

برآورد خشکسالی کشاورزی برای دوره آتی به کمک شاخص SMDI و داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم

مختار صالحی طبس، مصطفی یعقوب زاده^{۱*}، سیدرضا هاشمی، حامد منصوری و سعید قوام

سعیدی نوقابی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه بیرجند.

msalehi3430@gmail.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

srezahashemi@yahoo.com

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

همدان، ایران. h.mansori@areeo.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه بیرجند.

ghavamsaeedi@gmail.com

چکیده

رطوبت خاک سطحی، متغیری مهم در چرخه آبی طبیعت است که نقش مهمی در تعادل جهانی آب و انرژی به واسطه تأثیر بر فرآیندهای هیدرولوژیک، اکولوژیک و هواشناسی دارد. رطوبت خاک یک پارامتر تعیین کننده در بسیاری از فرآیندهای پیچیده زیست محیطی است و نقش تعیین کننده‌ای در وقوع خشکسالی کشاورزی دارد. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های برآورد شده رطوبت خاک توسط مدل SWAP و داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم، خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص کمبود رطوبت خاک برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) تعیین شد. داده‌های اقلیمی به کمک شش مدل GCM و دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برآورد گردید و به کمک مدل LARS-WG ریزمقیاس شد و وارد مدل SWAP گردید. در آخر، با استفاده از داده‌های رطوبت عمق ۳۰ سانتی متری خاک مزرعه فاروب نیشابور، خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص SMDI مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تغییرات پارامترهای اقلیمی نشان داد که دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می یابد و سناریوی RCP8.5 نسبت به سناریوی RCP4.5 دمای بیشتر و بارش کمتری را برآورد می کند. نتایج مقادیر SMDI برآورد شده برای دوره آتی نیز مشخص کرد که سناریوی RCP4.5 نسبت به سناریوی RCP8.5 دارای مقادیر متوسط SMDI بیشتری می باشد. همچنین هر دو سناریو، رطوبت نرمال را برای دوره آتی نشان می دهند و میزان SMDI پیش بینی شده برای دوره آتی نسبت به دوره پایه بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک سطحی، مدل SWAP، سناریوی انتشار RCP8.5 و RCP4.5، پارامترهای اقلیمی، دشت نیشابور

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

* - دریافت: خرداد ۱۳۹۸ و پذیرش: مهر ۱۳۹۸

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های محیطی است که سالانه موجب وارد آمدن خسارات زیادی به جوامع انسانی می‌گردد. خشکسالی را می‌توان معلول یک دوره خشک غیر عادی دانست که به اندازه کافی تداوم داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژیک منطقه ایجاد گردد (مرید و همکاران، ۲۰۰۷). تمایز این پدیده با سایر مخاطرات طبیعی در این است که برخلاف سایر مخاطرات طبیعی، این پدیده به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر گردد. بنابراین، چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی می‌باشد تا حدودی آن را یک پدیده‌ی بلیه خزننده می‌دانند و از سویی چون خشکسالی بر خلاف سایر بلایای طبیعی کمتر منجر به خسارات ساختاری می‌گردد، کمک رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده‌ها مثل سیل پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد (طالبی و موسوی، ۱۳۸۹).

خشکسالی با کمبود بارندگی آغاز و بسته به طول مدت و شدت آن می‌تواند پارامترهایی نظیر رطوبت خاک، حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی و اکوسیستمی را تحت تأثیر قرار دهد (علیزاده، ۱۳۸۹). از این رو، محققان، خشکسالی را در چهار دسته‌ی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی نموده‌اند (ناصرزاده، ۱۳۹۱). به طور کلی می‌توان خشکسالی را وضعیت موقتی تعریف کرد که در آن مقدار آب در دسترس به علت کاهش ریزش‌های جوی به کم‌تر از سطح آستانه می‌رسد. از دیدگاه کشاورزی، این آب، آب در دسترس گیاه در خاک و سطح آستانه، نیاز اتمسفری برای تبخیر و تعرق می‌باشد؛ بنابراین، خشکسالی کشاورزی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار آب در دسترس گیاه در خاک به علت ناکافی بودن مقدار بارش پاسخگوی نیاز اتمسفری برای تبخیر و تعرق نباشد (ولی و همکاران، ۲۰۱۲).

یکی از قدم‌های مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی و ترسالی در هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان براساس آن‌ها میزان شدت و تداوم خشکسالی و ترسالی را ارزیابی کرد (دهقان و همکاران، ۱۳۹۶). بیشتر مطالعات صورت گرفته پیرامون خشکسالی‌ها را می‌توان به دو دسته تفکیک کرد. دسته اول تحقیقاتی است که به کمک آزمون‌های مختلف (من- کندال، فیشر و ...) روند دوره‌های تر و خشک نوسانات زمانی و مکانی عناصر اقلیمی را بررسی کرده و به نتایجی در رابطه با وجود و یا فقدان تغییرات اقلیمی و نوسانات دما و بارش در نقاط مختلف جهان دست یافته‌اند. استفاده از شاخص‌های مختلف از جمله شاخص SPI^۱، شاخص درصد ریسک خشکسالی و شاخص نمره Z در این تحقیقات مورد توجه قرار گرفته‌اند. دسته دوم تحقیقاتی را در بر می‌گیرد که با استفاده از مدل‌سازی و روش‌های پیچیده‌تر ریاضی و آماری از قبیل مدل‌های SARIMA، Canonical Correlation Models، زنجیره مارکوف و مدل رگرسیونی، علاوه بر تحلیل ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها، گامی فراتر نهاده و به پیش‌بینی فاکتورهای اقلیمی مرتبط با ابعاد مختلف خشکسالی نیز پرداخته‌اند (حاجی زاده و پروین، ۱۳۸۶). به‌منظور تعیین میزان خشکسالی در آینده، تحقیقاتی در داخل و خارج کشور انجام شده است. رضانی اعتدالی و همکاران (۱۳۹۱) جهت تعیین شاخص خشکسالی SMDI و مقایسه آن با سایر شاخص‌های خشکسالی مثل PNI، DI، SPI و CZI، رطوبت خاک را با استفاده از مدل AquaCrop بین سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۲ در ایستگاه سینوپتیک قزوین شبیه‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین مقدار شاخص SMDI در سال ۱۹۹۴ با مقدار ۲/۷ و کمترین مقدار آن در سال‌های ۱۹۹۷، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ با مقدار ۱/۵- رخ داده است.

با بکارگیری تئوری RUN، منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، برای حوضه‌های غرب و شمال غرب

^۱ Standardized Precipitation Index

مشاهده شد که جوانه‌زنی بذرها با بروز تنش آبی در مراتع مورد مطالعه در پاتاگونیا تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)، با بررسی روند تغییرات خشکسالی در نواحی مختلف چین با استفاده از شاخص شدت خشکسالی پالمر^۴ (PDSI) برای دوره ی ۱۹۷۱-۲۰۱۰ گزارش نمودند که بر اساس نتایج آزمون من-کندال، برخی از مناطق روند کاهش و برخی دیگر از مناطق روند افزایشی در خشکسالی را تجربه کرده‌اند. ایشان اضافه می‌نمایند که توزیع مکانی خشکسالی نشان می‌دهد که این پدیده از سمت جنوب شرقی به سمت شمال غربی چین در حال افزایش است. کومار و همکاران (۲۰۱۳)، با بررسی تغییرات خشکسالی‌های موسمی در هند با استفاده از شاخص تبخیر و تعرق بارش استاندارد شده^۵ (SPEI)، به این نتیجه رسیدند که شدت خشکسالی متوسط و مناطق تحت تأثیر خشکسالی متوسط در دهه‌های اخیر افزایش داشته است. ایشان اضافه می‌نمایند که به طور خاص فراوانی خشکسالی‌های چند ساله (۲۴ ماهه) افزایش معنی‌داری داشته است که به دلیل افزایش دمای سطحی و خشکی اتمسفر می‌باشد. این پژوهشگران اضافه می‌نمایند که تغییرات خشکسالی‌های موسمی در هند به وسیله ناهنجاری‌های دمای سطح آب‌های گرمسیری کنترل می‌شود و بخش عمده‌ای از تغییرات خشکسالی تحت تأثیر نوسانات جنوبی (النینو) قرار دارد. ایشان در خاتمه نتیجه می‌گیرند که گرم شدن کره زمین، به ویژه گرم شدن اقیانوس هند، عامل افزایش شدت خشکسالی‌ها در دهه‌های اخیر در هند می‌باشد. لینگ و همکاران (۲۰۱۴)، روند تغییرات خشکسالی در شمال، جنوب و شمال غرب چین و همچنین منطقه کیلینگ‌هایه در همین کشور را برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج ایشان، خشکسالی در شمال و جنوب چین روند افزایشی داشته، در حالی که در شمال غرب دارای روند افزایشی با شیب کم و در منطقه کیلینگ‌هایه فاقد روند بوده است. وندی و

کشور توسط لشنی‌زند (۱۳۸۲) ترسیم شده و نشان داده شد که حوضه‌های سپیدرود، دز و ارس به ترتیب بیش از حوضه‌های دیگر در معرض وقوع خشکسالی‌های حدی و فراگیر قرار دارند. خلیلی و بذرافشان (۲۰۰۳)، نمایه‌های خشکسالی هواشناسی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی (DPI) و نمایه معیار بارندگی سالانه (SAIP) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی در ایران دارند. احمدی‌نمین و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که به طور میانگین، درجه خشکسالی در تمامی بخش‌های کشور ایران، در بهترین شرایط در حالت نرمال، به جز تناوب‌های کوتاه، در نوسان می‌باشد. همچنین نمایه پالمر، نشان داد که فراوانی بیشترین خشکسالی متعلق به شهر بم، بیشترین ترسالی چابهار و بیشترین وضعیت نرمال در گرگان می‌باشد.

وفاخواه و رجبی (۲۰۰۵)، در تحقیقی، با استفاده از نمایه‌های عدد Z (ZSI)، درصد نرمال بارندگی^۱ (PNPI)، دهک‌های بارندگی^۲ (DPI) و ناهنجاری بارش^۳ (RAI) حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی و درصد نرمال کارآیی بیشتری نسبت به سایر نمایه‌ها دارند. زهتابیان و همکاران (۱۳۹۲)، نیز با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای ارتباط RDI و SPI در خراسان جنوبی، بر اساس داده‌های شش ایستگاه سینوپتیک این استان در طی دوره ۲۲ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۱)، به این نتیجه رسیدند که بر اساس شاخص SPI، خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ در منطقه اتفاق افتاده است. ضمن آن که شاخص RDI فراوانی خشکسالی با شدت‌های بالا را بیش‌تر نشان می‌دهد.

کیپریوتی و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی خشکسالی کشاورزی روی جوانه‌زنی بذر گراس‌ها در مراتع نیمه خشک پاتاگونیا در آرژانتین پرداختند. در این تحقیق،

^۴ Palmer Drought Severity Index

^۵ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

^۱ Percent of Normal Precipitation Index

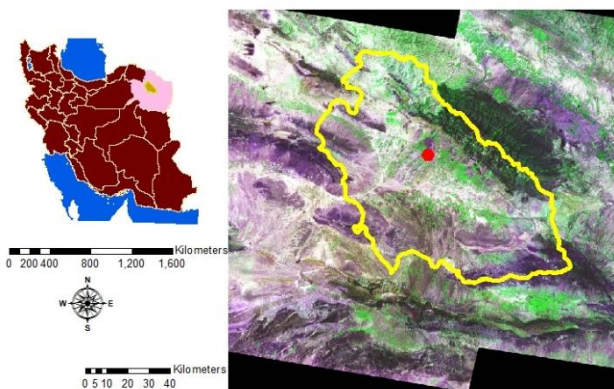
^۲ Deciles Precipitation Index

^۳ Rain Fall Anomaly Index

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

برای ارزیابی خشکسالی و کمبود رطوبت خاک از مزرعه ذرت روستای فاروب واقع در دشت نیشابور استفاده شده است. دشت نیشابور از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل ۵۸ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱) و وسعت کل آن ۷۳۰۰ کیلو متر مربع است. آب و هوای منطقه نیمه‌خشک و خشک، متوسط دمای آن ۱۲ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالانه آن بطور متوسط برای کل دشت ۲۹۲ میلی‌متر گزارش شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان خراسان رضوی

روش انجام تحقیق

روش انجام این تحقیق به این صورت است که برای شبیه‌سازی خشکسالی برای دوره آبی با استفاده از شاخص کمبود رطوبت، داده‌های رطوبت خاک برای دوره آبی توسط مدل SWAP شبیه‌سازی شود بنابراین ابتدا مدل SWAP با استفاده از داده‌های خاک، زراعی و هواشناسی منطقه اجرا شد و رطوبت خاک برای عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر به صورت روزانه شبیه‌سازی گردید. در مرحله بعد برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی رطوبت، نتایج رطوبت خاک مدل SWAP با هشت مرتبه داده‌های

تیرف (۲۰۱۶)، نشان دادند که در طول دوره‌ی مطالعه (۱۹۰۱-۲۰۱۴) قسمت شمال و شمال غربی اتیوپی، روند کمبود بارش و افزایش دما را نسبت به سایر نقاط کشور داشته و با استفاده از شاخص شدت خشکسالی پالمر خود کالیبره شده^۱ ScPDSI، سه بار طی سال‌های ۱۹۵۰ - ۱۹۴۱، چهار بار در سال‌های ۱۹۶۰ - ۱۹۵۱، پنج بار در سال‌های ۱۹۹۰ - ۱۹۸۰، دو بار در سال‌های ۲۰۰۰ - ۱۹۹۱ و سه بار در سال‌های ۲۰۱۰ - ۲۰۰۱ خشکسالی مشاهده شده است. لوکاس و همکاران (۲۰۰۸)، اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی در ناحیه تسالی کشور یونان را به کمک شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ارزیابی کردند. آن‌ها خروجی‌های مدل انتشار جهانی CMCM2 را برای دو سناریوی سری A2 و B2 به کار بردند و روشی را برای تخمین منحنی‌های فراوانی، مقیاس زمانی، شدت خشکسالی تجمعی سالیانه پیشنهاد کردند که شدت و فراوانی خشکسالی را برای انواع مختلف خشکسالی به دست می‌آورد. همچنین سری‌های زمانی SPI و شدت خشکسالی تجمعی سالیانه را تخمین زدند و با سری‌های زمانی و مقادیر ثبت شده ۱۹۶۰-۱۹۹۰ مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شدت خشکسالی با سناریوی سری A2 برای همه مناطق مورد مطالعه و مقیاس زمانی SPI افزایش یافته است.

با توجه به اینکه در خصوص خشکسالی کشاورزی دوره آبی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم، تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور انجام نشده است، بنابراین در این تحقیق سعی شده است با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک مزرعه فاروب نیشابور و داده‌های برآورد شده رطوبت خاک توسط مدل SWAP و داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم، خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص SMDI برای دوره آبی تعیین شود و با دوره پایه مقایسه گردد.

¹ Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index

هواشناسی دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه برآورد گردید.

در این تحقیق برای اندازه‌گیری رطوبت خاک و شبیه‌سازی رطوبت با استفاده از مدل SWAP برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) از مزرعه فاروب واقع در دشت نیشابور استفاده شد. مشخصات کاشت و برداشت گیاه ذرت در این منطقه در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات شیمیایی آب چاه مزرعه به ترتیب در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است.

اندازه‌گیری شده رطوبت خاک عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سال‌های زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ واسنجی و صحت‌سنجی شد. محصول مورد مطالعه در این تحقیق ذرت می باشد. بعد از اطمینان از صحت نتایج مدل SWAP، رطوبت خاک به وسیله مدل SWAP برای دوره پایه ۲۰۱۱-۱۹۹۲ شبیه‌سازی شد. پارامترهای روزانه هواشناسی دوره‌های آتی به کمک شش مدل تغییر اقلیم AOGCM و دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 تولید شدند. برای برآورد مقدار رطوبت در دوره‌های آتی به کمک سناریوهای انتشار و مدل‌های AOGCM، نسبت مقادیر ماهانه پارامترهای

جدول ۱- مشخصات کشت و برداشت گیاه مورد استفاده در مزرعه آزمایشی

| تاریخ برداشت | | تاریخ کاشت | |
|--------------|------------|--------------|------------|
| روز ژولایوسی | تاریخ شمسی | روز ژولایوسی | تاریخ شمسی |
| ۲۸۹ | ۱۳۸۷/۰۷/۲۷ | ۱۸۰ | ۱۳۸۷/۰۴/۸ |

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

| شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | بافت خاک | جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³) | ظرفیت زراعی (%) | ظرفیت پژمردگی دائم (%) | اسیدیتته | هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m) | عمق (cm) |
|--------|----------|--------|-----------|---------------------------------------|-----------------|------------------------|----------|---------------------------------------|----------|
| ۳۰ | ۵۲ | ۱۸ | لوم سیلتی | ۱/۵۱ | ۲۰/۱ | ۷/۳ | ۸ | ۱/۰۶ | ۳۰-۰ |

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در مزرعه آزمایشی

| هدایت الکتریکی (dS/m) | اسیدیتته | نسبت جذب سدیم | کاتیون‌ها (meq/lit) | | | | آنیون‌ها (meq/lit) | | | |
|-----------------------|----------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|----------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ |
| ۰/۶ | ۷/۹ | ۳/۵ | ۳/۵ | ۱ | ۳/۵ | ۱/۱ | ۲/۵ | ۲/۸ | ۰ | ۱ |

مدل SWAP

محیط غیراشباع بیان می‌کند (وندام و همکاران، ۱۹۹۷). برای این که بتوان رطوبت خاک را برای دوره آتی و پایه شبیه‌سازی نمود باید مدل SWAP با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت، واسنجی و صحت‌سنجی شود. به همین منظور بعد از این که رطوبت خاک توسط مدل SWAP برای سال زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ ذرت آبی شبیه‌سازی شد به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده با TDR واسنجی و صحت‌سنجی شد. عمل واسنجی با استفاده از داده‌های سال اول کشت و صحت‌سنجی با استفاده از داده‌های سال دوم کشت در طی دوره رشد انجام گردید

مدل SWAP یک مدل آگرو هیدرولوژیک بسیار جامع برای انتقال آب، گرما و املاح در محیط اشباع و غیراشباع است و شامل زیرمدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی عملیات آبیاری و رشد گیاه و بیلان آبی می‌باشد. بررسی حرکت آب براساس معادله ریچاردز صورت می‌گیرد که از روش عددی تفاضل محدود و اعمال شرایط مرزی و استفاده از توابع هیدرولیکی خاک استفاده می‌گردد. توابع هیدرولیکی خاک به عنوان روابط بین هدایت هیدرولیکی (K)، رطوبت خاک و بار فشاری آب خاک تعریف می‌شوند. معادله ریچاردز، جریان یک بعدی را در

سناریوها و مدل‌های مورد استفاده

سناریوهای RCP شامل یک سناریوی کاهشی سخت‌گیرانه (RCP 2.6)، دو سناریوی حد واسط (RCP 4.5, RCP 8.5) و یک سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱، ۲۰۱۳). خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق، در جدول (۴) ارائه شده است.

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های GCM می‌باشند. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم خود از سناریوهای جدید تحت عنوان RCP^۱ استفاده نموده است.

جدول ۴- خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق

| سناریوهای انتشار | نام مدل | کشور مؤسس | اندازه تفکیک (طول×عرض جغرافیایی، درجه) |
|-------------------|-------------|-----------|--|
| | Canesm2 | کانادا | ۱/۲۵*۱/۸۷۵ |
| | GFDL | آمریکا | ۲/۵*۲ |
| RCP 4.5 & RCP 8.5 | MIROC | ژاپن | ۱/۷۷*۲/۸۱ |
| | IPSL | فرانسه | ۱/۸۷۵*۳/۷۵ |
| | Csiromk-3.6 | استرالیا | ۱/۸*۱/۸ |
| | GISS-ES-R | آمریکا | ۲*۲ |

مدل LARS-WG

دوره پایه محاسبه شده و شاخص کمبود رطوبت خاک به طریقه زیر محاسبه می‌شود (ناراسیهان و سرینیواسان، ۲۰۰۵).

مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG یکی از به روزترین و پرچالش‌ترین مباحث علمی دنیا در بحث تغییر اقلیم است. بررسی مدل‌های AOGCM، سناریوهای ارائه شده در مجامع علمی و شبیه‌سازی آینده بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم از جمله ضروریات اولیه پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم است. یکی از مدل‌هایی که می‌تواند این تغییرات را بررسی کند و شبیه‌سازی برای آینده را انجام دهد، مدل LARS-WG است. این مدل از روش‌های آماری تولید داده‌های اقلیمی استفاده می‌کند. این مدل از دسته مدل‌های weather generator می‌باشد که با استفاده از زنجیره مارکف به تولید داده می‌پردازد.

شاخص کمبود رطوبت خاک (SMDI*)

در این روابط، $SD_{i,j}$: درصد کمبود رطوبت خاک، $S_{i,j}$: میانگین رطوبت خاک در هفته در پروفیل خاک، MSW_j : متوسط درازمدت رطوبت قابل استفاده خاک در پروفیل خاک، $max SW_j$: ماکزیمم درازمدت رطوبت قابل استفاده خاک در پروفیل خاک، $min SW_j$: مینیمم درازمدت رطوبت قابل استفاده خاک در پروفیل خاک، i : نشان‌دهنده تعداد هفته‌ها، j : نشان‌دهنده تعداد سال‌ها می‌باشد. درصد کمبود رطوبت خاک از ۱۰۰ تا ۱۰۰- متغیر

این شاخص بر مبنای مجموع رطوبت خاک به‌طور روزانه برای یک سال استوار است و تنها فاکتور اقلیمی مورد استفاده در این شاخص، داده‌های رطوبت خاک می‌باشد. این داده‌ها به کمک مدل شبیه‌ساز رطوبت برای

¹ Soil Moisture Drought Index

¹ Representative Concentration Pathways

² Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

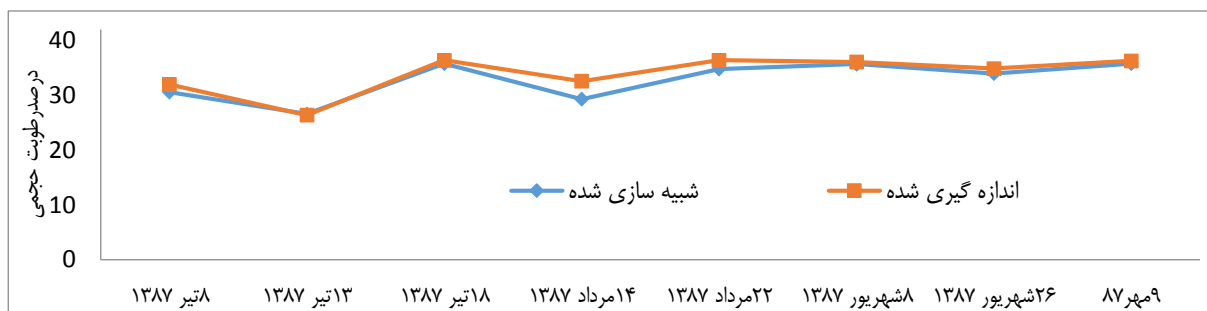
جدول ۵- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس مقدار شاخص

| کمبود رطوبت خاک | |
|-----------------|--------------------|
| مقدار SMDI | طبقه خشکسالی |
| بیشتر از ۴ | به شدت مرطوب |
| ۳ تا ۳/۹۹ | خیلی مرطوب |
| ۲ تا ۲/۹۹ | رطوبت متوسط |
| ۱ تا ۱/۹۹ | رطوبت خفیف |
| ۰/۵ تا ۰/۹۹ | دوره مرطوب اولیه |
| ۰/۴۹ تا -۰/۴۹ | نرمال |
| -۰/۹۹ تا -۰/۵ | دوره خشکی اولیه |
| -۱/۹۹ تا -۱/۰ | خشکسالی خفیف |
| -۲/۹۹ تا -۲/۰ | خشکسالی متوسط |
| -۳/۹۹ تا -۳/۰ | خشکسالی شدید |
| کمتر از -۴/۰ | خشکسالی بسیار شدید |

نتایج و بحث

صحت‌سنجی نتایج مدل SWAP

واسنجی و صحت‌سنجی به منظور حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی صورت می‌گیرد. ضریب تبیین بالای هشتاد درصد بین نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی رطوبت در عمق ۳۰ سانتی متری خاک، نشان‌دهنده دقت خوب مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت خاک دارد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در طی دوره رشد ذرت

مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را در دوره پایه و آتی تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. با توجه به جدول، دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش برای دوره آتی نسبت به دوره پایه (baseline) افزایش می‌یابد. از طرفی به‌منظور مقایسه سناریوها، مقادیر سناریوی RCP8.5 نسبت به سناریوی RCP4.5، افزایش بیشتری در دما و کاهش بیشتری در بارش را نشان می‌دهد که بیانگر بدبینانه بودن سناریوی RCP8.5 می‌باشد.

است. در ۱۰۰ خاک مرطوب‌ترین و در ۱۰۰- خاک خشک‌ترین وضعیت را دارا می‌باشد. در نهایت شاخص SMDI از رابطه زیر برای هر هفته بدست می‌آید.

$$SMDI_j = \frac{\sum_{t=1}^j SD_t}{(25t + 25)} \quad (۳)$$

به‌دلیل اینکه اندازه‌گیری رطوبت خاک هفتگی، به‌منظور تعیین خشکسالی برای یک دوره آماری بلندمدت سبب می‌شود با داده‌های زیادی روبرو شویم، بدین منظور شاخص SMDI بر اساس روش پالمر اصلاح شده است.

$$SMDI_j = SMDI_{j-1} + \Delta SMDI_j \quad (۴)$$

اگر بخواهیم شدت خشکسالی را برای هر ماه محاسبه نماییم، در معادله فوق، $i=1$ و $t=1$ (زمان برای هفته اول) قرار داده می‌شود و معادله بعد از یک سری محاسبات به‌شکل زیر خلاصه می‌شود. پس از محاسبه این شاخص، می‌توان به‌کمک جدول (۵) وضعیت خشکسالی کشاورزی را توسط این شاخص ارزیابی نمود.

$$SMDI_j = 0.5 \times SMDI_{j-1} + \frac{SD_j}{50} \quad (۵)$$

داده‌های اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم آتی

برای تولید داده‌های اقلیمی و مشخص شدن تغییرات آن‌ها در دوره آتی، از شش مدل AOGCM در ترکیب با دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق شامل دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش بوده که یکی از مهم‌ترین موارد تأثیرگذار بر رطوبت خاک می‌باشند. جدول (۶)

جدول ۶- مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و آتی تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5

| سناریوهای انتشار | دمای مینیمم | دمای ماکزیمم | بارش |
|------------------|-------------|--------------|------|
| baseline | ۶/۸۰ | ۲۲/۰۸ | ۰/۶۳ |
| RCP 4.5 | ۸/۴۰ | ۲۲/۲۲ | ۰/۷۱ |
| RCP 8.5 | ۸/۶۴ | ۲۲/۵۶ | ۰/۶۹ |

در طی دوره پایه و آتی تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. با توجه به جدول، می‌توان بیان نمود که میانگین SMDI هفتگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. همچنین به منظور مقایسه سناریوها در برآورد SMDI هفتگی، سناریو RCP4.5 مقادیر بیشتری را نسبت به سناریو RCP8.5 نشان می‌دهد. از طرفی مقادیر میانگین SMDI هفتگی برای دوره پایه و آتی، بیانگر وضعیت نرمال بوده در صورتی که مقادیر حداقل SMDI هفتگی دوره پایه و آتی، خشکسالی خفیف را نشان می‌دهند.

شبه سازی و برآورد خشکسالی کشاورزی با شاخص SMDI

شاخص کمبود رطوبت خاک (SMDI) روند کمبود رطوبت خاک را در طی دوره رشد محصول از هفته اول پس از رشد تا هفته‌ای که گیاه در آن هفته برداشت می‌شود، نشان می‌دهد؛ بنابراین کمبود شدید رطوبت خاک در یک هفته ممکن است توسط هفته‌ای که آبیاری در آن صورت گرفته و یا بارش اتفاق افتاده جبران و یا تعدیل شود. جدول (۷) مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین SMDI هفتگی را برای هر هفته از ۱۴ هفته دوره رشد گیاه

جدول ۷- مقادیر شاخص SMDI هفتگی عمق ۳۰ سانتیمتری در دوره پایه و آتی

| سناریوهای انتشار | SMDI هفتگی | | |
|------------------|------------|---------|--------|
| | حداکثر | میانگین | حداقل |
| baseline | -۰/۱۸۱ | -۰/۴۰۲ | -۰/۶۷۹ |
| RCP 4.5 | ۱/۱۸۴ | -۰/۱۵۸ | -۱/۱۴۱ |
| RCP 8.5 | ۰/۷۱۵ | -۰/۰۲۸ | -۰/۸۶۶ |

مقادیر بیشتری را نسبت به سناریو RCP8.5 نشان می‌دهد. از طرفی مقادیر میانگین SMDI سالیانه برای دوره پایه و آتی، نشان دهنده وضعیت نرمال بوده در صورتی که مقادیر حداقل SMDI سالیانه برای دوره پایه و آتی، خشکسالی شدید را نشان می‌دهند. به عبارتی گیاه در طی مراحل رشد خود، دچار خشکی شدید ناشی از کمبود رطوبت خاک شده است.

مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین SMDI سالیانه برای دوره پایه و آتی در طی ۱۴ هفته دوره رشد گیاه تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 مشخص می‌کند که میانگین SMDI سالیانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد (جدول ۸). همچنین به منظور مقایسه سناریوها در برآورد SMDI سالیانه، سناریو RCP4.5

جدول ۸- مقادیر شاخص SMDI سالیانه عمق ۳۰ سانتیمتری در دوره پایه و آتی

| سناریوهای انتشار | SMDI سالیانه | | |
|------------------|--------------|---------|--------|
| | حداکثر | میانگین | حداقل |
| baseline | ۳/۵۴۶ | -۰/۴۷۹ | -۳/۵۹۸ |
| RCP 4.5 | ۳/۹۹۸ | -۰/۲۳۱ | -۳/۹۹۸ |
| RCP 8.5 | ۳/۹۹۱ | -۰/۱۵۴ | -۳/۷۰ |

سناریو RCP4.5 و RCP8.5، مقادیر میانگین SMDI هفتگی برآورد شده توسط هر شش مدل در محدوده وضعیت نرمال می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین مقادیر میانگین SMDI هفتگی نیز به ترتیب مربوط به مدل‌های GFDL و Csirumk-3.6 برای سناریو RCP4.5 و مدل‌های IPSL و Canesm2 برای سناریو RCP8.5 می‌باشد.

بهتر است علاوه بر مشخص شدن وضعیت شاخص SMDI بصورت سالیانه برای بررسی وضعیت تنش و خشکی در هفته‌های رشد، شاخص SMDI بصورت هفتگی نیز تعیین شود و مقادیر شاخص در طی هفته‌های رشد بررسی شود. جدول (۹) مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین SMDI هفتگی را در دوره پایه و آبی برای شش مدل GCM و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. بر طبق این جدول، برای هر دو

جدول ۹- مقادیر متوسط SMDI هفتگی برای مدل‌های GCM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5

| سناریوهای انتشار | | | | | | مدل |
|------------------|--------|--------|---------|--------|--------|-------------|
| RCP 8.5 | | | RCP 4.5 | | | |
| میانگین | حداکثر | حداقل | میانگین | حداکثر | حداقل | |
| -۰/۳۱۳ | -۰/۰۴۸ | -۰/۷۱۲ | -۰/۰۶۰ | ۰/۶۷۴ | -۰/۷۷۴ | Canesm2 |
| ۰/۱۶۷ | ۰/۷۱۵ | -۰/۲۹۸ | -۰/۳۱۳ | ۰/۰۱۲ | -۰/۹۵۸ | GFDL |
| ۰/۰۸۶ | -۰/۵۲۳ | -۰/۴۴۷ | -۰/۱۵۰ | ۰/۴۸۵ | -۰/۱۱۵ | MIROC |
| ۰/۱۹۰ | -۰/۵۳۹ | -۰/۱۸۶ | -۰/۲۹۵ | ۰/۹۸۰ | -۰/۹۸۳ | IPSL |
| -۰/۱۷۲ | -۰/۲۱۲ | -۰/۸۶۶ | -۰/۴۳۶ | ۱/۱۴۷ | -۰/۷۷۶ | Csirumk-3.6 |
| ۰/۱۰۹ | -۰/۵۱۲ | -۰/۲۹۸ | -۰/۲۴۳ | ۱/۱۸۴ | -۱/۱۴۱ | GISS-ES-R |
| -۰/۴۰۲ | -۰/۱۸۱ | -۰/۶۷۹ | -۰/۴۰۲ | -۰/۱۸۱ | -۰/۶۷۹ | Baseline |

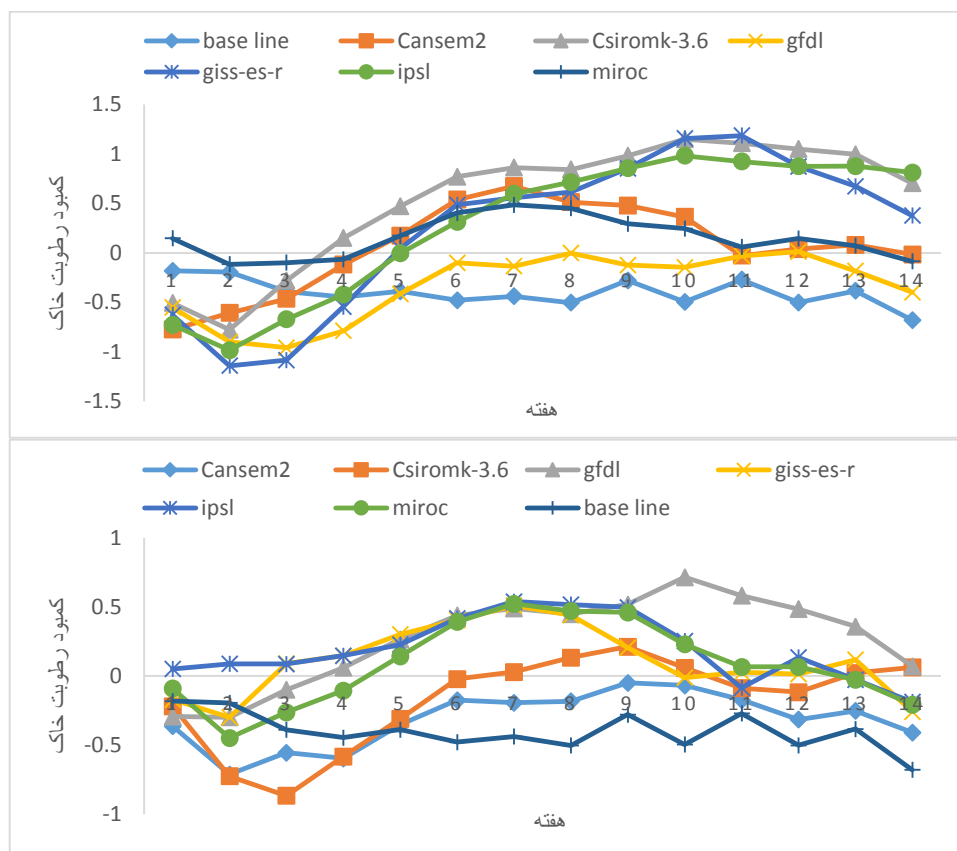
توجه به شکل مشخص می‌شود که برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آبی، مقادیر SMDI هفتگی برای هفته‌های ابتدایی در طی دوره رشد گیاه، پایین‌تر از خط صفر قرار دارد که بیانگر خشکسالی ناشی از کمبود رطوبت خاک می‌باشد. به منظور مقایسه سناریوها در برآورد SMDI هفتگی، هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای اکثر مدل‌ها مقادیر بیشتری را نسبت به دوره پایه برآورد کرده‌اند، با این وجود سناریو RCP4.5 در مقایسه با سناریو RCP8.5، خشکسالی ناشی از کمبود رطوبت خاک را با شدت بیشتری نشان می‌دهد. از طرفی به منظور مقایسه مدل‌ها در برآورد SMDI هفتگی، برای سناریو RCP4.5 مدل Canesm2 و برای سناریو RCP8.5 مدل GFDL و برای سناریو RCP8.5 مدل Canesm2 شدت خشکسالی را نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر نشان می‌دهند.

جدول (۱۰) مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین SMDI سالیانه را برای شش مدل AOGCM و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 را برای دوره پایه و آبی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، برای هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5، مقادیر میانگین SMDI سالیانه برآورد شده توسط هر شش مدل در محدوده وضعیت نرمال تا دوره مرطوب اولیه می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین مقادیر میانگین SMDI سالیانه نیز به ترتیب مربوط به مدل‌های IPSL و GFDL برای سناریوی RCP4.5 و مدل‌های Csirumk-3.6 و Canesm2 برای سناریوی RCP8.5 می‌باشد.

بعد از مشخص شدن مقادیر آماری SMDI بصورت هفتگی و سالیانه می‌توان برای مشخص شدن هفته‌های با تنش خشکی بیشتر نسبت به بقیه هفته‌ها، روند تغییرات SMDI هفتگی را برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در طی دوره رشد گیاه نشان داد (شکل ۳). با

جدول ۱۰- مقادیر متوسط SMDI سالانه برای مدل‌های GCM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5

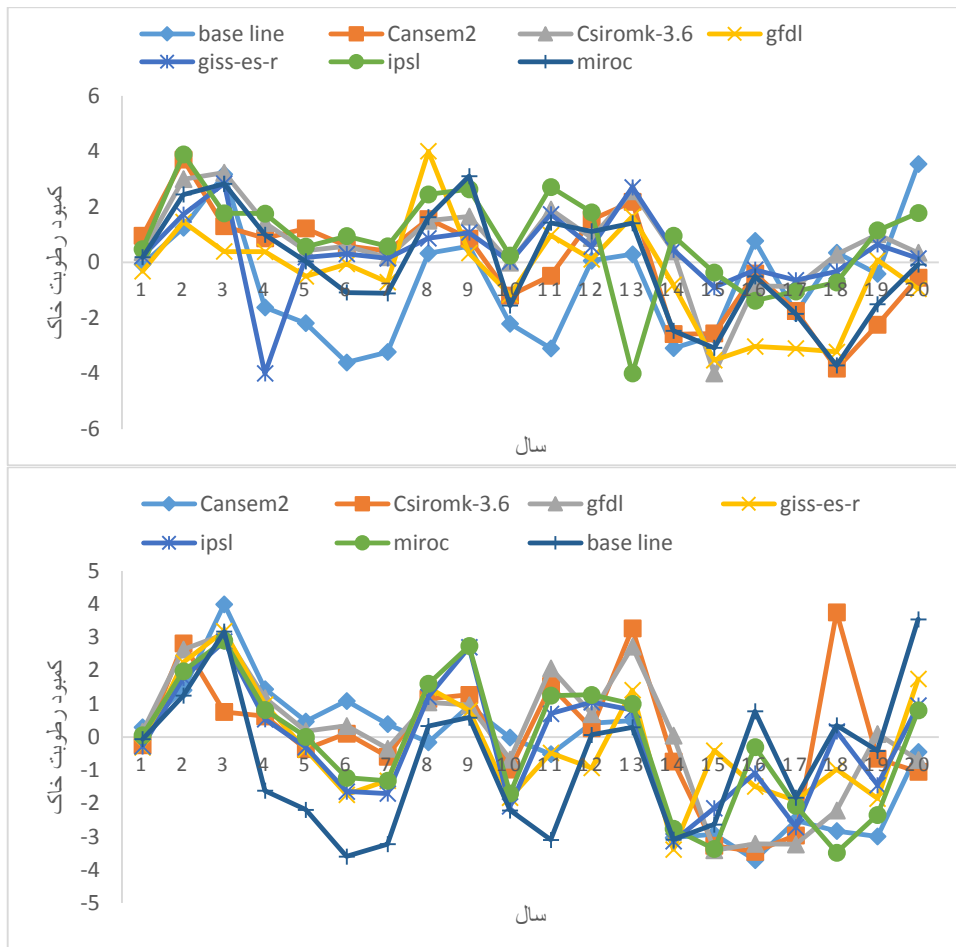
| سناریوهای انتشار | | | | | | مدل |
|------------------|--------|--------|---------|--------|--------|-------------|
| RCP 8.5 | | | RCP 4.5 | | | |
| میانگین | حداکثر | حداقل | میانگین | حداکثر | حداقل | |
| -۰/۴۰۸ | ۳/۹۹ | -۳/۷۰ | -۰/۰۱۷ | ۳/۷۰۴ | -۳/۸۲۴ | Canesm2 |
| ۰/۰۶۰ | ۳/۰۹۱ | -۳/۴۱۰ | -۰/۳۹۷ | ۳/۹۹۸ | -۳/۵۲۱ | GFDL |
| -۰/۲۰۶ | ۲/۹۰۴ | -۳/۴۲۸ | -۰/۰۸۶ | ۳/۱۰۸ | -۳/۷۰۸ | MIROC |
| -۰/۱۸۶ | ۲/۸۷۶ | -۳/۱۳۹ | ۰/۸۱۱ | ۳/۸۹۳ | -۳/۹۹۵ | IPSL |
| ۰/۰۶۳ | ۳/۷۵۹ | -۳/۴۵۰ | ۰/۷۰۳ | ۳/۲۳۳ | -۳/۹۹۸ | Csiromk-3.6 |
| -۰/۲۵۷ | ۳/۱۸۶ | -۳/۳۸۴ | ۰/۳۷۶ | ۲/۸۴۰ | -۳/۹۹۸ | GISS-ES-R |
| -۰/۶۷۹ | ۳/۵۴۶ | -۳/۵۹۸ | -۰/۶۷۹ | ۳/۵۴۶ | -۳/۵۹۸ | Baseline |



شکل ۳- تغییرات SMDI هفتگی در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو RCP4.5 (بالا) و RCP8.5 (پایین)

در برآورد SMDI سالانه، هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای اکثر مدل‌ها مقادیر بیشتری را نسبت به دوره پایه برآورد کرده‌اند، با این وجود سناریو RCP8.5 در مقایسه با سناریو RCP4.5، خشکسالی ناشی از کمبود رطوبت خاک را با شدت بیشتری نشان می‌دهد.

شکل (۴) روند تغییرات SMDI سالانه را برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در طی دوره پایه و آتی نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص می‌شود که برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در طی دوره رشد گیاه، مقادیر SMDI سالانه برای اکثر سال‌های دوره آتی نسبت به دوره پایه بیشتر می‌باشد. به منظور مقایسه سناریوها



شکل ۴- تغییرات SMDI سالیانه در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو RCP4.5 (بالا) و RCP8.5 (پایین)

نتیجه گیری

در این تحقیق، برای تولید داده‌های رطوبت خاک در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) از شش مدل AOGCM تحت تأثیر دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی روزانه، از مدل LARS-WG استفاده شد و پارامترهای اقلیمی برای دوره آتی برآورد گردید. سپس به کمک مدل SWAP، مقادیر رطوبت

در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک تعیین شد و سپس مقادیر SMDI حاصل گردید. نتایج مقادیر SMDI محاسبه شده برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ سناریو RCP4.5 متوسط SMDI بیشتری را نسبت به سناریوی RCP8.5 نشان می‌دهد، یعنی رطوبت متوسط آن بیشتر است. با این حال، بیشترین و کمترین SMDI در سناریوی RCP4.5 وجود دارد و هر دو سناریو رطوبت نرمال را برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نشان می‌دهند و میزان SMDI پیش‌بینی شده برای دوره آتی نسبت به دوره پایه بیشتر است.

فهرست منابع

۱. احمدی‌نمین، م. و وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۵. نظارت بار خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی پالم و داده‌های رطوبت خاک. سنجش از دور و رطوبت خاک ایستگاه. سومین کنفرانس یافته‌های جدید در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی.

۲. حجازی‌زاده، ز. و پروین، ن. ۱۳۸۶. مدل‌سازی بارش و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل‌های SARIMA و پایش خشکسالی به کمک شاخص BMI و نمایه PDRI حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله تحقیقات جغرافیایی. ۱ (۸۷): ۹۷-۱۲۴.
۳. خلیلی، ع. و بذرافشان، ج. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. مجله نیوار. ۴۸: ۷۹-۹۳.
۴. دهقان، ش.، سیاری، ن. و بختیاری، ب. ۱۳۹۶. ارزیابی روند خشکسالی در استان فارس با استفاده از شاخص شدت خشکسالی پالمر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱ (۶): ۹۵۹-۹۴۷.
۵. رضوانی‌اعتدالی، ه.، لیاقت، ع.، پارسی‌نژاد، م. و رضوانی‌اعتدالی، م. ۱۳۹۱. بررسی وضعیت خشکسالی کشاورزی بر اساس رطوبت خاک در ایستگاه سینوپتیک قزوین. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶ (۱): ۸۲-۹۱.
۶. طالبی، م.ص. و موسوی‌بفرویی، م. ۱۳۸۹. ارزیابی و پهنه‌بندی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های معتبر (مطالعه موردی: استان کرمان). مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا. مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۷. عزیززاده، ا. ۱۳۸۹. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ بیست و هشتم، مشهد، ایران، ۸۶۶ صفحه.
۸. کریمی، و.، حبیب‌نژادروشن، م. و آبکار، ع. ۱۳۸۹. بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲ (۵): ۲۵-۱۵.
۹. لشنی‌زند، م. ۱۳۸۲. بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم. دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
۱۰. مساعدی، ا.، محمدی‌مقدم، س. و کواکبی، غ. ۱۳۹۵. تعیین خصوصیات خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی RDI و بررسی تغییرات آن در مناطق و دوره‌های مختلف زمانی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳ (۶): ۲۷-۵۲.
۱۱. ناصرزاده، م. ح. ۱۳۹۱. بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲ (۲۷): ۱۶۱-۱۶۲.
۱۲. وفاخواه، م. و رجبی، م. ۱۳۸۴. کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌های حوزه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو. مجله بیابان، ۱۰ (۱): ۳۶۹-۳۸۳.
13. Cipriotti, P.A., Flombaum, P., Sala, O.E., and Aguiar, M.R. 2008. Does drought control emergence and survival of grass seedlings in semi-arid rangelands: An example with a Patagonian species. *Journal of Arid Environments*, 72: 162-174.
14. IPCC, (2013), Summary for policymakers. In: Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M., and Midgley, P. (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, 1-19.
15. Kumar, K.N., Rajeevan, M., Pai, D.S., Srivastava, A.K., and Preethi, B. 2013. On the observed variability of monsoon droughts over India. *Weather and Climate Extremes*, 1: 42-50.
16. Liang, L., Zhao, S.H., Qin, Z.H., He, K.X., Chong, C.H., Luo, Y.X., and Zhou, X.D. 2014. Drought change trend using MODIS TVDI and its relationship with climate factors in China from 2001 to 2010. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(7): 1501-1508.
17. Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17: 23-29.

18. Morid, S., Smakhtin, V., and Bagherzadeh, K. 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of climatology*, 27(15): 2103-2111.
19. Narasimhan, B., and Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1-4): 69-88.
20. Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., Van Waslum, P.E.V., Groenendijk, P., and Van Diepen, C.A. 1997. Theory of SWAP version 2.0: simulation of water flow and plant growth in the soil–water–atmosphere–plant environment. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Centre. Wageningen, The Netherlands.
21. Wondie, M., and Terefe, T. 2016. Assessment of drought in Ethiopia by using self-calibrated Palmer Drought Severity Index. *Int. J. Eng. Manage. Sci.* 7(2): 108-117.
22. Woli, P., Jones, J.W., Ingram, K.T., and Fraisse, C.W. 2012. Agricultural reference index for drought (ARID). *Agronomy Journal*, 104(2): 287-300.
23. Zehtabian, Gh., Karimi, K., Nakhee Nejadfard, S., Mirdashtvand, M., and Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan province in Iran. *Inter. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9). 981-992.
24. Zhang, B., Wu, P., Zhao, X., Wang, Y., Wang, J., and Shi, Y. 2012. Drought variation trends in different subregions of the Chinese Loess Plateau over the past four decades. *Agricultural Water Management*, 115: 167-177.

Estimating of Future Agricultural Drought by Use of the SMDI Index and Data of the Fifth Report on Climate Change

M. Salehi Tabas , M. Yaghoobzadeh ¹ * , S. R. Hashemi , H. Mansori , and S. Ghavam Saeedi Noghabi

MSc student, Water Resources Engineering, University of Birjand.

msalehi3430@gmail.com

Assistant Prof., Department of Water Science and Engineering, University of Birjand.

M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

Assistant Prof., Department of Water Science and Engineering, University of Birjand.

srezahashemi@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Hamadan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Hamadan (AREEO), Iran.

h.mansori@areeo.ac.ir

MSc student, Irrigation and Drainage Engineering, University of Birjand.

ghavamsaeedi@gmail.com

Abstract

Moisture content of surface soil is an important variable in nature's water cycle, which plays an important role in the global equilibrium of water and energy due to its impact on hydrological, ecological, and meteorological processes. Soil moisture is a determining factor in many complex environmental processes and plays a determinative role in the occurrence of agricultural drought. In this study, based on estimated soil moisture data by SWAP model and data of the IPCC Fifth Assessment Report, agricultural drought was determined by the use of soil moisture deficit index for the future period. The climatic data was estimated using six GCM models and two RCP4.5 and RCP8.5 emissions scenarios, and downscaled by LARS-WG model, and was entered into the SWAP model. Finally, by using soil moisture data of 30 cm depth, agricultural drought was evaluated using SMDI index. The results of climate parameter changes showed that the minimum and maximum temperatures and rainfall in the future period would increase compared to the base period and RCP8.5 scenario estimated higher temperatures and less rainfall than RCP4.5 scenario. Results of estimated SMDI values for the future period showed that RCP4.5 scenario has a higher average of SMDI amount than RCP8.5 scenario. Also, both scenarios show the normal moisture amount for future period and the predicted SMDI amount for the future period is higher than the base period.

Keywords: Surface soil moisture, SWAP model, RCP8.5 and RCP4.5 emissions scenarios, Climatic parameters, Neyshabour plain

¹ -Corresponding author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand.

*- Received: June 2019 , and Accepted: October 2019