

پیکربندی بهینه مدل RegCM4.5 مبتنی بر پهنه‌های اقلیمی برای پیش‌بینی بارش دوره پربارش ایران (نوامبر-می)، مطالعه موردی: سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۴

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

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

۲- استادیار اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشگاه اقلیم‌شناسی، مشهد، ایران

۳- دانشیار هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

۴- دانشیار اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشگاه اقلیم‌شناسی، مشهد، ایران

۵- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

چکیده

در این مقاله با در نظر گرفتن پهنه‌های اقلیمی کشور، پیکربندی مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM4.5 انجام شده است؛ به این صورت که پس از انتخاب طرحواره‌های لایه مرزی سیاره‌ای و سطح زمین، انتخاب طرحواره مناسب همرفت در هر منطقه از حوزه مدل بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از نمایه دمارتن انجام شد. برای این منظور ابتدا پهنه ایران بر اساس نمایه دمارتن به هفت طبقه اقلیمی خیلی مرطوب، مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه خشک و خشک تقسیم‌بندی شد. دوره مورد مطالعه شامل ۵ دوره پربارش ۲۰۱۹-۲۰۱۴ (نوامبر تا می) بوده است. تکنیک افقی مدل منطقه‌ای ۳۰ کیلومتر، طرحواره‌های لایه مرزی سیاره‌ای و سطح زمین به ترتیب *Holslag* و *BATS* در نظر گرفته شد. در دوره یادشده، ابتدا در چند آزمایش طرحواره‌های همرفت *Kuo*، *Grell*، *Emanuel*، *Tiedtke* و *Kain* برای دستیابی به پیکربندی بهینه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که در اقلیم‌های خیلی مرطوب، مرطوب، نیمه مرطوب و مرطوب طرحواره همرفت *Tiedtke*، در مناطق نیمه خشک طرحواره *Grell* و در مناطق خشک طرحواره *Kuo* کمترین اریبی را نسبت به سایر طرحواره‌های همرفت داشتند. لذا پیش‌بینی فصلی کشور با تلفیق طرحواره‌های منطقه‌ای ارائه شد که اریبی میانگین آن در سطح کشور در طرحواره‌های تلفیقی، *Tiedtke*، *Grell* و *Kuo* به ترتیب ۰.۴۵، ۰.۷۹، ۱.۰۱ و ۰.۶۹ میلیمتر محاسبه شد. از طرف دیگر نمودار *ROC* طرحواره‌های مختلف نشان داد که دو طرحواره *Tiedtke* و *Grell* بهترین نتایج را برای پیش‌بینی فصلی میانگین ماهانه بارش دارند. نتایج نشان دادند که طرحواره تلفیقی منطقه‌ای (TGK) بین ۵۴ تا ۱۲۶ درصد نسبت به طرحواره‌های منفرد بهبود در مقادیر خطا را نشان می‌دهد. در مجموع می‌توان گفت انتخاب پیکربندی بهینه بر مبنای ایده طرحواره همرفت مبتنی بر طبقه اقلیمی می‌تواند عملکرد مدل منطقه‌ای RegCM4.5 را در پیش‌بینی فصلی بارش ایران افزایش دهد.

کلید واژه‌ها: *RegCM4.5*، *CFS*، پیش‌بینی فصلی، دمارتن، ایران.

مقدمه

در یکی دو دهه اخیر تلاش‌های فراوانی به منظور توسعه و بهبود مدل‌های اقلیمی منطقه محدود و به حداقل رساندن چالش‌های مذکور صورت گرفته است، اما مشکلات و چالش‌ها هنوز به قوت خود باقی است. ابرها و فرایندهای فیزیکی مربوط به آن در بیشتر برهمکنش‌های فیزیکی مانند فرایندهای دینامیکی، ترمودینامیکی، هیدرولوژیکی، تابشی و فرایندهای سطحی نقش دارند و در بیشتر این برهمکنش‌ها همرفت کومه‌ای نقش اساسی ایفا می‌کند. وارد کردن اثر همرفت کومه‌ای در مدل‌های رقومی، پارامتری‌سازی همرفت نامیده می‌شود (مولیناری، ۱۹۹۳). طرحواره‌های همرفت به طور تجربی اثر این پدیده را در مقیاس شبکه‌ای مدل‌های اقلیمی و پیش‌بینی هوا بیان می‌کنند (کاتن و همکاران، ۲۰۱۱). طرحواره‌های پارامتری‌سازی همرفت، همیشه یکی از منابع ایجاد خطا در مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای محسوب می‌شوند که تاثیر معنادار بر خروجی‌های مدل می‌گذارند (پال و همکاران، ۲۰۰۷). به طور کلی، هیچ یک از طرحواره‌های پارامتری‌سازی همرفت نمی‌توانند به خوبی و به طور گسترده برای تمامی سامانه‌های جوی استفاده شوند، زیرا به عنوان مثال، فرایندهای همرفتی در نواحی حاره به شکل معناداری با فرایندهای موجود در عرض‌های میانه متفاوت هستند (علی و همکاران، ۲۰۱۴)؛ 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 صورت گرفته است.

اوانس و همکاران (۲۰۰۴) 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 تحقیق مبین آن بود که مدل RegCM شرایط بارشی محدوده کوهستانی زاگرس و محدوده هلال خصیب را در قیاس با سایر مناطق خاورمیانه به شکل مطلوب‌تری آشکارسازی می‌کند. یافته‌های آنها نشان داد که توانایی مدل در شبیه‌سازی صحیح مسیر طوفان‌ها، فرایندهای متأثر از توپوگرافی و میزان ناپایداری جوی از مهم‌ترین دلایل موفقیت مدل در شبیه‌سازی مناسب

چرخه فصلی بارش است. در پژوهش دیگری، رحمان و همکاران (۲۰۰۷) ویژگی‌های اقلیمی کشور بنگلادش را با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3 بررسی کردند. نتایج مدل‌سازی بارش در مقیاس فصلی بیانگر آن است که طرحواره گول FC بارش دوره پیش مونسون را بیش از مقادیر واقعی و دوره مونسون را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. در مقابل، طرحواره گول AS، شبیه‌سازی مناسبی نداشته است. فرانکو و همکاران (۲۰۱۳) دما و بارش شبیه‌سازی شده با مدل RegCM4 را مورد ارزیابی قرار دادند. محدوده انتخابی آنها مکزیک، دوره اجرای مدل ۱۹۸۲-۲۰۰۸ و قدرت تفکیک افقی ۵۰ کیلومتر انتخاب شد. نتایج بررسی‌های ایشان حاکی از بیش‌برآورد بارش توسط مدل در مناطق کوهستانی بود. آدنی (۲۰۱۴) نیز در پژوهشی با عنوان «حساسیت سنجی طرحواره‌های همرفتی» از مدل RegCM4 به منظور مدل‌سازی بارش ماه‌های سپتامبر سال ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ در غرب آفریقا استفاده کرده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که تمامی طرحواره‌های همرفتی، نماینده بخشی از فضای بارشی هستند اما همگی از نوعی اریبی برخوردارند. در این تحقیق، طرحواره‌های کو و گول، بارش کمتری را در مقایسه با داده‌های مشاهداتی برآورد کرده‌اند، در حالی که بارش برآورد شده به وسیله طرحواره ایمانوئل برای سپتامبر ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ بیشتر از مقادیر مشاهداتی بوده است. در مطالعه علی و همکاران (۲۰۱۵)، حساسیت آزمایشات با پنج طرحواره همرفت مختلف گول، ایمانوئل، تیدکی، ایمانوئل برای خشکی و گول برای اقیانوس، گول برای خشکی و ایمانوئل برای اقیانوس در مدل RegCM اجرا شد تا مناسب‌ترین طرحواره همرفتی برای شرق/جنوب آسیا پیدا شود. در برخی مطالعات قبلی، طرحواره ایمانوئل دارای عملکرد بهتری بر روی اقیانوس بوده اما برای بارندگی روی خشکی دارای بیش‌برآورد است. بعلاوه، گزارش شده که طرحواره گول روی خشکی بهتر عمل کرده اما برای بارش در مناطق اقیانوسی حاره نتایج ضعیفی را نشان داده و کم برآورد است (الگیوندی و همکاران، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، نتایج شبیه‌سازی طرحواره گول برای برخی مناطق بر فراز اقیانوس دارای عملکرد قابل توجهی است (مامگین و همکاران، ۲۰۱۳). به همین دلیل در پژوهش علی و همکاران (۲۰۱۵)، گزینه همرفتی ترکیبی یعنی GLEO و ELGO به مدل اضافه شده تا عملکرد آن را افزایش دهد. در

گرفتند که استفاده از روش یادشده ارزش افزوده قابل توجهی بر درستی پیش بینی های مدل با تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر ندارد. ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه نقش روش های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه سازی میدان های دما و بارش زمستانی با مدل منطقه ای - اقلیمی RegCM در ایران، نشان دادند که نتایج شبیه سازی های دما و بارش 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. آنها پیشنهاد کردند که با توجه به ساختار ساده تر و هزینه محاسباتی کم تر طرح واره کو- آنتس نسبت به طرح واره های دیگر، با وجود عدم تفاوت چشمگیر در نتایج مدل، به نظر می رسد این طرح واره در مطالعه اقلیمی و منطقه ای در بازه های فصلی، لااقل در منطقه ایران بهترین گزینه باشد.

با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون در ایران و سایر کشورها و چالش های پیش بینی فصلی موجود در کشور، در این مطالعه تلاش می -شود تا با لحاظ اقلیم های مناطق مختلف کشور در انتخاب طرحواره های همرفت، توانایی مدل منطقه ای RegCM4.5 در پیش بینی بارش دوره پربارش سال در ماههای نوامبر تا می (آبان تا اردیبهشت) را در کشور ارتقاء بخشیم. برای این منظور یک دوره ۵ ساله شامل ۲۰۱۹-۲۰۱۴ برای مطالعه انتخاب شد.

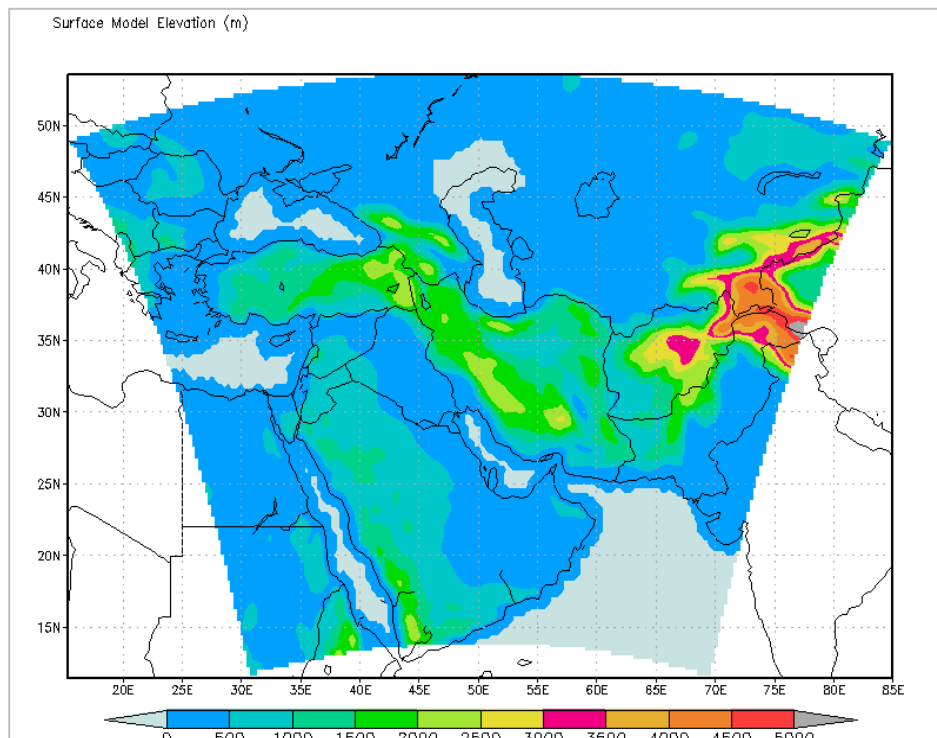
مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و داده ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش پهنه ایران است که ۲۵ تا ۴۱ عرض درجه شمالی و ۴۷ تا ۶۳ درجه طول شرقی را در بر می گیرد، اما محدوده اجرای مدل ۳۰ تا ۷۰ طول شرقی و ۱۰ تا ۵۵ درجه عرض شمالی در نظر گرفته شده است که عوارض جغرافیایی مهم منطقه مانند کوهستان های هندوکش، تبت، آناتولی و پهنه های آبی دریای خزر، سیاه، مدیترانه، سرخ، عمان، خلیج فارس و مناطق شمالی اقیانوس هند را پوشش می دهد. در شکل ۱، منطقه اجرای مدل نشان داده شده است.

مطالعه ای که کومکو و همکاران (۲۰۲۰) انجام دادند، ده حالت مختلف طرحواره های همرفتی (ترکیب خشکی و دریا) را برای ارزیابی مدل RegCM به کار گرفته شده است. کومکو و همکاران بارش فصلی ۲۰۱۹-۲۰۱۷ را برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفتند، در حالیکه منطقه را به ۵ قسمت مختلف تقسیم کرده و برای هر منطقه ترکیبی را ارائه دادند.

در ایران نیز علیزاده چوبری و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی عملکرد نسخه چهارم مدل اقلیمی منطقه ای (RegCM4) را با چهار پارامتری سازی مختلف در شبیه سازی دمای هوای نزدیک سطح زمین و بارش در منطقه ایران را برای سال ۲۰۱۰ مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه عملکرد مدل RegCM4 با چهار پارامتری سازی مختلف برای شبیه سازی دمای نزدیک سطح زمین و بارش در منطقه ایران در مقایسه با داده های مشاهداتی (CRU هریس و همکاران، ۲۰۲۰) بررسی شده است. با توجه به اینکه در داده های CRU، از اطلاعات تعداد زیادی از ایستگاه های همیدی مناطق مختلف جهان از جمله ایران استفاده می شود، این داده ها در مقایسه با داده های بازتحلیل مطابقت بیشتری با مشاهدات دارند. در مقابل، داده های بازتحلیل که اغلب با داده های سنجش از دور صحت سنجی شده اند، خطای به نسبت زیادی به ویژه برای بارش و دمای هوای نزدیک سطح زمین دارند (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۸). بررسی خطای ریشه میانگین مربعات دمای هوا برای این چهار شبیه سازی نشان داد که استفاده از طرحواره لایه مرزی هلتسلگ در ماه های سرد سال و طرحواره UW PBL در ماه های گرم سال عملکرد بهتری دارد و از آنجا که استفاده از همرفت Tiedtke در کنار لایه مرزی هلتسلگ می تواند مقادیر خطای ریشه میانگین مربعات را در فصل های گرم سال به شدت کاهش دهد و کمترین خطای ممکن را در طول کل سال در پی دارد، استفاده از طرحواره لایه مرزی هلتسلگ در RegCM4 برای فصل های سرد سال و استفاده از همین طرحواره در کنار طرحواره همرفت Tiedtke برای شبیه سازی دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین برای کل سال در منطقه ایران پیشنهاد شده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روش وایازش چندمتغیره پیش بینی بارش دوره سرد سال استان فارس را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه



شکل ۱- حوزه شبیه‌سازی توسط مدل منطقه‌ای RegCM4.5 به همراه ناهمواری منطقه

برای درستی‌سنجی برون‌داد مدل RegCM قبلاً توسط محققان مختلف کشور استفاده شده است (علیزاده و همکاران، ۲۰۱۹؛ پازوکی و همکاران، ۱۳۸۴، ایران نژاد، ۱۳۸۸).

معرفی مدل RegCM4.5

مدل منطقه‌ای RegCM4 در سال ۱۳۹۳ توسط جورجی و همکارانش (b1993) توسعه پیدا کرد؛ سپس جورجی و شلد (۱۹۹۹) و پال (۲۰۰۰) آن را بهبود دادند. هسته دینامیکی مدل مبتنی بر معادلات هیدروستاتیکی با سیستم مختصات سیگما است. این مدل از معادلات اندازه حرکت افقی، پیوستگی و تغییرات فشار، ترمودینامیک، امگا و هیدروستاتیک استفاده می‌کند (جورجی و همکاران، ۱۹۹۳). توضیحات کاملی از سایر معادلات مورد استفاده در مدل در مقاله جورجی و همکاران آمده است (Giorgi, 1993c). مدل از طرحواره بیوسفر-اتمفسفر (BATS) برای مدل‌سازی فرآیندهای سطحی استفاده می‌کند و طرحواره لایه مرزی آن بر اساس مفهوم پخش غیرمحلّی توسط هالتسلاگ (Holtstag, 1993) ارائه شده است. برای محاسبه تابش از طرحواره تابش مدل CCM3

دوره زمانی مورد مطالعه در این پژوهش ماههای پربارش سال یعنی ماههای نوامبر تا می (آبان تا اردیبهشت) طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۹ است. مدل مورد استفاده در این پژوهش RegCM4.5 است که برای مقیاس‌کاهی دینامیکی از آن استفاده می‌شود. داده‌های مورد نیاز عبارتند از: داده‌های شرایط مرزی مدل دینامیکی CFSv2 به مبداء یک نوامبر در هر سال، به عنوان شرایط مرزی و داده‌های بارش CRU به عنوان داده بازکاوی برای راست‌آزمایی برون‌داد مدل RegCM استفاده شده است.

در این پژوهش از مجموعه داده‌های CRU1، به عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. داده‌های یادشده در دوره زمانی 1901-2000 میلادی در دسترس بوده و کمیت‌ها در بازه‌های ماهانه میانگین‌گیری شده‌اند. تفکیک افقی این داده‌ها ۰/۵ درجه جغرافیایی برای کل کره زمین شامل داده‌های سطح زمین می‌باشد. از آنجا که داده‌های مشاهداتی میانگین‌گیری ماهانه شده‌اند، برای مطالعاتی که میانگین‌های ماهانه را مورد بررسی قرار می‌دهند، مناسب هستند. داده‌های CRU

نرخ جریانهای ورودی و خروجی دارد که از این طریق نیروی شناوری مشخص می‌شود. در طرحواره امانوئل تبدیل آب ابر به بارش بر مبنای فرآیندهای کاتوره‌ای است. استفاده از این فرآیند ها موجب درک بهتر فرآیند خرد فیزیک تبدیل قطرات آب موجود در ابر به بارش می‌گردد (Betts, 1986: 667-). Hogan, et al 2003 (691).

طرحواره تاییدیک در اصل برای کاربردهای بزرگ مقیاس طراحی شده‌است. این طرحواره به شارش جرم و همگرایی رطوبت بستگی دارد. مکانیزم راه‌اندازی آن بر اساس همرفت است، یعنی اگر دمای بسته هوا از دمای محیط با یک دمای آستانه ثابت بیشتر شود، ناپایداری شرطی ایجاد می‌شود. این طرحواره دارای همرفت کم عمق و عمیق است (علی و همکاران، ۲۰۱۴). طرحواره Kain که بر اساس فرضیات بستار Fritsch-Chappell (FC) (۱۹۸۰) است، توسط مشاهدات و تحقیقات عددی مداوم از سیستم های همرفت بزرگ مقیاس توسعه پیدا کرده است و تاثیر بالقوه قابل توجهی از فرایندهای فیزیکی خاص را نشان می‌دهد. در بعضی تحقیقات به این مساله اشاره شده است که این طرحواره برای عرض‌های میانی مناسب است (کومکو و همکاران، ۲۰۲۰).

انتخاب پیکربندی بهینه مدل

در جدول ۱، پیکربندی مدل RegCM4.5 در انجام آزمایش‌های مختلف برای انتخاب پیکربندی بهینه در مناطق اقلیمی مختلف آورده شده است. همانطور که در جدول دیده می‌شود توانمندی هر یک از آزمایش‌ها برای شش منطقه اقلیمی خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب با استفاده از شاخص های اریبی، خطای RMSE ضریب همبستگی r درستی‌سنجی شده و طرحواره همرفت مناسب برای هر بهینه اقلیمی انتخاب می‌شود.

(Kiehl, 1996) استفاده می‌شود. تابش ابر بر حسب درصد ابرناکی و میزان آب موجود در آن برآورد می‌گردد (Hsie, 1984).

پارامتری سازی همرفت

از آنجا که در این پژوهش پیکربندی مدل بر اساس مولفه بارش‌های همرفتی است، لذا در این بخش طرحواره‌های مختلف همرفت مورد استفاده شامل گریل، کو، امانوئل، کین و تاییدیک معرفی می‌شوند. بارش‌های همرفتی طرحواره گریل با دو فرضیه $AS1$ و $FC2$ و همچنین از طرحواره های امانوئل و کو برای مدل‌سازی تشکیل ابر استفاده می‌کند. در طرحواره گریل دو جریان همرفتی غالب برای ابر در نظر گرفته می‌شود: جریان صعودی و جریان نزولی. به استثنای جریانهای مذکور، در هیچ جهتی بین ابر و هوای محیط اختلاطی رخ نمی‌دهد. شار جرم نسبت به ارتفاع ثابت است و در طول لبه‌های ابر نفوذ و خروج جریان هوا رخ نمی‌دهد. طرحواره گریل زمانی فعال می‌شود که بسته هوای صعود کرده رطوبت لازم برای همرفت را بدست آورد (Grell, et al, 1994 & Giorgi, et al, 1989). در طرحواره کو همرفت زمانی آغاز می‌شود که در یک ستون همگرایی رطوبتی M از آستانه مشخصی بیشتر شود و ژرف‌سنجی عمودی ناپایداری همرفتی را نشان دهد. کسر همگرایی رطوبت β ، ستون را مرطوب می‌کند و باقی مانده آن بر طبق رابطه (۱) به بارش P_{cu} تبدیل می‌شود.

$$P^{cu} = M(1 - \beta) \quad (1)$$

که در آن β کسری از میانگین رطوبت نسبی RH در ژرف‌سنجی قائم می‌باشد (Giorgi, 1991). طرحواره کو بر خلاف طرحواره گریل، علاوه بر دو جریان صعودی و نزولی، نفوذ و خروج جریان هوا در طول لبه های ابر را نیز در نظر می‌گیرد. طرحواره امانوئل، یک معادله پیش بینی شارش جرم به همراه

جدول ۱- پیکربندی مورد استفاده در مدل RegCM

آزمایش	گام شبکه	طرحواره لایه مرزی	طرحواره سطح زمین	طرحواره همرفت
CPS_1				Kuo
CPS_2				Grell
CPS_3	۳۰ کیلومتر	Holtlag PBL	BATS	Emanuel
CPS_4				Tiedtke
CPS_5				Kain

پهنه‌بندی اقلیمی

برای اقلیم‌بندی مناطق مختلف کشور از روش دومارتن استفاده شد که ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش اقلیم‌بندی است (Khamchin & Rezaee, 2009). در محاسبه این شاخص متغیرهای بارش و دما موثر هستند که همانطور که بیان شد داده‌های بارش و دما از پایگاه CRU استفاده شد. انجام اقلیم‌بندی برای هر یک از یاخته‌های شبکه به منظور

مشخص نمودن پیکربندی مناسب اقلیم‌های مختلف انجام شد.

اساس روش مذکور فرمول (۲) می‌باشد:

$$I = P / (T + 10) \quad (2)$$

متغیرهای رابطه (۲) عبارتند از: P به عنوان متوسط بارش سالانه بر حسب میلی‌متر و T به عنوان متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سلسیوس و I ضریب خشکی دومارتن است. بر اساس فرمول دومارتن شش نوع طبقه‌بندی اقلیمی مشخص شده است که در جدول ۲ آورده شده‌اند:

جدول ۲- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس شاخص دومارتن (علیزاده، ۱۳۹۴)

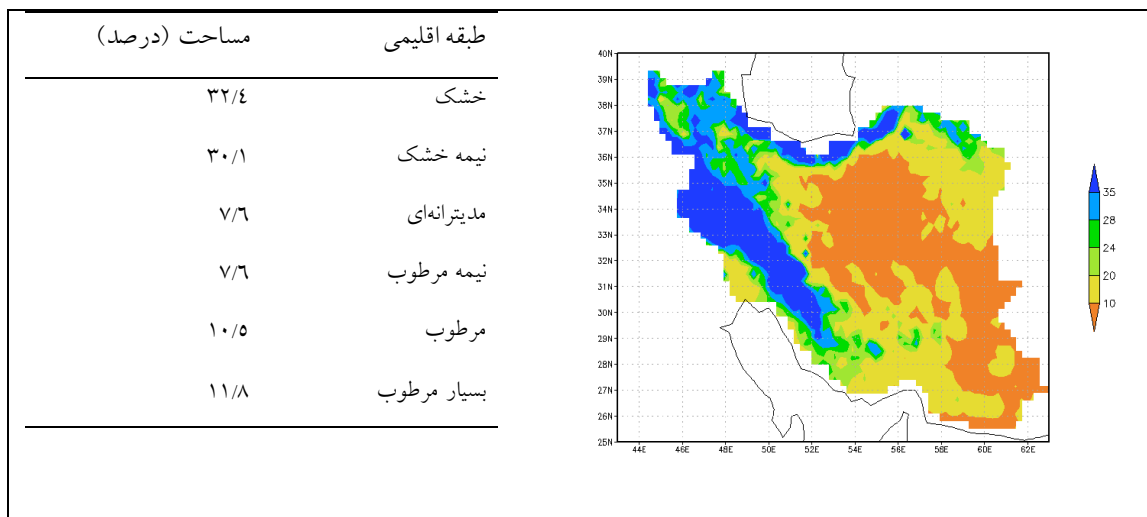
نام اقلیم	خشک	نیمه خشک	مدیترانه‌ای	نیمه مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
ضریب دومارتن (I)	کوچکتر از ۱۰	۱۰-۱۹.۹	۲۰-۲۳.۹	۲۴-۲۷.۹	۲۸-۳۴.۹	بیشتر از ۳۸

نتایج و بحث

تعیین مناطق اقلیمی

از آنجا که یکی از پایه‌های پژوهش حاضر نوع اقلیم منطقه است، بنابراین در ابتدا براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (جدول ۱) طبقات اقلیمی تمامی یاخته‌های منطقه مورد مطالعه

مشخص شدند. در شکل ۲ طبقه‌بندی اقلیمی و درصد مساحت مربوطه مناطق مختلف کشور با استفاده از داده‌های بارش و دمای CRU نشان داده شده است. در شکل یادشده، رنگ نارنجی طبقه اقلیمی خشک، زرد طبقه اقلیمی نیمه خشک و همینطور رنگ‌های سبزروشن تا آبی تیره طبقات اقلیمی نیمه مرطوب تا خیلی مرطوب را نشان می‌دهند.

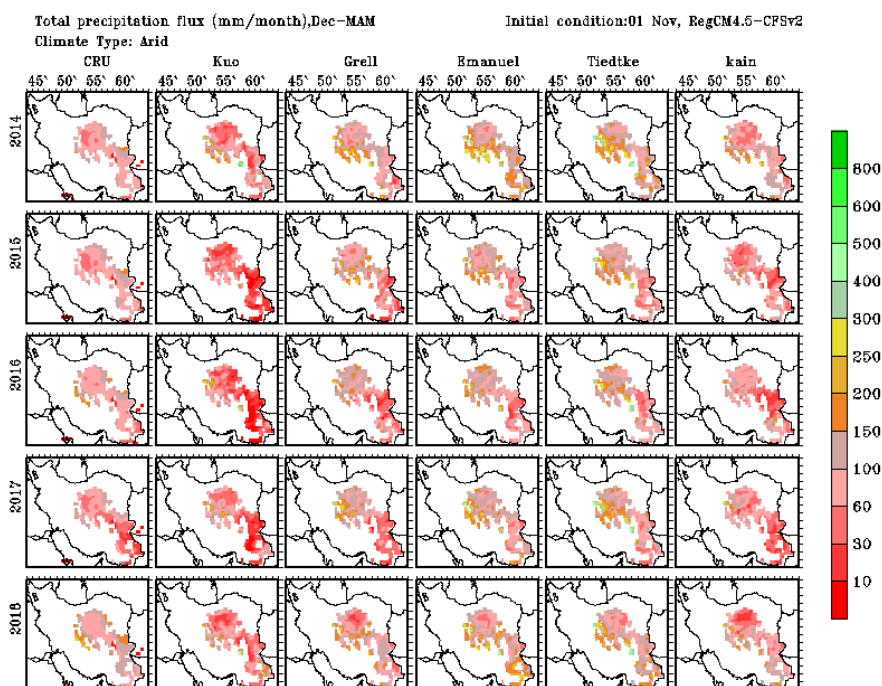


شکل ۲- راست: طبقه‌بندی اقلیمی کشور بر اساس روش دومارتن و چپ: مساحت طبقات اقلیمی کشور بر حسب درصد

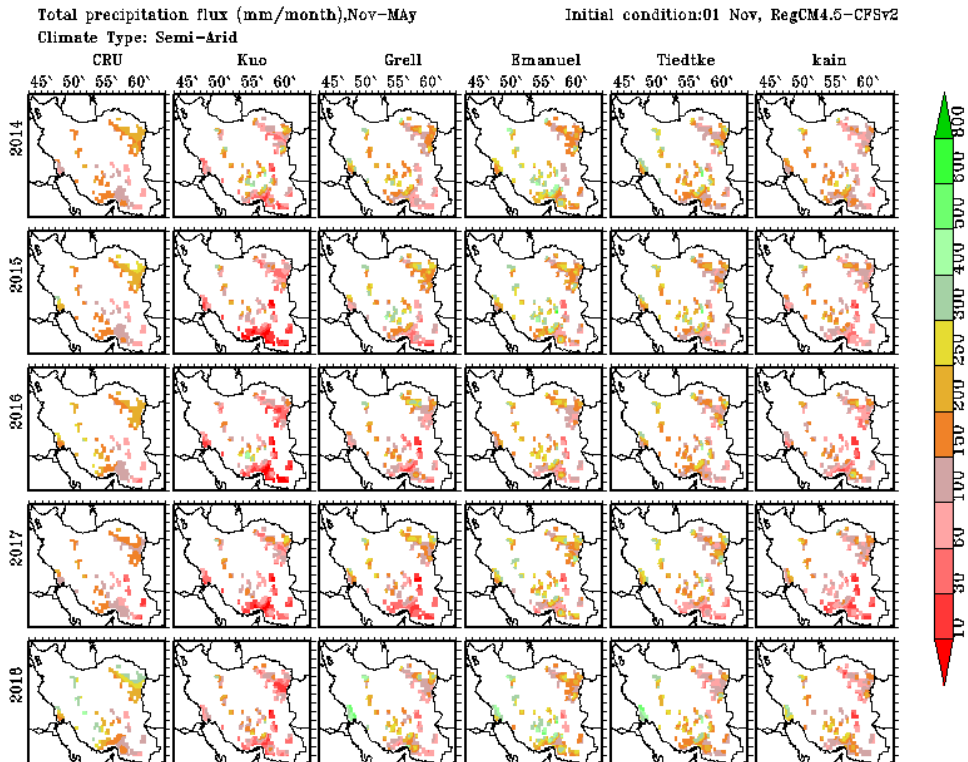
انتخاب پیکربندی بهینه منطقه‌ای

در این پژوهش برون‌داد بارش مدل RegCM4.5 با پنج طرحواره متفاوت در هر یک از طبقات اقلیمی دمارتن با مقادیر بارش CRU مقایسه و درستی‌سنجی شدند و برای هر یک از طبقات اقلیمی طرحواره بهینه انتخاب شد. در شکل‌های ۳ تا

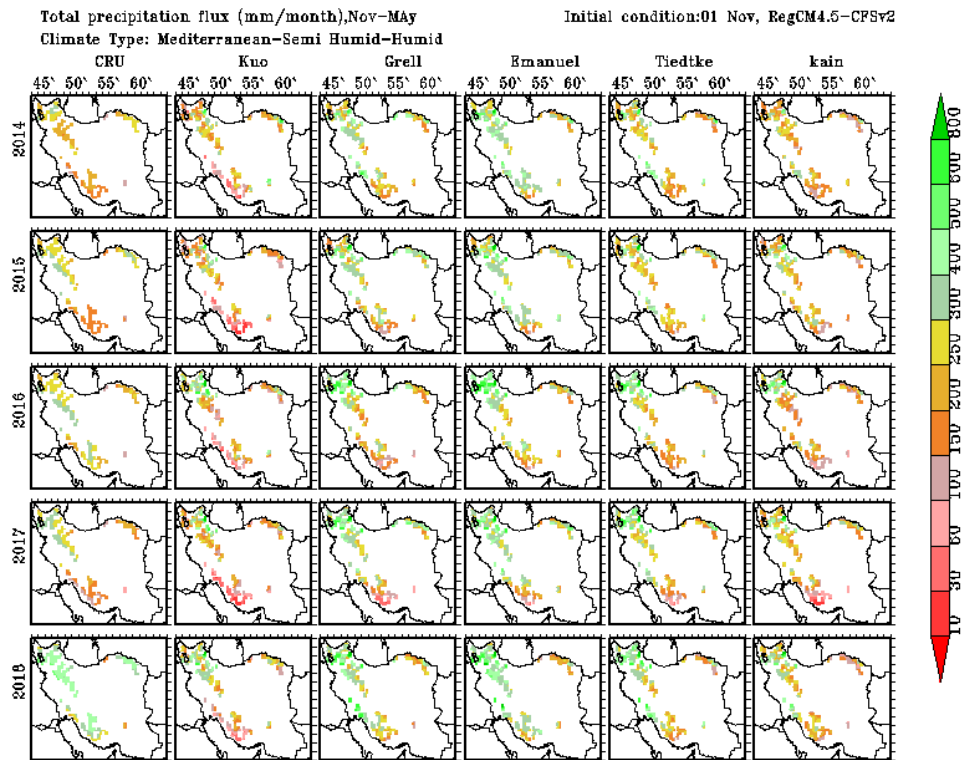
۶ میانگین بارش پیش‌بینی شده برای فصل بارشی نوامبر تا می دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در هر یک از اقلیم‌های مختلف تحت ۵ طرحواره همرفت آورده شده است. در تمامی آزمایش‌ها، آغاز اجرای مدل از آخرین روز ماه اکتبر و خاتمه آن ماه می سال بعد بوده است.



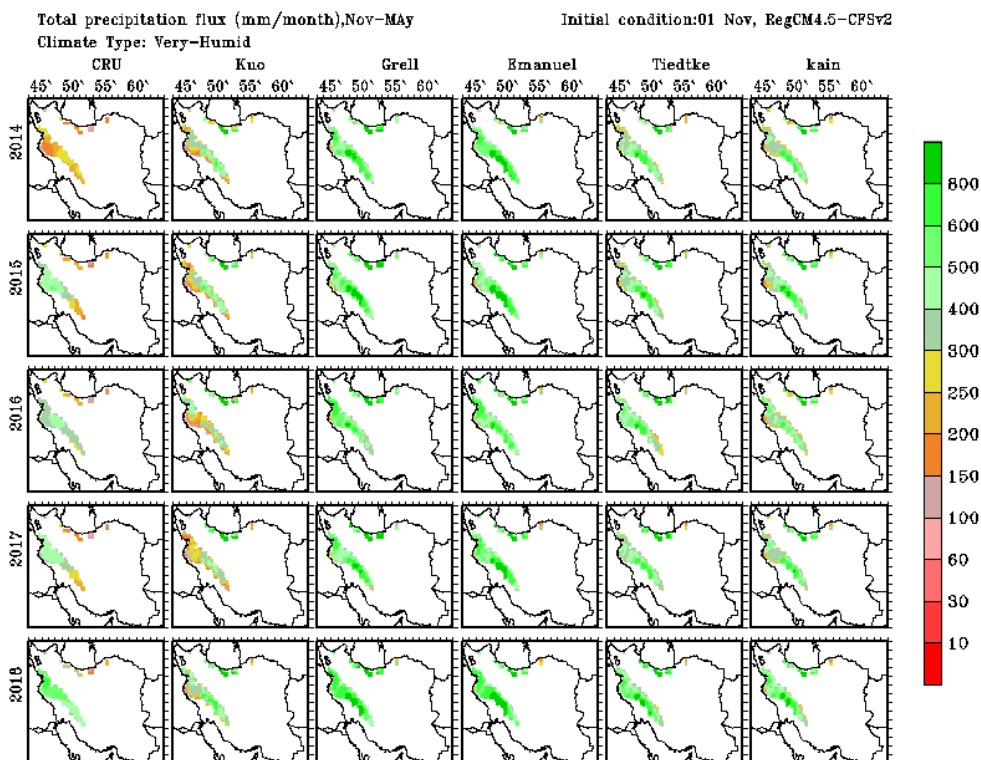
شکل ۳- نقشه‌های پیش‌بینی پنج ساله بارش تجمعی (نوامبر تا می) برای بهینه اقلیم خشک



شکل ۴- نقشه‌های پیش‌بینی پنج ساله بارش تجمعی (نوامبر تا می) برای پهنه اقلیمی نیمه خشک



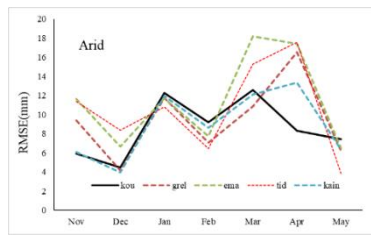
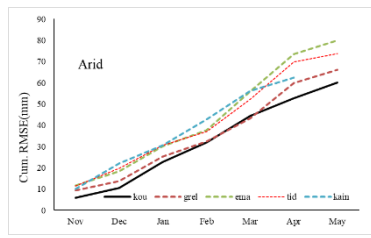
شکل ۵- نقشه‌های پیش‌بینی پنج ساله بارش تجمعی (نوامبر تا می) برای پهنه اقلیمی مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و مرطوب



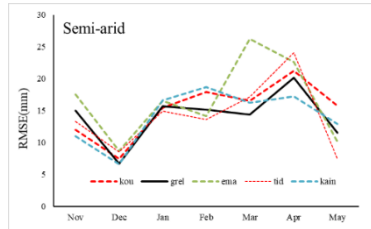
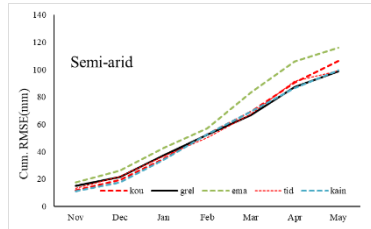
شکل ۶- نقشه‌های پیش‌بینی پنج ساله بارش تجمعی (نوامبر تا می) برای پهنه اقلیمی بسیار مرطوب

مشاهده شده است که ممکن است ناشی از زمان spin up مدل باشد. در این صورت لزوم لحاظ زمان تنظیم (spin up) حدوداً یک ماهه را برای پیش‌بینی‌ها مشخص می‌کند. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود در پهنه‌های اقلیمی خشک، نیمه خشک، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب به ترتیب طرحواره‌های grell، kou و tiedtke دارای بیشترین کارایی می‌باشند. در جدول ۳ میانگین اریبی و خطای RMSE هر یک از آنها آورده شده است.

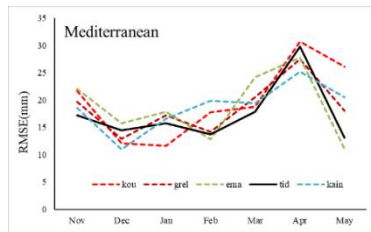
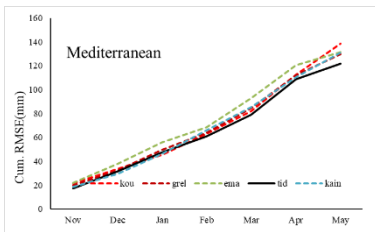
مقادیر خطای RMSE و اریبی میانگین بارش در فصل بارشی نوامبر تا می در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. با توجه به انتخاب پیکربندی بهینه مبتنی بر پهنه‌های اقلیمی برای هر یک از اقلیم‌های شش‌گانه، میانگین بارش تلفیقی کشور با تلفیق بارش حاصل از طرحواره‌های همرفت متناسب با اقلیم منطقه با بارش بازکاوی CRU مقایسه شد. مطابق شکل ۷، در دوره هفت ماهه مورد مطالعه بیشترین خطای RMSE در ماه آوریل رخ داده است که ماه گذر از فصل سرد به گرم است. همچنین در ماه دوم پیش‌بینی (دسامبر)، کمترین خطا



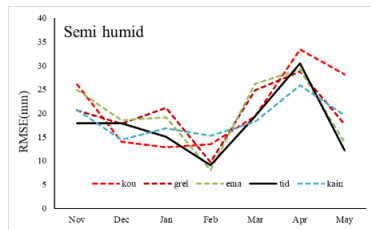
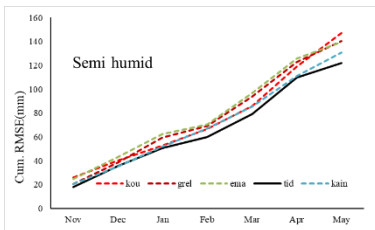
خشک



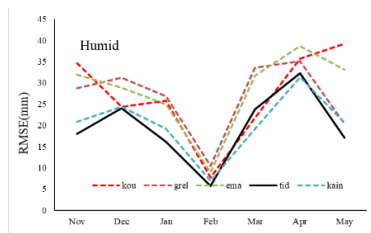
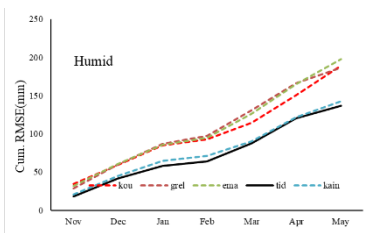
نیمه خشک



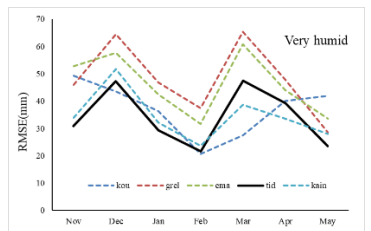
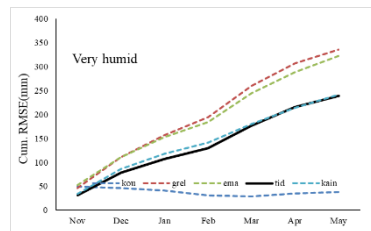
مادیترا نه ای



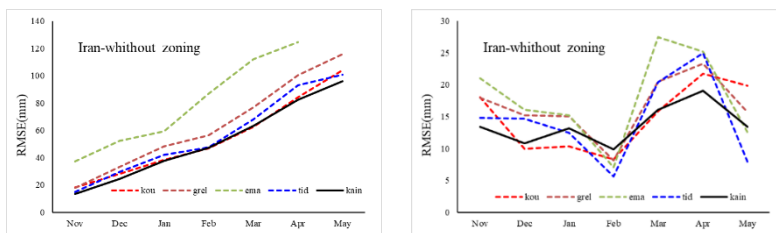
نیمه مرطوب



مرطوب



خیلی مرطوب



بدون طبقه‌بندی

شکل ۷- خطای RMSE ماهانه (راست) و تجمعی (چپ) برای پهنه‌های اقلیمی و طرحواره‌های همرفت مختلف

جدول ۳- طرحواره‌های مناسب هر یک از طبقات اقلیمی به همراه اریبی و خطای هر یک از آنها

طبقه اقلیمی	خشک	نیمه خشک	مدیترانه‌ای	نیمه مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
طرحواره همرفت	kou	Grell	Tiedtke	Tiedtke	Tiedtke	Tiedtke
RMSE (م.م)	۸.۵۹	۱۴.۰۹	۱۷.۴۰	۱۷.۴۳	۱۹.۵۷	۳۴.۱۸
اریبی (م.م)	-۴.۸۲	-۰.۹۲	۱.۱۴	۲.۶۴	۸.۸۱	۲۴.۲

طرحواره تلفیقی مبتنی بر طرحواره‌های همرفت مناسب هر اقلیم به مراتب کمتر از سه طرحواره‌ای است که در آن بدون لحاظ پهنه بندی اقلیمی بارش ایران پیش بینی شده است. به عبارت دیگر در سه آزمایشی که اریبی بارش و RMSE بیشتر می باشد، برای کل کشور از یک طرحواره واحد برای پیش بینی بارش استفاده شده است.

در جدول ۴ اریبی و RMSE ارزش حاصل از طرحواره‌های انفرادی و تلفیقی آورده شده است. به علت اینکه دو طرحواره امانوئل و کین در هیچ یک از آزمایش‌های مدل با لحاظ طبقات اقلیمی رتبه برتر را نداشته‌اند، لذا اریبی آنها در جدول ۴ درج نشده است و دارای خطای بیشتری نسبت به طرحواره‌های مندرج در جدول می باشند که از فرآیند انتخاب پیکربندی حذف شدند. نتایج نشان می دهد که اریبی و RMSE بارش کشور در پیش بینی بارش دوره نوامبر تا می با استفاده از

جدول ۴- میانگین اریبی و RMSE بارش کشور برای طرحواره‌های گرل، تایدیک، کو و تلفیقی

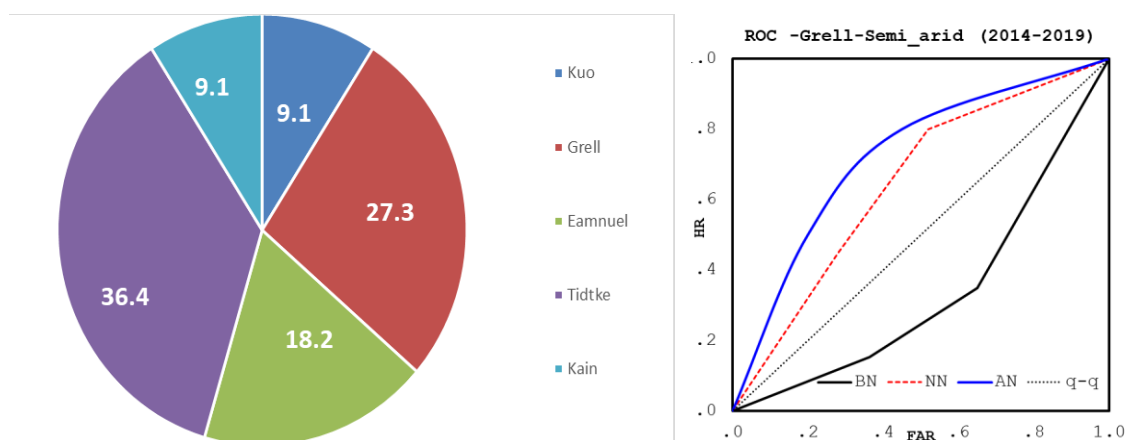
	گرل	تایدیک	کو	تلفیقی
اریبی	-۰.۹۹	۰.۷۱	-۰.۶۵	-۰.۰۹
RMSE	۱۶.۵۷	۱۴.۴۱	۱۴.۸۸	۱۳.۶۸

نرمال (NN) و بیشتر از نرمال (AN) برای اقلیم‌های مختلف محاسبه شد. برای این منظور در هر طبقه بارشی تعداد طرحواره‌هایی که بارش را در اقلیم‌های مختلف به خوبی پیش بینی

علاوه بر محاسبه توانمندی طرحواره‌های مختلف در پیش‌بینی بارش با استفاده از شاخص RMSE، مساحت زیر منحنی نمودار ROC نیز در سه طبقه کمتر از نرمال (BN)،

طرحواره های برتر در پیش بینی بارش می باشند. در شکل یک نمونه از نمودارهای ROC ترسیم شده برای اقلیم ها و طرحواره های مختلف آورده شده است. نتایج نشان می دهند که به طور میانگین بیشترین توانمندی طرحواره مربوط به طبقه بارشی بیشتر از نرمال و کمترین توانمندی آنها در پیش بینی طبقه بارشی کمتر از نرمال است. از بین تمامی طرحواره های مورد استفاده، طرحواره تایید بیشترین توانمندی را در پیش بینی طبقه بارشی کمتر از نرمال دارد.

نموده و دارای بیشترین مساحت زیر منحنی در مقایسه با سایر طرحواره ها بودند استخراج گردید. نتایج بر حسب درصد برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۴ در شکل ۸ آورده شده است. شکل نشان می دهد که طرحواره تایدیک در ۳۶.۴ موارد توانسته است بارش را در سه طبقه بارشی بهتر از سایر طرحواره های پیش بینی نماید. رتبه دوم و سوم به طرحواره های گرل و امانوئل به ترتیب با ۲۷.۳ و ۱۸.۲ درصد تعلق دارد. این موضوع نشان می دهد که در روش مساحت زیر منحنی نمودار ROC طرحواره های تایدیک و کو - همانند روش RMSE -



شکل ۸- نمودار ROC برای اقلیم نیمه خشک و طرحواره گرل (راست) و توانمندی طرحواره های مختلف (بر حسب درصد) در پیش بینی طبقات بارشی کمتر از نرمال، نرمال و بیشتر از نرمال برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۴ (چپ)

نتیجه گیری

متناسب با اقلیم منطقه انتخاب شدند و سپس پیش بینی نهایی پهنه کل کشور با تلفیق منطقه ای پیش بینی هر یک از پهنه های اقلیمی ارائه گردید. برای طبقه بندی اقلیمی از روش دمارتن استفاده شد و برای هر یک از سلول های محاسباتی مدل RegCM شاخص دمارتن نسبت داده شد. طبقات اقلیمی لحاظ شده در این پژوهش شامل خیلی مرطوب، مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه ای، خشک و خیلی خشک بودند. از داده های شرایط مرزی مدل CFSv.2 برای اجرای مدل منطقه ای RegCM4.5 با تفکیک افقی ۳۰×۳۰ کیلومتر استفاده شد. برای هر یک از اقلیم های مختلف پنج طرحواره همرفت گرل، کو، کین، امانوئل و تاید مورد آزمایش قرار گرفت. توانمندی هر یک از طرحواره ها برای پیکربندی بهینه هر اقلیم با استفاده از شاخص های RMSE و اریبی انجام شد. نتایج نشان دادند که

گرمایش جهانی موجب افزایش رخداد های حدی بارش و نوسانات اقلیمی در کشور شده است که پیامد آن کاهش پیش بینی پذیری بارش به نسبت گذشته است؛ بر این اساس پیش بینی فصلی بارش یکی از چالش های سازمان هواشناسی کشور در سال های اخیر بوده است. یکی از روش های پیش بینی بارش در کشورمان استفاده از مقیاس گاهی دینامیکی توسط مدل RegCM است. اغلب مطالعاتی که تاکنون برای این منظور در کشور انجام شده است، طرحواره های همرفت واحدی برای کل کشور در نظر گرفته اند که نتایج آنها، بهبود قابل توجهی در پیش بینی بارش را نشان نداده اند. در این مطالعه برای فائق آمدن به این مشکل، رویکرد به نسبت جدیدی اتخاذ گردید، به طوریکه طرحواره های همرفت

تایید که را مناسب برای پهنه کشورمان یافته اند (علیزاده چوبری و همکاران، ۱۳۹۸) که با یافته های این تحقیق که در آن طرحواره تایید را برای چهار اقلیم از شش اقلیم مورد استفاده در این پژوهش مناسب می دانند، هماهنگی دارد. از طرفی زرین و داداشی (۱۳۹۹) از طرحواره گول برای مطالعه رخدادهای بارش حدی ایران توسط مدل RegCM4 استفاده کردند که در تحقیق حاضر برای اقلیم نیمه خشک مناسب تشخیص داده شد.

طرحواره تلفیقی تایید (اقلیم های خیلی مرطوب، مرطوب، نیمه مرطوب و مدیترانه ای) - گول (نیمه خشک) - کو (خشک)، مناسب ترین پیکربندی مبتنی بر اقلیم برای رژیم بارشی نوامبر - می ایران می باشد. بررسی نمودار ROC نیز نشان داد که دوره طرحواره تایید و گول به ترتیب دارای بیشترین توانمندی در پیش بینی طبقات بارشی کمتر از نرمال، نرمال و بیشتر از نرمال را دارند. هر چند مطالعه ای با دیدگاه پیکربندی مبتنی بر اقلیم منطقه بر روی ایران یافت نشد، اما برخی مطالعات طرحواره

منابع

- Adeniyi, M., 2014, Sensitivity of different convection scheme in RegCM4 for simulation of precipitation during the Septembers of 1989 and 1998 Over West Africa, *Theor. Appl. Climatol.*, 115(1-2), 305-322.
- Ali, Sh. Li, D. Congbin, F. Yang, Y. Performance of Convective Parameterization Schemes in Asia Using RegCM: Simulations in Three Typical Regions for the Period 1998-2002, *ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES*, VOL. 32, MAY 2015, 715-730, 2014.
- Alizadeh, A. (1394). Principles of Applied Hydrology, Imam Reza (AS) University, Pages: 942.
- Alizadeh Choubari A., Marjani S., Ghadimi M., 1398, 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.
- Alizadeh Choubari, Omid, Marjani, Sajede, Ghadimi, Morteza, Performance of the fourth version of the regional climate model with different physical parameters in Iran: A case study of 2010, *Iranian Journal of Geophysics*, Volume 13, Number 1, 1398, pp. 132-151.
- Cotton, W. R., Bryan, G. and Van den Heever, S. C., 2011, *Stom and Cloud Dynamics*, Vol. 99, Academic press, Second Edition, 820p.
- Elguindi, N., X. Bi, F. Giorgi, B. Nagarajan, J. Pal, F. Solmon, and G. Giuliani, 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, *Int. J. Climatol.*, 24(13), 1671-1694.
- Fuentes-Franco, R. and Coppola, E., 2013, Assessment of RegCM4 simulated inter-annual variability and daily-scale statistics of temperature and precipitation over Mexico, *Clim Dyn* (2014), 42, 629-647.
- Giorgi, F., Marinucci, M., Betes, G., 1993b, Development of a second generation regional climate model (regcm2) i: Boundary layer and radiative transfer processes, *Monthly Weather Review*, 2794-2813.
- Giorgi, F. et al., 1993c, Development of a second generation regional climate model (regcm2) ii: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions, *Monthly Weather Review*, 2814-2832.

12. Haji Jafar Gholi Khan Pazouki, Roozbeh, 2015, Study of convective parameterization schemas in the RegCM regional-climatic model and its application in Iran, Thesis for receiving a master's degree in meteorology, University of Tehran.
13. Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., Lister, D., 2020, Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset, Scientific data, <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.
14. Irannejad, P., and Ahmadi Givi, F., and Pazouki, R. (1388). 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.
15. Khamchin Moghaddam, F. and H. Rezaee Pajand. 2009. Criticising de martonne regionalization method according to linear moments for maximum daily precipitation in Iran. *Journal of Technical-Engineering*, 2(2): 93-103. (In Persian).
16. 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.
17. Mamgain, A., L. Mariotti, E. Coppola, F. Giorgi, and S. K. Dash, 2013: Sensitivity of RegCM4.3 two convection schemes on Indian summer monsoon for the South Asia CORDEX domain. EGU General Assembly Conference Abstracts, Vol. 15, 4812.
18. Mohammadi, Fahimeh, Zarrin, Azar, Babaian, Iman. (1394). Efficiency of RegCM4 climate model in simulating cold period rainfall in Fars province Case study: 2010-2010 period. *Earth and Space Physics*, 41 (3), 511-524. doi: 10.22059 / jesphys.2015.53332.
19. Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X. and Ashfaq, M., 2007, Regional climate modeling for the developing world: the ICTP regCM3 and RegCNET, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88(9), 1395.
20. Pal, J., Small, E. & Eltahir, E., 2000, Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within regcm, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 105, PP. 29579-29594.
21. 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., Reymond, American Meteorology Society, *Meteorological Monographs*, 24 (46), 155-158.
22. Rahman, M. M., Islam, M. N., Ahmed, A. U. and Afroz, R., 2007, Comparison of RegCM3 simulated meteorological parameters in Bangladesh: Part I- Preliminary result for rainfall, *SriLankan j. Phys.*, 8, 1-9.
23. Zarrin A., Dadashi Roudbari A., 1399, Investigating the Capability of RegCM4 Dynamic Model in Simulating Farin Precipitation Indices as the Most Important Indicators of Climate Change in Iran, Sixth Regional Conference on Climate Change and Global Warming, March 5-16, 2016, Zanjan.