

Estimation of Weekly Soil Moisture and Agricultural Drought for Future Periods Using DSSAT Model (Case Study: Birjand Plain)

MOKHTAR SALEHI TABAS¹, MOSTAFA YAGHOOBZADEH^{*1}, GHOLAMREZA ZAMANI², MEHDI AMIRABADIZADEH¹

1. Department of science and water engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
 2. Department science and Agronomy engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
- (Received: Nov. 20, 2019- Revised: Dec. 21, 2019- Accepted: Dec. 28, 2019)

ABSTRACT

Soil moisture is a determining parameter in many complex environmental processes and plays a decisive role in the occurrence of agricultural drought. For this purpose, in this study, using soil moisture data estimated by DSSAT model and Fifth Climate Change Report data, agricultural drought was determined by soil moisture deficiency index for future periods of (2015-2045) and (2045-2075) and they were compared with baseline period (1975-2005). The climatic data were estimated using GCM models and two emission scenarios RCP4.5 and RCP8.5 and they were scaled using LARS-WG model and entered into DSSAT model. Finally, using soil moisture data of 30 and 60 cm depths, agricultural drought was evaluated using SMDI index. Climate change results showed that the minimum and maximum temperature and precipitation will increase in the next period compared to the baseline period, and the RCP8.5 scenario estimated a higher temperature and lower precipitation than the RCP4.5 scenario. Weekly soil moisture decreased for future periods compared to the baseline and soil moisture values in RCP4.5 scenario were higher than the ones in RCP8.5 scenario. Also, weekly soil moisture changes at different irrigation levels in the base period are less than those in the future. Estimated values of SMDI drought index by RCP4.5 scenario at 0-30 depth in period of 2015-2045 are more negative and drought than the ones in future period 2045-2075; while the future period of 2045-2015 in RCP8.5 scenario has a better situation. The SMDI drought indices of 30-60 cm depth in both scenarios for the upcoming 2015-2045 period show lower values than the ones in 2045-2075 future period. The RCP4.5 scenario estimates a higher SMDI drought index than the RCP8.5 scenario.

Keywords: Release scenarios, SMDI drought index, Fifth report of climate change, GCM model

ارزیابی رطوبت هفتگی خاک و خشکسالی کشاورزی برای دوره‌های آبی با استفاده از مدل DSSAT (مطالعه موردی: دشت بیرجند)

مختار صالحی طبس^۱، مصطفی یعقوب زاده^{۲*}، غلامرضا زمانی^۲، مهدی امیرآبادی زاده^۴

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی زراعت، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۲۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۹/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۷)

چکیده

رطوبت خاک یک پارامتر تعیین کننده در بسیاری از فرآیندهای پیچیده زیست‌محیطی است و نقش تعیین کننده‌ای در وقوع خشکسالی کشاورزی دارد. بدین منظور در این تحقیق، با استفاده از داده‌های برآورد شده رطوبت خاک توسط مدل DSSAT و داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم، خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص کمبود رطوبت خاک (SMDI) برای دوره‌های آبی (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و (۲۰۴۵-۲۰۷۵) تعیین و با دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) مقایسه گردید. خروجی مدل‌های GCM تحت دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به کمک مدل LARS-WG در موقعیت محدوده مطالعاتی ریزمقیاس به مدل DSSAT وارد شد. در نهایت با استفاده از داده‌های رطوبت عمق‌های ۳۰-۶۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص SMDI مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دمای کمینه و بیشینه و بارش در دوره آبی نسبت به دوره پایه در محدوده مطالعاتی افزایش یافته است و سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5، دمای بیشتر و بارش کمتری را برآورد کرده است. رطوبت هفتگی خاک برای دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه کاهش یافته و مقادیر رطوبت خاک در سناریو RCP4.5 نسبت به سناریو RCP8.5 بیشتر برآورد شده است. همچنین تغییرات رطوبت هفتگی خاک در سطوح مختلف آبیاری در دوره پایه نسبت به دوره‌های آبی کم‌تر است. مقادیر برآورد شده شاخص خشکسالی SMDI سناریو RCP4.5 عمق ۳۰-۶۰ در دوره ۲۰۴۵-۲۰۷۵ نسبت به دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ منفی‌تر و خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد؛ در حالی که در سناریو RCP8.5 دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ وضعیت بهتری را دارد. شاخص خشکسالی SMDI عمق ۳۰-۶۰ در هر دو سناریو برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ مقادیر کم‌تر از دوره ۲۰۴۵-۲۰۷۵ را نشان می‌دهند. سناریو RCP4.5 شاخص خشکسالی SMDI بیشتری را نسبت به سناریو RCP8.5 برآورد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای انتشار، شاخص خشکسالی کمبود رطوبت خاک، گزارش پنجم تغییر اقلیم، مدل گردش کلی.

مقدمه

۲۱۰۰ تغییرات متوسط دمای جهانی از ۱/۸ درجه به ۴ درجه سلسیوس افزایش یابد و تراز متوسط دریاها بین ۰/۱۸ تا ۰/۵۹ متر بالا بیاید. فراوانی رخداد‌های فرین نیز از قبیل سیل، خشکسالی و موج‌های گرمایی با افزایش دمای متوسط جهانی افزایش می‌یابد (Asakerhe & Akbarzadeh, 2017).

عبارت رطوبت خاک در کل، به ذخیره موقت بارش در عمق بالا ۱ تا ۲ متر بالایی نیمرخ خاک اشاره دارد (Narasimhan & rinivasan, 2005). نقش رطوبت خاک در منطقه ریشه به‌عنوان یک پارامتر کلیدی در هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی به‌خوبی شناخته شده است. آگاهی مناسب از رطوبت خاک، برای درک و پیش‌بینی اثرات متقابل بین اقلیم و فرآیندهای سطح زمین لازم است (Hosseinzadeh et al., 2018). رطوبت خاک یک پارامتر تعیین کننده در بسیاری از فرآیندهای پیچیده

با افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم است (Van Pelt & Swart, 2011) تغییر اقلیم یکی از گسترده‌ترین موضوعات مورد بحث در رشته اقلیم‌شناسی در دو دهه اخیر است. انسان به‌عنوان جزئی از سیستم اقلیمی نقش به‌سزایی در رفتار اقلیم دارد. به‌خصوص در عصر حاضر با افزایش جمعیت و نیاز انسان به منابع آب و غذا و در نتیجه افزایش اراضی کشاورزی، از بین رفتن جنگل‌ها، بیابان‌زایی و افزایش استفاده از انرژی‌های فسیلی باعث دگرگونی در سیستم اقلیمی شده است. پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیم جهانی برای قرن بیست‌ویکم نشان می‌دهند که گرمایش جهانی به شتاب خود ادامه خواهد داد، حتی اگر بشر بتواند جلوی انتشار گازهای گلخانه‌ای را بگیرد. پیش‌بینی می‌شود که تا سال

خشک کم‌تر از فصل‌های مرطوب است که این امر نشان می‌دهد ارتفاعات حوضه‌های جنوب شرقی خشکسالی بیشتری را از مناطق مرتفع‌تر شمال غربی برآورد می‌کنند. (Shin & Junge (2014) مدل مدیریت آب آبیاری IWMM را براساس الگوریتم ژنتیک گسترش دادند تا بتوانند به کمک آن شدت خشکسالی را در اراضی آبیاری کاهش دهند. در مطالعه آن‌ها، مدل SWAP^۵ رطوبت خاک را در منطقه شبیه‌سازی نموده و درجه خشکی در دو حالت آبیاری و دیم با شاخص SMDI مشخص می‌شود. با تلفیق نتایج SMDI و مدل IWMM، زمان مناسب و مقدار مناسب آب برای آبیاری تشخیص داده می‌شود. Narasimhan & Srinivasan, 2005 در ایالات تگزاس برای شبیه‌سازی رطوبت خاک در عمق‌های مختلف از مدل SWAT^۶ و برای بررسی وضعیت خشکسالی در طی دوره ۱۹۹۸-۱۹۰۱ از شاخص SMDI اصلاح شده استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب تعیین این شاخص با شاخص‌های SPI^۷ و PDSI^۸ برابر ۰/۶۵ و با شاخص ETDI^۹ برابر ۰/۷۹ است. همچنین تبخیر و تعرق گیاهان وابستگی بیشتری به شاخص SMDI نسبت به شاخص‌های SPI و PDSI دارد.

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد اثرات تغییر اقلیم بر مدل‌های شبیه‌ساز رواناب انجام شده است ولی در مورد تاثیرپذیری رطوبت خاک و خشکسالی کشاورزی از تغییر اقلیم، تحقیقات کمی در داخل کشور انجام شده است. رطوبت خاک در طی مراحل رشد گیاه اندازه‌گیری شده و مدل گیاهی باید با داده اندازه‌گیری شده واسنجی و صحت‌سنجی شود. بعد از این مرحله، شاخص کمبود رطوبت خاک با داده رطوبت شبیه‌سازی توسط مدل گیاهی محاسبه می‌گردد. همچنین در این تحقیق سعی شد تغییرات رطوبت خاک و خشکسالی ناشی از کمبود رطوبت خاک برای دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه، به کمک مدل DSSAT تعیین شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده، مزرعه دانشگاه بیرجند واقع در دشت بیرجند در استان خراسان جنوبی است. دشت بیرجند در محدوده عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه در ارتفاع متوسط ۱۴۵۰ متر از سطح دریاهای آزاد واقع شده است.

زیست‌محیطی است و نقش تعیین کننده‌ای در وقوع خشکسالی کشاورزی دارد (Keshavarz et al., 2010).

خشکسالی‌های کشاورزی نتیجه کمبود رطوبت خاک است که بر اثر به هم خوردن تعادل میان تامین آب و هدر رفت آن از طریق تبخیر/تعرق به وجود می‌آید. خشکسالی کشاورزی بخشی از اقلیم زمین است و هر از گاهی بدون هیچ علانم هشداردهنده و در محدوده‌ای با مرزهای غیر قابل تشخیص اتفاق می‌افتد و بیش از تمامی حوادث طبیعی دیگر، امنیت غذایی مردم را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Stocker et al., 2013). مهم‌ترین تفاوت خشکسالی با دیگر بلاهای طبیعی این است که به آرامی شروع می‌شود و بعد از آن، علاوه بر منطقه‌ای که در آن رخ داده است، مناطق مجاور را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد. اثرات نامطلوب این پدیده در همه بخش‌ها مانند منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و اجتماع به تدریج خود را نمایان می‌سازد (Dubrovsky et al., 2009).

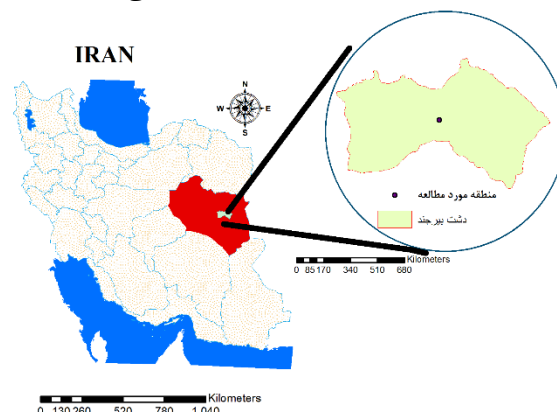
به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک و خشکسالی کشاورزی تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. در تحقیقی (Abbasi et al., 2010) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G^۱ پرداختند. نتایج کلی بررسی‌ها برای دوره‌ی مذکور حاکی از افزایش ۴ درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سلسیوس می‌باشد. Farkas et al., 2014 به تاثیرات تغییر اقلیم در رطوبت خاک تحت شرایط مختلف پوشش گیاهی پرداختند و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که افزایش جریان آب (به‌ویژه در نفوذ عمیق) در دوران آینده و تأثیر قوی خواص خاک بر تغییرات نتایج مدل آب و هوایی، دلیل بر اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر رطوبت خاک است. در تحقیقی دیگر، اثر متقابل رطوبت خاک و تغییرات آب و هوا با استفاده از مدل CESM^۲، به کمک داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم ارزیابی شد. نتایج حاکی از اهمیت تغییر رطوبت و تاثیر آن بر دمای خاک بود (Huser et al., 2017). Wambua, 2019 به تعیین خصوصیات فصلی و زمانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص کمبود رطوبت خاک (SMDI) در حوضه رودخانه تانا در کنیا پرداخت. رطوبت خاک طولانی مدت با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد و نتایج نشان داد که مقادیر SMDI در فصل

6. special weapons and tactics
7. Standardized Precipitation Index
8. Palmer Drought Severity Index
9. Evapotranspiration Deficit Index

1. ECHAM –HOPE-GERMANY
2. Community Earth System Model
3. Soil Moisture Drought Index
4. Integrated Waterbird Management and Monitoring
5. Soil, Water, Atmosphere and Plant

در این تحقیق برای شبیه‌سازی رطوبت خاک در دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) و دوره‌های آتی (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و (۲۰۷۵-۲۰۴۵) از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در دشت بیرجند استفاده شد. مشخصات کاشت و برداشت گیاه گندم 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.

آب و هوای آن خشک و نیمه‌خشک و متوسط دمای سالانه ۱۶ درجه سلسیوس با متوسط بارش سالانه ۱۷۱ میلی‌متر است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان و کشور

جدول ۱. مشخصات کاشت و برداشت گیاه مورد استفاده در مزرعه آزمایشی

تاریخ کاشت		تاریخ برداشت	
روز ژولایوسی	تاریخ شمسی	روز ژولایوسی	تاریخ شمسی
۳۲۷	۱۲/۰۹/۱۳۹۵	۱۵۳	۱۲/۰۳/۱۳۹۶

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (سانتی‌متر)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	بافت خاک
۳۰-۰	۲۵/۹۲	۱۰/۶۲	۰/۴۹	۷/۸	۸/۱۲	۱/۴	لومی
۶۰-۳۰	۳۲/۱۴	۸/۴۳	۰/۴۱	۷/۴	۷/۵۱	۱/۲۵	لومی
۹۰-۶۰	۳۴/۱۵	۹/۷	۰/۳۵	۷/۳	۶/۹۳	۱/۳۳	لومی

جدول ۳. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده

شماره چاه	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	نسبت جذب سدیم	کاتیون‌ها			آنیون‌ها				
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
۱	۱/۴	۸	۷/۵	۳/۵	۲/۷	۱۳/۳	۰/۰۸	۸/۸	۴/۹	۰	۶/۴

شاخص کمبود رطوبت خاک، داده‌های رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل DSSAT نیاز است. بنابراین ابتدا مدل DSSAT با استفاده از داده‌های هواشناسی و زراعی منطقه اجرا شد و با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ واسنجی و صحت‌سنجی گردید. سپس رطوبت خاک برای دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) شبیه‌سازی گردید. برای برآورد مقادیر رطوبت در دوره‌های آتی (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و (۲۰۴۵-۲۰۷۵) به کمک مدل‌ها و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5، نسبت مقادیر ماهانه پارامترهای هواشناسی دوره‌های آتی به دوره پایه برآورد گردید. به منظور تولید سناریوهای روزانه پارامترهای هواشناسی دوره‌های آتی به کمک داده‌های مشاهداتی (۱۹۷۵-۲۰۰۵) ایستگاه سینوپتیک بیرجند، پارامترهای دما و بارش توسط مدل LARS-WG^۱ ریزمقیاس شد. سپس مدل DSSAT با استفاده از سناریوهای روزانه تغییر اقلیم هواشناسی و داده‌های

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار، برای گندم رقم آنفارم ۴ انجام شد. ابعاد کرت‌ها ۳×۳ (متر مربع)، فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. تیمارهای مقدار آب آبیاری شامل ۵ سطح مختلف می‌باشند که سطح اول (I₁)، عمق آب آبیاری معادل ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه بعد از جوانه‌زنی، سطح دوم (I₂)، عمق آب آبیاری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بعد از جوانه‌زنی، سطح سوم (I₃)، عمق آب آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بعد از جوانه‌زنی، سطح چهارم (I₄)، عمق آب آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بعد از جوانه‌زنی و سطح پنجم (I₅)، عمق آب آبیاری معادل تیمار دیم با یک مرحله آبیاری تکمیلی بعد از جوانه‌زنی است.

روش انجام این تحقیق به این صورت است که برای شبیه‌سازی خشکسالی برای دوره‌های آتی و پایه با استفاده از

روزانه آب و هوا نیازمند می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی کم مدل - های AOGCM به این معنی است که خروجی این مدل‌ها برای استفاده مستقیم در مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه مناسب نیست. به همین دلیل خروجی مدل‌های AOGCM نیاز به تکنیک‌های مختلف ریزمقیاس کردن دارند. برای تولید داده‌های روزانه و ریزمقیاس شده اقلیمی، از مولد آب و هوای تصادفی LARS-WG برای متغیرهای بارش-دما استفاده گردید.

مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (برای بیش از ۲۰ گیاه زراعی مختلف) و برنامه‌های کامپیوتری در یک بسته نرم‌افزاری به منظور تسهیل در کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در تحقیقات و تصمیمات جمع شده‌اند. این مدل در بیش از ۹۰ کشور دنیا توزیع شده است و توسط بسیاری از محققان از اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ مورد استفاده قرار گرفته است (Soltani & Hoogenboom, 2007). مدل DSSAT به اطلاعات ورودی مربوط به هوا، خاک، مدیریت زراعی و رقم زراعی نیاز دارد. قبل از اجرای مدل، لازم است این ورودی‌ها در اختیار مدل قرار گیرند. مدل DSSAT با دریافت ورودی‌ها، محاسبات را از زمان کاشت تا رسیدن محصول انجام می‌دهد و مراحل فنولوژی، تجمع و تسهیم ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه و تاثیر تنش‌های آب و نیتروژن را بر رشد و نمو گیاه شبیه‌سازی می‌نماید (Hoogenboom et al., 2004). ماژول آب و خاک DSSAT که برای استفاده تمام مدل‌های گیاهی DSSAT تعمیم یافته است، از روش یک‌بعدی ریچی بهره می‌برد. در این روش، تغییرات روزانه رطوبت ناشی از نفوذ باران یا آبیاری، نفوذ عمقی، جریان غیراشباع رو به بالا، تبخیر از سطح خاک و برداشت آب توسط گیاه محاسبه می‌شود. این مدل برای محاسبه میزان زهکشی زمانی که لایه بالاتر رطوبتی بیش از میزان ظرفیت زراعی داشته باشد، از روش آبخاری استفاده می‌کند. میزان جریان غیراشباع رو به بالا نیز براساس تخمین میزان پخشیدگی و اختلاف میزان رطوبت در لایه‌های مجاور محاسبه می‌شود (Hoogenboom et al., 2004).

شاخص خشکسالی کمبود رطوبت خاک (SMDI) شاخصی که 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

زراعی دوره پایه، رطوبت موجود در خاک را برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی نمود و در نهایت خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص SMDI برای دوره‌های آتی تعیین شد و با دوره پایه مقایسه گردید.

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های GCM می‌باشند. هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم خود از سناریوهای جدید تحت عنوان RCP^۱ استفاده نموده است. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی کاهش‌ی سخت‌گیرانه (RCP2.6) دو سناریوی حد واسط (RCP4.5, RCP6) و یک سناریوی بدبینانه (RCP8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند (IPCC-TGICA, 2013). خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق، در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات مدل‌های به کار رفته در تحقیق براساس گزارش پنجم

مدل	کشور	وضوح مکانی درجه (طول جغرافیایی × عرض جغرافیایی)
MRI-CGCM3	Japan	۱×۱
Mpi-esm-mr	Germany	۱/۸×۱/۸
CanESM2	Canada	۲/۸×۲/۸
NorESM1-M	Norway	۲×۲

به دلیل حجم زیاد داده‌ها و پراکندگی و همچنین عدم قطعیت زیاد هر یک از این مدل‌ها از روش میانگین وزن‌دهی بر اساس فاصله معکوس استفاده شد که معیار وزن‌دهی RMSE (خطای میانگین مجذور مربعات) جدول (۵) است.

جدول ۵. مقادیر میانگین خطای مجذور مربعات (RMSE) مدل‌های

مدل	AOGCM	
	دما کمینه	دما بیشینه
MRI-CGCM3	۰/۹۱۰	۰/۸۳۸
Mpi-esm-mr	۰/۹۲۵	۰/۸۴۸
Canesm2	۰/۹۶۷	۰/۸۲۰
NorESM1-M	۰/۹۲۳	۰/۸

استفاده مستقیم از پیش‌بینی‌های اقلیمی خروجی مدل - های AOGCM در اتصال به برخی از مدل‌های شبیه‌سازی مانند مدل DSSAT که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، امکان‌پذیر نمی‌باشد. زیرا این پیش‌بینی‌ها به صورت میانگین‌های ماهانه می‌باشند، در صورتی که مدل DSSAT به سری‌های زمانی

رطوبت برای دوره پایه محاسبه شده و شاخص کمبود رطوبت خاک به طریق زیر محاسبه می‌شود (Narasimhan & Srinivasan, 2005).

(رابطه ۱)

$$SD_{i,j} = \frac{SW_{i,j} - MSW_j}{MSW_j - \min SW_j} \times 100 \quad \text{if } SW_{i,j} \leq MSW_j$$

(رابطه ۲)

$$SD_{i,j} = \frac{SW_{i,j} - MSW_j}{\max SW_j - MSW_j} \times 100 \quad \text{if } SW_{i,j} > MSW_j$$

در این روابط، $SD_{i,j}$: درصد کمبود رطوبت خاک، $SW_{i,j}$: میانگین رطوبت خاک در هفته در پروفیل خاک (عمق مورد بررسی)، 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 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.

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

به دلیل اینکه اندازه‌گیری رطوبت خاک هفتگی، به منظور تعیین خشکسالی برای یک دوره آماری بلندمدت سبب می‌شود داده‌های زیادی به وجود آید، بدین منظور شاخص SMDI بر اساس روش پالمر اصلاح شده است.

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

اگر خواسته شود شدت خشکسالی برای هر ماه محاسبه شود، در معادله فوق، $i=1$ و $t=1$ قرار داده می‌شود و معادله بعد از یک سری محاسبات به شکل زیر خلاصه می‌شود. پس از محاسبه این شاخص، می‌توان به کمک جدول (۶) وضعیت خشکسالی

کشاورزی را توسط این شاخص ارزیابی نمود.

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

به منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این تحقیق، دو معیار ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n}} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

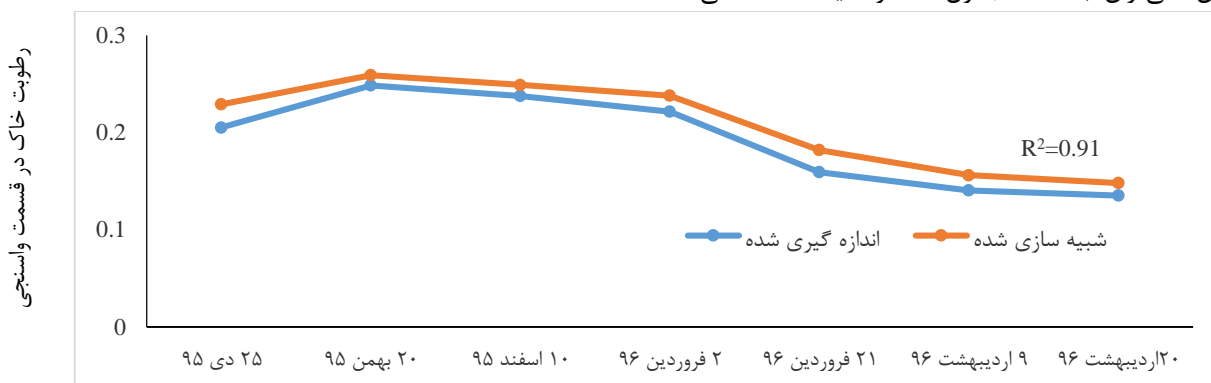
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_m - \bar{x}_m)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_m)^2} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

که در این رابطه‌ها، x_i : مقادیر پیش‌بینی شده، x_m : مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، n : تعداد نمونه‌های به کار رفته و x_m : مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. شاخص R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری نشان می‌دهد. RMSE با نشان دادن مقدار خطا، دقت مدل را مورد بررسی قرار می‌دهد.

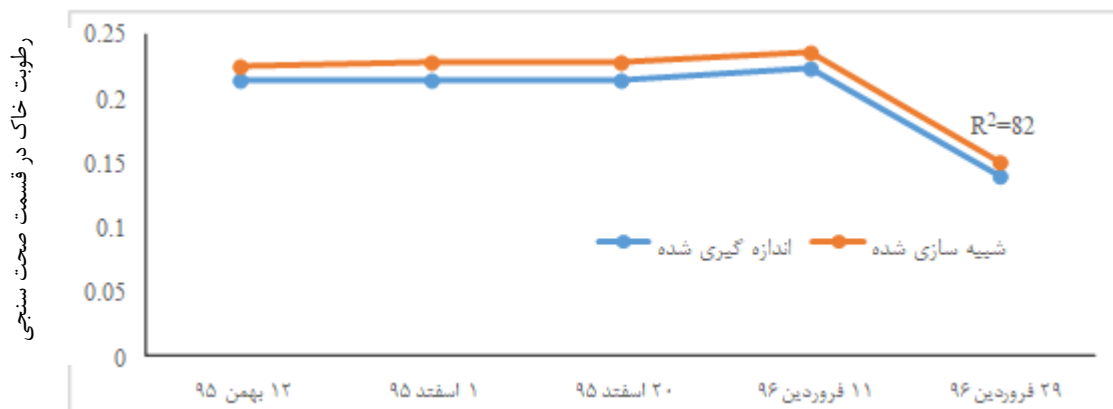
نتایج و بحث

واسنجی و صحت مدل DSSAT

واسنجی و صحت‌سنجی به منظور تعدیل پارامترهای گیاه و خاک برای به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی صورت می‌گیرد. در این تحقیق ۱۲ داده اندازه‌گیری رطوبت برای هر یک از سطوح آبیاری وجود دارد که از ۷ داده اندازه‌گیری شده برای واسنجی شکل (۲) و ۵ داده اندازه‌گیری شده دیگر برای صحت‌سنجی شکل (۳) استفاده شد. ضریب R^2 در شکل‌های (۲) و (۳) نشان می‌دهد مدل DSSAT توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی رطوبت خاک در محدوده پروفیل خاک دارد. Dokoochaki et al., 2012 نیز توانایی مدل DSSAT را در شبیه سازی رطوبت خاک در شرایط کم‌آبیاری در منطقه ورامین به اثبات رسانده بودند.



شکل ۲. مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در قسمت واسنجی



شکل ۳. مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در قسمت صحت‌سنجی

و صحت‌سنجی داده‌های ماهانه تولید شده و تبدیل آن‌ها به داده‌های روزانه با عمل ریزمقیاس کردن انجام شد که این عمل برای داده‌های بارش، دما و توسط مدل LARS-WG انجام گردید. درگام بعدی برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم روزانه از مدل LARS-WG استفاده شد. قبل از این که سناریوهای روزانه تولید شده در مدل شبیه‌ساز رطوبت DSSAT قرار بگیرد، سعی شد تا از روند تغییرات سالانه متغیرهای اقلیمی اطلاع حاصل شود. این متغیرها شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش می‌باشد. جدول (۷) مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را برای دو دوره آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ تحت سناریوهای واداشت نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص است دمای کمینه و بیشینه و بارش برای دو دوره آبی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین این جدول مشخص می‌کند سناریو RCP8.5 افزایش و کاهش بیشتر به ترتیب، دما و بارش را نسبت به سناریو RCP4.5 برآورد می‌کند و دوره آبی ۲۰۴۵-۲۰۷۵ نسبت به دوره آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ که (Shrestha et al., 2016) در دلتای مکونگ 3 در کشور ویتنام به نتایج مشابهی دست یافتند و میانگین سالانه دما ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و تا پایان قرن ۲۱ افزایش ۴/۵ درجه‌ای دما تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 پیش‌بینی کردند.

جدول ۶. 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

سناریوهای اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم آبی

در این تحقیق برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم و مشخص شدن تغییرات پارامترهای هواشناسی در دو دوره آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ از چهار مدل AOGCMs در ترکیب با دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. این داده‌ها از یک سایت مربوط به یک منطقه جغرافیایی با مساحت بزرگ گرفته شد که باید تبدیل به یک منطقه کوچک تر شوند. بنابراین عمل واسنجی

جدول ۷. مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در طی دوره آبی برای سناریوهای انتشار و دوره پایه

بارش	دما بیشینه		دما کمینه			
	۲۰۱۵-۲۰۴۵	۲۰۴۵-۲۰۷۵	۲۰۱۵-۲۰۴۵	۲۰۴۵-۲۰۷۵		
۰/۴۸۲	۰/۴۸۹	۲۷/۶۵۳	۲۶/۶۳۲	۱۱/۵۰۱	۱۰/۶۹۹	RCP4.5
۰/۴۷۱	۰/۴۸۹	۲۸/۶۲۵	۲۶/۸۳۰	۱۲/۶۹۴	۱۰/۸۸۰	RCP8.5
۰/۴۷۴		۲۴/۴۴۱		۸/۱۳۵		پایه

وضعیت رطوبت هفتگی خاک در دوره‌های پایه و آتی

رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر رشد گیاه و بیلان آب در مزرعه می‌باشد. برای اینکه تغییرات رطوبت در هفته و در سال بررسی شود. میانگین رطوبت خاک در هر هفته از بیست و هشت هفته در طی رشد گندم برای دوره پایه و دو دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ و سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در جدول (۸) بیان شده است. نتایج نشان می‌دهد رطوبت هفتگی خاک برای دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه کاهش یافته و مقادیر رطوبت خاک در سناریو RCP4.5 نسبت به سناریو RCP8.5 بیشتر برآورد شده است. کاهش رطوبت خاک در دوره آتی به کاهش بارش و افزایش دما مربوط می‌شود که این تغییرات دما و بارش در سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 شدیدتر است. همچنین تغییرات رطوبت هفتگی خاک در سطوح مختلف آبیاری در دوره پایه نسبت به دوره‌های آتی کم‌تر است. (Lalhezari et al., 2017) در تحقیقی با استفاده از داده‌های گزارش چهارم تغییر اقلیم به نتایج مشابهی در زمینه رطوبت خاک دست یافتند.

بررسی رطوبت هفتگی خاک در سطح آبیاری I₂ (۱۰۰٪)

به دلیل اهمیت بالای تیمار شاهد در واسنجی و صحت‌سنجی مدل DSSAT و کاستن حجم مقاله تنها به بررسی رطوبت هفتگی خاک در سطح آبیاری I₂ اشاره شد. شکل (۴) مقادیر رطوبت هفتگی خاک را برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با دوره پایه و دوره‌های آتی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ را نشان می‌دهد. رطوبت هفتگی خاک در هفته‌های پایانی رشد گیاه در عمق ۰-۳۰ تفاوت زیادی را بین دوره پایه و سناریوهای انتشار برای دو دوره آتی نشان نمی‌دهد؛ با این حال

در بعضی از هفته‌ها، سناریوهای انتشار رطوبت خاک را بیشتر از دوره پایه برآورد می‌کنند. در هفته‌های میانی دوره رشد اما دوره پایه رطوبت خاک بیشتری را نسبت به سناریوهای انتشار برای هر دو دوره آتی نشان می‌دهد. رطوبت هفتگی خاک دوره پایه در عمق ۳۰-۶۰ از سناریوهای انتشار دو دوره آتی بیشتر است و این اختلاف در دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۷۵ بیشتر نمایان است.

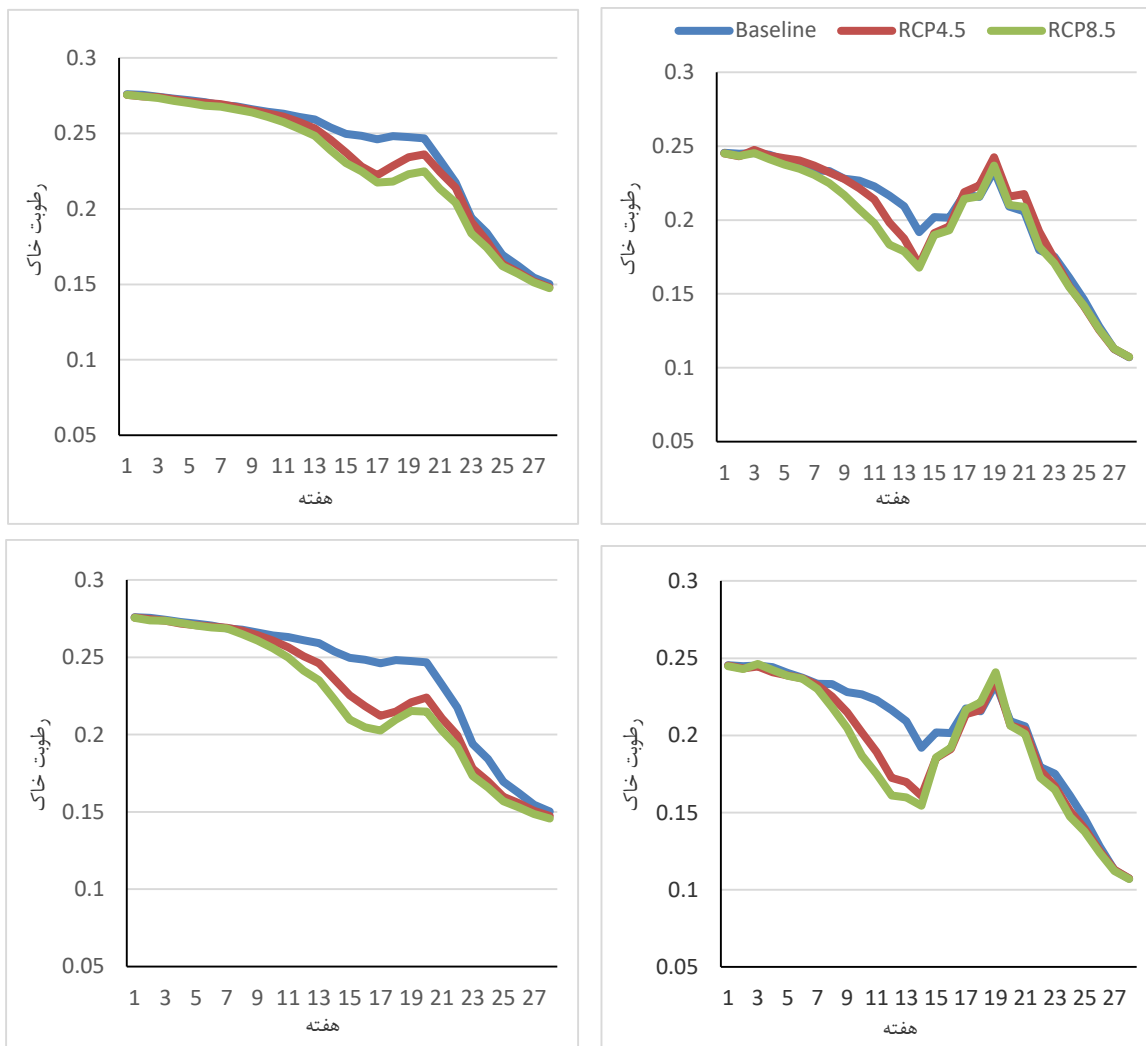
پایش و برآورد خشکسالی کشاورزی با شاخص SMDI

شاخص خشکسالی 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. میانگین شاخص کمبود رطوبت خاک در هر هفته از بیست و هشت هفته در طی رشد گندم برای دوره پایه و دو دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ و سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در جدول (۹) بیان شده است. مقادیر برآورد شده شاخص خشکسالی SMDI سناریو RCP4.5 عمق ۰-۳۰ در دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ نسبت به دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۷۵ منفی‌تر و خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد، در حالی که در سناریو RCP8.5 دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ وضعیت بهتری را دارد. شاخص خشکسالی SMDI عمق ۳۰-۶۰ در هر دو سناریو برای دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ مقادیر کم‌تر از دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۷۵ را نشان می‌دهند. سناریو RCP4.5 شاخص خشکسالی SMDI بیشتری را نسبت به سناریو RCP8.5 برآورد می‌کند.

جدول ۸. مقادیر متوسط رطوبت هفتگی برای دوره پایه و دوره‌های آتی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ و سناریوهای RCP4.6 و

RCP8.5

سطوح آبیاری	دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۵				دوره ۲۰۴۵-۲۰۷۵			
	RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5	
	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰
I ₁	۰/۲۴۳	۰/۲۴۳	۰/۲۰۷	۰/۲۳۸	۰/۲۰۴	۰/۲۳۵	۰/۲۰۲	۰/۲۴۴
I ₂	۰/۲۳۳	۰/۲۰۵	۰/۲	۰/۲۲۹	۰/۱۹۴	۰/۲۲۷	۰/۱۹۱	۰/۲۳۹
I ₃	۰/۲۲۴	۰/۱۹۳	۰/۱۸۸	۰/۲۲۲	۰/۱۸۶	۰/۲۲۲	۰/۱۸۳	۰/۲۳۳
I ₄	۰/۲۲۱	۰/۱۷۹	۰/۱۷۷	۰/۲۱۹	۰/۱۷۵	۰/۲۱۸	۰/۱۷۱	۰/۲۲۹
I ₅	۰/۲۱۸	۰/۱۷۳	۰/۱۷۱	۰/۲۱۵	۰/۱۶۹	۰/۲۱۶	۰/۱۶۵	۰/۲۲۶



شکل ۴. رطوبت هفتگی خاک در دو عمق ۰-۳۰ (راست) و ۳۰-۶۰ (چپ) و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره پایه و دوره‌های آتی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ (بالا) و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ (پایین) در سطح آبیاری I₂

جدول ۹. مقادیر متوسط شاخص خشکسالی کمبود رطوبت خاک هفتگی برای دوره پایه و دوره‌های آتی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

دوره پایه	دوره ۲۰۴۵-۲۰۷۵				دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵				سطوح آبیاری	
	RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5			
۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	
۰/۳۰۱	-۰/۲۱۹	-۰/۱۵۹	-۰/۲۶۵	۰/۳۳۶	-۰/۱۹۰	-۰/۱۳۲	-۰/۲۰۳	۰/۳۱۲	-۰/۲۴۳	I ₁
۰/۲۲۱	-۰/۲۵۸	-۰/۱۶۴	-۰/۳۷۲	۰/۱۹۴	-۰/۱۵۲	-۰/۱۶۵	-۰/۲۶۱	-۰/۰۱۲	-۰/۱۸۷	I ₂
۰/۰۵۲	-۰/۳۵۶	-۰/۲۶۳	-۰/۳۷۵	-۰/۰۰۹	-۰/۳۴۷	-۰/۲۶۲	-۰/۴۷۰	-۰/۱۳۳	-۰/۴۰۳	I ₃
۰-/۰۵۷	-۰/۴۵۳	-۰/۱۲۵	-۰/۵۱۴	۰/۰۱۱	-۰/۳۸۸	-۰/۲۳۲	-۰/۴۹۰	-۰/۰۹۲	-۰/۴۵۰	I ₄
-۰/۰۷۹	-۰/۵۱۲	-۰/۱۴۷	-۰/۴۵۰	۰/۰۴۴	-۰/۴۵۹	-۰/۲۴۳	-۰/۴۶۴	-۰/۱۰۴	-۰/۴۵۶	I ₅

بررسی وضعیت شاخص کمبود رطوبت خاک SMDI هفتگی در سطح آبیاری I₂ (۱۰۰٪) به منظور مقایسه مقادیر برآورد شده شاخص خشکسالی کشاورزی کمبود رطوبت خاک SMDI هفتگی سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با دوره پایه در تیمار شاهد، مقادیر شاخص خشکسالی

SMDI هفتگی را برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با دوره پایه و دوره‌های آتی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ ترسیم شد (شکل ۵). شاخص SMDI سناریوهای انتشار در هر دو عمق در هفته‌های ابتدایی مقادیر بیشتر از دوره پایه و حالت رطوبت خفیف تا نرمال و در هفته‌های میانی تا

بررسی وضعیت شاخص کمبود رطوبت خاک SMDI هفتگی در سطح آبیاری I₂ (۱۰۰٪) به منظور مقایسه مقادیر برآورد شده شاخص خشکسالی کشاورزی کمبود رطوبت خاک SMDI هفتگی سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 با دوره پایه در تیمار شاهد، مقادیر شاخص خشکسالی

هفته‌های ۱۹ تا ۲۱ خود را نشان داده است. در مقایسه سناریوها نیز سناریو RCP4.5 مقادیر بیشتر از سناریو RCP8.5 برای دوره‌های آبی برآورد می‌کند. Yaghoobzadeh, 2015 نیز دلیل کاهش مقادیر SMDI در دوره آبی را به کاهش رطوبت خاک مربوط دانسته‌اند.

انتهایی مقادیر کم‌تر از دوره پایه و وضعیت خشکسالی خفیف تا نرمال را نشان می‌دهند. رطوبت خاک در هفته‌های ۱۷ تا ۱۹ دارای تغییرات بیشتری نسبت به دوره پایه بود (شکل ۴) و به دلیل اینکه تغییرات شاخص خشکسالی در نتیجه کمبود رطوبت خاک در هفته‌های قبل می‌باشد این تغییرات برای شاخص SMDI در



شکل ۵. شاخص خشکسالی SMDI هفتگی در دو عمق ۰-۳۰ (راست) و ۳۰-۶۰ (چپ) و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره پایه و دوره‌های آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ (بالا) و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ (پایین) در سطح آبیاری I₂

نتیجه‌گیری

۲۰۴۵-۲۰۷۵ نسبت به دوره آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ افزایش بیشتر دما و کمتر بارش را نشان می‌دهد. رطوبت هفتگی خاک برای دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه کاهش یافته و مقادیر رطوبت خاک در سناریو RCP4.5 نسبت به سناریو RCP8.5 بیشتر برآورد شده است. همچنین تغییرات رطوبت هفتگی خاک در سطوح مختلف آبیاری در دوره پایه نسبت به دوره‌های آبی کم‌تر است. مقادیر برآورد شده شاخص خشکسالی SMDI سناریو RCP4.5 عمق ۰-۳۰ در دوره آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ نسبت به دوره آبی ۲۰۴۵-۲۰۷۵ منفی‌تر و خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد، در

در این تحقیق، برای تولید داده‌های رطوبت هفتگی خاک در دوره‌های آبی (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و (۲۰۴۵-۲۰۷۵) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) از مدل‌های GCM تحت تاثیر دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. نتایج تغییر پارامترهای اقلیمی نشان داد دمای کمینه و بیشینه و بارش برای دو دوره آبی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. سناریو RCP8.5 به ترتیب افزایش و کاهش بیشتر دما و بارش را نسبت به سناریو RCP4.5 برآورد می‌کند و دوره آبی

۲۰۴۵-۲۰۷۵ و را نشان می‌دهند. سناریو RCP4.5 شاخص خشکسالی SMDI بیشتری را نسبت به سناریو RCP8.5 برآورد می‌کند.

حالی که در سناریو RCP8.5 دوره آبی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ وضعیت بهتری را دارد. شاخص خشکسالی SMDI عمق ۶۰-۳۰ در هر دو سناریو برای دوره آبی ۲۰۴۵-۲۰۱۵ مقادیر کم‌تر از دوره آبی

REFERENCES

- Abbasi, F., Labosi, S.H., Babaeian, A., Asmsri, M., & Borhani, R. (2010). Estimation of Climate Change in South Khorasan in 2010-2039 Using ECHO-G Output Statistical Microscale. *Journal of Soil and Water*, 24(2), 218-233. (In Farsi)
- Asakerhe, H., & Akbarzadeh, Y. (2017). Simulation of Tabriz Synoptic Station Temperature and Precipitation Changes over the Period of 2010-2100 Using SDSM Statistical Exponential Scale and CanESM2 Model Output. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 21(3), 153-174. (In Farsi)
- Dokoohaki, H., Gheisari, M., Mousavi, S.F., & Mirlatif, S.M. (2012). Estimation soil water content under deficit irrigation by using DSSAT. *Journal of Water and Irrigation Management*, 2(1), 1-14. (In Farsi)
- Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z., & Hlavinka, P. (2009). Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(1-2), 155-171.
- Farkas, C., Gelybó, G., Bakacsi, Z., Horel, Á., Hagoó, A., Dobor, L., & Tóth, E. (2014). Impact of expected climate change on soil water regime under different vegetation conditions. *Biologia*, 69(11), 1510-1519.
- Huser, M., & Orth, R. (2017). Investigating soil moisture-climate interactions with prescribed soil moisture experiments: an assessment with the Community Earth System Model. *Geoscientific Model Development*, 10(4), 1665-1677.
- Hosseinzadeh, J., Tongo, A., Najafifar, A., & Hosseini, A. (2018). Relationship between Soil Moisture Changes and Climatic Indices in the Mele-Siah Forest Site of Ilam Province. *Journal of Water and Soil*, 32(4), 821-830. (In Farsi)
- Hoogenboom, G., Jones, J. W., Porter, C. H., Wilkens, P. W., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., & Tsuji, G. Y. (2004). DSSAT 4., Overview, vol. 1. ICASA, University of Hawaii, Honolulu, USA.
- IPCC-TGICA. (2013). General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.
- Keshavarz, M. R., Vazifhedoost, M., & Alizadeh, A. (2010). Development of Soil Moisture Deficiency Index Using Matisse Satellite Data. *Journal of Irrigation and Drainage*, 4(3), 465-477. (In Farsi)
- Lalhezari, R., Yaghoobzadhe, M., Haghayeghimoghadam, S. A. (2017). Evaluation of the effect of climate change on soil soil moisture using SWAP and AOGCM models. *Journal of Soil and Water*, 27(1), 95-106. (In Farsi)
- Narasimhan, B. & 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.
- Shin, Y., & Jung, Y. (2014). Development of irrigation water management model for reducing drought severity using remotely sensed soil moisture footprints. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(7), 04014021.
- Shrestha, S., Bach, T. V., & Pandey, V. P. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental science & policy*, 61, 1-13.
- Soltani, A., & Hoogenboom, G. (2007). Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crops Research*, 103(3), 198-207.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., & Midgley B. M. (2013). IPCC, 2013: climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 1535pp.
- Van Pelt, S. C., & Swart, R. J. (2011). Climate change risk management in transnational river basins: the Rhine. *Water resources management*, 25(14), 3837-3861.
- Wambua, R. M. (2019). Spatio-temporal characterization of Agricultural Drought using Soil Moisture Deficit Index (SMDI) in the Upper Tana River basin, Kenya. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technolog*, 5(2), 93-106.
- Yaghoobzadeh, M. (2015). The simulation of evapotranspiration and moisture soil for agricultural drought evaluation in the base line and future by using remote sensing. Ph. D. dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. (In Farsi)