

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک مزارع به کمک مدل‌های SWAP و AOGCM

رضا لاله زاری^۱، مصطفی یعقوب زاده^{۲*}، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۵

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، اهواز

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

چکیده

تخمین رطوبت خاک نقش اساسی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مدیریت و پیش‌بینی خشکسالی، تجزیه و تحلیل تغییر اقلیم و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های کشاورزی ایفا می‌کند. بدین منظور، با استفاده از تغییرات پارامترهای هواشناسی در دوره آتی، اثر تغییر اقلیم بر وضعیت رطوبت خاک با سه مدل و سه سناریو انتشار A1B، A2 و A1B بررسی شد. بنابراین، ابتدا مقادیر دما، بارش، رطوبت نسبی، باد و تشعشع تحت این سه سناریو و سه مدل AOGCM برآورد شد و سپس با استفاده از مدل LARS-WG و فاکتور تغییر ریزمقیاس شدند. نتایج نشان داد در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) دما، رطوبت نسبی، باد و بارش به‌طور متوسط ۸، ۷، ۱، و ۵ درصد افزایش و دما و رطوبت نسبی برای دوره آتی (۲۰۸۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط ۳۰ و ۱۹ درصد افزایش خواهند یافت. همچنین به‌کمک پارامترهای هواشناسی و داده‌های آب و خاک در مدل SWAP، رطوبت در اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک برای دوره پایه و آتی تعیین شد. نتایج نشان داد که رطوبت در دوره آتی ۲۰۳۰ نسبت به دوره پایه افزایش و در دوره ۲۰۹۰ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. همچنین هفته‌های ۵ و ۲۱ در طی رشد گندم به‌ترتیب مزارع فاروب و سلیمانی، هفته‌های هشدار دهنده تنش خشکی تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رطوبت خاک، ریزمقیاس کردن، مدل SWAP، مدل‌های AOGCM

Evaluation of Climate Change Effect on Soil Moisture of Farms by SWAP and AOGCM Models

R Lalehzari¹, M Yaghoobzadeh^{*2}, SA Haghayeghi Moghaddam³

Received: 28 November 2015

Accepted: 15 November 2016

1-Young Researchers and Elite Club, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Assist. Prof., Department of Sciences and Water Engineering, University of Birjand, Iran

3- Assist. Prof., Khorasan Razavi Agric. and Natural Research and Education Center of technology, Iran

*Corresponding Author, Email: m.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

Abstract

The estimation of soil moisture plays an essential role in the hydrologic modeling, drought prediction and management, climate change analysis, and support of agricultural decision making. Therefore, by use of meteorological parameters variations in the future period, effect of climate change on soil moisture status were investigated by use of three models of AOGCM and emission scenarios namely B1, A2 and A1B. So, firstly, the values of temperature, rainfall, relative humidity, wind speed and radiation were determined by these three scenarios and AOGCM models and secondly downscaled by the LARS-WG model and change factor method. Results of the present study showed that the values of temperature, relative humidity, wind speed and rainfall would increase in average by mean of 8%, 7%, 1% and 5% respectively, in the future period (2020-2039) in comparison with the baseline (1992-2011) and also temperature and relative humidity would increase in average by 30% and 19% in the future period (2080-2099) as compared with the baseline. Also, soil moisture at the depths of 30 and 60 cm were determined by use of meteorological parameters, soil and water data in SWAP model for future and base line periods. The results showed that the soil moisture in the future period of 2020 would increase as compared with the baseline, but in the future period of 2090 would decrease. Furthermore, the 5th and 21th weeks of the wheat growing season were determined as drought stress warning weeks for the Faroub and Soleimani farms, respectively.

Keywords: AOGCM models, Climate change, Downscaling Soil moisture, SWAP model

مقدمه

کشاورزی (بغدادی و همکاران ۲۰۰۷)، علوم خاک، اکولوژی و زراعت (لوئنت و همکاران ۲۰۰۵) و جنگلداری (مکونن ۲۰۰۹) و بررسی تبادل جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر (وانگ و کو ۲۰۰۹) دارد. دستونی و وروت (۲۰۱۴) یک چارچوب مفهومی و تحلیلی را برای ارتباط دادن تغییر آب و اقلیم در سطح زمین و رطوبت خاک و گسترش کمی درازمدت رطوبت خاک در اثر تغییر اقلیم گسترش دادند. آنها رطوبت خاک در سرتاسر منطقه غیراشباع و یک عمق ثابت را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که این ارزیابی، تغییر سطح آب زیرزمینی را نیز ممکن است در برگیرد. آنها همچنین فراوانی مقادیر رطوبت خاک مرطوب و خشک در طی

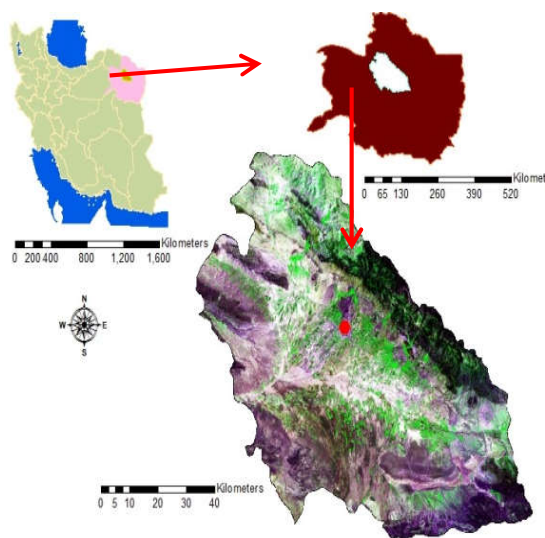
برآورد رطوبت خاک سطحی برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک ضروری است. رطوبت خاک سطحی، متغیری مهم در چرخه آبی طبیعت است که نقش مهمی در تعادل جهانی آب و انرژی به واسطه تأثیر بر فرآیندهای هیدرولوژیک، اکولوژیک و هواشناسی دارد. رطوبت خاک به دلیل تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی در زمان و مکان تغییر می‌کند (خان‌محمدی و همکاران ۱۳۹۳). رطوبت خاک نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت، به‌ویژه در توزیع باران بین رواناب سطحی و نفوذ ایفا می‌کند. ارزیابی داده‌های رطوبت خاک اهمیت شایانی در کاربردهای گوناگون همچون هیدرولوژی،

هواشناسی برای دوره‌های آبی برآورد گردد. در مرحله بعد به کمک مدل SWAP و داده‌های زراعی، رطوبت اعماق خاک در طی هفته‌های رشد گیاه تعیین شده و هفته‌هایی از رشد که گیاه در آن دچار کمبود رطوبت و تنش می‌شود مشخص می‌گردد. آبیاری در منطقه با دور ثابت انجام می‌پذیرد و استفاده از آبیاری تکمیلی برای همه کشاورزان مقدور نیست به همین دلیل تعیین مرحله کمبود رطوبت خاک و مرحله‌ای که گیاه دچار تنش خشکی در آینده می‌شود دارای اهمیت به‌سزایی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، مزارع گندم فاروب و سلیمانی دشت نیشابور مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است. وسعت این دشت حدود ۷۳۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۳۹۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. دشت نیشابور از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل ۱۳' ۵۸° تا ۳۰' ۵۹° طول شرقی و ۴۰' ۳۵° تا ۳۹' ۳۶° عرض شمالی قرار دارد. آب و هوای منطقه نیمه-خشک و خشک، متوسط دمای آن ۱۲ درجه سیلیسیوس و میزان بارندگی سالانه آن به‌طور متوسط برای کل دشت ۲۹۲ میلی‌متر گزارش شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه در استان خراسان رضوی.

دوره‌های آب و هوایی ۲۰ ساله مختلف را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده افزایش رویداد خشکی از شروع تا انتهای قرن ۲۰ می‌باشد که این امر نشان می‌دهد خطر خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی همزمان با خطر خشکسالی هواشناسی و کاهش بارش در منطقه افزایش می‌یابد. چپو و همکاران (۱۹۹۵) اثر تغییر اقلیم بر روی رواناب و رطوبت خاک را در ۲۸ حوضه استرالیا با استفاده از مدل بارش رواناب روزانه هیدرولوژیکی شبیه‌سازی کردند. در مرحله اول، مقادیر بارش و درجه حرارت تغییر یافته را در مدل واسنجی شده بارش-رواناب به منظور نشان دادن حساسیت رواناب و رطوبت خاک به تغییرات آب و هوا به کار بردند. در مرحله بعد، نتایج مدل اقلیمی آب و هوا (GCM) را به منظور نشان دادن تغییر احتمالی بر رواناب و رطوبت خاک در طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۷۰ ارزیابی کردند. نتایج تحلیل حساسیت آنها نشان داد تغییر در مقادیر بارش همیشه بر رواناب به‌خصوص در حوضه‌های خشک مؤثر است و همچنین تغییر بارش، اثر کمی بر روی رطوبت خاک در حوضه‌های مرطوب نسبت به حوضه‌های خشک‌تر دارد. آنها همچنین نشان دادند درصد تغییر در سطوح رطوبت خاک می‌تواند متأثر از درصد تغییر در بارش باشد و درجه حرارت به تنهایی در مقایسه با بارش، تأثیر کمی بر روی رواناب و رطوبت خاک خواهد داشت.

در زمینه اثر تغییر اقلیم بر رطوبت، خوشحال دستجردی و همکاران (۱۳۸۹) با در نظر گرفتن تغییرات درجه حرارت هوا و بارندگی حاصل از سناریوهای اقلیمی A2 و B2 برای دوره‌های اقلیمی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۳۹-۲۰۷۰ در منطقه‌ای در غرب اصفهان (داران) با استفاده از مدل کامپیوتری BUDGET، تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان رطوبت خاک و عکس‌العمل گندم دیم نسبت به آب را در دوره‌های مذکور مورد بررسی قرار دادند.

در این تحقیق سعی شد با استفاده از مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار تغییر اقلیم، پارامترهای

روش تحقیق

مدل SWAP یک عضو از خانواده مدل‌هایی است که توسط دانشگاه وگنینگن توسعه یافته است. این مدل برگرفته از مدل‌های آگروهیدرولوژیکی خاک (SWATRE و SWACROP)، مدل انتقال شوری (SWASALT) و مدل انقباض و تورم خاک‌های رسی (FLOCR) است (ون دم و همکاران ۱۹۹۷). SWAP یک مدل آگروهیدرولوژیکی 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 در آن از روش عددی تفاضل محدود و اعمال شرایط مرزی و استفاده از توابع هیدرولیکی خاک استفاده می‌گردد. توابع هیدرولیکی خاک به‌عنوان روابط بین هدایت هیدرولیکی K ، رطوبت خاک و بار فشاری آب خاک تعریف می‌شوند.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) - S(h) \right] \quad [1]$$

در این معادله θ : رطوبت حجمی خاک ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)، t : زمان (hr)، z : افزایش عمق نسبت به سطح زمین (cm)، $K(\theta)$: هدایت هیدرولیکی (cm h^{-1}) و h : بار هیدرولیکی (cm) می‌باشد.

در این تحقیق، ابتدا رطوبت خاک با مدل SWAP شبیه‌سازی و سپس با استفاده از ۷۰ درصد داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک، مدل SWAP واسنجی و با استفاده از ۳۰ درصد داده‌های اندازه‌گیری شده، صحت-سنجی داده‌ها انجام شد.

تغییر اقلیم

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های سه‌بعدی جفت‌شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشند. مؤسسه IPCC (هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم) تاکنون پنج ارزیابی عمده (FAR1990، SAR-1995، TAR-2001، AR4-2007، AR5-2013) در سه بخش مبانی علمی،

اثرات و سازگاری و فرونشانی تغییر اقلیم ارائه داده است (دلقندی ۱۳۹۱). IPCC اولین گزارش خود را در سال ۱۹۹۰ تحت عنوان (First Assessment Report, FAR) و گزارش تکمیلی آن را در سال ۱۹۹۲ ارائه داد. در سال ۱۹۹۵ گزارش دوم (Second Assessment Report, SAR) و در سال ۲۰۰۱ گزارش سوم IPCC تحت عنوان (Third Assessment Report, TAR) منتشر شد. گزارش چهارم IPCC (Fourth Assessment Report, AR4) در سال ۲۰۰۷ منتشر شده و گزارش پنجم (Fifth Assessment Report, AR5) نیز در انتهای سال ۲۰۱۳ منتشر و در سال ۲۰۱۴ کامل گردید. هر گزارش شامل سه جلد می‌باشد که نتایج گروه‌های کاری اول، دوم و سوم را در شامل می‌شود. در این تحقیق به‌دلیل کامل نبودن گزارش پنجم (AR5) از خروجی سه مدل AOGCM تحت سه سناریو انتشار A2، B1 و A1B مربوط به گزارش ارزیابی IPCC، (AR4) استفاده شد. از جدول (۱) مشخص است هر سه مدل انتخابی تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2، B1 و A1B اقدام به شبیه‌سازی اقلیم در دوره‌های آتی می‌نمایند. این سناریوها زیرمجموعه سری چهارم سناریوهای انتشار با نام SRES ارائه شده است. سناریوهای SRES در برگرفته طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌باشد. به‌عنوان مثال، سناریو A1B موازنه منابع انرژی را نشان می‌دهد. سناریو B1 ابزاری بسیار مناسب با محیط زیست با تعداد مشابه با سناریوی A1 در مقیاس جهانی ولی با تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی به سمت اقتصاد اطلاعات و خدمات را ارائه می‌دهد. سناریو A2 مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای را در آینده‌ای بسیار ناهمگون با رشد سریع جمعیت، توسعه اقتصادی بسیار پراکنده و آهسته‌تر و تغییرات تکنولوژیکی را ارائه می‌کند (دلقندی ۱۳۹۱).

جدول ۱- مشخصات مدل‌های AOGCM مورد استفاده در این تحقیق.

نام مدل	گروه موسس و کشور	قدرت تفکیک در اتمسفر	قدرت تفکیک در اقیانوس	سناریو های انتشار
HadCm3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met office. UK	2.5°×3.75°, L19	1.25°×1.25°, L20	A2,B1,A1B
ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology, Germany Canadian Centre for	T63 (~1.9° x 1.9°) L31	1.5° x 1.5° L40	A2,B1,A1B
CGCM3 (T47)	ClimateModelling and Analysis, Canada	T47 (~2.8° x 2.8°) L31	1.9° x 1.9° L29	A2,B1,A1B

عامل تغییر (روش تناسبی) استفاده گردید. به دلیل اینکه مدل‌های LARS-WG و SDSM قادر به ریزمقیاس کردن همه پارامترهای هواشناسی نیستند، محققان زیادی نظیر آشفته (۱۳۹۱) از روش فاکتور تغییر یا روش تناسبی برای ریزمقیاس کردن پارامترهای هواشناسی استفاده کردند.

الف- عامل تغییر

مدل LARS-WG قادر به تولید داده‌های روزانه رطوبت نسبی و سرعت باد نمی‌باشد، بدین منظور برای شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و رطوبت با مدل SWAP باید از تغییرات رطوبت نسبی و سرعت باد در دوره آتی اطلاع حاصل شود. بدین منظور در این تحقیق از روش عامل تغییر (Change Factor) برای ریزمقیاس کردن تناسبی داده‌های رطوبت نسبی و باد استفاده شده است. در این روش برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه ۲) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۳) بین میانگین ۲۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) و دوره شبیه‌سازی شده پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود. این مقادیر بیان‌گر میزان میانگین ۲۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد (ویلی و هاریس، ۲۰۰۶). همچنین لازم به ذکر است برای رطوبت نسبی نیز از اختلاف و برای تشعشع و سرعت باد از نسبت بین مقادیر دوره آتی و پایه استفاده می‌شود.

$$\Delta T_i = (T_{AOGCM, fut_i} - T_{AOGCM, base_i}) \quad [2]$$

با توجه به موجودیت آمار متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه، دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۲ به عنوان دوره پایه و همچنین دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند. این مجموعه داده‌ها از طریق مرکز توزیع داده که توسط IPCC در سال ۱۹۹۸ شکل گرفته، قابل دسترسی می‌باشد. جهت دسترسی به داده‌های مربوط به منطقه در دوره‌های ۲۰ ساله پایه و آینده، با وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مورد نظر و همچنین طول آماری مورد نیاز، سری‌های زمانی متغیر اقلیمی (دما، بارش، رطوبت نسبی، باد و تشعشع) در دوره پایه و دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) به صورت ماهانه به دست می‌آید.

استفاده مستقیم از پیش‌بینی‌های اقلیمی خروجی مدل‌های AOGCM در اتصال به برخی از مدل‌های شبیه‌سازی مانند مدل SWAP که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، امکان‌پذیر نمی‌باشد. زیرا این پیش‌بینی‌ها به صورت میانگین‌های ماهانه می‌باشند، در صورتی‌که مدل SWAP به سری‌های زمانی روزانه آب و هوا نیازمند می‌باشد. از طرفی قدرت تفکیک مکانی کم مدل‌های 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 و تشعشع و برای رطوبت نسبی و باد از فاکتور یا

برای تولید سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دوره دلخواه استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

واسنجی مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی شده با مدل SWAP و مقادیر اندازه‌گیری شده با ضریب تعیین (R^2) بالای ۰/۷ می‌تواند نشان‌دهنده توانایی مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت خاک در سطح مزارع دشت باشد (جدول ۲). بعد از واسنجی داده‌های رطوبت خاک و قبل از اینکه به کمک مدل SWAP تغییرات رطوبت برای دوره‌های آتی بررسی شود باید به کمک مدل‌ها و سناریوهای تغییرات، پارامترهای هواشناسی برای دوره‌های آتی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۲۰-۲۰۹۹ تعیین گردد.

جدول ۲- واسنجی مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی و

اندازه‌گیری شده مزرعه سلیمانی.

نوع کشت	AD (%)	MAE (%)	RMSE (%)	R^2
آبی	۰/۶۴۲	۰/۰۳	۱/۲	۰/۸۸
دیم	۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۶۷	۰/۸۲

نتایج حاصل از مقایسه تغییرات پارامترهای هواشناسی نشان داد دمای کمینه، بیشینه و متوسط، رطوبت نسبی (RH)، باد (WIND)، بارش (P) و تبخیر و تعرق روزانه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۱ به‌طور متوسط ۱۱، ۴، ۸، ۷، ۱، ۵ و ۲ درصد افزایش یافته است. همچنین پیش‌بینی شده است دمای کمینه، بیشینه، متوسط و رطوبت نسبی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نیز نسبت به دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۱ به‌طور متوسط ۵۰، ۹، ۳۰ و ۱۹ درصد افزایش یابند. همچنین تغییرات باد نسبت به دوره پایه ثابت و تغییرات بارش کاهش ۳ درصدی را نسبت به دوره پایه خواهند داشت.

نمودار جعبه‌ای مقادیر دمای متوسط روزانه هریک از ماه‌ها برای سناریوهای A1B، A2 و B1 و برای دوره‌های آتی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در شکل ۲ نشان داده شده است. برای مثال تفاوت ماهانه دما در دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با دوره پایه در ماه‌های گرم از

$$\Delta P_i = (P\bar{A}OGCM, fut_i / P\bar{A}OGCM, base_i) \quad [۳]$$

در روابط فوق ΔP_i و ΔT_i به ترتیب بیان‌گر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارش برای میانگین بلند مدت ۲۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $T\bar{A}OGCM, fut_i$ میانگین ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، $T\bar{A}OGCM, base_i$ میانگین ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد. میانگین ۲۰ ساله بارندگی، تشعشع، رطوبت نسبی و باد شبیه‌سازی شده در دوره آتی و مشابه با دوره مشاهداتی (پایه) نیز مشابه با دما در معادلات فوق مشخص می‌باشد. در روش عامل تغییر برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (۱۹۹۲-۲۰۱۱) افزوده می‌شود:

$$RH = RH_{obs} + \Delta RH \quad [۴]$$

$$W = W_{obs} \times \Delta W \quad [۵]$$

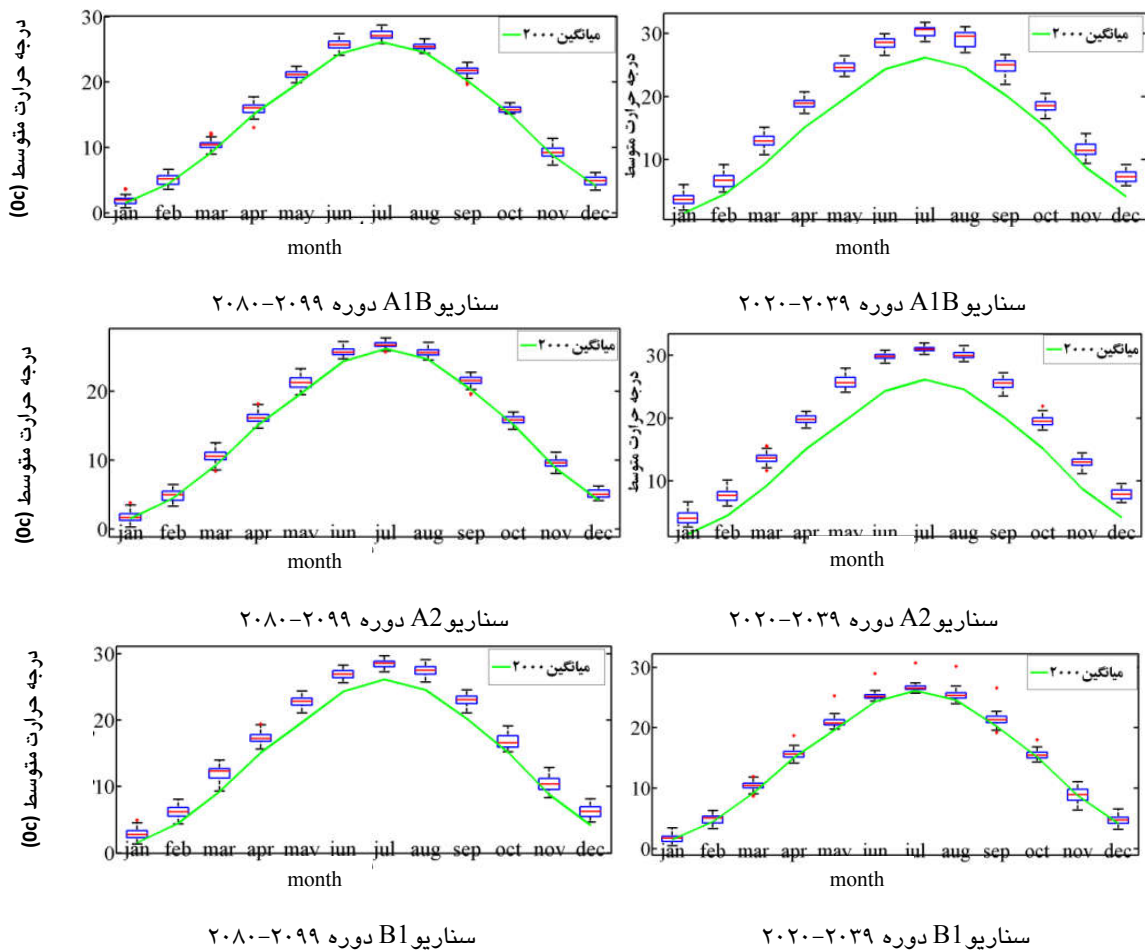
در رابطه فوق RH_{obs} و W_{obs} بیان‌گر سری زمانی باد و رطوبت نسبی مشاهداتی (در اینجا روزانه) در دوره پایه (۱۹۹۲-۲۰۱۱)، RH و W سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی باد و رطوبت نسبی در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و (۲۰۲۰-۲۰۹۹) و ΔW و ΔRH سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده است.

ب- مدل LARS-WG

مدل LARS-WG مولد تصادفی آب و هوا است که جزئیات مبانی آن توسط سمونف (۲۰۰۸) و سمونف و استراتونویچ (۲۰۱۰) ارائه شده است. این مدل می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارندگی و تشعشع خورشید را تولید کند. برای این منظور از داده‌های روزانه مشاهده شده یک ایستگاه مشخص استفاده می‌کند تا یک مجموعه از پارامترها برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی و همچنین همبستگی بین آنها تولید کند. این مجموعه از پارامترها

فصل گرم تابستان را برآورد کردند. محققان زیادی از جمله چونگ و همکاران (۲۰۱۱) و شهید و همکاران (۲۰۱۱) افزایش درجه حرارت و گرم شدن هوا را برای آینده تخمین زدند.

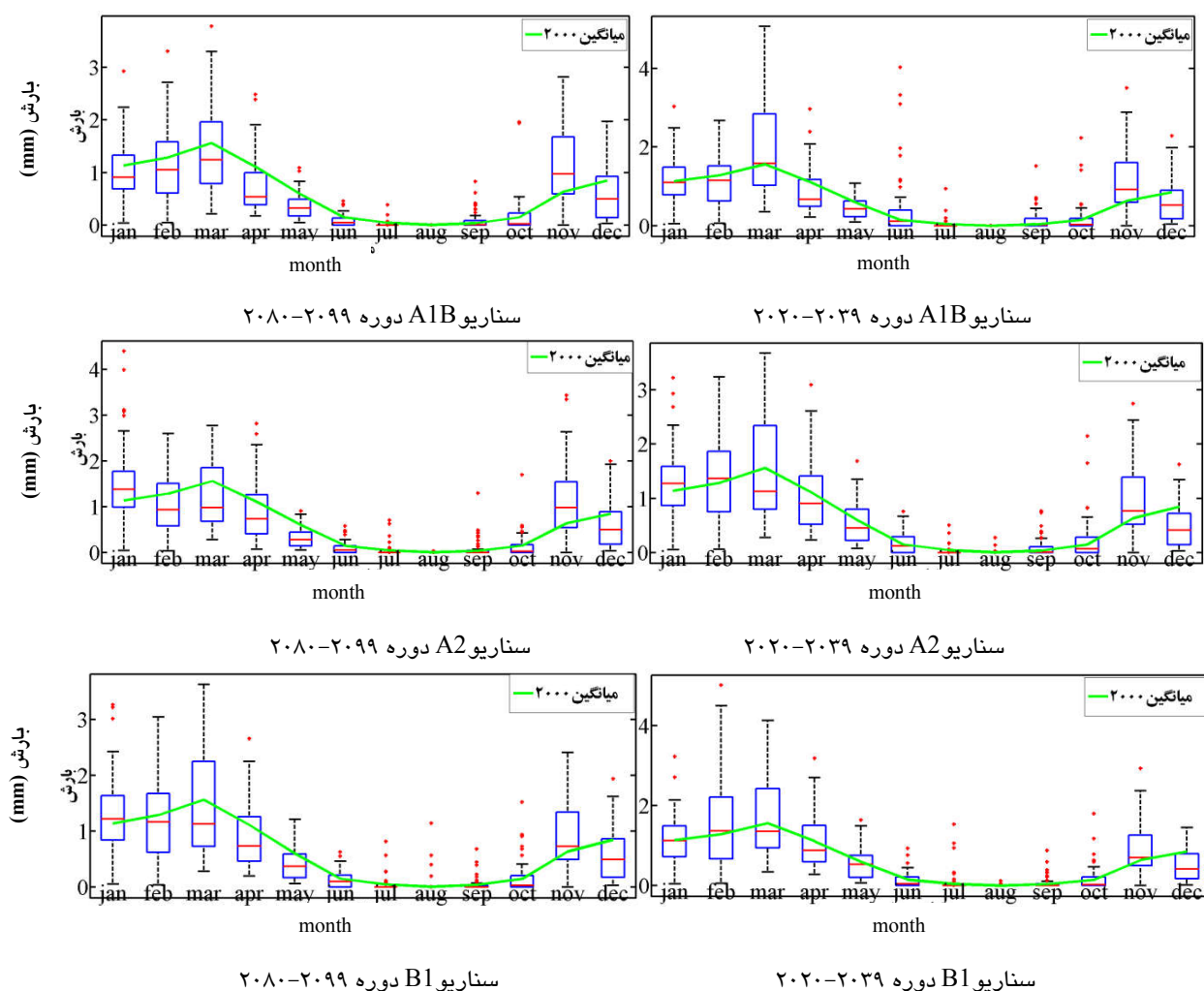
می تا سپتامبر بیشتر می‌شود. در مقایسه سناریو‌ها نیز سناریو A2 نسبت به دو سناریو دیگر تفاوت بیشتری بین مقادیر دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و دوره پایه نشان می‌دهد. در حالت کلی سناریو‌ها، گرم شدن هوا در آینده دور و در



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای مقادیر درجه حرارت متوسط روزانه (C) در ماه‌های میلادی در دوره آتی.

بیشتر و در ماه‌های سرد مقادیر دوره آتی از دوره پایه بیشتر خواهند شد. بنابراین، انتظار می‌رود مقدار بارش در آینده در فصول سرد نسبت به دوره پایه بیشتر و در فصول گرم کمتر شود و همچنین دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و آینده دور (۲۰۸۰-۲۰۹۹)، به ترتیب دوره پربارش‌تر و کم‌بارش‌تری نسبت به حال باشد. دلقندی (۱۳۹۱) نیز دوره آینده نزدیک را دوره پربارش‌تر از دوره پایه و دوره آینده دور را دوره کم‌بارش‌تری نسبت به زمان حال تخمین زد.

در مورد مقادیر متوسط روزانه بارش در ماه نیز در شکل ۳ مشخص شد که در ماه‌های گرم سال مانند ژوئیه و اوت مقدار بارش تقریباً صفر خواهد بود و بیشترین مقدار بارندگی روزانه در ماه، در ماه مارس و فوریه میلادی اتفاق خواهد افتاد. علاوه بر این، میانگین روزانه بارش در ماه در دوره پایه نیز از مقادیر میانگین دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ کمتر و از دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ اندکی بیشتر خواهد بود. همچنین در ماه‌های آوریل و می تا سپتامبر مقادیر میانگین دوره پایه از میانگین دوره آتی



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای مقادیر میانگین بارش روزانه (mm) در ماه‌های میلادی در دوره آتی.

دوره‌های آتی بخصوص دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه افزایش اندکی در رطوبت بوجود خواهد آمد. در مقایسه مزارع گندم نیز می‌توان بیان داشت که مزرعه گندم فاروب نسبت به مزرعه گندم سلیمانی، ۲۵ درصد افزایش مقدار درصد رطوبت داشته است که به دلیل یکسان بودن نوع گیاه این امر می‌تواند به‌نحوه و تعداد نوبت آبیاری در دو مزرعه متفاوت مربوط شود. در مجموع نیز درصد رطوبت موجود در عمق ۳۰ سانتی-متری خاک برای دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ کمتر است که میزان بارش کمتر و دمای بیشتر این دوره نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ (۲۰۳۰) می‌تواند از علل بوجود آمدن این رخداد باشد.

رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد گیاه و بیلان آب در مزرعه می‌باشد. جدول ۲ مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین روزانه درصد رطوبت موجود در خاک در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر را برای گندم آبی در دوره پایه و دوره‌های آتی مشخص می‌سازد. تغییرات رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متر نشان داد که درصد رطوبت موجود در خاک در دوره‌های آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۱-۲۰۱۱ برای محصول گندم مزارع فاروب و سلیمانی، اندکی افزایش خواهد یافت. در حالت کلی، نیز می‌توان بیان نمود که مقادیر میانگین درصد رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متر در دوره پایه با دوره‌های آتی تغییر چندانی نداشته است و فقط در

جدول ۳- مقادیر رطوبت متوسط عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک محصولات دشت در دوره پایه و آبی.

گندم مزرعه سلیمانی		گندم مزرعه فاروب		پارامتر	سناریو	دوره آماری
۶۰ cm	۳۰ cm	۶۰ cm	۳۰ cm	آماری	انتشار	
۰/۳۴۳	۰/۳۴۲	۰/۳۴۳	۰/۳۴۲	بیشینه		۲۰۰۰
۰/۱۴۹	۰/۱۰۹	۰/۱۷۲	۰/۲۳۳	کمینه	-	
۰/۲۳۹	۰/۲۳۹	۰/۳۰۹	۰/۳۰۱	میانگین		
۰/۳۶	۰/۳۴۶	۰/۳۴۵	۰/۳۴۴	بیشینه		A1B
۰/۱۲۸	۰/۰۹۷	۰/۲۴۳	۰/۲۲۶	کمینه	A1B	
۰/۲۵۵	۰/۲۵۴	۰/۳۱۶	۰/۳۰۶	میانگین		
۰/۳۶۱	۰/۳۴۵	۰/۳۴۴	۰/۳۴۲	بیشینه		۲۰۳۰
۰/۱۲۶	۰/۰۹۴	۰/۲۳۱	۰/۲۱۷	کمینه	A2	
۰/۲۵۱	۰/۲۵۲	۰/۳۱۶	۰/۳۰۵	میانگین		
۰/۳۶۱	۰/۳۴۵	۰/۳۴۴	۰/۳۴۳	بیشینه		B1
۰/۱۴۹	۰/۱۱۵	۰/۲۶۱	۰/۲۴۴	کمینه	B1	
۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۳۱۷	۰/۳۰۶	میانگین		
۰/۳۵۲	۰/۳۴	۰/۳۴۳	۰/۳۴۲	بیشینه		A1B
۰/۱	۰/۰۸۲	۰/۱۶۷	۰/۱۶۴	کمینه	A1B	
۰/۲۳۷	۰/۲۴	۰/۳۰۸	۰/۲۹۷	میانگین		
۰/۳۴۹	۰/۳۳۷	۰/۳۴۳	۰/۳۳۹	بیشینه		۲۰۹۰
۰/۰۹۹	۰/۰۸۲	۰/۱۶۲	۰/۱۵	کمینه	A2	
۰/۲۳۷	۰/۲۴	۰/۳۰۸	۰/۲۹۷	میانگین		
۰/۳۵۶	۰/۳۴۳	۰/۳۴۴	۰/۳۴۲	بیشینه		B1
۰/۱۲۴	۰/۰۹۲	۰/۲۲۵	۰/۲۱۱	کمینه	B1	
۰/۲۴۳	۰/۲۴۵	۰/۳۱۳	۰/۳۰۲	میانگین		

توزیع رطوبت عمق ۶۰ سانتی‌متر خاک در طول هفته‌های پس از رشد گیاه را نشان می‌دهد.

همچنین در عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک محصولات مختلف مشابه عمق ۳۰ سانتی‌متر، درصد رطوبت در دوره آبی ۲۰۹۰ نسبت به دوره ۲۰۳۰ کمتر تخمین زده شده است. با این وجود، تفاوت مقادیر درصد رطوبت دوره ۲۰۹۰ و دوره پایه نسبت به دوره ۲۰۳۰ و دوره پایه در عمق ۶۰ سانتی‌متر نسبت به عمق ۳۰ سانتی‌متر بیشتر است که افزایش دما و کاهش بارش در دوره آبی ۲۰۹۰ می‌تواند از علل بروز این نتایج باشد. همچنین مقادیر میانگین درصد رطوبت در عمق ۶۰ سانتی‌متر نسبت به ۳۰ سانتی‌متر در هر دو محصول تقریباً مشابه است.

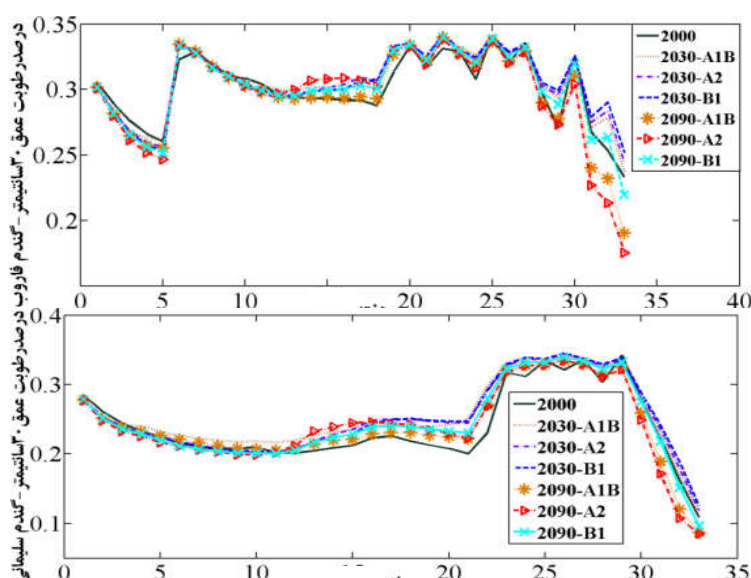
همچنین در جدول ۳ ملاحظه می‌شود که سناریوهای A1B و A2 دوره آبی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به سناریو B1 دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و سناریوهای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و حتی دوره پایه، مقادیر کمتری از رطوبت خاک را پیش‌بینی می‌کنند. از تفاوت‌های رطوبت خاک در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر می‌توان به افزایش کمینه رطوبت مزارع گندم سلیمانی اشاره نمود. معمولاً هرچه تفاوت کمینه و بیشینه رطوبت کمتر باشد، نشان‌دهنده یکنواختی رطوبت خاک در طول رشد گیاه می‌باشد. در مزرعه گندم سلیمانی رطوبت بیشینه ۲/۳ تا ۳/۵ برابر رطوبت کمینه بسته به سناریو و دوره برآورد تغییر می‌کند. وجود این اختلاف زیاد بین رطوبت کمینه و بیشینه که در گندم فاروب نیز به مقدار کمتر وجود دارد، عدم یکنواختی

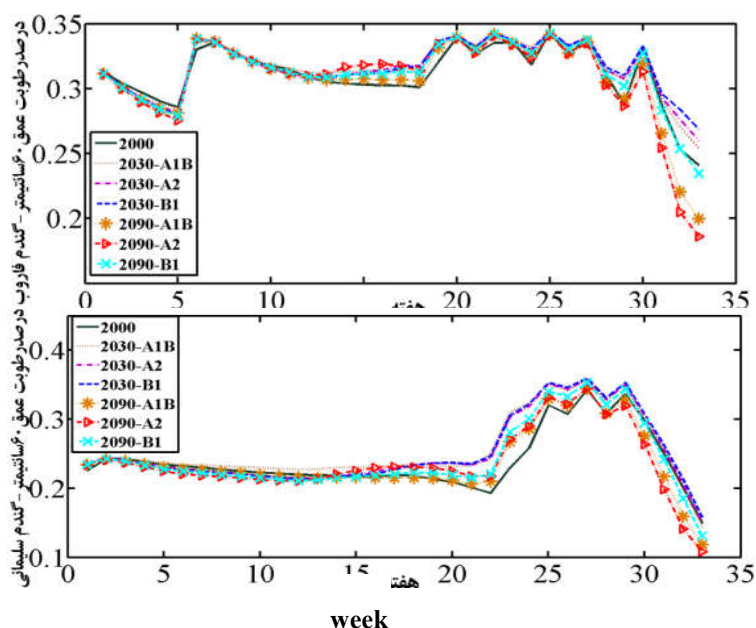
تغییرات درصد رطوبت عمق ۶۰ سانتی‌متر خاک نیز نشان می‌دهد گندم مزارع فاروب و سلیمانی با افزایش رطوبت در دوره آبی نسبت به پایه روبرو خواهند شد (شکل ۴). عدم برنامه‌ریزی درست آبیاری در مورد گندم مزرعه سلیمانی نیز نشان داد تا ۲۲ هفته پس از رویش گیاه، مقدار رطوبت خاک کم و تقریباً به یک اندازه (رطوبت حدود ۰/۲۴) می‌باشد، این در حالی است که گندم فاروب به دلیل برنامه‌ریزی بهتر آبیاری از میزان رطوبت خاک بیشتری برخوردار خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق ابتدا به کمک مدل‌های تغییر اقلیم، پارامترهای هواشناسی برای دوره‌های آبی تخمین زده شد و به کمک مدل SWAP، مقدار رطوبت خاک در اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای دوره پایه و دوره‌های آبی تعیین شد. نتایج نشان داد دما و رطوبت نسبی در هر دوره آبی ۲۰۳۰ و ۲۰۹۰ نسبت به دوه پایه افزایش خواهد یافت ولی بارش در دوره ۲۰۳۰ و ۲۰۹۰ نسبت به دوره پایه به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت.

شکل ۴ درصد تغییرات رطوبت موجود در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر خاک مزارع تحت کشت گندم فاروب و سلیمانی را در طی دوره رشد گیاه مشخص می‌کند. تقریباً به همان صورت که میانگین درصد رطوبت موجود در خاک در جدول ۲ نشان داد بر روی نمودار در طی دوران رشد محصولات اتفاق افتاد با این تفاوت که بر روی نمودار مشخص می‌شود در هر یک از هفته‌های پس از رشد، درصد رطوبت موجود در عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک در دوره‌های آبی و دوره پایه چگونه تغییر می‌نماید. همچنین از روی نمودار رطوبت عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر در طی رشد گیاه می‌توان متوجه شد که در چه هفته‌هایی گیاه از کمترین رطوبت برخوردار بوده است. به عنوان مثال، هفته‌های ۵ و ۲۹ مزرعه گندم فاروب و ۲۱ برای مزرعه گندم سلیمانی هفته‌های هشداردهنده برای این گیاهان می‌باشد. در هفته‌های آخر رشد گندم مزرعه فاروب، سناریوهای انتشار برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه و دوره آبی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ درصد رطوبت کمتری در خاک را برآورد می‌کنند.





شکل ۴- تغییرات رطوبت عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک در طی دوره رشد محصول برای دوره پایه و آتی.

اندکی افزایش خواهد یافت. میزان بارش بیشتر برای ماه‌های فصل کشت گندم در دوره آتی دور می‌تواند از عوامل افزایش‌دهنده رطوبت برای گندم و جو باشد. حالت سینوسی مقادیر رطوبت خاک در طول هفته‌های رشد محصولات زراعی آبی معمولاً بعد از هر نوبت آبیاری یا بارش ایجاد می‌شود. بنابراین در اینجا باید به هفته قبل از آبیاری که خاک دارای کمترین مقادیر رطوبت است توجه خاصی شود، به دلیل اینکه تنش رطوبتی در این هفته ممکن است به گیاه صدمه زیادی وارد کند. برای گندم مزارع فاروب و سلیمانی در طی هفته‌هایی که گیاه به حداکثر رشد می‌رسد مقدار رطوبت به دلیل آبیاری به‌موقع زیاد می‌شود.

همچنین نتایج بدست آمده از مدل SWAP نشان می‌دهد درصد رطوبت موجود در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک برای دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ کمتر خواهد شد که میزان بارش کمتر این دوره نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ (۲۰۳۰) می‌تواند از علل بوجود آمدن این رخداد باشد. در مقایسه سناریوها، سناریوهای A1B و A2 دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به سناریو B1 این دوره و سناریوهای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و حتی دوره پایه مقادیر کمتری از رطوبت خاک را برآورد کردند. همچنین می‌توان بیان داشت که درصد رطوبت موجود در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر خاک در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه برای محصولات گندم مزارع فاروب و سلیمانی

منابع مورد استفاده

- آشفته پس، ۱۳۹۱. تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات با استفاده از مدل HadCM3 در شبکه آبیاری آیدوغموش. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۶، شماره ۳، صفحه‌های ۱۴۲ تا ۱۵۱.
- خان محمدی ف، همایی م و نوروزی ع، ۱۳۹۳. برآورد رطوبت خاک به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطحی خاک و شاخص نرمال شده رطوبت با استفاده از تصاویر MODIS. مجله حفاظت منابع آب و خاک، جلد ۴، شماره ۲، صفحه‌های ۳۷ تا ۴۵.
- خوشحال دستجردی ج، مصطفوی دارانی س م و قطره سامانی م، ۱۳۸۹. اثرات تغییر اقلیم بر میزان رطوبت خاک در کشت گندم دیم (مطالعه موردی: داران- استان اصفهان). صفحه‌های ۲۲۲ تا ۲۳۴، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی

گیاه، آب، خاک و هوا. مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، ۲۴-۲۳ آبان ماه. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

دلقندی م، ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات ریسک تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و ارائه راهکارهای سازگاری با آن (مطالعه موردی: جنوب دشت خوزستان). رساله دکتری تخصصی آبیاری وزه‌کشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- Baghdadi N, Aubert M, Cerdan O, Franchisteguy L, Viel C, Martin E, Zribi M and Desprats JF, 2007. Operational mapping of soil moisture using synthetic aperture radar data: application to the Touch Basin (France). *Sensors* 7: 2458-2483.
- Chiew FHS, Whetton PH, McMahon TA and Pittock AB, 1995. Simulation of the impacts of climate change on runoff and soil moisture in Australian catchments. *Journal of Hydrology* 167: 121-147.
- Chung SO., Rodriguez-Diaz JA, Weatherhead EK and Knox JW, 2011. Climate change impacts on water for irrigation paddy rice in south Korea. *Irrigation and Drainage* 60: 263-273.
- Destouni G and Verrot L, 2014. Screening long-term variability and change of soil moisture in a changing climate. *Journal of Hydrology* 516: 131-139.
- IPCC-TGICA, 2007: General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66 pp.
- Lunt LA, Hubbard SS and Rubin Y, 2005. Soil moisture content estimation using groundpenetrating radar reflection data. *Journal of Hydrology* 307: 254-269.
- Mekonnen DF, 2009. Satellite Remote Sensing for Soil Moisture Estimation: Gumara Catchment, Ethiopia. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede.
- Semenov MA, 2008. Extreme impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Journal of the Royal Society Interface* 88: 37-38.
- Semenov MA and Stratonovitch P, 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research* 41: 1-14.
- Shahid S, 2011. Impact of climate change on irrigation water demand of dry season Boro rice in northwest Bangladesh. *Climatic Change* 105: 433-453.
- Van Dam JC, Huygen J, Wesseling JG, Feddes RA, Kabat P, Van Walsum PEV, Groenendijk P and Van Diepen CA, 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.
- Wang L and Qu J, 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. *Earth Science*, 3: 237-247.
- Wilby RL, and Harris I, 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research* 42(2): (W02419)