



Evaluation of Ensemble Climate Model development methods based on CMIP5 to investigate the potential of water harvesting from air humidity

Hadi Ramezani Etedali¹ | Sakine Koohi² | Zahra Partovi³

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: sakine.koohi3731@gmail.com
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: zahra73.partoviii@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 20, 2023

Revised: Oct. 7, 2023

Accepted: Oct. 21, 2023

Published online: Jan. 21, 2024

Keywords:

Atmospheric Variables,
Climate Change,
Unconventional Water Sources,
CORDEX.

ABSTRACT

Recognizing the effects of climate change in different sectors, as well as the integration of GCM models and the development of Ensemble Climate Models (ECM) are vital. In this study, the efficacy of the climate models from the CMIP5 in simulating atmospheric variables impacting the potential for water harvesting was assessed. These variables encompass mean air temperature, wind speed, relative humidity, and the feasible quantity of water harvested from air moisture. Also, assessing the efficiency of the optimization algorithm (Genetic Algorithm) in the development of an ensemble climate model was another goal of this research. It is noteworthy that the present investigation employed data from 16 synoptic stations situated in the northern and northwestern regions of Iran during the statistical period of 1991-2005. Results indicated that the performance of individual climate models in simulating variations in wind speed and relative air humidity is deemed poorly. Conversely, GA has yielded a reduction in both error magnitude and biases in climatic outputs in estimating wind speed and relative air humidity. Furthermore, the evaluation of the efficacy of climate models in estimating the water harvesting potential from air humidity indicates the acceptable performance of ECM in simulating changes in the amount of extractable water from air humidity. In general, the results showed that Manjil and Bandar-Anzali stations are the most suitable areas for the implementation of water harvesting projects from air humidity. Conversely, Arak and Hamedan stations exhibit the least potential for water harvesting. Based on the results, the average water that can be extracted from air humidity in the summer season for Manjil and Bandar-Anzali stations is estimated to be 1.56 and 1.78 (l/day.m²). Also, the seasonal changes of water harvesting potential from air humidity showed that the potential of extracting water in summer is more than the other seasons. This accentuates the urgency of water resource management and agricultural planning, prompting the implementation of substantial measures to use this water source. The potential applications of using this source encompass agricultural sectors, green space irrigation, and potentially catering to a portion of drinking water demands, contingent upon quantity and quality parameters.

Cite this article: Ramezani Etedali, H., Koohi, S., & Partovi, Z. (2024) Evaluation of Ensemble Climate Model development methods based on CMIP5 to investigate the potential of water harvesting from air humidity, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (11), 1609-1625. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364087.669553>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364087.669553>



ارزیابی روش‌های توسعه مدل اقلیمی چندگانه بر مبنای CMIP5 برای بررسی پتانسیل استحصال آب از رطوبت هوا

هادی رمضانی اعتدالی^۱ | سکینه کوهی^۲ | زهرا پرتوی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه:

Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه:

sakine.koohi3731@gmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه:

zahra73.partoviii@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱

واژه‌های کلیدی:

تغییر اقلیم،

متغیرهای جوی،

منابع آب نامتعارف،

CORDEX.

با توجه به اهمیت شناخت تأثیرات ناشی از تغییرات اقلیمی در بخش‌های مختلف، همچنین ادغام مدل‌های GCMs و توسعه مدل اقلیمی چندگانه (ECM)، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم تغییر اقلیم (CMIP5) در شبیه‌سازی تغییرات متغیرهای جوی موثر بر پتانسیل استحصال آب از رطوبت هوا شامل میانگین دمای هوا، سرعت باد و رطوبت هوا و همچنین مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا انجام گرفت. همچنین کارایی الگوریتم بهینه‌سازی در توسعه مدل اقلیمی چندگانه از دیگر اهداف مهم این پژوهش به شمار می‌رود. لازم بذکر است که در تحقیق حاضر از داده‌های ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در محدوده شمال، شمال غرب ایران طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۱ استفاده شده است. براساس نتایج این پژوهش عملکرد مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد در شبیه‌سازی تغییرات سرعت باد و رطوبت نسبی هوا ضعیف ارزیابی می‌شود. درحالی‌که کاربرد روش بهینه‌سازی ضرایب منجر به کاهش میزان خطا و اریبی خروجی‌های اقلیمی در تخمین سرعت باد و رطوبت نسبی هوا شده است. علاوه بر این، بررسی کارایی مدل‌های اقلیمی در تخمین مقدار آب قابل استحصال حاکی از عملکرد قابل قبول مدل اقلیمی چندگانه در شبیه‌سازی تغییرات مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا می‌باشد. بطورکلی نتایج نشان داد که ایستگاه‌های منجیل و بندرانزلی مستعدترین منطقه برای اجرای طرح‌های استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشند، درمقابل ایستگاه‌های اراک و همدان از کمترین پتانسیل برای استحصال آب برخوردار می‌باشند، براساس نتایج، متوسط آب قابل استحصال از رطوبت هوا در فصل تابستان برای ایستگاه‌های فوق ۱/۵۶ و ۱/۷۸ لیتر در روز در متر مربع برآورد شده است. همچنین بررسی تغییرات فصلی پتانسیل استحصال آب از رطوبت نشان داد که پتانسیل استحصالی آب از رطوبت هوا در فصل تابستان بیشتر از سایر فصل‌ها می‌باشد، بنابراین ضروری است که مدیریت منابع آب و کشاورزی، برنامه‌ریزی و اقدامات جدی به منظور استفاده از این منبع آبی برای کاربرد در بخش‌های کشاورزی، آبیاری فضای سبز و حتی در صورت کفایت از نظر کمی و کیفی برای تامین بخشی از نیاز شرب صورت پذیرد.

استناد: رمضانی اعتدالی، هادی؛ کوهی، سکینه؛ پرتوی، زهرا، (۱۴۰۲) ارزیابی روش‌های توسعه مدل اقلیمی چندگانه بر مبنای CMIP5 برای بررسی پتانسیل استحصال آب

از رطوبت هوا، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۱۱)، ۱۶۲۵-۱۶۰۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364087.669553>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364087.669553>

مقدمه

در سال‌های اخیر گرمایش جهانی و تغییر در متغیرهای اقلیمی به چالشی مهم در بسیاری از نقاط دنیا بدل شده است. بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی حاکی از افزایش حدود ۰/۸۵ درجه سانتی‌گرادی در میانگین دمای سطح زمین و اقیانوس‌ها طی سال‌های ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ می‌باشد (IPCC, 2013). همچنین پیش‌بینی شده است که در صورت ادامه روند گرمایش زمین تا پایان سال ۲۰۵۰ دمای هوا با افزایش همراه خواهد بود (Jiang et al., 2021). بنابراین افزایش وقوع وقایع حدی و تغییر در الگوی دما و بارش در قرن ۲۱ دور از انتظار نمی‌باشد. وقوع این حوادث بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا این مناطق با توجه به اقلیم خود از اکوسیستمی حساس و آسیب‌پذیر در برابر تغییر اقلیم برخوردار می‌باشند (Kharuk et al. 2007; Rathore et al. 2019; Shagega et al. 2019). در میان آثار تغییر اقلیم، از خشکسالی به عنوان یکی از نتایج اجتناب‌ناپذیر تغییرات آب و هوایی می‌توان نام برد، بطوریکه با توجه به مطالعات مختلف، وقوع خشکسالی‌های بیشتر و شدیدتر در بسیاری از مناطق برای قرن ۲۱ مورد انتظار است (Bisht et al., 2019; Das et al., 2021; Gaitán et al., 2020; Haile et al., 2020; Khan et al., 2020; Swain & Hayhoe, 2015) (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به تاثیر خشکسالی بر بخش‌های مختلف همچون منابع آب، پوشش گیاهی، کشاورزی و اکولوژی منطقه (Wilhite et al., 2014)، این پدیده می‌تواند منجر به چالش‌ها و اختلالات بزرگتر و مهم‌تری در زمینه توسعه کشاورزی، امنیت غذایی و زندگی پایدار شده و در نهایت خسارات اقتصادی قابل‌توجهی را مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوجود آورد. یکی از راهکارها به منظور کاهش خسارات ناشی از خشکسالی و کمبود منابع آب، استفاده از منابع آبی جدید همچون استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشد. بررسی مطالعات مختلف نشان داده است که برخی از مناطق کشور ایران نیز از پتانسیل خوبی برای سرمایه‌گذاری بر روی پروژه‌های استحصال آب از رطوبت هوا برخوردار می‌باشند (کریم‌پورریحان و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمودی و همکاران، ۱۳۹۵، یوسفی و برومندنسب، ۱۳۹۴). از سوی دیگر، همانگونه که عنوان شد یکی از نمودهای تغییر اقلیم، تغییر در متغیرهای جوی است. با توجه به وابستگی میزان پتانسیل استحصال آب از هوا به متغیرهای جوی همچون رطوبت هوا، سرعت باد و دما، تغییر اقلیم می‌تواند شرایط استحصال آب از رطوبت هوا را نیز تحت تاثیر قرار دهد.

مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs^۱)، از نقش بسیار مهمی در درک تاثیرات تغییرات اقلیمی، شبیه‌سازی شرایط فعلی جو و پیش‌بینی الگوهای هواشناسی آینده برخوردار می‌باشند (Christensen et al., 2007). این مدل‌ها، مدل‌های عددی می‌باشند که مکانیسم‌های طبیعی موجود در جو، سطح زمین و اتمسفر را توسط یک شبکه سه‌بعدی توصیف می‌کنند. با این حال، کمبود اطلاعات درخصوص فرآیندهای جوی، تفاوت در مقیاس‌های زمانی و مکانی، وجود دیدگاه‌های مختلف برای متغیرسازی‌های فیزیکی از جمله منابع ایجاد عدم قطعیت و تفاوت در عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو بشمار می‌روند که می‌توانند منجر به ایجاد خطا در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای شوند (Jain et al., 2019; Sood & Smakhtin, 2015). تحقیقاتی در زمینه ارزیابی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو توسط محققین در جهان به انجام رسیده است. به عنوان مثال، Shen et al. (2016) به ارائه یک سوپرمدل اقلیمی توسط ادغام مدل گردش عمومی جو با مدل گردش عمومی اقیانوس پرداختند. این محققین برای تخمین وزن بهینه هر مدل، از الگوریتم یادگیری ماشین با هدف به حداقل رساندن خطا در تخمین دمای سطح دریا در اقیانوس آرام استفاده نمودند. نتایج نشان داد که کاربرد رویکرد مذکور می‌تواند منجر به بهبود در پیش‌بینی‌های جوی و ارائه بینشی جدید در رابطه با ادغام مدل‌های اقلیمی شود. Zhang et al. (2017) برای توسعه مدل اقلیمی چندگانه (ECM^۲) از یادگیری ماشین به منظور بررسی میانگین دمای هوا و بارش براساس ۴ مدل اقلیمی CMIP5 استفاده نمودند. نتایج نشان داد که یادگیری ماشین از عملکرد بهتری در مقایسه با مدل‌های فردی برخوردار است. همچنین Wang et al. (2018) چهار روش جنگل تصادفی (RF^۳)، ماشین بردار پشتیبان (SVM^۴)، مدل بیزین (BMA^۵) و میانگین‌گیری ساده (EM^۶) را برای ادغام مدل‌های اقلیمی در استرالیا مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار

1. General Circulation Models
2. Ensemble Climate Model
3. Random Forest
4. Support Vector Machine
5. Bayesian Model Averaging
6. Ensemble Mean



پشتیبان می‌توانند منجر به بهبود بیشتری در بازتولید متغیرهای جوی نسبت به مقادیر مشاهداتی شوند. Raghavan et al. (2018) با ارزیابی یک مجموعه ده عضوی از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم در شبیه‌سازی وضعیت میانگین جوی در آسیای جنوب شرقی نشان دادند که تعداد زیادی از مدل‌ها به تنهایی قادر به شبیه‌سازی وضعیت جوی مشاهده شده در این منطقه نمی‌باشند، درحالی‌که میانگین مدل‌ها نمایش بهتری از مشاهدات داشته است. همچنین عدم قطعیت مدل‌های فردی بسیار بیشتر از میانگین مدل‌ها است. Ahmed et al. (2020) به ارزیابی عملکرد مدل اقلیمی چندگانه‌ی توسعه یافته با استفاده از چهار الگوریتم مختلف یادگیری ماشین برای شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما و بارش در محدوده پاکستان پرداختند. نتایج نشان داد که روش‌های نزدیکترین همسایگی (KNN^1) و ماشین بردار (RVM^2) از عملکرد بهتری برخوردار بودند، درحالی‌که شبکه عصبی (ANN) منجر به پراکندگی بیشتر داده‌ها شده است. Koochi & Ramezani (2022) در مطالعه‌ای به بررسی عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم تغییر اقلیم و تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 برای پیش‌بینی شرایط خشکسالی و تخمین شاخص SPI پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از میانگین چند GCM منجر به بهبود عملکرد و کاهش عدم قطعیت خروجی‌ها خواهد شد. بررسی مطالعات انجام شده حاکی از آن است که یکی از مسائل در زمینه کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو، استفاده بهینه از مدل‌های اقلیمی برای شبیه‌سازی الگوهای جوی می‌باشد. همانطور که مشخص است در سال‌های اخیر استفاده از ترکیب چند مدل اقلیمی توسط محققین برای کاهش عدم قطعیت این مدل‌ها توصیه شده است. بنابراین از موضوعات مهم در این خصوص نحوه ادغام و وزن‌دهی هر یک از مدل‌ها می‌باشد. بطور کلی دو رویکرد برای توسعه مدل چندگانه اقلیمی وجود دارد: روش اول میانگین‌گیری ساده است که در آن وزن همه مدل‌های مورد استفاده یکسان می‌باشد. روش دوم اختصاص وزن به هر یک از مدل‌ها براساس میزان کارایی آن‌ها در شبیه‌سازی متغیرهای جوی در دوره پایه است (Wang et al., 2018). لذا با توجه به توضیحات فوق و تاثیر روش مورد استفاده برای ادغام مدل‌های اقلیمی بر خروجی‌های جوی آن‌ها و متعاقباً مقدار آب قابل استحصال محاسباتی، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی دو رویکرد برای توسعه مدل چندگانه اقلیمی بر مبنای ۳ مدل GCM و مقایسه عملکرد این دو رویکرد نسبت به کاربرد مدل‌ها به صورت فردی در شبیه‌سازی متغیرهای جوی شامل سرعت باد، رطوبت هوا و میانگین دما و همچنین مقدار آب قابل استحصال از هوا می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های ۳ مدل GCM از گزارش پنجم IPCC³ (CMIP5⁴) استفاده شده است. در ادامه و در بخش مواد و روش‌ها درخصوص تئوری روش محاسبه مقدار آب قابل استحصال توضیحات لازم ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

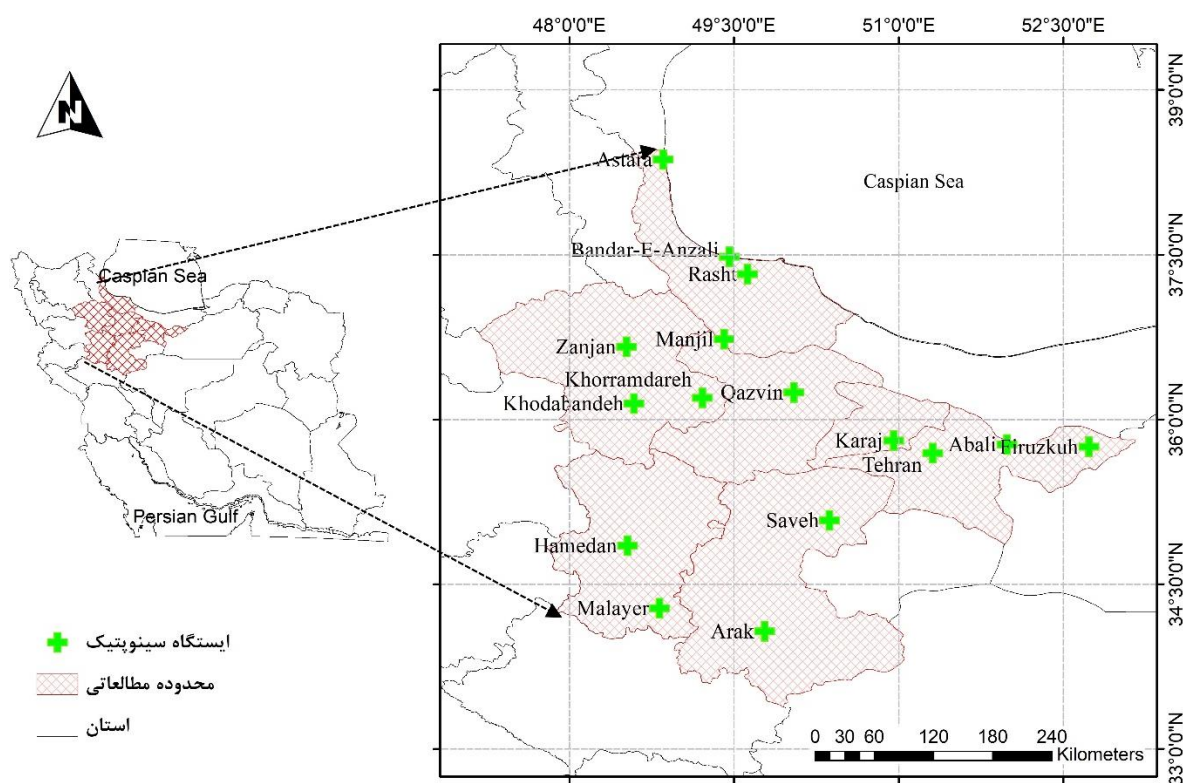
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش ۱۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان‌های قزوین، زنجان، همدان، گیلان، مرکزی، تهران و البرز می‌باشد که در محدوده طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۵ دقیقه قرار گرفته است. انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورتی بوده است که در مناطق با شرایط جغرافیایی متنوع از نظر متغیرهای هواشناسی واقع شوند. در پژوهش حاضر با توجه به دوره آماری موجود از مقادیر متوسط دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا طی بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ استفاده شده است. در شکل ۱ موقعیت منطقه و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه نشان داده شده است.

داده‌های اقلیمی مورد استفاده و توسعه مدل چندگانه اقلیمی

گزارش پنجم تغییر اقلیم (CMIP5) یکی از مهم‌ترین مجموعه‌های اقلیمی است که با هدف بررسی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی توسط گروه مدل‌سازی تغییرات اقلیمی توسعه یافت و دستاوردهای مهمی در مورد درک محققین از تغییرات اقلیمی در آینده را فراهم نموده است. CMIP5 شامل مجموعه‌ای گسترده از مدل‌های اقلیمی از مراکز مختلف دنیا است که با در نظر گرفتن متغیرهای مختلفی از جمله میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، به پیش‌بینی‌های اقلیمی می‌پردازد (Su et al., 2017). در واقع در گزارش پنجم تغییر اقلیم با در نظر گرفتن

1. K-Nearest Neighbour
2. Relevance Vector Machine
3. Intergovernmental Panel on Climate Change
4. Coupled Model Intercomparison Project

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، تاثیر فعالیتهای انسانی بر اقلیم به طور دقیق‌تری مورد بررسی قرار گرفته است. دوره زمانی تاریخی مدل‌های اقلیمی شامل سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۵ می‌باشد. یکی از مشکلات در زمینه کاربرد GCMs، ابعاد سلولی این مدل‌ها است که می‌تواند سبب کاهش دقت پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های مکانی شود، بنابراین لازم است تا از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی برای مطالعه تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های کوچکتر بهره برد. پروژه CORDEX^۱ از جمله پروژه‌های مهم و بزرگ اقلیمی است که با هدف فراهم نمودن یک برنامه استاندارد برای تهیه مجموعه‌هایی بزرگ از طرح‌های پیش‌نگری بر مبنای روش‌های ریزمقیاس‌نمایی ایجاد شد (Giorgi & Gutowski, 2016). خروجی مدل‌های اقلیمی پروژه CORDEX در دقت مکانی ۰/۴۴ و ۰/۲۲ درجه و در برخی از مناطق ۰/۱۱ درجه تولید شده است. دقت زمانی خروجی‌های این پروژه در گام‌های زمانی ۳ ساعته، ۶ ساعته، روزانه، ماهانه و فصلی می‌باشد. این نکته قابل ذکر است که با توجه به متغیر انتخابی، مدل‌ها، مقیاس‌های مکانی و زمانی خاصی ارائه می‌شود. با توجه به محدودیت مذکور در این پژوهش از داده‌های متوسط دما، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا مربوط به ۳ مدل اقلیمی (جدول ۱) در توان تفکیک مکانی ۰/۴۴ درجه و در مقیاس زمانی ماهانه استفاده شده است. علت انتخاب مدل‌های مذکور محدودیت در مدل‌های ارائه‌دهنده‌ی متغیرهایی همچون سرعت باد و رطوبت نسبی هوا می‌باشد. دریافت داده‌های اقلیمی از سایت <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset> انجام شد.



شکل ۱. موقعیت محدوده و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

همانطور که پیش‌تر نیز بیان گردید یکی از اهداف پژوهش حاضر بررسی روش مناسب برای ادغام مدل‌های اقلیمی و توسعه یک مدل اقلیمی چندگانه می‌باشد. برای این منظور علاوه بر کاربرد روش مرسوم "وزن‌دهی یکسان" به مدل‌ها، از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک (GA^۲) نیز برای تخمین ضریب هر مدل جهت ادغام آن‌ها استفاده شده است. در روش وزن‌دهی یکسان همه مدل‌ها به یک میزان بر روی خروجی حاصل تاثیر دارند، به عبارتی همگی مدل‌های مورد استفاده دارای وزنی واحد می‌باشند. از آنجاییکه در این پژوهش از داده‌های سه مدل اقلیمی استفاده شده است، بنابراین در صورت کاربرد روش وزن‌دهی یکسان، وزن هر یک از مدل‌ها معادل ۰/۳۳ خواهد بود. روش دیگر مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم ژنتیک می‌باشد. الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراشناختی مبتنی بر ازدحام جمعیت است که از اصل بقای داروین پیروی می‌کند (Holland, 1975). این الگوریتم در شاخه‌ای از هوش مصنوعی قرار می‌گیرد و

1. Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
2. Genetic Algorithm



شامل الگوریتم‌هایی است که در آن‌ها جستجو از چندین نقطه در فضای جواب آغاز می‌شود (Xia et al., 2013). از تفاوت‌های این الگوریتم با سایر روش‌های بهینه‌سازی می‌توان به این مورد اشاره نمود که در این الگوریتم تنها یک نقطه مورد جستجو قرار نمی‌گیرد، بلکه جمعیتی از نقاط به طور همزمان مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در این پژوهش حداقل نمودن مقدار شاخص RMSE محاسباتی بین خروجی اقلیمی حاصل از ادغام سه مدل و مقادیر مشاهداتی به عنوان تابع هدف برای بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش

ردیف	مدل اقلیمی	مرکز توسعه‌دهنده	قدرت تفکیک مکانی اصلی	قدرت تفکیک مکانی در CORDEX
۱	CCSM4 ^۱	National Center for Atmospheric Research in the United States	۰/۹۴° × ۱/۲۵°	۰/۴۴° × ۰/۴۴°
۲	GFDL-ESM2M ^۲	National Oceanic and Atmospheric Administration	۲/۰۰° × ۲/۵۰°	۰/۴۴° × ۰/۴۴°
۳	CNRM-CM5 ^۳	National Centre for Meteorological Research in France	۱/۴۰° × ۱/۴۰°	۰/۴۴° × ۰/۴۴°

محاسبه آب قابل استحصال از رطوبت هوا

در پژوهش حاضر مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا با استفاده از روابط ۱ و ۲ (علیزاده ۱۳۹۱) محاسبه شده است. همانطور که مشخص است برای محاسبه پتانسیل آب موجود در هوا لازم است تا مقدار رطوبت مطلق محاسبه شود که با استفاده از رابطه ۲ انجام می‌پذیرد.

$$Q_{w-air} = AH \times U \times A \times t \times E \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$AH = P \left(\frac{216.98}{T} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن Q_{w-air} مقدار آب قابل استحصال بر حسب لیتر در روز بر مترمربع، AH رطوبت مطلق بر حسب گرم بر مترمربع، U سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، A واحد سطح بر حسب مترمربع، t زمان بر حسب ثانیه، E کارایی سیستم استحصال آب و مقدار درصد تبدیل آب موجود در هوا به آب، T دمای هوا بر حسب درجه کلوین و P فشار بخار در ایستگاه بر اساس میلی‌بار می‌باشد. از آنجاییکه تمام رطوبت موجود در هوا قابل استحصال نمی‌باشد و میزان آب استحصالی به نوع، جنس و ساختار دستگاه مورد استفاده برای استحصال وابسته است، بنابراین ضریبی با عنوان کارایی سیستم استحصال در معادله فوق در نظر گرفته شده است. در این تحقیق براساس مطالعات گذشته مقدار ۲۰ درصد برای محاسبه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در نظر گرفته شده است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵).

شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده

همانطور که پیش‌تر نیز عنوان شد، در پژوهش حاضر و به منظور توسعه مدل اقلیمی چندگانه، حداقل نمودن شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^4$) به عنوان تابع هدف در فرآیند بهینه‌سازی ضرایب مدل‌های اقلیمی در نظر گرفته شده است. همچنین از شاخص‌های آماری همچون ضریب همبستگی (CC^5)، میانگین انحراف خطا (MBE^6) و بایاس نسبی ($RBIAS^7$) برای ارزیابی عملکرد خروجی‌های اقلیمی استفاده شده است. معادلات مورد استفاده برای هر یک از شاخص‌های فوق و مقدار بهینه آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

1. Community Climate System Model version 4
2. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Models version 2 Modular ocean model
3. Center National for Research Meteorological Climate Model version 5
4. Root Mean Square Error
5. Correlation Coefficient
6. Mean Bias Error
7. Relative Bias

جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده در این پژوهش

شاخص آماری	معادله	مقدار بهینه	مرجع
CC	$\frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(R_i - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2 \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2}}$	۱	(Pearson, 1896)
RMSE	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - R_i)^2}$	صفر	(Hyndman & Koehler, 2006)
RBIAS	$\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - G_i)}{\sum_{i=1}^N (G_i)}$	صفر	(Stanski et al., 1989)
MBE	$\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - G_i)}{N}$	صفر	(Stanski et al., 1989)

که در آن، G_i : مقادیر داده‌های اقلیمی، R_i : مقادیر مشاهداتی، N : تعداد داده‌ها، \bar{G} : متوسط داده‌های اقلیمی، \bar{R} : متوسط مقادیر مشاهداتی.

نتایج

ارزیابی خروجی‌های اقلیمی در شبیه‌سازی متغیرهای جوی موثر بر قابلیت استحصال آب از رطوبت هوا

در این بخش روش‌های مورد مطالعه برای ادغام مدل‌های اقلیمی و توسعه یک مدل چندگانه به منظور تخمین متغیرهای جوی موثر بر مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا نسبت به عملکرد فردی مدل‌های اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شکل‌های ۲ و ۳ نمودار ماتریسی شاخص‌های آماری CC، RMSE، MBE و RBIAS بین مقادیر متغیرهای جوی بدست آمده از مدل‌های اقلیمی و ادغام آن‌ها به روش بهینه‌سازی ضرایب هر مدل و روش وزن‌دهی یکسان، نسبت به مقادیر مشاهداتی برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده در سطح ایستگاه‌های مطالعاتی برای مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد در تخمین رطوبت نسبی هوا، در صورت استفاده از مدل اقلیمی CNRM مقدار CC از ۰/۱۶ تا ۰/۹۰ متغیر است، درحالی‌که مقدار حداقل و حداکثر این شاخص برای مدل GFDL در محدوده ۰/۰۸- تا ۰/۸۸ و در صورت کاربرد مدل CCSM4، ۰/۳۴ تا ۰/۸۹ تخمین زده شده است. همانطور که مشخص است ضعیف‌ترین عملکرد به ایستگاه‌های واقع در شمال محدوده مطالعاتی شامل بندرانزلی، منجیل، آستارا و رشت اختصاص داشته است، بطوریکه در صورت استفاده از هر یک از مدل‌های اقلیمی مورد مطالعه مقدار شاخص همبستگی در ایستگاه‌های مذکور به ۰/۵۵ محدود شده است. به عنوان مثال مقدار شاخص CC برای مدل اقلیمی CNRM در ایستگاه‌های بندرانزلی، منجیل، آستارا و رشت به ترتیب برابر است با ۰/۱۶، ۰/۳۸، ۰/۴۳ و ۰/۴۵؛ همچنین در صورت استفاده از مدل اقلیمی CCSM4 مقدار شاخص همبستگی در ایستگاه‌های مذکور به ترتیب معادل است با ۰/۴۸، ۰/۳۴، ۰/۵۵ و ۰/۴۱. با توجه به نتایج، بیشترین همبستگی در تخمین رطوبت نسبی هوا با مدل‌های اقلیمی در ایستگاه‌های ملایر، آبعلی، خدابنده، اراک و همدان بوده است، به عنوان مثال مقدار ضریب همبستگی بین مدل اقلیمی CNRM و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های فوق به ترتیب معادل با ۰/۹۰، ۰/۸۶، ۰/۸۴، ۰/۸۵ و ۰/۸۵ و برای مدل اقلیمی CCSM4 برابر با ۰/۸۹، ۰/۸۸، ۰/۸۴، ۰/۸۳ و ۰/۸۳ می‌باشد. علاوه بر این، مشخص است که ادغام مدل‌های اقلیمی برای تخمین مقدار رطوبت نسبی هوا منجر به افزایش میزان همبستگی بین داده‌های حاصل از مدل‌های اقلیمی نسبت به مقادیر مشاهداتی شده است که این موضوع بویژه در ایستگاه‌هایی که مدل‌ها به صورت فردی از عملکرد ضعیف‌تری از نظر شاخص همبستگی برخوردار بودند، حائز اهمیت می‌باشد. براساس نتایج مشاهده می‌شود که در صورت کاربرد روش مرسوم وزن‌دهی یکسان برای تلفیق مدل‌های اقلیمی مقدار ضریب همبستگی در سطح

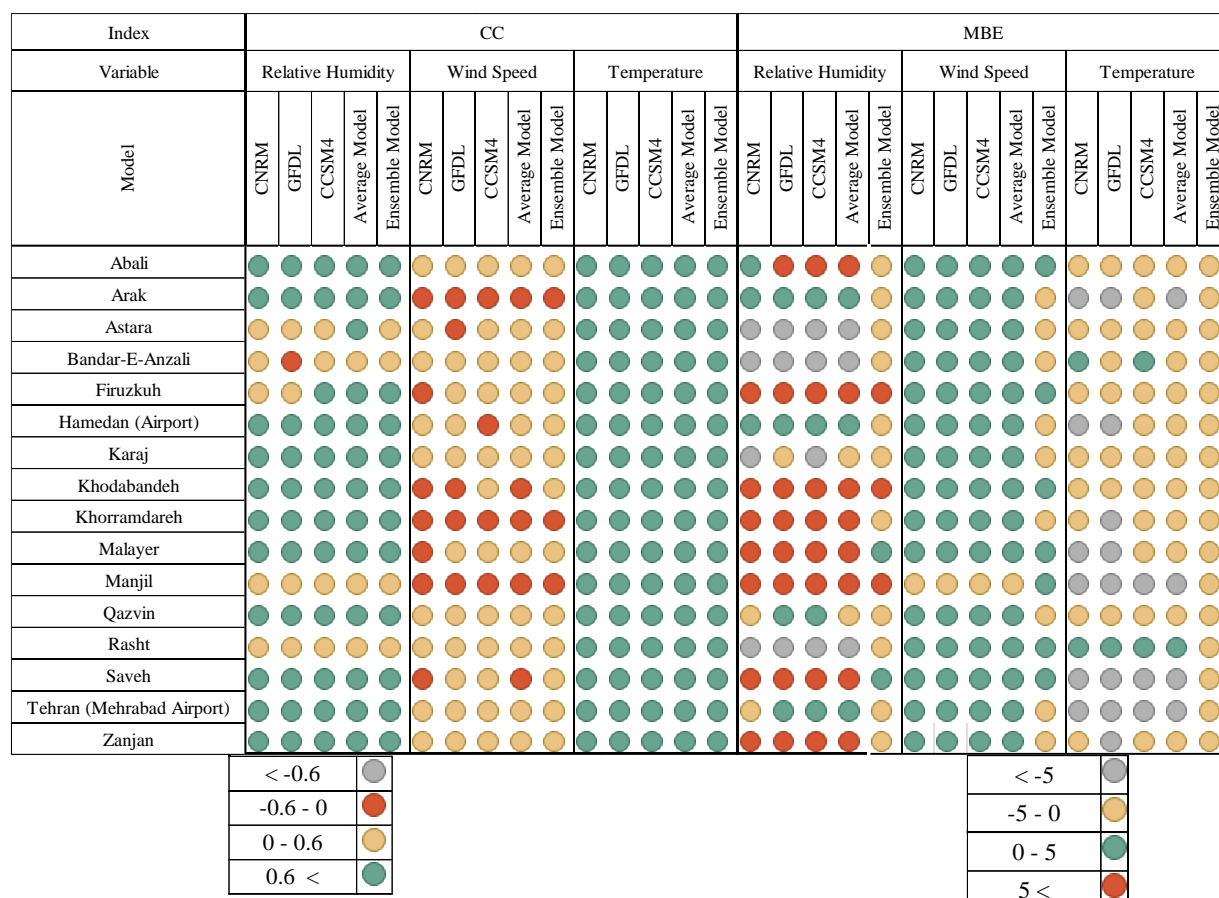


ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه ۰/۳۵ تا ۰/۹۱ و با کاربرد روش بهینه‌سازی ضرایب در بازه ۰/۳۰ تا ۰/۹۲ متغیر می‌باشد. ارزیابی عملکرد خروجی‌های اقلیمی در تخمین سرعت باد حاکی از آن است که به‌طور کلی مدل‌های اقلیمی به صورت فردی از کارایی چندان قابل توجهی در شبیه‌سازی تغییرات ماهانه‌ی مقدار سرعت باد برخوردار نمی‌باشند؛ درحالی‌که در صورت استفاده از تلفیق مدل‌ها می‌توان تاحدودی این عملکرد ضعیف را جبران نمود، به عنوان مثال مقدار متوسط شاخص همبستگی در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه برای مدل‌های اقلیمی GFDL، CNRM و CCSM4 به ترتیب ۰/۰۴، ۰/۰۸ و ۰/۱۰ است که در صورت کاربرد روش وزن‌دهی یکسان برای تلفیق مدل‌ها مقدار شاخص CC برابر است با ۰/۱۰ و بهینه‌سازی ضرایب منجر به افزایش متوسط شاخص همبستگی در سطح ایستگاه‌های مطالعاتی به ۰/۱۵ شده است. ارزیابی نتایج در شبیه‌سازی تغییرات میانگین دمای هوا حاکی از آن است که مدل‌های اقلیمی چه به صورت تکی و چه به صورت ادغام شده از همبستگی خوبی در تخمین دمای ماهانه در طول دوره مورد مطالعه برخوردار می‌باشند، همانطور که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است مقدار ضریب همبستگی در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی به ازای مدل‌های اقلیمی بیش از ۰/۹۳ برآورد شده است، مقدار متوسط شاخص CC برای مدل‌های اقلیمی GFDL، CNRM، CCSM4، مدل‌های ادغام شده به روش‌های وزن‌دهی یکسان و بهینه‌سازی وزن ضرایب هر مدل به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۹۵، ۰/۹۶ و ۰/۹۷ تخمین زده شده است.

ارزیابی نتایج براساس شاخص آماری MBE که نشان‌دهنده میانگین انحراف در داده‌ها است حاکی از آن می‌باشد که در شبیه‌سازی رطوبت نسبی هوا در صورت استفاده از مدل‌های اقلیمی GFDL، CNRM، CCSM4 به صورت منفرد و همچنین ادغام مدل‌ها به روش وزن‌دهی یکسان، میزان اریبی داده‌ها از مقادیر مشاهداتی در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی به غیر از ایستگاه‌های اراک، همدان، تهران و قزوین زیاد است. درحالی‌که در صورت استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی برای تعیین ضریب هر مدل اقلیمی به منظور توسعه مدل اقلیمی چندگانه میزان اریبی در مقادیر درصد رطوبت نسبی نسبت به داده‌های مشاهداتی کاهش داشته است. به عنوان مثال، در ایستگاه‌های آستارا، بندرانزلی و ساوه مقدار شاخص MBE به ازای مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد و همچنین ادغام آن‌ها به روش وزن‌دهی یکسان به ترتیب کمتر از $-۱۶/۶۲$ ، $-۲۲/۴۷$ و بیش از $۱۵/۵۸$ درصد می‌باشد که در صورت بهینه‌سازی ضرایب هر مدل و ادغام آن‌ها با یکدیگر مقدار شاخص MBE برای ایستگاه‌های فوق به ترتیب برابر با $-۰/۴۸$ ، $-۰/۸۵$ و $۳/۸۴$ درصد شده است که حاکی از کاهش قابل توجه مقدار اریبی داده‌های اقلیمی نسبت به مقادیر مشاهداتی است. براساس ارزیابی میزان اریبی داده‌های اقلیمی در تخمین سرعت باد مشخص است که محدوده تغییرات مقدار شاخص MBE برای مدل‌های GFDL، CNRM، CCSM4 به ترتیب $-۲/۰۹$ تا $۱۳/۰۰$ ، $-۰/۵۱$ تا $۳/۳۰$ و $-۰/۳۶$ تا $۳/۵۲$ متر بر ثانیه تخمین زده شده است، درحالی‌که در صورت استفاده از میانگین مدل‌های اقلیمی محدوده تغییرات شاخص فوق برابر با $-۰/۵۶$ تا $۳/۴۷$ متر بر ثانیه و با کاربرد روش بهینه‌سازی ضرایب برای ادغام مدل‌ها بازه تغییرات این شاخص به $-۰/۱۳$ تا $۰/۹۲$ متر بر ثانیه کاهش داشته است. براساس شاخص MBE در شبیه‌سازی تغییرات ماهانه متوسط دمای هوا در بازه مورد مطالعه نیز نشان داده شده است که محدوده تغییرات این شاخص آماری برای مدل چندگانه توسعه یافته بر مبنای ضرایب بهینه شده به $-۴/۶۹$ تا $-۰/۰۴$ کاهش داشته است که نشان از کاهش میزان اریبی داده‌های دما نسبت به مقادیر مشاهداتی در سطح ایستگاه‌های مورد بررسی در طول دوره آماری مورد مطالعه می‌باشد.

همچنین مقدار شاخص‌های RMSE و RBIAS که به ترتیب نشان‌دهنده میزان خطا و بیش‌برآوردی/کم‌برآوردی منابع اقلیمی مورد مطالعه در تخمین متغیرهای جوی است به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس شاخص RMSE مشخص است که بیشترین میزان خطا در شبیه‌سازی رطوبت نسبی هوا توسط مدل‌های اقلیمی در ایستگاه‌های آستارا، بندرانزلی، فیروزکوه، رشت و ساوه بوده است. به عنوان مثال، میزان شاخص خطا در ایستگاه‌های فوق به ترتیب برابر است با $۱۸/۶۱$ ، $۲۹/۵۷$ ، $۱۹/۳۹$ ، $۲۶/۵۳$ و $۱۶/۷۴$ درصد. با توجه به نتایج می‌توان چنین عنوان نمود که در صورت استفاده از مدل ترکیبی بهینه می‌توان به میزان قابل توجهی از خطای مدل‌های اقلیمی در تخمین رطوبت نسبی هوا کاست. همانطور که مشخص است با استفاده از مدل ترکیبی بهینه، مقدار ضریب RMSE در ایستگاه‌های مطالعاتی به $۹/۹۷$ درصد محدود شده است؛ درحالی‌که مقدار این شاخص در شبیه‌سازی رطوبت نسبی هوا توسط مدل اقلیمی CNRM از $۱۰/۵۰$ تا $۲۹/۵۷$ درصد متغیر است، همچنین محدوده تغییرات این شاخص برای مدل‌های GFDL و CCSM4 به ترتیب برابر است با $۸/۷۸$ تا $۲۴/۴۵$ درصد و $۱۴/۷۷$ تا $۳۸/۴۶$ درصد. علاوه بر این استفاده از روش میانگین‌گیری مرسوم برای ادغام مدل‌های اقلیمی از تاثیر قابل توجهی بر کاهش خطا برخوردار نبوده است. بررسی نتایج حاکی از بزرگ بودن محدوده تغییرات شاخص‌های آماری در شبیه‌سازی رطوبت نسبی نسبت به دما و سرعت باد است که می‌تواند نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر خروجی‌های اقلیمی در شبیه‌سازی این متغیر جوی باشد. از دلایل آن می‌توان به حساسیت بیشتر در تخمین رطوبت نسبی اشاره نمود، زیرا تغییرات رطوبت نسبی

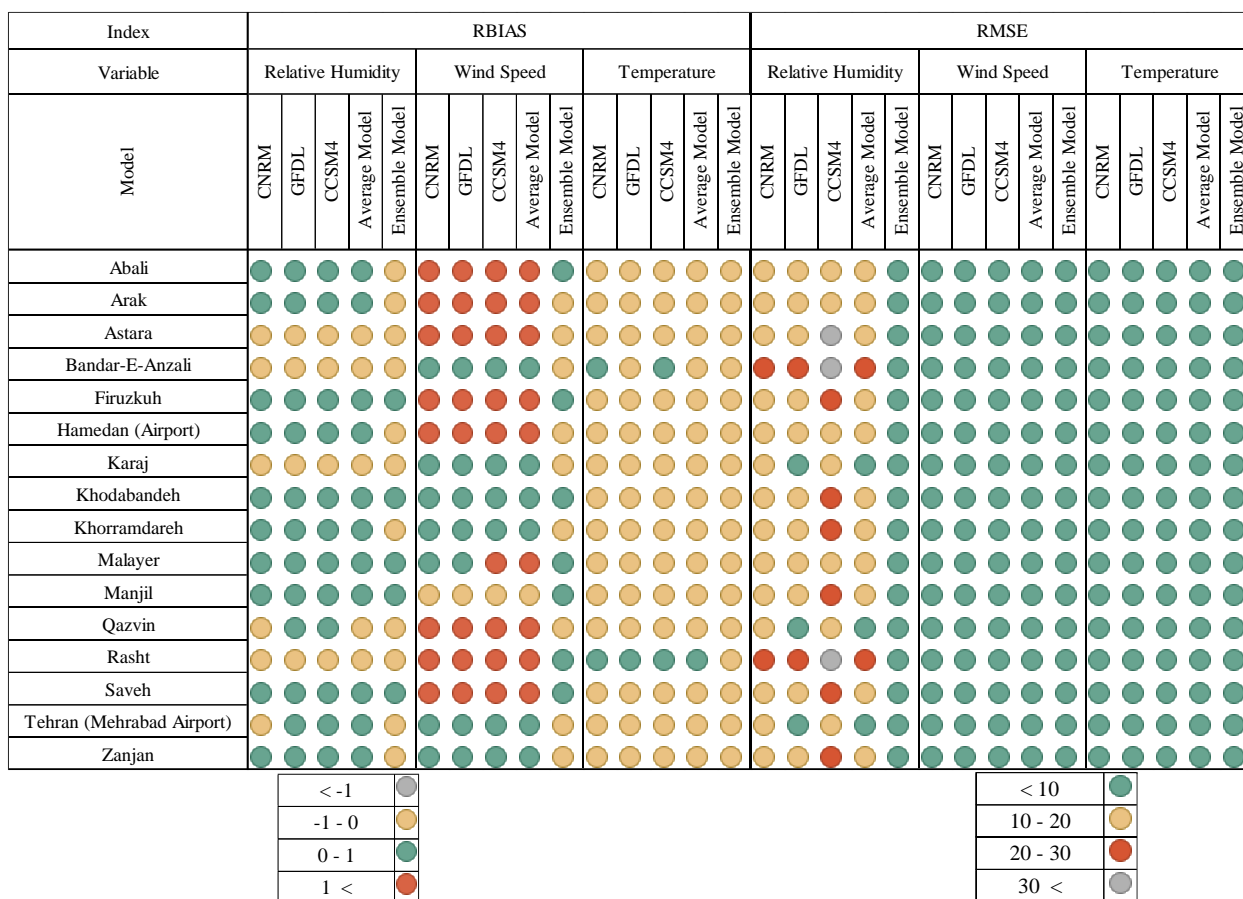
تحت تاثیر تغییرات دما و همچنین تغییرات نقطه شبنم قرار دارد. در همین رابطه Dunn et al. (2017) نشان دادند که تغییرپذیری مقادیر رطوبت نسبی شبیه‌سازی توسط مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم تغییر اقلیم بیش از دما و رطوبت مطلق می‌باشد.



شکل ۲. نمودار ماتریسی شاخص‌های CC و MBE در شبیه‌سازی متغیرهای جوی رطوبت هوا، سرعت باد و میانگین دمای هوا

ارزیابی نتایج در تخمین سرعت باد نیز گویای این مطلب است که مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد و همچنین ادغام آن‌ها به روش میانگین‌گیری از کارایی مناسبی برای تخمین این متغیر جوی برخوردار نبوده است؛ میراکبری و همکاران (2018) ضمن ارزیابی عملکرد سری CMIP5 در شبیه‌سازی تغییرات متغیرهای اقلیمی شامل بارش، دمای متوسط و سرعت باد در استان یزد نشان دادند که مدل اقلیمی مورد استفاده با برخورداری از ضریب همبستگی کمتر از ۰/۳۰ دارای کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی تغییرات بارندگی و سرعت باد نمی‌باشد. درحالی‌که استفاده از روش بهینه‌سازی برای ادغام مدل‌های اقلیمی می‌تواند با کاهش قابل توجه در میزان شاخص خطای RMSE همراه باشد. به عنوان مثال، در ایستگاه اراک مقدار RMSE در صورت استفاده از مدل‌های اقلیمی CNRM، GFDL، CCSM4 و میانگین مدل‌ها به ترتیب برابر است با ۳/۵۱، ۳/۶۹، ۳/۷۳ و ۳/۵۸ متر بر ثانیه، درحالی‌که با بهینه‌سازی ضرایب هر مدل و ادغام آن‌ها با یکدیگر مقدار خطا به ۰/۶۷ متر بر ثانیه کاهش یافته است. بنابراین ادغام مدل‌های اقلیمی و نوع روش مورد استفاده برای ادغام آن‌ها از تاثیر قابل توجهی در شبیه‌سازی تغییرات ماهانه سرعت باد در دوره آماری مورد مطالعه برخوردار بوده است. در تخمین میانگین دمای هوا مشخص است که در صورت استفاده از مدل‌های اقلیمی میزان بیشینه خطا در ایستگاه‌های مطالعاتی به ترتیب به ۹/۲۹، ۹/۶۱ و ۸/۶۱ درجه سانتی‌گراد است. درحالی‌که با کاربرد مدل‌های اقلیمی چندگانه بر مبنای میانگین‌گیری و بهینه‌سازی ضرایب، شاخص RMSE به ترتیب به ۹/۰۰ و ۷/۸۰ درجه سانتی‌گراد محدود شده است. همچنین بررسی مقدار شاخص RBIAS حاکی از آن است که عملکرد مدل‌های اقلیمی در بین سه متغیر جوی مطالعاتی در شبیه‌سازی سرعت باد دارای بیش‌برآورد نسبت به مقادیر مشاهداتی است (بیشینه شاخص RBIAS = ۲/۸۴ متر بر ثانیه)، درحالی‌که بیشینه RBIAS در تخمین رطوبت نسبی هوا و میانگین دمای هوا به ترتیب به ۰/۶۲ درصد و ۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد محدود شده است که قابل قبول ارزیابی می‌گردد. با توجه به شکل ۳ مشخص است که بهینه‌سازی ضرایب هر مدل اقلیمی و توسعه مدل چندگانه منجر به کاهش قابل توجهی در انحراف از مقادیر مشاهداتی توسط این منابع در شبیه‌سازی سرعت باد شده است. به عنوان مثال، مقدار بیشینه RBIAS به ازای کاربرد مدل‌های اقلیمی CNRM، GFDL، CCSM4 و مدل چندگانه‌ی مبتنی بر میانگین‌گیری به ترتیب برابر است با ۲/۷۸، ۲/۸۴، ۲/۵۷ و ۲/۵۰ متر

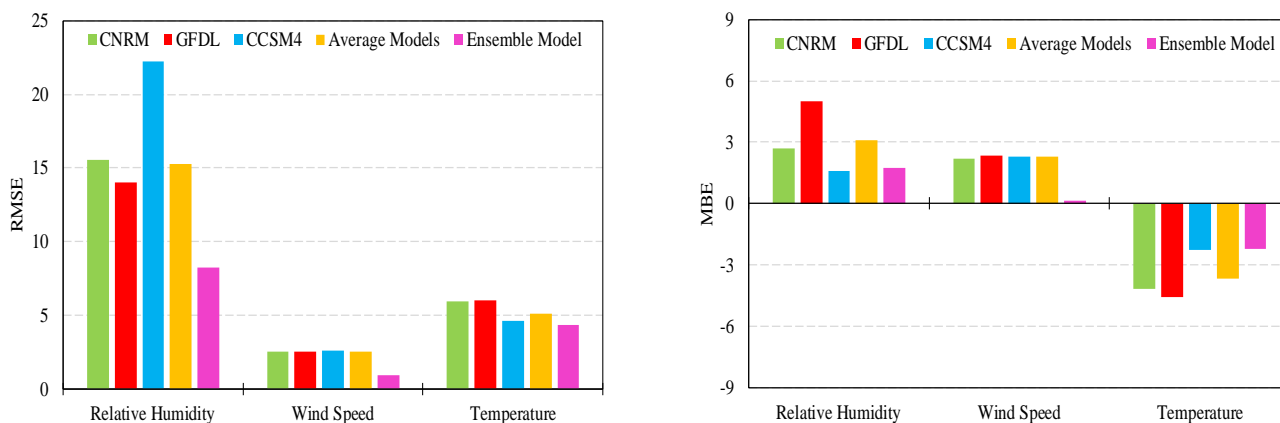
بر ثانیه، درحالیکه بهینه‌سازی ضرایب سبب کاهش شاخص به $۰/۲۳$ متر بر ثانیه شده است که با نتیجه مطالعه Mohan & Bhaskaran (2019) همخوانی دارد. این محققین نیز با ارزیابی عملکرد ۳۵ مدل GCM از گزارش پنجم تغییر اقلیم به صورت منفرد و توسعه مدلی چندگانه در شبیه‌سازی سرعت باد نشان دادند که مقادیر سرعت باد مدل چندگانه با بهبود چشمگیری نسبت به مدل‌های منفرد همراه بوده است و مدل چندگانه اقلیمی توانسته است به خوبی محدوده تغییرات سرعت باد در منطقه را شبیه‌سازی نماید.



شکل ۳. نمودار ماتریسی شاخص‌های RMSE و RBIAS در شبیه‌سازی متغیرهای جوی رطوبت هوا، سرعت باد و میانگین دمای هوا

علاوه بر بررسی مقدار شاخص‌های آماری به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه، در این بخش به ارزیابی تغییرات مقدار متوسط شاخص‌های RMSE و MBE در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شده است (شکل ۴). طبق نتایج بدست آمده براساس مقدار متوسط شاخص RMSE در سطح ایستگاه‌های مطالعاتی کاربرد مدل‌های اقلیمی CNRM، GFDL، CCSM4 به صورت منفرد عملکرد ضعیفی در تخمین متغیرهای جوی شامل: رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای هوا داشته‌اند، همچنین میانگین‌گیری از مدل‌های اقلیمی با افزایش عملکرد این مدل‌ها همراه نبوده است. درحالیکه مدل ترکیبی بهینه منجر به کاهش قابل توجهی در مقدار متوسط شاخص خطا در محدوده مطالعاتی شده است. همانطور که مشخص است بیشترین و کمترین میزان کاهش خطا نیز در شبیه‌سازی مقدار سرعت باد و میانگین دمای هوا بوده است. به عنوان مثال، مدل ترکیبی بهینه منجر به کاهش $۶۰/۱$ ، $۵۸/۷$ ، $۶۰/۹$ و $۵۹/۷$ درصدی در مقدار شاخص خطا RMSE نسبت به بکارگیری مدل‌های CNRM، GFDL، CCSM4 به صورت منفرد و روش میانگین‌گیری در شبیه‌سازی سرعت باد شده است. درحالیکه در شبیه‌سازی میانگین دمای هوا میزان کاهش شاخص نسبت به مدل‌های مذکور به ترتیب برابر است با $۲۵/۷$ ، $۲۶/۹$ ، $۶/۴۱$ و $۱۵/۲$ درصد. بررسی شاخص آماری MBE نیز حاکی از آن است که بیشترین تاثیر در افزایش عملکرد خروجی مدل ترکیبی بهینه در تخمین سرعت باد می‌باشد، بطوریکه میزان کاهش اریبی نسبت به داده‌های مشاهداتی نسبت به بکارگیری مدل‌های CNRM، GFDL، CCSM4 و روش میانگین‌گیری مرسوم به ترتیب معادل است با $۹۳/۰۴$ ، $۹۳/۵۳$ ، $۹۳/۴۹$ و $۹۳/۳۳$ درصد. همچنین علی‌رغم بالا بودن میزان اریبی و خطای مدل‌های اقلیمی نسبت به مقادیر مشاهداتی رطوبت هوا، همانگونه که مشاهده می‌شود توسعه مدل ترکیبی با افزایش قابل توجه کارایی این منابع در تخمین رطوبت نسبی هوا همراه بوده است (متوسط $RMSE = ۸/۲۵$ درصد، متوسط $MBE = ۲/۱۷$

درصد) که می‌تواند برای انجام بررسی‌ها و مطالعات در زمینه تغییرات این متغیر جوی و سایر موارد تحت تاثیر رطوبت نسبی هوا همچون پتانسیل استحصال رطوبت هوا تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در آینده حائز اهمیت باشد. بطور کلی می‌توان چنین عنوان نمود که ادغام مدل‌های اقلیمی می‌تواند از تاثیر مثبتی بر افزایش کارایی خروجی‌های اقلیمی بویژه در بازتولید متغیرهای جوی همچون رطوبت نسبی هوا و سرعت باد (معمولا مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد دارای عملکرد ضعیفی در شبیه‌سازی این متغیرها می‌باشند) برخوردار باشد.



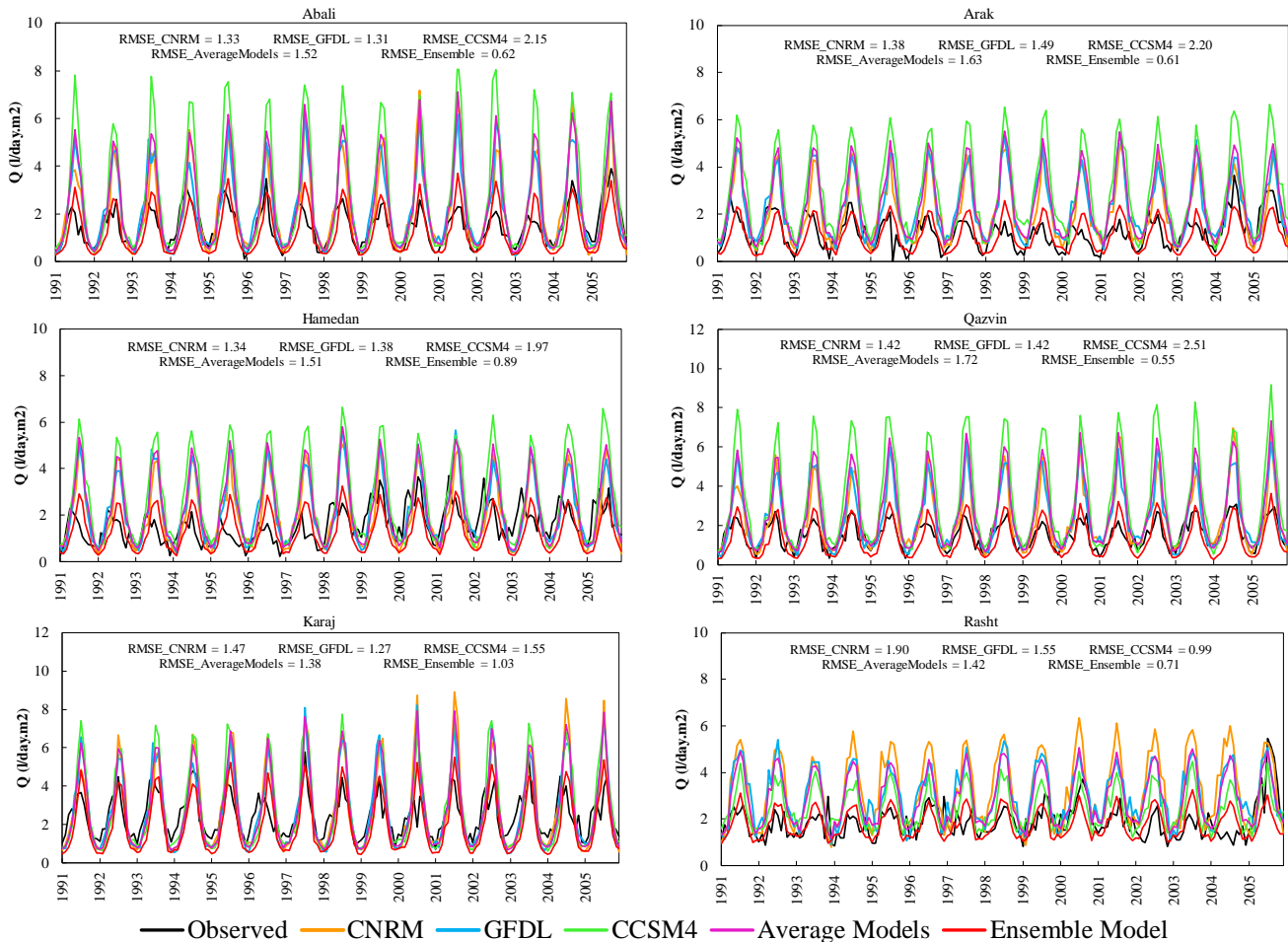
شکل ۴. تغییرات متوسط شاخص‌های RMSE و MBE برای شبیه‌سازی متغیرهای جوی رطوبت هوا، سرعت باد و میانگین دمای هوا

ارزیابی عملکرد خروجی‌های اقلیمی در تخمین مقدار آب قابل استحصال

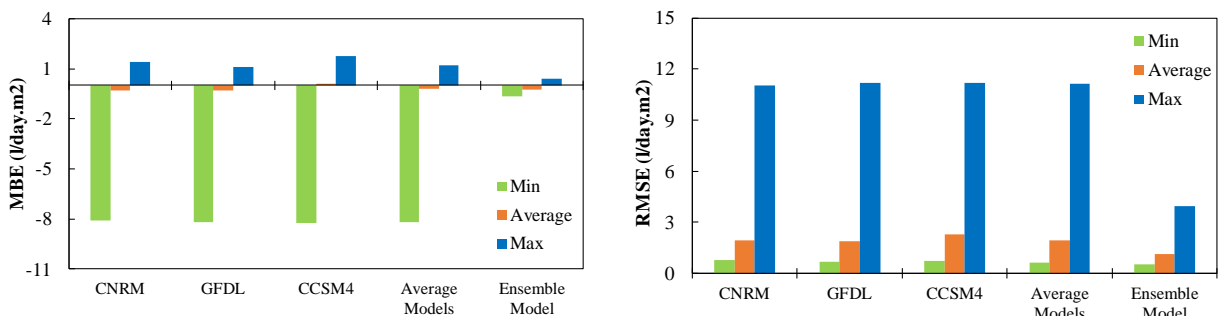
در این بخش به ارزیابی خروجی‌های اقلیمی در تخمین مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا پرداخته شده است. در شکل ۵ سری زمانی ماهانه مقدار آب قابل استحصال برای تعدادی از ایستگاه‌های مطالعاتی ارائه شد. با توجه به تعداد بالای ایستگاه‌های مورد مطالعه از ارائه سری زمانی آب قابل استحصال همه ایستگاه‌ها خودداری گردید و به ارائه نتایج مربوط به ۶ ایستگاه (شامل: ایستگاه‌های ابعلی، اراک، همدان، قزوین، کرج و رشت) اکتفا شده است. بطور کلی نتایج حاکی از آن است که کاربرد هر یک از مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد با بیش‌برآورد در تخمین مقدار آب قابل استحصال همراه می‌باشند. همانطور که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است این بیش‌برآورد در ماه‌هایی که دارای بیشترین پتانسیل برای استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشند، بسیار قابل توجه است. براساس نتایج مشخص است که ضعیف‌ترین عملکرد در بین مدل‌های اقلیمی به مدل CCSM4 اختصاص دارد. از دلایل این مورد می‌توان به بیش‌برآورد در تخمین سرعت باد توسط مدل‌های اقلیمی اشاره نمود؛ با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که کاربرد مدل ترکیبی بهینه با توجه به افزایش کارایی خروجی‌های اقلیمی در شبیه‌سازی سرعت باد، منجر به بهبود چشم‌گیری در عملکرد خروجی‌های اقلیمی در تخمین میزان آب قابل استحصال از رطوبت هوا نیز شده است. به عنوان مثال، در ایستگاه ابعلی مقدار شاخص خطای RMSE برای مدل‌های اقلیمی CNRM، GFDL، CCSM4 و میانگین مدل‌ها به ترتیب برابر است با ۱/۳۳، ۱/۳۱، ۲/۱۵ و ۱/۵۲، درحالی‌که کاربرد مدل ترکیبی بهینه منجر به کاهش مقدار RMSE به ۰/۶۲ شده است. همچنین در ایستگاه رشت مقدار شاخص خطای RMSE به ازای مدل‌های فوق معادل است با ۱/۹۰، ۱/۵۵، ۰/۹۹ و ۱/۴۲ که در صورت استفاده از مدل ترکیبی بهینه مقدار شاخص خطای RMSE به ۰/۷۱ کاهش یافته است. بنابراین توصیه می‌شود در مطالعاتی که هدف از آن‌ها بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر شرایط استحصال آب از رطوبت هوا است از مدل چندگانه اقلیمی که ضرایب هر مدل مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است (مدل ترکیبی بهینه)، استفاده گردد تا بتوان دید مناسب‌تری از قابلیت استحصال آب از رطوبت هوا در منطقه حاصل نمود.

محدوده تغییرات و میانگین شاخص‌های آماری RMSE و MBE برای مقدار آب قابل استحصال محاسباتی به ازای مدل‌های مختلف اقلیمی نسبت به مقادیر مشاهداتی در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از روش بهینه‌سازی ضرایب برای ادغام مدل‌های اقلیمی با کاهش قابل توجهی در محدوده تغییرات شاخص‌های آماری همراه بوده است، بطوریکه مقدار بیشینه و کمینه هر یک از شاخص‌های خطای مورد مطالعه کاهش یافته است. براساس نتایج در صورت استفاده از مدل ترکیبی بهینه برای محاسبه میزان آب قابل استحصال از رطوبت هوا میزان کمینه شاخص MBE به ترتیب در حدود ۹۱/۶۵، ۹۱/۷۴، ۹۱/۷۸ و ۹۱/۷۳ درصد نسبت به کاربرد مدل‌های اقلیمی CNRM، GFDL، CCSM4 و میانگین مدل‌ها کاهش داشته است. همچنین مقدار کاهش در بیشینه شاخص RMSE به ترتیب معادل است با ۶۴/۲۹، ۶۴/۸۰، ۶۴/۸۲ و ۶۴/۶۲ درصد. نکته حائز اهمیت عدم بهبود قابل توجه در کارایی خروجی‌های اقلیمی

در صورت استفاده از میانگین آن‌ها (روش مرسوم وزن‌دهی یکسان) می‌باشد، بنابراین استفاده از روش میانگین‌گیری با هدف کاهش خطا و اریبی خروجی‌های اقلیمی توصیه نمی‌شود.



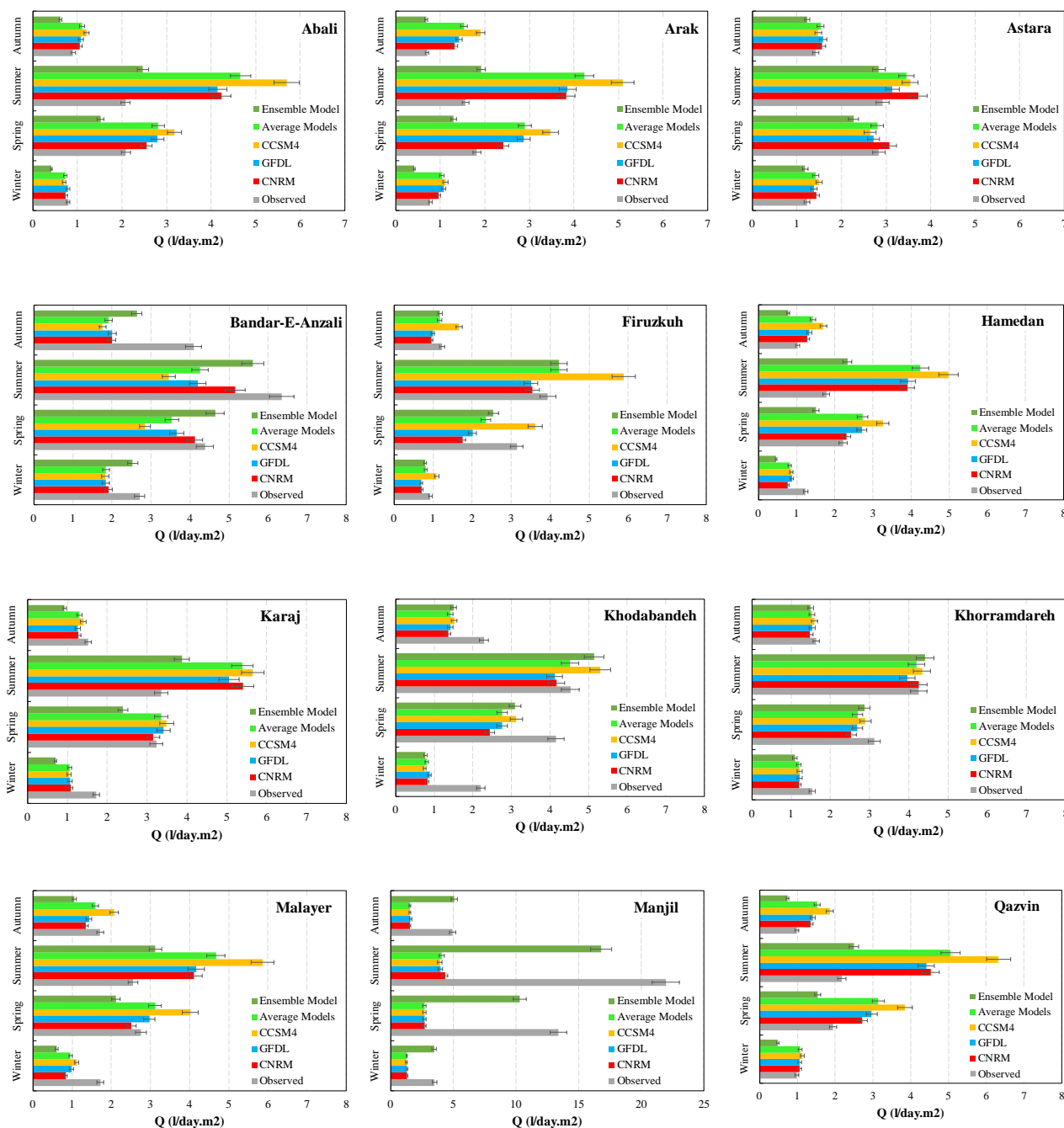
شکل ۵. سری زمانی ماهانه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا



شکل ۶. حداقل، میانگین و حداکثر شاخص‌های آماری RMSE و MBE در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه در تخمین مقدار آب قابل استحصال

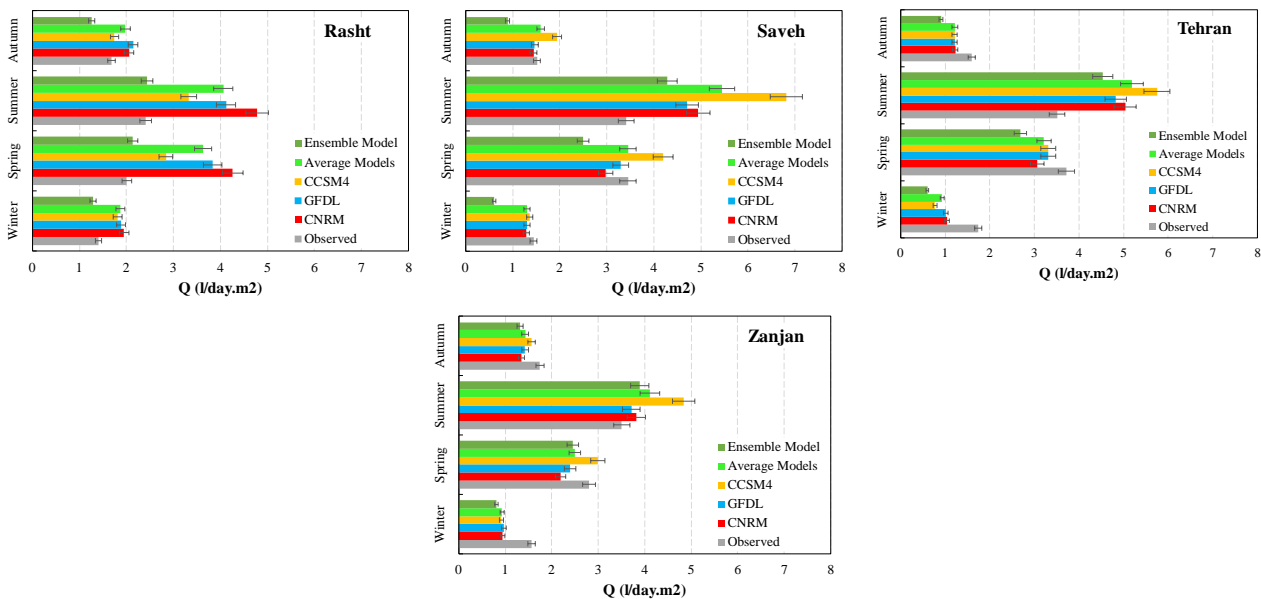
برای بررسی دقیق‌تر عملکرد خروجی‌های اقلیمی در تخمین مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا، در این تحقیق به تغییرات فصلی آن پرداخته شده است که نتایج حاصل در شکل ۷ ارائه شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در شبیه‌سازی تغییرات فصلی نیز مدل ترکیبی بهینه از عملکردی مشابه با داده‌های مشاهداتی برخوردار است. درحالی‌که مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد و همچنین میانگین مدل‌ها با بیش‌برآورد در تخمین متوسط مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا همراه می‌باشند. با توجه به نتایج مشخص است

که فصل تابستان و زمستان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین پتانسیل برای استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشد. با توجه به کم بودن میزان رطوبت نسبی و مطلق در فصل زمستان، پتانسیل استحصال آب در این فصل نیز در حداقل مقدار قرار دارد. همانطور که مشخص است در ایستگاه‌های منجیل و بندرانزلی متوسط آب استحصال از رطوبت هوا براساس داده‌های مشاهداتی در فصل تابستان به ترتیب ۲۱/۹۷ و ۶/۳۵ لیتر در روز در مترمربع تخمین زده شده است. با توجه به وزش باد مداوم در منجیل، دامنه تغییرات کم در دمای هوا و همچنین رطوبت بالای منطقه این دو ایستگاه مستعدتر از سایر نقاط برای استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشند. درحالی‌که ایستگاه‌های اراک و همدان از کمترین پتانسیل برای استحصال آب از رطوبت هوا برخوردار می‌باشند، متوسط آب قابل استحصال از رطوبت هوا در فصل تابستان برای ایستگاه‌های مذکور ۱/۵۶ و ۱/۷۸ لیتر در روز در مترمربع برآورد شده است.



شکل ۷. تغییرات ماهانه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای مدل‌های اقلیمی و ادغام آن‌ها به روش‌های

Ensemble و Average



ادامه شکل ۷. تغییرات ماهانه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای مدل‌های اقلیمی و ادغام آن‌ها به روش‌های Ensemble و Average

نتیجه‌گیری

استحصال آب از رطوبت هوا به عنوان یک روش نوین و مبتکرانه برای تأمین منابع آب در مناطق کم‌آب و خشک‌سالی دارای اهمیت است. این روش می‌تواند به عنوان یک راهکار برای آبیاری اراضی کشاورزی در روستاها و مناطق با کمبود منابع آب طبیعی بکار برده شود. با توجه به وابستگی شرایط استحصالی آب از رطوبت هوا به تغییر متغیرهای جوی، تغییرات اقلیمی می‌تواند از تأثیرات چشم‌گیری بر پتانسیل آب قابل استحصال از رطوبت هوا برخوردار باشد. ولی متأسفانه عمده مطالعات اقلیمی تاکنون بر بررسی تغییرات دما و بارش متمرکز بوده‌اند، درحالی‌که سایر متغیرهای جوی همچون سرعت باد و رطوبت هوا ابزار بسیار مهمی برای درک تغییرات آب و هوایی و تأثیرات آن بر پتانسیل استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشند. پژوهش حاضر با هدف بررسی عملکرد مدل‌های اقلیمی CMIP5 در شبیه‌سازی متغیرهای جوی شامل میانگین دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد و میزان آب قابل استحصال از رطوبت هوا انجام شده است. علاوه بر این، از دیگر اهداف این پژوهش ارزیابی کارایی الگوریتم بهینه‌سازی در برابر روش مرسوم وزن‌دهی یکسان برای توسعه مدل چندگانه اقلیمی و محاسبه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا است. نتایج حاکی از آن است روش بهینه‌سازی ضرایب، روشی کارآمد برای تخمین مقدار بهینه ضرایب مدل‌ها با هدف توسعه مدل چندگانه اقلیمی است و در صورت کاربرد این روش می‌توان میزان خطا در شبیه‌سازی تغییرات متغیرهای دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا را نسبت به استفاده از مدل‌های اقلیمی به صورت منفرد کاهش داد. یافته‌های پژوهش در رابطه با مقدار آب قابل استحصال محاسباتی نشان داد که علی‌رغم عملکرد ضعیف مدل‌های اقلیمی و همچنین مدل چندگانه در شبیه‌سازی سرعت باد، کاربرد الگوریتم ژنتیک، ابزار ارزشمندی برای بررسی تغییرات پتانسیل استحصال آب از رطوبت هوا تحت تأثیر تغییرات اقلیمی به شمار می‌رود. همچنین بررسی تغییرات مکانی و در مقیاس ماهانه پتانسیل استحصال آب از رطوبت هوا در محدوده مطالعاتی نشان داد که ایستگاه‌های منجیل و بندرانزلی از جمله مکان‌های مستعد برای بکارگیری طرح‌های استحصال آب از رطوبت هوا به شمار می‌روند. همچنین فصل تابستان از پتانسیل بیشتری برای تأمین آب از رطوبت هوا برخوردار است، با توجه به اینکه فصل تابستان در این مناطق به عنوان فصلی برای رشد گیاهان و فعالیت‌های کشاورزی به شمار می‌رود، بنابراین بکارگیری روش‌های استحصال آب از رطوبت هوا می‌تواند حائز اهمیت بوده و بخشی از نیاز کشاورزی را در مناطق مذکور تأمین نماید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

حسین‌آبادی، سعیده؛ یعقوب‌زاده، مصطفی؛ امیرآبادی‌زاده، مهدی و فروزان‌مهر، مهدیه. (۱۳۹۹). ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در دوره‌های آبی به

- کمک داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه‌ی موردی: شهرستان‌های زابل و شیراز). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۱(۴۰)، ۷۸-۸۷. علیزاده، امین (۱۳۹۱). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. چاپ بیست و هشتم. مشهد: مؤسسه انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- کریم‌پورریحان، مجید؛ علیزاده، مطهره و کمالیان، صادق. (۱۳۹۵). تعیین مکان مناسب جهت انجام پروژه‌های استحصال آب از رطوبت هوا در استان بوشهر با استفاده از GIS. *فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۶(۲۵)، ۴۳-۵۱.
- محمودی، پیمان؛ خواجه‌امیری‌خالدی، چکاوک و سالاری‌فنودی، محمدرضا. (۱۳۹۵). مطالعه امکان سنجی استحصال آب از رطوبت هوا در جنوب استان سیستان و بلوچستان. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۲)، ۲۶۵-۲۵۳.
- میراکبری، مریم؛ مصباح‌زاده، طیبه؛ محسنی‌سارودی، محسن؛ خسروی، حسن و مرتضایی‌فریزه‌ندی، قاسم. (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه موردی: استان یزد). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۳)، ۶۰۹-۵۹۳.
- یوسفی، باقر و برومندنسب، سعید. (۱۳۹۴). شوردزایی با استفاده از سیستم آبیاری چگالشی، مطالعه موردی: مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز. *مجله آب و فاضلاب*، ۲۶(۳)، ۱۳۳-۱۲۷.

REFERENCES

- Ahmed, K., Sachindra, D. A., Shahid, S., Iqbal, Z., Nawaz, N., & Khan, N. (2020). Multi-model ensemble predictions of precipitation and temperature using machine learning algorithms. *Atmospheric Research*, 236, 104806. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104806>.
- Alizadeh, A. (2010). *Principle of Applied Hydrology*. Emam Reza University Press. (In Persian).
- Bisht, D. S., Sridhar, V., Mishra, A., Chatterjee, C., & Raghuvanshi, N. S. (2019). Drought characterization over India under projected climate scenario. *International Journal of Climatology*, 39(4), 1889–1911. <https://doi.org/10.1002/joc.5922>.
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W. T., Laprise, R., MagañaRueda, V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., & Whetton, P. (2007). Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Das, S., Das, J., & V.Nanduri, U. (2021). Identification of Future Meteorological Drought Hotspots over Indian Region: A Study Based on NEX-GDDP Data. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.7145>.
- Dunn, R. J. H., Willett, K. M., Ciavarella, A., & Stott, P. A. (2017). Comparison of land surface humidity between observations and CMIP5 models. *Earth System Dynamics*, 8(3), 719–747. <https://doi.org/10.5194/esd-8-719-2017>.
- Gaitán, E., Monjo, R., Pórtoles, J., & Pino-Otín, M. R. (2020). Impact of climate change on drought in Aragon (NE Spain). *Science of the Total Environment*, 740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140094>.
- Giorgi, F., & Gutowski, W. J. (2016). Coordinated experiments for projections of regional climate change. *Current Climate Change Reports*, 2, 202–210.
- Haile, G. G., Tang, Q., Hosseini-Moghari, S. M., Liu, X., Gebremicael, T. G., Leng, G., Kebede, A., Xu, X., & Yun, X. (2020). Projected Impacts of Climate Change on Drought Patterns Over East Africa. *Earth's Future*, 8(7), 1–23. <https://doi.org/10.1029/2020EF001502>.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptations in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press.
- Hosseinabadi, S., Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., & Foroozanmehr, M. (2020). Meteorological Drought Assessment in Future Periods by Using of the Data of the Fifth Report of Climate Change (Case Study: Zabol and Shiraz Cities). *Journal of Arid Regions Geographics Studies*, 10(40), 78–87. (In Persian).
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688.
- IPCC. (2013). Climate change 2013: The physical science basis IPCC working group I contribution to AR5. Retrieved October 18, 2018. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- Jain, S., Salunke, P., Mishra, S. K., & Sahany, S. (2019). Performance of CMIP5 models in the simulation of Indian summer monsoon. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1429–1447. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2674-3>.
- Jiang, R., Liang, J., Zhao, Y., Wang, H., Xie, J., Lu, X., & Li, F. (2021). Assessment of vegetation growth and drought conditions using satellite-based vegetation health indices in Jing-Jin-Ji region of China. *Scientific Reports*, 11(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93328-z>.
- KarimpourReihan, M., Alizadeh, M., & Kamalian, S. (2016). Selection of suitable sites for water harvesting from air humidity in Bushehr province using GIS. *Quarterly of Geography & Regional Planning*, 6(25),



43–51. (In Persian).

- Khan, J. U., Islam, A. K. M. S., Das, M. K., Mohammed, K., Bala, S. K., & Islam, G. M. T. (2020). Future changes in meteorological drought characteristics over Bangladesh projected by the CMIP5 multi-model ensemble. *Climatic Change*, 162(2), 667–685. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02832-0>.
- Kharuk, V. I., Ranson, K. J., & Dvinskaya, M. L. (2007). Evidence of evergreen conifer invasion into larch dominated forests during recent decades in central Siberia. *Eurasian Journal of Forest Research*, 10(2), 163–171. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/2115/30308>.
- Koochi, S., & Ramezani Etedali, H. (2022). Future meteorological drought conditions of southwestern Iran based on the NEX-GDDP climate dataset. *Journal of Arid Land*.
- Mahmoudi, P., KhajehAmiriKhaledi, C., & SalariFanodi, M. R. (2016). Examining the feasibility of water harvesting from air humidity in the Southern province of Sistan and Baluchestan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(2), 253-263. <https://doi.org/10.22069/JWFST.2016.3067>. (In Persian).
- Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., MohseniSaravi, M., Khosravi, H., & MortezaieFarizhendi, G. (2018). Performance of Series Model CMIP5 in Simulation and Projection of Climatic Variables of Rainfall, Temperature and Wind Speed (Case Study: Yazd). *Physical Geography Research Quarterly*, 50(3), 593–609. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2018.248177.1007156>. (In Persian).
- Mohan, S., & Bhaskaran, P. K. (2019). Evaluation of CMIP5 climate model projections for surface wind speed over the Indian Ocean region. *Climate Dynamics*, 53(9–10), 5415–5435. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04874-2>.
- Pearson, K. (1896). Mathematical Contributions to the Theory of Evolution.–On a Form of Spurious Correlation Which May Arise When Indices Are Used in the Measurement of Organs. *Proceedings of the Royal Society of London*, 60, 489–498.
- Raghavan, S. V., Liu, J., Nguyen, N. S., Vu, M. T., & Liang, S. Y. (2018). Assessment of CMIP5 historical simulations of rainfall over Southeast Asia. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(3–4), 989–1002. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2111-z>.
- Rathore, P., Roy, A., & Karnatak, H. (2019). Modelling the vulnerability of *Taxus wallichiana* to climate change scenarios in South East Asia. *Ecological Indicators*, 102(November 2017), 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.020>
- Shagega, F. P., Munishi, S. E., & Kongo, V. M. (2019). Prediction of future climate in Ngerengere river catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 112, 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.12.002>
- Shen, M.-L., Keenlyside, N., Selten, F., Wiegnerinck, W., & Duane, G. S. (2016). Dynamically combining climate models to “supermodel” the tropical Pacific. *Geophysical Research Letters*, 43, 359–366. <https://doi.org/10.1002/2015GL066562>
- Sood, A., & Smakhtin, V. (2015). Global hydrological models: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 60(4), 549–565. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.950580>
- Stanski, H. R., Wilson, L. J., & Burrows, W. R. (1989). *Survey of Common Verification Methods in Meteorology* (2nd ed.). World Meteorological Organization.
- Su, B., Jian, D., Li, X., Wang, Y., Wang, A., Wen, S., Tao, H., & Hartmann, H. (2017). Projection of actual evapotranspiration using the COSMO-CLM regional climate model under global warming scenarios of 1.5° C and 2.0° C in the Tarim River basin, China. *Atmospheric Research*, 196, 119–128.
- Swain, S., & Hayhoe, K. (2015). CMIP5 projected changes in spring and summer drought and wet conditions over North America. *Climate Dynamics*, 44(9–10), 2737–2750. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2255-9>
- Wang, B., Zheng, L., Liu, D. L., Ji, F., Clark, A., & Yu, Q. (2018). Using multi-model ensembles of CMIP5 global climate models to reproduce observed monthly rainfall and temperature with machine learning methods in Australia. *International Journal of Climatology*, 38(13), 4891–4902. <https://doi.org/10.1002/joc.5705>
- Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V. K., & Pulwarty, R. (2014). Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes*, 3(March 2013), 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.01.002>
- Yousefi, B., & BoroomandNasab, S. (2015). Desalination Using the Condensation Irrigation System, A Case Study of the Research Farm of Shahid Chamran University of Ahvaz. *Water and Wastewater Consulting Engineers*, 26(3), 127–133. (In Persian).
- Zhang, S., Chen, F., He, X., & Liu, B. (2017). A new downscaling approach and its performance with bias correction and spatial disaggregation as contrast. *Journal of Water and Climate Change*, 8(4), 675–690. <https://doi.org/10.2166/wcc.2017.010>

Evaluation of Ensemble Climate Model development methods based on CMIP5 to investigate the potential of water harvesting from air humidity

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The efficient utilization of GCMs for simulating atmospheric variables holds crucial significance in water resources planning. The combination of multiple climate models can present an avenue to mitigate the inherent uncertainties associated with these models. However, a pivotal concern revolves around the combination and weighting methodologies for each model within this context. Simultaneously, exploring novel water sources such as air humidity extraction emerges as a viable strategy to mitigate the adverse impacts of water scarcity and drought, especially in arid and semi-arid regions. Notably, alterations in atmospheric variables like air humidity, wind speed, and temperature exert a direct influence on the potential for water harvesting from the air, a process susceptible to climate change dynamics. In this context, this study aims to evaluate the effectiveness of two distinct approaches in developing ensemble climate models, against the utilization of individual models. This evaluation extends to the simulation of atmospheric variables encompassing wind speed, air humidity, average temperature, and the water harvesting potential from the atmosphere.

Methods

The research area investigated includes 16 synoptic stations (1991 to 2005), situated within the longitudinal range of 47 degrees and 19 minutes to 53 degrees and 17 minutes, and the latitudinal range of 33 degrees and 25 minutes to 38 degrees and 55 minutes. Additionally, this study draws on data derived from three GCM models from the CMIP5 report within the framework of the CORDEX climate project. The development of an ensemble climate model has been executed utilizing an identical weighting approach and a genetic optimization algorithm. The amount of extractable water from air humidity is determined via $Q_{w-air} = AH \times U \times A \times t \times E$. The performance assessment of climate outputs incorporates statistical indexes such as the Correlation Coefficient (CC), Mean Bias Error (MBE), and Relative Bias (RBIAS).

Results and Discussion

Using the optimization technique to combine climate models yields a notable reduction of 60.1, 58.7, 60.9, and 59.7 percent in the RMSE value when compared to individual utilization of CNRM, GFDL, and CCSM4 models and the averaging approach in wind speed simulation. Furthermore, the development of ensemble models corresponds to a substantial enhancement in the accuracy of these models in estimating relative air humidity (average RMSE = 8.25 %, average MBE = 2.17 %). Based on the results, the combination of climate models can have a positive effect on increasing the efficiency of climate outcomes, especially in the reproduction of atmospheric variables such as relative air humidity and wind speed (usually climate models individually have a poor performance in simulating variables such as relative humidity and wind speed). This methodology has also been applied to approximate the extractable water amount from air humidity. An examination of seasonal changes in the potential for water harvesting from air humidity reveals the optimized coefficient-based combined climate model to closely mirror observational data. Additionally, the summer and winter seasons exhibit the highest and lowest capacities for water harvesting from air humidity, respectively.

Conclusions

Leveraging the genetic algorithm for coefficient optimization within climate models and the creation of ensemble climate models presents a valuable approach for exploring changes in atmospheric variables and the feasibility of water harvesting from air humidity in response to climate change. Examination of seasonal alterations in water harvesting potential from air humidity indicates the substantial potential of the summer period for implementing air humidity water harvesting plans, which can hold significance in addressing a portion of agricultural requirements.

Keywords: Atmospheric Variables, Climate Change, Unconventional Water Sources, CORDEX.