

## بررسی عدم قطعیت سناریوهای انتشار تغییر اقلیم در برآورد رطوبت خاک در طی هفته‌های رشد

### گندم

مصطفی یعقوب‌زاده<sup>1\*</sup>، مهدی امیرآبادی‌زاده<sup>2</sup>، یوسف رضانی<sup>3</sup>، محسن پوررضا بیلندی<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1395/11/3 تاریخ پذیرش: 1395/12/22

### چکیده

مدیریت و برنامه ریزی منابع آب به علت عدم قطعیت تغییر اقلیم کاری سخت در سرتاسر جهان شده است. بنابراین در این تحقیق عدم قطعیت سناریوهای انتشار در برآورد رطوبت خاک در طی هفته‌های رشد گندم مزرعه فاروب نیشابور به کمک مدل SWAP بررسی شد. داده‌های اقلیمی به- کمک ده مدل AOGCM و دو سناریو انتشار A2 و B1 برای دوره آتی 2080-2099 برآورد گردید. داده‌های دما و بارش به کمک مدل LARS-WG ریزمقیاس شده و وارد مدل SWAP شد. داده‌های رطوبت خاک در اعماق 30 و 60 سانتی متری در طی هفته‌های رشد گندم برای دوره پایه و آتی به کمک مدل SWAP محاسبه شد و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد در هفته‌های آخر رشد گندم مزرعه فاروب، سناریوهای انتشار برای دوره آتی نسبت به دوره پایه درصد رطوبت کمتری در خاک را برآورد 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 برآورد رطوبت خاک برای دوره آتی در طی هفته‌های رشد برخوردار است.

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

باشد (آشفته، 1391).

فرآیند کلی ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب دارای سه بخش پیش-بینی تغییر اقلیم با مدل‌های GCM، مدل‌های ریزمقیاس کننده برآورد-های آب و هوا از سطح جهانی به مقیاس منطقه‌ای و تولید برآوردهای هیدرولوژیکی با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی می-باشد. همه این فرآیندها یعنی برآورد کننده‌های هواشناسی، روش‌های ریزمقیاس کننده و شبیه‌سازهای هیدرولوژیکی جزو منابع عدم قطعیت می‌باشند (Bae et al., 2011). عدم قطعیت مدل‌های برآورد کننده-های هواشناسی (Xu and Singh., 2004) قاسمی و همکاران، (1392) و عدم قطعیت مدل‌های ریزمقیاس‌نما (Im et al., 2010) Flower et al., و آشفته و همکاران، (1391) در تحقیقات متعددی بررسی شده است ولی تحقیقات در داخل پارامترها و ساختار مدل‌های هیدرولوژیکی کمتر می‌باشد از قبیل تحقیقات کلارک و همکاران، (Clark et al., 2008) و تنگ و همکاران (Teng et al., 2012) و کمال و مساح‌بوانی (1391). بعضی از محققان مانند یعقوبی و مساح‌بوانی (1394) هر سه منبع عدم قطعیت شامل مدل‌های GCM و مدل‌های ریزمقیاس نما و مدل‌های شبیه ساز بارش رواناب را هم-زمان بررسی کردند.

در زمینه اثر تغییر اقلیم بر رطوبت، خوشحال دستجردی و

### مقدمه

میانگین دمای سطحی زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتباً در حال افزایش است. به‌گونه‌ای که سناریوهای گزارش چهارم هیات بین الدول تغییر اقلیم که در سال 2007 منتشر شد، افزایش متوسط جهانی دما را 0/76 درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و تا 6/4 درجه سانتی‌گراد تا سال 2100 برآورد می‌کنند. این پدیده که به آن تغییر اقلیم اطلاق می‌شود می‌تواند با احتمال زیاد بر بخش‌های مختلفی تاثیر بگذارد که بخش کشاورزی و منابع آب از اصلی‌ترین آن‌ها می‌باشد. از آن‌جا که افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیان‌باری برای جوامع بشری داشته باشد، بنابراین در سال‌های اخیر تحقیقاتی در این مورد در دنیا صورت گرفته است. همچنین در کشور ما از آن‌جایی که بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف کننده آب است بنابراین مطالعه و ارزیابی آن می‌تواند در آمادگی برای کاهش اثرات منفی این پدیده و مدیریت بهتر آن، بسیار موثر و حایز اهمیت

1- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند

2- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند

3- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند

4- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند

\*-نویسنده مسئول (Email: M. Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir)

مورد نتایج سناریو B1 و برای حداکثر دما سناریو A2 را تعیین کردند. تحقیقات انجام شده در مورد اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی می‌باشد 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 به وسیله یکی از مدل‌های جامع آب، خاک و گیاه برای دوره پایه و آبی شبیه‌سازی شود. بنابراین در این تحقیق سعی شد عدم قطعیت سناریوهای انتشار را در تخمین رطوبت خاک برای دوره آبی در طی هفته‌های رشد گندم و سال‌های دوره آبی به کمک مدل SWAP ارزیابی شود. همچنین بعد از تعیین رطوبت خاک، هفته‌های بحرانی در طی رشد گندم به کمک مدل‌های مختلف تغییر اقلیم تعیین و با یکدیگر مقایسه شدند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد تحقیق در این پژوهش، دشت نیشابور می‌باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل 13° 58' تا 30' 59° طول شرقی و 40° 35' تا 39' 36° عرض شمالی قرار دارد و وسعت کل آن 7300 کیلومتر مربع است. آب و هوای منطقه نیمه‌خشک و خشک، متوسط دمای آن 12 درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالانه آن بطور متوسط برای کل دشت 292 میلی‌متر گزارش شده است. برای ارزیابی روش‌های تعیین تبخیر و تعرق از مزرعه ذرت روستای فاروب واقع در دشت نیشابور استفاده شده است (شکل 1).

### روش انجام تحقیق

روش انجام این تحقیق به این صورت است که ابتدا مدل SWAP با استفاده از داده‌های خاک، زراعی و هواشناسی منطقه اجرا شد و رطوبت خاک برای اعماق 0-90 سانتی‌متر شبیه‌سازی گردید. در مرحله بعد برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی رطوبت، نتایج رطوبت مدل SWAP با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت سال زراعی 1387-1388 واسنجی و صحت‌سنجی شد. محصول مورد مطالعه در این تحقیق گندم می‌باشد که در تاریخ 10 مهرماه کاشته شد و در تاریخ 9 تیرماه سال بعد برداشت شد. خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه در جدول 1 نشان داده شده است. بعد از اطمینان از صحت نتایج مدل SWAP، رطوبت خاک به وسیله مدل SWAP برای دوره پایه (2011-1992) شبیه‌سازی شد. سناریوهای روزانه هواشناسی دوره‌های آبی به کمک ده مدل و دو سناریو انتشار A2، B1 تولید شدند. برای برآورد مقدار رطوبت در دوره‌های آبی به کمک سناریوهای تغییر اقلیم و مدل‌های AOGCM، نسبت مقادیر ماهانه پارامترهای هواشناسی دوره 2009-2080 نسبت به دوره پایه برآورد گردید. مشخصات مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول 2 آورده شده است.

همکاران (1389) با در نظر گرفتن تغییرات درجه حرارت هوا و بارندگی حاصل از سناریوهای اقلیمی A2 و B2 برای دوره‌های اقلیمی 2010-2039 و 2039-2070 در منطقه‌ای در غرب اصفهان (داران) با استفاده از مدل کامپیوتری BUDGET، تاثیر تغییرات اقلیمی بر میزان رطوبت خاک و واکنش گندم نسبت به آب را در دوره‌های مذکور مورد بررسی قرار دادند.

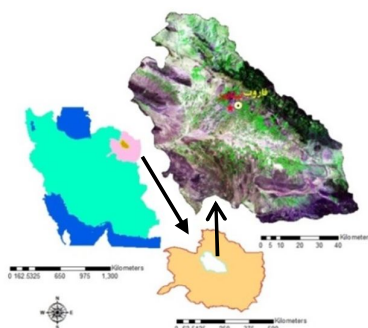
توکل و سمدت اثر تغییر اقلیم بر روی دبی جریان و رطوبت خاک در حوضه ورمیلیون با استفاده از مدل WetSpa را بررسی کردند. آن‌ها از مدل HADCM3 و دو سناریو A2 و B1 و مدل SDSM برای برآورد پارامترهای اقلیمی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش بارش در تابستان هم‌زمان با افزایش نیاز آبی منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود که این امر می‌تواند اثر منفی بر روی پوشش گیاهی طبیعی و رشد محصولات دیم بگذارد (Tavakoli and Smedt., 2012).

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).

عباس‌نیا و همکاران (1395) تغییرات دمای حداکثر روزانه بر روی کشور ایران در دو دوره زمانی (70-2041 و 99-2071) و بر اساس خروجی دو مدل گردش عمومی جو HADCM3 و CGCM3 تحت سناریوهای انتشار موجود (A2, A1B, B1, B2) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمودن داده‌های دما در 7 ایستگاه کشور استفاده کردند. در تحلیل عدم قطعیت مربوط به مدل سناریوها مشخص شد که مدل CGCM3 تحت سناریو B1 در بین مدل‌ها و سناریوهای مختلف بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی دمای آینده داشته است.

کمال و مساح بوانی (1391) عدم قطعیت مدل‌های TAR و AR4 در تاثیر بر رواناب حوضه قره‌سو در دوره 2040-2069 را مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها از خروجی‌های هفت مدل TAR و نه مدل منتخب AR4 تحت سناریو انتشار A2 استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از مدل‌های AR4 ضمن مدیریت بیش‌تر عدم قطعیت نتایج کاربردی‌تری نسبت به مدل‌های TAR به همراه خواهد داشت.

هوشمند و خردادی (1393) به بررسی باند عدم قطعیت ناشی از مدل AOGCM تحت تاثیر سه سناریو A1B، A2 و B1 در بررسی تغییرات پارامترهای حداقل دما، حداکثر دما و بارندگی ایستگاه سینوپتیک مشهد واقع در حوضه قره‌قوم پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود بیش‌ترین باند عدم قطعیت در برآوردهای مربوط به سناریو A1B است ولی کم‌ترین باند عدم قطعیت حداقل دما و بارندگی در



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

نیشابور در داخل مدل SWAP برای دوره پایه و آبی محاسبه شد و نتایج تغییر تبخیر و تعرق مرجع در آینده نسبت به حال تعیین گردید. برای ارزیابی عدم قطعیت نتایج رطوبت نیز از باندهای عدم قطعیت یا باکس پلات استفاده شد. این باندها به نحوی است که هرچه دامنه باکس بیش تر باشد نشان دهنده عدم قطعیت بیش تر در تخمین است.

به منظور تولید سناریوهای روزانه پارامترهای هواشناسی دوره‌های آبی با استفاده از داده‌های مشاهداتی (1992-2011) ایستگاه سینوپتیک نیشابور و مدل LARS-WG، پارامترهای دما، بارش ریزمقیاس شدند. تبخیر و تعرق مرجع نیز با استفاده از روش فائو پنمن - مانتیث با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک

جدول 1- خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه

شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	رطوبت وزنی		عمق خاک (cm)	نوع محصول
				نقطه پرمردگی (PWP, %)	نقطه ظرفیت زراعی (FC, %)		
33	47	20	لوم	11	31	0-90	گندم

جدول 2- مشخصات مدل‌های AOGCM مورد استفاده در این تحقیق (IPCC, AR4,2007)

نام مدل	گروه موسس 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

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 (Van Dam et al., 1997). معادله ریچاردز (معادله 1) جریان یک‌بعدی را در محیط غیراشباع (در حالت کلی) بیان می‌کند.

### 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

ریزگردانی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو محسوب می‌گردد. مدل LARS-WG مولد تصادفی آب و هوا است که جزییات مبانی آن توسط سمنوف<sup>2</sup> ارایه شده است (Semenov., 2008). این مدل می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش 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 برای تولید سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دوره دل‌خواه استفاده می‌شود. LARS-WG، از یک توزیع نیمه تجربی (SED) برای تخمین توزیع‌های احتمال دوره‌های خشک، تر، بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند.

## نتایج و بحث

### صحت‌سنجی نتایج مدل SWAP

برای این که بتوان رطوبت خاک را برای دوره آبی و پایه شبیه‌سازی نمود باید مدل SWAP با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت، واسنجی و صحت‌سنجی شود. به‌همین منظور بعد از این که رطوبت خاک توسط مدل SWAP برای سال زراعی 1387-1388 گندم آبی شبیه‌سازی شد به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده با دستگاه TDR واسنجی و صحت‌سنجی شد. عمل واسنجی با استفاده از 70 درصد داده‌ها و صحت‌سنجی با استفاده از 30 درصد بقیه داده‌ها در طی دوره رشد انجام گردید. ضریب تبیین بالای هشتاد درصد بین نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی رطوبت در هر دو عمق 30 و 60 سانتی‌متری خاک، نشان‌دهنده دقت خوب مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت خاک دارد.

### اثر تغییر اقلیم بر بارش، دما و تبخیر - تعرق مرجع

در این تحقیق برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم و مشخص شدن تغییرات پارامترهای هواشناسی در دوره آبی 2080-2099 از ده مدل AOGCM در ترکیب با دو سناریوی انتشار A2 و B1 استفاده شد. متغیرهای اقلیمی یکی از مهم‌ترین موارد تاثیرگذار بر رطوبت اعماق خاک می‌باشد. این متغیرها شامل دمای حداقل، حداکثر، بارش و تبخیر - تعرق مرجع می‌باشد. تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از روش فائو پنمن - مانیت در نرم‌افزار SWAP بدست آمده است. شکل 2 مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را برای دوره آبی 2099-2080 و سناریوهای انتشار نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل مشخص است دمای حداقل و حداکثر و تبخیر - تعرق مرجع برای دوره آبی نسبت به دوره پایه (baseline) افزایش و بارش نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. همچنین این شکل مشخص می‌کند سناریو

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

در این معادله  $\theta$ : رطوبت حجمی خاک (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)،  $t$ : زمان (hr)،  $z$ : افزایش عمق نسبت به سطح زمین (cm)، هدایت هیدرولیکی (cm/h) و  $h$ : بار هیدرولیکی (cm) می‌باشد. در SWAP توابع تحلیلی ارایه شده توسط ون - گنوختن و معلم برای تعریف توابع هیدرولیکی خاک از روابط 2 تا 4 استفاده می‌شود.

$$\theta = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (2)$$

در این رابطه،  $\theta_{sat}$ : رطوبت حجمی اشباع (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)،  $\theta_{res}$ : رطوبت حجمی باقی‌مانده (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)،  $\alpha$ : عکس مکش ورود هوا (1/cm) و  $m$  و  $n$ : فاکتورهای تجربی می‌باشند. با داشتن مقدار رطوبت در هر مکش می‌توان هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک را با استفاده از رابطه معلم به‌دست آورد.

$$k(\theta) = k_{sat} S_e^\lambda \left[ 1 - (1 - S_e^{n/n-1}) \right]^2 \quad (3)$$

$$S_e = \frac{(\theta - \theta_{res})}{(\theta_{sat} - \theta_{res})} \quad (4)$$

در روابط بالا  $k_{sat}$ = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (cm/d)،  $\lambda$ : فاکتور وابسته تغییرات هدایت هیدرولیکی به تغییرات مکش و  $S_e$ = نسبت اشباع می‌باشد.

### ریزمقیاس‌نمایی

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 صورتی که 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 استفاده گردید.

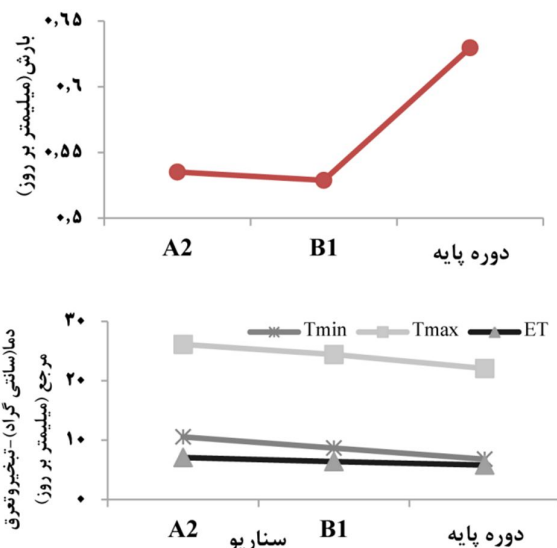
### مدل LARS-WG<sup>1</sup>

مدل LARS-WG یکی از پرکاربردترین مدل‌های آماری در

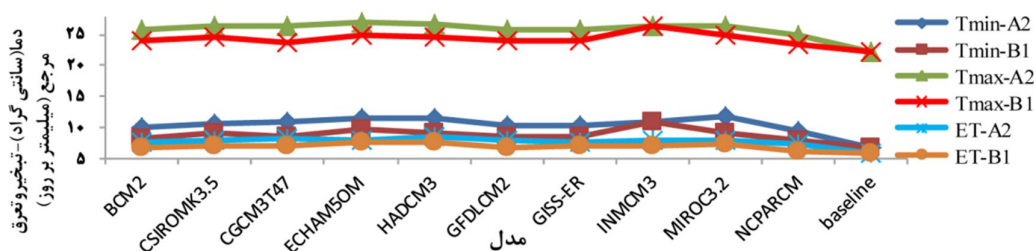
1- Long Ashton Research Station-Weather Generator

NCARPCM کمترین افزایش نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهند. مدل‌های HADCM3 و ECHAM5OM نیز بیشترین افزایش تبخیر - تعرق و مدل NCARPCM کمترین میزان تبخیر - تعرق در دوره آتی را نسبت به دوره پایه برآورد می‌نماید. همچنین مدل GFDLCM2 بیشترین کاهش بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه را تخمین می‌زند و مدل‌های CGCM3T47 و NCARPCM مقادیر بیش‌تری از دوره پایه را برای دوره آتی برآورد می‌کند (شکل 4).

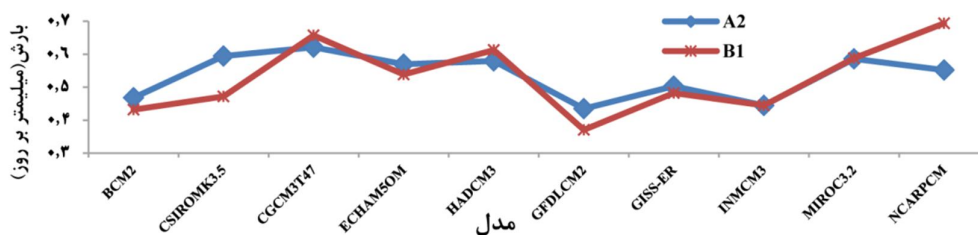
A2 نسبت به B1 مقدار افزایش بیش‌تری در دما و تبخیر - تعرق را نشان می‌دهد و این امر، بدبینانه بودن سناریو A2 را آشکارتر می‌کند. مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی برای مدل‌های مورد تحقیق و سناریوهای A2 و B1 در شکل 3 نشان داده شد. دمای کمینه و بیشینه و تبخیر - تعرق مرجع برای مدل‌های AOGCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و بارش نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. در بین مدل‌ها، مدل ECHAM5OM و MIROC3.2 برای دمای کمینه و بیشینه بیش‌ترین افزایش و مدل



شکل 2- مقادیر متوسط دمای کمینه، دمای بیشینه، تبخیر و تعرق روزانه در سال (سمت پایین) و متوسط بارش روزانه در سال (سمت بالا) برای دوسناریو انتشار A2 و B1 از دوره آتی (2080-2099) و دوره پایه (baseline)



شکل 3- مقادیر متوسط روزانه دمای کمینه، بیشینه و تبخیر و تعرق مرجع در طی دوره آتی برای مدل‌های AOGCM و سناریوهای A2 و B1

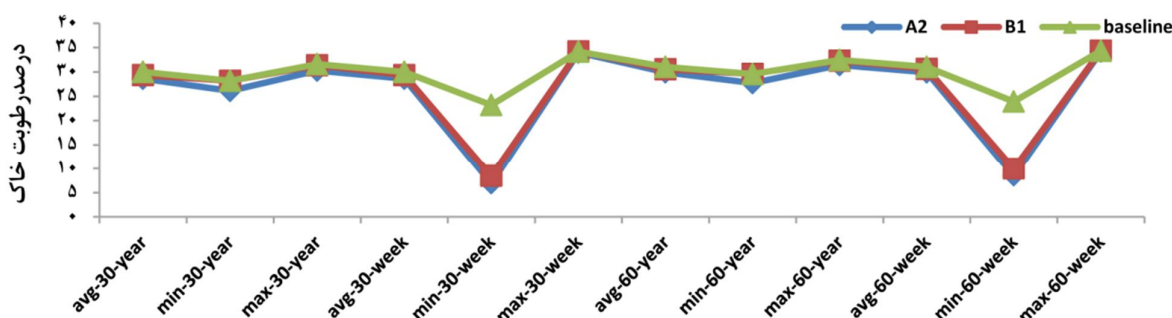


شکل 4- مقادیر متوسط روزانه بارش در طی دوره آتی برای مدل‌های AOGCM و سناریوهای A2 و B

### اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک

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 سی و سه هفته در طی رشد گندم در طی 20 سال دوره پایه و 20 سال دوره آتی 2099-2080 در شکل 5 بیان شده است. این شکل مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین روزانه درصد رطوبت موجود در خاک هفتگی (week) و سالانه (year) در عمق 30 و 60 سانتی‌متر را برای گندم مزرعه فاروب دشت نیشابور در دوره پایه و دوره‌های آتی به ترتیب برای سی و سه هفته رشد گندم مشخص می‌سازد. تغییرات رطوبت در عمق 30 سانتی‌متر نشان داد که درصد رطوبت موجود در خاک در دوره‌های آتی 2080-2099 نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو کاهش

می‌یابد. وینترو همکاران نیز در تحقیق خود به کاهش رطوبت در آینده اشاره کردند (Winter et al., 2015). با این وجود، سناریو A2 مقادیر کمتری از رطوبت را نسبت به سناریو B1 برای ده مدل AOGCM نشان می‌دهد. تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت خاک در عمق 30 سانتی‌متری برای سناریو A2 نسبت به B1 و دوره پایه بیش‌تر است و این عدم یکنواختی توزیع رطوبت در طول هفته‌های پس از رشد گیاه را نشان می‌دهد. برای عمق 60 سانتی‌متری خاک نیز سناریو A2 و دوره پایه تفاوت بیش‌تر رطوبت نسبت به سناریو B1 را برای دوره آتی خواهد داشت. از نظر مقایسه میانگین رطوبت، در عمق 60 سانتی‌متری نسبت به عمق 30 سانتی‌متری خاک، مقادیر میانگین رطوبت خاک بیش‌تر می‌باشد.



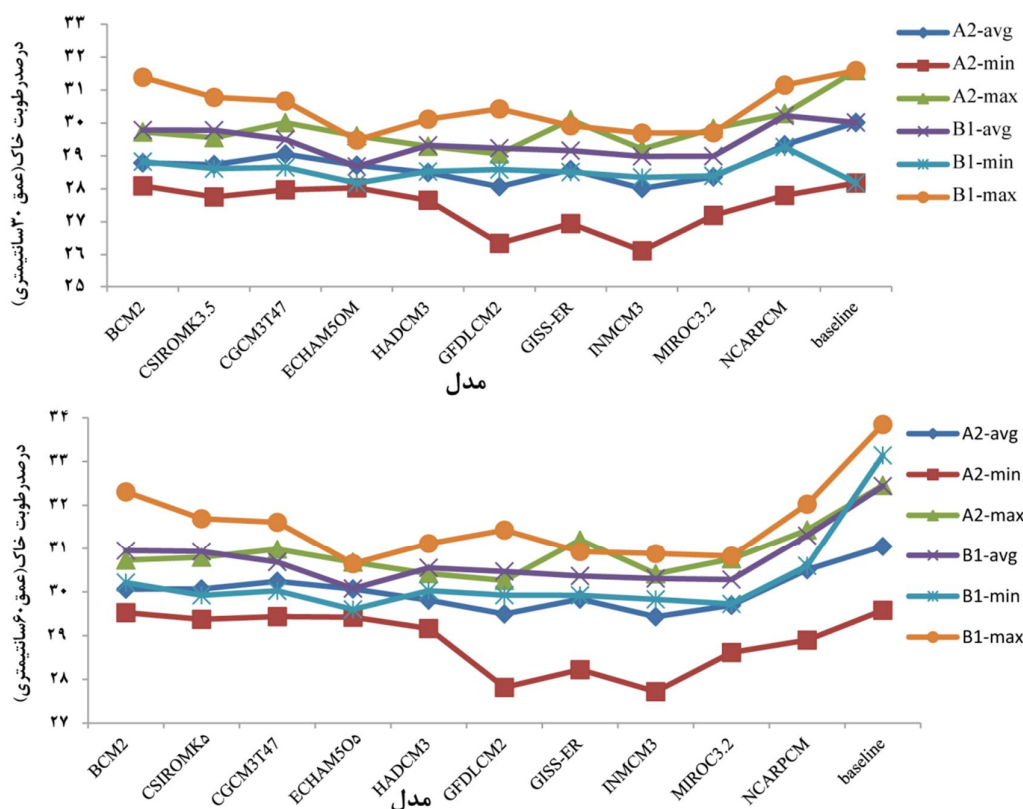
شکل 5- مقادیر رطوبت متوسط هفتگی و سالانه عمق 30 و 60 سانتی‌متری خاک در دوره پایه و آتی

رطوبت موجود در عمق 30 سانتی‌متر خاک مزرعه گندم فاروب در طی دوره رشد گیاه مشخص شد (شکل 7). تقریباً به‌همان صورت‌که میانگین درصد رطوبت موجود در خاک در شکل 6 نشان داد بر روی نمودار در طی دوران رشد محصولات اتفاق افتاد. با این تفاوت که بر روی نمودار مشخص شد در هر یک از هفته‌های پس از رشد، درصد رطوبت موجود در عمق 30 سانتی‌متر خاک در دوره‌های آتی و دوره پایه چگونه تغییر می‌نماید. همچنین از روی نمودار رطوبت عمق 30 و 60 سانتی‌متر در طی رشد گیاه می‌توان متوجه شد که در چه هفته‌هایی گیاه از کم‌ترین رطوبت برخوردار بوده است. هفته‌های 5 و 18 و 29 مزرعه گندم فاروب هفته‌های هشدار دهنده برای هر دو سناریو A2 و B1 می‌باشد. همچنین مدل‌های GFDLCM2، INMCM3، MIROC3.2 و GISS-ER برای هر دو سناریو A2 و B1 وضعیت رطوبت بسیار نامساعدی را برای گیاه برآورد می‌کنند. بنابراین در هفته‌های آخر رشد گندم مزرعه فاروب، سناریوهای انتشار برای دوره 2080-2099 نسبت به دوره پایه درصد رطوبت کمتری در خاک را برآورد می‌کنند.

پارامترهای آماری متوسط رطوبت سالانه اعماق 30 و 60 سانتی-متری خاک در شکل 6 نشان داده شده است. مقادیر آماری حداقل، حداکثر و میانگین به این معنی است که ابتدا متوسط 33 هفته طی رشد گندم برای هر سال محاسبه شده و سپس مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین این مقادیر متوسط 19 ساله بدست آمده است. با توجه به مقادیر آماری متوسط رطوبت برای دو سناریو A2 و B1 مشخص می‌شود مقادیر رطوبت اولاً برای سناریو A2 نسبت به B1 کم‌تر می‌باشد و ثانیاً در عمق 60 سانتی‌متر نسبت به 30 سانتی‌متر مقادیر رطوبت بیش‌تر می‌باشد. وجود حداقل متوسط 0/263 و 0/261 و 0/269 برای سه مدل در عمق 30 سانتی‌متری و 0/277 و 0/278 برای عمق 60 سانتی‌متری برای سناریو A2 حاکی از شرایط کم رطوبتی در مزرعه دارد.

### اثر تغییر اقلیم بر تغییرات هفتگی رطوبت

تعیین رطوبت خاک در مراحل مختلف رشد گیاه و مقایسه رطوبت خاک دوران رشد و تعیین هفته‌های بحرانی از نظر تنش می‌تواند در برنامه‌ریزی آبیاری بسیار مفید واقع شود. بدین منظور، درصد تغییرات



شکل 6- مقادیر آماری متوسط داده‌های رطوبت سالیانه دوره پایه و آبی برای سناریوهای A2 و B1

سانتی‌متری مشخص می‌کند. در این شکل، دامنه تغییرات یا عدم قطعیت سناریو A2 نسبت به B1 بیش‌تر است و همچنین سناریو A2 رطوبت را نسبت به میانگین دوره پایه و همچنین سناریو B1 کم‌تر برآورد می‌کند. این روند برای عمق 60 سانتی‌متری نیز مشابه عمق 30 سانتی‌متری خاک مشاهده می‌شود.

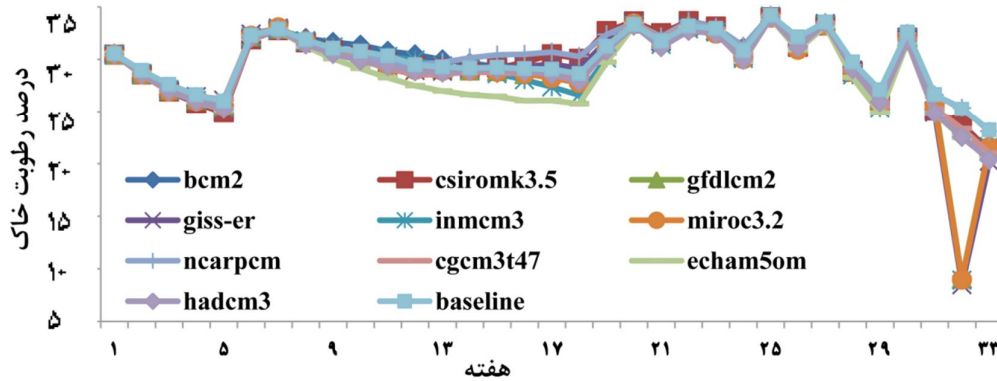
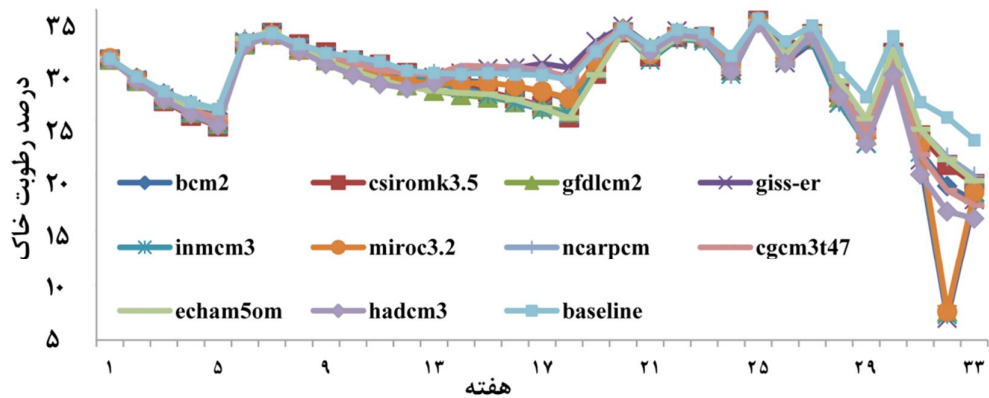
برای نشان دادن دامنه تغییرات سناریوهای انتشار A2 و B1 در تخمین رطوبت هفتگی اعماق 30 و 60 سانتی‌متری از ده مدل AOGCM در طی سال‌های 2080-2099 استفاده شد (شکل 10). در این شکل، دامنه تغییرات سناریو A2 نسبت به سناریو B1 در هر دو عمق 30 و 60 سانتی‌متر بیش‌تر است. همچنین می‌توان پی‌برد، دامنه تغییرات یا عدم قطعیت رطوبت در عمق 30 سانتی‌متر نسبت به 60 سانتی‌متر بیش‌تر است.

همچنین از دو شکل 9 و 10 مشخص است تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت در هر دو عمق 30 و 60 سانتی‌متری برای داده‌های رطوبت هفتگی حدود 1/25 درصد و برای داده سالیانه حدود 1/2 درصد است. این امر بهتر بودن استفاده از داده رطوبت هفتگی را برای نشان دادن تغییرات دو سناریو و یا دو عمق بارزتر می‌کند.

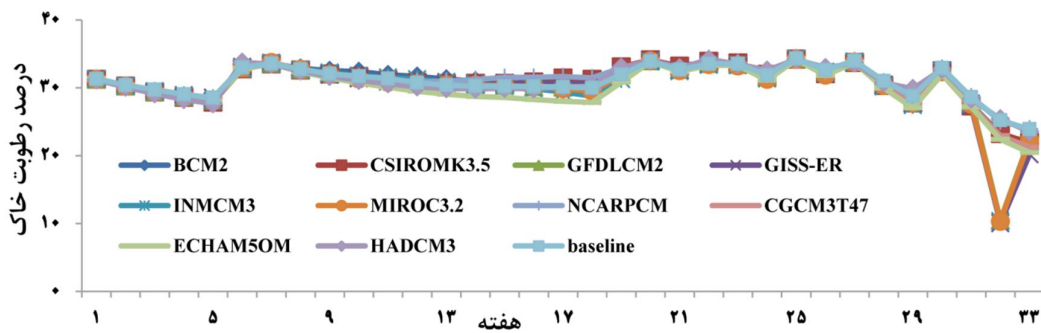
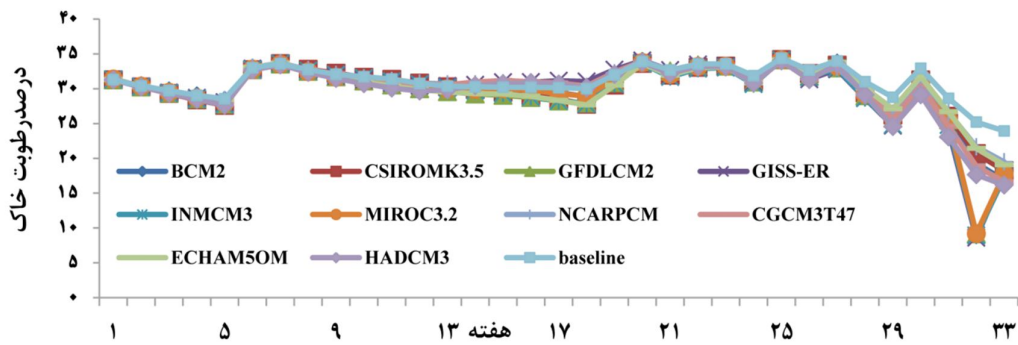
در شکل 8 رطوبت خاک در طی هفته‌های رشد گندم مزرعه فاروب برای عمق 60 سانتی‌متری خاک نشان داده شده است. رطوبت خاک در عمق 60 سانتی‌متری نسبت به 30 سانتی‌متری در دوره آبی 2080-2099 در وضعیت مساعدتری قرار خواهد داشت. برای هر دو سناریو A2 و B1، هفته 5 و 29 برای همه مدل‌ها و هفته 32 برای همان چهار مدل عمق 30 سانتی‌متر (GISS-ER, GFDL2.1, INMCM3 و MIROC3.2) هفته‌هایی هستند که به گیاه تنش وارد می‌شود. همچنین اشکال 7 و 8 مشخص می‌کنند مقادیر رطوبت برای سناریو A2 نسبت به B1 کم‌تر و سناریو A2 وضعیت بدبینانه‌تری را برای رطوبت موجود در خاک برای آینده برآورد می‌کند.

#### عدم قطعیت سناریوهای انتشار

برای نشان دادن باند عدم قطعیت سناریوهای انتشار A2 و B1 در تخمین رطوبت سالانه خاک اعماق 30 و 60 سانتی‌متری از نمودارهای جعبه‌ای استفاده شده است. هر یک از این سناریوهای A2 و B1 شامل ده مدل AOGCM می‌باشند. شکل 9 متوسط رطوبت سالانه سی و سه هفته رشد گندم را برای اعماق 30 و 60

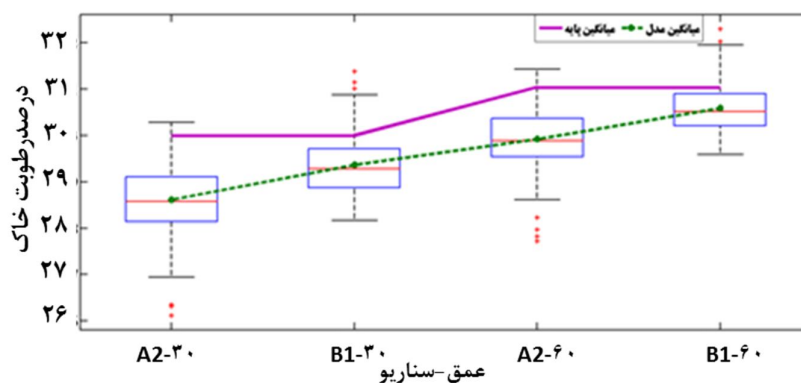


شکل 7- تغییرات رطوبت عمق 30 سانتی‌متر خاک در طی دوره رشد برای سناریوهای A2 (بالایی) و B1 (پایینی)

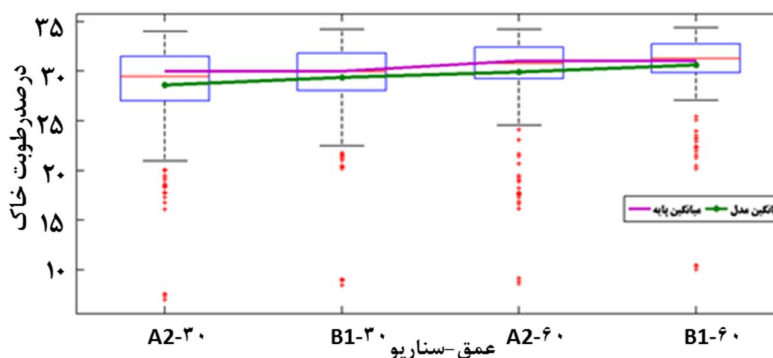


شکل 8- تغییرات رطوبت عمق 60 سانتی‌متر خاک در طی دوره رشد برای سناریوهای A2 (بالایی) و B1 (پایینی)





شکل 9- دامنه تغییرات مقادیر متوسط سالانه رطوبت عمق 30 و 60 سانتی متری خاک برای سناریوهای A2 و B1 در طی دوره رشد محصول برای دوره پایه و آبی



شکل 10- دامنه تغییرات مقادیر متوسط هفتگی رطوبت عمق 30 و 60 سانتی متری خاک برای سناریوهای A2 و B1 در طی دوره رشد محصول برای دوره پایه و آبی

## نتیجه گیری

میانگین رطوبت خاک در عمق 30 سانتی متری خاک می باشد. در این تحقیق مشخص شد، هفته های 5 و 18 و 29 مزرعه گندم فاروب هفته های هشدار دهنده (بحرانی از نظر تنش خشکی) برای هر دو سناریو A2 و B1 می باشد. همچنین بعضی مدل های GCM در هفته 32 برای هر دو سناریو A2 و B1 وضعیت رطوبت بسیار نامساعدی را برای گیاه برآورد می کنند. بنابراین در هفته های آخر رشد گندم مزرعه فاروب، سناریوهای انتشار برای دوره 2080-2099 نسبت به دوره پایه، درصد رطوبت کمتری در خاک را برآورد می کنند. همچنین مقادیر رطوبت برای سناریو A2 نسبت به B1 کم تر است و وضعیت بدبینانه تری را پیش بینی می کند.

نتایج قطعیت متوسط رطوبت سالانه سی و سه هفته رشد گندم و قطعیت متوسط هفتگی بیست سال دوره آبی نشان داد دامنه تغییرات سناریو A2 نسبت به سناریو B1 در هر دو عمق 30 و 60 سانتی متر بیش تر و قطعیت رطوبت در عمق 60 سانتی متر نسبت به 30 سانتی متر بیش تر است.

در این تحقیق سعی شد تغییرات رطوبت در هفته و در سال بررسی شود. میانگین رطوبت خاک در هر هفته از سی و سه هفته در طی رشد گندم در طی دوره پایه و دوره آبی تعیین شد. تغییرات رطوبت در عمق 30 سانتی متر نشان داد که درصد رطوبت موجود در خاک در دوره های آبی 2080-2099 نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو کاهش می یابد. با این وجود سناریو A2 مقادیر کمتری از رطوبت را نسبت به سناریو B1 برای ده مدل AOGCM نشان داد. پایین بودن مقدار رطوبت سناریو A2 به دلیل دما و تبخیر - تعرق مرجع بالا در این سناریو نسبت به سناریو B1 می باشد. همچنین تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت خاک در عمق 30 و 60 سانتی متری برای سناریو A2 نسبت به B1 و دوره پایه بیش تر است و این عدم یکنواختی توزیع رطوبت در طول هفته های پس از رشد گیاه را برای سناریو A2 نشان می دهد. از نظر مقایسه میانگین رطوبت، در عمق 60 سانتی متری خاک، مقادیر میانگین رطوبت خاک بیش تر از

## سپاس‌گزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه 1394/د/26677 مورخ 1394/12/24 و با اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- آشفته، پ.س. 1391. تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات با استفاده از مدل HadCM3 در شبکه آبیاری آیدوغموش، مجله آبیاری و زهکشی ایران. 3. 6: 142-151.
- خوشحال دستجردی، ج.، مصطفوی دارانی، س.م. و قطره سامانی، م. 1389. اثرات تغییر اقلیم بر میزان رطوبت خاک در کشت گندم دیم (مطالعه موردی: داران-استان اصفهان). اولین کنفرانس بین المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا. مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی. دانشگاه شهید باهنر کرمان. قاسمی، ا.، فتاحی، ا. و بابایی، ا.م. 1392. تاثیر تغییر اقلیم بر رواناب با رویکرد عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، 4. 13: 37-53.
- عباس‌نیا، م.، طاووسی، ت.، خسروی، م. و توروب، ح. 1395. تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر روزانه بر روی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله اطلاعات جغرافیایی. 25. 97: 29-43.
- کمال، ع.ر. و مساح بوانی، ع.ر. 1391. مقایسه عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم AOGCM-TR و AOGCM-AR4 در تاثیر بر رواناب حوضه در دوره آبی، مجله فیزیک زمین و فضا. 38. 3: 175-188.
- هوشمند، د.آ. و خردادی، م.ج. 1393. بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار در برآورد پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، 11: 77-92.
- یعقوبی، م. و مساح بوانی، ع.ر. 1394. مقایسه و ارزیابی منابع مختلف عدم قطعیت در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های نیمه-خشک (مطالعه موردی: حوضه رودخانه اعظم هرات - یزد)، مجله تحقیقات منابع آب ایران. 11. 3: 113-130.
- Bae, D.H., Jung, I.I.-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.
- Clark, M.P., Slater, A.G., Rupp, D.E., Woods, R.A., Vrugt, J.A., Gupta, H.V., Wagener, T., Hay, L.E. 2008. Framework for Understanding Structural Errors
- (FUSE): a modular framework to diagnose differences between hydrological models. *Water Resources Research*. 44: 1-14.
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S., and Tebaldi, C. 2007. Review Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology* 27:1547-1578.
- 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.
- Im, E.S., Jung, I.W., Chang, H., Bae, D.H. and Kwon, W.T. 2010. Hydro climatological response to dynamically downscaled climate change simulations for Korean basins. *Climatic Change* 100.3:485-508.
- 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.
- Semenov, M.A. 2008. Extreme impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Asp Application Biological*. 88:37-38.
- 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.
- Teng, J., Vaze, J., Chiew, F.H.S., Wang, B. and Perraud, J.M. 2012. Estimating the Relative Uncertainties Sourced from GCMs and Hydrological Models in Modeling Climate Change Impact on Runoff. *Journal of Hydrometeorology*. 13. 1:122-139.
- Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., Van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P. and Van Diepen, C.A. 1997. Theory of SWAP version 2.0: simulation of water flow and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Centre Wageningen, The Netherlands.
- Winter, J.M., Yeh, X. and Eltahir, E.A.B. 2015. Uncertainty in modeled and observed climate change impacts on American Midwest hydrology. *Water Resource Research*. 51.5:3635-3646.
- Xu, C.Y. and Singh, V.P. 2004. Review on regional water resources assessment under stationary and changing climate, *Water Resources Management*. 18. 6:591-612.

## The Investigation of Uncertainty Emissions Scenarios of Climate Change in Soil Moisture Estimation During the Growing Season of Wheat

M. Yaghoobzadeh<sup>1\*</sup>, M. Amirabadizadeh<sup>2</sup>, Y. Ramezani<sup>3</sup>, M. Pourreza-Bilondi<sup>4</sup>

Recived: Jan.30, 2017

Accepted: Mar.02, 2017

### Abstract:

Water resources management and planning globally have become a challenging task due to climate change uncertainties. So in the research, the uncertainty of emissions scenarios were investigated in soil moisture estimation during the growing season for wheat in Faroub field of Neyshabour by SWAP model. The Climate data were estimated by ten of AOGCM model and two of emissions scenarios A2 and B1 for period of future. The Temperature and precipitation data were downscaled by LARS\_WG model and was used in SWAP model. The data of soil moisture in depths of 30cm and 60 cm during the growing season of wheat were calculated and compared for periods of baseline and future. The result showed that in the last weeks of growth wheat of Faroub field, the soil moisture for future period was lower than baseline and plant will encounter with the most aridity tension. Also, result of uncertainty bands of emissions scenarios showed that scenario of A2 than B1 have less certainty in estimation of soil moisture for future period during growth weeks.

**Keywords:** Climate change, Emissions scenarios, Soil moisture, SWAP model, Uncertainty

---

1&2&3&4-Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, University of Birjand  
(\*-Corresponding Author:Email: M.Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir)