

اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک مزرعه ذرت با استفاده از داده‌های گزارش پنجم و مدل SWAP

مختار صالحی طبس^{*}، مصطفی یعقوب زاده^۲، سیدرضا هاشمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۴

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. لذا در این تحقیق برای شبیه‌سازی رطوبت خاک در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) از مزرعه ذرت فاروب واقع در دشت نیشابور استفاده 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. نتایج تغییر پارامترهای اقلیمی نشان داد دمای کمینه و بیشینه برای مدل‌های AOGCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و در برخی از مدل‌ها نیز بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. همچنین سناریو RCP8.5 نسبت به RCP4.5 مقدار افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. تغییرات رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متر نشان داد که درصد رطوبت موجود در خاک در دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو افزایش ناچیزی می‌یابد. با این وجود سناریو RCP8.5 مقادیر کمتری از رطوبت را نسبت به سناریو RCP4.5 برای شش مدل AOGCM نشان می‌دهد. مقادیر پیش بینی شده رطوبت سالیانه نشان داد که در سناریو RCP4.5 در عمق ۳۰ سانتی‌متری مدل IPSL کمترین مقادیر رطوبت و مدل‌های GISS-ES-R و GFDL بیشترین مقادیر رطوبت سالیانه و برای سناریو RCP8.5 در عمق ۳۰ سانتی‌متری، مدل GFDL کمترین مقادیر رطوبت و مدل GISS-ES-R بیشترین مقادیر رطوبت سالیانه در طی هفته‌های پس از رشد گیاه را خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رطوبت خاک، سناریوهای انتشار، مدل SWAP

مقدمه

یا چند مدل GCM، و سپس ریزمقیاس نمایی یا تصحیح خطا نتایج برای منطقه مورد نظر است. اما سؤالی که در این گونه مطالعات مطرح می‌شود این است که با وجود تعدد زیاد مدل‌های GCM و همچنین عدم قطعیت در خروجی آن‌ها و نتایج متفاوت آن‌ها برای هر منطقه، در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم، این مدل‌ها چگونه باید انتخاب شود. یک روش رایج در این گونه مطالعات در نظر گرفتن متوسط داده‌های تمام مدل‌های GCM است (Seager et al., 2007). اما رویکردی دیگر که به طور فزاینده‌ای در حال مقبول شدن می‌باشد، تعریف معیارهایی برای مهارت مدل بوده، و سپس تعیین کیفی مدل‌ها بر اساس توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی معیارهای مورد نظر در منطقه است. از این رویکرد در این مطالعه استفاده شد و با تعریف معیارهای عملکرد مدل‌های GCM بررسی شد. در راستای پیش‌بینی‌های اقلیمی پروژه هم سنخ مدل جفت شده (CMIP) طی ۲۰ سال گذشته در بیش از ۷۰ درصد مطالعات پیش‌بینی‌های اقلیمی سهیم بوده و کارایی خوبی نشان داده‌است (Frame and Stone, 2013). بنابراین انتظار می‌رود مجموعه مدل‌های به روز و جدید این پروژه یعنی CMIP5 که در گزارش پنجم ارزیابی (AR5) هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) نیز مورد استفاده قرار گرفته، مبنای

تغییرات اقلیم، یکی از مسائلی است که امروزه توجه بسیاری از دانشمندان و دولت‌ها را به خود جلب نموده‌است. تغییرات اقلیمی در حال حاضر اکوسیستم‌های جهانی، تنوع زیستی و اقتصاد اجتماعی را تحت تأثیر قرار داده‌است. بنابراین برای سیاست‌گذاران و دانشمندان، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در هر منطقه و در پی آن ارائه راهکارهای مناسب سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم به عنوان یک موضوع مهم دارای اهمیت ویژه‌ای است (Fuhrer, 2003). برای نیل به این هدف نیاز به پیش‌بینی‌های صحیح تغییرات اقلیمی در هر منطقه است تا با آگاهی مناسبی مبادرت به توسعه استراتژی‌های مناسب و مؤثر در هر منطقه گردد (Terando et al., 2012). اما پیش‌بینی‌های صحیح تغییرات اقلیمی متکی به مدل‌های گردش عمومی GCM است. هم‌اکنون در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم در ابتدا نیاز به بکارگیری یک

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

* - نویسنده مسئول: (Email: Mokhtarsalehi@birjand.ac.ir)

SWAP (مدل گیاه اتمسفر آب خاک) رطوبت خاک را در منطقه شبیه‌سازی نموده و درجه خشکی در دو حالت آبیاری و دیم با شاخص SMDI (شاخص کمبود رطوبت خاک) مشخص می‌شود. بر اساس نتایج SMDI و مدل IWMM، مدیریت آب در زمان مناسب و مقدار مناسب آب برای آبیاری تشخیص داده می‌شود (Shin and Jung, 2015).

هوسر و همکاران نیز در تحقیقی اثر متقابل رطوبت خاک و تغییرات آب و هوا را با کمک مدل CESM با کمک تغییر اقلیم و داده‌های گزارش پنجم ارزیابی نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از اهمیت تغییر رطوبت و تاثیر آن بر دمای خاک می‌باشد (Hauser et al., 2016).

دستونی و وروت 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 سراسر 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 دوره‌های آب‌وهوایی ۲۰ ساله مختلف را بررسی نمودند (Destouni and Verrot, 2014).

چیو و همکاران اثر تغییر اقلیم بر روی رواناب و رطوبت خاک را در ۲۸ حوضه استرالیا با استفاده از مدل بارش رواناب روزانه هیدرولوژیکی شبیه‌سازی کردند. نتایج ۵ مدل اقلیمی آب و هوا GCM را به منظور نشان دادن تغییر احتمالی بر رواناب و رطوبت خاک در طی سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۳۰ 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 (Chiew et al., 1995).

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد اثرات تغییر اقلیم بر مدل‌های شبیه‌ساز رواناب انجام شده است ولی در مورد تاثیرپذیری رطوبت خاک از تغییر اقلیم، تحقیقات نادری در سطح داخل و خارج کشور انجام شده است. این امر به دلیل این است که رطوبت خاک باید به‌وسیله یکی از مدل‌های جامع آب، خاک و گیاه برای دوره پایه و آتی شبیه‌سازی شود. لذا در این تحقیق سعی شد شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی نسبت به دوره پایه، به کمک مدل SWAP ارزیابی شود.

بسیاری از مطالعات ارزیابی تاثیرات تغییر اقلیم قرار بگیرد. به طور کلی مدل‌های CMIP5 در مقایسه با CMIP5 های قبلی دارای تفکیک پذیری افقی بالاتر بوده و همچنین در برگرنده رفتار بسیار جامع تری نسبت به فرایندهای فیزیکی مثل، بازخورد های پوشش گیاهی، ذرات معلق در هوا و نوع پوشش زمین است. علاوه بر این مجموعه مدل‌های CMIP5 جهت پیش‌نگری‌های اقلیمی از مجموعه جدیدی از سناریوهای انتشار به نام مسیرهای نماینگر غلظت RCP بهره می‌برند. بر خلاف سناریوهای انتشار SRES در سناریوهای جدید RCP مسیر تابش واداشتی بر مبنای روایتی از پیش تعریف شده نمی‌باشد و RCPها قادر هستند ترکیب‌های مختلفی از وضعیت‌های اقتصادی فن‌آوری جمعیت شناختی و توسعه سیاسی را نشان دهند. از این رو انتظار می‌رود خطاهای مدل‌های CMIP5 نسبت به مدل‌های پیشین کاهش یابد و همچنین شبیه‌سازی‌های واقع بینانه تری از آینده ارائه دهد (Aloysius et al., 2016).

بر آورد 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 فرایندهای هیدرولوژیک، اکولوژیک و هواشناسی دارد. رطوبت خاک به دلیل تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی در زمان و مکان تغییر می‌کند. رطوبت خاک نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت، به ویژه در توزیع باران بین رواناب سطحی و نفوذ ایفا می‌کند (خان محمدی و همکاران، ۱۳۹۳).

یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی عدم قطعیت سناریوهای انتشار تغییر اقلیم در بر آورد رطوبت خاک پرداختند و نشان دادند که در هفته‌های آخر رشد گندم مزرعه فاروب، سناریوهای انتشار برای دوره آتی نسبت به دوره پایه درصد رطوبت کمتری در خاک را بر آورد می‌کنند و گیاه با بیشترین تنش خشکی روبرو خواهد شد. همچنین نتایج باندهای قطعیت سناریوهای انتشار نشان داد سناریو A2 نسبت به B1 از قطعیت کمتری در بر آورد رطوبت خاک برای دوره آتی در طی هفته‌های رشد برخوردار است.

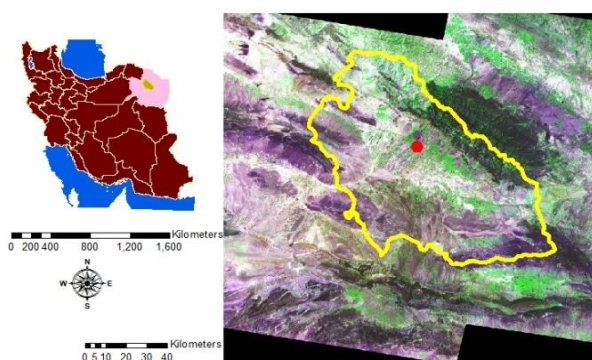
توکلی و اسمدت اثر تغییر اقلیم بر روی دبی جریان و رطوبت خاک در حوضه ورمیلیون با استفاده از مدل WetSpa را بررسی کردند. آن‌ها از مدل HADCM3 و دو سناریو A2 و B2 و مدل SDSM برای بر آورد پارامترهای اقلیمی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش بارش در تابستان هم زمان با افزایش نیاز آبی منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود که این امر می‌تواند اثر منفی بر روی پوشش گیاهی طبیعی و رشد محصولات دیم بگذارد (Tavakoli and Smedt., 2012).

شین و جانگ مدل مدیریت آب آبیاری IWMM را بر اساس الگوریتم ژنتیک گسترش دادند تا بتوانند به کمک آن شدت تأثیر خشکسالی را در اراضی آبیاری کاهش دهند. در مطالعه آن‌ها، مدل

مواد و روش ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد تحقیق در این پژوهش، مزرعه فاروب دشت نیشابور می باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل ۱۳ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۴۰ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. که وسعت مزرعه و دشت مورد مطالعه به ترتیب ۱۰۰ هکتار و ۷۳۰۰ کیلومتر مربع است. آب‌وهوای منطقه نیمه خشک و خشک، متوسط دمای آن ۱۲ درجه سانتی گراد و میزان بارندگی سالیانه آن بطور متوسط برای کل دشت ۲۹۲ میلی متر گزارش شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

مشخصات مزرعه مورد مطالعه

در این تحقیق برای شبیه سازی رطوبت خاک در 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.

روش انجام تحقیق

روش انجام این تحقیق به این صورت است که ابتدا مدل SWAP با استفاده از داده های خاک، زراعی و هواشناسی منطقه اجرا شد و رطوبت خاک برای اعماق ۳۰-۰ سانتی متر شبیه سازی گردید. در مرحله بعد برای اطمینان از نتایج شبیه سازی رطوبت، نتایج رطوبت مدل SWAP با داده های اندازه گیری شده رطوبت سال زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ واسنجی و صحت سنجی شد.

محصول مورد مطالعه در این تحقیق ذرت می باشد که در هر دو سال زراعی در تیرماه کاشته شد و در اواخر مهر برداشت شد. بعد از اطمینان از صحت نتایج مدل SWAP، رطوبت خاک به وسیله مدل SWAP برای دوره پایه ۲۰۱۱-۱۹۹۲ شبیه سازی شد.

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

تاریخ کاشت		تاریخ برداشت	
روز ژولایوسی	تاریخ میلادی	روز ژولایوسی	تاریخ میلادی
۱۸۰	۲۰۰۸/۰۶/۲۸	۲۸۹	۲۰۰۸/۱۰/۱۵

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب) (gr/cm ³)	ظرفیت زراعی	پژمردگی دائم	اسیدیتته	عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر) (dS/m)	هدایت الکتریکی عمق (سانتی متر) (cm)
۳۰	۵۲	۱۸	سیلتی لومی	۱/۵۱	۲۰/۱	۷/۳	۸	۱/۰۶	۳۰-۰

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در مزرعه آزمایشی

کاتیون ها (meq/lit)		آنیون ها (meq/lit)			نسبت جذب سدیم	اسیدیتته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) (dS/m)
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻			
۳/۵	۱	۳/۵	۱/۱	۲/۵	۳/۵	۷/۹	۰/۶

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	MIROC	ژاپن	۱/۷۷*۲/۸۱
& RCP 8.5	IPSL	فرانسه	۱/۸۷۵*۳/۷۵
	Csiromk-3.6	استرالیا	۱/۸*۱/۸
	GISS-ES-R	آمریکا	۲*۲

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 (شکل ۲). ضریب تبیین بالای هشتاد درصد بین نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک، نشان‌دهنده دقت خوب مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت خاک دارد.

داده‌های اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم آتی

برای تولید داده‌های اقلیمی و مشخص شدن تغییرات آن‌ها در دوره آتی، از شش مدل GCM 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 تاثیرگذار بر رطوبت خاک می‌باشند. جدول (۵) 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.

جدول ۵- 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

سناریوهای روزانه هواشناسی دوره‌ی آتی به کمک شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 تولید شدند. برای برآورد مقدار رطوبت در دوره‌ی آتی به کمک سناریوهای تغییر اقلیم و مدل‌های GCM، نسبت مقادیر ماهانه پارامترهای هواشناسی دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه برآورد گردید.

سناریوها و مدل‌های مورد استفاده

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 کاهش‌سخت-گیرانه (RCP2.6) دو سناریوی حد واسطه (RCP4.5, RCP6) و یک سناریوی بدبینانه (RCP8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند (IPCC, 2013). خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق، در جدول (۴) ارائه شده است.

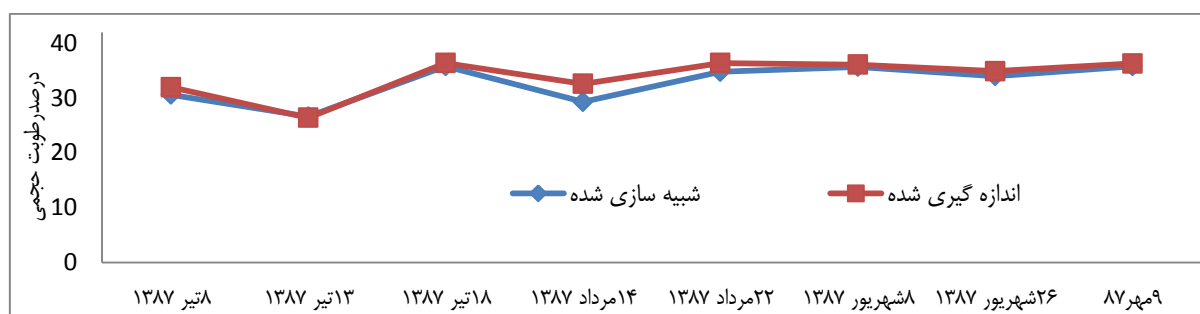
مدل SWAP

مدل SWAP یک مدل آگرو هیدرولوژیکی 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 محیط غیراشباع بیان می‌کند (Van Dam et al., 1997).

نتایج و بحث

صحت‌سنجی نتایج مدل SWAP

برای این که بتوان رطوبت خاک را برای دوره آتی و پایه



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

سناریو RCP8.5 و دوره پایه بیشتر بوده و این بیانگر عدم یکنواختی توزیع رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه می‌باشد. در تحقیق یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز مشابه نتایج این بخش، رطوبت هفتگی در دوره آبی نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. با توجه به جدول، مقادیر رطوبت سالیانه در دوره آبی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 کاهش می‌یابد. به‌منظور مقایسه سناریوها در برآورد رطوبت سالیانه، سناریو RCP4.5 رطوبت حداقل، میانگین و رطوبت حداکثر بیشتری را نسبت به سناریو RCP8.5 برآورده کرده‌است. تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت سالیانه خاک برای سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 و دوره پایه بیشتر بوده و این عدم یکنواختی توزیع رطوبت را در طی سال‌های دوره پایه نشان می‌دهد.

اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک در دوره پایه و آبی

رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر رشد گیاه و بیلان آب در مزرعه می‌باشد. جدول (۶) مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت هفتگی و سالیانه را برای هر هفته از ۱۴ هفته دوره رشد گیاه در طی دوره پایه و آبی تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. تغییرات رطوبت نشان داد که درصد رطوبت موجود در خاک در دوره‌های آبی ۲۰۳۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو افزایش ناچیزی می‌یابد. با این وجود سناریو RCP8.5 مقادیر کمتری از رطوبت را نسبت به سناریو RCP4.5 برای شش مدل AOGCM پیش‌بینی می‌کند. به‌منظور مقایسه سناریوها در برآورد رطوبت هفتگی، سناریو RCP4.5 رطوبت حداقل، میانگین و رطوبت حداکثر بیشتری را نسبت به سناریو RCP8.5 برآورده کرده است. تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفتگی خاک برای سناریو RCP4.5 نسبت به

جدول ۶- مقادیر متوسط رطوبت هفتگی در دوره پایه و آبی تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5

سناریوهای انتشار	رطوبت سالیانه			رطوبت هفتگی		
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
baseline	۰/۲۳۳	۰/۲۵۷	۰/۲۲۴	۰/۲۳۳	۰/۲۸۵	۰/۱۵۷
RCP 4.5	۰/۲۵۸	۰/۲۸۵	۰/۲۳۵	۰/۲۳۹	۰/۲۹۱	۰/۱۶۳
RCP 8.5	۰/۲۵۳	۰/۲۷۷	۰/۲۲۳	۰/۲۳۶	۰/۲۸۱	۰/۱۶۱

R بیشترین مقادیر رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه را خواهند داشت. به‌منظور مقایسه سناریوها، مقادیر رطوبت هفتگی برای سناریو RCP4.5 نسبت به سناریو RCP8.5 بیشتر می‌باشد. برای سناریو RCP8.5 مدل GFDL دارای حداقل رطوبت ۰/۱۹۲ می‌باشد که بر طبق این مدل، گیاه در یکی از هفته‌های دوره رشد خود، دچار کمبود رطوبت خواهد شد. نتایج این بخش با نتایج دیگر تحقیقات مطابقت دارد (Ruane et al., 2013).

جدول (۷) مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت هفتگی را در دوره پایه و آبی برای شش مدل GCM و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشخص می‌شود کمترین میزان رطوبت خاک در طی دوره رشد گیاه چقدر بوده است. برای سناریو RCP4.5 مدل IPSL کمترین مقادیر رطوبت و مدل‌های GFDL و GISS-ES-R بیشترین مقادیر رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه را خواهند داشت. ولی برای سناریو RCP8.5 مدل GFDL کمترین مقادیر رطوبت و مدل GISS-ES-

جدول ۷- مقادیر متوسط رطوبت هفتگی برای شش مدل GCM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5

مدل	سناریوهای انتشار					
	RCP 4.5			RCP 8.5		
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
Canesm2	۰/۲۵۹	۰/۲۹۰	۰/۱۹۲	۰/۲۵۲	۰/۲۹۰	۰/۱۹۴
GFDL	۰/۲۶۰	۰/۲۹۰	۰/۲	۰/۲۵۱	۰/۲۸۹	۰/۱۹۲
MIROC	۰/۲۵۸	۰/۲۸۹	۰/۱۹۵	۰/۲۵۳	۰/۲۸۹	۰/۱۹۵
IPSL	۰/۲۵۷	۰/۲۹۰	۰/۱۹۸	۰/۲۵۲	۰/۲۸۹	۰/۲۰۱
Csiromk-3.6	۰/۲۵۸	۰/۲۸۹	۰/۱۹۶	۰/۲۵۲	۲۹۰	۰/۱۹۶
GISS-ES-R	۰/۲۶۰	۰/۲۹۱	۰/۲۰۶	۰/۲۵۴	۰/۲۸۹	۰/۲۰۳
baseline	۰/۲۵۲	۰/۲۸۵	۰/۱۹۰	۰/۲۵۲	۰/۲۸۵	۰/۱۹۰

جدول (۸) مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت سالیانه را در دوره پایه و آتی برای شش مدل GCM و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. برای سناریو RCP4.5، بیشترین و کمترین مقادیر رطوبت سالیانه به ترتیب توسط مدل‌های Canesm2 و IPSL ولی برای سناریو RCP8.5، به ترتیب توسط مدل‌های

جدول (۸) مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت سالیانه را در دوره پایه و آتی برای شش مدل GCM و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. برای سناریو RCP4.5، بیشترین و کمترین مقادیر رطوبت سالیانه به ترتیب توسط مدل‌های Canesm2 و IPSL ولی برای سناریو RCP8.5، به ترتیب توسط مدل‌های

جدول ۸- مقادیر متوسط رطوبت سالیانه برای شش مدل GCM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5

مدل	سناریوهای انتشار					
	RCP 4.5			RCP 8.5		
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
Canesm2	۰/۲۶۱	۰/۲۷۳	۰/۲۴۹	۰/۲۵۴	۰/۲۷۷	۰/۲۴۶
GFDL	۰/۲۶۰	۰/۲۷۵	۰/۲۴۹	۰/۲۵۱	۰/۲۶۱	۰/۲۴۳
MIROC	۰/۲۵۸	۰/۲۶۳	۰/۲۴۸	۰/۲۵۳	۰/۲۶۲	۰/۲۴۶
IPSL	۰/۲۵۷	۰/۲۶۳	۰/۲۳۲	۰/۲۵۲	۰/۲۶۴	۰/۲۴۹
Csiromk-3.6	۰/۲۵۸	۰/۲۶۳	۰/۲۲۵	۰/۲۵۲	۰/۲۷۱	۰/۲۴۸
GISS-ES-R	۰/۲۶۰	۰/۲۶۷	۰/۲۳۴	۰/۲۵۴	۰/۲۶۶	۰/۲۳۳
baseline	۰/۲۵۰	۰/۲۶۳	۰/۲۳۰	۰/۲۵۰	۰/۲۶۳	۰/۲۳۰

با توجه به شکل مشخص می‌شود در هر یک از سال‌های دوره آتی نسبت به دوره پایه، رطوبت سالیانه خاک در طی دوره رشد گیاه چگونه تغییر می‌نماید و در چه سال‌هایی گیاه از کمترین رطوبت برخوردار بوده است. سال‌های ۲، ۷، ۱۱، ۱۸ و ۲۰ در طی دوره آتی، سال‌های هشدار دهنده برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه می‌باشند.

عدم قطعیت مدل‌های GCM در برآورد رطوبت خاک

دامنه تغییرات رطوبت هفتگی خاک برای شش مدل GCM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در شکل (۵) نشان

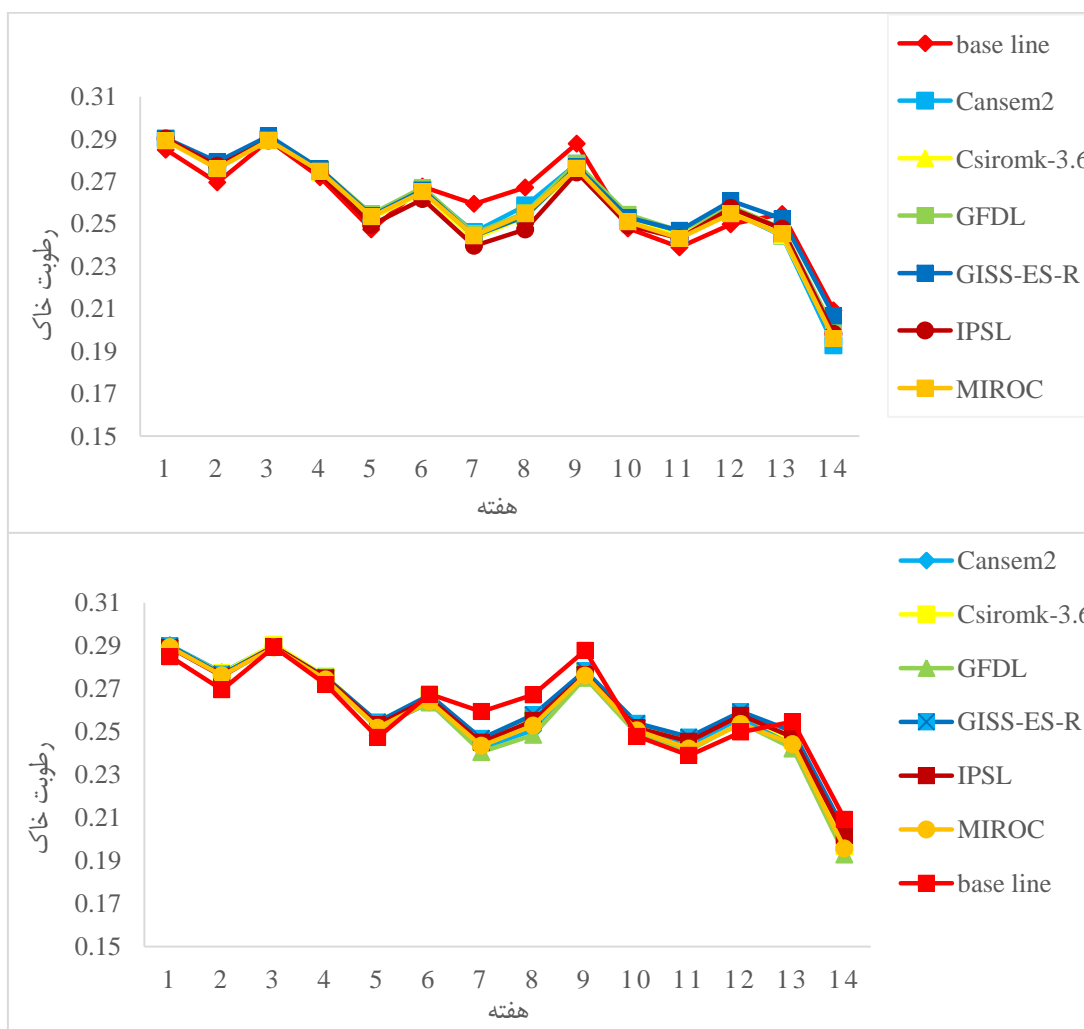
شکل (۳) روند تغییرات رطوبت هفتگی را برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در طی دوره رشد گیاه مشخص می‌کند. با توجه به شکل مشخص می‌شود در هر یک از هفته‌های دوره رشد گیاه، رطوبت هفتگی خاک در طی دوره آتی نسبت به دوره پایه چگونه تغییر می‌نماید و در چه هفته‌هایی گیاه از کمترین رطوبت برخوردار بوده است. هفته‌های ۷، ۸، ۹، ۱۳ و ۱۴ در طی دوره رشد گیاه، هفته‌های هشدار دهنده برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه می‌باشند.

شکل (۴) روند تغییرات رطوبت سالیانه را برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در طی دوره پایه و آتی مشخص می‌کند.

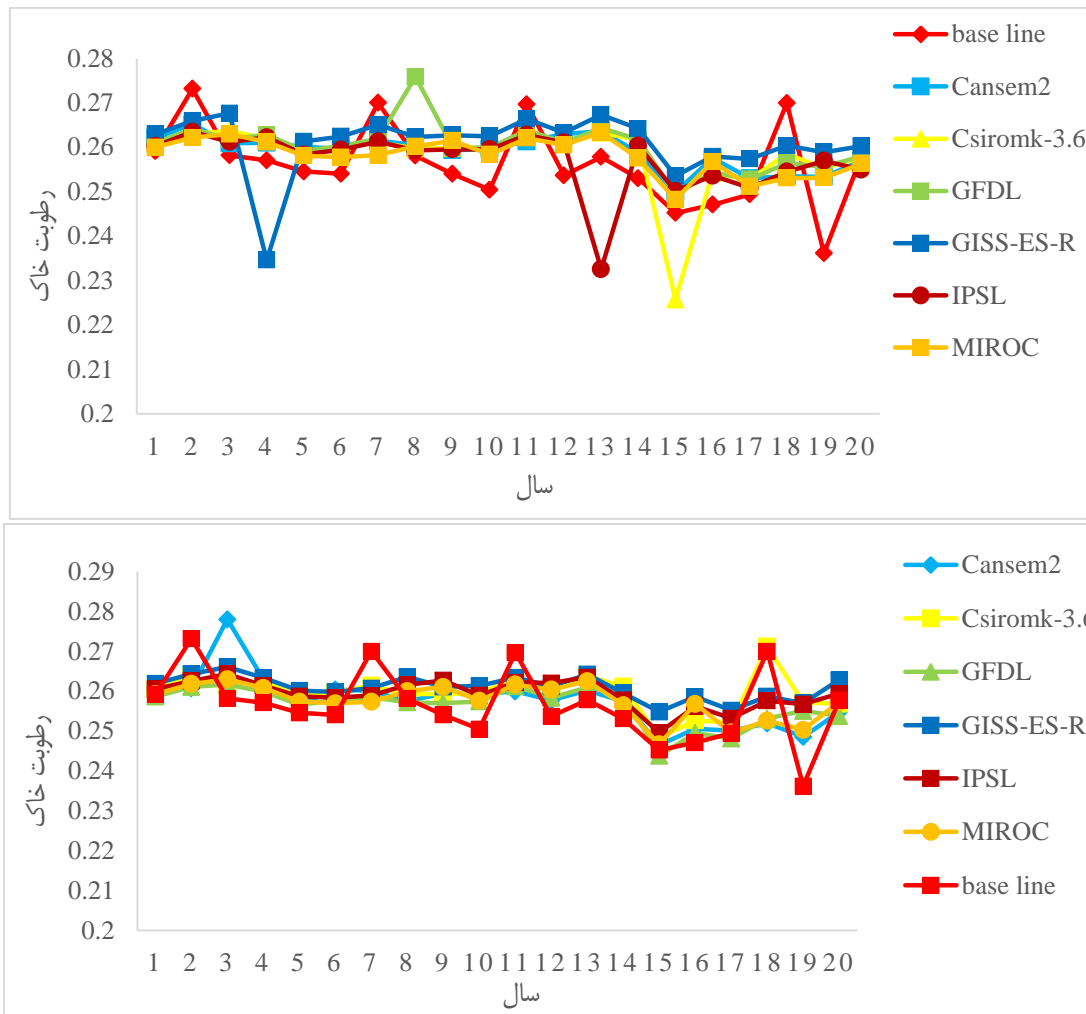
باند، اکثر مدل‌ها از قطعیت خوب و قابل قبولی برخوردار هستند جز مدل GISS-ES-R که با ضخامت زیاد باند قطعیت کمتری دارد. در سناریو RCP8.5، نیز تمامی مدل‌ها از قطعیت خوب و قابل قبولی برخوردار هستند با این حال مدل IPSL به دلیل ضخامت کمتر باند دارای بیشترین قطعیت و مدل‌های GFDL و GISS-ES-R به دلیل ضخامت بیشتر باند دارای کمترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. از طرفی مقادیر رطوبت در دوره آبی نسبت به دوره پایه، برای تمامی مدل‌ها و تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 کمتر برآورد شده‌است.

داده شده‌است. به منظور مقایسه مدل‌ها، اکثر مدل‌های به دلیل ضخامت کم باند یا دامنه تغییرات از قطعیت خوبی برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برخوردار هستند با این حال قطعیت مدل Canesm2 از بقیه مدل‌ها بیشتر است و قطعیت مدل‌ها در هر دو سناریو از دوره پایه بیشتر است. از طرفی با توجه به شکل برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، رطوبت در تمامی مدل‌ها روند کاهشی دارد.

دامنه تغییرات رطوبت سالیانه خاک برای شش مدل GCM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در شکل (۶) نشان داده شده‌است. به منظور مقایسه مدل‌ها تحت سناریو RCP4.5، به دلیل ضخامت کم



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



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

تبخیر و تعرق مرجع برای مدل‌های AOGCM در دوره آبی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و در برخی از مدل‌ها نیز بارش دوره آبی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. همچنین سناریو RCP8.5 نسبت به RCP4.5 مقدار افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. تغییرات رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متر نشان داد که درصد رطوبت موجود در خاک در دوره‌های آبی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو افزایش ناچیزی می‌یابد. با این وجود سناریو RCP8.5 مقادیر کمتری از رطوبت را نسبت به سناریو RCP4.5 برای شش مدل AOGCM نشان می‌دهد. همچنین در سناریو RCP4.5 در عمق ۳۰ سانتی‌متری مدل IPSL کمترین مقادیر رطوبت و مدل‌های GISS-ES-R و GFDL بیشترین مقادیر رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه را خواهند داشت. ولی برای سناریو RCP8.5 در عمق ۳۰ سانتی‌متری، مدل GFDL کمترین مقادیر رطوبت و مدل GISS-ES-R بیشترین مقادیر رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه را خواهند داشت. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده رطوبت سالیانه نشان می‌دهند که در

عدم قطعیت سناریوهای انتشار در برآورد رطوبت خاک

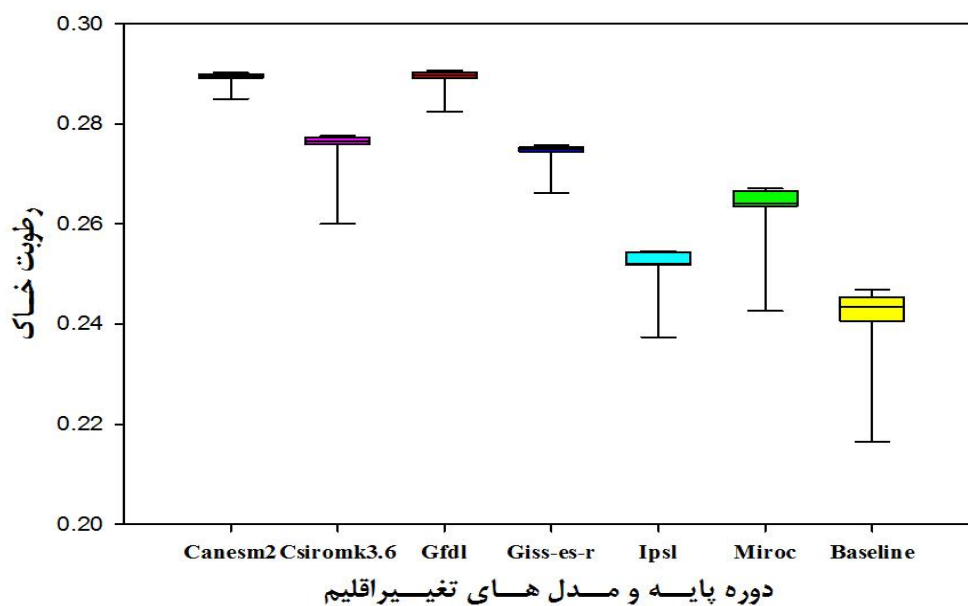
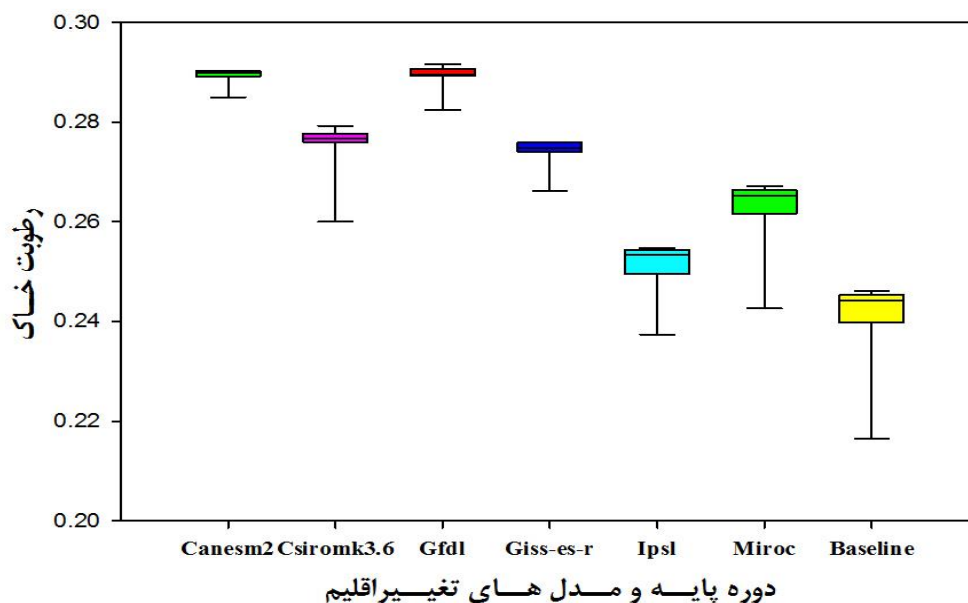
برای نشان دادن دامنه تغییرات سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در تخمین رطوبت خاک از شش مدل GCM استفاده شد. در شکل (۷) دامنه تغییرات رطوبت هفتگی و سالیانه تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. در این شکل، قطعیت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه کمتر است و سناریو RCP8.5 رطوبت را نسبت به دوره پایه و سناریو RCP4.5 کمتر برآورد می‌کند. دامنه تغییرات رطوبت سالیانه را تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. در این شکل، قطعیت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه کمتر است و سناریو RCP8.5 رطوبت را نسبت به دوره پایه و سناریو RCP4.5 کمتر برآورد می‌کند.

نتیجه‌گیری

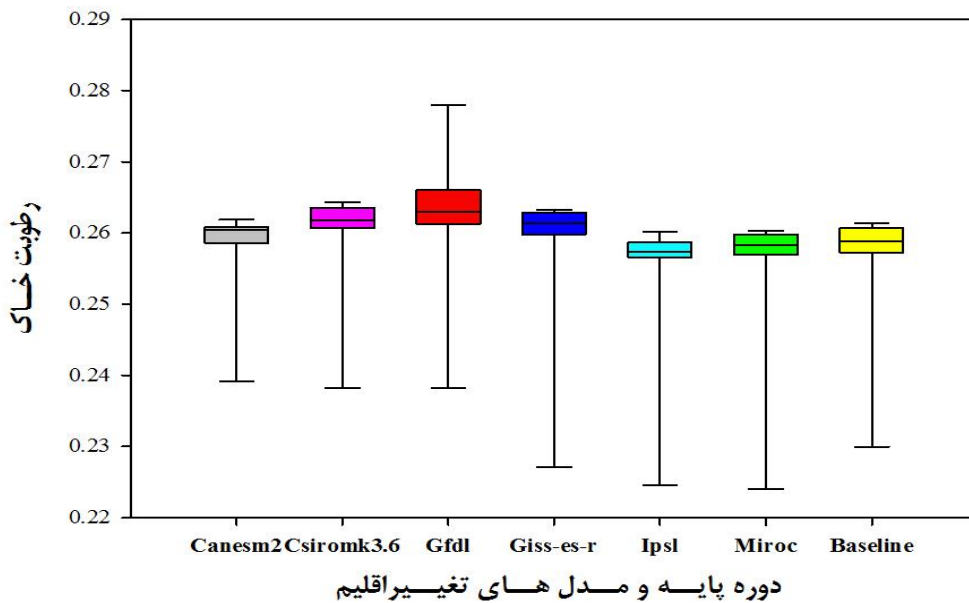
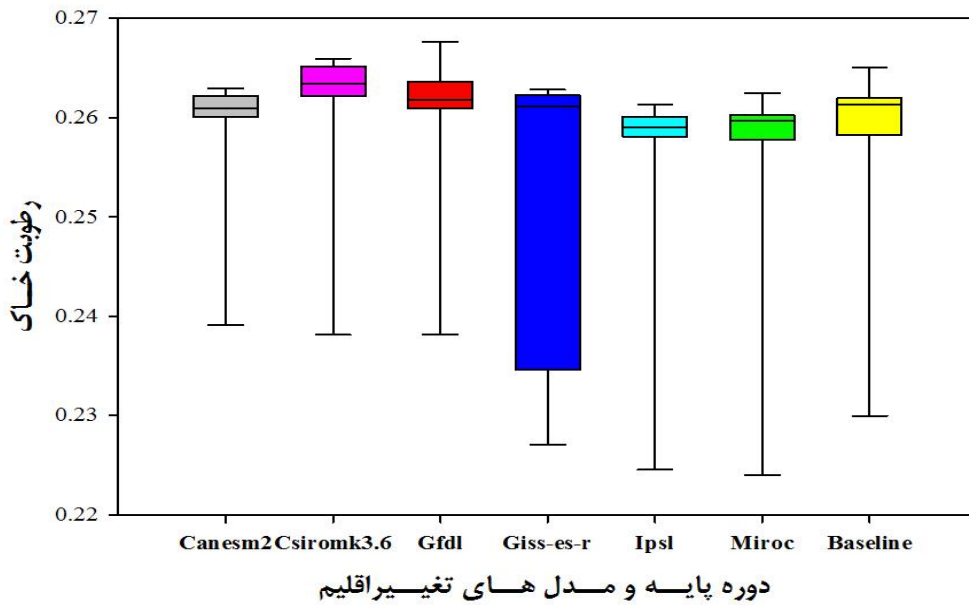
نتایج تغییر پارامترهای اقلیمی نشان داد دمای کمینه و بیشینه و

رطوبت سالیانه در طی هفته‌های پس از رشد گیاه را خواهند داشت. همچنین با توجه به مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه متوسط رطوبت برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 مشخص می‌شود مقادیر رطوبت برای سناریو RCP8.5 نسبت به RCP4.5 کمتر می‌باشد.

سناریو RCP4.5 در عمق ۳۰ سانتی‌متری مدل IPSL کمترین مقادیر رطوبت و مدل‌های GFDL و GISS-ES-R بیشترین مقادیر رطوبت سالیانه و برای سناریو RCP8.5 در عمق ۳۰ سانتی‌متری، مدل GFDL کمترین مقادیر رطوبت و مدل GISS-ES-R بیشترین مقادیر



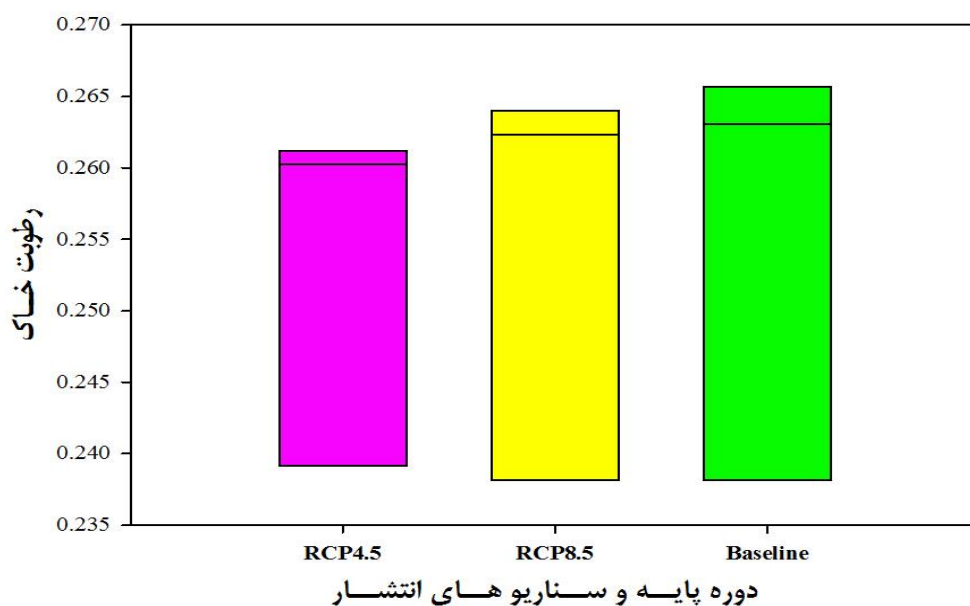
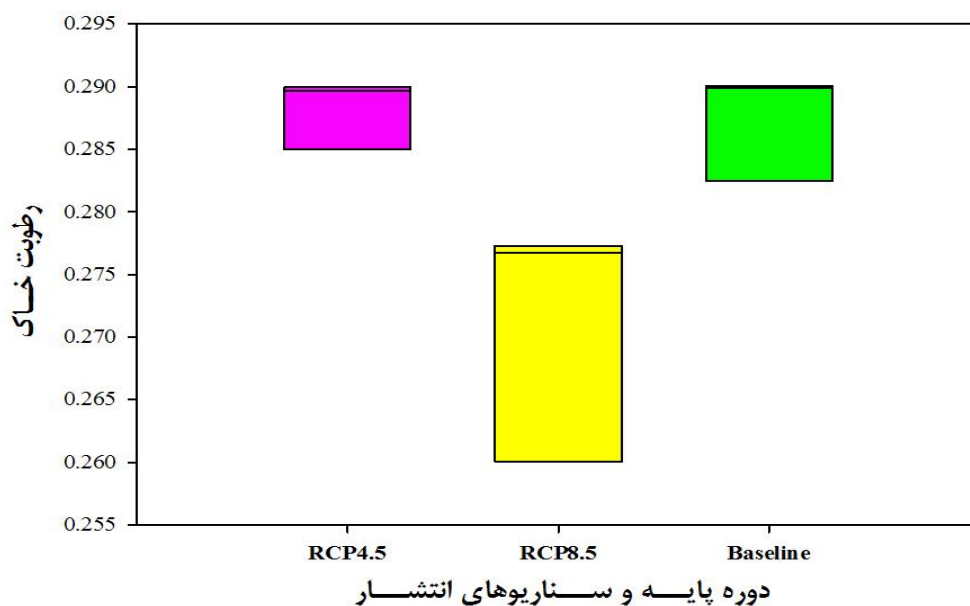
شکل ۵- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو RCP4.5 (بالا) و RCP8.5 (پایین)



شکل ۶- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت سالیانه خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو RCP4.5 (بالا) و RCP8.5 (پایین)

دارای بیشترین قطعیت و مدل‌های GFDL و GISS-ES-R به دلیل ضخامت بیشتر باند دارای کمترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. از طرفی مقادیر رطوبت در دوره آتی نسبت به دوره پایه، برای تمامی مدل‌ها و تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 کمتر برآورد شده‌است.

نتایج قطعیت متوسط رطوبت سالانه نشان می‌دهد که به‌منظور مقایسه مدل‌ها تحت سناریو RCP4.5، به دلیل ضخامت کم باند، اکثر مدل‌ها از قطعیت خوب و قابل قبولی برخوردار هستند جز مدل GISS-ES-R که با ضخامت زیاد باند قطعیت کمتری دارد. در سناریو RCP8.5، نیز تمامی مدل‌ها از قطعیت خوب و قابل قبولی برخوردار هستند با این حال مدل IPSL به دلیل ضخامت کمتر باند



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی (بالایی) و سالیانه (پایینی) در طی دوره پایه و آبی تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5

منابع

آشفته، پ.س. ۱۳۹۱. تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات با استفاده از مدل HadCM3 در شبکه آبیاری آیدوغموش. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳۶: ۱۵۱-۱۴۲.

کوهی، م و ثنائی نژاد، س.ح. ۱۳۹۳. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری برای

برای رطوبت هفتگی نیز به منظور مقایسه مدل‌ها، اکثر مدل‌های به دلیل ضخامت کم باند یا دامنه تغییرات از قطعیت خوبی برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برخوردار هستند با این حال قطعیت مدل Canesm2 از بقیه مدل‌ها بیشتر است و قطعیت مدل‌ها در هر دو سناریو از دوره پایه بیشتر است. از طرفی با توجه به شکل برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، رطوبت در تمامی مدل‌ها روند کاهشی دارد.

- Hauser, M., Orth, R. and Seneviratne, S. 2016. Investigating soil moisture-climate interactions with prescribed soil moisture experiments: an assessment with the Community Earth System Model (version 1.2). *Geoscientific Model Development. Discuss.* 10.4:1665-1677.
- Molina-Navarro, E., Hallack-Alegría, M., Martínez-Pérez, S., Ramírez-Hernández, J., Mungaray-Moctezumac, A. and Sastre-Merlín, A. 2015. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semi-arid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico. *Agricultural Water Management.* 175: 29-42.
- Seager, R., Ting, M., Held, I., Kushnir, Y., Lu, J., Vecchi, G. and Lau, N.C. 2007. Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science.* 316.5828: 1181-1184.
- Shin, Y. and 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): 1-15.
- Tavakoli, M. and Smedt, F.D. 2012. Impact of Climate Change on Streamflow and Soil Moisture in the Vermilion Basin, Illinois. *Journal of Hydrologic Engineering.* 17.10:1059-1070.
- Terando, A., Keller, K. and Easterling, W.E. 2012. Probabilistic projections of agro-climate indices in North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres.* 117.8: D08115.
- VanDam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., VanWasslum, P.E.V., Groenendijk, P. and VanDiepen, 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.
- متغیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه ارومیه. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۷(۴): ۵۵۹-۵۷۴.
- خان محمدی، ف.، همایی، م. و نوروزی، ع.ا. 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. ۴(۲): ۳۷-۴۵.
- یعقوب‌زاده، م.، امیرآبادی‌زاده، م.، رضانی، ی. و پوررضایی‌بندی، م. ۱۳۹۶. بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو در برآورد رطوبت خاک تحت تأثیر تغییر اقلیم. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸(۵): ۱۱۰۹-۱۱۱۹.
- Aloysius, N.R., Sheffield, J., Saiters, J.E., Li, H. and Wood, E.F. 2016. Evaluation of historical and future simulations of precipitation and temperature in central Africa from CMIP5 climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres.* 121.1: 130-152.
- Chiew, F.H.S., Whetton, P.H., McMahon, T.A. and Pittock, A.B. 1995. Simulation of the impacts of climate change on runoff and soil moisture in Australian catchments. *Journal of Hydrology.* 167: 121-147.
- 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.
- Feng, H. and Liu, Y. 2015. Combined effects of precipitation and air temperature on soil moisture in different land covers in a humid basin. *Journal of Hydrology.* 531: 1129-1140.
- Frame, D.J. and Stone, D.A. 2013. Assessment of the first consensus prediction on climate change. *Nature Clim. Change.* 3.4: 357-359.
- Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 97.1-3: 1-20.

The effect of Climate change on Soil Moisture Content of Maize farm using data from the Fifth Report and SWAP Model

M. Salehi Tabas^{1*}, M. Yaghoobzadeh², S. R. Hashemi³

Received: Jun.08, 2019

Accepted: Aug.26, 2019

Abstract

The soil moisture estimation is essential for optimal water and soil resources management. Surface moisture 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. Therefore, in this study, soil moisture simulation in the upcoming period (2020-2039) was compared to the base period (1992-2011) from the Faroub corn farm located in Neishabour plain. The climate data was estimated using six GCM models and two RCP4.5 and RCP8.5 release scenarios. The LARS-WG model was quantified using SWAP model. The results of the change in climate parameters showed that the minimum and maximum temperatures for AOGCM models in the upcoming period will increase compared to the base period, and in some models the future rainfall will decrease compared to the base period and the RCP8.5 scenario shows a higher increase compared to RCP4.5. Changes in soil moisture at a depth of 30 cm showed that the moisture content in the soil in the upcoming periods of 2020-2039 compared with the base period for each two-year period is negligible however, the RCP8.5 scenario shows lower moisture content than RCP4.5 scenario for the six AOGCM models. Estimated annual moisture values showed that in RCP4.5 scenario at 30 cm depth of the IPSL model, the lowest moisture content and GISS-ES-R and GFDL models had the highest annual moisture content and for RCP8.5 at depths of 30 Centimeters, GFDL Model and GISS-ES-R model have the lowest moisture content and the highest annual moisture content during the weeks after plant growth.

Keywords: climate change, Publishing scenarios, Soil moisture, SWAP model

1- M.SC Student, Water Resource Engineering, University of Birjand

2- Assistant Professor, Department of science and water engineering, University of Birjand

3- Assistant Professor, Department of science and water engineering, University of Birjand

*- (Corresponding Author Email: Mokhtarsalehi@birjand.ac.ir)