فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحهٔ ۱۳۳-۱۴۷

بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوّی(ECMWF) در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران

طیب رضیئی[1*] و فاطمه ستوده[2]

۱. استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

(دریافت: ۹۴/۸/۲۳، پذیرش نهایی: ۹۴/۱۱/۱۱)

چکیده

به‌منظور بررسی میزان خطای مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوّی (ECMWF) در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون ایران، داده‌های بارش ماهانهٔ ۴۵ ایستگاه همدیدی پراکنده در سطح کشور با داده‌های بارش ماهانهٔ ERA-Interim در نزدیک‌ترین نقطه به هر ایستگاه مورد مقایسه آماری قرار گرفت. برای این منظور از آماره‌هایی مانند ضریب تعین (R^2)، مجذور میانگین مربع خطا (Rmse)، شیب خط (B Slope)، اُریبی (Bias) و ضریب کارایی مدل (EF) برای مقایسه آماری داده‌های ERA-interim در برابر داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های مورد بررسی استفاده شده است. نتیجهٔ این بررسی روشن ساخت که ERA-Interim دقت بسیار زیادی در پیش‌بینی بارش بسیاری از نقاط کشور دارد و میزان خطای آن در بیش از ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی اندک و قابل چشم‌پوشی است. همچنین مشخص شد که ERA-Interim بارش ایستگاه‌های ناحیهٔ ساحلی خزر و برخی ایستگاه‌های ناحیهٔ ساحلی خلیج فارس را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند. کم برآورد کردن بارش در ایستگاه‌های ناحیهٔ خزری عمدتاً به علت ناتوانی ERA-Interim در پیش‌بینی درست برخی بارش‌های فرین این ناحیه است. اگرچه بین بارش ERA-Interim و بارش مشاهده‌ای در منطقهٔ شمال غرب و شمال شرق کشور همبستگی بسیار قوی دیده می‌شود ولی مقدار بارش پیش‌بینی شده ERA-Interim برای اکثر ایستگاه‌های این مناطق نیز بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارش، مقایسه آماری، پیش‌بینی عددی،ECMWF، ERA-Interim، ایران.

۱. مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که تغییرات زمانی و مکانی زیادی دارد. این عنصر اقلیمی سهم بسزایی در همهٔ ابعاد زندگی بشر دارد و به همین علت اندازه‌گیری آن در نقاط گوناگون کرهٔ زمین بسیار مهم است. در دسترس نبودن داده‌های روزآمد از متغیرهای گوناگون اقلیمی مانند بارش و نیز وجود داده‌های گم شدهٔ فراوان در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی یکی از اساسی‌ترین مشکلاتی است که پژوهشگران کشورهای گوناگون و از جمله ایران با آن روبه‌رو هستند. مناطق مرتفع و کوهستانی و بیابان‌های گستردهٔ دنیا بیشتر از هر منطقهٔ دیگری با کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری روبه‌رو هستند. برای مثال به علت کمبود مراکز جمعیتی در مناطق مرتفع کوهستانی و بیابان‌های ایران، اطلاعات پراکنده‌ای از این مناطق در دست است و به همین علت متغیرهای اقلیمی این مناطق همواره با استفاده از ایستگاه‌های همسایه که ممکن است با نقطهٔ موردنظر فاصلهٔ زیادی داشته باشد برآورد می‌شود که طبیعتاً با واقعیت تفاوت زیادی خواهد داشت.

امروزه توسعهٔ مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌های اقلیمی مانند NCEP/NCAR وECMWF منابعی از داده‌های تقریباً روزآمد هواشناسی را در اختیار پژوهشگران قرار داده است که میزان خطای آن در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در بسیاری از نقاط جهان اندک و قابل

*نگارنده رابط: E-mail: tayebrazi@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

چشم‌پوشی است و به همین علت می‌توان از این داده‌ها در کنار داده‌های زمینی و یا حتی درحکم جایگزینی برای داده‌های مشاهده‌ای در مناطق بدون ایستگاه استفاده کرد. کیفیت و اعتبار این داده‌ها برای نقاط گوناگون جهان با روش‌های متنوعی مانند هماهنگی با نتایج مدل‌های پیچیدهٔ جوّی کنترل شده است. داده‌های بازتحلیل شده (Reanalysis) از ترکیب نتایج پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا (Numerical Weather Prediction, NWP) با داده‌های مشاهده‌ای به‌دست می‌آید. مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا در مراکزی مانند NCEP/NCAR و ECMWF با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سراسر کرهٔ زمین (ایستگاه‌های همدیدی، بویه‌های دریایی، ایستگاه‌های جوّ بالا)، داده‌های به‌دست آمده از ماهواره‌های هواشناسی، داده‌های به‌دست آمده از خطوط هواپیمایی و کشتیرانی بین‌المللی و نیز با در نظر گرفتن رابطهٔ فیزیکی-دینامیکی بین جوّ و اقیانوس و اثر توپوگرافی پیچیدهٔ کرهٔ زمین و توزیع دریاها، اقیانوس‌ها و جنگل‌های گسترده روی آن به پیش‌بینی حرکت‌های جوّی و متغیرهای گوناگون مانند فشار، باد و مانند آن در طی زمان می‌پردازند. در تولید داده‌های بازتحلیل شده از ترکیب داده‌های به‌دست آمده از پیش‌بینی مدل و داده‌های مشاهده‌ای استفاده می‌شود. پیش‌بینی‌های مدل که حدس اولیه نامیده می‌شود، براساس داده‌های ورودی به مدل و رابطهٔ ریاضی تعریف شده برای مدل به‌دست می‌آید (دی و همکاران، ۲۰۱۱؛ بالسامو و همکاران، ۲۰۱۵). ازآنجاکه پیش‌بینی‌های مدل همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است، این پیش‌بینی اولیه با داده‌های مشاهده‌ای موجود که به مرکز پیش‌بینی می‌رسد کنترل می‌شود . سپس مدل را بهینه می‌کنند تا پیش‌بینی‌های آن خطای کمتری داشته باشد. ازاین‌رو تولید داده‌های بازتحلیل شده در دو مرحله صورت می‌پذیرد. ابتدا مدل با داده‌های مربوط به ساعت‌های پیشین که در بایگانی مرکز پیش‌بینی موجود است به پیش‌بینی یک گام زمانی جلوتر (۶ ساعت بعد) می‌پردازد و در مرحلهٔ بعد نتیجه این پیش‌بینی با داده‌های مشاهده‌ای همان گام زمانی که از منابع متفاوت اطلاعاتی به مرکز رسیده است ترکیب و داده‌های بازتحلیل شده تولید می‌شود. داده‌های پیش‌بینی شده پیش از ترکیب با داده‌های مشاهده‌ای را داده‌ها یا اطلاعات زمینه‌ای می‌نامند (دی و همکاران، ۲۰۱۱). هریک از منابع اطلاعاتی که در بالا یاد شد از توزیع مکانی متفاوتی در سطح کرهٔ زمین برخوردارند، درنتیجه دقت مدل در مناطقی که این منابع اطلاعاتی اطلاعات بیشتری از آنجا به‌دست می‌دهند بالاتر است. با توجه به ترکیب داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهده‌ای می‌توان گفت که داده‌های پیش‌بینی شده (زمینه‌ای) همواره نقش و اثر داده‌های مشاهده‌ای را در طی زمان با خود به همراه دارد، و درنتیجه با گذشت زمان خطای پیش‌بینی‌ها در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای کمتر خواهد شد (آپالا و همکاران، ۲۰۰۵، دی و همکاران، ۲۰۱۱).

اولین داده‌های بازتحلیل شده با نام FGGE در ۱۹۷۹ تولید شد و در اختیار پژوهشگران قرار گرفت. با توجه به گزارش‌هایی که از نادقیق بودم داده‌های بازتحلیل شده به‌دست مراکز تولید این گونه داده‌ها می‌رسید و همچنین با پیشرفت‌هایی که در زمینه توسعهٔ رایانه، ماهواره‌ها و مدل‌های عددی ایجاد می‌شد، ایرادهای موجود در مدل‌ها و داده‌های مورد استفاده در مدل برطرف می‌شد و خروجی مدل‌ها پیوسته بهبود می‌یافت. اگرچه اصلاح پیوسته مدل‌ها دستاورد بزرگی به شمار می‌آمد و باعث کاهش خطای پیش‌بینی‌ها و داده‌های بازتحلیل شده در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای می‌شد ولی این خود باعث می‌شد که سری‌های زمانی داده‌های باز تحلیل شده همگنی لازم را در طی زمان از دست بدهند و درنتیجه کارایی لازم را برای بررسی تغییرات اقلیمی در سطح کرهٔ زمین نداشته باشند (آپالا و همکاران، ۲۰۰۵). این مشکل سبب شد تا بنگستون و شکولا

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۹۸۸) و ترنت برت و اولسن (۱۹۸۸) پیشنهاد استفاده از یک مدل معین (بدون تغییر در طی زمان) ولی با داده‌های روزآمد را برای تولید داده‌های بازتحلیل شده عرضه کنند که مورد استقبال مراکز تولید داده و دیگر پژوهشگران قرار گرفت. این پیشنهاد سازنده سبب شد تا مراکز تولید داده‌های بازتحلیل شده مانند NCEP/NCAR، NASA، و ECMWF هریک مدل معینی را برای تولید داده‌های بازتحلیل شده مورد استفاده قرار دهند. با استفاده از این رویکرد ECMWF توانست داده‌های بازتحلیل شده ERA-15 را عرضه کند که از ۱۹۷۹ تا ۱۵ سال بعد را پوشش می‌داد. مرکز NCEP/NCAR نیز داده‌های بازتحلیل شده خود را به‌صورت تقریباً روزآمد از ۱۹۴۶ تا زمان واقعی عرضه کرد که هم اکنون نیز ادامه دارد. مرکز NASA نیز چنین داده‌هایی را از ۱۹۸۰ به بعد برای یک دورهٔ ۱۶ ساله عرضه کرد (آپالا و همکاران، ۲۰۰۵). امروزه با پیشرفت‌های گسترده در زمینه‌های گوناگون فناوری و علوم جوّی و اقیانوسی نسل جدیدتری از داده‌های بازتحلیل شده عرضه می‌شود که هم از نظر کارایی مدل و هم از نظر داده‌های ورودی به مدل، بسیار توسعه پیدا کرده‌اند. این داده‌ها هم از نظر مکانی و هم از نظر ارتفاعی (از سطح زمین تا پوشن‌سپهر) دقت بسیار بیشتری دارند و درنتیجه خروجی آنها با داده‌های مشاهده‌ای نقاط گوناگون کرهٔ زمین هماهنگی بهتری نشان می‌دهد. مرکز ECMWF بعدها داده‌های ERA-40 را عرضه کرد که نسبت به ERA-15 دقت مکانی و ارتفاعی به مراتب بیشتری داشت. با توجه به بازخورد داده‌های ERA-15 و ERA-40 این مرکز توانست ERA-interim را عرضه کند که نسل پیشرفته‌تری از دو نسخهٔ پیشین است (دی و همکاران، ۲۰۱۱). با مشخص شدن ایرادهای موجود در داده‌های NCEP/NCAR این مرکز نیز نسل دیگری از داده‌های بازتحلیل شده را با نام NCEP-DOE عرضه کرده است که از ۱۹۷۹ به بعد را پوشش می‌دهد و ایرادهای موجود در نسخهٔ قبلی تا حدودی در آن برطرف شده است (کانامیتسو و همکاران، ۲۰۰۲).

تحقیقات اقلیمی زیادی با استفاده از داده‌های بازتحلیل شده NCEP/NCAR و ECMWF در جهان به انجام رسیده است. برای مثال، روبل و رادولف (۲۰۰۱) پیش‌بینی‌های ۶ تا ۳۰ ساعته بارش ECMWF و مقدار بارش روزانه برآورد شده با GPCP را برای منطقهٔ آلپ مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که دقت داده‌های بارش ECMWF در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای بهتر از GPCP است. ژاو و فو(۲۰۰۶) نیز دقت داده‌های ERA-40، NCEP-2 و CRU را در برآورد بارش تابستانه ایستگاه‌های زمینی چین در دورهٔ آماری ۱۹۷۹–۲۰۰۰ مورد راستی‌آزمایی قرار دادند و دریافتند که داده‌های CRU بیشترین همخوانی را با داده‌های زمینی دارد ولی ERA-40 و NCEP-2 مقادیر بارش را به‌ترتیب کمتر و بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. داده‌های باران‌سنجی منطقهٔ آسیای مرکزی نیز با داده‌های بازتحلیل شدهٔ بارش NCEP/NCAR و ECMWF مورد مقایسه قرار گرفت ومشخص شد که داده‌های ECMWF همبستگی بیشتری با داده‌های مشاهده‌ای دارد (شایمن و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش دیگری، داده‌های باران‌سنجی در چین با داده‌های ERA-40، NCEP1، NCEP2،CMAP1، CMAP2، GPCP و CPC مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد که داده‌های بازتحلیل شده ERA-40 دقت بهتری در مقایسه با داده–های NCEP1 دارد (ما و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین دایرو و همکاران (۲۰۰۹) دقت ERA-40 و NCEP/NCARرا در برآورد بارش ایستگاه‌های زمینی اتیوپی راستی‌آزمایی کردند و روشن ساختند که اگرچه این دو پایگاه مقدار بارش را به‌ترتیب کمتر و بیشتر از مقدار واقعی ایستگاه‌ها برآورد می‌کنند ولی به‌خوبی می‌توانند هم‌وردایی مکانی بارش ایستگاه‌های زمینی را شبیه‌سازی کنند. بلو–پریرا و همکاران (۲۰۱۱) نیز داده‌های بارش ERA-Interim و ERA-40 را با داده‌های بارش درون‌یابی

Archive of SID

www.SID.ir

شده شبه‌جزیره ایبریا (IB02) مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این داده‌ها هماهنگی بسیار زیادی با داده‌های درون‌یابی شدهٔ منطقه دارند. مقایسهٔ داده‌های مشاهده‌ای بارش با داده‌های ECMWF در فلات تبت (چین) نیز روشن ساخت که داده‌های ECMWF همبستگی زیادی با داده‌های مشاهده‌ای دارند (وانگ و زنگ، ۲۰۱۲). دقت داده‌های بازتحلیل شدهٔ بارش ERA-Interim, ENCEP/DOE و JRA-25 (داده‌های بازتحلیل شدهٔ ژاپن) و نیز سه پایگاه داده به‌دست آمده از سنجش از دور (TRMM, CMORPH, PERSIANN) در برآورد بارش منطقهٔ استرالیا و جنوب و شرق آسیا را پناآرانسیبیا و همکاران (۲۰۱۳) مورد ارزیابی قرار دادند و مشخص شد که ERA-Interim بیشترین دقت را در برآورد بارش این مناطق دارد. نتیجهٔ این پژوهش همچنین روشن ساخت که داده‌های TRMM, CMORPH, PERSIANN در برخی مناطق دقت بیشتری دارند. همچنین مشخص شد که میانگین این پایگاه‌ها هماهنگی بیشتری با داده‌های مشاهده‌ای دارند و به همین علت آنها پیشنهاد می‌کنند که به‌جای استفاده از یک پایگاه داده بهتر است از ترکیب پایگاه‌های گوناگون استفاده شود تا نقص یکدیگر را برطرف کنند. دقت ERA-Interim در برآورد ویژگی‌های بارش روزانه و ماهانهٔ انگلستان و ولز نیز از سوی دلیو و همکاران (۲۰۱۴) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت و مشخص شد که داده‌های ERA-Interim همبستگی زیادی با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های زمینی در انگلستان و ولز دارد. آنها روشن ساختند که همبستگی بین سری‌های زمانی بارش ERA-Interim و ایستگاه‌های زمینی در سرتاسر انگلستان و ولز بیش از ۰/۹۱ است و ERA-Interim همهٔ ویژگی‌های آماری بارش‌های فرین منطقه را نیز به‌خوبی به‌دست می‌دهد. نتیجهٔ این بررسی همچنین نشان داد که ERA-Interim بارش روزانه را در بیشتر بخش‌های منطقه مورد بررسی حدود ٪۲۲ کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. در تحقیق دیگری رودز و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی توان ERA-Interim در پیش‌بینی ویژگی‌های بارش‌های فرین ۱ تا ۷ روزهٔ انگلستان و ولز پرداختند و ارتباط بسیار قوی بین بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه و مقدار برآورد شده با ERA-Interim یافتند.

همان‌گونه که در بالا گفته شد دقت داده‌های بازتحلیل شده در بسیاری از نقاط جهان مورد ارزیابی قرار گرفته است ولی میزان خطای این داده‌ها در برآورد بارش مناطق گوناگون ایران کمتر بررسی شده است. رضیئی و فتاحی (۱۳۹۰) و رضیئی و همکاران (۲۰۰۹; ۲۰۱۰; ۲۰۱۱) از داده‌های بارش NCEP/NCAR برای بررسی خشک‌سالی در ایران استفاده کردند و تغییرپذیری زمانی نمایهٔ خشک‌سالی SPI به‌دست آمده از بارش NCEP/NCAR را با SPI به‌دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای در سطح کشور مورد مقایسه قرار دادند. نتیجهٔ این تحقیقات نشان داد که تغییرات زمانی نمایه SPI به‌دست آمده از داده‌های بارش NCEP/NCAR هماهنگی خوبی با نمایهٔ SPI به‌دست آمده از داده‌های زمینی بارش در برخی مناطق کشور مانند شمال غرب ایران دارد ولی دقت این داده‌ها در بخش‌هایی از دامنه‌های جنوبی و شرقی زاگرس و دامنه‌های جنوبی البرز کم است. صدودی و همکاران (۲۰۱۰) نیز بارش روزانهٔ پیش‌بینی شده با ECMWF را با بارش روزانهٔ شبکه باران‌سنجی کشور در سال ۲۰۰۱ (فقط یکسال) مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ECMWF پیش‌بینی‌های قابل‌اطمینانی از بارش روزانه در سراسر کشور به‌دست می‌دهد. نتیجهٔ بررسی آنها همچنین روشن ساخت که در بیشتر مناطق کشور، مقدار بارش پیش‌بینی شده با ECMWF بیشتر از مقدار مشاهده‌ای در ایستگاه‌های باران‌سنجی است. در همین راستا هدایتی دزفولی و آزادی (۱۳۸۹) دقت مدل MM5 را در پیش‌بینی بارش‌های کوتاه‌مدت ۲۴ تا ۷۲ ساعته زمستان ۲۰۰۴– ۲۰۰۵ مورد راستی‌آزمایی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل

Archive of SID

www.SID.ir

دقت خوبی در پیش‌بینی بارش‌های کوچک‌تر یا برابر با ۱ میلی‌متر در جنوب کشور و پیش‌بینی بارش‌های بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر در شمال کشور دارد. تقوی و همکاران (۱۳۹۲) هم با راستی‌آزمایی توان مدل RWF در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون کشور دریافتند که این مدل به‌خوبی الگوی توزیع مکانی بارش‌ها را شبیه‌سازی می‌کند ولی در پیش‌بینی درست مقادیر واقعی بارش نقاط ایستگاهی ناتوان است. به‌تازگی نیز دارند و زندکریمی (۱۳۹۴) داده‌های ساعتی بارش ERA-Interim را با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی و پایگاه ملی داده‌های درون‌یابی شده اسفزازی مورد مقایسه قرار دادند و هماهنگی خوبی بین بارش ERA-Interim و داده‌های زمینی پیدا کردند. نتیجه این پژوهش نشان داد که ERA-Interim بیشترین دقت را در پیش‌بینی بارش مناطق کوهستانی زاگرس، جنوب‌غرب و شمال شرق کشور دارد.

با توجه به استفاده گسترده از داده‌های بازتحلیل شده در کشورهای گوناگون جهان، پژوهش پیش‌رو با هدف ارزیابی میزان خطای داده‌های بارش ERA-Interim (نسخهٔ جدیدECMWF) در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای نقاط گوناگون کشور به انجام رسیده است. دقت مکانی زیاد (۰/۱۲۵ جغرافیایی) داده‌های ERA-Interim و وجود گزارش‌هایی مبنی بر دقت خوب این مدل در برآورد بارش در نقاط گوناگون جهان علت اصلی انتخاب این مدل برای تحقیق حاضر بوده است.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲. ۱. داده‌ها

به‌منظور مقایسهٔ آماری مقدار بارش ماهانه ERA-Interim با بارش ماهانهٔ مناطق گوناگون ایران، داده‌های بارش ماهانه ERA-Interim در دورهٔ آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ از وب‌گاه ECMWF و داده‌های بارش ماهانه ۴۵ ایستگاه همدیدی کشور (شکل ۱) برای همین دورهٔ آماری از وب‌گاه سازمان هواشناسی دریافت شد و مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های ERA-Interim به‌صورت روزانه و ماهانه در دسترس کاربران قرار دارد و تقریباً هر چند ماه یک‌بار به‌روز می‌شود. این داده‌ها در دقت‌های مکانی ۰/۷۵×۰/۷۵، ۰/۵×۰/۵، ۰/۲۵×۰/۲۵ و ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجهٔ جغرافیایی تهیه و عرضه می‌شود. در این تحقیق از داده‌های با دقت مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجهٔ جغرافیایی (حدود ۱۰ کیلومتر) استفاده شده است. شکل۱ پراکنش ایستگاه‌های همدیدی مورد استفاده در این تحقیق و نقاط ERA-Interim را که با فاصلهٔ ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجهٔ جغرافیایی نسبت به هم قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که دقت مکانی بسیار زیاد این داده‌ها سبب شده است تا در محل هر ایستگاه و یا در فاصلهٔ به‌نسبت کوتاهی (بین صفر تا حداکثر ۱۰ کیلومتر) از آن یک نقطه از شبکهٔ نقاط ERA-Interim قرار داشته باشد؛ که این خود مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و ERA-Interim را آسان می‌کند. برای مقایسهٔ داده‌های ERA-Interim با داده‌های مشاهده‌ای، مقدار بارش ماهانه هر ایستگاه با بارش نزدیک‌ترین نقطهERA-Interim به آن ایستگاه مورد مقایسهٔ آماری قرار گرفت.

۲. ۲. روش‌ها

داده‌های بارش ماهانهٔ ۴۵ ایستگاه همدیدی سازمان هواشناسی کشور و داده‌های بارش ماهانه ERA-Interim در نزدیک‌ترین نقطه به هر ایستگاه در دو ماتریس جداگانه به ابعاد ۴۵×۴۳۲ مرتب شد و مورد استفاده قرار گرفت. در این ماتریس‌ها عدد ۴۳۲ تعداد مشاهده‌ها در ماه‌های پیاپی از ۳۶ سال مورد بررسی را نشان می‌دهد (۳۶×۱۲) و عدد ۴۵ نیز معرف تعداد ایستگاه‌ها یا نقاطی است که مقایسه‌های آماری برای آنها به انجام رسیده است. در مرحلهٔ بعد با استفاده از پنج آزمون آماری متفاوت، ماتریس داده‌های مشاهده‌ای (ایستگاهی) با ماتریس داده‌های ERA-Interim مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و میزان خطای ERA-

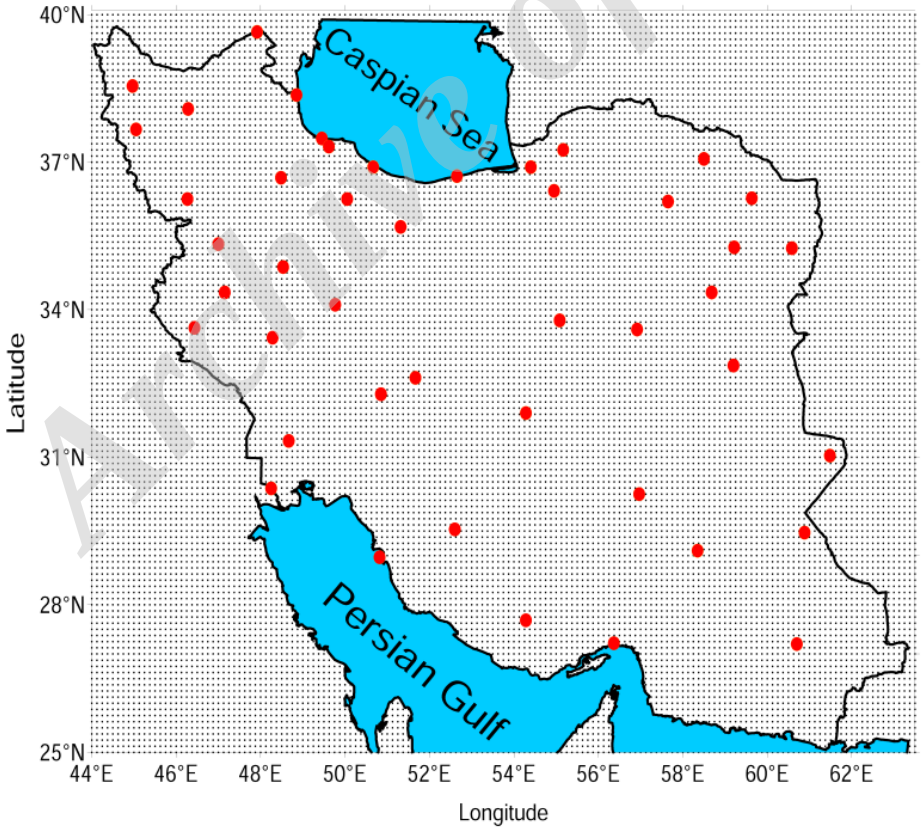
Archive of SID

www.SID.ir

Interim در پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های مورد بررسی، شناسایی و به‌صورت نقشه عرضه شد و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

برای ارزیابی دقت برآورد بارش ERA-Interim در محل هریک از ایستگاه‌های مورد بررسی (شکل۱) از آماره‌های ضریب تعین(R^2)، مجذور میانگین مربع خطا (Rmse)، شیب خط(Slope)، اُریبی(Bias) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شده است. این آماره‌ها بیشترین کاربرد را در تجزیه‌وتحلیل‌های مقایسه‌ای دارند و از آنها برای مقایسه پیش‌بینی‌های یک مدل در برابر داده‌های مشاهده‌ای استفاده می‌شود (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷).

ضریب تعین یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر x و y است که به‌صورت بی‌بُعد نمایش داده می‌شود. این ضریب ارتباط مستقیمی با ضریب همبستگی دارد؛ به‌این‌ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تعین می‌توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد بررسی را به‌دست آورد. همانند ضریب همبستگی هرچه مقدار ضریب تعین به یک نزدیک‌تر باشد، ارتباط قوی‌تری میان دو متغیر وجود دارد. در صورت ضرب ضریب تعین در عدد ۱۰۰ مقدار به‌دست آمده بیان‌گر درصد واریانس تغییرات متغیر x است که با متغیر y توصیف می‌شود. ریشهٔ دوم میانگین مربع خطا (RMSE) که به شکل رابطهٔ (۱) نشان داده می‌شود یکی دیگر از آماره‌هایی است که معمولاً از آن برای ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های یک مدل در برابر مشاهده‌ها استفاده می‌شود. این آماره درواقع واریانس خطای مدل را در پیش‌بینی مقادیر واقعی نشان می‌دهد.



شکل ۱. پراکنش نقاط شبکه‌بندی ERA-Interim و ایستگاه‌های همدیدی کشور روی نقشه ایران. نقاط ERA-Interim با دایره‌های مشکی کوچک و ایستگاه‌های همدیدی با دایره‌های بزرگ سرخ نمایش داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

بنابر این هرچه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد مدل خطای کمتری در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای خواهد داشت. ازآنجاکه مقدار این آماره به دامنهٔ تغییرات داده‌ها وابسته است، نمی‌توان مقدار RMSE به‌دست آمده از دو مقایسهٔ متفاوت را با هم قیاس کرد. همچنین نمی‌توان گفت که چه مقداری از RMSE نشان‌دهندهٔ کفایت مدل است. این مسئله به این موضوع بر می‌گردد که مقدار RMSE متناسب با دامنهٔ تغییرات سری‌های مورد بررسی از موضوعی به موضوع دیگر متفاوت خواهد بود. برای مثال در مقایسهٔ بارش ERA-Interim با داده‌های زمینی مقدار RMSE در ایستگاه‌هایی مانند رشت و انزلی که مقادیر بارش بزرگ‌تری دارند همواره بزرگ‌تر از مقدار به‌دست آمده در ایستگاه‌هایی مانند یزد و زابل است که مقادیر بارشی کمتری دارند. برای برطرف کردن این مشکل بهتر است مقدار RMSE به‌صورت استاندارد شده عرضه شود تا بتوان مقدار RMSE به‌دست آمده در نقاط گوناگون را با هم مقایسه کرد. به همین علت در این تحقیق از آمارهٔ دیگری به نام NRMSE نیز استفاده شده است که به شکل رابطهٔ (۲) نمایش داده می‌شود. در این رابطه با تقسیم مقدار RMSE به‌دست آمده بر میانگین داده‌های مشاهده‌ای آن را استاندارد و به‌صورت بی‌بُعد نمایش می‌دهیم تا مقدار به‌دست آمده در ایستگاه‌های متفاوت را بتوان با یکدیگر مقایسه کرد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(o_i - p_i)^2} \qquad (۱)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(o_i - p_i)^2}}{\bar{o}_i} \qquad (۲)$$

ضریب کارایی(EF) ؛که از رابطهٔ (۳) به‌دست می‌آید، نیز یکی از مهم‌ترین و دقیق‌ترین آماره‌ها است که بیشترین محبوبیت را در بین پژوهشگران پیدا کرده است و به همین علت بیشترین کاربرد را در مقایسهٔ مدل‌ها با مقادیر مشاهده‌ای دارد. ضریب کارایی(EF) در واقع بزرگی نسبی واریانس باقی‌مانده‌ها را در مقایسه با واریانس داده‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد. با توجه به رابطهٔ (۳) این آماره از تقسیم میانگین مربع خطای مدل بر واریانس داده‌های مشاهده‌ای به‌دست می‌آید. ازاین‌رو، چنانچه واریانس باقی‌مانده‌ها برابر با واریانس داده‌های مشاهده باشد، مقدار ضریب کارایی برابر با یک خواهد بود. درمقابل، وقتی‌که مقدار EF برابر با صفر یا به سمت منفی گرایش پیدا کند، میانگین مشاهدات پیش‌بینی بهتری از مدل به‌دست می‌دهد (رضیئی و پریرا، ۲۰۱۳). ضریب کارایی به‌صورت بی‌بُعد نشان داده می‌شود و مقدار آن بین منفی بی‌نهایت و مثبت یک است. مقدار منفی این ضریب نشان‌دهندهٔ دقت بسیار کم مدل در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد حکایت از دقت بسیار زیاد مدل دارد.

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \qquad (۳)$$

در روابط بالا Oi و Pi مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده و N تعداد داده‌ها یا طول سری زمانی است.

آمارهٔ دیگری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته، آماره اُریبی با رابطهٔ (۴) است که میانگین تمایل مدل را در بیش برآورد کردن یا کم برآورد کردن مقادیر مشاهده‌ای نشان می‌دهد. مقدار اُریبی برابر با صفر نشان‌دهندهٔ آن است که مدل به‌خوبی توانسته مقادیر مشاهده‌ای را پیش‌بینی کند. مقادیر مثبت و منفی نیز به‌ترتیب بیان‌گر بیش برآورد کردن و کم برآورد کردن مدل است.

$$BIAS = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(p_i - o_i) \qquad (۴)$$

۳. نتایج

نتایج مقایسهٔ آماری بین داده‌های ERA-Interim و داده‌های مشاهده‌ای بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل۲ نمایش داده شده است. نقشه‌های عرضه شده در این شکل به‌روشنی توزیع مکانی آماره‌های گوناگون محاسبه شده را روی نقشهٔ ایران نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۲-الف ملاحظه می‌شود که ضریب تعین محاسبه شده برای

Archive of SID

www.SID.ir

اکثر ایستگاه‌ها، بزرگ‌تر از ۰/۵ است. به‌عبارت دیگر ERA-Interim بیش از ۵۰ درصد واریانس بارش مشاهده‌ای را در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی، توصیف می‌کند. این مقدار در ایستگاه‌های غرب و شمال شرق کشور بیش از ۰/۷ است و در برخی از آنها بین ۰/۸ تا ۰/۹ است که این بیان‌گر ارتباط خوب ERA-Interim با ایستگاه‌های مورد بررسی در این مناطق است. کمترین ضریب تعین در ایستگاه‌های ناحیهٔ خزری دیده می‌شود. مقدار ضریب تعین در این دسته از ایستگاه‌ها بین ۰/۲ تا ۰/۵ است که نشان از ضعیف بودن ارتباط میان بارش ERA-Interim و بارش واقعی در ایستگاه‌های ناحیه خزری دارد. مقدار زیاد ضریب کارایی نیز ارتباط خوب بین بارش ERA-Interim و بارش مناطق غرب و شمال شرق کشور را تأیید می‌کند (شکل ۲ب). پایین‌ترین مقدار ضریب کارایی نمایش داده شده در شکل ۲ را می‌توان در ایستگاه‌های ناحیهٔ خزری، ناحیهٔ شمال غرب و نقاط پراکنده‌ای در شرق و مرکز ایران مشاهده کرد که این نشان‌دهندهٔ ارتباط ضعیف ERA-Interim با داده‌های مشاهده‌ای در این نقاط است. با توجه به شکل ۲پ مقدار RMSE در اکثر ایستگاه‌ها کمتر از ۲۰ میلی‌متر است که نشان از اختلاف اندک مقدار پیش‌بینی با مقدار مشاهده‌ای دارد. ازآنجاکه مقدار RMSE تابعی از دامنهٔ مقدار بارش در هر ایستگاه است، مقدار زیاد RMSE در ایستگاه‌های ناحیهٔ خزری و شمال غرب ایران بیشتر به سبب مقدار زیاد بارش در این ایستگاه‌ها است تا ارتباط ضعیف بین بارش واقعی و بارش پیش‌بینی شده با ERA-Interim.

با توجه به شکل ۲ت که مقدار اُریبی محاسبه شده بین داده‌های مشاهده‌ای و ERA-Interim را نشان می‌دهد، ملاحظه می‌شود که اُریبی در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱۰- و ۱۰+ است که این نشان‌دهندهٔ انحراف اندک داده‌های بازتحلیل شده از داده‌های مشاهده‌ای است. این شکل نیز تأیید می‌کندکه داده‌های ERA-Interim مقدار بارش ایستگاه‌های ساحلی ناحیهٔ خزری را کم برآورد می‌کند و در مقابل مقدار بارش بسیاری از ایستگاه‌های منطقهٔ شمال غرب کشور را بیشتر برآورد می‌کند. شکل ۲ث نیز که مقدار انحراف نقاط را از خط وایازش (خط ۱:۱) برای ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد، تأیید می‌کند که داده‌های ERA-Interim مقدار بارش را در ناحیهٔ ساحلی خزری، خلیج فارس و دریای عمان کم برآورد می‌کند. این نقشه همچنین بیش برآورد شدن بارش ناحیهٔ شمال غربی کشور را با ERA-Interim تأیید می‌کند. در برخی از ایستگاه‌های ناحیهٔ شرقی ایران نیز خط وایازش بین داده‌های مشاهده‌ای و ERA-Interim بسیار بالاتر از خط ۱:۱ است که نشان از بیش برآورد شدن بارش در این منطقه دارد. شکل ۲ج مقدار NRMSE را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه ملاحظه می‌شود که در اکثر ایستگاه‌ها مقدار NRMSE بین ۰/۴ تا ۱ است که نشان‌دهندهٔ ضریب تغییرات کم باقی‌مانده‌های مقدار پیش‌بینی شده از مقدار بارش مشاهده‌ای است. مقدار NRMSE بزرگ‌تر از ۱ در ایستگاه‌های ناحیهٔ شمال غرب و برخی ایستگاه‌های شرقی کشور نیز نشان‌دهندهٔ ضریب تغییرات زیاد باقیمانده‌های بارش ERA-Interim از مشاهده‌ای در این مناطق است. مقدار بسیار زیاد NRMSE در دو ایستگاه یزد و بم نشان می‌دهد که مقدار بارش پیش‌بینی شده در این دو ایستگاه عدم قطعیت زیادی دارد.

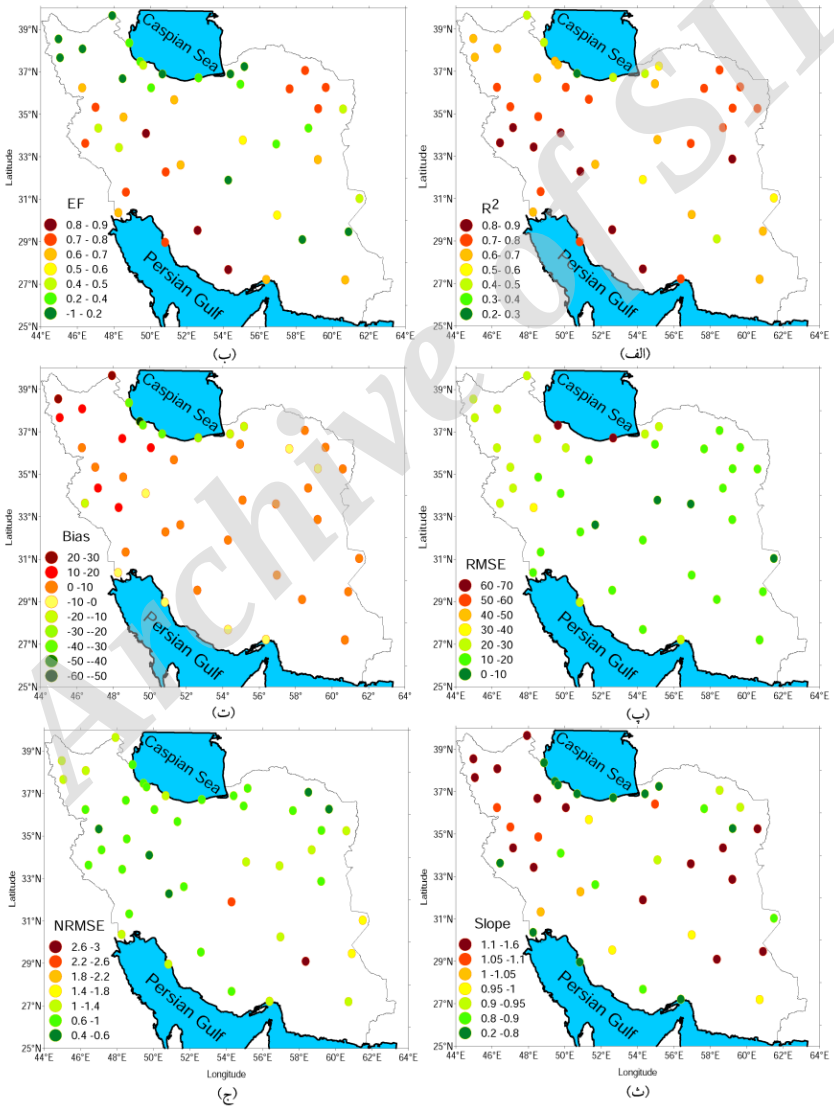
رابطهٔ وایازشی بین بارش پیش‌بینی شده با ERA-Interim و بارش مشاهده‌ای برای ۱۲ ایستگاه که بیشترین ضریب کارایی را در شکل ۲ب آشکار ساخته‌اند، در شکل ۳ نمایش داده شده است. پراکنش نقاط پیرامون خط وایازش در همهٔ ایستگاه‌ها بیان‌گر ارتباط خوب بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های ERA-Interim در این ایستگاه‌ها است. بهترین ارتباط بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های ERA-Interim در ایستگاه‌های شیراز، شهرکرد،

Archive of SID

www.SID.ir

قوچان، سنندج و اهواز دیده می‌شود که با توجه به پراکنش این ایستگاه‌ها در مناطق متنوع اقلیمی کشور، می‌توان پیش‌بینی ERA-Interim را از بارش مناطق گوناگون کشور خوب ارزیابی کرد.

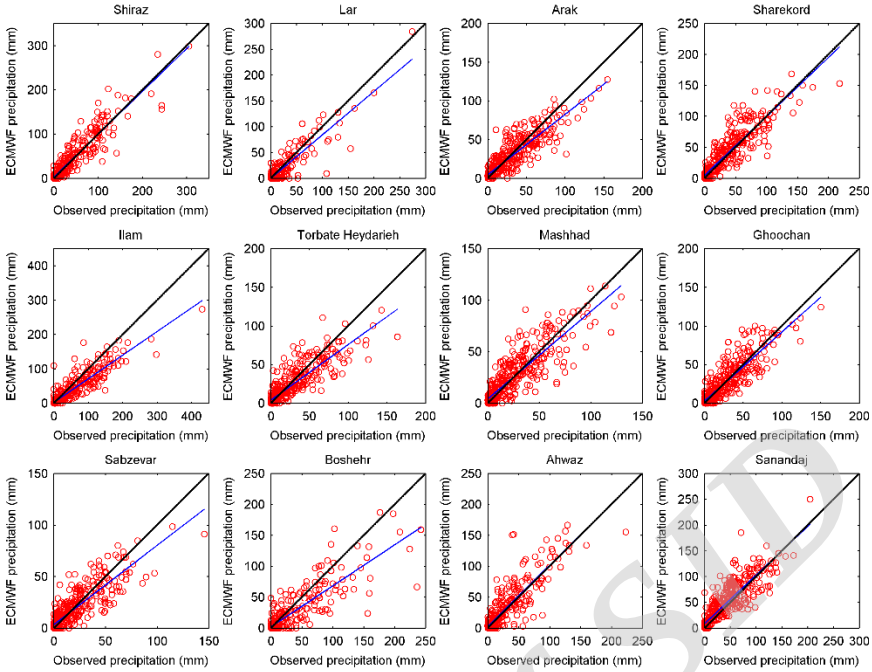
در برخی دیگر از ایستگاه‌ها مانند ایلام، بوشهر و سبزوار نیز همبستگی بسیار خوبی بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های ERA-Interim وجود دارد ولی چند مورد پیش‌بینی نادرست سبب فاصله گرفتن خط وایازش از خط ۱:۱ شده است. با توجه به تمرکز توده نقاط پیرامون خط وایازش و نیز با توجه به مقدار زیاد ضریب همبستگی و ضریب کارایی در این ایستگاه‌ها می‌توان این نقاط را درحکم دادهٔ پرت در نظر گرفت که با حذف آن، خط وایازش به خط ۱:۱ بسیار نزدیک می‌شود. وجود این تعداد اندک ناهماهنگی بین داده‌های مشاهده‌ای و ERA-Interim را می‌توان به نبود پیش‌بینی درست ERA-Interim در برخی بارش‌های فرین و یا اشتباه در ثبت داده‌های مشاهده‌ای نسبت داد؛ هرچند اثبات این ادعا کار ساده‌ای نیست.



شکل ۲. مقایسه داده‌های بارش ERA-Interim با بارش واقعی ایستگاه‌های همدیدی منتخب در سطح کشور با استفاده از نمایه‌های آماری، (الف) ضریب تعین، (ب) ضریب کارایی، (پ) مجذور میانگین مربع خطا، (ت) اُریبی، (ث) شیب خط، (ج) نمرهٔ استاندارد شاخص مجذور میانگین مربع خطا.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. پراکنش نقاط پیرامون خط وایازش در ایستگاه‌های با بیشترین ضریب کارایی.

شکل ۴ نیز رابطهٔ وایازشی بین داده‌های مشاهده‌ای و ERA-Interim را برای ایستگاه‌هایی نشان می‌دهدکه کمترین ضریب کارایی را در شکل ۲-ب به نمایش گذاشته‌اند. با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود که در همهٔ این ایستگاه‌ها، توده نقاط پیرامون خط وایازش پراکنده شده‌اند که این نشان‌دهندهٔ همبستگی خوب میان داده‌های مشاهده‌ای و ERA-Interim است. بااین‌حال فاصلهٔ خط وایازش و توده نقاط از خط ۱:۱ در همه این ایستگاه‌ها به‌وضوح دیده می‌شود. در ایستگاه‌های شمال غربی کشور مانند خوی، ارومیه، تبریز و پارس‌آباد مغان و همچنین در ایستگاه‌های یزد، بم و زاهدان در مرکز و شرق کشور، خط وایازش بالاتر از خط ۱:۱ قرار گرفته است و این بیان‌گر بیش برآورد شدن مقدار واقعی بارش در این ایستگاه‌ها است که پیش‌تر نیز در شکل ۲ نمایش داده شد. با توجه به شکل ۴ همچنین ملاحظه می‌شود که ERA-Interim مقدار بارش را در ایستگاه‌های رامسر، گنبد کابوس، گرگان و بابلسر که نمایندهٔ ناحیه مرطوب خزری هستند، بسیار کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند. اگرچه بین بارش پیش‌بینی شده با ERA-Interim و بارش مشاهده‌ای در این دسته از ایستگاه‌ها نوعی همبستگی قوی وجود دارد (شکل ۲الف) ولی وجود موارد زیادی از ناهماهنگی‌ها بین مقدار بارش پیش‌بینی شده و مقدار واقعی بارش، سبب کاهش بسیار زیاد ضریب کارایی در این ایستگاه‌ها شده است.

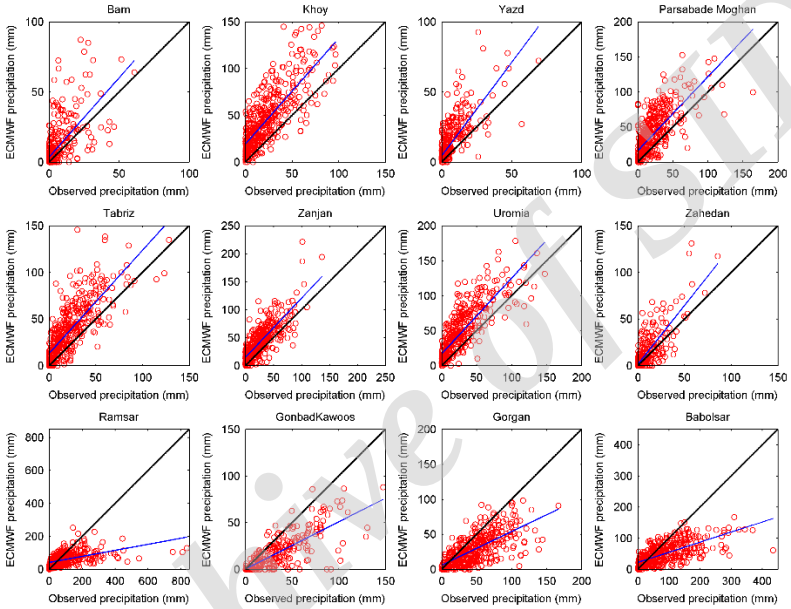
وجود چنین مواردی را می‌توان به بارش‌های فرینی نسبت داد که ERA-Interim قادر به پیش‌بینی آنها در ناحیه خزری نیست. ازاین‌رو وجود تعداد قابل‌توجهی از پیش‌بینی‌های نادرست ERA-Interim در این ناحیه را می‌توان به پیچیدگی توپوگرافی، درهم‌تنیدگی شرایط هوایی دریا و خشکی در یک فاصله کوتاه و سهم زیاد بارش‌های همرفتی در آن نسبت داد که ترکیب همهٔ این موارد، پیش‌بینی درست بارش در منطقه را بسیار سخت می‌کند.

برای بهتر روشن شدن رابطهٔ بین بارش پیش‌بینی شده با ERA-Interim و بارش مشاهده‌ای در ایستگاه‌های ناحیهٔ

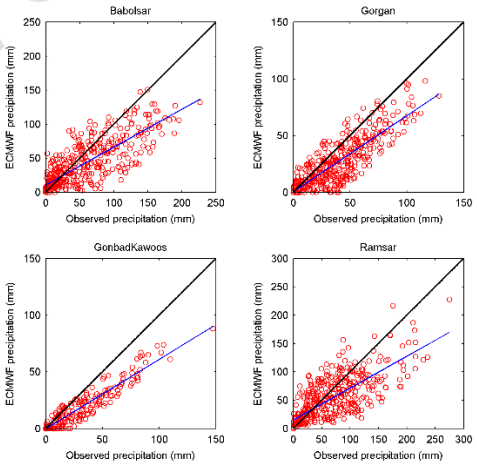
Archive of SID

www.SID.ir

خزری، تعداد مواردی که ERA-Interim پیش‌بینی نادرستی از بارش مشاهده‌ای در این ایستگاه‌ها به‌دست داده بود از رابطهٔ وایازشی حذف و نتیجه در شکل ۵ عرضه شد. با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که پس از حذف داده‌های پرت در این ایستگاه‌ها، خط وایازش و توده نقاط پیرامون آن به خط ۱:۱ بسیار نزدیک شده است. مقایسهٔ نمودارهای شکل ۵ با نمودارهای مربوط به ایستگاه‌های ناحیهٔ خزری در شکل ۴ بیان‌گر این واقعیت است که فرض پرت بودن برخی از این داده‌ها و حذف آنها از رابطهٔ وایازشی خیلی هم غیر منطقی نیست. برای مثال وقوع بارشی در حدود ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در یک ماه در ایستگاه رامسر اگرچه غیر ممکن نیست ولی تصور آن خیلی هم آسان نیست. تحلیل‌های آماری صورت گرفته روی داده‌های این ایستگاه‌ها نیز اغلب چنین داده‌های فرینی را درحکم داده‌های پرت معرفی می‌کنند.



شکل ۴. توزیع نقاط پیرامون خط وایازش در ایستگاه‌های با کمترین ضریب کارایی.



شکل۵. توزیع نقاط پیرامون خط وایازش در برخی از ایستگاه‌های با کمترین ضریب کارایی بعد از حذف داده‌های پرت.

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که پس از حذف چند رویداد فرین توده نقاط به خط ۱:۱ بسیار نزدیک‌تر می‌شود که این نشانگر ارتباط قوی بین ERA-Interim و ایستگاه‌های این ناحیه است. اگرچه این شکل ارتباط قوی بین ERA-Interim و ایستگاه‌های ناحیهٔ خزری را به نمایش می‌گذارد ولی به‌خوبی می‌توان دریافت که در همهٔ ایستگاه‌های این ناحیه مقدار بارش پیش‌بینی شده همواره کمتر از بارش ثبت شده در این ایستگاه‌ها است. با توجه به شکل ۲-ت و ۲-ج ملاحظه می‌شود که ERA-Interim مقدار بارش را در همه ایستگاه‌های این ناحیه بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. ازاین‌رو، همان‌گونه که پیش از این نیز گفته شده، پیچیدگی توپوگرافی و برهم‌کنش خشکی و دریا در یک فاصلهٔ کوتاه، سبب کاهش دقت و کارآمدی ERA-Interim در پیش‌بینی بارش در این ایستگاه‌ها می‌شود. با در نظر گرفتن نتیجه به‌دست آمده در این پژوهش، ECMWF می‌تواند به علت‌های احتمالی پیش‌بینی ضعیف مدل عددی‌اش در این ناحیه پی‌ببرد و با اصلاح آن، پیش‌بینی‌های بهتری از بارش منطقه به‌دست دهد.

۴. بحث

بررسی میزان خطای ERA-Interim در پیش‌بینی مقدار بارش ایستگاه‌های مناطق متنوع اقلیمی کشور روشن ساخت که دقت ERA-Interim در پیش‌بینی بارش اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی بسیار خوب است و پیش‌بینی تقریباً درستی از بارش واقعی در این ایستگاه‌ها به‌دست می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار بارش به‌دست آمده با ERA-Interim نتیجه پیش‌بینی یک مدل عددی است که با داده‌های مشاهده‌ای ترکیب شده است، می‌توان نتیجه پیش‌بینی را برای مناطق گوناگون ایران امیدبخش ارزیابی کرد. کم برآورد کردن بارش در ایستگاه‌های خزری و بیش برآورد کردن آن در برخی از ایستگاه‌های شمال غرب کشور ممکن است نتیجهٔ نبود کاربست درست شرایط پیچیدهٔ توپوگرافی این مناطق در مدل عددی مورد استفادهٔ ERA-Interim باشد. موقعیت خاص جغرافیایی به همراه توپوگرافی پیچیده این مناطق موجب وقوع بارش‌های بهاره و تابستانه در این دو منطقه و بارش‌های پاییزه در ناحیهٔ خزری می‌شود که درصد بسیار زیادی از این بارش‌ها از نوع بارش‌های همرفتی و اروگرافیک هستند. ازاین‌رو، به نظر می‌رسد که شرایط خاص جوّی منطقه‌ای که عامل بروز این نوع بارش‌های منطقه‌ای می‌شود به‌درستی در مدل ERA-Interim نمایش داده نمی‌شود. به‌طورکلی مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا در مراکز پیش‌بینی NCEP/NCAR و ECMWF توانایی خوبی در پیش‌بینی بارش‌های فراگیر و در مقیاس همدیدی دارند درحالی‌که در پیش‌بینی بارش‌های همرفتی و اروگرافیک دقت کمتری دارند. ازاین‌رو، کم برآورد کردن بارش در ناحیهٔ خزری و بیش برآورد کردن آن در ناحیهٔ شمال غرب و شمال شرق ایران را می‌توان به این ویژگی مدل عددی پیش‌بینی وضع هوا در ERA-Interim مربوط دانست. برای روشن‌تر شدن این موضوع لازم است تا مقایسهٔ ERA-Interim با ایستگاه‌های زمینی به‌طور جداگانه برای فصل‌ها و ماه‌های متفاوت سال صورت بگیرد تا مشخص شود که در چه ماه‌هایی پیش‌بینی‌ها بهتر و در چه ماه‌هایی ضعیف‌تر است و علت تفاوت در دقت پیش‌بینی‌ها در ماه‌های متفاوت سال در چیست. استفاده از نتایج این پژوهش و پژوهش‌هایی از این دست می‌تواند به ECMWF در اصلاح و بهینه کردن مدل ERA-Interim کمک کند تا پیش‌بینی‌های بهتری از بارش‌های همرفتی و اروگرافیک مناطق گوناگون ایران به‌دست دهد.

۵. نتیجه‌گیری

پیشرفت‌های به‌دست آمده در دهه‌های گذشته در زمینهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از مدل‌های عددی برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت متغیرهای گوناگون هواشناسی سبب شد تا ایدهٔ ترکیب پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت هواشناسی و داده‌های مشاهده‌ای و در نتیجه تولید داده‌های بازتحلیل شده متولد شود. بعدها بررسی‌های صورت گرفته در نقاط گوناگون جهان نیز روشن ساخت که داده‌های بازتحلیل شده با داده‌های مشاهده‌ای بسیاری از مناطق کرهٔ زمین همبستگی زیادی دارد. مدل‌های عددی پیش‌بینی هوا از متغیرهای زیادی به‌منزلهٔ ورودی خود برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند، ولی از داده‌های بارش درحکم ورودی مدل هیچ استفاده‌ای نمی‌کنند. ازاین‌رو لازم است تا مقدار بارش پیش‌بینی شده با مقدار مشاهده‌ای در نقاط گوناگون جهان مورد مقایسه قرار گیرد تا با استفاده از نتایج این‌گونه پژوهش‌ها نقاط ضعف مدل‌ها برطرف و پیش‌بینی‌ها به مقادیر مشاهده‌ای بیشتر نزدیک شود.

در این پژوهش داده‌های بارش ERA-Interim با داده‌های بارش مشاهده‌ای ۴۵ ایستگاه همدیدی کشور مورد مقایسه قرار گرفت تا دقت ERA-Interim در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون کشور مورد ارزیابی قرار گیرد. نتیجهٔ این بررسی نشان داد که ERA-Interim دقت بسیار زیادی در پیش‌بینی بارش بسیاری از نقاط کشور دارد. آماره‌های گوناگون آماری مورد استفاده در این پژوهش روشن ساخت که میزان خطای ERA-Interim در پیش‌بینی بارش بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی اندک و قابل چشم‌پوشی است. ازاین‌رو می‌توان از داده‌های بازتحلیل شده ERA-Interim برای انواع گوناگون تحقیقات هواشناسی، اقلیم‌شناسی و منابع آب در این مناطق استفاده کرد. نتیجهٔ این بررسی همچنین روشن ساخت که ERA-Interim بارش‌های فرین ایستگاه‌های ناحیهٔ ساحلی خزر را بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند که همین مسئله موجب کاهش میزان همبستگی بین داده‌های ERA-Interim و بارش واقعی ایستگاه‌های این ناحیه می‌شود.

اگرچه که ERA-Interim نمی‌تواند برخی بارش‌های فرین این ناحیه را به‌درستی پیش‌بینی کند ولی در صورت درنظر نگرفتن این تعداد محدود بارش فرین، می‌توان گفت که ERA-Interim در اکثر موارد پیش‌بینی قابل‌قبولی از بارش در این منطقه که توپوگرافی پیچیده‌ای نیز دارد، به‌دست می‌دهد. در برخی ایستگاه‌های ناحیهٔ ساحلی خلیج فارس نیز مقدار پیش‌بینی شده ERA-Interim تا حدودی کمتر از مقدار واقعی است هرچند که همبستگی خوبی بین ERA-Interim و داده‌های مشاهده‌ای بارش در این مناطق دیده می‌شود.

آماره‌های گوناگون نشان می‌دهد که هماهنگی خوبی بین بارش ERA-Interim و بارش مشاهده‌ای در ایستگاه‌های منطقهٔ شمال غرب و شمال شرق کشور وجود دارد. برخلاف وجود همبستگی قوی بین ERA-Interim و بارش مشاهده‌ای در این دو ناحیهٔ کوهستانی، مقدار بارش پیش‌بینی شده ERA-Interim برای اکثر ایستگاه‌های این مناطق بیشتر از مقدار واقعی است. شاید بیش برآورد بارش در این مناطق را بتوان به فقدان نمایش درست توپوگرافی این مناطق در مدل مربوط نسبت داد. برای روشن شدن این مسئله می‌باید ماه‌های متفاوت سال جداگانه مورد بررسی قرار گیرند تا مشخص شود که ERA-Interim در چه ماه‌هایی بیشترین و در چه ماه‌هایی کمترین هماهنگی را با داده‌های مشاهده‌ای این مناطق دارد و علل این تفات‌های احتمالی مورد کنکاش بیشتر قرار گیرد.

به‌طورکلی می‌توان گفت که داده‌های ERA-Interim برآورد درستی از بارش مناطق گوناگون کشور به‌دست می‌دهد و می‌توان از آن به‌ویژه برای مناطق فاقد آمار استفاده کرد. با توجه به طول دورهٔ آماری مناسب، دقت مکانی بسیار خوب و نیز به‌روز بودن این داده‌ها می‌توان با اطمینان از این داده‌ها در کنار داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی برای بررسی‌های گوناگون اقلیم‌شناسی و آب‌شناسی در کشور استفاده کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

تقوی، ف.، نیستانی، ا. و قادر، س.، ۱۳۹۲، ارزیابی پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بارش مدل عددی WRF در منطقهٔ ایران در دورهٔ یک ماهه، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۹(۲)، ۱۷۰-۱۴۵.

دارند، م. و زندکریمی، س.، ۱۳۹۴، واکاوی سنجش دقت زمانی-مکانی بارش پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوّی اروپایی (ECMWF) روی ایران زمین، م. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۴)، ۶۵۱-۶۷۵.

رضیئی، ط. و فتاحی، ا.، ۱۳۹۰، ارزیابی کاربرد داده‌های NCEP/NCAR در پایش خشک‌سالی ایران، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۲)، ۲۴۷-۲۲۵.

هدایتی دزفولی، ا. و آزادی، م.، ۱۳۸۹، راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش مدل منطقه‌ای MM5 روی ایران، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۶(۳)، ۱۲۹-۱۱۵.

Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., Dee, D., Dutra, E., Muñoz-Sabater, J., Pappenberger, F., de Rosnay, P., Stockdale, T. and Vitart, F., 2015, ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set, Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 389-407.

Belo-Pereira, M., Dutra, E. and Viterbo, P., 2011, Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula, Journal of Geophysical Research, Atmospheres, 116, D20101.

Bengtsson, L. and Shukla, J., 1988, Integration of space and in situ observations to study global climate change, Bull. Am. Meteorol. Soc., 69, 1130-1143.

Dee, D., Uppala, S., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, ACM., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., H´olm, E. V., Isaksen, L., Kallberg, P., Kohler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J. J., Park, B. K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Th´epaut, J. N. and Vitart, F., 2011, The ERA-Interim reanalysis, configuration and performance of the data assimilation system, Q. J. R. Meteorol. Soc., 137, 553-597.

deLeeuw, J., Methven, J. and Blackburn, M., 2014, Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations, Q. J. R. Meteorol. Soc., 141, 798-806.

Diro, G. T., Grimes, D. I. F., Black, E., O'Neill, A. and Pardo-Iguzquiza, E., 2009, Evaluation of reanalysis rainfall estimates over Ethiopia, Int. J. Climatol., 29(1), 67-78.

Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.-K., Hnilo, J. J., Fiorino, M. and Potter, G. L., 2002, NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2), Bull. Am. Meteorol. Soc., 83, 1631-1643.

Ma, L., Zhang, T., Frauenfeld. W., Oliver, Ye., Yang, D. and Qin, D., 2009, Evaluation of precipitation from the ERA-40, NCEP-1, and NCEP-2 Reanalyses and CMAP-1, CMAP-2, and GPCP-2 with ground-based measurements in China, J Geo Rese, 114, doi:10.1029/2008JD011178, 2009.

Moriasi, D. N., Arnold, M. W., Van Liew, R. L., Harmel, R. D. and T. L. Veith., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, Transactions of the ASABE, 50(3), 885-900.

Pena-Arancibia, J. L., Van dijk, A. I. J. M., Renzullo, L. J. and Mulligan, M., 2013, Evaluation of Precipitation Estimation Accuracy in Re-analyses, Satellite Products, and an Ensemble Method for Regions in Australia and South and East Asia, Jour Hydromet, 14, 1323-1333.

Raziei, T. and Pereira. S. L., 2013, Spatial variability analysis of reference evapotranspiration in Iranutilizing fine resolution gridded datasets, Agri Water Manage, 126, 104-118.

Raziei, T., Bordi, I. and Pereira, L. S., 2011, An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran, Water Resour Manage, 25, 1075-1086.

Raziei, T., Bordi. I., Pereira, L. S. and Sutera, A., 2010, Space-time variability of hydrological drought and wetness in Iran using NCEP/NCAR and GPCC datasets, Hydrol Earth Syst. Sci., 14, 1919-1930.

Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S. and Bordi, I., 2009, Spatial and temporal variability of drought in western Iran, Water Resour. Manage, 23, 439-455.

Archive of SID

www.SID.ir

Rhodes, R. I., Shaffrey, L. C. and Gray, S. L., 2015, Can reanalyses represent extreme precipitation over England and Wales?, Q. J. R. Meteorol. Soc, 141, 1114-1120.

Rubel, F. and Rudolf, B., 2001, Global daily precipitation estimates proved over the European Alps, Meteorol Z, 10(5), 407-418.

Schiemann, R., luthi, D., Luigi, V. P. and Schar, h., 2008, The precipitation climate of Central Asia – intercomparison of observational and numerical data sources in a remotesemiarid region, Int. J. Climatol, 28, 295-314.

Sodoudi, S., Noorian, A. M., Manfred, G. and Eberhard, R., 2010, Daily precipitation forecast of ECMWF verified over Iran, TheorApplClimatol, 99, 39-51.

Trenberth, K. E. and Olson, J. G., 1988, An evaluation and intercomparison of global analyses from NMC and ECMWF, Bull. Am. Meteorol. Soc., 69, 1047-1057.

Uppala, S. M., Kallberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., Da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G. A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R. P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A., Beljaars, A. C. M., Van De Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., H´olm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, L., Janssen, P., Jenne, R., McNally, A. P., Mahfouf J. F., Morcrette, J. J., Rayner, N. A., Saunders, R. W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P. and Woollen, J., 2005, The ERA-40 re-analysis, Q. J. R. Meteorol. Soc., 131, 2961-3012.

Wang, A. and Zeng, X., 2012, Evaluation of multireanalysis products with in situ observations over the Tibetan Plateau, Jour Geo Resea,117, D05102, doi: 10.1029/2011JD016553.

Zhao, T. and Fu, C., 2006, Comparison of products from ERA-40, NCEP-2, and CRU with station data for summer precipitation over China, Advances in Atmospheric sciences, 23, 593-604.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of the Earth and Space Physics, Vol. 43, No. 1, Spring 2017, P. 10

Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran

Raziei, T.[1*] and Sotoudeh, F.[2]

1. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran
2. Ph.D. Student, Faculty of Geography, University of Kharazmi, Tehran, Iran

(Received: 14 Nov 2015, Accepted: 31 Jan 2016)

Summary

The lack of reliable and updated precipitation datasets is the most important limiting factor in studying many climatological and hydrological topics including climate change and temporal variability of precipitation in many data sparse areas around the globe. This is particularly valid for Iran that encompasses vast deserts and un-settled hyper-arid climate areas (central-eastern Iran) that hinders establishing an adequate network of rain-gauge stations required for climatological studies. Similarly, the high elevation areas of mountainous regions of western and northern Iran suffer from limited representative stations. Using the gridded or reanalysis precipitation datasets could be one of the possible solutions to overcome this obstacle; knowing that the representativeness of these datasets that has been already proved for many different parts of the world. Amongst many available gridded precipitation datasets are the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) and the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) that have been widely used in many researches; indicating their accurate estimation of precipitation values and intra-annual variation for the regions studied. The reanalysis precipitation dataset which is a product of the Numerical Weather Prediction (NWP) models is an alternative source of precipitation data that is widely used in the literature and many authors have pointed to the relatively accurate precipitation prediction of reanalysis for many parts of the word. The two widely used reanalysis datasets are NCEP/NCAR and different products of ECMWF, namely ERA-15, ERA-40 and ERA-Interim reanalysis. ERA-Interim which is used in the present study is produced with T255 spectral resolution (about 80 km) and covers the period from January 1979 to present, with product updates at approximately 1 month delay from real-time (Dee et al., 2011; Balsamo et al., 2015). The ERA-Interim atmospheric reanalysis is built upon a consistent assimilation of an extensive set of observations (typically tens of millions daily) distributed worldwide (from satellite remote sensing, in situ, radio sounding, profilers, etc.). To develop the reanalysis, the analysis step combines the observations with a prior estimate of the atmospheric state (first-guess fields) produced with a global forecast model in a statistically optimal manner (Balsamo et al., 2015). The representativeness and performance of ERA-Interim in forecasting precipitation amount at 45 Iranian synoptic stations distributed across the country is herein examined. Spatial resolution of ERA-Interim dataset used in this study is 0.125 × 0.125 in latitude and longitude. For each station, the closest grid point of ERA-Interim to the station coordinates was chosen for a statistical comparison analysis. To evaluate the performance of the considered dataset when compared to the observed precipitation records at the considered locations we have used R squared, the Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient (EF), RMSE, Bias, B slope of the regression and the standardized RMSE indicators. The performance of the dataset was also graphically represented through scatter plots of the established regression between ERA-Interim and observation at the selected stations. The results of the statistical indicators were represented through plotting the indicators over the map of Iran to ease displaying spatial tendency of the indicators and explaining the possible geographical role in controlling the spatial variation of the indicators. The results indicate that the ERA-Interim performs well in majority of the studied stations with strong correlation coefficient. However, it was found that the ERA-Interim underestimates precipitation in most of the stations located in the coastal areas of the Caspian Sea as well as in some stations along the Persian Gulf and the Oman Sea, suggesting that ERA-Interim is somewhat inefficient in adequately forecasting precipitation in the coastal areas; very likely due to not properly taking into account the complex topography of the region in its model parameterization or not being able to adequately differentiate between land and sea characteristics for the stations very close to the sea. It should be noted that the ERA-Interim is less efficient in accurately forecasting extreme precipitation in the Caspian Sea region. Nevertheless, we found very high agreement between observations and ERA-Interim in this region when some extreme precipitation events were excluded from the analysis. Contrarily, the results suggest an over-estimation for most of the stations located in northwestern and northeastern mountainous areas of the country; once again due to perhaps improper representation of topography of these regions in the model.

Keywords: Precipitation, ECMWF, ERA-interim, Statistical indicators, Iran.

*Corresponding author: tayebrazi@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir