

## ارزیابی میزان حساسیت طرحواره‌های مختلف در مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM4.5 برای شبیه‌سازی دما و بارش منطقه شمال و غرب ایران

فاطمه خیاطیان یزدی<sup>۱</sup>، غلامعلی کمالی<sup>۲\*</sup>، سید مجید میررکنی<sup>۲</sup>، محمدحسین معماریان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران  
<sup>۲</sup> استاد هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران  
<sup>۳</sup> استادیار فیزیک جو، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۶، تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۱۴

### چکیده

این تحقیق به منظور شبیه‌سازی دما و بارش به کمک مدل اقلیمی منطقه‌ای (RegCM4.5) در شمال و غرب ایران در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ در مقطع زمانی فصلی انجام شد. در این بررسی از داده‌های بازتحلیل NNRP2 به عنوان شرایط اولیه و مرزی مدل اقلیمی RegCM4.5 و همچنین شش طرحواره پارامترسازی مختلف برای شبیه‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل RegCM4.5 از پتانسیل مناسبی برای شبیه‌سازی میانگین بارش و دمای سطح زمین برای منطقه شمال و غرب ایران برخوردار است. میزان اریبی مدل برای دمای سطح زمین در مناطق مختلف ایران با استفاده از طرحواره‌های پارامترسازی متفاوت است. در بیشتر موارد، ریشه میانگین مربعات خطا بین دمای میانگین فصلی پس‌پردازش‌شده و دیده‌بانی کمتر از ۱ درجه سلسیوس و همچنین ضریب همبستگی آن‌ها بیش از ۰/۹ بود. به‌طور کلی، با توجه به شبیه‌سازی‌های دمای سطح زمین، با استفاده از داده‌های مدل پس از اعمال پس‌پردازش با طرحواره‌های هولتسلاگ-گرل و هولتسلاگ-کو، در مقایسه با سایر شبیه‌سازی‌ها، روی منطقه مورد مطالعه عملکرد بهتری حاصل شد. در شبیه‌سازی بارش، اریبی خشک با بیشترین مقدار میانگین ( $\sim 1/75$  mm/day) روی منطقه شمال ایران نشان داده شد، در حالی که کمترین میانگین اریبی بارش ( $-0/34$  mm/day)، عمدتاً در منطقه غرب ایران واقع شده است. در مقایسه شش طرحواره پارامترسازی، ثابت شد که طرحواره امانوئل بهترین طرحواره برای شبیه‌سازی میانگین بارش فصلی در منطقه شمال-غرب است. به‌طور کلی، برای میانگین بارش فصلی، طرحواره امانوئل در کنار دو طرحواره هولتسلاگ و UW PBL با همبستگی بین  $0/55-0/75$  و انحراف معیار نرمال نزدیک به ۱، پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: بارش، دما، طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای، طرحواره همرفت، مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM4.5

برای درک بهتر ماهیت پیچیده جو و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده می‌توان مدلی از اقلیم با استفاده از قوانین و روابط ریاضی بین پارامترهای مختلف جو فراهم و سپس جواب سوالات مختلف را بررسی نمود. به علت پیچیدگی معادلات از نظر ریاضی، تعداد زیاد آن‌ها و نیز پیچیده بودن شرایط مرزی، حل این معادلات به صورت تحلیلی امکان‌پذیر نیست. بنابراین دانشمندان برای حل این معادلات به روش‌های عددی متوسل شدند (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). ریچاردسون در سال ۱۹۹۲ اولین مدل عددی اقلیمی را معرفی کرد. تا قبل از آن این معادلات با دقت پایین و به صورت دستی حل می‌شدند تا این که در دهه ۱۹۷۰ با ظهور رایانه‌ها تحول عظیمی در مدل‌سازی اقلیم به وجود آمد. مدل‌های اقلیم جهانی اطلاعات محدودی را در مورد اثرات تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و محلی فراهم می‌کنند. علی‌رغم شبیه‌سازی‌های مناسب در مقیاس جهانی و قاره‌ای، محدودیت‌هایی در ارتباط با تفکیک پایین این مدل‌ها وجود دارد.

مدل‌های دینامیکی امکان بررسی جزئیات پدیده‌های جوی میان‌مقیاس و مقیاس منطقه‌ای را در مناطق مختلف جهان فراهم می‌کند. این مدل‌ها به صورت ابزاری کارآمد، درک فرآیندهای دینامیکی حاکم بر وقوع پدیده‌های جوی و اقلیمی را آسان‌تر ساخته‌اند. یکی از مدل‌های اقلیم منطقه‌ای (RCM) که در سال‌های اخیر مورد استفاده بسیاری از محققان قرار گرفته، مدل RegCM می‌باشد. از مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای RegCM می‌توان برای شبیه‌سازی اقلیم و پیش‌بینی در مقیاس‌های منطقه‌ای که یک وسیله مهم و مؤثر برای بررسی تغییرات اقلیمی منطقه است، استفاده کرد. نسخه اول مدل RegCM، RegCM1، از مدل میان‌مقیاس نسخه ۴ (MM4) توسط NCAR، ایالات متحده آمریکا در اواخر دهه ۱۹۸۰ تولید شد (آنتس و همکاران، ۱۹۸۷). برای استفاده مدل MM4 در پژوهش‌های اقلیمی، تعدادی طرحواره فیزیکی پارامترسازی مرتبط با انتقال تابش و فیزیک سطح زمین در نخستین نسخه از مدل منطقه‌ای RegCM1 به کار

گرفته شد (دیکنسون و همکاران، ۱۹۸۹). در اوایل دهه ۱۹۹۰، RegCM به RegCM2 ارتقا یافت که نسخه نسل دوم این مدل است (جیورجی و همکاران، ۱۹۹۳) و بر اساس نسخه هیدرواستاتیک MM5 می‌باشد (گرل و همکاران، ۱۹۹۴). پیشرفت‌ها مربوط به دینامیک و فیزیک مدل بود. در اواخر دهه ۱۹۹۰، جیورجی و میرنس RegCM2 را به RegCM2.5 ارتقا دادند (جیورجی و میرنس، ۱۹۹۹) که شامل به روزرسانی‌هایی برای اجزای فیزیکی و یک ماژول هواویز ساده بود. در نهایت تعدادی از طرحواره‌های جدید به مدل اضافه شد که می‌توان به جایگزینی طرحواره انتقال تابش<sup>۱</sup> CCM2 با نمونه CCM3 آن اشاره کرد. در طرحواره انتقال تابش CCM2 اثرات تابشی بخار آب، ازن، اکسیژن، منواکسید کربن و ابرها لحاظ شده است (کیان و جیورجی، ۱۹۹۹).

در مدل RegCM3 برای پارامترسازی هریک از پدیده‌های فیزیکی مانند همرفت، توپوگرافی و تابش، طرحواره‌های متعددی وجود دارد. طرحواره‌های تابشی که برای مدل RegCM3 استفاده می‌شود اکثراً بر مبنای طرحواره فیزیکی CCM3 می‌باشند. طرحواره CCM3 ساختاری مشابه با CCM2 دارد، با این تفاوت که اثر گازهای گلخانه‌ای ( $CH_4$ ، CFCs، و  $NO_2$ ) هواویزهای جو و محتوی یخ ابر نیز در آن لحاظ شده است (کیل و همکاران، ۱۹۹۶). مهمترین ویژگی مدل، ساختار شبکه‌ای مدل است که بدین طریق قدرت تفکیک افقی مدل بطور نسبی در نواحی حاشیه‌ای افزایش می‌یابد (کیان و جیورجی، ۱۹۹۹). نسخه چهارم مدل، نسخه تکامل یافته مدل RegCM3 است. هسته دینامیکی مدل RegCM4 یک مدل هیدرواستاتیک تراکم‌پذیر با سیستم مختصات قائم سیگما است که بر روی بستر از نوع آراکواB اجرا می‌شود (الگویندی و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل‌های RegCM بیشتر برای مطالعه اقلیم آسیا و بسیاری از مناطق جهان استفاده می‌شود. مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان انجام شده است تا

طرحواره لایه مرزی سیاره ای (PBL)<sup>۳</sup> و مدل عمومی سطح زمین (CLM 4.5) بهره بردند. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از طرحواره تیدکه به عنوان طرحواره همرفت و لایه مرزی سیاره ای دانشگاه واشنگتن (UW) به عنوان طرحواره PBL نتایج بهتری را به دست می دهد. شبیه سازی با این طرحواره های پارامترسازی به خوبی الگوی بارش موسمی را با همبستگی قابل توجهی ( $R^2 > 0.93$ ) نسبت به دیده بانها نشان می دهند. در این بررسی دما نیز به خوبی با مدل شبیه سازی شده است. بنابراین، RegCM4.4 با استفاده از این طرحواره های پارامترسازی بیشتر برای شبیه سازی میدان های هواویزها و تابش مستقیم هواویزها برای دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۱ بر روی همان حوزه مورد استفاده قرار گرفت.

در مرور سوابق تحقیق، در ایران نیز پژوهش هایی در زمینه ارزیابی طرحواره ها و عدم قطعیت مدل ها و سناریوهای اقلیمی با استفاده از مدل RegCM انجام شده است این تحقیقات نشان می دهند که در اجرای مدل اقلیم منطقه ای، کدام یک از طرحواره ها نتایج مطلوب تری را ارائه می دهند. باباییان و همکاران (۱۳۸۶) با شبیه سازی ماه های سرد سال های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل RegCM3 به حساسیت سنجی این مدل به طرحواره های مختلف بارش همرفتی (طرحواره گزل، طرحواره کو-اصلاح شده و طرحواره امانوئل) پرداختند. نتایج نشان داد شبیه سازی بارش در ایران به شدت بستگی به موقعیت مرکز دامنه و طرحواره های همرفتی مختلف مدل دارد. بر اساس نتایج به دست آمده، مناسب ترین طرحواره جهت برآورد بارش در مناطق شمال شرقی، جنوب شرقی و جنوب غرب ایران و همچنین جنوب غرب دریای خزر، طرحواره کو است. در مقابل طرحواره امانوئل برای مناطق مرکزی و غربی ایران و طرحواره های گزل و کو برای شمال غرب ایران با کمترین خطا توانمندی های خوبی را نشان دادند. ایران نژاد و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی با استفاده از مدل RegCM3 به ارزیابی تأثیر طرحواره های مختلف پارامترسازی همرفت در شبیه سازی میدان های دما و

حساسیت طرحواره های همرفتی را به متغیرهای مدل سازی شده با RegCM، به ویژه میزان بارش و دما بررسی کند. به عنوان مثال، زو و اسمال (2002)، لیانگ و یوان (۲۰۱۶) در آمریکا، وانگ (۲۰۰۷) در اروپا، دیویس و همکاران (۲۰۰۵) در آفریقا، و همچنین داش و همکاران (۲۰۰۵)، چو و همکاران (۱۹۹۹) در جنوب شرق آسیا، مطالعاتی از این نوع داشته اند و هر یک به نوعی اهمیت و تأثیر طرحواره های فیزیکی بر نتایج مدل سازی عددی را آشکار می سازند. علی و همکاران (۲۰۱۵) حساسیت طرحواره های پارامترسازی همرفت را با استفاده از مدل اقلیم منطقه ای (RegCM4.3) در شرق و جنوب آسیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که تمامی طرحواره ها به شدت از تغییرات مکانی و تغییرات فصلی ویژگی های اقلیمی در منطقه متأثر می گردند. به عنوان یک نتیجه کلی، طرحواره تیدکه<sup>۲</sup> با کمترین مقدار RMSE بهترین نتایج را در ارتباط با بارش و دما نشان داده است. همچنین نتایج پژوهش یادشده بیانگر آن است که مناسب ترین طرحواره برای مطالعه بارش های جنوب آسیا طرحواره گزل است. طرحواره های مختلف پارامترسازی همرفتی تأثیرات متفاوتی بر بارندگی در منطقه جنوب شرق آسیا در سال های مختلف دارد (چانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ نگو - دوچ و همکاران، ۲۰۱۷؛ اوزترک و همکاران، ۲۰۱۷). این تأثیرات ممکن است به دلیل عملکرد متفاوت طرحواره های پارامترسازی همرفتی با توجه به انتخاب موارد مختلف باشد. نتایج چانگ و همکاران نشان می دهد که شبیه سازی میزان بارش جنوب شرقی آسیا نسبت به انتخاب طرحواره سطح زمین حساس بوده و استفاده از مدل عمومی سطح زمین ویرایش ۴،۵ (CLM4.5) را برای شبیه سازی بارش توصیه می کند (چانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

آجی و همکاران (۲۰۱۹) از مدل اقلیمی RegCM4.4 برای مطالعه حساسیت ریزمقیاس نمایی اقلیمی منطقه ای جنوب آسیا در طول دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۸ استفاده کرده اند. به منظور ارزیابی بهترین طرحواره بارش همرفت، از

3- Planetary Boundary Layer

2- Tiedtke

شش ساله (۲۰۱۵-۲۰۱۰) شبیه سازی نمودند. بدین منظور از طرحواره هولتسلاگ برای لایه مرزی سیاره ای و طرحواره همرفت امانوئل استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که شبیه‌سازی به روش اقلیم منطقه‌ای RegCM می‌تواند روش مناسبی برای برآورد پارامترهای بارش و دما باشد به طوری که شبیه‌سازی داده های دما علیرغم برآورد مقادیر اندکی از داده های تجربی به دلیل ضریب همبستگی بالا با داده های تجربی، کارایی بالایی می‌تواند داشته باشد. برای پارامتر بارش اگرچه برآورد مدل در بعضی ایستگاه‌ها با داده‌های ثبت شده ایستگاهی تفاوت چشمگیری دارد از حیث اینکه مدل می‌تواند الگوی بارش و همچنین روند تغییرات سالانه را به‌خوبی برآورد کند حائز اهمیت است. همچنین، علیرزاده چوبری و همکاران (۱۳۹۸)، در تحقیقی نشان دادند که مناسب‌ترین طرحواره‌ها برای بررسی میانگین ماهانه دمای هوا عبارتند از طرحواره های لایه مرزی هولتسلاگ و UW PBL به ترتیب در ماه های سرد و گرم سال عملکرد بهتری دارند. همچنین در صورت استفاده از طرحواره همرفت تیدکه در RegCM4 برای بارش شبیه‌سازی شده، همبستگی زمانی و مکانی بیشتری با بارش مشاهداتی در منطقه ایران خواهد داشت.

در حالی که این مطالعات مشخص کرده‌اند که کدام یک از پارامترهای همرفتی مناسب‌ترین برای جنوب شرقی آسیا است، اما هنوز نتیجه‌گیری کاملی در دست نیست و همچنان تحقیق طرحواره مناسب ارزشمند است. انتخاب طرحواره پارامترسازی همرفتی مناسب برای بارش فصل مرطوب در ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

### روش پژوهش

#### توصیف مدل RegCM4.5

در مقایسه با نسخه‌های قبلی، مهمترین بروزرسانی برای RegCM4.5 (۱) اجرای مدل سطح زمین CLM4.5 (۲) اتخاذ هسته دینامیکی غیر هیدرواستاتیک MM5 (۳) ارتقاء داده های سطح زمین از USGS (سازمان زمین شناسی ایالات متحده) توپوگرافی جهانی به USGS

بارش فصل زمستان برای سال ۱۳۷۹ در ایران پرداختند. یافته ها بیانگر آن است که مقادیر دما و بارش شبیه سازی شده با استفاده از طرح واره های مختلف همرفت در دوره مورد مطالعه در ایران بسیار شبیه یکدیگر است و توان پیش بینی مدل RegCM برای میدان دما بالاتر از بارش است. آن ها با توجه به ساختار ساده تر و کم هزینه تر، طرحواره کو را در مطالعه اقلیمی و منطقه ای در بازه های فصلی، لاقفل در منطقه ایران توصیه می کنند. در پژوهش دیگری، مدیریان و همکاران (۱۳۸۸) جهت شبیه‌سازی پارامتر دما در خراسان، طرحواره گرل و برای بارش، طرحواره کو را پیشنهاد کرده‌اند. قهرمان و همکاران (۱۳۹۴) تحقیقی را به منظور تعیین روش برتر پس‌پردازش آماری بر بارش حاصل از اجرای الگوی RegCM4 در منطقه شمال غرب ایران انجام دادند. آن‌ها از داده‌های بازتحلیل NNRP1، داده‌های دمای سطح دریا و داده‌های سطح زمین و طرحواره‌های همرفت استفاده کردند. طرحواره کو به نسبت دو طرحواره گرل و امانوئل خطای کمتری را در اجرای الگوسازی بارش منطقه داشت. مفیدی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی مساسیت مدل RegCM4 به طرحواره های پارامترسازی همرفت در مدل سازی بارش های بهاره در محدوده خاورمیانه و شمال غرب ایران در سال ۲۰۰۴ پرداختند. نتایج بیانگر آن است که مدل RegCM4 مساسیت زیادی به انتخاب نوع طرحواره همرفت در مدل سازی بارش‌های بزرگ مقیاس و بارش همرفتی دارد. ارزیابی عملکرد طرحواره ها در برآورد بارش بزرگ مقیاس و همرفتی، نشان از برتری نسبی طرحواره کو به طرحواره های امانوئل و گرل دارد. آن‌ها نشان دادند با نزدیک شدن به دوره گرم سال، مدل عدم قطعیت بیشتری می‌یابد. مقدار خطا و اریبی مقادیر بارش همرفتی نیز حاکی از آن است که هر سه طرحواره مدل در برآورد مقدار بارش همرفتی، هم در مقیاس بزرگ‌تر بر روی خاورمیانه و هم در مقیاس کوچک‌تر بر روی شمال غرب ایران از اریبی منفی برخوردار هستند. تقی‌لو و همکاران (۱۳۹۸) نیز با استفاده از مدل اقلیم منطقه ای RegCM4.3 اقلیم ایران را برای دوره زمانی

جدول ۱. پارامتری‌سازی مدل مورد استفاده در این تحقیق RegCM4.5

Dynamics	Hydrostatics
Model domain	44 °E – 64 °E and 25 °N – 40 °N Central Lat. and Lon. 32.0 °N, 53.0 °E
Resolution	60 km horizontal and 18 sigma vertical levels
Initial and boundary conditions	ERA-Interim (EIN15)
Sea surface temperature	WK-OI SST weekly optimal interpolation dataset
Land surface parameterization	CLM4.5 (Yang et al., 2018b)
Lateral boundary	Relaxation, exponential technique
Moist physics scheme	Explicit moisture (SUBEX) (Pal et al., 2000)
Ocean flux scheme	(Zeng et al., 1998)
Radiation scheme	Modified CCM3 (Kiehl et al., 1996)
Convective closure assumption	Arakawa and Schubert (Arakawa and Schubert, 1974)
PBL Parameterization	Holtzlag PBL (Beljaars and Holtzlag, 1990) UW PBL (Bretherton et al., 2004)
Convective parameterization	MIT-Emanuel (Emanuel, 1991) Kuo (Anthes et al., 1987b) Grell (Grell, 1993)

طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای (PBL)، طرحواره صریح رطوبت، طرحواره همرفت، طرحواره تابش و طرحواره پوشش سطح زمین را دارا می‌باشد. بنابراین، یکی از موضوعات بسیار مهم انتخاب یک طرحواره فیزیک مناسب در مدل است. خلاصه‌ای از پیکربندی مدل که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت، در جدول ۱ نشان داده شده است. طرحواره‌های فیزیکی که در این تحقیق به کار برده شده‌اند، سه طرحواره پارامتری‌سازی همرفت شامل طرحواره MIT-Emanuel (امانوئل، ۱۹۹۱) Kuo (آنتس و همکاران، ۱۹۸۷) و گرل (Grell، ۱۹۹۳)، و دو طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای شامل PBL Holtzlag و UW-PBL (برترتون و همکاران، ۲۰۰۴). طرحواره صریح رطوبت (SUBEX) (پال و همکاران، ۲۰۰۰)، طرحواره تابش (CCM3) (کیل و همکاران، ۱۹۹۶)، طرحواره پوشش سطح زمین (CLM) نسخه CLM4.5 (یانگ و همکاران، ۲۰۱۸)، و الگوریتم شار جو-اقیانوس که توسط زینگ

NGA (آژانس اطلاعات ملی جغرافیایی) GMTED که دارای قدرت تفکیک عمودی بالاتری است؛ و (۴) اضافه کردن گزینه‌ای برای هواویزها (یانگ و همکاران، ۲۰۱۸). RegCM4.5 دارای طرحواره‌های مختلف پارامتری‌سازی است و نتایج شبیه‌سازی مدل اقلیمی برای طرحواره‌های مختلف در مناطق مختلف اقلیمی کاملاً متفاوت است (نوگروتو، ۲۰۱۶). بنابراین، در فرآیند ایجاد مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM4.5، لازم است تا به طور جامع اثرات طرحواره‌های مختلف پارامتری‌سازی در نتایج شبیه‌سازی و تعیین یک راه حل بهینه مقایسه شود. بنابراین، با تجزیه و تحلیل پیش‌بینی ۳۰ ساله گذشته (۲۰۱۵-۱۹۸۶)، عملکرد RegCM4.5 در شبیه‌سازی دما و بارش در ایران ارزیابی می‌شود.

#### انتخاب طرحواره پارامتری‌سازی مدل

مدل RegCM4.5 طرحواره‌های مختلفی مانند

بارندگی در ماه‌های ژانویه تا آوریل (دی تا فروردین) رخ می‌دهد که به عنوان فصل سرد و مرطوب نیز شناخته می‌شود. در این تحقیق، برای بررسی عملکرد شبیه سازی RegCM4.5 در مناطق مختلف ایران، منطقه سرد و بارانی ایران به دو زیر منطقه تقسیم گردید (به عنوان مثال، شمال و غرب ایران). حوزه مادر که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است کل فلات ایران می‌باشد و دو حوزه درونی که در حوزه مادر قرار دارد با کادر سیاه مشخص شده اند. شبیه سازی دما و بارش در حوزه مادر که در جنوب غرب آسیا واقع است در محدوده طول جغرافیایی  $44^{\circ}\text{E}$  -  $64^{\circ}\text{E}$  و عرض جغرافیایی  $25^{\circ}\text{N}$  -  $40^{\circ}\text{N}$  به مرکزیت  $32^{\circ}\text{N}$  و  $53^{\circ}\text{E}$  انجام شده است. دو منطقه شمال ایران [WI:  $(36.5^{\circ}\text{N}-39^{\circ}\text{N}, 45^{\circ}\text{E}-56^{\circ}\text{E})$ ] و غرب ایران [NI:  $(31^{\circ}\text{N}-39^{\circ}\text{N}, 45^{\circ}\text{E}-50^{\circ}\text{E})$ ] از حوزه مادر برای تجزیه و تحلیل دقیق انتخاب شده‌اند (شکل ۱).

دمای میانگین و بارش میانگین ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل (JFMA) در دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) با استفاده از مدل RegCM4.5 شبیه‌سازی شدند. برای هر منطقه شش بار مدل RegCM4.5 با دو طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای (UW و Holstlag) و سه طرحواره پارامتری‌سازی همرفتی (امانول، کو و گرل) اجرا گردید. به منظور بررسی توانایی مدل در شبیه سازی دما، ابتدا داده‌ها با مقادیر دیده‌بانی شده مقایسه شدند. میانگین اریبی ۳۰ ساله دمای JFMA برای هر شش طرحواره مطابق رابطه (۳) محاسبه شد.

#### ارزیابی نتایج مدل

برونداد مدل شامل داده‌های اتمسفری (ATM)، پوشش سطحی (SRF) و تابشی (RAD) با فرمت NetCDF بوده که هر کدام حاوی تعداد زیادی از متغیرهای هواشناسی هستند. جهت پردازش برونداد مدل، از روش میانگین متحرک (MA) استفاده می‌شود.

در روش MA که از شاخص درجه موازنه جرم<sup>۱۱</sup> (DMB) استفاده می‌گردد، تعیین مناسب‌ترین دوره زمانی

و همکاران (زینگ و همکاران، ۱۹۹۸) با فرضیه بستر آراکاو-شوبرت (آراکاو و شوبرت، ۱۹۷۴) می‌باشند.

علاوه بر این، در این تحقیق شش ترکیب احتمالی، که به معنی پیکربندی مدل RegCM4.5 است، با ترکیبی از دو طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای (PBL) و سه طرحواره همرفتی انجام شده و سایر طرحواره‌های پارامتری‌سازی ثابت فرض شده است، همانطور که در جدول ۱ ذکر شده است.

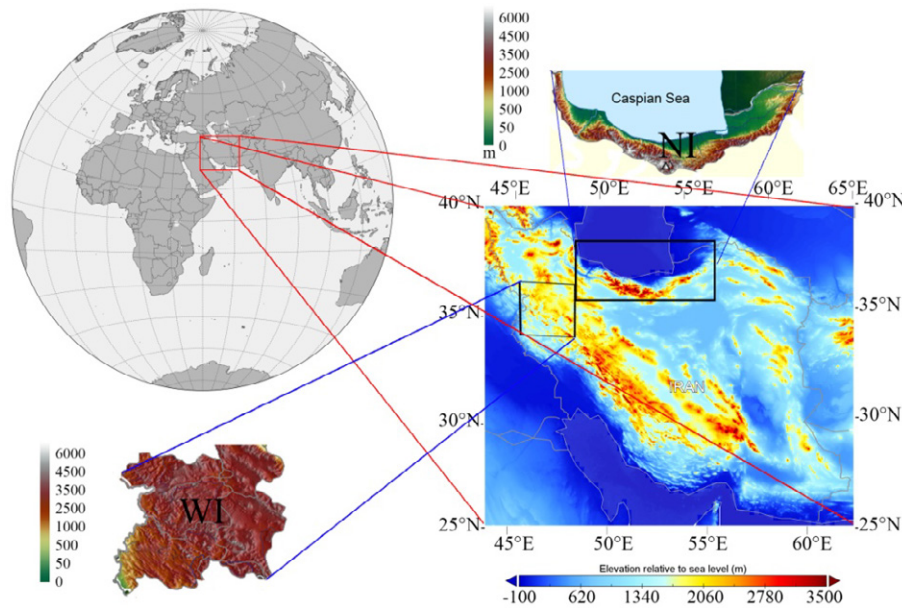
#### اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

در این پژوهش از مجموعه داده‌های بازتحلیل NNRP2 با تفکیک افقی  $2/5$  درجه برای دوره زمانی اول ژانویه ۱۹۸۶ تا ۳۱ آوریل ۲۰۱۵ استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز در اجرای مدل RegCM4.5 از مرکز ICTP با فرمت NetCDF شامل سه دسته داده اصلی می‌باشد (۱) مجموعه داده NNRP2 در مقیاس روزانه ۶ ساعته که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت<sup>۴</sup> (ECMWF) تولید گردیده برای ارائه شرایط اولیه و مرزی شبیه سازی استفاده گردید. (۲) داده‌های دمای سطح دریا<sup>۵</sup> (SST) در همان مدت، به صورت هفتگی و با تفکیک یک درجه از نوع OISST از سازمان ملی اقیانوس و جو آمریکا<sup>۶</sup> (NOAA) مورد استفاده قرار گرفت. (۳) داده‌های سطح زمین، شامل داده‌های توپوگرافی جهانی<sup>۷</sup> (GTOPO)، داده‌های پوشش گیاهی یا کاربری اراضی<sup>۸</sup> (GLCC) و داده‌های نوع خاک<sup>۹</sup> با وضوح ۳۰ ثانیه از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا<sup>۱۰</sup> (USGS) است.

از آنجا که ایران کشوری گسترده با توپوگرافی متنوع است، در فصول مختلف دارای آب و هوای مختلفی است و اقلیم مناطق مختلف عمدتاً تحت تأثیر فصل مرطوب این مناطق است. در بیشتر قسمت‌های شمال و غرب ایران

4- European Centre for Medium Range Weather Forecasts  
5- Sea Surface Temperature  
6- National Oceanic and Atmospheric Administration  
7- Global Topographic  
8- Global Land Cover Characterization  
9- Soil Moisture Data  
10- United States Geological Survey





شکل ۱. محدوده و جزئیات توپوگرافی (m) منطقه مورد مطالعه

برای اندازه‌گیری‌های کمی عملکرد مدل و عدم قطعیت در دیده‌بانی‌ها برای میانگین بارش و دما از میانگین خطای اریبی<sup>۱۲</sup> (MBE)، میانگین خطای مطلق (MAE)<sup>۱۳</sup>، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۱۴</sup> (RMSE)، ضریب همبستگی پیرسون<sup>۱۵</sup> (PCC) و توزیع چگالی احتمال (PDF)<sup>۱۶</sup> اریبی دما و بارش استفاده گردید. کمیت‌های RMSE، PCC و PDF اطلاعات را در سطح نقاط شبکه ارائه می‌دهند در حالی که MBE این کار را در سطح منطقه انجام می‌دهد. نمودار تیلور برای جمع‌بندی ارزیابی‌های فوق و برای نشان دادن انحراف معیار نتایج پیکربندی‌های مختلف مدل از دیده‌بانی‌های ایستگاه‌های هم‌دیدگی استفاده شده‌است. MBE، MAE و RMSE مطابق با روابط زیر محاسبه می‌شوند (ویلما و ماتسورا، ۲۰۰۵):

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i) \quad (3)$$

12- Mean Bias Error  
13- Mean Absolute Error  
14- Root Mean Square Error  
15- Pearson Correlation Coefficient  
16- Probability Density Function

گذشته (طول پنجره) با اهمیت است. شاخص مذکور بر اساس رابطه (۱) تعیین و مقادیر اصلاحی طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (مک‌کالر و استول، ۲۰۰۸).

$$DMB_n = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (1)$$

$DMB_n$  شاخص درجه موازنه جرم با طول پنجره  $n$ .  $M_i$  داده مدل شده و  $O_i$  داده دیده‌بانی است.

$$QPF_c = \frac{DMO}{DMB_n} \quad (2)$$

$QPF_c$  میزان تصحیح‌شده مدل و  $DMO$  برونداد مستقیم مدل می‌باشد. لذا مناسب‌ترین طول پنجره (دوره زمانی گذشته) از جهت کم‌تر بودن میانگین اریبی مقادیر پس‌پردازش‌شده انتخاب گردید.

مبنای کار در این تحقیق تقسیم داده‌ها به صورت ۸۵٪ و ۱۵٪ بوده، لذا سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۸۹ برای آموزش و ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ برای آزمون در نظر گرفته شد. به منظور بررسی دقت و برآورد میزان خطای پیش‌بینی در مقایسه با دما و بارش دیده‌بانی، از شاخص خطای اریبی استفاده شد.

RMSE، PCC بالا و انحراف معیار نرمالایز شده نزدیک به واحد، نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |M_i - O_i| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2} \quad (5)$$

که در آن،  $M_i$  و  $O_i$  به ترتیب نتیجه مدل و دیده‌بانی مربوط به مولفه نام است و  $N$  تعداد جفت‌های مدل-دیده‌بانی است.

RMSE، به عنوان یکی از روش‌های آماری متداول برای اندازه‌گیری عملکرد شبیه‌سازی است که بیانگر انحراف میانگین مقدار شبیه‌سازی شده از نتیجه دیده‌بانی شده است. به طور کلی RMSE کوچکتر نشان‌دهنده دقت شبیه‌سازی بالاتر است. در مقابل، دقت شبیه‌سازی بیشتر هنگامی اتفاق می‌افتد که RMSE به صفر نزدیک شود. اگر احتمال وقوع یک پدیده در شبیه‌سازی بسیار زیاد باشد، می‌توان RMSE کوچکتر را انتظار داشت.

ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (سوینسکو و کمبل، ۲۰۰۲):

$$PCC = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (6)$$

که در آن،  $M_i$  و  $O_i$  به ترتیب نتیجه مدل و دیده‌بانی مربوط به داده نام است.  $\bar{M}$  و  $\bar{O}$  به ترتیب مقادیر میانگین  $M_i$  و  $O_i$  می‌باشند.

به طور کلی، متغیر شبیه‌سازی شده با حداقل

### بحث و نتایج

#### تحلیل نتایج شبیه‌سازی دما

میانگین سی ساله دمای دیده‌بانی شده و میانگین سی ساله خطای اریبی دما در جدول ۲ برای منطقه شمال، غرب و شمال-غرب ایران نشان داده شده‌است. بررسی میانگین‌های پیش‌بینی شده دما نشان می‌دهد که پیش‌بینی مدل برای هر شش طرحواره دارای اریبی سرد است و حداکثر مقدار اریبی سرد برای میانگین دما توسط طرحواره UW PBL-Emanuel برای هر سه منطقه تخمین زده شد، به طوریکه حداکثر مقدار اریبی دمای  $5/05^{\circ}\text{C}$  - برای منطقه شمال ایران در سال ۲۰۱۱، و برای مناطق غرب و شمال-غرب ایران به  $3/85^{\circ}\text{C}$  - و  $4/02^{\circ}\text{C}$  - در سال ۲۰۱۵ بوده است. میانگین دوره سی ساله مذکور بیشترین میانگین اریبی سرد با مقدار میانگین  $4/17^{\circ}\text{C}$  روی منطقه شمال می‌باشد، در حالی که این مقدار در منطقه غرب برابر  $2/45^{\circ}\text{C}$  - و شمال-غرب ایران برابر  $3/31^{\circ}\text{C}$  - می‌باشد که این مقادیر شبیه‌سازی شده نیز در طرحواره‌های UW PBL-Emanuel اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی، استفاده از این شش طرحواره در منطقه غرب نتایج بهتری را ارائه نمودند و طرحواره بارش همرفت کو به همراه لایه مرزی UW در عملکرد مدل RegCM4.5 روی منطقه غرب با کمترین مقدار اریبی سرد  $1/2$  - بهتر بوده‌است. بیشترین اریبی‌ها سرد مربوط به منطقه شمال ایران می‌باشد. بیشتر بودن

جدول ۲. میانگین اریبی دمای فصلی JFMA مدل شده توسط طرحواره‌های مختلف RegCM4.5 در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی منطقه شمال، غرب و شمال-غرب ایران

منطقه	میانگین دمای دیده‌بانی $T_{2m}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	میانگین اریبی دما ( $^{\circ}\text{C}$ )					
		Holtslag PBL-Emanuel	Holtslag PBL-Kuo	Holtslag PBL-Grell	UW PBL-Emanuel	UW PBL-Kuo	UW PBL-Grell
شمال	۹/۷۵	-۳/۶۰	-۳/۳۴	-۳/۳۳	-۴/۱۷	-۴/۰۵	-۳/۹۹
غرب	۵/۵۲	-۱/۹۹	-۱/۶۷	-۱/۶۸	-۲/۴۵	-۱/۲۰	-۲/۱۰
شمال-غرب	۷/۶۳	-۲/۷۹	-۲/۵۱	-۲/۵۰	-۲/۳۱	-۲/۶۳	-۱/۱۷



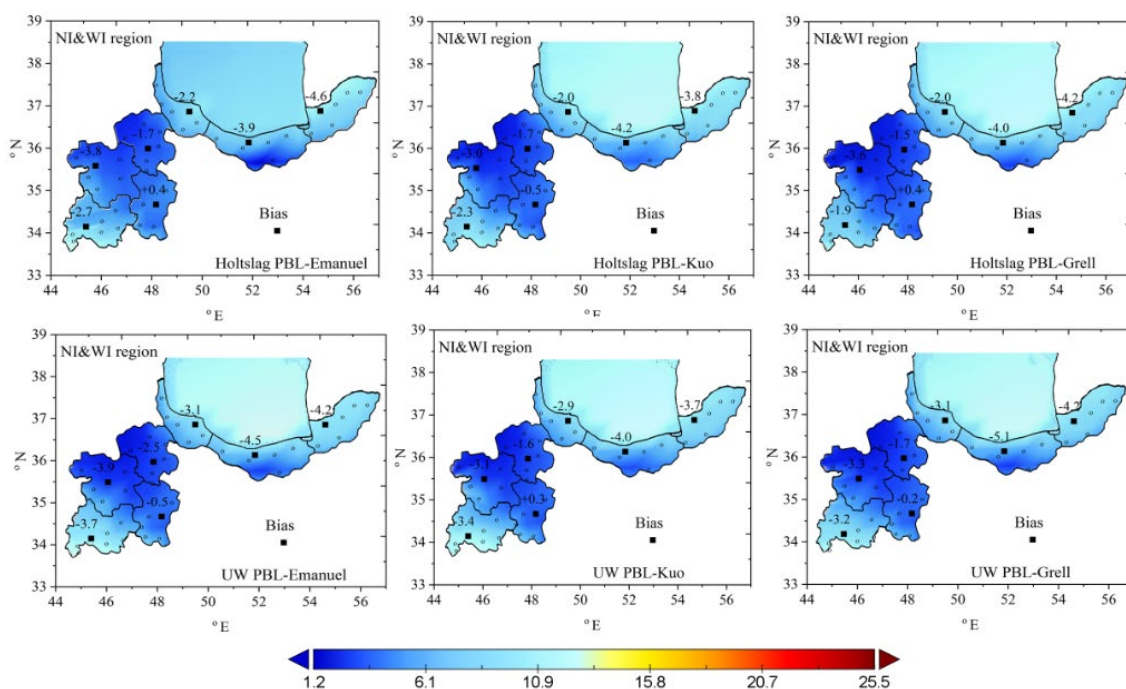
هر پیکربندی مدل برای شمال و غرب به طور جداگانه مشابه منطقه شمال-غرب می‌باشد و به همین دلیل در شکل نشان داده نشده است. به طور کلی میزان خطای مطلق در منطقه آشیانه (شمال و غرب با تفکیک مکانی ۲۰ کیلومتر) با میزان خطای مطلق در زیرمنطقه مادر (شمال-غرب با تفکیک مکانی ۶۰ کیلومتر) تقریباً یکسان می‌باشد و می‌توان گفت قدرت تفکیک افقی مدل بطور نسبی در این نواحی تاثیر چندانی نخواهد داشت.

شایان ذکر است که تقی‌لو و همکاران (۲۰۱۹) نیز یافته‌هایی مشابه با تحقیق حاضر در شبیه‌سازی دمای ایران داشته‌اند. به این نتیجه رسیدند که مدل RegCM توانسته است دما را در سواحل جنوبی دریای خزر به‌خوبی شبیه‌سازی نماید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی دما در مطالعه حاضر با پژوهشی که قویدل رحیمی و همکاران (۲۰۱۶) بر روی موج‌های گرمایی انجام شده است نیز مطابقت بالایی نشان داد.

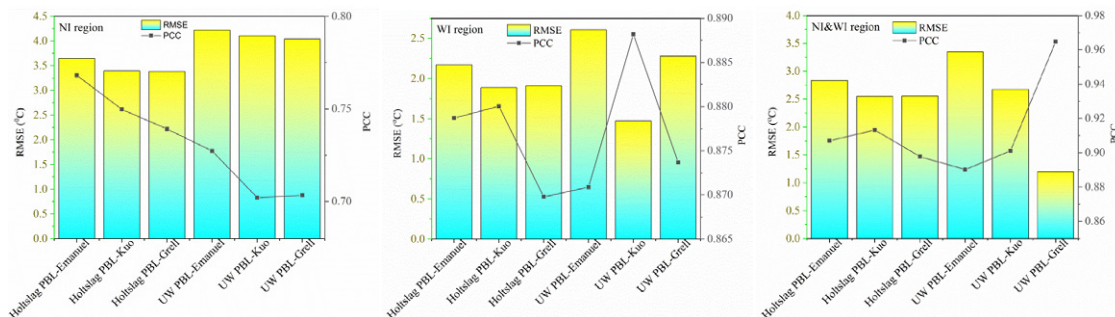
شکل ۳ ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین دمای فصلی

اریبی منفی دمای هوا در مناطق کوهستانی به‌خصوص در شمال ایران در اواخر ماه‌های مارس و آوریل (اسفند و فروردین) می‌تواند به این دلیل باشد که در این زمان‌ها دامنه‌های کوهستانی کاملاً گرم شده‌اند و عاری از برف هستند، درحالی‌که در ارتفاع‌های بالا که دما با داده‌های ایستگاهی قابل تشخیص نیست، همچنان ممکن است برف وجود داشته باشد و در نتیجه دمای هوا در ارتفاعات کمتر است.

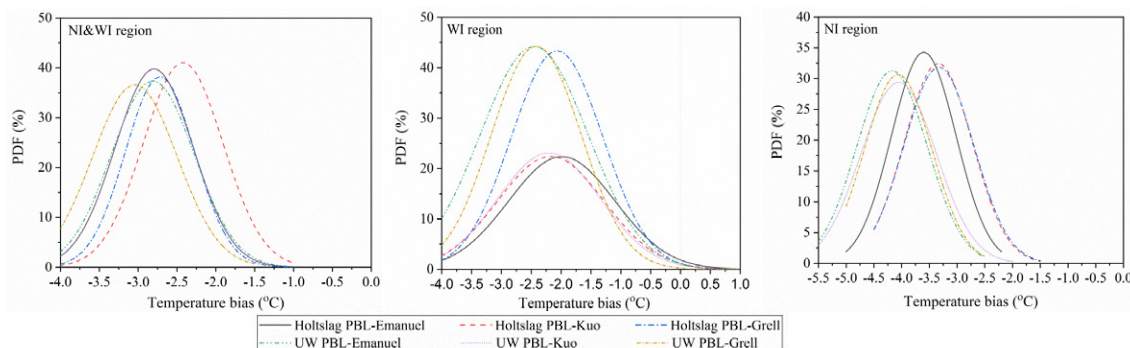
شکل ۲ الگوی نتایج ارزیابی سی‌ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) دمای میانگین فصلی (JFMA) شبیه‌سازی‌شده با طرحواره‌های پارامترسازی شده مختلف در منطقه شمال-غرب ایران به همراه مقادیر میانگین اریبی آن نشان داده شده است (نقاط روی شکل، ایستگاه‌های دیده‌بانی را که داده‌های میانگین را ساخته‌اند نشان می‌دهد). همانطور که از شکل مشخص است، حداکثر میانگین خطای مطلق به میزان  $4^{\circ}\text{C}$  برای دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین در منطقه شمال-غرب ایران است. میانگین الگوهای دمای شبیه‌سازی‌شده برای



شکل ۲. الگوی میانگین دمای فصلی JFMA در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (بر حسب درجه سانتی‌گراد) بر روی ناحیه شمال-غرب ایران برای شش طرحواره مدل RegCM4.5 طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶، به همراه مقادیر میانگین اریبی آن



شکل ۳. نمودار تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین میانگین دمای فصلی JFMA شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 و داده های دیده‌بانی شده بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای شش طرحواره پارامترسازی مدل RegCM4.5 طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵



شکل ۴. تابع توزیع احتمال میانگین اریبی دمای فصلی JFMA بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای شش طرحواره مدل RegCM4.5 طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵ بدون پس پردازش

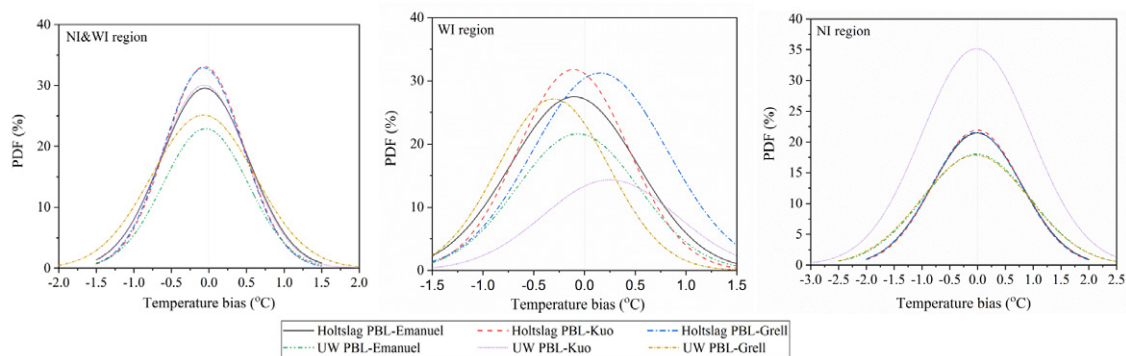
به طرحواره UW PBL-Kuo است. همچنین برای منطقه شمال-غرب کمترین RMSE به میزان  $1^{\circ}\text{C}$  و PCC بیشتر از  $0/96$  مربوط به طرحواره UW PBL-Grell است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که میزان همبستگی با داده‌های مشاهداتی در دامنه مادر بیشتر از دامنه آشیانه است. به طور کلی بهترین طرحواره برای شبیه سازی دمای میانگین فصلی برای زیرمنطقه مادر (شمال-غرب ایران با تفکیک مکانی  $60$  کیلومتر) مربوط به طرحواره پارامترسازی UW PBL-Grell در مدل RegCM4.5 می باشد.

در ادامه برای ارزیابی کمی عملکرد مدل، و همچنین عدم قطعیت‌های مدل، از روش آماری تابع توزیع احتمال نیز استفاده شد. توابع توزیع احتمال (PDF) اریبی میانگین دمای فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با طرحواره های

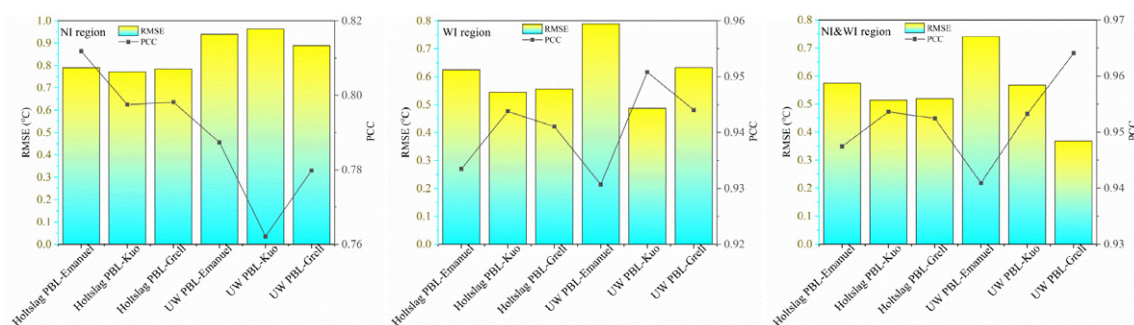
شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 و داده های دیده‌بانی شده را به‌طور میانگین در طول سال‌های  $1986-2015$  برای مناطق شمال، غرب و شمال- غرب ایران نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود برای اکثر طرحواره ها بخصوص طرحواره های جفت‌شده با طرحواره لایه مرزی هولتسلاگ، روند تغییرات مقادیر RMSE برای تمام مناطق مورد مطالعه یکسان است ولی مقادیر RMSE در طی دوره سی ساله برای هر منطقه متفاوت است. برای منطقه شمال کمترین RMSE مربوط به طرحواره Holstlag PBL-Kuo و Holstlag PBL-Grell به میزان  $3/3^{\circ}\text{C}$  است و بیشترین ضریب همبستگی برای این منطقه مربوط به طرحواره های لایه مرزی UW می باشد که PCC بیشتر از  $0/79$  دارد. اما برای منطقه غرب کمترین RMSE به میزان  $1/5^{\circ}\text{C}$  و PCC نزدیک به  $0/89$  مربوط

قطعیت‌های مدل بعد از پس‌پردازش MA، از روش آماری تابع توزیع احتمال استفاده شد. تابع توزیع احتمال (PDF) اربیی میانگین دمای فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با طرحواره‌های پارامترسازی مختلف در مدل RegCM4.5 در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی شده در طول سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۵ برای مناطق شمال، غرب و شمال-غرب ایران در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج تابع توزیع احتمال، شبیه‌سازی دمای میانگین فصلی در دوره مذکور توسط شش طرحواره پارامترسازی شده با RegCM4.5 که در این تحقیق، مقادیر اربیی‌های سرد نسبتاً بزرگی را برای تمام مناطق مورد بررسی نشان می‌دهد. این ارزیابی نشان می‌دهد نتایج شبیه‌سازی طرحواره‌های مورد بررسی در مدل RegCM4.5 بدون پس‌پردازش نمی‌تواند به خوبی برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی استفاده شود. بنابراین روش پس‌پردازش آماری برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی لازم است.

پارامترسازی مختلف در مدل RegCM4.5 در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی شده در طول سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۵ برای مناطق شمال، غرب و شمال-غرب ایران در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج تابع توزیع احتمال، شبیه‌سازی دمای میانگین فصلی در دوره مذکور توسط شش طرحواره پارامترسازی شده با RegCM4.5 که در این تحقیق، مقادیر اربیی‌های سرد نسبتاً بزرگی را برای تمام مناطق مورد بررسی نشان می‌دهد. این ارزیابی نشان می‌دهد نتایج شبیه‌سازی طرحواره‌های مورد بررسی در مدل RegCM4.5 بدون پس‌پردازش نمی‌تواند به خوبی برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی استفاده شود. بنابراین روش پس‌پردازش آماری برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی لازم است.

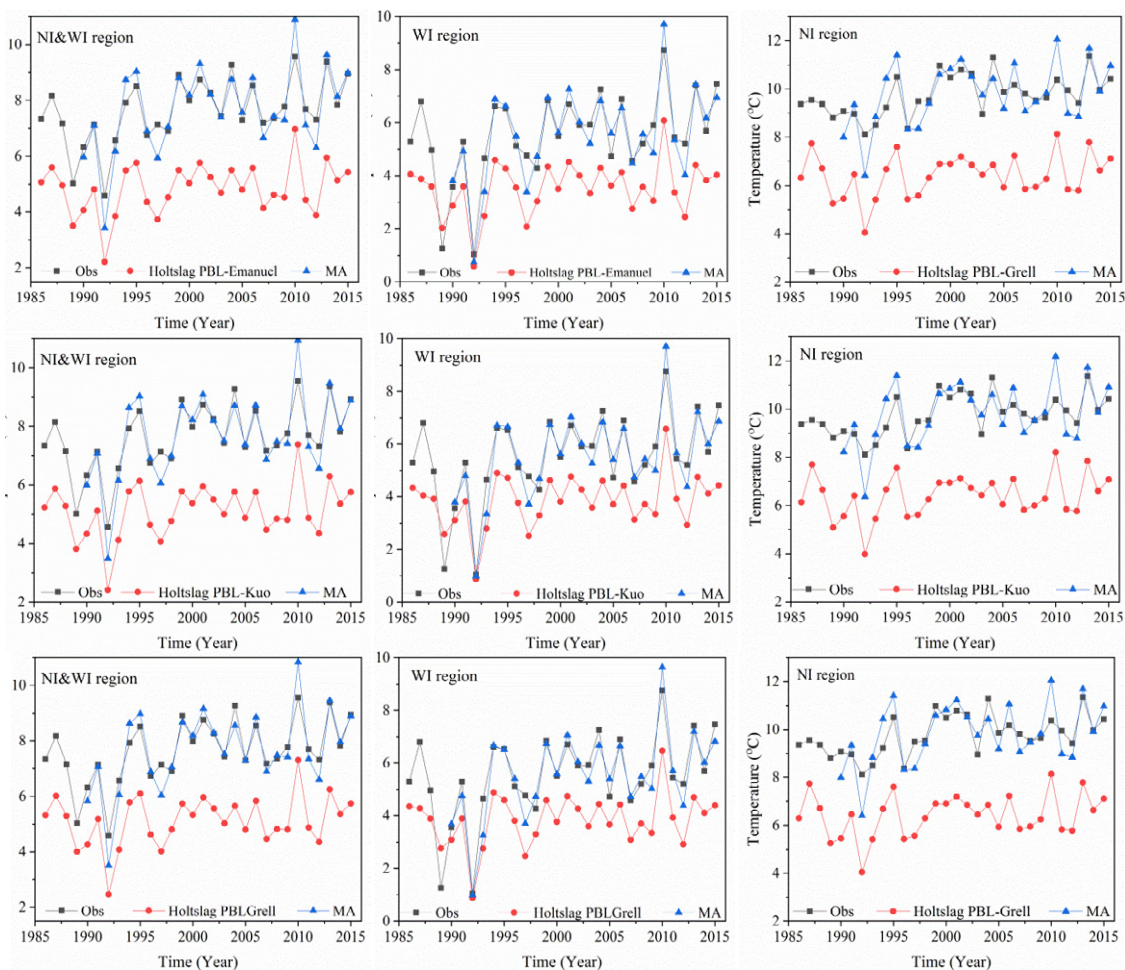


شکل ۵. تابع توزیع احتمال میانگین اربیی دمای فصلی JFMA بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای شش طرحواره مدل RegCM4.5 طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵ بعد از پس‌پردازش



شکل ۶. نمودار تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین میانگین دمای فصلی JFMA شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 بعد از پس‌پردازش و داده‌های دیده‌بانی شده بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای شش طرحواره مدل RegCM4.5 طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵





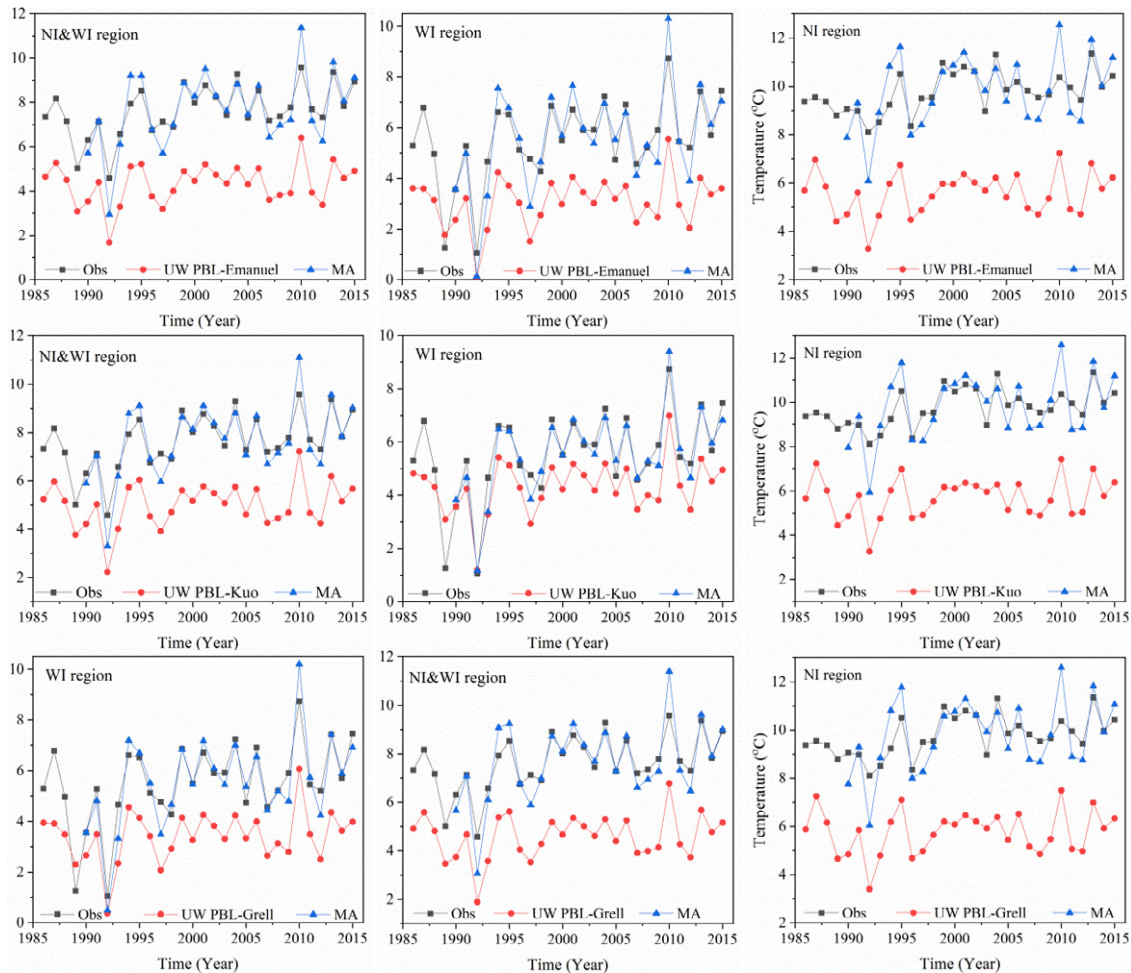
شکل ۷. نمودار تغییرات میانگین دمای فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و داده های دیدبانی (Obs) بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای طرحواره های همرفت مختلف مدل RegCM4.5 یا طرحواره لایه مرزی Holtslag

غرب ایران و شمال-غرب ایران برای شش طرحواره مدل RegCM4.5 طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ را بعد از فرایند پس پردازش در شکل ۶ ارائه شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می شود برای منطقه شمال ایران کمترین مقدار RMSE حدود  $0.8^{\circ}\text{C}$  مربوط به شبیه‌سازی Holtslag PBL-Kuo و PCC بزرگتر از  $0.81$  مربوط به طرحواره Holtslag PBL-Emanuel می‌باشد. برای منطقه غرب ایران طرحواره UW PBL-Kuo کمترین مقدار RMSE حدود  $0.49^{\circ}\text{C}$  و PCC بزرگتر از  $0.95$  را در مقایسه با شبیه‌سازی‌های دیگر نشان می‌دهد. در منطقه شمال-غرب مدل RegCM4.5 با طرحواره UW PBL-Grell عملکرد بهتر با مقادیر RMSE کمتر (کمتر

است و برای منطقه شمال ایران و همچنین شمال-غرب ایران تقریباً همه طرحواره ها نتایج خوبی را به دست می دهند، به طوری که توزیع آریبی این طرحواره نزدیک به صفر می باشد. بنابراین به نظر می رسد پس پردازش نتایج حاصل از شبیه سازی طرحواره Holtslag PBL-Kuo نسبت به بقیه طرحواره ها ارزیابی مناسب‌تری را جهت شبیه سازی دمای میانگین فصلی (JFMA) برای تمام نواحی مورد بررسی در این تحقیق داشته باشد.

نمودار تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین میانگین دمای فصلی JFMA شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 در مقایسه با داده های دیده‌بانی شده بر روی ناحیه شمال ایران،



شکل ۸. نمودار تغییرات میانگین دمای فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و داده های دیده‌بانی (Obs) بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای طرحواره های همرفت مختلف مدل RegCM4.5 یا طرحواره لایه مرزی UW

شمال، غرب و شمال-غرب ایران نشان می‌دهد. مقادیر پس پردازش شده با داده‌های دیده‌بانی شده در مناطق مذکور بسیار مطابقت دارند. هر شش طرحواره روند تغییرات دما را برای اکثر سال‌ها به خوبی نشان می‌دهند. به عبارتی، در اکثر زمان‌ها هنگامی که داده‌های دیده‌بانی در نقطه اوج هستند، خروجی مدل RegCM4.5 نیز در نقطه اوج قرار دارد و در بیش از ۹۹/۹ درصد موارد، داده‌های میانگین دمای هوای فصلی (JFMA) دیده‌بانی شده ۱ تا ۴ درجه سلسیوس بیشتر از داده‌های خروجی مدل RegCM4.5 هستند. بنابراین داده‌های پس پردازش به خوبی با داده‌های دیده‌بانی مطابقت دارند و خطای

از ۰/۴ و PCC بیشتر (بیشتر از ۰/۹۶) در مقایسه با طرحواره‌های دیگر در منطقه شمال-غرب نشان می‌دهد. به‌طور کلی، استفاده از طرحواره Holtslag PBL-Kuo و Holtslag PBL-Grell در عملکرد مدل RegCM4.5 روی هر سه منطقه مورد مطالعه بهتر بوده است و بیشترین مقدار همبستگی مربوط به این دو طرحواره در منطقه شمال-غرب ایران با PCC بزرگتر از ۰/۹۶ می‌باشد.

شکل ۷ و شکل ۸ نمودار تغییرات میانگین دمای فصلی (JFMA) را برای داده‌های دیده‌بانی، داده‌های خروجی مدل قبل و بعد از پس پردازش طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) با شش طرحواره برای منطقه



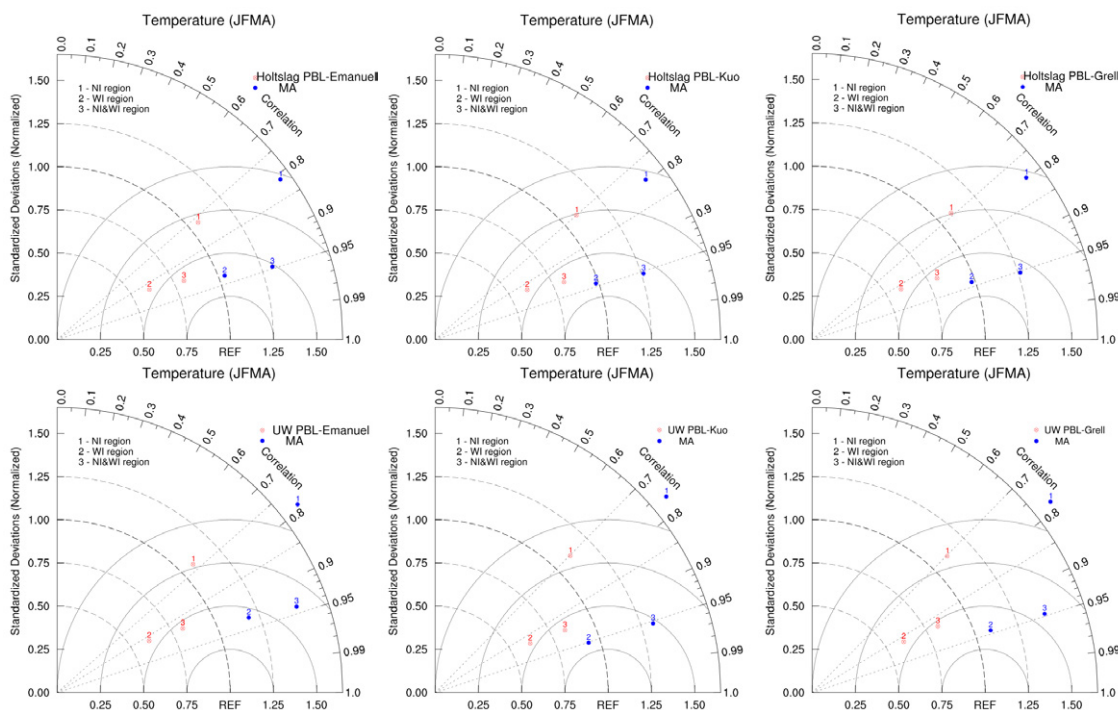
می‌شود، شبیه‌سازی‌های دما با استفاده از شش طرحواره مدل RegCM4.5 در مقایسه با داده‌های دیده‌بانی ضریب همبستگی خوبی در بازه ۰/۷ تا ۰/۹۵ نشان می‌دهد. در منطقه شمال، طرحواره‌های Holstlag PBL-Emanuel ضریب همبستگی نسبتاً بهتری (۰/۷۵) نسبت به دیگر طرحواره‌ها و انحراف معیار تقریباً ۱/۱ را برای دما نشان می‌دهند، در حالی که در منطقه غرب و همچنین شمال-غرب، طرحواره Holstlag PBL-Kuo همبستگی بسیار عالی را نشان می‌دهد و انحراف معیار آن‌ها برای منطقه غرب نزدیک به ۱ و برای منطقه شمال-غرب تقریباً ۱/۲۵ است.

#### تحلیل نتایج شبیه‌سازی بارش

میانگین بارش دیده‌بانی شده و میانگین خطای اریبی بارش در جدول ۳ برای منطقه شمال، غرب و شمال-غرب ایران نشان داده شده‌است. به طور کلی، برای میانگین بارش فصلی شبیه‌سازی‌شده، طرحواره‌های PBL- Holtslog

اریبی بین مقدار شبیه‌سازی‌شده و مقدار دیده‌بانی‌شده به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. علاوه بر این ضریب همبستگی بین ناهنجاری داده‌های میانگین دمای فصلی (JFMA) دیده‌بانی‌شده و شبیه‌سازی‌شده بیش از ۰/۹۵ است، به جز منطقه شمال ایران که این ضریب همبستگی بیش از ۰/۹۰ است. این مقادیر نشان‌دهنده آن است که مدل برای شبیه‌سازی دما در منطقه شمال-غرب ایران سازگاری بسیار خوبی دارد. به‌طور کلی شبیه‌سازی‌های دما با استفاده از طرحواره‌های Holstlag PBL-Kuo و Holstlag PBL-Grell، عملکرد بهتری را در منطقه شمال-غرب ایران نشان می‌دهند.

نمودارهای تیلور برای تحلیل کیفی دما استفاده شده‌است. ضریب همبستگی، انحراف معیار را روی مناطق انتخاب شده ایران (۱:شمال NI، ۲: غرب WI و ۳:شمال-غرب NI&WI) برای طرحواره‌های مختلف به‌طور میانگین در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ در این نمودار نشان داده شده‌است (شکل ۹). همان‌طور که مشاهده



شکل ۹ نمودار تیلور روابط بین میانگین دمای فصلی (JFMA) شبیه‌سازی‌شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس‌پردازش (MA) و داده‌های دیده‌بانی بر روی مناطق انتخاب شده ایران (۱:شمال NI، ۲: غرب WI و ۳:شمال-غرب NI&WI) برای طرحواره‌های مختلف در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶



جدول ۳. مقایسه اریبی میانگین بارش فصلی JFMA، مدل شده با طرحواره های مختلف RegCM4.5، با داده های دیده‌بانی منطقه شمال، غرب و شمال-غرب ایران

منطقه	میانگین بارش دیده‌بانی (mm/day)	اریبی میانگین بارش (mm/day)					
		Holtslag PBL-Emanuel	Holtslag PBL-Kuo	Holtslag PBL-Grell	UW PBL-Emanuel	UW PBL-Kuo	UW PBL-Grell
شمال	۲/۷	-۱/۲۴	-۱/۵۰	-۱/۷۵	-۱/۳۳	-۱/۴۴	-۱/۶۵
غرب	۱/۸۷	-۰/۵۶	-۰/۷۰	-۰/۸۸	-۰/۳۴	-۰/۷۱	-۰/۸۶
شمال-غرب	۲/۲۱	-۱/۰۲	-۱/۵۷	-۱/۵۹	-۰/۸۷	-۱/۶۵	-۱/۶۲

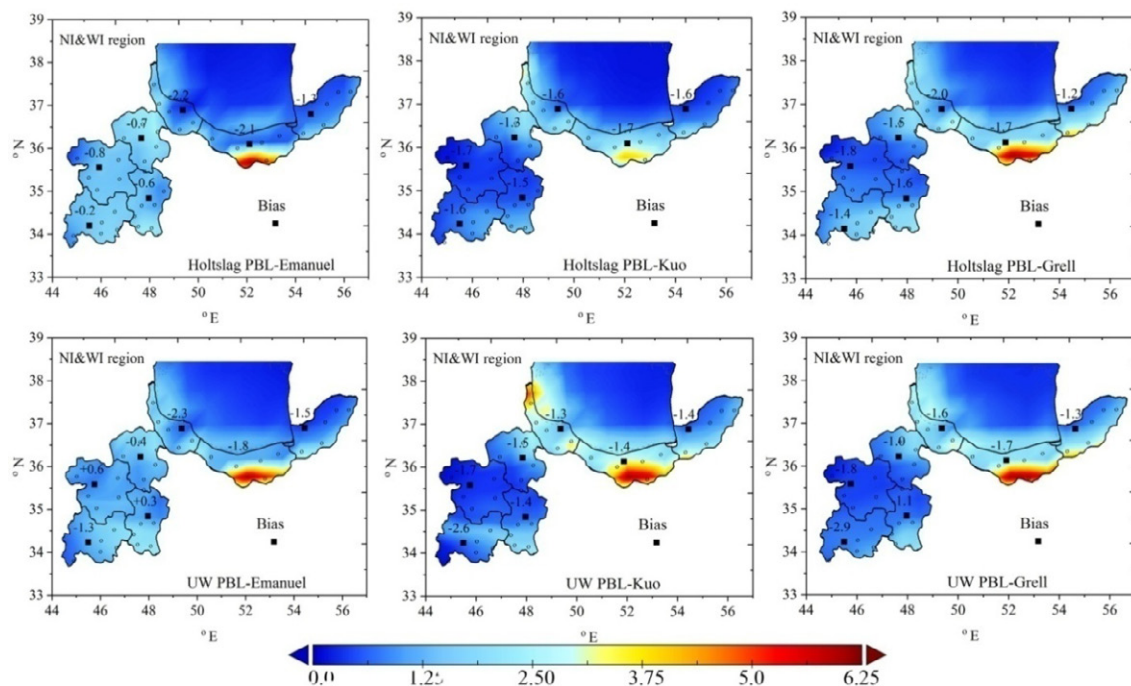
الگوهای نشان داده شده در شکل مشخص شد که برای تمام طرحواره‌ها، شبیه سازی میانگین بارش در JFMA به طور کلی در منطقه شمال دارای خطای مطلق نسبتاً زیادی است که ممکن است به دلیل کمبود ایستگاه های باران سنجی و دقت پایین تر داده های دیدبانی در این منطقه باشد.

همچنین بهترین الگوی بارش با کمترین خطای میانگین مطلق (MAE) مربوط به طرحواره های بارش همرفت امانوئل جفت شده با طرحواره های لایه مرزی سیاره ای Holtslag و UW است. به عبارتی می توان نتیجه گرفت احتمالاً انتخاب طرحواره لایه مرزی سیاره ای تأثیری بر پیش بینی بارش فصلی در منطقه مورد مطالعه نداشته است. گزارش مطالعه ایران نژاد و همکاران (۲۰۰۹) از این حیث که مدل اقلیم منطقه ای در برآورد پارامتر دما بهتر از بارش عمل می کند با مطالعه حاضر همخوانی بالایی دارد.

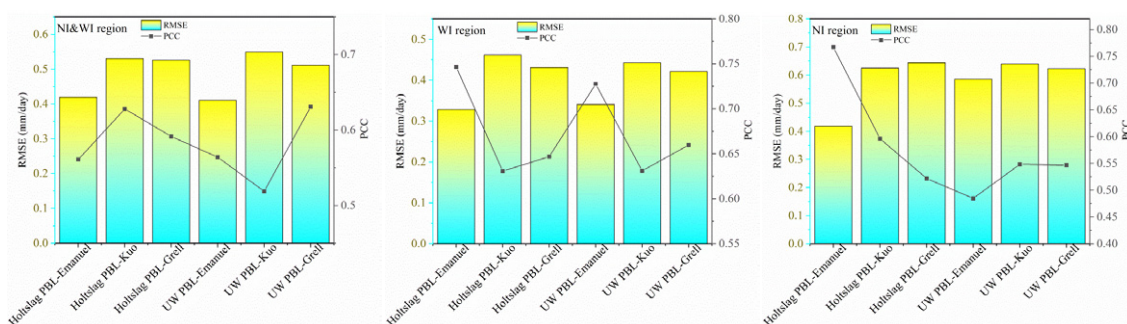
مقادیر PCC و RMSE برای بارش میانگین فصلی (JFMA) شبیه سازی شده و دیدبانی در طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ برای مناطق شمال، غرب و شمال-غرب ایران با استفاده از طرحواره های مختلف در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود طرحواره های Holtslag PBL-Emanuel و UW PBL-Emanuel عملکرد بهتری را با کمترین RMSE (۰/۳۳ mm/day) روی منطقه غرب ایران و طرحواره Holtslag PBL-Emanuel بیشترین PCC (۰/۷۷) را در مقایسه با سایر شبیه سازی های مدل، روی منطقه شمال نشان می دهد. همچنین مشاهده می شود نتایج همه طرحواره ها برای منطقه شمال-غرب ایران بهتر از سایر مناطق بود و میزان

Grell و UW PBL-Grell در تمام مناطق مورد مطالعه از عملکرد مناسبی برخوردار نبوده و بیشترین اریبی خشک با مقدار میانگین ۱/۷۵ mm/day با طرحواره Holtslag PBL-Grell برای منطقه شمال ایران بدست آمد. این در حالی است که کمترین میانگین اریبی بارش (۰/۳۴ mm/day) با طرحواره UW PBL-Emanuel در منطقه غرب قرار دارد. همچنین این طرحواره در منطقه شمال و شمال-غرب نیز عملکرد بهتری را در شبیه سازی میانگین بارش فصلی (JFMA) دارد. به طور کلی میانگین بارش های سی ساله مدل نشان می دهد مدل RegCM4.5 دارای اریبی خشک در پیش بینی بارش در تمام مناطق مورد مطالعه در این ماهها (JFMA) است. در دوره سی ساله مذکور کمترین اریبی ۰/۲۲ mm/day - مربوط به طرحواره UW PBL-Emanuel در سال ۱۹۹۵ در منطقه شمال ایران است. در صورتی که برای منطقه غرب کمترین اریبی برابر ۰/۰۲ مربوط به طرحواره Holtslag PBL-Kuo در سال ۲۰۰۱ و برای شمال-غرب ایران کمترین اریبی ۰/۱۶ mm/day - مربوط به طرحواره UW PBL-Emanuel در سال ۱۹۹۵ است. نامناسب ترین پاسخ مدل در طی سال های مورد مطالعه در طرحواره Holtslag PBL-Grell با اریبی فصلی ۳/۱۲ mm/day - در سال ۱۹۹۲ در منطقه شمال ایران دیده می شود.

در شکل ۱۰ الگوی نتایج ارزیابی سی ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) بارش میانگین فصلی (JFMA) شبیه سازی شده با طرحواره های پارامترسازی شده مختلف در منطقه شمال-غرب ایران به همراه مقادیر میانگین اریبی آن نشان داده شده است (نقاط روی شکل، ایستگاه های دیده بانی را که داده های میانگین را ساخته اند نشان می دهد). با توجه به



شکل ۱۰. الگوی میانگین بارش فصلی JFMA (بر حسب میلیمتر بر روز) بر روی ناحیه شمال-غرب ایران برای شش طرحواره مدل RegCM4.5 طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶، به همراه مقادیر میانگین اریبی آن



شکل ۱۱. نمودار تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین میانگین بارش فصلی JFMA شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 بعد از پس پردازش و داده‌های دیدبانی شده بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای شش طرحواره پارامترسازی مدل RegCM4.5 طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶

جدول ۴. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین میانگین بارش فصلی JFMA شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 و داده‌های دیدبانی بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، غرب ایران (WI) و شمال-غرب ایران (NI&WI) برای شش طرحواره مدل RegCM4.5 طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶

طرحواره	منطقه شمال		منطقه غرب		منطقه شمال-غرب	
	RMSE (mm/day)	PCC	RMSE (mm/day)	PCC	RMSE (mm/day)	PCC
Holtslag PBL-Emanuel	۰/۴۲	۰/۷۷	۰/۳۳	۰/۷۵	۰/۴۲	۰/۵۶
Holtslag PBL-Kuo	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۴۶	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۶۳
Holtslag PBL-Grell	۰/۶۴	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۵۹
UW PBL-Emanuel	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۳۴	۰/۷۳	۰/۴۱	۰/۵۶
UW PBL-Kuo	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۴۴	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۵۲
UW PBL-Grell	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۴۲	۰/۶۶	۰/۵۱	۰/۶۳

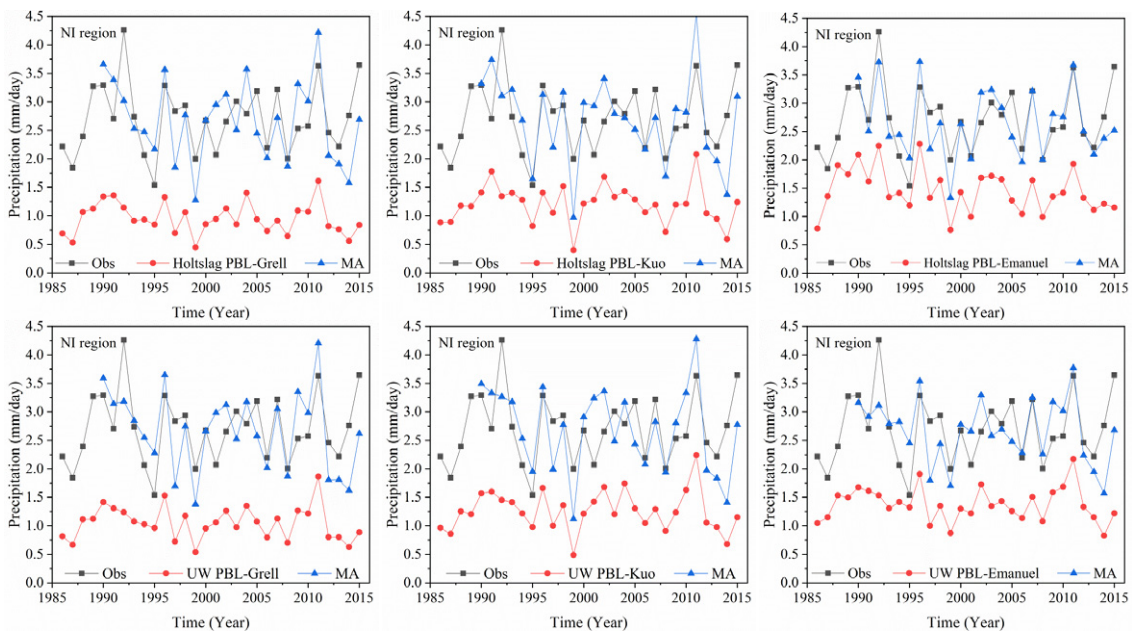
مقادیر پس‌پردازش‌شده با داده‌های دیده‌بانی در مناطق مذکور بسیار مطابقت دارند. روند تغییرات میانگین بارش فصلی برای طرحواره Holtzlog PBL-Emanuel بعد از پس‌پردازش با داده‌های دیده‌بانی در منطقه شمال مطابقت دارد. برای منطقه غرب و همچنین منطقه شمال-غرب روند تغییرات میانگین بارش فصلی برای طرحواره UW PBL-Emanuel قبل و بعد از پس‌پردازش با داده‌های دیده‌بانی در منطقه شمال مطابقت دارد. به طور کلی برای طرحواره‌های همرفت امانوئل مقادیر میانگین بارش فصلی پس‌پردازش‌شده در هر سال به مقادیر دیدبانی نزدیکتر است.

با توجه به اهمیت توزیع آماری سری زمانی بارش‌ها در پیش‌بینی بارش در آینده، روش آماری تابع توزیع تجمعی (CDF) به عنوان یک ارزیابی تکمیلی برای اریبی‌های داده‌های پس‌پردازش‌شده در نظر گرفته می‌شود. مقادیر توزیع تجمعی میانگین بارش فصلی دیده‌بانی‌شده، شبیه‌سازی‌شده قبل و بعد از پس‌پردازش با استفاده از شش طرحواره برای مناطق شمال، غرب و شمال-غرب ایران در طول دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵ در

خطا مخصوصاً در منطقه شمال ایران که میزان بارندگی بیشتر و توپوگرافی آن متنوع‌تر است، بیشتر می‌باشد.

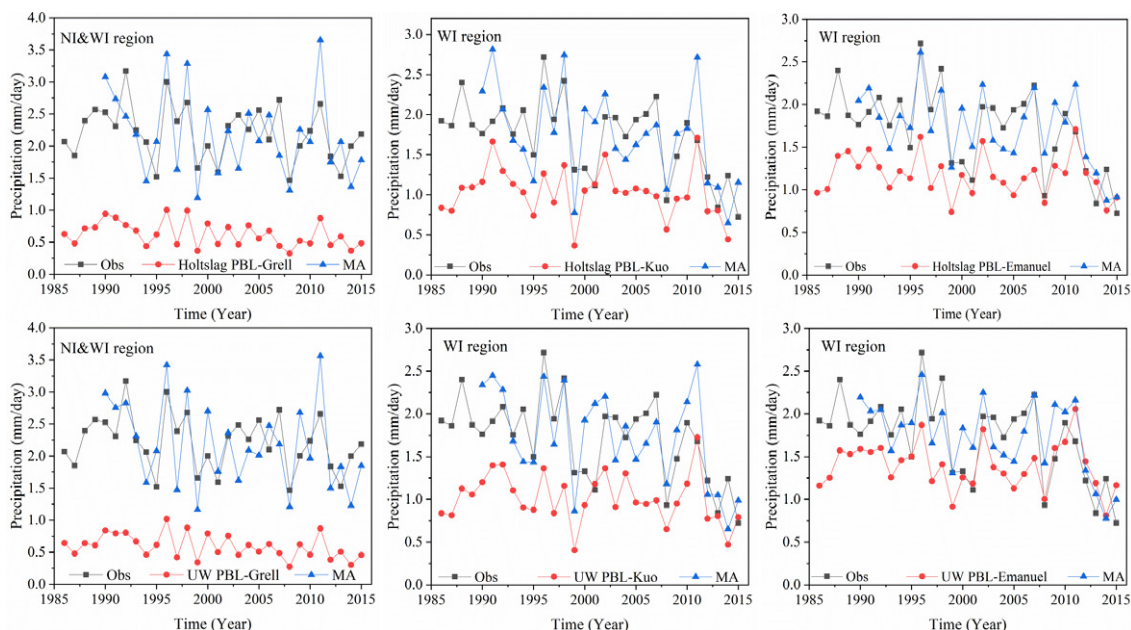
نتایج جدول ۴ مربوط به خروجی خام مدل RegCM4.5 می‌باشد که نشان می‌دهد مدل‌ها رفتار متمایز و متفاوتی در شبیه‌سازی بارش دارند لذا روش پس‌پردازش مورد نیاز است. در شکل ۱۱ مقادیر PCC و RMSE برای بارش میانگین فصلی (JFMA) شبیه‌سازی‌شده و دیده‌بانی‌شده در طی سالهای ۲۰۱۵-۱۹۸۶ برای مناطق شمال، غرب و شمال-غرب ایران با استفاده از طرحواره‌های مختلف بعد از پس‌پردازش نشان داده شده است. همان‌گونه مشخص است مقادیر RMSE بعد از پس‌پردازش در هر سه منطقه به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کرده است در صورتی که مقادیر PCC بعد از پس‌پردازش تغییر چندانی نداشته است.

شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ تغییرات میانگین بارش فصلی (JFMA) را برای داده‌های دیدبانی، داده‌های خروجی مدل قبل و بعد از پس‌پردازش با شش طرحواره به ترتیب برای منطقه شمال، غرب و شمال-غرب ایران طی دوره آموزش و آزمون (۱۹۸۶-۲۰۱۵) نشان می‌دهد.

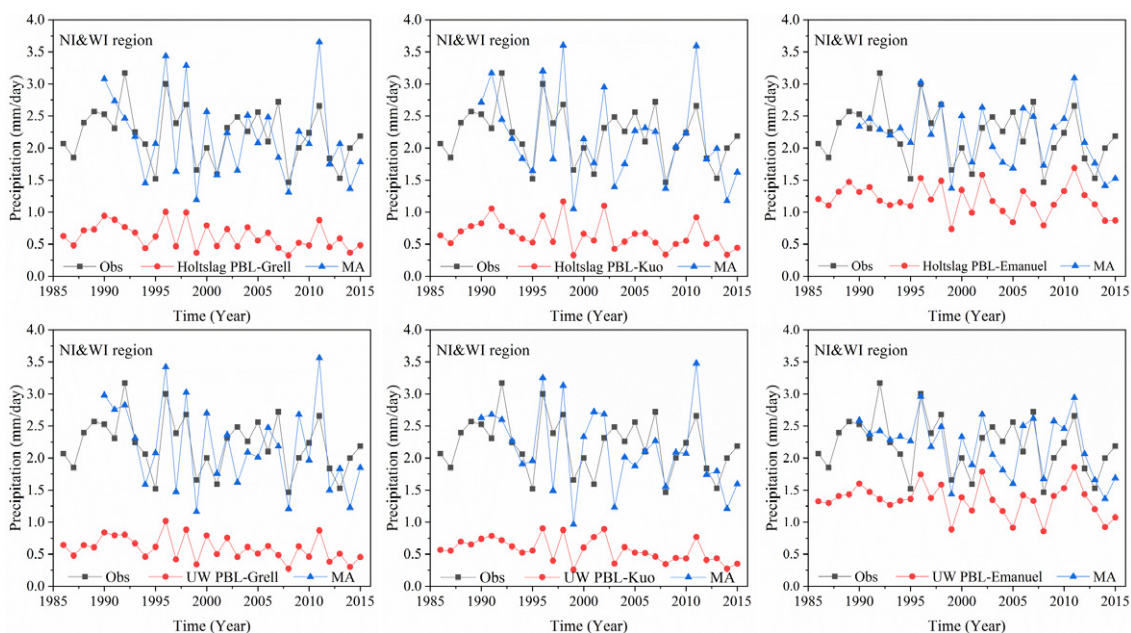


شکل ۱۲. نمودار تغییرات میانگین بارش فصلی (JFMA) شبیه‌سازی‌شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس‌پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۱۹۸۶-۲۰۱۵) و داده‌های دیده‌بانی (Obs) بر روی ناحیه شمال ایران (NI)، برای طرحواره‌های مختلف مدل RegCM4.5





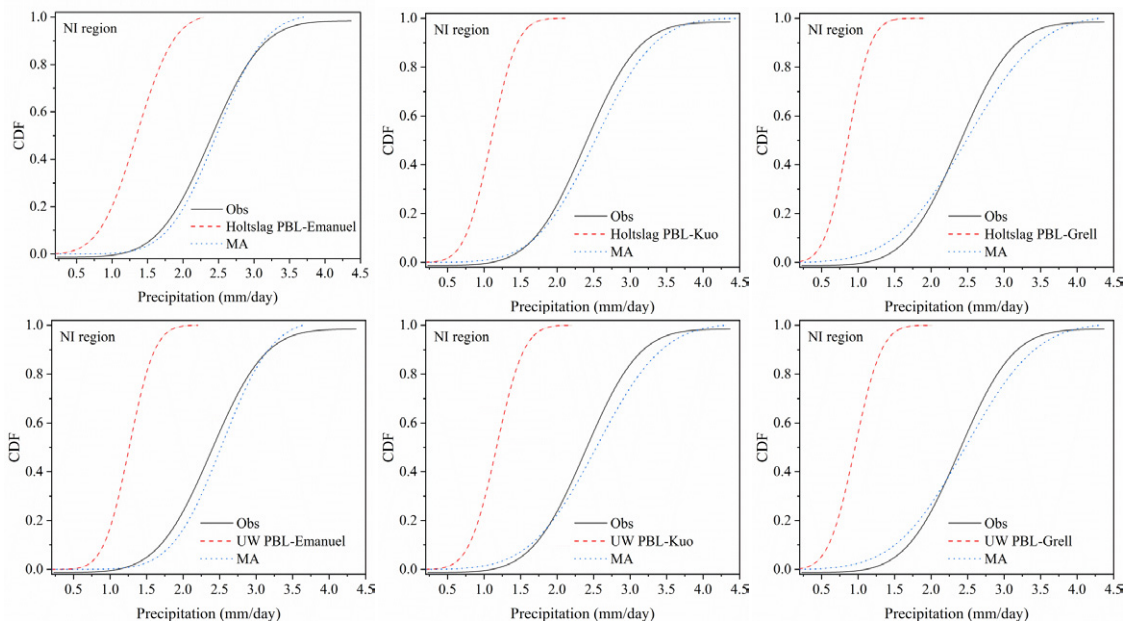
شکل ۱۳ نمودار تغییرات میانگین بارش فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و داده های دیده‌بانی (Obs)، بر روی ناحیه غرب ایران (WI)، برای طرحواره های مختلف مدل RegCM4.5



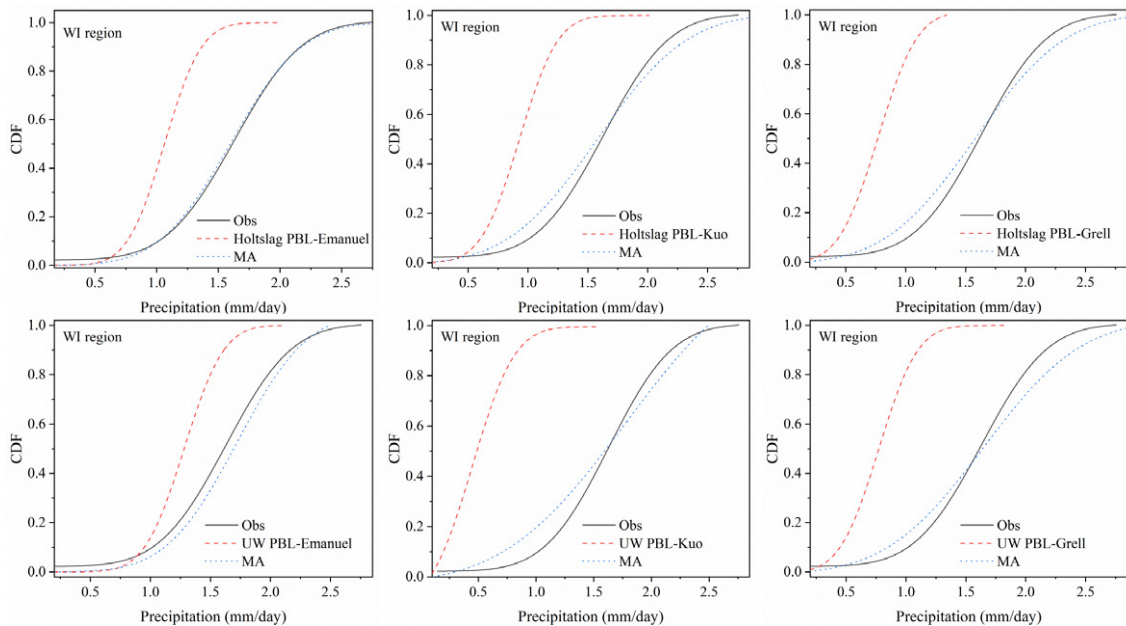
شکل ۱۴ نمودار تغییرات میانگین بارش فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و داده های دیده‌بانی (Obs)، بر روی ناحیه شمال-غرب ایران (NI&WI)، برای طرحواره های مختلف مدل RegCM4.5

مجموعه داده‌های خروجی شبیه‌سازی مدل، ارزیابی زیادی دارند و روش پیشنهادی پس‌پردازش MA به طور مؤثری ارزیابی بارش شبیه‌سازی شده با مدل RegCM را اصلاح می‌کند. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود،

شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. خطوط سیاه، قرمز و آبی به ترتیب مقادیر میانگین بارش فصلی دیده‌بانی شده، شبیه‌سازی شده قبل و بعد از پس‌پردازش را نشان می‌دهند. نمودارها به وضوح نشان می‌دهند که



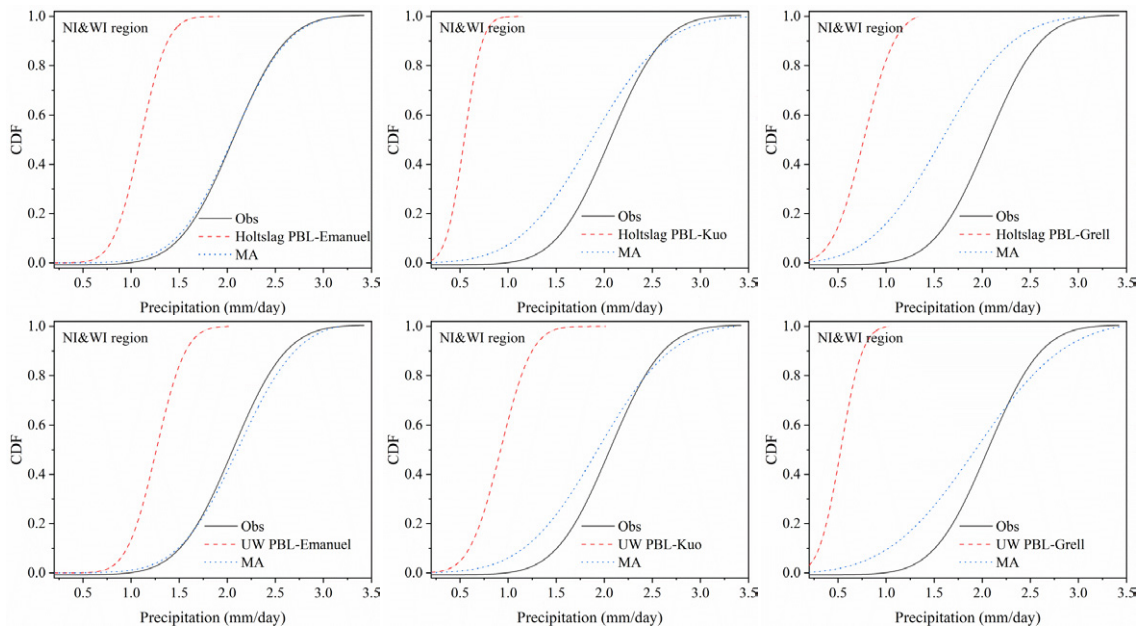
شکل ۱۵. نمودار توزیع تجمعی بارش فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و داده های دیده‌بانی (Obs) بر روی ناحیه شمال ایران (NI) برای طرحواره های مختلف مدل RegCM4.5



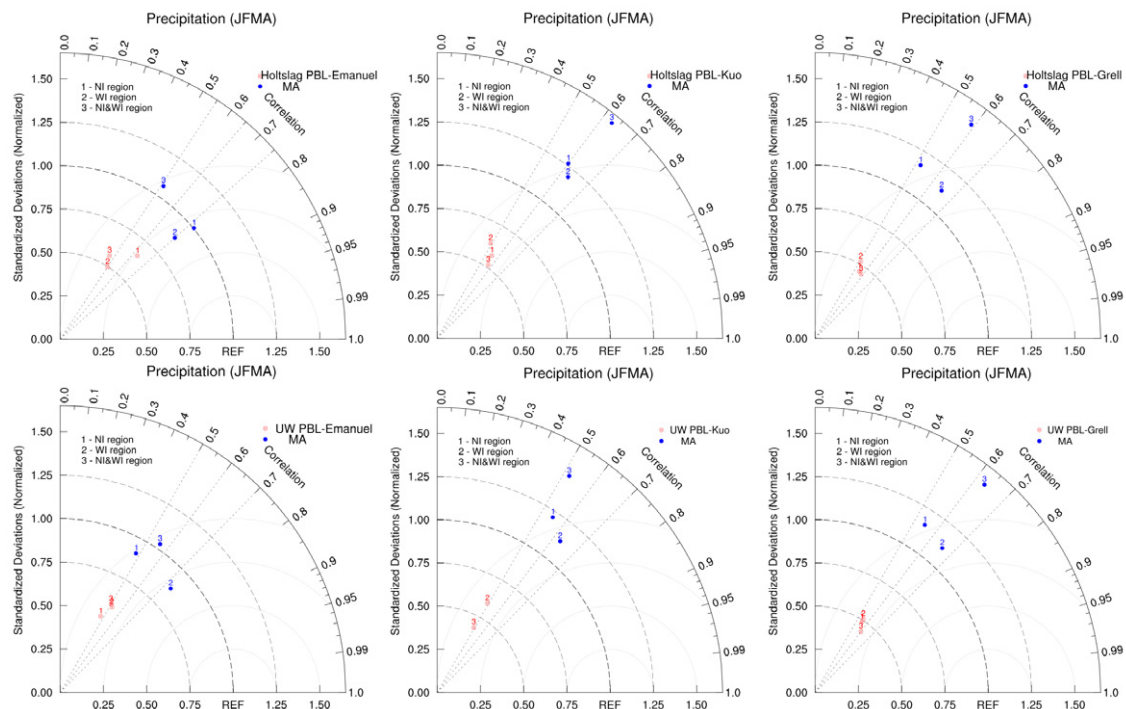
شکل ۱۶. نمودار توزیع تجمعی بارش فصلی (JFMA) شبیه‌سازی شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و داده های دیده‌بانی (Obs) بر روی ناحیه غرب ایران (WI) برای طرحواره های مختلف مدل RegCM4.5

دارند، بنابراین دقیق‌ترین طرحواره برای شبیه‌سازی میانگین بارش فصلی (JFMA) در تمام مناطق مورد بررسی طرحواره پارامترسازی Holtzlog PBL-Emanuel

مجموعه داده‌های بارش فصلی شبیه‌سازی شده با طرحواره همرفت امانوئل در مدل RegCM4.5 بعد از پس پردازش کاملاً بر نتایج میانگین بارش دیده‌بانی مطابقت



شکل ۱۷. نمودار توزیع جمعیتی بارش فصلی (JFMA) شبیه‌سازی‌شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) طی دوره آموزش و آزمون (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و داده های دیده‌بانی (Obs) بر روی ناحیه شمال-غرب ایران (NI&WI) برای طرحواره های مختلف مدل RegCM4.5



شکل ۱۸. نمودار تیلور روابط بین میانگین دمای فصلی (JFMA) شبیه‌سازی‌شده با RegCM4.5 قبل و بعد از پس پردازش (MA) و داده های دیده‌بانی بر روی مناطق انتخاب شده ایران (۱:شمال NI، ۲: غرب WI، ۳:شمال-غرب NI&WI) برای طرحواره‌های مختلف در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶



یکسانی با انحراف معیار نزدیک به ۱ را نشان می دهند. همچنین با توجه به نمودارها مشخص شد که میزان همبستگی با داده های مشاهداتی در دامنه آشیانه بیشتر از دامنه مادر است که با نتایج مشاری عشق آباد و همکاران (۱۳۹۵) مبنی بر تأثیر دقت مکانی در برآورد بارش فصلی و سالانه شمال شرق کشور در مدل اقلیمی RegCM4 مطابقت دارد. نتایج آن ها نشان داد که آشیانه سازی باعث افزایش اختلاف بین بارش محاسباتی و دیده بانی شده، ولی میزان همبستگی را بالا برده است.

### نتیجه گیری

در مطالعه حاضر، عملکرد مدل RegCM4.5 با سه طرحواره پارامترسازی همرفت (Emanuel, Kuo و Grell) و دو طرحواره لایه مرزی سیاره ای (Holtslag و UW) در شبیه سازی میانگین دمای هوای نزدیک سطح زمین و بارش فصلی در منطقه شمال، غرب و شمال-غرب ایران طی دوره سی ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) در مقایسه با داده های دیده بانی ایستگاهی بررسی شد.

در این پژوهش با هدف تعیین تأثیر پارامترهای فیزیکی در بهبود نتایج حاصل از مدل RegCM4.5، از مجموعه داده بازتحلیل NNRP2 با شرایط اولیه مرزی و پیکربندی مدل یکسان برای همه شبیه سازی ها و تنها تغییر در طرحواره های فیزیکی در یک دوره زمانی خاص برای اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که دوره شبیه سازی تنها ۳۰ سال بود، ۴ سال اول برای آموزش مدل انتخاب شد و سال های بعد برای آزمون مدل مورد استفاده قرار گرفت.

برای بررسی عملکرد شبیه سازی RegCM4.5 در مناطق مختلف ایران، منطقه سرد و بارانی ایران به دو زیر منطقه تقسیم گردید (به عنوان مثال، شمال ایران و غرب ایران؛ شکل ۳-۱). حوزه مادر کل ایران با تفکیک مکانی ۶۰ کیلومتر انتخاب شد و دو حوزه درونی شمال و غرب ایران در حوزه مادر با تفکیک مکانی ۲۰ کیلومتر آشیانه سازی شدند.

با توجه به نتایج این پژوهش، عدم قطعیت مدل نسبت

است. مجموعه داده های بارش مربوط به طرحواره های همرفت کو و گرل پس پردازش شده نیز متفاوت از مقدار دیده بانی شده هستند. در یک بررسی مشابه کیخسروی و همکاران (۱۳۹۶) با انتخاب طرحواره همرفت کو، امانوئل و گرل به شبیه سازی بارش فصلی و سالانه در ناحیه شرق و شمال شرق ایران در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۷ پرداختند و نشان دادند طرحواره کو به نسبت دو طرحواره گرل و امانوئل، خطای کمتری را در مدلسازی بارش داشت که استفاده از روش پس پردازش آماری موجب افزایش کارایی مدل RegCM نمی شود. یکی از دلایل این عدم کارایی عمل پس پردازش، وجود اریبی های خشک و تر در دوره آماری است. بنابراین نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد که برای بهبود دقت شبیه سازی مدل بارش می بایست دوره آزمون را بیشتر انتخاب نمود و یا دوره آماری کوتاه تری را برگزید تا نوسانات اریبی خشک و تر نداشته باشیم.

نمودار تیلور به صورت ترکیبی از PCC و انحراف معیار میانگین بارش فصلی JFMA برای طرحواره های مختلف با توجه به مقادیر دیده بانی ایستگاهی و مجموعه داده های پس پردازش شده MA طی دوره سی ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) مناطق شمال، غرب و شمال-غرب ایران رسم شدند (شکل ۱۸: نقاط ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مناطق شمال، غرب و شمال-غرب ایران را نشان می دهند. همچنین نقاط قرمز و آبی به ترتیب نتایج شبیه سازی قبل و بعد از پس پردازش را روی مناطق مذکور نشان می دهند).

نتایج معیار همبستگی بارش میانگین فصلی به صورت تحلیل نمودار تیلور نیز ارائه شد. تحلیل نمودار تیلور یکبار دیگر نشان می دهد که رفتار متفاوتی بین مقادیر شبیه سازی مدل RegCM4.5 و مقادیر دیده بانی برای تمام مناطق مذکور در ایران وجود دارد. ارزیابی عملکرد مدل در شبیه سازی میانگین بارش فصلی JFMA با شش طرحواره مذکور نیز بیانگر آن است همه طرحواره ها ضریب همبستگی نسبتاً مناسبی در بازه ۰/۵۵ تا ۰/۷۵ نشان می دهند که به طور خاص طرحواره بارش همرفت امانوئل با هر دو طرحواره لایه مرزی سیاره ای نتایج

به پارامترهای مختلف متفاوت است و هیچ طرحواره خاصی به طور مشترک عملکرد بهتری در شبیه سازی دما و بارش نشان نمی‌دهد. با این حال ریشه میانگین مربعات خطا بین دمای میانگین فصلی پس‌پردازش‌شده و دیدبانی کمتر از ۱ درجه سلسیوس بود و همچنین ضریب همبستگی آن‌ها بیش از ۰/۹ می‌باشد. به طور کلی، با توجه به شبیه‌سازی‌های دمای سطح زمین، با استفاده از داده‌های مدل بعد از پس‌پردازش با طرحواره‌های هولتسلاگ- گرل و هولتسلاگ- کو، در مقایسه با سایر شبیه‌سازی‌ها، روی منطقه مورد مطالعه عملکرد بهتری حاصل شد. در شبیه‌سازی بارش، ارزیابی خشک با بیشترین مقدار میانگین ( $\sim 1/75$  mm/day) روی منطقه شمال ایران است، در حالی که کمترین میانگین ارزیابی بارش ( $-0/34$  mm/day)، عمدتاً در منطقه غرب ایران واقع شده است. در مقایسه شش طرحواره پارامترسازی، ثابت شده است که طرحواره امانوئل بهترین طرحواره برای شبیه‌سازی میانگین بارش فصلی زمستان-بهار در منطقه شمال-غرب ایران است. به طور کلی، برای تغییرات فصلی بارش، طرحواره امانوئل با دو طرحواره Holtslag PBL و UW PBL با همبستگی بین  $0/75-0/55$  و انحراف معیار نرمال نزدیک به ۱، بهتر است.

با وجود توانایی شبیه سازی RegCM4.5 جفت شده با CLM4.5 و تجزیه و تحلیل دما و بارش با استفاده از طرحواره‌های مختلف پارامترسازی همرفت، کاربرد بالقوه این کار، تا حدی، می‌تواند نسبت به ترویج کاربرد مدل RegCM4.5 در تحلیل داده های آماری در سازمان هواشناسی ایران و پیش بینی‌های اقلیمی آینده مفید باشد.

در پایان می‌توان نتیجه گرفت که مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات مشابه در بسیاری از موارد همخوانی داشته و در بعضی موارد نیز با یافته‌های دیگران مغایرت دارد. این اختلاف نظر می‌تواند حاصل از مواردی چون، منطقه مورد مطالعه، بازه زمانی، پایگاه اخذ داده‌های تجربی و قدرت تفکیک مکانی و غیره باشد.

### منابع

ایران نژاد، پ.، احمدی گیوی، ف.، پازوکی، ر.، (۱۳۸۸)، نقش روش های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه سازی میدان های دما و بارش زمستانی با مدل منطقه ای- اقلیمی RegCM در منطقه ایران. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۵(۱).

باباییان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر. و حبیبی نوخندان، م.، (۱۳۸۶)، شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. جغرافیا و توسعه، ۵(پیاپی ۱۰).

خورشیددوست، ع.، م.، مفیدی، ع.، رسولی، ع. ا. و آرزوم، ک.، (۱۳۹۶)، ارزیابی میزان حساسیت مدل RegCM4 به طرحواره های پارامترسازی همرفت در مدل سازی بارش های بهاره شمال غرب ایران: (مطالعه موردی سال ۲۰۰۴). مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳).

سیاری، ن.، علی زاده، ا.، بنیان اول، م.، فریدحسینی، ع. و حسامی کرمانی، م.ر.، (۱۳۹۰)، بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه کشف رود (ایستگاه مشهد) در دوره های آبی با استفاده از مدل HadCM3 و دو سناریوی انتشار A2 و B2. پژوهش های اقلیم شناسی، ۲(۷-۸).

علیزاده چوبوری، ا.، مرجانی، س. و قدیمی، م.، (۱۳۹۸)، عملکرد نسخه چهارم مدل اقلیمی منطقه ای با پارامترسازی های فیزیکی مختلف در کشور ایران: مطالعه موردی سال ۲۰۱۰. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۳(۱).

قهرمان، ن.، باباییان، ا.، آزادی، م. و لوک زاده، ص.، (۱۳۹۴)، پس پردازش آماری برونداد بارش مدل RegCM4 روی شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۳، ۳۸۵-۳۸۸.

مدیریان، ر.، باباییان، ا.، کریمیان، م.، (۱۳۸۸)، پیکربندی بهینه مدل RegCM3 برای شبیه سازی بارش و دما در فصل پاییز منطقه خراسان در دوره ۲۰۰۰-۱۹۹۱. پژوهش های جغرافیای طبیعی سال چهل و یکم، ۱۰۷.

مشاری عشق‌آباد، س.، باباییان، ا.، نوحه‌گر، ا.، ارشادی، س.، (۱۳۹۵)، ارزیابی کارایی روش‌های مختلف پارامترسازی همرفت در برآورد بارش فصلی و سالانه شمال شرق کشور در مدل اقلیمی RegCM4. مجله مهندسی اکوسیستم بیابان، سال پنجم، ۱۲، ۹۵-۱۰۸.

Ajay, P., Pathak, B., Solmon, F., Bhuyan, P., Giorgi, F., 2019. Obtaining best parameterization scheme of RegCM 4.4 for aerosols and chemistry simulations over the CORDEX South Asia. *Climate dynamics* 53, 329-352.

Ali, S., Dan, L., Fu, C., 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 Choobari, O., Marjani, S., Qadimi, M., 2019. Performance of the Regional Climate Model version 4 (RegCM4) with different physical parameterizations over Iran: A case study in 2010. *IRANIAN JOURNAL OF GEOPHYSICS* 13.

Anthes, R.A., Hsie, E.-Y., Kuo, Y.-H., 1987a. Description of the Penn State/NCAR mesoscale model version 4 (MM4). NCAR Boulder, CO.

Anthes, R.A., Hsie, E.Y., Kuo, Y.H., 1987b. Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model, Version

- Liang, X., Yuan, C., 2016. Derivation of 3D cloud animation from geostationary satellite images. *Multimedia Tools and Applications* 75, 8217-8237.
- MacKellar, N.C., Tadross, M.A., Hewitson, B.C., 2009. Effects of vegetation map change in MM5 simulations of southern Africa's summer climate. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society* 29, 885-898.
- Ngo-Duc, T., Tangang, F.T., Santisirisomboon, J., Cruz, F., Trinh-Tuan, L., Nguyen-Xuan, T., Phan-Van, T., Juneng, L., Narisma, G., Singhruck, P., 2017. Performance evaluation of RegCM4 in simulating extreme rainfall and temperature indices over the CORDEX-Southeast Asia region. *International Journal of Climatology* 37, 1634-1647.
- Nogherotto, R., Tompkins, A.M., Giuliani, G., Coppola, E., Giorgi, F., 2016. Numerical framework and performance of the new multiple-phase cloud microphysics scheme in RegCM4. 5: precipitation, cloud microphysics, and cloud radiative effects. *Geoscientific Model Development* 9.
- Ozturk, T., Turp, M.T., Türkeş, M., Kurnaz, M.L., 2017. Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4. 3.5. *Atmospheric Research* 183, 296-307.
- Qian, Y., Giorgi, F., 1999. Interactive coupling of regional climate and sulfate aerosol models over eastern Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 104, 6477-6499.
- Taghiloo, M., Alijani, B., Asakereh, H., 2019. Investigation of the efficiency of Regional Climate Model (RegCM 4.3) in simulation of temperature and precipitation data in Iran during 2010-2015. *Geographical Space* 19, 95-110.
- Wang, N., 2007. Dynamic weather simulation. Google Patents.
- Willmott, C.J., Matsuura, K., 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research* 30, 79-82.
- Xu, J., Small, E.E., 2002. Simulating summertime rainfall variability in the North American monsoon region: The influence of convection and radiation parameterizations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 107, ACL 22-21-ACL 22-17.
- Yang, M., Zuo, R., Wang, L., Hu, F., Wang, C., Ge, W., 2019. An experiment to improve the capability of the regional climate model RegCM4. 5 to simulate the land surface climate in dense vegetation areas. *Journal of Earth System Science* 128, 184.
- Zeng, X., Zhao, M., Dickinson, R.E., 1998. Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data. *Journal of Climate* 11, 2628-2644.
- 4 (MM4). Technical note. ; National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO (USA), p. Medium: X; Size: Pages: 77.
- Arakawa, A., Schubert, W.H., 1974. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences* 31, 674-701.
- Chu, P.C., Lu, S., Chen, Y., 1999. A coastal air-ocean coupled system (CAOCS) evaluated using an airborne expendable bathythermograph (AXBT) data set. *Journal of oceanography* 55, 543-558.
- Chung, J.X., Juneng, L., Tangang, F., Jamaluddin, A.F., 2018. Performances of BATS and CLM land-surface schemes in RegCM4 in simulating precipitation over CORDEX Southeast Asia domain. *International Journal of Climatology* 38, 794-810.
- Dash, S., Singh, G., Shekhar, M., Vernekar, A., 2005. Response of the Indian summer monsoon circulation and rainfall to seasonal snow depth anomaly over Eurasia. *Climate Dynamics* 24, 1-10.
- Dickinson, R.E., Errico, R.M., Giorgi, F., Bates, G.T., 1989. A regional climate model for the western United States. *Climatic change* 15, 383-422.
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., O'Brien, T., Nogherotto, R., 2014. Regional climate model RegCM: reference manual version 4.5. Abdus Salam ICTP, Trieste 33.
- Emanuel, K.A., 1991. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences* 48, 2313-2329.
- Giorgi, F., Bates, G.T., Nieman, S.J., 1993. The multiyear surface climatology of a regional atmospheric model over the western United States. *Journal of Climate* 6, 75-95.
- Giorgi, F., Mearns, L.O., 1999. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 104, 6335-6352.
- Grell, G.A., 1993. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review* 121, 764-787.
- Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R., 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5).
- Hu, Y., Zhong, Z., Lu, W., Zhang, Y., Sun, Y., 2016. Evaluation of RegCM4 in simulating the interannual and interdecadal variations of Meiyu rainfall in China. *Theoretical and Applied Climatology* 124, 757-767.
- Kiehl, T., Hack, J., Bonan, B., Boville, A., Briegleb, P., Williamson, L., Rasch, J., 1996. Description of the NCAR community climate model (CCM3).
- Li, S., Zhong, Z., Guo, W., Lu, W., 2015. Modifications on the surface layer scheme in RegCM4. 3.5-CLM. *Climate Dynamics* 44, 2249-2265.

## Sensitivity evaluation of the different convective schemes in regional climate model RegCM4.5 for simulation of air temperature and precipitation over North and West of Iran

Fatemeh Khayatian Yazdi<sup>1</sup>, Gholamali Kamali<sup>1,\*</sup>, Seyyed Majid Mirrokni<sup>2</sup>,  
Mohammad Hossein Memarian<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Earth Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Space Physics Group, Department of Physics, Faculty of Science, Yazd University, Iran

\*Corresponding Author Email: [a.kamali@srbiau.ac.ir](mailto:a.kamali@srbiau.ac.ir)

Received: 28 July 2019, accepted: 5 November 2019

### ABSTRACT

In this research the dynamic downscaling method by Regional Climate Model (RegCM4.5) was used to assess the performance and sensitivity of seasonal simulated North and West of Iran (NI&WI) climate factors to different convection schemes, and transforms the large-scale simulated climate variables into land surface states over the North of Iran (NI) and West of Iran (WI). In this study, NNRP2 analysis data were used as initial and boundary conditions of the RegCM4.5 climate model as well as six different parameterization schemes for simulation. The results demonstrated that the RegCM4.5 model has good potential for simulating precipitation and surface temperature in the north and west of Iran. The model bias for surface temperature in different regions of Iran using parameterization schemes is different. Magnitude of the model bias for land surface temperature over different regions of Iran varies by convection parameterization schemes. In most cases, the root mean square error between post-processed simulated seasonal average temperature and observation value was less than 1°C and their correlation coefficient was more than 0.9. In general, according to the surface temperature simulations, using the model data after post-processing with Holtslag-Grell and Holtslag-Kuo schemas, compared to other simulations, achieved better performance on the study area. In precipitation simulation, dry bias with the highest mean (1.75 mm / day) was shown in the northern region of Iran, while the lowest mean precipitation bias (-0.34 mm / day) was mainly located in the western region of Iran. In the comparison of six parameterization schemes, it was proved that the Emanuel scheme is the best performance for simulating the average seasonal precipitation in the north-west region. In general, for the average seasonal precipitation, the Emanuel scheme is suggested along with the two Holtslag and UW PBL schemas with a correlation between 0.55-0.75 and a standard deviation close to 1.

**Keywords:** Convective scheme, Planetary boundary layer scheme, Precipitation, Regional climate model (RegCM4.5), Temperature

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Khayatian Yazdi, F.; Kamali, G.; Mirrokni, SM; Memarian, MH. (2020). Sensitivity evaluation of the different convective schemes in regional climate model RegCM4.5 for simulation of air temperature and precipitation over North and West of Iran. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 2(4): 296-318.

### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAs Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

