



Effect of the Application of the Different Convection Parameterization Schemes and Spatial Resolutions on the Performance of RegCM Model in Simulating Precipitation, Temperature, and Actual Evapotranspiration (Case Study: Lake Urmia Basin)

K. Khademi¹, S. Hejabi^{2*}, and M. Montaseri³

Abstract

The regional climate models play an important role in simulating the atmospheric and land surface processes and are considered as an important tool in climatic studies. Aimed at comparing the performance of the different convection parameterization schemes (Emanuel, Tiedtke, Kain-Fritsch, Grell-AS and Grell-FC) in simulating precipitation, temperature and actual evapotranspiration over the Lake Urmia Basin, this study employed the RegCM4.5 model for downscaling the outputs of NNRP1 model for a 5-year period. Moreover, the effect of application of two different spatial resolutions was investigated. The results showed that for the 48 km resolution, the Kain-Fritsch scheme, with a slight difference from the Grell-AS and the Grell-FC, had the highest performance in simulating precipitation and actual evapotranspiration and the Grell-AS scheme had the highest performance in simulating temperature. In the case of 12 km resolution, the difference among stations in terms of the most appropriate convection scheme for simulating precipitation was high; but in the case of temperature, the Kain-Fritsch showed the superiority. Also, the comparison of the results for two spatial resolutions showed that, in most cases, application of the 12 km resolution resulted in no improvement in the simulation performance. Thus, the application of the Kain-Fritsch scheme and the 48 km resolution are recommended for the Lake Urmia Basin.

Keywords: Convection Scheme, Dynamic Downscaling, RegCM Model, Spatial Resolution.

Received: March 1, 2022

Accepted: April 26, 2022

اثر کاربرد طرحواره‌های پرمایش همرفت و تفکیک‌های مکانی مختلف بر عملکرد مدل RegCM در شبیه‌سازی بارش، دما و تبخیر و تعرق واقعی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه)

کامیار خادمی^۱، سمیه حجابی^{۲*} و مجید منتصری^۳

چکیده

مدل‌های اقلیم منطقه‌ای نقش مهمی در شبیه‌سازی فرایندهای جوی و سطح خشکی داشته و ابزار مهمی در مطالعات اقلیمی به شمار می‌روند. در این مطالعه با هدف مقایسه عملکرد طرحواره‌های مختلف همرفت (امانوئل، تیتکه، کین-فریچ، گرل-AS و گرل-FC) در شبیه‌سازی بارش، دما و تبخیر و تعرق واقعی در حوضه دریاچه ارومیه، از مدل RegCM4.5 برای ریزمقیاس‌نمایی بروندادهای مدل NNRP1، برای یک دوره ۵ ساله استفاده شد. به علاوه، تأثیر استفاده از دو تفکیک مکانی مختلف در عملکرد مدل بررسی شد. نتایج نشان داد که در تفکیک ۴۸ km طرحواره کین-فریچ با اختلاف کمی نسبت به طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC دارای بیشترین عملکرد در شبیه‌سازی بارش و تبخیر و تعرق واقعی و طرحواره گرل-AS دارای بیشترین عملکرد در شبیه‌سازی دما است. در مورد تفکیک ۱۲ km، تفاوت ایستگاه‌ها از نظر مناسب‌ترین طرحواره همرفت برای شبیه‌سازی بارش زیاد بود؛ اما در مورد شبیه‌سازی دما طرحواره کین-فریچ در همه ایستگاه‌ها برتری نشان داد. همچنین، مقایسه نتایج در دو تفکیک مکانی، نشان داد که استفاده از تفکیک ۱۲ km در اغلب موارد سبب عدم بهبود عملکرد شبیه‌سازی شد. لذا استفاده از طرحواره کین-فریچ و تفکیک مکانی ۴۸ km برای حوضه دریاچه ارومیه پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: تفکیک مکانی، ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی، طرحواره همرفت، مدل RegCM.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۲/۶

1- M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: kamyarkhademi745@gmail.com

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: s.hejabi@urmia.ac.ir

3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: m.montaseri@urmia.ac.ir* - Corresponding Author

Dor: 20.1001.1.17352347.1401.18.1.7.5

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

* نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۱ امکانپذیر است.



توپوگرافی و پوشش اراضی مناطق مختلف کره زمین است، مطالعات تحلیل حساسیت مدل RegCM در مناطق مختلف ضروری است.

مدل‌های اقلیم جهانی^۱ (GCMs)، که مدل‌های گردش عمومی^۲ (GCMs) نیز نامیده می‌شوند، نمایشی ریاضی از مؤلفه‌های اصلی سامانه اقلیم و تعاملات بین آن‌ها هستند که با استفاده از مجموعه‌ای از معادلات مبتنی بر قوانین بنیادی فیزیک، حرکت سیالات و شیمی، ترازمندی‌های بزرگ مقیاس جوی شامل آب، انرژی و تکانه را توصیف نموده و دارای طرحواره‌هایی^۳ هستند که فرایندهای کوچک مقیاس مانند تشکیل ابر، بارش و تبادل گرما با سطح خشکی و دریا را برآورد می‌کنند. این مدل‌ها نقش بزرگی در پیش‌بینی وضع هوا، درک اقلیم و پیش‌نگری تغییر اقلیم دارند. با این وجود، تفکیک مکانی^۴ ضعیف شبیه‌سازی‌های مدل‌های GCM، قابلیت این مدل‌ها را در نمایش عارضه‌های میان‌مقیاس^۵، که نقشی اساسی در پویایی جو^۶ در مقیاس منطقه‌ای دارد، محدود می‌سازد (Giorgi and Mearns, 1991). از طریق ریزمقیاس‌نمایی^۷ برونداد مدل‌های GCM، با استفاده از روش‌های مختلف آماری و یا دینامیکی، می‌توان به تفکیک مکانی بالاتر دست یافت. در روش‌های دینامیکی از مدل‌های اقلیم منطقه‌ای^۸ (RCMs) برای ریزمقیاس‌نمایی بروندادهای مدل‌های GCM استفاده می‌شود. مدل RCM یک مدل پیش‌بینی عددی اقلیم است که تحت واداشت^۹ شرایط مرزی^{۱۰} حاصل از مدل GCM، فرایندهای جوی و سطح خشکی را با در نظر گرفتن ناهمگنی مشخصه‌های سطح در سلول شبکه شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌های RCM قلمرو^{۱۱} محدودی از کره زمین را پوشش می‌دهند و واداشت‌های جوی در مرزهای قلمرو باید به طور صریح از بروندادهای مدل GCM تعیین شود. بنابراین مدل‌های RCM سبب بهبود تفکیک مکانی شده و قادر هستند فرایندها و بازخوردهای فیزیکی را در مقیاس‌های منطقه‌ای یا محلی شبیه‌سازی کنند (Anav et al., 2010). یکی از پرکاربردترین مدل‌های RCM، مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM (Giorgi et al., 2012) است که توسط مرکز بین‌المللی فیزیک نظری^{۱۲} (ICTP) توسعه یافته است. مدل RegCM شامل طرحواره‌های مختلف پرمایش^{۱۳} شامل طرحواره انتقال تابش برای محاسبه تابش موج کوتاه و تابش مادون قرمز، طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای^{۱۴} برای محاسبه انتقال تلاطمی رطوبت، انرژی و تکانه در لایه مرزی سیاره‌ای، طرحواره‌های کومولوس برای مدل‌سازی ابر همرفتی، طرحواره رطوبت برای محاسبه بارش، طرحواره سطح خشکی برای محاسبه تبادلات رطوبت، انرژی و تکانه بین سطح خشکی و جو و طرحواره تبادل اقیانوس-جو برای محاسبه تبادلات رطوبت، انرژی و تکانه بین جو و اقیانوس است. به دلیل عملکرد متفاوت طرحواره‌های مختلف در شبیه‌سازی‌های اقلیمی که ناشی از تفاوت‌های اقلیمی و پیچیدگی‌های

تاکنون مطالعات زیادی در مورد تعیین مناسب‌ترین طرحواره همرفت با تأکید بر عملکرد مدل RegCM در شبیه‌سازی بارش و دما در ایران صورت گرفته است (Irannejad et al., 2009; Babaeian et al., 2009).

است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غربی ایران (محدوده عرض جغرافیایی $35^{\circ} 41' 02''$ تا $38^{\circ} 29' 09''$ شمالی و محدوده طول جغرافیایی $44^{\circ} 13' 15''$ تا $47^{\circ} 53' 45''$ شرقی و مساحت 51800 کیلومترمربع) یکی از شش حوضه آبریز اصلی ایران و دریاچه ارومیه (با میانگین مساحت 4781 km^2) دومین دریاچه فوق شور در جهان است. حوضه دریاچه ارومیه عموماً کوهستانی بوده و دامنه ارتفاع در این حوضه از حدود 1265 متر در دشت‌های اطراف دریاچه ارومیه آغاز شده و به سمت مرزهای حوضه افزایش می‌یابد و تا 3647 متر می‌رسد. یکی از مهمترین سیستم‌هایی که اقلیم منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، سیستم‌های غربی است که از سیکلون‌های مدیترانه‌ای منشأ می‌گیرند. علاوه بر سیستم‌های مدیترانه‌ای، این منطقه تحت تأثیر سیکلون‌های اطلس شمالی و سیکلون‌های دریای سیاه است که سبب می‌شود رژیم بارش غالب در این منطقه رژیم بهاره باشد (Sabziparvar et al., 2014). میانگین بارش سالانه حوضه $302/8$ است و مشخصه اقلیمی حوضه دریاچه ارومیه زمستان‌های سرد (با میانگین دمای $0/2^{\circ}\text{C}$ و ژانویه و فوریه به‌عنوان سردترین ماه‌ها) و تابستان‌های نسبتاً معتدل (با میانگین دمای $23/9^{\circ}\text{C}$ و ژوئیه و اوت به‌عنوان گرم‌ترین ماه‌ها) است، در حالی که میانگین دمای سالانه حوضه $12/3^{\circ}\text{C}$ است (Alizadeh-Choozari et al., 2016). در سال 1995 تراز دریاچه به بیشترین مقدار خود در 40 سال گذشته رسید؛ اما از سال 1995 تا 2011 تراز دریاچه ارومیه حدود 7 متر کاهش پیدا کرد (Hassanzadeh et al., 2011). در کنار عواملی مانند تغییر اقلیم و دوره‌های بلندمدت خشکسالی، عواملی مانند احداث سد و توسعه کشاورزی سبب کاهش جریان ورودی به دریاچه شده است.

۲-۲- مدل RegCM

در این مطالعه از نسخه 4.5 سامانه مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM (Giorgi et al., 2012) استفاده شد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی قلمروهای تعیین شده برای اجرای مدل را نشان می‌دهد. در این مطالعه از روش لانه‌ای یک سوپه^{۲۲} برای مدل‌سازی استفاده شد. مدل در قلمرو بزرگ با تفکیک مکانی 48 km اجرا شد و خروجی‌های مربوط به این مرحله از شبیه‌سازی، برای واداشت مدل در قلمرو کوچک (با تفکیک مکانی 12 km) استفاده شد. طرحواره‌های استفاده شده شامل

2008; Modirian et al., 2010; Karimian et al., 2010; Babaeian et al. (2008). (Mohammadi et al., 2015) طرحواره‌های همرفت از نظر عملکرد مدل RegCM در شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های 1376 و 1379 را برای جنوب غرب، جنوب شرق و شمال شرق کشور، طرحواره کو^{۱۸} و برای غرب و مرکز کشور، طرحواره امانوئل و برای شمال غرب کشور طرحواره‌های گرل-FC و کو پیشنهاد کردند. (Keikhosravi (2017) نشان داد که طرحواره کو به نسبت دو طرحواره گرل و امانوئل، سبب خطای کمتری در مدل‌سازی بارش و دمای مناطق شرق و شمال شرقی ایران می‌شود. (Eghtedari et al. (2018) با بررسی شبیه‌سازی بارش روزانه در سال‌های $2003-2010$ در دشت قزوین، طرحواره کو را به عنوان مناسب‌ترین طرحواره برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد نمودند. (Alizadeh-Choozari et al. (2019) عملکرد مدل RegCM4 را با چهار پرمایش مختلف برای شبیه‌سازی دما و بارش در محدوده ایران برای سال 2010 بررسی نمودند. نتایج حاکی از این بود که بیشترین اریبی منفی دما در سواحل جنوبی دریای خزر و ارتفاعات رشته کوه البرز و بیشترین اریبی مثبت در دشت لوت و جنوب ایران مشاهده شد. همچنین در مورد بارش در بیشتر ماه‌های سال اریبی مثبت بارش برای ایران مشاهده شد. طرحواره همرفت تیتکه در ترکیب با طرحواره لایه مرزی هولتسلگ^{۱۹} برای کل ایران پیشنهاد شد. Babaeian et al. (2021) از طریق بررسی 9 پرمایش مختلف همرفت، طرحواره همرفت کین-فریج^{۲۰} را برای شبیه‌سازی بارش و دما در شرق ایران پیشنهاد کردند.

مطالعات انجام‌شده در مناطق مختلف ایران نتایج متفاوتی را از نظر مناسب‌ترین پیکربندی^{۲۱} مدل RegCM نشان می‌دهند و این مطالعات منحصر به شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دما هستند. با توجه به اهمیت شبیه‌سازی مؤلفه تبخیر و تعرق واقعی به عنوان یکی از مهمترین مؤلفه‌های ترازمندی آب و یکی از پارامترهای کلیدی در مدیریت منابع آب، هدف از این مطالعه، بررسی میزان عملکرد مدل RegCM در شبیه‌سازی متغیرهای بارش، دما و تبخیر و تعرق واقعی ماهانه و تعیین مناسب‌ترین پیکربندی مدل RegCM از نظر طرحواره همرفت در حوضه دریاچه ارومیه است. به علاوه، تأثیر کاربست دو تفکیک مکانی مختلف بر میزان عملکرد مدل RegCM به عنوان هدف دیگر این مطالعه بررسی می‌شود. تنها مطالعات انجام‌شده در حوضه دریاچه ارومیه مربوط به مطالعات (Saeidabadi و Golzari Partoo (2015) و (2018) است و در هر دو مطالعه طرحواره گرل به عنوان مناسب‌ترین طرحواره همرفت از نظر عملکرد شبیه‌سازی بارش و دما معرفی شده

(1974) و فریچ و چپل (Grell-FC; Fritsch & Chappel, 1980)، طرحواره امانوئل (Emanuel, 1991)، طرحواره تیتکه (Tiedtke,) (1996) و طرحواره کین-فریچ (Kain & Fritsch, 1990; Kain,) (2004) برای خشکی و اقیانوس، از نظر کارایی آنها در شبیه‌سازی بارش، دمای هوا و تبخیر و تعرق واقعی حوضه برای یک دوره زمانی ۵ ساله مورد بررسی قرار گرفتند و بهترین پیکربندی تعیین شد. دوره آماری اجرای مدل ۵ سال منتهی به سال ۱۹۹۵ (پیش از شروع رخداد خشک شدن دریاچه ارومیه) یعنی ۱ ژانویه ۱۹۹۰ تا ۳۱ دسامبر ۱۹۹۴ در نظر گرفته شد و سال ۱۹۹۰ به عنوان زمان پایدارسازی^{۲۶} مدل لحاظ شد.

طرحواره رطوبت صریح زیرشبکه‌ای^{۲۳} (SUBEX; Pal et al.,)، طرحواره لایه مرزی هولتسلگ (Holtslag et al., 1990)، طرحواره تابش NCAR CCM3 (Kiehl et al., 1996)، طرحواره شار اقیانوس Zeng et al. (1998) بود. به علاوه، از مدل یک بعدی ترازمندی انرژی دریاچه (Hostetler and Bartlein, 1990) که امکان شبیه‌سازی دماپویایی^{۲۴} دریاچه را فراهم می‌نماید، به صورت جفت شده با مدل RegCM استفاده شد. همچنین، از طرحواره انتقال زیست‌کره-جو^{۲۵} (BATS; Dickinson et al., 1993) به عنوان مدل خشکی استفاده شد. پیکربندی‌های مختلفی از طرحواره‌های پرمایش همرفت شامل طرحواره‌های گرل (Grell, 1993) با دو فرض بستاری آراکاو و شوبرت (Grell-AS; Arakawa & Schubert,)

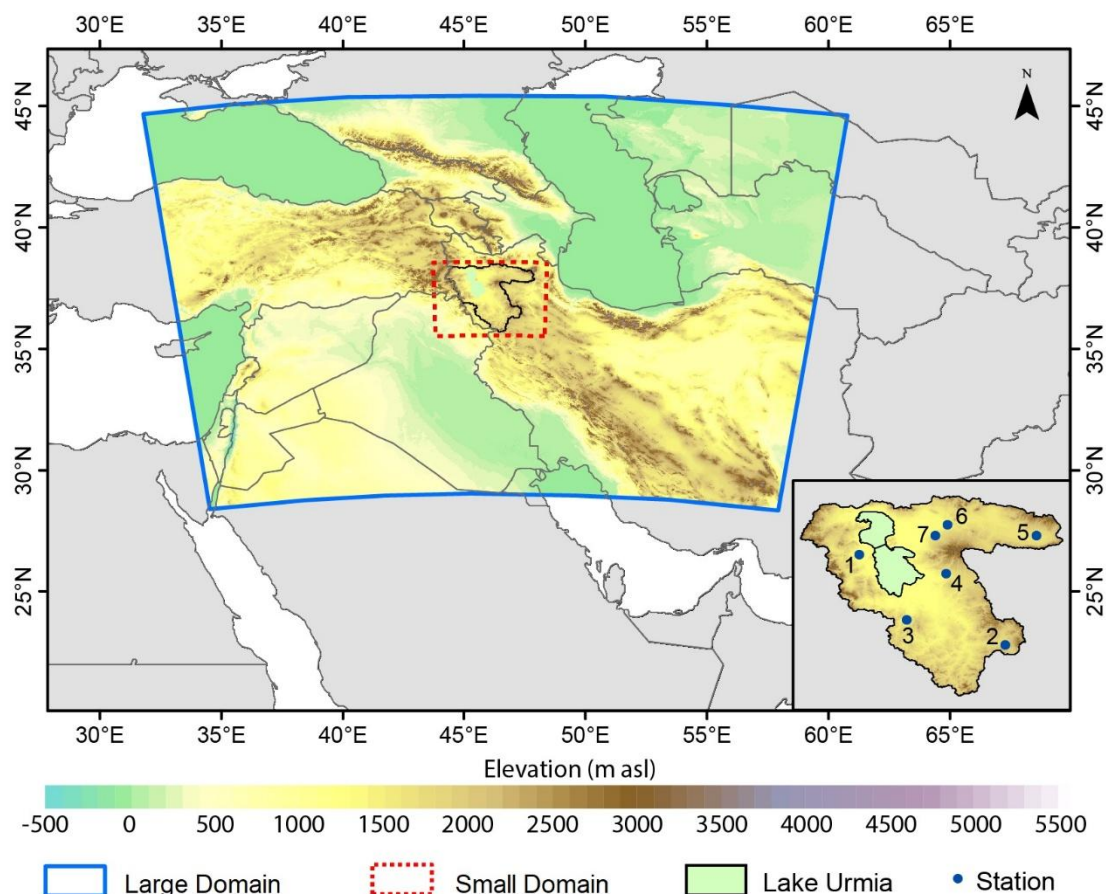


Fig. 1- Geographical location and topography map of the large domain (blue continuous line) and the small domain (red dashed line) of the model run, location of the Lake Urmia Basin in northwest of Iran and distribution of synoptic stations (1: Urmia, 2: Takab, 3: Mahabad, 4: Maragheh, 5: Sarab, 6: Tabriz, 7: Sahand) over the Lake Urmia Basin (inset)

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه توپوگرافی قلمروهای بزرگ (خط ممتد آبی رنگ) و کوچک (خط چین قرمز رنگ) اجرای مدل، موقعیت حوضه دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک (۱: ارومیه، ۲: تکاب، ۳: مه‌آباد، ۴: مراغه، ۵: سراب، ۶: تبریز، ۷: سهند) در گستره حوضه دریاچه ارومیه (نقشه فرعی)

۲-۳- داده‌های مربوط به اجرای مدل RegCM

بالا^{۳۴} (AVHRR) و معرف شرایط طبیعی قبل از تغییر تراز سطح دریاچه ارومیه است.

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل RegCM4.5 شامل داده‌های جوی (دمای هوا، رطوبت هوا، ارتفاع ژئوپتانسیل و مؤلفه‌های افقی و عمودی سرعت باد)، داده‌های دمای سطح دریا، داده‌های ترازنگاری^{۳۷}، داده‌های نوع پوشش اراضی و داده‌های عمق‌سنجی^{۳۸} دریاچه است. از داده‌های بازتحلیل جهانی NNRP1 (نسخه ۱ محصول بازتحلیل مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی^{۳۹} NCEP/NCAR) برای شرایط اولیه و مرزی مدل RegCM4.5 استفاده شد (Kalnay et al., 1996). این داده‌ها از پایگاه مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) و مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCAR) سازمان ملی اقیانوسی و جوی^{۴۰} (NOAA) تهیه شدند و با تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه طول و عرض جغرافیایی و تفکیک زمانی ۶ ساعته برای دوره آماری ۱۹۴۸ تا حال حاضر موجود هستند. از داده‌های OISST با تفکیک مکانی 1×1 درجه طول و عرض جغرافیایی و تفکیک زمانی هفتگی (Reynolds et al., 2002) به عنوان داده‌های دمای سطح دریا استفاده شد. در مورد داده‌های ترازنگاری، از داده‌های GMTED نقشه‌برداری جغرافیایی ایالات متحده^{۴۱} (USGS) استفاده شد (USGS GMTED DEM, 2021) که داده‌های ارتفاع را با تفکیک مکانی افقی ۳۰ ثانیه (تقریباً ۱ کیلومتر) فراهم می‌کند. همچنین، در مورد داده‌های عمق‌سنجی از داده‌های جهانی ETOPO مرکز ملی داده‌های جغرافیایی^{۴۲} (NGDC) با تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه استفاده شد (NOAA NGDC, 2021). نقشه نوع پوشش اراضی از پایگاه داده جهانی مشخصه‌های پوشش اراضی^{۴۳} (GLCC; Loveland et al., 2000) تهیه شد که مبتنی بر تصاویر آوریل ۱۹۹۲ تا مارس ۱۹۹۳ سنجنده پرتوسنج پیشرفته با وضوح بسیار

۲-۴- داده‌ها، ایستگاه‌ها و معیارهای بررسی عملکرد مدل

داده‌های مورد نیاز برای بررسی عملکرد مدل RegCM4.5 در شبیه‌سازی اقلیم در مقیاس شبکه قلمرو بزرگ، در محدوده حوضه دریاچه ارومیه، شامل داده‌های ماهانه دمای هوا و بارش پایگاه داده جهانی واحد پژوهش‌های اقلیمی^{۴۵} (CRU, Harris et al., 2014) دانشگاه شرق انگلستان با تفکیک مکانی $0/5$ درجه از سایت <https://crudata.uea.ac.uk/> تهیه شد و داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق واقعی پایگاه مدل جهانی تبخیر خشکی آمستردام^{۴۶} (GLEAM, Martens et al., 2017) با تفکیک مکانی $0/25$ از سایت <https://www.gleam.eu/> تهیه شد. تفکیک مکانی خروجی‌های مدل در قلمرو بزرگ (۴۸ km) و داده‌های تبخیر و تعرق واقعی GLEAM به روش معکوس فاصله به تفکیک مکانی $0/5$ درجه تغییر داده شدند تا امکان مقایسه سلول به سلول فراهم شود.

داده‌های مورد نیاز برای بررسی عملکرد مدل RegCM4.5 در شبیه‌سازی اقلیم در مقیاس قلمرو کوچک شامل داده‌های ماهانه دمای هوا و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۱۹۹۴-۱۹۹۱ است که از سازمان هواشناسی تهیه شد. شکل ۱ (نقشه فرعی) پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک را در حوضه دریاچه ارومیه و جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌ها به روش دمارتن تعیین شد. نزدیک‌ترین سلول به هر ایستگاه برای مقایسات استفاده شد.

Table 1- Characteristics of the studied synoptic stations in the Lake Urmia basin

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه

Province	Station	Climate (De Martonne)	Latitude	Longitude	Elevation (m asl)
West Azerbaijan	Urmia	Semi-arid	37° 39' 31"	45° 03' 19"	1328.0
	Takab	Semi-arid	36° 23' 44"	47° 05' 55"	1817.2
	Mahabad	Semi-arid	36° 45' 12"	45° 42' 55"	1351.8
East Azerbaijan	Maragheh	Semi-arid	37° 20' 51"	46° 08' 45"	1477.7
	Sarab	Semi-arid	37° 55' 60"	47° 31' 60"	1682.0
	Tabriz	Semi-arid	38° 07' 19"	46° 14' 32"	1361.0
	Sahand	Arid	37° 55' 60"	46° 07' 00"	1641.0

همبستگی در مورد طرحواره‌های امانوئل، کین-فریچ، گرل-AS و گرل-FC تقریباً مشابه بوده و محدوده مقادیر آن بین ۰/۷ تا ۰/۹ تغییر می‌کند و میانه ضریب همبستگی در مورد همه این طرحواره‌ها با اختلاف کمی از یکدیگر بالاتر از ۰/۸ است.

توزیع مکانی شاخص RMSE بیانگر این است که طرحواره‌های امانوئل و تیتکه بیشترین خطای شبیه‌سازی را به ویژه در ارتفاعات شمالی و شرقی دارند؛ به طوری که در بعضی نقاط میزان خطا به ۳ mm/day می‌رسد و میانه RMSE در مورد طرحواره تیتکه (۱/۵ mm/day) بیشتر از طرحواره امانوئل (۰/۹ mm/day) است. توزیع شاخص MBE هم بیانگر این است که طرحواره‌های امانوئل و تیتکه به ترتیب با میانه MBE، ۰/۴ mm/day و ۰/۶ mm/day سبب بیش‌برآورد زیادی در ارتفاعات می‌شوند. کمترین مقادیر RMSE مربوط به طرحواره کین-فریچ (با میانه ۰/۶۲ mm/day) است و در رتبه بعد طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC با اختلاف کمی نسبت به هم قرار می‌گیرند. با توجه به شکل ۳ طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC نیز به ترتیب با میانه MBE، ۰/۱ mm/day و ۰/۲ mm/day سبب بیش‌برآوردهای ضعیف‌تری در ارتفاعات می‌شوند و طرحواره کین-فریچ در اغلب نقاط دارای کم‌برآوردهای ضعیف با میانه MBE منفی نزدیک به صفر است. توزیع شاخص AV (شکل ۳) در مورد طرحواره تیتکه حاکی از بهبود (عدم بهبود) شبیه‌سازی بارش در مناطق مرکزی (مرزی) حوضه است و تقریباً در نیمی از نقاط بهبودی و در نیمی از نقاط عدم بهبود شبیه‌سازی مشاهده می‌شود. بیشترین میزان بهبود شبیه‌سازی بارش مربوط به طرحواره کین-فریچ (با میانه ارزش افزوده بیش از ۰/۹) و در رتبه‌های بعد طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC با اختلاف کمی نسبت به طرحواره کین-فریچ است.

در مورد متغیر دمای ماهانه، توزیع مکانی ضریب همبستگی در مورد همه طرحواره‌ها مشابه و در همه نقاط بیش از ۰/۹۹ است اما طرحواره‌های مختلف از نظر توزیع RMSE تفاوت داشته به طوری که در مورد طرحواره امانوئل خطاهای زیادی در شبیه‌سازی دمای اغلب مناطق حوضه مشاهده می‌شود (میانه RMSE، ۲ °C) و نمودار توزیع MBE در شکل ۳ حاکی از اریبی‌های منفی نسبتاً زیاد است در اغلب نقاط حوضه است (میانه MBE، ۱/۸ °C-) که حاکی از کم‌برآورد نسبتاً شدید دما در مورد طرحواره امانوئل است. طرحواره تیتکه نیز مشابه طرحواره امانوئل در اغلب نقاط به ویژه مناطق کم‌ارتفاع کم‌برآورد دما اما با خطای کمتر (میانه RMSE، ۱/۸ °C) و میانه MBE، ۱/۲ °C-) نشان می‌دهد. هر سه طرحواره کین-فریچ، گرل-AS و گرل-FC

آماره‌های مورد استفاده برای بررسی عملکرد مدل شامل آماره‌های ضریب همبستگی پیرسون^{۳۷} (r)، ریشه میانگین مربعات خطا^{۳۸} (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده^{۳۹} (NRMSE)، میانگین خطای اریبی^{۴۰} (MBE) است:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{OBS} - \bar{X}_{OBS})(X_{REG} - \bar{X}_{REG})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{OBS} - \bar{X}_{OBS})^2 \sum_{i=1}^n (X_{REG} - \bar{X}_{REG})^2}} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{REG} - X_{OBS})^2}{n}} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\max(X_{OBS}) - \min(X_{OBS})} \quad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{REG} - X_{OBS})}{n} \quad (۴)$$

همچنین برای کمی نمودن توانایی مدل RegCM در بهبود (یا عدم بهبود) نتایج مدل NNRP1 از شاخص ارزش افزوده^{۴۱} (AV, Di) (Luca et al., 2012; Dosio et al., 2015) استفاده شد:

$$AV = \frac{(\bar{X}_{NNR} - \bar{X}_{OBS})^2 - (\bar{X}_{REG} - \bar{X}_{OBS})^2}{\max[(\bar{X}_{NNR} - \bar{X}_{OBS})^2, (\bar{X}_{REG} - \bar{X}_{OBS})^2]} \quad (۵)$$

که \bar{X} میانگین متغیر X (بارش، دما یا تبخیر و تعرق واقعی) و زیروندهای NNR، REG و OBS به ترتیب معرف مدل NNRP1، RegCM و مشاهدات (CRU، GLEAM یا ایستگاه‌های سینوپتیک) است. مقدار AV بین -۱ و ۱ متغیر است. مقادیر مثبت (منفی) AV بیانگر این است که میزان مربع خطای مدل RegCM در مقایسه با مدل NNRP1 کمتر (بیشتر) است.

برای رسم نمودارهای تیلور (Taylor, 2001) از نرم‌افزار MATLAB R2018b، برای رسم سایر نمودارها از نرم‌افزار Grapher 11 و برای رسم نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcMap 10.8 استفاده شد.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- بررسی عملکرد طرحواره‌ها در مقیاس شبکه قلمرو بزرگ (تفکیک مکانی ۴۸ km)

شکل ۲ توزیع مکانی ضریب همبستگی و شاخص RMSE و شکل ۳ توزیع مکانی شاخص AV و شاخص MBE را برای طرحواره‌های مختلف همرفت و سه متغیر بارش، دما و تبخیر و تعرق واقعی ماهانه در مقیاس شبکه قلمرو بزرگ (تفکیک مکانی ۴۸ km) در محدوده حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهند. در مورد متغیر بارش، کمترین مقادیر ضریب همبستگی مربوط به طرحواره تیتکه با محدوده مقادیر ۰/۷- تا ۰/۹ با میانه‌ای در حدود ۰/۲۵ است. اما توزیع ضریب

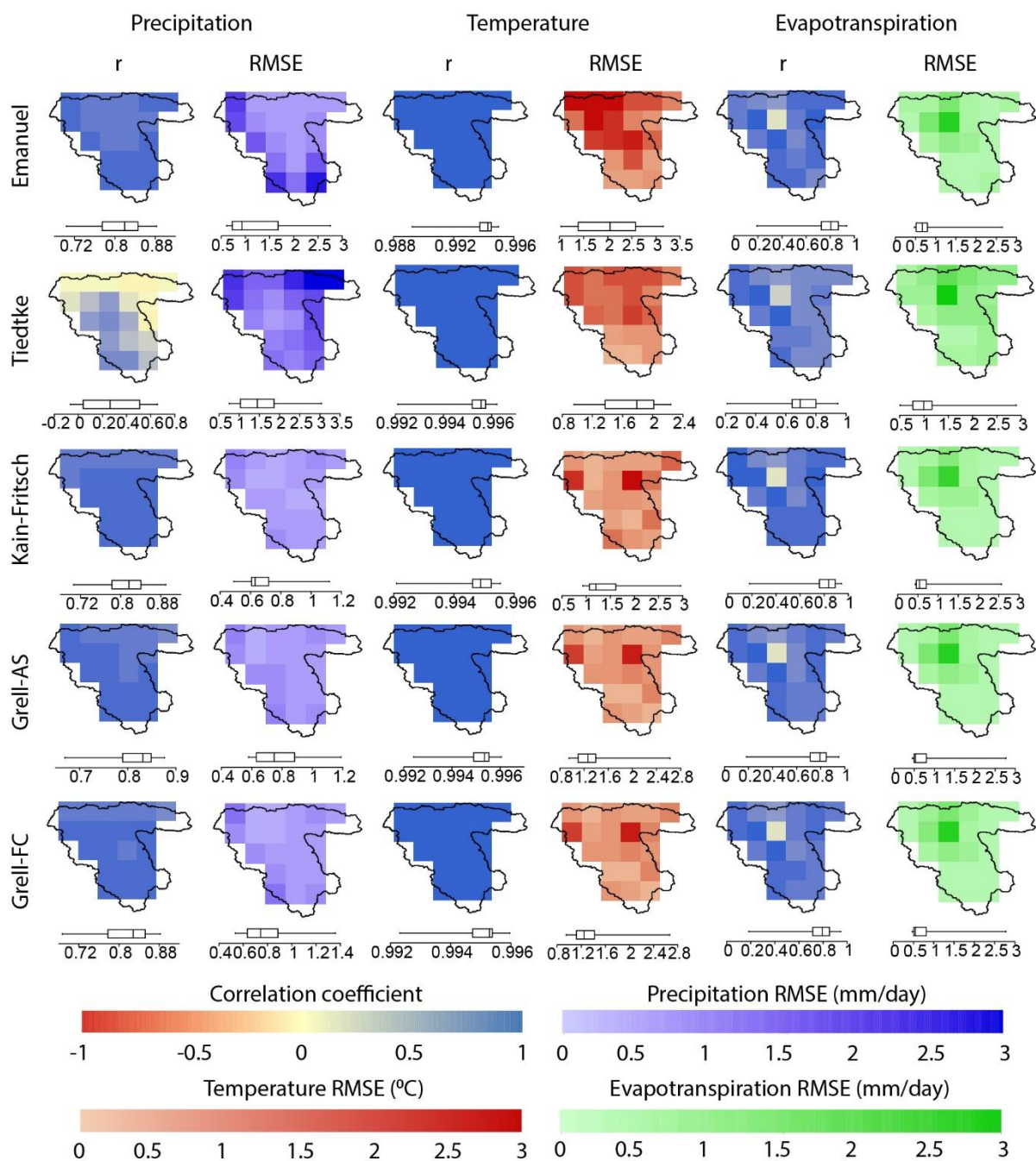


Fig. 2- Spatial distribution of the correlation coefficient and RMSE index for the different convection schemes and monthly variables of precipitation, temperature and actual evapotranspiration at the scale of the large domain grid points (48 km spatial resolution) over the Lake Urmia basin

شکل ۲- توزیع مکانی ضریب همبستگی و شاخص RMSE برای طرحواره‌های مختلف همرفت و متغیرهای بارش، دما و تبخیر و تعرق واقعی ماهانه در مقیاس نقاط شبکه قلمرو بزرگ (تفکیک مکانی ۴۸ km) در محدوده حوضه دریاچه ارومیه

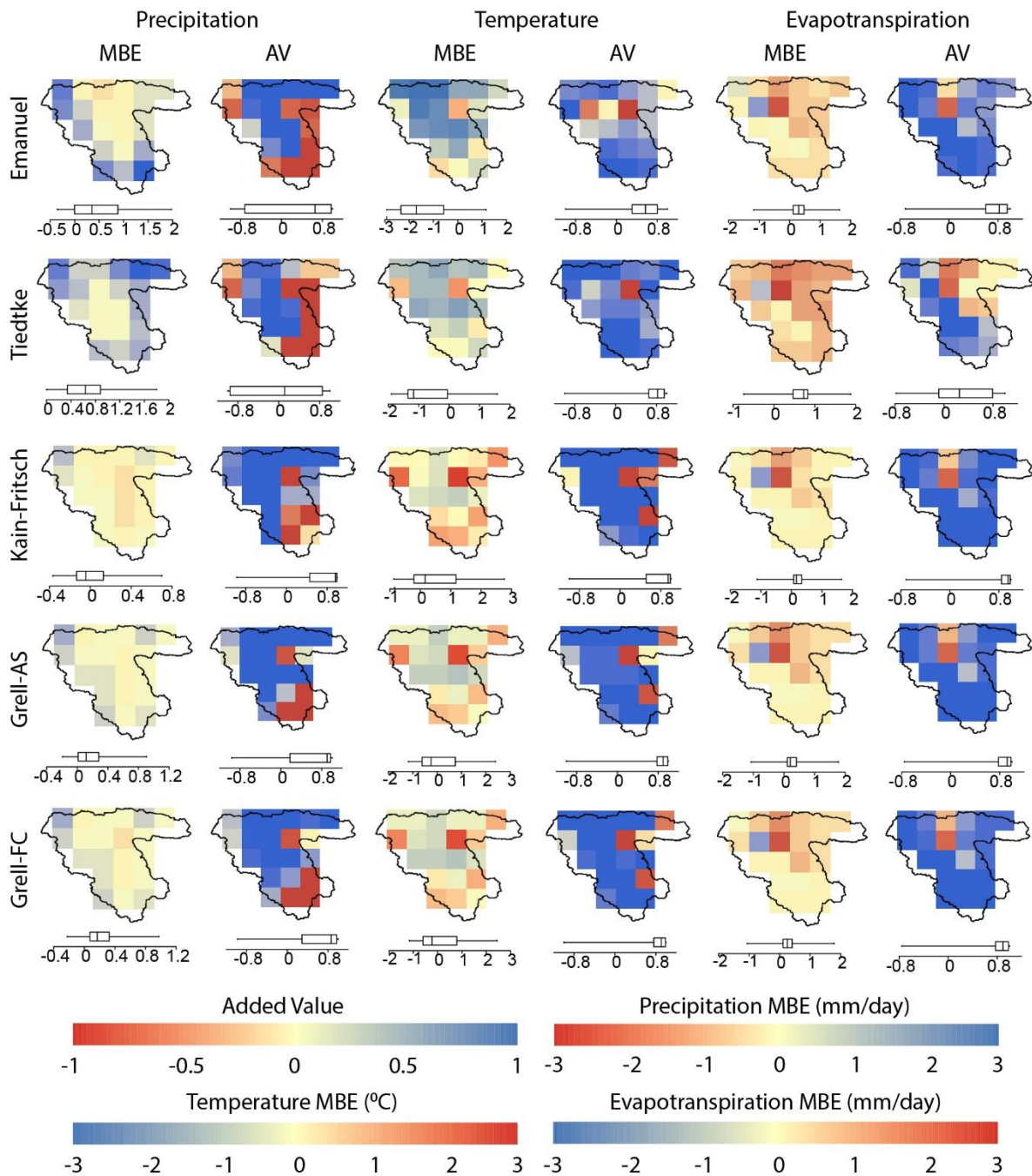


Fig. 3- Spatial distribution of the AV and MBE indices for the different convection schemes and monthly variables of precipitation, temperature and actual evapotranspiration at the scale of the large domain grid points (48 km spatial resolution) over the Lake Urmia basin

شکل ۳- توزیع مکانی شاخص‌های AV و MBE برای طرحواره‌های مختلف همرفت و متغیرهای بارش، دما و تبخیر و تعرق واقعی ماهانه در مقیاس نقاط شبکه قلمرو بزرگ (تفکیک مکانی ۴۸ km) در محدوده حوضه دریاچه ارومیه

طرحواره‌ها در اغلب نقاط حوضه سبب بهبود قابل توجه شبیه‌سازی دما شده‌اند به طوری که میانه AV در مورد اغلب طرحواره‌ها (غیر از امانوئل) بیش از ۰/۹ است.

مناطق مرتفع بیش برآورد و در مناطق کم ارتفاع کم برآورد دما دارند و دو طرحواره گرل-AS و گرل-FC با اختلاف کمی نسبت به هم دارای عملکرد بهتری هستند. توزیع مقادیر AV نیز معرف این است که همه

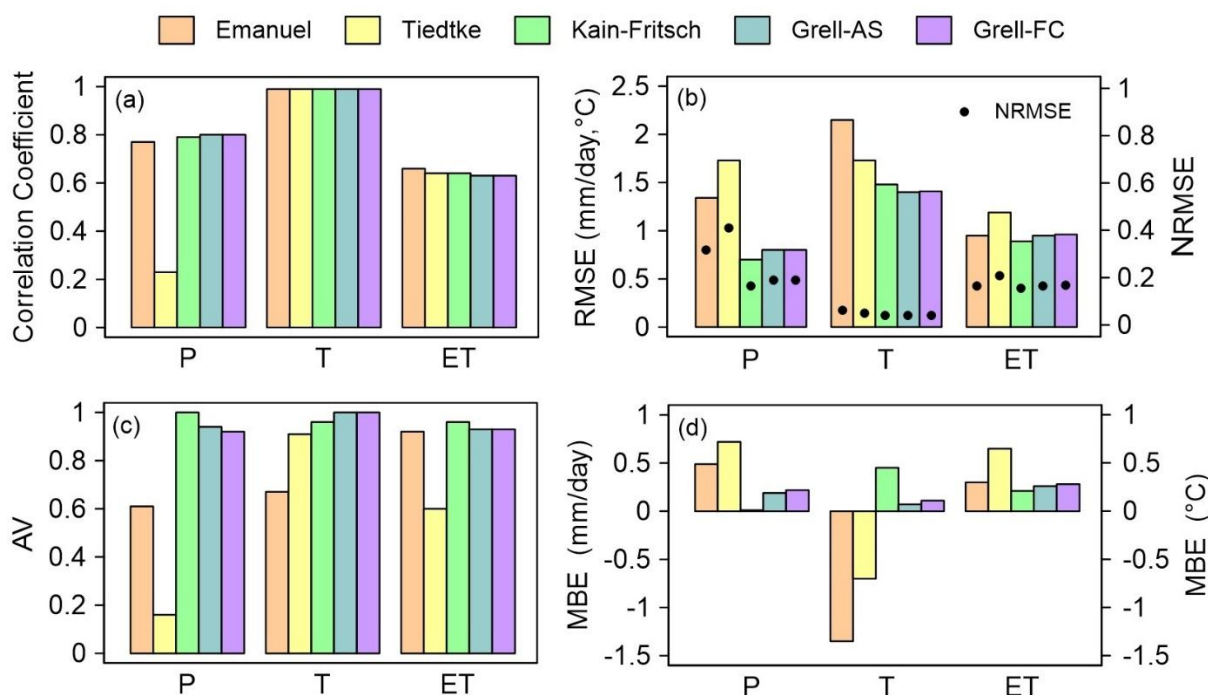


Fig. 4- Average of the correlation coefficient (a), RMSE and NRMSE (b), AV (c) and MBE(d) for the monthly variables of precipitation (P), temperature (T), and actual evapotranspiration (ET) for the different convection schemes for total points of the large domain grid points (48 km spatial resolution) over the Lake Urmia basin

شکل ۴- میانگین مقادیر ضریب همبستگی (a)، RMSE و NRMSE (b)، AV (c) و MBE (d) متغیرهای بارش (P)، دما (T) و تبخیر و تعرق واقعی (ET) ماهانه برای طرحواره‌های مختلف همرفت در سر جمع نقاط شبکه قلمرو بزرگ (تفکیک مکانی ۴۸ km) در محدوده حوضه دریاچه ارومیه

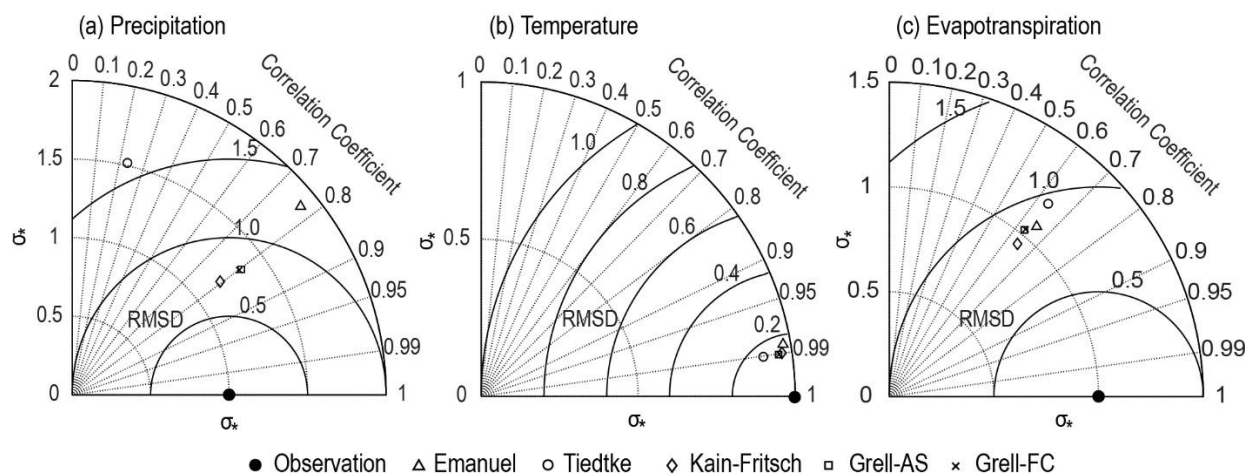


Fig. 5- Taylor diagrams of the monthly variables of precipitation (a), temperature (b) and actual evapotranspiration (c) for the different convection schemes for total points of the large domain grid points (48 km spatial resolution) over the Lake Urmia basin

شکل ۵- نمودارهای تیلور متغیرهای بارش (a)، دما (b) و تبخیر و تعرق واقعی (c) ماهانه برای طرحواره‌های مختلف همرفت در سر جمع نقاط شبکه قلمرو بزرگ (تفکیک مکانی ۴۸ km) در محدوده حوضه دریاچه ارومیه

تیلور (شکل ۵c) نیز معرف عملکرد بهتر طرحواره کین-فریج با اختلاف کم نسبت به طرحواره‌های امانوئل، گرل-AS و گرل-FC است.

۳-۲- بررسی عملکرد طرحواره‌ها در مقیاس شبکه قلمرو کوچک (تفکیک مکانی ۱۲ km)

جهت بررسی و مقایسه طرحواره‌های همرفتی در مقیاس شبکه قلمرو کوچک (تفکیک مکانی ۱۲ km)، سلول متناظر با هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده حوضه دریاچه ارومیه تعیین شد و مقادیر دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط هر یک از طرحواره‌ها با دما و بارش مشاهداتی هر ایستگاه مقایسه شد. شکل ۶ معیارهای مختلف بررسی عملکرد را برای هر یک از ایستگاه‌ها و در سر جمع ایستگاه‌ها برای متغیر بارش نشان می‌دهد.

مقایسه ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که در مورد ایستگاه‌های ارومیه، تکاب، مراغه و تبریز طرحواره امانوئل دارای بیشترین ضریب همبستگی است. در حالی که در سایر ایستگاه‌ها طرحواره‌های گرل-AS یا گرل-FC بیشترین ضریب همبستگی را دارند. در سر جمع ایستگاه‌ها، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به طرحواره امانوئل است. علی‌رغم این، این طرحواره مقادیر RMSE بالایی در مورد ایستگاه‌های تکاب و مراغه و در سر جمع ایستگاه‌ها نشان می‌دهد و سایر طرحواره‌ها در سر جمع ایستگاه‌ها مقادیر RMSE تقریباً مشابهی دارند. استفاده از مدل RegCM در مورد اغلب طرحواره‌ها و ایستگاه‌ها (غیر از ارومیه و مهاباد) ارزش افزوده بالایی را نشان می‌دهد و به طور کلی در مورد همه ایستگاه‌ها، همه طرحواره‌ها سبب بهبود برون‌داد مدل بزرگ‌مقیاس شده‌اند. مقایسه مقادیر MBE حاکی از غالب بودن اریبی‌های منفی در مورد اغلب ایستگاه‌ها و طرحواره‌ها بوده و در سر جمع ایستگاه‌ها طرحواره گرل-AS با اختلاف کمی از طرحواره گرل-FC دارای کمتری اریبی است. جهت مقایسه عملکرد در دو تفکیک مکانی ۱۲ km و ۴۸ km، در مقیاس سلول‌های قلمرو بزرگ (تفکیک مکانی ۴۸ km) نیز، سلول متناظر با هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده حوضه دریاچه ارومیه تعیین شد و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط هر یک از طرحواره‌ها با مقادیر مشاهداتی هر ایستگاه مقایسه شد. نمودارهای تیلور برای دو تفکیک مکانی و همه طرحواره‌ها در مورد هر ایستگاه رسم شد (شکل ۷). نمودارها حاکی از این هستند که اگر چه در اغلب ایستگاه‌ها استفاده از تفکیک مکانی ۱۲ km سبب بهبود قابل توجه نتایج شبیه‌سازی طرحواره تیتکه شده است، اما روی هم رفته طرحواره کین-فریج در تفکیک مکانی ۴۸ km با اختلاف کمی نسبت به طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC بیشترین عملکرد

بررسی عملکرد طرحواره‌های مختلف در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی ماهانه نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی در همه نقاط و در مورد همه طرحواره‌ها مثبت و میانه ضریب همبستگی بیش از ۰/۶۵ است. طرحواره کین-فریج بیشترین ضرایب همبستگی (با میانه ۰/۸۳) را نشان می‌دهد (شکل ۲). طرحواره‌های کین-فریج، گرل-AS و گرل-FC کمترین مقادیر RMSE (با میانه ۰/۵ mm/day) را نشان می‌دهند و بیشترین خطا مربوط به طرحواره تیتکه (با میانه RMSE، ۱ mm/day) است به نحوی که بیش‌برآوردهای شدیدی (با میانه ۰/۸ mm/day، MBE) را در اغلب مناطق حوضه سبب شده است. با توجه به نقشه‌های MBE می‌توان نتیجه گرفت که علت بیش‌برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مورد این طرحواره بیش‌برآورد بارش و لذا افزایش موجودی آب برای تبخیر است. در مورد طرحواره‌های کین-فریج، گرل-AS و گرل-FC بیش‌برآورد تبخیر و تعرق واقعی در نیمه شمالی حوضه بیشتر از نیمه جنوبی و با میانه MBE حدود ۰/۱ mm/day است. توزیع مقادیر AV نیز حاکی از بهبود قابل ملاحظه (با میانه AV بیش از ۰/۸) شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی در مورد این سه طرحواره است.

روی هم رفته با توجه به میانگین مقادیر ضریب همبستگی، RMSE، AV، NRMSE و MBE متغیرهای بارش (P)، دما (T) و تبخیر و تعرق واقعی (ET) ماهانه برای طرحواره‌های مختلف همرفت در سر جمع نقاط شبکه در محدوده حوضه دریاچه ارومیه در شکل ۴ و نمودارهای تیلور مربوطه در شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که در مورد شبیه‌سازی متغیر بارش ماهانه، طرحواره کین-فریج با اختلاف کمی نسبت به طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC دارای بیشترین ضریب همبستگی (۰/۷۹)، کمترین RMSE (۰/۷ mm/day)، بیشترین AV (۰/۹۹) و کمترین MBE (۰/۰۱ mm/day) است و بیشترین عملکرد را در برآورد واریانس مشاهدات دارد (شکل ۵a). در مورد متغیر دمای ماهانه ضرایب همبستگی همه طرحواره‌ها بیش از ۰/۹۹ است. طرحواره گرل-AS با داشتن کمترین RMSE (۱/۴)، بیشترین AV (۰/۹۹) و کمترین MBE (۰/۰۷ °C) و با اختلاف کمی نسبت به طرحواره‌های گرل-FC و کین-فریج مناسب‌ترین طرحواره برای شبیه‌سازی دمای ماهانه است. نمودار تیلور (شکل ۵b) نیز حاکی عملکرد بالای همه طرحواره‌ها در شبیه‌سازی دما است. در مورد تبخیر و تعرق واقعی ماهانه، طرحواره کین-فریج با اختلاف کمی نسبت به طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC با داشتن ضریب همبستگی (۰/۶۴)، کمترین RMSE (۰/۸۹ mm/day)، بیشترین AV (۰/۹۶) و کمترین MBE (۰/۲۱ mm/day) مناسب‌ترین طرحواره است. نمودار

و گرل-FC (طرحواره امانوئل و تیتکه) در سر جمع ایستگاه‌ها مثبت (منفی) است که حاکی از بهبود (عدم بهبود) بروندهای مدل NNRPI توسط مدل RegCM است. نتایج شبیه‌سازی در ایستگاه‌های ارومیه و سهند نسبت به سایر ایستگاه‌ها بهتر است. روی هم رفته در سر جمع ایستگاه‌ها طرحواره کین-فریج عملکرد بهتری داشته است. نمودارهای تیلور جهت بررسی طرحواره‌های مختلف در دو تفکیک مکانی ۱۲ km و ۴۸ km (شکل ۹) نیز بیانگر تشابه عملکرد طرحواره‌های مختلف در هر یک از تفکیک‌های مکانی، بالاتر بودن دقت شبیه‌سازی در تفکیک مکانی ۴۸ km و برتری نسبی طرحواره گرل-FC و کین-فریج در اغلب ایستگاه‌ها است. لذا، در مورد متغیر دما هم مشاهده می‌شود که افزایش قدرت تفکیک مکانی الزاماً سبب بهبود عملکرد مدل نمی‌شود (Maurya et al., 2018).

را در شبیه‌سازی بارش دارد. به طور کلی، مدل در مقیاس ۱۲ km عملکرد کمتری نسبت به تفکیک ۴۸ km دارد. لذا، استفاده از تفکیک مکانی بهتر و قلمرو کوچک‌تر لزوماً سبب بهبود عملکرد مدل نمی‌شود و یافته‌های (Maurya et al., 2018) نیز تأییدکننده این موضوع است.

معیارهای مختلف بررسی عملکرد برای متغیر دما در هر یک از ایستگاه‌ها و در سر جمع ایستگاه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است. مشابه تفکیک مکانی ۴۸ km، در مورد تفکیک ۱۲ km نیز مقادیر ضرایب همبستگی در همه ایستگاه‌ها بیش از ۰/۹۹ است. با این وجود مقادیر RMSE به طور قابل توجهی افزایش یافته است. به طوری که مقایسه مقادیر MBE حاکی از اریبی‌های منفی ۱ تا ۹ درجه به‌ویژه در مورد طرحواره‌های امانوئل و تیتکه است و مقدار مطلق اریبی در مورد طرحواره‌های گرل-AS، گرل-FC و کین-فریج تا حدود ۴°C افزایش یافته است. مقادیر ارزش افزوده طرحواره‌های کین-فریج، گرل-AS

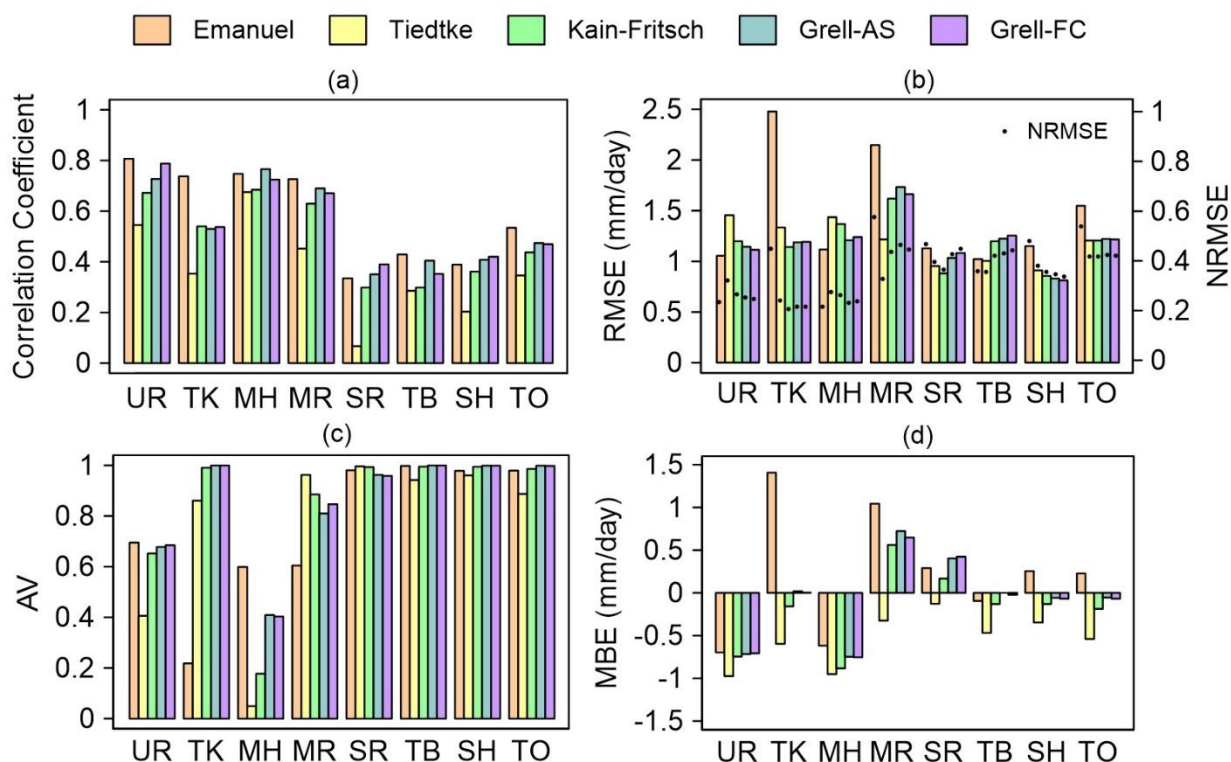


Fig. 6- The correlation coefficient (a), RMSE and NRMSE (b), AV (c), and MBE(d) for the monthly precipitation for the different convection schemes for each grid point of the small domain (12 km spatial resolution) corresponding to synoptic stations over the Lake Urmia basin (UR: Urmia, TK: Takab, MH: Mahabad, MR: Maragheh, SR: Sarab, TB: Tabriz, SH: Sahand, TO: Total stations)

شکل ۶- مقادیر ضریب همبستگی (a)، RMSE و NRMSE (b)، AV (c) و MBE (d) متغیر بارش ماهانه برای طرحواره‌های مختلف همرفت در هر یک از نقاط شبکه قلمرو کوچک (با تفکیک مکانی ۱۲ km) متناظر با ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده حوضه دریاچه ارومیه (UR: ارومیه، TK: تکاب، MH: مه‌آباد، MR: مراغه، SR: سراب، TB: تبریز، SH: سهند، TO: تمام ایستگاه‌ها)

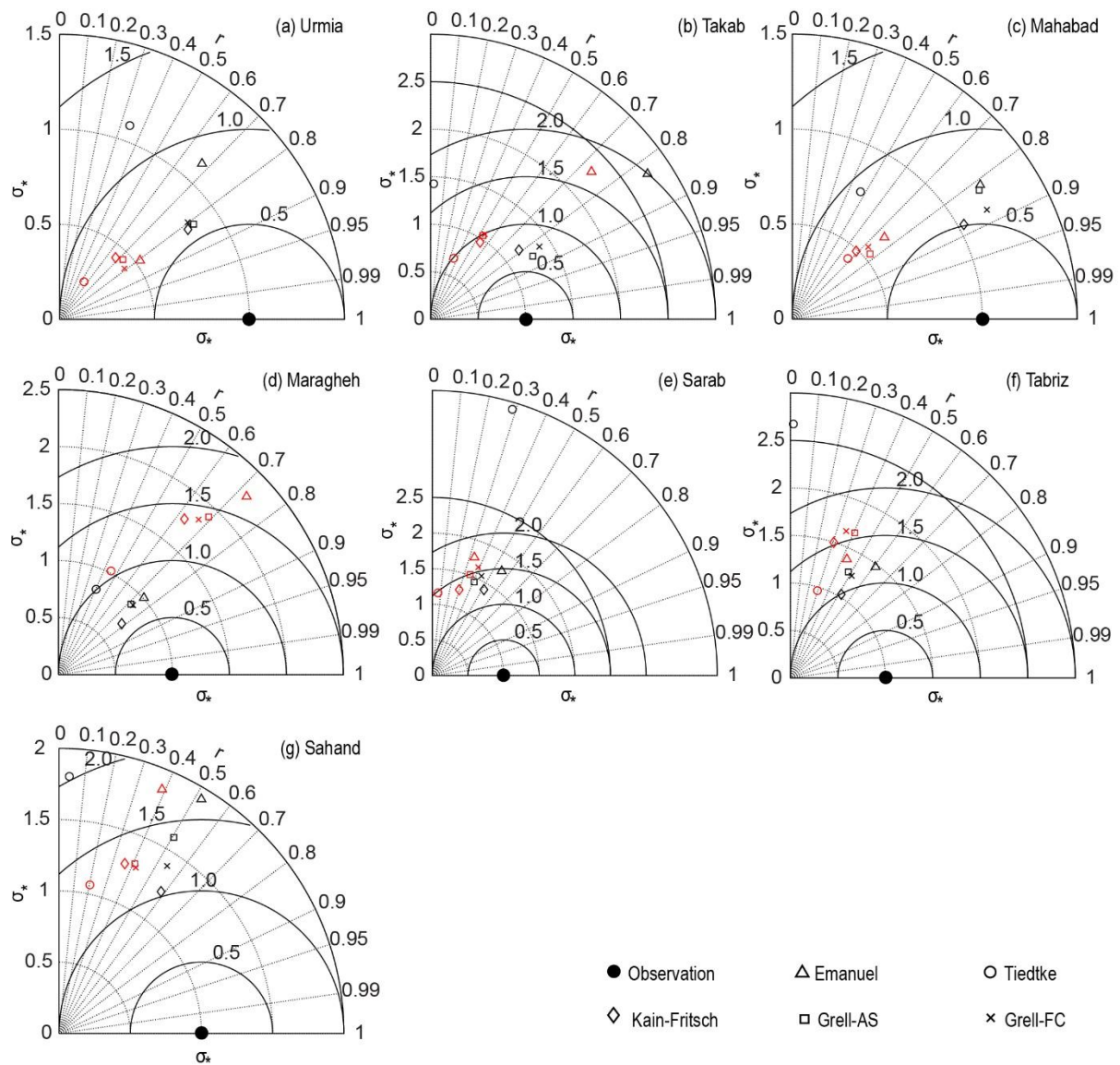


Fig. 7- Taylor diagrams of the different convection schemes performance in simulating the monthly precipitation in 12 km (red symbols) and 48 km (black symbols) resolution in comparison to the observed values of precipitation at each synoptic station over the Lake Urmia basin

شکل ۷- نمودارهای تیلور مربوط به عملکرد طرحواره‌های مختلف همرفت در شبیه‌سازی بارش ماهانه در مقیاس ۱۲ km (نمادهای قرمز رنگ) و ۴۸ km (نمادهای سیاه رنگ) در مقایسه با مقادیر مشاهداتی بارش در هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده حوضه دریاچه ارومیه

مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر بارش و دما و تبخیر و تعرق متناظر از پایگاه‌های داده CRU و GLEAM نشان داد که در تفکیک مکانی ۴۸ km، طرحواره کین-فریج مناسب‌ترین مدل شبیه‌سازی بارش و تبخیر و تعرق واقعی است و در رتبه بعد طرحواره‌های گرل-AS و گرل-FC با اختلاف کمی نسبت به هم قرار می‌گیرند.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این مطالعه عملکرد مدل RegCM4.5 از نظر شبیه‌سازی متغیرهای بارش، دما و تبخیر و تعرق ماهانه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با کاربست طرحواره‌های مختلف پرمایش همرفت و تعیین دو قلمرو با تفکیک‌های مکانی مختلف (۱۲ km و ۴۸ km) برای یک دوره ۵ ساله (۱۹۹۴-۱۹۹۰) پیش از شروع خشک شدن دریاچه ارومیه بررسی شد.

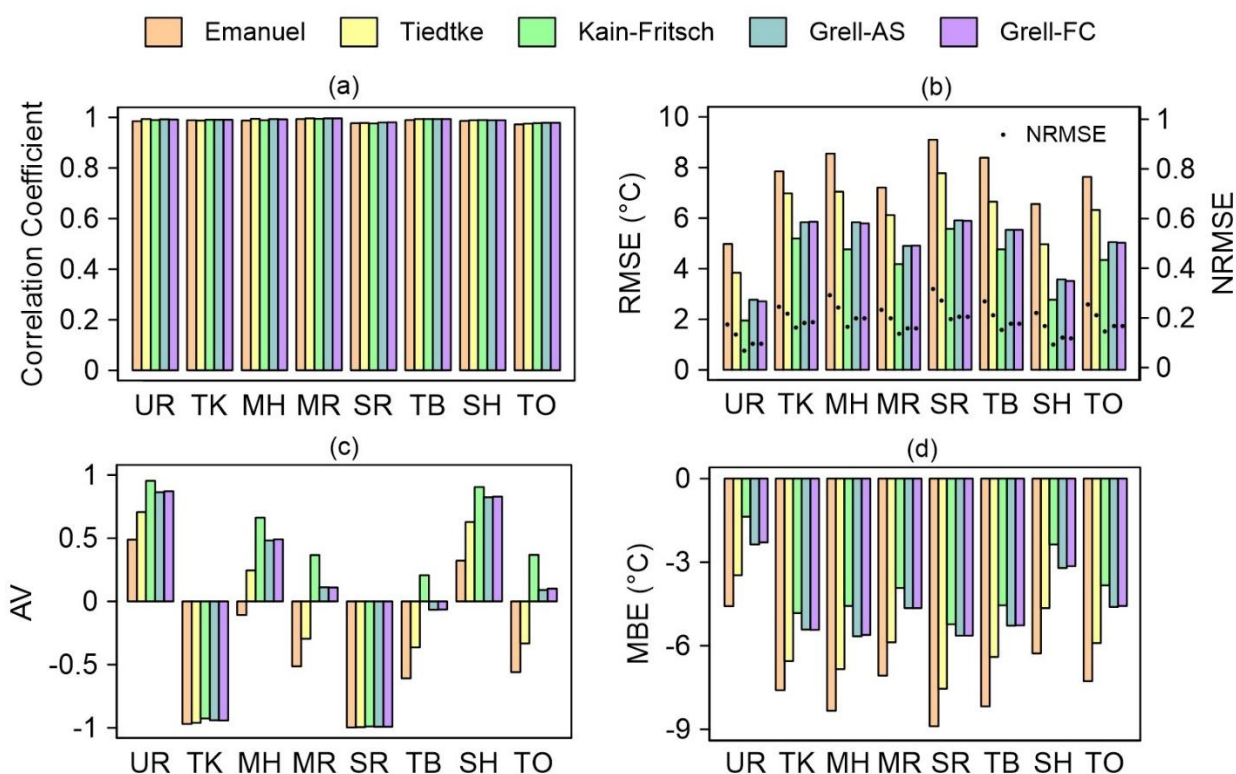


Fig. 8- The correlation coefficient (a), RMSE and NRMSE (b), AV (c) and MBE(d) for the monthly temperature for the different convection schemes for each grid point of the small domain (12 km spatial resolution) corresponding to synoptic stations over the Lake Urmia basin (UR: Urmia, TK: Takab, MH: Mahabad, MR: Maragheh, SR: Sarab, TB: Tabriz, SH: Sahand, TO: Total stations)

شکل ۸- مقادیر ضریب همبستگی (a)، RMSE و NRMSE (b)، AV (c) و MBE (d) متغیر دمای ماهانه برای طرحواره‌های مختلف همرفت در هر یک از نقاط شبکه قلمرو کوچک (با تفکیک مکانی ۱۲ km) متناظر با ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده حوضه دریاچه ارومیه (UR: ارومیه، TK: تکاب، MH: مه‌آباد، MR: مراغه، SR: سراب، TB: تبریز، SH: سه‌بند، TO: تمام ایستگاه‌ها)

مناسب‌ترین طرحواره همرفت برای شبیه‌سازی بارش بود اما در مورد شبیه‌سازی دما طرحواره کین-فریج در همه ایستگاه‌ها برتری نشان داد. بعلاوه مقایسه نتایج شبیه‌سازی در دو تفکیک مکانی ۴۸ km و ۱۲ km در ایستگاه‌ها حاکی از این بود که افزایش قدرت تفکیک مکانی از ۴۸ km به ۱۲ km در اغلب موارد موجب عدم بهبود عملکرد شبیه‌سازی می‌شود و روی هم‌رفته مدل کین-فریج و تفکیک مکانی ۴۸ km برای مطالعات اقلیمی مبتنی بر مدل RegCM در حوضه دریاچه ارومیه پیشنهاد می‌شود.

Babaeian et al. (2008) نیز طرحواره گریل-FC را برای شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ در شمال غرب کشور پیشنهاد کردند. در مورد متغیر دمای ماهانه طرحواره گریل-AS با اختلاف کمی نسبت به طرحواره‌های گریل-FC و کین-فریج مناسب‌ترین طرحواره است. با توجه به عملکرد بسیار مشابه طرحواره‌های گریل و کین-فریج، مطالعات (Golzari Partoo 2015) و (Saeidabadi 2018) مبنی بر برتری طرحواره گریل در حوضه دریاچه ارومیه، نیز تأیید کننده نتایج به‌دست آمده هستند. در تفکیک مکانی ۱۲ km، مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده بارش و دما با مقادیر متناظر از ایستگاه‌های سینوپتیک بیانگر تفاوت زیاد ایستگاه‌ها از نظر

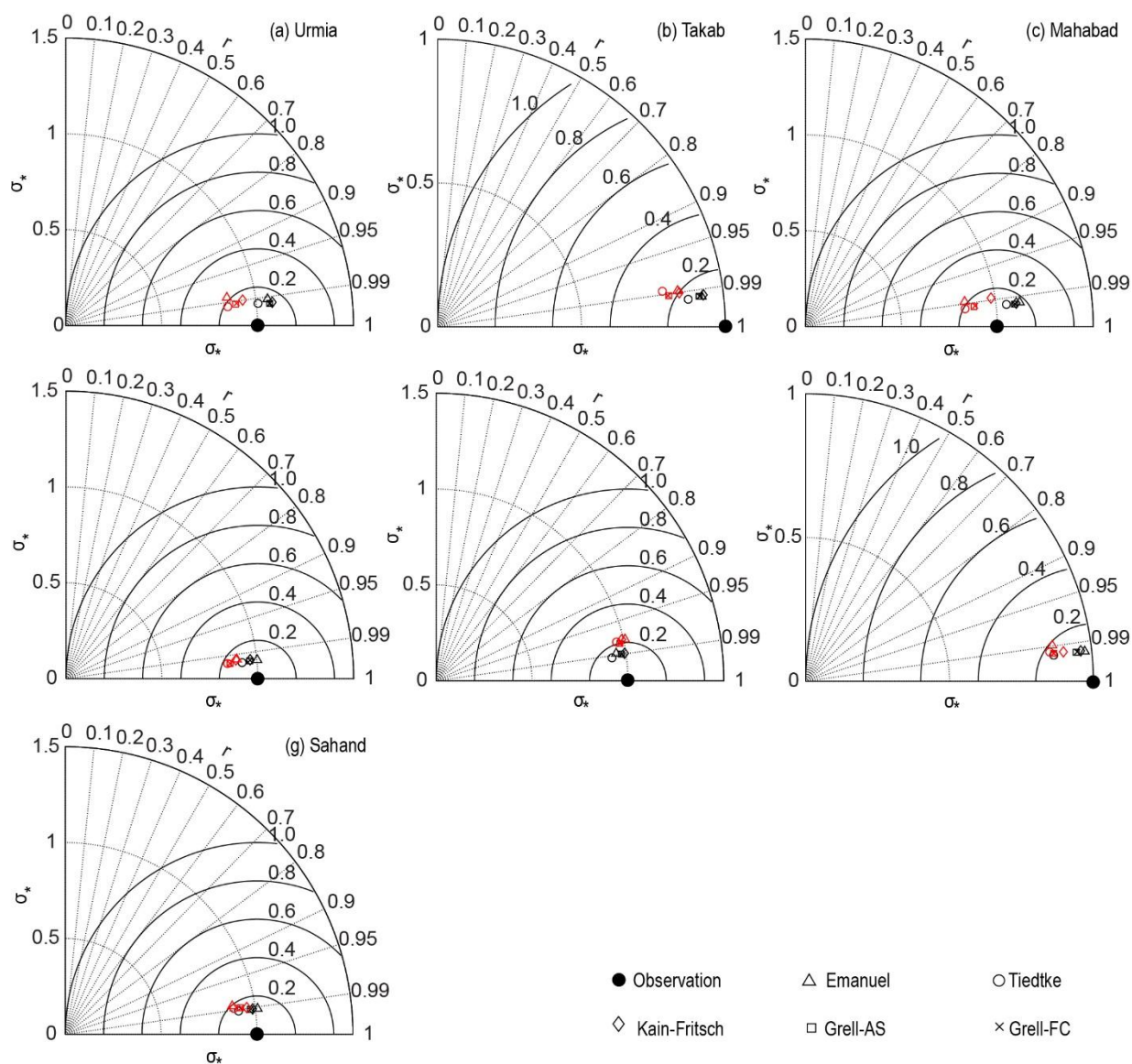


Fig. 9- Taylor diagrams of the different convection schemes performance in simulating the monthly temperature in 12 km (red symbols) and 48 km (black symbols) resolution in comparison to the observed values of temperature at each synoptic station over the Lake Urmia basin

شکل ۹- نمودارهای تیلور مربوط به عملکرد طرحواره‌های مختلف همرفت در شبیه‌سازی دمای ماهانه در مقیاس ۱۲ km (نمادهای قرمز رنگ) و ۴۸ km (نمادهای سیاه رنگ) در مقایسه با مقادیر مشاهداتی دما در هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده حوضه دریاچه ارومیه

پی نوشتها

- 1- Global Climate Models
- 2- General Circulation Models
- 3- Schemes
- 4- Spatial Resolution
- 5- Mesoscale Features
- 6- Atmosphere Dynamics
- 7- Downscaling
- 8- Regional Climate Models
- 9- Forcing
- 10- Boundary Conditions
- 11- Domain
- 12- International Centre of Theoretical Physics
- 13- Parameterization
- 14- Planetary Boundary Layer
- 15- Grell
- 16- Tiedtke
- 17- Emanuel
- 18- Ku
- 19- Holtslag
- 20- Kain- Fritsch
- 21- Configuration
- 22- One-way Nesting
- 23- Subgrid Explicit Moisture Scheme
- 24- Thermodynamics
- 25- Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme
- 26- Spin up
- 27- Topography
- 28- Bathymetry
- 29- National Center for Environmental Prediction/
National Center for Atmospheric Research Reanalysis
- 30- National Oceanic and Atmospheric Administration
- 31- United States Geological Survey
- 32- National Geophysical Data Center
- 33- Global Land Cover Characteristics Data Base
- 34- Advanced Very High Resolution Radiometer
- 35- Climatic Research Unit of the University of East Anglia
- 36- Global Land Evaporation Amsterdam Model
- 37- Pearson Correlation Coefficient
- 38- Root Mean Square Error
- 39- Normalized Root Mean Square Error
- 40- Mean Bias Error
- 41- Added Value

۵- مراجع

- 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(5):715-730
- Alizadeh- Choozari O, Ahmadi- Givi F, Mirzaei N, Owlad E (2016) Climate change and anthropogenic

impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. *International Journal of Climatology* 36(13):4276-4286

- Alizadeh- Choozari 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(1):132-151 (In Persian)
- Anav A, Ruti PM, Artale V, Valentini R (2010) Modelling the effects of land-cover changes on surface climate in the Mediterranean region. *Climate Research* 41(2):91-104
- Arakawa A, Schubert WH (1974) Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences* 31(3):674-701
- Babaeian I, Karimian M, Modiriyan R, Falamarzi Y, Koochi M (2021) Future precipitation and temperature projection over eastern provinces of Iran using combined dynamical–statistical downscaling technique. *Climate Change Research* 2(5):41-58 (In Persian)
- Babaeian I, Modiriyan R, Karimian M (2008) Simulation of cold months' precipitation of 1998 and 1995 using climate model RegCM3. *Geology and Development Iranian Journal* 10:55-72 (In Persian)
- Cheng Q, Li F (2021) Performance of RegCM4. 5 in simulating the regional climate of western Tianshan mountains in Xinjiang, China. *Atmosphere* 12(12):1544
- Di Luca A, Elía R, Laprise R (2012) Potential for small scale added value of RCMs downscaled climate change signal. *Climate Dynamics* 40(3–4):601–618
- Dickinson RE (1993) Biosphere atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR community climate model NCAR Tech. Note TH-387+ STR
- Dosio A, HJ Panitz, Schubert-Frisius M, Luthi D (2015) Dynamical downscaling of CMIP5 global circulation models over CORDEX-Africa with COSMO-CLM: Evaluation over the present climate and analysis of the added value. *Climate Dynamics* 44:2637–2661
- Eghtedari M, Irannejad P, Vazifedoust M, Bazrafshan J, Ghahreman N (2018) Comparison of spring season precipitation derived from four gridded datasets and simulated by RegCM and their evaluation against observations in Ghazvin plain. *Iran-Water Resources Research* 14(4):32-44 (In Persian)

- Emanuel KA (1991) A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the atmospheric sciences* 48(21): 2313-2329
- Fritsch JM, Chappell CF (1980) Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parameterization. *Journal of Atmospheric Sciences* 37(8):1722-1733
- Giorgi F, Coauthors (2012) RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research* 52:7-29
- Giorgi F, Francisco R, Pal J (2003) Effects of a subgrid-scale topography and land use scheme on the simulation of surface climate and hydrology. Part I: Effects of temperature and water vapor disaggregation. *Journal of Hydrometeorology* 4(2):317-333
- Giorgi F, Mearns LO (1991) Approaches to regional climate change simulation: A review. *Reviews of Geophysics* 29:191-216
- Golzari Partoo L (2015) Simulating the consequences of Lake Urmia's drying up on downfall in northwest of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards* 4(2):137-147 (In Persian)
- Grell GA (1993) Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review* 121(3):764-787
- Harris IC, Jones PD, Osborn T (2021) CRU TS4.05: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.05 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate (Jan. 1901-Dec. 2020). NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis (last accessed 1 September 2021)
- Hassanzadeh E, Zarghami M, Hassanzadeh Y (2011) Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management* 26(1):129-145
- Holtzlag AAM, De Bruijn EIF, Pan HL (1990) A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Monthly Weather Review* 118(8):1561-1575
- Hostetler SW, Bartlein PJ (1990) Simulation of lake evaporation with application to modeling lake level variations of Harney-Malheur Lake, Oregon. *Water Resources Research* 26(10):2603-2612
- Irannejad P, Ahmadi-Givi F, Pazouki R (2009) The role of convection parameterization in the simulation of the winter temperature and precipitation fields over Iran using Regional Climate Model (RegCM3). *Journal of the Earth and Space Physics* 35(1):101-120 (In Persian)
- Kain JS (2004) The Kain-Fritsch convective parameterization: an update. *Journal of Applied Meteorology* 43(1):170-181
- Kain JS, Fritsch JM (1990) A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *Journal of Atmospheric Sciences* 47(23):2784-2802
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, Joseph D (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77(3):437-472
- Karimian M, Babaian I, Modiryan R (2010) Study of RegCM3 capability of the modeling precipitation and temperature over Khorasan province (Case Study: winters of 1991-2000). *Geographical Researches* 791:16430-16411 (In Persian)
- Keikhosravi G (2017) Simulation and post-processing of temperature and precipitation elements, using output of RegCM4 dynamic model in Great Khorasan. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences* 17(47):191-211 (In Persian)
- Kiehl JT (1996) Description of the NCAR community climate model (CCM3). NCAR Technical Note, 152
- Koné B, Diedhiou A, Sylla MB, Giorgi F, Anquetin S, Bamba A, Diawara A, Koba AT (2018) Sensitivity study of the regional climate model RegCM4 to different convective schemes over West Africa. *Earth System Dynamics* 9(4):1261-1278
- Loveland TR, Reed BC, Brown JF, Ohlen DO, Zhu Z, Yang LWMJ, Merchant JW (2000) Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote sensing* 21(6-7): 303-1330
- Martens B, Miralles DG, Lievens H, van der Schalie R, de Jeu RAM, Fernández-Prieto D, Beck HE, Dorigo WA, Verhoest NEC (2017) GLEAM v3: Satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture. *Geoscientific Model Development* 10(5):1903-1925
- Maurya RKS, Sinha P, Mohanty MR, Mohanty UC (2018) RegCM4 model sensitivity to horizontal resolution and domain size in simulating the Indian summer monsoon. *Atmospheric Research* 210:15-33
- Modiryan R, Babaian I, Karimian M (2010) The optimum configuration of RegCM3 model for simulation of precipitation and temperature at Autumn seasonal over Khorasan region in 1991-

2000. *Physical Geography Research Quarterly* 70:107-120 (In Persian)
- Mohammadi F, Zarin A, Babaeyan, I (2015) Ability of RegCM4 climate model to simulate precipitation in cold period of fars. case study: 1990-2010 period. *Journal of the Earth and Space Physics* 41(3):511-524 (In Persian)
- NOAA NGDC (2021) ETOPO1, 1 Arc-Minute Global Relief Model. NOAA National Centers for Environmental Information (last accessed 1 September 2021)
- Pal JS, Small EE, Eltahir EA (2000) Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 105(D24): 29579-29594
- Reynolds RW, Rayner NA, Smith TM, Stokes DC, Wang W (2002) An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate* 15(13):1609-1625
- Sabziparvar A, Movahedi S, Asakereh H, Maryanaji Z, Masoodian S (2015) Geographical factors affecting variability of precipitation regime in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 120:367-376
- Saeidabadi R (2018) Numerical simulation of the Urmia lake impacts in Climatology of northwestern Iran. *Geography and Planning* 21(62):139-161 (In Persian)
- Taylor KE (2001) Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research* 106(D7):7183-7192
- Tiedtke M (1996) An extension of cloud-radiation parameterization in the ECMWF model: The representation of subgrid-scale variations of optical depth. *Monthly Weather Review* 124(4):745-750
- USGS GMTED DEM (2021) https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-global-30-arc-second-elevation-gtopo30?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (last accessed 1 September 2021)
- Zeng X, Zhao M, Dickinson RE (1998) Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data. *Journal of Climate* 11(10): 2628-2644
- Zhang S, Lü S, Bao Y, Ma D (2015) Sensitivity of precipitation over China to different cumulus parameterization schemes in RegCM4. *Journal of Meteorological Research* 29(1):119-131