

## توسعه یک مدل پیش‌بینی ریسک خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: زیرحوضه آبریز افین)

غزاله کواکبی<sup>۱</sup> - محمد موسوی بایگی<sup>۲\*</sup> - امین عزیززاده<sup>۳</sup> - ابوالفضل مساعدی<sup>۴</sup> - مهدی جباری نوقابی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

### چکیده

خشکسالی به عنوان پیچیده‌ترین، اما کمتر شناخته شده‌ترین خطر در میان تمام خطرات طبیعی است که نسبت به هر خطر طبیعی دیگر، درصد بیشتری از مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکسالی یکی از پدیده‌های طبیعی و مکرر اقلیمی است؛ تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی ترکیبی از تجزیه و تحلیل خطر خشکسالی و تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری خشکسالی است. در این مطالعه سعی شده است چشم‌اندازی از تغییرات ریسک خشکسالی هواشناسی در آینده نشان داده شود. مطالعه به صورت موردی برای زیرحوضه افین (واقع در استان خراسان جنوبی) انجام شده است. دوره آماری استفاده شده برای دوره پایه ۳۳ سال (۱۹۸۳-۲۰۱۵) می‌باشد. داده‌های آینده براساس سه مدل از پروژه CORDEX بدست آمده است. دوره آتی، به سه دوره ۲۷ ساله شامل، آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۶)، آینده میانی (۲۰۴۷-۲۰۷۳) و آینده دور (۲۰۷۴-۲۱۰۰) تقسیم شده است. به منظور محاسبه ریسک خشکسالی، مخاطره خشکسالی براساس سه شاخص خشکسالی SPEI، SPI و eRDI برای دوره پایه و دوره‌های آتی و پس از آن آسیب‌پذیری تعیین شد. افزایش شدت خشکسالی‌ها در دوره‌های آتی از دیگر نتایج حاصل از این مطالعه است. خروجی‌های ریسک بدست آمده از روش مستقیم محاسبه ریسک که با داده‌های CORDEX و نیز روش استفاده از مدل پیش‌بینی ریسک که در این مطالعه بدست آمد، نشان از افزایش تعداد وقایع خشکسالی و بدنبال آن افزایش وقایع ریسک خشکسالی در منطقه دارد. همچنین، مشاهده شد شدت ریسک خشکسالی‌ها براساس سناریوی انتشار RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 می‌باشد

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری خشکسالی، ریسک خشکسالی، مخاطره خشکسالی، ARIMA، CORDEX

### مقدمه

بارندگی قابل توجه باشد، ممکن است یکی از جدی‌ترین خطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی باشد، عبارت دیگر در صورتی که الگوی مکانی و زمانی بارش تغییر کند، می‌تواند بر اقلیم بخش‌های مختلف کره زمین به واسطه پدیده‌های دور پیوند، اثرگذار باشد (۳۰). در حال حاضر شواهد قوی در مورد گرمایش جهانی وجود دارد و بر اساس بسیاری از شواهد متعدد، گروه بین‌دولتی تغییرات آب و هوایی (۲۵) نتیجه گرفته است که بیشترین افزایش در دمای هوا در سطح جهانی از اواسط قرن ۲۰م به دلیل افزایش در غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت انسانی می‌باشد. گرمایش جهانی منجر به تغییر در بارندگی و سایر متغیرهای آب و هوایی خواهد شد (۱۹). اولین راه شناسایی وقایع خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی می‌باشند که معمولاً در این شاخص‌ها عوامل هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیک را در نظر می‌گیرند. سپس احتمال خشکسالی محاسبه می‌شود (۳۴). تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی، ترکیبی از تجزیه و تحلیل خطر خشکسالی و تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری خشکسالی است (۲۴). روش‌های بررسی ریسک خشکسالی را می‌توان هم به روش‌های سنتجش از دور و هم به روش‌های آماری و یا تلفیقی از هر دو روش، محاسبه کرد. پایه و اساس تمامی مطالعات ریسک، براساس تعریف معمول ریسک که عبارت است از حاصلضرب احتمال وقوع پیشامد

در سراسر جهان، خشکسالی در میان تمام خطرات طبیعی از نظر تعداد افرادی که به طور مستقیم تحت تأثیر قرار دارند، رتبه اول را دارد (۱۶). خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی فصلی، یک پدیده شایع در کشورهای دارای آب و هوای نیمه‌گرمسیری است و افزایش آن در آینده، قابل انتظار است. خشکسالی از جمله پدیده‌های طبیعی و مکرر اقلیمی در زمین است. مدل‌های آب و هوایی و مشاهدات ماهواره هر دو نشان می‌دهند که مقدار کل آب موجود در اتمسفر به میزان ۷٪ در هر واحد کلونین گرمایش سطحی، افزایش خواهد یافت، این درحالی است که مدل‌های آب و هوایی پیش‌بینی می‌کنند که بارش‌های جهانی به میزان بسیار کمتر، حدود ۱ تا ۳ درصد در هر درجه کلونین افزایش پیدا کنند. اگر تغییرات شدت و توزیع مکانی

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(\*) نویسنده مسئول: (Email: mousavib@um.ac)

۵- استادیار گروه علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد

استفاده نمودند. شاخص خشکسالی استفاده شده در این مطالعه، پالمر<sup>۱</sup> PDSI می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه‌ای دما، ریسک خشکسالی به صورت قابل توجهی افزایش پیدا خواهد کرد. البته این افزایش دما در برخی مناطق بیشتر (مدیترانه، اروپای مرکزی و جنوب افریقا) و در برخی مناطق (جنوب شرق آسیا) این افزایش معنی‌دار بنظر نمی‌رسد.

خلیلی و بذرافشان (۱۲) ریسک خشکسالی هواشناسی را محاسبه نموده‌اند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود ریسک را به صورت احتمال عبور از یک پدیده بحرانی، در مدت زمان معین تعیین نمودند. پورطاهری و همکاران (۲۰) مطالعه‌ای با هدف کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان روستایی در برابر پیامدهای خشکسالی با تأکید بر مدیریت ریسک انجام دادند. برای این منظور در ابتدا به بررسی سطوح آسیب‌پذیری پرداخته شده و با تکمیل پرسشنامه مهم‌ترین ابعاد آسیب‌پذیری در مناطق روستایی مشخص گردید. قاسمی‌نژاد و همکاران (۲۳) ریسک خشکسالی استان اصفهان را بررسی نمودند. ریسک خشکسالی به صورت تابعی از شاخص خطر و شاخص آسیب‌پذیری تعریف نمودند. شاخص SPI به عنوان شاخص خطر خشکسالی در نظر گرفته شد. آنالیز آسیب‌پذیری از طریق شاخص‌های اقتصادی - اجتماعی و شاخص فیزیکی انجام شد. روش مورد استفاده برای تلفیق لایه‌های آسیب‌پذیری، روش ترکیب خطی وزنی و روش مورد استفاده برای استانداردسازی و وزن دهی به معیارها، به ترتیب از روش تابع فازی و روش تحلیل ساختار سلسله مراتبی می‌باشد. برای پیش‌بینی و داشتن اطلاعاتی اقلیمی از آینده، می‌توان از مدل‌های متعددی که در دهه های اخیر بسط و توسعه یافته، استفاده نمود. مدل‌های GCM که در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول گزارش شده است، مدل‌های مناسبی برای دستیابی به اطلاعات اقلیمی آینده می‌باشد. به منظور استفاده بهتر از این مدل‌ها، مناسب است که تصحیحاتی بر روی این داده‌ها انجام شود. یکی از روش‌های تصحیح مقادیر خروجی‌های ریزمقیاس شده این مدل‌ها، روش تغییر فاکتور<sup>۲</sup> می‌باشد.

های و همکاران (۷) مطالعه‌ای برای مقایسه بین تغییر دلتا و سناریوهای ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی انجام دادند. در اینجا دو روش تولید سناریوهای آب و هوایی مقایسه شد: ۱) تغییرات دلتا (۲) ریزمقیاس‌نمایی آماری. نتایج این مطالعه نشان داد که در حوضه‌های آزمایش شده، مدل بارش-رواناب می‌تواند سری رواناب واقع گرایانه را برای شرایط فعلی با استفاده از خروجی NCEP از لحاظ آماری به دست آورد.

با توجه به توضیحات بیان شده، محاسبه ریسک خشکسالی به شناخت دید دقیق و مناسب از وضعیت خشکسالی در هر منطقه کمک می‌نماید. در واقع این شناخت، باعث کمک به مدیران برای اتخاذ

مورد نظر (خشکسالی مشخص) با شدت مشخص (مخاطره) در میزان آسیب‌پذیری آن پیشامد، می‌باشد. تفاوت در روش‌ها می‌تواند در قسمت محاسبه مخاطره و یا آسیب‌پذیری باشد. در واقع، محاسبه ریسک خشکسالی، نمایی مناسب و دقیق‌تر از خشکسالی را نمایش می‌دهد چرا که علاوه بر داشتن شدت آن، احتمال وقوع هر واقعه خشکسالی و تأثیری که این پدیده بر محیط و منطقه مورد بررسی می‌گذارد را به طور همزمان در برمی‌گیرد. اثرات مخرب و خسارت‌های وارده به دلیل این پدیده طبیعی در مناطق و زمان‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. این بدان دلیل است که برخی از نواحی به علت عوامل فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به خشکسالی مستعدترند و از طرفی ظرفیت آمادگی، سازگاری و مقابله آن‌ها با هم فرق می‌کند. به منظور بررسی ریسک خشکسالی، مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور صورت پذیرفته است. وائو و ولهاپیت (۳۳) ریسک خشکسالی را برای ذرت و سویا در نبراسکا بررسی نمودند. آن‌ها از داده‌های هفتگی در طی فصل رشد و دوره‌های قبل از کشت به عنوان عاملی تأثیرگذار در ریسک استفاده کردند. در این مطالعه، ریسک با روش چند متغیره آماری محاسبه شد. در انتها، نقشه ریسک پس از اعتبارسنجی، با استفاده از نرم‌افزار GIS رسم شد. نتایج این مطالعه حاکی از تأثیرگذاری کم تغییرات اقلیمی بر روی محصول ذرت و سویا می‌باشد.

شهید و بهروان (۲۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک در بخش غربی بنگلادش پرداختند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود روشی برای ارزیابی مکانی ریسک خشکسالی در بنگلادش را نشان دادند. در ابتدا شاخص SPI در محیط GIS به منظور نشان دادن مخاطره آن در گام‌های زمانی مختلف تهیه شد. سپس عوامل کلیدی اجتماعی و فیزیکی که آسیب‌پذیری آن را در بافت بنگلادش تعریف می‌کنند شناسایی و نقشه‌های مربوط به موضوعی در سطح منطقه آماده شد. نقشه ترکیبی آسیب‌پذیری از تجمیع نقشه‌های موضوعی اجتماعی و فیزیکی تهیه شد. بدین ترتیب ریسک به عنوان یک محصول از ادغام مخاطره و آسیب‌پذیری محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که خشکسالی بیشترین خطر را برای مناطق شمالی و شمال غربی بنگلادش دارا می‌باشد. پی و همکاران (۲۰) آنالیز مکانی- زمانی ریسک خشکسالی در استان هیلونگجیانگ، چین را انجام دادند. آن‌ها به منظور بهبود پیش‌بینی ریسک کشاورزی، مدل ترکیبی را توسعه دادند. مطالعه آن‌ها نشان داد که تفاوت در ریسک‌های خشکسالی در مناطق مختلف به دلیل تفاوت در میزان بارندگی و منابع آب در منطقه می‌باشد. تجزیه و تحلیل روند نشان داد که قرار گرفتن در معرض خطر هر منطقه، یک روند افزایشی دارد. لنر و همکاران (۱۵) پیش‌بینی ریسک خشکسالی را در صورت افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گرادی در دمای هوا انجام دادند. آن‌ها در این مطالعه از داده‌های سناریوی RCP8.5

1- Palmer Drought Severity Index (PDSI)

2- Change factor

تبخیرسنجی داخل و اطراف حوضه گردآوری شده است. با توجه به وسعت کم حوضه، در انتها پس از انجام و بررسی دوره پایه مشترک و نیز آزمون‌های آماری پایه (آزمون همگنی و ایستایی، بررسی روند، بررسی تصادفی بودن داده‌ها و داده پرت که به ترتیب از آزمون‌های آماری من-ویتنی<sup>۵</sup>، آزمون من-کندال<sup>۶</sup>، آزمون توالی<sup>۷</sup> و آزمون گرویز-بک<sup>۸</sup> استفاده شد) تمام ایستگاه‌ها موجود، از دو ایستگاه باران سنجی افین و قائن و نیز دو ایستگاه تبخیرسنجی افین و قائن استفاده شد. سال‌های آماری مورد مطالعه برای دوره پایه، ۳۳ سال (۲۰۱۵-۱۹۸۳) می‌باشد.

برای انجام محاسبات این بخش از پکیج‌های lawstat، gMWT، kendall و در محیط نرم‌افزاری R-studio استفاده شد.

لازم به ذکر است با توجه به اینکه هدف این مطالعه، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر ریسک خشکسالی می‌باشد، لذا برای انتخاب حوضه مورد مطالعه، باید شرایط ذیل برقرار باشد.

- ۱) تغییر کاربری اراضی طی چند دهه اخیر خیلی کم و در بهترین حالت، تغییر کاربری اراضی حادث نشده باشد.
- ۲) سهم پوشش برف در تولید رواناب منطقه، بسیار ناچیز باشد، به گونه‌ای که بتوان مقدار رواناب منطقه را تنها ناشی از بارش باران دانست.
- ۳) اطلاعات و داده‌های هواشناسی و داده‌های مربوط به محصول کشاورزی منطقه تا حد امکان در دسترس باشد.

لازم به ذکر است که شاخص شناسایی خشکسالی مؤثر اصلاح شده شاخص خشکسالی<sup>۹</sup> RDI (شاخص شناسایی خشکسالی) می‌باشد (۲۷) در این شاخص بارش مؤثر جای کل بارش استفاده می‌شود. جهت محاسبه میزان بارش مؤثر از روش<sup>۱۰</sup> USBR که مناسب مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد، استفاده شده است (۴) (معادلات ۱ و ۲). به منظور بررسی ریسک خشکسالی‌های هواشناسی براساس سه شاخص SPI، SPEI و eRDI برای دوره آتی، از داده‌های حاصل از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد. داده‌های ریزمقیاس شده از پروژه CORDEX تهیه شد. در بسیاری از پژوهش‌های مرتبط با موضوع تغییر اقلیم اقدام به ریزمقیاس نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی به روش‌های مختلف می‌شود و یا اینکه از داده‌های ریزمقیاس شده استفاده می‌شود. سازمان جهانی هواشناسی برای استانداردسازی ریزمقیاس نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی پروژه‌ای به نام CORDEX را در دست اجرا دارد.

تصمیم‌های بهتر برای سازگاری با خشکسالی در دوره‌های زمانی آتی می‌باشد. از این رو در این مطالعه، حوضه آبریز افین (واقع در استان خراسان جنوبی) بعنوان یک نمونه موردی برای بررسی پایش و پیش‌بینی ریسک خشکسالی هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. برای پایش وضعیت ریسک خشکسالی در دوره پایه این منطقه از داده‌های مشاهداتی و برای بررسی ریسک خشکسالی در دوره‌های آتی، از داده‌های ریزمقیاس شده اقلیمی حاصل از پروژه CORDEX<sup>۱</sup> شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه آبریز افین، واقع در بین عرض‌های ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی تا ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی تا ۵۳ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی واقع شده است. وسعت این حوضه ۶۵۵ کیلومتر مربع می‌باشد. این زیرحوضه در حوضه اسفدن واقع شده است. اسفدن از سمت شمال شرقی با منطقه زوزن و پس از آن با نمکزار خواف و از سمت شمال غربی به قائن، از سمت جنوب شرقی به شاهرخت و از سمت جنوب غربی به سده و پس از آن بیرجند در ارتباط است. متوسط بارندگی در منطقه حدود ۱۵۶/۴ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه، ۱۴/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. موقعیت جغرافیایی زیرحوضه افین در شکل ۱ نشان داده شده است. اقلیم این زیرحوضه براساس اقلیم بندی دوماستن خشک و براساس اقلیم بندی آمبرژه خشک سرد می‌باشد. وجود این اقلیم (خشک و سرد) زیرحوضه را مناسب برای کشت زرشک کرده است. اقتصاد روستایی زیر حوضه افین از سالیان دور بر مبنای کشاورزی و محصول شاخص زرشک بوده است. بیشترین زرشک تولیدی کشور در اینجا به ثمر می‌رسد.

### داده‌ها

به منظور ارزیابی ریسک خشکسالی هواشناسی در دوره پایه و پیش‌بینی آن برای زمان‌های آتی و با توجه به اینکه شاخص‌های خشکسالی به کار رفته در این مطالعه، سه شاخص خشکسالی، بارش استاندارد شده<sup>۲</sup> (SPI)، شاخص خشکسالی بارش-تبخیر تفرق استاندارد شده<sup>۳</sup> (SPEI) و شاخص شناسایی خشکسالی مؤثر<sup>۴</sup> (eRDI) می‌باشد، از این رو از داده‌های متوسط دمای حداکثر، متوسط دمای حداقل، متوسط دما در ارتفاع ۲ متری سطح زمین و بارش استفاده شد. داده‌های لازم برای دوره پایه از ایستگاه‌های باران‌سنجی و

5- Mann-Whitney Test

6- Mannkendall Test

7- Run Test

8- Grubbs-Back Test

9- Reconnaissance drought index

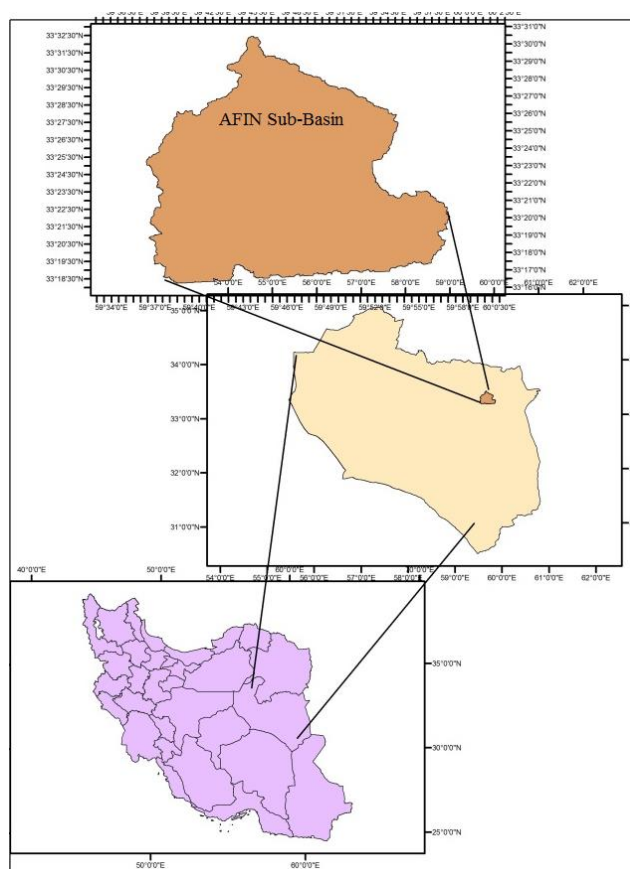
10- United States Bureau of Reclamation

1- Cordinated Regional climate Downscaling EXperiment

2- Standardized Precipitation Index

3- Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index

4- effective reconnaissance drought index



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه افین  
Figure 1- Geographical location Afin sub-basin

آینده در خوش بینانه‌ترین حالت و بدبینانه‌ترین وضعیت ممکن می‌باشد. از آنجایی که نیاز به داده‌های بارش، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری می‌باشد، بنابراین مدل‌هایی باید انتخاب شود که دوره تاریخی آن‌ها و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 آن‌ها یکسان باشد، از این‌رو از میان چندین مدل موجود، تنها سه مدل انتخاب شد (جدول ۲). پس از انتخاب مدل‌ها و تهیه آن‌ها، مناسب بودن بررسی گردید. برای این منظور در ابتدا داده‌های دوره مشاهداتی با داده‌های تاریخی در همان زمان دوره مشاهداتی، مورد بررسی قرار گرفتند و ضرایب همبستگی، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب نتش - ساتکلیف (NS) محاسبه شد. در ادامه با توجه به نتایج ضرایب قبل، اقدام به تصحیح مقادیر بارش، متوسط دمای حداکثر، متوسط دمای حداقل و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری شد. روش تصحیح استفاده شده، روش تغییر فاکتور<sup>۲</sup> می‌باشد. برای داده بارش، تغییر فاکتور ضربی استفاده شد. پس از تصحیح مقادیر بارش و پارامترهای دمایی، به منظور کاهش خطای عدم

از CORDEX تحت برنامه جهانی WCRP<sup>۱</sup> می‌باشد. هدف از پروژه CORDEX مدل‌سازی اقلیم کره زمین بر اساس استاندارد بین‌المللی با هماهنگی برنامه WCRP و بررسی پیامدهای تغییر اقلیم و روش‌های سازگاری با آن در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد. اغلب کشورها از مدل‌های WRF و RegCM4 برای مدل‌سازی اقلیم آینده مناطق ۱۳ گانه مشخص شده توسط CORDEX استفاده می‌کنند. کشورمان از نظر جغرافیایی در مناطق ۶ (جنوب آسیا) و ۸ (آسیای مرکزی) پروژه یاد شده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه مدل‌های مناسب برای منطقه مورد بررسی، در دامنه MENA (خاورمیانه و شمال آفریقا) می‌باشد و نیز براساس اینکه در این تحقیق سعی شده است که ریسک با دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 محاسبه شود، از این‌رو علی‌رغم وجود مدل‌های با قدرت تفکیک ۲۲ کیلومتر، اما بدلیل دارا نبودن شرایط مذکور (مدل ۲۲ کیلومتری برای چهار پارامتر هواشناسی موردنیاز این مطالعه در MENA و یا عدم وجود RCP4.5 یا RCP8.5 از این‌رو، از مدل‌ها با قدرت تفکیک ۴۴ کیلومتر معادل ۰/۴۴ درجه استفاده شد. علت انتخاب این دو سناریو، بررسی ریسک

شاخص آسیب‌پذیری محاسبه شد. با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری و باتوجه به معادله محاسبه ریسک، مقدار ریسک برای دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۳) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۱۰) محاسبه شد. لازم به ذکر است به منظور مقایسه و آشکارسازی تغییرات ریسک خشکسالی ناشی از تغییرات اقلیمی، دوره پایه یک دوره ۲۷ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۹) انتخاب و دوره آتی به سه دوره ۲۷ ساله آینده نزدیک (۲۰۴۶-۲۰۲۰)، آینده میانی (۲۰۷۳-۲۰۴۷) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۴) تقسیم شد.

برای آشکارسازی تغییرات اقلیمی از آزمون مقایسه میانگین من-ویننی استفاده شد. مقایسه‌ها میان دوره پایه و سه دوره آتی و نیز میان هر یک از دوره‌های آتی با یکدیگر انجام شد.

$$R = H * V \quad (۵)$$

براساس معادله فوق (معادله ۵) مقدار ریسک خشکسالی، H، مخاطره خشکسالی و V برابر با مقدار شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی منطقه می‌باشد.

مقیاس‌های زمانی استفاده شده در این مطالعه فصل‌های پاییز، زمستان، بهار، ۹ ماه منتهی به آبان (فصل برداشت زرشک در منطقه) و ۱۲ ماه منتهی به شهریور (سالانه) می‌باشد. در انتها، به منظور پیش‌بینی ریسک خشکسالی برای سال‌های آتی، جهت محاسبه ساده ریسک و عدم نیاز به محاسبه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI، SPEI و eRDI از مدل‌های سری زمانی ARRIMA جهت پیش‌بینی ریسک استفاده شد. در واقع، از مدل‌های سری زمانی ARIMA برای پیش‌بینی مقادیر مخاطره استفاده شده و پس از محاسبه مخاطره براساس شاخص خشکسالی مورد نظر، مقدار ثابت آسیب‌پذیری در مقدار مخاطره پیش‌بینی ضرب خواهد شد و مقدار ریسک محاسبه می‌شود.

لازم به ذکر است که تمامی محاسبات با استفاده از نرم‌افزار R، انجام شده است. برای استفاده از خروجی‌های مدل‌های اقلیمی از نرم‌افزارهای GrADS و NCDump تحت سیستم عامل Linux استفاده شد.

## نتایج و بحث

### پایش خشکسالی در دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۵)

به‌طور کلی می‌توان گفت که شاخص SPI نسبت به دو شاخص SPEI و eRDI وقایع خشکسالی را کمتر نشان می‌دهد. دلیل این امر شاید به واسطه استفاده از بارش، به‌عنوان تنها متغیر تأثیرگذار در برآورد میزان خشکسالی دانست.

قطعی ناشی از انتخاب مدل، یک مدل ترکیبی<sup>۱</sup> براساس سه مدل اقلیمی استفاده شده، توسعه داده شد. برای توسعه این مدل از روش بیزین<sup>۲</sup> استفاده شد (معادله ۲). پس از این مرحله، شاخص خشکسالی هواشناسی SPI، SPEI و eRDI محاسبه شد. پس از اینکه مقدار شاخص خشکسالی محاسبه شد، با استفاده از رابطه ذیل (معادله ۳) مقدار مخاطره خشکسالی برآورد گردید. مخاطره در واقع، حاصلضرب احتمال وقوع یک پدیده خشکسالی در شدت آن می‌باشد.

$$p_e = p \times \frac{125 - 0.2 \times p}{125} \quad p \leq 250 \text{ mm} \quad (۱)$$

$$p_e = 0.1 \times p + 125 \quad p > 250 \quad (۲)$$

$$W_i = \frac{1}{\Delta x_i} \quad (۳)$$

$$H = W \times P(x) \text{ class} \times I \quad (۴)$$

در معادله (۳) که معادله وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی (دما و بارش) در قالب رویکرد بیزین می‌باشد،  $W_i$  وزن داده شده به هر یک از مدل‌ها،  $\Delta x_i$  اختلاف میانگین دما (بارش) شبیه‌سازی شده دوره آینده از میانگین دمای (بارش) مشاهداتی دوره پایه در هر ماه (i) و n تعداد مدل‌ها-سناریوها می‌باشد (۸). در معادله (۳)  $P(x) \text{ class}$  نمایانگر احتمال وقوع هر طبقه خشکسالی می‌باشد. برای محاسبه طبقه خشکسالی هر طبقه، باتوجه به جدول طبقه‌بندی خشکسالی و با توجه به اینکه چهار طبقه خشکسالی (خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید) موجود می‌باشد، با استفاده از جدول Z نرمال و با توجه به مقادیر شدت خشکسالی هر طبقه، احتمال وقوع خشکسالی برای هر طبقه مطابق جدول ۳ محاسبه شد. W، وزن هر طبقه می‌باشد. وزن هر طبقه براساس طبقه شدت خشکسالی‌ها تعیین می‌شود، بدین ترتیب که طبقه خشکسالی خفیف وزن ۱، طبقه خشکسالی متوسط وزن ۲ و طبقه خشکسالی شدید وزن ۳ و طبقه خشکسالی خیلی شدید طبقه ۴ را می‌گیرد. I نیز بیانگر شدت خشکسالی SPI و SPEI برای هر واقعه خشکسالی می‌باشد.

با توجه به رابطه محاسبه ریسک (معادله ۵)، مقدار آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه نیز باید تعیین شود. از این‌رو، اقدام به تهیه و تکمیل پرسش‌نامه شد. پرسش‌نامه متشکل از سه شاخص اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و تعداد ۳۷ گویه (۱۲ گویه اقتصادی، ۸ گویه اجتماعی و ۱۷ گویه زیست‌محیطی) می‌باشد. با توجه به هدف مطالعه و با استفاده از نرم‌افزار آماري NC-PASS تعداد نمونه مشخص گردید. تعداد ۴۶ نمونه برای این مطالعه مشخص شد. پس از تکمیل پرسش‌نامه به کمک کشاورزان در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از آزمون‌های تحلیل عاملی اکتشافی<sup>۳</sup> و تأییدی<sup>۴</sup> مقدار

1- Ensemble

2- Bayesian Approach

3- Exploratory Factor Analysis

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص خشکسالی SPI، SPEI، eRDI

Table 1- Different classes of drought index SPI, SPEI, eRDI (SPI: Mckee et al, 1993, SPEI: Vicent-serrano et al, 2010, eRDI: Tigkas et al, 2017)

Describe the situation	Indicator classes
توصیف حالت	شاخص طبقه
Extra severe wet ترسالی خیلی شدید	More Than 2 بیشتر از ۲
Severe wet ترسالی شدید	1.5 - 1.99
Moderate wet ترسالی متوسط	1 - 1.49
Normal نرمال	-0.99 - 0.99
Moderate drought خشکسالی خفیف	-1.49 - -1
Severe drought خشکسالی شدید	-1.99 - -1.5
Extra severe drought خشکسالی خیلی شدید	Less Than-2 کمتر از -۲

جدول ۲- مشخصات مدل‌های اقلیمی استفاده شده در این مطالعه

Table 2- Specifications of climatic models used in this study

Modeling Center or Modeling Group مرکز مدل سازی یا گروه مدل سازی	Country کشور	Institute ID شناسه مؤسسه	model name نام مدل
Modèle du Centre National de Recherches Météorologiques - Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique مدل مرکز ملی تحقیقات هواشناسی-مرکز تحقیقات و آموزش پیشرفته اروپا در محاسبات علمی	France فرانسه	CNRM-CERFACS	CNRM-CM5
NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیک NOAA	USA ایالات متحده امریکا	NOAA GFDL	GFDL-ESM2M
EC-EARTH consortium کنسرسیوم EC-EARTH	Ireland ایرلند	EC-EARTH	EC-EARTH

جدول ۳- احتمال وقوع و وزن طبقات خشکسالی برای هر طبقه خشکسالی SPI، SPEI، eRDI

Table 3- Likelihood of occurrence and weight of drought classes for each drought class SPI, SPEI, eRDI

Weight class وزن طبقه	The possibility of class احتمال وقوع طبقه	Intensity of classes شدت طبقه	Describe the situation توصیف حالت	Abbreviation مخفف
1	0.3159	-0.99 - 0	Mild drought خشکسالی خفیف	M
2	0.0906	-1.49 - -1	Moderate drought خشکسالی متوسط	Mo
3	0.0445	-1.99 - -1.5	Severe drought خشکسالی شدید	S
4	0.0226	Less than -2 کمتر از -۲	Extra severe drought خشکسالی خیلی شدید	ES

است). اما در ارتباط با شدت خشکسالی‌ها باید گفت که شاخص eRDI شدت‌های شدیدتری از خشکسالی را در منطقه مورد بررسی نشان داده‌اند. در سال‌هایی که هر سه شاخص به‌طور مشترک خشکسالی نشان داده است، دیده می‌شود که شاخص SPI مانند

در مقایسه بین دو شاخص SPEI و eRDI نیز می‌توان بیان داشت که هر دو شاخص تقریباً تعداد وقایع خشکسالی را یکسان نشان داده‌اند (البته شاخص eRDI در مقیاس‌های زمانی بهار و سالانه وقایع خشکسالی را دو مورد بیشتر نسبت به شاخص SPEI نشان داده

باتوجه به سناریوی RCP4.5 مدل ICHEC-EARTH بیشترین ضریب را در مدل ترکیبی داشته است، براساس سناریو RCP8.5 سه دوره آبی متفاوت است، اما به‌صورت کلی می‌توان گفت در آینده نزدیک مدل CNRM، در آینده میانی هر دو مدل CNRM و ICHEC-EARTH به صورت یکسان در مدل تأثیر داشته‌اند و در آینده دور مدل ICHEC-EARTH دارای بیشترین تأثیر می‌باشد. برای هر سه پارامتر دمایی، و براساس هر دو سناریو، مدل GFDL-ESM2M بیشترین وزن را در تهیه مدل ترکیبی داشته است. علت تأثیر بیشتر مدلی نسبت به مدل دیگر را می‌توان در برآورد و پیش‌بینی میزان بارش دانست. چون تمامی مدل‌ها برای تعیین وزن در روش بیزین با دوره بارش در زمان مورد مطالعه مقایسه می‌شوند. بنابراین مدلی که بیشترین وزن را گرفته است، دارای بیشترین میزان نزدیکی با مقادیر واقعی بارش در دوره مشاهداتی این مطالعه داشته است.

#### پیش‌نگری خشکسالی در دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

در بررسی این بخش، همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد، دوره ۸۱ ساله آبی به سه دوره ۲۷ ساله آینده نزدیک (۲۰۴۶-۲۰۲۰)، آینده میانی (۲۰۷۳-۲۰۴۷) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۴) تقسیم شد. در این بخش نیز با توجه به اینکه داده‌ها براساس دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 تهیه شده است، از این‌رو باید نتایج را براساس هر دو سناریو به‌صورت مجزا بیان نمود. با توجه به سناریو RCP4.5، نتایج حاصل از بررسی مقادیر شدت خشکسالی SPI و SPEI در این دوره نیز نشان از برابری دو شاخص در نمایش تعداد دفعات وقوع پدیده‌های خشکسالی می‌باشد. اما همانند دوره پایه در این دوره نیز، شاخص SPI شدت‌های شدیدتری از خشکسالی را نشان می‌دهد و همانند دوره پایه، شاخص SPI در فصل بهار، پاییز و ۹ ماه منتهی به آبان (نوامبر-دسامبر) و ۱۲ ماه منتهی به شهریور (سپتامبر-اکتبر) شدت خشکسالی‌های شدیدتر از ۲- نیز مشاهده شد.

شاخص eRDI شدت‌های شدید خشکسالی را نسبت به شاخص SPEI نشان داده است. براساس هر سه شاخص خشکسالی، مشاهده می‌شود که زیرحوضه افین در طی ۲۷ سال اخیر، تجربه‌های خشکسالی جدی و زیادی را نداشته است. باتوجه به شاخص eRDI به‌عنوان سختگیرانه‌ترین شاخص در میان سه شاخص مورد بررسی و نیز شاخص SPI به‌عنوان شاخصی با سختگیری کمتر، فصل بهار و فصل زراعی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک (آبان ماه) تنها مقیاس‌هایی هستند که تجربه خشک دوره‌های خیلی شدیدی را داشته‌اند.

#### نتایج بررسی مناسب بودن مدل‌های اقلیمی مورد بررسی و توسعه یک مدل ترکیبی

داده‌های تاریخی در این مطالعه دارای دوره آماری ۵۵ ساله (۱۹۵۱-۲۰۰۵) و داده‌های مشاهداتی دوره ۳۳ ساله (۱۹۸۳-۲۰۱۵) می‌باشد. به منظور بررسی دقت و توانایی مدل‌های اقلیمی انتخاب شده، دوره پایه مشترک ۲۲ ساله (۱۹۸۳-۲۰۰۵) میان داده‌های مشاهداتی و داده‌های تاریخی استفاده شده است. برای بررسی مناسب بودن مدل‌های اقلیمی استفاده شده، از ضرایب همبستگی، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب نتش-ساتکلیف (NS) استفاده شد (جدول ۴). نتایج این ضرایب حاکی از مناسبت کامل تمام مدل‌های دمایی و برای هر سه پارامتر دمایی (متوسط دمای حداکثر، متوسط دمای حداقل و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین) می‌باشد. اما هر سه مدل بارش استفاده شده در این مطالعه، هیچ یک مناسب بودن آن‌ها تأیید نشد، از این‌رو با استفاده از روش تغییر فاکتور، سعی در تصحیح مقادیر بارش برای منطقه مورد استفاده در هر سه مدل شد. پس از اینکه مقادیر تصحیح شدند، سپس با استفاده از روش بیزین مدل ترکیبی برای بارش و پارامترهای دمایی مشخص گردید. در واقع براساس این متد، ضریب وزن هر یک از مدل‌ها تعیین و با استفاده از میانگین وزنی و براساس هر سه مدل، مقدار نهایی پارامتر مورد نظر محاسبه می‌شود. براساس روش بیزین برای داده‌های بارش،

جدول ۴- مقادیر ضرایب نتش ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) میان داده‌های تاریخی مدل‌ها و داده‌های مشاهداتی برای دوره پایه مشترک آماری (۱۹۸۳-۲۰۰۵) پارامتر بارش و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین

Table 4- The values of the Sutcliffe coefficient (NS), the coefficient of variation and correlation coefficient ( $R^2$ ) between the historical data of the models and observational data for the rainfall parameter and the mean temperature at 2 meters above the ground

Meteorological parameter پارامتر هواشناسی	Climate model مدل اقلیمی	$R^2$	R	NS
Precipitation بارش	CNRM-CERFAC	0.02	0.04	-0.60
	GFDL-ESM2M	0.09	0.1	-0.60
	ICHEC-EC-EARTH	0.41	0.2	-0.58
Average temperature 2 m above the ground متوسط دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین	CNRM-CERFAC	0.94	0.94	0.76
	GFDL-ESM2M	0.97	0.94	0.79
	ICHEC-EC-EARTH	0.96	0.92	0.71

## ریسک خشکسالی در دوره پایه و دوره‌های آتی براساس خروجی‌های CORDEX و مدل‌های سری زمانی

در محاسبه ریسک، دو بخش محاسبه مخاطره و پس از آن محاسبه آسیب‌پذیری انجام شد. در بحث محاسبه مخاطره، مقدار احتمال وقوع هر حادثه خشکسالی در شدت همان خشکسالی ضرب شده و در انتها در وزن طبقه قرار گرفته ضرب و مقدار نهایی مخاطره برای هر سال از هر مقیاس زمانی محاسبه شد میزان آسیب‌پذیری با استفاده از نتایج بدست آمده از تکمیل پرسش‌نامه انجام شد. همانطور که قبلاً گفته شد، با استفاده از آنالیز تحلیل عاملی و اکتشافی و در طی مراحل مختلف، میزان آسیب‌پذیری بدست آمد. میزان آسیب‌پذیری به طور کلی عددی بین صفر و یک است که براساس پرسش‌نامه‌های این مطالعه، مقدار  $0/53$  برای این زیرحوضه تعیین شد. در واقع، این عدد نشان می‌دهد که در حدود نیمی از آسیب‌پذیری زیرحوضه به دلیل عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی این زیرحوضه می‌باشد. این مقدار آسیب‌پذیری در واقع میانگینی از حساسیت سه عامل می‌باشد. به صورت مجزا میزان آسیب‌پذیری برای هر یک از عوامل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به ترتیب عبارتند از  $0/30$ ،  $0/34$  و صفر. براین اساس، عامل زیست محیطی سهم بیشتری در آسیب‌پذیری زیرحوضه افین را دارا می‌باشد. در مقابل عوامل اقتصادی تأثیری در آسیب‌پذیری منطقه ندارد. در مدل‌سازی ریسک خشکسالی باتوجه به اینکه مقدار آسیب‌پذیری بدست آمده از پرسش‌نامه، در طی زمان‌های مختلف ثابت در نظر گرفته شده است، از این‌رو برای مدل‌سازی، در واقع مدل‌سازی مخاطره انجام شده است. پس از پیش‌بینی مخاطره، با ضرب کردن مقدار آسیب‌پذیری که در قسمت قبل توضیح داده شد، مقدار ریسک خشکسالی برای سال‌های آتی محاسبه می‌شود.

پیش‌بینی ریسک برای دوره‌های آتی، براساس دو روش انجام شد. در روش اول که استفاده از خروجی‌های CORDEX می‌باشد، در ابتدا مانند دوره پایه شاخص‌های خشکسالی مورد نظر محاسبه و پس از آن مخاطره خشکسالی و در انتها ریسک محاسبه شد (روش مستقیم). نتایج این بخش نشان داد که براساس شاخص خشکسالی SPI در دوره‌های آتی تعداد وقایع خشکسالی نسبت به دوره پایه نسبتاً بیشتر می‌شود، بدین ترتیب که تعداد وقایع خشکسالی (شامل چهار وضعیت خشکسالی) در دوره آینده دور نسبت به دو دوره آینده میانی و نزدیک بیشتر می‌شود. البته تفاوت دفعات خشکسالی نسبت به دوره پایه زیاد نمی‌باشد و البته همان تعداد تفاوت‌ها به دلیل حادث شدن خشک‌دوره‌های شدید و یا متوسط و در برخی موارد خشکسالی‌های خیلی شدید است. بعنوان مثال تعداد وقایع خشکسالی در فصل زمستان و ۹ ماه منتهی به فصل برداشت زرشک در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همچنین نتایج وقوع خشکسالی‌ها و شدت‌های آن‌ها در دوره‌های آتی نشان داد که شدت خشکسالی‌ها متأثر از سناریوی انتشار نیز می‌باشد، بدین ترتیب که با افزایش میزان انتشار گازهای

دلیل این افزایش شدت خشکسالی‌ها براساس شاخص SPI استفاده از داده بارش بعنوان تنها متغیر مؤثر در خشکسالی می‌باشد. براساس سناریو RCP8.5 تعداد وقایع خشکسالی‌ها در هر دوره نسبت به سناریو RCP4.5 تفاوت ندارد، اما شدت‌ها نسبت به RCP4.5 بیشتر است. علت این افزایش می‌تواند به دلیل بدبینانه بودن سناریوی انتشار RCP8.5 باشد. در این سناریو بیشترین میزان انتشار وجود دارد که این امر باعث افزایش دمایی می‌شود. این افزایش دمایی در دمای حداقل، دمای حداکثر و نیز در متوسط دما دیده می‌شود. البته قابل توجه است که هرچه مقیاس مورد بررسی بزرگتر شود، شدت خشکسالی بیشتر می‌شود، به‌عنوان مثال در مقیاس‌های فصلی براساس شاخص SPEI خشک دوره خیلی شدید مشاهده نشد، این درحالی است که در مقیاس ۹ ماه منتهی به ماه آبان، خشک دوره‌های خیلی شدید نیز به چشم می‌خورد. بزرگ شدن مقیاس زمانی مورد مطالعه و افزایش شدت خشکسالی‌ها می‌تواند به دلیل افزایش بیشتر دما توأم با کاهش بارش در مقیاس مورد بررسی باشد. براساس شاخص erDI وقایع خشکسالی در دوره آینده نزدیک نسبت به آینده میانی و دور کمتر می‌باشد. براساس RCP8.5 الگوی تغییرات خشکسالی براساس تعداد وقایع و شدت همانند الگو تغییرات خشکسالی در سه دوره آتی براساس RCP4.5 می‌باشد، با این تفاوت که براساس RCP8.5 شدت خشکسالی در طبقه خشکسالی‌های شدید بیشتر شده است. براساس هر دو RCP سال‌های خشکسالی در هر طبقه از شدت، یکسان می‌باشد. در بررسی نتایج مشخص شد که روند تغییرات خشکسالی در دوره‌های آتی همانند روند تغییرات در دوره پایه می‌باشد. این وضعیت یکسان روند مقادیر خشکسالی در دوره‌های آتی و دوره پایه در تمامی مقیاس‌های مورد بررسی و براساس هر دو شاخص خشکسالی مشاهده شد. نکته‌ی دیگری که براساس هر دو شاخص و با توجه به هر دو سناریو RCP دیده می‌شود، افزایش شدت خشکسالی‌ها در دوره‌های آتی است، به‌عبارت دیگر شدت خشکسالی دوره آتی میانی از شدت خشکسالی دوره آینده نزدیک بیشتر و شدت خشکسالی آینده دور از آینده میانی و نزدیک بیشتر می‌باشد. براساس هر دو سناریو، افزایش دما مشاهده می‌شود، در سناریوی انتشار  $4/5$  این افزایش کمتر و در سناریوی انتشار ۸۵ این افزایش کمی بیشتر است. بنابراین شدت خشکسالی در سال‌های آتی بیشتر می‌شود. پارامتر بارش نیز براساس هر دو سناریوی انتشار کاهش را نشان می‌دهد. بنابراین براساس هر دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI افزایش شدت خشکسالی‌ها امری بدیهی پیش‌بینی می‌شود. در بررسی نتایج خشکسالی باتوجه به دو شاخص SPI و SPEI و براساس هر دو RCP مشخص شده است که همان‌گونه که در دوره پایه مشاهده شد، در دوره‌های آتی نیز شاخص SPEI شدت خشکسالی را نسبت به شاخص SPI با شدت کمتر نشان می‌دهد، این در حالی است که شاخص SPI در شدت‌های مختلف خشکسالی به خصوص در شدت خیلی شدید همانند erDI می‌باشد.



مشاهده می‌شود که در دوره‌های آتی به ویژه در دوره آینده نزدیک، فراوانی وقایع خشکسالی کمتر خواهد شد، اما شاید بتوان گفت که شدت خشکسالی در سال‌های آتی نسبت به دوره پایه کمی افزایش خواهد داشت.

گلخانه‌ای، شدت و یا حتی تعداد دفعات خشکسالی‌ها افزایش می‌یابد که البته این مطلب در نتایج بدست آمده از شاخص خشکسالی SPEI بهتر نمایان است، چرا که در این شاخص علاوه بر بارش، پارامترهای دمایی نیز دخیل هستند. با افزایش گازهای گلخانه‌ای حبس شدن گرمای (مادون قرمز) منعکس شده از سطح زمین افزایش و در نتیجه باعث بالارفتن دماهای سطحی خواهد شد. براساس شاخص eRDI

جدول ۵- تعداد وقایع خشکسالی (ریسک) در دوره‌های پایه، آینده نزدیک، میانی و دور براساس شاخص‌های SPI، SPEI و eRDI در مقیاس زمانی فصل ۹ ماهه منتهی به فصل کشت

Table 5- The number of drought events (risk) in base, near-term, middle and distant periods based on the SPI, SPEI and eRDI indicators at the time scale of the 9-month season leading to the cultivation season

Drought class طبقه خشکسالی	eRDI index شاخص eRDI				SPEI index شاخص SPEI				SPI index شاخص SPI				
	Exte ra Sever e خیلی شدید	Sever e شدید	Med ium متو سط	Mil d خفیف	Exte ra Sever e خیلی شدید	Sever e شدید	Mediu m متوسط	Mild خفیف	Exte ra Sever e خیلی شدید	Sever e شدید	Mediu m متوسط	Mild خفیف	
Basic period دوره پایه	-	2	3	12	-	2	5	10	-	-	3	9	
RCP 4.5	Near futur e آینده نزدیک	-	1	1	12	-	1	3	6	-	1	3	7
	Midd le futur e آینده میانی	-	2	2	13	-	2	3	12	-	1	4	12
	Far futur e آینده دور	-	2	2	13	-	2	3	12	-	1	4	11
RCP 8.5	Near futur e آینده نزدیک	-	1	2	11	-	1	3	9	-	1	4	8
	Midd le futur e آینده میانی	-	2	2	9	-	1	2	11	-	1	4	7
	Far futur e آینده دور	-	2	3	13	1	2	3	11	-	2	3	12

جدول ۶- تعداد وقایع خشکسالی (ریسک) در دوره‌های پایه، آینده نزدیک، میانی و دور براساس شاخص‌های SPI، SPEI و eRDI در مقیاس زمانی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک

Table 6- Number of drought events (risk) in base, near, mid, and distant periods based on SPI, SPEI and eRDI indices in 9-month time intervals leading to barberry harvest season

Drought class طبقه خشکسالی	eRDI index شاخص eRDI				SPEI index شاخص SPEI				SPI index شاخص SPI				
	Extera Severe خیلی شدید	Severe شدید	Medium متوسط	Mild خفیف	Extera Severe خیلی شدید	Severe شدید	Medium متوسط	Mild خفیف	Extera Severe خیلی شدید	Severe شدید	Medium متوسط	Mild خفیف	
Basic period دوره زمانی پایه	1	3	1	11	-	3	2	12	1	2	-	9	
RCP 4.5	Near future آینده نزدیک	1	-	3	5	-	1	3	6	1	-	3	6
	Middle future آینده میانی	1	2	2	10	-	3	2	9	1	3	-	9
	Far future آینده دور	1	3	۱	10	-	4	3	8	1	3	-	9
RCP 8.5	Near future آینده نزدیک	1	3	-	9	-	1	3	7	1	3	1	8
	Middle future آینده میانی	1	2	2	7	-	1	3	9	1	3	-	8
	Far future آینده دور	1	1	3	6	1	3	3	8	1	1	2	8

منطقه را دارد. نتایج خشکسالی نشان می‌دهد که در فصل زمستان بیشترین تغییرات تعداد دفعات خشکسالی نسبت به دوره پایه حادث خواهد شد.

مدل‌های پیش‌بینی میزان مخاطره خشکسالی برای مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه، با توجه به انتخاب بهترین مدل براساس نمودارهای acf و pacf و سعی و خطا در انتخاب مدل‌های احتمالی

نتایج بررسی هر سه شاخص خشکسالی نشان داد که بیشترین تغییرات خشکسالی در مقیاس‌های مورد مطالعه، در فصل زمستان مشاهده می‌شود. با توجه به موقعیت منطقه و بررسی مقادیر بارش در فصل‌های مختلف این منطقه مشخص می‌شود که تاکنون غالب بارش‌ها در فصل زمستان با متوسط ۸۳ میلی‌متر و پس از آن در فصل بهار با مقدار ۴۱/۷ رخ داده است و این نشان از رژیم مدیترانه‌ای در

است، از این رو افزایش دمای حداقل در منطقه در فصل تابستان می‌تواند مؤثر در خشکسالی آن باشد. همچنین افزایش دمای حداقل، افزایش در دمای متوسط را نیز سبب می‌شود. براساس خروجی‌های CORDEX و با توجه به دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 دمای حداقلی علاوه بر دمای حداکثری در منطقه در حال افزایش است.

به‌منظور صحت‌سنجی مدل‌ها، ۱۰ سال آخر دوره پایه برای این منظور استفاده شد. بدین ترتیب که ۳۳ سال نخست (۲۰۰۵-۱۹۸۳) برای انتخاب مدل و ۱۰ سال پس از آن (۲۰۱۵-۲۰۰۶) برای صحت‌سنجی استفاده شد. برای تعیین درستی و مناسب بودن مدل‌ها، از آزمون T.student و نیز ضریب همبستگی  $R^2$  استفاده شده است. با استفاده از آزمون T.student، وجود و یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مخاطره مشاهده شده (۱۰ سال اخیر) با مقادیر مخاطره بدست آمده از روش‌های مدلسازی، تعیین می‌شود. با استفاده از  $R^2$ ، همراستایی میان مقادیر دو دسته مشخص می‌شود. در بررسی مقادیر ریسک بدست آمده از مدل سری زمانی با مقادیر ریسک مشاهده شده در ده سال اخیر، همراستایی قوی بین مدل‌های پیش‌بینی و مقادیر مشاهده شده دیده می‌شود ( $R^2 > 0.69$ ) جز در فصل بهار که  $R^2 = 0.55$  دارد). اما نتایج آزمون T.student، اختلاف معنی‌دار بین میانگین مقادیر مخاطره روش مستقیم و مدل‌های ARIMA بدست آمده داشته است. دلیل این امر، می‌تواند کم برآوردی یا بیش‌برآوردی مدل‌های ARIMA باشد. در بحث پیش‌بینی ریسک برای دوره‌های آتی، به منظور بررسی مناسب بودن مدل‌های پیش‌بینی، مقادیر ریسک بدست آمده از مدل‌های سری زمانی با مقادیر ریسک خشکسالی که به صورت مستقیم براساس خروجی‌های CORDEX محاسبه شده است (ریسک مستقیم)، مقایسه شده است. در این بخش نیز به‌منظور مقایسه میان دو ریسک بدست آمده (روش مستقیم و روش مدلسازی) از مقدار p-value آزمون T.student و  $R^2$  استفاده شده است.

براساس این نمودارها، مدل  $ARIMA(0,0,0)$  (به استثناء فصل بهار با مدل  $ARIMA(1,0,0)$  برای هر سه شاخص) مناسب تشخیص داده شد. این مدل به این معنی می‌باشد که داده‌های ریسک خشکسالی هر سال، به ریسک خشکسالی سال‌های قبل وابسته نمی‌باشد و تنها مقادیر ریسک خشکسالی وابسته به زمان می‌باشند. پیش‌بینی میزان ریسک براساس این مدل از یک فرایند گوسی تبعیت می‌کند.

براساس شاخص خشکسالی SPI با توجه به اینکه تنها متغیر برای محاسبه شاخص، بارش می‌باشد، از این‌رو مدل‌های سری زمانی بدست آمده، ضرایب مختلفی از بارش با عرض میداهای متفاوت هستند. با توجه به شاخص‌های SPEI و eRDI که چهار پارامتر متوسط دما، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و بارش برای محاسبه مقدار آن لازم می‌باشد، براساس مدل‌های سری زمانی و انتخاب بهترین مدل، پارامترهای مؤثر در برآورد خشکسالی در هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه، مشخص و پیش‌بینی میزان مخاطره و پس از آن، محاسبه ریسک صورت پذیرفت (جدول ۷).

همانطور که از مدل‌ها مشخص است پارامتر بارش برای تمامی مقیاس‌های زمانی شاخص SPI و برای چهار مقیاس زمانی فصل بهار، فصل پاییز، فصل زمستان و سالانه شاخص خشکسالی SPEI، پارامتری مؤثر در برآورد خشکسالی و تأثیرگذار بر وقوع خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. پارامتر دمای حداقل و دمای متوسط در دو مقیاس زمانی سالانه و ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک تأثیرگذار می‌باشد. با توجه به اینکه در فصول مورد بررسی تنها بارش پارامتر مؤثر است و همچنین به دلیل بارش بسیار کم در فصل تابستان این منطق، و با عنایت به اینکه دو مقیاس زمانی سالانه و ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک فصل تابستان را نیز شامل می‌شود، می‌توان گفت که احتمالاً دمای حداقل منطقه و نیز متوسط دما در این مقیاس‌ها به‌ویژه در فصل تابستان بسیار تأثیرگذار است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه، منطقه‌ای با تابستان‌های گرم

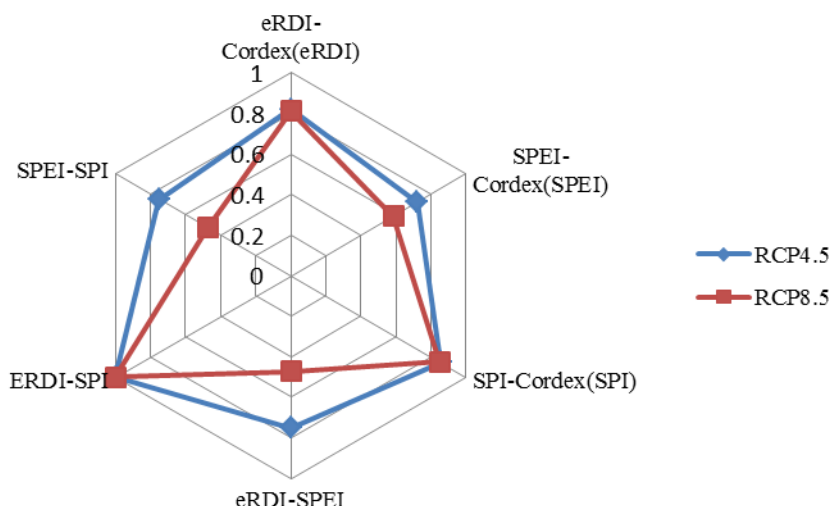
جدول ۷- مدل‌های سری زمانی ARIMA بدست آمده برای هر یک از مقیاس‌های زمانی براساس هر دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI

Table 7- ARIMA time series models for each time scale based on each SPI and SPEI drought indicator

Time step گام زمانی	eRDI drought index شاخص خشکسالی eRDI	SPEI drought index شاخص خشکسالی SPEI	SPI drought index شاخص خشکسالی SPI
Winter زمستان	$haz = -0.002 pri + 0.24$	$haz = -0.002 pri + 0.22$	$haz = -0.002 pri + 0.25$
Spring بهار	$haz = -0.002 pri + 0.2 + 0.55ar_1$	$haz = -0.002 pri + 0.2 + 0.6ar_1$	$haz = -0.002 pri + 0.18 + 0.6ar_1$
Fall پاییز	$haz = -0.004 pri + 0.2$	$haz = -0.004 pri + 0.25$	$haz = -0.004 pri + 0.19$
9 months leading up to the barberry harvest season ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک	$haz = -0.002 pri + 0.25$	$haz = -0.15T_{min} + 0.217T_{max} - 2.03$	$haz = -0.002 pri + 0.26$
Annual سالانه	$haz = -0.002 pri + 0.37$	$haz = -0.117T_{min} + 0.087T_{max} - 0.001pri$	$haz = -0.002 pri + 0.34$

بدست آمده از مدل است (شکل ۲). در ۸۱ سال آینده، براساس شاخص خشکسالی SPI، ریسک خشکسالی پیش‌بینی شده براساس روش مدلسازی ARIMA با مقادیر ریسک مستقیم، نتایج تقریباً یکسانی برای هر دو RCP (4.5 و 8.5) نشان داد. بعبارت دیگر براساس این روش مدلسازی با روش محاسبه ریسک مستقیم همراستایی بالایی ( $R^2 > 0.70$ ) برای RCP4.5 و  $R^2 > 0.72$  برای RCP8.5 مشاهده شد. مقدار P-value از مومن T-student در این روش، براساس RCP4.5 در مقیاس‌های زمانی پاییز، بهار و سالانه و براساس RCP8.5 در پاییز، بهار، ۹ ماهه و سالانه اختلاف معنی‌داری را در سطح ۹۹٪ نشان ندادند. براساس شاخص خشکسالی SPEI نیز ریسک‌های خشکسالی پیش‌بینی شده بر مبنای روش ARIMA با روش مستقیم در RCP8.5 همبستگی کمتری را نشان داده است ( $RCP8.5 > 0.40$  و  $RCP4.5 > 0.58$ ) (جدول ۹).

در روش ریسک خشکسالی مستقیم، با استفاده از پارامترهای هواشناسی (متوسط دما در ارتفاع ۲ متری، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و بارش) سال‌های آتی، در ابتدا شاخص‌های خشکسالی SPI، SPEI و eRDI محاسبه، پس از آن مخاطره هر یک از خشکسالی‌ها تعیین و در انتها به توجه به ثابت فرض نمودن مقدار آسیب‌پذیری در طی دوره پایه و آینده (برای دوره آینده مقدار آسیب‌پذیری با مقدار مثبت و منفی میزان انحراف معیار آن در نظر گرفته شد بعبارت دیگر آسیب‌پذیری سال‌های آتی برابر است با بازه (۳۶/ تا ۷۰/۰) ، مقدار ریسک خشکسالی برای هر یک از مقیاس‌های مورد مطالعه محاسبه شد. در بررسی نتایج ریسک حاصل از داده‌ها مشاهداتی و روش مدلسازی سری زمانی (دوره صحت‌سنجی مدل‌ها) مشخص گردید که مدل‌های سری زمانی با مقادیر ریسک مشاهده شده، همبستگی‌های قوی (جدول ۸) و معنی‌دار را نشان می‌دهند که این بیانگر وجود همراستایی بسیار بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر



شکل ۲- نمودار مقادیر ضریب همبستگی ریسک خشکسالی SPI، SPEI و eRDI حاصل از مدل سری زمانی و ریسک بدست آمده حاصل از خروجی های CORDEX براساس RCP4.5 و RCP8.5 در مقیاس زمانی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک  
Figure 2- Spi, SPEI, and eRDI correlation coefficients for the time series and the obtained risk from CORDEX outputs based on RCP4.5 and RCP8.5 on the 9-month time interval of the harvesting season of Barberry

جدول ۸- مقادیر ضریب همبستگی و p-value از مومن T-student بین ریسک خشکسالی‌های SPI و SPEI براساس مقدار بدست آمده از مدل‌های سری زمانی و مقادیر ریسک مشاهده شده ده سال اخیر

Table 8- Correlation coefficient and p-value of T-student between SPI and SPEI drought risk based on the obtained time series models and observed values of ten years

Time sptep گام زمانی Drought index طبقه خشکسالی	Annual سالانه	9 months leading up to the barberry harvest season ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک	Spring بهار	Winter زمستان	Fall پاییز
SPI	0.88 0.34	0.93 0.28	0.55 0.42	0.81 0.55	0.93 0.15
SPEI	0.59 0.001	0.32 0	0.58 0.13	0.83 0	0.92 0
eRDI	0.39 0.30	0.95 0.56	0.60 0.2	0.56 0.8	0.92 0.05

جدول ۹- مقادیر ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و مقدار p-value آزمون T-student بین مقادیر ریسک خشکسالی بدست آمده از مدل‌های پیش‌بینی سری زمانی با ریسک خشکسالی مستقیم براساس دو سناریو انتشار (RCP4.5, RCP8.5)

Table 9- The correlation coefficient ( $R^2$ ) and the value of p-value of the T-student test between the drought risk values obtained from time series prediction models with direct drought risk based on two scenarios (RCP4.5, RCP8.5)

Drought index طبقه خشکسالی Time step گام زمانی	eRDI		SPEI		SPI	
	p-value (t.student)	R2	p-value (t.student)	R2	p-value (t.student)	R2
Fall پاییز	(0) 0	0.78 (0.64)	(0) 0	0.75 (0.74)	(0) 0	0.92 (0.94)
Winter زمستان	(0.55) 0.58	0.74 (0.74)	(0) 0	0.56 (0.73)	(0.32) 0.32	0.85 (0.86)
Spring بهار	(0) 0	0.75 (0.76)	(0) 0	0.49 (0.78)	(0) 0	0.79 (0.8)
9 months leading up to the barberry harvest season ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک	(0.12) 0.51	0.82 (0.81)	(0) 0	0.75 (0.75)	(0.05) 0.42	0.89 (0.87)
Annual سالانه	(0.2) 0.06	0.48 (0.38)	(0) 0.001	0.72 (0.74)	(0) 0.003	0.70 (0.72)

دما و کاهش بارش در دوره‌های آبی، می‌تواند تایید کننده وجود تغییر اقلیم باشد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به بررسی وضعیت ریسک خشکسالی هواشناسی در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۹) و در دوره‌های آبی (۲۰۲۰-۲۰۲۰) پرداخته شد. برای محاسبه ریسک خشکسالی، در ابتدا نیاز به تعیین خشکسالی می‌باشد که برای این منظور از شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI استفاده شد. بررسی نتایج این تحقیق نشان داد که: شاخص خشکسالی SPI و eRDI در مقایسه با شاخص خشکسالی SPEI شدت خشکسالی‌ها را بیشتر نشان می‌دهد. این موضوع نه تنها در دوره پایه بلکه در دوره‌های آبی براساس هر دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نیز قابل مشاهده است (مقایسه بین دو شاخص SPI و SPEI) (۱۷). در بررسی خشکسالی‌های دوره‌های آبی (۳ دوره ۲۷ ساله آینده) در دوره‌های آبی براساس RCP8.5 تعداد وقایع خشکسالی‌ها در هر دوره نسبت به RCP4.5 تفاوت ندارد، اما شدت خشکسالی‌ها نسبت به RCP4.5 بیشتر خواهد شد. علت این افزایش می‌تواند به دلیل بدبینانه بودن سناریوی RCP8.5 باشد. در این سناریو بیشترین میزان انتشار وجود دارد که این امر باعث افزایش دمایی می‌شود. این افزایش دمایی در دمای حداقل، دمای حداکثر و نیز در متوسط دما دیده می‌شود. در بحث آسیب‌پذیری مقدار آسیب‌پذیری ۵۳٪ بدست آمده بیانگر تأثیر عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در میزان آسیب‌پذیری هر واقعه خشکسالی است. به عبارت دیگر به طور متوسط نیمی از آسیب‌پذیری خشکسالی زیرحوضه افین تحت تأثیر این سه عامل می‌باشد و نیم دیگر می‌تواند به دلیل کاربری اراضی و بافت خاک نیز باشد. در پیش‌بینی ریسک

در جدول ۸ مقدار بالایی هر مقیاس زمانی، مقدار ضریب همبستگی و مقدار پایین مقدار p-value از مون T-student می‌باشد. در جدول فوق اعداد داخل پرانتز مربوط به RCP8.5 و بیرون از پرانتز مرتبط با RCP4.5 می‌باشد.

به‌طور کلی می‌توان گفت هر سه شاخص خشکسالی، با مدل سری زمانی ARIMA (0,0,0) توانسته‌اند به خوبی مقادیر ریسک خشکسالی را پیش‌بینی کند (با توجه به مقادیر ضریب همبستگی در دوره صحت‌سنجی) تنها کمی اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده شده و نتایج بدست آمده از مدل‌ها وجود دارد که به دلیل کالیبره نبودن مدل‌ها می‌باشد (جدول ۸). در بحث پیش‌بینی ریسک در آینده بر اساس روش مستقیم و روش مدلسازی، مشاهده می‌شود که مدل‌ها توانسته‌اند به خوبی، ریسک را برای ۸۱ سال آینده پیش‌بینی کنند. شاخص خشکسالی SPEI بهتر توانسته است مدل‌سازی برای آینده داشته باشد (براساس مقادیر ضریب همبستگی و p-value آزمون t-student در دوره صحت‌سنجی و در ۸۱ سال آینده).

در بحث آشکارسازی وجود تغییر اقلیم و تأثیر آن بر مخاطرات خشکسالی‌های هواشناسی، که با استفاده از آزمون مقایسه میانگین من-ویتنی انجام شد، مشخص گردید که در تمامی دوره‌ها (آینده نزدیک، میانی و دور) و در مقایسه با دوره پایه و همچنین با توجه به دو سناریو انتشار مورد بررسی در این مطالعه، اختلاف معنی‌دار بین هر یک از دوره‌ها با دوره پایه وجود دارد. همچنین در مقایسه‌ای که بین هر یک از دوره‌های ۲۷ ساله مورد بررسی با دوره ۸۱ ساله آبی (دوره کل ۲۰۲۰-۲۰۲۰) انجام شد نیز دیده شد که تمامی دوره‌ها نسبت به دوره کل دارای اختلاف میانگین معنی‌داری می‌باشند. وجود این اختلاف معنی‌دار می‌تواند حاکی از تغییر اقلیم در منطقه باشد که براساس نتایج مدل‌های اقلیمی استفاده شده در این مطالعه، افزایش

ریسک بدست آمده از مدل ARIMA مقیاس زمانی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک، می‌توان گفت که مدل‌های تصادفی سری زمانی نیز در برآورد میزان پارامترهای دمایی نیز به‌خوبی عمل کرده‌اند. نتایج تحقیقات گودرزی و روزبهانی (۶)، سلطانی گودرزی و همکاران (۲۵) و جاویدی صباغیان و شریفی (۱۰) همراستایی با نتایج این تحقیق دارد. در بحث آشکارسازی وجود تغییر اقلیم و تأثیر آن بر مخاطرات خشکسالی‌های هواشناسی، که با استفاده از آزمون مقایسه میانگین من- ویتنی انجام شد، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های دوره پایه و دوره‌های آتی دیده شد، همچنین این اختلاف معنی‌دار بین دوره‌های آتی در مقایسه با یکدیگر نیز دیده شد، که این امر می‌تواند بیانگر تغییر اقلیم در منطقه باشد که براساس نتایج مدل‌های اقلیمی استفاده شده در این مطالعه، افزایش دما و کاهش بارش در دوره‌های آتی، می‌تواند تأیید کننده وجود تغییر اقلیم باشد (۱۶). در انتها لازم به ذکر است برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، پیشنهاد می‌شود که از مدل‌های بیشتر (بیش از سه مدل) گزارش ششم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شود.

برای دوره‌های آتی، مشخص گردید که براساس شاخص SPEI بارش پارامتری مؤثر در مدلسازی ریسک خشکسالی‌های منطقه در مقیاس‌های بهار، پاییز و زمستان است. از میان سه پارامتر دمایی، متوسط دمای حداکثر و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری در پیش‌بینی ریسک خشکسالی در مقیاس زمانی سالانه مؤثر می‌باشد (۱). براساس شاخص eRDI بارش تنها پارامتر تأثیرگذار در پیش‌بینی میزان مخاطره و بدنبال آن ریسک در آینده برای پنج مقیاس زمانی مورد مطالعه در این تحقیق، می‌باشد. نتایج بررسی هر سه شاخص خشکسالی نشان داد که بیشترین تغییرات خشکسالی در مقیاس‌های مورد مطالعه، در فصل زمستان مشاهده می‌شود. نتایج خشکسالی نشان می‌دهد که در فصل زمستان بیشترین تغییرات تعداد دفعات خشکسالی نسبت به دوره پایه حادث خواهد شد. مدل‌های پیش‌بینی ریسک خشکسالی، مدل ARIMA(0,0,0) بدست آمد. مدل‌های سری زمانی با توجه به ماهیت تصادفی بودن آنها بسیار مفید برای پیش‌بینی مقادیر بارش می‌باشد. با توجه به همبستگی قوی و نیز عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر روش محاسبه ریسک مستقیم با

## منابع

- Alizade Chopari O., and Najafi S. 2016. Changes in temperature and precipitation in different regions of Iran. *Physics of Earth and Space* 43: 569-584.
- Bachmair S., Svensson C., Prosdocimi I., Hannaford J., and Stahl K. 2017. Developing drought impact functions for drought risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17: 1947-1960.
- Chopra P. Drought risk assessment using remote sensing and GIS: a case study of Gujarat. 2006. ITC.
- Ghaseminezhad S., Soltani S., and Safiyanian A.R. 2013. Drought risk assessment in Isfahan province. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science* 18(68): 225-213.
- Ghaznavi M., Mosaedi A., and Ghabaie Sogh M. 2018. Investigation of the effect of climatic conditions on drought status persistence in six stations Synoptic Selection of the Country. The 7<sup>th</sup> National Conference on Rainfall Rainfall Systems - Tehran- 1st and 2nd of March, 2018, Soil and Watershed Management Institute - Rainwater Leveling Systems Association.
- Godarzi L., and Rozbahani A. 2016. Evaluation of the Efficiency of Arima & Halt Winters Time Series Models in Monthly Temperature and Precipitation Estimation (Case Study: Lotyan Station). *Irrigation Sciences and Engineering* 40: 137-149.
- Hay L. E., Wilby R.L., and Leavesley G.H. 2000. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 36: 387-397.
- Hashemi-ana S.K., Khosravi M., and Tavousi T. 2015. Validation of AOGCMs capabilities for simulation length of dry spells under the climate change in Southwestern area of Iran. *Open J Air Pollut* 4: 76-85
- Hoshyar M., Sobhani B., and Hoseyni S.A. 2017. Uranium Maximum Temperature Variation Vision Using the CanESM2 Model Output. *Geography and Planning Journal* 22: 305-325.
- Javidi Sabaghian R., and Sharifi M.B. 2009. Using random models in river flow simulation and forecasting annual average annual discharge of the river by time series analysis. *Iran Water Resources Management Conference*. number 1.
- Khalil A. 2015. Quantitative Investigation and Modeling of Agricultural Damage Risk of Flood Precipitation in Iran. *Agricultural Meteorology Journal* 3(2): 33-24.
- Khalili A., and Bazrafshan J. 2006. Drought persistence and survival assessment using annual precipitation data at Iranian stations. *Proceedings of the Second Conference on Water Resources Management*. 23 and 24 January . Esfahan.
- Khalil N., Rezaee Pazhand H., Derakhshan H., and Davari K. 2017. Development of a framework for assessing agricultural drought risk on wheat. *Iranian Water Resources Research* 14: 59-70
- Kavakebi GH., Mousavi Baygi M., Mosaedi A., and Jabbari Noghahi M. 2013. Determination of effective factors on drought occurrence by analyzing panel data (Case study: Khorasan Razavi province). *Water and Soil* 6: 1298-1310.
- Lehner F., Coats S., Stocker T.F., Pendergrass A.G., Sanderson B.M., Raible C.C., and Smerdon J.E. 2017.

- Projected drought risk in 1.5 C and 2 C warmer climates. *Geophysical Research Letters* 44: 7419-7428.
- 16- Mckee T B., Doesken N J., and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
  - 17- Mosaedi A., Kavakebi GH., and Abdollahzade S. 2010. Detection of climate change based on Mann-Whitney statistical test in Mashhad. First National Conference on Meteorology and Water Management.
  - 18- Mostafazade R., and Zabihi M. 2015. Analysis and comparison of SPI and SPEI indices in meteorological drought evaluation using R software (Case study: Kurdistan province). *Physics of Earth and Space* 42: 633-643.
  - 19- Pandey S., Pandey A., Nathawat M., Kumar M., and Mahanti N. 2012. Drought hazard assessment using geoinformatics over parts of Chotanagpur plateau region, Jharkhand, India. *Natural Hazards* 63: 279-303.
  - 20- PEI W., FU Q., LIU D., LI T.-X., CHENG K., and CUI S. 2017. Spatiotemporal analysis of the agricultural drought risk in Heilongjiang Province, China. *Theoretical and Applied Climatology* 1-14.
  - 21- Pittock A.B. 2003. *Climate change: an Australian guide to the science and potential impacts*.
  - 22- Portahermi M., Roknabadieftekhari A., and Kazemi N. 2013. The Role of Drought Risk Management Approach in Reducing Economic-Social Vulnerability of Rural Farmers (From the Perspectives of Officials and Experts) Case Study: Sulduz Village, West Azarbaijan. *Rural Research Quarterly*, 1.
  - 23- Prathumchai K., Honda K., and Nualchawee K. 2001. Drought risk evaluation using remote sensing and GIS: a case study in Lop Buri Province. 22nd Asian conference on remote sensing. 9.
  - 24- Sabziparvar A.A., Saghaie S., and Nozari H. 2012. Comparison of the Hargreaves-Somoni Reference Flow Evaporation and the FAO Governorate 56 on the Scale of the Karkheh Basin.
  - 25- Shahid S., and Behrawan H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Natural Hazards* 46: 391-413.
  - 26- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., and Miller H.L. 2007. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge.
  - 27- Soltani Gerdfarmarzi S., Saberi A., and Gheysori M. 2016. Determine the best time series model for predicting annual precipitation of selected stations in West Azarbaijan province. *Journal of Applied Geosciences Research*.
  - 28- Tigkas D., Vangelis H., and Tsakiris G. 2017. An Enhanced Effective Reconnaissance Drought Index for the Characterisation of Agricultural Drought. *Environmental Processes*. 4(1): 137-148.
  - 29- Tsakiris G. 2007. Practical application of risk and hazard concepts in proactive planning. *European Water* 19: 47-56.
  - 30- Vicent-serrano S.M., Begueria S., and Lopez-moreno J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.
  - 31- Wentz F.J., Ricciardulli L., Hilburn K., and Mears C. 2007. How much more rain will global warming bring? *Science* 317: 233-235.
  - 32- Wilhite D. 1992. Drought management and climate change. Contractors' report prepared for the Office of Technology Assessment, Washington, DC.
  - 33- Wilhite D.A., Hayes M.J., Knutson C., and Smith K.H. 2000. Planning for Drought: Moving From Crisis to Risk Management 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 36: 697-710.
  - 34- Wu H., and Wilhite D.A. 2004. An operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska, USA. *Natural Hazards* 33: 1-21.
  - 35- Yuan X.-C., Zhou Y.L., Jin J.L., and Wei Y.-M. 2013. Risk analysis for drought hazard in China: a case study in Huaibei Plain. *Natural Hazards* 67: 879-900.

## Development of Weather Meteorological Drought Forecast Model (Case Study: Sub-basin Afin Watershed)

Gh. Kavakebi<sup>1</sup>- M. Mousavi Baygi<sup>2\*</sup>- A. Alizade<sup>3</sup>- A. Mosaedi<sup>4</sup>- M. Jabbari Noghabi<sup>5</sup>

Received: 08-07-2019

Accepted: 11-11-2019

**Introduction:** Drought is the most complex, but less well-known risk among all natural hazards, which affects more people than any other natural hazard. Meteorological and seasonal hydrological drought is a common phenomenon in subtropical countries and is expected to increase further in the future. Drought is one of the natural and frequent climate phenomena. Drought risk analysis is a combination of drought risk and drought vulnerability analysis. Drought risk assessment can be estimated either by remote sensing or by statistical methods or by a combination of both previous methods. Drought risk assessment shows a more suitable and accurate view of the drought. Drought risk in addition to drought severity is simultaneously includes the probability of occurrence of drought and the impact this phenomenon on the environment and the region. This study has been made to illustrate the visionary of changes in future meteorological drought risk.

**Materials and Methods:** The study was conducted as a case study for the Afin sub-basin. In this research the average of minimum average of maximum temperature, the average temperature at 2 meters above ground level and rainfall data have been used. The statistical period used for the base period is 33 years (1983-2015). Future data is derived from three models of the cordex project. The upcoming period is divided into three 27-year periods including the near future (2020-2046), the middle term (2047-2073) and the distant future (2074-2100). In order to investigate the drought in future, a combined model of three climatic models using the Bayesian method. Then, the future values of the meteorological parameters were calculated. Drought risk for the upcoming periods was calculated by the direct method and modeling method. Finally, a comparison was made between the two methods in order to determine the appropriateness of the predicted model.

**Results and Discussion:** In the survey of the intensity of SPI and SPEI drought indices during the base time period for time scales studied, the SPEI and SPI drought indices showed that both, drought events were the same during the studied period, while the SPEI shows more mild and moderate droughts, and the SPI index has shown intense intensity on some scales. In future periods, according to the RCP8.5 scenario, the number of drought events in each period does not differ from the RCP4.5 scenario, but the intensities are higher than RCP4.5. By completing the questionnaire and using exploratory and confirmatory factor analysis methods, the drought vulnerability was determined 53%. ARIMA (0, 0, 0), the appropriate time series model was used to predict the level of risk. In the drought risk prediction section, the results showed that according to the SPI drought index in the upcoming periods, the number of drought events relative to the base period is relatively higher, thus the number of drought events (including four drought conditions) will increase in the far future than the two upcoming middle and nearer periods. According to prediction of models of risk, rainfall parameter for all time scales of SPI index and for four-time scales of spring, autumn, winter and annual drought index SPEI, is an effective parameter in drought estimation and effect on drought occurrence in the study area.

**Conclusion:** The results of this study indicate an increase in temperature in future periods based on both RCP emission scenarios. Increasing the severity of droughts in future is another result of this study. The risk outcomes obtained from the direct risk-measurement method, which was obtained with CORDEX data as well as the method of using the risk-predictive model obtained in this study, showed strong correlation and no significant difference in mean, which indicates the model's appropriateness for risk prediction (hazard and after that risk) for the future. Also, the risk outcomes obtained from the direct risk calculation method, which is based on CORDEX data with the method of using the risk prediction model obtained in this study, indicates an increase in the number of drought events followed by an increase in drought risk events in the region. Also, it was observed that the severity of drought risk according to the RCP8.5 release scenario is higher than RCP4.5. It is suggested that a number of models (more than three models) being used from the sixth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

**Keywords:** ARIMA, CORDEX, Drought risk, Drought vulnerability, Drought Hazard

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student and Professors, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: mousavib@um.ac.ir)

5- Assistant Professor of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad