

بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو در برآورد رطوبت خاک تحت تأثیر تغییر اقلیم

مصطفی یعقوب زاده^{۱*}، مهدی امیرآبادی زاده^۲، یوسف رضانی^۳، محسن پوررضا بیلندی^۴

۱. استادیار، گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند

۴. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۲/۳

چکیده

رطوبت خاک فاکتور مهم فرآیندهای هیدرولوژیکی است. لذا در این تحقیق عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در برآورد رطوبت خاک به کمک مدل SWAP برای دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بررسی شد. داده‌های اقلیمی به کمک ده مدل GCM و دو سناریو انتشار A2 و B1 ایجاد و با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شده و وارد مدل SWAP شدند. نتایج نشان داد مدل‌های INMCM3 و NCARPCM به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر رطوبت خاک در طی هفته‌های پس از رشد را دارند. عدم قطعیت رطوبت سالانه اعماق خاک نیز نشان داد مدل INMCM3 برای سناریوهای A2 و B1 دارای بیشترین باند قطعیت و مدل GISS-ER برای سناریو A2 و مدل CGCM3T47 برای سناریو B1 دارای کمترین قطعیت می‌باشند. همچنین با مقایسه رطوبت اعماق خاک مشخص شد مقادیر رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری نسبت به عمق ۳۰ سانتی‌متری در آینده بیشتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: عدم قطعیت، تغییر اقلیم، مدل‌های AOGCM، مدل SWAP، رطوبت خاک

مقدمه*

در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تغییرات بارش زیاد و کمبود آب شیرین وجود دارد و رخدادهایی مانند سیل و خشکسالی رایج هستند، استفاده صحیح از منابع آب باید در اولویت قرار بگیرند. در مقیاس‌های بزرگ، از آنجایی که تجزیه و تحلیل محدودیت‌های خاص از قبیل متغیر بودن تراز آب زیرزمینی و آبیاری محصولات آسان نیست مطالعه رخدادها غیرمترقبه سخت می‌باشد (Molina-Navarro *et al.*, 2015). رطوبت خاک یک متغیر مهم سیستم سطح خشکی و نقش اساسی در بیلان آب و رشد گیاه ایفا می‌کند. همچنین متغیرهای آب و هوایی (بخصوص بارش و دما) به عنوان یک عامل کنترل‌کننده تغییرات رطوبت خاک شناخته می‌شوند و برآورد می‌شود رطوبت خاک در شرایط خشکسالی و کمبود بارش، حدود ۴۰ درصد کمتر از دوره مرطوب گردد (Feng and Liu, 2015). بعضی از محققان بیان کردند که رطوبت خاک به طور قابل ملاحظه‌ای با دمای هوا در ارتباط است (Stéfanon *et al.*, 2014). Shin and Jung (2014) 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 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.

پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر سیستم‌های مختلف تأثیرات متفاوت داشته باشد که به دلیل نقش حیاتی آب در زندگی انسان، بررسی تأثیرات منفی آن بر شدت و فراوانی وقوع خشکسالی یک منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل اینکه خشکسالی بخصوص خشکسالی کشاورزی با کمبود رطوبت در منطقه توسعه ریشه بیان می‌شود، بنابراین محققان زیادی تلاش نمودند که اثر افزایش دما بر رطوبت را در تحقیقات خود نشان دهند. (Adhikari and Nejadhashemi, 2016) تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، عملکرد محصول و مقدار رطوبت خاک برای کشور آفریقایی مالاوی را با استفاده از شش مدل GCM و سناریو RCP 8.5 برای دهه ۲۰۵۰ میلادی با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. نتایج آن‌ها

* نویسنده مسئول : M.Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

Bavani (2016) تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه رودخانه اعظم هرات در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۵ میلادی و عدم قطعیت دو مدل IHACRES و HEC-HMS، سناریوهای اقلیمی AIB، A2 و B1 حاصل از مدل‌های AOGCM و دو مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG و SDSM^۲ را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژیکی بسیار بزرگتر از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی و عدم قطعیت مدل‌های AOGCM بزرگتر از سناریوهای انتشار است. تاکنون تحقیقات زیادی بر روی اثرات تغییر اقلیم بر مدل‌های شبیه‌ساز رواناب انجام شده است ولی در مورد رطوبت خاک و مدل‌های تعیین‌کننده رطوبت در اعماق خاک تحقیقاتی اندکی یافت می‌شود. لذا در این تحقیق تلاش شد به کمک ده مدل AOGCM و دو سناریو انتشار و مدل SWAP رطوبت در اعماق خاک تعیین شود و سپس قطعیت یا عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در تعیین رطوبت منطقه ریشه گیاه بررسی گردد.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، مزرعه فاروب دشت نیشابور واقع در استان خراسان رضوی می‌باشد. این دشت با وسعت ۷۲۹۳ کیلومتر مربع جزئی از حوضه کویر مرکزی بوده که ۴۱۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت (۵۶ درصد) و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد (شکل ۱). از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه مذکور در حدفاصل ۱۳' ۵۸° تا ۳۰' ۵۹° طول شرقی و ۴۰' ۳۵° تا ۳۹' ۳۶° عرض شمالی قرار دارد. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب با ۳۳۰۵ و ۱۰۶۵ متر در قله بینالود و خروجی رودخانه کال شور از حوضه واقع شده است (Yaghoobzadeh, 2015)

داده‌ها و مواد مورد استفاده

برآورد رطوبت خاک برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مدیریت و پیش‌بینی خشکسالی، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و سیستم تصمیم‌گیر کشاورزی مهم است. بنابراین اندازه‌گیری در محل رطوبت خاک در دهه‌های پیش با نصب سنسورهای رطوبت‌سنج نصب‌شده در هر سال امکان‌پذیر است (Coopersmith *et al.*, 2015). در این تحقیق نیز از داده‌های اندازه‌گیری شده در محل

نشان داد که بارش، تبخیر و تعرق، رواناب سطحی و عملکرد محصول و رطوبت خاک در شمال کشور افزایش خواهد یافت و در جهت جنوب مقادیر آن‌ها کاهش می‌یابد. از این رو مناطق شمالی مستعد سیلاب‌ها و مناطق جنوبی مستعد خشکسالی می‌باشند.

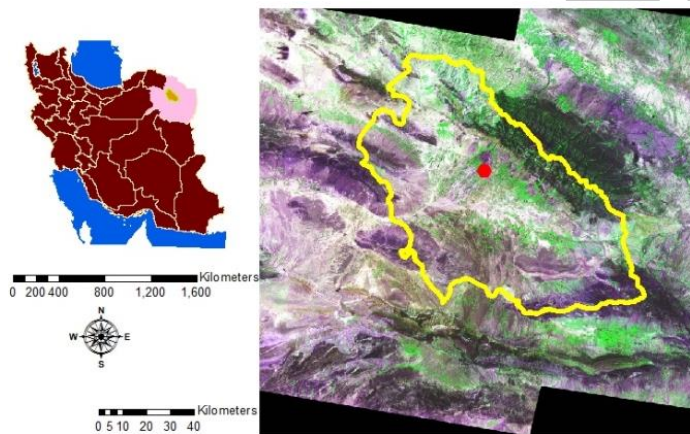
در زمینه قطعیت یا عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای تغییر اقلیم و همچنین مدل‌های شبیه‌ساز رواناب، تحقیقاتی انجام شده است. (Woznicki *et al.*, 2015) از نرم‌افزار SWAT برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد پنبه و سویا در حوضه رودخانه کالامازو استفاده کردند. آن‌ها از ۱۰ مدل GCM و چهار سناریو انتشار برای دوره‌های آبی ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۷۹-۲۰۶۰ استفاده کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد با تغییر به سمت آینده‌های دورتر از قطعیت نیاز آبی کاشته می‌شود. Bae *et al.* (2011) اثر مدل‌های هیدرولوژیکی و روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به‌منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روی منابع آب تحت مدل‌های گزارش چهارم را تجزیه و تحلیل نمودند. آن‌ها از ۱۳ مدل GCM و سه سناریو انتشار و مدل ریزمقیاس‌نما WXGEN استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل‌های هیدرولوژیکی و روش‌های تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) می‌توانند تفاوت زیادی در تغییر رواناب تحت شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم یکسان، نشان دهند و تفاوت عمده در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ از ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بیشتر خواهد بود. همچنین عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژیکی و روش‌های تعیین PET در تعیین رواناب در فصول گرم بیشتر می‌باشند.

Ashofteh and Massah Bavani (2012) تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قرقو در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را با لحاظ نمودن عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM^۱ و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی نمودند. آن‌ها برای نشان دادن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM از مدل IHACRES و روش مونت‌کارلو استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما و افزایش رواناب سالانه درازمدت در دوره آبی برای هر دو سناریو (به‌خصوص A2) خواهد بود.

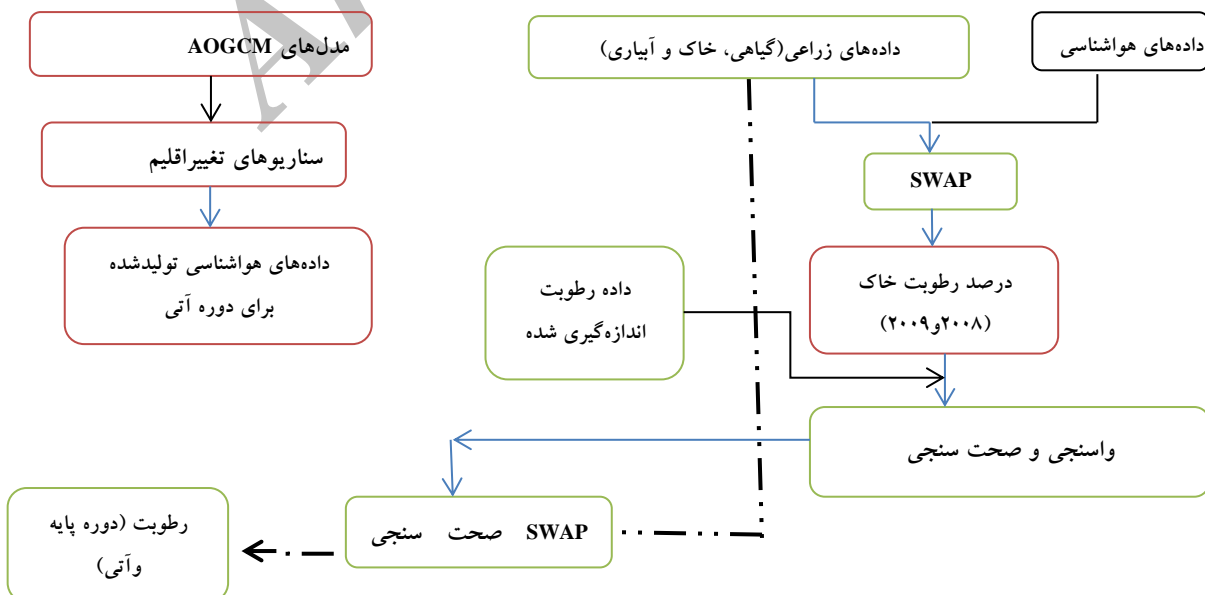
Ansari *et al.* (2015) عدم قطعیت خروجی مدل LARS-WG پس از پیش‌بینی دو پارامتر بارش و دما طی سی سال ۲۰۴۱-۲۰۱۲ در ایستگاه سینوپتیک مشهد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر ریزمقیاس شده بارش در چارک‌های اول تا چهارم متفاوت است. Yaghoobi and Massah

برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP استفاده شده است. مدل SWAP رطوبت در مزرعه فاروب دشت نیشابور را با استفاده از داده سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ (۲۰۰۸-۲۰۰۹) شبیه‌سازی و به کمک داده‌های رطوبت خاک، واسنجی و صحت‌سنجی می‌کند. به دلیل فقدان داده‌های ورودی مورد نیاز مدل SWAP در سال‌های دوره پایه و آتی از داده‌های زراعی، خاک و آبیاری سال‌های دوره اندازه‌گیری استفاده شده است. واسنجی مدل با داده‌های رطوبت خاک در عمق ۱۰ تا ۹۰ سانتیمتر و با دو یا سه مرتبه تکرار در مزرعه فاروب در طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۷ انجام شده است. روش انجام این تحقیق همان‌طور که شکل (۲) نشان می‌دهد به این صورت است که ابتدا مدل SWAP برای مزرعه فاروب با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت و واسنجی و صحت‌سنجی می‌شود. سپس رطوبت بوسیله مدل

برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP استفاده شده است. مدل SWAP رطوبت در مزرعه فاروب دشت نیشابور را با استفاده از داده سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ (۲۰۰۸-۲۰۰۹) شبیه‌سازی و به کمک داده‌های رطوبت خاک، واسنجی و صحت‌سنجی می‌کند. به دلیل فقدان داده‌های ورودی مورد نیاز مدل SWAP در سال‌های دوره پایه و آتی از داده‌های زراعی، خاک و آبیاری سال‌های دوره اندازه‌گیری استفاده شده است. واسنجی مدل با داده‌های رطوبت خاک در عمق ۱۰ تا ۹۰ سانتیمتر و با دو یا سه مرتبه تکرار در مزرعه فاروب در طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۷ انجام شده است. روش انجام این تحقیق همان‌طور که شکل (۲) نشان می‌دهد به این صورت است که ابتدا مدل SWAP برای مزرعه فاروب با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت و واسنجی و صحت‌سنجی می‌شود. سپس رطوبت بوسیله مدل



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

سناریوهای اقلیمی در دوره‌های آتی

شده است. ۱۰ مدل انتخابی تحت ۲ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B1 اقدام به شبیه‌سازی اقلیم در دوره آتی می‌نمایند. اهمیت دو سناریو A2 و B1 از این نظر است که سناریوی A2 در برگیرنده بحرانی‌ترین و B1 در برگیرنده کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند (IPCC-TGICA, 2007).

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشند. مشخصات مدل‌های AOGCM مورد استفاده در این تحقیق، در جدول (۱) آورده

جدول ۱. مشخصات مدل‌های AOGCM مورد استفاده در این تحقیق (IPCC, AR4, 2007)

نام مدل	گروه مؤسس و کشور	قدرت تفکیک در اتمسفر	قدرت تفکیک در اقیانوس	سناریوهای انتشار
HadCm3	UK	2.5°×3.75°, L19	1.25°×1.25°, L20	A2, B1, A1B
ECHAM5/MPI-OM	Germany	T63 (~1.9° x 1.9°) L31	1.5° x 1.5° L40	A2, B1, A1B
CSIRO-MK3.5	Australia	T63 (~1.9° x 1.9°) L18	0.8° x 1.9° L31	A2, B1, A1B
GFDL-CM2.0	USA	2.0° x 2.5° L24	0.3°-1.0° x 1.0°	A2, B1, A1B
GISS-ER	USA	4° x 5° L20	4° x 5° L13	A2, B1, A1B
BCCR-BCM2.0	Norway	T63 (1.9° x 1.9°) L31	0.5°-1.5° x 1.5° L35	A2, B1, A1B
MIROC3.2 medres	Japan	T106 (~1.1° x 1.1°) L56	0.2° x 0.3° L47	A2, B1, A1B
CGCM3 (T47)	Canada	T47 (~2.8° x 2.8°) L31	1.9° x 1.9° L29	A2, B1, A1B
NCARPCM	USA	T42 (4/1° x 4/1°) L26	0.3°-1° x 1° L40	A2, A1B, B1
INMCM3	Russia.	5° x 4° L21	2.5°×2°, L33	A2, A1B, B1

مدل LARS-WG

و دوره آتی وارد مدل گردند. این متغیرهای اقلیمی باید به عنوان داده‌های هواشناسی در ۲۰ سال دوره پایه و ۲۰ سال دوره آتی برای ۱۰ مدل و دو سناریو وارد مدل SWAP شوند. فایل رطوبت استخراج شده از مدل SWAP، مقدار رطوبت موجود در خاک از عمق ۱۰ تا ۹۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. دو عمق توسعه ریشه گیاه ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای تعیین رطوبت خاک و شاخص کمبود رطوبت استفاده شد. علت استفاده از این دو عمق، بیشتر برای ارزیابی تنش خشکی می‌باشد که باید در عمق توسعه ریشه گیاهان انجام گردد. بنابراین ۸۴۰ فایل رطوبت مربوط به دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

پیش‌بینی‌های اقلیمی خروجی مدل‌های AOGCM به‌صورت میانگین‌های ماهانه می‌باشند، در صورتی‌که مدل SWAP به سری‌های زمانی روزانه آب‌وهوا 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 بارش و دما، از مولد وضع هوای تصادفی LARS-WG استفاده گردید. مدل LARS-WG مولد تصادفی آب‌وهوا است که جزئیات مبانی آن توسط Semenov and Stratonovitch, و Semenov (2008) (2010) ارائه شده است. LARS-WG، از یک توزیع نیمه تجربی (SED) برای تخمین توزیع‌های احتمال دوره‌های خشک و تر، بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند. توانایی و کارایی مدل LARS-WG در تحقیقاتی که صورت گرفته به اثبات رسیده است (Cowden et al., 2008; Luo et al., 2009; Dhungana et al., 2006).

نتایج و بحث

عیین وضعیت رطوبت خاک با مدل SWAP

به دلیل تغییرات روزانه زیاد رطوبت برای نشان دادن تغییرات این پارامترها از متوسط روزانه آنها در هفته استفاده شد. همچنین از تغییرات هفته اول پس از رویش گیاه و هفته آخر قبل از برداشت به دلیل عدم رویش گیاه تا یک یا دو هفته پس از کاشت و همچنین زرد و خشک شدن گیاه و عدم استفاده گیاه از آب در هفته آخر قبل از برداشت صرف‌نظر شد. برای اینکه بتوان از رطوبت شبیه‌سازی شده با مدل SWAP استفاده کرد باید ابتدا نتایج مدل SWAP را با داده‌های اندازه‌گیری شده واسنجی و صحت‌سنجی نمود. نتایج تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک نشان داد که مدل نسبت به ضرایب α و n حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. تحلیل حساسیت پارامترهای هیدرولیکی به این صورت انجام شد که هر بار، همه به جز یکی از پارامترهای هیدرولیکی ثابت

برای شبیه‌سازی رطوبت موجود در خاک در مدل SWAP باید داده‌های روزانه شش متغیر اقلیمی تولیدشده دمای حداقل، حداکثر، بارش، تشعشع، رطوبت نسبی، سرعت باد برای دوره پایه

واسنجی و جدول (۳) ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده با مدل SWAP و اندازه‌گیری شده در اعماق خاک نشان داده شده است. وجود ضرایب تبیین (R^2) بالای ۰/۷ نشان‌دهنده توانایی مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت خاک در سطح مزارع دشت می‌باشد.

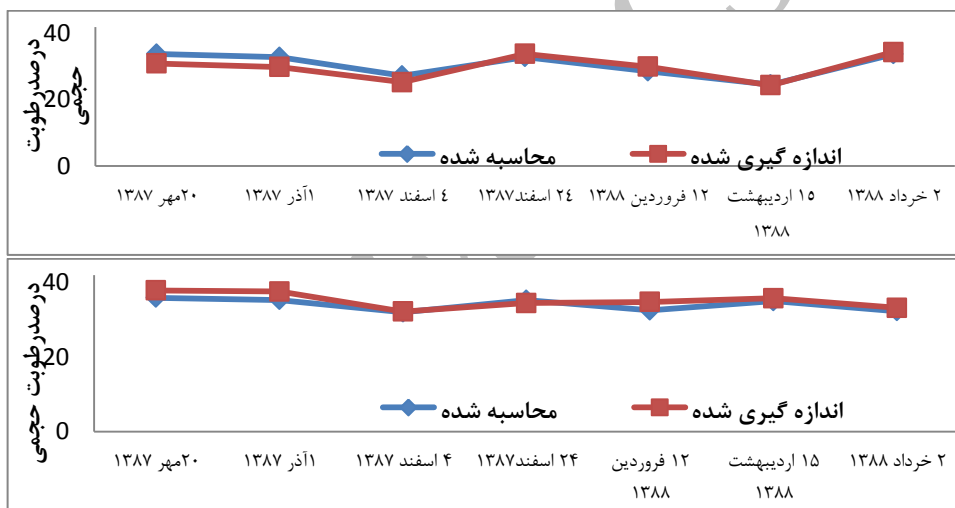
در نظر گرفته شد تا بدین وسیله مشخص گردد کدام پارامتر در مزرعه بر روی رطوبت خاک نسبت به بقیه پارامترهای هیدرولیکی خاک مؤثرتر می‌باشد. واسنجی و صحت سنجی در هر یک از مزارع دشت و در اعماق ۱۰ تا ۸۰ سانتی‌متر انجام شد. جدول (۲) خصوصیات هیدرولیکی لایه‌های خاک بعد از

جدول ۲. خصوصیات هیدرولیکی لایه‌های مختلف خاک بعد از واسنجی

عمق خاک (سانتی‌متر)	θ_{res} ($cm^3 cm^{-3}$)	θ_{sat} ($cm^3 cm^{-3}$)	Ksat ($cm d^{-1}$)	α (cm^{-1})	N (-)
۰-۳۰	۰/۰۵۷	۰/۳۸۳	۱۱/۳۱	۰/۰۳۵۵	۱/۲۶۵
۳۰-۶۰	۰/۰۷۵	۰/۳۶۸	۸/۶	۰/۰۱۲۳	۱/۳۷۵

جدول ۳. ارزیابی مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده

عمق خاک (cm)	تفاضل مطلق (%)	MAE (%)	RMSE (%)	R^2
۳۰	۰/۶۴۲	۰/۰۳	۱/۸	۰/۸۵
۶۰	۱/۷۵	۰/۰۶	۲/۸۲	۰/۷۴



شکل ۳. واسنجی مدل SWAP با داده‌های رطوبت خاک در اعماق ۳۰ (بالایی) و ۶۰ (پایینی) سانتی‌متر

ECHAM5OM برای دمای مینیمم و ماکزیمم و تبخیر و تعرق مرجع بیشترین افزایش را و مدل NCARPCM کمترین افزایش نسبت به دوره پایه نشان می‌دهند. همچنین مدل GFDLCM2 بیشترین کاهش بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند و مدل CGCM3T47 مقادیر نزدیک به دوره پایه برای دوره آتی برآورد می‌کند.

وضعیت رطوبت موجود در خاک در دوره پایه و آتی

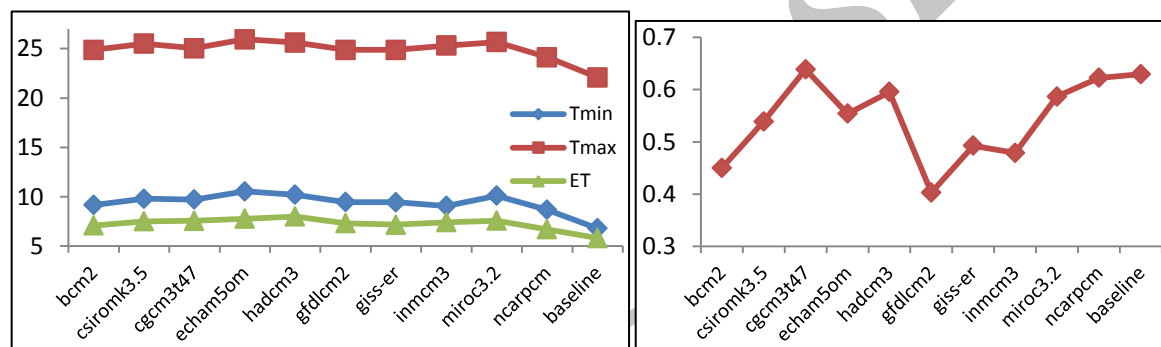
رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد گیاه و بیلان آب در مزرعه می‌باشد. برای اینکه تغییرات رطوبت در هفته و در سال بررسی شود. در این تحقیق سعی شد مقادیر هفتگی رطوبت خاک در طی ۳۳ هفته از رشد گیاه برای دوره پایه و آتی و برای ده مدل و دو سناریو تعیین شود. سپس برای اینکه تجزیه و

داده‌های اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم آتی

داده‌های اقلیمی که به عنوان داده‌های ورودی به مدل SWAP و متغیرهای دوره آتی شناخته می‌شوند در دوره آتی نسبت به دوره پایه تغییراتی خواهند داشت. متغیرهای اقلیمی شامل دمای حداقل، حداکثر، بارش و تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانیتیت در نرم‌افزار SWAP بدست آمده است. شکل (۴) مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را برای مدل‌های مورد تحقیق و سناریو A2 و B1 نشان می‌دهد. این شکل مشخص می‌کند دمای مینیمم و ماکزیمم و تبخیر و تعرق مرجع برای مدل‌های AOGCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و بارش نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. در بین مدل‌ها، مدل

می‌کنند (جدول ۴). چهار مدل GFDLCM2، GISS-ER، MIROC3.2 و INMCM3 با داشتن حداقل رطوبت‌های ۰/۱ و کمتر برای هر دو سناریو و هر دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری نشان می‌دهند بر طبق این مدل‌ها، گیاه در طی یکی از هفته‌های رشد دچار کمبود رطوبتی شدید خواهد شد. همچنین با توجه به جدول زیر می‌توان مشخص کرد که علاوه بر اینکه مقادیر رطوبت برای هفته‌های پس از رشد دوره پایه برای تقریباً بیشتر مدل‌ها بیشتر از دوره آبی بیشتر است تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفته‌ها نیز در دوره پایه کمتر از سایر مدل‌هاست. این امر می‌تواند سبب شود تنش زیادی به گیاه در مراحل از رشد وارد شود و سبب کاهش عملکرد شود که این امر در نتایج بعضی محققان نیز بدست آمده است (Ruane *et al*, 2013).

تحلیل هفتگی و سالیانه را به صورت تفکیک مورد بررسی قرار داد، متوسط رطوبت هر هفته در طی دوره پایه و آبی به‌عنوان رطوبت هفتگی و متوسط رطوبت هر سال در طی ۳۳ هفته رشد گیاه به‌عنوان رطوبت سالیانه خاک مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر رطوبت هفتگی دو سناریو A2 و B1 و برای ده مدل مشخص می‌کند در چه هفته‌ای گیاه دچار کمبود رطوبت و تنش آبی شده است و یا چه هفته‌ای گیاه از شرایط رطوبتی خوبی برخوردار بوده است. برای سناریو A2 و اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری، مدل INMCM3 کمترین مقادیر رطوبت و مدل NCARPCM بیشترین مقادیر رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد نشان می‌دهند. برای سناریو B1، مدل GISS-ER کمترین مقادیر رطوبت و مدل NCARPCM بیشترین مقادیر رطوبت برای عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری، برآورد



شکل ۴. مقادیر متوسط دمای مینیمم، دمای ماکزیمم، تبخیر و تعرق روزانه در سال (سمت راست) و متوسط بارش روزانه در سال (سمت چپ) برای مدل‌های AOGCM و دوره پایه (baseline)

جدول ۴. مقادیر رطوبت هفتگی اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری برای دو سناریو A2 و B1 برای مدل‌های AOGCM

مدل	A2					B1				
	عمق ۳۰ سانتی‌متری		عمق ۶۰ سانتی‌متری			عمق ۳۰ سانتی‌متری		عمق ۶۰ سانتی‌متری		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
BASE	۰/۳۰۰	۰/۲۳۲	۰/۳۴۲	۰/۳۰۰	۰/۲۳۲	۰/۳۴۲	۰/۳۰۰	۰/۲۳۲	۰/۳۴۲	۰/۳۰۰
BCM2	۰/۲۸۸	۰/۱۷۷	۰/۳۳۸	۰/۳۰۱	۰/۱۶۹	۰/۳۴۱	۰/۳۰۹	۰/۲۱۵	۰/۳۴۳	۰/۲۸۸
CSIROMK3.5	۰/۲۸۷	۰/۱۹۲	۰/۳۴۰	۰/۳۰۱	۰/۱۸۲	۰/۳۴۲	۰/۳۰۹	۰/۲۱۹	۰/۳۴۲	۰/۲۸۷
CGCM3T47	۰/۲۹۰	۰/۱۷۳	۰/۳۳۷	۰/۳۰۲	۰/۱۶۷	۰/۳۴۰	۰/۳۰۷	۰/۲۱۳	۰/۳۴۳	۰/۲۹۰
ECHAM5OM	۰/۲۸۷	۰/۱۹۵	۰/۳۳۹	۰/۳۰۱	۰/۱۹۰	۰/۳۴۱	۰/۳۰۱	۰/۲۰۵	۰/۳۴۲	۰/۲۸۷
HADCM3	۰/۲۸۵	۰/۱۶۱	۰/۳۳۸	۰/۲۹۸	۰/۱۶۲	۰/۳۴۰	۰/۳۰۹	۰/۲۳۵	۰/۳۴۲	۰/۲۸۵
GFDLCM2	۰/۲۸۱	۰/۰۷۶	۰/۳۳۹	۰/۲۹۵	۰/۰۹۲	۰/۳۴۱	۰/۳۰۵	۰/۱۰۵	۰/۳۴۳	۰/۲۸۱
GISS-ER	۰/۲۸۶	۰/۰۷	۰/۳۳۷	۰/۲۹۸	۰/۰۸۶	۰/۳۴۰	۰/۳۰۴	۰/۱۰۰	۰/۳۴۳	۰/۲۸۶
INMCM3	۰/۲۸۰	۰/۰۷۳	۰/۳۳۸	۰/۲۹۴	۰/۰۸۹	۰/۳۴۱	۰/۳۰۳	۰/۱۰۳	۰/۳۴۳	۰/۲۸۰
MIROC3.2	۰/۲۸۴	۰/۰۷۶	۰/۳۳۹	۰/۲۹۷	۰/۰۹۲	۰/۳۴۱	۰/۳۰۳	۰/۱۰۳	۰/۳۴۲	۰/۲۸۴
NCARPCM	۰/۲۹۳	۰/۲۰۰	۰/۳۳۹	۰/۳۰۵	۰/۱۹۵	۰/۳۴۲	۰/۳۱۳	۰/۲۳۹	۰/۳۴۴	۰/۲۹۳

مقادیر آماری متوسط داده‌های رطوبت سالیانه دوره پایه و آبی در جدول (۵) نشان داده شد. بر طبق این جدول برای سناریو A2 در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری، مدل‌های

مقادیر آماری متوسط داده‌های رطوبت سالیانه دوره پایه و آبی در جدول (۵) نشان داده شد. بر طبق این جدول برای سناریو A2 در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری، مدل‌های

سانتی‌متری نسبت به ۶۰ سانتی‌متری از مقادیر رطوبت کمتری را برخوردارند. وجود حداقل و متوسط ۰/۲۶۱ و ۰/۲۶۳ برای دو مدل در عمق ۳۰ سانتی‌متری و برای سناریو A2 حاکی از شرایط کم رطوبتی در مزرعه دارد.

B1 در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری، مدل ECHAM5OM کمترین مقادیر رطوبت و مدل NCARPCM بیشترین مقادیر رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه را خواهند داشت. همچنین با توجه به مقادیر متوسط رطوبت برای دو سناریو A2 و B1 مشخص شد سناریو A2 نسبت به B1 و عمق ۳۰

جدول ۵. مقادیر آماری متوسط داده‌های رطوبت سالیانه دوره پایه و آتی

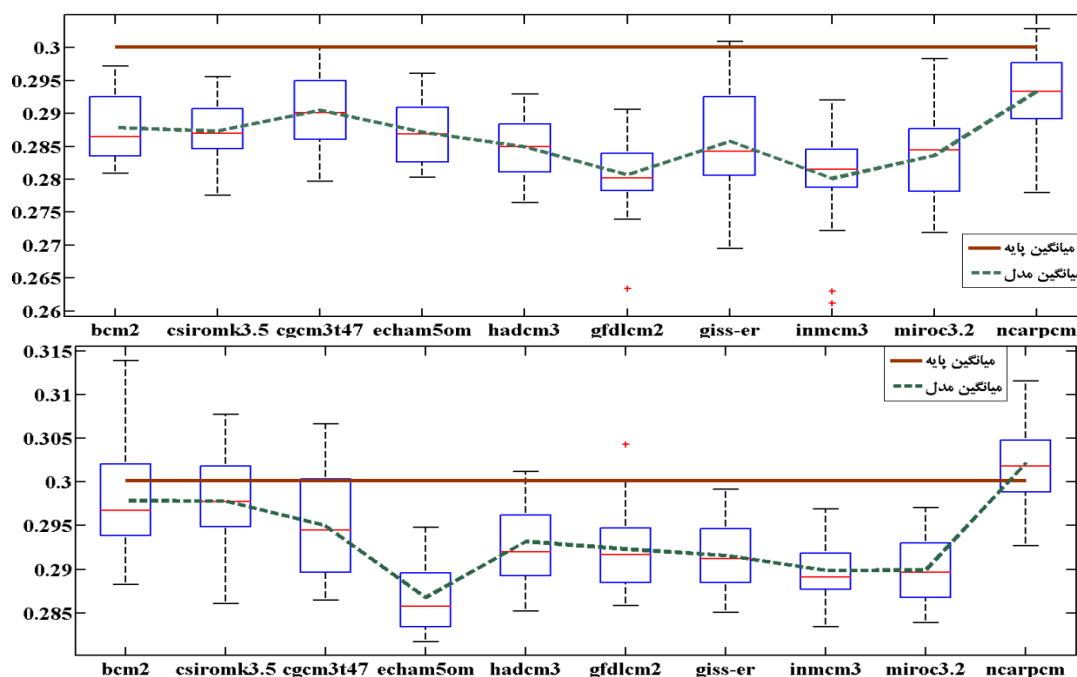
مدل	A2			B1		
	عمق ۳۰ سانتی‌متری	عمق ۶۰ سانتی‌متری	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
BASE	۰/۳	۰/۲۸۲	۰/۳۱۶	۰/۳۱۶	۰/۳۱۶	۰/۳۱۶
BCM2	۰/۲۸۸	۰/۲۸۱	۰/۲۹۷	۰/۳۰۱	۰/۲۹۵	۰/۳۰۲
CSIROMK3.5	۰/۲۸۷	۰/۲۷۷	۰/۲۹۶	۰/۳۰۱	۰/۲۹۴	۰/۳۰۸
CGCM3T47	۰/۲۹۰	۰/۲۸۰	۰/۳۰۰	۰/۳۰۲	۰/۲۹۴	۰/۳۱۰
ECHAM5OM	۰/۲۸۷	۰/۲۸۰	۰/۲۹۶	۰/۳۰۱	۰/۲۹۴	۰/۳۰۷
HADCM3	۰/۲۸۵	۰/۲۷۶	۰/۲۹۳	۰/۲۹۸	۰/۲۹۲	۰/۳۰۴
GFDLCM2	۰/۲۸۱	۰/۲۶۳	۰/۲۹۱	۰/۲۹۵	۰/۲۷۸	۰/۳۰۳
GISS-ER	۰/۲۸۶	۰/۲۶۹	۰/۳۰۱	۰/۲۹۸	۰/۲۸۲	۰/۳۱۲
INMCM3	۰/۲۸۰	۰/۲۶۱	۰/۲۹۲	۰/۲۹۴	۰/۲۷۷	۰/۳۰۴
MIROC3.2	۰/۲۸۴	۰/۲۷۲	۰/۲۹۸	۰/۲۹۷	۰/۲۸۶	۰/۳۰۸
NCARPCM	۰/۲۹۳	۰/۲۷۸	۰/۳۰۳	۰/۳۰۵	۰/۲۸۹	۰/۳۱۴

شکل (۶) دامنه تغییرات رطوبت سالیانه خاک ده مدل AOGCM برای سناریوهای A2 و B1 در طی دوره پایه و آتی در تعیین رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. این شکل مشخص می‌کند در بین مدل‌های تعیین‌کننده رطوبت برای سناریو A2، مدل INMCM3 بهترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها و مدل GISS-ER به دلیل ضخامت بیشتر باند دارای کمترین قطعیت تعیین رطوبت خاک نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد. شکل زیر که مقادیر رطوبت را برای سناریو B1 برای عمق ۶۰ سانتی‌متری نیز نشان می‌دهد تقریباً مشابه نتایج رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متری برای سناریو A2 را نشان می‌دهد. مدل INMCM3 بیشترین قطعیت و مدل‌های CGCM3T47 به دلیل ضخامت بیشتر باند دارای کمترین قطعیت در برآورد رطوبت خاک عمق ۶۰ سانتی‌متری دارا می‌باشد. همچنین مدل‌های INMCM3 و NCARPCM برای سناریو A2 و برای سناریو B1 مدل NCARPCM و ECHAM5OM به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر رطوبت خاک را برای دوره آتی برآورد می‌کنند. با مقایسه رطوبت خاک عمق ۳۰ سانتی‌متری و ۶۰ سانتی‌متری مشخص می‌شود مقادیر رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری نسبت به ۳۰ سانتی‌متری بیشتر خواهد بود. همچنین با مقایسه عمق ۶۰ سانتی‌متری برای دو سناریو A2 و B1 مشخص می‌شود سناریو A2 در همه مدل‌ها مقادیر کمتری از رطوبت خاک را نسبت به سناریو B1 تخمین می‌زند.

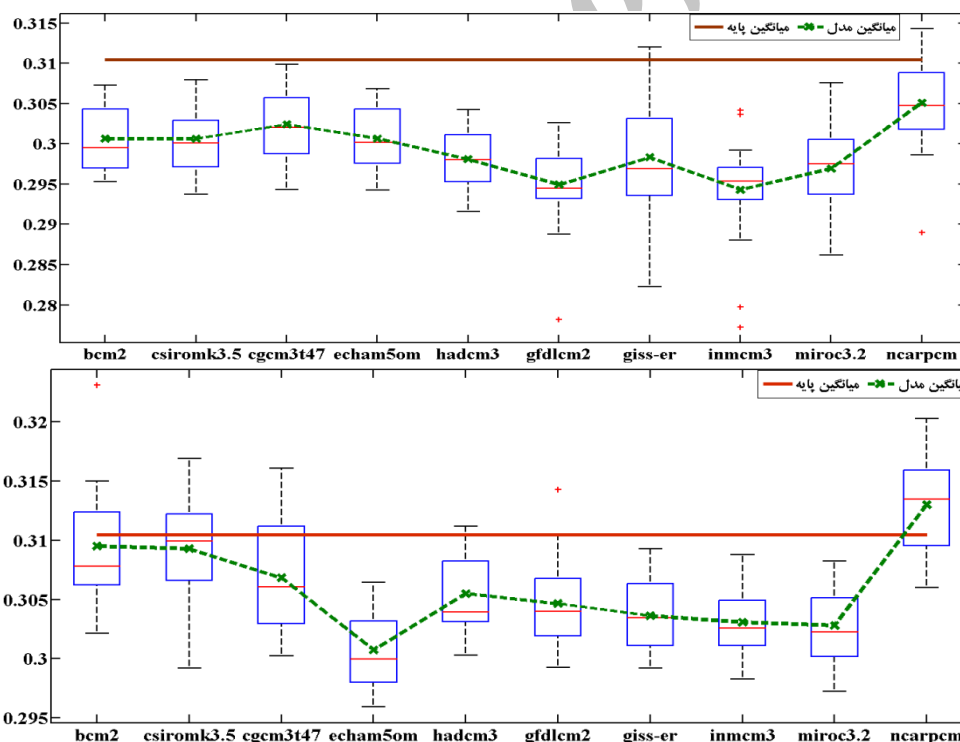
عدم قطعیت مدل‌های AOGCM

اثر تغییر اقلیم بر رطوبت سالانه خاک

دامنه تغییرات رطوبت سالانه خاک مدل‌های AOGCM برای سناریوهای A2 و B1 در تعیین رطوبت خاک عمق ۳۰ سانتی‌متر در شکل (۵) نشان داده شد. با توجه به شکل، مدل‌های CSIROMK3.5، GFDLCM2 و INMCM3 به دلیل ضخامت کمتر باند و دامنه تغییرات بزرگ‌تر، دارای بیشترین قطعیت و مدل GISS-ER دارای کمترین قطعیت می‌باشند. همچنین مدل‌های NCARPCM، ECHAM5OM دارای بیشترین مقادیر رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متر و مدل‌های GFDLCM2 و INMCM3 دارای کمترین مقادیر رطوبت برای سناریو A2 می‌باشند. همچنین این شکل مشخص می‌کند با توجه به کاهش بارش و افزایش دما در آینده، از مقدار رطوبت خاک نیز کاسته می‌شود. MacDonald et al, (1994) نیز بیان داشتند با کاهش بارش و افزایش دما در آینده از مقدار رطوبت کاسته می‌شود. همچنین نتایج عدم قطعیت مدل‌ها نشان می‌دهد مدل‌های INMCM3 و CGCM3T47 به ترتیب دارای بیشترین و کمترین باند قطعیت در بین مدل‌های تعیین‌کننده رطوبت خاک عمق ۳۰ سانتی‌متری برای سناریو B1 می‌باشند. همچنین مدل‌های ECHAM5OM و NCARPCM به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر رطوبت در طی ۲۰ سال دور آتی برای سناریو B1 می‌باشند.



شکل ۵. نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط سالانه رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک در طی دوره رشد محصول برای دوره پایه و سناریوهای A2 (بالایی) و B1 (پایینی) از دوره آبی



شکل ۶. نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط سالانه رطوبت عمق ۶۰ سانتی‌متر خاک در طی دوره رشد محصول برای دوره پایه و سناریوهای A2 (بالایی) و B1 (پایینی) از دوره آبی

مدل‌ها برای سناریو A2 مدل CGCM3T47 و NCARPCM، بهترین قطعیت و مدل‌های CSIROMK3.5، GFDLCM2 و ECHAM5OM کمترین قطعیت را در برآورد رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک دارد. همچنین رطوبت در بیشتر مدل‌ها روند کاهشی دارد. همچنین شکل مشخص می‌کند مدل HADCM3،

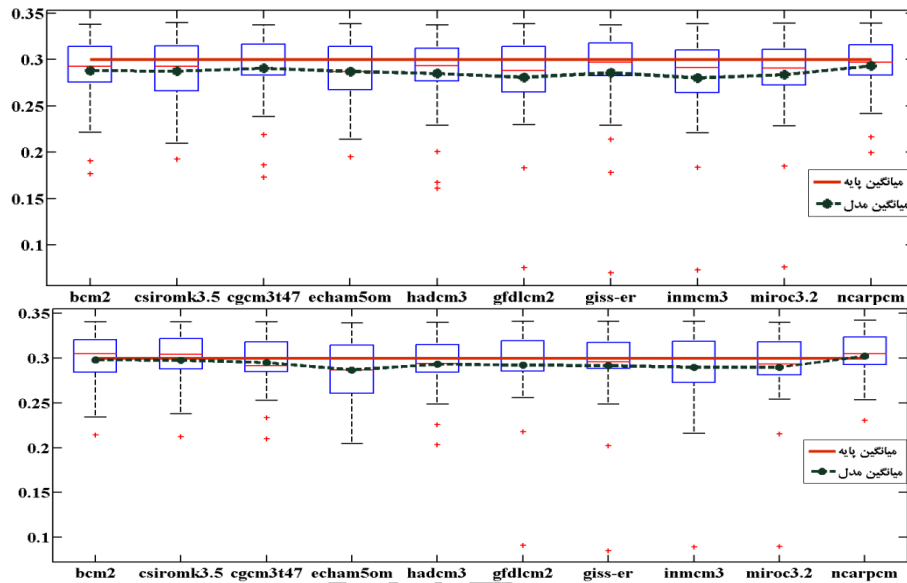
اثر تغییر اقلیم بر رطوبت هفتگی خاک

دامنه تغییرات یا عدم قطعیت برآورد رطوبت هفتگی خاک توسط مدل‌های AOGCM در طی ۳۳ هفته رشد گیاه برای دو سناریو A2 و B1 در شکل (۷) نشان داده شده است. در بین

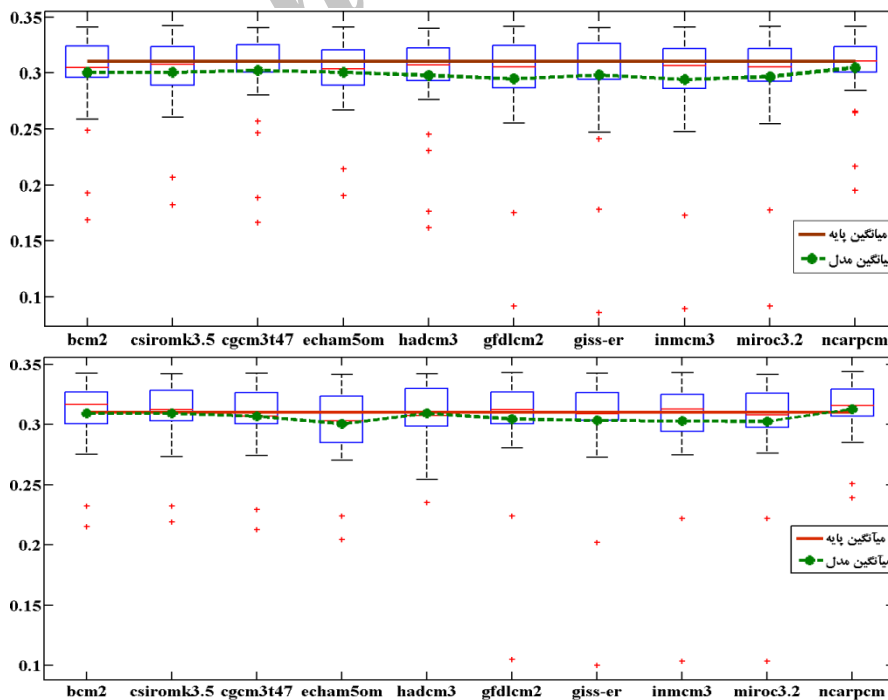
۶۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد مدل NCARPCM به دلیل ضخامت کمتر باند دارای بیشترین قطعیت و مدل GFDLCM2 کمترین قطعیت در تخمین رطوبت خاک دارد. برای سناریو B1 نیز مدل NCARPCM بیشترین قطعیت و مدل ECHAM5OM کمترین قطعیت به دلیل ضخامت بیشتر باند برای برآورد رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه دارد.

NCARPCM و GISS-ER بهترین قطعیت و مدل ECHAM5OM کمترین قطعیت را در برآورد رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متری برای سناریو B1 مدل‌ها دارد.

شکل (۸) عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در تخمین رطوبت هفتگی طول رشد گندم را در طی دوره آبی و پایه برای عمق ۶۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. همچنین میانگین ۳۳ هفته طی دوره رشد مدل‌های AOGCM برای سناریو A2 در عمق



شکل ۷. نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک در طی دوره رشد محصول برای دوره پایه و مدل‌های AOGCM از سناریوهای A2 (بالایی) و B1 (پایینی)



شکل ۸. نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی عمق ۶۰ سانتی‌متر خاک در طی دوره رشد محصول برای دوره پایه و مدل‌های AOGCM از سناریوهای A2 (بالایی) و B1 (پایینی)

نتیجه‌گیری کلی

تقریباً بیشتر مدل‌ها بیشتر از دوره آتی بیشتر است و تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفته‌ها نیز در دوره پایه کمتر از سایر مدل‌هاست. این امر می‌تواند سبب شود تنش زیادی به گیاه در مراحل از رشد وارد شود و سبب کاهش عملکرد شود.

عدم قطعیت رطوبت سالانه خاک اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی-متری نشان داد مدل INMCM3 برای سناریوهای A2 و B1 به دلیل ضخامت باند و دامنه تغییرات کمتر دارای بیشترین قطعیت و مدل GISS-ER برای سناریو A2 و مدل CGCM3T47 برای سناریو B1 دارای کمترین قطعیت می‌باشند. همچنین با مقایسه رطوبت اعماق خاک مشخص می‌شود مقادیر رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری نسبت به ۳۰ سانتی‌متری بیشتر خواهد بود. همچنین با مقایسه عمق ۶۰ سانتی‌متری برای دو سناریو A2 و B1 مشخص می‌شود سناریو A2 برای همه مدل‌ها مقادیر کمتری نسبت به سناریو B1 تخمین می‌زند. در بین مدل‌ها برای سناریو A2 و B1 مدل NCARPCM برای عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری بهترین قطعیت و مدل ECHAM5OM و GFDLCM2 کمترین قطعیت را در برآورد رطوبت خاک در طی هفته‌های پس از رشد گیاه دارد.

رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد گیاه و بیلان آب در مزرعه می‌باشد. رطوبت خاک تحت تأثیر مستقیم عوامل آب و هوایی قرار می‌گیرد و با کاهش بارش و افزایش دما از مقدار رطوبت موجود در خاک کاسته می‌شود. نتایج تغییر پارامترهای اقلیمی نشان داد دمای مینیمم و ماکزیمم و تبخیر و تعرق مرجع برای مدل‌های AOGCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و بارش نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. در مقایسه بین مدل‌ها، مدل ECHAM5OM برای دمای مینیمم و ماکزیمم و تبخیر و تعرق مرجع بیشترین افزایش و مدل NCARPCM کمترین افزایش نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهند. همچنین مدل GFDLCM2 بیشترین کاهش بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه تخمین می‌زند. نتایج حاصل از مدل SWAP با استفاده از سناریوهای هواشناسی برای دوره آتی نشان داد برای سناریو A2 و B1 و اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری، مدل INMCM3 کمترین مقادیر رطوبت و مدل NCARPCM بیشترین مقادیر رطوبت خاک در طی هفته‌های پس از رشد را دارند. مقادیر رطوبت برای هفته‌های پس از رشد دوره پایه برای

REFERENCES

- Adhikari, U. and Nejadhashemi, A. P. (2016). Impacts of Climate Change on Water Resources in Malawi, *Journal of Hydrologic Engineering*, 1084-0699.
- Ansari, H., Khadivi, M., Salehnia, N. and Babaeia, I. (2015). Evaluation of Uncertainty LARS Model under Scenarios A1B, A2 and B1 in Precipitation and Temperature Forecast (Case Study: Mashhad Synoptic Stations). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 8(4), 664-672. (In Farsi)
- Ashofteh, P. S. and Massah Bavani, A. (2012). Investigation of AOGCM Model Uncertainty and Emission Scenarios of Greenhouse Gases Impact on the Basin Runoff under Climate Change, Case study Gharanghu Basin, East Azerbaijan. *Iran-Water Resources Research*, 8(2), 36-47. (In Farsi)
- Bae, D_H., Jung, Il-W, Lettenmaier, D.P. (2011). Hydrologic uncertainties in climate change from IPCC AR4 GCM simulations of the Chungju Basin, Korea. *Journal of Hydrology*, 401, 90-105.
- Coopersmith, E. J., Bell, J. E. and Cosh, M. H. (2015). Extending the soil moisture data record of the U.S. Climate Reference Network (USCRN) and Soil Climate Analysis Network (SCAN), *Advances in Water Resources*, 79,80-90
- 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.
- Cowden, J. R., Watkins, D. W. and Mihelcic, J. R. (2008). Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*. 361, 64-77.
- Dhungana, p., Eskridge, K. M., Weiss, A. and Baenziger, P. S. (2006). Designing crop technology for a future climate: An example using response surface methodology and the CERES-Wheat model. *Agricultural Systems*. 87: 63-79.
- IPCC-TGICA. (2007). 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.
- MacDonald, A. M., Matthews, K. B., Paterson, E. and Aspinall, R. J. (1994). The impact of climate change on the soil/moisture regime of Scottish mineral soils. *Environmental Pollution*, 83, 245-250.
- Ruane, A. C., Cecil, L. D., Horton, R. M., Gordan, R., McCollum, R., Brown, D., Killough, B., Goldberg, R., Greeley, A. p. and Rosenzweig, C. (2013). Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 132-145.
- 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.
- Semenov, M. A. (2008). Extreme impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Asp Application Biological*. 88, 37–38.
- Semenov, M. A. and Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Resarch*. 41, 1-14.
- 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.
- Stéfanon, M., Drobinski, P., D'Andrea, F. (2014). Soil moisture–temperature feedbacks at meso-scale during summer heat waves over Western Europe. *Clim. Dyn.* 42(5–6), 1309–1324.
- Woznicki, S. A., Nejadhashemi, A. P. and Parsinejad, M. (2015). Climate change and irrigation demand: Uncertainty and adaptation, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 247–264.
- Yaghobi, M. and Massah Bavani, A. (2016). Comparison and Evaluation of Different Sources of Uncertainty in the Study of Climate Change Impact on Runoff in Semi-arid Basins (Case study: Azam Harat River Basin). *Iran-Water Resources Research*, 11(3), 113-130. (In Farsi)
- 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 Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. (In Farsi)

Archive of SID