

مقایسه دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد در ارزیابی تأثیر خشکسالی بر عملکرد گندم در استان خراسان شمالی

مهدی تیموری^{۱*}، وحید غلامی^۲، محمدرضا خالقی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲

چکیده

در این مقاله، شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) و یک نسخه اصلاح شده آن جهت بررسی اثرات خشکسالی بر عملکرد گندم در استان خراسان شمالی مورد استفاده قرار گرفت. در نسخه اصلاحی بارش مؤثر ماهانه جایگزین شده و به نام شاخص بارش استاندارد کشاورزی محور (شاخص aSPI) استفاده شد. جهت محاسبه متغیر بارش مؤثر، روش تجربی سرویس حفاظت خاک ایالات متحده بکار رفت. شاخص مورد نظر با استفاده از داده‌های بارش و دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷) ایستگاه‌های همدیدی خراسان شمالی محاسبه گردید و مقادیر آن در پنجره‌های مختلف زمانی با عملکرد گندم در دوره زمانی ۱۵ ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷) تطبیق داده شد. هر دو شاخص اصلی و اصلاح شده در پنجره‌های زمانی معمول ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه و با استفاده از ضریب همبستگی رابطه آن‌ها با عملکرد استاندارد شده، مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. نتایج کاربست شاخص بارش استاندارد کشاورزی نشان داد که بارش‌های تأثیرگذار در عملکرد محصول گندم در استان در ایستگاه بجنورد، بارش‌های دوره زمانی آبان - اردیبهشت، در ایستگاه شیروان، فاروج و اسفراین دوره زمانی فروردین - خرداد، در ایستگاه مانه و سملقان دوره زمانی آبان تا دی و در ایستگاه جاجرم دوره زمانی مهر - خرداد، هستند.

واژه‌های کلیدی: بارش مؤثر، شاخص خشکسالی، عملکرد گندم

مقدمه

مختلف مورد توجه قرار گرفته است و امروزه مشخص شده که زندگی افراد بیشتری را نسبت به سایر خطرات طبیعی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vangelis et al., 2013). این امر با استمرار گرمایش اقلیمی کره زمین و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها که به صورت جدی حیات انسان و توسعه پایدار جوامع را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مشهود است (Liu et al., 2021). از آنجاکه غالباً خشکسالی‌ها با وقایع حدی مانند امواج گرمایی (Zscheischler et al., 2018) و خشکی جوی (Zhu et al., 2019) در ارتباط هستند که موجب کاهش میزان تولیدات گیاهی، افزایش آفات گیاهی و همچنین آتش‌سوزی‌های گسترده مناطق جنگلی می‌شود، پایش و تحلیل این وقایع کمک مؤثری در پیش‌بینی وقایع مزبور خواهد نمود (Crocetti et al., 2020). مطالعات متعددی در زمینه تعیین خصوصیات خشکسالی و پایش آن انجام شده

خشکسالی یک پدیده منطقه‌ای است و هنگامی رخ می‌دهد که آب در دسترس منطقه کمتر از میزان متوسط در طی یک دوره مشخص باشد (Beran and Rodier, 1985). اگرچه این پدیده مناطق جغرافیایی مختلف دنیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی تأثیر آن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک محسوس‌تر است. خشکسالی از گذشته به صورت معمول به عنوان یک واقعه طبیعی در بررسی میزان تغییرپذیری اقلیمی مناطق

^۱ استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

*نویسنده مسئول: m.teimouri@ub.ac.ir

^۲ دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان
^۳ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت جام، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، تربت جام، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

خشکسالی می‌شود، ظرفیت سازگاری محصولات زراعی با چنین شرایطی ممکن است در بسیاری از نقاط جهان محدود باشد (Vaghefi et al., 2019). شاخص‌های زیادی بر مبنای متغیرهای متفاوت برای تعیین خشکسالی کشاورزی طراحی شده است. یکی از پر استفاده‌ترین متغیرهای مورد استفاده، رطوبت خاک و سلامت گیاه است (AghaKouchak et al., 2015) که توسط داده‌های سنجش از دور قابل استخراج می‌باشند. برخی از مهم‌ترین آن‌ها مانند شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده^۱ و شاخص شرایط پوشش گیاهی^۲، که هر کدام از آن‌ها در اقلیم‌های متفاوت و با دقت تصاویر ماهواره‌ای از لحاظ رادیومتریکی و طیفی نتایج بسیار متفاوتی را می‌دهند و در نتیجه ارزیابی را مشکل می‌سازند (Hamzeh et al., 2017). سایر شاخص‌های موجود نیز مبتنی بر داده‌های آماری اقلیمی (و گاهی مشخصات فیزیکی خاک و نوع گیاه) هستند که علی‌رغم قدیمی بودن برخی از آن‌ها هنوز هم مورد استفاده بوده و نسخه‌های جدیدتر آن‌ها نیز به‌روزرسانی می‌شود مانند شاخص بارش استاندارد^۳، شاخص شدت خشکی پالمر^۴، شاخص احیای خشکسالی^۵. دلیل استقبال بیشتر محققان نسبت به این موضوع در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، سادگی اصول و درک ساختار آن‌ها است که علی‌رغم اینکه برخی از آن‌ها مانند شاخص SPI صرفاً برای تعیین خشکسالی هواشناسی طراحی شده ولی به دلیل اینکه مبتنی بر داده‌های بارش است، در تحقیقاتی مثل تغییرپذیری و تحلیل خطر خشکسالی کشاورزی (Zhong et al., 2018)، اثرات خشکسالی بر محصولات کشاورزی (Leng and Hall, 2019) و تعیین منطقه‌ای خشکی کشاورزی (Dikici et al., 2020) نیز مورد استفاده قرار گرفته است. Alizadeh et al., (2019) به پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی در اراضی تحت کشت گندم غرب استان گلستان با شاخص SPI پرداخته و همبستگی مثبتی بین شاخص مزبور در مقیاس سه‌ماهه منتهی به اردیبهشت با عملکرد گندم تشخیص دادند. همچنین Navabi et al., (2021) به بررسی

که منجر به استفاده از شاخص‌های مختلف و در غالب پیش‌بینی‌های اقلیمی شده است. شاخص‌های مختلف با توجه به ساختار، خصوصیات و توانایی آن‌ها در بکارگیری متغیر(های) متعدد، پذیرش و کاربردهای ویژه‌ای یافته‌اند. بخصوص در بخش کشاورزی، استفاده از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری با توجه به سهولت پایش و در دسترس بودن برخی داده‌ها و اهمیت اقتصادی، اجتماعی آن در زندگی انسان کاربرد ویژه‌ای دارند. اهمیت موضوع وقتی بارزتر می‌شود که در تحقیقی که به موضوع ارزیابی تغییرات خشکسالی در ایران پرداخته شده، مشخص شده است که خشکسالی شدید و بسیار شدید در بخش‌هایی از ایران که از وضعیت بارش نسبتاً مناسب‌تری برخوردار بوده اتفاق افتاده است (Kheyri et al., 2021). خشکسالی (یا کمبود آب) بر اساس دو عامل اصلی یعنی برآورد تقاضای آب و تامین آب مورد انتظار ارزیابی می‌شود (Madani et al., 2016). تدوین این عوامل کلیدی برای یک منطقه تا حد زیادی به شرایط آب و هوایی و اقتصادی بستگی دارد. در نظر گرفتن یکی از این عوامل کلیدی، رابطه بین عملکرد محصول و کمبود آب در ارزیابی و پیش‌بینی خشکسالی‌های کشاورزی است. ماهیت متفاوت این رابطه از محصولی به محصول دیگر بر پیچیدگی تحلیل خشکسالی کشاورزی می‌افزاید. برای غلبه بر این مشکل در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های کشاورزی یک منطقه، کافی است که بر روی یک محصول شاخص که در سطح وسیعی از منطقه به طور یکنواخت رشد کرده است، تأکید شود. الگوی نیاز آبی در فصل رشد یک محصول شاخص در سال‌های مختلف، نسبتاً ثابت است و تامین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک عمدتاً توسط بارش‌های تصادفی فصلی تامین می‌شود (Bannayan et al., 2011). در یک منطقه، عملکرد دانه محصول شاخص و به نوبه خود، ارزیابی شدت خشکسالی را می‌توان به طور منطقی به عنوان تابعی از زمان کاشت محصول و توزیع بارندگی پیش‌بینی کرد، به شرطی که اثرات زمانی و مکانی سایر عوامل مؤثر بر عملکرد دانه به طور یکنواخت (تنوع محصول، وضعیت باروری خاک، بیماری محصول، کنترل آفات، شیوه‌های کشت و غیره) در نظر گرفته شود (Leng and Huang, 2017). از طرف دیگر با تغییرات آب و هوایی که باعث تشدید وقوع و شدت

¹ Normalized Deviation Vegetation Index (NDVI)

² Vegetation condition Index (VCI)

³ Standard Precipitation Index (SPI)

⁴ Palmer Drought Severity Index (PDSI)

⁵ Reconnaissance Drought Index (RDI)

ایستگاه‌های هواشناسی شهرهای استان خراسان شمالی (طی دوره آماری ۳۰ ساله از ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷) به عنوان استانی با اقلیم‌های متفاوت و مطابقت شاخص جدید با عملکرد گندم دیم به عنوان محصول استراتژیک و با سطح کشت زیاد در استان خواهد پرداخت. با توجه به حساسیت متفاوت عملکرد گندم به میزان رطوبت در دوره‌های مختلف فنولوژیک، تعیین دوره مرجع مناسب زمانی و مقایسه با شاخص SPI از دیگر اهداف مقاله خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان شمالی با وسعت بالغ بر ۲۸ هزار کیلومتر مربع بین ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان با اقلیمی متفاوت از نواحی همجوار خود از شمال و جنوب با بیابان‌های بزرگ همجوار است. اما محدوده آن بدلیل شرایط توپوگرافی خاص و جهت غربی-شرقی رشته‌کوه‌های کپه‌داغ در شمال و آلاداغ در جنوب دارای اقلیم‌های متفاوتی است. این استان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در کشور بوده که خشکسالی‌های متعدد سبب کاهش ذخیره مخازن، افت شدید آب‌های زیرزمینی و خسارت به کشت محصولات دیم شده است (Maleki and Torkamani, 2015). حدود ۱۲ درصد مساحت استان را اراضی زراعی تشکیل داده که از این مقدار حدود نیمی از آن زراعت دیم می‌باشد. وجود رودخانه اترک به عنوان تنها رودخانه دایمی شرق ایران و سرشاخه‌های متعدد آن اهمیت ویژه‌ای در تامین منابع آب استان دارد. میزان بارش سالانه از ۱۳۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر بوده و میانگین آن ۲۳۰ میلی‌متر است. بیشینه آن در شهرستان مانه و سملقان (ایستگاه درکش) با مقدار ۴۶۸ میلی‌متر و کمینه آن با مقدار ۱۲۰ میلی‌متر در ایستگاه جاجرم گزارش شده است. متوسط دمای استان حدود ۱۳ درجه بوده و اقلیم آن طبق روش دومارتن نیمه‌خشک تا خشک است (Shamloo et al., 2018). شکل ۱ موقعیت استان در کشور و شهرهای مختلف آن را نشان می‌دهد.

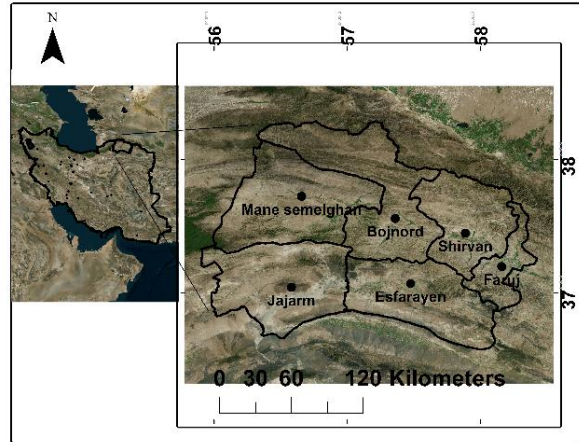
سه شاخص سنجش از دوری در پایش خشکسالی کشاورزی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه پرداخته و تطابق خوبی (ضریب همبستگی ۰/۸۶) بین آن‌ها و شاخص SPI مشاهده نمودند. (Esmaeili et al., 2021). نیز به بررسی شاخص خشکسالی کشاورزی شهرستان داراب استان فارس با شاخص VCI پرداخته و ضریب همبستگی ۰/۷۶ با شاخص SPI مشاهده نمودند. اما از آنجایی که به لحاظ تجربی در مناطق خشک و نیمه خشک با دما و تبخیر بالا، عوامل دیگری نیز در گستره شدت خشکسالی مؤثر است (Gaznavi et al., 2021)، برخی محققین در جهت رفع این نقص و اعمال تبخیرتقرق پتانسیل به اصلاح شاخص‌های مزبور از جمله SPI پرداختند. به عنوان مثال Vicente- Serrano et al., (2010) با ورود عامل تبخیرتقرق پتانسیل، شاخص بارش-تبخیرتقرق استاندارد^۱ و Ebrahimipour et al., (2015) با لحاظ نمودن تأثیر بارش مؤثر شاخص بارش مؤثر استاندارد را ابداع نمودند. به دلیل تأثیر بارز تبخیرتقرق در فرایند خشکی (Teuling et al., 2013) شاخص‌های مزبور در سال‌های اخیر با موفقیت، آزمایش شد (Liu et al., 2020; Pei et al., 2021;) (Nikbakht and Hadeli, 2021). (Teweldebirhan et al., 2019) نیز به مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در کشور اتیوپی پرداخته و نتیجه گرفتند که علیرغم همبستگی خوب دو شاخص، SPI نمی‌تواند تمام تغییرات مکانی را توجیه نموده و برای بیان خشکسالی کشاورزی مناسب نیست. در این پژوهش، نسخه اصلاح شده دیگری از SPI که به منظور کاربرد ویژه در بررسی تغییرات خشکسالی کشاورزی توسط Tigkas et al., (2019) توسعه داده شده، استفاده شده است. در این نسخه که به شاخص بارش استاندارد شده کشاورزی محور^۲ معروف است، مفهوم بارش مؤثر ماهانه جایگزین بارش ماهانه شده است. نسخه اصلاح شده ویژگی‌های نسخه اصلی از جمله سادگی ساختار و نیاز به داده‌های کمتر را دارا بوده و فرض می‌شود که به دلیل استفاده از داده‌های تبخیرتقرق برای تعیین بارش مؤثر (که بارش قابل استفاده گیاه است) بتوان شدت خشکسالی کشاورزی را بهتر توجیه نمود. ادامه پژوهش، به مبانی نظری نسخه اصلاح شده و کاربرد آن در

¹ Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

² Agriculture-oriented Standardised Precipitation Index (aSPI)

داده‌های مکانی و زمانی مورد استفاده

در این پژوهش به منظور بررسی پایش خشکسالی از داده‌های بارش و دمای ماهانه شهرهای مختلف استان (جدول ۱) با طول دوره آماری مشترک از ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷ استفاده شده است. برای تکمیل داده‌های برخی ایستگاه‌های جدیدتر از روش همبستگی در تکمیل و تصحیح و روش آزمون ران برای صحت و همگنی داده‌ها استفاده شد. جهت ارزیابی داده‌های شاخص نیز اطلاعات عملکرد کشت گندم شهرستان‌های مختلف در طی ۱۵ سال و دوره آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ از سالنامه‌های آماری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و جهاد کشاورزی استان استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خراسان شمالی در ایران
Figure 1- The geographic location of North Khorasan province in Iran

جدول ۱- برخی از مشخصات آماری اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی و عملکرد گندم طی دوره آماری مورد مطالعه

Table 1- Some climatic statistical characteristics of stations and wheat yield during the studied period

| Station/City | Precipitation Mean (mm) | Temperature Mean (°C) | Climate (De Martenne Classification) | | Yield (kg ha ⁻¹ y ⁻¹) | |
|---------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------|--|--------------------|
| | | | Type | Aridity Index | Mean | Standard Deviation |
| Bojnord | 256.2 | 13.4 | Semi- Arid | 10.95 | 882.9 | 298.5 |
| Shirvan | 226.7 | 13.1 | Arid | 9.81 | 752.3 | 331.5 |
| Esfarayen | 186.2 | 14.9 | Arid | 7.48 | 495.8 | 240.6 |
| Mane Semelgan | 287.1 | 15.9 | Semi- Arid | 11.08 | 884.7 | 281 |
| Faruj | 244.1 | 13 | Semi- Arid | 10.61 | 760.8 | 346.8 |
| Jajarm | 123.4 | 16.1 | Arid | 7.09 | 621.8 | 387.9 |

شاخص بارش استاندارد کشاورزی محور

شاخص بارش استاندارد با برازش توزیع احتمالاتی گاما (یا لوگ‌نرمال) به سری داده‌های بارش در فواصل زمانی مختلف و انتقال احتمال تجمعی به توزیع نرمال استاندارد قابل محاسبه است. نحوه تعیین شاخص و طبقات میزان خشکسالی بر اساس احتمال وقوع در منابع متعددی آورده شده است (مانند Liu et al., 2021) که در اینجا اشاره نمی‌شود. یکی از محدودیت‌های این روش فقدان پارامتر معرف بیلان آب خاک است که کاربرد آن را در شرایط تغییر اقلیم و تعیین خشکسالی کشاورزی محدود می‌سازد (Zarch et al., 2015). بنابراین جایگزینی بارش مؤثر بجای متغیر بارش می‌تواند منجر به بهبود برآورد و ارزیابی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی شود. برای محاسبه شاخص aSPI توزیع احتمالاتی تجمعی با استفاده از معادله‌های ۲ و ۳ به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (Tigkas et al., 2019). آستانه‌های احتمالاتی وقایع مختلف خشکی نیز مشابه جدول SPI است.

مفهوم بارش مؤثر

با توجه به زمینه مطالعاتی مختلف تعاریف متعددی نیز از بارش مؤثر انجام شده است. (Byun and Wilhite, 1999) از این اصطلاح برای مقادیر بارش در دسترس کاهش یافته در طی زمان استفاده کردند. از دیدگاه کشاورزی، آن بخشی از بارش (رواناب سطحی) است که پاسخگوی نیاز آبی گیاه بوده یا برای رشد گیاه قابل دسترس باشد و مقدار آن معادل تفاوت بارش نازل یافته و رواناب و تبخیر است (Adnan and hayatkhan, 2008). تعیین بهترین تابعی که معادل آهنگ زمانی این کاهش باشد مشکل بوده و تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله توپوگرافی، خصوصیات خاک، دما، رطوبت، سرعت باد می‌باشد (Roudier and Mahe, 2010) و مقدار آن از طریق اندازه‌گیری مستقیم با لایسیمتر (دقیق‌ترین)، معادله بیلان آب منطقه و یا روش‌های تجربی بدست می‌آید.

نتایج و بحث

به منظور مقایسه شاخص‌های مختلف در تطابق با عملکرد محصول گندم دیم، جهت محاسبه و برآورد بارش مؤثر ماهانه از روش USDA استفاده شد. روش مزبور به صورت ماهانه به بارش کل اعمال شد تا به شاخص aSPI اعمال شود. در جدول ۲ مقادیر آماره T تحلیل زوجی بارش و بارش مؤثر ماهانه در ایستگاه‌های مختلف نشان داده شده است.

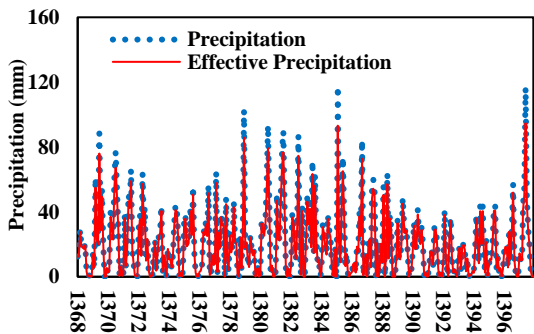
جدول ۲- مقدار آماره T بین بارش ماهانه و بارش مؤثر در

ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 2- Result of T- Test analysis between monthly total precipitation and effective precipitation in studied stations

| Station | T value | Station | T value |
|-----------|---------|---------------|---------|
| Bojnord | 9.62 | Mane Semelgan | 11.89 |
| Shirvan | 10.41 | Faruj | 10.63 |
| Esfarayan | 9.61 | Jajarm | 7.66 |

نتایج نشان داده که در ایستگاه‌های با شرایط اقلیمی خشک‌تر، مقدار آماره مزبور کمتر (جایز با مقدار ۷/۶۶) و با مرطوب‌تر شدن اقلیم، مقدار آن بیشتر (مانه و سملقان با مقدار عددی ۱۱/۸۹) می‌شود که با این واقعیت که در ایستگاه‌های با اقلیم خشک، بارش مازاد کمی وجود دارد، منطبق است. در شکل ۲ نیز مقایسه تغییرات بارش و بارش مؤثر در مقیاس ماهانه به صورت نمونه در ایستگاه بجنورد ملاحظه می‌شود.



شکل ۲- میزان تغییرات بارش و بارش مؤثر در ایستگاه بجنورد
Figure 2- Total precipitation and effective precipitation changes in Bojnord station

همانطور که مشهود است، در مقادیر بالای بارش‌های ماهانه بخش بیشتری از آن به صورت بارش مازاد در می‌آید و بدیهی است که در شرایط مزبور هرچند بارش مازاد باعث افزایش قابل توجه در شاخص SPI می‌شود ولی در شاخص

$$aSPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad (2)$$

$$0 < H(x) \leq 0.5, \quad t = \sqrt{\ln(1/H(x)^2)}$$

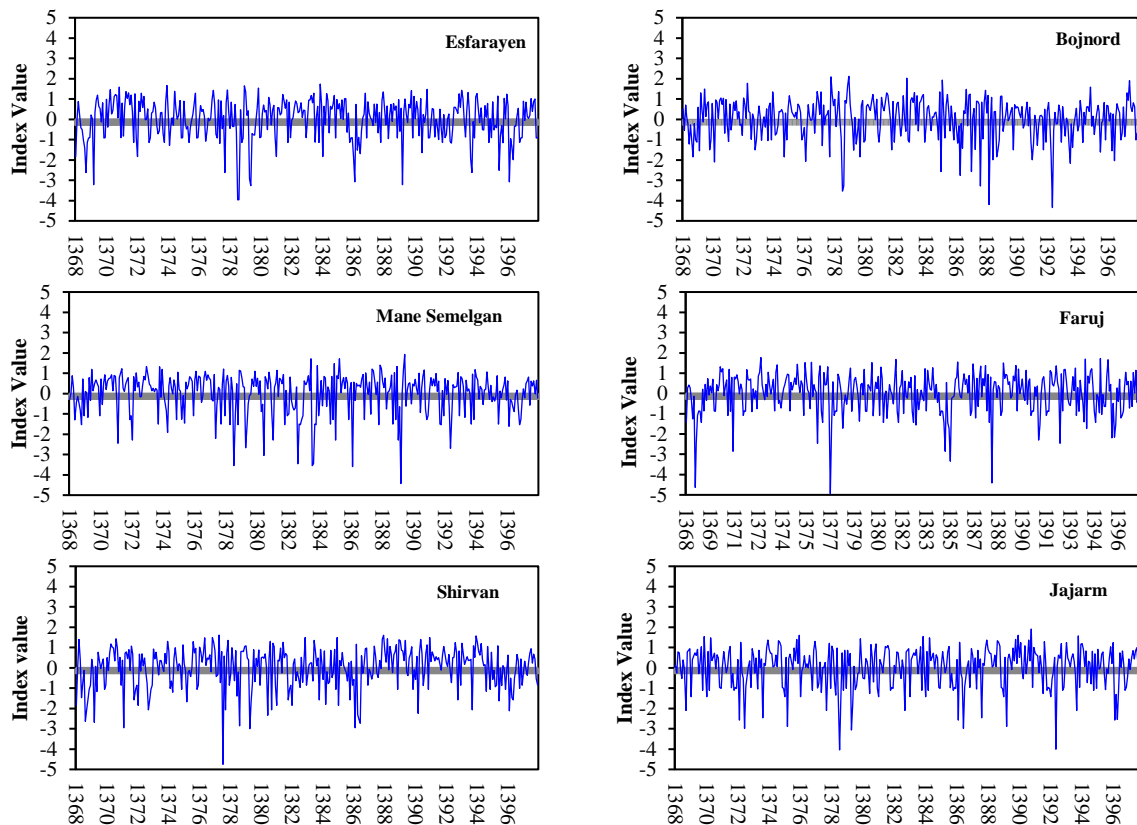
$$aSPI = \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad (3)$$

که مقادیر پارامترهای ثابت آن شامل $C_0 = 2/515517$, $C_1 = 0/802853$, $C_2 = 0/010328$, $d_1 = 1/43278$, $d_2 = 0/189269$ و $d_3 = 0/010308$ است. $H(x)$ نیز احتمال تجمعی بارش مؤثر در دوره زمانی معین از توزیع گاما است. با توجه به اینکه هدف از شاخص اصلاح شده، کاربرد در زمینه بررسی خشکسالی کشاورزی است، انتخاب دوره‌های مرجع زمانی و گام‌های زمانی محاسباتی مؤثر در رشد گیاه حائز اهمیت است. به دلیل اینکه الگوی رشد پوشش گیاهی از الگوهای فصلی آب و هوایی تبعیت می‌کند، استفاده از گام زمانی سالانه برای محاسبه aSPI منطقی است. در مورد گیاهان زراعی، انتخاب دوره مرجع مناسب بر اساس مراحل توسعه و رشد گیاه می‌تواند شامل کل دوره توسعه گیاه یا بخش خاصی از مراحل رشد که به خشکسالی حساس است، باشد. شروع این دوره نیز مصادف با کشت محصول است که اثر تجمعی کمبود آب در دسترس در سایر مراحل رشد گیاه به خوبی منعکس می‌شود. در چارچوب این تحقیق، اثربخشی هر شاخص در نمایش آثار خشکسالی بر تولید کشاورزی از طریق همبستگی شاخص‌ها با عملکرد یک محصول برای یک سری زمانی و معیار مناسب بودن آن‌ها برای شناسایی خشکسالی کشاورزی، ارزیابی می‌شود. از آنجاکه عملکرد گیاهان زراعی هر منطقه به دلیل نوع خاک، مدیریت و غیره قابل مقایسه با یکدیگر نیستند، جهت روندزدایی از داده‌های مزبور از عملکرد استاندارد شده هر شهرستان مطابق معادله ۴ استفاده شد (Du et al., 2013).

$$S_1 Y = (Y_j - \bar{Y}) / \sigma \quad (4)$$

که Y_j و \bar{Y} عملکرد محصول سالانه و میانگین هر شهر و σ انحراف معیار عملکرد در طی دوره آماری ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۷ است.

مقیاس ماهانه و در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم شد. نتایج بررسی مقادیر شاخص نشان داد که در طی دوره آماری مورد مطالعه، ایستگاه بجنورد با ۹ ماه کمترین و ایستگاه مانه و سملقان با ۱۵ ماه بیشترین ماه‌های خشک (با مقادیر کمتر از -۲) را تجربه کرده‌اند. ایستگاه فاروج، اسفراین، شیروان و جاجرم نیز به ترتیب با ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۳ ماه، ماه‌های خشکی را در همین پنجره زمانی پشت سر گذاشته‌اند.



شکل ۳- شاخص aSPI در مقیاس ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 3- Monthly scale of aSPI index in studied stations

همانطور که ذکر شد اقلیم شهرهای مختلف استان بسیار متغیر است. این تنوع اقلیم باعث شده تا شروع کشت پاییزه گندم در شهرهای مختلف نیز متفاوت و از حدود اوایل آبان تا اوایل آذر باشد و کشاورزان تا شروع بارش‌های پاییزه کشت گندم دیم انجام نمی‌دهند. مطالعات زیادی هم در مورد تأثیر رطوبت خاک بر سرعت پنجه‌زنی و ساقه‌دهی و ظهور سنبله در مراحل مختلف و حساسیت عملکرد گندم به تغییرات رطوبتی دوره‌های جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه اشاره داشته‌اند (Kazemi and Ghorbani.,)

لذا جهت بررسی کارایی و مقایسه شاخص‌ها، مقادیر شاخص‌های مزبور در دوره‌های مرجع زمانی معمول مؤثر بر رشد گندم دیم (Tigkas et al., 2019) محاسبه و همبستگی بین مقادیر مختلف دو شاخص و عملکرد استاندارد شده محصول طی دوره آماری مورد نظر محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. در نگاه کلی می‌توان دریافت که همبستگی بسیار بالایی بین هیچ‌یک از دو شاخص و عملکرد محصول وجود ندارد. فقط در ایستگاه اسفراین در دو پنجره زمانی ۳ ماهه، معنی‌داری همبستگی در سطح یک درصد

aSPI افزایش فوق کمتر بوده و به صورت منطقی باعث تطابق بیشتری با میزان عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. زیرا در ماه‌های خشک، بارش کمتر از ظرفیت نگهداری خاک است ولی در ماه‌های مرطوب، بخش بیشتری از بارش از طریق رواناب یا نفوذ از دسترس گیاه خارج شده و نمی‌تواند مورد استفاده گیاه قرار بگیرد. به منظور بررسی نتایج شاخص aSPI، در شکل ۳ نمودار شاخص مزبور در

دوره زمانی اسفند-اردیبهشت با ضریب ۰/۶۵۱ و فروردین- خرداد با ضریب ۰/۶۴۸) ملاحظه می‌شود. دلیل آن را علاوه بر ضعف ساختاری شاخص، شاید بتوان با گستردگی و تنوع شرایط اقلیمی شدید در سطح یک شهرستان نیز مرتبط دانست.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و aSPI و عملکرد محصول گندم در دوره‌های مرجع (Tigkas et al., 2019) شهرهای

مختلف استان خراسان شمالی در دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۷

Table3- Correlation between SPI, aSPI and wheat standardized yield in reference periods (Tigkas et al., 2019) in different cities of North Khorasan province in period of 1383- 1397

| Reference Period (Months) | Bojnord | | Shirvan | | Faruj | | Jajarm | | Mane Semelgan | | Esfarayan | |
|---------------------------|---------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|---------------|--------|-----------|---------|
| | SPI | aSPI | SPI | aSPI | SPI | aSPI | SPI | aSPI | SPI | aSPI | SPI | aSPI |
| 12 Oct- Sep | 0.43 | 0.434 | 0.351 | 0.36 | 0.308 | 0.311 | 0.423 | 0.444 | 0.399 | 0.414 | 0.436 | 0.438 |
| 9 Oct- Jun | 0.404 | 0.409 | 0.416 | 0.422 | 0.408 | 0.414 | 0.544* | 0.545* | 0.39 | 0.403 | 0.452 | 0.454 |
| 8 Nov- Jun | 0.429 | 0.432 | 0.437 | 0.441 | 0.407 | 0.476 | 0.498 | 0.5 | 0.347 | 0.355 | 0.455 | 0.456 |
| 7 Nov- May | 0.543* | 0.548* | 0.365 | 0.368 | 0.347 | 0.303 | 0.497 | 0.499 | 0.312 | 0.323 | 0.427 | 0.428 |
| 6 Oct- Mar | 0.54 | 0.547 | 0.287 | 0.28 | 0.225 | 0.217 | 0.156 | 0.15 | 0.307 | 0.342 | 0.133 | 0.142 |
| 6 Nov- Apr | 0.563 | 0.566 | 0.397 | 0.399 | 0.348 | 0.301 | 0.156 | 0.409 | 0.36 | 0.377 | 0.367 | 0.366 |
| 6 Dec- may | 0.498 | 0.51 | 0.33 | 0.336 | 0.305 | 0.307 | 0.483 | 0.478 | 0.291 | 0.3 | 0.47 | 0.475 |
| 6 Jan- jun | 0.322 | 0.314 | 0.428 | 0.494 | 0.459 | 0.499 | 0.522* | 0.524* | 0.245 | 0.239 | 0.511 | 0.515* |
| 5 Nov- Mar | 0.59* | 0.595 | 0.275 | 0.267 | 0.274 | 0.262 | 0.258 | 0.251 | 0.249 | 0.274 | 0.142 | 0.152 |
| 4 Nov- Feb | 0.485 | 0.493 | 0.17 | 0.156 | 0.054 | 0.037 | 0.23 | 0.226 | 0.335 | 0.35 | 0.079 | 0.088 |
| 3 Nov- Jan | 0.595 | 0.603 | 0.255 | 0.248 | 0.249 | 0.251 | 0.134 | 0.13 | 0.525* | 0.528* | 0.244 | 0.248 |
| 3 Dec- Feb | 0.399 | 0.4 | 0.056 | 0.039 | 0.081 | 0.059 | 0.181 | 0.179 | 0.323 | 0.345 | 0.035 | 0.043 |
| 3 Jan- Mar | 0.475 | 0.487 | 0.296 | 0.29 | 0.24 | 0.227 | 0.42 | 0.419 | 0.084 | 0.096 | 0.112 | 0.12 |
| 3 Feb- Apr | 0.354 | 0.373 | 0.372 | 0.367 | 0.065 | 0.108 | 0.482 | 0.481 | 0.163 | 0.157 | 0.443 | 0.441 |
| 3 Mar- May | 0.441 | 0.459 | 0.315 | 0.323 | 0.345 | 0.342 | 0.464 | 0.463 | 0.208 | 0.183 | 0.649** | 0.651** |
| 3 Apr- Jun | 0.092 | 0.091 | 0.463 | 0.469 | 0.473 | 0.484 | 0.49 | 0.492 | -0.197 | -0.211 | 0.643** | 0.648** |
| 1 Nov | 0.275 | 0.268 | 0.358 | 0.356 | 0.365 | 0.361 | 0.439 | 0.439 | 0.232 | 0.234 | 0.347 | 0.348 |
| 1 Dec | 0.124 | 0.125 | 0.12 | 0.117 | 0.119 | 0.119 | -0.57* | -0.57* | 0.543* | 0.541* | 0.205 | 0.205 |
| 1 Jan | 0.432 | 0.434 | 0.411 | 0.415 | 0.369 | 0.369 | 0.268 | 0.268 | 0.256 | 0.254 | 0.206 | 0.208 |
| 1 Feb | 0.012 | 0.015 | 0.053 | 0.041 | 0.114 | 0.125 | 0.192 | 0.194 | -0.048 | -0.045 | -0.198 | -0.195 |
| 1 Mar | 0.543* | 0.547* | 0.381 | 0.381 | 0.386 | 0.391 | 0.304 | 0.303 | 0.064 | 0.079 | 0.37 | 0.377 |
| 1 Apr | 0.122 | 0.125 | 0.395 | 0.401 | 0.373 | 0.402 | 0.381 | 0.383 | -0.14 | -0.157 | 0.5* | 0.506* |
| 1 May | -0.162 | -0.16 | -0.26 | -0.26 | 0.229 | 0.228 | 0.204 | 0.203 | -0.322 | -0.325 | 0.134 | 0.133 |
| 1 Jun | -0.006 | -0.012 | 0.214 | 0.218 | 0.398 | 0.401 | 0.063 | 0.063 | 0.181 | 0.181 | 0.294 | 0.293 |

* and ** significant in probability levels of 5% and 1% respectively

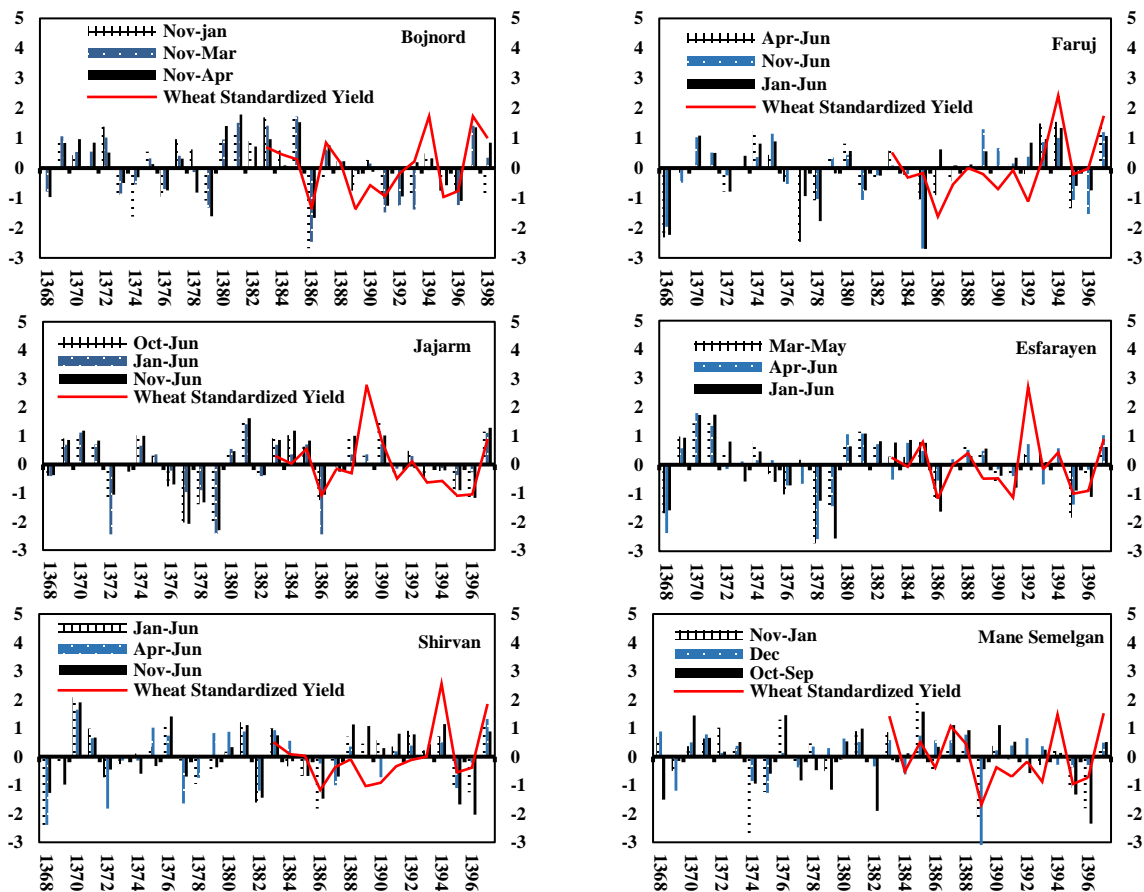
* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

قضاوت در مورد انتخاب دوره زمانی مناسب جهت توجیه عملکرد محصول تسهیل شود. همانطور که در نمودار بجنورد ملاحظه می‌شود هر سه دوره زمانی از آبان شروع شده‌اند ولی علیرغم اینکه دوره ۳ ماهه آبان- دی بیشترین ضریب همبستگی (۰/۶۰۳) را با عملکرد گندم دارد، به لحاظ مقایسه گرافیکی دوره‌های خشک و تر با نوسانات عملکرد متناظر، دوره ۶ ماهه آبان- فروردین (با ضریب همبستگی ۰/۵۶۶) نتایج مطلوب‌تری را نشان می‌دهد که با مراحل فیزیولوژی رشد گندم در شرایط معمول نیز متناسب‌تر است و بیانگر تأثیرپذیری رشد گندم در بجنورد از بارش آبان تا فروردین است. ضعف تطابق دوره آبان- دی در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ و قوت تطابق در دوره آبان- فروردین در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۴ کاملاً مشهود است. هرچند ضریب همبستگی بالای دوره ۶ ماهه آبان- اردیبهشت (ضریب همبستگی ۰/۵۴۸) نیز موید این مطلب است که بارش ماه

بعنوان مثال ایستگاه کوسه در شهرستان شیروان غالباً در رده سردترین نقطه کشور در فصل زمستان گزارش می‌شود، در حالی که بخش‌های دیگری از این شهر، شرایط معتدل‌تری را می‌گذرانند. شرایط مشابه آن در سایر شهرهای استان نیز ملاحظه می‌شود. مورد دیگری که از جدول مزبور منتج می‌شود اینست که علیرغم اینکه در اکثر دوره‌های زمانی و شهرها مقدار ضریب همبستگی بین شاخص aSPI نسبت به شاخص SPI بیشتر است، اختلاف اندکی بین این دو وجود دارد. به همین دلیل در ادامه به دلیل پایه منطقی شاخص aSPI به بررسی دوره زمانی منتخب توسط این شاخص پرداخته می‌شود. به دلیل اینکه وجود داده‌های اریب (حتی به تعداد اندک) ضریب همبستگی را به شدت تحت تأثیر خود قرار می‌دهند لذا سه دوره زمانی با ضریب همبستگی بالاتر در هر شهر جهت بررسی بیشتر به صورت گرافیکی ترسیم شد (شکل ۴) تا

شیروان با توجه به تطابق اقلیمی و مشابهت با بجنورد و فاروج، انتظار نتایج مشابهی وجود دارد و علیرغم عدم معنی-داری همبستگی هیچ یک از دوره‌ها (مشابه فاروج)، دوره زمانی ۸ ماهه دی- خرداد (با ضریب همبستگی ۰/۴۹۴) و دوره ۳ ماهه فروردین- خرداد (۰/۴۶۹) و آبان- خرداد (۰/۴۴۱) به ترتیب بیشترین تطابق را با عملکرد محصول داشته‌اند که ضمن تایید نتایج فاروج (به دلیل مجاورت مکانی و شباهت اقلیمی) بیانگر تأثیرپذیری رشد از بارش بهاره به همراه بارش پاییزه می‌باشد. ضعف تطابق در دوره آبان- خرداد و دی- خرداد در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ و قوت تطابق در دوره فروردین- خرداد در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ کاملاً مشهود است.

اردبیهشت نیز مشابه بارش پاییزه در میزان عملکرد محصول مؤثر است و به لحاظ تجربی و عملی نیز تأثیر زیادی در رشد گندم در شرایط منطقه را دارد. در مورد ایستگاه فاروج دوره زمانی ۶ ماهه دی- خرداد بیشترین ضریب همبستگی (۰/۴۹۹) وجود دارد که با توجه به اینکه دو دوره زمانی ۳ ماهه فروردین- خرداد (۰/۴۸۴) و ۶ ماهه آبان- خرداد (۰/۴۷۶) نیز به ترتیب رتبه‌های بعدی بالاترین همبستگی را دارند می‌توان تأثیرپذیری عملکرد محصول از بارش بهاره و ماه منتهی به خرداد را دریافت. در نمودار مربوطه نیز ضعف تطابق دوره دی- خرداد در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ و قوت تطابق دوره فروردین- خرداد در بقیه سال‌ها بخصوص سال ۱۳۹۶ کاملاً مشهود است. در ایستگاه



شکل ۴- تغییرات مقدار شاخص (محور سمت چپ) در دوره‌های زمانی مرجع با بالاترین مقدار همبستگی و عملکرد استاندارد شده متناظر تولید گندم (محور سمت راست) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 4- Index changes (left axis) in reference periods with higher correlation and corresponding wheat standardized yield (right axis) in studied stations

دوره زمانی، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط کل دوره رشد در میزان عملکرد محصول تأثیر بالایی دارد و هر زمانی که در یک دوره، کاهش بارش مؤثر وجود داشته، تأثیر منفی شدیدتری در عملکرد نهایی محصول به وجود آمده است. قوت تطابق دوره مهر- خرداد با عملکرد محصول در سال ۱۳۹۳ نسبت به سایر دوره‌های زمانی کاملاً مشهود است.

نتیجه‌گیری

طیف گسترده‌ای از مطالعات کاربردی وجود دارد که در آنها ارزیابی خشکسالی از اهمیت بالایی برخوردار است و ممکن است بر اساس اهداف هر مطالعه، رویکردهای متفاوتی دنبال شود. در حالی که ارزیابی عملکرد مدل‌ها یا شاخص‌ها در نمایش شرایط خشکسالی نیز ممکن است متفاوت باشد. برای توصیف خشکسالی کشاورزی، می‌توان معمولاً نتایج شاخص را با متغیری که نشان دهنده اثرات خشکسالی کشاورزی است، مرتبط نمود. به همین دلیل از شاخص aSPI که نسخه توسعه‌یافته SPI است و از مفهوم بارش مؤثر در محاسبات شاخص استفاده می‌کند، به‌منظور نمایش نوسانات زمانی خشکسالی و مطابقت با عملکرد محصول استراتژیک گندم، در شهرهای مختلف استان خراسان شمالی استفاده شده است. اگرچه چنین روش‌هایی قابلیت عملی سایر مدل‌های پیچیده را ندارند ولی به دلیل سادگی ساختار و نیاز حداقلی به داده‌ها، نتایج قابل قبولی را تاکنون ارائه داده‌اند. نتایج اجرای شاخص‌ها در مقیاس زمانی ماهانه نشان داد که غیر از ایستگاه مانه و سملقان، در سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری بین داده‌های دو شاخص وجود دارد که با نتیجه Tigkas et al., (2019) که شاخص اصلاح شده را توصیه نموده بودند مطابقت دارد. نتایج بررسی دوره‌های زمانی مختلف نیز بیانگر تأثیر بارش‌های بهاره و پاییزه در ایستگاه‌های بجنورد (دوره آبان- اردیبهشت)، بارش‌های بهاره در فاروج، اسفراین و شیروان (فروردین- خرداد)، تأثیر بارش‌های ابتدای فصل رشد در مانه و سملقان (دوره زمانی آبان- دی) و تأثیرپذیری عملکرد محصول گندم در کل دوره رشد در جاجرم است. Tigkas et al., (2019) نیز در تحقیق خود اظهار داشتند علیرغم اینکه دوره زمانی ۳ ماهه می‌تواند دوره مناسبی برای پایش خشکسالی کشاورزی

در ایستگاه مانه و سملقان با توجه به بالاتر بودن متوسط بارش (جدول ۱) انتظار نتایج متفاوت‌تری در جدول ۳ وجود دارد. بالاترین مقدار همبستگی در ماه آذر (۰/۵۴۱) و سپس دوره آبان- دی (۰/۵۲۸) و مهر- شهریور (۰/۴۱۴) نیاز به بررسی بیشتر در روند تغییرات و تناسب با عملکرد محصول را مضاعف می‌سازد. هرچند ضعف نسبی تطابق شاخص با عملکرد در دوره زمانی ماه آذر مشهود است، ولی با توجه به تطابق مناسب‌تر دوره آبان- دی می‌توان به اثرگذاری بالای بارش ابتدای دوره رشد دست یافت. با توجه به بارش نسبتاً مناسب مانه و سملقان و تعدیل دمایی، بارش‌های منظم‌تر بهاره نیز در منطقه وجود دارد که نیاز رشد گندم را مرتفع می‌سازد. لذا بارش ابتدای رشد تأثیر بیشتری را در میزان عملکرد محصول نشان داده است. ضعف تطابق دوره مهر- شهریور در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ و ضعف تطابق دوره ماه آذر در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ مشخص است. در اسفراین با کمتر شدن بارش و ضریب خشکی پایین نسبت به شهرهای بررسی شده قبلی، انتظار تفاوت معنی‌داری در نتایج وجود دارد. همانطور که در جدول ۳ مشخص است، علیرغم اینکه بارش زمانی دوره ۶ ماهه دی- خرداد ضریب همبستگی بالایی (۰/۵۱۵) دارد، دوره زمانی ۳ ماهه اسفند- اردیبهشت (ضریب ۰/۶۵۱) و فروردین- خرداد (ضریب ۰/۶۴۸) با دوره زمانی مشترک فروردین- اردیبهشت ضریب همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داده‌اند و بیانگر اهمیت بارش بهاره در عملکرد محصول و کاهش معنی‌دار آن در صورت کمبود بارش مؤثر در منطقه خواهد بود. عملکرد تطابق نیز تقریباً مشابه یکدیگر و غیر از سال ۱۳۸۳ در بقیه سال‌ها تطابق مناسب‌تری در دوره فروردین- خرداد ملاحظه می‌شود. در ایستگاه جاجرم به عنوان خشک‌ترین شهرستان استان، متفاوت‌ترین نتیجه قابل مشاهده است. دوره زمانی ۹ ماهه مهر- خرداد که تقریباً کل دوره کاشت تا برداشت گندم را شامل می‌شود بیشترین میزان همبستگی (۰/۵۴۵) را با عملکرد محصول دارد و در رتبه‌های پایین‌تر همبستگی، دوره‌های ۶ ماهه دی- خرداد (۰/۵۲۴) و ۸ ماهه آبان- خرداد (۰/۵) ملاحظه می‌شود و با توجه به اشتراک‌های سه

- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23(1): 245- 253.
- Ebrahimipour, M., Rahimi, J., Nikkhal, A., Bazrafshan, J. 2015. Monitoring Agricultural Drought Using the Standardized Effective Precipitation Index. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 141(1). DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943- 4774.0000771
- Esmaili, H., Mirmousavi, S., Soheili, E. 2021. Investigation of agricultural drought time series in Darab city using remote sensing and Google Earth engine system. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, doi: 10.22067/geoch.2021.69186.1029. (In Farsi)
- Gaznavi, M., Mosaedi, A., Ghabaei Sough, M. 2021. The Impact of Breakpoints in Rainfall Time Series on Drought Characteristics Changes (Case Study: Tabriz and Arak Stations, Iran). *Water and Soil*, 35(3): 409- 425. (In Farsi)
- Hamzeh S, Farahani Z, Mahdavi S, Chatrobgoun O, Gholamnia M. 2017. Spatio- temporal monitoring of agricultural drought using remotely sensed data (Case study of Markazi province of Iran). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4 (3):53- 70. (In Farsi)
- Leng, G., Hall, J. 2019. Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future, *Science of The Total Environment*, 654: 811- 821.
- Leng, G., Huang, M. 2017. Crop yield response to climate change varies with crop spatial distribution pattern. *Scientific Reports*, 7, 1463.
- Kazemi, H., Ghorbani, Kh. 2016. Investigation of different interpolation methods for estimation and zoning of precipitation variables in agricultural lands of Aq- Qalla township for rainfed cropping of autumn cereals. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(4): 1- 23. (In Farsi)
- khaleghi, N. 2016. Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(2): 51- 58. (In Farsi)
- Kheyri, R., Mojarrad, F., Masompour, J., Farhadi, B. 2021. Evaluation of drought changes in Iran using SPEI and SC- PDSI. *The Journal of Spatial Planning*, 25 (1): 143- 174. (In Farsi)
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q. et al., 2021. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration باشد، سایر دوره‌ها نیز در مناطق مختلف بسیار مؤثر بوده و بایستی در هر منطقه به صورت مجزا بررسی شود. با توجه به اینکه ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان شمالی طول دوره آماری چندانی ندارند - بجز بجنورد- پیشنهاد می‌شود مشابه این تحقیق در سایر مناطق با اقلیم‌های متنوع و طول دوره آماری بیشتر نیز انجام شود تا ضمن تایید مؤثر بودن شاخص aSPI نسبت به SPI در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به انتخاب دوره‌های زمانی مؤثر بارش در مناطق مختلف نیز دست یافت. نتایج چنین مطالعاتی در برآورد تولید گندم و سایر محصولات کشاورزی با استفاده از پیش‌بینی‌های بارش، کمک شایانی به ذینفعان حوزه امنیت غذایی خواهد نمود.

منابع

- Adnan, Sh., Hayat Khan, A. 2008. Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 6: 61- 72.
- AghaKouchak, A., Farahmand, A., Melton, F.S., Teixeira, J., Anderson, M.C., Wardlow, B.D., Hain, C.R. 2015. Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. *Reviews Geophysics*, 53, 452-480.
- Alizadeh, P., Kamkar, B., Shataee, S., 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. (In Farsi)
- Bannayan, M., Sadeghi Lotfabadi, S., Sanjani, S. et al., 2011. Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran. *International Journal of Biometeorology*. 55, 387- 401.
- Beran, M.A., Rodier, J.A., 1985. Hydrological Aspects of Drought, Studies and Reports in Hydrology 39. Unesco- WMO, France, 151 pp.
- Byun, H., Wilhite, D. 1999. Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climatology*, 12: 2747- 2756.
- Crocetti, L., Forkel, M., Fischer, M. et al., 2020. Earth Observation for agricultural drought monitorin in the Pannonian Basin (southeastern Europe current state and future directions. *Regional Environmental Change*, 20, 123. DOI: 10.1007/s10113- 020- 01710- w
- Dikici, M. 2020. Drought analysis with different indices for the Asi Basin (Turkey). *Scientific Reports*, 10, 20739.

- C., Grünwald, T., Prasse, H., Spank, U. 2013. Evapotranspiration amplifies European summer drought. *Geophysical Research Letters*, 40(10): 2071–2075.
- Teweldebirhan, D., Uddameri, V., Forghanparast, F., Hernandez, EA., Ekwaro- Osire, S. 2019. Comparison of Meteorological- and Agriculture-Related Drought Indicators across Ethiopia. *Water*. 11(11), 2218. <https://doi.org/10.3390/w11112218>.
- Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2019. Drought characterisation based on an agriculture- oriented standardised precipitation index. *Theoretical and Applied Climatology*. 135:1435–1447
- Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F. et al., 2019. The future of extreme climate in Iran. *Scientific Reports*. 9, 1464.
- Vangelis, H., Tigkas, D., Tsakiris, G. 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*. 88: 130- 140.
- Vicente- Serrano, SM., Beguería, S., López- Moreno, JI. 2010. A multi- scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index—SPEI. *Journal of Climatology*. 23:1696–1718.
- Zarch, M., Sivakumar, B., Sharma, A. 2015. Droughts in a warming climate: a global assessment of standardized precipitation index (SPI) and reconnaissance drought index (RDI). *Journal of Hydrology*. 526:183–195.
- Zhong, Sh., Wang, Ch., Yang, Y., Huang, Q. 2018. Risk assessment of drought in Yun- Gui- Guang of China jointly using the Standardized Precipitation Index and vulnerability curves, *Geomatics. Natural Hazards and Risk*, 9(1): 892- 918.
- Zhu, Q., Luo, Y., Xu, Y., Tian, Y., Yang, T. 2019. Satellite soil moisture for agricultural drought monitoring: assessment of SMAP- derived Soil Water Deficit Index in Xiang River Basin, China. *Remote Sensing*, 11: 362.
- Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B., Seneviratne, S., Ward, P. et al. 2018. Future climate risk from compound events. *Natural Climate Change*, 8:469.
- index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*. 11, 1280.
- Madani, K., AghaKouchak, A., Mirchi, A. 2016. Iran's Socio- economic Drought: Challenges of a Water- Bankrupt Nation, *Iranian Studies*, 49:6, 997- 1016
- Maleki, A., Torkamani, M. (2015). Drought Management for Optimazation of Water Resources, *Agricultural Economics Research*, 7(25): 65- 89. (In Farsi)
- Navabi, N., Moghaddasi, M., Gangi, N. 2021. Assessment of Agricultural Drought Monitoring Using Various Indices based on Ground- based and Remote Sensing Data (Case Study: Lake Urima Basin). *Watershed Engineering and Management*, 13(1): 1- 12. (In Farsi)
- Nikbakht, J., Hadeli, F. 2021. Comparison of SPI, RDI and SPEI indices for droughts monitoring under climate change conditions (Case study: Kermanshah station). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1): 14- 25. (In Farsi)
- Pei, Zh., Fang, Sh., Wang, L., Yang, W., 2020. Comparative Analysis of Drought Indicated by the SPI and SPEI at Various Timescales in Inner Mongolia, China. *Water*. 12(7): 1925. <https://doi.org/10.3390/w12071925>.
- Rahimi, J., Bazrafshan, J., Khalili, A. 2013. A Comparative Study on Empirical Methods for Estimating Effective Rainfall for Rainfed Wheat Crop in Different Climates of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 45(3): 31- 46. (In Farsi)
- Roudier, P., Mahe, G. 2010. Study of water stress and droughts with indicators using daily data on the Bani River (Niger basin, Mali). *International Journal of Climatology*. 30 (11): 1689–1705.
- Shamloo, N., Faridhosseini, A., Alizadeh, A., Omidvar, J. 2018. Drought monitoring using Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) from MODIS satellite images on a regional scale. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(3): 525- 535. (In Farsi)
- Smith, M. 1992. CROPWAT—a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper 46*. Rome, Italy.
- Teuling, AJ., Van Loon, AF., Seneviratne, SI., Lehner, I., Aubinet, M., Heinesch, B., Bernhofer,



Assesment of drought impacts on rainfed wheat yield using SPI and Agricultural- SPI indices (Case study: North Khorasan province)

M. Teimouri^{1*}, V. Gholami², M.R. Khaleghi³

Received: 19/09/2021

Accepted: 24/09/2022

Abstract

In this study, a modified version of standard precipitation index (SPI), namely Agriculture- SPI, or aSPI was used to assess the impacts of drought on rainfed wheat yield in North Khorasan province, northeast of Iran. In the aSPI index, the effective rainfall is used instead of precipitation. The USDA- SCS, method was used for effective rainfall calculation. Both indices were worked out, using 30- years (1989- 2018) monthly rainfall and temperature data. Rainfed wheat yield data for the period of 2004 to 2018 were also retrieved from local organizations and standardized for comparisons in different SPI time windows of 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 12 months. The obtained annual yields were correlated with SPI and aSPI values in selected timescales. The results showed that in Bojnord station, the rainfall during November- May period, in Shirvan, Faruj and Esfarayen stations April- June, in Maneh- Semelgan station, November- December period and in Jajarm station, October- June period rainfall, are the most significant variables affecting the rainfed wheat according to drought indices used in study region.

Keywords: Drought assessment, Drought index, Effective rainfall, Wheat



¹ Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran

(*Corresponding Author Email Address: m.teimouri@ub.ac.ir)

² Associate professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran

³ Associate professor, Department of Agriculture and Natural Resources, Torbat-e-Jam Branch, Islamic Azad University, Torbat-e-Jam, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

تیموری، م.، غلامی، و.، خالقی، م.، ۱۴۰۱. مقایسه دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد در ارزیابی تأثیر خشکسالی بر عملکرد گندم در استان خراسان شمالی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۱۷-۲۷. DOI: 10.22125/agmj.2022.305592.1123

Teimouri, M., Gholami, V., Khaleghi, M.R. 2023. Assesment of drought impacts on rainfed wheat yield using SPI and Agricultural- SPI indices (Case study: North Khorasan province). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 17-27. DOI: 10.22125/agmj.2022.305592.1123