



پهنه‌بندی وقوع خشک‌سالی در استان فارس تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم با استفاده از شاخص بارش استاندارد

رضا دیهیم فرد¹، حامد عینی نرگسه² و مسعود حقیقت³

تاریخ دریافت: 1394/02/30

تاریخ پذیرش: 1394/06/24

دیهیم فرد، ر.، عینی نرگسه، ح.، و حقیقت، م. 1394. پهنه‌بندی وقوع خشک‌سالی در استان فارس تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم با استفاده از شاخص بارش استاندارد. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، 7(4): 528-546.

چکیده

امروزه موضوع تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های محققین بوده و با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی بشر، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی خشک‌سالی برای هر منطقه ضروری می‌باشد. هدف از این مطالعه پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی استان فارس در شرایط تغییر اقلیم، محاسبه شاخص خشکی و پهنه‌بندی آن در این استان بود. به منظور پیش‌بینی اقلیم آینده در نه شهرستان استان فارس (شیراز، اقلید، فسا، لار، لامرد، داراب، زرگان، نیریز و آباده) از دو مدل اقلیمی (HadCM3 و IPCM4) تحت سه سناریو (A₂، B₁، A₁B) در سه دوره (2011-2030، 2046-2065 و 2080-2099 میلادی) استفاده شد. برای ریزمقیاس کردن پارامترهای اقلیمی از LARS-WG استفاده شد. برای محاسبه شاخص خشکی سالی از شاخص SPI در مقیاس زمانی 12 ماه استفاده شد. نتایج نشان داد که در دوره پایه شهرستان‌های آباده و لار در طبقه خشکی حاد (2/48- و 2/09-) قرار داشتند. در صورتی که، تحت شرایط تغییر اقلیم آینده شهرستان لامرد در طبقه خشکی حاد قرار می‌گیرد. بیشترین شدت خشک‌سالی با استفاده از مدل HadCM3 تحت سناریوی A₂ در دوره 2080-2099 میلادی در نیریز (1/33) و کمترین شدت خشک‌سالی در شهرستان لامرد (2/58-) در دوره 2046-2065 میلادی با استفاده از مدل IPCM4 و تحت سناریوی A₁B به دست آمد. به طور کلی، نتایج نشان داد که در دوره پایه بخش عمده‌ای از مناطق استان فارس با استفاده از شاخص SPI در طبقه نرمال (نیمه جنوبی استان) و خشکی ملایم (نیمه شمالی استان) قرار دارند؛ در حالی که در آینده عمده مناطق استان فارس در طبقه نرمال قرار خواهند گرفت.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، ریزمقیاس‌نمایی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل اقلیمی

مقدمه

(1999). بنا بر گزارش IPCC⁴ روند گرم شدن کره زمین به سرعت در حال وقوع است و انتظار می‌رود که با صرف‌نظر از اثری که گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم جهانی دارند، دمای کره زمین تا سال 2030 نسبت به اواخر قرن بیستم تقریباً یک درجه سانتی‌گراد در مقیاس جهانی گرم می‌شود (IPCC, 2007). فرآیندهای تغییر اقلیم شامل افزایش غلظت CO₂ اتمسفری، دما و نیز نوسان پارتندگی است که به طور مستقیم رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bannayan et al., 2005; Bannayan et al., 2011).

در طی سال‌های گذشته موضوع تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی محققین حوزه کشاورزی بوده است و با شروع قرن 21 میلادی مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد (Hulme et al.,

1. 2 و 3- به ترتیب استادیار، گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران و مربی گروه هواشناسی کشاورزی، سازمان هواشناسی کشور، تهران
* - نویسنده مسئول: (Email: deihim@sbu.ac.ir)

4- Intergovernmental panel on climate change

مهم به نظر می‌رسد (Moafi Madani et al., 2012). خشکی در طول یک دوره از کمبود آب در یک منطقه به دلیل بارش کم، تبخیر و تعرق بالا، استخراج آب‌های زیرزمینی بالا یا ترکیبی از عوامل ذکر شده اتفاق می‌افتد (Zamaniyan et al., 2012). خشک‌سالی می‌تواند عواقب گسترده‌ای برای کشاورزی، اکوسیستم‌ها و جامعه در پی داشته باشد (Comfalioneri et al., 2007). اثرات خشک‌سالی می‌تواند شامل کمبود آب، کاهش و یا عدم تولید محصول، آتش‌سوزی و قحطی باشد (Sheffield & wood, 2001). بسیاری از محققین تأکید کرده‌اند که چون مناطق واقع در عرض‌های میانی (15 تا 40 درجه شمالی) بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی آینده با افزایش چشمگیر دما و کاهش قابل‌ملاحظه نزولات مواجه می‌باشند، شاخص‌های خشکی مناسب‌ترین معیار جهت ارزیابی اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم در این نواحی خواهد بود (Dinar et al., 1998; Hammer & Nicolls, 1996). بر اساس شواهد موجود گسترش شدت و وسعت خشک‌سالی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری از ویژگی‌های اقلیم آینده می‌باشد. امروزه، تجزیه و تحلیل خشک‌سالی بر اساس داده‌های بارندگی به عنوان مهم‌ترین عامل برای انواع خشک‌سالی به کار می‌رود (Mosaedi & Ghobadi Sogh, 2011). محققان شاخص‌های مختلفی را به منظور پایش وضعیت خشک‌سالی توسعه داده‌اند. شاخص PDSI⁴ (Palmer, 1965)، CMI⁵ (Palmer, 1968)، DAI⁶ (Mckee et al., 1993) و SPEI⁷ (Vicente-Serrano et al., 2010) و غیره (Li et al., 2013) از این جمله‌اند. در حال حاضر، شاخص SPI به طور گسترده‌ای در امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان به منظور پایش خشک‌سالی استفاده می‌شود. این شاخص به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشک‌سالی به ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود.

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکی و شاخص خشک‌سالی انجام شده است. در یک تحقیق لوکاس و

در حال حاضر مطالعه اثرات تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای به برآورد وضعیت اقلیمی آینده بستگی خواهد داشت. این برآوردها در حال حاضر توسط مدل‌های اقلیمی و بیش از همه به وسیله مدل‌های گردش عمومی (GCM¹) انجام می‌گیرد. این مدل‌ها معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند و قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC شبیه‌سازی نمایند (Kilsby & Jones, 2007; Dibike & Coulibaly, 2005). مدل‌های گردش عمومی جو، شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده مورد بحث کاملاً متفاوت باشد. برای فائق آمدن به نقیصه تفکیک فضایی کم مدل‌های گردش عمومی، دو راهکار وجود دارد که عبارت‌اند از: ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل‌های آماری و به کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای (Babaeian et al., 2010). به دلیل این که خروجی مدل‌های گردش عمومی به صورت ماهانه است برای به کارگیری و استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی از مولدهای هواشناسی² استفاده می‌شود. این مولدها تصادفی و مبتنی بر احتمال بوده و خروجی آن‌ها داده‌های هواشناسی در مقیاس روزانه می‌باشد (Semenov et al., 1998). یکی از مشهورترین مولدهای هواشناسی LARS-WG³ است که برای تولید مقادیر بارش، تشعشع، دماهای بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (Rasco et al., 2002; Semenov & Barrow, 1991). نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست در سال 1990 میلادی به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک کشاورزی در کشور مجارستان توسعه داده شد (Rasco et al., 1991). در کشور ایران نیز مطالعات مختلفی با استفاده از این برنامه به منظور انجام مطالعات مختلف تغییر اقلیم انجام شده است (Moafi Madani et al., 2012; Eyshi Rezaei & Bannayan, 2014; Babaeian et al., 2010; Eyni Nargeseh et al., 2012). با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی بشر، بررسی پدیده اثرات تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی خشک‌سالی برای هر منطقه ضروری و

4- Palmer drought severity index

5- Crop moisture index

6- Drought area index

7- Standardized precipitation index

8- Standardized precipitation evapotranspiration index

1- General circulation model

2- Weather generator

3- Long ashton research station weather generator

کشورهای در حال توسعه (IPCC, 2013) بارزتر است و همچنین افزایش دمای هوا اثرات عمیقی را بر پدیده‌های اقلیمی به خصوص میزان و الگوهای بارندگی در سراسر جهان خواهد داشت. لذا این تحقیق با هدف پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی استان فارس در شرایط تغییر اقلیم و محاسبه شاخص خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن در این استان به عنوان یکی از قطب‌های تولید محصولات زراعی و باغی به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها

تحقیق حاضر در نه ایستگاه سینوپتیک استان فارس شامل شیراز، فسا، داراب، اقلید، لار، آباده، زرکان، لامرد و تیریز انجام شد (جدول 1). استان فارس در بخش جنوبی کشور قرار دارد که از شمال به استان اصفهان، از شمال شرقی به استان یزد، از جنوب به استان هرمزگان، از غرب و جنوب غرب به استان بوشهر و از شمال غرب به استان کهگیلویه و بویراحمد محدود می‌شود (شکل 1). بر اساس تقسیم‌بندی دمارتن استان فارس دارای پنج نوع اقلیم خشک، نیمه-خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب و مرطوب می‌باشد (Gandomkar et al., 2010).

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده برای محاسبه شاخص خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن در استان فارس، از داده‌های روزانه (دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تشعشع روزانه) به عنوان ورودی برای مدل آماری LARS-WG استفاده شد. به دلیل این که در ایستگاه‌های هواشناسی در بعضی از ماه‌های سال داده هواشناسی ثبت نشده و در برخی موارد داده‌های پرت وجود داشت از این رو با استفاده از برنامه WeatherMan² (Hoogenboom et al., 2003) داده‌های گم شده و پرت ایستگاه‌های مورد بررسی محاسبه و اصلاح شد. همچنین با توجه به این که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، مقدار تشعشع روزانه ثبت نمی‌شود، لذا با در اختیار داشتن تعداد ساعت آفتابی، تشعشع روزانه با استفاده از رابطه آنگستروم (معادله 1) به صورت زیر تخمین زده شد (Almorox et al., 2005):

$$R_t = \left(a + b \frac{n}{N} \right) R_a \quad (1) \text{ معادله}$$

همکاران (Loukas et al., 2008) اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکی‌سالی در منطقه تسالی¹ در یونان را مورد بررسی قرار دادند و برای تخمین شدت خشک‌سالی از شاخص SPI و از GIS برای تقسیم منطقه تسالی به 12 ناحیه یکنواخت هیدرولوژیکی بر اساس ژئومورفولوژی آن‌ها استفاده شد. در این مطالعه از مدل گردش عمومی CGCM² تحت دو سناریوی B₂ و B₁ در دوره 2020-2050 و 2070-2100 میلادی برای اثر تغییر اقلیم بر خشکی‌سالی در آینده استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که شدت خشک‌سالی سالیانه برای همه مناطق هیدرولوژیکی و مقیاس‌های زمانی SPI با سناریوی B₂ افزایش می‌یابد. در یک بررسی دیگر ابرقویی و همکاران (Abarghouei et al., 2011) شاخص خشک‌سالی (SPI) را برای تجزیه و تحلیل روند خشکی در 30 سال گذشته در مقیاس‌های زمانی متفاوت (3، 6، 9، 12، 18 و 24 ماه) در 42 ایستگاه هواشناسی کشور مورد استفاده قرار دادند. نتایج این تحقیق روند منفی خشک‌سالی را در تعدادی از قسمت‌های ایران، به خصوص جنوب شرق، غرب و جنوب غرب نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که هر چند برخی از نقاط ایران از جمله شمال (اطراف دریای خزر) و شمال شرقی روند قابل ملاحظه‌ای در خشک‌سالی مشاهده نمی‌شود، اما در دیگر قسمت‌های کشور شدت خشکی در طول 30 سال اخیر افزایش یافته است. در یک بررسی یان جان و همکاران (Yan Jun et al., 2012) خصوصیات سیر تکاملی خشکی را بر اساس شاخص خشک‌سالی (SPI) در حوضه رودخانه هواپهی در چین مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه از شاخص SPI برای تجزیه و تحلیل شاخص خشک‌سالی سالیانه (طی سال‌های 1961-2010 میلادی) استفاده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که فراوانی خشک‌سالی در حوضه رودخانه کاهش و شدت خشک‌سالی در آغاز قرن 21 افزایش می‌یابد، اما مناطق خشک کاهش می‌یابد. نوع اصلی خشکی خفیف - متوسط بود، و خشک‌سالی شدید به ندرت رخ داده است. در شرایط فعلی تغییر اقلیم نتایج این تحقیق نشان داد که اثر منفی خشک‌سالی در حوضه رودخانه هواپهی بر تولید کشاورزی کاهشی خواهد بود.

با توجه به این که روند تغییر اقلیم در دنیا و از جمله ایران در حال وقوع است (Koocheki et al., 2006; Nassiri et al., 2006; Farhangfar et al., 2015; Moafi et al., 2012; Bannayan & Eyshi Rezaei, 2014; IPCC, 2014) و اثرات این پدیده در

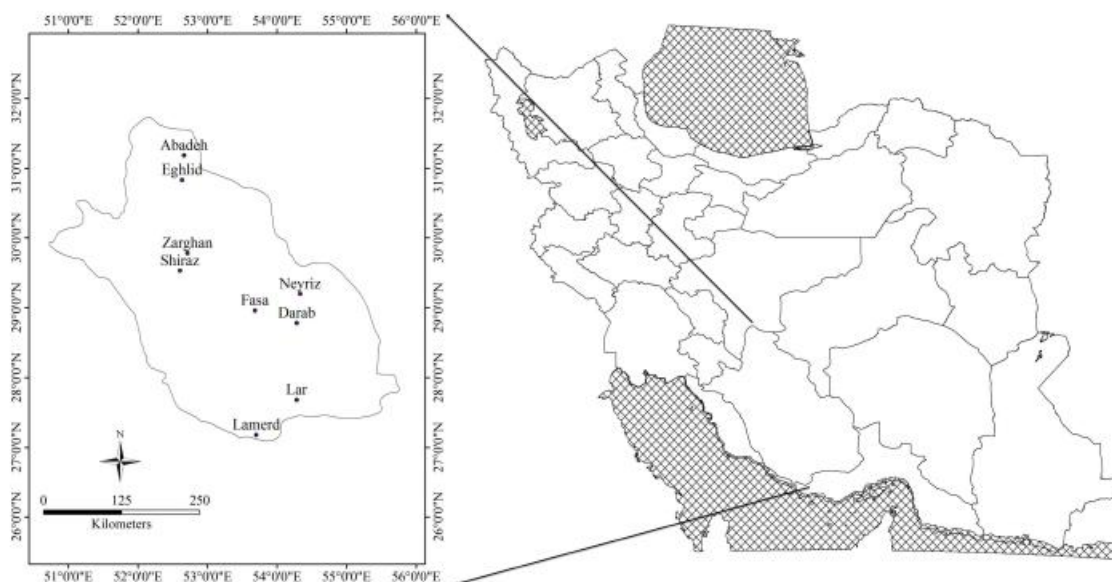
2- Weather data manager

1- Thessaly

جدول 1- خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده برای مناطق مختلف در استان فارس

Table 1- Climatic characteristics of selected weather stations for the different regions in Fars province

منطقه Location	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	میانگین بلندمدت بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)
آباده Abadeh	31°18'	52°40'	137	2030
داراب Darab	28°78'	55°17'	269	1098
اقلید Eghlid	30°90'	52°38'	330	2300
فسا Fasa	28°96'	53°68'	294	1288
لامرد Lamerd	27°18'	53°7'	225	411
لار Lar	27°68'	54°17'	202	972
نیریز Neyriz	29°2'	54°33'	185	1632
شیراز Shiraz	29°53'	52°36'	329	1484
زرقان Zarghan	29°78'	52°71'	316	1596



شکل 1- موقعیت جغرافیایی محل انجام تحقیق

Fig. 1- The geographical area of the study locations

فرازمینی می‌باشد. متغیرهای a و b : ضرایب آنگستروم کالیبره شده محلی بر اساس موقعیت جغرافیایی منطقه هستند.

در این معادله، R_s : تشعشع روزانه (مگاژول در مترمربع)، n تعداد ساعات آفتابی، N : حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن و R_a : تشعشع

(پایه، 2011-2030، 2046-2065 و 2080-2099 میلادی) استفاده شد. دوره پایه به طور میانگین 30 سال (2010-1980 میلادی) در نظر گرفته شد.

با توجه به افزایش غلظت CO₂ تحت همه سناریوهای انتشار، هیئت بین دولتی تغییر اقلیم در آخرین گزارش خود بیان کرد که دمای سطح کره زمین تا انتهای قرن 21، 1/5 الی 4 درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (1850 تا 1900) افزایش خواهد داشت و این روند افزایشی بعد از سال 2100 نیز ادامه می‌یابد (IPCC, 2013).

اعتبارسنجی مدل اقلیمی

در مدل‌های شبیه‌سازی مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده (واقعی)، مرحله مهمی قبل از به کارگیری مدل در انجام مطالعات شبیه‌سازی است. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی تفاوت داده‌های مشاهده شده (دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش) و شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این تحقیق یک شاخص مورد استفاده قرار گرفت. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE¹) که اختلاف نسبی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد (Huang et al., 2009):

$$RMSE = \frac{100}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2) \text{ معادله}$$

که در این معادله، P_i و O_i: به ترتیب داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده شده \bar{O} : میانگین داده‌های مشاهده شده و n: تعداد مشاهده‌ها است. چنانچه مقدار RMSE کمتر از 10 درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین 10 تا 20 درصد خوب، بین 20 تا 30 درصد متوسط و بیشتر از 30 درصد شبیه‌سازی ضعیف خواهد بود (Jamieson et al., 1991).

شاخص خشک‌سالی (SPI)

در تحقیق حاضر پس از پیش‌بینی بارندگی تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، برای برآورد احتمال وقوع خشک‌سالی در آینده استان فارس از شاخص خشک‌سالی (SPI) استفاده شد. شاخص SPI (Mckee et al., 1993; Mckee et al., 1995) مبتنی بر احتمال بارش برای تعدادی از ماه‌های متوالی است و هدف اصلی آن بیان کمبود بارش یک منطقه در مقیاس زمانی خاص نسبت به اقلیم آن

مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار

در این مطالعه به منظور پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده از دو مدل گردش عمومی (HadCM3 و IPCM4) استفاده شد. با توجه به این که خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی تغییرات ماهیانه دما و بارش هستند و از طرفی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم به ویژه برای پدیده خشک‌سالی و کشاورزی نیاز به داده‌هایی با مقیاس زمانی روزانه می‌باشد، از این رو از تکنیک‌های ریزمقیاسی استفاده شد (Wilby & Wigley, 1997). بدین منظور در این مطالعه از مولد آب و هوایی مبتنی بر احتمال LARS-WG استفاده شد.

از آن‌جا که روند آینده انتشار گازهای گلخانه‌ای از قطعیت کافی برخوردار نیست، به همین دلیل برای مطالعات تغییر اقلیم از سناریوهای مختلف، معمولاً در دوره‌هایی با طول 25، 50 و 100 سال یا بیشتر، استفاده می‌شود (Aggarwal, 1994). در این تحقیق از سه سناریوی انتشار B₁، A₂ و A₁B برای پیش‌بینی تغییرات احتمالی بارندگی در آینده استفاده شد. سناریوی SRES-A₂ شرایط ناهمگون جهان را با نرخ بالای رشد جمعیت، توسعه اقتصادی اندک و تغییر تکنولوژیکی آهسته نشان می‌دهد (Prudhomme et al., 2010). سناریوی SRES-B₁ جهان همگرایی را که پیک جمعیت جهان در اواسط قرن و تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی خدمات و اطلاعات اقتصادی است تعریف می‌کند (Wetterhall et al., 2009) و سناریوی SRES-A₁B جهان را با رشد اقتصادی سریع، پیک جمعیت جهانی در اواسط قرن و تکنولوژی‌های کارآمدتر بر اساس یک ترکیب انرژی متوازن توصیف می‌کند (Olesen et al., 2011). در جدول 2 غلظت CO₂ در دوره‌های مختلف تحت سناریوهای مذکور نشان داده شده است.

جدول 2 - غلظت CO₂ (پی‌پی‌ام) در دوره‌ها و سناریوهای مختلف (Nakicenovic & Swart, 2000)

Table 2- CO₂ concentration (ppm) in different periods and scenarios in the future (Nakicenovic & Swart, 2000)

سناریوها Scenarios	2011-2030	2046-2065	2080-2099
B ₁	410	492	538
A ₂	414	545	754
A ₁ B	418	541	674

در این تحقیق از برنامه LARS-WG برای تولید بارش، تشعشع، دماهای کمینه و بیشینه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده در مقیاس زمانی روزانه و تحت سناریوهای مذکور در چهار دوره

1- Root mean squared error

بندی خشک‌سالی در این نرم‌افزار وجود دارد که در چهار گروه اصلی IDW¹، GPI²، RBF² و Krigine طبقه‌بندی می‌شوند (Eyvazi & Mosaedi, 2011). از میان این روش‌ها، تکرار استفاده از روش IDW بیشتر از بقیه بوده است (Khosravi et al., 2012) و در مطالعات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Mohamadian et al., 2009; Shahian et al., 2011). از این رو در این تحقیق نیز، از بین روش‌های موجود برای درون‌یابی از روش IDW³ استفاده شد. در این روش برای درون‌یابی فضایی مقادیر شاخص خشک‌سالی و در نهایت، پهنه‌بندی آن‌ها از روش عکس فاصله استفاده می‌شود. این روش یکی از معمول‌ترین تکنیک‌های درون‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه استوار است که در یک سطح درون‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نیست و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور تأثیر کمتری دارند و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد (Ansari & Davari, 2007).

نتایج و بحث

ارزیابی مدل اقلیمی

نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی با استفاده از شاخص ارزیابی مدل (معادله 2) در جدول 4 نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل LARS-WG مقادیر دمای کمینه و بیشینه و همچنین تشعشع را بسیار خوب شبیه‌سازی می‌کند، اما دقت آن در شبیه‌سازی بارش نسبتاً کمتر از سایر متغیرهای اقلیمی بود که این موضوع برای متغیر بارش که نوسانات بالایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد، منطقی به نظر می‌رسد. مقادیر RMSE به دست آمده برای تشعشع، دمای بیشینه و کمینه نشان‌دهنده شبیه‌سازی بسیار عالی این متغیرها توسط مدل LARS-WG بود (جدول 4). مقدار شاخص RMSE برای متغیر بارش 11/48 برآورد شد که برای این متغیر مقدار قابل قبولی است. به طور کلی، نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهد که این مدل در شبیه‌سازی بارش در مقایسه با دیگر پارامترها دقت کمتری دارد اما با توجه به اقلیم منطقه مورد مطالعه (Hajarpour et al., 2012; Valizadeh et al., 2013; Bannayan & Eyshi Rezaie, 2014; Farhangfar et al., 2015) نتایج می‌تواند متفاوت باشد.

منطقه است (Prieto-Gonzalez et al., 2011). شاخص SPI بر اساس اختلاف میان مقدار بارندگی در هر ماه و میانگین بارندگی در دوره زمانی مشخص بر انحراف معیار بارندگی در آن مقیاس زمانی محاسبه می‌گردد (معادله 3). مهم‌ترین مزیت این شاخص در مقایسه با سایر شاخص‌ها، قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه‌مدت ذخایر آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثرات دوره‌های طولانی‌مدت منابع آب (از جمله ذخایر آب زیرزمینی، سطح آب مخازن و جریان رودخانه‌ای) را پایش نماید (Mosaedi & Ghobadi Sogh, 2011). مقیاس‌های زمانی می‌توانند 3، 6، 12 یا 24 ماهه باشند که در این بررسی از مقیاس زمانی 12 ماهه استفاده شد و این شاخص برای دوره پایه و سه دوره آینده محاسبه گردید:

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad \text{معادله (3)}$$

در این معادله، X_i : بارندگی در هر ماه، میانگین بارندگی در مقیاس زمانی مورد مطالعه و S_x : انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی می‌باشد. بر اساس این شاخص دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار 1- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت شود. دامنه طبقه‌ها برای تعیین ترسالی و خشک‌سالی بر اساس نمایه SPI در جدول 2 نشان داده شده است (Edward & Mckee, 1997). در این تحقیق، داده‌های واقعی بارش در مناطق مورد مطالعه با استفاده از معادله (5) به مقادیر SPI تبدیل گردید و سپس با استفاده از مقیاس طبقه‌بندی شدت ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها (جدول 3)، طبقه‌بندی شهرستان‌های مورد مطالعه انجام شد.

سیستم اطلاعات جغرافیایی

در این مطالعه برای تهیه نقشه‌های خشک‌سالی و خطوط هم‌شدت خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن در استان فارس از نرم‌افزار GIS 9.3 استفاده شد. برای تهیه این نقشه‌ها ابتدا مختصات ایستگاه‌های مورد بررسی به صورت درجه - اعشار در یک فایل اکسل تهیه شد. در این جدول، X: طول جغرافیایی و Y: عرض جغرافیایی هر ایستگاه و ستون‌های بعدی نام ایستگاه و مقادیر SPI می‌باشد. سپس این اطلاعات در فایل تهیه شده وارد محیط نرم‌افزار GIS 9.3 شد و نقشه‌های خشک‌سالی ترسیم گردید. روش‌های گوناگونی برای پهنه-

1- Global polynomial interpolation
2- Radial basis functions
3- Inverse distance weighted

جدول 3 - مقیاس‌های طبقه‌بندی برای SPI
Table 3- Classified scales for SPI

مقیاس طبقه‌بندی	خشکی حاد Special drought	شدید Severe	ملازم Medium	نرمال Normal	مرطوب متوسط Medium wet	مرطوب شدید Severe wet	بی‌نهایت مرطوب Extremely wet
مقدار value	$SPI \geq -2$	$-1.99 < SPI \leq -1.5$	$-1.49 < SPI \leq -1$	$-0.99 < SPI \leq 0.99$	$1 < SPI \leq 1.49$	$1.5 < SPI \leq 1.99$	$SPI \geq 2$

جدول 4 - نتایج ارزیابی مدل اقلیمی برای بارش، تابش، دمای کمینه و بیشینه در شیراز

Table 4- Results of climate model evaluation for rainfall, radiation, maximum and minimum temperatures in Shiraz

شاخص Parameter	دمای بیشینه Max temperature	دمای کمینه Min temperature	تابش Radiation	بارش Precipitation
جزر میانگین مربعات خطا RMSE	0.46	1.02	0.51	11.48

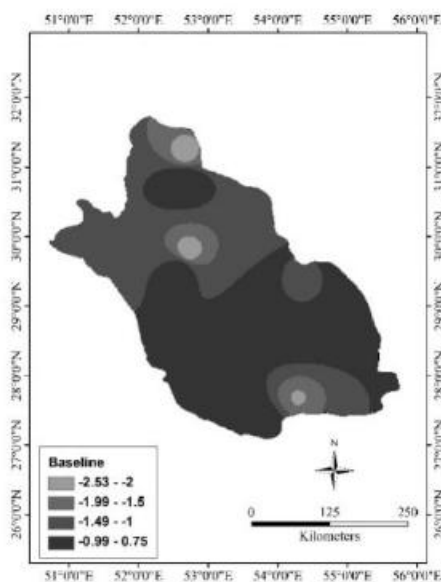
خشک‌سالی در مقیاس زمانی 12 ماهه در دوره پایه (شکل 2) نیز بیان‌گر آن است که به طور کلی کمترین شدت خشک‌سالی در نیمه جنوبی استان و بیشترین شدت خشک‌سالی در نیمه شمالی استان فارس و بخش محدودی از نیمه جنوبی مشاهده می‌شود و شدت خشک‌سالی از شمال به سمت جنوب استان کم می‌شود. با توجه به شکل می‌توان نتیجه گرفت که در دوره پایه بخش وسیعی از استان فارس در طبقه نرمال قرار می‌گیرد که شهرستان‌های نیریز، داراب، فسا، لامرد و اقلید جزء این طبقه هستند و عمدتاً در نیمه جنوبی این استان قرار گرفته‌اند. همچنین در دوره پایه فقط مناطق محدودی در طبقه خشکی حاد قرار گرفته است که شهرستان‌های آباده، زرقان و لار جزء این طبقه می‌باشند. نتایج دیگر محققین نیز نشان‌گر وجود خشکی در برخی مناطق است. به طور مثال انصاری و داوری (Ansari & Davari, 2007) در استان خراسان رضوی در دوره آماری 33 ساله (1968 تا 2000 میلادی) نشان دادند که در سال‌های اخیر تداوم خشکی‌ها افزایش پیدا کرده ولی تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است. همچنین، نتایج آن‌ها نشان داد که در کلیه مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه تکرار دوره‌های خشک افزایش یافته اما از شدت آن‌ها تا حدودی کاسته شده است. مرادی و همکاران (Moradi et al., 2007) نیز در یک مطالعه در 26 ایستگاه استان فارس طی دوره 32 ساله (1342 تا 1378 شمسی) نشان دادند که کمترین شدت خشک‌سالی در مقیاس زمانی 12 ماهه در نواحی جنوبی، بیشترین شدت خشک‌سالی در نواحی مرکزی مشاهده می‌شود و نواحی شمالی از خشک‌سالی کمتری برخوردار بود. در یک بررسی

در همین زمینه خلیلی اقدم و همکاران (Khalili Aghdam et al., 2012) در بررسی ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از متغیرهای جوی سندج نشان دادند که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی متغیرهای دمای کمینه، بیشینه و تابش می‌باشد، اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به دیگر متغیرها خطای بیشتری نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر، حاج‌پور و همکاران (Hajarpoor et al., 2012) بیان کردند که مدل LARS-WG در مناطق مورد بررسی (گرگان، گنبد و مشهد) برای شبیه‌سازی بارش ضعیف عمل کرد که دلیل آن نوع اقلیم منطقه عنوان شد. حشمی و همکاران (Hashmi et al., 2009) نشان دادند که LARS-WG توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی بارش دارد. فرهنگ‌فر و همکاران (Farhangfar et al., 2015) نیز در استان خراسان نشان دادند که مدل LARS-WG کلیه پارامترها را با دقت بالایی شبیه‌سازی کرده است اما دقت مدل در شبیه‌سازی بارش در مقایسه با دیگر پارامترها کمتر بوده است.

شاخص خشکی دوره پایه

نتایج نشان داد که شهرستان‌های زرقان، آباده و لار در دوره گذشته بر اساس شاخص خشک‌سالی در طبقه خشکی حاد (به ترتیب 2/54، 2/48 و 2/09-) قرار گرفته‌اند و در سایر شهرستان‌های استان فارس به جز نیریز که جزء طبقه خشکی ملازم است (1/32-) سایر مناطق در کلاس نرمال قرار گرفته‌اند (جدول 5). پهنه‌بندی

(HadCM3 و IPCM4) تحت سه سناریوی انتشار (A_2 و A_1B ، B_1) در شکل‌های 3، 4 و 5 نشان داده شده است.



شکل 2 - پهنه‌بندی استان فارس بر اساس شاخص SPI در دوره پایه
Fig. 2- Zoning map of the Fars province based on SPI in the baseline

نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات شاخص خشک‌سالی تحت شرایط تغییر اقلیم در بین مناطق مورد بررسی نسبت به دوره پایه در شهرستان‌های زرقان، لامرد و لار مشاهده شد. به این صورت که، شهرستان‌های زرقان و لار که بر اساس شاخص بارش استاندارد در طبقه خشکی حاد قرار داشته‌اند (به ترتیب $2/54$ - و $2/09$ -) در آینده و تحت شرایط تغییر اقلیم در طبقه نرمال قرار می‌گیرند. همچنین، در شهرستان لامرد که در دوره پایه در طبقه نرمال قرار داشته است ($0/75$)، تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در طبقه خشکی حاد قرار می‌گیرد (شکل 3).

شهرستان‌های اقلید، داراب و فسا نیز کمترین تغییر شاخص خشک‌سالی را در آینده نسبت به دوره پایه خواهند داشت. به طوری که در دوره پایه ($0/07$ ، $0/31$ و $0/88$ -) و شرایط تغییر اقلیم آینده در طبقه نرمال قرار می‌گیرند. نتایج همچنین نشان داد که در میان شهرستان‌های مورد مطالعه فقط دو شهرستان اقلید و داراب هستند که هم در شرایط گذشته و هم سناریوهای آینده شاخص خشک‌سالی در آن‌ها مثبت شده است.

دیگر ژیانگ و همکاران (Jiang et al., 2014) در شانگ‌های چین نشان دادند که با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI طول مقادیر منفی (خشک) و مقادیر مثبت (مرطوب) کوتاه‌تر شده است، اما فراوانی این شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه (به عنوان مثال شش ماه) بیشتر شده است. با این حال، وقتی طول دوره‌های خشکی برای مقیاس‌های زمانی بلند (به عنوان مثال، 24 ماه) طولانی‌تر می‌شود فراوانی دوره‌ها با مقادیر مثبت (مرطوب) و منفی (خشک)، کمتر ولی طول آن‌ها بیشتر می‌شود.

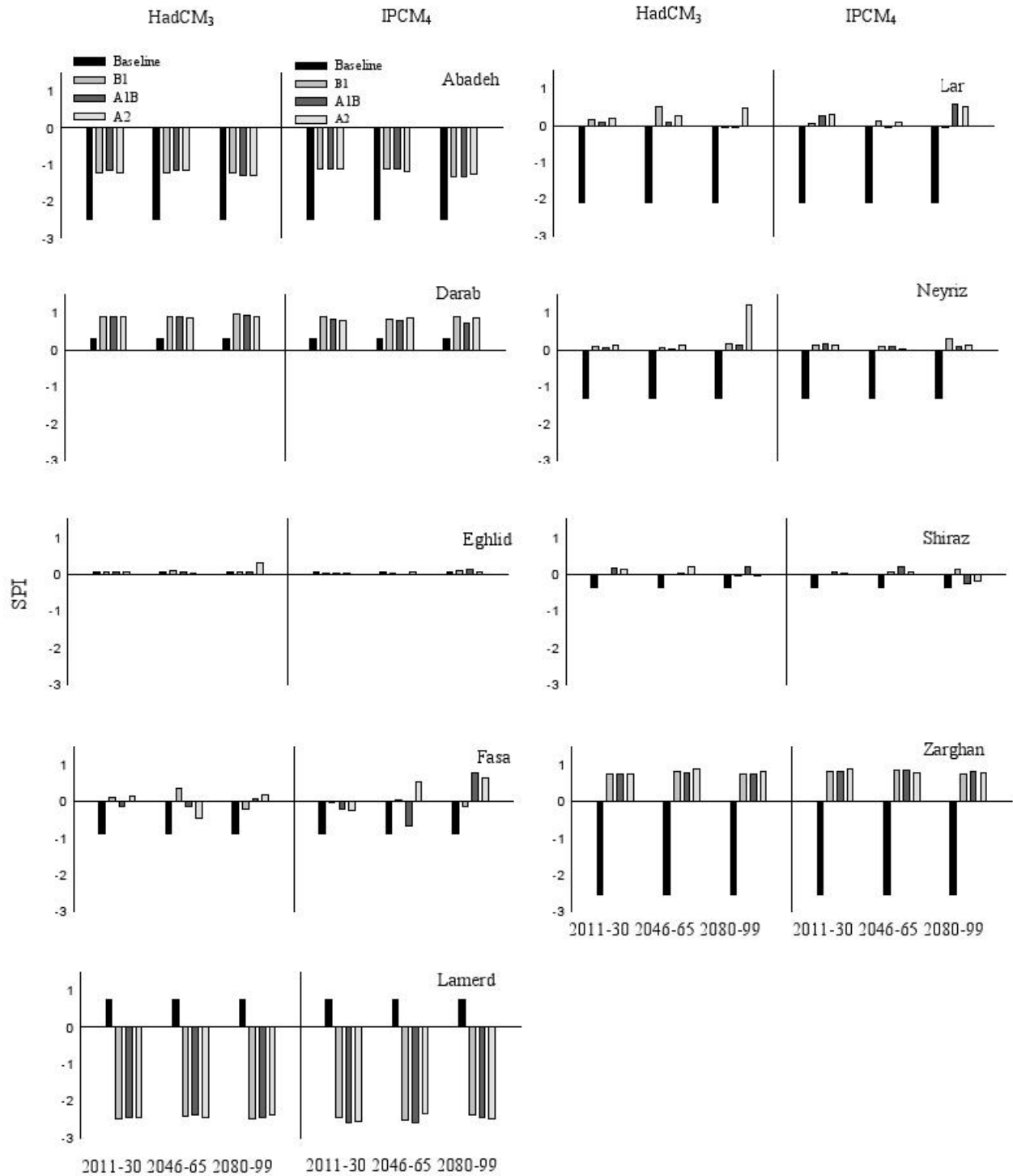
جدول 5 - مقادیر SPI برای شهرستان‌های مورد بررسی در دوره پایه
Table 5- SPI values for the study locations in the baseline

منطقه	شاخص خشک‌سالی
Location	SPI value
آباد	-2.48
Abadeh	-2.48
داراب	0.31
Darab	0.31
اقلید	0.07
Eghlid	0.07
فسا	-0.88
Fasa	-0.88
لامرد	0.75
Lamerd	0.75
لار	-2.09
Lar	-2.09
نیریز	-1.32
Neyriz	-1.32
شیراز	-0.35
Shiraz	-0.35
زرقان	-2.54
Zarghan	-2.54

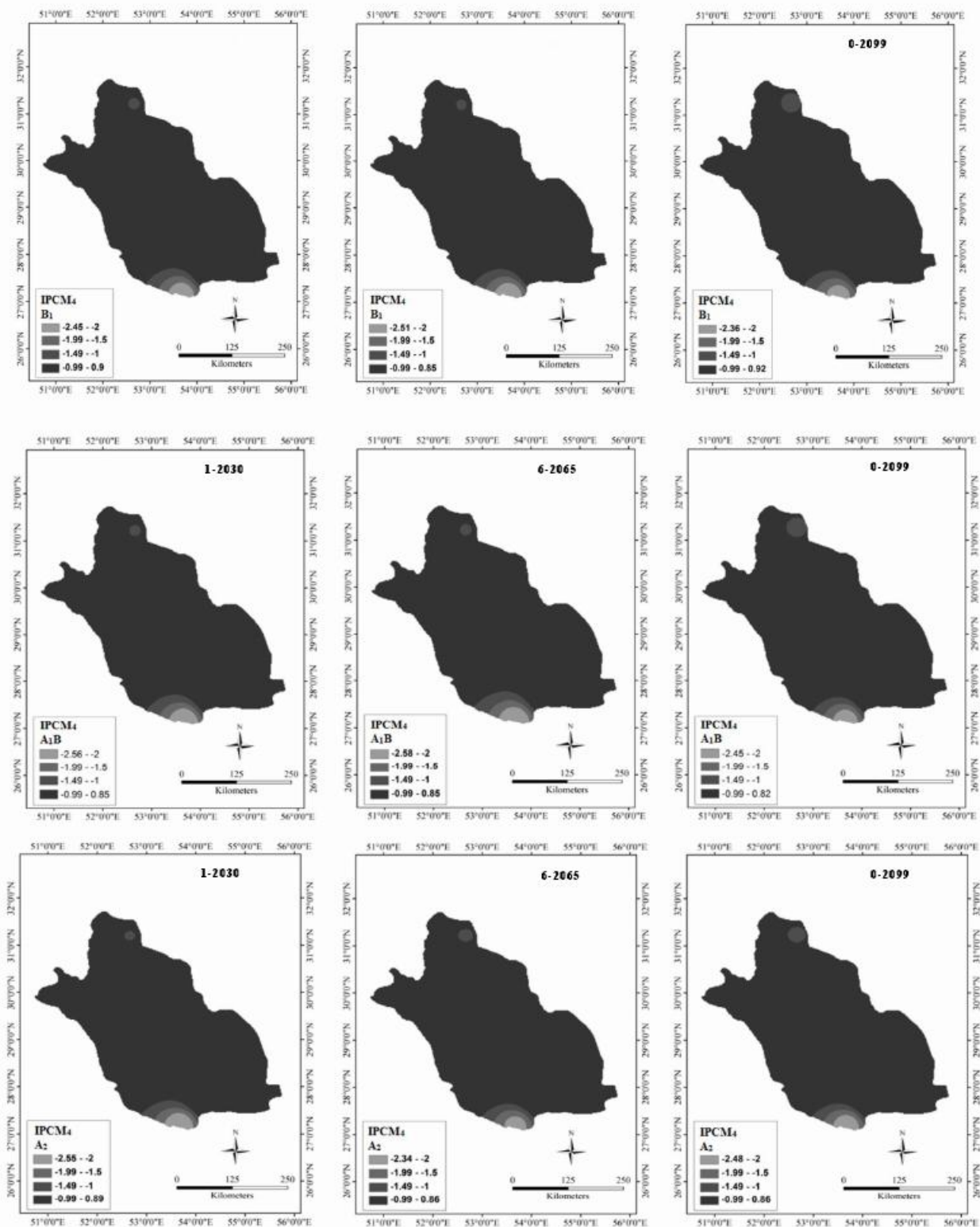
3-3- شاخص خشکی در آینده

نتایج آزمون t نشان داد که بین مدل‌های HadCM3 و IPCM4 در شبیه‌سازی اقلیم آینده و شاخص خشک‌سالی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($t=0.96$; $p \geq 0/05$) و برای بررسی شاخص خشک‌سالی تحت شرایط تغییر اقلیم در استان فارس می‌توان تنها از یکی از مدل‌ها استفاده کرد. نتایج مطالعات دیگر نیز نشان داده است که بین مدل‌های گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 به منظور پیش‌بینی اقلیم آینده استان فارس اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (Eyni, 2014; Nargeseh et al., 2014).

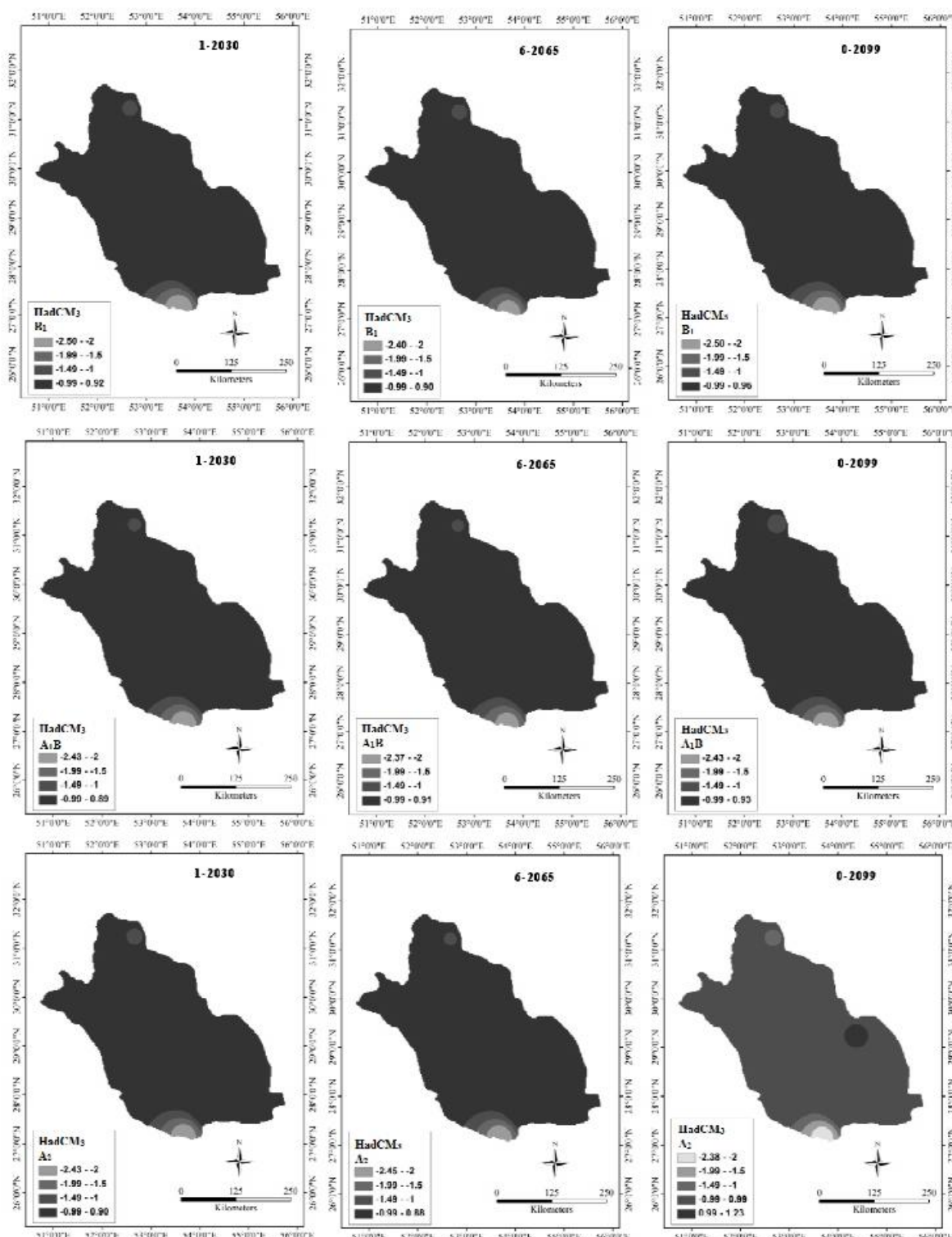
نتایج شبیه‌سازی‌ها پس از محاسبه شاخص خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از دو مدل اقلیمی



شکل 3- مقایسه شاخص خشکسالی (SPI) در دوره پایه و شرایط تغییر اقلیم آینده در شهرستان‌های مورد بررسی در استان فارس
 Fig. 3- Comparison of SPI index in baseline and future climate change conditions in the study locations of Fars province



شکل 4- نقشه‌های به‌هنگامی شاخص خشکی در آینده استان فارس تحت سناریوهای مختلف انتشار با استفاده از مدل $IPCM_4$
 Fig. 4- Zoning maps of aridity index in Fars province under different emission scenarios using $IPCM_4$ model



شکل 5- نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص خشکی در آینده استان فارس تحت سناریوهای مختلف انتشار یا استفاده از مدل HadCM₃
 Fig. 5- Zoning maps of aridity index in Fars province under different emission scenarios using HadCM₃ model

تحت سناریوی B₂ روند مثبتی خواهند داشت. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات شاخص خشک‌سالی SPI در مقایسه با دوره پایه کمتر خواهد بود. در حالی که تغییرات شاخص RDI¹ در مقایسه با مقادیر این شاخص (SPI) در دوره پایه بالاتر خواهد بود. در یک تحقیق دیگر در منطقه تسالی یونان، لوکاس و همکاران (Loukas et al., 2008) اثرات تغییر اقلیم را بر شدت خشکی تحت دو سناریوی A₂ و B₂ در سه دوره پایه، 2020-2050 و 2070-2100 میلادی با استفاده از شاخص SPI مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد کل ماه‌های خشک سال در دوره‌های 30 ساله مورد بررسی تحت شرایط اقلیم آینده که شاخص خشک‌سالی کمتر از یک است، در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین، افزایش در تعداد ماه‌های خشک تحت سناریوی A₂ بیشتر از سناریوی B₂ بود. تعداد ماه‌های خشک در دوره 2070-2100 میلادی نیز بیشتر از دو دوره دیگر بود.

مقایسه دوره‌های مختلف شبیه‌سازی شده در آینده استان فارس (شکل‌های 3 و 4) نشان می‌دهد که شاخص SPI در هر سه دوره مورد مطالعه در مقایسه با دوره پایه تغییر خواهد کرد و اکثر مناطق استان فارس در طبقه نرمال قرار خواهند گرفت. نتایج آزمون آماری t در سطح پنج درصد آماری نشان داد که این شاخص در آینده به طور میانگین در همه مناطق مورد مطالعه بین هر سه دوره اختلاف معنی‌داری ندارد و به طور کلی، در بین هر سه دوره تغییر معنی‌داری در این شاخص مشاهده نشده (جدول 6) و اکثر مناطق در طبقه نرمال قرار دارند. تنها نکته قابل توجه تحت سناریوی A₂ و مدل اقلیمی HadCM3 در دوره سوم مشاهده می‌شود که در این دوره منطقه نیریز که در دوره پایه در طبقه خشکی ملایم بوده (1/32-)، در طبقه مرطوب متوسط (1/23) قرار خواهد گرفت.

نتایج آزمون آماری t در سطح پنج درصد نیز نشان داد که بین سناریوهای مورد بررسی از نظر شاخص خشک‌سالی تحت شرایط تغییر اقلیم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول 7). با این وجود در تمامی مناطق مورد بررسی و تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، شاخص SPI بین سناریوهای مختلف انتشار در مقایسه با دوره پایه تفاوت وجود داشت. به این صورت که در هر سه سناریوی انتشار این شاخص تغییر کرده است و بیشتر مناطق استان در طبقه نرمال قرار گرفته‌اند.

دلیل اختلاف بین شاخص خشک‌سالی در بین شهرستان‌های مورد بررسی و همچنین اختلاف بین این شاخص در دوره پایه نسبت به شرایط تغییر اقلیم می‌تواند افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، گرمایش جهانی و تغییر الگوهای بارندگی در منطقه باشد. در این مطالعه همان‌طور که در شکل‌های 3، 4 و 5 نشان داده شده است، به طور کلی شاخص خشک‌سالی بین سناریوهای مورد بررسی اختلافی چندانی ندارد. با توجه به شکل‌ها مشخص می‌شود که در هر شهرستان تحت شرایط تغییر اقلیم و دوره‌های مورد مطالعه، این شاخص برای سناریوهای B₁، A₁B₁ و A₂ در یک طبقه (جدول 3) قرار می‌گیرد. تنها در شهرستان نیریز تحت سناریوی A₂ در دوره 2080-2099 میلادی با استفاده از مدل HadCM3 شاخص خشک-سالی در طبقه مرطوب متوسط قرار دارد، در حالی که دو سناریوی دیگر (B₁ و A₁B₁) در طبقه نرمال قرار گرفته‌اند.

همان‌گونه که نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند که عمده مناطق استان فارس تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص بارش استاندارد در طبقه نرمال قرار می‌گیرند. به این صورت که مناطقی که در گذشته در طبقه خشکی ملایم بوده‌اند (داراب، اقلید، فسا و شیراز) در آینده تحت شرایط سناریوهای انتشار در طبقه نرمال خواهند بود. نتایج این تحقیق به طور کلی نشان می‌دهد که در آینده استان فارس، مناطق کمتری در طبقه خشکی شدید و حاد قرار خواهند گرفت. همچنین با توجه به شکل‌های 4 و 5 مشخص می‌شود که منطقه آباده که در دوره پایه در طبقه خشکی حاد قرار داشته است (2/48-) به طبقه خشکی شدید منتقل می‌شود و لامرد که در مناطق با طبقه نرمال بوده است (0/75) به طبقات پایین‌تر (خشک‌تر) منتقل خواهد شد. در نهایت، شهرستان لار که در دوره پایه در طبقه خشکی حاد قرار داشته است (2/09-) همانند اکثر نواحی استان فارس در آینده در طبقه نرمال قرار خواهد گرفت.

تحقیقات مختلفی در زمینه تغییرات شاخص‌های مختلف خشک-سالی تحت شرایط تغییر اقلیم به انجام رسیده است. در یک بررسی دستورانی و همکاران (Dastorani et al., 2011) اثرات بالقوه تغییر اقلیم را بر شاخص‌های خشک‌سالی (SPI و RDI) تحت دو سناریوی B₂ و A₂ در دو دوره پایه و 2010-2039 میلادی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که شاخص‌های مورد مطالعه تحت سناریوی A₂ روند منفی خواهند داشت، در حالی که این شاخص‌ها

1- Respiratory disturbance index

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی نیز مشخص شد که شاخص خشک‌سالی در بین سناریوهای انتشار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول 7) و در هر سه سناریو اکثر مناطق استان فارس در طبقه نرمال قرار گرفته‌اند.

جدول 6- مقایسه دوره‌های شبیه‌سازی تحت تغییر اقلیم آینده فارس با در نظر گرفتن شاخص SPI با استفاده از آزمون t

Table 6- Comparison of simulation periods under future climate change in Fars province regarding to SPI index using t-test

دوره ها Periods	آزمون آماری Statistical test	خطای استاندارد Standard error	احتمال معنی‌داری P- value
2046-2065 & 2011-2030	0.96 ^{ns}	0.19	0.99
2080-2099 & 2011-2030	0.78 ^{ns}	0.19	0.77
2080-2099 & 2046-2065	0.82 ^{ns}	0.19	0.77

ns: به معنای عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین دوره‌های مورد بررسی می‌باشد.

ns: Means absence of significant difference between the study periods.

جدول 7- مقایسه سناریوهای انتشار تحت تغییر اقلیم آینده فارس با در نظر گرفتن شاخص SPI با استفاده از آزمون t

Table 7- Comparison of emission scenarios under future climate change in Fars province regarding to SPI index using t-test

سناریوها scenarios	آزمون آماری Statistical test	خطای استاندارد Standard error	احتمال معنی‌داری P value
A ₁ B & B ₁	0.94 ^{ns}	0.19	0.94
A ₂ & B ₁	0.77 ^{ns}	0.19	0.83
A ₂ & A ₁ B	0.71 ^{ns}	0.19	0.87

ns: به معنای عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین سناریوهای انتشار می‌باشد.

ns: Means absence of significant difference between emission scenarios.

مدل HadCM3 تحت سناریوی A₂ در دوره 2080-2099 در نیریز (1/33) و کمترین شدت خشک‌سالی در شهرستان لامرد (2/58-) در دوره 2046-2065 با استفاده از مدل IPCM4 و تحت سناریوی A₁B به دست آمد. با توجه به این‌که استان فارس یکی از قطب‌های اصلی تولید محصولات کشاورزی است بهبود شاخص خشکی و قرار گرفتن اکثر مناطق استان در طبقه نرمال تحت شرایط تغییر اقلیم می‌تواند برای کشاورزی استان فارس به خصوص محصولات دیم مناسب باشد. البته باید افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم نیز مدنظر قرار گیرد که باعث افزایش تبخیر و تعرق شده و باید محصولات مناسب کشت شوند.

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی (Shahid Beheshti University, G.C.) با شماره قرارداد 600/4330/مصوب 1393/12/20 به انجام رسیده است که بدین وسیله تشکر و قدرانی می‌شود.

به طور کلی، در این تحقیق بیشترین شدت خشک‌سالی با استفاده از هر دو مدل اقلیمی تحت سناریوها و دوره‌های مختلف در شهرستان نیریز مشاهده شد (1/33) که در دوره 2080-2099 با استفاده از مدل HadCM3 و تحت سناریوی A₂ به دست خواهد آمد. همچنین در این بررسی کمترین شدت خشک‌سالی در شهرستان لامرد مشاهده شد (2/58-) که در دوره 2046-2065 با استفاده از مدل IPCM4 و تحت سناریوی A₁B به دست خواهد آمد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین مقدار شاخص خشک‌سالی در دوره پایه در شهرستان لامرد (0/75) و کمترین مقدار در شهرستان زرقان (2/54-) مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد در دوره پایه بخش عمده‌ای از استان فارس در طبقه نرمال (عمدتاً نیمه جنوبی) و خشکی ملایم (عمدتاً نیمه شمالی) قرار دارند و در شرایط تغییر اقلیم آینده بخش عمده‌ای از این استان با استفاده از این شاخص در طبقه نرمال قرار خواهند گرفت. در آینده و تحت شرایط تغییر اقلیم آینده بیشترین شدت خشک‌سالی با استفاده از

منابع

- 1- 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. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25: 851-863.
- 2- Aggarwal, P.K. 1994. Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India. *Agricultural Research Institute* p. 1-11.
- 3- Almorox, J., Benito, M., and Hontoria, C. 2005. Estimation of monthly Angstrom-Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. *Renewable Energy* 30: 931-936.
- 4- Ansari, H., and Davari, K. 2007. Zoning drought period using standardized precipitation index in GIS (case study: Khorasan province). *Journal of Geographical researches* 60: 97-108. (In Persian)
- 5- Babaeian, I., Najafi Nik, Z., Zabol Abasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H., and Malbousi, S. 2010. Assessment of climate change of country in 2010-2039 period using General Circulation Model data of ECHO-G. *Quarterly of Geography and Development* 16: 135-152. (In Persian)
- 6- Bannayan, M., and Eyshi Rezaei, E. 2014. Future production of rainfall wheat in Iran (Khorasan province): Climate change scenario analysis. *Mitigation Adaptation Strategy Global Change* 19: 211-227.
- 7- 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 Research* 93: 237-251.
- 8- 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. *International Journal of Biometeorology* 55: 387-401.
- 9- Bhalme, H.N., and Mooley, D.A. 1980. Large-scale droughts-floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review* 108: 1197-1211.
- 10- Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B., and Woodward, A. 2007. *Human Health, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., and Hanson, C.E. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 391-431.
- 11- Dastorani, M.T., Massah Bavani, A.R., Poormohammadi, S., and Rahimian, M.H. 2011. Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (case study: Yazd station, central Iran). *Desert* 16: 159-167.
- 12- Dibike, Y.B., and Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology* 307: 145-163.
- 13- Dinar, A., Mendelsohn, R., Evenson, R.E., Parikh, J., Sanghi, A., Kumar, K., McKinsey, J., and Lonergan, S. 1998. *Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture*. World Bank Technical Paper 402, Washington, D.C. p. 281.
- 14- Edwards, D.C., and McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97-2*. p. 155. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 15- Eyni Nargeseh, H. 2014. Predicting the possible impacts of climate change on wheat yield in Fars province using APSIM-Wheat. Master Dissertation, Department of Agroecology, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- 16- Eyni Nargeseh, H., Deihim Fard, R., Soufizadeh, S., Haghghat, M., and Nouri, O. 2014. Predicting impacts of climate change on irrigated Wheat yield in Fars province. In the conference of new finding in environmental and agricultural ecosystems, Tehran university, Iran, 20 December 2014. (In Persian with English Summary)
- 17- Eyshi Rezaie, E., and Bannayan, M. 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorological Application* 19: 346-354.
- 18- Eyvazi, M., and Mosaedi, A. 2011. Monitoring and analysis of meteorological drought in Golestan province using geostatistical methods. *Journal of Range and Watershed* 1: 65-78.
- 19- Farhanfar, S., Bannayan, M., Khazaei, H.R., and Mousavi Baygi, M. 2015. Vulnerability assessment of wheat and maize production affected by drought and climate change. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 13: 37-51.
- 20- Gandomkar, A., Hoseini Laghab, G.H.H., and Tirband, M. 2010. Zoning climate of Fars province by De Martonne method using GIS. *National Conference of Human, Environment and Sustainable Development*. 10-11 March.

- Islamic Azad University of Hamedan, Iran. (In Persian)
- 21- Hajarpoor, A., Yousefi, M., and Kamkar, B. 2012. Accuracy Assessment of Weather Assimulators of CLIMGEN, LARS-WG and Weather Man in Assimilation of three Different Climatic Parameters of three Different Climates (Gorgan, Gonbad and Mashhad). *Geography and Development Iranian Journal* 12(35): 201-216. (In Persian with English Summary)
 - 22- Hammer, G.L., and Nicholls, N. 1996. Managing for climate variability: The role of seasonal climate forecasting in improving agricultural systems, In: *Proc. Second Australian Conference on Agricultural Meteorology*. Bureau of Meteorology, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia p. 19-27.
 - 23- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y., and Melville, B.W. 2009. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. The 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on modelling and Simulation. Cairns, Australia.
 - 24- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., and Tsuji, G.Y. 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. I: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI p. 60.
 - 25- Huang, Y., Yu, Y., Zhang, W., Sun, W., Liu, S., Jiang, J., Wu, J., Yu, W., and Yang, Z. 2009. Agro-C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. *Agriculture and Forest Meteorology* 149: 106-129.
 - 26- Hulme, M., Barrow, E.M., Arnell, N.W., Harisson, P.A., Jones, T.C., and Dowing, T.E. 1999. Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. *Nature* 397: 688-691.
 - 27- IPCC. 2007. *Climate change (2007): The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, UK, and New York, NY, USA. 996 pp.
 - 28- IPCC. 2013. *Summary for policymakers*. In: *Climate Change (2013): Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
 - 29- IPCC. 2014. *Summary for policymakers*. In: *Climate Change (2014): Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., and White, L.L. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA p. 1-32.
 - 30- Jamieson, P.D., Porter, J.R., and Wilson, D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research* 27: 337-350.
 - 31- Jiang, R., Xie, J., He, H., and Lou, J. 2014. Use of four drought indices for evaluating drought characteristics under climate change in Shaanxi, China: 1951-2012, *Nat Hazards*.
 - 32- Khaliliaqdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A., and Kamkar, B. 2013. Evaluation of ability of LARS-WG model for simulation some weather parameters in Sanandaj. *Journal of Water and Soil Conservation* 19(4): 85-102. (In Persian with English Summary)
 - 33- Khosravi, M., Movagherei, A.R., and Mansoori Daneshvar, M.R. 2011. Assessment of PNI, RAI, SIP and SPI for zoning drought severity of Iran by comparing two interpolation method IDW and digital elevation model DEM. *Geography and Environmental Sustainability* 5: 53-70. (In Persian with English Summary)
 - 34- Kilsby, C.G., and Jones, P.D. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modeling and Software* 22: 1705-1719.
 - 35- Koocheki, A., Nassiri, M., Kamali, G.A., and Shahandeh, H. 2006. Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. *Arid Lands Research and Management* 20: 245-259.
 - 36- Li, B., Su, H., Chen, F., Wu, J., and Qi, J. 2013. The changing characteristics of drought in China from 1982 to 2005. *Nat Hazards* 68: 723-743.
 - 37- Loukas, A., Vasidiales, L., and Tzabiras, J. 2008. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences* 17: 23-29.
 - 38- McKee, N.J., Doesken, T.B., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *Proceedings of the*

- Ninth Conference on Applied Climatology Boston, MA. American Meteorological Society p. 233-236.
- 39- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. Boston, MA: American Meteorological Society 179-184.
 - 40- Moafi Madani, F., Mousavi Baygi, M., and Ansari, H. 2012. Predicting of drought in the Khorasan Razavi province during 2011-2030 by using statistical downscaling of HadCM₃ model output. Geography and Environmental Hazards 3: 3-4.
 - 41- Mohamadian, A., Kouhi, M., Adineh Baigi, A., Rasouli, S.J., and Bazrafshan, B. 2010. Comparison of monitoring of drought using SPI, DI and PNI and zoning them (case study: northern Khorasan province). Journal of Water and Soil Conservation 17(1): 177-184. (In Persian with English Summary)
 - 42- Moradi, H.R., Rajabi, M., and Faraj Zadeh, M. 2007. Analysis of trend and spatial characteristics of drought severities in Fars province. Journal of Pasture and Desert researches 14(1): 97-109. (In Persian with English Summary)
 - 43- Mosaedi, A., and Ghobadi Sogh, M. 2011. Modification of Standardized Precipitation Index (SPI) based on relevant probability distribution function. Journal of Water and Soil 25(5): 1206-1216. (In Persian with English Summary)
 - 44- Nakicenovic, N., and Swart, R. 2000. Emissions scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
 - 45- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G.A., and Shahandeh, H. 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. Archives of Agronomy and Soil Science 52: 113-124.
 - 46- Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvag, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., and Micale, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy 34: 96-112.
 - 47- Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC. No, 45. p. 65.
 - 48- Palmer, W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index, Weatherwise 21(4): 156-161.
 - 49- Prieto-Gonzalez, R., Cortes-Hernandez, V.E., and Montero-Martinez, M.J. 2011. Variability of the standardized precipitation index over Mexico under the A₂ climate change scenario. Atmosfera 24(3): 243-250.
 - 50- Prudhomme, C., Wilby, R.L., Crooks, S., Kay, A.L., and Reynard, N.S. 2010. Scenario-neutral approach to climate change impact studies: application to flood risk. Journal of Hydrology 390: 198-209.
 - 51- Racsko, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. Ecological Modeling 1(57): 27-41.
 - 52- Sanaiee Nezhad, H., Ansari, H., Davari, K., and Morid, S. 2003. Monitoring and assessment of severity of drought periods of Mashhad in Different time scales using Standardized Precipitation Index. Journal of Soil and Water Sciences 17(2): 201-209.
 - 53- Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User's Manual.
 - 54- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W. 1998. Comparison of the WGEN and LARSWG stochastic weather generators for diverse climates. Climate Research 10: 95-107.
 - 55- Shahian, R., Jame, A., Arianfar, R., Haghighat, M., and Dehghan, M. 2009. Zoning threshold drought crisis of Fars province by application rainfall criterion index SPI and GIS. Journal of Water Resources Engineering 2(4): 33-42. (In Persian)
 - 56- Sheffield, J., and Wood, E.F. 2011. Drought: past problems and future scenarios, Earthscan, London, UK and Washington, DC, USA. p. 184.
 - 57- Valizadeh, J., Ziaei, S.M., and Mazloumzadeh, S.M. 2013. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). Journal of the Saudi of Agricultural Sciences 78: 2-9.
 - 58- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., and Lopez-Moreno, J.I. 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate 23: 1696-1718.
 - 59- Wetterhall, F., Bardossy, A., Chen, D., Halldin, S., and XU, C. 2009. Statistical downscaling of daily precipitation over Sweden using GCM output. Theoretical and Applied Climatology 96: 95-103.

- 60- Wilby, R.L., and Wigley, T.M.L. 1997. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography* 21: 530-548.
- 61- Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. 1985. Understanding: The drought phenomenon: The role of definitions. *Water International* 10: 111-120.
- 62- Yan-Jun, L., Xiao-dong, Z., Fun, L., and Jing, M.A. 2012. Analysis of drought Evolvement characteristics based on Standardized Precipitation Index in the Huaihi river basin. *Procedia Engineering* 28: 434-437.
- 63- Zamaniyan, M.T., Behyar, M.B., Karimi Hosseini, A., and Vazifedoust, M. 2012. Agricultural drought monitoring and analysis using remotely sensed data from NOAA-AVHRR. *Journal of Climate Research* 3(9): 102-103.



Zoning of drought incident in Fars province under climate change conditions using standardized precipitation index

R. Deihimfard^{1*}, H. Eyni Nargeseh² and M. Haghghat³

Submitted: 20-05-2015

Accepted: 15-09-2015

Deihimfard, R., Eyni Nargeseh, H., and Haghghat, M. 2016. Zoning of drought incident in Fars province under climate change conditions using standardized precipitation index. *Journal of Agroecology* 7(4): 528-546.

Introduction

Today, Climate change issue is one of the main challenges for scientists and due to the critical role of water in human life, the study of climate change impacts on severity and frequency of drought in each region seems to be indispensable (Hulme et al., 1999). Drought is usually occurred over a period of water shortage owing to less rainfall, high evapotranspiration and pumping a huge amount of water from water tables. This issue could have extensive consequences on agriculture, ecosystems and communities. The objectives of this study were to predict meteorological parameters, calculation of drought index and its zoning under the changing climate in Fars province.

Materials and methods

In order to predict the future climate in nine districts of Fars province (including Shiraz, Eghlid, Fasa, Lar, Lamerd, Darab, Zarghan, Neyriz and Abadeh), two climate models (HadCM₃ and IPCM₄) was applied under three scenarios (B₁, A₁B and A₂). LARS-WG software was applied to downscale climate parameters (Semenov and Barrow, 2002). To predict incident probability of drought in the all study locations, a drought index (Standardize Precipitation Index, SPI) was calculated at a time scale of 12 months. SPI is the most commonly used drought index. SPI is calculated based upon the differences between monthly rainfall and average rainfall for a certain period of time according to the time scale (Mckee et al., 1995). In this study the SPI time series have been estimated for the historical base period 1980-1990 and for three future periods (2011-2030, 2046-2065, 2080-2099). Finally, drought maps and zoning were conducted in the whole province using GIS and based on IDW interpolation method.

Results and discussion

Results of climate models evaluation indicated that LARS-GW well predicted radiation, and maximum and minimum temperatures (RMSE of 0.51, 0.46 and 1.02%, respectively). However, the accuracy in prediction of rainfall was not as good as the other climatic variables (RMSE of 11.48%). This is mainly due to the fact that there is a high variability in rainfall under arid and semi-arid conditions. Other studies also showed that LARS-WG often over- or underestimate rainfall compared with other climatic variables. According to the simulated aridity index in the baseline period, Abadeh and Lar classified into extreme drought class (-2.48 and -2.09) while under future climate change Lamerd categorized in the extreme drought class. The most severe drought occurred in Neyriz (1.33) using HadCM₃ model under A₂ scenario in 2080-2099. While, the lowest drought severity obtained in Lamerd (-2.58) using IPCM₄ model under A₁B scenario in 2046-2065. According to the zoning maps, a vast majority of Fars province had normal climate in the baseline which, are mainly located in southern part of Fars including Neyriz, Darab, Fasa, Lamerd and Eghlid. In contrast, only a limited part of the study locations classified as drought included Abadeh, Zarghan and Lar. Results of t-test also showed that there is no difference between HadCM₃ and IPCM₄ climate models in terms of future climate prediction ($p \geq 0.05$). Results also revealed that for most of study locations, SPI would be in normal class for the all three periods compared

1, 2 and 3- Assistant Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, PhD Student in Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran and Instructor, Department of Agricultural Meteorology, Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran, respectively.

(* - Corresponding author Email: deihim@sbu.ac.ir)

with the baseline.

Drought zoning in the baseline in 12 month time scale indicated that the lowest drought was occurred in southern part of Fars while the most severe was observed in both northern areas and some limited part of the south. It was generally concluded that the major part of the Fars province was in normal (the southern half of the province) and moderate class (the northern half of the province) for baseline period according to SPI. However, for projected period, major part of regions would be in normal class. As the Fars province is one of the major producers of cereals in the country, it is estimated the area will benefit from climate change in the future particularly under rainfed conditions.

Conclusion

The results of the current study showed that drought would be intensified under climate change in Fars province and most of the area will benefit from changing climate in the future. However, it is necessary for the authorities to take the results into account, and have applicable water resources management strategies to be able to deal with possible problems in the future decades. Decision makings also should be accomplished with especial considerations to the uncertainties that almost appear in the results.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support of the project (No. 600/4330 on March 2015) by Vice President for Research and Technology, Shahid Beheshti University, G.C., Iran.

Keywords: Climate model, Downscaling, Fars, GIS, Interpolation

References

- Hulme, M., Barrow, E.M., Arnell, N.W., Harisson, P.A., Jones, T.C., and Dowing, T.E. 1999. Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability nature 397: 688-691.
- McKee, N.J., Doesken, T.B., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology Boston, M.A. American Meteorological Society 233-236.
- Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User's Manual.