

تحلیل عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی در پیش‌بینی دمای متوسط ماهانه با

استفاده از ابرمکعب لاتین (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد میناب)

فاطمه بینا^۱، ام‌البین بذرآفشان^{۲*}، ارشک حلی‌ساز^۳

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

ارزیابی اثر تغییر اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی و کاهش اثرات آن امری ضروری است. در مطالعات تغییر اقلیم، لحاظ نکردن عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی اثرات، سبب کاهش قطعیت اطمینان به خروجی‌های نهایی سیستم خواهد شد. این عدم قطعیت ناشی از کارکرد مدل‌های گردش عمومی، سناریوهای مختلف انتشار و فرآیند ریزمقیاس‌نمایی است. در این پژوهش، عدم قطعیت تغییرات دمای متوسط ماهانه حوزه آبخیز سد میناب در دو دوره زمانی (۲۰۴۵-۲۰۱۶ و ۲۰۷۵-۲۰۴۶) و بر اساس خروجی پنج مدل اقلیمی (*RCP4.5*, *RCP2.6*, *MPI-ESM-MR* و *CSIRO-Mk3-6*, *CCSM4*, *BNU-ESM*, *HadGEM2-ES*) و *RCP8.5* مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از روش *Change Factor* متغیر دمای متوسط برای دوره‌های آینده، مقیاس‌کاهی گردید. جهت بررسی عدم قطعیت مدل‌ها در سه سناریو و دوره مورد نظر، از روش ابر مکعب لاتین که یک روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی است، استفاده گردید. در بررسی عدم قطعیت دوره‌ها، در تمامی مدل‌ها و سناریوها، عدم قطعیت دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۷۵) در برآورد دما بیشتر از دوره اول (۲۰۱۶-۲۰۴۵) است. بدین مفهوم که افزایش طول دوره نسبت به دوره مشاهداتی سبب افزایش خطا در پیش‌بینی مدل‌های تغییر اقلیم می‌گردد. در بررسی مدل‌ها نیز، کمترین عدم قطعیت مربوط به مدل *CSIRO-Mk3-6* در سناریوی *RCP2.6* و دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۵ و بیشترین عدم قطعیت مربوط به مدل *HadGEM2-ES* در سناریوی مذکور است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عدم قطعیت، مدل‌های تغییر اقلیم، ابر مکعب لاتین، حوزه‌ی آبخیز سد میناب

مقدمه

تغییر اقلیم نشان دهنده تغییرات غیر عادی در اقلیم درون هواکره زمین و پی آمدهای ناشی از آن در کره زمین است. مدل‌های عمومی اقلیمی یکی از بهترین روش‌ها برای برآورد این تأثیرات به شمار می‌روند. در مطالعات تغییر اقلیم، لحاظ نکردن عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی اثرات، سبب کاهش قطعیت اطمینان به خروجی‌های نهایی سیستم خواهد شد. از آنجایی که نخستین تأثیرات تغییر اقلیم روی عناصر اقلیم مانند دما اعمال می‌شود و تغییر در آن سبب بر هم زدن نظم بسیاری از فرایندهای آب‌شناختی می‌شود، بررسی دقیق تغییرات آینده دما و روش‌های شبیه‌سازی آنها امری ضروری محسوب می‌شود (Mani & Tsai, 2016). این عدم قطعیت ناشی از کارکرد مدل‌های گردش عمومی، سناریوهای مختلف انتشار و فرآیند ریزمقیاس نمایی است (Eghdamirad et al., 2016). بنابراین ارزیابی و میزان اطمینان از نتایج واسنجی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد و در حقیقت عدم قطعیت گامی بسیار مهم‌تر از واسنجی پارامترهای مدل است (Vrugt et al., 2003). بنابر مطالعات بیون (Beven, 2000)، نقش عدم قطعیت به عنوان بخشی جدانشدنی در هر فرآیند مدل‌سازی است و در همه پیش‌بینی‌ها باید حفظ شود. از این رو، مطالعات تحلیل عدم قطعیت خروجی مدل‌های گردش عمومی با هدف بررسی عدم قطعیت این مدل‌ها و روش‌های مقیاس‌کاهی^۱ انجام می‌شود. مطالعات زیادی در ارتباط با بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی ارائه شده است که چندی از این مطالعات در داخل کشور در ذیل ارائه شده است. Hamraz و همکاران (۲۰۱۶)، به تحلیل عدم قطعیت مدل مادفلو با استفاده از تکنیک^۲ GLUE پرداختند. نتایج نشان داد، حدود ۸۶ درصد مشاهدات در محدوده‌های اطمینان ۹۵ درصد قرار می‌گیرد، که نشان دهنده کارایی مناسب روش فوق است. Sani Khani و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی تأثیر تغییر اقلیم را بر روی رواناب حوضه‌ی

آجی‌چای در آذربایجان شرقی با استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) و ریزمقیاس‌نمایی آن توسط مدل LARS-WG پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از کاهش قابل توجه مقدار رواناب رودخانه‌ی آجی‌چای در آینده بود. Roshan و همکاران (۲۰۱۲)، به منظور یافتن بهترین مدل گردش عمومی جو جهت انطباق با تغییرات دما و بارش در ایران از ۲۰ مدل GCM و سناریوی واحدی به نام P50 استفاده کردند. از جمله نتایج مهم پژوهش مذکور این است که، هیچ کدام از مدل‌های گردش عمومی جو، به خوبی نمی‌توانند تغییرات دما و بارش کشور را شبیه‌سازی کند. آن‌ها برای شبیه‌سازی بارش ترکیبی از دو مدل GISS-EH و CNRM-CM3 را برای بارش و مدل INMCM-30 را برای شبیه‌سازی دما پیشنهاد کردند.

از آنجا که استان ساحلی هرمزگان هم چون دیگر مناطق کشورمان تحت تأثیر تغییرات اقلیمی حاصل از گرمایش جهانی می‌باشد و علاوه بر افزایش دما شاهد افزایش بالا رفتن سطح آب دریا، فرسایش کناره‌های ساحلی و شور شدن آب‌های منطقه می‌باشد (Rahimzadeh et al, 2009) بنابراین بررسی پارامترهای اقلیمی و عدم قطعیت آن می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آبی به منظور سازگاری و مقابله با آن مورد استفاده قرارگیرد. بنابراین هدف از این پژوهش، برآورد تغییرات دما و تحلیل عدم قطعیت ناشی از آن بوسیله پنج مدل گردش عمومی براساس سه سناریو در دو دوره زمانی در آینده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد استقلال میناب با مساحتی معادل ۱۰۵۱۹۰۰ هکتار از بزرگترین و مهمترین حوزه‌های آبخیز سواحل دریای عمان و خلیج فارس در استان هرمزگان است. حدود ۶۰ درصد از وسعت آن در استان کرمان و ۴۰ درصد در استان هرمزگان قرار دارد (Mehni & Bazrafshan, 2017) این حوزه بالادست سد

¹ Downscaling

تحقیق حاضر از سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 استفاده گردیده است.

مقیاس کاهی آماری

یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های GCM تفکیک مکانی کم آنهاست که به لحاظ مکانی و زمانی با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. بنابراین از روش‌های مقیاس‌کاهی برای رفع این محدودیت استفاده می‌شود (Kamal, 2012). روش دلنا به طور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی مورد استفاده قرار گرفته است (Guilbert, 2016). قبل از انجام پردازش و ریزمقیاس‌نمایی به روش عامل تغییر برای دوره‌های آینده می‌بایست از توانایی مدل جهت شبیه‌سازی آینده اطمینان حاصل نمود. بدین ترتیب ابتدا ریزمقیاس‌نمایی روی داده‌های تاریخی طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۰۵ انجام می‌شود. جهت اصلاح و ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما در مدل AOGCM از روش جمعی^۴ (اختلاف) رابطه (۱) استفاده می‌شود. ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم برای دما تولید می‌شود. لذا برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر «اختلاف» برای دما رابطه (۱) برای متوسط دراز مدت هر ماه در دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۰۶ و دوره شبیه‌سازی شده پایه با استفاده از همان مدل (۲۰۰۵-۱۹۸۶) برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود (Diaz-Nieto and Wilby, 2005; Jones & Hulme, 1996).

$$\Delta T_i = \bar{T}_{AOGCM,Fut,i} - \bar{T}_{AOGCM,Base,i} \quad (1)$$

$$T = T_{Obs} + \Delta T \quad (2)$$

در رابطه (۱)، ΔT_i سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما برای متوسط دراز مدت ۳۰ ساله (۲۰۴۵-۲۰۱۶ و ۲۰۷۵-۲۰۴۶) برای هر ماه، $\bar{T}_{AOGCM,Fut,i}$ متوسط دمای ۳۰ ساله شبیه‌سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره آتی برای هر ماه و $\bar{T}_{AOGCM,Base,i}$

استقلال بوده که آب آن ۷۰ کیلومتر آن سوی میناب، صرف شرب و صنعت در شهر بندرعباس می‌گردد. براساس گزارش آب منطقه‌ای هرمزگان، بالغ بر پنج سال است، سد فوق سرریز نشده و در حال حاضر ذخیره آن ده درصد حجم مخزن است. در این مطالعه داده‌های دمای متوسط مربوط به ایستگاه سینوپتیک میناب از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری تحت پنج مدل HadGEM2-ES, CSIRO-MK3.6.0, BNU-ESM, MPI-ESM-MR, CCSM4 که مربوط به آخرین گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم می‌باشد استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های ماهانه ایستگاه محلی میناب و داده‌های بزرگ مقیاس مربوط پنج مدل مذکور می‌باشد. هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود Assessment Report AR5^۱ از سناریوهای RCP^۲ به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6, RCP4.5, RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. شصت و یک مدل اقلیمی به منظور شبیه‌سازی دوره‌های زمانی پایه و آینده.

در گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم به‌کار رفته است که از بین این مدل‌ها، ۵ مدل برای پژوهش حاضر انتخاب می‌گردد. اطلاعات کلی هر یک از ۵ مدل به همراه مؤسسات پژوهشی آنها در جدول (۱) خلاصه شده است. بر خلاف گزارش ویژه سناریوهای انتشار استفاده شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم (SRES^۳)، گزارش ارزیابی پنجم از نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌کند که در جدول (۱) اطلاعات مربوط به سناریوهای استفاده شده مربوط به هر یک از مدل‌های مذکور آورده شده است. این سناریوها شامل چهار سناریو با نام‌های RCP2.6, RCP4.5, RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که در

^۱Special Report on Emission Scenarios

^۴ Additive

^۲Fifth

^۳Representative Concentration Pathway

در بررسی موضوعات اقلیمی، مدل‌های گزارش پنجم و داده‌های مشاهداتی با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب تبیین (R^2)، نش-ساتکلیف (NS)، درصد ضریب اریبی (PBIAS) و جذر نسبت استاندارد شد جذر مربعات خطا مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند (رابطه ۳ تا ۶). همچنین محدوده مناسب هر یک از ضرایب ارزیابی فوق در جدول (۲) ارائه شده است.

متوسط دمای شبیه‌سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره مشاهداتی برای هر ماه است، T سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی دما برای دوره آتی، T_{Obs} سری زمانی دمای مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵)، و ΔT سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده است.

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs}) * (y_{model,t} - \bar{y}_{model})}{\left\{ \sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})^2 \right\}^{0.5} * \left[\sum_{t=1}^T (y_{model,t} - \bar{y}_{model})^2 \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad (۳)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - y_{model,t})^2}{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (۴)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - y_{model,t})}{\sum_{t=1}^T x_{obs,t}} * 100 \quad (۵)$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{model})^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2}} \quad (۶)$$

مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در کل دوره زمانی ارزیابی (دوره پایه) می‌باشد.

که در آنها $X_{obs,t}$ مقادیر داده‌های مشاهداتی و $Y_{model,t}$ مقادیر داده‌های شبیه‌سازی مدل‌های گزارش پنجم در واحد t و \bar{X}_{obs} و \bar{Y}_{model} نیز به ترتیب میانگین مقادیر داده‌های

جدول شماره ۱- مدل‌ها و موسسات آماده‌سازی پروژه گزارش پنجم (مورد استفاده در این پژوهش)

مدل	موسسات پژوهشی تدوین کننده مدل‌ها
HadGEM2-ES	MOHC, Met Office Hadley Center, UK
CSIRO-MK3.6.0	CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
CCSM4	NCAR, National Center for Atmospheric Research, USA
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology, Germany
BNU-ESM	Beijing Normal University Earth System Model, Canada

جدول شماره ۲- ضرایب ارزیابی مدل و حدود تشخیص ضرایب (Moriasi و همکاران، ۲۰۰۷)

ضرایب ارزیابی (Evaluation Criteria)				
ارزیابی (Evaluation)	ناش-ساتکلیف (NS)	درصد اریبی (PBIAS)	ضریب تبیین (R^2)	جزر نسبت استاندارد (RSR)
خیلی خوب (Very Good)	$1 < NS \leq 75$	$PBIAS \leq \pm 10$	$0.1866 \leq R^2 < 1$	$0.5 \leq RSR \leq 1$
خوب (Good)	$0.75 < NS \leq 65$	$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$	$0.733 \leq R^2 < 0.1866$	$0.5 \leq RSR \leq 0.6$
قابل قبول (Satisfactory)	$0.5 < NS \leq 65$	$\pm 25 \leq PBIAS \leq \pm 15$	$0.6 \leq R^2 < 0.733$	$0.7 \leq RSR \leq 0.6$
عدم قبول (Unsatisfactory)	$NS < 0.5$	$PBIAS \geq \pm 25$	$R^2 < 0.6$	$PSR < 0.7$

عدم قطعیت مدل‌ها با روش ابر مکعب لاتین

در مطالعات تغییر اقلیم بر حسب پیش‌بینی‌ها و نتایج مختلف مدل‌ها-سناریوها، لازم است ابتدا عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی تغییر اقلیم در نظر گرفته شده تا نتایج قابل اطمینان-تری حاصل شود (Semenov & Stratonovitch, 2010). همواره ممکن است در شبیه‌سازی همه عوامل، یک متغیر در مدل وارد نشود، بنابراین تحلیل با خطا یا عدم قطعیت همراه است. شناخت مقدار خطا و یا عدم قطعیت هر مدل در قضاوت و اطمینان به نتایج ضروری است (Wilby, 2003). ارزیابی آثار تغییر اقلیم شامل سه جنبه کلیدی از عدم قطعیت است. نخست؛ عدم قطعیت مدل گردش عمومی. دوم؛ عدم قطعیت مدل اقلیمی منطقه‌ای، شامل عدم قطعیت در روش‌های کوچک مقیاس نمایی آماری یا دینامیکی. سوم؛ عدم قطعیت‌های پارامتری و ساختاری در مدل‌های مختلفی که برای ارزیابی آثار استفاده می‌شود (Efron & Tibshirani, 1993). ابر مکعب لاتین^۱ (LHS)، یک روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی^۲ شده است که در آن نمونه، مورد نظر به تعداد n از متغیرهای چندگانه به نحوی انتخاب می‌شوند که نمونه مرتبط با هر یک از متغیرها، از حداکثر طبقه‌بندی برخوردار

باشد. در واقع حداکثر طبقه‌بندی^۳ زمانی اتفاق می‌افتد که تعداد لایه‌ها (طبقه‌ها) برابر با تعداد نمونه‌ها (n) در نظر گرفته شده و احتمال قرار گرفتن نمونه درون لایه یا طبق برابر با معکوس تعداد نمونه کل ($1/n$) باشد. برای درک بیشتر این روش، K متغیر $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ را در نظر بگیرید. ابتدا دامنه هر متغیر به n فاصله هم احتمال تقسیم شده و برای هر متغیر، یک نمونه تصادفی از هر فاصله یا طبقه انتخاب می‌شود. سپس مقادیر بدست آمده برای هر متغیر با یکدیگر به صورت تصادفی یا بر اساس یک قاعده خاص ترکیب شده و تشکیل n نمونه k تایی می‌دهند که تمامی لایه‌ها را در برگیرند. بنابراین، این روش نمونه‌برداری در حالتی که تعداد متغیرها حتی از k هم بیشتر شود، به تعداد نمونه بیشتر نیازی ندارد. این روش تضمین می‌کند که دامنه مقادیر متغیرهای مورد نظر به روش حداکثر لایه‌بندی شده است.

برای استفاده از این روش، ابتدا باید توزیع‌های حاشیه‌ای x_1, x_2, \dots, x_k به n فاصله هم احتمال تقسیم شده، سپس از هر فاصله، نمونه‌ای به تصادف انتخاب شود. برای انجام این کار از قضیه تبدیل انتگرال احتمال استفاده می‌شود. در واقع ابتدا، فاصله $[0,1]$ را به n بازه به طول $1/n$ تقسیم کرده، سپس نمونه‌ای تصادفی از هر یک از بازه‌ها انتخاب می‌شود. در مرحله بعد، با

³Marginally Maximally Stratified

¹ Latin Hypercube Sampling

²Stratified Random Sampling

نتایج و بحث

پس از تولید داده‌های سناریوی مربوط به هر مدل، نتایج با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت که در ادامه خروجی مربوط به هر یک از سناریوها و مدل‌های مورد بررسی در دو دوره (۲۰۴۵-۲۰۱۶) و (۲۰۷۵-۲۰۴۶) به تفکیک ارائه شده است.

مقایسه دوره (۲۰۴۵-۲۰۱۶) و دوره پایه خروجی مدل BNU-ESM: همان‌طور که در شکل شماره ۱ آمده است در مدل BNU-ESM، شاهد افزایش دما در ماه ژانویه در سناریو RCP8.5 به میزان ۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد و همچنین کاهش دما به میزان ۰/۴۹ و ۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریو RCP2.6 و RCP4.5 می‌باشیم. در ماه فوریه، مارس و آوریل کاهش دما در هر سه سناریو دیده می‌شود. اما در ماه ژوئن، جولای، اگوست، اکتبر، نوامبر و دسامبر شاهد افزایش دما در هر سه سناریو هستیم. این میزان افزایش از ۰/۳۱ تا ۵/۹۴ درجه محتمل است.

مقایسه دوره (۲۰۷۵-۲۰۴۶) و دوره پایه خروجی مدل BNU-ESM: در این دوره شاهد کاهش دما در ماه ژانویه و فوریه در سناریو RCP2.6 به میزان ۰/۰۵ و ۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد و همچنین افزایش دما به ترتیب در سناریو RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشیم. در سایر ماه‌ها شاهد افزایش دما در تمام سناریوها از ۰/۴۸ تا ۵/۹ درجه هستیم.

عکس تبدیل، نمونه‌های اخذ شده به نمونه‌هایی از توزیع اصلی متغیرها برگردانده می‌شوند. الگوریتم زیر مراحل تعیین نمونه‌ها با روش ابر مکعب لاتین را نشان می‌دهد.

۱: $j=1$ در نظر گرفته شود.

۲: نمونه‌ای به صورت تصادفی $u[0,1]$ انتخاب و u_{ij} نام‌گذاری شود. $w_{ij} = \frac{(u_{ij} + (i-1))}{n}$ تعیین شود.

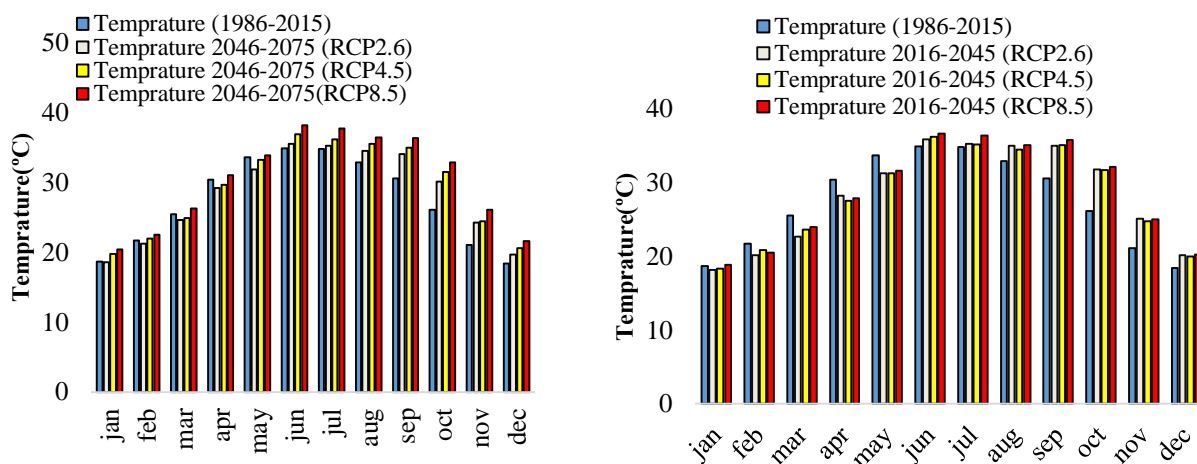
۳: i امین عضو نمونه برای متغیر j ام به صورت $x_{ij} = F_j^{-1}(w_{ij})$ حاصل می‌شود.

۴: $i=j+1$ قرار داده شود و الگوریتم به مرحله ۲ برگردد.

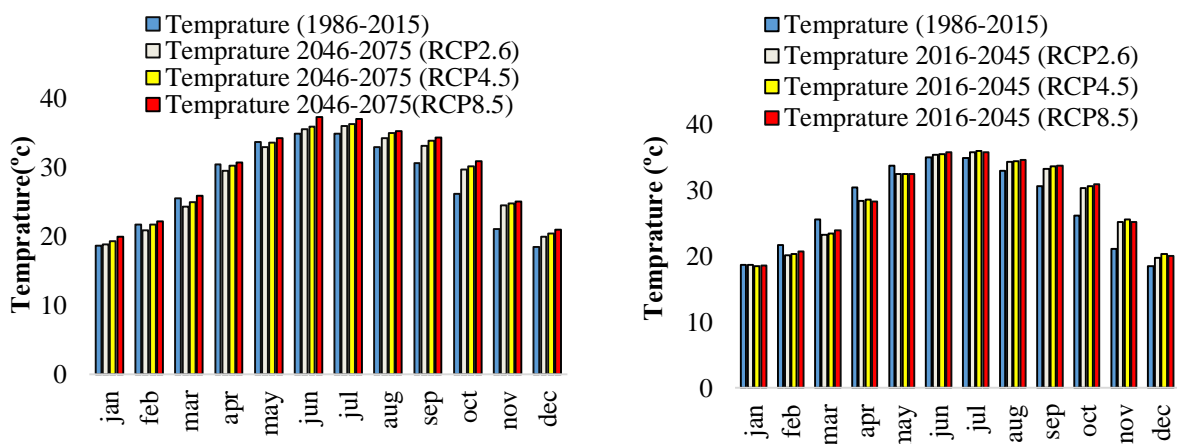
روش ابر مکعب لاتین نسبت به روش مونت‌کارلو به تعداد نمونه کمتری برای برآورد توزیع متغیر مورد مطالعه نیاز دارد و به ویژه در توزیع‌های نامتقارن، توزیع را دقیق‌تر برآورد می‌کند. این روش در مقایسه با روش نمونه‌برداری تصادفی ساده، انحراف معیار بیشتری را با تعداد نمونه یکسان پوشش می‌دهد که این نکته نشان دهنده این است که در این روش، با تعداد نمونه کمتری می‌توان تغییرپذیری بیشتری را نسبت به نمونه برداری تصادفی ساده نشان داد (Helton et al., 2003). از طرفی روش ابر مکعب لاتین بسیاری از روش‌های مطلوب روش‌های نمونه‌برداری طبقه‌بندی^۱ و تصادفی^۲ را دارا بوده و مانند آنها یک نمونه‌برداری احتمالی به حساب می‌آید. اجرای ابر مکعب لاتین در نرم‌افزار R با استفاده از بسته lhs بدست آمد.

⁸Random Sampling

⁷Stratified Sampling



شکل ۱- مقایسه میانگین ۳۰ ساله دمای ماهانه در دوره پایه و دوره آتی در مدل BNU-ESM



شکل ۲- مقایسه میانگین ۳۰ ساله دمای ماهانه در دوره پایه و دوره آتی در مدل CCSM4

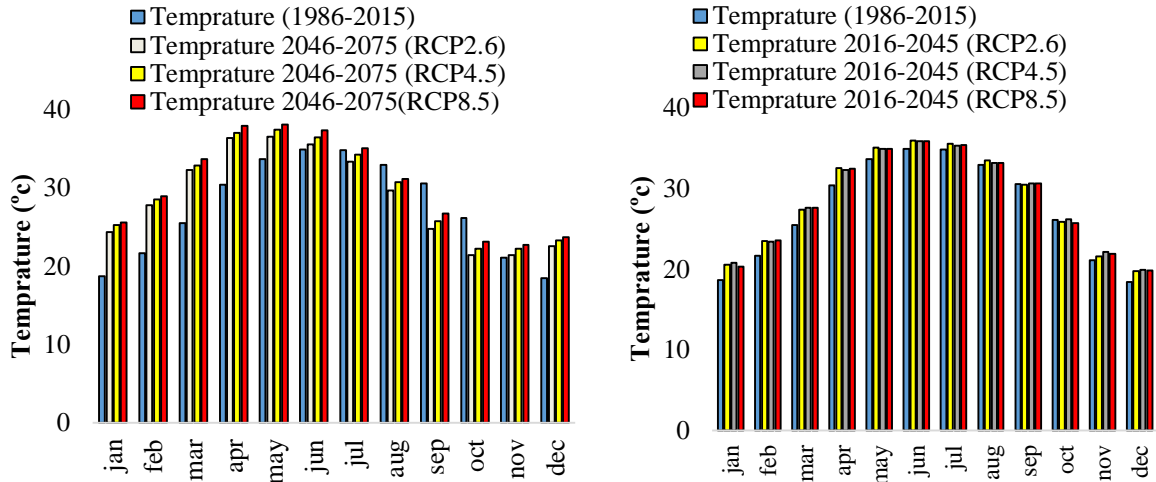
مقایسه دوره (۲۰۱۶-۲۰۴۵) و دوره پایه خروجی مدل CSIRO-Mk3-6 : در مدل CSIRO-Mk3-6. شاهد افزایش دما در ماه‌های ژانویه تا ژوئن و نوامبر و دسامبر و کاهش دما از جولای تا اکتبر هستیم (شکل ۳).

مقایسه دوره (۲۰۴۶-۲۰۷۵) و دوره پایه خروجی مدل CSIRO-Mk3-6 : تقریباً در تمامی ماه‌ها شاهد افزایش دما هستیم که این افزایش دما در فوریه بیشترین مقدار (۶/۸۶) و در ژوئن کمترین مقدار (۰/۱۹) است.

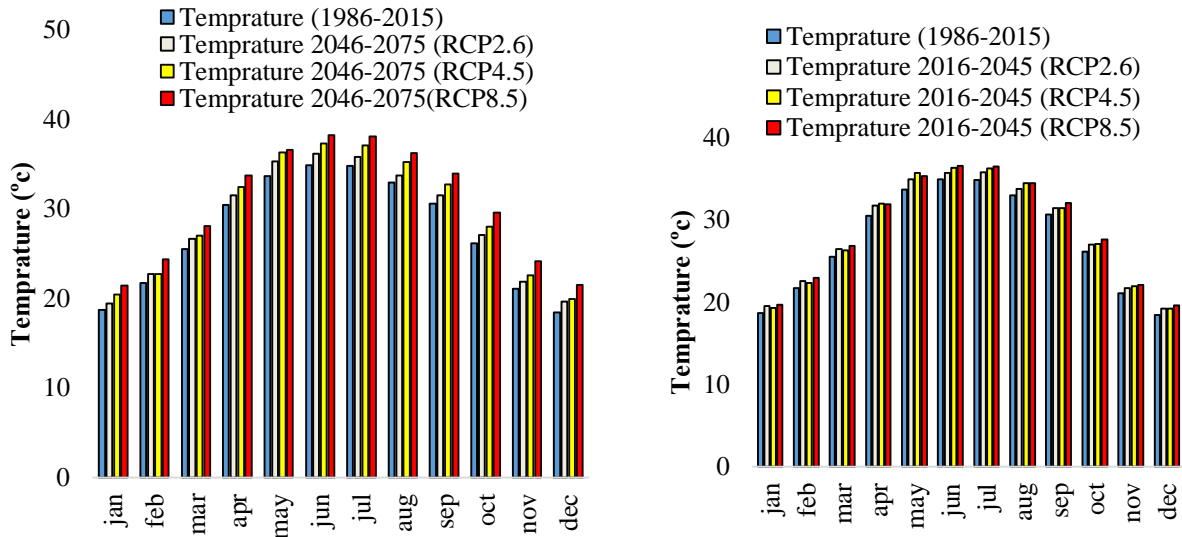
مقایسه دوره (۲۰۱۶-۲۰۴۵) و دوره (۲۰۴۶-۲۰۷۵) با دوره پایه خروجی مدل MPI-ESM-MR : این مدل افزایش دما را در تمامی ماه‌ها در دو دوره پیش‌بینی نموده است (شکل ۴).

مقایسه دوره (۲۰۱۶-۲۰۴۵) و دوره پایه خروجی مدل CCSM4 : در این مدل؛ شاهد کاهش دما در ماه ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می از حداکثر ۰/۰۱ تا ۲/۱۴ درجه هستیم. اما در سایر ماه‌ها، دما دارای روند افزایشی بوده که از ۰/۴۱ تا ۴/۴۷ درجه محتمل است (شکل ۲).

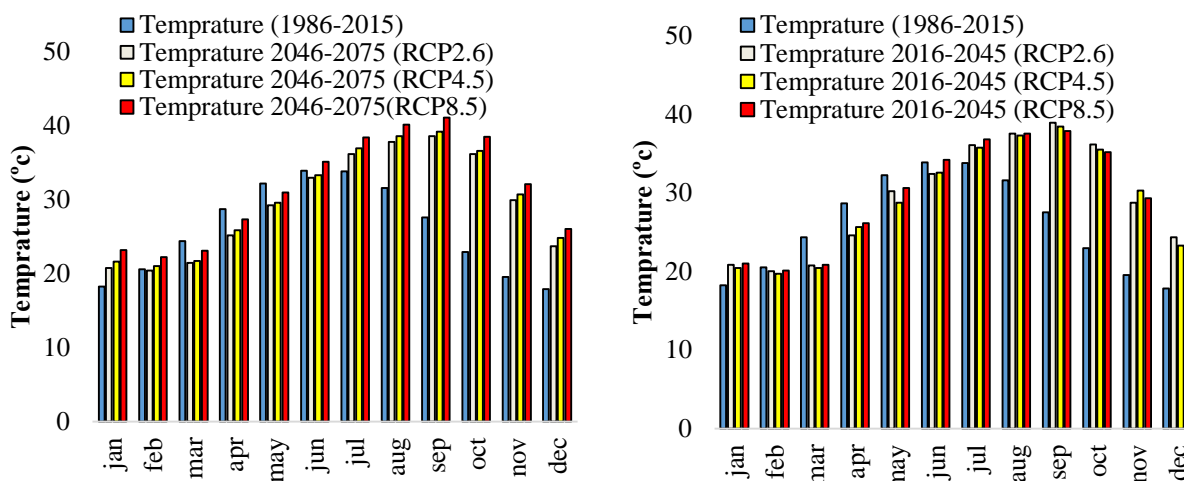
مقایسه دوره (۲۰۴۶-۲۰۷۵) و دوره پایه خروجی مدل CCSM4 : در مدل CCSM4، کاهش دما در ماه ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می از ۰/۰۵۴ تا ۱/۱۹ درجه محتمل است و در سایر ماه‌ها با افزایش دمایی در دامنه ۰/۱۲ تا ۲/۴۸ روبرو خواهیم بود. است.



شکل ۳- مقایسه میانگین ۳۰ ساله دمای ماهانه در دوره پایه و دوره آتی در مدل CSIRO-Mk3-6



شکل ۴- مقایسه میانگین ۳۰ ساله دمای ماهانه در دوره پایه و دوره آتی در مدل MPI-ESM-MR



شکل ۵- مقایسه میانگین ۳۰ ساله دمای ماهانه در دوره پایه و دوره آتی در مدل HADGEM2-ES

به منظور بررسی دقت مدل از چهار آماره گزارش شده در جدول (۳) استفاده شد. نتایج نشان داد برای مولفه دما متوسط، با توجه به محدوده مناسب هر یک از ضرایب ارزیابی مدل‌ها هر ۵ مدل به عنوان مدل بهینه اقلیمی در حوزه آبخیز میناب انتخاب گردید.

مقایسه دوره (۲۰۱۶-۲۰۴۵) و دوره پایه خروجی مدل HadGEM2-ES در این مدل از ژولای تا ژانویه شاهد افزایش دما نسبت به دوره پایه و کاهش دما در سایر ماه‌ها هستیم. در دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۷۵) نیز شاهد همین روند هستیم (شکل ۵).

جدول ۳- عملکرد معیارهای ارزیابی برای ۵ مدل گزارش پنجم در مولفه دما طی دوره پایه ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵

معیار ارزیابی (Evaluation Criteria)				مدل (Model)
جذر نسبت استاندارد	ضریب تبیین	درصد اریبی	ناش-ساتکلیلف	
(RSR)	(R ²)	(PBIAS)	(NS)	
۰/۴۳	۰/۹۱	۱/۳۷	۰/۸۷	MPI-ESM-MR
۰/۴۲	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۷۷	CSIRO-Mk3-6
۰/۳۶	۰/۹۹	۱/۱۸	۰/۷۶	BNU -ESM
۰/۲۳	۰/۹۹	۰/۲۹	۰/۹۵	CCSM4
۰/۲۹	۰/۹۷	۰/۲۹	۰/۹۱	HADGEM2-ES

حاصل از عدم قطعیت مدل‌ها در برآورد دما، نتایج ۵ مدل گردش عمومی جو، سه سناریوی اقلیمی در دو افق ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۲۰۴۵) و (۲۰۴۶-۲۰۷۵) برای RCP4.5 در سطح احتمال ۹۵٪ (باند برآورد عدم قطعیت) در

برای ارزیابی عدم قطعیت مدل‌ها در برآورد دما، نتایج ۵ مدل گردش عمومی جو، سه سناریوی اقلیمی در دو افق ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۲۰۴۵) و (۲۰۴۶-۲۰۷۵) میلادی انجام شد. بنابراین نتایج

علیرغم دو مدل CCSM4 و BNU-ESM، عدم قطعیت دوره اول زیاد و دوره دوم بسیار کاهش یافته است. در مدل MPI-ESM-MR، تفاوت چندانی بین دوره اول و دوم مشاهده نمی‌شود، بطوریکه پهنای عدم قطعیت به ترتیب در دوره اول و دوم ۴/۲ و ۴/۳ درجه است. شکل ۷، میزان عدم قطعیت برآوردها را در مدل‌ها و سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. بر این اساس، می‌توان عدم قطعیت را در سه حالت دوره، مدل و سناریو بررسی نمود. در بررسی عدم قطعیت دوره‌ها، در تمامی مدل‌ها و سناریوها، عدم قطعیت دوره دوم در برآورد دما بیشتر از دوره اول است. بدین مفهوم که افزایش طول دوره نسبت به دوره مشاهداتی سبب افزایش خطا در پیش‌بینی مدل‌های تغییر اقلیم می‌گردد. بررسی در حالت سناریوها، با ثابت گرفتن دوره و مدل، تفاوتی بین سناریوها دیده نمی‌شود. در بررسی مدل‌ها نیز، کمترین عدم قطعیت مربوط به مدل CSIRO-Mk3-6 در سناریوی RCP2.6 و دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۵ و بیشترین عدم قطعیت مربوط به مدل HadGEM2-ES در سناریو و دوره مذکور است.

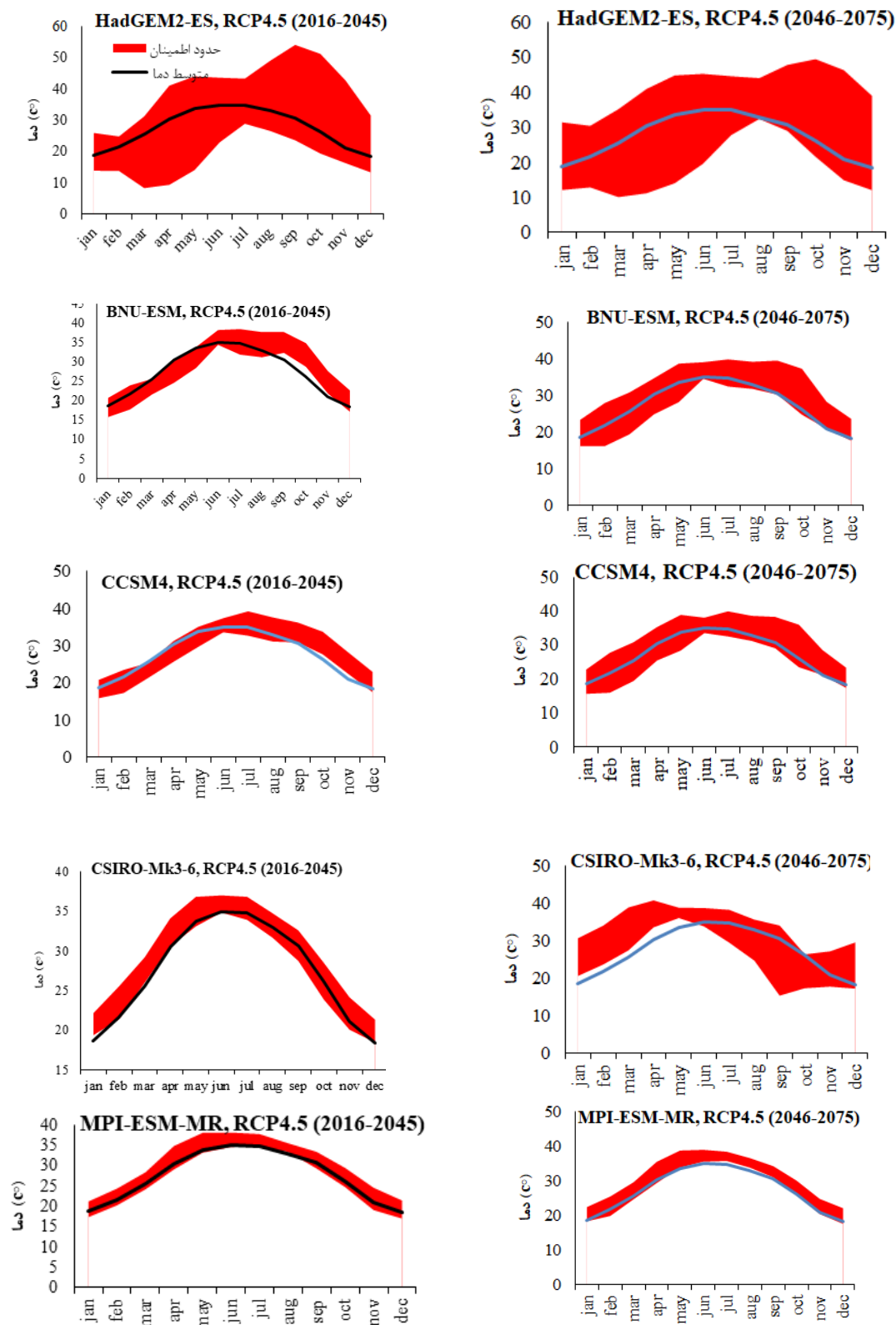
شکل (۶) ارائه شده است. هر قدر اختلاف باند زیاد باشد نشان‌دهنده زیاد بودن عدم قطعیت در برآورد داده و کم بودن اختلاف نشان‌دهنده عدم قطعیت در برآورد است (Ghasem Nezhad et al., 2019).

نتایج بررسی عدم قطعیت برای دمای متوسط در مدل HadGEM2-ES برای سناریوی RCP4.5 برای دوره اول (۲۰۱۶-۲۰۴۵) نشان می‌دهد، متوسط دما ۲۷/۴ درجه است، که این مدل دارای متوسط حدود اعتماد (باند بالا و پایین) ۴۲ و ۱۷/۶ درجه است. اختلاف باند بالا و پایین در این مدل ۲۲/۷ درجه سانتیگراد است. در دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۷۵) در سناریوی فوق، حد بالا و پائین به ترتیب به ۱۸ و ۴۱ (۲۳ درجه) خواهد بود. لذا در دوره دوم، سناریوی فوق دارای عدم اطمینانی به میزان ۰/۳ درجه سانتیگراد است. لذا مدل فوق در دوره اول دارای عدم قطعیت کمتری است.

در مدل BNU-ESM، در دوره اول، متوسط دما همانند مدل HadGEM2-ES، ۲۷/۴ برآورد شده، اما دامنه عدم قطعیت آن، به ترتیب ۳۱ و ۲۴/۸ درجه است که دامنه عدم قطعیت آن ۶/۳ درجه برآورد گردید. اختلاف فاحش باند عدم قطعیت نسبت به مدل HadGEM2-ES قابل ملاحظه است، که نشان‌دهنده بالابودن درجه قطعیت برآوردهاست. در دوره دوم، اختلاف باند عدم قطعیت به ۸/۷ درجه رسیده، بطوریکه باند بالا و پائین به ترتیب ۳۳/۵ و ۲۴/۷ درجه است. لذا در دوره دوم، عدم قطعیت برآوردها نیز مانند مدل HadGEM2-ES افزایش می‌یابد.

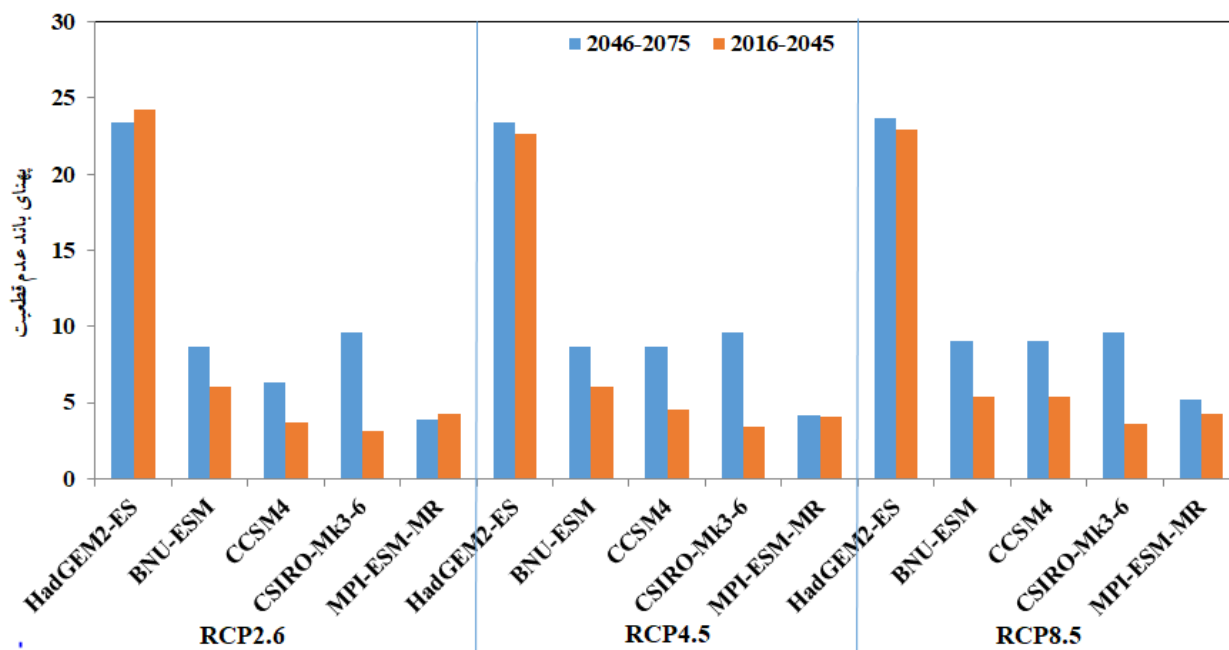
در مدل CCSM4 در دوره اول، دارای باند عدم قطعیت ۵/۵ درجه سانتیگراد بوده بطوریکه متوسط حدبالا ۳۱ و متوسط باند پائین برآورد شده ۲۵/۵ است. در دوره دوم، دامنه عدم قطعیت افزایش یافته و به ۸/۷ درجه سانتیگراد رسیده است که مشابه مدل BNU-ESM است. در این مدل نیز عدم قطعیت در دوره دوم افزایش یافته است.

در مدل CSIRO-Mk3-6، در دوره اول باند عدم قطعیت به ۹/۶ درجه و در دوره دوم به ۳/۶ درجه کاهش می‌یابد. در این مدل



شکل ۶- فاصله اطمینان مقادیر دما متوسط شبیه‌سازی شده دوره آینده (۲۰۱۶-۲۰۴۵ و ۲۰۴۶-۲۰۷۵) و متوسط دما مشاهداتی دوره پایه

با روش LHS (سطح ۹۵ درصد) در RCP4.5



شکل ۷- بهنای باند عدم قطعیت در مدل‌ها و سناریوهای مختلف در دو دوره مورد بررسی برای متغیر دما

تغییرات پیش رو آثار زیان‌باری در بخش آب در حوزه‌ی آبخیز میناب به وجود نیورد.

یکی از این بخش‌ها، بخش کشاورزی است. با توجه به اینکه بخش کشاورزی از نظر توزیع زمانی آب در آینده دچار تغییر خواهد شد، باید در جهت سازگاری با شرایط جدید در ترکیب کشت حوزه آبخیز میناب تغییراتی ایجاد کرد. همچنین، در برنامه‌ریزی‌های آینده، در بخش تخصیص آب، در رویارویی با شرایط آینده انعطاف‌پذیری بیشتری لازم است.

در رابطه با دما متوسط پیش‌بینی شده می‌توان گفت، که همه مدل‌ها یک روند معنی‌دار رو به بالا و در سطح ۹۵ درصد را نشان دادند که از این نظر با نتایج مطالعه Rouhani و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر افزایش دما تا سال ۲۰۹۹ در ایران، مشابهت دارد. این نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان، با افزایش بیش از حد انتشار گازهای گلخانه‌ای درجه حرارت یک روند مثبت را دنبال می‌نماید و تا انتهای قرن ۲۱ به بیشترین مقدار خود خواهد رسید. مقادیر درجه حرارت متوسط در دوره (۲۰۴۶-۲۰۷۵) بیشتر از دوره اول بوده و در سناریوی انتشار RCP8.5 بیشتر از سایر سناریوهای انتشار

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات اقلیم بر دما در حوزه آبخیز میناب، از مدل‌های گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و سناریوهای انتشار در دو بازه زمانی آینده (۲۰۴۵-۲۰۱۶ و ۲۰۷۵-۲۰۴۶) و تحلیل عدم قطعیت آنها با استفاده از ابرمکعب لاتین، بهره‌گرفته شد.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات دما در آینده نسبت به دوره مشاهداتی نشان داد، دمای متوسط ایستگاه سینوپتیک میناب در حال افزایش است نتایج فوق با مطالعه Moradi و همکاران (۲۰۱۸) در استان هرمزگان مطابقت دارد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت نشانه‌های تغییر اقلیم در حوزه آبخیز میناب، از نظر دمای متوسط، قابل مشاهده است. بنابراین، با در نظر گرفتن نقش دما در افزایش میزان تبخیر و تعرق، باید به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش‌های بهره‌برداری منابع آب، به‌ویژه در بخش کشاورزی، بود. برنامه‌های آینده باید به گونه‌ای باشد که

بیشتر از مدل‌های دیگر می‌باشد که بیانگر افزایش دو برابری پیش‌بینی دما نسبت به سایر مدل‌های استفاده شده می‌باشد. نتایج فوق با نتایج Kamal and Masahbavani در سال ۲۰۱۲ مبنی بر اینکه دامنه تغییرات حاصل از مدل‌های TAR تقریباً دو برابر مدل‌های AR4 است، مطابق داشت. نهایتاً نتایج این تحقیق نشان داد، تغییرات دما به جز در مدل HADGEM2-ES، طبق سه سناریو در سایر مدل‌ها چندان متفاوت نیست از این رو تغییرات جزئی در نتایج دما بر اثر مدل‌ها و سناریوهای مختلف نیز می‌تواند عدم قطعیت را در پیش‌بینی دما بوجود آورد.

منابع

1. Beven, K. J. (2000). *Rainfall-Runoff Modelling: the Primer*. John Wiley and Sons, NY. 372.
2. Diaz-Nieto, J., & Wilby, R. L. (2005). A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom, *Climatic Change*, 69, 245–268.
3. Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An introduction to the bootstrap* New York. NY: Chapman and Hall.
4. Eghdamirad, S., Johnson, F., Woldemeskel, F., & Sharma, A. (2016). Quantifying the sources of uncertainty in upper air climate variables. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(8):3859-74.
5. Ghasem Nezhad, F., Mehdi, F., Bazrafshan, O., & Parvinnia, M. (2019). Uncertainty Analysis of Hydrological Drought Characteristics Using Latin Hypercube Sampling (Case Study: Minab Dam Watershed). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(2), 527-542. doi: 10.22059/jrwm.2019.276424.1356
6. Guilbert, J. (2016). *The Impacts Of Climate Change On Precipitation And Hydrology In The Northeastern United States*. Graduate College Dissertations and Theses. University of Vermont.
7. Hamraz, B., Akbarpour, A., & Pourreza Bilondi, M. (2016). Assessment of Parametr uncertainty of MODFLOW Model using GLUE method (case

می‌باشد. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر درجه حرارت تا انتهای قرن ۲۱ در حوزه آبخیز میناب به ترتیب افزایش و کاهش پیدا خواهد کرد.

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی با شبیه-سازی خروجی مدل گردش عمومی ریزمقیاس شده (GCM)، و تحلیل عدم قطعیت مشخص می‌شود که در نتیجه منجر به اطلاعات ناقصی در رابطه با فرآیندهای اساسی تغییر اقلیم می‌شود، لذا اتکای بیش از حد بر مدل‌های فوق تنها می‌تواند منجر به برنامه‌ریزی نامناسب و پاسخ‌های غلط گردد.

طبق نتایج Rouhani و همکاران (۲۰۱۶) همه مدل‌های گردش عمومی جو و خروجی‌های ریزمقیاس‌سازی، بنا به ماهیت عدم اطمینان نمی‌توانند به طور کامل یک سیستم فیزیکی را توصیف نمایند، هر چند که با در نظر گرفتن سیستم‌های فیزیکی مختلف و مناسب می‌توان عدم قطعیت را کاهش داد. تحلیل و بررسی عدم قطعیت در مدل‌ها و مشخص کردن خصوصیات موجود، وجود نقص و عدم اطمینان به خروجی مدل‌ها را نمایان می‌سازد. باید بدانیم که عدم قطعیت کاملاً حذف نمی‌شود، اما گاهی می‌توان آن را با اندازه‌گیری و مطالعات بیشتر، کاهش داد. عدم قطعیت یا مربوط به مدل است که با ترکیب چند مدل می‌توان عدم قطعیت مربوط به ساختار مدل را کاهش داد و گاهی نیز عدم قطعیت مربوط به داده‌ها می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر مبین این نکته است که استفاده تنها یک مدل گردش عمومی و یا یک سناریو به تنهایی برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی کافی نمی‌باشد و باید تلفیقی از چند مدل و چند سناریو را به کار برد. بنابراین عدم قطعیت را امری الزامی می‌دانیم. و استفاده از روش‌هایی مانند ابر مکعب لاتین این امر را تحقق می‌بخشد و عدم قطعیت مدل‌های موجود را به حداقل می‌رساند.

نتایج نشان داد که در مدل HADGEM2-ES برای پارامتر دما در هر سه سناریو و هر دو دوره دارای بیشترین ضخامت باند عدم قطعیت و همچنین متوسط دامنه عدم قطعیت آن

- Suitable General Atmosphere Circulation Models for Forecasting Temperature and Precipitation Amounts in Iran Under Condition of Global Warming. *Journal of Geography and develop iranianjournal*, 10 (27).
18. Rouhani, H., Ghandi, A., Swywdian, S. M., & Kashani, M. (2016). Uncertainty Analysis of Rainfall Projections (case study: Bojnourd and Mashhad synoptic gaoge station). *Journal. of Waterand Soil Conservation*, 24(1).
 19. Sanikhani, H., Dinpajoh, Y., Pouryusef, S., Ghavidel, S. Z., & Solati, B. (2014). The Impacts of Climate Change on Runoff in Watersheds (Case Study: Ajichay Watershed in East Azerbaijan Province, Iran). *Journal of Water and Soil*, 27(6), 1225-1234.
 20. Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Journal of Climate Research*. 1(14).
 21. Vrugt, J. A., Gupta, H.V., Bouten, W., & Sorooshian, S. (2003). A Shuffled Complex Evolution Metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrological model parameters. *Journal of Water Resour*, 39(8).
 22. Wilby, R. L., Tomlinson, O. J., & Dawson, C. W. (2003). Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling. *Journal of Climate Research*, 23(3), 94-183.
 - study: Birjand Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(6).
 8. Jones, P. D., & Hulme, M., (1996). Calculating regional climatic times series for temperature and precipitation: methods and illustrations, International. *Journal of Climatology*, 16, 361- 377.
 9. Kamal, A. R. Massahbavani, (2012). The uncertainty assessment of AOGCM & Hydrological models for estimating Gharesu basin temperature, precipitation, and runoff under climate change impact. *Iranian Water Research Journal* , 9(5), 39-50.
 10. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=279717>
 11. Mani, A., & Tsai, F. T. (2016). Ensemble Averaging Methods for Quantifying Uncertainty Sources in Modeling Climate Change Impact on Runoff Projection. *Journal of Hydrologic Engineering*.
 12. Mehni, M., & Bazrafshan, O. (2017). Spatiotemporal of Quality and Quantity of Groundwater Resources in the Minab Plain Over the 3past Decades. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, 18(5), 51-59.
 13. Moradi, M., Bazrafshan, O., Bahreman, A., Esmaelpour, Y. (2018). Assessment of the Relations between the Trends of Climatic Factors and River Flow in Southern Coastal Watersheds, Iran. *Watershed Management Research Journal*, 31(2), 79-92.
 14. Helton, J. C., & Davis, F. J. (2003). Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 81(1), 23-69.
 15. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M.W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Journal of Amer*, 50(3), 885-900.
 16. Rahimzadeh, F., Hedayati, A., Pourasgharian, A., & Sisipour, M. (2009). Changes in temperature and rainfall extreme profiles in Hormozgan province. Fourth Climate Change Conference, Tehran, Iran Meteorological Organization.
 17. Roshan, Gh. R., Khoshakhlagh, F., & Azizi, Gh. (2012). Assessment of