

## مقایسه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ایران

علی سام خانیانی<sup>۱\*</sup> و سیده عاطفه محمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی، دانشکده مهندسی عمران بابل، مازندران، ایران  
<sup>۲</sup> دانش آموخته دکتری، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲)

### چکیده

داده‌های بازتحلیل که منبع مهمی از اطلاعات جوی هستند، کاربری‌های متنوعی نظیر مطالعات اقلیمی، مدل‌سازی‌های آب‌شناختی و پیش‌بینی عددی وضع هوا دارند. ارزیابی میزان کارایی محصولات بازتحلیل در هر منطقه قبل از استفاده اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه، پتانسیل پارامترهای فشار سطح دریا، دما در تراز ۲ متر، سرعت باد در تراز ۱۰ متر از سطح زمین و دمای نقطه شبنم بازتحلیل ERA5-Land در ایران به صورت زمانی و مکانی ارزیابی می‌شود. برای این منظور، از مشاهدات زیر-روزانه ۴۰۶ ایستگاه همدیدی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. در کل منطقه، همبستگی میانگین محصولات ERA5-Land و اندازه‌گیری‌های محلی دمای ۲ متری، فشار سطحی، سرعت باد ۱۰ متری و دمای نقطه شبنم به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۸، ۰/۴۹ و ۰/۸۸ بود. همچنین میانگین RMSE برای پارامترهای استخراج‌شده از ERA5-Land در مقایسه با مشاهدات واقعی به ترتیب ۲/۸۷ درجه سانتیگراد، ۱۹/۴۲ هکتوپاسکال، ۲/۵۲ متر بر ثانیه و ۴/۱۲ درجه سانتیگراد به دست آمد. بررسی مقادیر ارزیابی نشان داد که در منطقه ایران، ERA5-Land به طور میانگین همه متغیرهای مورد مطالعه را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد می‌کند. علاوه بر این، رابطه مقادیر برآورد شده خطا و اختلاف ارتفاع نقاط شبکه ERA5-Land و ارتفاع ایستگاه نشان داد با افزایش اختلاف ارتفاع، اندازه ارزیابی منفی و جذر میانگین مربعات خطای موجود در دمای ۲ متری و فشار سطحی ERA5-Land به طور معناداری افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** داده بازتحلیل، ERA5-land، مشاهدات سطحی، ارزیابی آماری

## ۱ مقدمه

جو زمین و تغییرات اقلیمی تأثیر کاملاً حیاتی بر زندگی بشر دارند و سال‌هاست که پژوهشگران زیادی در این حوزه از علوم مربوط به زمین فعالیت می‌کنند. وجود داده‌های مناسبی از متغیرهای سطحی و جو بالا که صحت زیادی داشته باشند، در مطالعه، مدل‌سازی، پیش و پیش‌بینی حوادث شدید جو و تغییرات اقلیمی و آب‌شناختی بسیار تعیین‌کننده است؛ برای مثال، متغیر بارش جزء مهم مدل‌های آب‌شناختی است. این مدل‌ها علاوه بر بارش، برای افزایش قدرت پیش‌بینی خود از متغیرهایی نظیر دما، سرعت باد و رطوبت نسبی نیز استفاده می‌کنند (سینگ و وولهیسر، ۲۰۰۲). همچنین برای محاسبه تبخیر و تعرق، به داده‌های هواشناسی نظیر دما، سرعت باد، تشعشعات خورشیدی و رطوبت نسبی نیاز است (پلوسی و همکاران، ۲۰۲۰).

مشاهدات زمینی، محصولات ماهواره‌ای و داده‌های بازتحلیل، منابع مختلف مورد استفاده داده‌های هواشناسی هستند. وجود ایستگاه‌های هواشناسی سطحی با مشاهدات طولانی‌مدت، ارزش زیادی در پیش‌روند تغییرات اقلیمی و آب‌شناسی دارد (ناومن و همکاران، ۲۰۱۴). به‌رحال در خیلی از کشورهای حتی توسعه‌یافته، تعداد ایستگاه‌های محدودی پارامترهای هواشناسی را به‌صورت پیوسته و با تفکیک زمانی مناسب ثبت می‌کنند.

محصولات ماهواره‌ای از دیگر منابع داده‌های هواشناسی هستند که برای جبران نبود مشاهدات ایستگاه‌های زمینی از آنها استفاده می‌شود. ماهواره‌ها با تفکیک مکانی و زمانی مختلف، داده‌هایی را در مقیاس جهانی تولید می‌کنند. این داده‌ها که به‌صورت اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم از متغیر مورد نظر هستند، معمولاً آریبی دارند و برای کالیبراسیون به داده‌های زمینی نیاز دارند (فرتین و همکاران، ۲۰۱۵). از طرف دیگر، داده‌های بازتحلیل نیز منبع دیگری از تعداد زیادی از

متغیرهای جو هم در سطح زمین و هم در ارتفاعات هستند که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از کاربران و محققان قرار گرفته‌اند. این داده‌ها در حقیقت با ترکیب اندازه‌گیری‌های مختلف زمینی، ماهواره‌ای و اقیانوسی در یک مدل عددی دینامیکی-فیزیکی به‌دست می‌آیند (تارک و همکاران، ۲۰۲۰). داده‌های بازتحلیل به‌صورت رایگان و برای عموم با قالب‌های استاندارد در دسترس هستند و با تفکیک مکانی و زمانی متنوع در بازه‌های زمانی طولانی‌مدت به‌صورت جهانی یا محلی، متغیرهای هواشناسی را تولید می‌کنند (شفیلد، ۲۰۱۶). در هنگام تولید داده‌های بازتحلیل، مدل‌های عددی قوانین فیزیکی را نیز در نظر می‌گیرند. این نوع از منابع داده‌های هواشناسی، توصیف دقیقی از وضعیت آب‌وهوای گذشته هستند که با داده‌های مشاهدات زمینی و جو به‌دست آمده از منابع متعدد به درون مدل فیزیکی حاصل می‌شوند (سوکی و همکاران، ۲۰۱۶).

امروزه، چندین مرکز مدل‌سازی، محصولات بازتحلیل را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. این محصولات از لحاظ تفکیک مکانی و زمانی و تعداد سطوح فشاری متفاوت هستند. نمونه‌هایی از محصولات بازتحلیل عبارت‌اند از: ERA-Interim و MERRA-2؛ NCEP/NCAR و ERA-Interim. این داده‌ها در زمینه‌های مختلف محیطی و آب‌شناختی نظیر مدل‌سازی منطقه‌ای و پیش‌بینی وضع هوا استفاده می‌شوند و جایگزینی مناسب برای مشاهدات واقعی در مدل‌های آب‌شناختی هستند (اسو و همکاران، ۲۰۱۶ و رافولت و همکاران، ۲۰۱۷).

در سال‌های اخیر، با توسعه ابزار محاسباتی، روش‌های داده‌گوازی، مدل‌های NWP و بهبود داده‌های مشاهداتی از جو و سطح زمین به کمک روش‌های سنجش از دور، کیفیت داده‌های بازتحلیل ارتقا یافته است. در ماه مارس ۲۰۱۷ پیشرفته‌ترین محصول بازتحلیل ECMWF به نام ERA5 برای دوره ۱۹۷۹ تا حال حاضر منتشر شد (هرباچ

و دی، ۲۰۱۹).

ERA5-Land و Hight Asian Refined (HAR) در منطقه کوهستانی نپال پرداختند. هوآی و همکاران (۲۰۲۱) مشاهدات پارامترهای بارش، فشار، دما و سرعت باد از ۱۹ ایستگاه واقع در کوه‌های گیلیان (Qilian) را با مجموعه داده‌های بازتحلیل از جمله ERA5 مقایسه کردند. نتایج آنها بر اساس مقایسه آماری از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ نشان داد برای بیشتر متغیرها، ERA5 از لحاظ ضریب همبستگی نسبت به ERAI، JRA-55 و HAR عملکرد بهتری دارد.

علاوه بر ارزیابی محصولات بازتحلیل جدید، بسیاری از پژوهشگران به استفاده از این داده‌ها در کاربری‌ها و مطالعات مختلف از قبیل مدل‌سازی آب‌شناختی، محاسبه تبخیر و تعرق و مدیریت منابع آبی، برآورد ضرایب خشکسالی، مطالعه منابع انرژی، بررسی رابطه متقابل بین زمین و جو و پیش‌بینی تگرگ پرداخته‌اند (زرنکی و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۹؛ تارک و همکاران، ۲۰۲۰؛ پلوسی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سان و همکاران، ۲۰۲۰؛ شمشیربند و همکاران، ۲۰۲۰ و آرسنالت و همکاران، ۲۰۲۰).

ایران کشوری با مساحت تقریباً بزرگ به همراه تغییرات مختلف توپوگرافی و اقلیمی است. مشاهدات هواشناسی در این منطقه که در مکان‌هایی با توزیع غیریکنواخت اندازه‌گیری می‌شوند، همیشه به‌طور منظم در دسترس نیستند و معمولاً در ایستگاه‌های هم‌مدیدی در بازه‌های سه‌ساعته دما، فشار و رطوبت نسبی و بازه‌های شش‌ساعته بارش ثبت می‌شوند. از طرف دیگر، توزیع مکانی-زمانی داده‌های سطحی ERA5-Land و حتی ERA5 تقریباً مشابه یا بهتر از تفکیک شبکه ایستگاه‌های مشاهداتی هواشناسی است؛ بنابراین اگر داده‌های زیر-روزانه محصولات بازتحلیل در منطقه مورد مطالعه دقت مناسبی داشته باشند، می‌توان از آنها در بسیاری از کاربری‌ها و مدل‌سازی‌ها در منطقه استفاده کرد.

تا به امروز چند مطالعه در کشور به‌منظور مقایسه آماری

ERA5 نسبت به مشابه قدیمی‌تر خود (ERA-Interim) از سامانه داده‌گواری چهاربعدی پیشرفته‌تر و منابع داده بیشتری بهره گرفته است. علاوه بر این، محصولات بازتحلیل ERA5 تفکیک مکانی حدود ۳۰ کیلومتر و تفکیک زمانی یک‌ساعته دارند و متغیرهای جو را در ۱۳۷ تراز فشاری مختلف فراهم می‌کنند (تارک، ۲۰۲۰). در سال ۲۰۱۹، ERA5-Land که محصولات مقیاس‌کاهی شده ERA5 است، تفکیک مکانی مؤلفه زمینی بازتحلیل‌های ERA5 را از ۰/۲۵ درجه به ۰/۱ درجه ارتقا داد تا صحت را برای کاربری‌های زمینی افزایش دهد (بیکر و همکاران، ۲۰۲۱).

با ظهور داده‌های بازتحلیل پیشرفته همچون ERA5 و ERA5-Land، علاقه‌مندی بسیاری از پژوهشگران به استفاده از این منابع داده‌ای افزایش یافته است. به‌رحال، برای درک کیفیت این داده‌ها و میزان قابل اعتماد بودن آنها در کاربری‌های مختلف در هر منطقه، ارزیابی آنها نسبت به مشاهدات زمینی لازم است. در سال‌های اخیر، چندین مطالعه در نقاط مختلف جهان به‌منظور ارزیابی و مقایسه متغیرهای مختلف این محصولات بازتحلیل با استفاده از مقادیر متناظر از داده‌های زمینی یا سایر منابع داده‌های هواشناسی انجام گرفته است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ کاوا و همکاران، ۲۰۲۰؛ چن و همکاران، ۲۰۲۱ و هوآی و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین چندین تحقیق به ارزیابی بخار آب بارش‌شو حاصل از داده‌های ERA5 نسبت به روش‌های دیگر پرداخته‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹ و یانگ و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیقی دیگر، در لایه منجمد دائمی زمین (Permafrost)، میزان اریبی موجود در محصولات دمای خاک ERA5-Land بررسی شده است (کاوا و همکاران، ۲۰۲۰). چن و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی کارایی الگوهای بارشی نمایش داده شده با چهار محصول بازتحلیل، ERA5، ERA-Interim،

## ۲ داده و روش کار

### ۱-۲ محدوده مورد مطالعه

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در محدوده بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی واقع شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، این منطقه در شمال با دریای کاسپین و در جنوب با خلیج فارس و دریای عمان هم‌مرز است. توپوگرافی در این منطقه، از ارتفاعات حدود چند متر کمتر از سطح متوسط آب دریا در سواحل دریای کاسپین تا بیش از ۵۶۰۰ متر بالاتر از سطح متوسط دریا در رشته‌کوه البرز متغیر است. رشته‌کوه البرز در شمال و رشته‌کوه زاگرس در غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارند و مانع رسیدن رطوبت به بخش مرکزی می‌شوند (واقفی و همکاران، ۲۰۱۹). بیشتر بخش مرکزی ایران شامل دشت کویر و دشت لوت است که اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک دارند. با توجه به تنوع اقلیمی و تغییرات ارتفاعی در ایران، لازم است ارزیابی جامعی از داده‌های بازتحلیل ERA5-Land در سراسر منطقه صورت گیرد.

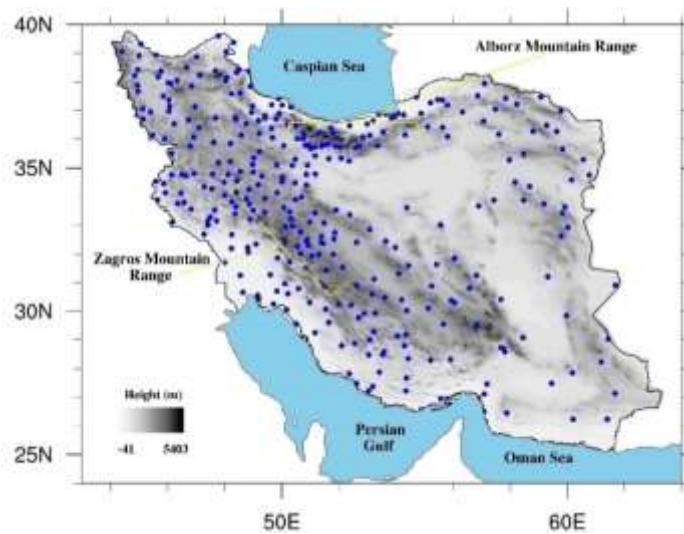
### ۲-۲ داده‌ها

به منظور بررسی میزان پتانسیل داده‌های دما، فشار، سرعت باد و دمای نقطه شبنم به دست آمده از محصولات بازتحلیل ERA5-Land، از مشاهدات ۴۰۶ ایستگاه هواشناسی توزیع شده در سراسر منطقه مورد مطالعه به عنوان اندازه‌گیری‌های محلی مرجع استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، ایستگاه‌های مورد مطالعه در سراسر منطقه به جز نواحی مرکزی پخش شده‌اند. اندازه‌گیری‌های دمای ۲ متری، سرعت باد ۱۰ متری، فشار سطحی و دمای نقطه شبنم با تفکیک زمانی سه‌ساعته از سازمان هواشناسی ایران از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ گردآوری شده‌اند؛ بنابراین مقایسه آماری بین محصولات

محصولات بازتحلیل نسبت به سایر منابع داده هواشناسی صورت گرفته است که هرکدام محدودیتی دارند و ارزیابی جامعی از داده‌های بازتحلیل در سراسر منطقه ندارند. به عبارت دیگر، بیشتر این تحقیقات به ارزیابی یکی از متغیرهای هواشناسی مانند بارش مرتبط می‌شوند که در محدوده مکانی خاصی از کشور انجام شده‌اند یا از تعداد ایستگاه‌های زمینی محدودی در مقایسه آماری استفاده کرده‌اند (فلاح و همکاران، ۲۰۲۰ و عزیزی مبصر و همکاران، ۲۰۲۱).

مطالعات در سال‌های اخیر بیانگر این مطلب هستند که ERA5 نسبت به نمونه‌های دیگر بازتحلیل عملکرد بهتری داشته است (یوراکا و همکاران، ۲۰۱۸ و تارک و همکاران، ۲۰۲۰). از آنجاکه ERA5-Land نسبت به ERA5 تفکیک مکانی بهتری دارد و تا به امروز در منطقه مورد مطالعه ارزیابی طولانی مدت انجام نشده است، هدف اصلی این پژوهش، بررسی بلندمدت میزان دقت و کارایی پارامترهای هواشناسی سطحی بازتحلیل ERA5-Land در ایران است. به همین منظور، در این پژوهش با استفاده از مشاهدات ۴۰۶ ایستگاه همدیدی توزیع شده در سراسر کشور برای بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹، پارامترهای دما، باد، فشار و دمای نقطه شبنم از محصولات ERA5-Land ارزیابی و جهت مقایسه آماری، درباره پارامترهای خطای میانگین (ME)، MAE، RMSE و ضریب همبستگی (R) به صورت زیر-روزانه، فصلی و سالیانه در کشور بحث خواهد شد.

در ادامه، در بخش ۲، منطقه مورد مطالعه معرفی و داده‌ها و آماره‌های استفاده شده و نحوه تحلیل مکانی و زمانی توضیح داده می‌شود. در بخش ۳، درباره تمامی نتایج آماری و کیفیت آماری متغیرهای سطحی بازتحلیل ERA5-Land به صورت جداگانه بحث خواهد شد. بخش ۴ نیز به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.



شکل ۱. توزیع ایستگاه‌های همدیدی (نقاط آبی‌رنگ) استفاده‌شده در این مطالعه به همراه نقشه تغییرات ارتفاعی ایران.

## ۲-۳ روش پژوهش

در ابتدا مشاهدات زیر-روزانه سطحی هواشناسی ایستگاه‌های همدیدی در منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شد. سپس مجموعه‌ای از سری‌های زمانی بلندمدت از متغیرهای هواشناسی مورد بررسی در این مطالعه به‌عنوان مقادیر مرجع برای ارزیابی آماری داده‌های بازتحلیل ERA5-Land در ایران آماده شد. همچنین محصولات ۹ کیلومتری بازتحلیل ERA5-Land تهیه‌شده از سرویس تغییر اقلیم کوپرنیک ( Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store) در موقعیت ایستگاه‌های همدیدی برای کل بازه مطالعاتی استخراج شدند. به‌منظور درونیابی مکانی مقادیر هواشناسی حاصل از ERA5-Land در نقاط مشخص‌شده در شکل ۱، از روش درونیابی دوخطی (bilinear) استفاده شده است. گفتنی است که ERA5-Land، محصولات میانگین ماهانه نیز دارد، اما در این پژوهش از محصولات با تفکیک زمانی یک‌ساعته استفاده شد. پس از آماده شدن سری‌های زمانی زیر-روزانه ERA5-Land و مشاهدات واقعی متناظر با هرکدام از متغیرهای هواشناسی مورد مطالعه از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹،

ERA5-Land و مشاهدات زمینی برای پارامترهای دما، فشار، سرعت باد و دمای نقطه شبنم به‌صورت زیر-روزانه و با تفکیک سه‌ساعته صورت می‌گیرد.

ERA5-Land تنها با یک شبیه‌سازی و بدون در نظر گرفتن مازول جوئی سامانه یکپارچه پیش‌بینی ECMWF تولید می‌شود. مهم‌ترین برتری ERA5-Land نسبت به ERA5، تفکیک مکانی بهتر آن است که در حد ۹ کیلومتر است. تفکیک زمانی ERA5-Land همانند ERA5، یک‌ساعته است، ولی متغیرها برای اقیانوس‌ها کنار گذاشته شده‌اند. مانوز-سباتر و همکاران (۲۰۲۱) ویژگی‌ها و جنبه‌های مختلف داده‌های بازتحلیل ERA5-Land را تشریح کرده‌اند. در این تحقیق، ۲۱ سال از داده‌های دمای ۲ متری، سرعت باد ۱۰ متری، فشار سطحی و دمای نقطه شبنم حاصل از داده بازتحلیل ERA5-Land در محدوده مورد مطالعه از سایت

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=form> در قالب grib دانلود شده است.

### ۳-۱- دمای ۲ متری

جهت بررسی کارایی داده‌های دمای ۲ متری ERA5-Land در مقایسه با مشاهدات محلی، سری زمانی آماره‌های ME، MAE، RMSE و R محاسبه و در شکل ۲ نشان داده شده است. برای نمایش میزان صحت و دقت داده‌های بازتحلیل در مقیاس زیر-روزانه، آماره‌های مورد نظر برای بازه‌های سه‌ساعته مشاهداتی به‌طور جداگانه (با رنگ‌های مختلف) ترسیم شده‌اند. بر اساس نتایج، در سراسر بازه زمانی مطالعاتی بین داده‌های دمای ۲ متری ERA5-Land و مشاهدات واقعی به‌طور میانگین همخوانی خوبی با ضریب همبستگی بین ۰/۹۴ تا ۰/۹۸ به‌دست آمد. میانگین RMSE داده‌های ERA5-Land در ایران از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ بین ۲/۲ تا ۳/۵ درجه سلسیوس برآورد شد. نمودارهای زیر-روزانه بر اساس زمان UTC تهیه شده‌اند. با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران، گزارش‌های دیده‌بانی ۱۸، ۲۱، ۰۰ و ۰۳ متناظر با زمان مشاهدات شبانه است. با توجه به شکل ۲-ج می‌توان دریافت که دقت محاسبه‌شده داده‌های شبانه دمای ۲ متری ERA5-Land در منطقه مورد مطالعه نسبت به روز کمتر است. همچنین مقادیر اریبی داده‌های سه‌ساعته دمای ۲ متری ERA5-Land در منطقه در بازه ۰ تا ۱/۵- درجه سانتیگراد تغییر می‌کند (شکل ۲-الف).

علاوه بر بررسی زمانی کیفیت داده‌های دمای ۲ متری ERA5-Land، لازم است کیفیت این محصول در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه بررسی شود. به همین منظور، در شکل‌های ۳-الف تا ۳-د، میانگین ۲۱ ساله مقادیر ME، MAE، RMSE و R حاصل از مشاهدات سه‌ساعته در ۴۰۶ ایستگاه توزیع‌شده در سراسر منطقه نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، دقت و صحت دمای ۲ متری ERA5-Land در نقاط مختلف متغیر است.

آماره‌های مورد نیاز جهت ارزیابی داده‌های ERA5-Land محاسبه شدند. برای بررسی میزان صحت و دقت ERA5-Land، مقادیر ME، RMSE، MAE و R با مقایسه ۲۱ سال از داده‌های ۴۰۶ ایستگاه همدیدی در ایران و با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شدند.

$$ME(y) = \frac{1}{N_y} \sum_{i=1}^{N_y} (y_i^{ERA5-Land} - y_i^{obs}) \quad (1)$$

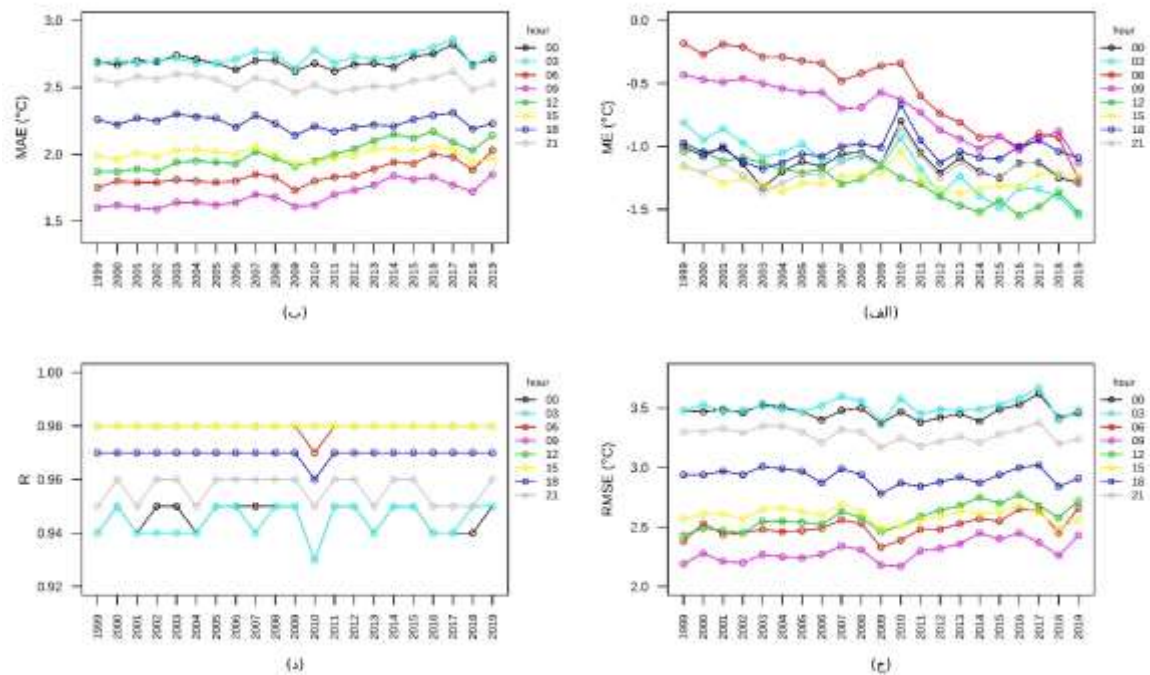
$$RMSE(y) = \sqrt{\frac{1}{N_y} \sum_{i=1}^{N_y} (y_i^{ERA5-Land} - y_i^{obs})^2} \quad (2)$$

$$MAE(y) = \frac{1}{N_y} \sum_{i=1}^{N_y} |y_i^{ERA5-Land} - y_i^{obs}| \quad (3)$$

$$R(y) = \frac{\sum_{i=1}^{N_y} (y_i^{ERA5-Land} - y_m^{ERA5-Land}) \sum_{i=1}^{N_y} (y_i^{obs} - y_m^{obs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_y} (y_i^{ERA5-Land} - y_m^{ERA5-Land})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_y} (y_i^{obs} - y_m^{obs})^2}} \quad (4)$$

که  $N_y$  تعداد کل داده‌های زیر-روزانه موجود در سری زمانی متغیر  $y$  متعلق به هر ایستگاه است. همچنین  $y_i^{obs}$  و  $y_i^{ERA5-Land}$  مقادیر  $i$ ام سری زمانی متغیر  $y$  هستند که به ترتیب از محصولات ERA5-Land و اندازه‌گیری‌های زمینی استخراج شده‌اند. در رابطه (۴)، میانگین مقادیر سری زمانی متغیر هواشناسی  $y$  در ایستگاه مورد نظر متناظر با ERA5-Land و اندازه‌گیری‌های زمینی به ترتیب با  $y_m^{ERA5-Land}$  و  $y_m^{obs}$  مشخص شده است. آماره‌های موجود در روابط (۱) تا (۴) برای متغیرهای هواشناسی ذکرشده در بخش ۲-۲ هم به‌صورت زمانی و هم به‌صورت مکانی در منطقه بررسی خواهند شد. برای بررسی توزیع مکانی کمیت‌های آماری بررسی‌شده (شکل‌های ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱) از میانگین داده‌های سه‌ساعته برای دوره آماری مورد بررسی استفاده شده است.

### ۳ بحث و نتایج

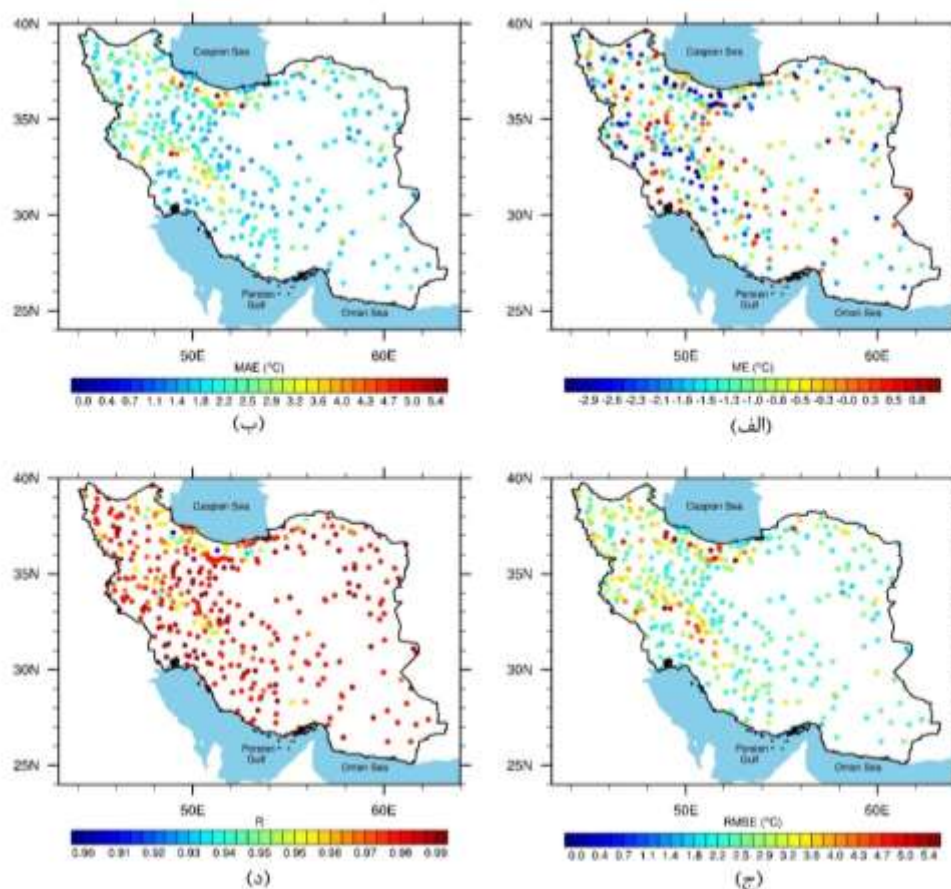


شکل ۲. مقادیر (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی دمای ۲ متری سه‌ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

محصولات ERA5 مقایسه کردند. نتایج مقایسه نشان داد میانگین اریبی و RMSE مربوط به استفاده از ERA5 به ترتیب حدود ۳- و ۳/۸ درجه سانتیگراد است. باید توجه داشت که میانگین ارتفاع ایستگاه‌ها، تفکیک زمانی داده‌های استفاده‌شده و محصولات بازتحلیل آن مطالعه نسبت به تحقیق حاضر متفاوت است؛ با این حال میانگین مقادیر RMSE دمای ۲ متری ERA5-Land در ایران نزدیک به مقادیر متناظر به‌دست‌آمده برای ERA5 در کوه‌های گیلان است. بیشترین میزان اریبی و RMSE داده‌های دمای ERA5-Land در این مطالعه از مقادیر گزارش‌شده از ERA5 در کوه‌های گیلان کمتر است. این نتیجه ممکن است ناشی از عملکرد بهتر محصولات دمای ۲ متری ERA5-Land نسبت به ERA5 باشد (مانوز-سباتر و همکاران، ۲۰۱۷).

به‌طور میانگین، مقادیر اریبی در کل ایستگاه‌ها از ۳- تا ۱- درجه سانتیگراد تغییر می‌کند. با مقایسه شکل ۱ و شکل ۳-الف می‌توان دریافت اریبی منفی در مناطق با توپوگرافی بیشتر، بزرگ‌تر است. از طرف دیگر، با توجه به توزیع مکانی مقادیر RMSE در منطقه، دقت داده‌های دمای ERA5-Land در مناطق کوهستانی (رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس) کمتر است. بیشترین خطای داده‌های ERA5-Land در مقایسه با مشاهدات زمینی منطقه مورد مطالعه حدود ۵/۵ است؛ با این حال در بیشتر مناطق، مقادیر خطا زیر ۳C برآورد شده است. بررسی مکانی مقادیر R بین داده‌های محلی دما و مقادیر متناظر ERA5-Land نشان می‌دهد که همخوانی خوبی بین این دو مجموعه داده وجود دارد.

هوای و همکاران (۲۰۲۱)، ۳۹ سال از مشاهدات دمای ۲ متری ۱۹ ایستگاه واقع در کوه‌های گیلان را با



شکل ۳. توزیع مکانی (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی دمای ۲ متری سه ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه گیری های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

مشاهدات محلی برای کل ایستگاه های منطقه در هر سال محاسبه شده است. سپس ME، MAE، RMSE و R برای مقادیر اختلاف فشار برای هر سال محاسبه و به صورت سری زمانی در شکل ۴ ترسیم شده است. با توجه به سری های زمانی اریبی در شکل ۴-الف، مقادیر منفی کمیت میانگین خطا برای ERA5-Land به وضوح فشار سطحی را نسبت به مشاهدات واقعی کمتر برآورد می کند. مقادیر میانگین سالیانه اریبی محاسبه شده در ایران بین ۱۱/۵- تا ۱۴- هکتوپاسکال تغییر می کند. بر اساس شکل ۴-ج، میانگین RMSE فشار ERA5-Land در منطقه مورد مطالعه بین ۱۶/۵ تا ۱۹ هکتوپاسکال متغیر است. به طور کلی، سری های زمانی سه ساعته فشار ERA5-Land

با بررسی ارتباط بین اختلاف ارتفاع ایستگاه ها و ارتفاع نقاط شبکه مناظر در محصولات بازتحلیل، هوای و همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که هرچه اختلاف ارتفاع بیشتر باشد، میزان برآورد کمتر موجود در دمای ERA5 نسبت به مقادیر مشاهداتی بیشتر خواهد شد. در مطالعه حاضر، میزان همبستگی بین مقادیر اریبی دمای ERA5-Land با اختلاف ارتفاع ( $h_{ERA5-Land} - h_{station}$ ) در منطقه مورد مطالعه ۰/۷- به دست آمد (بخش ۳-۶) که تأیید کننده نتایج مربوط به منطقه گیلیان است.

### ۲-۳ فشار سطح زمین

اختلاف بین داده های فشار سه ساعته ERA5-Land و

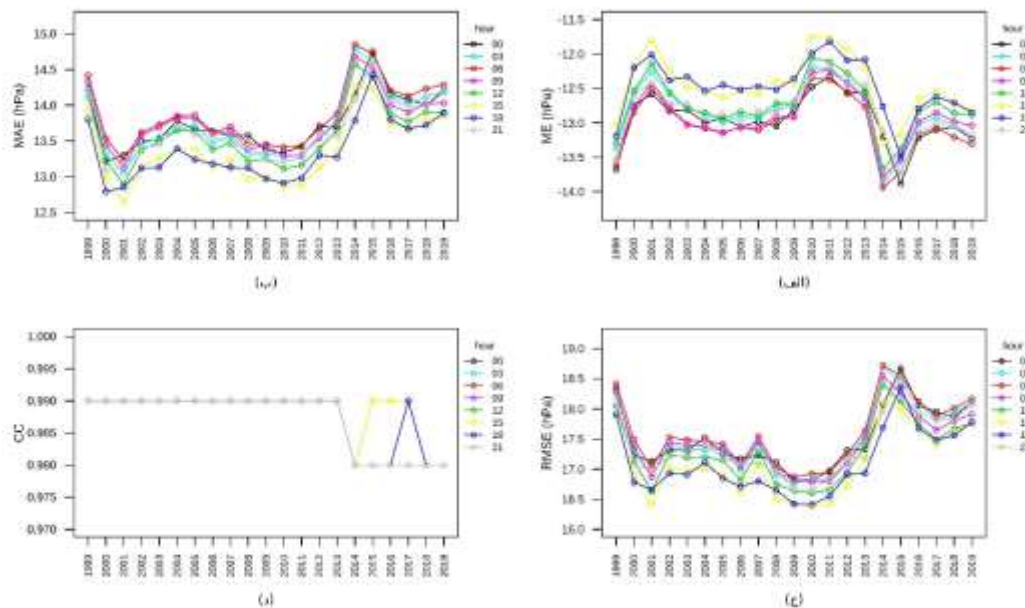


### ۳-۳ سرعت باد ۱۰ متری

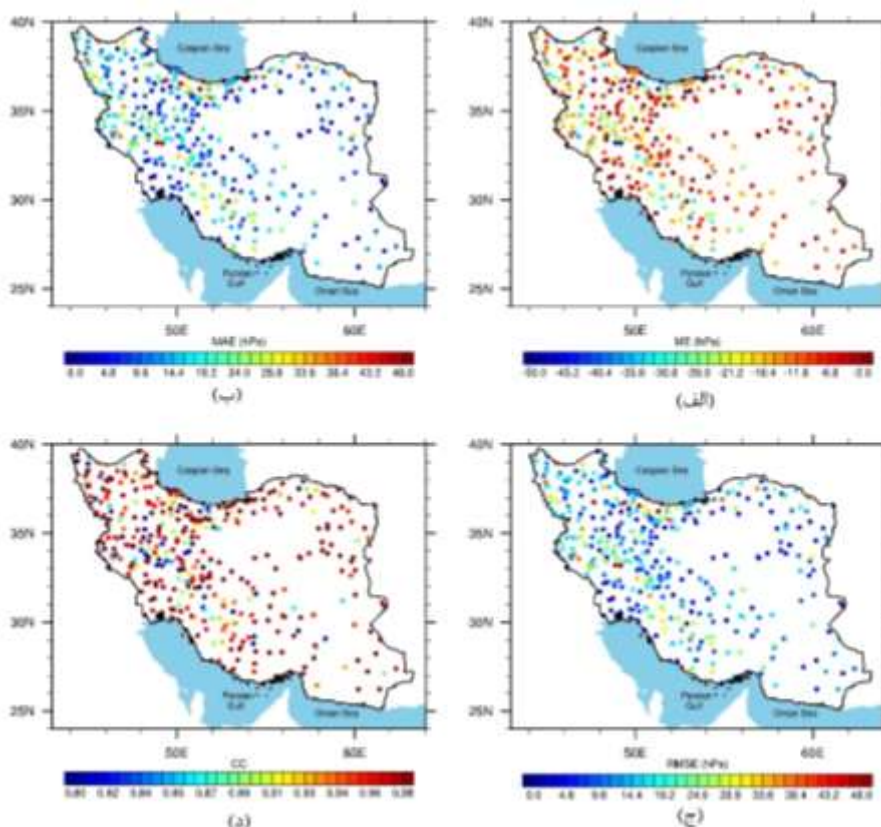
شکل ۶ کارایی محصولات سه‌ساعته سرعت باد ۱۰ متری ERA5-Land را برحسب MAE، ME، RMSE و R به صورت بلندمدت در ایران نمایش می‌دهد. با توجه به سری‌های زمانی اریبی در بازه‌های زیر-روزانه (شکل ۶-الف)، می‌توان دریافت که میانگین سرعت باد ۱۰ متری ERA5-Land تقریباً در طول شب، اریبی مثبت حداکثر تا ۰/۵ متر بر ثانیه دارد. در طول روز، ERA5-Land نسبت به مشاهدات زمینی، سرعت باد ۱۰ متری را کمتر برآورد می‌کند و بیشترین اریبی ۱/۵- متر بر ثانیه است. بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۶-ج، RMSE داده‌های سرعت باد ERA5-Land بین ۲ تا ۳ متر بر ثانیه به دست‌آمد که بیشترین مقدار مربوط به داده‌های روز هنگام است و کمترین مقادیر مربوط به داده‌های شبانه است. با توجه به شکل ۶-د، به طور میانگین همبستگی داده‌های سرعت باد ۱۰ متری ERA5-Land با مشاهدات واقعی در طول شب کمتر از روز است. ضریب همبستگی داده‌های سرعت باد ERA5-Land در بازه ۰/۳۵ تا ۰/۵۵ متغیر است.

و مشاهدات محلی در بازه زمانی ۲۱ سال همخوانی بیشتر از ۹۸ درصد داشته‌اند (شکل ۴-د).

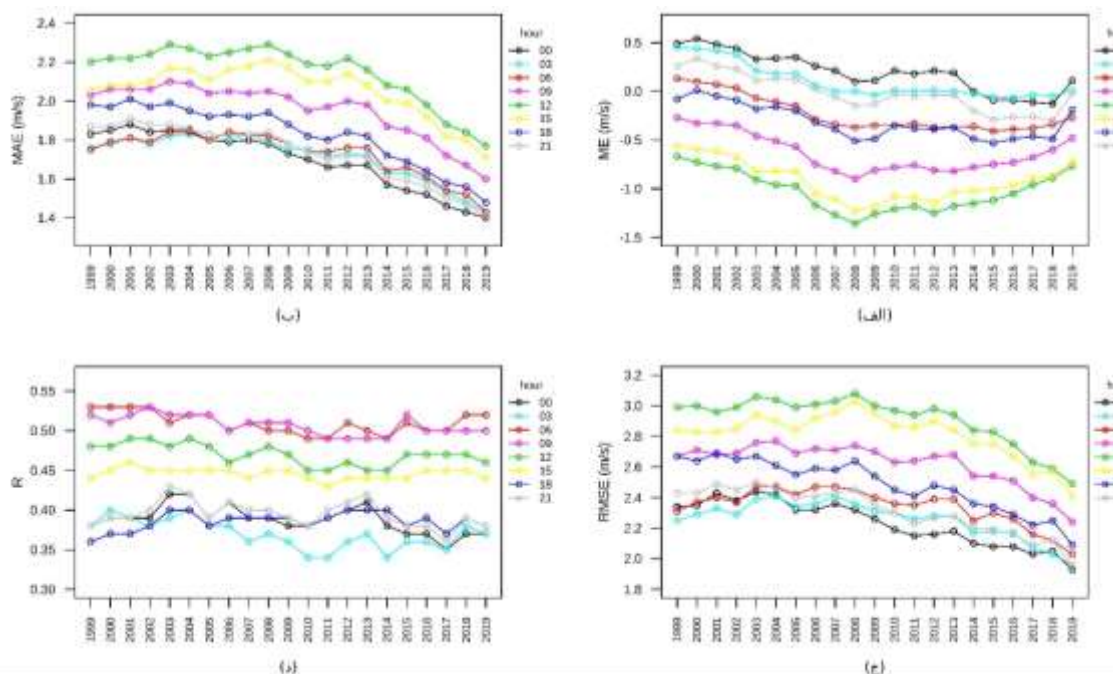
شکل ۵ توزیع مکانی میانگین ۲۱ ساله مقادیر آماری ارائه‌شده در شکل ۴ را در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵-الف، در تمام ایستگاه‌ها، میانگین اریبی منفی است. همچنین قدر مطلق اندازه اریبی در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر از ۲۶ هکتوپاسکال برآورد شده است (شکل ۵-الف). با بررسی مقادیر اختلاف ارتفاع ( $h_{ERA5-Land} - h_{station}$ ) و مقادیر اریبی در تمامی ایستگاه‌ها، همبستگی منفی قوی در حد ۰/۸۲- (بخش ۳-۶) به دست آمده است. به طور مشابه، هوای و همکاران (۲۰۲۱) نیز در ارزیابی مقادیر فشار ERA5 در منطقه گیلان ارتباط معناداری بین اختلاف ارتفاع شبکه محصولات بازتحلیل و ارتفاع ایستگاه زمینی گزارش کردند. مقادیر محاسبه‌شده برای اریبی و RMSE فشار ERA5-Land در ایران کمتر از مقادیر متناظر به دست‌آمده برای مدل ERA5 در گیلان است.



شکل ۴. مقادیر (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی فشار سطح زمین سه‌ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.



شکل ۵. توزیع مکانی (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی فشار سطح زمین سه ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

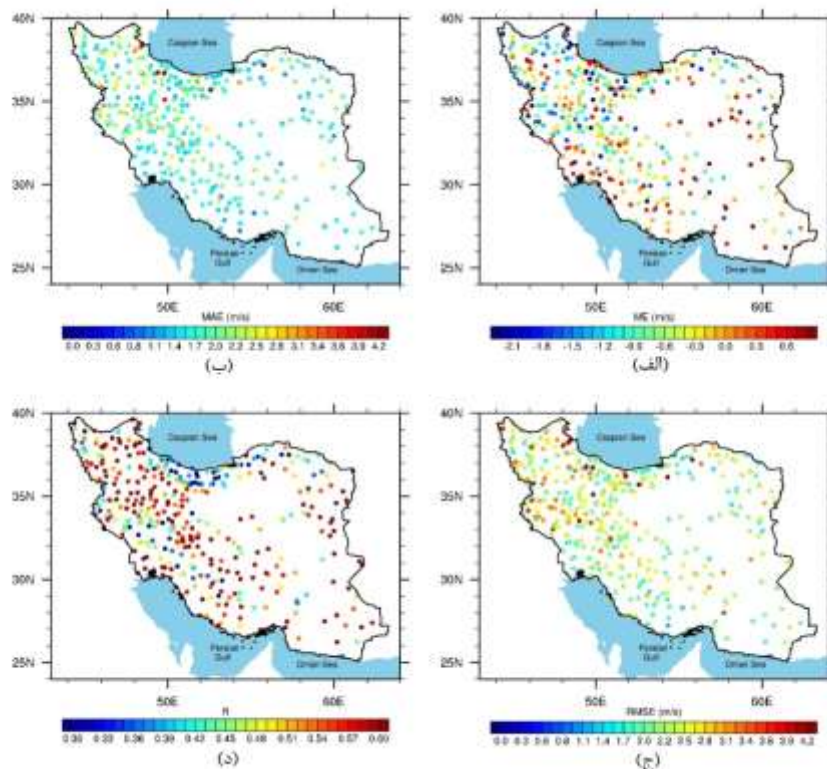


شکل ۶. مقادیر (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی سرعت باد ۱۰ متری سه ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

### ۳-۴ دمای نقطه شبینم

کارایی داده‌های دمای نقطه شبینم ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های ۴۰۶ ایستگاه در منطقه مورد مطالعه به صورت سالانه در شکل ۸ نشان داده شده است. با بررسی سری‌های زمانی اریبی در شکل ۸-الف، می‌توان دریافت که ERA5-Land این پارامتر را نسبت به مشاهدات واقعی کمتر برآورد کرده است و مقدار برآورد کمتر برای داده‌های شب، کمتر از داده‌های روز است. همچنین با توجه به روند تغییرات سری‌های زمانی آماره‌ها در شکل ۸، کیفیت داده‌های دمای نقطه شبینم ERA5-Land از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ ارتقا یافته است. به عبارت دیگر، در سال‌های اخیر اندازه اریبی و RMSE کاهش یافته است.

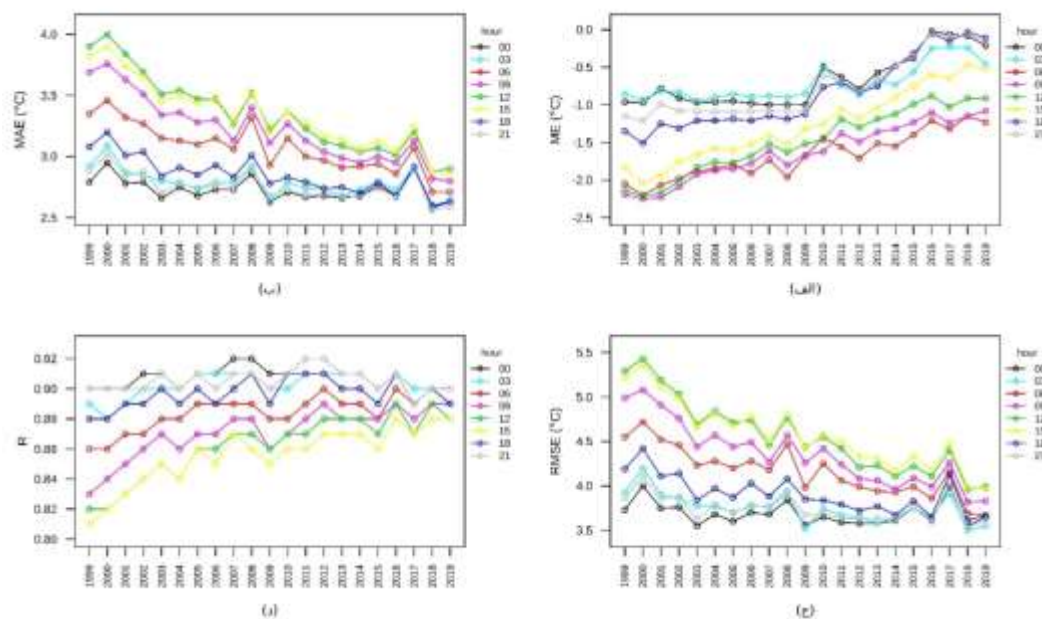
توزیع مکانی آماره‌های خطای مربوط به داده‌های سرعت باد ۱۰ متری ERA5-Land در شکل ۷ آورده شده است. با توجه به توزیع مکانی مقادیر اریبی داده‌های سرعت باد، علامت مقادیر اریبی در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه متغیر است. با مقایسه شکل‌های ۱ و ۷-ج می‌توان دریافت که بیشترین مقادیر RMSE مرتبط با داده‌های سرعت باد در ایستگاه‌های با ارتفاع بیشتر است. بر اساس پراکندگی مقادیر R در شکل ۷-د، به طور میانگین، رفتار داده‌های سرعت باد ERA5-Land در شمال و غرب منطقه، همبستگی کمتری با اندازه‌گیری‌های محلی دارد.



شکل ۷. توزیع مکانی (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی سرعت باد ۱۰ متری سه‌ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

د، همبستگی دمای نقطه شبنم ERA5-Land و مقادیر مشاهداتی در محدوده ۰/۷ تا ۰/۹۷ متغیر است. بیشترین همبستگی در عرض‌های بالا و کمترین آن متعلق به ایستگاه‌های غربی و جنوب غربی است.

در شکل ۹، دقت و صحت داده‌های دمای نقطه شبنم ERA5-Land به‌طور مکانی بررسی شده است. با توجه به شکل‌های ۹-الف و ۹-ج، بیشترین مقادیر اریبی منفی و بیشترین مقادیر RMSE در ایستگاه‌های واقع در مناطق غربی و جنوب غربی به‌دست آمده است. بر اساس شکل ۹-

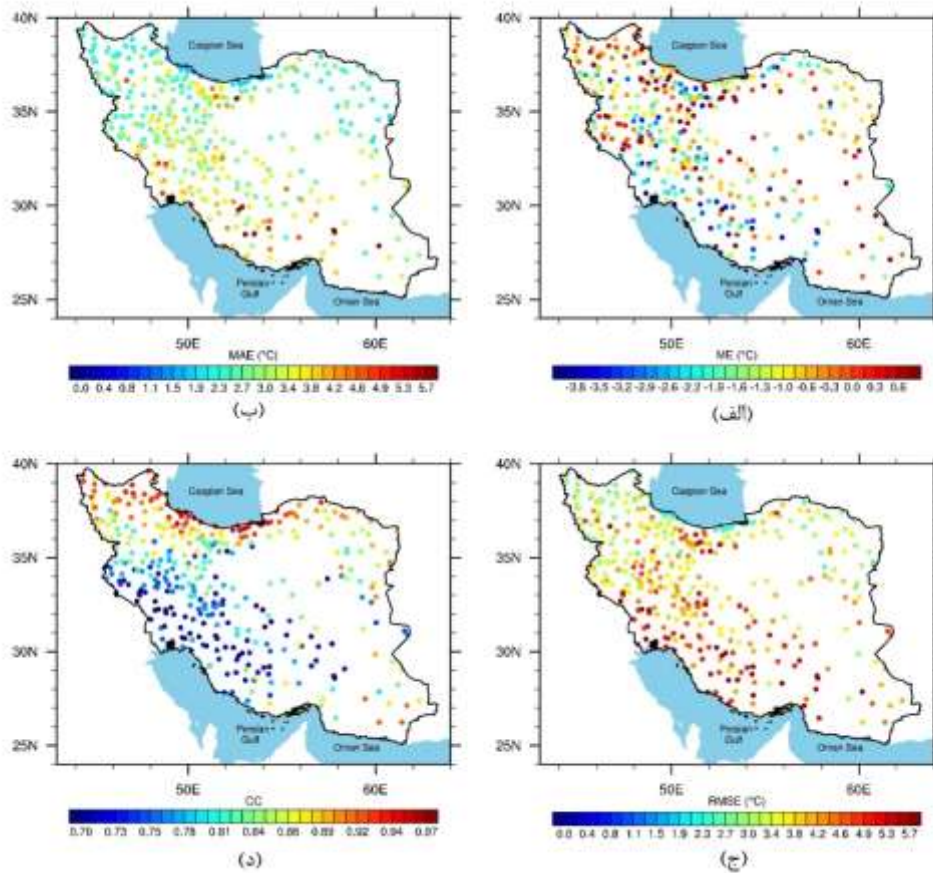


شکل ۸. مقادیر (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی دمای نقطه شبنم سه‌ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

همچنین بر اساس مقادیر میانگین فصلی MAE و RMSE، دقت داده‌های دمای ۲ متری ERA5-Land در فصل‌های سرد سال نسبت به سایر فصل‌ها کمتر است. مقادیر میانگین فصلی ضریب همبستگی بین مقادیر زیر-روزانه دمای ERA5-Land و مشاهدات همدیدی نشان می‌دهد تقریباً در تمام فصل‌های سال، همخوانی این دو مجموعه داده در روز حداکثر تا ۱۰ درصد بهتر از شب بوده است. بررسی مقادیر میانگین ماهانه R بین مشاهدات فشار و مقادیر متناظر حاصل از ERA5-Land در شکل ۱۰ نشان می‌دهد در تمامی فصل‌های سال همخوانی خوبی بین این دو مجموعه داده وجود داشته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد کیفیت داده‌های فشار سطحی بازتحلیل ERA5-

### ۳-۵ ارزیابی فصلی

در این بخش، کیفیت آماری داده‌های دمای ۲ متری، باد ۱۰ متری، دمای نقطه شبنم و فشار استخراج‌شده از محصولات با تفکیک زیر-روزانه ERA5-Land در ایران به‌صورت میانگین برای فصل‌های مختلف سال بررسی می‌شود. برای این منظور، میانگین مکانی آماره‌های ME، MAE، RMSE و R برای تمام متغیرهای مورد مطالعه به‌صورت سری‌های زمانی فصلی در شکل ۱۰ آورده شده است. در کل کشور، به‌طور میانگین، میزان اریبی منفی دمای ۲ متری ERA5-Land نسبت به مشاهدات واقعی در فصل زمستان کمی بیشتر است که برای داده‌های مربوط به شب در حد ۲- درجه سانتیگراد برآورد شده است.



شکل ۹. توزیع مکانی (الف) میانگین خطا (ME) (ب) میانگین قدر مطلق (MAE) (ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (د) ضریب همبستگی دمای نقطه شب نیم سه‌ساعته ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

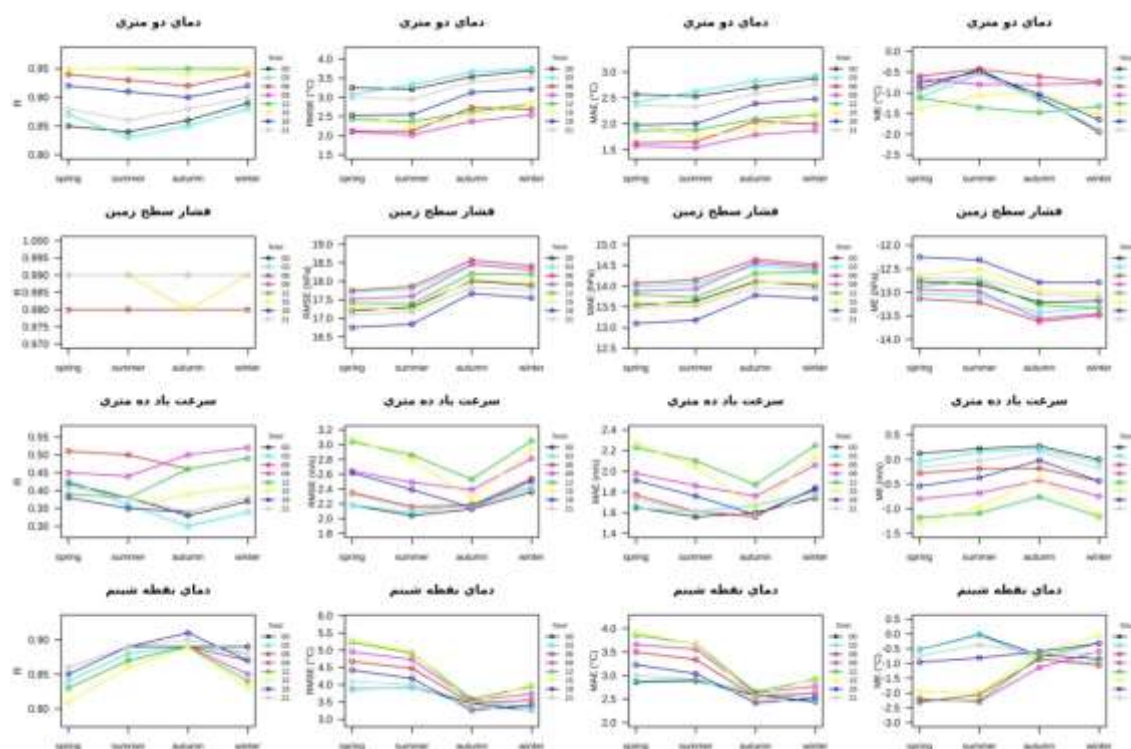
فصل‌ها، RMSE داده‌های دمای نقطه شب نیم ERA5-Land در شب کمتر از روز است. علاوه بر این، سری زمانی میانگین فصلی R، مؤید این مطلب است که کمترین همبستگی بین این دو مجموعه داده مربوط به فصل بهار با ضریب همبستگی حدود ۰/۸ است.

### ۳-۶ اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها و مدل ERA5-Land

اختلاف ارتفاع بین نقاط شبکه در محصولات بازتحلیل و ارتفاع واقعی زمین در ایستگاه‌های مشاهداتی می‌تواند به خطای نظام‌مند در محصولات بازتحلیل منجر شود (گااو و همکاران، ۲۰۱۶ و هوآی و همکاران، ۲۰۲۱). در این

Land در منطقه مورد مطالعه به‌طور میانگین حدود ۱ هکتوپاسکال در فصل‌های سرد نسبت به فصل‌های گرم کاهش می‌یابد.

مقایسه آماری داده‌های باد ۱۰ متری ERA5-Land با مقادیر اندازه‌گیری‌شده بیانگر این مطلب است که به‌طور میانگین، تقریباً در تمامی فصل‌ها میزان اریبی و RMSE داده‌های شبانه ERA5-Land نسبت به مقادیر روزانه کمتر است. با توجه به مقادیر میانگین فصلی RMSE و MAE مربوط به دمای نقطه شب نیم در شکل ۱۰ می‌توان دریافت که به‌طور میانگین، دقت این محصولات در فصل‌های گرم سال کمتر از فصل‌های سرد سال است. تقریباً در تمام



شکل ۱۰. مقادیر میانگین فصلی آماره‌های خطا برای محصولات دمای ۲ متری، فشار سطحی، باد ۱۰ متری و دمای نقطه شبنم بازتحلیل ERA5-Land در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سطحی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در ایران.

۱ می‌توان دریافت که اختلاف ارتفاع بین نقاط شبکه بازتحلیل و ایستگاه‌های مشاهداتی تا چه حد می‌تواند بر دقت و صحت محصولات ERA5-Land اثرگذار باشد. با توجه به محور افقی نمودارهای شکل ۱۱ می‌توان دریافت که در بیشتر نقاط مورد مطالعه، ارتفاع نقاط شبکه در ERA5-Land بیشتر از ارتفاع ایستگاه مشاهداتی است. بیشترین اختلاف ارتفاع بین نقاط گزیدی و ارتفاع واقعی زمین در ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه، ۷۲۶ متر در ایستگاه سیاه‌پیشه واقع در استان مازندران به‌دست آمد. بر اساس برازش‌های خطی در شکل ۱۱ و ضرایب ارائه‌شده در جدول ۱ می‌توان به‌خوبی دریافت که همبستگی قوی بین صحت و دقت برآوردشده برای پارامترهای فشار و دمای ۲ متری ERA5-Land و اختلاف ارتفاع بین نقاط گزیدی و ایستگاه مشاهداتی وجود دارد. افزایش میزان

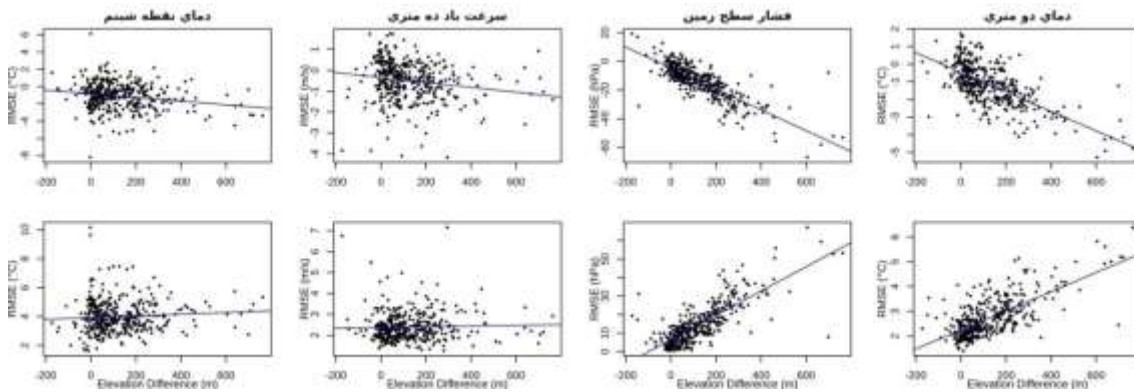
بخش میزان تأثیر اختلاف ارتفاع بین شبکه ERA5-Land و ایستگاه‌های مشاهداتی بر کیفیت برآوردشده محصولات بازتحلیل در منطقه مطالعه می‌شود. برای این منظور، ارتباط بین اختلاف ارتفاع  $(h_{ERA5-Land} - h_{station})$  و مقادیر میانگین ۲۱ ساله ME و RMSE ایستگاه‌ها برای متغیرهای دمای ۲ متری، دمای نقطه شبنم، سرعت باد ۱۰ متری و فشار سطحی در شکل ۱۱ آورده شده است. با استفاده از روش کمترین مربعات، رابطه خطی (۵) بین مقادیر اختلاف ارتفاع و آماره‌های RMSE و ME تمام متغیرها در شکل ۱۱ برازش داده شد:

$$S = a * (h_{ERA5-Land} - h_{station}) + b \quad (5)$$

S بیانگر RMSE یا ME برآوردشده برای محصولات ERA5-Land در این مطالعه است. نتایج برازش در جدول ۱ ارائه شده است. با بررسی نمودارهای شکل ۱۱ و جدول

نشان می‌دهد که اختلاف ارتفاع بین ایستگاه‌های مشاهداتی و نقاط شبکه ERA5-Land تأثیر معناداری بر RMSE و آریبی محصولات دمای نقطه شبنم و سرعت باد نداشته است.

این اختلاف ارتفاع موجب افزایش میزان فروتخمین داده‌های فشار و دمای ۲ متری ERA5-land می‌شود. همبستگی بین RMSE برآوردشده داده‌های فشار و دمای ۲ متری ERA5-land و مقادیر اختلاف ارتفاع به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۶۶ است. همچنین نتایج ارائه‌شده در جدول ۱



شکل ۱۱. رابطه بین مقادیر ME و RMSE محصولات سطحی ERA5-Land و اختلاف  $h_{ERA5-Land} - h_{station}$  مقادیر آماره‌ها برای هر کمیت، بر اساس ۲۱ سال از مشاهدات سه ساعته در هر ایستگاه محاسبه شده است.

جدول ۱. ضرایب رگرسیون بین اختلاف ارتفاع ایستگاه-ERA5-Land و آماره‌های خطا

پارامترهای رگرسیون	دمای ۲ متری	فشار سطح زمین	سرعت باد ۱۰ متری	دمای نقطه شبنم
a	-۰/۰۰۵	-۰/۹۷۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲
b	-۰/۴۶۱	-۴/۶۸۹	-۰/۳۳۷	-۰/۸۶۹
R	-۰/۶۳۰	-۰/۸۱	-۰/۱۷۸	-۰/۱۵۱
p-value	.	.	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۱
a	۰/۰۰۰۴	۰/۰۶۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵
b	۲/۲۶۶	۶/۴۶۹	۲/۳۶۶	۳/۹۲۳
R	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۰۳۷	۰/۰۶۱
p-value	.	.	۰/۴۶۵	۰/۲۳۷

#### ۴ نتیجه‌گیری

تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در مقایسه با وسعت و تنوع شرایط آب‌وهوایی و تغییرات ارتفاعی کشور ایران محدود است. از طرف دیگر، داده‌های بازتحلیل با محصولاتی با تفکیک مکانی و زمانی زیاد، همواره نقش تکمیل‌کننده را در مناطق بدون اندازه‌گیری زمینی داشته‌اند. در این

مطالعه، پتانسیل محصولات نزدیک به سطح ERA5-Land به صورت زمانی و مکانی و بر اساس آماره‌هایی نظیر ME، MAE، RMSE و R در کشور ایران ارزیابی شد و پارامترهای زیر-روزانه دمای ۲ متری، فشار، سرعت باد ۱۰ متری و دمای نقطه شبنم از محصولات ERA5-Land در مکان ۴۰۶ ایستگاه همیدی استخراج شدند. سپس

به داده‌های شبانه همبستگی بیشتری با مشاهدات واقعی داشتند. همچنین بیشترین مقادیر RMSE داده‌های سرعت باد در ایستگاه‌های واقع در شمال و غرب منطقه به دست آمده است که حداکثر تا ۴/۵ متر بر ثانیه می‌رسد.

• همانند داده‌های دمای ۲ متری، اریبی میانگین دمای نقطه شبنم نیز به‌طور کلی در سراسر بازه زمانی مطالعاتی منفی است؛ با این حال، برخلاف داده‌های دمای ۲ متری، کیفیت دمای نقطه شبنم ERA5-Land بر حسب پارامترهای ME و RMSE در شب نسبت به روز بهتر بوده است.

آماره‌های مختلف محاسبه شده برای متغیرهای مورد مطالعه به صورت فصلی نیز بررسی شدند. تحلیل فصلی محصولات ERA5-Land نشان داد دقت داده‌های دمای نقطه شبنم در فصل‌های گرم کمتر است. از طرف دیگر، مقادیر RMSE برای داده‌های فشار ERA5-Land از فصل زمستان به سمت ماه‌های گرم کاهش می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان کاهش مقادیر فشار واقعی در ماه‌های گرم نسبت به ماه‌های سرد دانست.

ارزیابی محصولات ERA5-Land در ایران نشان داد برخی از متغیرها خطای نظام‌مند دارند. رابطه بین اختلاف ارتفاع بین نقاط شبکه ERA5-Land و ارتفاع ایستگاه با مقادیر برآورد شده RMSE و ME برای همه متغیرها بررسی شد. نتایج نشان داد رابطه خطی قوی بین مقادیر اریبی منفی و RMSE موجود در دمای ۲ متری و فشار سطحی ERA5-Land و اختلاف ارتفاع وجود دارد؛ بنابراین توصیه می‌شود قبل از استفاده از این داده‌ها با استفاده از روش‌های مناسب تا حد زیادی اریبی موجود در این محصولات حذف شود.

نتایج مطالعاتی نظیر این پژوهش می‌تواند بینش مناسبی به کاربران داده‌های بازتحلیل در حوزه‌های مختلف هواشناسی و اقلیم‌شناسی ارائه دهد تا قبل از استفاده از محصولات ERA5-Land در منطقه ایران، از دقت و

سری‌های زمانی متناظر با مشاهدات واقعی در نقاط مورد نظر از سال ۱۳۹۹ تا ۲۰۱۹ ارزیابی آماری شدند. به‌طور کلی یافته‌های مهم درباره ارزیابی زمانی و مکانی کیفیت داده‌های ERA5-Land در منطقه به صورت زیر است:

• مقادیر دمای ۲ متری ERA5-Land در کل بازه ۲۱ سال، ضریب همبستگی بیش از ۹۴ درصد با مشاهدات همدیدی داشته است. بر اساس مقادیر میانگین سالیانه ME در تمام ایستگاه‌ها، ERA5-Land به‌طور کلی دمای ۲ متری را کمتر از اندازه‌گیری‌های محلی برآورد می‌کند. همچنین سری زمانی مقادیر RMSE نشان داد دقت داده‌های شبانه دمای بازتحلیل نسبت به داده‌های روزانه در منطقه کمتر است. بررسی توزیع مکانی آماره‌های مربوط به دمای ۲ متری نشان داد میزان اریبی منفی و دقت داده‌های ERA5-Land در مناطق کوهستانی (به‌طور خاص در رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس) به ترتیب بیشتر و کمتر است.

• بررسی دقت و صحت محصولات فشار ERA5-Land در منطقه نشان داد که این داده‌ها اریبی منفی معناداری دارند که می‌تواند به‌طور میانگین در هر سال به ۱۴- هکتوپاسکال برسد. داده‌های فشار سطحی ERA5-Land علی‌رغم داشتن اریبی شدید، همبستگی بسیار خوبی را با ضریب همبستگی بزرگ‌تر از ۰/۹۸ از خود نشان داده‌اند. مطالعه مکانی مقادیر میانگین آماره‌های ME، RMSE، MAE و R نشان داد تقریباً کمترین کارایی داده‌های فشار ERA5-Land در امتداد رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس رخ داده است.

• تحلیل‌های آماری در منطقه مورد مطالعه نشان داد سرعت باد ۱۰ متری استخراج شده از ERA5-Land در طول روز و شب به ترتیب اریبی منفی حداکثر تا ۱/۵- متر بر ثانیه و اریبی مثبت حداکثر تا ۰/۵ متر بر ثانیه دارد. داده‌های روزانه سرعت باد ۱۰ متری ERA5-Land، نسبت



صحت آن آگاهی نسبی داشته باشند.

هواشناسی کشور جهت ارائه داده‌های همدیدی و سایت ECMWF برای داده‌های بازتحلیل ERA5-Land اعلام می‌دارند. این مطالعه با استفاده از اعتبار ویژه پژوهشی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل با شماره طرح ۱۱۰۷/م/پ انجام شده است.

## قدردانی

نویسندگان مقاله از داوران محترم برای نظرات و پیشنهادهای ارزشمندشان جهت افزایش کیفیت این تحقیق تشکر می‌کنند. همچنین مراتب قدردانی خود را از سازمان

convective parameters derived from ERA5: Atmospheric Research, **227**, 249-262, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.010>.

Essou, G. R., Sabarly, F., Lucas-Picher, P., Brissette, F., and Poulin, A., 2016, Can precipitation and temperature from meteorological reanalyses be used for hydrological modeling?: Journal of Hydrometeorology, **17**, 1929-1950, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0138.1>.

Fallah, A., Rakhshandehroo, G. R., Berg, P. O. S., and Orth, R., 2020, Evaluation of precipitation datasets against local observations in southwestern Iran: International Journal of Climatology, **40**(9), 4102-4116, <https://doi.org/10.1002/joc.6445>.

Fortin, V., Roy, G., Donaldson, N., and Mahidjiba, A., 2015, Assimilation of radar quantitative precipitation estimations in the Canadian Precipitation Analysis (CaPA): Journal of Hydrology, **531**, 296-307, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.003>.

Gao, L., Bernhardt, M., Schulz, K., Chen, X., Chen, Y., and Liu, M., 2016, A first evaluation of ERA-20CM over China: Monthly Weather Review, **144**(1), 45-57, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0195.1>.

Hersbach, H., and Dee, D., ERA5 reanalysis is in production, ECMWF Newsletter 147, ECMWF, Reading, UK, available at: <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/new/s/era5-reanalysis-production> (last aRes: May 2020), 2016 (data available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>, last aRes: May 2020).

Huai, B., Wang, J., Sun, W., Wang, Y., and Zhang, W., 2021, Evaluation of the near-surface climate of the recent global atmospheric reanalysis for Qilian Mountains, Qinghai-Tibet Plateau: Atmospheric Research, **250**, 105401, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105401>.

## منابع

Arsenault, R., Brissette, F., Martel, J. L., Troin, M., Lévesque, G., Davidson-Chaput, J., and Poulin, A., 2020, A comprehensive, multisource database for hydrometeorological modeling of 14,425 North American watersheds: Scientific Data, **7**(1), 1-12, <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00583-2>.

Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., and Bakhtar, A., 2021, Evaluating the performance of ERA-5 reanalysis data in estimating daily and monthly precipitation, Case study: Ardabil Province: Iranian Journal of Soil and Water Research, **51**(11), 2937-2951, <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2020.302176.668600>.

Baker, J. C., Castilho de Souza, D., Kubota, P. Y., Buermann, W., Coelho, C. A., Andrews, M. B., and Spracklen, D. V., 2021, An assessment of land-atmosphere interactions over South America using satellites, reanalysis, and two global climate models: Journal of Hydrometeorology, **22**(4), 905-922, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0132.1>.

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, <https://doi.org/10.5194/tc-14-2581-2020>.

Chen, Y., Sharma, S., Zhou, X., Yang, K., Li, X., Niu, X., and Khadka, N., 2021, Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya: Atmospheric Research, **250**, 105365, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105365>.

Czernecki, B., Taszarek, M., Marosz, M., Pótrolniczak, M., Kolendowicz, L., Wyszogrodzki, A., and Szturc, J., 2019, Application of machine learning to large hail prediction - The importance of radar reflectivity, lightning occurrence and

1. Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., et al., 2021, ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications: *Earth System Science Data*, **13**(9), 4349-4383, <https://doi.org/10.5194/essd-2021-82>.
- Naumann, G., Dutra, E., Barbosa, P., Pappenberger, F., Wetterhall, F., and Vogt, J. V., 2014, Comparison of drought indicators derived from multiple data sets over Africa: *Hydrology and Earth System Sciences*, **18**(5), 1625–1640, <https://doi.org/10.5194/hess-18-1625-2014>.
- Pelosi, A., Terribile, F., D'Urso, G., and Chirico, G. B., 2020, Comparison of ERA5-Land and UERRA MESCAN-SURFEX reanalysis data with spatially interpolated weather observations for the regional assessment of reference evapotranspiration: *Water*, **12**(6), 1669, <https://doi.org/10.3390/w12061669>.
- Ruffault, J., Moron, V., Trigo, R. M., and Curt, T., 2017, Daily synoptic conditions associated with large fire occurrence in Mediterranean France: evidence for a wind-driven fire regime: *International Journal of Climatology*, **37**(1), 524–533, <https://doi.org/10.1002/joc.4680>.
- Shamshirband, S., Mosavi, A., Nabipour, N., and Chau, K. W., 2020, Application of ERA5 and MENA simulations to predict offshore wind energy potential: arXiv preprint arXiv:2002.10022.
- Sheffield, J., Goteti, G., Wood, E.F., 2006, Development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. *Journal of Climate*, **19**, 3088–3111.
- Singh, V. P., and Woolhiser, D. A., 2002, Mathematical modeling of watershed hydrology: *Journal of Hydrologic Engineering*, **7**, 270–292, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2002\)7:4\(270\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(270)).
- Soci, C., Bazile, E., Besson, F., and Landelius, T., 2016, High-resolution precipitation reanalysis system for climatological purposes: *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, **68**, 1–19, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v68.29879>.
- Sun, G., Hu, Z., Ma, Y., Xie, Z., Yang, S., and Wang, J., 2020, Analysis of local land-atmosphere coupling in rainy season over a typical underlying surface in Tibetan Plateau based on field measurements and ERA5: *Atmospheric Research*, **243**, 105025, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105025>.
- 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, <https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020>.
- Urraca, R., Huld, T., Gracia-Amillo, A., Martinez-de-Pison, F. J., Kaspar, F., and Sanz-Garcia, A., 2018, Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalysis using ground and satellite-based data: *Solar Energy*, **164**, 339–354, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.059>.
- Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., and Abbaspour, K. C., 2019, The future of extreme climate in Iran: *Scientific Reports*, **9**, 1464, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38071-8>.
- Xue, C., Wu, H., and Jiang, X., 2019, Temporal and spatial change monitoring of drought grade based on ERA5 analysis data and BFAST method in the belt and road area during 1989–2017: *Advances in Meteorology*, <https://doi.org/10.1155/2019/4053718>.
- Yang, H., He, C., Wang, Z., and Shao, W., 2019, Reliability Analysis of European ERA5 Water Vapor Content Based on Ground-based GPS in China. In 2019 International Conference on Wireless Communication, Network and Multimedia Engineering (WCNME 2019) (pp. 44-49). Atlantis Press.
- Zhang, Y., Cai, C., Chen, B., and Dai, W., 2019, Consistency evaluation of perceptible water vapor derived from ERA5, ERA-Interim, GNSS, and radiosondes over China: *Radio Science*, **54**(7), 561-571, <https://doi.org/10.1029/2018RS006789>.

## Comparison of ERA5-Land reanalysis data with surface observations over Iran

Ali Sam Khaniani<sup>1\*</sup> and Atefeh Mohammadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor Babol Noshirvani University of Technology, Civil Engineering Department, Babol, Mazandaran, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. in Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

(Received: 05 November 2021, Accepted: 12 January 2022)

### Summary

Reanalysis data have been considered as an important source of atmospheric information in a variety of applications such as climate studies, hydrological modeling and numerical weather prediction. Evaluating the effectiveness of the reanalysis products in each area before use is of great importance. With the advent of advanced reanalysis such as ERA5 and ERA5-Land, the interest of many researchers in using these data sources has increased.

To date, several studies have been conducted in the country to statistically compare the reanalysis products with other meteorological data sources, each of which has its limitations and does not provide a comprehensive evaluation of the reanalysis data across the region. In other words, most of these studies are related to the evaluation of one of the meteorological variables such as precipitation and have been done in a specific location of the country or have used a limited number of ground stations in statistical comparison.

In this work, the quality of 2m temperature, surface pressure, 10m wind speed and dew point temperature of ERA5-Land are evaluated temporally and spatially over Iran. For this purpose, sub-daily observations of 406 synoptic stations from 1999 to 2019 were used. The bilinear method was used to spatially interpolate the meteorological values obtained from ERA5-Land at the station locations. After preparing the ERA5-Land sub-daily time series and the corresponding actual observations, the error statistics required to evaluate the ERA5-Land data were calculated. Statistical comparisons between ERA5-Land products and ground observations of 2m temperature, surface pressure, 10m wind speed and dew point temperature parameters are done with a 3-hour temporal resolution.

In the whole region, ERA5-Land products and local measurements of 2m temperature, surface pressure, 10m wind speed and dew point temperature showed agreement about 0.97, 0.98, 0.49 and 0.88, respectively. Also, compared to the actual observations, the mean RMSE for the above ERA5-Land data products achieved 2.87°C, 19.42 hPa, 2.52 m/s and 4.12°C, respectively.

The study of bias values showed that in the region of Iran, ERA5-Land, on average, estimates all the studied variables less than the observed value. In addition, the study of the relationship between height difference of ERA5-Land grid points and station height with estimated error values showed that with increasing altitude difference, the size of negative bias and root mean square error of 2m temperature and the surface pressure of ERA5-Land increases significantly. Therefore, it is suggested eliminating the existing systematic errors in the area before applying this data.

**Keywords:** Reanalysis data, ERA5-land, surface observations, statistical evaluation

---

\*Corresponding author:

ali.sam@nit.ac.ir