

ارزیابی خشک‌سالی در بیرجند با تاکید بر شاخص خشک‌سالی پالم و اسنجی شده و عملکرد نسبی محصول گندم دیم

فاطمه حاجی‌آبادی^۱، فرزاد حسن‌پور^{۲*}، مصطفی یعقوب‌زاده^۳، حسین حمامی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۳۰

چکیده

خشک‌سالی پدیده‌ی طبیعی و مستمر اقلیمی است که به‌طور معمول در تمامی مناطق دنیا رخ می‌دهد ولی ویژگی‌ها، نوع و شدت آن‌ها از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. خشک‌سالی یک پدیده خزنه بوده به طوری که ابتدا و انتهای مشخصی ندارد و شدت تاثیر کم‌تر اما سطح بیش‌تری را نسبت به دیگر بلايا مانند: سيل، زلزله و... دارا می‌باشد، که در نهایت خسارات بیش‌تری را نسبت به بلاياي دیگر سبب می‌شود. آستانه خشک‌سالی با توجه به شرایط مکانی متفاوت است، بنابراین برای حذف اثرات مکانی، آمار نقطه‌ای یک ایستگاه و به‌عنوان ایستگاه شاخص هر منطقه قابل استفاده است. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SC-PDSI شدت خشک‌سالی پالم برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵، در مقیاس سالیانه و ماهیانه محاسبه گردید و همچنین روند خشک‌سالی با استفاده از آزمون‌های آماری من کندال و پتیت، بررسی شد و در ادامه ارتباط بین شاخص‌های خشک‌سالی و عملکرد نسبی محصول گندم دیم بررسی شد. با استفاده از آزمون‌های همگنی مشخص شد که داده‌های بارندگی و دمای هوای ایستگاه همگن بوده و آزمون کفایت داده‌ها نشان داد که یک دوره ۳۰ ساله برای پایش خشک‌سالی منطقه کافی می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات ناگهانی سری زمانی SPI سالیانه و ماهیانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن ماه می سال ۱۹۹۸ می‌باشد. همچنین در مورد شاخص PDSI سالیانه و ماهیانه، نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی PDSI سالیانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن ماه فوریه سال ۲۰۰۰ می‌باشد. همچنین شاخص‌های SPI و PDSI روندی همسو با شاخص زراعی عملکرد نسبی گندم دیم داشت و بعد از نقطه تغییر، مقدار ضریب همبستگی شاخص PDSI با عملکرد نسبی گندم دیم ۰/۷ و میزان همبستگی شاخص SPI با عملکرد نسبی گندم دیم ۰/۵۵ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: آزمون من - کندال و پتیت، خشک‌سالی کشاورزی، روند خشک‌سالی، عملکرد نسبی، گندم دیم

مقدمه

اخیر، تلاش‌های بسیاری برای توسعه شاخص‌های خشک‌سالی جدید، یا برای بهبود شاخص‌های موجود صورت گرفته است. اغلب مطالعات، مربوط به تجزیه و تحلیل خشک‌سالی و سیستم‌های پایشی است که با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI که بر اساس رویکرد احتمال وقوع بارش است می‌باشد. (McKee et al, 1993) در قرن بیستم چندین شاخص جهت کمی کردن، پایش و تجزیه و تحلیل خشک‌سالی توسعه یافت (Keyantash and Dracup 2002)؛ Heim 2002). تاکنون بیش از ۲۵۰ شاخص برای تشخیص شدت خشک‌سالی در مناطق مختلف توسعه داده شده است. هریک از این شاخص‌ها دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود می‌باشند و نمی‌توان به راحتی یکی را بر دیگری ترجیح داد. شاید بتوان یکی از شناخته شده‌ترین این شاخص‌ها را شاخص شدت خشک‌سالی پالم دانست. شاخص PDSI نقطه عطفی در توسعه شاخص‌های خشک‌سالی بود. این شاخص قادر است میزان رطوبت (مقدار مثبت) و خشکی (مقادیر منفی) را بر اساس مفهوم عرضه و تقاضا معادله تعادل آب اندازه

خشک‌سالی به دوره‌های زمانی کوتاه مدت و یا بلند مدتی اطلاق می‌گردد که در آن‌ها کمبود بارش، افزایش دما و در نتیجه کاهش رطوبت رخ می‌دهد و شدت خشک‌سالی‌ها به درجه کاهش بارش و کمبود رطوبت، مدت پایداری و بزرگی ناحیه تحت تاثیرشان بستگی دارد. از آنجایی که کشور ایران در سال‌های اخیر با خشک‌سالی مواجه بوده است، بنابراین تحقیقات در خصوص پایش هم‌زمان و دقیق شرایط پویای خشک‌سالی جهت کاهش اثرات مخرب این بلايا اقلیمی حایز اهمیت است (جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۰). در سال‌های

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(* نویسنده مسئول: (Email: hassanpourir@uoz.ac.ir)

همکاران در ۷۶۱ سایت در نبراسکا، کانزاس و کلرادو، مونتانا، داکوتای شمالی و جنوبی شاخص پالم را واسنجی نمودند. (Wells et al., 2004). واسیلیادس و لوکاس به بررسی پاسخ PDSI به خشکی از نظر هیدرولوژیکی و متورولوژیکی در یونان پرداختند و قدرت این شاخص در تشخیص شدت خشک‌سالی در رخدادهای سال‌های دور را مناسب گزارش کردند. (Vasiliades and Loukas., 2009). کارآموز و همکاران در بررسی مدیریت منطقه‌ای خشک‌سالی، سه شاخص SPI و PDSI و WSSI را به صورت شاخص ترکیبی HDI به کار گرفتند و مدل‌هایی به منظور نمایش و پیش‌بینی تداوم خشک‌سالی و احتمال وقوع دوره‌های خشک‌سالی ارائه نمودند (Karamouz et al., 2009). سومارو و همکاران رابطه بین شاخص پالم و رطوبت خاک را در هند بررسی نمودند و دریافتند که ارتباط معنی‌داری بین این دو وجود دارد (Somaru et al., 2011). بروینت و همکارانش خشک‌سالی تابستان را در شبه جزیره ایبری مورد پایش قرار دادند. آن‌ها جهت پایش خشک‌سالی از دو شاخص پالم و SPETI کمک گرفتند و همبستگی‌شان را با یکدیگر مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شاخص پالم با شاخص SPETI_12 بیش‌ترین همبستگی را در تابستان دارد (Boroneant et al., 2011). ایکسیاول یانگ و همکاران، روند خشک‌سالی در ۷ منطقه اقلیمی چین را با استفاده از شاخصهای PDSI و SMI و آزمون من کندال بررسی کردند و نشان دادند خشک‌سالی در قرن ۲۱ خیلی جدی تر از قرن ۲۰ و همراه با افزایش دما بوده است (Xiaoli Yang et al., 2015). هووآجون و همکاران، مقایسه سه شاخص خشک‌سالی SPI، SPEI، SCPDSI در منطقه خشک شمال غرب چین انجام دادند و نتایج نشان داد که هر سه شاخص به طور معناداری به یکدیگر وابسته بودند و هیچ تفاوت معناداری به لحاظ آماری برای شدت خشک‌سالی بر اساس ارزیابی‌های به عمل آمده به کمک SPI و SPEI دیده نشده است و شاخص SCPDSI در کل شاخصی بوده که نشان دهنده کمبود آبی در یک دوره متوسط است (Huaijun et al., 2017). شاخص شدت خشک‌سالی پالم در مقایسه با سایر شاخص‌ها، پارامترهای بیش‌تری را برای برآورد خشک‌سالی در نظر می‌گیرد. در این شاخص علاوه بر پارامتر بارش، دما، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و رواناب نیز به عنوان ورودی برای محاسبه خشک‌سالی استفاده می‌شود. مزیت دیگر آن، این است که امکان مقایسه خشک‌سالی را در زمان‌ها و مکان‌های مختلف فراهم می‌سازد (پالم، ۱۹۶۵). در حالی که شاخص‌های دیگر بیش‌تر به علت سادگی محاسبات و کم بودن پارامترهای ورودی که بیش‌تر بارش است، مورد توجه پژوهشگران بوده است. بخش کشاورزی در ایران، آسیب پذیرترین بخش از نظر کاهش ریزش‌های آسمانی می‌باشد. لیکن در مطالعات و ارزیابی‌های خشک‌سالی در ایران بیش‌تر از شاخص‌های متورولوژیکی (هواشناختی) یا هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد و نتایج

بگیرد. و به این ترتیب ترکیبی از بارش، ذخیره رطوبت، رواناب و پتانسیل تبخیر در سطح زمین را شامل می‌شود. پالم ۱۹۶۸ شاخصی را طراحی نمود که یک روش کمی در تعیین شدت خشک‌سالی کشاورزی می‌باشد و در تحلیل پدیده خشک‌سالی به روش بودجه آبی هر منطقه از تغییرات رطوبت خاک و تبخیر و تعرق، استفاده می‌نماید و اساس آن معادله موازنه آب خاک می‌باشد. شاخص شدت خشک‌سالی پالم PDSI برای سنجش میزان نوسانات ذخیره رطوبتی خاک در آمریکا توسعه یافته و بطور گسترده در سایر کشورهای جهان مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه روش پالم به صورت بازگشتی عمل می‌نماید و نیز توانایی تشخیص آغاز و خاتمه خشک‌سالی را دارد، می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به شاخص‌های ساده‌تر نظیر SPI در برآورد خشک‌سالی داشته باشد و نظر به اینکه شاخص پالم بر اساس بیان آب در خاک طراحی شده است، می‌تواند کاربرد زیادی در بحث‌های مربوط به کشاورزی داشته باشد. کاویانی (۱۳۸۰)، کاربرد روش پالم را به عنوان بهترین شیوه شناخت درجات خشک‌سالی برای لمس آستانه‌های خشک‌سالی در ایران، توصیه نمود. پژوهش‌های زیادی با استفاده از شاخص پالم جهت بررسی خشک‌سالی صورت گرفته است؛ آسیایی (۱۳۸۵) شاخص خشک‌سالی پالم را با استفاده از نرم‌افزاری که جهت محاسبه شاخص طراحی شده در ایستگاه سینوپتیک مشهد طی دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۵۰ محاسبه و ارائه داد. انصاری و داوری (۱۳۸۹) خصوصیات زمانی و مکانی خشک‌سالی در حوزه آبریز خراسان رضوی و شمالی حوزه آبریز قره‌سو و بخشی از حوزه اترک را در بازه زمانی کاشت محصولات دیم (ماه‌های اسفند تا خرداد) مورد بررسی قرار دادند و شرایط تری و خشکی ماهانه با استفاده از شاخص شدت خشک‌سالی پالم و برای دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۶۷ در ۵ ایستگاه تجزیه و تحلیل گردید. آزادی و همکاران (۱۳۹۳) شاخص خشک‌سالی پالم را در ۱۷ حوزه مطالعاتی در مقیاس ماهانه در دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۶۹ محاسبه نمودند و نتایج این پژوهش، مطالعه واسنجی شاخص پالم را برای هر منطقه و با استفاده از خروجی سایر مدل‌های هیدرولوژیکی امکان‌پذیر ساخت. شهبازی و همکاران (۱۳۹۴) به واسنجی شاخص پالم در غرب و جنوب غرب ایران پرداختند و نتایج نشان داد اگرچه اختلاف چندانی بین ضرایب اصلی شاخص پالم واسنجی شده و نسخه اولیه آن وجود ندارد ولی به علت تفاوت زیاد آن دو، در فاکتورهای وزنی ماهانه، بین سری‌های حاصل از نسخه واسنجی شده و اولیه، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. آلی، وبر و نکمدیریم، شاخص‌های خشک‌سالی کشاورزی را در کانادا ارزیابی کردند و بهترین عملکرد را ابتدا در شاخص خشک‌سالی Z و سپس در PDSI یافتند. (Alley., 1984) Weber (and Nkendirim., 1998). هو و دی‌ویلسون، نقش دما و بارش در PDSI را ارزیابی کرده و دریافتند که شاخص در هر دو متغیر به یک اندازه به تغییرات پاسخ می‌دهد. (Hu and Willson., 2000) و لوز و

هوایی، مناسب و سازگار برای کشت دیم می‌باشد ولی تاکنون تحقیقاتی مبنی بر بررسی خشک‌سالی بر پایه‌ی شاخص خشک‌سالی پالم و اسنجی شده و ارتباط شاخص خشک‌سالی پالم بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم انجام نشده است. در راستای این پژوهش به منظور بررسی روند خشک‌سالی با استفاده از آزمون‌های من - کندال و پتیت و همچنین بررسی و ارزیابی ارتباط شاخص خشک‌سالی پالم بر عملکرد گندم دیم در بیرجند طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی دشت بیرجند بین ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. مساحت آن ۳۴۰۷ کیلومتر مربع بوده که ۱۸۴۵ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. از نظر طبیعی بین رشته کوه‌ها و تپه‌ها و دامنه‌های آن‌ها واقع شده است. در شمال و شمال شرقی آن رشته کوه مومن آباد میناباد به ارتفاع ۲۷۸۰ متر و در جنوب آن رشته کوه باقران به ارتفاع ۲۷۲۰ متر از سطح دریا به صورت موازی کشیده شده‌اند. شهرستان بیرجند از نظر تقسیمات آب و هوایی براساس اقلیم نمای کوپن در اقلیم نیمه‌خشک دسته‌بندی شده است (دین‌پژوه و همکاران، ۱۳۸۲). موقعیت و مشخصات ایستگاه سینوپتیک بیرجند در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

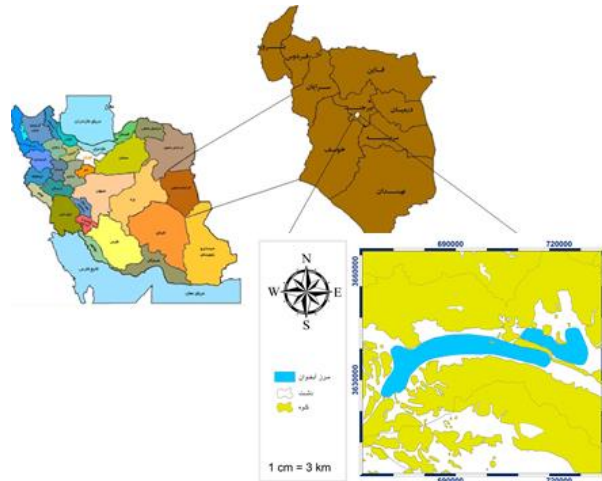
برای محاسبه شاخص از نرم‌افزار SC-PDSI استفاده گردید. اطلاعات مورد نیاز جهت ورود به این نرم‌افزار شامل آمار مربوط به دما و بارش ایستگاه در مقیاس ماهانه و هفتگی و داده‌های بارندگی و دمای نرمال، عرض جغرافیایی و ظرفیت نگهداری آب در خاک است. این اطلاعات از سازمان‌های مربوطه و نیز با تحقیق و بررسی شرایط منطقه جمع‌آوری شد و پس از آماده‌سازی وارد بسته نرم‌افزاری محاسبه شاخص گردید. این مطالعه برای سال‌های آماری ۱۳۹۳-۱۳۶۴ انجام شد و شاخص‌های بدست آمده طبق جدول، طبقه‌بندی شده و وضعیت خشک‌سالی هر یک از ماه‌های سال‌های مختلف بدست آمد. همچنین، روند شاخص SC-PDSI در ارتباط با خشک‌سالی با استفاده از تحلیل سری زمانی و آزمون‌های من - کندال و پتیت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقدار شاخص SPI نیز محاسبه گردید و روند این شاخص نیز در ارتباط با خشک‌سالی با استفاده از تحلیل سری زمانی و آزمون‌های من - کندال و پتیت مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با استفاده از داده‌های عملکرد گندم دیم منطقه در سال‌های آماری مذکور ارتباط بین عملکرد و خشک‌سالی بررسی گردید. اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت و عملکرد ۳۰ ساله گندم دیم از سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی و استان خراسان رضوی دریافت گردید. کاشت گندم دیم در منطقه از نیمه دوم آذرماه تا نیمه اول دی‌ماه و برداشت آن در تیرماه سال بعد انجام شد.

حاصله برای خشک‌سالی‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی برای خشک‌سالی کشاورزی بهتر است از شاخص‌های مختص آن استفاده شود البته تحقیقاتی نیز در زمینه خشک‌سالی کشاورزی انجام گرفته است بدین شرح که تحقیق عزیززی و صفرخانی (۱۳۸۱) در بررسی تاثیر خشک‌سالی بر عملکرد گندم دیم استان ایلام بیانگر کاهش ۵۰ درصدی عملکرد بوده است. تحقیقات صمدی نقاب (۱۳۸۵) و اسلامیان و همکاران (۱۳۸۵) نشان می‌دهد تغییرات عوامل هواشناسی تا حد زیادی بیانگر تغییرات خشک‌سالی نیز هست و عوامل هواشناسی هر منطقه، بخش عمده‌ای از ویژگی‌های خشک‌سالی آن منطقه را نمایندگی می‌نماید. دربندی و همکاران (۱۳۸۶) از عملکرد نسبی محصول گندم دیم در ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی در کنار شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی بهره گرفتند و نتایج آنان نشان داد شدت افزایش عملکرد نسبی با افزایش بارندگی‌ها متناسب نبوده و حتی در برخی سال‌ها با وجود افزایش بارندگی، عملکرد نسبی محصول کاهش داشته است. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۸) مطالعه تطبیقی چهار شاخص خشک‌سالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم در استان همدان را انجام دادند و توزیع نامناسب زمانی بارش طی فصل رشد را موجب کاهش عملکرد دانستند. در مطالعات خشک‌سالی که در خراسان جنوبی تاکنون صورت گرفته است، بنی‌واهب و علیجانی (۱۳۸۲) به بررسی خشک‌سالی، ترسالی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل‌های آماری در سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۳۴ و خسروی و اکبری (۱۳۸۷) به بررسی ویژگی‌های استان خراسان جنوبی در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۵۳ با تکیه بر شاخص SPI پرداختند. مقدم‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) چند شاخص خشک‌سالی هواشناسی را در منطقه بیرجند در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۳۵ تعیین و ارزیابی نمودند. زارع ایبانه (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای مقادیر کمی شاخص خشک‌سالی بارندگی سالانه استاندارد و ۶ شاخص دیگر را براساس میانگین اطلاعات هواشناسی در شهرستان‌های مشهد و بیرجند در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۶۳ محاسبه نمود و ارتباط این شاخص‌ها را با عملکرد محصولات دیم و پیش‌بینی عملکرد را با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بررسی کرد و نتیجه گرفت که عدم هم‌خوانی رفتاری برخی از شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد محصولات دیم ناشی از تفاوت شدت خشک‌سالی‌ها است و مدل ریب نسبت به دو مدل رگرسیونی گام به گام و اتوماتیک در توصیف تغییرات مشاهده شده در عملکرد محصولات دیم، توانمندتر است. رضایی و معاریان (۱۳۹۴) با ترکیب سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس با میزان بارش و مقادیر پیشین شاخص خشک‌سالی SPI به بررسی کارایی شبکه‌های عصبی فازی (CANFIS) در پیش‌بینی خشک‌سالی منطقه اقلیمی بیرجند پرداختند.

از آنجایی که بنا به تحقیقات مرجانی و همکاران (۱۳۸۵) استان خراسان جنوبی به جهت برخورداری از تنوع اقلیمی و شرایط آب و

دلیل عدم وجود خلا آماری در سری زمانی انتخابی نیازی به بازسازی داده‌ها نبود.

نکته مهم وجود داده‌های طولانی مدت عملکرد دیم گندم بود که جمع‌آوری آن‌ها برای ۳۰ سال آماری میسر گردید. در این مطالعه به



شکل ۱- محدوده مطالعاتی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه سینوپتیک بیرجند

سال تاسیس	ارتفاع از سطح دریا	میانگین بارش	میانگین دما	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه
۱۳۳۴	۱۵۰۴ متر	۱۶۷/۲ میلی‌متر	۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد	۳۲/۹۰	۵۹/۲۵	سینوپتیک بیرجند

می‌شود:

$$Z = K_i d \quad (1)$$

$$K_i = \frac{17.67 K_i}{\sum_{i=1}^{12} \bar{D}_i \times K_i} \quad (2)$$

که D میانگین مقادیر مطلق D برای ماه نام است و Ki از رابطه ۳ قابل محاسبه است.

$$K_i = 1.51 o/10 \left(\frac{\frac{PE_i + R_i + RO_i}{P_i + L_i} + 2.8}{D_i} \right) + 0.5 \quad (3)$$

شاخص ناهنجاری رطوبت (Z) مرطوب یا خشک بودن یک ماه خاص را ارزیابی می‌کند و شاخص شدت خشک‌سالی پالمر برای هر ماه به کمک معادله‌ی ۴ به دست می‌آید (دارند، ۱۳۹۳).

$$X_i = 0.897 X_{i-1} + \left(\frac{1}{3}\right) Z_i \quad (4)$$

پالمر خشک‌سالی را به ۱۱ گروه مطابق جدول ۲ طبقه‌بندی کرد.

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

اساس این روش احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است. شاخص SPI برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلندمدت بارندگی‌ها برازش داده می‌شود. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات به توزیع نرمال استاندارد تبدیل می‌گردد؛ بطوری- که متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود. مقادیر

شاخص شدت خشک‌سالی پالمر

شاخص پالمر به جای آن که صرفاً بر بارش تاکید داشته باشد، بر مدل توازن و تعادل آب اولیه استوار است. روش محاسبه شاخص شدت خشک‌سالی پالمر به این صورت است که برای هر ماه از سال جداگانه مقادیر چهار مولفه مرتبط با رطوبت خاک همراه با مقادیر بالقوه آن نیاز است، هشت مولفه شامل تبخیر و تعرق (ET)، تبخیر و تعرق بالقوه (PE)، نگهداشت رطوبت (R)، نگهداشت رطوبت بالقوه (PR)، رواناب (RO)، رواناب بالقوه (PRO)، اتلاف رطوبت (L) و اتلاف رطوبت بالقوه (PL) است. مقادیر این مولفه‌ها ارتباط بسیار زیادی با ظرفیت آب در دسترس دارند. در این روش مقدار تبخیر و تعرق بالقوه به کمک روش تورنت وایت برآورد می‌شود.

مقادیر بالقوه مولفه‌ها برحسب اقلیم هر منطقه به کمک ضرایب $\delta_i = \frac{L_i}{PL_i}$ و $\gamma_i = \frac{RO_i}{PRO_i}$ $\beta_i = \frac{R_i}{PR_i}$ $\alpha_i = \frac{ET_i}{PE_i}$ ضرایب وزن‌دهی ضرایب بیلان آب نامیده می‌شوند که i ماه‌های سال است و علامت بار بر روی اصطلاحات بیانگر میانگین است. این ضرایب برای برآورد میزان تفاوت بین بارش واقعی (P) هر ماه و بارش فرضی $\hat{P} = \alpha PE + \beta PR + \gamma PRO + \delta PL$ است. بارش فرضی مقداری از بارش است که بر اثر بیلان ساده آب به دست می‌آید. شاخص ناهنجاری رطوبت (Z) به صورت رابطه ۱ و ۲ تعریف

مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیش‌تر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس دارد. طبق این روش دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد.

جدول ۲- طبقات شاخص شدت خشک‌سالی پالم (پالم، ۱۹۶۵)

مقادیر شاخص	نشانه	گروه
۴ و بالاتر	ترسالی بسیار شدید	۱
۳ تا ۳/۹۹	ترسالی شدید	۲
۲ تا ۲/۹۹	ترسالی متوسط	۳
۱ تا ۱/۹۹	تقریباً مرطوب	۴
۰/۵ تا ۰/۹۹	تأحدی مرطوب	۵
۰/۴۹ تا -۰/۴۹	نرمال	۶
-۰/۵ تا -۰/۹۹	تا حدی خشک	۷
-۱ تا -۱/۹۹	خشک‌سالی خفیف	۸
-۲ تا -۲/۹۹	خشک‌سالی متوسط	۹
-۳ تا -۳/۹۹	خشک‌سالی شدید	۱۰
-۴ و کمتر	خشک‌سالی بسیار شدید	۱۱

استقلال مقادیر مختلف سری زمانی از یکدیگر و همگنی آن‌ها است. در مقابل در صورتی که شکستگی و ناپیوستگی در مقدار میانگین سری زمانی وجود داشته باشد، مطابق فرض یک، این آزمون سری زمانی ناهمگن است. این روش آزمون همگنی در یافتن ناهمگنی‌های نقاط میانی سری زمانی توانایی بیش‌تری داشته و از جمله آزمون‌هایی است که زمان بروز ناهمگنی را گزارش می‌کند (قاجارنیا و همکاران، ۱۳۹۳).

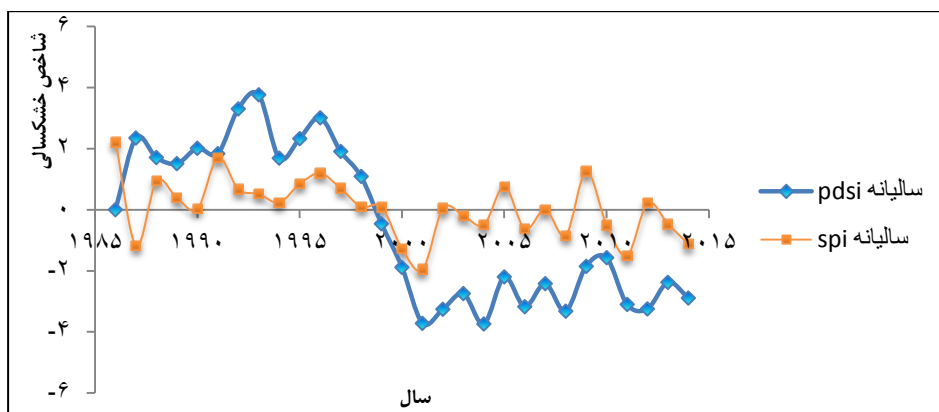
نتایج و بحث

شکل ۲، نتایج محاسبات دو شاخص SPI و PDSI را بصورت سالانه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که روند این دو شاخص با هم همسو می‌باشد و بیش‌ترین SPI در سال ۱۹۸۶ و به میزان ۲/۲۱ و بیش‌ترین PDSI در سال ۱۹۹۳ و به میزان ۳/۷۶ و کم‌ترین SPI در سال ۲۰۰۱ به میزان ۱/۹۵- و کم‌ترین PDSI در سال ۲۰۰۴ به میزان ۳/۷۴- می‌باشد. نتایج محاسبه SPI نشان دهنده این است که سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ خشک‌سالی‌های بسیار شدید، سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ خشک‌سالی متوسط و باقی سال‌ها در دوره آماری (به جز سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۸۶ و ۲۰۰۹ که شرایط ترسالی را داشته‌اند) شرایط نزدیک به نرمال را تجربه کرده‌اند و اما نتایج محاسبه PDSI نشان دهنده این است که سال ۱۹۹۹ تقریباً نرمال، و سال‌های بعد از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ در ردیف خشک‌سالی‌های خفیف تا شدید است و بنابراین شاخص پالم به تعیین دوره خشک‌سالی خیلی حساس‌تر از شاخص SPI است. دوبروفسکی و همکارانش (۲۰۰۸) نشان دادند که گرمای پیش‌بینی شده حاصل از اثرات خشک‌سالی به‌وسیله مدل‌های اقلیم جهانی را می‌توان به وضوح در PDSI دید در حالی که SPI (که

تحلیل سری‌های زمانی

در تحلیل سری‌های زمانی داده‌های اقلیمی، بررسی خود همبستگی در سری‌های زمانی تحلیل روند تدریجی با استفاده از آزمون من - کندال و تشخیص نقاط تغییر در سری داده‌ها با استفاده از آزمون همگنی پتیت انجام شد. در این مطالعه، تحلیل روند داده‌هایی که دارای خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی می‌باشند به روش حامد و رائو (۱۹۹۸) انجام شد. در روش حامد و رائو اثرات همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ضرایب همبستگی آن‌ها در یک یا چند مورد معنی‌دار باشد. از میان روش‌های غیر پارامتری شناسایی روند، آزمون من - کندال از عمومیت بیش‌تری برای شناسایی روندهای یکنواخت برخوردار است. معمولاً روش‌های غیرپارامتری در مقایسه با روش‌های پارامتری از دقت و قابلیت اعتماد بیش‌تری برخوردار می‌باشد. این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه شده است و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ توسعه یافته است (Serrano et al., 1999). مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند. از دیگر مزایای این روش اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی موجود در داده‌های سری زمانی می‌باشد (Turgay and Ercan., 2005). آزمون همگنی پتیت (۱۹۷۹) یک آزمون ناپارامتری است که نیازمند فرض نرمال بودن سری زمانی نمی‌باشد. این آزمون نیز دارای فرض صفر به صورت

تنها بر اساس داده‌های بارش است) تغییرات شرایط مورد انتظار خشک‌سالی را منعکس نمی‌کند.



شکل ۲ - نمودارهای SPI و SC-PDSI سالیانه در دوره آماری

تحلیل سری زمانی دمای سالیانه و بارندگی سالیانه ایستگاه بیرجند

نتایج تحلیل سری زمانی دما و بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک بیرجند در دوره زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. طبق جدول ۲ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روند سری زمانی دما و بارندگی سالیانه ایستگاه با استفاده از آزمون من - کندال نشان می‌دهد که تغییرات دما دارای روند افزایشی و بارندگی دارای روند کاهش می‌باشد.

تحلیل سری زمانی پیوسته شاخص PDSI سالیانه و SPI سالیانه ایستگاه بیرجند

در جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روند سری زمانی SPI سالیانه ایستگاه و جدول ۴ نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی SPI سالانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن سال ۱۹۹۸ می‌باشد که میاتگین شاخص از ۰/۱ به میزان ۰/۰۹ بعد از سال ۱۹۹۸ کاهش یافته است.

جدول ۲- نتایج تحلیل روند سری زمانی دمای سالیانه و بارندگی سالیانه با استفاده از آزمون من - کندال

Parameter	Period	MKtrend test			Trend
		Tau	P	S	
بارندگی سالیانه	۱۹۸۵-۲۰۱۴	-۰/۲۹۲	۰/۰۲۵	-۱۲۷	کاهشی
دمای سالیانه	۱۹۸۵-۲۰۱۴	۰/۴۴۴	۰/۰۰۱	۱۹۳	افزایشی

جدول ۳- نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته SPI سالیانه با استفاده از آزمون من - کندال

Parameter	Period	MKtrend test			Trend
		Tau	P	S	
SPI سالیانه	۱۹۹۸-۱۹۸۵	-۳۶۹/۰	۰۰۵/۰	-۱۵۰۰۰۰	کاهشی
	۲۰۱۴-۱۹۹۸	۰۲۹/۰	۹۲۱/۰	۳۰۰۰	افزایشی

جدول ۴- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی پیوسته SPI سالیانه

Parameter	Period	trend test			
		K	P	alpha	T
SPI سالیانه	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۱۴۰۰۰۰	۰۰۶/۰	۰۵/۰	۱۹۹۸

نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی PDSI سالیانه

در سطح ۵ درصد معنی دار است که نقطه تغییر آن سال ۱۹۹۹ می باشد که میانگین شاخص از ۰/۴۶ به میزان ۱/۸۸- بعد از سال ۱۹۹۹ کاهش یافته است. ملاحظه می شود که نقطه تغییر در شاخص PDSI یک سال بعد از شاخص SPI رخ داده است و بیانگر آن است که خشک سالی مرتبط با رطوبت خاک و دما دیرتر از خشک سالی مرتبط با بارش اتفاق افتاده است که صحت محاسبات را نشان می دهد.

نتایج شاخص PDSI سالیانه، نشان داد میزان خودهمبستگی معنی دار بوده که باید پیش از تحلیل روند، اثر آن به روش حامد و رایو حذف گردد. در جدول ۵ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روند سری زمانی PDSI سالیانه ایستگاه با استفاده از آزمون من - کندال و جدول ۶ نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر نشان داده شده است.

جدول ۵- نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته PDSI سالانه با استفاده از آزمون من - کندال

Parameter	Period	MK trend test			Trend
		Tau	P	S	
PDSI سالانه	۱۹۹۹-۱۹۸۵	-۵۰۷/۰	۰۰۰۱/۰<	-۲۰۶۰۰۰	کاهشی
	۲۰۱۴-۱۹۹۹	۰,۰۱۷	۹۶۴/۰	۲۰۰۰	افزایشی

جدول ۶- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی پیوسته PDSI سالانه

Parameter	Period	trend test			T
		K	P	alpha	
PDSI سالانه	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۲۱۰۰۰۰	<۰۰۰۱/۰	۰۵/۰	۱۹۹۹

و جدول ۸ نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی SPI ماهیانه در سطح ۵ درصد معنی دار است که نقطه تغییر آن ماه می سال ۱۹۹۸ می باشد که میانگین شاخص از ۷/۱۳ به میزان ۰/۸ بعد از ماه می سال ۱۹۹۸ کاهش یافته است.

تحلیل سری زمانی پیوسته شاخص PDSI ماهیانه و SPI ماهیانه ایستگاه بیرجند

نتایج سری ماهیانه SPI ایستگاه سینوپتیک بیرجند، نشان می دهد که میزان خودهمبستگی معنی دار بوده که باید پیش از تحلیل روند، اثر آن به روش پیشنهادی حامد و رایو حذف شود. در جدول ۷ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روند سری زمانی SPI ماهیانه ایستگاه

جدول ۷- نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته SPI ماهیانه با استفاده از آزمون من - کندال

Parameter	Period	MK trend test			Trend
		Tau	P	S	
SPI ماهیانه	۱۹۹۸-۱۹۸۵	-۰۲۷/۰	۴۶۸/۰	-۱۶۳۷۰۰۰	کاهشی
	۲۰۱۴-۱۹۹۸	۰۶۱/۰	۲۱۵/۰	۱۱۵۷۰۰۰	افزایشی

جدول ۸- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی پیوسته SPI ماهیانه

Parameter	Period	trend test			T
		K	P	alpha	
SPI ماهیانه	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۳۵۳۸۰۰۰	۳۴۴/۰	۰۵/۰	May-98

نتایج سری ماهانه شاخص PDSI نشان می‌دهد که میزان خودهمبستگی معنی‌دار بوده که باید پیش از تحلیل روند، اثر آن به روش حامد و رایو حذف گردد. در جدول ۹ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روند سری زمانی PDSI ماهیانه ایستگاه و جدول ۱۰ نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای

تشخیص نقاط تغییر نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی PDSI ماهیانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن ماه فوریه سال ۲۰۰۰ می‌باشد که میاتگین شاخص از ۱/۰۶ به میزان ۱/۱۵- بعد از ماه فوریه ۲۰۰۰ کاهش یافته است.

جدول ۹- نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته PDSI ماهیانه با استفاده از آزمون من - کندال

Parameter	Period	MK trend test			Trend
		Tau	P	S	
PDSI ماهیانه	۲۰۰۰-۱۹۸۵	-۴۶۶/۰	۰۰۰۱/۰ <	-۳۰۱۱۹۰۰۰	کاهشی
	۲۰۱۴-۲۰۰۰	۱۱۲/۰	۰۲۷/۰	۱۷۷۹۰۰۰	افزایشی

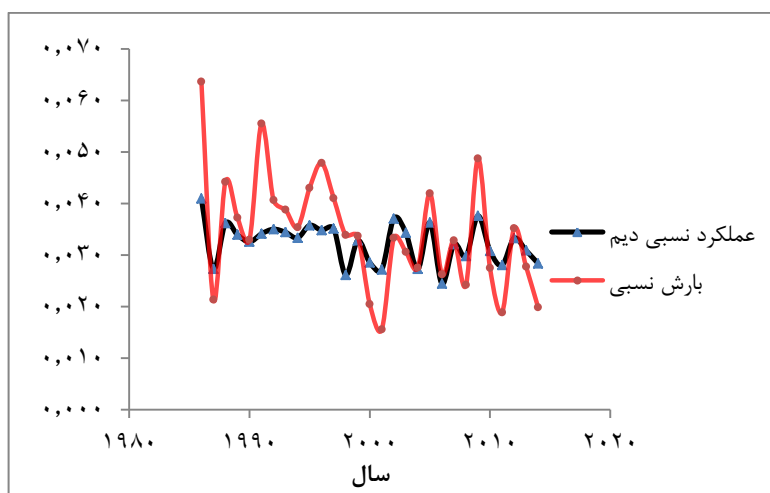
جدول ۱۰- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی پیوسته PDSI ماهیانه

Parameter	Period	trend test			T
		K	P	Alpha	
PDSI ماهیانه	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۳۲۳۸۲۰۰۰	۰۰۰۱/۰ <	۰۵/۰	Feb-00

نشان می‌دهند و به این ترتیب می‌توان به شاخص‌های خشک‌سالی مرتبط با محصولات دیم دست یافت. هرچند عملکرد می‌تواند تابع ویژگی‌های ارقام مورد کشت باشد اما به میزان بسیار زیاد تحت تاثیر مقدار بارش و به تبع آن خشک‌سالی قرار دارد. شکل ۳ وضعیت عملکرد گندم دیم را بر اساس دو معیار بدون بعد عملکرد نسبی و بارش نسبی نشان می‌دهد.

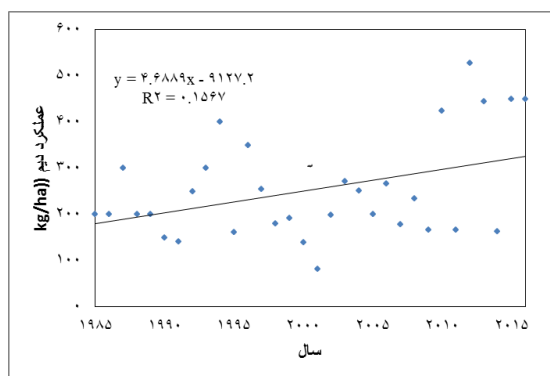
تحلیل ارتباط بین شاخص‌های SPI و PDSI و عملکرد نسبی محصول گندم دیم

پس از محاسبه خشک‌سالی به منظور انتخاب شاخصی مناسب، از شاخص زراعی عملکرد گندم دیم منطقه استفاده شد. عملکرد نسبی، حاصل عملکرد محصول نسبت به میانگین بلندمدت آن است (دربندی و همکاران، ۱۳۸۶). انتخاب شاخص فوق‌بدان علت است که سطح زیر کشت دیم و عملکرد آن خصوصیات بارش را به شکلی مناسب



شکل ۳- ارتباط عملکرد نسبی گندم دیم با بارش‌های نسبی منطقه بیرجند

است. کم بودن ضریب همبستگی می‌تواند دلیل بر عدم تاثیرپذیری عملکرد از عوامل زراعی باشد که عدم نیاز به روندزدایی عملکرد را نشان می‌دهد. از این روی انتخاب شاخص عملکرد نسبی که تا حدودی تاثیرات عوامل غیراقلیمی (زراعی، انسانی و رشد و فناوری) را حذف می‌کند، مناسب به نظر می‌رسد. شمای مختصری از سطح زیر کشت و عملکرد گندم دیم طی سال‌های ۱۴-۲۰۱۹۸۵، در شکل ۴، نشان داده شده است.

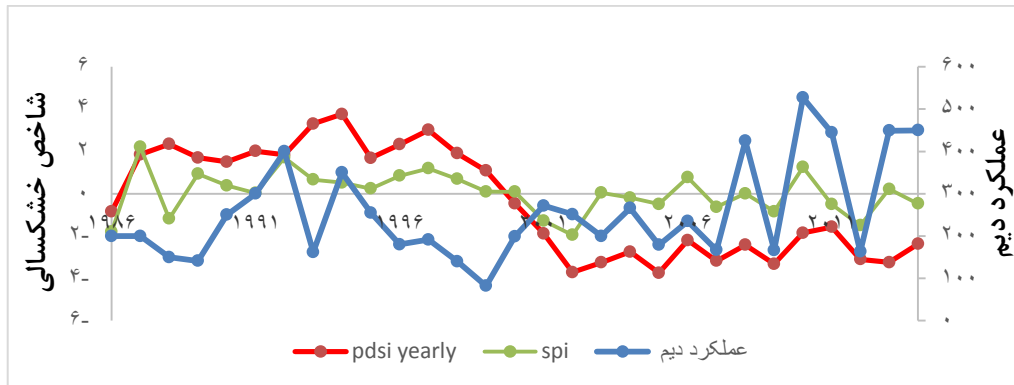


شکل ۴- عملکرد در واحد سطح و روند آن در سال‌های مختلف زراعی برای منطقه بیرجند

در پیش‌بینی خشک‌سالی منطقه اقلیمی بیرجند پرداخته‌اند و نیز، زارع ایبانه (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای مقادیر کمی ۷ شاخص خشک‌سالی درصد نرمال، بارندگی سالانه استاندارد، هیدرترمال سلیمانینف، نگوین، ناهنجاری بارش، رطوبتی شاشکو و ترانسو را بر اساس میانگین اطلاعات هواشناسی در شهرستان‌های مشهد و بیرجند در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۶۱ محاسبه نمود و ارتباط این شاخص‌ها را با عملکرد محصولات دیم بررسی کرد. همچنین تحقیقات دربندی و همکاران (۱۳۸۶) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۸) در مورد ارتباط شاخص عملکرد نسبی محصول و عملکرد گندم دیم نیز قبلاً انجام شده ولی در این تحقیق به ارتباط بین شاخص‌های SPI و PDSI و عملکرد گندم دیم پرداخته شد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در دیگر ایستگاه‌های مناطق کشور که دارای آمار لازم و دقیق برای محاسبه شاخص خشک‌سالی پالم و عملکرد دیم می‌باشند نیز مشابه این تحقیق انجام شده و این ارتباط بررسی گردد.

بر مبنای شکل ۳، ضریب همبستگی بین بارش نسبی و عملکرد نسبی گندم دیم، ۰/۸۱ بدست آمد که وابستگی عملکرد نسبی به بارش و اهمیت آن را در منطقی بودن روند هر دو منحنی به خوبی نشان می‌دهد. برای تشخیص میزان تاثیر عوامل اقلیمی در مقابل عوامل غیراقلیمی بر عملکرد گندم دیم، با ترسیم عملکرد در واحد سطح گندم به صورت متناظر با سال‌های زراعی مشخص گردید که عملکرد دارای روندی افزایشی بوده ولی میزان افزایش در سال‌های مختلف به دلیل کم بودن ضریب همبستگی (۰/۱۵) چندان زیاد نبوده

در شکل ۵، برآوردهای سالیانه شاخص‌های خشک‌سالی در مقایسه با عملکرد نسبی گندم دیم نشان داده شده است. این شکل به خوبی نشان می‌دهد که شاخص‌های مطالعه شده، روند هم‌سوئی را در خصوص عملکرد نسبی گندم دیم و به طریق اولی، بارش نسبی (شکل ۳) دارند. بعد از نقطه تغییر، مقدار ضریب همبستگی شاخص PDSI با عملکرد نسبی گندم دیم ۰/۷ و میزان همبستگی شاخص SPI با عملکرد نسبی گندم دیم ۰/۵۵ بدست آمد. شاخص پالم به دلیل این‌که علاوه بر بارش از فاکتورهای دما و مقدار رطوبت نیز استفاده می‌کند در برآورد خشک‌سالی کشاورزی از دقت بالاتری نسبت به شاخص SPI که فقط فاکتور بارش را در نظر می‌گیرد، برخوردار است که نتایج این تحقیق نیز مبین این موضوع است. همچنین تاکنون بنی واهب و علیجانی (۱۳۸۲) به بررسی خشک‌سالی بیرجند با استفاده از مدل‌های آماری و مقدم‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و رضایی و معاریان (۱۳۹۴) نیز به بررسی کارایی شبکه‌های عصبی فازی (CANFIS)



شکل ۵ - برآوردهای سالیانه شاخص‌های خشک‌سالی در مقایسه با عملکرد نسبی گندم دیم

۳۵-۴۶

نتیجه‌گیری

بنی‌واهب، ع. و علیجانی، ب. ۱۳۸۴. بررسی خشک‌سالی، ترسالی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل‌های آماری. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. ۳۳-۵۲:۴۶.

جوانمرد، س.، بذاق جمالی، ج.، احمدیان، ج. و جاودانی خلیفه، ن. ۱۳۷۹. سیستم مراقبت از شدت و وسعت خشک‌سالی بر اساس پهنه‌بندی شاخص پالمر. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی. ۶۳۷-۶۲۷.

خسروی، م. و اکبری، م. ۱۳۸۸. بررسی ویژگی خشک‌سالی‌های استان خراسان جنوبی. جغرافیا و توسعه. ۱۴: ۶۸-۵۱.

دارند، م. ۱۳۹۳. پایش خشک‌سالی ایران به کمک شاخص شدت خشک‌سالی پالمر و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور جوی اقیانوسی. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. ۱۱۵: ۸۲-۶۷.

دربندی، ص.، کاوه، ف.، فاخری فردا، ا.، صدقی، ح. و کمالی، غ. ۱۳۸۶. معرفی یک شاخص جدید برای ارزیابی شدت خشک‌سالی کشاورزی بر پایه عملکرد نسبی محصول. مجله علوم کشاورزی. ۱۲۳-۱۰۷: ۱.

دین‌پژوه، ی.، فاخری، ا.، مقدم، م.، میرنیا، میرکمال. و جهانبخش اصل، سعید. ۱۳۸۲. پهنه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تحلیل‌های چندمتغیره برای استفاده در مطالعات کشاورزی. نشریه دانش کشاورزی. ۱۳: ۹۰-۷۱.

رضایی، م. و معاریان، ه. ۱۳۹۴. کاربرد سری‌های زمانی بارش و نمایه‌های آماری اقلیمی در پیش‌بینی خشک‌سالی به کمک شبکه CANFIS (مطالعه موردی: بیرجند-خراسان جنوبی). دوفصلنامه علمی پژوهشی خشک‌سالی. ۲: ۶۷-۵۱.

زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۲. بررسی نقش عوامل اقلیمی و خشک‌سالی بر تغییر پذیری عملکرد چهار محصول دیم در مشهد و بیرجند. نشریه

نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص PDSI با ضریب همبستگی ۰/۷ با عملکرد دیم، دقت بیش‌تری نسبت به شاخص SPI با ضریب همبستگی ۰/۵۵ با عملکرد دیم در آرایه پدیده‌های خشک-سالی سال‌های اخیر داشته است و این شاخص در برآورد خشک‌سالی‌های مربوط به عملکرد گیاه و خشک‌سالی کشاورزی از شاخص SPI توانمندتر است. همچنین پیش‌بینی تغییرات دما و بارش به کمک مدل‌های تغییر اقلیم و شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط مدل‌های گیاهی و قرار دادن داده‌های پیش‌بینی شده در شاخص پالمر، به منظور تخمین شرایط خشک‌سالی کشاورزی در آینده نیز می‌تواند، قدمی موثر در فهم بهتر چگونگی تغییرات این پدیده اقلیمی در کشور به حساب آید. در برنامه‌های پایش و مدیریت ریسک خشک‌سالی کشاورزی، می‌توان شاخص پالمر را که شاخصی کارآمد است بکار گرفت و از این طریق به مدیریت خشک‌سالی کشاورزی پرداخت.

منابع

اسلامیان، س.، مدرس، ر. و سلطانی، س. ۱۳۸۵. گروه بندی مکانی خشک‌سالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش در استان اصفهان. آب و فاضلاب. ۵۷: ۷۵-۷۲.

انصاری، ح. و داوری، د. ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی خشک-سالی با استفاده از شاخص پالمر (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قره‌قوم و بخشی از حوزه اترک). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۷: ۱۲۵-۱۴۰: ۲.

آسیایی، م. ۱۳۸۵. پایش خشک‌سالی در مشهد با استفاده از شاخص خشک‌سالی پالمر. مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای. ۱۶۷-۱۸۵.

آزادی، س. و سلطانی، س. ۱۳۹۳. واسنجی و پهنه‌بندی ضرایب اقلیمی شاخص پالمر به منظور مدیریت ریسک خشک‌سالی در اکوسیستم‌های طبیعی (تالاب‌ها) ایران. مجله اکوهیدرولوژی. ۱:

- on Theoretical and Applied Climatology. 96:155-171.
- Hamed, K.H. and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. 204:182-196.
- Heim, R. 2002. A Review of Twentieth Century Drought Indices Used in the United States. American Meteorological Society. 1149-1165.
- Huaijun, W., Yingping, P. and Yaning, C. 2017. Comparison of three drought indices and their evolutionary characteristics in the arid region of northwestern China. *Atmospheric Science Letters*.
- Hu, W. and Wilson, G. 2000. Effects of Temperature Anomalies on the Palmer Drought Severity Index in the Central United States. *International Journal of Climatology*. 20:1899-1911.
- Karamouz, M., Rasouli, K. and Azif, S. 2009. Development of a hybrid index for drought prediction. *Journal of Hydrologic Engineering*. 14.6:617-627.
- Keyantash, J. and Dracup, J. 2002. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. American Meteorological Society. 1:1167-1180.
- Loukas, A. and Vasiliades, L. 2011. Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Desalination*. 237 : 3-21
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, 17:179-186.
- Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. Research Paper No 45, U.S. Dept. of Commerce, Weather Bureau. Washington. 58p.
- Serrano, A., Mateos, V.L. and Garcia, J.A. 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. *Physics and Chemistry of the Earth*. 24: 85-90.
- Somaru, R., Borganokara, P., Munota, A. and Sikder, B. 2011. Tree-ring variation in teak (*Tectona grandis* L.) from Allapalli, Maharashtra in relation to moisture and Palmer Drought Severity Index, India. *Journal of Earth System Science*. 120.4:713-721.
- Turgay, P. and Ercan, K. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes* published online in Wiley InterScience. *Hydrological Processes*. 20: 2011-2026.
- Weber, L. and Nkemdirim, L.C. 1998. The Palmer drought severity index revisited. *Physical Geography*. 80: 153-172.
- Wells, N., Goddard, S. and Hayes, M.J. 2004. A self-
دانش آب و خاک. ۱. ۲۳: ۳۹-۵۶.
- زارع ایبانه، ج.، یزدانی، و. و اژدری، خ. ۱۳۸۸. مطالعه تطبیقی چهارنمایه خشک‌سالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم در استان همدان. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. ۶۹: ۳۵-۴۹.
- سالنامه‌های هواشناسی کشور. ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۳ استان خراسان جنوبی.
- شهبازی، س.، بذرافشان، ج.، ایران‌نژاد، پ. و سه‌رایی، ت. ۱۳۹۴. واسنجی شاخص شدت خشک‌سالی پالمر تحت شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک مناطق غرب و جنوب‌غرب ایران. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۲: ۲۳-۴۴.
- صمدی نقاب، س. ۱۳۸۵. پیش‌بینی خشک‌سالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای GCM. مجله جغرافیا و توسعه روستا. ۸: ۲۱۲-۱۹۳.
- عزیزی، ق. و صفرخانی، ع. ۱۳۸۱. ارزیابی خشک‌سالی و تاثیر آن بر عملکرد گندم دیم در استان ایلام با تاکید بر خشکسالی‌های اخیر (۱۳۷۹-۱۳۷۷). ۲۵: ۶۱-۷۷.
- قاجارنیا، ن.، لیاقت، ع. و دانش کار آراسته، پ. ۱۳۹۳. صحت‌سنجی داده‌های بارندگی ایستگاه‌های غیرثبات سازمان هواشناسی و تماب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۱: ۹۱-۱۰۸.
- کاوایانی، م. ۱۳۸۰. بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشک‌سالی. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. ۶۰: ۷۱-۸۹.
- مرجانی، ع.، فارسی، م. و رحیمی زاده، م. ۱۳۸۵. بررسی تحمل به خشکی ده ژن و تیپ نخود دیم در مرحله جوانه زنی با استفاده از پلی اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ ویژه نامه علمی پژوهشی علوم کشاورزی، ۱: ۱۷-۲۹.
- مقدم‌نیا، ع.، دستورانی، ع. و کهنه، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی و مقایسه چند شاخص خشک‌سالی در منطقه بیرجند. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری.
- Alley, W. 1984. The palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of climate and applied metrology*. 23:1100-1109.
- Boroneant, C., Ionita, M., Brunet, M. and Rimbu. 2011. Seasonal drought variability over the Iberian Peninsula and its relationship to global sea surface temperature and large scale atmospheric circulation. *Climate research in service to society*. 24-28 october. Denver, USA.
- Dubrosky, M., Svoboda, M.D., Trnka, M.J., Wilhite, D.A., Zalud, Z., Hlavink, P. 2008. Application of relative drought indices in assessing climate change impacts on drought conditions in Czechia, *Journal*

Shanhu,J. 2015. Assessment of Trends of Drought in China from CMIP5. Geophysical Research Abstracts. 17:6137-6141.

calibrating Palmer drought severity index. Journal of Climate.17: 2335-2351.

Xiaoli,Y., Liliang,R., Yi,L., Mingwei,M., Xuerong,Ch.,

Drought Analyzing in Birjand with Emphasis on Calibrated Palmer Drought severity Index and Relative Yield of Rain-fed Wheat Crop

F.Hajjabadi¹, F.Hasanpour^{2*}, M.Yaghoubzade³, H. Hammami⁴

Recived: Sep.17, 2017

Accepted: Oct.22, 2017

Abstract

Drought is a natural and continuous climatic phenomenon which usually occurs in all areas of the world, but its characteristics, type and intensity is different regionally. It is also a progressive phenomenon so that its start and end is not clear and its influence intensity is low but, it encompasses more areas compare to other disasters such as flood, earthquake and etc. which is finally caused more losses rather than other disasters. Drought threshold considering spatial condition is different, therefore, point statistics of one station as an index station of each region is useable for removing spatial effects. In this study, by use of a software which is designed for calculating Palmer Drought severity Index, this index is calculated and presented for Birjand synoptic station during 1985-2014 statistical period in annual and monthly scale. Also, drought process is studied by use of Mann- Kendal and Petit statistical test. Spi drought index is also presented and an analysis has taken concerning drought indexes and relative yield of rain-fed wheat crop relationship by use of Birjand rain-fed wheat yield data during foregoing statistical period. While the air temperature and precipitation data were homogeneous, Based on statistical tests, it was identified that the 30-year period is enough for drought monitoring and analysis. Results showed that sudden changes of annual and monthly spi time series are significant at 5 percent and its change point is May 1998. Also, about annual and monthly pdsi index, results indicate that sudden changes of annual pdsi time series are significant at 5 percent and its change point is February 2000. Spi and pdsi indexes also had a trend consistent with the relative yield crop index of rain-fed wheat and after change point; the pdsi index correlation coefficient was obtained for rain-fed wheat relative yield equal to 0.7 and the spi index correlation rate for rain-fed wheat relative yield equal to 0.55.

Key words: Agricultural Drought ,Drought Process, Mann- Kendal and Petit Test, Rain-Fed Wheat Relative Yield.

1- Phd Student, Department of Water Engineering, College of Water and Soil, University of Zabol, Zabol,Iran

3 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2 - Associate Professor, Department of Water Engineering, College of water and soil, University of Zabol, Zabol,Iran

4 - Assistant Professor, Department of Agronomy and PlanBreeding, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

(*-Corresponding Author Email: hassanpourir@uoz.ac.ir)