

# ارزیابی داده‌های Era5-land در برآورد شاخص‌های حدی دمای ماهانه در ایران

زهره جوانشیری<sup>۱\*</sup>، فاطمه عباسی<sup>۲</sup>

۱- دکترای آمار، استادیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.

۲- کارشناس ارشد هواشناسی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.

## چکیده

ERA5-Land جدیدترین مجموعه داده‌های بازتحلیل مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های آب و هوایی میان‌مدت (ECMWF) است که وضوح بیشتری نسبت به ERA-Interim و ERA5 دارد. با این حال قابلیت اعتماد این داده‌ها در برآورد شاخص‌های حدی دمای ماهانه در ایران نامشخص است. از این رو در این مطالعه پایگاه اقلیمی ERA5-Land، با استفاده از داده‌های مشاهداتی ۱۴۳ ایستگاه در دوره نرمال اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، شاخص‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون ( $R$ )، مجذور میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، ضریب کارایی نش‌ساتکلیف ( $NS$ )، شاخص اریبی ( $Relative\ Bias$ )، میانگین قدرمطلق خطا ( $MAE$ ) و ضریب کلینگ‌گوپتا ( $KGE$ )، برای شاخص‌های حدی دمای ماهانه ERA5-land، شامل بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ( $TXx$ )، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه ( $TNx$ )، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ( $TXn$ )، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه ( $TNn$ ) در هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد و تغییرات این شاخص‌ها به طور مکانی تحلیل شدند. سپس متوسط شاخص‌های ذکر شده در ۶ ناحیه معرف تنوع اقلیمی در کشور به دست آمد و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که متوسط  $RMSE$  برای این شاخص‌ها به ترتیب ۷۹.۲، ۵۷.۲، ۲۳.۲ و ۷۸.۳ بوده و به طور کلی دقت خوبی در برآورد دماهای حدی وجود دارد. در بیشتر ایستگاه‌ها شاخص‌های حدی اغلب کم برآورد شده‌اند. گرچه نتایج ضریب همبستگی برای بیشتر ایستگاه‌ها بالای ۸۵.۰ است، این دقت برای شاخص سردترین شب ( $TNn$ ) در ایستگاه‌های جنوب غرب کشور مطلوب نیست. به همین ترتیب، ضریب نش در برخی ایستگاه‌ها منفی شده است، که نشان‌دهنده ضعف داده‌های ERA5-Land در برآورد این پارامتر در برخی ایستگاه‌ها است. در نهایت، دقت داده‌های بازتحلیل ERA5-Land متناسب با نوع شاخص حدی و منطقه متفاوت است و برای چند ایستگاه خاص باید با احتیاط بیشتری استفاده شود.

کلید واژه‌ها: ایران، ERA5-Land، شاخص‌های حدی دمای ماهانه.

## مقدمه

روند گرمایشی قابل توجهی (۴۸۸.۰ درجه سانتیگراد در دهه) نشان داد که داده‌های دمای باز تحلیل ERA5-Land مقدار روند افزایشی (۳۷۹.۰ درجه سانتیگراد در دهه) را به خوبی برآورد می‌کند. در مطالعه‌ای دیگر ژو و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی کارایی مجموعه داده ERA5-Land در کشور چین در منطقه خلیج بزرگ گوانگدونگ- هنگ کنگ- ماکائو (GBA) طی سال ۲۰۱۸ نشان دادند، داده‌های ERA5-Land دما را کم برآورد می‌کنند (میانگین اریبی ۹۰.۰ درجه سانتی گراد)، و در دماهای پایین بهتر از دماهای بالا عمل می‌کنند. به طور کلی، الگوی مکانی ERA5-Land با الگوی ایستگاه‌ها سازگار بوده اما در مناطق شهری نسبتاً ضعیف عمل می‌کند. باربوسا و همکاران (۲۰۲۲) رویدادهای حدی دمای تابستان شبه جزیره ایبریا را با استفاده از داده‌های باز تحلیل ERA5-Land در دو دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ و از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی بررسی کردند. نتایج نشان داد در مقادیر بحرانی دو دوره، و در سطوح بازگشت ۲۰ سالانه تفاوت معنی‌داری به ویژه در منطقه شرق مدیترانه وجود دارد.

کاو و همکاران (۲۰۲۰) با ارزیابی محصولات دمای خاک ERA5-Land در لایه منجمد دائمی زمین (Permafrost) دریافتند که داده‌های ERA5-Land برای دمای خاک در شمال کانادا و آلاسکا بیش برآورد دارد در صورتی‌که در عرض‌های جغرافیایی متوسط کم برآورد دارد، و در زمستان میزان اریبی دمای خاک ERA5-Land از سایر فصول بیشتر است. یلماز و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی روند تغییرات فصلی و مکانی زمانی دما و دقت داده‌های ERA5 و ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ترکیه طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ پرداختند. نتایج نشان داد که به طور میانگین، روند داده‌های مشاهداتی تمام ایستگاه‌ها، برای دوره‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰ و ۱۹۵۱-۲۰۲۰ به ترتیب ۸۲.۰ و ۳.۰ درجه سانتی گراد در دهه است که شواهدی از تغییر اقلیم می‌باشد. روندهای تخمینی داده‌های بازتحلیل به ترتیب ۹۱.۰ درجه سانتی گراد و ۲۱.۰ درجه سانتی‌گراد در دهه در ترکیه برای سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰ و ۱۹۵۱-۲۰۲۰ بود. نتایج نشان دهنده کارایی و قابلیت مناسب مجموعه داده‌های ERA5، ERA5-Land، بجز برخی تفاوت‌ها به دلیل داده‌های گمشده بود و نشان داد داده‌های باز تحلیل می‌توانند به عنوان جایگزینی مشاهدات برای مطالعه تغییرات آب و هوا در ترکیه استفاده شوند. سام خانیانی و محمدی (۱۴۰۰) با مقایسه داده‌های بازتحلیل

روش‌های مختلفی برای برآورد دما وجود دارد که شامل مشاهدات ایستگاه‌های زمینی، مشاهدات ماهواره‌ای، برونداد مدل‌های اقلیمی، مجموعه داده‌های بازتحلیل و مجموعه داده‌های همادی- وزنی چند منبعی می‌شوند. تا کنون بیشتر مطالعات انجام شده در مورد تغییرات دماهای حدی ایران بر اساس داده‌های مشاهده‌ای صورت گرفته است. داده‌های بلند مدت، بدون خلا آماری و با تفکیک‌پذیری فضایی همگن هستند که منجر به نتایج معتبر در مطالعات شده و اطلاعات مهمی را در مورد پایش روند پارامترهای اقلیمی به ما می‌دهند (velikou et al., 2022). از طرفی، داده‌های حاصل از اندازه-گیری ایستگاه‌های هم‌مدیدی، به دلیل داده‌های گمشده فراوان و تراکم فضایی نامناسب ایستگاه‌ها، معیارهای فوق را برآورده نمی‌کنند. بنابراین، به منظور حل این چالش و با اذعان به نیاز به داده‌های شبکه‌ای، چندین مجموعه داده شبکه‌ای با وضوح بالا در چند سال گذشته ایجاد شده‌اند که پایگاه اقلیمی منسجم‌تری را هم از نظر مقیاس زمانی و هم از نظر مکانی فراهم می‌کنند (Tarek et al., 2020). ERA5-Land جدیدترین مجموعه داده‌های بازتحلیل مرکز اروپایی پیش بینی‌های آب و هوایی میان‌مدت (ECMWF) است که وضوح بیشتری نسبت به ERA-Interim و ERA5 دارد و در سال‌های اخیر بسیار مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است. برخی مطالعات به بررسی نسخه‌های مختلف باز تحلیل‌های ERA5-ECMWF پرداختند (Hersbach et al., 2020; Vitolo et al., 2020; Acharya et al., 2020; Karaman and Akyürek, 2023, Sheridan et al 2020; Munoz-Sabater et al., 2021). کارامن و آکیورک (۲۰۲۳) با بررسی چندین نسخه از مجموعه داده ERA5 دریافتند که کارایی نسخه‌های مختلف این مجموعه بسته به نوع منطقه و فصل متفاوت است. گاتین (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land و مدل هیدرولیکی (HEC-RAS) دمای آب رودخانه‌ای ۲۰۰ کیلومتری در بریتیش کلمبیا، کانادا را شبیه‌سازی کرد. نتایج نشان داد که میانگین خطاهای مطلق ۶۶.۰ درجه سانتی‌گراد و ریشه میانگین مربعات خطای ۸۴.۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ژائو و ژیبین (۲۰۲۲) به ارزیابی داده‌های دمای بازتحلیل ERA5-Land طی دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۷ بر فراز کوه‌های کیلیان چین QLM پرداختند. بررسی میانگین دمای سالانه داده‌های مشاهداتی

در این مطالعه، از داده‌های روزانه پارامتر دمای بیشینه و کمینه ۱۴۳ ایستگاه همدیدی که آمار مطلوب و تنوع اقلیمی دارند استفاده شد. دوره زمانی داده‌های مشاهداتی، دوره ۳۰ ساله ۱۹۹۱-۲۰۲۰ که آخرین دوره نرمال اقلیمی است، انتخاب شد. داده‌های مذکور از سازمان هواشناسی کشور اخذ و با استفاده از بسته‌ی کلاسیکاتول در نرم‌افزار R کنترل کیفیت و همگن سازی شدند (Guijarro, 2018). جوانشیری و همکاران (۱۴۰۱)، کشور را بر اساس پارامتر دما به شش خوشه تقسیم کردند. خوشه یک؛ معتدل خشک، خوشه دو؛ بسیار سرد، خوشه سه؛ گرم، خوشه چهار؛ بسیار گرم، خوشه پنج؛ گرم ساحلی و خوشه شش؛ معتدل مرطوب. شکل ۱ پراکنندگی و موقعیت ایستگاه‌ها و خوشه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مجموعه داده‌های بازتحلیل دمای بیشینه و کمینه پایگاه داده ERA5-Land برای دوره مورد نظر از سرویس تغییر اقلیم کوپرنیک

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset>

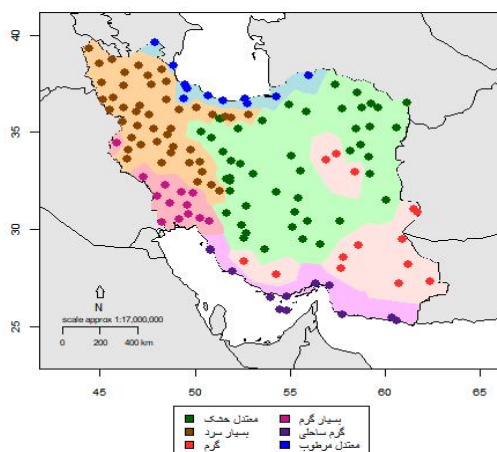
(t.reanalysis-ERA5-Land?tab=form) دریافت شد. مشخصات داده‌ها در جدول ۱ آمده‌است. از آنجا که داده‌های بازتحلیل به صورت شبکه‌ای بوده و داده‌های ایستگاهی نقطه‌ای، جهت مقایسه آن‌ها با یکدیگر مقادیر شبکه‌ای بازتحلیل در محل مختصات ایستگاه‌ها با استفاده از روش میان‌یابی دوخطی و با استفاده از ۴ شبکه نزدیک مختصات ایستگاه، درون‌یابی شدند.

ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ایران دریافتند که رابطه مقادیر برآورد شده خطا و اختلاف ارتفاع نقاط شبکه ERA5-Land و ارتفاع ایستگاه با افزایش اختلاف ارتفاع، اندازه‌اریبی منفی و جذر میانگین مربعات خطای موجود در دمای ۲ متری و فشار سطحی ERA5-Land به طور معناداری افزایش می‌یابد. مطالعات دیگری همچون محمدی قلعه‌نی و شرفی (۱۴۰۱) به مقایسه چندین متغیر از مجموعه داده ERA5 با سایر داده‌های بازتحلیل پرداختند و نشان دادند که ERA5 به طور کلی از کارایی بالاتری برخوردار است. غلامی و همکاران (۱۴۰۲) عملکرد دو پایگاه داده GHIRPS و ERA5-Land در آشکارسازی خشکسالی‌های ایران بررسی کردند و دریافتند که هر دو پایگاه داده در گام‌های زمانی ۱ تا ۱۱ ماهه در سرتاسر ایران به جز مناطق شمالی کشور، از همبستگی خوبی با داده‌های ایستگاهی برخوردار می‌باشند. همچنین پایگاه داده ERA5-Land در گام‌های زمانی بالاتر (۲۴-۷۲ ماهه) نیز عملکرد قابل قبولی در آشکارسازی خشکسالی‌ها دارد. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۸) با بررسی روند دمای نسخه ERA Interim از مجموعه داده ECMWF نشان دادند که بیشینه متوسط روند افزایشی مربوط به فصل زمستان و کمینه آن متعلق به فصل پاییز بوده است. با این حال، تا کنون شاخص‌های حدی دمای ماهانه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land در ایران مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند، در این مقاله به ارزیابی داده‌های ERA5-Land در برآورد شاخص‌های حدی دمای ماهانه، با استفاده از داده‌های مشاهداتی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ می‌پردازیم.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش کشور ایران در جنوب غربی آسیا است. اقلیم غالب کشور ایران غالباً خشک و نیمه خشک است. تنوع اقلیمی گسترده شامل اقلیم بیابانی، نیمه بیابانی و کوهستانی از ویژگی‌های بارز سرزمین ایران است. در سال‌های اخیر افزایش دما و افزایش تبخیر-تعرق و کاهش منابع آبی، یکی از مهمترین چالش‌های محیطی در کشور بوده است (حیدری و همکاران، ۱۴۰۲).



شکل ۱- خوشه‌های اقلیمی مورد مطالعه (جوانشیری و همکاران، ۱۴۰۱)

جدول ۱- مشخصات پایگاه داده‌های بازتحلیل

بانک داده بازتحلیل	مرکز دریافت داده‌ها	پوشش زمانی	تفکیک
ERA5-LAND	Copernicus Climate Change Service's (C3S) Climate Data Store (CDS) <a href="https://climate.copernicus.eu/climate-data-store">https://climate.copernicus.eu/climate-data-store</a>	پوشش زمانی: ۱۹۵۰ تا حال حاضر	۱.۰ در ۱.۰ درجه

### درون‌یابی دو خطی

درون‌یابی دوخطی، متوسط وزنی ۴ پیکسل نزدیک را برای محاسبه مقدار درون‌یابی شده استفاده می‌کند. نتیجه حاصل از این روش نسبت به مقادیر اولیه هموارتر است. زمانی که فاصله تا پیکسل‌ها دارای مقدار یکسان باشد، مقدار درون‌یابی شده همان میانگین چهار پیکسل است. این تکنیک، درون‌یابی را در هر دو جهت افقی و عمودی انجام می‌دهد و نتایج آن نسبت به درون‌یابی نزدیکترین همسایه بهتر و نسبت به روش درون‌یابی دو مکعبی به محاسبات کمتری نیاز دارد.

### شاخص‌های ارزیابی

برای درستی‌سنجی داده‌های بازتحلیل دمای میانگین با داده‌های مشاهداتی از ۶ سنجه ضریب همبستگی (R)، میانگین خطا (MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ارزیابی (Relative BIAS)، ضریب نش (NS) و کارایی کلینگ-گوپتا (KGE) با استفاده از روابط (۱) تا (۶) استفاده شد. فرض کنید  $O_i$  دمای مشاهداتی در روز  $i$  ام،  $R_i$  دمای به دست آمده از داده‌های بازتحلیل در روز  $i$  ام و  $\bar{O}$  و  $\bar{R}$  به ترتیب مقادیر متوسط  $O_i$  ها و  $R_i$  ها و  $n$  تعداد مشاهدات باشد. ضریب همبستگی پیرسون که به درجه همبستگی خطی

مربوط می‌شود و دامنه آن بین -۱ تا ۱ می‌باشد از (معادله ۱) حاصل می‌شود.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(R_i - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}} \quad (1)$$

MAE (معادله ۲) و RMSE (معادله ۳) بیانگر میانگین خطا در واحد متغیر مورد نظر است، با این تفاوت که RMSE به خطاهای بزرگ وزن نسبتاً بالایی می‌دهد. هر دو معیار می‌توانند از ۰ تا  $\infty$  تغییر کنند، مقادیر کمتر نشان‌دهنده‌ی خطای کمتر پایگاه داده در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای است.

$$MAE = n^{(-1)} \sum_{i=1}^n |R_i - O_i|, \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{n^{(-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - O_i)^2} \quad (3)$$

اریبی (معادله ۴) برای تشخیص تفاوت بین دو مجموعه داده به کار می‌رود (ایزدی و همکاران، ۲۰۲۱).

$$Bias = \sum_{i=1}^n (R_i - O_i) \cdot \sum_{i=1}^n O_i \quad (4)$$

ضریب کارایی نش برای مقایسه داده‌های بازتحلیل با مقادیر مشاهده‌ای مطابق رابطه (۵) به کار می‌رود (بک و همکاران، ۲۰۱۹).

از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده‌اند یا به عبارت دیگر کم-برآورد داشته‌اند. بیشترین مقدار قدر مطلق اریبی در ایستگاه یاسوج (۷.۱۱ درجه) و کمترین مقدار آن در ایستگاه همدان نوژه (۰.۱۳۰ درجه) است. شکل ۳ و جدول ۲ مقایسه دقت داده‌های TXx بازتحلیل را با مقادیر مشاهداتی در خوشه‌های اقلیمی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج می‌توان گفت، از نظر مقایسه خوشه‌های آب و هوایی، بیشترین میانگین قدرمطلق اریبی و بیشترین خطا در خوشه گرم ساحلی یعنی دو (۸۸.۳) و کمترین میانگین قدرمطلق اریبی در خوشه سه یعنی خوشه گرم به مقدار ۳۹.۱ می‌باشد.

شکل ۴ ضریب همبستگی مقادیر TXx داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی را نشان می‌دهد. در سواحل دریای خزر و حاشیه خلیج فارس و دریای عمان میزان همبستگی به مراتب کمتر ولی قابل قبول و بیشتر از ۸۵.۰ می‌باشد. در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه بین داده‌های بازتحلیل و داده‌های مشاهداتی همبستگی (۹۹۵.۰-۹۹۱.۰) وجود دارد که میزان همبستگی بالایی است. کمترین مقدار همبستگی داده‌های بازتحلیل با مشاهداتی در ایستگاه بندرانزلی (۸۵.۰) و بیشترین مقدار همبستگی در ایستگاه امیدیه (آغاجاری) به مقدار ۹۹۶.۰ می‌باشد. شکل ۵ نمودار ضریب همبستگی TXx خوشه‌های اقلیمی را برای پایگاه بازتحلیل ERA5-Land طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود میزان همبستگی در خوشه‌های مختلف بسیار نزدیک به هم هستند.

بررسی سنج ضریب کارایی نش نشان می‌دهد که مقدار این ضریب در اکثر مناطق کشور به ویژه در دامنه‌های رشته کوه زاگرس، در جنوب غرب بیشتر از ۹۵.۰ است و برآورد خیلی خوب می‌باشد. در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان و بخش‌هایی از حاشیه غربی دریای خزر مقادیر ضریب نش کمترین مقدار را دارد. تنها در سه ایستگاه چابهار، کنارک و یاسوج این مقدار منفی است، یعنی در این سه ایستگاه، استفاده از داده‌های ERA5-Land در برآورد TXx مناسب نیست. براساس شکل ۷ و جدول ۲ کمترین مقدار ضریب نش به مقدار ۴.۰ در خوشه گرم ساحلی و بیشترین آن به مقدار ۹۴.۰ متعلق به خوشه گرم است.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

KGE برای اولین بار توسط گوپتا و همکاران (۲۰۰۹) به کار رفت (معادله ۶). KGE به عنوان ترکیبی از سه سنجه ضریب همبستگی پیرسون، اریبی و ضریب تغییرات است که بر خلاف دو سنجه BIAS و RMSE متاثر از بزرگی خود متغیر نیست و مقدار این سنجه بین صفر تا ۱ در نوسان است و نزدیکتر بودن مقدار آن به یک نشان‌دهنده کارایی بالاتر است (سید و همکاران ۲۰۲۲) و مقادیر بیشتر از ۶۰ قابل قبول می‌باشد (تارک و همکاران، ۲۰۲۰).

$$KGE = 1 - \sqrt{((r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2)} \quad (6)$$

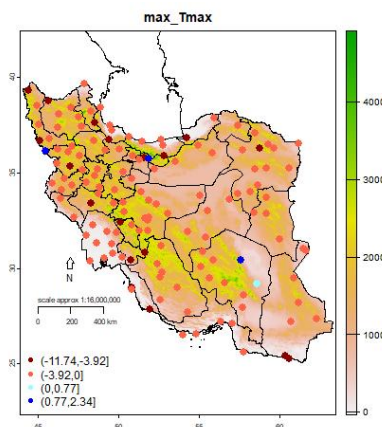
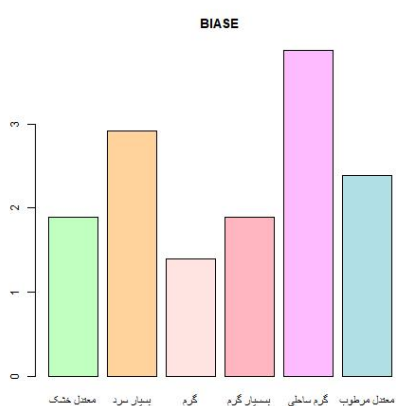
در رابطه (۶)،  $r$  ضریب همبستگی می‌باشد،  $\beta = \frac{\mu_r}{\mu_o}$  و  $\gamma = \frac{\sigma_r}{\sigma_o}$  به ترتیب نسبت میانگین و واریانس داده‌های بازتحلیل را نسبت به مشاهداتی نشان می‌دهند.

### بحث و نتایج

در این پژوهش، ابتدا کنترل کیفیت و همگن‌سازی روی داده‌های روزانه ماکزیمم و می‌نیمم دما با استفاده از بسته نرم افزاری کلایماتول در نرم‌افزار R انجام شد. برای مشاهده جزئیات روش، به جوانشیری و همکاران (۲۰۲۱) مراجعه کنید. سپس شاخص‌های ارزیابی آماری در برآورد TXx، TNx، TNn بر اساس داده‌های پایگاه ERA5-Land برای ۱۴۳ ایستگاه‌های همدیدی منتخب، طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی محاسبه شده و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. همچنین با مقایسه متوسط شاخص‌ها در خوشه‌های اقلیمی (شکل ۱)، عملکرد این پایگاه داده در مناطق اقلیمی مختلف ایران بررسی می‌شود. در زیر نتایج مربوط به هر پارامتر ارائه می‌شود.

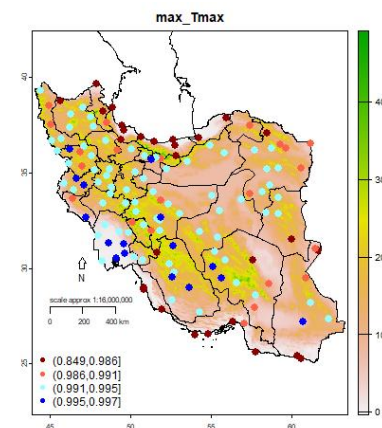
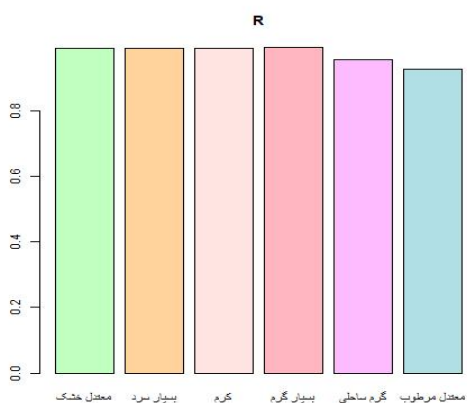
#### بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TX<sub>x</sub>)

شکل ۲ توزیع مکانی شاخص اریبی مقادیر مشاهده‌ای بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه و داده‌های ERA5-Land طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در تمام ایستگاه‌های کشور مقدار قدر مطلق اریبی کمتر از ۴۲.۰ است و در اغلب ایستگاه‌های مقدار اریبی بین ۰ تا ۹۲.۳ است. داده‌های بازتحلیل، TX<sub>x</sub> را در بیشتر ایستگاه‌های کشور کمتر



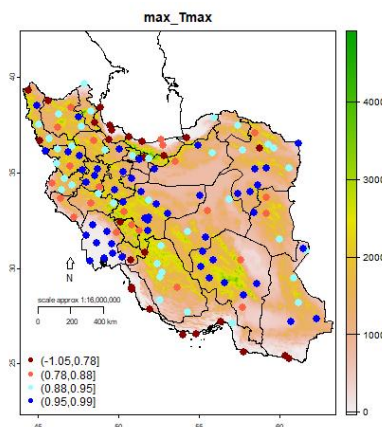
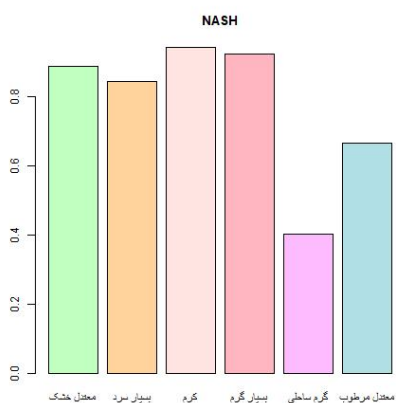
شکل ۲. نمودار شاخص اریبی TXx خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۱. توزیع مکانی شاخص اریبی مقادیر مشاهده‌ای TXx و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۴. ضریب همبستگی TXx خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۳. توزیع مکانی ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای TXx و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



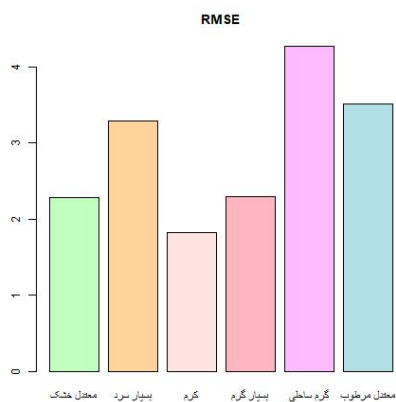
شکل ۶. ضریب کارایی نش TXx خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۵. توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر مشاهده‌ای TXx و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

مشاهده می‌شود در بعضی از مناطق حاشیه زاگرس نیز به مراتب خطای کمتری در برآورد بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه وجود دارد و بیشترین میزان خطا در حاشیه خلیج

شکل ۸ توزیع مکانی میانگین مربعات خطا بین سری داده‌های TXx شبکه‌ای ERA5-Land و داده‌های دیدبانی در کشور آورده شده است. کمترین RMSE در جنوب غرب کشور

بیشترین مقدار شاخص MAE مربوط به خوشه گرم ساحلی به میزان ۸۹.۳ می‌باشد (شکل ۱۱ و جدول ۲). شکل ۱۲ و شکل ۱۳ به ترتیب توزیع مکانی شاخص KGE مقادیر مشاهده‌ای TXx و پایگاه داده ERA5-Land در سطح کشور، و مقایسه آن را در خوشه‌های اقلیمی مختلف نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار شاخص KGE در اغلب مناطق کشور بیش از ۸۴.۰ است در بخش‌هایی از شمال غرب و حاشیه دریای خزر و خلیج فارس و دریای عمان مقدار این شاخص کمتر می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص KGE در همدان نوره به مقدار ۹۷۶.۰ و کمترین آن در یاسوج (۵۵۱.۰) است. از نظر خوشه‌های آب‌وهوایی بیشترین مقدار شاخص KGE در خوشه گرم (سه) به میزان ۹۴۱.۰ و کمترین مقدار این شاخص متعلق به خوشه گرم ساحلی به مقدار ۸۲.۰ است (جدول ۲).

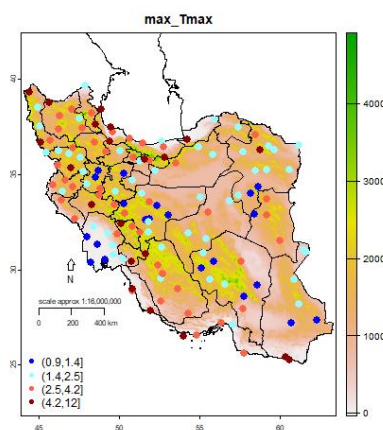


شکل ۸. مجذور میانگین مربع خطا TXx خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

مطلق اریبی در ایستگاه کرمان (۴.۷ درجه) و کمترین مقدار آن در ارومیه (۰.۲۸۰ درجه) است. شکل ۱۵ و جدول ۳ متوسط معیارهای ارزیابی را در هر خوشه اقلیمی مورد مطالعه نشان می‌دهد. از نظر مقایسه خوشه‌های آب و هوایی، بیشترین میانگین قدر مطلق اریبی و بیشترین خطا در خوشه بسیار سرد یعنی دو به مقدار ۳۶.۲ و کمترین میانگین قدر مطلق اریبی در خوشه پنج یعنی خوشه گرم ساحلی به مقدار ۲۸.۰ می‌باشد.

فارس و دریای خزر مشاهده می‌شود. به طور کلی کمترین مقدار میانگین مربعات خطا در شهر بابک به میزان ۹۷.۰ و بیشترین مقدار آن در یاسوج به مقدار ۹.۱۱ درجه سانتی‌گراد است. همانطور که از شکل ۹ و جدول ۲ مشاهده می‌شود کمترین خطای RMSE و بهترین برآورد در خوشه گرم به مقدار ۸.۱ و بیشترین مقدار خطا در خوشه گرم ساحلی به میزان ۳.۴ است.

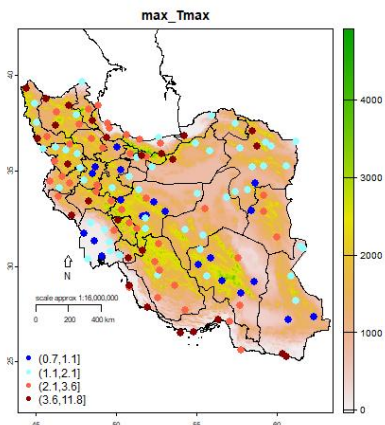
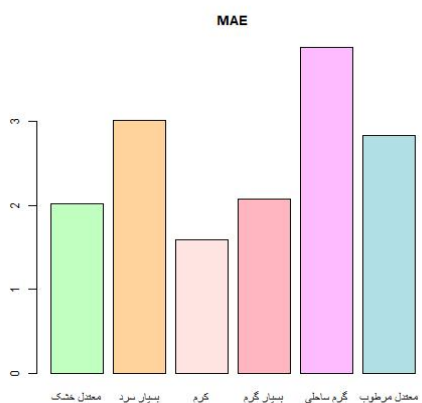
شکل ۱۰ دقت داده‌های TXx پایگاه داده ERA5-Land در برآورد TXx ایستگاه‌های همدیدی منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص MAE را نشان می‌دهد. کمترین مقدار خطا، مربوط به ایستگاه شهر بابک به میزان ۷۵.۰ و بیشترین مقدار خطا نیز متعلق به داده‌های ایستگاه یاسوج با مقدار ۷.۱۱ است. در بین خوشه‌های اقلیمی مورد مطالعه نیز بهترین تخمین داده‌های بیشینه ماهانه دمای حداکثر متعلق به خوشه گرم می‌باشد که کمترین مقدار میانگین خطا (۵۹.۱) را دارد و



شکل ۷. توزیع مکانی مجذور میانگین مربع خطا مقادیر مشاهده‌ای TXx و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

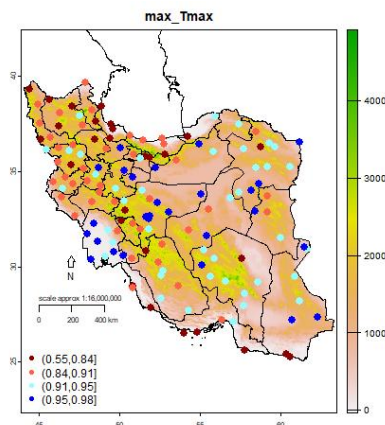
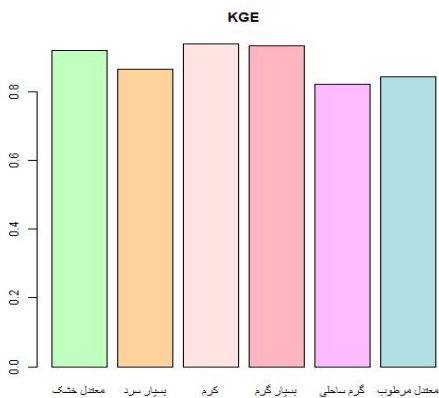
### بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)

شکل ۱۴ توزیع مکانی شاخص اریبی مقادیر مشاهده‌ای TNx و داده‌های ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در اغلب ایستگاه‌ها مقدار اریبی بین ۱۲.۲ تا ۰ است. داده‌های بازتحلیل، TNx را در بیشتر ایستگاه‌های کشور کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده‌اند یا به عبارت دیگر کم‌برآورد سرد داشته‌اند. بیشترین مقدار قدر



شکل ۱۰. میانگین قدر مطلق خطا  $T_{x_{max}}$  خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۹. توزیع مکانی میانگین قدر مطلق خطای مقادیر  $T_{x_{max}}$  مشاهده‌ای و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۱۲. نمودار شاخص KGE داده‌های  $T_{x_{max}}$  خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۱۱. توزیع مکانی شاخص KGE مقادیر مشاهده‌ای  $T_{x_{max}}$  و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

جدول ۲. مقایسه دقت داده‌های پیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ERA5-Land نسبت به داده‌های مشاهداتی

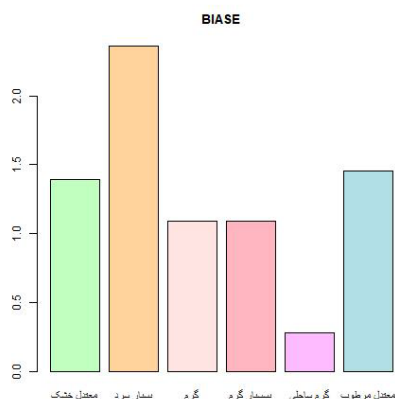
خوشه	MAE	RMSE	R	BIASE	NASH	KGE
یک	2.02	2.27	0.99	1.89	0.89	0.92
دو	3.01	3.28	0.99	2.92	0.84	0.87
سه	1.59	1.83	0.99	1.39	0.94	0.94
چهار	2.08	2.29	0.99	1.90	0.92	0.93
پنج	3.89	4.27	0.96	3.88	0.40	0.82
شش	2.83	3.51	0.93	2.39	0.66	0.84
بیشینه	1.59	1.83	0.93	1.39	0.40	0.82
کمینه	3.89	4.27	0.99	3.88	0.94	0.94

ایستگاه ساوه به مقدار ۹۹.۰ می‌باشد. شکل ۱۷ ضریب همبستگی را در خوشه‌های مختلف نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود ضریب همبستگی در خوشه‌های مختلف تفاوت چشمگیری با هم ندارند.

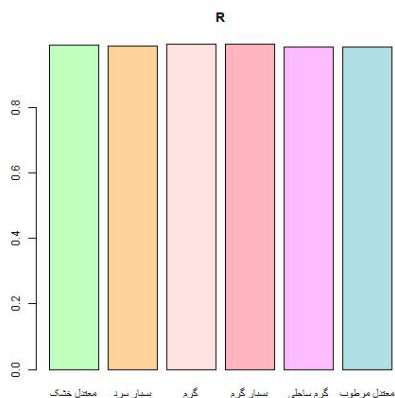
شکل ۱۶ نشان می‌دهد که ضریب همبستگی در همه ایستگاه‌ها بیشتر از ۹۰.۴ است، که همبستگی بالایی است. کمترین مقدار همبستگی داده‌های باز تحلیل با مشاهداتی در ایستگاه شهرکرد (۹۰.۴) و بیشترین مقدار همبستگی در

شکل ۲۱ و جدول ۳، کمترین خطای RMSE در خوشه گرم ساحلی به مقدار ۲۵.۱ و بیشترین مقدار خطا در خوشه بسیار سرد به میزان ۴۱.۳ است.

بر اساس شاخص MAE (شکل ۲۲)، کمترین مقدار خطا در حاشیه خلیج فارس و بیشترین مقدار در غرب است، از نظر ایستگاهی نیز بیشترین خطا مربوط به ایستگاه کرمان به میزان ۴.۷ و کمترین مقدار خطا نیز متعلق به داده‌های چابهار با مقدار ۷.۰ است. با توجه به شکل ۲۳ و همین‌طور مقادیر شاخص MAE در جدول ۳، بهترین تخمین داده‌های TN<sub>x</sub> متعلق به خوشه گرم ساحلی می‌باشد که کمترین مقدار میانگین خطا به میزان ۹۷.۰ را دارد و بیشترین مقدار شاخص MAE مربوط به خوشه بسیار سرد به میزان ۹۵.۲ می‌باشد.



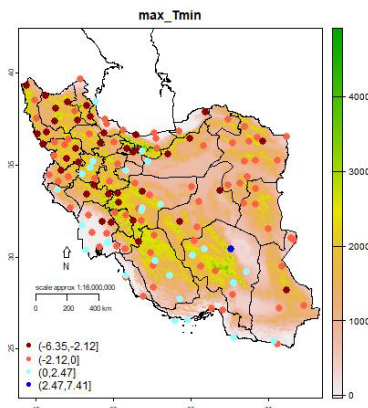
شکل ۱۴. شاخص اریبی TN<sub>x</sub> خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



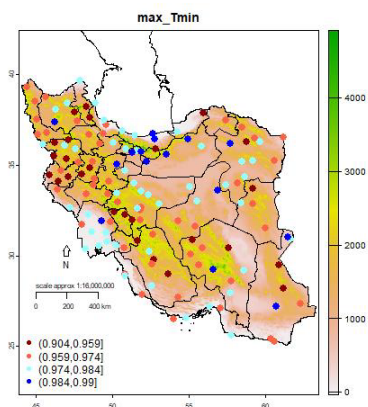
شکل ۱۶. ضریب همبستگی TN<sub>x</sub> خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

بر اساس سنجح ضریب کارایی نش (شکل ۱۸)، در حاشیه خزر، خلیج فارس و دریای عمان و جنوب غرب کشور دقت بیشتری مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار ضریب نش داده‌های باز تحلیل متعلق به گرمسار میزان ۹۶.۰ و کمترین آن مربوط به کرمان (-۵.۰) است. شکل ۱۹ و جدول ۳ نشان می‌دهند که در بین خوشه‌های اقلیمی، کمترین مقدار ضریب نش به مقدار ۹۴.۰ در خوشه گرم ساحلی و بیشترین آن به مقدار ۷۳.۰ در خوشه بسیار سرد است.

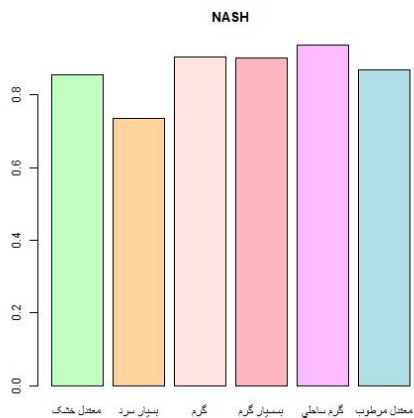
بر اساس معیار RMSE (شکل ۲۰)، در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان کمترین خطا وجود دارد و بیشترین مقدار آن در شمال غرب و غرب مشاهده می‌شود. از نظر ایستگاهی نیز کمترین RMSE به مقدار ۸۶.۰ در چابهار و بیشترین مقدار آن در کرمان به مقدار ۸.۷ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس



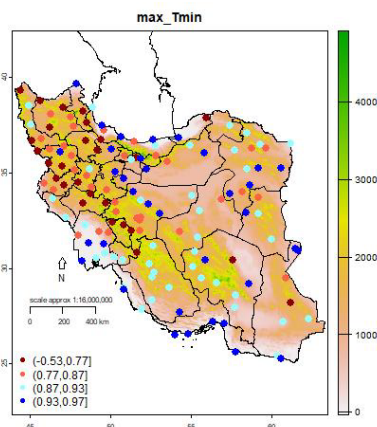
شکل ۱۳. توزیع مکانی شاخص اریبی مقادیر مشاهده‌ای TN<sub>x</sub> و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



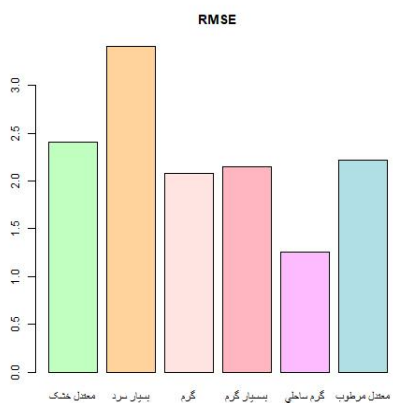
شکل ۱۵. توزیع مکانی ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای TN<sub>x</sub> و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



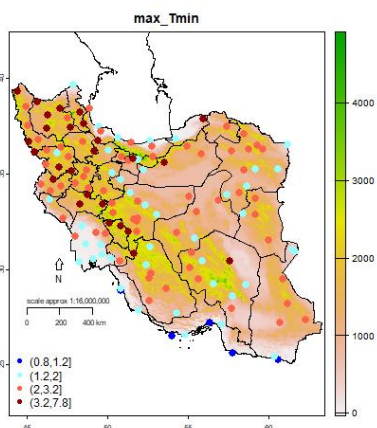
شکل ۱۸. ضریب کارایی نش TNx خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



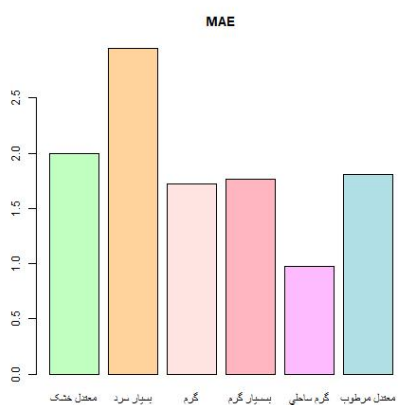
شکل ۱۷. توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر مشاهده‌ای TNx و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



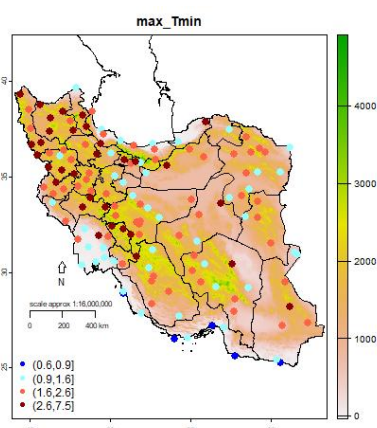
شکل ۲۰. مجذور میانگین مربع خطا TNx خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۱۹. توزیع مکانی مجذور میانگین مربع خطا مقادیر مشاهده‌ای TNx و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۲۲. نمودار قدر مطلق میانگین خطا TNx خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



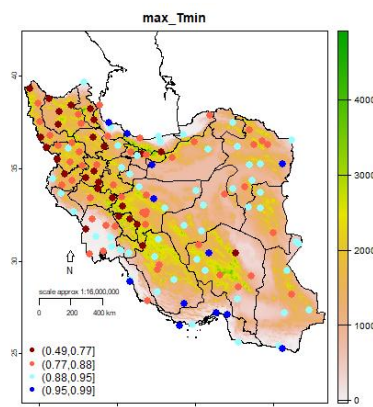
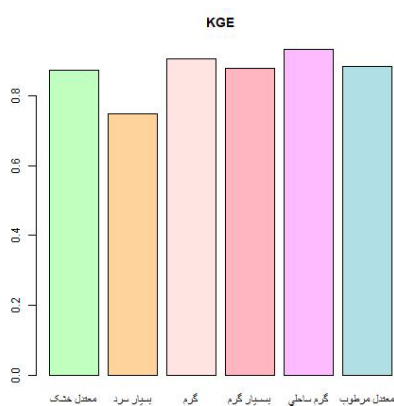
شکل ۲۱. توزیع مکانی قدر مطلق میانگین خطای مقادیر TNx و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

در سواحل دریای خزر و خلیج فارس و دریای عمان مقادیر بزرگتری را دارد. بیشترین مقدار شاخص KGE به مقدار

بررسی شاخص KGE نشان داد که این شاخص در شمال غرب و بخش شمالی دامنه‌های زاگرس مقادیر کمتری دارد و

۹۸.۰ در بوشهر است و کمترین مقدار این شاخص متعلق به کرمان (۵۰.۰) است (شکل ۲۴). از نظر خوشه‌های آب و هوایی بیشترین مقدار شاخص KGE در خوشه گرم ساحلی

(پنج) به میزان ۹۳.۰ و کمترین مقدار این شاخص متعلق به خوشه بسیار سرد به مقدار ۷۴.۰ است (شکل ۲۵ و جدول ۳).



شکل ۲۴. شاخص KGE داده‌های  $TN_x$  خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۲۳. توزیع مکانی شاخص KGE مقادیر مشاهده‌ای  $TN_x$  و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

جدول ۳. مقایسه دقت داده‌های بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ERA5-Land نسبت به داده‌های مشاهداتی

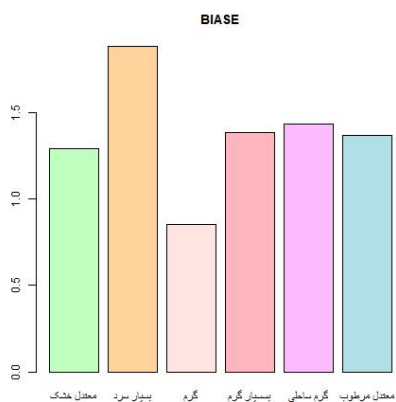
KGE	NASH	BIASE	R	RMSE	MAE	یک	خوشه
0.87	0.86	1.40	0.97	2.41	2.00	یک	
0.75	0.74	2.37	0.96	3.41	2.95	دو	
0.91	0.90	1.09	0.97	2.08	1.72	سه	
0.88	0.90	1.09	0.97	2.15	1.77	چهار	
0.94	0.94	0.28	0.97	1.25	0.97	پنج	
0.89	0.87	1.46	0.97	2.22	1.81	شش	
0.75	0.74	0.28	0.96	1.25	0.97		بیشینه
0.94	0.94	2.37	0.97	3.41	2.95		کمینه

بررسی توزیع فضایی ضریب همبستگی نشان می‌دهد که در اغلب ایستگاه‌ها بین داده‌های بازتحلیل و داده‌های مشاهداتی همبستگی (۹۹۵.۰-۹۹۱.۰) وجود دارد که میزان همبستگی بالایی است. در حاشیه دریای خزر و دریای عمان و بخشی از خلیج فارس میزان همبستگی به مراتب کمتر است و بیشترین مقادیر همبستگی در جنوب غرب و پس از آن در حاشیه زاگرس مشاهده می‌شود (شکل ۲۸). ضریب همبستگی در خوشه‌های مختلف تفاوت چشمگیری باهم ندارند (شکل ۲۹). توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر دیدبانی  $TN_x$  و پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land در شکل ۳۰ ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد در اکثر مناطق کشور به ویژه در دامنه‌های رشته کوه زاگرس، در جنوب غرب مقادیر ضریب NS بیشتر از ۹۷.۰ است و برآورد خیلی خوب می‌باشد. در حاشیه خلیج

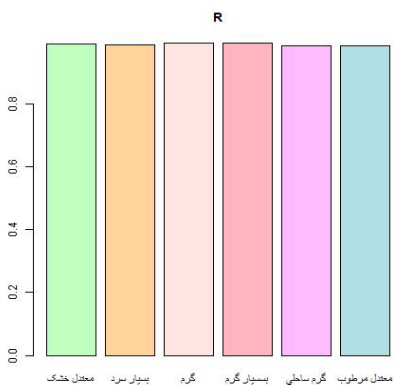
### کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ( $TN_n$ )

شکل ۲۶ توزیع مکانی شاخص اریبی مقادیر مشاهده‌ای  $TN_n$  و داده‌های ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل بیشتر ایستگاه‌های کشور این شاخص را کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده‌اند یا به عبارت دیگر کم‌برآورد داشته‌اند. بیشترین مقدار اریبی داده‌های بازتحلیل دمای حداکثر روزانه در یاسوج به مقدار ۰.۹ و کمترین قدر مطلق آن در بیجار به مقدار ۰.۰۳۰ می‌باشد. در جدول ۴ معیارهای ارزیابی در خوشه‌های اقلیمی متفاوت آورده شده است. از نظر مقایسه خوشه‌های آب و هوایی، بیشترین میانگین قدرمطلق اریبی در خوشه بسیار سرد یعنی دو (به مقدار ۸۸.۱) و کمترین میانگین قدرمطلق اریبی در خوشه گرم به مقدار ۸۸.۰ می‌باشد (شکل ۲۷ و جدول ۴).

به داده‌های ایستگاه یاسوج با مقدار ۵.۹ است (شکل ۳۴). در شکل ۳۵ میانگین خطای TXn در خوشه‌های اقلیمی آورده شده است. با توجه به این شکل و جدول ۴، بهترین تخمین داده‌های TNx متعلق به خوشه گرم می‌باشد که کمترین مقدار میانگین خطا به میزان ۳۴.۱ را دارد و بیشترین مقدار شاخص MAE مربوط به خوشه بسیار سرد به میزان ۴.۲ می‌باشد. بررسی شاخص KGE نشان داد که در غالب نقاط کشور مقدار این شاخص بیش از ۸۳.۰ است در بخش‌هایی از شمال غرب و حاشیه دریای خزر مقدار این شاخص کمتر می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص KGE در آبادان به مقدار ۹۹.۰ و کمترین آن در فیروزکوه (۳۴.۰) است (شکل ۳۶). از نظر خوشه‌های آب و هوایی بیشترین مقدار شاخص KGE در خوشه گرم (سه) به میزان ۹۵.۰ و کمترین مقدار این شاخص متعلق به خوشه بسیار سرد به مقدار ۸۳.۰ است (شکل ۳۷ و جدول ۴).

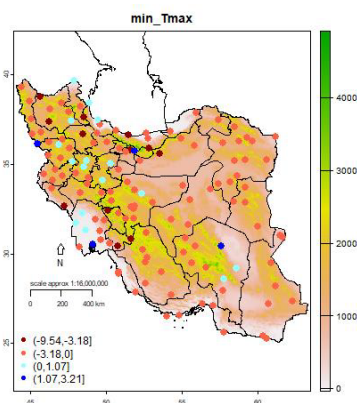


شکل ۲۶. میانگین اریبی TXn خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

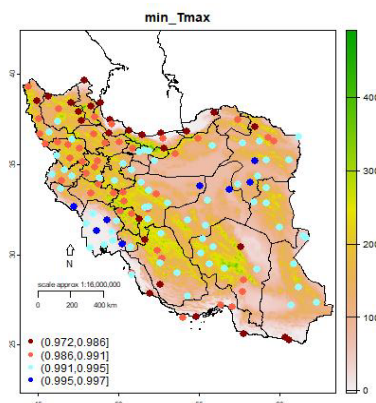


شکل ۲۸. ضریب همبستگی TXn خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

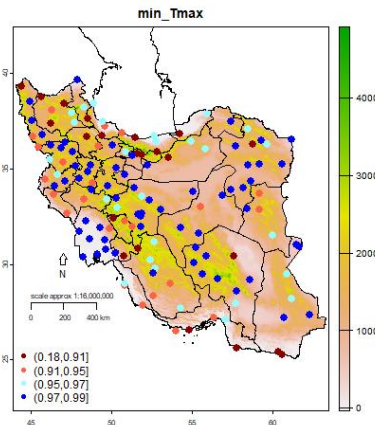
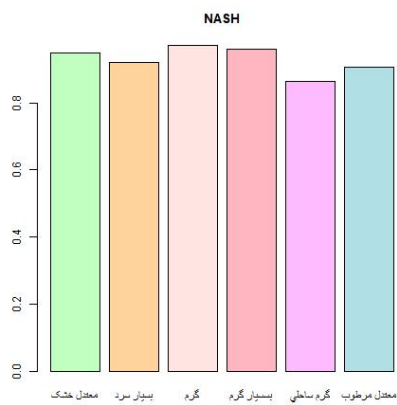
فارس و دریای عمان و بخش‌هایی از حاشیه دریای خزر مقدار آن کمتر می‌باشد. بیشترین مقدار ضریب نش داده‌های باز تحلیل متعلق به اهواز میزان ۹۸۹.۰ و کمترین آن مربوط به یاسوج (۱۸۸.۰) است. از نظر خوشه‌های اقلیمی مختلف کمترین مقدار ضریب نش به مقدار ۸۶.۰ در خوشه گرم ساحلی و بیشترین آن به مقدار ۹۷.۰ در خوشه گرم است (شکل ۳۱). بررسی سنج RMSE نشان می‌دهد در جنوب غرب کشور کمترین RMSE و بیشترین میزان خطا در بعضی از مناطق غرب مشاهده می‌شود. کمترین مقدار میانگین مربعات خطا در کاشمر به میزان ۱۷.۱ و بیشترین مقدار آن در یاسوج به مقدار ۷.۹ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۳۲). در بین خوشه‌های اقلیمی نیز کمترین خطای RMSE در خوشه گرم به مقدار ۶۳.۱ و بیشترین مقدار خطا در خوشه بسیار سرد به میزان ۷۸.۲ است (شکل ۳۳ و جدول ۴). براساس شاخص MAE، کمترین مقدار خطا مربوط به ایستگاه اهواز به میزان ۸۸.۰ و بیشترین مقدار خطا نیز متعلق



شکل ۲۵. توزیع مکانی شاخص اریبی مقادیر TXn و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

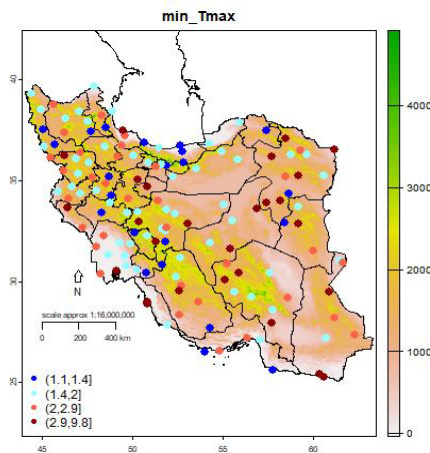
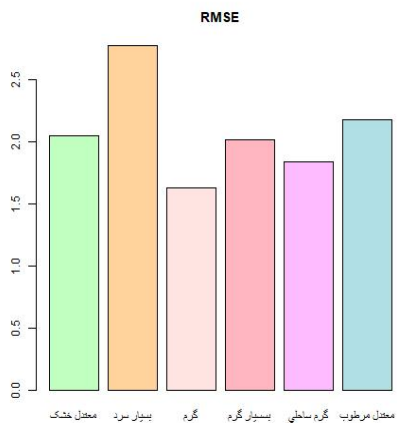


شکل ۲۷. توزیع مکانی ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای TXn و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



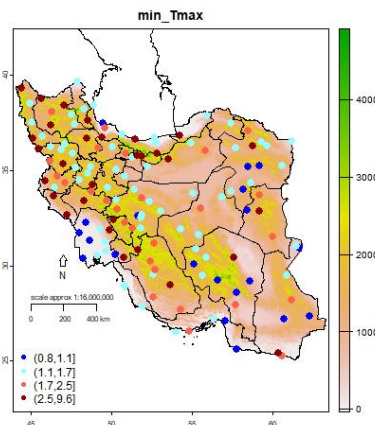
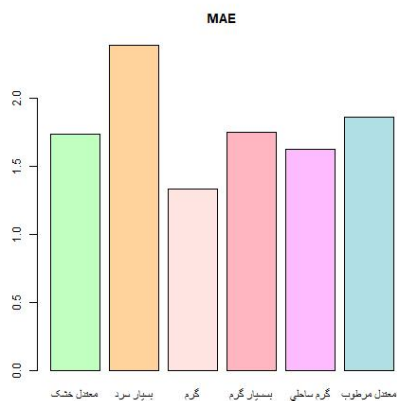
شکل ۳۰. ضریب کارایی نش TXn خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۲۹. توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر مشاهده‌ای TXn و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



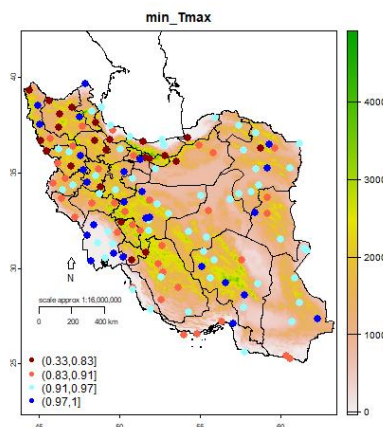
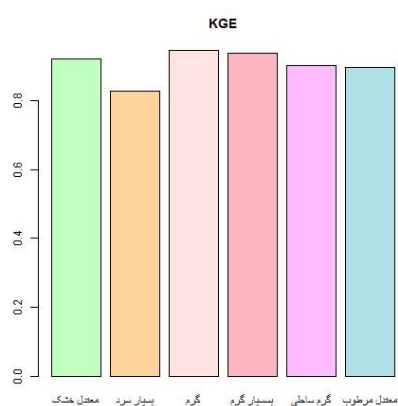
شکل ۳۲. مجذور میانگین مربع خطا TXn خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۳۱. توزیع مکانی مجذور میانگین مربع خطا مقادیر TXn و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۳۴. قدر مطلق میانگین خطا TXn خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

شکل ۳۳. توزیع مکانی قدر مطلق میانگین خطا مقادیر مشاهده‌ای TXn و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۳۵. توزیع مکانی KGE مقادیر مشاهده‌ای TNn و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی  
 شکل ۳۶. شاخص KGE داده‌های TNn در خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

جدول ۴- مقایسه دقت داده‌های کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه ERA5-Land نسبت به داده‌های مشاهداتی

خوشه	MAE	RMSE	R	BIASE	NASH	KGE
یک	1.74	2.05	0.99	1.29	0.95	0.92
دو	2.40	2.78	0.99	1.89	0.92	0.83
سه	1.34	1.63	0.99	0.85	0.97	0.95
چهار	1.75	2.02	0.99	1.38	0.96	0.94
پنج	1.62	1.84	0.98	1.43	0.86	0.90
شش	1.86	2.18	0.98	1.37	0.91	0.90
بیشینه	1.34	1.63	0.98	0.85	0.86	0.83
کمینه	2.40	2.78	0.99	1.89	0.97	0.95

خوشه گرم ساحلی (به مقدار ۷.۲) و کمترین میانگین قدر مطلق اریبی در خوشه معتدل مرطوب به مقدار ۲۷.۱ می‌باشد. بررسی ضریب همبستگی بین کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه ERA5-Land با داده‌های مشاهداتی نشان داد که در غرب کشور و حاشیه زاگرس همبستگی‌ها کمتر ولی در شمال و شمال غرب کشور میزان همبستگی بین داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی بیشتر می‌باشد (شکل ۴۰). در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بالاترین همبستگی مربوط به طبس (۹۹۴.۰) و پس از آن مربوط به نطنز است. کمترین مقادیر همبستگی مربوط به ایستگاه‌های اهواز، آبادان و بستان به ترتیب برابر ۰۵۰.۰، ۰۷۰.۰ و ۰۵۵.۰ می‌باشد. این مقادیر بسیار کوچک ضریب همبستگی نشان می‌دهد که برای تخمین روند TNn در این ایستگاه‌ها استفاده از داده‌های ERA5-Land مناسب

#### کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn)

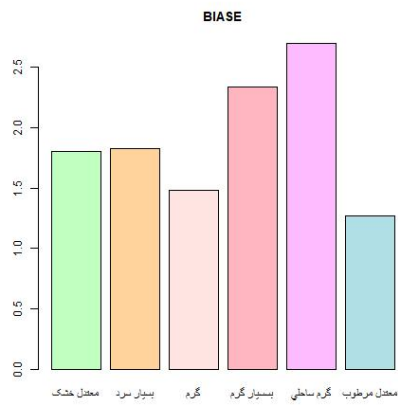
شکل ۳۸ توزیع مکانی شاخص اریبی مقادیر مشاهده‌ای TNn و داده‌های ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. داده‌های بازتحلیل، TNn را در بیشتر ایستگاه‌های کشور کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده‌اند یا به عبارت دیگر کم‌برآورد داشته‌اند. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین مقدار قدر مطلق اریبی متعلق به کرمان به میزان ۰۳.۱۲ درجه و کمترین مقدار آن به میزان ۰۱.۰ در خوربیا بانک بوده است. شکل ۳۹ مقایسه دقت داده‌های TNn باز تحلیل ERA5-Land را با مقادیر مشاهداتی در خوشه‌های اقلیمی و جدول ۵ نتایج معیارهای ارزیابی مختلف را در هر خوشه اقلیمی مورد مطالعه نشان می‌دهد. براساس نتایج بیشترین میانگین قدر مطلق اریبی و بیشترین خطا در

از نظر شاخص MAE کمترین مقدار خطا در شمال کشور و بیشترین مقدار در جنوب غرب است از نظر ایستگاهی نیز بیشترین خطا مربوط به ایستگاه کرمان به میزان ۰۳.۱۲ است و کمترین خطا به میزان ۸۱.۰ متعلق به جم می‌باشد (شکل ۴۶). شکل ۴۷ میانگین خطای MAE کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه بازتحلیل ERA5-Land طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل و همین‌طور جدول ۵، بهترین تخمین داده متعلق به خوشه معتدل مرطوب می‌باشد که کمترین مقدار میانگین خطا (۹.۱) را دارد و بیشترین خطا مربوط به خوشه بسیار گرم می‌باشد.

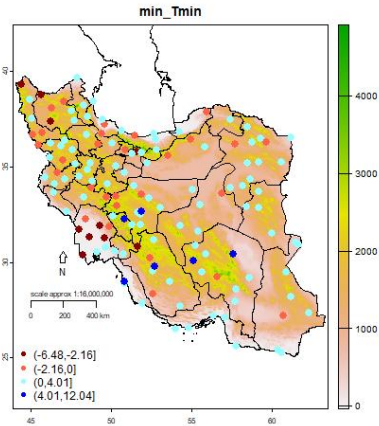
شکل ۴۸ مقایسه داده‌های کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه پایگاه داده ERA5-Land در برآورد کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های همیدی منتخب در سطح کشور، را با استفاده از شاخص KGE نشان می‌دهد. مقدار شاخص KGE در بسیاری از نقاط کشور بیش از ۷۵.۰ است که حاکی از دقت و کارایی خوب این داده‌ها است. با اینحال در ۳۷ ایستگاه این مقدار منفی است، کمترین آن در اصفهان به مقدار (۹.۱۵۰-) است. با بررسی داده‌های ایستگاه اصفهان دریافتیم که خطای این ایستگاه ناشی از اریبی بین میانگین داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتحلیل است. شکل ۴۹ مقایسه شاخص KGE کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه را در خوشه‌های اقلیمی مختلف برای پایگاه باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی نشان می‌دهد. با توجه به این شکل و جدول ۵ می‌توان گفت که از نظر خوشه‌های آب‌وهوایی بیشترین مقدار شاخص KGE در خوشه معتدل مرطوب به میزان ۷۹.۰ در این پایگاه داده است و کمترین مقدار این شاخص متعلق به خوشه معتدل خشک است.

نیستند. بر اساس نتایج، خوشه بسیار گرم کمترین همبستگی نسبت به سایر خوشه‌ها داراست (شکل ۴۱ و جدول ۵). بررسی توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر دیدبانی کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land را نشان می‌دهد که در اکثر نیمه شمالی کشور و حاشیه دریای خزر و حاشیه زاگرس، شرق و اکثر مناطق کشور بیشتر از ۸۷.۰ است و برآورد خیلی خوب می‌باشد. در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان و جنوب غرب کشور مقدار این ضریب کمتر است (شکل ۴۲). بیشترین مقدار ضریب نش داده‌های باز تحلیل متعلق به جم به مقدار ۹۸.۰ و مقدار این ضریب در ۷ ایستگاه صفی‌آباد، بستان، مسجد سلیمان، رامهرمز، آبادان، کرمان و میناب منفی می‌باشد. بیشتر این ایستگاه‌ها به خوشه بسیار گرم تعلق دارند و استفاده از داده‌های ERA5-Land برای برآورد TNn در ایستگاه‌های این منطقه مناسب نیست. از نظر خوشه‌های اقلیمی نیز کمترین مقدار ضریب نش به مقدار ۵۹.۱- در خوشه بسیار گرم و بیشترین آن به مقدار ۹۲.۰ در خوشه شش یعنی معتدل مرطوب است (شکل ۴۳ و جدول ۵).

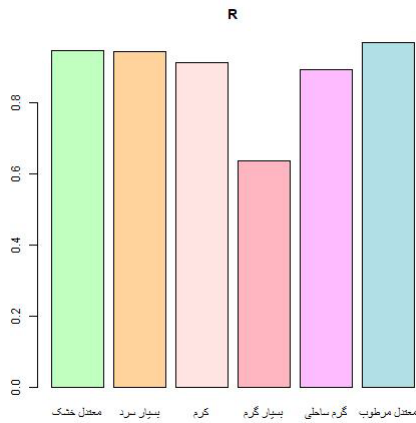
در شکل ۴۴ توزیع مکانی میانگین مربعات خطا بین سری داده‌های کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه شبکه‌ای ERA5-Land و داده‌های دیدبانی در کشور آورده شده است. در جنوب غرب کشور این شاخص بیشترین مقدار و در شمال کشور و حاشیه دریای خزر کمترین مقدار را داراست از نظر ایستگاهی نیز کمترین RMSE به مقدار ۰۷.۱ در جم و بیشترین مقدار آن در اهواز، آبادان و بستان به مقدار ۹.۲۵، ۹۲.۲۴ و ۰۹.۲۴ درجه سانتی‌گراد است. از نظر خوشه‌های اقلیمی نیز کمترین مقدار RMSE در خوشه معتدل مرطوب (۱۵.۲) و بیشترین مقدار خطای نیز در خوشه بسیار گرم (۰۵.۱۰) می‌باشد (شکل ۴۵ و جدول ۵).



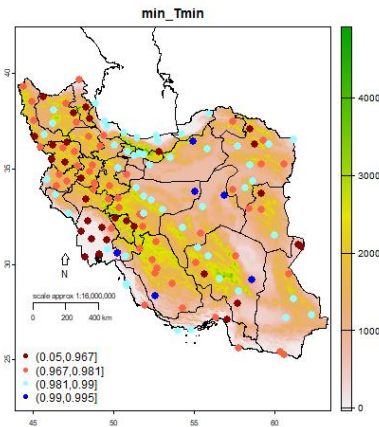
شکل ۳۸. نمودار میانگین قدر مطلق ارزیابی کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



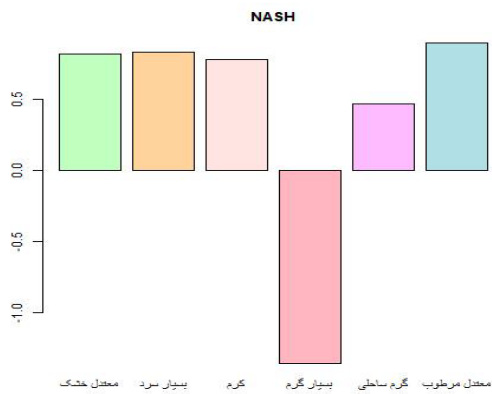
شکل ۳۷. توزیع مکانی شاخص ارزیابی مقادیر مشاهده‌ای کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



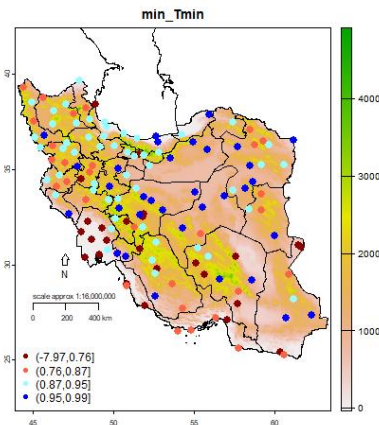
شکل ۴۰. نمودار ضریب همبستگی کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



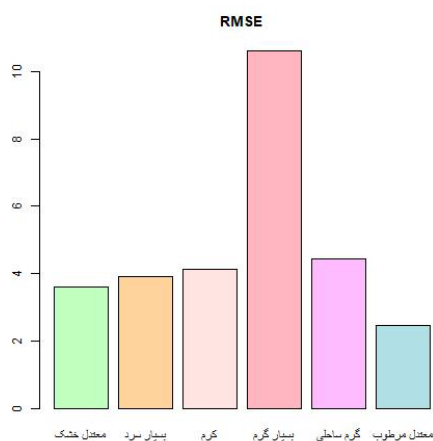
شکل ۳۹. توزیع مکانی ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



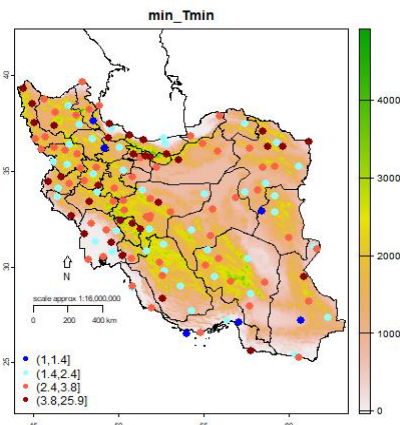
شکل ۴۲. نمودار ضریب کارایی نش کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



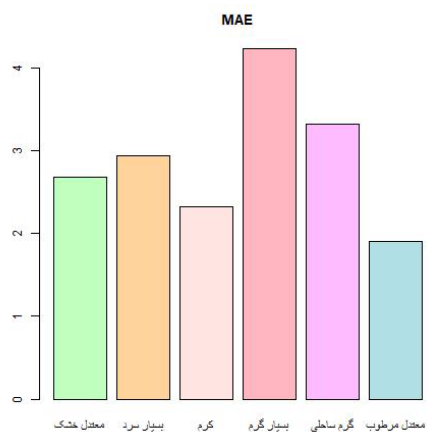
شکل ۴۱. توزیع مکانی ضریب کارایی نش مقادیر مشاهده‌ای کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



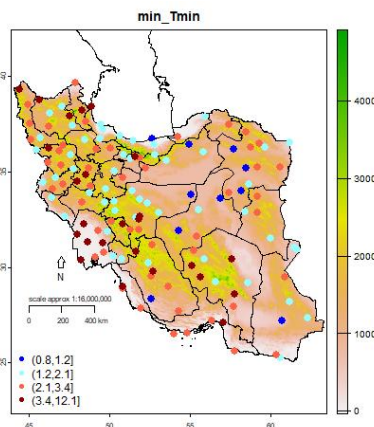
شکل ۴۴. نمودار مجذور میانگین مربع خطا کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



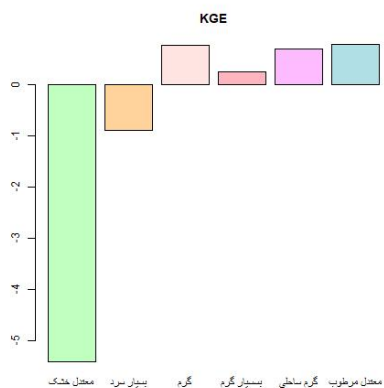
شکل ۴۳. توزیع مکانی مجذور میانگین مربع خطا مقادیر مشاهده‌ای کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



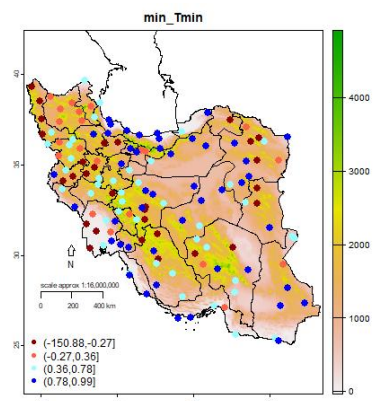
شکل ۴۶. نمودار میانگین خطای MAE کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه‌های باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۴۵. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی



شکل ۴۸. نمودار شاخص KGE کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه باز تحلیل ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰



شکل ۴۷. توزیع مکانی شاخص KGE مقادیر مشاهده‌ای دمای مطلق ماهانه و پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ میلادی

جدول ۴. مقایسه دقت داده‌های دمای کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه ERA5-Land نسبت به داده‌های مشاهداتی

خوشه	MAE	RMSE	R	BIASE	NASH	KGE
یک	۲.۳۹	۲.۸۴	۰.۹۸	۱.۸۰	۰.۸۵	-۰.۴۱
دو	۲.۶۵	۳.۲۵	۰.۹۷	۱.۸۳	۰.۸۷	-۰.۹۰
سه	۲.۰۲	۳.۳۶	۰.۹۴	۱.۴۸	۰.۸۲	۰.۷۷
چهار	۳.۹۰	۱۰.۰۵	۰.۶۵	۲.۳۴	-۱.۵۹	۰.۲۵
پنج	۳.۲۳	۴.۳۳	۰.۹۱	۲.۷۰	۰.۴۴	۰.۶۹
شش	۱.۷۷	۲.۱۵	۰.۹۸	۱.۲۷	۰.۹۲	۰.۷۹
بیشینه	۱.۷۷	۲.۱۵	۰.۶۵	۱.۲۷	-۱.۵۹	-۰.۴۱
کمینه	۳.۹۰	۱۰.۰۵	۰.۹۸	۲.۷۰	۰.۹۲	۰.۷۹

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه، دقت پایگاه داده‌های بازتحلیل شده ERA5-Land در برآورد دماهای حدی ماهانه در ایران ارزیابی شد. شاخص‌های مورد بررسی عبارتند از دمای گرم‌ترین روز ماه، دمای گرم‌ترین شب ماه، دمای سردترین روز ماه و دمای سردترین شب ماه. متوسط RMSE به روی تمام ایستگاه‌ها برای چهار شاخص حدی مورد بررسی،  $TN_n$ ،  $TN_x$ ،  $TX_x$  و  $TX_n$  به ترتیب برابر ۷۹.۲، ۵۷.۲، ۲۳.۲ و ۷۸.۳ می‌باشد، که نشان می‌دهد به طور کلی داده‌های بازتحلیل ERA5-Land دقت خوبی در برآورد دماهای حدی ماهانه در پهنه ایران دارند. در بیشتر ایستگاه‌ها مقادیر حدی ماهانه داده‌های ERA5-land نسبت به داده‌های مشاهداتی کم برآورد دارند. مقادیر ضرایب همبستگی برای سه شاخص  $TX_x$ ،  $TN_x$ ،  $TN_n$  در تمام ایستگاه‌ها مقادیری بزرگتر از ۸۵.۰ است، اما در مورد شاخص  $TN_n$  برای برخی از ایستگاه‌های خوشه بسیار گرم (خوشه چهار) از جمله اهواز، بستان و آبادان مقادیر ضریب همبستگی بسیار پایین است. بنابراین می‌توان گفت که داده‌های بازتحلیل ERA5-Land می‌تواند روند  $TX_x$ ،  $TN_x$ ،  $TN_n$  را در همه ایستگاه‌ها با دقت خوبی برآورد کند، اما در مورد شاخص  $TN_n$  برای منطقه جنوب غرب استفاده از داده‌های بازتحلیل مناسب نیست. مقادیر ضریب نش برای اغلب ایستگاه‌ها مقدار قابل قبولی است، تنها در مواردی این مقدار منفی شده است و استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5-Land برای برآورد شاخص حدی مورد نظر مناسب نیست. در واقع اگر عدد ثابت متوسط

داده‌های مشاهداتی به عنوان برآورد استفاده شود، دقت بالاتری نسبت به داده‌های بازتحلیل خواهد داشت. ضریب نش برای شاخص حدی  $TX_x$ ، در ایستگاه‌های یاسوج، کنارک و چابهار، برای شاخص  $TN_x$ ، در ایستگاه کرمان و برای شاخص  $TN_n$  در ایستگاه‌های صفی‌آباد، بستان، اهواز، مسجد سلیمان، رامهرمز، آبادان، کرمان و میناب منفی شده است. شاخص KGE، که سه عامل اریبی میانگین، اریبی واریانس و همبستگی را همزمان اندازه‌گیری می‌کند، در برآورد  $TX_x$ ،  $TN_x$ ،  $TN_n$  مقادیرش در همه ایستگاه‌ها قابل قبول است (به ترتیب بزرگتر از ۴۹.۰، ۵۵.۰ و ۳۳.۰). اما در برآورد شاخص  $TN_n$ ، در ۳۷ ایستگاه مقدار KGE منفی است، که بیشتر این ایستگاه‌ها در خوشه یک و دو قرار دارند. بررسی مقادیر KGE نشان داد که منفی بودن مقادیر KGE ناشی از اریبی در میانگین داده‌های بازتحلیل نسبت به میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد. از این رو در برآورد  $TN_n$ ، برای ایستگاه‌های منطقه شمال غرب و شمال شرق باید داده‌های ERA5-Land را با احتیاط به کار برد. به طور کلی دقت داده‌های بازتحلیل در برآورد شاخص‌های حدی ماهانه دما در مناطق مختلف کشور بر اساس شاخص مورد نظر متفاوت است. برآورد  $TX_x$  داده‌های بازتحلیل بیشترین دقت را در خوشه گرم و کمترین دقت را در خوشه گرم ساحلی دارند، در صورتی که داده‌های ERA5-land در برآورد  $TN_x$ ، بهترین دقت را در خوشه گرم ساحلی و کمترین دقت را در خوشه بسیار سرد دارند. در مورد شاخص  $TX_n$ ، بیشترین دقت در خوشه گرم و کمترین دقت در خوشه بسیار سرد

- 10- Izadi, N., Karakani, E.G., Saadatabadi, A.R., Shamsipour, A., Fattahi, E. and Habibi, M., 2021, Evaluation of ERA5 Precipitation Accuracy Based on Various Time Scales over Iran during 2000–2018, *Water*, 13(18), 2538.
- 11- Karaman, C.H. and Akyurek, Z., 2023. Evaluation of near-surface air temperature reanalysis datasets and downscaling with machine learning based Random Forest method for complex terrain of Turkey. *Advances in Space Research*, v. 71(12), p. 5256-5281.
- 12- Munoz, E. Alvarez, C. Billib, M. Arumi, J. and Rivera, D., 2011: Comparison of Gridded and Measured Rainfall Data for Basin-scale Hydrological Studies, *Chilean journal of agricultural research*. 71(3): 459-468.
- 13- -Mohammadi Ghaleni, M. and Sharafi, S., 2022. Evaluation of CRU TS4.05 and ERA5 Datasets Accuracy to Precipitation, Temperature and Potential Evapotranspiration in Different Climates across Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, v. 16, p. 879-890 (in Persian).
- 14- Munoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G. and Thepaut, J.N., 2021. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth system science data*, v.13(9), p. 4349-4383.
- 15- Syed, Z., Ahmad, S., Dahri, Z.H., Azmat, M., Shoaib, M., Inam, A. and Ahmad, S., 2022. Hydroclimatology of the Chitral River in the Indus Basin under changing climate, *Atmosphere*, v. 13, p. 295.
- 16- Sheridan, S.C., Lee, C.C. and Smith, E.T., 2020. A comparison between station observations and reanalysis data in the identification of extreme temperature events, *Geophysical Research Letters*, v. 47(15), p. e2020GL088120.
- 17- Tarek, M., Brissette, F.P. and Arsenault, R., 2020: Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America: *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2527-2544.
- 18- Velikou, K., Lazoglou, G., Tolika, K. and Anagnostopoulou, C., 2022: Reliability of the ERA5 in replicating mean and extreme temperatures across Europe, *Water*, 14(4), p.543.
- 19- Vitolo, C., Di Giuseppe, F., Barnard, C., Coughlan, R., San-Miguel-Ayanz, J., Liberta, G. and Krzeminski, B., 2020. ERA5-based global meteorological wildfire danger maps, *Scientific data*, v. 7, p. 216.
- 20- Yilmaz, M., 2023: Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5- $TN_n$  مشاهده می‌شود و نتایج مربوط به شاخص  $TN_n$  نشان می‌دهد که دقت برآورد در خوشه معتدل مرطوب بیشترین و در خوشه بسیار گرم، برآورد از دقت بسیار کمی برخوردار است.
- منابع
- 1- Acharya, N., Faniriantsoa, R., Rashid, B., Sultana, R., Montes, C., Dinku, T. and Hassan, S.M.Q., 2020: Developing High-resolution Gridded Rainfall and Temperature Data for Bangladesh: the ENACTS-BMD dataset: doi: 10. 20944.preprints202012.0468.v1.
- 2- Barbosa, S. and Scotto, M.G., 2022: Extreme heat events in the Iberia Peninsula from extreme value mixture modeling of ERA5-Land air temperature, *Weather and Climate Extremes*, 36, 100448.
- 3- Beck, H.E., Pan, M., Roy, T., Weedon, G.P., Pappenberger, F., Van Dijk, A.I., Huffman, G.J., Adler, R.F. and Wood, E.F., 2019: Daily evaluation of 26 precipitation datasets using Stage-IV gauge-radar data for the CONUS, *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(1), 207-224.
- 4- Cao, B., Gruber, S., Zheng, D. and Li, X., 2020: The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions, *The Cryosphere*, 14(8), 2581-2595.
- 5- European center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2013: European centre for MediumRange Weather Forecasts (ECMWF) 2005, User Guide.
- 6- Gatién, P., Arsenault, R., Martel, J.L. and St-Hilaire, A., 2022: Using the ERA5 and ERA5-Land reanalysis datasets for river water temperature modelling in a data-scarce region, *Canadian Water Resources Journal. Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 1-18.
- 7- Guijarro, J. A., 2018: Homogenization of climatic series with Climatol, <https://CRAN.R-project.org/package=climatol>.
- 8- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K. and Martinez, G.F., 2009: Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria, Implications for improving hydrological modelling. *Journal of hydrology*, 377(1-2), 80-91.
- 9- -Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horanyi, A., Muñoz-Sabater, J. and Thepaut, J.N., 2020. The ERA5 global reanalysis.

- 25- Javanshiry, Z., Asadi Oskoei, A., Flamarzi, Y., & Abbasi, F. (2022). Evaluating the accuracy of reanalysis data from global climate databases CFS-v2, MERRA-2, ERA-5 for estimating average temperature in different regions of the country. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(2), 1-24.
- 26- Sam Khaniani, A., & Mohammadi, S. A. (2022). Comparison of ERA5-Land reanalysis data with ground observations in Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(1), 195-212.
- 27- Gholami, S., Farajzadeh, M., & Ghavidel Rahimi, Y. (2023). A Comparative Study of the Performance of CHIRPS and ERA5Land Databases in Detecting Droughts in Iran. *Physical Geography Research*, (61), 1-22.
- 28- Heydari, A., Zarrin, A., & Dadashi Roudbari, A. (2023). 'Investigating the efficiency of definite and probabilistic versions (multi-member ensemble) of ERA5 dataset in estimating the temperature of Iran'. *Journal of Geosciences Research*, 14(4), 1-20.
- Land. *Science of The Total Environment*, 856. 159182. 10.1016/j.scitotenv.2022.159182.
- 21- Zhao, Peng & He, Zhibin, 2022: A First Evaluation of ERA5-Land Reanalysis Temperature Product Over the Chinese Qilian Mountains. *Frontiers in Earth Science*, 10. 907730. 10.3389.feart.2022.907730.
- 22- Zou, J., Lu, N., Jiang, H., Qin, J., Yao, L., Xin, Y. and Su, F., 2022: Performance of air temperature from ERA5-Land reanalysis in coastal urban agglomeration of Southeast China. *Science of The Total Environment*, 828, 154459.
- 23- Zhao, Peng & He, Zhibin, 2022: A First Evaluation of ERA5-Land Reanalysis Temperature Product Over the Chinese Qilian Mountains. *Frontiers in Earth Science*, 10. 907730. 10.3389.feart.2022.907730.
- 24- Ahmadi, M., Ahmadi, H., & Dadashi Roudbari, A. (2019). Monitoring the trend of monthly temperature in Iran based on the output of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA Interim database. *Geography*, 7(60), 86-103.