



مطالعه نقش طرحواره‌های همرفت و ناحیه اقلیمی در پیش‌بینی دمای ماهانه دوره سرد سال در

ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM4.5

آرزو اقبالی^۱، ایمان بابائیان^{۲*}، مجید آزادی^۳، آذر زرین^۴، مجید حبیبی نوخندان^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶

چکیده

پیش‌بینی قابل اعتماد دمای ماهانه نقش مهمی در کشاورزی هوشمند اقلیم محور، پایداری تولید غذا و کاهش ریسک مخاطرات اقلیمی دارد. این مطالعه با هدف بهبود دقت پیش‌بینی ماهانه دمای کشور در دوره سرد سال (نوامبر تا می) که عمدتاً همزمان با فصل کشت پاییزه است، انجام شد. برای این منظور کارایی طرحواره‌های مختلف همرفت مدل RegCM4.5 شامل کو (Kuo)، گرل (Grell)، امانوئل (Emanuel)، تیدکه (Tiedtke) و کین (Kain) در پیش‌بینی دمای کشور در اقلیم‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. سپس بر اساس طرحواره همرفت مناسب برای هر ناحیه اقلیمی، مدل ترکیبی همرفت-ناحیه اقلیمی برای کل کشور ارائه گردید. داده‌های شرایط مرزی و اولیه از مدل پیش‌بینی اقلیمی جهانی CFSv2 با تفکیک افقی حدود 100×100 کیلومتر (0.95×0.95 درجه) در دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۴ اخذ شدند و تا سطح 30×30 کیلومتر مقیاس‌کاهی دینامیکی شدند و نتایج با داده‌های دمای پایگاه CRU مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که مدل پیش‌بینی تلفیقی همرفت-ناحیه اقلیمی توانسته است کارایی پیش‌بینی ماهانه را به مقدار قابل توجهی ارتقاء دهد، چنانکه شاخص‌های آماری t ، RMSE و MBE به ترتیب از 0.96 ، $3/09$ درجه سلسیوس و $-2/74$ درجه سلسیوس به 0.99 ، $0/59$ درجه سلسیوس و $-0/45$ درجه سلسیوس بهبود یافت. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مهارت پیش‌بینی‌های دمای ماهانه نه تنها به طرحواره‌های همرفت بلکه به ناحیه‌بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی دما، دوره سرد سال، RegCM، نواحی اقلیمی، ایران

مقدمه

همچنین برای مدیریت آفات و بیماری‌هایی که در شرایط گرم‌تر رشد می‌کنند، آماده شوند. بر مبنای کشاورزی هوشمند اقلیم-محور، این پیش‌بینی‌ها نقش کلیدی در توانمندسازی کشاورزان برای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم و انتخاب روش‌های کشاورزی انعطاف‌پذیر ایفا می‌کنند (Gornall et al., 2010; Walsh et al., 2020). در چند دهه اخیر تلاش‌های فراوانی به منظور توسعه و بهبود مدل‌های اقلیم منطقه‌ای صورت گرفته است، اما مشکلات و چالش‌ها هنوز به قوت خود باقی است. پارامتری‌سازی فیزیکی مورد

پیش‌بینی بلندمدت کمیت‌های هواشناختی برای چند ماه آینده، به ویژه در حال حاضر به دلیل گرمایش جهانی، از اهمیت بالایی در بخش کشاورزی و انرژی برخوردار است. پیش‌بینی قابل اعتماد دما و بارش، کشاورزان را قادر می‌سازد تا در مورد انتخاب محصول، کاشت، برداشت و همچنین مدیریت آب در مزرعه تصمیم‌گیری آگاهانه داشته باشند. علاوه بر این، پیش‌بینی‌های دما به کشاورزان کمک می‌کند تا برای تنش گرمایی بالقوه بر محصولات، دام و

^۳ استاد، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

^۴ دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۵ دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

^۱ دانشجوی دکتری، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد،

ایران

(ibabaeian@yahoo.com: *نویسنده مسئول)

نحوه ارجاع مقاله:

اقبالی، آ.، بابائیان، ا.، آزادی، م.، زرین، آ.، حبیبی نوخندان، م.، ۱۴۰۴. مطالعه نقش طرحواره‌های همرفت و ناحیه اقلیمی در پیش‌بینی دمای ماهانه دوره سرد سال در ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM4.5. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۱): ۷۰-۸۱. DOI: 10.22125/agmj.2024.446547.1166

Eghbali, A., Babaeian, I., Azadi, M., Zarrin, A., Hibibi Nokhandan, M. 2025. Investigating the role of convection scheme and climatic zones in predicting the monthly temperature during the cold season in Iran using the RegCM4.5 climate model. Journal of Agricultural Meteorology, 13(1): 70-81. DOI: 10.22125/agmj.2024.446547.1166

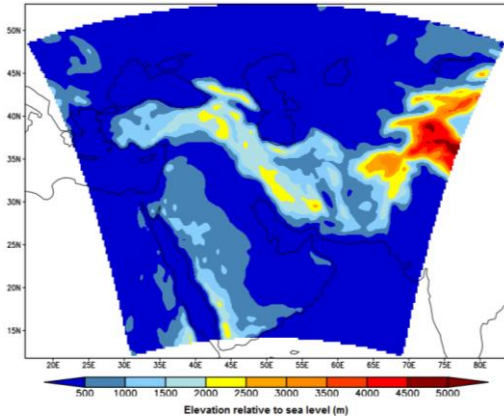
ماه‌های سپتامبر سال ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ در غرب آفریقا استفاده کرده است. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تمامی طرحواره‌های همرفتی، نماینده بخشی از فضای بارشی هستند اما همگی از نوعی اریبی برخوردارند. در این تحقیق، طرحواره‌های کو و گرل، بارش کمتری را در مقایسه با داده‌های مشاهداتی برآورد کرده‌اند، در حالی که بارش برآورد شده به وسیله طرحواره امانوئل برای سپتامبر ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ بیشتر از مقادیر مشاهداتی بوده است. (Ali et al., 2014) حساسیت آزمایشات با پنج طرحواره همرفت مختلف گرل، امانوئل، تایدیک، امانوئل برای خشکی و گرل برای اقیانوس، گرل برای خشکی و امانوئل برای اقیانوس در مدل RegCM را بررسی کردند تا مناسب‌ترین طرحواره همرفتی برای شرق-جنوب آسیا پیدا شود. در برخی مطالعات قبلی، طرحواره امانوئل دارای عملکرد بهتری بر روی اقیانوس بوده است، اما برای بارندگی روی خشکی دارای بیش‌برآورد است. بعلاوه، گزارش شده که طرحواره گرل روی خشکی بهتر عمل کرده اما برای مناطق اقیانوسی حاره نتایج ضعیفی را نشان داده و کم برآورد است (Elguindi et al., 2013). از طرف دیگر، برخی شبیه‌سازی‌ها، طرحواره گرل را برای مناطقی بر فراز اقیانوس مناسب تشخیص دادند (Mamgain et al., 2013)، لذا در پژوهش (Ali et al., 2015)، گزینه‌های همرفتی ترکیبی یعنی GLEO و ELGO به مدل اضافه شده تا عملکرد آن را افزایش دهد. در مطالعه ای که (et al., 2020) Komkoua انجام دادند، ده حالت مختلف طرحواره‌های همرفتی (ترکیب خشکی و دریا) برای ارزیابی مدل RegCM به کار گرفته شد. آنها بارش فصلی ۲۰۱۷-۲۰۱۹ را برای منطقه آفریقای مرکزی شبیه‌سازی کردند، در حالی که منطقه را به ۵ قسمت مختلف تقسیم کرده و برای هر منطقه ترکیبی را ارائه دادند. در مدل‌سازی اقلیمی فرآیندهایی مانند همرفت که مقیاس مکانی آنها از قدرت تفکیک افقی مدل اقلیمی کوچک‌تر است، با استفاده از روابط تجربی شبیه‌سازی می‌شوند و بنابراین نیازی به شبیه‌سازی اثرات آنها به روش دینامیکی نیست (Yuval and O'Gorman, 2020). در ایران نیز Alizadeh et al., (2014) در پژوهشی عملکرد نسخه چهارم مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM4) را با چهار پارامتری‌سازی مختلف شامل طرحواره‌های همرفت و لایه

استفاده در مدل‌های اقلیمی در بیشتر برهمکنش‌های جوی مانند فرایندهای دینامیکی، ترمودینامیکی، هیدرولوژیکی، تابشی و فرایندهای سطحی نقش مؤثری دارند و اغلب در این برهمکنش‌ها همرفت کومه‌ای نقش اساسی را ایفا می‌کند که با نام پارامتری‌سازی همرفت شناخته می‌شود (Molinari, 1993). طرحواره‌های همرفت به طور تجربی اثر این پدیده را در مقیاس شبکه‌ای در مدل‌های اقلیمی و پیش‌بینی وضع هوا بیان می‌کنند (Cotton et al., 2011). آنها همیشه یکی از منابع ایجاد خطا در مدل‌های اقلیم منطقه‌ای محسوب می‌شوند که تأثیر معناداری بر خروجی‌های مدل می‌گذارند (Pal et al., 2007). به طور کلی، هیچ یک از طرحواره‌های پارامتری‌سازی همرفت نمی‌توانند به خوبی و به طور گسترده برای تمامی مناطق یا سامانه‌های جوی استفاده شوند، زیرا به عنوان مثال، فرایندهای همرفتی در نواحی حاره به شکل معناداری با فرایندهای موجود در عرض‌های میانه متفاوت هستند (Ali et al., 2015)؛ به همین جهت یکی از مسائل بسیار مهم در اجرای مدل، انتخاب طرحواره همرفتی مناسب از بین طرحواره‌های موجود است. مطالعات زیادی در مناطق مختلف دنیا به منظور بررسی حساسیت طرحواره‌های همرفتی بر روی متغیرهای مدل‌سازی شده، به خصوص بارش و دما صورت گرفته است. برای مثال، Evans et al., (2004) در پژوهشی با به کارگیری مدل RegCM2، به شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه خاورمیانه پرداختند. آنها نتایج حاصل از مدل را با داده‌های بازتحلیل ECMWF-TOGA مقایسه کردند. یافته‌های آنها نشان داد که توانایی مدل در شبیه‌سازی صحیح مسیر طوفان‌ها، فرایندهای متأثر از ناهم‌واری و میزان ناپایداری جوی از مهم‌ترین دلایل موفقیت مدل در شبیه‌سازی مناسب چرخه فصلی بارش و دما است. در پژوهش دیگری، (Fuentes- et al., 2013) Franco دما و بارش شبیه‌سازی شده با مدل RegCM4 را مورد ارزیابی قرار دادند. محدوده انتخابی آنها مکزیک، دوره اجرای مدل ۲۰۰۸-۱۹۸۲ و تفکیک افقی ۵۰ کیلومتر انتخاب شده بود. نتایج بررسی‌های ایشان حاکی از بیش‌برآورد بارش توسط مدل در مناطق کوهستانی بود. (Adeniyi, M., 2014) نیز در پژوهشی با عنوان «حساسیت‌سنجی طرحواره‌های همرفتی» از مدل RegCM4 به منظور مدل‌سازی بارش

انتخاب طرحواره‌های همرفت، توانایی مدل منطقه‌ای RegCM4.5 در پیش‌بینی دما در دوره سرد سال در ماه‌های نوامبر تا مه (آبان تا اردیبهشت) را در کشور ارتقاء یابد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق ایران است، با این حال، محدوده کل مدل‌سازی عمدتاً غرب آسیا در نظر گرفته شده است (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده جغرافیایی دامنه مدل

Figure 1- The geographical area of model domain

دوره شبیه‌سازی، دوره سرد سال شامل ماه‌های نوامبر تا می، طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۹ می‌باشد. برای بررسی اثر طرحواره‌های مختلف همرفت بر پیش‌بینی دما، طرحواره‌های لایه مرزی سیاره‌ای و سطح زمین به ترتیب هالتسلاگ (Holtslag) و BATS ثابت در نظر گرفته شد (Alizadeh Choubari et al., 2019) و آزمایش‌های مختلف با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت شامل Kuo, Grell, Emanuel, Tiedtke و Kain انجام شد. داده‌های شرایط مرزی و اولیه مورد نیاز مدل منطقه‌ای از مدل جهانی پیش‌بینی اقلیمی CFSv.2¹ با تفکیک افقی 0.95×0.95 درجه (حدود 100×100 کیلومتر) دریافت شدند و تا سطح 30×30 کیلومتر توسط مدل اقلیم منطقه‌ای، مقیاس‌کاهی دینامیکی شدند. درستی‌سنجی مقادیر دمای پیش‌بینی شده ماهانه بر اساس اقلیم‌های مختلف و با استفاده از داده‌های دمای CRU انجام شد.

مدل اقلیمی منطقه‌ای

در این پژوهش پیکربندی‌های گوناگونی از مدل منطقه‌ای RegCM4.5 مورد ارزیابی قرار گرفت. باتوجه به محدودیت

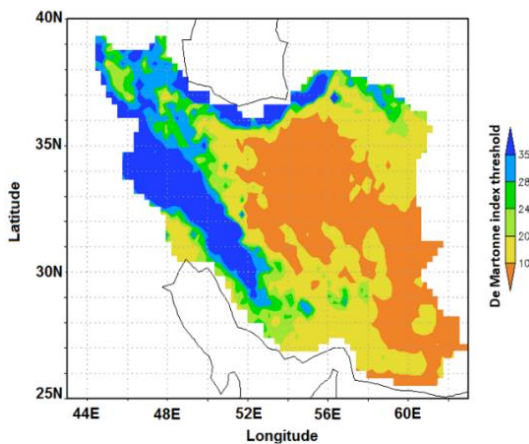
مرزی را در شبیه‌سازی دمای هوای نزدیک سطح زمین و بارش برای سال ۲۰۱۰ مورد ارزیابی قرار داده و نتایج را با داده‌های مشاهداتی CRU سنجیده‌اند. با توجه به اینکه در داده‌های CRU، از اطلاعات تعداد زیادی از ایستگاه‌های همدیدی مناطق مختلف جهان از جمله ایران استفاده می‌شود، این داده‌ها در مقایسه با داده‌های بازتحلیل تطابق بیشتری با مشاهدات دارند. در مقابل، داده‌های بازتحلیل مبتنی بر سنجش از دور خطای به نسبت زیادی به‌ویژه برای بارش و دمای هوای نزدیک سطح زمین دارند (Alizadeh Choubari et al., 2019). بررسی خطای ریشه میانگین مربعات دمای هوا برای این چهار شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از طرحواره لایه مرزی هالتسلاگ در ماه‌های سرد سال و طرحواره UW PBL در ماه‌های گرم سال عملکرد بهتری دارد و از آنجا که استفاده از همرفت تایدیک در کنار لایه مرزی هالتسلاگ می‌تواند مقادیر خطای ریشه میانگین مربعات را در فصل‌های گرم سال به شدت کاهش دهد و کمترین خطای ممکن را در طول سال در پی دارد، استفاده از طرحواره لایه مرزی هالتسلاگ در RegCM4 برای فصل‌های سرد سال و استفاده از همین طرحواره در کنار طرحواره همرفت تایدیک برای شبیه‌سازی دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین برای کل سال در منطقه ایران پیشنهاد شده است (Irannejad et al., 2010). در مطالعه نقش روش‌های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش زمستانی با مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM در ایران، نشان دادند که نتایج شبیه‌سازی‌های دما و بارش با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت در دوره مورد مطالعه در ایران بسیار شبیه یکدیگر است و توانمندی پیش‌بینی مدل RegCM برای دما بیشتر از بارش است. آنها پیشنهاد کردند که با توجه به ساختار ساده‌تر و هزینه محاسباتی کمتر طرحواره کو-آنتس نسبت به طرحواره‌های دیگر و همچنین عدم وجود تفاوت چشمگیر بین نتایج آن با سایر طرحواره‌ها، این طرحواره در مطالعات اقلیمی و منطقه‌ای در بازه‌های فصلی، حداقل در منطقه ایران بهترین گزینه باشد. با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون در ایران و سایر کشورها و چالش‌های پیش‌بینی ماهانه موجود در کشور، در این مطالعه تلاش شده است تا با لحاظ تأثیر نواحی اقلیمی در

¹ Climate Forecast System version 2

جدول ۲- آستانه شاخص دمارتن و محدوده اقلیمی
Table 2- De Martonne index threshold and climatic range

Climate	Index
Dry	<10
Semi-Dry	10-19.9
Mediterranean	20-23.9
Semi-Humid	24-27.9
Humid	28-34.9
Very Humid	>35

در ادامه، اقلیم کشور طبق معادله ۱ و جدول ۲ برای حدود ۲۰۰۰ یاخته در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. در شکل ۲، طبقه‌بندی اقلیمی و درصد مساحت تحت پوشش هر یک از اقلیم‌های مختلف کشور با استفاده از داده‌های بارش و دمای CRU نشان داده شده است.



شکل ۲- طبقه‌بندی نواحی اقلیمی کشور بر اساس روش دومارتن

Figure 2- Classification of the Iran's climatic regions based on the De Martonne method

در شکل یادشده، رنگ نارنجی طبقه اقلیمی خشک، زرد طبقه اقلیمی نیمه خشک و همینطور رنگ‌های سبز روشن تا آبی تیره طبقات اقلیمی نیمه مرطوب تا خیلی مرطوب را نشان می‌دهند. مطابق شکل بیشترین مساحت کشور در گستره اقلیم خشک با ۳۲/۴ درصد و پس از آن اقلیم نیمه خشک با ۳۰/۱ درصد قرار دارد که در مجموع دو اقلیم خشک و نیمه خشک ۶۲/۵ درصد از مساحت کشور را تشکیل می‌دهند. اقلیم‌های مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب هر دو با سهم مساوی ۷/۶ درصد کمترین مساحت کشور را تحت پوشش دارند. در این مطالعه توانمندی مدل منطقه‌ای در پیش‌بینی دمای هر یک از اقلیم‌های فوق به طور مجزا و در نهایت بصورت ترکیبی بررسی شد.

دسترسی به سامانه پردازش موازی، پیکربندی‌های ارائه شده در جدول ۱ بررسی شدند.

جدول ۱- طرحواره‌های مورد استفاده در این شبیه‌سازی
Table 1- Schemes used in this simulation

Experiment	Land Surface Scheme	Planetary Boundary Layer	Cumulus Parameterization Scheme
EXP_1			Kuo
EXP_2			Grell
EXP_3	BATS	Holtslag PBL	Emanuel
EXP_4			Tiedtke
EXP_5			Kain

در این مطالعه شرایط مرزی و اولیه از مدل جهانی CFSv2 با تفکیک افقی ۰/۹۵ درجه برای متغیرهای جوی و ۰/۵ درجه برای متغیرهای سطحی اخذ شد. داده‌های یاد شده هر شش ساعت بروزرسانی می‌شوند و حاوی پیش‌بینی متغیرهای مختلف جوی برای حدود ۶ ماه آینده هستند. داده‌ها از آدرس زیر قابل دریافت هستند:

<https://www.ncei.noaa.gov/data/climate-forecast-system/access/operational-9-month-forecast/>

نواحی اقلیمی کشور

از آنجا که هدف این مطالعه، بررسی توانمندی مدل منطقه‌ای RegCM4.5 در پیش‌بینی دمای کشور بر اساس اقلیم‌های مختلف بوده است، لذا در مرحله اول اقلیم کشور طبقه‌بندی شد که برای این منظور از روش دومارتن استفاده شد. طبقه‌بندی اقلیمی به روش دومارتن از جمله ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی است که در اغلب مطالعات اقلیم‌شناسی، بویژه در کشاورزی و آب استفاده می‌شود (معادله ۱).

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

که در آن، P میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)، T متوسط دمای سالانه (سلسیوس) و I ضریب خشکی دومارتن است. روش دومارتن به دو علت کاربرد بیشتری در ایران دارد. اول اینکه برای محاسبه ضریب خشکی در این معادله به دو متغیر میانگین سالانه بارش و دمای متوسط سالانه نیاز است که هر دو در دسترس‌ترین متغیرها هستند. دوم اینکه این فرمول طبقه‌بندی بیشتری را در نظر می‌گیرد که می‌تواند اقلیم‌های متنوع‌تری را نشان دهد. بر اساس این معادله، شاخص دومارتن و محدوده آن طبق جدول ۲ ارائه می‌شود (Alizadeh et al., 2014).

سنجه‌های درستی‌سنجی

برای درستی‌سنجی برون‌داد مستقیم مدل (DMO) از سنجه‌های متداول آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، اریبی (BIAS) و همبستگی استفاده شد. سنجه RMSE خطای بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده دما را نشان می‌دهد. سنجه همبستگی نشان‌دهنده رابطه بین دو متغیر است که دامنه آن بین -۱ تا ۱ است (Stone et al., 1993). نمودار تیلور نیز ابراز مناسبی برای کارایی مدل‌ها محسوب می‌شود و شامل سه بخش همبستگی فضایی، نسبت واریانس‌ها و تفاوت ریشه میانگین مربع بین مقادیر مدل و مشاهدات است (Taylor, 2001). نمودار تیلور جهت درستی‌سنجی برون‌داد مدل‌های اقلیمی به کار می‌رود و اخیراً در مطالعات اقلیم‌شناسی به وفور استفاده می‌شود (IPCC, 2021; Wehner et al., 2013; Pincus et al., 2008). نمودار تیلور به شکل نیم‌دایره‌ای همبستگی منفی و مثبت را نشان می‌دهد که در هر دو صورت، مقادیر ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره روی قوس آن نشان داده می‌شود (Asadi-RahimBeygi et al., 2023). جهت تصحیح اریبی از روش تغییر عامل دلتا (DCF^1) استفاده شد. این روش به طور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به مدل‌های گردش عمومی استفاده شده است. برای دما عامل تغییر بر اساس تفاضل داده‌های مدل در دوره پایه و دوره پیش‌بینی به دست می‌آید. پس از محاسبه عامل تغییر، برای دما عامل تغییر به مقدار دمای دوره پایه اضافه می‌شود تا مقادیر تصحیح شده برای دوره پیش‌بینی حاصل شود (Abdulizadeh, 2022 و Babaeian, et al., 2024). روش محاسباتی DCF در معادله ۲ آمده است.

$$T_o^f = T_o + (\mu_m^f - \mu_m^c) \quad (2)$$

در معادله فوق T دما بر حسب درجه سلسیوس، f دوره آینده (دوره صحت‌سنجی)، c دوره پایه (کالیبراسیون)، m داده‌های مدل و o داده‌های مشاهداتی هستند. در این معادله $\mu_m^f - \mu_m^c$ عامل تغییر برای دما است.

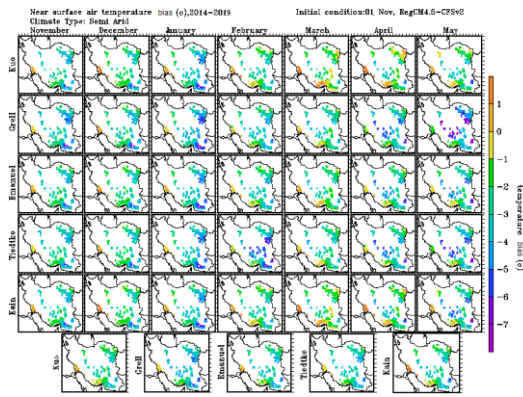
نتایج و بحث

برونداد مستقیم مدل

در این بخش برون‌داد مستقیم مدل (DMO^2) منطقه‌ای RegCM4.5 در پیش‌بینی دمای ماهانه کشور طبق پنج

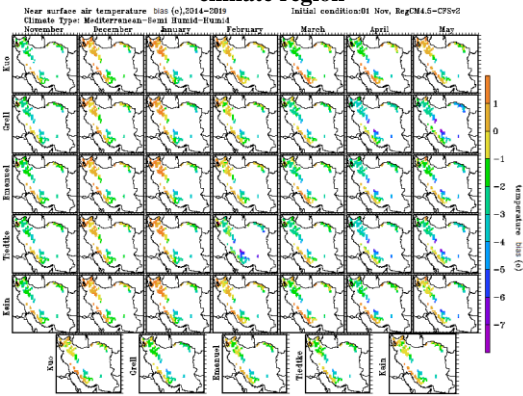
² Direct Model Output (DMO)

¹ Delta Change Factor



شکل ۴- مانند شکل ۳، ولی برای ناحیه اقلیمی نیمه خشک

Figure 4- Same as Figure 3, but for the semi-arid climate region

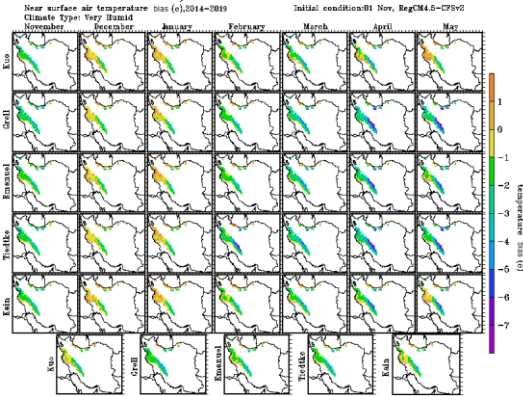


شکل ۵- مانند شکل ۳، ولی برای نواحی اقلیمی

مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و مرطوب

Figure 5 - Same as Figure 3, but for

Mediterranean, semi-humid and humid climates

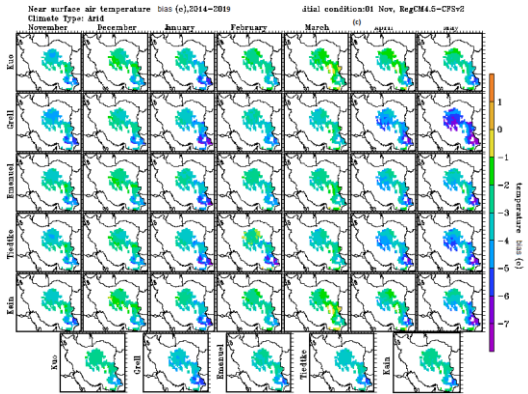


شکل ۶- مشابه شکل ۳، اما برای اقلیم خیلی مرطوب

Figure 6 - Same as Figure 3, but for very humid climates

در مناطق اقلیمی مرطوب، نیمه مرطوب و مدیترانه‌ای، علاوه بر وجود همبستگی بالا طبق طرحواره کو، کمترین مقدار RMSE در طرحواره کو مشاهده می‌شود که در پیش‌بینی دمای مناطق نیمه خشک و خشک نیز این نتایج تکرار شده است.

طرحواره گرل (با اریبی سرد بین ۲ تا ۵ درجه) مشاهده می‌شود.



شکل ۳- اریبی برون داد مستقیم مدل (DMO) برای ماه‌های نوامبر تا مه و میانگین ۵ سال (ردیف آخر)، طبق طرحواره‌های مختلف همرفت در دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۹ برای ناحیه اقلیمی خشک

Figure 3- Bias of DMO temperature for November to May, based on different convection schemes during 2014-2019 for the dry climate region

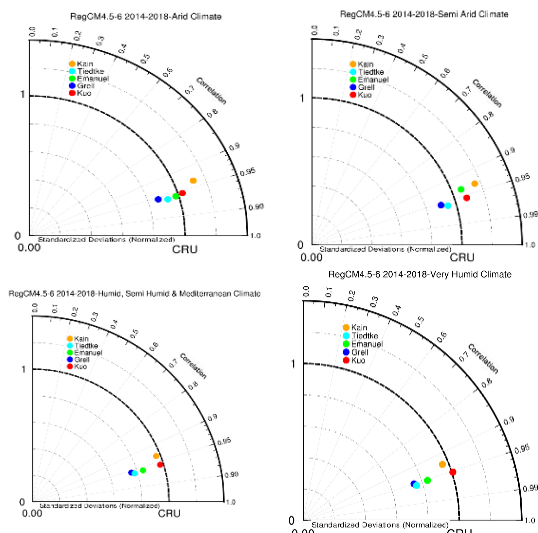
در الگوهای ماهانه کمترین اریبی متعلق به ماه می است. شکل ۶، الگوی فضایی اریبی دما طبق طرحواره‌های مختلف در اقلیم خیلی مرطوب را نشان می‌دهد. در این ناحیه اقلیمی، کمترین و بیشترین اریبی به ترتیب در طرحواره کو و گرل مشاهده می‌شود. توانمندی داده‌های مستقیم مدل منطقه‌ای در پیش‌بینی دمای ماهانه در مقایسه با داده‌های دمای مشاهداتی CRU با استفاده از سنج‌های همبستگی و RMSE برآورد شد (جدول ۳). مطابق جدول بیشترین خطا متعلق به طرحواره‌های گرل و کین و کمترین آن متعلق به طرحواره‌های کو و امانوئل است. اریبی عمدتاً سرد دمای پیش‌بینی شده در این مطالعه با یافته‌های (khaiatian et al., 2021) در شبیه‌سازی دمای شمال غرب و غرب ایران، (Helenka et al., 2007) در شبیه‌سازی دمای بیشینه بر روی جمهوری چک و Kong et al., (2019) در شبیه‌سازی دما بر روی چین هماهنگی دارد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که با افزایش برد پیش‌بینی‌ها، خطای آنها نیز بیشتر می‌شود، به طوریکه ماه مه دارای بیشترین و ماه‌های نوامبر و دسامبر دارای کمترین اریبی و خطا در پیش‌بینی‌ها است. در اقلیم بسیار مرطوب بیشترین همبستگی مربوط به پیش‌بینی دما طبق طرحواره تایدیک است.

جدول ۳- مقادیر همبستگی، RMSE و MBE بین داده‌های پیش‌بینی ماهانه مدل RegCM4.5 و CRU

Table 3- Correlation, RMSE and MBE of RegCM4 forecast against CRU

Climate	Index	Kain	Tied.	Em.	Grell	Kuo
Dry	R	0.869	0.959	0.957	0.954	0.955
Semi-dry		0.933	0.959	0.934	0.954	0.955
Humid, Semi-Humid, Tropical		0.968	0.778	0.843	0.756	0.975
Very Humid		0.928	0.956	0.952	0.95	0.952
Dry	RMSE	4.37	4.208	3.981	4.584	3.724
Semi-dry		3.732	3.542	3.529	3.86	3.068
Humid, Semi-Humid, Tropical		2.965	2.619	2.411	2.823	2.189
Very Humid		3.158	2.984	2.642	3.029	2.373
Dry	MBE	-3.55	-3.7	-3.41	-4.09	-3.06
Semi-dry		-2.81	-2.97	-2.55	-3.31	-2.31
Humid, Semi-Humid, Tropical		-1.49	-1.7	-1.4	-1.94	-0.96
Very Humid		-1.75	-2.08	-1.63	-2.16	-1.17

بیشتر انتخاب شد و عامل تغییر ماهانه برای اقلیم‌های مختلف حاصل از دوره واسنجی (۲۰۱۶-۲۰۱۴) بر دوره آزمون (۲۰۱۷-۲۰۱۹) اعمال شد و پیش‌بینی دمای کشور به صورت تلفیقی برآورد شد؛ به طوری که دمای پیش‌بینی تصحیح شده هر ماه مشخص برای کل کشور حاصل ترکیب دمای تصحیح شده در اقلیم‌های مختلف بر اساس عامل تغییر هر یک از اقلیم‌ها می‌باشد.



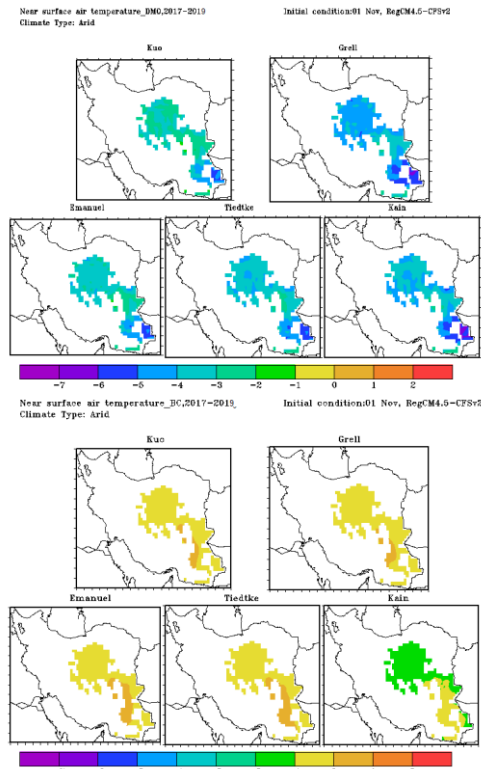
شکل ۷- نمودار تیلور طرحواره‌های همرفت مختلف در پیش‌بینی دمای دوره نوامبر تا می در نواحی اقلیمی خشک، نیمه خشک، مرطوب- نیمه مرطوب- مدیترانه‌ای و بسیار مرطوب (۲۰۱۹-۲۰۱۴)

Figure 7- Taylor diagram for convection schemes in temperature forecast during November-May in dry, semi-arid, humid-semi-humid-Mediterranean and very humid climate 2014-2019

در شکل ۸، عامل تغییر دما بر اساس مقادیر DMO در دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۴ آورده شده است. چند نکته حائز اهمیت در شکل یادشده وجود دارد: اینکه در مجموع همه طرحواره‌ها دارای اریبی سرد هستند.

در مجموع با بررسی سنج‌ها، الگوهای ماهانه دما و نمودار تیلور می‌توان گفت که طرحواره کو توانمندی به نسبت بهتری در مقایسه با سایر طرحواره‌های در پیش‌بینی دمای کشور در دوره مورد مطالعه دارد. با این حال، به دلیل اریبی به نسبت زیاد آن نیاز به تصحیح اریبی برون‌داد مستقیم مدل RegCM4.5 وجود دارد. در شکل ۷، توانمندی طرحواره‌های مختلف مدل منطقه‌ای در پیش‌بینی دما برای نواحی مختلف اقلیمی با استفاده از نمودار تیلور آورده شده است. مطابق شکل، در اقلیم خشک طرحواره امانوئل با اختلاف اندک بهتر از طرحواره کو است. در اقلیم نیمه خشک طرحواره تایدیک، در اقلیم نیمه مرطوب، مرطوب و مدیترانه‌ای طرحواره کو و در اقلیم خیلی مرطوب نیز طرحواره کو بهترین عملکرد را نشان می‌دهند. در مجموع در بین تمامی طبقات اقلیمی، طرحواره کو عملکرد نسبی بهتری نسبت به سایر طرحواره‌ها دارد. در بخش قبل توزیع خطای پیش‌بینی برون‌داد مستقیم مدل منطقه‌ای (DMO) بر اساس اقلیم‌ها، طرحواره‌ها و ماه‌های مختلف شناسایی شد. با توجه به جدول ۳ و نقشه‌های خطای ماهانه، مشخص شد که طرحواره کو دارای کمترین اریبی در پیش‌بینی دمای کشور در دوره نوامبر-می در اقلیم‌های مختلف است. با این حال، برای کاهش اریبی برون‌داد حاصل از مقیاس‌کاهی دینامیکی، نتایج برون‌داد مستقیم مدل منطقه‌ای با استفاده از روش عامل تغییر به صورت ماهانه و طبق اقلیم‌های مختلف تصحیح اریبی شدند. برای این منظور کل داده‌های پیش‌بینی DMO مدل به دو قسمت واسنجی (۲۰۱۶-۲۰۱۴) و آزمون (۲۰۱۷-۲۰۱۹) تقسیم شدند. از داده‌های دوره واسنجی (۲۰۱۶-۲۰۱۴) تنها برای برآورد مقدار عامل تغییر در مقیاس ماهانه استفاده شد. برای هر ناحیه اقلیمی و ماه مشخص، طرحواره با کارایی

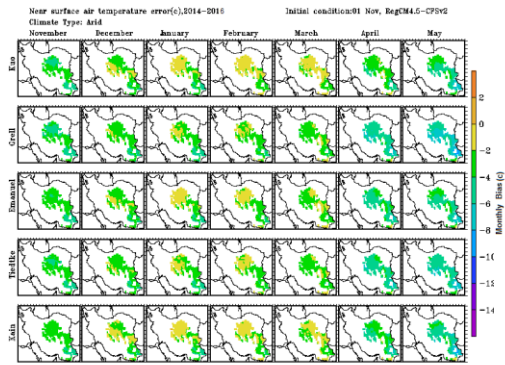
RegCM4.5 در ناحیه اقلیمی مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و مرطوب نشان داده شده است.



شکل ۹- اریبی سالانه میانگین دما طبق طرحواره های مختلف برای اقلیم خشک برای دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۹ قبل (بالا) و بعد از تصحیح اریبی (پایین)

Figure 9- Annual temperature bias based on different schemes for dry climate during the period 2017-2019 before (top) and after (bottom) bias correction

در حالیکه بازه اریبی مدل منطقه‌ای قبل از تصحیح اریبی بین ۳+ تا ۶- درجه بوده است، بعد از اعمال تصحیح اریبی به بازه صفر تا ۲- کاهش یافته است. شکل ۱۲ شرایط مشابهی را برای ناحیه اقلیمی بسیار مرطوب را به تصویر کشیده است که عمدتاً شامل مناطق ساحلی خزر و غرب کشور می‌شود. در این ناحیه اریبی دما قبل از اعمال تصحیح اریبی بین صفر تا ۶- درجه قرار دارد که پس از اعمال تصحیح اریبی به بازه صفر تا ۲- بهبود یافته است. همانطور که مشاهده می‌شود، اعمال تصحیح اریبی مبتنی بر ناحیه‌بندی اقلیمی به مقدار قابل توجهی توانسته است اریبی پیش‌بینی‌های دینامیکی حاصل از مقیاس‌گاهی دینامیکی مدل اقلیمی منطقه‌ای را کاهش دهد. چنین رویکردی تاکنون در کشور مورد استفاده قرار نگرفته است



شکل ۸- اریبی ماهانه برون‌داد مستقیم (عامل تغییر) میانگین دمای مدل طبق طرحواره‌های مختلف همرفت برای ناحیه اقلیمی خشک (به عنوان نمونه) برای دوره سه ساله ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶

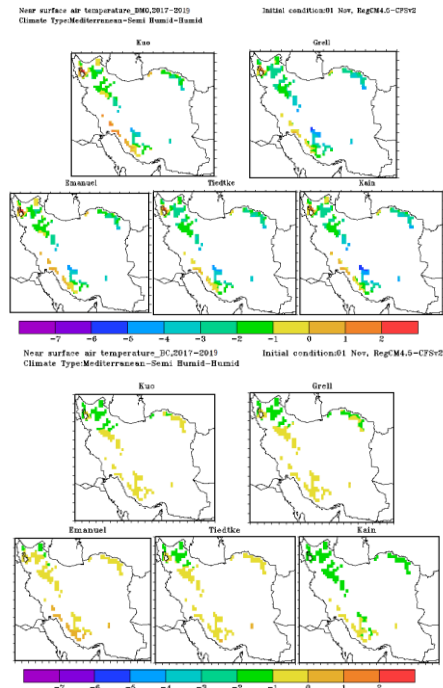
Figure 8-DMO monthly temperature bias (change factor) of the model based on different convection schemes for the dry climate region (as an example) for the three-year period from 2014 to 2016

در بین ماه‌های مورد مطالعه، کمترین اریبی سرد در ماه‌های ژانویه و فوریه (زمستان) و بیشترین اریبی سرد در ماه‌های آوریل و می (بهار) و در بین طرحواره‌های مختلف کمترین و بیشترین اریبی سرد به ترتیب در کuo و گرل رخ داده است. در ادامه برای تصحیح اریبی داده‌های DMO، مقادیر شکل فوق به داده‌های DMO در دوره آزمون (۲۰۱۷-۲۰۱۹) برای تصحیح اریبی (BC¹) اعمال شدند.

برون‌داد تصحیح شده مدل

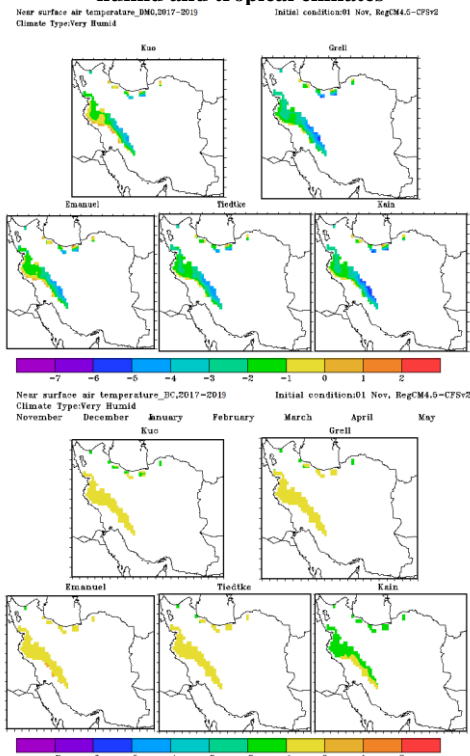
در شکل‌های ۹ تا ۱۲ اریبی دوره مدل قبل و بعد از تصحیح اریبی برای اقلیم‌های مختلف نشان داده شده است. شکل ۹ (اقلیم خشک) نشان می‌دهد که قبل از تصحیح اریبی، اریبی‌های تا ۸- درجه (در نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان) نسبت به داده‌های CRU دیده می‌شود، در حالیکه پس از تصحیح اریبی این مقدار با حدود ۶ درجه بهبود تا حداکثر ۲- کاهش یافته است. بهبود بسیار قابل توجهی در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ برای سایر اقلیم‌ها نیز مشاهده شد. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که اعمال تصحیح اریبی توانسته است اریبی دما در اقلیم نیمه‌خشک را که در بازه ۱+ تا ۸- درجه قرار دارد به بازه صفر تا ۲- کاهش دهد. در شکل ۱۱ توانمندی روش اعمال تصحیح اریبی مجدد بر برون‌داد مقیاس‌گاهی شده مدل اقلیمی منطقه‌ای

¹ Bias Corrected (BC)



شکل ۱۱- همانند شکل ۹ اما برای اقلیم نیمه مرطوب، مرطوب و مدیترانه‌ای

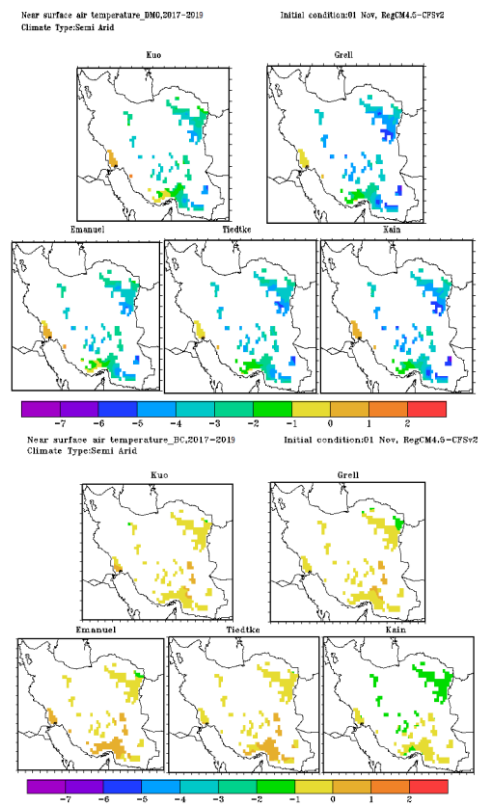
Figure 11 - Same as Figure 9 but for semi-humid, humid and tropical climates



شکل ۱۲- همانند شکل ۹ اما برای اقلیم بسیار مرطوب

Figure 12 - Same as Figure 9 but for very humid climate

و استفاده از آن نه تنها می‌تواند موجب بهبود پیش‌بینی‌های اقلیمی سازمان هواشناسی کشور شود، بلکه به کشاورزی اقلیم-محور کشور کمک کند. برای تبیین بیشتر توانمندی روش تصحیح ارببی دمای مبتنی بر ناحیه‌بندی اقلیمی، در شکل ۱۳ منحنی ROC^۱ برای دو حالت قبل و بعد از تصحیح ارببی در اقلیم‌ها و طرحواره‌های مختلف آورده شده است. منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از عملکرد پیش‌بینی در سه طبقه بیشتر از نرمال، نرمال و کمتر از نرمال برای ارزیابی مهارت پیش‌بینی دمای ماهانه است که در اینجا طبقه نرمال بی‌هنجاری دما بین -۱ تا +۱ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است و بی‌هنجاری‌های بیش از +۱ به عنوان طبقه بیشتر از نرمال و کمتر از -۱ به عنوان طبقه کمتر از نرمال در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۰- همانند شکل ۹ اما برای اقلیم نیمه خشک

Figure 10 - Same as Figure 9 but for semi-arid climate

¹ Relative Operating Characteristic

MBE به ترتیب از ۳/۰۸۵ و ۲/۷۴- به ۰/۵۹ و ۰/۴۵- کاهش (بهبود) یافته است.

جدول ۴- مقایسه همبستگی، RMSE و MBE برای حالت پیش بینی مستقیم (DMO) و تصحیح شده بر مبنای ناحیه اقلیمی

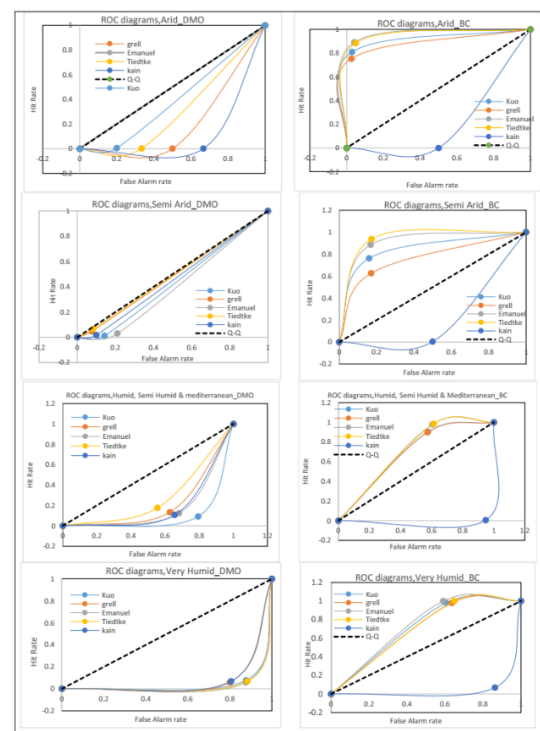
Table 4- Comparison of correlation, RMSE and MBE before and after climate-based bias correction of temperature forecast

MBE	RMSE	r	Forecast
-2.74	3.086	0.96	Direct (DMO)
-0.45	0.59	0.99	Corrected (BS)

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی قابل اعتماد متغیرهای اقلیمی در مقیاس ماهانه از چالش‌های مهم پیش‌روی مراکز ملی و بین‌المللی پیش‌بینی اقلیمی و موضوع اساسی در کشاورزی مبتنی بر داده‌های اقلیمی است. در این پژوهش با هدف ارتقا دقت پیش‌بینی‌های مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM4.5 از رویکرد تصحیح اریبی بر مبنای نواحی اقلیمی استفاده شد. برای این منظور ابتدا مهارت برون‌داد مستقیم مدل اقلیم منطقه‌ای طبق طرحواره‌های همرفت مختلف در پیش‌بینی دمای ماهانه کشور با توجه به سنج‌های آماری مختلف محاسبه شد و طرحواره مناسب هر ناحیه اقلیمی در پیش‌بینی دما استخراج شد. پس از مشخص شدن طرحواره مناسب برای هر اقلیم، پیش‌بینی ترکیبی دما در کل پهنه کشور تهیه شد. مقایسه نتایج پیش‌بینی ترکیبی همرفت- ناحیه اقلیمی با پیش‌بینی مستقیم مدل بر مبنای بهترین طرحواره منتخب بر روی کشور نشان از بهبود بسیار قابل توجه در توانمندی پیش‌بینی مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM4.5 است. به عنوان نمونه در اقلیم خشک اریبی‌های ۸- درجه سلسیوس در نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان به حداکثر ۲- کاهش یافت. از طریق طبقه‌بندی پیش‌بینی‌ها در سیستم طبقه بندی سه‌تایی شامل بیشتر از نرمال، نرمال و کمتر از نرمال با آستانه‌های دمایی ۱- و ۱+ درجه سلسیوس، منحنی‌های ROC برای حالت قبل و بعد از تصحیح اریبی دما در اقلیم‌ها و طرحواره‌های مختلف تهیه شدند. نتایج نشان دادند که مهارت مدل از حالت "عدم وجود مهارت" (با مقادیر $ROC < 0$) به مهارت خوب (با مقادیر $ROC > 0$) بعد از تصحیح اریبی بر مبنای نواحی اقلیمی مختلف (با استثنای طرحواره کین) بهبود یافت. همچنین مقادیر همبستگی از ۰/۹۶ به ۰/۹۹ ارتقاء

نمره ۱ برای مساحت زیر منحنی ROC نشان‌دهنده مهارت کامل مدل در پیش‌بینی طبقه دمای ماهانه و نمره ۰/۵ و کمتر نشان‌دهنده عدم مهارت است. مطابق شکل در تمام اقلیم‌ها مهارت برون‌داد مستقیم مدل کمتر از ۰/۵ است که نشان‌دهنده عدم مهارت آن در پیش‌بینی بی‌هنجاری دمای ماهانه است. با این حال، مهارت مدل بعد از تصحیح اریبی مبتنی بر ناحیه‌بندی اقلیمی (به استثنای طرحواره کین) به بیش از ۰/۵ افزایش یافته است. مطابق نمودار، تنها در طرحواره کین، روش مورد استفاده نتوانسته است مهارت مدل را افزایش دهد و حتی در برخی موارد مهارت آن کاسته شده است.



شکل ۱۳- منحنی ROC برای قبل و بعد از تصحیح اریبی

دما در اقلیم‌ها و طرحواره‌های مختلف، دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۹

Figure 13- ROC curve for DMO and bias corrected (BC) temperature different climates and schemes, for 2017-2019

در جدول ۴، نتایج این مطالعه به طور خلاصه بر مبنای مقادیر r ، RMSE و میانگین اریبی در دوره آزمون (۲۰۱۹-۲۰۱۷) برای برون‌داد مستقیم مدل و تصحیح شده بر اساس تصحیح اریبی مبتنی بر ناحیه اقلیمی در سطح کشور آورده شده است. بر این اساس، همبستگی روش ناحیه اقلیمی (تلفیقی) ۰/۹۹ است که ۰/۰۳ بیش از پیش‌بینی مبتنی بر داده‌های مستقیم مدل است. همچنین مقادیر RMSE و

- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Giuliani, G. 2013. Regional Climate Model RegCM User Manual Version 4.4. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Strada Costiera, Trieste, Italy October 21, 2013, 54 pp
- Evans, J. P., Smith, R. B. and Oglesby, R. J. 2004. Middle East climate simulation and dominant precipitation processes. *International Journal of Climatology*, 24(13), 1671-1694.
- Fuentes-Franco, R., Coppola, E. 2013. Assessment of RegCM4 simulated inter-annual variability and daily-scale statistics of temperature and precipitation over Mexico. *Climate Dynamics*, 42, 629-647.
- IPCC. 2021. Summary for policymakers Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Irannejad, P., Ahmadi Givi, F., Pazouki, R. 2008. The role of different convection parameterization methods in simulating winter temperature and precipitation fields with RegCM regional-climatic model in Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 35 (1), 101-120.
- Komkoua Mbienda, A. J., Guenang, G. M., Tanessong, R. S., Ashu Ngono, S. V., Zebaze, S., Vondou, D. A. 2020. Possible influence of the convection schemes in regional climate model RegCM4.6 for climate services over Central Africa, 10.1002/met.1980.
- Mamgain, A., Mariotti, L., Coppola, E., Giorgi, F., Dash, S. K. 2013. Sensitivity of RegCM4.3 two convection schemes on Indian summer monsoon for the South Asia CORDEX domain. EGU General Assembly Conference Abstracts, 15, 4812.
- Molinari, J. 1993. An Overview of Cumulus Parameterization in Mesoscale Models. In: The representation of cumulus convection in numerical models, Edited by: K, A., Emanuel and D.J., Raymond, American Meteorology Society, Meteorological Monographs, 24 (46), 155-158.
- Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Ashfaq, M. 2007. Regional climate modeling for the developing world: the ICTP regCM3 and RegCNET, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(9), 1395.
- Rahman, M. M., Islam, M. N., Ahmed, A. U., Afroz, R. 2007. Comparison of RegCM3 simulated meteorological parameters in Bangladesh: Part I- Preliminary result for rainfall, *SriLankan Journal of Physics*, 8, 1-9.
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., Wiltshire, A. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365, 3257-3274.
- یافت و مقادیر RMSE و MBE به ترتیب از ۳/۰۸۵ و ۲/۷۴- به ۰/۵۹ و ۰/۴۵- کاهش (بهبود) یافت. نتایج این تحقیق حساسیت پیش‌بینی دما توسط مدل اقلیمی منطقه‌ای نه تنها به طرحواره‌های همرفت بلکه به نوع اقلیم منطقه مورد پیش‌بینی نشان می‌دهد. نتایج و روش کار این پژوهش می‌تواند مورد استفاده مراکز ملی پیش‌بینی برای افزایش مهارت پیش‌بینی ماهانه قرار گیرد.

منابع

- Abdolalizade, F., Khorshiddoust, A., Jahanbakhsh, S. 2021. Evaluation of the accuracy of CMIP6 models for the simulation of temperature and precipitation in the catchment area of Lake Urmia. *Journal of Climate Change Research*, p1-30, 10.30488/CCR.2022.361233.1093.
- Adeniyi, M. 2014. Sensitivity of different convection scheme in RegCM4 for simulation of precipitation during the Septembers of 1989 and 1998 Over West Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2), 305-322.
- Ali, Sh. Li, D. Congbin, F. Yang, Y. 2015. Performance of Convective Parameterization Schemes in Asia Using RegCM: Simulations in Three Typical Regions for the Period 1998–2002, *Advances in Atmospheric Sciences*, 32, 715–730.
- Alizadeh, A. 2014. Principles of Applied Hydrology, Imam Reza (AS) University, Pages: 942.
- Alizadeh-Choubari, O., Zavar-Reza, P., & Sturman, A. 2014. The “wind of 120 days” and dust storm activity over the Sistan Basin. *Atmospheric Research*, 143, 328–341.
- Alizadeh Choubari A., Marjani S., Ghadimi M. 2019. Performance of the fourth version of the regional climatic model with different physical parameters in Iran: A case study of 2010. *Iranian Journal of Geophysics*, 13 (1), 151-132.
- Asadi-RahimBeygi, N. Zarrin, A., Mofidi, A., Dadashi-Roudbari, A. A. 2023. The prediction of the Precipitation Extremes over Iran for the Next Decade (2021-2028) using the Decadal Climate Prediction Project contribution to CMIP6 (CMIP6-DCPP). *Journal of Earth and Space Physics*, University of Tehran Press, 4(3), 707-725.
- Babaeian, I., Giuliani, G., Karimian, M., Modirian, R. 2024. Projected precipitation and temperature changes in the Middle East—West Asia using RegCM4.7 under SSP scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 4453–4463. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04900-2>
- Cotton, W. R., Bryan, G., Van den Heever, S. C. 2011. *Stom and Cloud Dynamics*. Vol. 99, Academic press, Second Edition, 820p.

- Geophysical Research: Atmospheres, 113(D14).
- Stone, R. J. 1993. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. *Solar energy*, 51(4), 289-291.
- Taylor, K. E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183-7192.
- Walsh, M. K., P. Backlund, L. Buja, A. DeGaetano, R. Melnick, L. Prokopy, E. Takle, D. Todey, L. Ziska. 2020. *Climate Indicators for Agriculture*. USDA Technical Bulletin 1953. Washington, DC. 70 pages. DOI <https://doi.org/10.25675/10217/210930>.
- Wehner, M. F. 2013. Very extreme seasonal precipitation in the NARCCAP ensemble: model performance and projections. *Climate Dynamics*, 40(1), 59-80.
- Yuval, J., O'Gorman, P.A. 2020. Stable machine-learning parameterization of sub grid processes for climate modeling at a range of resolutions. *Nat Commun* 11, 3295. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17142-3>
- Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365(1554), 2973-2989.
- Halenka, T., Kalvová, J., Chládová, Z. et al. 2006. On the capability of RegCM to capture extremes in long term regional climate simulation – comparison with the observations for Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 86, 125–145.
- Khayatian Yazdi, F., Kamali, G., Mirrokni, SM., Hossein Memarian, MH. 2021. Sensitivity evaluation of the different physical parameterization's schemes in regional climate model RegCM4.5 for simulation of air temperature and precipitation over North and West of Iran, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 93, 101199.
- Kong, X., Wang, A., Bi, X. et al. 2019. Assessment of Temperature Extremes in China Using RegCM4 and WRF. *Advanced in Atmospheric Science*, 36, 363–377.
- Pincus, R., Batstone, C. P., Hofmann, R. J. P., Taylor, K. E., Glecker, P. J. 2008. Evaluating the present-day simulation of clouds, precipitation, and radiation in climate models. *Journal of*



Investigating the role of convection scheme and climatic zones in predicting the monthly temperature during the cold season in Iran using the RegCM4.5 climate model

A. Eghbali,¹ I. Babaeian^{*2}, M. Azadi³, A. Zarrin⁴, M. Hibibi Nokhandan⁵

Received: 02/05/2024

Accepted: 01/12/2024

Abstract

Reliable prediction of monthly temperature plays an important role in climate smart agriculture sustainable food production and reducing climate-related risks. This study was carried out with the aim of improving the accuracy of the Iran's monthly temperature prediction during the cold season (November to May), which is main autumn planting season. For this purpose, the skill of different convection schemes of RegCM4.5 model, including Kuo, Grell, Emanuel, Tiedtke and Kain, in predicting the monthly temperature values in different climates across Iran was studied. Then, based on the suitable convection scheme for each climatic zone, a combined convection-climate zone model was proposed for the whole country. The initial and boundary condition data of CFSv.2 global climate prediction model with a horizontal resolution of 0.95×0.95 degrees in the period of 2014-2019 were downscaled to the 30×30 km resolution and the results were compared with the CRU temperature data. The results showed that the combined climatic zone-convection scheme approach is able to improve the accuracy of monthly forecasts, so that the statistical indices r, RMSE and MBE are improved from 0.96, 3.09 °C and -2.74 °C respectively to 0.99, 0.59 °C and -0.45 °C. The results of this research demonstrate that the sensitivity of temperature predictions by the RegCM4.5 model is influenced not only by the convection schemes but also by the climate type of the study region.

Keywords: Temperature prediction, Cold season, Climate Model, Climatic zone, Iran



¹ Ph. D. student, Meteorology and Atmospheric Sciences Research Institute, Tehran, Iran

² Associate Professor, Research Institute for Meteorology and Atmospheric Sciences, Climate Research Institute, Mashhad, Mashhad, Iran

(*Corresponding author Email address: ibabaeian@yahoo.com)

³ Professor, Research Institute for Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁵ Associate Professor, Research Institute for Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

اقبالی، آ.، بابائیان، ا.، آزادی، م.، زرین، آ.، حبیبی نوخندان، م. ۱۴۰۴. مطالعه نقش طرحواره‌های همرفت و ناحیه اقلیمی در پیش‌بینی دمای ماهانه دوره سرد سال در ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM4.5. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۱): ۷۰-۸۱. DOI: 10.22125/agmj.2024.446547.1166

Eghbali, A., Babaeian, I., Azadi, M., Zarrin, A., Hibibi Nokhandan, M. 2025. Investigating the role of convection scheme and climatic zones in predicting the monthly temperature during the cold season in Iran using the RegCM4.5 climate model. Journal of Agricultural Meteorology, 13(1): 70-81. DOI: 10.22125/agmj.2024.446547.1166