



بررسی خشکی تحت شرایط افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در گندم دیم استان فارس با استفاده از شاخص خشکی

زینب امانی^۱، * رضا دیهیم فرد^۲ و علی مختصی بیدگلی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، آستادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، آستادیار گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: پیش‌بینی قابل اعتماد از وضعیت خشکی در آینده، یکی از مبانی اصلی موفقیت در برنامه‌ریزی منابع آب است که تحت تأثیر فرآیندهای تغییر اقلیم قرار دارد. هدف از این مطالعه ارزیابی روند خشکی در گندم دیم تحت شرایط تغییر اقلیم در تعدادی از شهرستان‌های استان فارس بوده است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در شش شهرستان از استان فارس (شیراز، لار، آباده، داراب، اقلید و فسا) انجام شد. در این مطالعه دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی انتشار A1B، B1 و A2 در سه دوره (۲۰۱۱-۳۰، ۲۰۴۶-۶۵ و ۲۰۸۰-۹۹) برای ارزیابی خشکی در شرایط اقلیمی آینده مورد بررسی قرار گرفت. برای تخمین متغیرهای بارندگی، دمای حداکثر و حداقل در دوره‌ها و سناریوهای مختلف انتشار از برنامه LARS-WG و به‌منظور بررسی روند خشکی در استان فارس از شاخص خشکی (AI) در دوره رشد فعال گندم بهره گرفته شد.

یافته‌ها: اثرات تغییر اقلیم آینده بر شاخص خشکی برآیند عوامل افزایش دما، تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی تجمعی بود که اثر کاهشی بر میزان شاخص خشکی در دوره آینده نسبت به دوره پایه داشتند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که در دو مدل اقلیمی، سه دوره زمانی و سه سناریو اختلاف چشمگیری در میزان تبخیر و تعرق وجود دارد و به‌طور کلی تبخیر و تعرق در آینده استان فارس افزایش خواهد یافت و با توجه به این‌که

*مسئول مکاتبه: deihimfard@gmail.com

رابطه بین تبخیر و تعرق با دمای بیشینه مثبت و معنی‌دار است، افزایش دما بر روند تبخیر و تعرق تأثیرگذار و موجب افزایش آن شد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که در هر سه سناریو بیش‌ترین درصد نوسانات مربوط به شهرستان لار است. در سناریو B1 اختلاف کم‌تری از نظر دامنه نوسان شاخص خشکی در بین مناطق مورد مطالعه مشاهده شد. به‌طور کلی در سناریوهای مختلف درصد نوسانات شاخص خشکی متفاوت بود. در سناریو B1 دامنه نوسان از ۵۵- تا ۵۵+ درصد در حالی‌که در دو سناریو دیگر دامنه نوسان از ۱۰۰- تا ۱۵۰+ درصد متغیر بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که در دوره پایه میزان بارندگی تجمعی و تبخیر و تعرق بیشترین تأثیر را بر شاخص خشکی داشتند. با توجه به نقشه پراکنش خشکی در دوره پایه و آینده به نظر می‌رسد هرچقدر از دوره ۲۰۳۰ دورتر و به دوره ۲۰۹۰ نزدیک‌تر می‌شویم، شدت خشکی در استان افزایش بیشتری می‌یابد. پیش‌بینی می‌شود که در دو مدل اقلیمی، سه دوره زمانی و سه سناریو به دلیل افزایش میزان تبخیر و تعرق و کاهش میزان بارندگی که همبستگی بالایی (به‌ترتیب مثبت و منفی) با میزان دمای بیشینه داشتند، میزان خشکی در کل استان فارس در آینده تشدید شود که تأثیر قابل توجهی بر عملکرد گندم دیم خواهد داشت. شایان ذکر است که در این تحقیق تأثیر افزایش غلظت CO₂ ناشی از تغییر اقلیم بر کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه تعرق لحاظ نشده است که با توجه به برخی منابع می‌تواند از ۱۵ تا ۲۲ درصد باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، تعرق و خشکی در گندم شود.

واژه‌های کلیدی: سناریوی پخش، شاخص خشکی، مدل اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی، LARS-WG

مقدمه: تغییر در اقلیم، با توجه به فعالیت‌های طبیعی و انسانی، به تغییر در آب و هوا برمی‌گردد و این تغییرات برای یک دوره زمانی طولانی باقی می‌ماند (۱). فرآیندهای تغییر اقلیم شامل افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، درجه حرارت و نیز نوسانات بارندگی است (۲ و ۳). نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سال‌های اخیر در ایران انجام شده است همگی بروز پدیده تغییر اقلیم را تأیید کرده‌اند (۴). در یک بررسی دیگر عباسی و همکاران (۲۰۱۰) تغییر اقلیم زاگرس را در دوره ۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس داده‌های مدل گردش عمومی ECHO-G مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که در کل منطقه زاگرس بارش‌ها در دهه ۲۰۱۰ به میزان دو درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد (۵). در یک بررسی بابائیان و همکاران (۲۰۰۸) تغییر اقلیم کشور را در دوره ۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی ECHO-G و مولد داده هواشناسی لارس مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در کل کشور بارندگی به میزان نه درصد کاهش می‌یابد (۶).

یکی از اثرات تغییر در بارندگی و دما به دلیل تغییرات اقلیمی، بروز خشکی است. خشکی معمولاً به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن میانگین بارندگی سالانه از نصف مقدار تبخیر پتانسیل کمتر است (۷). برای کمی کردن خشکی چندین شاخص معرفی شده است که بسته به نوع داده مورد استفاده به دو دسته شاخص‌های هواشناسی و سنجش از دور تقسیم می‌شوند. از مهم‌ترین شاخص‌های هواشناسی می‌توان به شاخص خشکی پالمر، شاخص خشکی بارش استاندارد، شاخص خشکی بارش موثر، شاخص ناهنجاری بارش و شاخص ذخیره آب سطحی اشاره کرد. خزانه‌داری و همکاران (۲۰۰۹) داده‌های بارش را برای دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ در ایران با استفاده از مدل لارس شبیه‌سازی نمودند و سپس موقعیت خشکی را با استفاده از شاخص بارش نرمال تخمین زدند. نتایج این پژوهش نشان داد که در طول ۳۰ سال آینده، خشک‌سالی در ایران افزایش می‌یابد و بیشتر مناطق ایران در سال‌های ۲۰۲۲، ۲۰۲۵، ۲۰۳۲، ۲۰۳۵ و ۲۰۳۹ خشکی شدیدی را تجربه خواهند کرد (۸). هو و همکاران (۲۰۱۴) در دشت شمالی چین، سهم خشکی در کاهش عملکرد گندم و ذرت را مورد بررسی قرار دادند و برای بررسی خشکی از شاخص خشکی پالمر استفاده کردند. نتایج نشان داد که منطقه شمالی چین برای کشت گندم و ذرت مناسب است و به نظر می‌رسد که تأثیر منفی خشکی روی ذرت در شرایط اقلیمی آینده و در سناریوی A1B بیشتر بوده است (۹).

بارندگی تأثیر به‌سزایی بر مقدار عملکرد تولیدی در مناطق دیم دارد. به‌طور کلی مناطق دیم کاری بایستی حداقل ۳۵۰ میلی‌متر بارندگی با پراکنش مناسب دریافت کنند. کشت دیم در مناطقی مثل ایران به خصوص در زراعت گندم و جو اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. زراعت گندم نسبت به سایر غلات

اهمیت بیش‌تری دارد و نزدیک به ۳۰ درصد سطح زیر کشت و کل تولید غلات در جهان را به خود اختصاص می‌دهد (۱۰). در کشور ایران که جز نواحی گرم و خشک طبقه‌بندی می‌شود، بخش عمده‌ای از اراضی به تولید گندم دیم اختصاص دارد و بخش قابل ملاحظه‌ای از تولید غذایی نیز از این سیستم تأمین می‌شود که میزان تولید آن همبستگی بالایی با نزولات جوی و مناسب بودن شرایط آب و هوایی در هر سال دارد (۱۱). بنایان و همکاران (۲۰۱۱) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی شاخص خشکی و عملکرد گندم و جو دیم در شمال شرقی ایران انجام دادند. نتایج این مطالعه بیانگر همبستگی قابل توجهی بین شاخص خشکی و عملکرد محصولات به‌ویژه در بخش مرکزی استان خراسان بود (۳). وضعیت اقلیمی و تغییرات آن از جمله عوامل مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی است. شواهد موجود حاکی از آن است که پدیده تغییر اقلیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک از طریق کاهش میانگین بارش سالانه و افزایش تبخیر و تعرق به‌دلیل افزایش دما باعث کاهش سرعت رشد گندم شده که این امر کاهش عملکرد را به دنبال دارد (۱۲). بر همین اساس تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی خشکی در گندم دیم برای شرایط اقلیمی آینده اجرا خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها: این تحقیق در شش شهرستان آباده، لار، اقلید، داراب، شیراز و فسا از استان فارس با مختصات جغرافیایی ۲ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۲ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی انجام گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی منتخب برای مناطق مختلف مورد مطالعه در استان فارس.

Table 1. Selected meteorological stations for the study locations in Fars province.

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال‌های مورد مطالعه
Station	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Time periods
شیراز Shiraz	29° 53'	52° 36'	1484	2009-1956
فسا Fasa	28° 96'	53° 68'	1288	2010-1967
اقلید Eghlid	30° 90'	52° 38'	2300	2009-1996
داراب Darab	28° 78'	55° 17'	1098	2010-1995
لار Lar	27° 68'	54° 17'	972	2010-1990
آباده Abadeh	31° 18'	52° 40'	2030	2010- 1977

داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق شامل دمای حداکثر و حداقل (درجه سلیسیوس)، بارندگی (میلی‌متر) و تعداد ساعات آفتابی بودند که از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شدند. داده‌های عملکرد گندم دیم از وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شد.

تخمین شاخص خشکی در دوره پایه استان فارس: در این تحقیق به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل روند خشکی در استان فارس از شاخص خشکی^۱ استفاده شد. این شاخص در سال ۱۹۹۲ توسط برنامه محیط‌زیست سازمان ملل^۲ ارائه شده است. فرمول کلی محاسبه شاخص خشکی در رابطه زیر ارائه شده است:

$$AI = \frac{P}{PET} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق PET تبخیر و تعرق پتانسیل تجمعی (میلی‌متر) و P بارندگی تجمعی در دوره رشد فعال گندم بر حسب میلی‌متر است. بر اساس آمار به‌دست آمده از وزارت جهاد کشاورزی دوره رشد فعال گندم دیم در استان به‌طور تقریبی در بازه زمانی اسفند تا خرداد ماه است. لذا برای محاسبه شاخص خشکی، بارندگی‌ها و نیز تبخیر و تعرق بالقوه به‌صورت تجمعی در این دوره برآورد شدند. در این تحقیق از داده‌های اقلیمی مناطق مورد مطالعه از سال ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰ (به‌عنوان دوره پایه در استان) برای محاسبه شاخص خشکی استفاده شد. در این مطالعه برای ارزیابی بهترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق (PET)، ابتدا چندین روش موجود از جمله فائو پنمن مونتیت^۳، پرستلی تیلور^۴ و هارگریوز سامانی^۵ مورد بررسی قرار گرفت. روش فائو پنمن مونتیت در محاسبه تبخیر و تعرق در گذشته، روش کارآمدی است اما در دوره آینده به‌دلیل نیاز به پارامترهای اقلیمی سرعت باد و فشار بخار آب و نبود اطلاعات این پارامترها در آینده در این تحقیق مورد استفاده قرار نگرفت. به همین علت از روش هارگریوز سامانی به‌علت نیاز به پارامتر کمتر و کارایی بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک (۱۳) استفاده شد. در معادله هارگریوز سامانی تنها به دمای حداکثر و حداقل نیاز است (۱۴):

$$ET_0 = 0.0135 K_{RS} \frac{R_a}{\lambda} \sqrt{(T_{max} - T_{min})(T + 17.8)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله R_a تابش فرازمینی (مگاژول در مترمربع در روز)، λ گرمای نهان تبخیر که معمولاً مقدار ۲/۴۵ میکروژول بر گرم در نظر گرفته می‌شود، K_{RS} ضریب تنظیم تابش است که معمولاً مقدار ۰/۰۰۲

- 1- Aridity Index
- 2- United Nations Environment Program
- 3- FAO-Penman-Monteith
- 4- Priestley-Taylor
- 5- Hargreaves-Samani
- 6- Long Ashton Research Station Weather Generator

در نظر گرفته می‌شود، T_{min} و T_{max} به ترتیب دمای حداکثر و حداقل روزانه بر حسب (درجه سلیسیوس) است و در نهایت T اختلاف دمای حداکثر و حداقل بر حسب (درجه سلیسیوس) است. طبقه‌بندی مناطق اقلیمی مختلف بر اساس شاخص خشکی در جدول ۲ ارائه شده است. زیاد بودن مقدار عددی شاخص خشکی نشانه مرطوب بودن منطقه و کم بودن آن نشانه خشک بودن منطقه است.

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشکی با توجه به مقادیر شاخص (۱۵).

Table 2. Classification of aridity according to AI.

شدت خشکی Aridity Intensity	دامنه شاخص خشکی Aridity index range
خیلی خشک Hyper arid	<0.05
خشک Arid	0.2-0.05
نیمه‌خشک Semi arid	0.5-0.2
نیمه‌مرطوب خشک Dry sub humid	0.65-0.5
نیمه‌مرطوب تر Wet sub humid	0.75-0.65
مرطوب Humid	>0.75

محاسبه شاخص خشکی در شرایط تغییر اقلیم آینده: یکی از کاربردی‌ترین مولدهای داده هواشناسی مبتنی بر احتمال LARS-WG^۱ است که برای تولید بارندگی، تابش، دماهای کمینه و بیشینه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده در مقیاس زمانی روزانه به کار می‌رود. در این مطالعه از این مولد اقلیمی برای تولید داده‌های اقلیمی در دوره‌های آینده استفاده شد. بدین منظور از میان مدل‌های موجود در این مولد، دو مدل گردش عمومی HadCM3^۱ و IPCM4^۲ به کار گرفته شد. دلیل اصلی استفاده از این مدل‌ها در این تحقیق این است که آن‌ها پیشتر در شرایط جغرافیایی ایران توسط محققین بسیاری تست شده و نتایج رضایت بخشی داشته است (۳، ۷، ۱۲ و ۱۶). همچنین دقت و وضوح^۳ این دو مدل اقلیمی نسبت به سایر مدل‌های موجود بالاتر است. این مدل‌ها پیشتر توسط نگارندگان مقاله به طور دقیق با استفاده از روش‌های زیر تست و ارزیابی شده‌اند (۱۶ و ۱۷):

1- United Kingdom Met Office Hadley

2- Institute Pierre Simon Laplace

3- Resolution

$$RMD = \frac{100}{0} \sum_{i=1}^n \frac{Pi - Oi}{n} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{O} - Oi)^2} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این معادله‌ها Pi و Oi به ترتیب داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده \bar{O} میانگین داده‌های مشاهده شده و n تعداد مشاهده‌ها است. مقادیر RMD نزدیک به صفر نشان‌دهنده عدم خطا در مدل است. EF نیز کارایی مدل‌سازی را نشان می‌دهد و می‌تواند مثبت یا منفی باشد. مقادیر مثبت نشان‌دهنده واریانس کمتر در نتایج شبیه‌سازی نسبت به مشاهدات است و مقادیر منفی واریانس بیشتر را نشان می‌دهد.

در این تحقیق همچنین سه سناریو انتشار $B1$ ، $A1B$ و $A2$ در سه دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ برای بررسی شاخص خشکی در آینده مورد مطالعه قرار گرفت. شایان ذکر است که در این تحقیق صرفاً اثرات افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم بر خشکی لحاظ شده است و تأثیر افزایش غلظت CO_2 بر کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه تعرق گندم در نظر گرفته نشده است. بر این اساس با توجه به برخی منابع افزایش غلظت CO_2 می‌تواند از ۱۵ تا ۲۲ درصد کاهش هدایت روزنه‌ای، تعرق و خشکی را به همراه داشته باشد (۱۸).

آنالیز داده‌ها و ترسیم نقشه پراکنش خشکی در استان: تجزیه واریانس داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SAS با استفاده از رویه GLM انجام شد. برای محاسبه ضریب همبستگی بین متغیرها رویه $PROC CORR$ به کار گرفته شد. همچنین به منظور رسم منحنی‌ها و جدول‌ها از نرم‌افزارهای سیگما پلات و اکسل استفاده شد. پس از محاسبه شاخص خشکی برای هر یک از شهرستان‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی خشکی در آن‌ها تهیه شد. نقشه‌ها با استفاده از روش میان‌یابی IDW ^۱ در برنامه جی‌آی‌اس^۲ ترسیم شدند.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل‌های اقلیمی و شاخص خشکی در دوره پایه: جدول ۳ نتایج ارزیابی مدل‌های اقلیمی را نشان می‌دهد. مقادیر به دست آمده شاخص RMD برای متغیرهای دمای کمینه و دمای بیشینه به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۰۱- بود که نشان‌دهنده خطای کم در مدل $LARS-WG$ بود ولی مقدار این شاخص برای متغیر بارندگی ۰/۲۳ بود که نشان‌دهنده ضعف و وجود خطا در این مدل برای شبیه‌سازی بارش بود.

1- Inverse Distance Wighted

2- Geographic Information System

شاخص کارایی مدل (EF) نیز نشان‌دهنده واریانس کم در شبیه‌سازی متغیرهای دمای بیشینه و کمینه بود به طوری که مقدار آن‌ها برای این متغیرها ۰/۹۹ و ۰/۹۴ بود که نشان‌دهنده واریانس بیشتر در شبیه‌سازی بارش نسبت به دو متغیر دیگر بود.

نتایج محاسبه شاخص خشکی در شهرستان‌های مورد بررسی استان فارس نشان داد که بین شهرستان‌ها از نظر شاخص خشکی در دوره پایه اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین شاخص خشکی در دوره پایه مربوط به شهرستان اقلید به میزان ۰/۴۳ برآورد شد. بر این اساس شهرستان اقلید بر طبق طبقه‌بندی، جز مناطق نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود (۱۵). به نظر می‌رسد که بالا بودن شاخص خشکی در دوره پایه در شهرستان اقلید به دلیل مناسب بودن شرایط اقلیمی مانند بالا بودن میزان بارندگی تجمعی و کم بودن میزان تبخیر و تعرق و مقادیر متوسط دمای بیشینه و کمینه (جدول ۴) در این منطقه نسبت به سایر شهرستان‌ها باشد. کم‌ترین میزان شاخص خشکی در دوره پایه مربوط به شهرستان‌های لار و آباده به ترتیب به مقدار ۰/۱۰ و ۰/۱۳ است که جز مناطق خشک کشور طبقه‌بندی می‌شوند (۱۵). دلیل کم بودن میزان شاخص خشکی در شهرستان آباده ناشی از کم بودن میزان بارندگی تجمعی (به میزان ۶۳/۷۷ میلی‌متر) و در شهرستان لار علاوه بر کم بودن میزان بارندگی تجمعی (به میزان ۸۲/۲۸ میلی‌متر)، بالا بودن مقادیر متوسط دمای بیشینه (۲۹/۳۳ درجه سانتی‌گراد) و کمینه (۱۳/۰۸ درجه سانتی‌گراد) نسبت به سایر شهرستان‌های مورد بررسی می‌باشد (جدول ۴). در جدول ۵ نیز همبستگی بین شاخص خشکی گندم دیم در دوره پایه با پارامترهای اقلیمی، مورد بررسی قرار گرفته است. طبق نتایج حاصل از تجزیه همبستگی میزان بارندگی تجمعی بیشترین همبستگی مثبت (۰/۹) و معنی‌دار و میزان تبخیر و تعرق بیشترین همبستگی منفی (۰/۵۴-) و معنی‌دار را با شاخص خشکی در دوره پایه داشتند. همچنین این نتایج نشان داد که بین متوسط دمای بیشینه و کمینه با شاخص خشکی به ترتیب به میزان ۰/۴۴- و ۰/۲۱- همبستگی منفی و معنی‌داری برقرار است.

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل‌های اقلیمی برای بارندگی، دمای کمینه و بیشینه (۱۸).

Table 3. Results of climate models evaluation for rainfall, maximum and minimum temperatures (18).

شاخص Parameter	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)
RMD	-0.01	0.03	0.23
EF	0.99	0.99	0.94

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات مرتبط با خشکی در دوره رشد فعال گندم در دوره پایه.

Table 4. Mean comparison of some wheat and climatic characteristics during growing season in the baseline.

منطقه Location	صفت Trait				
	شاخص خشکی Aridity Index	تبخیر و تعرق تجمعی (میلی متر) Evapotranspiration (mm)	بارندگی تجمعی (میلی متر) Cumulative rainfall (mm)	دمای بیشینه (درجه سانتی گراد) Maximum temperature(°C)	دمای کمینه (درجه سانتی گراد) Minimum temperature(°C)
شیراز Shiraz	0.24 ^b	595.76 ^d	134.18 ^b	22.32 ^d	7.53 ^d
فسا Fasa	0.18 ^c	754.36 ^b	126.54 ^{bc}	24.58 ^c	8.35 ^c
لار Lar	0.10 ^d	824.77 ^a	82.28 ^d	29.33 ^a	13.08 ^a
اقلید Eghlid	0.43 ^a	398.85 ^f	164.46 ^a	16.39 ^f	3.98 ^f
داراب Darab	0.18 ^c	689.82 ^c	114.93 ^c	25.49 ^b	11.83 ^b
آباده Abadeh	0.13 ^d	503.04 ^e	63.77 ^e	18.90 ^e	4.51 ^e

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

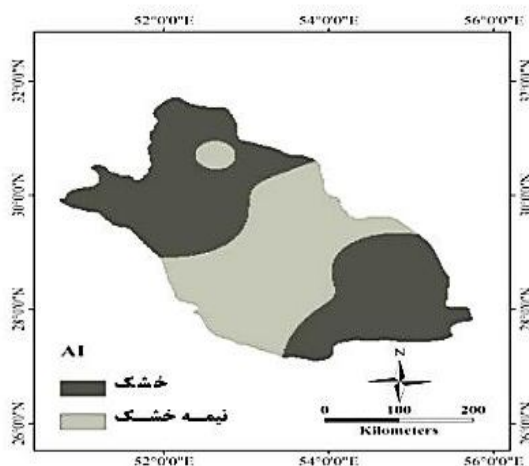
Values in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level.

جدول ۵- همبستگی بین صفات مورد بررسی در دوره پایه.

Table 5. Correlation coefficients between wheat and climatic characteristics in the baseline.

	شاخص خشکی Aridity Index	تبخیر و تعرق تجمعی (میلی متر) Evapotranspiration (mm)	بارندگی تجمعی (میلی متر) Cumulative rainfall (mm)	دمای بیشینه (درجه سانتی گراد) Maximum temperature(°C)	دمای کمینه (درجه سانتی گراد) Minimum temperature(°C)
شاخص خشکی Aridity Index	1				
تبخیر و تعرق تجمعی Evapotranspiration	-0.54 ^{**}	1			
بارندگی تجمعی Cumulative rainfall	0.90 ^{**}	-0.30 ^{**}	1		
دمای بیشینه Maximum temperature	-0.44 ^{**}	0.79 ^{**}	-0.24 ^{**}	1	
دمای کمینه Minimum temperature	-0.21 ^{**}	-0.027 ^{ns}	-0.027 ^{ns}	0.83 ^{**}	1

پس از محاسبه شاخص خشکی برای استان فارس، نقشه پراکندگی شاخص خشکی برای این استان در دوره پایه ترسیم شد (شکل ۲). همان‌طور که از شکل پیداست مناطق جنوبی و شمالی استان دارای اقلیمی خشک است و در نتیجه از شاخص خشکی کمتری برخوردار است که علت پایین بودن شاخص خشکی در این مناطق پایین بودن بارندگی و همچنین بالا بودن تبخیر و تعرق تجمعی در این مناطق است و مناطق مرکزی با توجه به وضعیت بارندگی بهتر دارای شرایط بهتری بوده و به دلیل رابطه مستقیم و همبستگی مثبت بارندگی با شاخص خشکی در پایین مناطق بالا بودن بارندگی سبب افزایش شاخص خشکی و در نهایت مرطوب شدن این مناطق شده که جز مناطق نیمه‌خشک استان به شمار می‌آیند. تحقیقات مشابه‌ای در این زمینه در داخل کشور به انجام رسیده است. در این راستا تحقیقی توسط هاشمی و عطایی (۲۰۱۲) به منظور پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی نرمال در استان چهارمحال بختیاری انجام شد. در این پژوهش از آمار بلندمدت هواشناسی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استفاده و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خشکسالی برای ۶ سال ترسیم شد. طبق نتایج به‌دست آمده در نواحی شمال غربی و قسمتی از نواحی شرقی استان، خشکسالی شدید حاکم گردیده است (۲۰). مطالعه‌ای توسط تیموری و همکاران (۲۰۱۱) به منظور بررسی روند تغییرات اقلیمی ایران بر اساس شاخص خشکی انجام گرفت. در این تحقیق تغییرات اقلیمی در ایران طی دوره آماری ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۴ در ۳۶ ایستگاه هواشناسی بر اساس شاخص خشکی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقادیر شاخص خشکی به‌دست آمده، نقشه پهنه‌بندی برای کل ایران ترسیم شد و طبق طبقه‌بندی ایران به ۶ منطقه خیلی خشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب خشک، نیمه‌مرطوب تر و مرطوب طبقه‌بندی شد. محدوده منطقه خیلی خشک در بخش‌هایی از جنوب شرقی کشور و در دشت لوت متمرکز است. مناطق خشک نیز بخش بسیار بزرگی از مرکز و شرق ایران را در بر گرفته است و تا جنوب نیز گسترده شده است. مناطق نیمه‌خشک هم مانند مناطق خشک اکثر مناطق ایران را از شمال شرقی، مرکز، جنوب غربی و غرب ایران احاطه نموده است. محدوده اقلیم نیمه‌مرطوب خشک هم به واسطه بارش کم نسبت به محدوده نیمه‌مرطوب تر در بخش‌هایی از شمال غربی و غرب ایران پراکنده‌اند. اقلیم نیمه‌مرطوب تر در نواحی شمالی و کوهستان‌های غربی ایران متمرکزاند. اقلیم مرطوب هم در سواحل غربی دریای خزر قرار گرفته است (۲۱).



شکل ۲- نقشه پراکنندگی شاخص خشکی در دوره پایه در استان فارس.

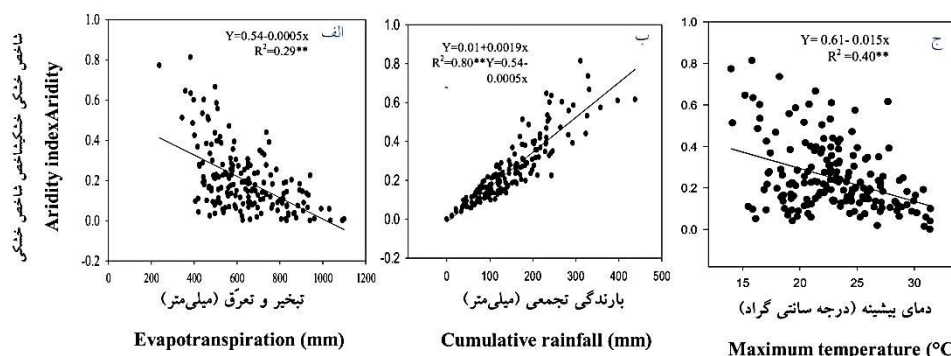
Figure 2. The map representing AI in Fars province in the baseline.

ارتباط بین شاخص خشکی با تبخیر و تعرق، بارندگی تجمعی و دمای پیشینه در دوره پایه: شکل (۳-الف) ارتباط بین شاخص خشکی را با تبخیر و تعرق در کل استان فارس نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش یک میلی‌متر میزان تبخیر و تعرق، شاخص خشکی $0/0005$ واحد کاهش پیدا کرده است. کاهش شاخص خشکی به معنای خشک‌تر شدن منطقه است. هرچه مقدار تبخیر و تعرق بالاتر باشد نیاز گیاه برای دسترسی به آب بیشتر است و لذا خشکی شدیدتر می‌شود. از بین شهرستان‌های مورد بررسی در استان فارس بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق به ترتیب مربوط به شهرستان‌های لار و اقلید می‌باشد (جدول ۳)، که نشان‌دهنده تأثیرپذیری بالای شاخص خشکی از این پارامتر اقلیمی می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از جدول (۳) نشان‌دهنده همبستگی منفی و معنی‌دار ($-0/54$) تبخیر و تعرق با شاخص خشکی در دوره پایه (جدول ۵) بود.

شکل (۳-ب) ارتباط بین شاخص خشکی با میزان بارندگی تجمعی استان فارس را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده وابستگی بالای شاخص خشکی نسبت به بارندگی است به طوری که افزایش یک میلی‌متری در میزان بارندگی تجمعی موجب افزایش معنی‌دار $0/0019$ واحدی در مقدار شاخص خشکی می‌گردد. همچنین از بین شهرستان‌های مورد بررسی در استان فارس شهرستان‌های اقلید و آباده بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بارندگی تجمعی و شاخص خشکی را دارا بودند که نشان می‌دهد

افزایش و یا کاهش در میزان بارندگی تجمعی به صورت مستقیم بر مقدار شاخص خشکی اثر می‌گذارد (جدول ۴). با توجه به این که این پارامتر اقلیمی بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با شاخص خشکی در دوره رشد فعال گندم داشت (جدول ۵) در بین پارامترهای اقلیمی مورد بررسی افزایش میزان بارندگی در دوره پایه بیشترین تأثیر را در افزایش شاخص خشکی در شهرستان‌های مورد بررسی استان فارس خصوصاً شهرستان اقلید داشته است (جدول ۵). نتایج مطالعه زارع ایبانه و همکاران (۲۰۱۱) نیز مبین این واقعیت است که خشکی در استان سیستان و بلوچستان روبه افزایش است و کاهش روند بارش در این منطقه خشکی را افزایش می‌دهد (۲۲). جهانی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی روند خشکسالی در گرگان که با استفاده از نوسانات بارندگی انجام گرفته است گزارش کردند که بارندگی یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر خشکی است (۲۳). کتیرایی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی روند بارش سالانه ۳۸ ایستگاه هواشناسی ایران را در دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از روند کاهشی بارش در در مناطق غرب، جنوب شرق و شمال است که در نهایت این کاهش منجر به افزایش خشکی می‌شود (۲۴).

نتایج حاصل از این تحقیق همچنین نشان داد که با افزایش یک درجه سانتی‌گراد دمای بیشینه میزان شاخص خشکی به صورت معنی‌داری ۰/۰۱۵ واحد کاهش پیدا می‌کند (شکل ۳-ج). هرچند ارتباط بین دمای کمینه و شاخص خشکی معنی‌دار است، با این حال پراکندگی زیادی وجود دارد (داده‌ها ارائه نشده‌اند). در بین شهرستان‌های مورد بررسی در این تحقیق بیش‌ترین و کم‌ترین میزان دمای بیشینه مربوط به شهرستان‌های لار و آباده بود (جدول ۴). با توجه به این که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق نیز مربوط به همین شهرستان‌ها بود به نظر می‌رسد که افزایش در میزان دمای بیشینه از طریق تأثیر بر میزان تبخیر و تعرق موجب تغییر معنی‌دار در میزان شاخص خشکی شده است به نحوی که افزایش در میزان دمای بیشینه از طریق افزایش در مقدار تبخیر و تعرق موجب کاهش شاخص خشکی می‌گردد (جدول ۴). کاهش شاخص خشکی به معنای خشک بودن منطقه است. نتایج حاصل از جدول (۵) نیز نشان‌دهنده همبستگی مثبت و معنی‌دار بین دمای بیشینه و تبخیر و تعرق است.



شکل ۳- ارتباط بین شاخص خشکی با الف) تبخیر و تعرق، ب) بارندگی تجمعی و ج) دمای بیشینه در دوره پایه در تمام شهرستان‌های مورد بررسی.

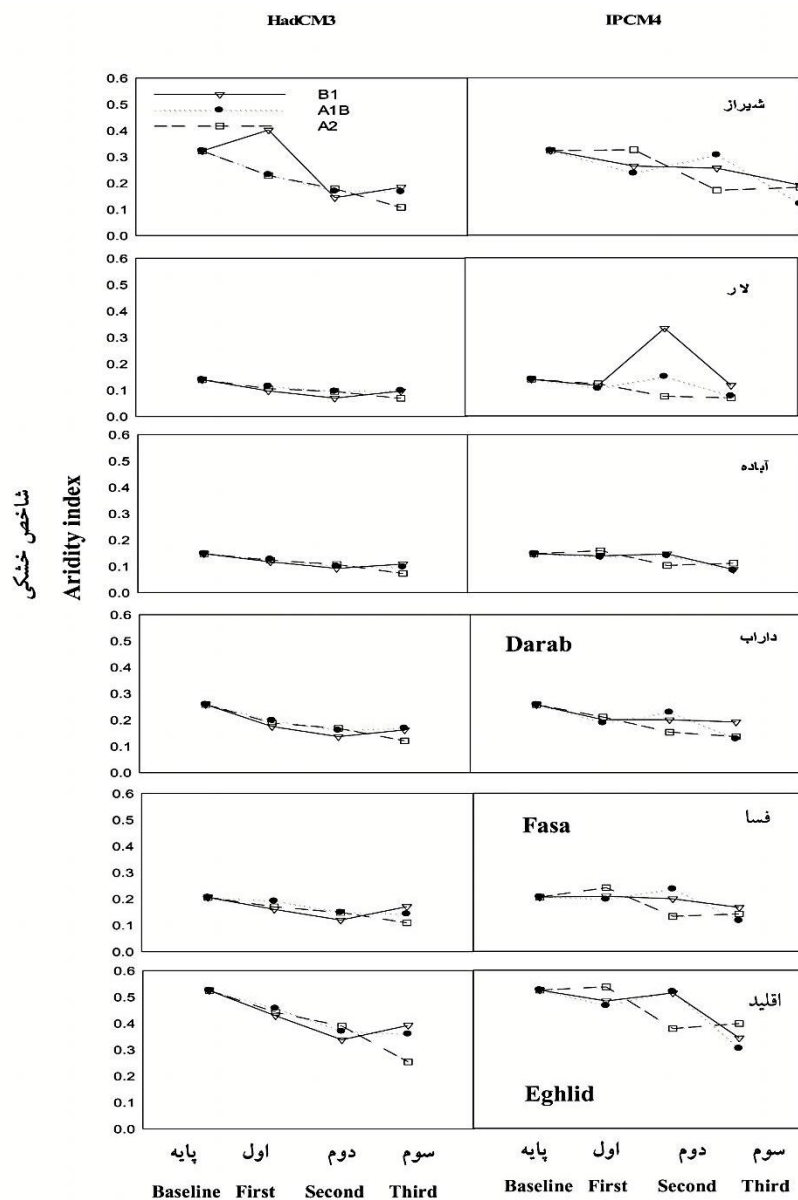
Figure 3. The relationship between AI and evapotranspiration, cumulative rainfall and maximum temperatures in all study locations in the baseline.

ارتباط بین شاخص خشکی و عملکرد دانه گندم در دوره پایه: نتایج و بررسی ارتباط بین عملکرد گندم و شاخص خشکی نشان داد که به‌طور کلی در استان فارس با افزایش شاخص خشکی، عملکرد گندم افزایش می‌یابد. به عنوان مثال در شهرستان اقلید که عملکرد دانه بالایی به مقدار ۷۴۷/۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است بیشترین شاخص خشکی به مقدار ۰/۴۳ نیز حاصل شده است و در شهرستان لار که کمترین عملکرد دانه به مقدار ۶۰۴/۲ کیلوگرم در هکتار را داریم شاخص خشکی نیز پایین است (جدول ۴). بررسی رابطه رگرسیون بین عملکرد دیم و شاخص خشکی همچنین نشان داد که در استان فارس به ازای هر ۰/۱ واحد افزایش در شاخص خشکی، عملکرد گندم در این استان به میزان ۵۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد (داده‌ها ارائه نشده‌اند). البته باید توجه داشت که پراکندگی قابل ملاحظه‌ای در این رابطه دیده می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط بنایان و همکاران (۲۰۱۱) در استان خراسان انجام شد ارتباط بین شاخص خشکی و عملکرد محصولات زراعی گندم و جو برای سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین شاخص خشکی و بیشترین عملکرد محصولات در استان خراسان وجود دارد (۲).

روند شاخص خشکی در دوره‌های آینده: شکل (۴) متوسط بلندمدت روند شاخص خشکی را در دوره پایه و در سه دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۶۵-۲۰۹۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) تحت سه سناریوی انتشار (A1B, B1) و (A2) و دو مدل اقلیمی (HadCM3 و IPCM4) در دوره رشد فعال گندم نشان

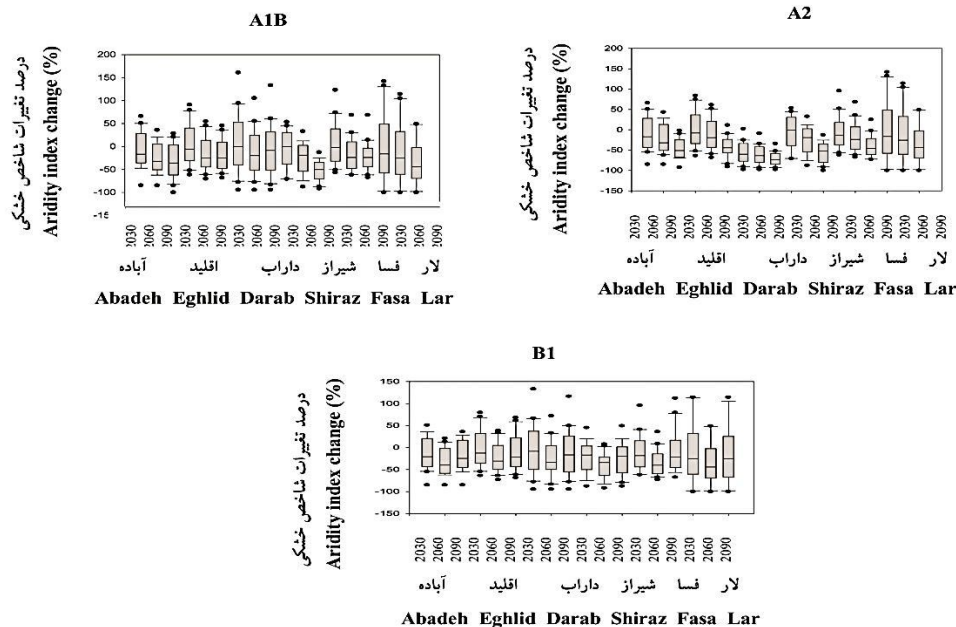
می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمام مناطق و سناریوها روند شاخص خشکی در آینده کاهشی خواهد بود. بین دو مدل اقلیمی و سه سناریوی انتشار در اکثر مناطق از نظر شاخص خشکی اختلاف وجود ندارد. تنها در شهرستان لار در مدل اقلیمی IPCM4 بین سناریوها اختلاف وجود دارد. در شهرستان لار بیش‌ترین شاخص خشکی در دوره دوم و سناریو B1 قابل مشاهده خواهد بود. همچنین دلیل نوسانات زیاد شاخص خشکی در شهرستان لار به دلیل نوسانات بارندگی است که به دلیل همبستگی مثبت با شاخص خشکی روندی کاملاً یکسان دارند. در مقایسه بین دوره‌ها کم‌ترین شاخص خشکی در دوره سوم قابل مشاهده خواهد بود. در دوره پایه بیش‌ترین شاخص خشکی در شهرستان اقلید و کم‌ترین شاخص خشکی در شهرستان‌های لار و آباده مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین اختلاف در دوره پایه نسبت به دوره آینده در شهرستان اقلید قابل مشاهده خواهد بود. نتایج مطالعه خزانهداری و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور بررسی روند خشکی در ایران نیز بیانگر این است که در طول ۳۰ سال آینده، خشکسالی در ایران افزایش می‌یابد و بیشتر مناطق ایران در سال‌های ۲۰۲۲، ۲۰۲۵، ۲۰۳۲، ۲۰۳۵ و ۲۰۳۹ خشکی شدیدی را تجربه خواهند کرد (۱۶).

شکل (۵) درصد نوسانات سالانه شاخص خشکی به تفکیک سناریوهای انتشار در دوره آینده را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. در نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که هر سه سناریو بیش‌ترین درصد نوسانات مربوط به شهرستان لار است. در سناریو B1 اختلاف کم‌تری از نظر دامنه نوسان شاخص خشکی در بین مناطق مورد مطالعه مشاهده می‌شود. به‌طور کلی در سناریوهای مختلف درصد نوسانات شاخص خشکی متفاوت است. به‌عنوان مثال در سناریو B1 دامنه نوسان از ۵۵- تا ۵۵+ درصد است در حالی که در دو سناریو دیگر دامنه نوسان از ۱۰۰- تا ۱۵۰+ درصد است. در سناریو AIB بین همه دوره‌ها بیش‌ترین نوسان در دوره ۲۰۳۰ و شهرستان لار است. با توجه به همبستگی بالا بین شاخص خشکی و بارندگی تجمعی (جدول ۵) این نتیجه حاصل می‌شود که بالا بودن نوسان بارندگی تجمعی سبب افزایش نوسانات شاخص خشکی در آینده خواهد بود. بارندگی به‌عنوان بی‌ثبات‌ترین متغیر اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت فراوانی دارد. نتایج مطالعه زارع ایبانه و همکاران (۲۰۱۱) مبین این واقعیت است که خشکی در استان سیستان و بلوچستان روبه افزایش است و کاهش روند بارش در این منطقه شدت و مدت خشکی را افزایش می‌دهد (۲۵). همچنین در مطالعه‌ای دیگر که تغییرات خشکی در ۶۰ سال گذشته انجام گرفته است بیانگر افزایش خشکی در اثر کاهش بارندگی در آینده بوده است (۲۶).



شکل ۴- روند شاخص خشکی در شهرستان‌های مختلف استان فارس در مدل‌ها و سناریوهای مختلف انتشار در سه دوره آینده: اول (۲۰۱۱-۲۰۳۰) - دوم (۲۰۴۶-۲۰۶۵) - سوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹).

Figure 4. AI trend in various locations, climate models and scenarios in three periods: the first (2030-2011)- the second (2065-2046)- the third (2099-2080).

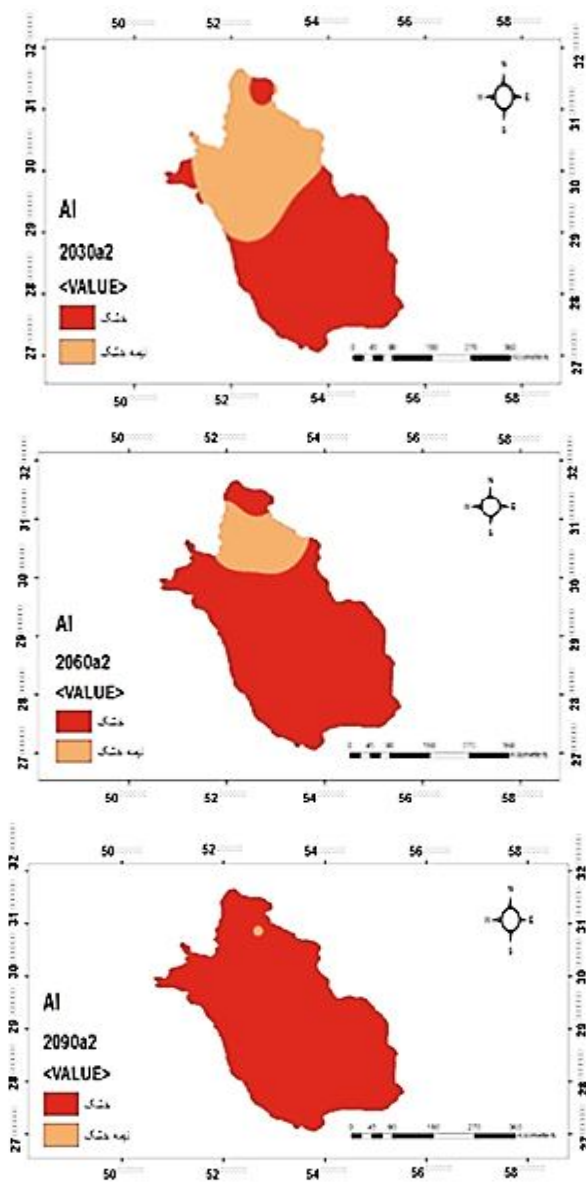


شکل ۵- نوسانات شاخص خشکی در سناریوهای مختلف انتشار در سه دوره آینده در تمام شهرستان‌های مورد مطالعه.
Figure 5. The fluctuations in AI under future scenarios and periods compared to the Abadeh baseline.

شکل ۶ پهنه‌بندی وقوع خشکی را در سه دوره آینده استان فارس تحت سناریوی A2 نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سناریو A2 و دوره اول، بیش‌تر نواحی شمالی استان فارس (شهرستان اقلید و قسمت شمالی شهرستان شیراز) براساس طبقه‌بندی شاخص خشکی جز نواحی نیمه‌خشک قرار خواهند گرفت و نواحی جنوب و جنوب شرقی (شهرستان‌های فسا، داراب، لار و نواحی جنوب شیراز) جز مناطق خشک طبقه‌بندی خواهند شد. در دوره دوم بیشتر نواحی استان جز طبقه‌بندی خشک قرار می‌گیرند و تنها قسمت کوچکی از نواحی شمال (شهرستان اقلید) نیمه‌خشک باقی خواهد ماند، در حالی که در دوره سوم تقریباً تمام شهرستان‌های استان فارس داری اقلیم خشک خواهند بود (شکل ۹). نتایج به‌دست آمده در سناریو B1 و A1B نیز مشابه سناریو A2 است به‌طوری که با افزایش دوره آینده (از ۲۰۳۰ به ۲۰۹۰)، شدت خشکی افزایش خواهد یافت. طبق نتایج حاصل از کل نقشه‌ها در آینده، خشکی در استان فارس روند افزایشی خواهد یافت به‌طوری که در تمامی سناریوها با افزایش دوره از ۲۰۳۰ تا ۲۰۹۰ شدت خشکی بیشتر خواهد شد. همچنین در سناریوی A2 که سناریوی بدبینانه است شدت خشکی شدیدتر است به‌طوری که در دوره ۲۰۹۰ در این سناریو تقریباً کل استان در طبقه خشک (۱۵) قرار خواهد گرفت (شکل ۹). یکی از دلایل افزایش خشکی در آینده، افزایش دما در سناریوهای مختلف است. با توجه به همبستگی شاخص خشکی و دمای

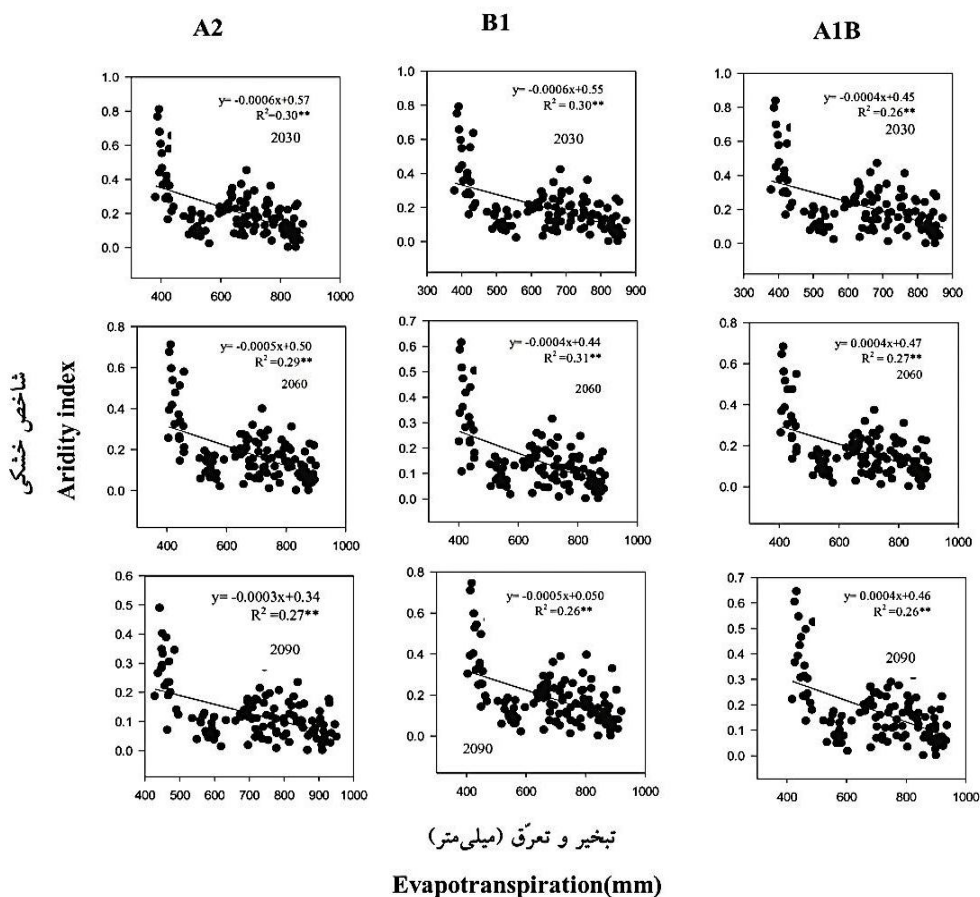
بیشینه و تأثیر دمای بیشینه بر پتانسیل تبخیر و تعرق، در نهایت افزایش دما بیشینه موجب افزایش تبخیر و تعرق و سبب کاهش شاخص خشکی و افزایش شدت خشکی شد. شواهد موجود حاکی از آن است که پدیده‌ی تغییر اقلیم از طریق کاهش بارش سالانه و افزایش دما سبب وقوع خشکی شده که عملکرد و تولید گندم را کاهش می‌دهد و باتوجه به افزایش خشکی در آینده احتمال می‌رود عملکرد گندم دیم تحت تأثیر این افزایش خشکی، کاهش یابد. در تحقیقی که توسط هو و همکاران (۲۰۱۴) در رابطه با سهم خشکی در کاهش عملکرد بالقوه گندم و ذرت در چین انجام شد، نتایج نشان‌دهنده این است که اغلب درجه حرارت بالا تأثیر قابل توجهی در روند و گسترش خشکی دارد و علاوه بر افزایش گرم شدن، منجر به کاهش عملکرد محصول می‌شود و وسعت آن می‌تواند اثرات سوء بر کشاورزی داشته باشد (۱۰). نتایج مطالعه تأثیر دما بر خشکی در اروپا که توسط سرانو و همکاران (۲۰۱۴) انجام گرفته است بیانگر این است که شدت خشکی در ۵ دهه گذشته افزایش یافته که این افزایش ناشی از افزایش تقاضای تبخیر و تعرق اتمسفری در نتیجه افزایش دما است. همچنین نتایج این تحقیق به این نکته اشاره دارد که افزایش دما یکی از عوامل مؤثر در افزایش خشکی در اروپا است (۲۷). در پژوهش‌هایی که به منظور تجزیه و تحلیل خشکی در سراسر جهان در سال‌های اخیر انجام گرفته است بیانگر تأثیر افزایش دما بر شدت خشکی است (۲۸ و ۲۶). نتایج مطالعه جیانگ و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم شدت خشکی در اثر افزایش تقاضای آب که نتیجه افزایش دما است افزایش می‌یابد (۲۹).

ارتباط بین شاخص خشکی با تبخیر و تعرق و بارندگی تجمعی: شکل (۷) ارتباط بین شاخص خشکی را با تبخیر و تعرق در کل استان فارس به تفکیک دوره و سناریو در آینده نشان می‌دهد. در تمام سناریوهای انتشار و دوره‌های آینده با افزایش تبخیر و تعرق شاخص خشکی کاهش یافت و ارتباط معنی‌داری بین آن دو مشاهده شد. به‌طور کلی تغییرات شاخص خشکی با تغییرات بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل قابل تفسیر است و با توجه به رابطه معکوس شاخص خشکی با میزان تبخیر و تعرق، افزایش تبخیر و تعرق در نهایت منجر به کاهش شاخص خشکی و خشک شدن منطقه خواهد شد. نتایج حاصل از جدول ۵ نیز نشان‌دهنده همبستگی منفی و معنی‌دار ($-0/54$) تبخیر و تعرق با شاخص خشکی رشد فعال در دوره پایه بود. بنابراین شاخص خشکی در هر دو دوره پایه و آینده تحت تأثیر تبخیر و تعرق قرار دارد. شایان ذکر است که در این تحقیق تأثیر افزایش غلظت CO_2 ناشی از تغییر اقلیم بر کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه تعرق لحاظ نشده است که با توجه به برخی منابع می‌تواند از ۱۵ تا ۲۲ درصد باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در گندم شود (۱۸).



شکل ۶- نقشه پراکندگی شاخص خشکی در استان فارس در سه دوره آینده تحت سناریو A2.

Figure 6. The map representing AI in A2 scenario for three periods in the future of Fars province.

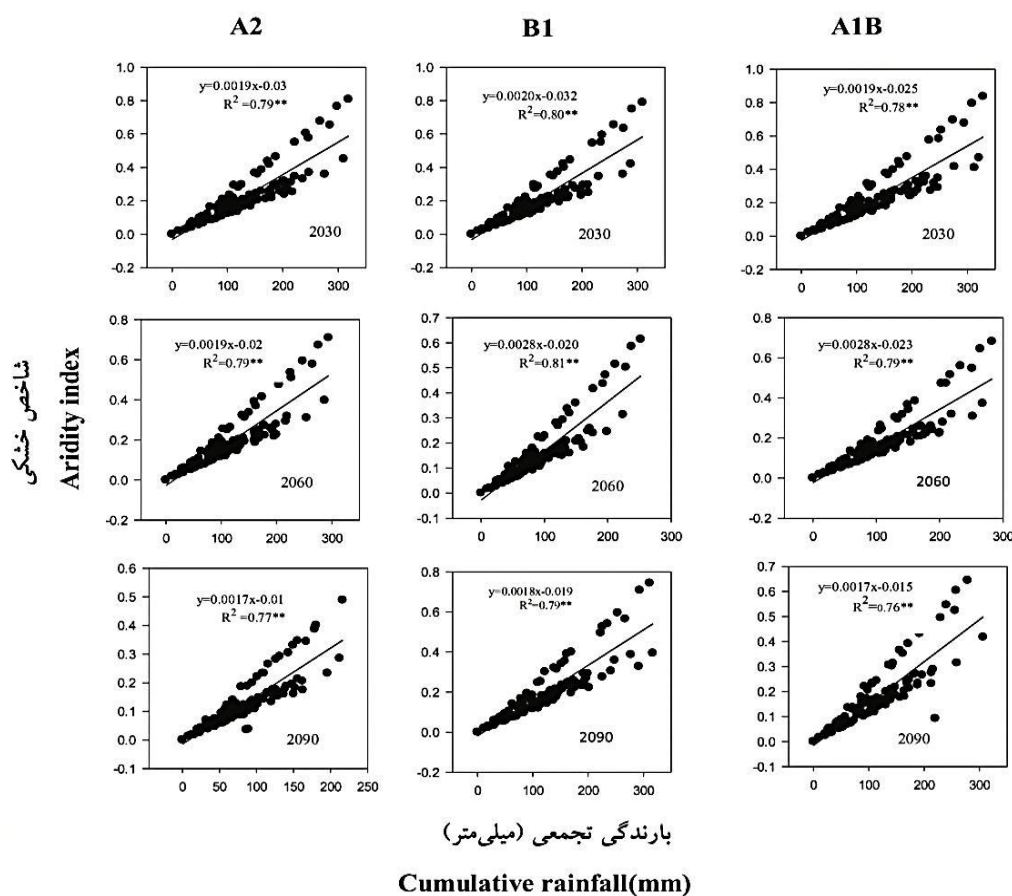


شکل ۷- ارتباط بین شاخص خشکی و تبخیر و تعرق در استان فارس در دوره‌ها و سناریوهای مختلف انتشار در آینده.

Figure 7. The relationship between AI and evapotranspiration in different locations of the Fars province under scenarios and periods in the future.

شکل (۸) ارتباط بین شاخص خشکی و بارندگی را در آینده نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده بیانگر افزایش شاخص خشکی در اثر افزایش بارندگی در تمام دوره‌ها و سناریوهای انتشار در آینده است و به‌طور کلی شاخص خشکی با بارندگی روند معنی‌دار و مثبتی دارد. به‌طور مثال بیش‌ترین شیب افزایش در دوره دوم و در دو سناریو B1 و A1B به میزان (۰/۰۰۲۸) مشاهده می‌شود و کم‌ترین شیب در دوره سوم و در دو سناریو A2 و A1B به میزان (۰/۰۰۱۷) قابل مشاهده است. نتایج دوره پایه نیز نشان‌دهنده وابستگی بالای شاخص خشکی و بارندگی تجمعی بود به‌طوری که افزایش یک

میلی متری در بارندگی تجمعی موجب افزایش معنی دار (۰/۰۰۱۹) واحدی در مقدار شاخص خشکی شد. نتایج به دست آمده بیانگر این است که با افزایش بارندگی شاخص خشکی نیز افزایش می یابد. به عنوان مثال در شهرستان لار روند بارندگی در هر سه سناریو و سه دوره انتشار مشابه روند شاخص خشکی در این منطقه است و با افزایش بارندگی از ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ در سناریوی B1 شاخص خشکی نیز افزایش خواهد یافت. به طور مشابه این روند در سایر شهرستانها نیز قابل مشاهده است.



شکل ۷- ارتباط بین شاخص خشکی و تبخیر و تعرق در استان فارس در دوره ها و سناریوهای مختلف انتشار در آینده.
 Figure 8. The relationship between AI and cumulative rainfall in different locations of Fars province under scenarios and periods in the future.

نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که در دوره پایه روند شاخص خشکی کاهش بود و در این دوره شاخص خشکی بیشترین تأثیر را از میزان بارندگی تجمعی و تبخیر و تعرق می پذیرد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که در اثر افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی تجمعی در دوره آینده، شاخص خشکی کاهش خواهد یافت (خشک شدن بیشتر منطقه در آینده) که در مناطق مختلف استان روند متفاوتی خواهد داشت. به طور متوسط بیشترین افزایش درصد تغییرات در شاخص خشکی نسبت به دوره پایه در شهرستان لار به میزان (+۲۲/۵۸) و کمترین افزایش در شهرستان اقلید به میزان (+۰/۱۷) مشاهده شد. با توجه به نقشه پراکنش خشکی در دوره پایه و آینده به نظر می رسد هر چقدر از دوره ۲۰۳۰ دورتر و به دوره ۲۰۹۰ نزدیکتر می شویم، شدت خشکی در استان افزایش بیشتری خواهد یافت. شایان ذکر است که در این تحقیق تأثیر افزایش غلظت CO₂ بر کاهش هدایت روزنه ای و نتیجتاً تعرق لحاظ نشده است که با توجه به برخی منابع می تواند از ۱۵ تا ۲۲ درصد باعث کاهش هدایت روزنه ای و تعرق شود (۱۸). نتایج و بررسی ارتباط بین عملکرد گندم و شاخص خشکی نشان داد که به طور کلی در استان فارس با افزایش شاخص خشکی، عملکرد گندم افزایش می یابد. به عنوان مثال در شهرستان اقلید که عملکرد دانه بالایی به مقدار ۷۴۷/۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است بیشترین شاخص خشکی به مقدار ۰/۴۳ نیز حاصل شده است و در شهرستان لار که کمترین عملکرد دانه به مقدار ۶۰۴/۲ کیلوگرم در هکتار را داریم شاخص خشکی نیز پایین است. بررسی این ارتباط همچنین نشان داد که در استان فارس به ازای هر ۰/۱ واحد افزایش در شاخص خشکی، عملکرد گندم در این استان به میزان ۵۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش می یابد.

منابع

1. IPCC. 2007. Summary for Policy Makers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
2. Bannayan, M., Kobayashi, K., Kim, H.Y., Liffering, M., Okada, M., and Miura, S. 2005. Modeling the interactive effects of atmospheric CO₂ and N on rice growth and yield. *Field Crops Res.*, 93: 237- 251.
3. Bannayan, M., Lotfabadi, S., Sanjani, S., Mohammadian, A., and Aghalikhani, M. 2011. Effects of precipitation and temperature on cereal yield variability in northeast of Iran. *Int. J. Biometeorol.*, 55: 387- 401.

4. Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., and Soltani, E. 2013. Evaluation of greenhouse gas emission and global warming potential in wheat production in Gorgan. *J. Crop Prod.*, 5(3): 23-44. (In Persian)
5. Koocheki, A., and Kamali, G.A. 2010. Climate change and rainfed wheat production in Iran. *Iranian J. Field Crops Res.*, 8(3): 508-520. (In Persian)
6. Abassi, F., Malbusi, S., Habibi, M., and Asmari, M. 2010. Climate Change Prediction of Zagros Province During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data. *J. Climatolo.*, 1(1): 3-20. (In Persian)
7. Babaeian, I., Najafi Nik, Z., Zabol Abasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H., and Malbousi, Sh. 2008. Assessment of climate change of country in 2010-2039 period using General Circulation Model data of ECHO-G. *Quar. Geog. Dev.*, 16: 135-152. (In Persian)
8. Abarghouei, B.H., Asadizarch, M.A., Dastorani, M.T., Kousari, M.R., and Safari zarch, M. 2011. The survey of climatic drought trend in Iran. *Stoch. Env. Res. Risk A.*, 25: 851-863.
9. Khazanedari, L., Zabol Abbasi, F., Ghandhari, S.H., Kouhi, M., and Malbousi, S.H. 2009. Drought prediction in Iran during next 30 Years. *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 13: 1519-1530. (In Persian)
10. Hu, Y.N., Liu, Y.J., Tang, H.J. Xu, Y.L., and Jie., P.A.N. 2014. Contribution of drought to potential crop yield reduction in a wheat-maize rotation region in the North China Plain. *J. Agr. Sci.*, 13(7): 1509-1519.
11. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Abdalrahmani, B., Moosavi, B., and Karimi, A. 2009. Studying climatic variables effects on rainfed wheat grain yield Sardari variety in Maragheh region. *Iran. J. Field Crops Res.*, 8(1): 1-11.
12. Koocheki, A., and Nassiri, M. 2008. Impacts of climate change and CO2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iran. J. Field Crops Res.*, 6: 1. 139-153. (In Persian)
13. Kouchakzadeh, M., and Nikbakht, J. 2004. Comparison of Different Methods to Estimate Reference evapotranspiration in Iran Different Climate with PM-FAO Standard Method. *Agric. Sci.*, 10(3): 43-57.
14. Samani, Z. 2004. Discussion of History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 130(5): 447-448.
15. Middleton, N.J., and Thomas, D.S.G. 1992. *World Atlas of Desertification: United Nations Environmental Programme.*
16. Deihimfard, R., Eyni Nargeseh, H., Haghghat, M. 2015. Zoning drought in the Fars province under climate Chang using the Standard Precipitation Index and GIS. *J. Agroeco.*, 7(4): 528-546. (In Persian)
17. Eyni Nargeseh, H. 2013. Predicting the possible impacts of climate change on wheat yield in Fars province using APSIM-Wheat. M.Sc. Thesis. Shahid Beheshti University. (In Persian)

18. Kruijt, B., Witte, J.P.M., Jacobs, C.M.J., and Kroon, T. 2008. Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for the Netherlands. *J. Hydrol.*, 349: 257-267.
19. Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghighat, M., and Nouri, O. 2015. Predicting the effects of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *J. Crop Prod.*, 8(4): 203-224. (In Persian)
20. Hashemi, Z., and Attaie, H. 2012. Application of drought using the SPI and its effects on the environment (Case Study: Charmahal bakhtiari). *J. Environ.*, 51: 13-25. (In Persian)
21. Teimouri, M., Abdollahi, M., Nejadhasan, B., and Graie, P. 2011. Investigation of aridity index in iran. The first National Conference on Drought and Climate Change. (In Persian)
22. Zare Abyane, H., and Bayat, M. 2011. Study of Aridity Index Trends in Southern Half of Iran. *J. Soil Water. Sci.*, 21(2): 81-92. (In Persian)
23. Jahani, S., and Hesam, M. 2009. Check the drought with significant fluctuations in Gorgan. The First National Conference on Water Crisis. (In Persian)
24. Katiraie, P., Hajjam, S., and Irannejad, P. 2008. Changes in the frequency and intensity of daily rainfall precipitation in Iran over the period of 1960 to 2001. *J. Phys. Space.*, 32(1): 67-83. (In Persian)
25. Khazanedari, L., Zabol Abbasi, F., Ghandhari, S.H., Kouhi, M., and Malbousi, S.H. 2009. Drought prediction in Iran during next 30 Years. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13: 1519-1530. (In Persian)
26. Sheffield, J., Wood, E.F., and Roderick, M.L. 2012. Little change in global drought over the past 60 years. *Nature.*, 491(7424): 435-438.
27. Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I., Begueria, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., Garcia-Ruiz, J.M., and Espejo, F. 2014. Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environ. Res.*, 9(4): 1-8.
28. Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature.*, 3(1): 52-58.
29. Jiang, R., Xie, J., He, H., Luo, J., and Zhu, J. 2015. Use of four drought indices for evaluating drought characteristics under climate change in Shaanxi, China: 1951-2012. *Nature.*, 75(3): 2885-2903.

