جز بارندگی معنی‌دار بود و در PC_2 متغیرهای درجه حرارت نقطه شبنم و بارندگی ضریب بالاتری داشته و رابطه آنها با هم مثبت بود. این موضوع نشان داد که با افزایش بارندگی، درجه حرارت نقطه‌ی شبنم نیز افزایش یافته و شرایط اقلیمی مرطوب‌تر شده؛ به‌طوری‌که در شرایط مرطوب‌تر، بخار آب در درجه حرارت بالاتری در برخورد با سطوح سرد به شبنم تبدیل خواهد شد. در شهرضا در PC_1 تمام متغیرهای اقلیمی به جز میانگین سرعت وزش باد مهم‌ترین اجزا بودند و رابطه رطوبت نسبی و بارندگی با سایر متغیرها منفی بود. بنابراین، افزایش درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل و طول ساعات آفتابی باعث کاهش رطوبت و خشک شدن اقلیم شده است. در PC_2 دو متغیر میانگین سرعت وزش باد و رطوبت نسبی مهم‌تر بودند. این موضوع می‌تواند به دلیل موقعیت جغرافیایی این شهرستان باشد که در جنوب استان واقع شده به گونه‌ای که افزایش سرعت وزش باد باعث ورود جبهه هوای مرطوب به این شهرستان و افزایش بارندگی شده است، البته در این مورد جهت باد هم در این منطقه مهم است. در کاشان نتایج روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

1- Eigenvalue
2- Load
3- Drought evaluation index (DEI)

نشان داد که در PC_1 تمام متغیرهای اقلیمی به جز بارندگی مهم‌ترین بودند و در PC_2 متغیرهای اقلیمی میانگین سرعت وزش باد، درجه حرارت نقطه‌ی شبنم و بارندگی بهترین بودند که رابطه آنها با هم مثبت بود. با توجه به معنی‌دار بودن میانگین سرعت وزش باد در PC_1 و PC_2 می‌توان گفت که در کاشان عامل باد می‌تواند عامل مهمی در خشک یا مرطوب بودن اقلیم باشد. در این شهرستان نیز درجه حرارت حداکثر مهم‌ترین عامل اقلیمی تعیین کننده شرایط اقلیمی موجود بود. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در نایین و نطنز نشان داد که در PC_1 تمام متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه به جز میانگین سرعت وزش باد و بارندگی مهم‌ترین بودند و در PC_2 متغیرهای اقلیمی میانگین سرعت وزش باد، درجه حرارت نقطه‌ی شبنم، رطوبت نسبی و بارندگی مهم‌ترین بوده و رابطه‌ی آنها با هم مثبت بود. بنابراین، در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه مهم‌ترین عامل اقلیمی در تعیین شرایط اقلیمی موجود درجه حرارت حداکثر بوده است (جدول ۳). روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در مطالعات دیگری نیز برای بررسی اهمیت متغیرها و شرایط اقلیمی مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته است؛ به‌طوری‌که تازیکه میاندره و حسینی نسب (Miandare & Hosseini Nasab, 2007) در تحقیقی تابع دما و بارندگی را در کشور با استفاده از تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه به دلیل آن‌که مؤلفه اول، تقریباً بیش از ۹۸ درصد از تغییرات اولیه را بیان می‌کنند، فقط این دو مؤلفه مورد توجه قرار گرفتند. PC_1 نشان داد که اکثر تغییرپذیری (تقریباً ۹۴ درصد) در داده‌ها از تفاوت‌هایی ناشی می‌شود که بین دما در تابستان و زمستان وجود دارد و PC_2 که ۳/۴ درصد از تغییر را حفظ می‌کند، منعکس کننده این است که این الگو از متوسط تفاوت دمای زمستان و تابستان ناشی می‌شود. محمدی و روشن (Mohammadi & Roshan, 2009) در دو ایستگاه شیراز و کرمانشاه اثر عوامل اقلیمی به‌ویژه باد را بر عملکرد محصول گندم بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در شیراز رابطه معنی‌داری بین سرعت باد و عملکرد گندم وجود داشت. در مطالعه‌ای دیگر امیراحمدی و عباس‌نیا (Amirahmadi & Abbasnia, 2010) شهرستان‌های استان اصفهان را با در نظر گرفتن پنج عامل اقلیمی بارندگی، دما، تعداد ساعات آفتابی، وزش باد و گرد و غبار، گرما و رطوبت مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که عامل بارندگی در محدوده غربی استان، عامل دما در سراسر پهنه شرقی و جنوب شرقی استان، تعداد ساعات آفتابی در شهرستان خوروبیابانک (شرق استان) و شهرضا (جنوب استان)، باد و گرد و غبار در نیمه‌ی مرکزی استان و عامل گرما و رطوبت نیز بیشترین اهمیت را در کاشان (شمالی‌ترین قسمت استان) داشتند.

جدول ۳- ضرایب تجزیه به مؤلفه‌های اصلی متغیرهای اقلیمی در شهرستان‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

Table 3- Principle Component Analysis coefficients of climatic variables in studied townships of Isfahan province

شهرضا (Shahreza)		خوروبیابانک (Khoorobiabanak)		اصفهان (Isfahan)		اردستان (Ardestan)		متغیرهای اقلیمی Climatic variables
PC_2	PC_1	PC_2	PC_1	PC_2	PC_1	PC_2	PC_1	
0.87*	0.12	0.29	0.34*	0.36*	0.31*	0.06	0.36*	میانگین سرعت وزش باد Mean wind speed
0.1	0.45*	0.12	0.43*	0.13	0.43*	0.13	0.42*	درجه حرارت حداقل Minimum temperature
0.05	0.46*	0.03	0.43*	0.04	0.44*	0.08	0.43*	درجه حرارت حداکثر Maximum temperature
0.19	0.31*	0.48*	0.33*	0.51*	0.33*	0.61*	0.3*	درجه حرارت نقطه‌ی شبنم Dew point temperature
0.36*	-0.41*	0.27	-0.39*	0.26	-0.4*	0.28	-0.4*	رطوبت نسبی Relative humidity
-0.02	0.43*	-0.06	0.42*	-0.16	0.41*	-0.01	0.4*	تعداد ساعات آفتابی Sunshine hours
0.23	-0.31*	0.76*	-0.25	0.69*	-0.27	0.71*	-0.26	بارندگی Rainfall
15.2	64.5	13.2	73.6	13.2	71.8	13.4	74.2	واریانس Variance

* ضرایب با مقدار ویژه بیشتر از ۰/۳

* Eigenvalue more than 0.3

ادامه‌ی جدول ۳- ضرایب تجزیه به مؤلفه‌های اصلی متغیرهای اقلیمی در شهرستان‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

Table 3- Continued- Principle Component Analysis coefficients of climatic variables in studied townships of Isfahan province

نطنز (Natanz)		نایین (Naein)		گلپایگان (Golpaygan)		کاشان (Kashan)		متغیرهای اقلیمی (Climatic variables)
PC_2	PC_1	PC_2	PC_1	PC_2	PC_1	PC_2	PC_1	
0.32*	0.33*	0.69*	0.15*	0.31*	0.33*	0.36*	0.33*	میانگین سرعت وزش باد Mean wind speed
0.07	0.43*	0.11	0.46*	0.11	0.42*	0.12	0.42*	درجه حرارت حداقل Minimum temperature
0.04	0.43*	0.06	0.46*	0.02	0.43*	0.06	0.43*	درجه حرارت حداکثر Maximum temperature
0.6*	0.3*	0.34*	0.31*	0.55*	0.32*	0.4*	0.35*	درجه حرارت نقطه‌ی شبنم Dew point temperature
0.29	-0.4*	0.36*	-0.4*	0.23	-0.41*	0.21	-0.4*	رطوبت نسبی Relative humidity
-0.09	0.41*	-0.01	0.44*	-0.13	0.4*	-0.13	0.39*	تعداد ساعات آفتابی Sunshine hours
0.66*	-0.27	0.49*	-0.29	0.71*	-0.28	0.78*	-0.26	بارندگی Rainfall
14.4	72.8	15.6	64.4	12.6	74.5	12.4	74.3	واریانس Variance

* ضرایب با مقدار ویژه بیشتر از ۰/۳

* Eigenvalue more than 0.3

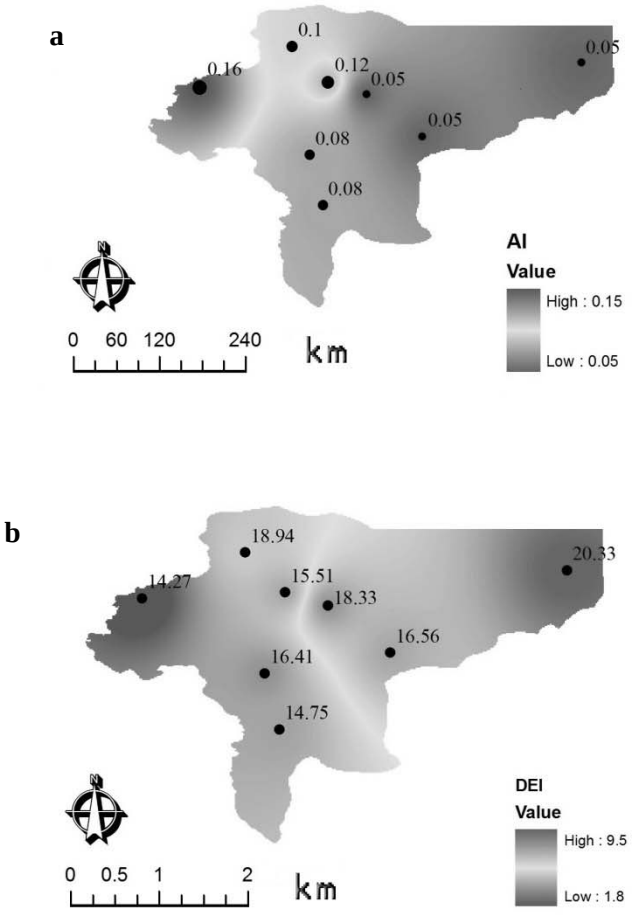
ناظم السادات و همکاران (Nazem Sadat et al., 2003) در تحقیقی با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، باران‌های زمستانه را در استان‌های بوشهر، فارس، کهکیلویه و بویراحمد مورد مطالعه و پهنه‌بندی قرار دادند. در این مطالعه، مؤلفه‌های اول و دوم که مجموعاً ۶۸/۱ درصد از کل واریانس داده‌های اولیه را توجیه می‌نمودند، به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در نظر گرفته شد و برای پهنه‌بندی از آنها استفاده شد. بنابراین، سری زمانی PC_1 که ۶۰/۴ درصد از کل واریانس داده‌های خام را توجیه می‌کند، می‌تواند به‌عنوان نماینده‌ی داده‌های بارندگی بخش وسیعی از استان‌های فارس، بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد به کار رود. بردارهای بارگذاری متناشر با دومین مؤلفه اصلی PC_2، مقادیر بسیار زیادی را برای منطقه بوانات در شمال استان فارس نشان داد و این ناحیه به‌عنوان منطقه‌ی مستقل متناسب با دومین مؤلفه در نظر گرفته شد. بارندگی این منطقه از استان فارس همبستگی ضعیفی با بارندگی مناطق مجاور داشت.

در طبقه‌بندی شاخص DEI، شهرستان‌های اردستان، خوروبیابانک، کاشان و نایین اقلیم خشک و اصفهان، شهرضا، گلپایگان و نطنز اقلیم نیمه خشک داشتند؛ درحالی‌که در طبقه‌بندی شاخص AI تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه اقلیم خشک (۰/۲> شاخص خشکی> ۰/۰۵) داشتند (شکل ۱). نتایج حاصل از شاخص ارزیابی خشکی در راستای نتایج شاخص خشکی است، ضمن این‌که در بعضی موارد بهتر هم عمل کرده است. شاخص ارزیابی خشکی در طبقه‌بندی اقلیمی مناطق مورد مطالعه دقیق‌تر عمل نموده است، زیرا شاخص ارزیابی خشکی مستقیماً با استفاده از داده‌های اقلیمی به ثبت رسیده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک محاسبه می‌شود، در نتیجه برای تمامی مناطقی که در آنها ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک وجود دارد، قابل محاسبه است. در محاسبه شاخص ارزیابی خشکی متغیرهای اقلیمی مختلفی در نظر گرفته می‌شوند که این موضوع امکان بررسی متغیرهای مختلف اقلیمی را فراهم نموده و ارزیابی بهتری از شرایط اقلیمی به وجود می‌آورد. همبستگی و رگرسیون خطی بین شاخص خشکی و عملکرد گندم در مقیاس زمانی سالانه در شهرستان‌های مورد مطالعه معنی‌دار نبود (جدول ۴)، در-حالی‌که همبستگی بین شاخص ارزیابی خشکی و عملکرد گندم در مقیاس زمانی سالانه تنها در شهرضا منفی و معنی‌دار بود. این مسئله نشان می‌دهد که در شهرضا با افزایش شاخص ارزیابی خشکی، عملکرد دانه‌ی گندم کاهش یافته است. معنی‌دار نبودن همبستگی میان شاخص‌های خشکی و عملکرد گندم احتمالاً به دلیل آبی بودن عملکرد گندم در این مطالعه باشد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که دو شاخص خشکی و ارزیابی خشکی در شهرستان‌های مورد مطالعه همبستگی و رگرسیون معنی‌دار و منفی داشتند (جدول ۵ و شکل ۲). این مسئله نشان دهنده هم‌خوانی این دو شاخص است که این بررسی هم‌خوانی در راستای معتبرسازی شاخص DEI انجام شده که نتایج این شاخص با یک شاخص پذیرفته شده و بین‌المللی (AI)، در مطابقت است. منفی بودن رابطه این دو شاخص به این دلیل است که مقادیر عددی بزرگ‌تر شاخص خشکی نشان دهنده بارندگی بیشتر

است، درحالی‌که مقادیر عددی بزرگ‌تر شاخص ارزیابی خشکی نشان دهنده‌ی شرایط خشک‌تر است. زیرا در مؤلفه اصلی اول که واریانس بیشتری دارد در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه متغیرهای اقلیمی درجه حرارت حداقل و حداکثر مهم بودند، درحالی‌که بارندگی در مؤلفه اصلی دوم معنی‌دار بود که نسبت به مؤلفه اصلی اول واریانس بسیار کمتری دارد. با توجه به این که میزان بارندگی در شهرستان‌های مورد مطالعه در بسیاری از ماه‌های سال ناچیز بود، بنابراین اهمیت این متغیر در پهنه‌بندی اقلیمی مناطق مورد مطالعه بسیار کم بوده و متغیر اقلیمی درجه حرارت که نقش بسیار مؤثرتری در منطقه دارد، تأثیر خود را بیشتر نشان داده است. در رابطه با ناچیز بودن تأثیر بارندگی، سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2011) در مطالعه‌ای روندهای تغییرات بلند مدت و ماهانه‌ی مقادیر بارندگی، تعداد روزهای بارانی و حداکثر بارندگی در ۲۴ ساعت را بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در ۳۳ ایستگاه سینوپتیک در ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در طول ۵۰ سال گذشته در ایران هیچ گونه تنوع قابل توجه بارندگی مشاهده نشده است.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از شاخص خشکی (AI) نشان داد که شهرستان‌های مورد مطالعه در این تحقیق، اقلیم خشک دارند (۰/۲>شاخص خشکی>۰/۰۵)، درحالی‌که در طبقه‌بندی شاخص ارزیابی خشکی شهرستان‌های اصفهان، شهرضا، گلپایگان و نظنز در کلاس نیمه خشک و شهرستان‌های اردستان، خوروبیابانک، کاشان و نایین در کلاس خشک قرار داشتند.



شکل ۱- توزیع مکانی شاخص خشکی (a) و شاخص ارزیابی خشکی (b) در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 1- Spatial distribution of Aridity Index (a) and Drought Evaluation Index (b) in studied townships

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های خشکی محاسبه شده سالانه و عملکرد گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه

Table 4- Correlation coefficients between annual calculated drought indices and wheat yield in studied townships

شهرستان Township	همبستگی شاخص خشکی با عملکرد Aridity index correlation with wheat yield	همبستگی شاخص ارزیابی خشکی با عملکرد Drought evaluation index correlation with wheat yield
اردستان Ardestan	-0.2^{ns}	-0.36^{ns}
اصفهان Isfahan	-0.36^{ns}	-0.35^{ns}
خوروبیابانک Khoorobiabanak	0.3^{ns}	0.21^{ns}
شهرضا Shahreza	0.41^{ns}	-0.64^{**}
کاشان Kashan	0.2^{ns}	-0.33^{ns}
گلپایگان Golpaygan	-0.18^{ns}	0.009^{ns}
نایین Naein	0.43^{ns}	-0.42^{ns}
نطنز Natanz	0.27^{ns}	-0.13^{ns}

** و ns: به ترتیب معنی‌دار و عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** and ns: are significant at 1% probability level and non- significant difference, respectively.

جدول ٥- ضرایب همبستگی بین شاخص ارزیابی خشکی و شاخص خشکی

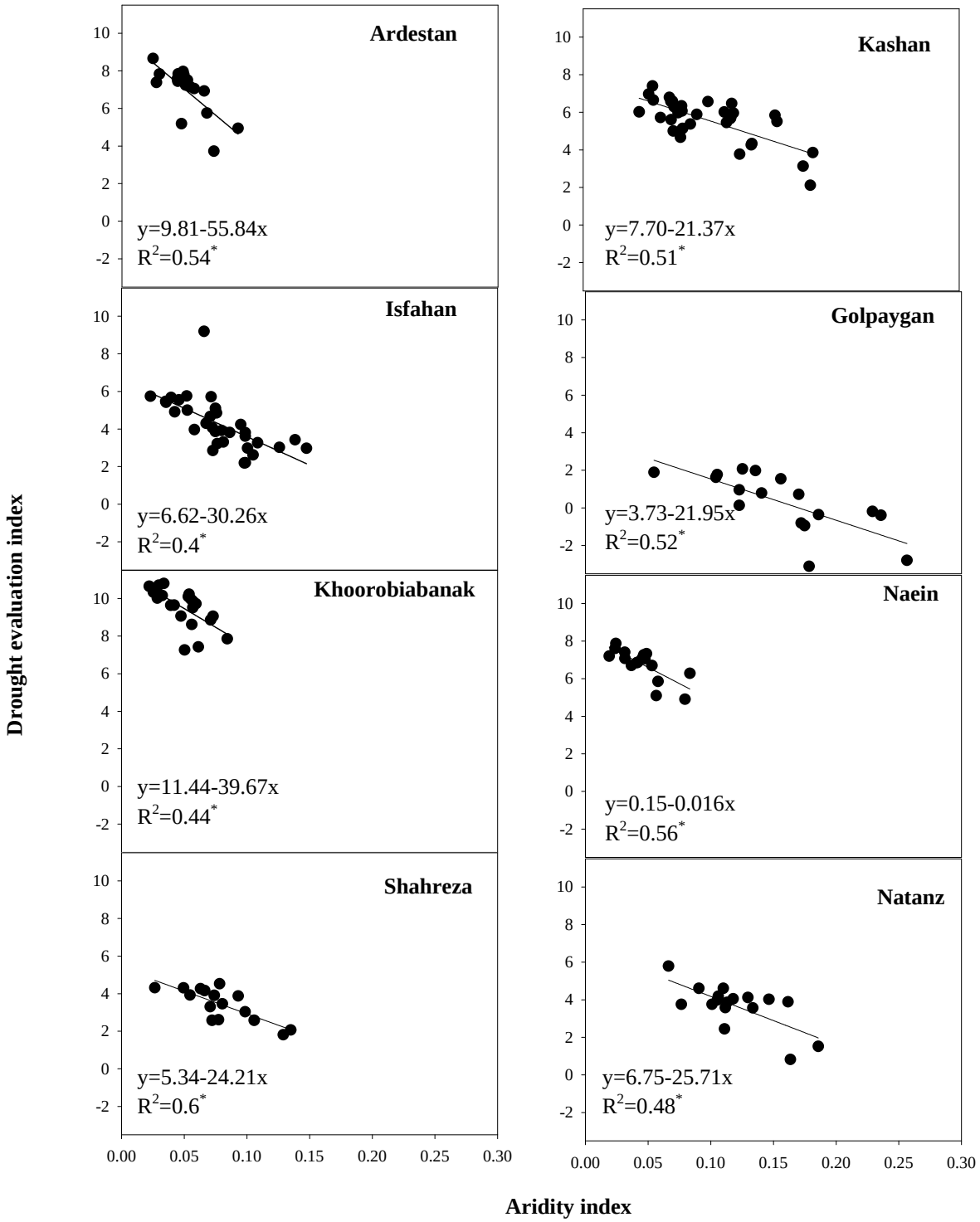
Table 5- Correlation coefficients between Aridity Index and Drought Evaluation Index

شهرستان Township	ضریب همبستگی Correlation coefficient
اردستان Ardestan	-0.73^{**}
اصفهان Isfahan	-0.63^{**}
خوروبیابانک Khoorobiabanak	-0.66^{**}
شهرضا Shahreza	-0.77^{**}
کاشان Kashan	-0.71^{**}
گلپایگان Golpaygan	-0.72^{**}
نایین Naein	-0.75^{**}
نطنز Natanz	-0.69^{**}

** و ns: به ترتیب معنی‌دار و عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** and ns: are significant at 1% probability level and no significant difference respectively

بنابراین شاخص ارزیابی خشکی شهرستان‌های مورد مطالعه را دقیق‌تر تقسیم‌بندی کرده و قادر است تفاوت‌های اقلیمی جزئی که میان این شهرستان‌ها وجود دارد را مورد ارزیابی قرار دهد. این مسئله به دلیل کاربرد تعداد بیشتری از داده‌های اقلیمی به ثبت رسیده در سازمان هواشناسی شهرستان‌های مورد مطالعه در محاسبه این شاخص بود، به‌طوری‌که در محاسبه‌ی این شاخص اثر تمام متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه به صورت مستقیم مورد سنجش قرار می‌گیرد. شاخص ارزیابی خشکی با عملکرد دانه گندم در منطقه‌ی مورد مطالعه همبستگی ضعیفی را نشان دادند که این مسئله می‌تواند به دلیل آبی بودن محصول گندم در این مطالعه باشد.



شکل ۲- رگرسیون خطی بین شاخص خشکی و شاخص ارزیابی خشکی در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 2- Linear regression between Aridity Index and Drought Evaluation Index in studied townships

شاخص خشکی نیز با نوسانات عملکرد گندم در این مناطق همبستگی و ارتباط کمی را نشان داد، که این موضوع به دلیل مقادیر

بارندگی ناچیز در شهرستان‌های مورد مطالعه بود. با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه، درجه حرارت حداکثر مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده شرایط اقلیمی هر یک در شهرستان‌های مورد است.

منابع

1. Abarghouei, B.H., Asadi Zarch, M.A., Dastorani, M.T., Kousari, M.R., and Safari Zarch, M. 2011. The survey of climatic drought trend in Iran. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 25: 851-863.
2. AmirAhmadi, A., and Abbasnia, M. 2010. Climatical zoning of Esfahan Province with modern statistical techniques. Geographical Studies of Arid Areas 1(1): 43-68. (In Persian with English Summary)
3. Anynomous. 2012a. Definition of Drought. 2012. Available at Web site http://www.weather.ir/ (verified 27 April 2012)
4. Anynomous. 2012b. Photoperiod and Solar Radiation Calculator. Agricultural Production Systems Research Unit (APSRU)
5. Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Sadeghi Lotfabadi, S., and Mohamadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. Field Crops Research 10: 1-10.
6. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Abdalrahmani, B., Moosavi, B., and Karimi, A. 2009. Studying climatic variables effects on rainfed wheat grain yield Sardari variety in Maragheh region. Iranian Journal of Field Crops Research 8(1): 1-11. (In Persian with English Summary)
7. Maybank, J., Bonsai, B., Jones, K., Lawford, R., O'Brien, E.G., Ripley, E.A., and Wheaton, E. 1994. Drought as a natural disaster. Atmospheric-Ocean 33(2): 195-222.
8. McKee, B.T., Nolan, J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, California. p. 17-22.
9. Miandare, N.A., and Hosseini nasab, S.E. 2007. Rainfall and temperature functional analysis in Iran using principle component analysis. Journal of Statistical Research 4: 109-128. (In Persian with English Summary)
10. Mohammadi, H., and Roshan, G.H. 2009. Evaluating the role of climatic elements with emphases on wind variable, in wheat yield output (Comparative case study in two stations Shiraz and Kermanshah). Seasonal National Geography 1(3): 17-26. (In Persian with English Summary)
11. Nazemsadat, M.J., Beigi, B., and Amin, S.A. 2003. Winter rainfall zoning in Bushehr, Fares and Kohgiluye provinces using principle component analysis. Agricultural and Natural Resource Science and Technology 1: 61-71. (In Persian with English Summary)
12. Palmer, W.C. 1985. Meteorological drought. US Weather Bureau 45: 1-58.
13. Salehnia, N., and Falahi, M.A. 2010. Evaluating eco-climatic variables on wheat yield using panel data model. Journal of Water and Soil 24(2): 375-384. (In Persian with English Summary)
14. Sharma, S. 1996. Introduction. Applied Multivariate Techniques. John Wiley and Sons Inc, New York. p. 1-35.
15. Soltani, S., Saboohi, R., and Yaghmaei, L. 2011. Rainfall and rainy days trend in Iran. Climate Change 110: 187-213.
16. Vazifedoust, M. 2007. Development of an agricultural drought assessment system: Integration of agrohydrological modeling, remote sensing and geographical information. PhD Dissertation, Wageningen University and Research Centre.