



پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی در اراضی تحت کشت گندم با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (مطالعه موردی غرب استان گلستان)

پریسا علی‌زاده¹، بهنام کامکار^{2*}، شعبان شتایی³ و حسین کاظمی⁴

تاریخ دریافت: 1397/03/01

تاریخ پذیرش: 1397/05/07

علی‌زاده، پ.، کامکار، ب.، شتایی، ش. و کاظمی، ح. 1398. پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی در اراضی تحت کشت گندم با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (مطالعه موردی غرب استان گلستان). بوم‌شناسی کشاورزی، 11 (3): 1069-1084.

چکیده

مدیریت منطقی برای مقابله با خشکسالی، ایجاد نظام مدیریتی و ارائه اطلاعات صحیح در مقیاس‌های زمانی مختلف امری لازم و ضروری است. شاخص‌های خشکسالی از طریق ارزیابی ساده و کمی این پدیده، ابزار کارآمدی برای تحلیل خشکسالی هستند. این مطالعه با هدف پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی در اراضی گندم با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در غرب استان گلستان انجام شد. برای این منظور، در سال‌های 1379 تا 1395 شهرستان‌های آق‌قلا، علی‌آباد کتول، گرگان، بندرگز، بندر ترکمن و کردکوی از آمار بارندگی 15 ایستگاه با طول دوره آماری (30 ساله) مشترک از سال 1363 تا 1395 استفاده شد. پس از محاسبه شاخص بارش استاندارد شده و همبستگی بهتر شاخص SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت‌ماه با میانگین عملکرد گندم، نقشه این شاخص با روش درون‌یابی کریجینگ معمولی تهیه و پهنه‌بندی شد و سپس به ارزیابی و بررسی خشکسالی پرداخته شد. برای تهیه نقشه ریسک خشکسالی ابتدا نقشه‌های شاخص SPI₃ منتهی به اردیبهشت‌ماه طی یک دوره 17 ساله (1379 تا 1395) به صورت دودویی (بولین) طبقه‌بندی شدند. سپس از ترکیب نقشه‌های بولینی به دست آمده نقشه فراوانی وقوع خشکسالی تهیه شد. با استفاده از نقشه‌های احتمال فراوانی خشکسالی شاخص SPI، نقشه ریسک خشکسالی کشاورزی نهایی تولید شد. با بررسی نقشه‌های شدت خشکسالی و ریسک خشکسالی در این مطالعه، شاخص SPI سه‌ماهه جهت بررسی الگوهای خشکسالی در ابعاد زمانی و مکانی مختلف و شدت آن در دوره‌های خشکسالی و مرطوب مؤثر شناخته شد. همچنین، نتایج نشان داد که شش شهرستان مورد مطالعه در استان گلستان به دو منطقه خطرپذیر از نظر خشکسالی (شامل خطر شدید و خیلی شدید) طبقه‌بندی شده‌است. نقشه ریسک نشان می‌دهد که در دوره آماری 1379 تا 1395 بخش گسترده‌ای از منطقه مطالعاتی (حدود 98 درصد) در معرض خطر خشکسالی شدید قرار گرفته است. همچنین بخش کوچکی از شمال شهرستان بندر ترکمن (حدود دو درصد از کل منطقه) خطر خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده‌است. در واقع دامنه نوسانات خشکسالی در این منطقه به دلیل هم‌جواری با صحرای ترکمنستان و وضعیت آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر بوده و این مناطق دارای پتانسیل حساسیت به خشکسالی می‌باشند. نتایج نشان داد عملکرد گندم در شهرستان‌های آق‌قلا، علی‌آباد کتول، بندرگز، گرگان و کردکوی همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقادیر SPI₃ منتهی به اردیبهشت‌ماه داشت. این رابطه می‌تواند هشدار برای تأثیر خشکسالی هواشناسی (به‌خصوص در مناطق مستعد خشکسالی) بر تولید محصولات کشاورزی باشد و نشان می‌دهد که SPI₃ می‌تواند به پیش‌بینی کاهش تولید ناشی از خشکسالی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص SPI، شدت خشکسالی، ریسک خشکسالی، عملکرد

مقدمه

خشکسالی یکی از شایع‌ترین بلایای طبیعی است که به‌صورت یک پدیده تکرارشونده در اقلیم‌های مختلف رخ می‌دهد و اثرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود و می‌تواند در

1. 2 و 4- به ترتیب دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، استاد و استادیار گروه زراعت دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
3- استاد گروه جنگل‌داری دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(* - نویسنده مسئول: Email: kamkar@gau.ac.ir)

Doi: 10.22067/jag.v11i3.72931

خشکسالی استفاده می‌شود. این شاخص به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین شاخص، برای تحلیل خشکسالی به‌ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود. مهم‌ترین مزیت شاخص SPI، قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است (Mishra & Singh, 2011; Tsakiris et al., 2007; Deihimfard et al., 2012; Naresh Kumar et al., 2016). مطالعات زیادی در زمینه‌ی استفاده از شاخص هواشناسی SPI در پایش و ارزیابی خشکسالی انجام شده است.

پتل و همکاران (Patel et al., 2007) با استفاده از اطلاعات بارش ماهانه از 160 ایستگاه هواشناسی در منطقه گجرات هند شاخص SPI را برای تجزیه و تحلیل خشکسالی در این منطقه محاسبه کردند. برای به‌تصویر کشیدن الگوهای مکانی از خشکسالی هواشناسی و شدت آن در طول سال‌های خشک و مرطوب، مقادیر این شاخص درون‌یابی شد. هم‌چنین به‌منظور ارزیابی سودمندی شاخص SPI سه‌ماهه برای کمی کردن اثر خشکسالی روی تولید غلات، آنالیز رگرسیون انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که SPI ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل الگوی زمانی و مکانی خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور هند می‌باشد. خصوصیات زمانی و مکانی خشکسالی در بخش غربی بنگلادش توسط شهید (Shahid, 2008) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. روش شاخص بارش استاندارد شده برای محاسبه شدت خشکسالی در 12 ایستگاه هواشناسی طی دوره آماری 1961 تا 1991 مورد استفاده قرار گرفت و از سامانه اطلاعات جغرافیایی³ (GIS) به‌منظور نقشه‌سازی گستره مکانی خشکسالی‌هایی با شدت متفاوت و در مقیاس‌های زمانی مختلف استفاده شد. با توجه به نتایج مشخص شد که قسمت‌های شمال و شمال شرقی بنگلادش، آسیب‌پذیرترین مناطق در رویارویی با خشکسالی می‌باشند. یک رابطه منفی معنی‌داری بین این شاخص و بارندگی در بعضی از ایستگاه‌ها مشاهده شد. پوتوپ و همکاران (Potop et al., 2010) ارزیابی اثرات بالقوه خشکسالی روی غلات بهاره و زمستانه در جمهوری چک را با استفاده از داده‌های مربوط به اقلیم و محصولات انجام دادند. خشکسالی از روش شاخص بارش استاندارد شده و درصد بارندگی

نواحی با بارش بالا و در هر فصل از سال رخ دهد و باعث کمبود منابع آب گردد (Subash et al., 2011; Mishra & Singh, 2011; Shahabfar et al., 2012; Mathbout et al., 2017).

اما ویژگی‌های خشکسالی از قبیل فراوانی، شدت و تداوم از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. خشکسالی‌ها گرچه زبان‌های اقتصادی، خسارات محیطی و اجتماعی زیادی را باعث می‌شوند، اما از دیگر خطرات طبیعی متفاوت است، زیرا همیشه یک شروع ملایم دارد، ولی به دلیل این‌که تاکنون یک تعریف صریح و روشن برای آن ارائه نشده است نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته و مانعی برای درک و پایش این پدیده است (Mirabbasi et al., 2013). به‌طور کلی خشکسالی می‌تواند به‌عنوان یک دوره خشکی غیرطبیعی آب‌وهوا تعریف شود که بر کشاورزی، منابع آب و اکوسیستم‌های طبیعی تأثیر می‌گذارد (Shahabfar et al., 2012). اما این یک پدیده پیچیده است که انجمن هواشناسی آمریکا براساس ماهیت کمبود آب آن را به چهار دسته طبقه‌بندی کرده است: هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و خشکسالی اجتماعی و اقتصادی. انواع خشکسالی‌ها از نظر زمانی و مکانی با یکدیگر در ارتباط می‌باشند، به نحوی که خشکسالی هواشناسی پیش از انواع خشکسالی‌ها و بعد از آن خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی به وقوع می‌پیوندد (Barua, 2010; Mathbout, 2017). خشکسالی‌های هواشناسی بر اساس کمبود در بارش، خشکسالی‌های کشاورزی براساس کمبود در رطوبت خاک، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی براساس کمبود در جریان رودخانه و خشکسالی اجتماعی و اقتصادی براساس کمبود برخی از کالاهای اقتصادی تحت تأثیر روند خشکسالی تعریف می‌شوند (Patel et al., 2007; Heim, 2002). یکی از روش‌های کارآمد برای تحلیل انواع خشکسالی‌ها، بررسی شاخص‌های خشکسالی می‌باشد (Zargar et al., 2011).

شاخص‌های زیادی مانند انحراف بارش از حالت نرمال، شاخص شدت خشکسالی پالمر¹ (PDSI) و شاخص بارش استاندارد² (SPI) برای اندازه‌گیری خشکسالی هواشناسی وجود دارند، که در میان این شاخص‌ها، SPI به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Naresh Kumar et al., 2012). در حال حاضر شاخص SPI به‌طور گسترده‌ای در امور تحقیقاتی و اجرایی سراسر جهان جهت پایش

1- Palmer drought severity index

2- Standardized precipitation index

3- Geographic information system

و همکاران (Khosravi et al., 2010) از شاخص هواشناسی بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص گیاهی ماهواره‌ای NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست دوره 1996 تا 2015 برای ارزیابی خشکسالی روی پوشش گیاهی در دشت اردکان استان یزد استفاده کردند. همبستگی میان این دو شاخص نشان داد که مراتع نسبت به تغییرات SPI بسیار حساس هستند؛ با این حال، زمین‌های کشاورزی به دلیل استفاده از چاه‌های عمیق در کوتاه‌مدت حساسیت کم‌تری نشان دادند.

طبق گزارش سازمان ملل در آینده‌ای نزدیک، 31 کشور جهان با کمبود آب روبرو خواهند شد و ایران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین کشورهای درگیر بحران آب در آینده معرفی شده است. بانک جهانی طی گزارشی در سال 2007 میلادی تأکید نموده که کاهش سالانه منابع داخلی آب شیرین در ایران، 3/6 برابر استانداردها و شاخص‌های جهانی است (Fattahi & Sedaqatkerdar, 2007). سازمان مدیریت بحران کشور تا پیش از سال زراعی 91-92 اعتقادی به خشکسالی در استان گلستان نداشت تا این که خسارت خشکسالی به شدت افزایش یافت و طبق گزارش مدیریت بحران، در این سال بیش از 800 میلیارد تومان خسارت به بخش‌های مختلف به‌ویژه کشاورزی استان وارد شد (www.ima.ir). این استان در تقسیم‌بندی‌های کشوری جزء استان‌های شمالی در نظر گرفته می‌شود، اما این در حالی است که متوسط بارندگی سالانه آن زیر 500 میلی‌متر است. یکی دیگر از چالش‌های مهم در کم‌آبی، وضعیت توپوگرافی استان است که به دلیل نداشتن ارتفاعات بسیار بلند، فاقد روان‌آب و ذخیره کافی برف بوده و به همین دلیل در فصول گرما دچار چالش زیادی می‌شود. همچنین از سمتی به کویر لوت و از سمت شمال به صحرای قره قوم وصل است و ارتفاعات کوتاه این استان مانع از ورود گرمای استان‌های کویری همسایه نمی‌شود و هوای گرم دیگر استان‌ها سریع‌تر به استان گلستان نفوذ پیدا می‌کند و همین موضوع به چالش کم‌آبی و گرم شدن هوا بیش‌تر دامن می‌زند (www.mehrnews.com). از آن‌جاکه براساس آمارهای موجود در تقسیم‌بندی استان‌ها براساس خشکسالی، استان گلستان در رده هفتمین استان خطرناک کشور قرار دارد و علی‌رغم قرارگیری این استان در شمال ایران و تأثیرپذیری از رطوبت دریای خزر، ریزش‌های جوی در طی سال‌های اخیر نسبت به دوره شاخص 31 ساله حدود 37 تا 43 درصد کاهش نشان می‌دهد. با توجه به تأثیر خشکسالی بر تولید محصولات کشاورزی به‌خصوص گندم به-

طولانی مدت تعیین شد. نتایج نشان‌دهنده درصد بالایی از تغییرپذیری در راندمان محصول به‌واسطه خشکسالی بود. ماناتسا و همکاران (Manatsa et al., 2010) با به‌کاربردن شاخص بارش استاندارد شده، خشکسالی کشاورزی در زیمبابوه را بررسی کردند. در این مطالعه از اطلاعات بارش 60 ایستگاه در طول دوره آماری 1902 تا 2004 میلادی استفاده شد. مقیاس زمانی SPI شش‌ماهه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که خشکسالی ویژگی ذاتی این منطقه است و از آن‌جاکه خشکسالی شدید وسعت مکانی و شدت بالایی دارد، اثرات شدیدی بر کشاورزی و اقتصاد ملی دارد.

مساعدی و همکاران (Mosaedi et al., 2008) با استفاده از شاخص SPI به ارزیابی مکانی خشکسالی در سطح استان گلستان پرداختند و بیان کردند که به‌طور کلی، نوسان‌های رطوبتی در استان بسیار زیاد می‌باشد. هرچند نمی‌توان به‌طور قطع از وجود یک سیکل مشخص در نوسان‌های رطوبتی و وقوع خشکسالی مطمئن بود، ولی به این واقعیت می‌توان اشاره کرد که در منطقه مطالعاتی طی سال‌های مختلف به دفعات شرایط رطوبتی تغییر نموده و در مواردی ترسالی یا خشکسالی‌های مهم با فواصل زمانی حدود 11 سال به وقوع پیوسته‌اند. لشی زند و توری (Lashizand & Talouri, 2004) با استفاده از سری‌های زمانی شاخص (SPI) برای تمام ایستگاه‌ها در شش حوزه غرب و شمال غرب کشور به بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی پرداخت. نتایج حاکی از آن بود که وقوع خشکسالی با تداوم‌های یک و سه‌ماهه حتی در ایستگاه‌های واقع در مناطق نیمه‌مرطوب نیز پدیده‌ای معمول و بازگشت‌کننده است. همچنین، بذرافشان (Bazrafshan, 2006) با بررسی مدیریت و پهنه‌بندی خطر خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در استان گلستان بیان کرد که وضعیت خشکسالی از سال 1364 به بعد روال منظمی داشته و هر سه سال یک‌بار خشکسالی در استان تکرار می‌شود. سرحدی و همکاران (Sarhadi et al., 2010) در ارزیابی و تحلیل خشکسالی استان اصفهان، از شاخص‌های خشکسالی اقلیمی مختلفی استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص SPI به‌عنوان مهم‌ترین شاخص، در دوره آماری 30 ساله به‌طور میانگین همواره نیمی از استان اصفهان را در معرض خشکسالی نشان می‌دهد. استفاده از شاخص‌های SPI و NDVI برای پایش خشکسالی در بخش شمال استان خوزستان نشان داد این شاخص‌ها دارای کارایی مناسب برای پایش خشکسالی هستند (Yazdanpanah et al., 2012). خسروانی

ایستگاه‌های موجود در منطقه به صورت ماهانه تهیه و با در نظر گرفتن معیارهایی از جمله داشتن آمار طولانی‌مدت و پراکنش مناسب در منطقه تعداد 15 ایستگاه با طول دوره آماری مشترک از سال 1363 تا 1395 انتخاب شدند (شکل 1). هم‌چنین صحت و همگنی داده‌ها به روش ران تست¹ مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای دوره 17 ساله انتهایی (1379-1395) به پهنه‌بندی و ارزیابی خشکسالی پرداخته شد. اطلاعات عملکرد و سطح زیرکشت گندم در فواصل سال‌های 1379 تا 1395 نیز از آمارنامه جهاد کشاورزی استان گلستان تهیه شد (آمارنامه جهاد کشاورزی استان گلستان، 1395).

برآورد شاخص بارش استاندارد SPI و پهنه بندی خشکسالی

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در سال 1993 با هدف پایش خشکسالی اقلیمی ایالت کلرادو آمریکا توسط مک کی و همکاران توسعه یافت. شاخص SPI با مقایسه کل بارندگی تجمعی برای ایستگاه یا منطقه‌ای خاص در یک فاصله زمانی مشخص با میانگین دراز مدت بارندگی برای همان فاصله زمانی، در طول دوره آماری به دست می‌آید.

یکی از جنبه‌های ارزشمند این شاخص، پایش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف است. مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت (یک، سه و شش ماهه) در بررسی خشکسالی‌های کشاورزی و مقیاس‌های زمانی بلندمدت (9، 12، 24 و 48 ماهه) در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارد (Mckee et al., 1993). SPI کوتاه‌مدت نسبت به شرایط رطوبتی بسیار حساس است و با کوچک‌ترین تغییر در بارندگی ماهانه، این شاخص به سرعت پاسخ می‌دهد. بدین جهت به عنوان یک ابزار کارآمد برای پایش و ارزیابی خشکسالی کشاورزی معرفی می‌گردد (Quiring & Ganesh, 2010).

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق بررسی و پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی است، مقادیر شاخص SPI یک، سه و شش ماهه با توجه به مقادیر بارندگی ماهانه هر یک از ایستگاه‌ها در طول دوره آماری مورد بررسی (1379-1395) با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MatLab محاسبه شد. اگر X_w نشان‌دهنده کل بارش در خلال یک بازه زمانی w ماهه باشد، با برآورد توزیع گامای دو پارامتری به سری زمانی X_w ، تابع توزیع تراکمی یا CDF حاشیه‌ای

عنوان یک محصول استراتژیک در استان گلستان و ایجاد هزینه‌های زیاد اجتماعی و اقتصادی توجه به اهمیت پایش خشکسالی در سال‌های اخیر افزایش یافته است. بنابراین پایش خشکسالی از اولویت اولیه‌ای برای برنامه‌ریزی و مدیریت آب به منظور کاهش اثرات احتمالی در تولید بر خوردار است (Son et al., 2012). در نتیجه هدف از انجام این تحقیق بررسی و تحلیل مکانی خشکسالی کشاورزی و شناخت استعداد نواحی مختلف استان از نظر خشکسالی با استفاده از شاخص SPI می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با وسعتی بالغ بر 20460 کیلومتر مربع در مجاورت دریای خزر قرار دارد و 1/33 درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. منطقه مورد مطالعه در شش شهرستان آق‌قلا، گرگان، علی‌آباد کنول، کردکوی و بندر گز و بندر ترکمن در غرب استان گلستان قرار دارد که مساحت اراضی کشاورزی در این محدوده حدوداً 307 هزار هکتار می‌باشد و بافت خاک غالب این اراضی سیلتی-رسی-لومی و سیلتی-رسی می‌باشد. این محدوده بین 36 درجه و 24 دقیقه تا 37 درجه و 27 دقیقه عرض شمالی و 53 درجه و 51 دقیقه تا 55 درجه و 7 دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل 1). موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی استان موجب شده که آب‌وهوای آن از یک سو تحت تأثیر نوسانات هوایی دریای خزر و از سوی دیگر تحت تأثیر بیابان ترکمنستان، ارتفاعات و امتداد رشته کوه‌های البرز و پوشش جنگلی این کوه‌ها می‌باشد و اقلیم‌های متفاوت در آن مشاهده شود، به طوری که در این استان از اقلیم نیمه‌خشک در نوار مرزی و حوزه آبخیز اترک تا معتدل و نیمه‌مرطوب در مناطق جنوبی و غربی تا اقلیم سرد کوهستان در مناطق مرتفع و کوهستانی برخوردار است. به همین علت الگوی پراکنش بارندگی در مناطق مختلف استان متفاوت است، به طوری که مقدار بارش در مناطق جنوب و جنوب غربی استان حدود 700 میلی‌متر و در نواحی شمالی استان و نوار مرزی حدود 200 میلی‌متر می‌باشد.

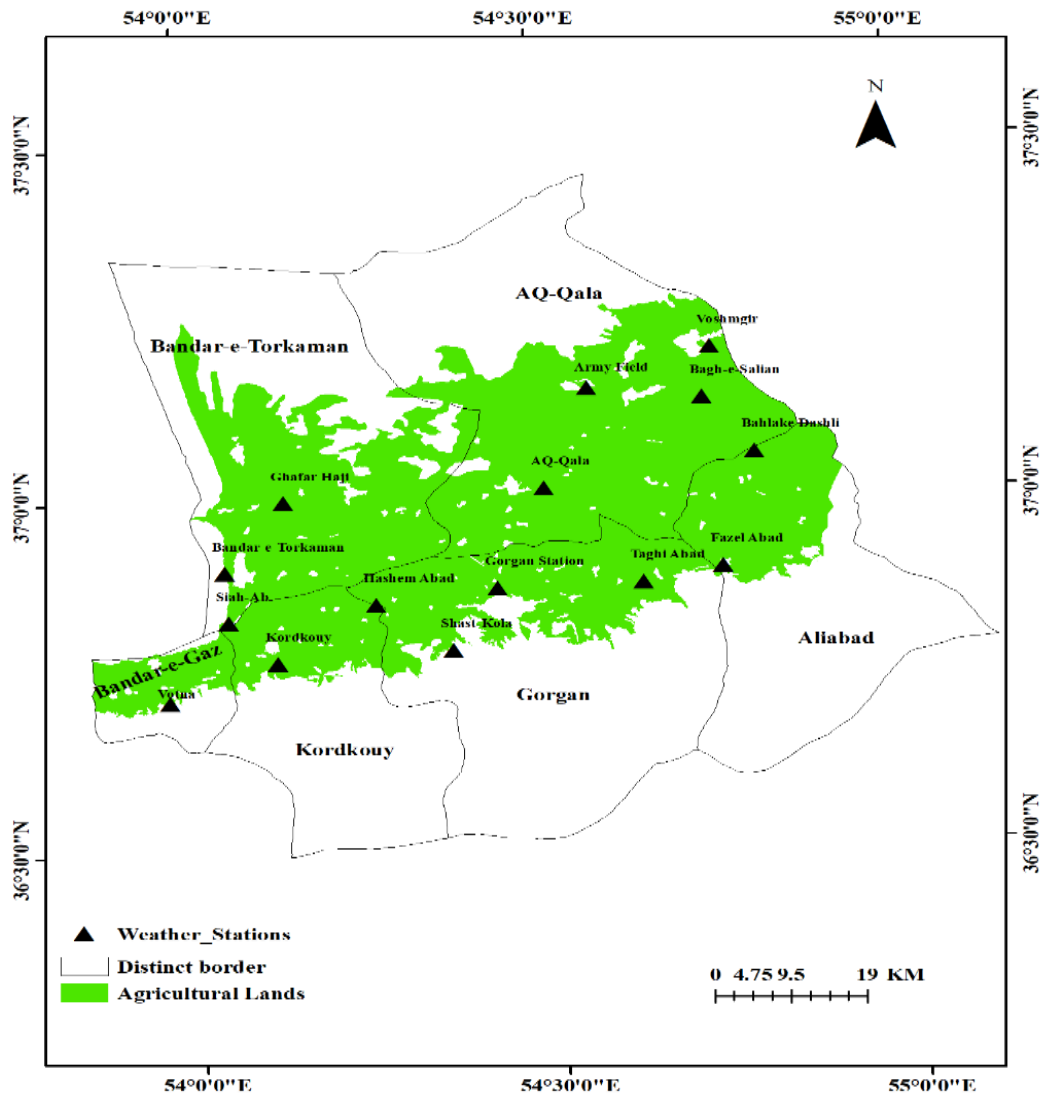
جمع‌آوری داده‌های زمانی و مکانی

در این پژوهش به منظور پایش خشکسالی شهرستان‌های آق‌قلا، علی‌آباد کنول، گرگان، بندر گز، بندر ترکمن و کردکوی، آمار بارندگی

1- Run-test

Mirabbasi et al., (میانگین صفر و انحراف معیار 1) توصیف گردید (2013; Tabouzaeh et al., 2014).

با $u_w = F_{X_w(X_w)}$ به دست آمد. سپس شاخص SPI نظیر هر مشاهده با تابع معکوس نرمال یا $\Phi^{-1}(u_w)$ محاسبه شد. به عبارت دیگر، به جای نشان دادن احتمال تجمعی، SPI با یک متغیر نرمال استاندارد (با



شکل 1- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده
 Fig. 1- Geographic location of the study area and selected meteorological stations

برای پهنه‌بندی و ارزیابی خشکسالی استفاده شد. برای دوره 17 ساله انتهایی (95-1379) پس از محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و تهیه نقشه آن، پهنه‌بندی و ارزیابی خشکسالی با استفاده از این شاخص انجام شد. تاکنون تحقیقات زیادی در مورد مدل‌های

سپس همبستگی شاخص SPI یک، سه و شش ماهه با میانگین عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت که به توجه به این که میانگین عملکرد گندم همبستگی بهتر و مناسب‌تری را با شاخص SPI سه ماهه نشان داد بنابراین از شاخص SPI سه ماهه

صفر دارای مقدار یک (به منزله وقوع خشکسالی) اختصاص داده شد. به عبارت دیگر، هر پیکسل در هر سال دارای ارزش صفر یا یک می باشد سپس رسترهای بولینی به دست آمده در هر سال با استفاده از تابع Cell Statistics در محیط نرم افزار Arc Map ترکیب شدند که در این حالت در نقشه فراوانی وقوع خشکسالی تولیدی هر پیکسل ارزشی بین صفر تا 17 خواهد داشت. با توجه به تعریف گونفا (Gonfa, 1996)، احتمال وقوع خشکسالی در یک منطقه مشخص را می توان به احتمال وقوع کم، متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه بندی کرد. بدین معنا که اگر خشکسالی در بیش از 70 درصد دوره آماری رخ داده باشد، احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید، اگر وقوع خشکسالی در 50 تا 70 درصد دوره باشد، احتمال وقوع خشکسالی شدید، اگر وقوع خشکسالی در 30 تا 50 درصد دوره باشد، احتمال وقوع خشکسالی متوسط، اگر وقوع خشکسالی در 20 تا 30 درصد دوره باشد، احتمال وقوع خشکسالی کم و اگر خشکسالی در کم تر از 20 درصد اتفاق افتاده باشد، به معنای عدم وقوع خشکسالی است. بر این اساس، نقشه ریسک یا احتمال وقوع خشکسالی کشاورزی نهایی (وجود 0-3 سال خشکسالی معادل عدم خشکسالی، وجود 3-5 سال خشکسالی معادل خشکسالی اندک، وجود 5-7 سال خشکسالی معادل خشکسالی متوسط، وجود 7-10 سال خشکسالی معادل خشکسالی شدید و وجود 10-17 سال خشکسالی معادل خشکسالی خیلی شدید) به دست آمد.

جدول 1- طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI (Mckee et al., 1993)

Table 1- Drought Severity classification based on the SPI index (Mckee et al., 1993)

شدت خشکسالی Drought severity	مقدار شاخص Index value
بدون خشکسالی (نرمال یا تر سالی) No drought (Normal or Wet)	≥ 0
خشکسالی اندک Mild drought	(-0.99) - (0)
خشکسالی متوسط Moderate drought	(-1.49) - (-1)
خشکسالی شدید Severe drought	(-1.99) - (-1.5)
خشکسالی بسیار شدید Extreme drought	≤ -2

تهیه نقشه و پهنه بندی خشکسالی صورت گرفته که در اکثر آن ها روش درون یابی کریجینگ به عنوان بهترین مدل درون یابی و تهیه نقشه خشکسالی و سپس پهنه بندی معرفی شده است (Sarabi et al., 2015; Moradi, 2014). در این پژوهش از سه روش درون یابی کریجینگ، کوکریجینگ (با متغیر کمکی ارتفاع) و معکوس فاصله در محیط نرم افزار Arc Map نسخه 10/3 استفاده شد. برای انتخاب روش مناسب درون یابی جهت تهیه نقشه پهنه بندی توزیع خشکسالی معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا ($RMSE^1$) مورد استفاده قرار گرفت. سپس با توجه به بررسی مطالعات انجام شده در استان در این زمینه و بررسی شاخص ارزیابی و دقت روش های درون یابی از روش درون یابی کریجینگ معمولی به جهت انطباق بهتر با شرایط، خطای کم تر و پیش بینی دقیق تر و بهتر، نقشه های خشکسالی بر مبنای شاخص SPI در طول دوره آماری تهیه و سپس پهنه بندی آن و با استفاده از جدول 1 (Mckee et al., 1993) طبقه بندی شدند انجام گردید (Sarabi et al., 2015; Bazrafshan et al., 2011; Eivazi, 2011).

به منظور پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی دامنه ای از SPI (یک، سه و شش ماهه) در نظر گرفته شد و SPI که بالاترین همبستگی را با عملکرد گندم نشان داد، جهت ارزیابی خشکسالی انتخاب شد. جهت تهیه نقشه شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI داده های رستری حاصل از درون یابی با استفاده از جدول 2 به کلاس های شدت خشکسالی برای هر سال برای SPI انتخاب شده (شامل پنج کلاس شدت) طبقه بندی شدند. هم چنین سال های 1386، 1379، 1387 و 1395 جهت ارزیابی شدت خشکسالی در این دوره 17 ساله انتخاب شدند، به طوری که سال های 1379 و 1387 نماینده سال های خشک و سال های 1386 و 1395 به عنوان نماینده سال های تر برای ارائه کلاس های شدت خشکسالی در این دو شرایط مختلف (خشکسالی و ترسالی) انتخاب شدند.

تهیه نقشه ریسک خشکسالی

برای تهیه نقشه ریسک خشکسالی ابتدا داده های رستری شاخص SPI منتخب طی یک دوره 17 ساله (1379 تا 1395) به صورت دودویی (بولین) طبقه بندی شدند. به طوری که مقادیر SPI برابر یا بزرگ تر از صفر به عنوان صفر (به منزله وقوع ترسالی) و مقادیر کم تر از

1- Root Mean Square Error

عملکرد داشته باشد. بنابراین، به منظور نشان دادن توزیع مکانی شاخص خشکسالی SPI نقشه‌های ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد این شاخص برای سال‌های خشک (1379 و 1387) و سال‌های تر (1386 و 1395) بررسی شد (شکل 2). SPI سه‌ماهه برای ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد نشان‌دهنده پویایی زمانی توزیع بارش کم‌تر و بیش‌تر از حد نرمال در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج نشان داد در طول سال‌های خشک 1379 و 1387 مقدار SPI منفی مشاهده می‌شود. در سال 1379 مقدار SPI در اکثر شهرستان‌ها منفی بود و بیش‌ترین شدت خشکسالی در اردیبهشت و خردادماه اتفاق افتاد (شکل 2). همچنین در سال 1387 مقدار SPI همه شهرستان‌های مورد مطالعه در محدوده 0/83- تا 2/7- قرار داشتند، به طوری که بیش‌ترین شدت خشکسالی در اردیبهشت مشاهده شد. بررسی دو سال خشک 1379 و 1387 نشان داد که در سال 1387 شدت خشکسالی به مراتب بیش‌تر از سال 1379 بود، اما در هر دو سال شهرستان‌های بندر گز، علی‌آباد کتول و گرگان بیش‌تر از سایر شهرستان‌ها خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در واقع در این شهرستان‌ها مقدار بارش در ماه‌های مورد بررسی کم‌تر از مقدار میانگین بارندگی در این مناطق بوده است که این نتایج با یافته‌های مساعدی و همکاران (Mosaedi et al., 2008) مشابهت داشت. با توجه به این که در سال‌های 1386 و 1395 مقادیر مثبت SPI بوده‌اند، این سال‌ها به نوعی نمایانگر سال‌های تر می‌باشند. مقایسه سال‌های تر نشان داد که مقادیر SPI در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد سال 1395 بیش‌تر از سال 1386 بود، اما در هر دو سال بیش‌ترین مقادیر مثبت SPI در اردیبهشت‌ماه مشاهده شد. توزیع مکانی SPI در سال‌های تر نشان داد که بیش‌ترین مقادیر SPI در شهرستان‌های علی‌آباد کتول، گرگان و به‌ویژه بندر گز می‌باشد.

با توجه به اینکه SPI سه‌ماهه منتهی به اردیبهشت‌ماه کمبود یا مازاد بارش را برای شناسایی خشکسالی در شهرستان‌های استان گلستان به خوبی نشان داد و همچنین به دلیل همبستگی قوی‌تر بین عملکرد گندم با SPI سه‌ماهه منتهی به اردیبهشت نسبت به فروردین و خرداد ماه در ادامه مطالعه از SPI سه‌ماهه منتهی به اردیبهشت‌ماه برای پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی استفاده شد.

عملکرد استاندارد شده (St.Y)¹: با وجود اینکه عواملی مانند آفات و بیماری‌ها و کمبود عناصر غذایی بر تغییرات عملکرد گیاهان تأثیرگذار است، اما خشکسالی کشاورزی به‌عنوان یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد به‌شمار می‌آید. بنابراین در این مطالعه رابطه بین شاخص خشکسالی اقلیمی و عملکرد گیاه به‌عنوان ابزاری معتبر برای بررسی این فاکتور مهم به کار رفته است. اطلاعات عملکرد گیاهان زراعی هر شهرستان به‌طور مستقیم نمی‌توانند با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرند، زیرا حاصلخیزی اراضی کشاورزی در هر یک از این شهرستان‌ها یکسان نیست. اما در طول دوره 2000 تا 2016 میلادی تغییرات عملکرد محصول هر شهرستان مطابق با شهرستان‌های دیگر است، زیرا همه تحت تأثیر رویدادهای اقلیمی منطقه مانند خشکسالی قرار دارند.

بنابراین جهت روندزایی از داده‌ها از معادله 1 استفاده شد که عملکرد استاندارد شده (St.Y) از هر شهرستان با استفاده از معادله 1 محاسبه شد:

$$St.Y = \frac{Y_j - \bar{Y}}{\sigma} \quad \text{معادله (1)}$$

که در آن، Y_j : عملکرد محصول در هر سال برای هر شهرستان، \bar{Y} : میانگین عملکرد محصول و σ : انحراف معیار عملکرد محصول در طول دوره مطالعه (2000 تا 2016 میلادی) می‌باشند (Lingdong et al., 2013).

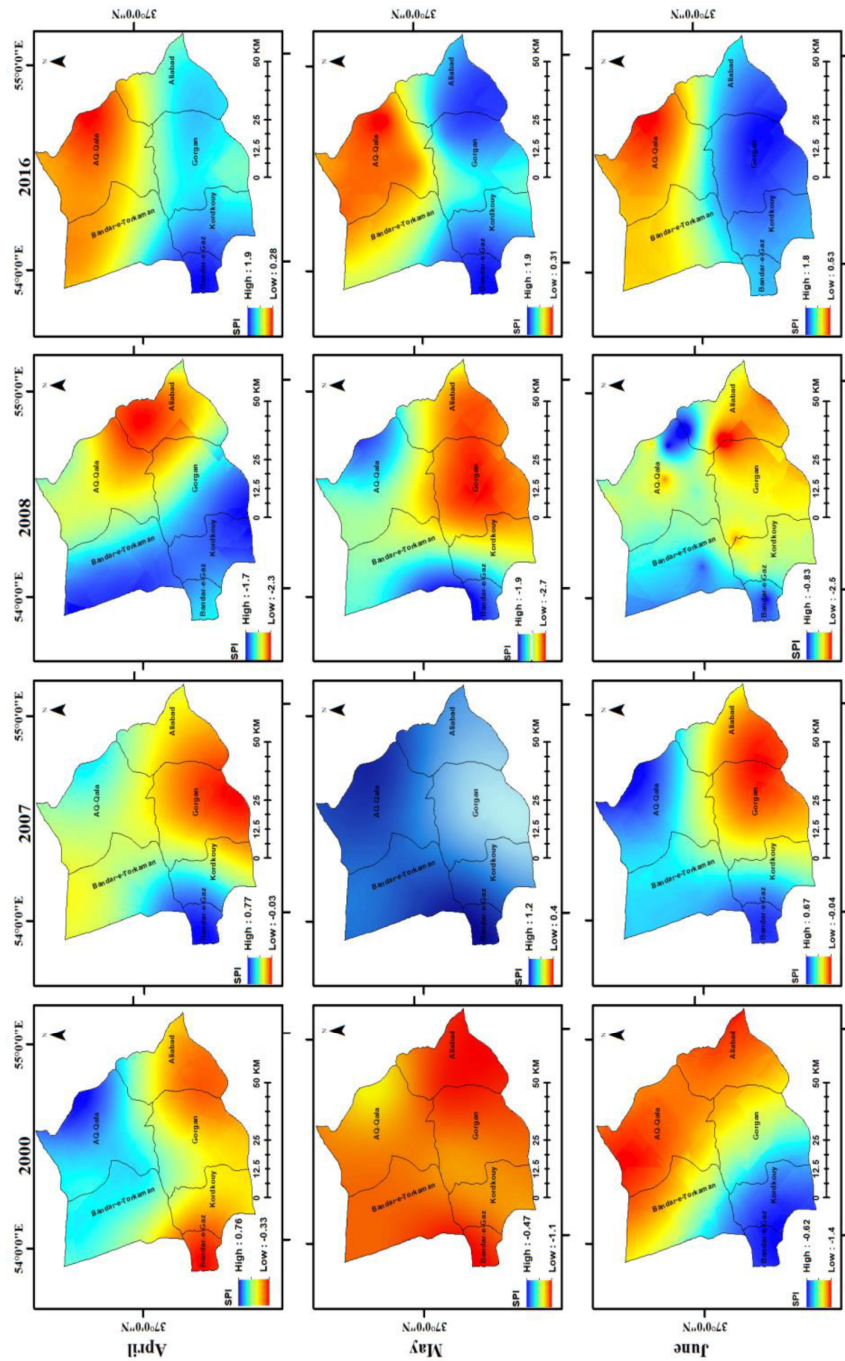
تجزیه و تحلیل داده‌ها، ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4، MS Excel Ver. 13 و تهیه نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcMap Ver. 10.3 انجام شد.

نتایج و بحث

پایش خشکسالی با شاخص SPI

بررسی مقیاس‌های زمانی مختلف SPI برای ماه‌های فصل رشد گندم نشان داد که SPI سه‌ماهه منتهی به فروردین، اردیبهشت و خرداد ماه همبستگی معنی‌داری با عملکرد گندم داشتند. همچنین در غرب استان گلستان زمان وقوع بیش‌ترین سطح برگ و دوره پرشدن دانه گندم در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد ماه بوده و خشکسالی در هر کدام از این ماه‌ها می‌تواند تأثیر منفی زیادی روی

1- The standardized variable of crop yield



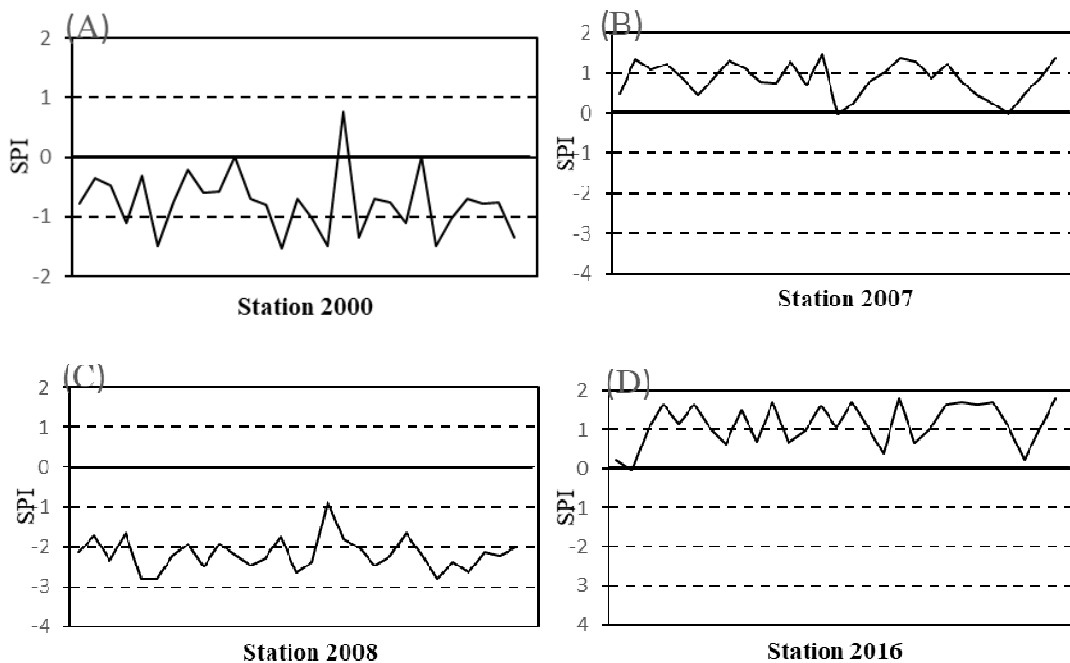
شکل ۳- نقشه‌های توزیع مکانی و زمانی سه ماهه برای سه ماه (فروردین، اردیبهشت و خرداد) در طی سال‌های خشکی (۱۳۷۹ و ۱۳۸۷ و ۱۳۸۱ و ۱۳۹۵) در محدوده مورد مطالعه
 Fig. 2- Spatial patterns of 3-month SPI over 3 months (April, May and June) during drought years (2000 and 2008) and wet years (2007 and 2016) in the studied area

منتخب و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌توان به این نتیجه رسید که در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، سال‌های خشک و سال‌های مرطوب مشاهده شده و ممکن است چند ترسالی متوالی و پس از آن چند

شکل 3 الگوی SPI سه‌ماهه برای اردیبهشت‌ماه را در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. پس از محاسبه و ترسیم نمودار تغییرات ضریب شاخص SPI در ایستگاه‌های

وجود یک سیکل در نوسانات رطوبتی و وقوع خشکسالی مطمئن بود، اما می‌توان به این واقعیت اشاره کرد که ترسالی یا خشکسالی‌های مهمی با فواصل زمانی متفاوت به وقوع پیوسته است.

خشکسالی متوالی و یا بلافاصله پس از ترسالی، خشکسالی و پس از خشکسالی، ترسالی مشاهده شود، اما به‌طور کلی نوسانات رطوبتی در محدوده مورد مطالعه قابل توجه می‌باشد، ضمن این‌که با توجه به کوتاه بودن نسبی دوره آماری (33 سال) نمی‌توان به‌طور قطعی از



شکل 3- SPI-3 سه ماهه منتهی به اردیبهشت در سال‌های خشک (1387 و 1379) و تر (1386 و 1395) در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Fig. 3- April's three-month SPI for drought years (A) 2000 (b) 2008 and wet years (C) 2007 and (D) 2016 at the stations studied

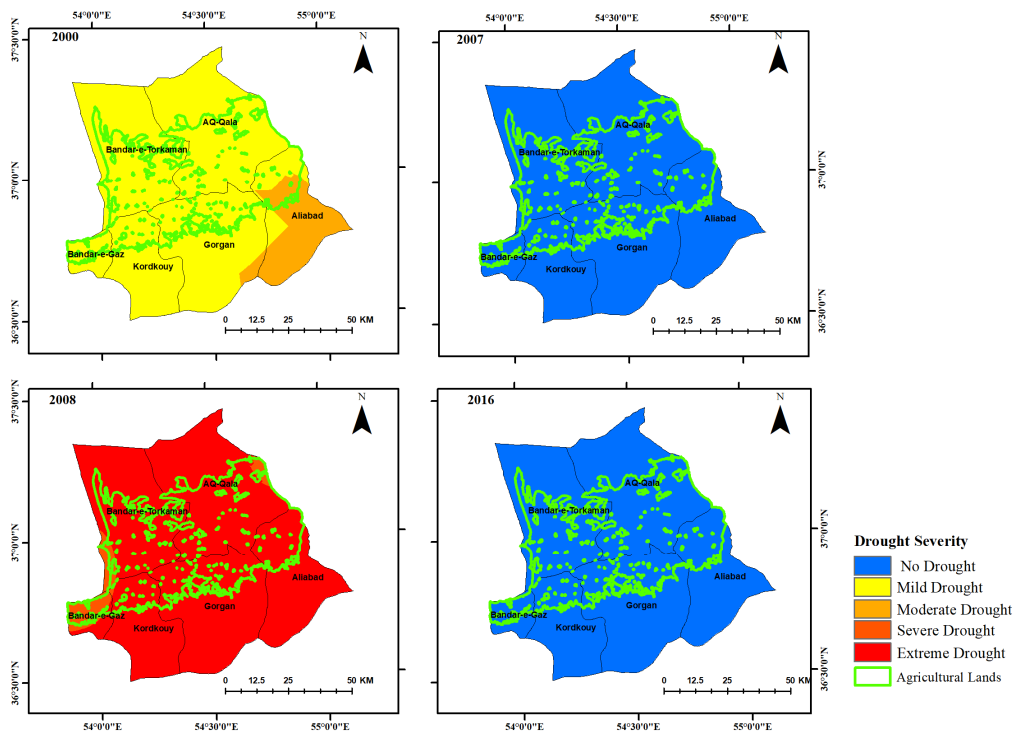
شدت خشکسالی براساس شاخص SPI

شکل 4 نقشه‌های درون‌یابی شده SPI سه‌ماهه منتهی به اردیبهشت در سال‌های انتخابی 1387، 1386، 1379 و 1395 در طی دوره مطالعاتی را نشان می‌دهد که با توجه به جدول 2 به کلاس‌های شدت خشکسالی طبقه‌بندی شده‌اند. نقشه‌های طبقه‌بندی شده نشان می‌دهد که در سال 1387 این شش شهرستان خشک‌ترین سال را تجربه کرده‌اند. سایر محققان نیز در یافته‌های خود خشکسالی شدیدی را در سال 1387 در استان گلستان گزارش کردند (Sarabi et al., 2015; Moradi, 2014). با توجه به شاخص SPI در سال‌های مورد مطالعه، 95 درصد از کل منطقه تحت تأثیر خشکسالی بسیار شدید و پنج درصد تحت خشکسالی شدید بوده است. در سال 1379، از کل منطقه 88 درصد تحت تأثیر خشکسالی متوسط و 12 درصد دیگر آن

در سال 1387 حداقل مقدار SPI معادل $-2/8$ بود و در اکثر ایستگاه‌ها مقدار SPI سه‌ماهه کم‌تر از -2 بود، اما در سال 1379 مقدار SPI سه‌ماهه در اکثر ایستگاه‌ها کم‌تر از $-0/7$ بود که این نتیجه نشان می‌دهد در سال 1387 نسبت به سال 1379 خشکسالی شدیدتر است. با این حال نگاهی به توزیع SPI در طول سال‌های 1386 و 1395 به‌استثنای چند ایستگاه مقادیر SPI را عمدتاً بین 1 تا 2 نشان می‌دهد که نشانگر شرایط نسبتاً مرطوب است. وجود مقادیر منفی در چند ایستگاه در این سال‌ها ترسالی است به‌علت تنوع الگوی بارش و حداقل میانگین بارش فصلی ایجاد شده باشد. چنین مسائلی اغلب هنگام استفاده از SPI در مقیاس کوتاه‌مدت (یک، دو یا سه ماه) در نواحی با تنوع الگوی بارش به‌وجود می‌آید (Loukas et al., 2003).

خشکسالی کشاورزی استفاده شود (Patel et al., 2007; Łabędzki & Bąk, 2014). از این رو، SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت در این مطالعه برای تعیین شدت خشکسالی در سال های خشک و تر استفاده شد.

(که سهم بیش تر آن در شهرستان علی آباد کتول بود) تحت تأثیر خشکسالی اندک بوده است. اما در سال های 1386 و 1395 هیچ گونه خشکسالی در شهرستان های مورد بررسی دیده نشد. بسیاری از مطالعات نشان داده اند که SPI کوتاه مدت (سه ماهه) بیان کننده انحراف فصلی در بارش است و بنابراین می تواند به عنوان یک شاخص



شکل 4- نقشه های شدت خشکسالی SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت طی سال های خشک (1379 و 1387) و تر (1386 و 1395) در محدوده مورد مطالعه

Fig. 4- Severity drought map April's three-month SPI for drought years (2000 and 2008) and wet years (2007 and 2016) in the studied area

تحلیل همبستگی بین شاخص SPI و عملکرد گندم - مستعد خشکسالی) بر تولید محصولات کشاورزی باشد و نشان می دهد که SPI3 می تواند به پیش بینی کاهش تولید ناشی از خشکسالی کمک کند. مطالعات مخابلا و همکاران (Mkhabela et al., 2010)، ارشد و همکاران (Arshad et al., 2010)، ویسنته سرانو و همکاران (Vicente-Serrano et al., 2010) و چادهری و دادهوا (Chaudhari & Dadhwal, 2004) نشان دادند که شاخص SPI می تواند تغییرات عملکرد گندم را توجیه کند که مشابه با نتیجه مطالعه حاضر در منطقه غرب استان گلستان می باشد.

تحلیل همبستگی بین شاخص SPI و عملکرد گندم

علاوه بر تفسیر خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI اثر خشکسالی بر عملکرد گندم نیز با این شاخص مورد تحلیل قرار گرفت. رابطه ی بین میانگین SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت ماه و عملکرد روندزایی شده گندم در هر شهرستان توسط همبستگی پیرسون ارزیابی شد. عملکرد گندم در شهرستان های آق قلا، علی آباد، بندر گز، گرگان و کردکوی همبستگی مثبت و معنی داری با مقادیر SPI3 منتهی به اردیبهشت نشان دادند (جدول 2). این رابطه می تواند هشدار برای تأثیر خشکسالی هواشناسی (به خصوص در مناطق

جدول 2- همبستگی بین SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت ماه و عملکرد روندزدایی شده گندم

Table 2- Correlation between 3-month SPI for May and de-trended wheat yield

شهرستان مورد مطالعه City studied	ضریب همبستگی Correlation coefficient
آق قلا AQ-Qala	0.647*
علی آباد کتول Aliabad_Katul	0.399 ^{ns}
بندر گز Bandar-e-Gaz	0.665**
گرگان Gorgan	0.651*
کردکوی Kordkouy	0.634*
بندر ترکمن Bandar-e-Torkaman	0.626*

و : به ترتیب معنی داری در سطح احتمال 1 و 5 درصد و ^{ns}: غیر معنی دار.

** , * and (ns) indicates significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively.

گسترده‌ای از منطقه مطالعاتی (حدود 98 درصد) در معرض خطر خشکسالی شدید قرار گرفته است. هم‌چنین بخش کوچکی از شمال شهرستان بندر ترکمن (حدود دو درصد از کل منطقه) خطر خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده است.

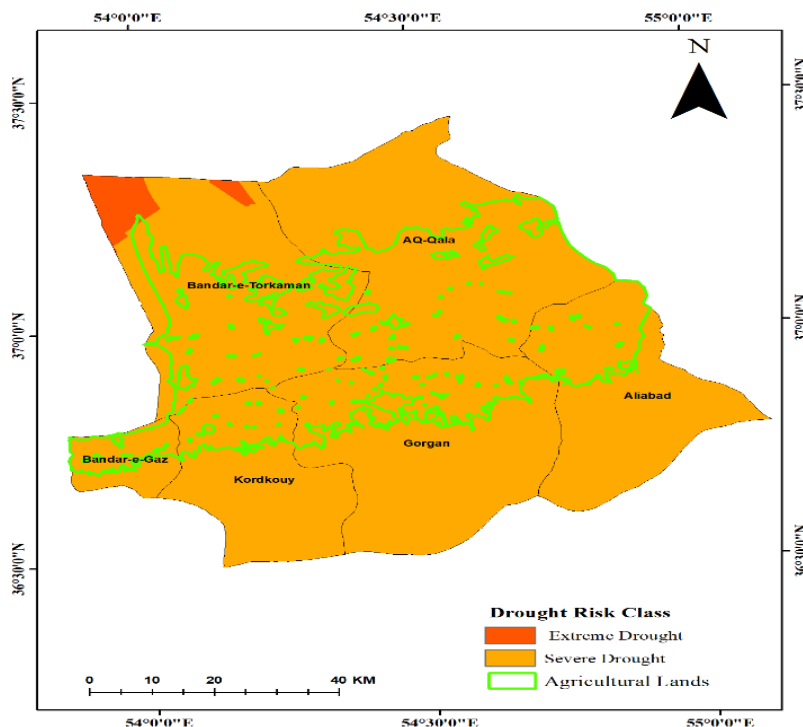
نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که شاخص SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت ماه برای نشان دادن توزیع مکانی و زمانی خشکسالی در غرب استان گلستان مؤثر بوده است. این توانایی با توجه به شناسایی خشکسالی سال 1387 توسط SPI مشخص گردید که در این سال یکی از شدیدترین خشکسالی‌های دهه اخیر رخ داده بود. با وجود وسعت نسبتاً کم استان گلستان تغییرات شرایط رطوبتی در منطقه مورد مطالعه بسیار زیاد است. در بعضی از سال‌ها درحالی که برخی مناطق از خشکسالی رنج می‌برده است، وضعیت رطوبتی مناطق دیگر در حد نرمال بوده است. با توجه به نقشه‌های گستره خشکسالی در غرب استان گلستان، دامنه نوسانات خشکسالی در مناطق مرزی و نوار ساحلی دریای خزر که در وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارند شدید می‌باشد. هم‌چنین مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت ماه می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی تغییرات عملکرد گندم به‌خصوص در مناطقی باشد که

ریسک خشکسالی بر اساس شاخص SPI

نقشه‌های SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت ماه تنها اطلاعات شدت خشکسالی را در هر سال نشان می‌دهند. ریسک خشکسالی به آسیب‌پذیری یک منطقه نسبت به پدیده خشکسالی مرتبط است و عمدتاً با تحلیل فراوانی احتمال وقوع خشکسالی در یک دوره زمانی، مورد بررسی قرار می‌گیرد (Wilhite, 2000). بنابراین SPI سه ماهه منتهی به اردیبهشت ماه تمام 17 سال به تصاویر باینری با مقادیر 0 و 1 تبدیل شدند. ترکیب 17 لایه باینری به دست آمده با یکدیگر نشان داد که مقادیر پیکسل‌های نقشه فراوانی حاصل از آن در محدوده 7 تا 11 قرار داشت که نشان‌دهنده فراوانی وقوع خشکسالی در این دوره می‌باشد. با توجه به تعریف گونفا (Gonfa, 1996) احتمال وقوع خشکسالی در یک منطقه مشخص را می‌توان به احتمال کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی کرد. از این رو اگر خشکسالی در بیش از 50 درصد دوره آماری رخ داده باشد، احتمال وقوع خشکسالی زیاد، اگر وقوع خشکسالی در 30 تا 50 درصد دوره باشد، احتمال وقوع خشکسالی متوسط و اگر در کم‌تر از 30 درصد دوره اتفاق بیافتد احتمال وقوع خشکسالی کم است. نتایج نشان داد که شش شهرستان مورد مطالعه در استان گلستان به دو منطقه خطرپذیر از نظر خشکسالی (شامل خطر شدید و خیلی شدید) طبقه‌بندی شده است (شکل 5). نقشه ریسک نشان می‌دهد که در دوره آماری 1379 تا 1395 بخش

بیش تر تحت تأثیر نوسانات خشکسالی قرار دارند. از این رو می توان در مدیریت ریسک خشکسالی، شاخص SPI سه ماهه را که شاخصی کارآمد است به کار گرفت و نتایج ارزشمند و قابل اعتمادی را به دست آورد.



شکل 5- نقشه های ریسک خشکسالی بر اساس SPI سه ماهه در طی سال های 1379 تا 1395 در محدوده مورد مطالعه
 Fig. 5- Drought risk maps based on three-month SPI for the period of 2000-2016 in the studied area

این نتایج نشان می دهد که منطقه غرب استان گلستان جزء مناطقی است که در آینده فراوانی خشکسالی ها در آن افزایش خواهد یافت. بنابراین نظام های کشت وابسته به آب باران در آینده با مخاطره روبرو خواهند شد و برخی از دیم زارهایی که هم اکنون به کشت دیم محصولات مختلف اختصاص می یابند از عرصه تولید خارج خواهند شد. کاهش میزان بارش ها در سال های اخیر، پس روی دریا در حاشیه دریای خزر و منطقه بندر ترکمن و هم چنین خالی شدن بسیاری از

اراضی زراعی از محصولات در سال های اخیر نشان از آن دارد که تبعات این خشکسالی ها دامن گیر شده است. بنابراین، سیاست گزاران بخش کشاورزی باید به فکر جایگزینی کشت گیاهان دارای کارایی مصرف آب بالا در سال های آتی باشند و هم چنین در خصوص افزایش زمین های دارای کیفیت کم و شور شدن اراضی مراقبت های لازم را بنمایند.

منابع

Arshad, S., Morid, S., Mobasheri, M.R., and Alikhani, M.A. 2007. Development of Agricultural Drought Risk Assessment Model for Kermanshah Province (Iran), using satellite data and intelligent methods. Proceeding of The First International Conference on Drought Management, Zaragoza, Spain, pp. 303-310.
 Barua, S. 2010. Drought assessment and forecasting using a nonlinear aggregated drought index. PhD Dissertation, Victoria University, Australia.
 Bazrafshan, A. 2006. Management and zoning of drought risk using standard rainfall index. 2nd International

- Conference on Integrated Natural Disaster Management. (In Persian)
- Bazrafshan, O., Mohseni, S.M., Malekian, A., and Moeini, A. 2011. A study on drought characteristics of Golestan province using standardized precipitation index (SPI). *Iranian Journal of Range and Desert Research* 18 (3): 395-407. (In Persian with English Summary)
- Carrao, H., Naumann, G., and Barbosa, P. 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change* 39: 108-124.
- Chaudhari, K., and Dadhwal, V. 2004. Assessment of impact of drought-2002 on the production of major kharif and rabi crops using standardized precipitation index. *Journal of Agrometeorology* 6: 10-15.
- Deihimfard, R., Eyni, N.H., and Haghghat, M. 2016. Zoning of drought incident in Fars province under climate change conditions using standardized precipitation index. *Journal of Agroecology* 7(4): 528-546. (In Persian with English Summary)
- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., and Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23: 245-253.
- Eivazi, M., and Mosaedi, A. 2011. Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in Golestan province using geostatistical methods. *Iranian Journal of Natural Resources* 64(1): 65-78. (In Persian with English Summary)
- Gonfa, L. 1996. Climate Classification of Ethiopia, In: *Meteorological Research Report Series* 3: 1-8.
- Hao, C., Zhang, J., and Yao, F. 2015. Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 35: 270-283.
- Heim Jr, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83: 1149-1165.
- Iranian Space Agency. 2017. Available at Web site www.isa.ir (verified 5 September 2017). (In Persian)
- Khosravi, H., Haydari, E., Shekoohzadegan, S., and Zareie, S. 2017. Assessment the effect of drought on vegetation in desert area using landsat data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 20: S3-S12. (In Persian with English Summary)
- Łabędzki, L., and Bąk, B. 2014. Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications II*.
- Loukas, A., Vasiliades, L., and Dalezios, N. 2003. Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece. *Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Technology* pp. 484-491.
- Manatsa, D., Mukwada, G., Siziba, E., and Chinyanganya, T. 2010. Analysis of multidimensional aspects of agricultural droughts in Zimbabwe using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology* 102: 287-305.
- Mathbout, S., Lopez-Bustins, J.A., Martin-Vide, J., Bech, J., and Rodrigo, F.S. 2018. Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012. *Atmospheric Research* 200: 153-168.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society Boston, MA*, pp. 179-183.
- Mirabbasi, R., Anagnostou, E.N., Fakheri-Fard, A., Dinpashoh, Y., and Eslamian, S. 2013. Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. *Journal of Hydrology* 492: 35-48. (In Persian with English Summary)
- Mishra, A.K., and Singh, V.P. 2011. Drought modeling–A review. *Journal of Hydrology* 403: 157-175.
- Mkhabela, M., Bullock, P., Gervais, M., Finlay, G., and Sapirstein, H. 2010. Assessing indicators of agricultural drought impacts on spring wheat yield and quality on the Canadian prairies. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 399-410.
- Moradi, P. 2014. Drought trend study using climatic indices and remote sensing data in Golestan province. Master's Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran. (In Persian with English Summary)
- Mosaedi, A., KhaliliZadeh, M., and Mohammadi, O.A. 2008. Drought monitoring in Golestan province. Final report from Research Project, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. p. 17. (In Persian with English Summary)
- Naresh Kumar, M., Murthy, C., Sessa Sai, M., and Roy, P. 2012. Spatiotemporal analysis of meteorological drought

- variability in the Indian region using standardized precipitation index. *Meteorological Applications* 19: 256-264.
- Patel, N., Chopra, P., and Dadhwal, V. 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications* 14: 329-336.
- Potop, V., Türkott, L., Kožnarová, V., and Možný, M. 2010. Drought episodes in the Czech Republic and their potential effects in agriculture. *Theoretical and Applied Climatology* 99: 373-388.
- Quiring, S.M., and Ganesh, S. 2010. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 330-339.
- Sarabi, S., Heshmatpour, A., Komaki, B., and Tahmasebi, A. 2015. Relationship between MODIS vegetation indices and drought in northern rangelands of Golestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 22: 392-405. (In Persian with English Summary)
- Sarhadi, A., Soltani, K.S., and Modares, R. 2008. The analysis of drought extension over Isfahan province based on four drought indices. *Iranian Journal of Natural Resources Research* 61(3): 555-570. (In Persian with English Summary)
- Shahabfar, A., Ghulam, A., and Eitzinger, J. 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18: 119-127.
- Shahid, S. 2008. Spatial and temporal characteristics of droughts in the western part of Bangladesh. *Hydrological Processes* 22: 2235-2247.
- Son, N., Chen, C., Chen, C., Chang, L., and Minh, V. 2012. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18: 417-427.
- Subash, N., Mohan, H.R., and Banukumar, K. 2011. Comparing water-vegetative indices for rice (*Oryza sativa* L.)–wheat (*Triticum aestivum* L.) drought assessment. *Computers and Electronics in Agriculture* 77: 175-187.
- Tabouzadeh, S., Zarei, H., and Bazrafshan, O. 2014. Analysis of severity, duration, frequency and zoning map of meteorological drought of Bakhtegan river basin. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 38: 109-123. (In Persian with English Summary)
- Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Water Resources Management* 21: 821-833.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., and López-Moreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.
- Vicente-Serrano, S.M., Cuadrat-Prats, J.M., and Romo, A. 2006. Early prediction of crop production using drought indices at different time-scales and remote sensing data: application in the Ebro Valley (north-east Spain). *International Journal of Remote Sensing* 27: 511-518.
- Wilhite, D.A. 2000. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. Routledge Publishers: London, U.K., pp. 3–18.
- Wilhite, D.A., Svoboda, M.D., and Hayes, M.J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management* 21: 763-774.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., and Khan, F.I. 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews* 19: 333-349.

Spatial and Temporal Monitoring of Agricultural Drought in the Wheat Cultivated Area using Standard Precipitation Index (Case Study: West of Golestan Province)

P. Alizadeh¹, B. Kamkar^{2*}, S. Shataee³ and H. Kazemi⁴

Submitted: 22-05-2018

Accepted: 29-07-2018

Alizadeh, P., Kamkar, B., Shataee, S., and Kazemi H. 2019. Spatial and temporal monitoring of agricultural drought in the wheat cultivated area using standard precipitation index (Case study: West of Golestan Province). Journal of Agroecology. 11(3): 1069-1084.

Introduction

Drought is not a characteristic of a region and may occur in any weather regime. Therefore, reasonable management is required to deal with this natural disaster which can be creating a management system and providing accurate information at different time scales. Meteorological, agricultural, hydrological and socioeconomic drought are defined based on lack of rainfall, lack of soil moisture, shortage of rivers stream and the shortage of some commodities affected by the drought trend. One of the effective methods for analyzing various kinds of drought is the evaluation of drought indices, which aims to provide a simple and quantitative assessment of drought characteristics. The purpose of this research is to investigate the Spatial and temporal monitoring of agricultural drought in the Wheat cultivated area using standard precipitation index in west of Golestan province.

Material and Methods

In this research, in order to monitor the spatial and temporal distribution of drought in the years of 2000 to 2016 in AQ-Qala, Ali Abad, Gorgan, Bandar-e- Gaz, Bandar-e- Torkaman and Kordkouy counties, 15 meteorological stations with common statistical database (1984 to 2016) were used to estimate the rainfall. After calculating the standard precipitation index (hereafter SPI) and more reliable correlation of May's three-month SPI index (hereafter SPI₃) with the mean wheat yield, this index was zoned with ordinary Kriging interpolation method and then drought was assessed. In order to prepare a drought risk map, SPI₃ rasters were reclassified as binary (BOOLEAN) for a time span of 17 years (2000 to 2016). Then, a map of the drought frequency was provided by the overlaying of Boolean maps. Using drought frequency maps of the SPI index, a final agricultural drought risk map was generated.

Results and Discussion

In 2000, 88% of the total area were affected by moderate drought and another 12% (the majority of which was in Aliabad) was affected by moderate classes of drought. But in 2007 and 2016 there was no drought in the investigated counties. In this research, by studying the drought severity and drought risk maps, it was clarified that the SPI index was an effective index in evaluating the drought patterns in different temporal and spatial scales and during drought periods. Also, the results showed that six studied counties in Golestan Province were classified into two risky drought areas (including severe and extreme classes). Risk map showed that in the applied statistical time period (2000 to 2016), an extensive part of the study area (about 98%) is at extreme risk class. Also, a small northern part of the Bandar-e-Torkaman (about 2% of the total area) has experienced an

1, 2 and 4- Ph.D. student, Professor and Associate Professor of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.

3- Assistant Professor of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (*- Corresponding Author Email: kamkar@gau.ac.ir)

Doi: 10.22067/jag.v11i3.72931

extreme drought. In fact, the magnitude of the drought range in this region is greater due to coexistence with the Turkmen desert and its dry and semiarid weather conditions, which leads to a potential for drought sensitivity.

Conclusion

The results revealed a positive correlation between wheat yield and SPI3 in AQ-Qala, Ali Abad, Gorgan, Bandar-e- Gaz, and Kordkouy counties. The effect of meteorological drought on the crop production can be a concern (especially in drought-prone areas) and suggests that SPI3 can be helpful for predicting drought-induced yield loss. These results indicate that the western region of Golestan province is one of the areas where droughts will increase in the future. Therefore, rain-fed cropping systems will be in danger in the future, and some of the agroecosystems currently dedicated to the cultivation of rain-fed products will be excluded from the production process. rainfall reduction in recent years, has been led to retreat the Caspian Sea in Bandar-e-Torkaman area, as well as the eliminating of many crops in recent years, which reveals that the consequences of these droughts have been emerged. Therefore, agricultural policy makers need to consider the replacement of crops with high efficient water usage instead of current ones in cropping patterns in the coming years, as well as be concerned more about land salinization.

Keywords: Drought risk, Drought severity, SPI Index, Yield