

واکاوی سنجش دقت زمانی - مکانی بارش پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF)^۱ بر روی ایران زمین

محمد دارند* - استادیار گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
سوما زندکریمی - دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۹/۲۷

چکیده

برای اجرای این پژوهش، مقادیر بارش شبکه‌ای سه‌ساعتی نسخه ERA-Interim پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) بر روی گستره ایران با تفکیک مکانی ۱/۲۵ درجه قوسی طی بازه زمانی ۱۹۷۹/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ استخراج شد. طی این بازه زمانی، داده‌های بارش مشاهده شده بر روی پیمونگاه‌های همدید و پایگاه داده ملی اسفزاری نیز آماده شد. یافته‌ها نشان داد که نه تنها از نگاه هماهنگی زمانی، بلکه به لحاظ مقدار نیز همانندی بسیار زیادی بین مقادیر برآوردشده بارش پایگاه داده ECMWF با مقادیر مشاهده شده بارش دو پایگاه ایران وجود دارد. از نگاه مکانی، بر روی رشته کوه‌های زاگرس، جنوب غرب و شمال شرق کشور هماهنگی زمانی و همانندی مقادیر نسبت به دیگر مناطق گستره ایران بیشینه است. مقدار اریبی (Bias) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) بر روی هسته‌های پربارش سواحل جنوبی دریای خزر و زاگرس میانی نسبت به دیگر مناطق زیاد است؛ ولی مقدار خطای برآورد بارش پایگاه ECMWF در مقایسه با مقدار بارش دریافتی بر روی این مناطق، بسیار ناچیز است. نمایه‌های احتمال آشکارسازی (POD) روزهای بارانی، نسبت هشدار اشتباه (FAR) روزهای غیربارانی و آستانه موفقیت (CSI) پایش روزهای بارانی و غیربارانی بیان‌کننده عملکرد مناسب پایگاه داده ECMWF در شناخت درست آنها بر روی زاگرس، سواحل جنوبی دریای خزر و شمال شرق کشور است.

کلیدواژه‌ها: اسفزاری، ایران، بارش، پایگاه داده ECMWF

مقدمه

پایش دقیق بارش در زمان و مکان‌های مختلف نه تنها برای دانشمندان علوم جوی، بلکه برای عده کثیری از مدیران و برنامه‌ریزان محیطی در حیطه هیدرولوژی، کشاورزی، محیط‌زیست، صنایع و غیره حائز اهمیت است. شناختی که از راه پایش بارش حاصل می‌شود، اطلاعات بسیار مهمی را در زمینه چرخه آب جهانی و پراکنش گرمای نهانی آب در مقیاس کره زمین به دست می‌دهد که در یک پس‌خور، به‌طور مستقیم بر گردش جو سیاره‌ای اثر می‌گذارد. هماهنگ با ورود ماهواره‌ها در دانش هواشناسی طی دهه ۱۹۷۰، دانشمندان روش‌هایی را برای برآورد بارش کل کره زمین از راه مشاهدات

1. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

* E-mail: m.darand@uok.ac.ir

رادیومتریک ماهواره‌ها به دست دادند. نخستین روشی که به کار گرفته شد، بر پایه داده‌های مرئی و مادون قرمز بود که شدت بارش را به کمک بازتابش حاصل از ابرها (به صورت مرئی) و دمای بالای ابرها (به صورت مادون قرمز) برآورد می‌کرد. از آنجاکه ارتباط بین ویژگی‌های ابر و بارش ضعیف است، شناختی که از راه روش‌های به کار بسته شده به دست می‌آمد، اطلاعات جزئی و خامی از بارش بود. با گسترش سنجنده‌های کهموج غیرفعال در دهه ۱۹۸۰ که خورشیدآهنگ بودند، برآورد بسیار دقیق‌تری از بارش نسبت به داده‌های مرئی و مادون قرمز به دست آمد (ایبرت و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه سنجنده‌های ماهواره‌ای کهموج غیرفعال آگاهی‌های بیشتری نسبت به سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی به دست می‌دهند و مشاهدات آنها اغلب به نسبت در دسترس‌تر است، به دلیل وقفه‌های زمانی و مکانی، نیازمند الگوریتم‌هایی است که مشاهدات را با همدیگر ترکیب کند (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰؛ جویس و همکاران، ۲۰۰۴؛ هافمن و همکاران، ۲۰۰۷). امروزه شمار فراورده‌های مبتنی بر اطلاعات ماهواره‌ای، در حال گسترش است و آگاهی‌هایی از بارش را در زمان نزدیک به واقعیت به دست می‌دهد (ایبرت و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش، مقادیر بارش برآوردشده نسخه ERA-Interim مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی بر روی ایران زمین ارزیابی شد. به کمک نسخه‌های مختلف داده‌های بارش که این مرکز عرضه کرده است، پژوهش‌های زیادی در سطح جهان صورت گرفته که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

ژاو و فو بارش تابستانه چین را با استفاده از داده‌های بارش پایگاه‌های ERA-40، NCEP-2 و CRU طی بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۰ بررسی کردند. هدف پژوهش آنها، صحت‌سنجی داده‌های بارش پایگاه‌های یادشده بود. آنها برای نیل به این هدف، مقادیر بارش پایگاه‌های یادشده را با مقادیر بارش ایستگاه‌های زمینی مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد پایگاه داده CRU بهتر از دیگر پایگاه‌هاست. مقادیر بارش برآوردشده نسخه ERA-40 کمتر از مقدار واقعی بارش این منطقه است؛ درحالی‌که بارش برآوردشده NCEP-2 بیشتر از مقدار بارش مشاهده‌شده بر روی ایستگاه‌های زمینی است. همچنین، براساس نتایج این پژوهش، تفاوت مقادیر بارش نسخه ERA-40 با پایگاه داده‌های زمینی در مقایسه با NCEP-2 کمتر است (ژاو و فو، ۲۰۰۶). بوسلوویچ و همکاران (۲۰۰۸) نیز به واکاوی جهانی و منطقه‌ای بارش بر پایه داده‌های بارش پایگاه‌های GPCP، ERA-40، CMAP و NCEP/NCAR پرداختند. آنها علاوه بر پایگاه‌های یادشده، از داده‌های بارش GEOS4 و JAR-25 نیز بهره گرفتند. هدف آنها شناخت تفاوت، همسانی و نقاط قوت و ضعف داده‌های واکاوی شده بود. براساس نتایج این پژوهش، هرکدام از پایگاه‌های استفاده‌شده بر روی پهنه‌های مکانی خاصی همبستگی و هماهنگی دارند. دایرو و همکاران (۲۰۰۹) دقت مقادیر بارش پایگاه‌های داده ERA-40 و NCEP/NCAR را در تحلیل مکانی و تغییرپذیری بارش فصلی و سالانه اتیوپی در مقایسه با داده‌های زمینی ارزیابی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که اگرچه دو پایگاه یادشده مقدار بارش را در برخی مناطق بیشتر و در برخی مناطق کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند، به‌طور کلی مقادیر بارش برآوردشده در هر دو پایگاه در مقایسه با داده‌های زمینی، الگوی وردایی مکانی بارش را به‌خوبی نشان می‌دهد.

سیمونز و همکاران (۲۰۱۰) مقادیر بارش برآوردشده دو نسخه پایگاه داده ECMWF (ERA-40 و ERA-Interim) را با مقادیر بارش پایگاه‌های داده نسخه جدید مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (ECMWF)، مرکز پیش‌بینی

اقليمی (CPC)، طرح اقليم‌شناسی بارش جهانی (GPCP)، تحلیل ادغام‌شده بارش (CMAP) و بارش روی خشکی (PREC/L) مقایسه کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که هماهنگی بین مقادیر بارش نسخه جدید ECMWF و آخرین نسخه پایگاه داده GPCP با مقادیر بارش ECMWF به نسبت دیگر پایگاه‌ها بیشتر است. مقادیر بارش برآوردشده نسخه ERA-Interim نسبت به نسخه ERA-40 همبستگی بیشتری را با دو پایگاه ECMWF و GPCP نشان داد. بالسامو و همکاران (۲۰۱۰) دقت مقادیر بارش برآوردشده نسخه ERA-Interim از پایگاه ECMWF را بر روی ایالات متحده آمریکا در بازه زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که بر روی منطقه واکاوی شده در بازه زمانی سالانه، مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF هماهنگی مناسبی با مقادیر بارش پایگاه GPCP v2.1 دارد و همبستگی مکانی مقادیر بارش این پایگاه با داده‌های PRISM طی بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۰۰ برابر با ۰/۸۵ است. همچنین، آنها یک روش آماری برای واسنجی و کاهش خطای مقادیر بارش برآوردشده ERA-Interim عرضه کردند که در نتیجه آن، هماهنگی بین مقادیر بارش این پایگاه با دیگر پایگاه‌های بارشی بیشتر شد و مقدار همبستگی ۰/۰۵ افزایش یافت. بلوپیرا و همکاران نیز بارش شبه‌جزیره ایبری را با استفاده از داده‌های بارش نسخه ERA-Interim و ERA-40 از پایگاه داده ECMWF و پایگاه‌های GPCP و CRU بررسی و مقادیر بارش پایگاه‌های یادشده را با مقادیر بارش پایگاه ملی IBO2 (داده‌های ملی اسپانیا و پرتغال) طی بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۳ مقایسه کردند. بر پایه نتایج این پژوهش، مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF، بهترین داده برای شناخت ویژگی‌های بارش این منطقه است. فراوانی روزهای مرطوب براساس داده‌های بارش نسخه ERA-Interim در مقایسه با داده‌های پایگاه ملی، بیشتر است و نسخه ERA-40 بارش‌های سنگین را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. عملکرد و کارایی داده‌های پایگاه CRU بر روی منطقه پژوهش، همانند پایگاه داده ERA-Interim است (بلوپیرا و همکاران، ۲۰۱۱). اسززیپتا و همکاران (۲۰۱۱) داده‌های نسخه جدید ERA-Interim از پایگاه داده ECMWF را بر روی کشور فرانسه ارزیابی کردند. آنها برای سنجش دقت داده‌های این پایگاه، مقادیر برآوردشده سنج‌های بارش، دما، رطوبت، تابش ورودی خورشید و سرعت باد را با مقادیر پایگاه داده ملی کشور فرانسه (SAFRAN) با تفکیک مکانی ۸ کیلومتر مقایسه کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که اگرچه مقادیر برآوردشده بارش این پایگاه ۲۷ درصد کمتر از مقادیر مشاهده شده است، همبستگی بسیار خوبی با داده‌های بارش پایگاه ملی دارد. در نسخه اصلاح‌شده این پایگاه بر پایه مقادیر پایگاه GPCP مقدار خطا به نسبت کمتر و حدود ۱۳ درصد است. خان و همکاران (۲۰۱۵) به کمک داده‌های شبکه‌بندی شده بارش، وردایی مکانی مقدار بارش در ارتفاع‌های متفاوت را بر روی حوضه رودخانه سند و هندوکش - کاراکورام - هیمالیا واکاوی کردند. آنها در این پژوهش از داده‌های بارش مربوط به هشت پایگاه داده GPCP، CMAP، CPC، CRU، APHRODITE، NCEP/NCAR، ERA-Interim و TRMM بهره گرفتند. آنها علاوه بر مقادیر بارش پایگاه‌های یادشده، از داده‌های بارش سنجنده MODIS نیز استفاده کردند و برای ارزیابی دقت و صحت مقادیر این پایگاه‌ها، از ۴۶ ایستگاه زمینی بهره جستند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار بارش برآوردشده همه پایگاه‌های داده بارش واکاوی شده، به‌طور چشمگیری کمتر از مقدار مشاهده شده بر روی ایستگاه‌هاست. در بین پایگاه‌های داده‌های واکاوی شده، مقادیر بارش برآوردشده پایگاه NCEP/NCAR و ERA-

Interim نسبت به دیگر پایگاه‌ها تشابه بیشتری با داده‌های زمینی دارد. در بررسی مشابهی، کیشور و همکاران (۲۰۱۵) به کمک پایگاه‌های داده ERA-Interim، GPCP، JRA-25، CSFR و داده‌های شبکه‌بندی‌شده IMD (داده‌های ملی هند) بارش هند را در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷ بررسی کردند. آنها علاوه بر بررسی بارش، اعتبار و صحت داده‌های استفاده‌شده را تجزیه و تحلیل کردند. بر پایه نتایج این پژوهش، مقادیر بارش برآوردشده این پایگاه‌ها، به‌طور تقریبی مشابه مقادیر بارش داده‌های IMD است. البته گفتنی است تفاوت‌هایی بین سری زمانی مقادیر بارش پایگاه‌ها با پایگاه ملی وجود دارد که به لحاظ مکانی اغلب بر روی شمال غرب، سواحل غربی و غرب هیمالیا مشاهده می‌شود. آنها بر این باورند که در بین پایگاه‌های داده واکاوی‌شده، داده‌های پایگاه ERA-Interim نسبت به دیگر پایگاه‌ها بهتر عمل می‌کند.

در ایران زمین تاکنون پژوهشی در زمینه به‌کارگیری داده‌های شبکه‌ای مرکز ECMWF برای ارزیابی بارش انجام نگرفته است. هدف این پژوهش، ارزیابی مقدار صحت و دقت داده‌های بارش مرکز ECMWF در برآورد بارش ایران زمین است.

مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش، واکاوی دقت مقادیر بارش برآوردشده پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی بر روی گستره ایران زمین است. برای نیل به این هدف، داده‌های بارش سه‌ساعته این پایگاه بر روی ایران زمین، طی بازه زمانی ۱۹۷۹/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ استخراج و به‌صورت تجمعی تبدیل به مقادیر روزانه، ماهانه و سالانه شد. طی این بازه زمانی، مقادیر بارش مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدید (Stations) و مقادیر بارش شبکه‌ای پایگاه داده ملی اسفزاری بر روی گستره ایران زمین نیز دریافت شد. از آنجاکه تفکیک مکانی پایگاه‌های یادشده با همدیگر متفاوت است، برای مقایسه و ارزیابی دقت مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF، ابتدا تفکیک مکانی آنها به کمک تابع نزدیک‌ترین همسایه همسان‌سازی شد. تفکیک مکانی پایگاه داده بارش ECMWF، $0/125$ درجه طول و عرض قوسی است؛ در حالی که تفکیک مکانی پایگاه داده بارش اسفزاری 15×15 کیلومتر و شمار پیمونگاه‌های همدید به‌کار بسته‌شده در این پژوهش، ۴۵ پیمونگاه است که بر روی گستره ایران زمین پراکنده شده‌اند. به دلیل تراکم بیشتر یاخته‌های پایگاه ECMWF نسبت به دو پایگاه داده اسفزاری و پیمونگه‌های همدید، نزدیک‌ترین یاخته مکانی این پایگاه داده به یاخته‌های مکانی پایگاه داده اسفزاری و پیمونگه‌های همدید برای مقایسه و ارزیابی گزینش شد. همچنین به دلیل آنکه فاصله بین دو یاخته مکانی با تفکیک $0/125$ درجه قوسی در راستای محور y (عرض جغرافیایی) متغیر است، برای برآورد میانگین وزنی بارش بر روی گستره ایران زمین به‌مثابه یک واحد پژوهشی، کسینوس عرض جغرافیایی $\cos(\text{Lat})$ به‌منزله وزن داده‌ها در نظر گرفته شد.

$$IranP_i = \frac{\sum_{j=1}^N \cos(\text{lat})_j P_{i,j}}{\sum_{j=1}^N \cos(\text{lat})_j}, \quad (1)$$

که در آن، $IranP_i$ میانگین وزنی بارش پهنه ایران زمین در روز i ام و $P_{i,j}$ مقدار بارش دریافتی بر روی یاخته i ام در روز j ام است.

مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF)

مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی، سازمان بین‌المللی مستقلی بوده که با عضویت کشورهای مختلفی در سطح جهان شکل گرفته است. داده‌های واکاوی مرکز ECMWF نتیجه برهم‌کنش پیچیده‌ای میان داده‌های موجود و نتایج الگوهای جوی بوده که به‌صورت داده‌های شبکه‌بندی عرضه شده است. از زمان تأسیس این مرکز تا کنون، نسخه‌های متفاوتی از داده‌های بارش ایجاد شده که در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. نسخه‌های عرضه‌شده پایگاه ECMWF از زمان تأسیس تا کنون

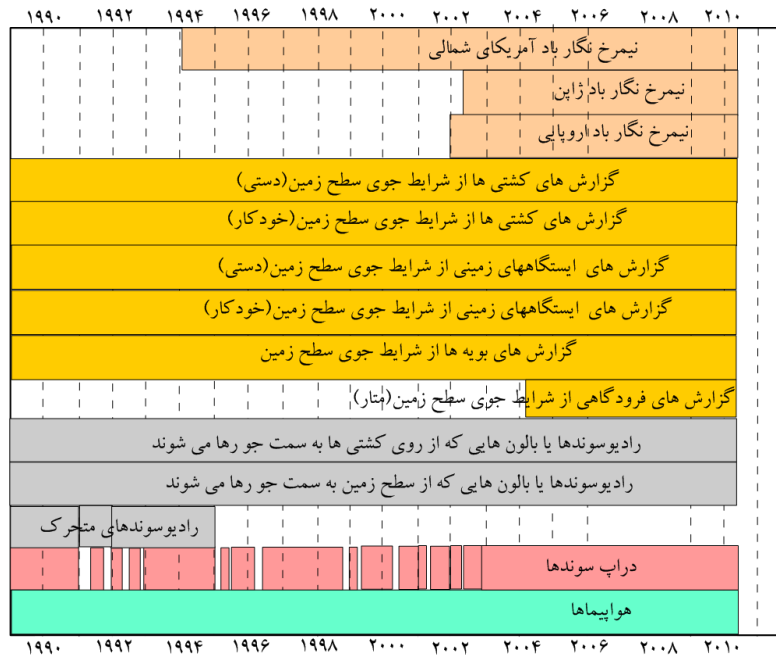
نام نسخه	بازه زمانی داده‌ها
ERA-Interim	۱۹۷۹ به بعد
ERA-Interim/land	۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰
ERA-2CM	۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰
ERA-20C	۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰
ERA-20CL	۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰
ERA-40	۱۹۷۵ تا ۲۰۰۳
ERA-15	۱۹۷۹ تا ۱۹۹۳

جدیدترین محصول عرضه‌شده این پایگاه داده، نسخه ERA-Interim است. این نسخه ویرایشی، نسخه واکاوی جو جهانی است که از سال ۱۹۷۹ به بعد را دربر می‌گیرد. ابتدا مقادیر بارش برآوردشده یاخته‌ای نسخه ERA-Interim از سال ۱۹۸۹ به بعد تهیه و سپس، در سال ۲۰۱۱ مقادیر بارش ده‌ساله ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۹ تولید شد. این پایگاه داده شامل مقادیر بارش زمان واقعی است و آرشیو داده‌های آن هر ماه یک‌بار به‌روز می‌شود. پروژه تولید نسخه ERA-Interim از سال ۲۰۰۶ آغاز شد و هدف اصلی آن، بهبود و ارتقای برخی از ویژگی‌های نسخه ERA-40 از جمله نشان دادن چرخه هیدرولوژیکی، چندوچون گردش‌های جوی در پوش‌سپهر، کاهش مقادیر اریب و خطا و درنهایت تغییر در سامانه پیش‌بارش بود. این سازمان به‌کمک ارتقای بسیار چشمگیر در بسیاری از الگوها، به‌کارگیری تحلیل‌های ۴ به بعد متغیر، اصلاح تحلیل‌های مربوط به رطوبت، به‌کارگیری اصلاحات متفاوت برای کاهش اریب و خطا در داده‌های ماهواره‌ای و ارتقای روش‌های کنترل داده‌ها به اهداف یادشده دست یافت. در پژوهش یوپالا و همکاران (۲۰۰۵) مشکلات مختلف نسخه ERA-40 در شبیه‌سازی رطوبت آمده است؛ مشکلاتی که به نشان دادن بارش بسیار بیشتر از مقادیر واقعی بر

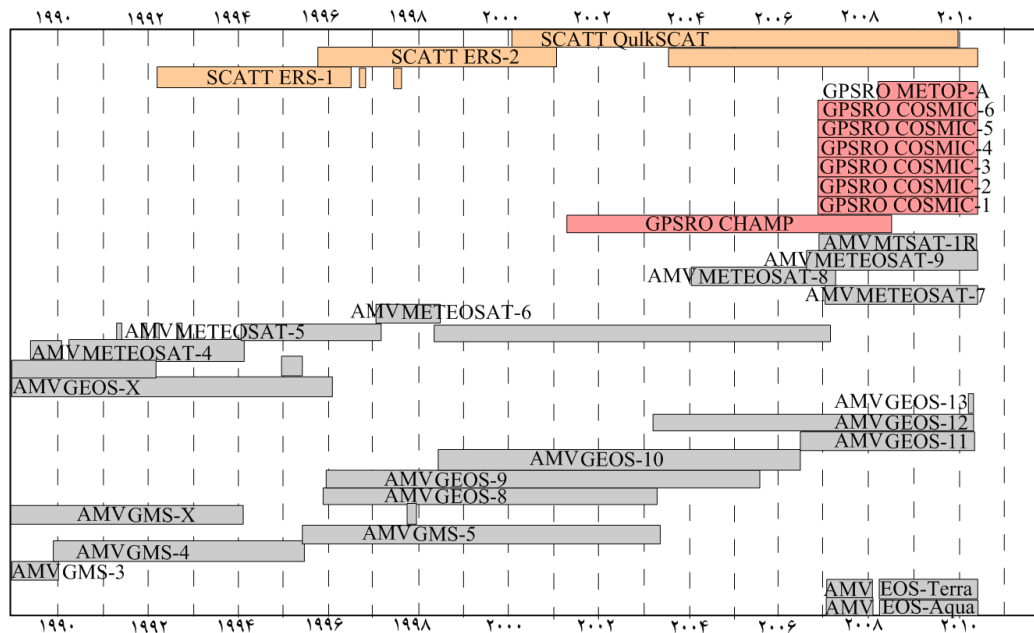
روی اقیانوس‌های مناطق حاره‌ای و انتقال ضعیف رطوبت جو بر روی کل کره زمین منجر می‌شود. در پژوهش دی و یوپالا (۲۰۰۹) جزئیات کامل نتیجه اصلاحات انجام گرفته بر روی داده‌ها و کاهش خطا آمده است. بر روی خشکی‌ها اطلاعات استفاده شده به وسیله الگو، برای برآورد بارش تحت شعاع مقادیر دما و رطوبت اندازه‌گیری شده با رادیوسوندها و پیمونگه‌های زمینی است. کیفیت مقادیر بارش برآورد شده بر روی خشکی‌ها بسیار بیشتر از اقیانوس‌هاست. اگرچه پیمونگه‌های باران سنج زمینی و تصاویر ماهواره‌ای هم خطا و اریب دارند، برآورد بارش بر پایه مشاهدات پیمونگه‌های باران سنجی بر روی خشکی‌ها واقعی‌تر از برآورد بر پایه اطلاعات به دست آمده از امواج کوتاه و تصاویر سنجش از دوری روی اقیانوس‌هاست (دی و همکاران، ۲۰۱۱). به طور کلی، منابع داده برآورد بارش و دیگر کمیت‌های هواشناسی در نسخه ERA-Interim پایگاه ECMWF را می‌توان به دو گروه دسته‌بندی کرد: الف) داده‌های حاصل از ابزار هواسنجی سنتی و ب) داده‌های ماهواره‌ای. سیر زمانی به کارگیری مشاهدات ثبت شده ابزار هواسنجی در نسخه ERA-Interim پایگاه ECMWF در شکل ۱ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به کمک سنج‌های هواشناسی گزارش شده ایستگاه‌های زمینی، کشتی‌ها، بویه‌ها، رادیوسوندها، بالون‌های پرتاب شده از ایستگاه‌های سطح زمین، دراپ‌سوندها و گزارش‌های هواپیماها مقادیر بارش طی دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۱ شبیه‌سازی و برآورد شده است. داده‌های حاصل از گزارش‌های فرودگاهی متار از سال ۲۰۰۴، داده‌های نیم‌رخ نگار باد بر روی آمریکای شمالی از سال ۱۹۹۴ و داده‌های نیم‌رخ نگار باد بر روی اروپا و ژاپن از سال ۲۰۰۲ به منابع داده مرکز یاد شده اضافه شد (دی و همکاران، ۲۰۱۱). شکل ۲ سیر زمانی به کارگیری مشاهدات ثبت شده ماهواره‌های هماهنگ بردار حرکت جوی^۱ (AMV) و گزارش روش عبور از لایه‌های جو سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۲ (GPS) در نسخه ERA-Interim پایگاه ECMWF را نشان می‌دهد. از دسامبر ۲۰۰۶ حجم زیادی از داده‌ها از شش ماهواره COSMIC دریافت می‌شود که به صورت فلکی در آسمان قرار گرفته‌اند. با نصب ابزار GRAS بر روی ماهواره MetOp_A از مه ۲۰۰۸ به بعد نیز از این منبع داده بهره گرفته می‌شود. روش عبور از لایه‌های جو سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) اطلاعاتی از نیم‌رخ عمودی دمای و رطوبت و پوشش سپهر به دست می‌دهد. پولی و همکاران (۲۰۱۰) جزئیات مربوط به به کارگیری این داده‌ها در نسخه ERA-Interim پایگاه ECMWF را بیان کرده‌اند. از داده‌های ماهواره‌هایی که نسبت به زمین ثابت‌اند از جمله Meteosat، GOES، GMS و MTSAT نیز برای آگاهی از ویژگی‌های باد در ترازهای بالا در عرض‌های بین ۵۵ درجه جنوبی تا ۵۵ درجه شمالی استفاده می‌شود. برای شناخت ویژگی‌های باد در عرض‌های بالا، از سنجنده‌های EOS-Terra و EOS-Aqua که بر روی ماهواره قطب‌آهنگ MODIS سوارند، بهره گرفته می‌شود. گفتنی است برای شناخت برخی کمیت‌های هواسنجی از داده‌های حاصل از ماهواره‌های دیگر نیز استفاده می‌شود. برای نمونه، به منظور آگاهی از مقدار ازن در جو از سنجنده‌های TOMS و SBUV بر روی ماهواره Terra کمک گرفته می‌شود.

1. Satellite Atmospheric Motion Vector (AMV)

2. GPS Radio Occultation (GPSRO)



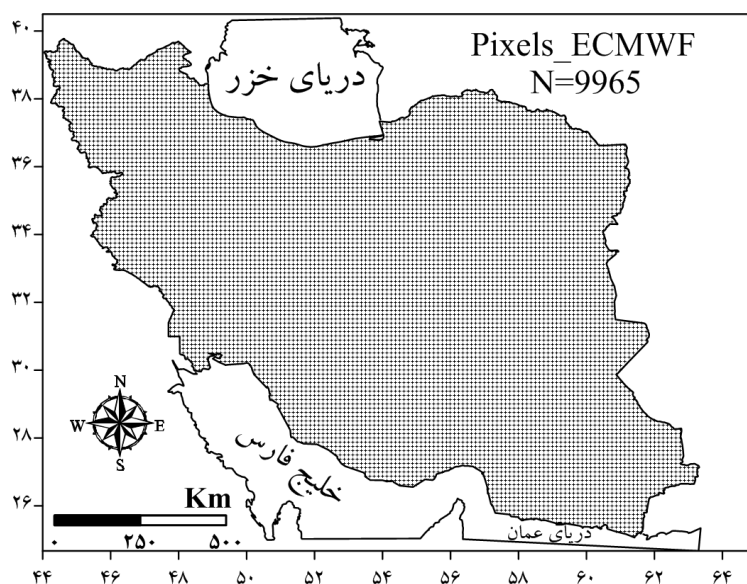
شکل ۱. سیر زمانی به کارگیری مشاهدات ثبت شده ابزارهای هواسنجی در نسخه ERA-Interim پایگاه ECMWF



شکل ۲. سیر زمانی به کارگیری مشاهدات ثبت شده ماهواره های هماهنگ بردار حرکت جوی (AMV) و گزارش روش عبور از لایه های جو سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS) در نسخه ERA-Interim پایگاه ECMWF

شبه سازی و تحلیل داده های نسخه ERA-Interim چهار بار در روز برای ساعت های ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸ به وقت گرینویچ انجام می گیرد. مقدار بارش ساعت ۰۰ به وقت گرینویچ، در هر روز مقادیر تجمعی بارشی را نشان می دهد که بین ساعت ۱۵ روز قبل تا ساعت ۰۳ همان روز مشاهده شده است؛ در حالی که مقدار بارش ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ،

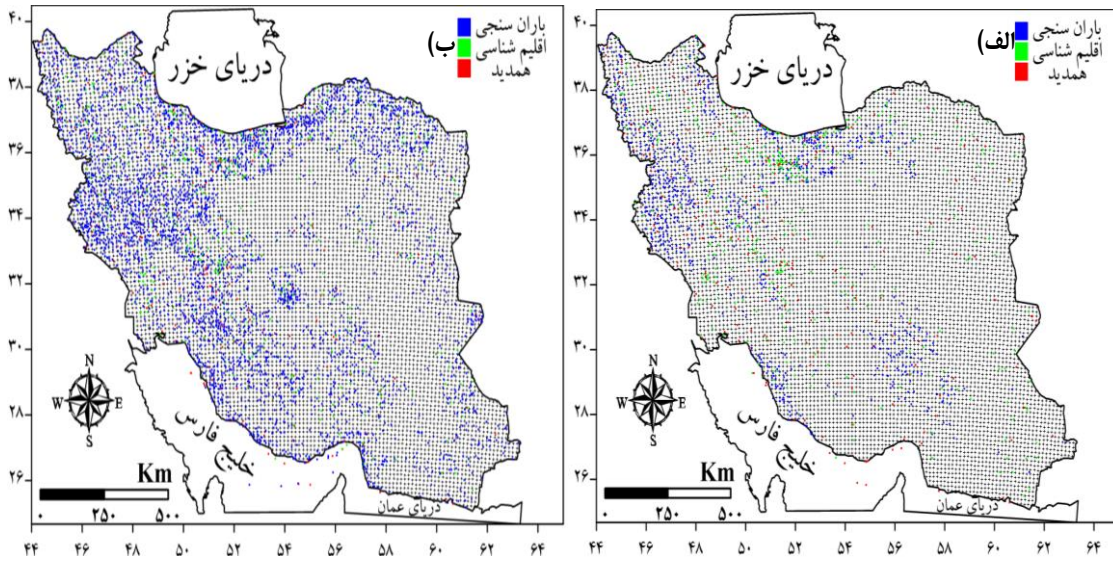
مقادیر تجمعی بارش بین ساعت‌های ۰۳ تا ۱۵ همان روز را بیان می‌کند. برای دیده‌بانی‌های سه‌ساعته نیز در ساعت‌های ۰۳، ۰۶، ۰۹ و ۱۲ مقادیر بارش پیش‌بینی می‌شود. به‌لحاظ تفکیک مکانی، پایگاه داده ERA-Interim دارای ۹ نسخه با تفکیک‌های مکانی ۳، ۲/۵، ۱/۵، ۱/۱۲۵، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ درجه قوسی است. برای اجرای این پژوهش از داده‌های بارش سه‌ساعته نسخه ERA-Interim با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه قوسی استفاده شد. بر پایه تفکیک مکانی یادشده، ۹۹۶۵ یاخته در داخل مرزهای ایران زمین قرار می‌گیرد که موقعیت مکانی آنها در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳. موقعیت مکانی یاخته‌های پایگاه داده ECMWF با تفکیک مکانی 0.125 درجه قوسی بر روی ایران زمین

پایگاه داده بارش اسفزاری (ASFEZARI)

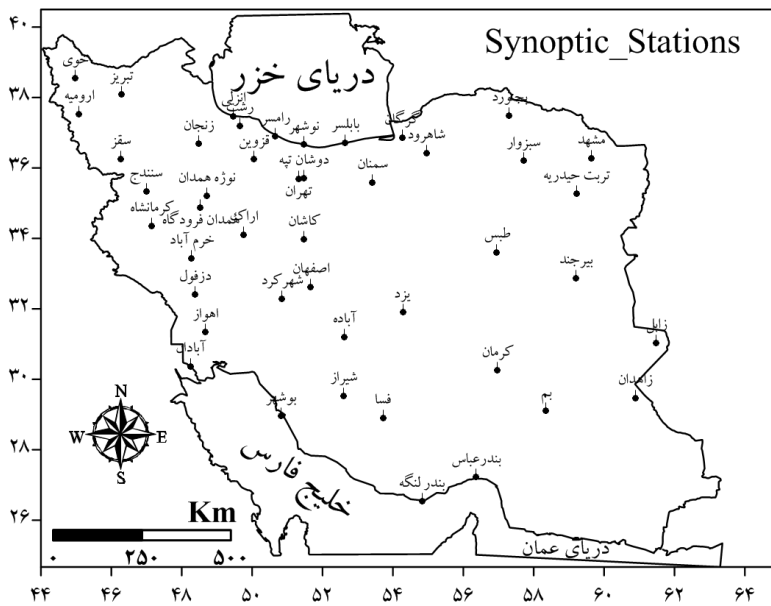
پایگاه داده شبکه‌ای بارش اسفزاری را مسعودیان (۱۳۸۴) در دانشگاه اصفهان ایجاد کرده است. این پایگاه داده به کمک داده‌های بارش روزانه ۱۴۳۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی بر روی گستره ایران زمین طی بازه زمانی ۱۹۶۱/۰۳/۲۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ فراهم شده است. برای انجام دادن میان‌یابی از روش زمین‌آماری کریجینگ بهره گرفته شده است. این پایگاه به افتخار اقلیم‌شناس برجسته ایرانی، ابوحاتم اسفزاری نام‌گذاری شده است. مقادیر بارش بر روی یاخته‌های 15×15 کیلومتر بر روی پهنه ایران زمین برآورد شده که حاصل آن ماتریسی در ابعاد 15992×7187 است که بر روی ردیف‌ها زمان (روز) و بر روی ستون‌ها مکان (یاخته) قرار دارد. نسخه دوم این پایگاه داده بر پایه داده‌های روزانه ۴۴۲۰ پیمونگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی برای بازه زمانی ۲۰۰۵/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ با همان رویکرد به کار گرفته شده در نسخه اول به روز شده است (شکل ۴)؛ به‌یانی دیگر مقادیر بارش ۳۲۸۷ روز دیگر به نسخه نخست پایگاه داده اسفزاری اضافه شد و در نهایت ماتریسی با بزرگی 19279×7187 به دست آمد. از آنجاکه هدف این پژوهش مقایسه و ارزیابی دقت مقادیر بارش پایگاه داده ECMWF است، بازه زمانی مشترک ۱۹۷۹/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ از این پایگاه نیز برگزیده شد.



شکل ۴. موقعیت مکانی یاخته‌ها و پیمونگاه‌های همدید، اقلیمی و باران‌سنجی بر روی ایران زمین. الف) نسخه نخست پایگاه داده اسفزاری؛ ب) نسخه دوم

پایگاه داده بارش پیمونگاهی (Stations)

علاوه بر پایگاه داده بارش اسفزاری، داده‌های بارش روزانه مربوط به ۴۵ پیمونگاه همدید بر روی گستره ایران زمین طی بازه زمانی مشترک (۱۹۷۹/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱) نیز برای مقایسه با مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF واکاوی شد. دلیل به کارگیری پیمونگاه‌های یادشده، کامل بودن سری زمانی داده‌های بارش آنها بود. در شکل ۵، موقعیت مکانی پیمونگاه‌های همدید به کار گرفته شده در این پژوهش آمده است.



شکل ۵. موقعیت مکانی پیمونگاه‌های همدید واکاوی شده بر روی گستره ایران زمین

برای شناخت و ارزیابی مقدار دقت و صحت داده‌های بارش پایگاه ECMWF در مقایسه با داده‌های پایگاه ملی اسفزاری و داده‌های پیمونگاهی، نمایه‌های زیر به کار گرفته شد:

ضریب همبستگی پیرسون (R): از این نمایه برای شناخت ارتباط بین دو سری زمانی بارش بر روی یک مکان (یاخته یا پیمونگاه) مربوط به دو پایگاه ECMWF و پایگاه ملی اسفزاری یا پایگاه ECMWF و پایگاه داده پیمونگاهی همدید بهره گرفته شد:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \quad (2)$$

که در آن، p_i مقدار بارش برآوردشده پایگاه داده ECMWF و o_i مقادیر بارش مشاهده‌شده پایگاه داده اسفزاری یا مقادیر بارش مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدید است.

ضریب تعیین (R^2): این نمایه توان دوم ضریب همبستگی بین دو پایگاه داده است و مقدار کل وردایی مقادیر بارش مشاهده‌شده الگوی خطی را می‌سنجد و همانند همبستگی، مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \right]^2 \quad (3)$$

از آنجاکه ضریب همبستگی و ضریب تعیین تنها رابطه خطی بین دو متغیر را می‌سنجند، قدرت آنها در حد استاندارد کردن تفاوت میانگین و پراش مقادیر مشاهده‌شده و برآوردشده است؛ بنابراین نسبت اختلاف بین داده‌ها را در نظر نمی‌گیرند (ویلومت، ۱۹۸۴). به زبان ریاضی، اگر در نظر بگیریم که $p_i = (A o_i + B)$ باشد، آن گاه به ازای هر مقداری غیر از صفر A و هر مقداری از B، مقدار R^2 برابر با یک خواهد بود؛ حتی اگر بزرگی و تغییرپذیری مقادیر دو سری A و B تفاوت بسیار زیادی با هم داشته باشد.

ضریب کارایی ناش - ساتکلیف^۱: این نمایه را ناش و ساتکلیف در سال ۱۹۷۰ عرضه کردند. مقادیر حاصل از آن بدون بعد است و بین عدد یک تا منفی بی‌نهایت متغیر است. هر اندازه مقدار شاخص به عدد یک نزدیک باشد، هماهنگی بین دو سری بیشتر است. دقت شاخص E در ارزیابی مقادیر برآوردشده بیشتر از ضریب تعیین (R^2) است؛ چراکه مقدار ضریب تعیین، نسبت به اندازه تفاوت بین مقادیر برآوردشده و مشاهده‌شده حساسیتی ندارد. از آنجاکه تفاوت مقادیر دو سری در این رابطه به توان دو می‌رسد، همانند ضریب تعیین، مقدار E نیز بیش از حد به مقادیر فرین حساس است (لیگیتس و مک کیب، ۱۹۹۹):

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2} \quad (۴)$$

که در آن، o_i مقدار بارش برآوردشده پایگاه داده اسفزاری یا پیمونگاه‌های استفاده‌شده و p_i برابر با مقدار بارش برآوردشده پایگاه داده ECMWF است. شاخص E نسبت میانگین مربع خطا (MSE) به پراش داده‌های مشاهده‌شده است که از واحد یک کم می‌شود. اگر توان دوم تفاوت بین مقادیر برآوردشده و مشاهده‌شده هم‌اندازه مقدار تغییرپذیری داده‌های مشاهده‌شده باشد، مقدار E برابر با صفر خواهد بود و اگر توان دوم تفاوت بین مقادیر برآوردشده و مشاهده‌شده بزرگ‌تر از مقدار تغییرپذیری داده‌های مشاهده‌شده باشد، مقدار E کوچک‌تر از صفر خواهد بود؛ به بیانی دیگر به کارگیری میانگین مقادیر مشاهده‌شده \bar{o} بهتر از مقادیر برآوردشده p_i خواهد بود. اگر مقدار E صفر شود، بین میانگین مقادیر مشاهده‌شده \bar{o} و مقادیر برآوردشده p_i تفاوتی وجود ندارد. در صورتی که مقدار E کوچک‌تر از صفر شود، به کار بستن میانگین مقادیر مشاهده‌شده \bar{o} پیش‌بینی‌کننده بهتری نسبت به مقادیر برآوردشده p_i خواهد بود (ویلکاکس و همکاران، ۱۹۹۰):

$$MSE = N^{-1} \sum_{i=1}^N (o_i - p_i)^2 \quad (۵)$$

نمایه توافق (IA): نمایه‌ای بدون بعد است که آن را ویلموت در سال ۱۹۸۱ عرضه کرد. هدف وی آن بود که حساس نبودن شاخص‌های مبنی بر همبستگی را به تفاوت بین میانگین و پراش مقادیر داده‌های مشاهده‌شده و برآوردشده، با طرح این نمایه حل کند. این نمایه مقدار توافق بین دو سری داده مقایسه‌ای را می‌سنجد. در این نمایه، اندازه‌گیری و سنجش همبستگی مد نظر نیست؛ بلکه مقدار عاری بودن از خطای مقادیر برآوردشده را ارزیابی می‌کند. مقدار نمایه IA بین دو عدد صفر و یک در نوسان است. اگر دو سری داده با هم توافق کامل داشته باشند، مقدار IA برابر با یک است؛ ولی اگر حاصل نمایه کمتر از یک باشد، مقدار توافق بین دو سری زمانی مقایسه‌شده به نسبت کمتر است. برای محاسبه شاخص توافق IA از رابطه ۶ استفاده می‌شود:

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Est - obs)^2}{\sum_{i=1}^N (|Est - \overline{obs}| + |obs - \overline{obs}|)^2} \quad (۶)$$

که در آن، Est مقدار بارش برآوردشده پایگاه داده ECMWF و obs مقادیر مشاهده‌شده بارش پایگاه داده ملی اسفزاری یا مقادیر مشاهده‌شده بارش پیمونگاه‌های همید است. این نمایه، نسبت بین توان دوم خطا و خطای بالقوه (PE) را در تعداد داده‌ها ضرب و سپس حاصل را از واحد یک کم می‌کند. خطای بالقوه به کمک رابطه ۷ به دست می‌آید (ویلوموت، ۱۹۸۴):

$$PE = \sum_{i=1}^N (|Est - \overline{obs}| + |obs - \overline{obs}|)^2 \quad (۷)$$

به بیانی دیگر، خطای بالقوه (PE) مجموع توان دوم قدرمطلق تفاوت مقادیر برآوردشده Est از میانگین \overline{obs} و مقادیر مشاهده‌شده obs از میانگین \overline{obs} است و بزرگ‌ترین مقدار تفاوتی را نشان می‌دهد که ممکن است بین مقادیر

مشاهده‌شده و برآوردشده $(Est - obs)^2$ وجود داشته باشد. همانند نمایه E، نمایه کارایی بهتر از ضریب تعیین عمل می‌کند؛ ولی باتوجه به توان دوم رساندن تفاوت‌ها، همچنان به مقادیر فرین حساسیت نشان می‌دهد. نمایه اریبی (Bias): میانگین تفاوت مقادیر بارش برآوردشده با مقادیر مشاهده‌شده را نشان می‌دهد. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۸ استفاده می‌شود (کوهن لیچتی و همکاران، ۲۰۱۲):

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)}{n} \quad (8)$$

که در آن، p_i مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF و o_i مقادیر بارش مشاهده‌شده پایگاه داده اسفزاری یا داده‌های مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدید است.

ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE): این نمایه بیان‌کننده تفاوت بین مقادیر برآوردشده بارش با مقادیر مشاهده‌شده است و برای محاسبه آن از رابطه ۹ استفاده می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (9)$$

که در آن، p_i مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF و o_i برابر با مقادیر بارش مشاهده‌شده پایگاه داده اسفزاری یا مقادیر بارش مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدید و n شمار داده‌هاست.

ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE): از آنجاکه مقادیر بارش بر روی گستره ایران زمین وردایی بسیار زیادی از خود نشان می‌دهد، برای درک درست مقدار خطای مقادیر برآوردشده پایگاه داده ECMWF، از نمایه RRMSE نیز استفاده شد:

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{O}} \quad (10)$$

که در آن، p_i مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF و o_i برابر با مقادیر بارش مشاهده‌شده پایگاه داده اسفزاری یا مقادیر بارش مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدید است.

برای سنجش دقت پایگاه داده بارش ECMWF در شناخت روزهای بارانی، سه نمایه احتمال آشکارسازی (POD)، نسبت هشدار اشتباه (FAR) و نمایه آستانه موفقیت (CSI) به کار گرفته شد (لاییری و همکاران، ۲۰۰۶؛ استانسکی و همکاران، ۱۹۸۹؛ ایبرت و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش، روزی که در آن دست کم ۰/۱ میلی‌متر بارش ثبت شده باشد، روز بارانی در نظر گرفته شد.

احتمال آشکارسازی (POD): این نمایه احتمال شناخت درست روزهای بارانی را می‌سنجد و از رابطه ۱۱ به دست

می‌آید:

$$POD = \frac{RR}{RN + RR} \quad (11)$$

که در آن، R بیان‌کننده رخداد بارش و N عدم رخداد بارش است. در ترکیب آنها، حرف اول مربوط به وضعیت بارش در پایگاه اسفزاری یا پیمونگاهی و حرف دوم مربوط به وضعیت بارش در پایگاه ECMWF است. اگر حاصل رابطه ۱۱ به یک نزدیک باشد، بیان‌کننده دقت زیاد پایگاه ECMWF در شناخت روزهای بارانی است.

نسبت هشدار اشتباه (FAR): این نمایه احتمال شناخت اشتباه روزهای بارانی را واکاوی کرده، با رابطه ۱۲ به دست می‌آید:

$$FAR = \frac{NR}{RR + NR} \quad (12)$$

در صورتی که حاصل رابطه ۱۲، به عدد صفر نزدیک باشد، دقت پایگاه ECMWF در شناخت روزهای غیربارانی، زیاد است.

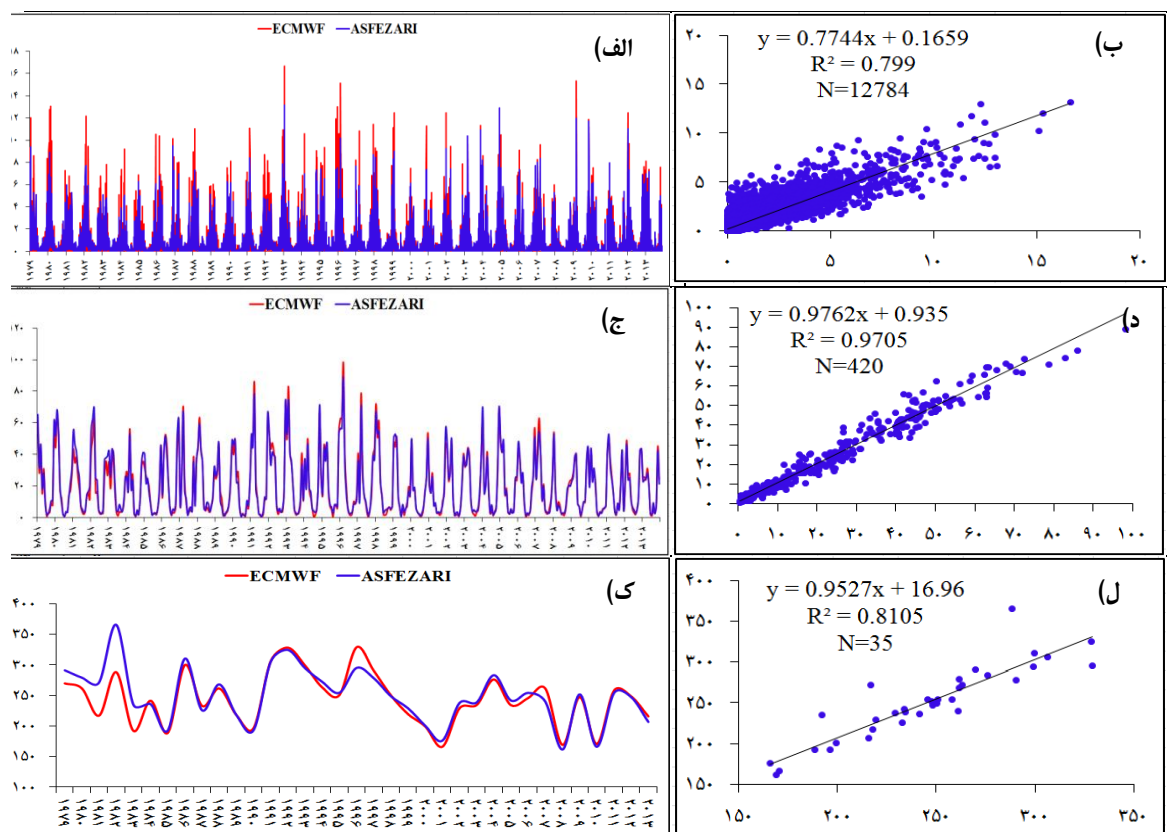
نمایه آستانه موفقیت (CSI): این نمایه احتمال شناخت درست روزهای بارانی و غیربارانی را بیان می‌کند:

$$CSI = \frac{RR}{RR + RN + NR} \quad (13)$$

همانند نمایه POD هرچه حاصل نمایه CSI به عدد یک نزدیک‌تر باشد، دقت پایگاه ECMWF در شناخت روزهای بارانی و غیربارانی، بیشتر است.

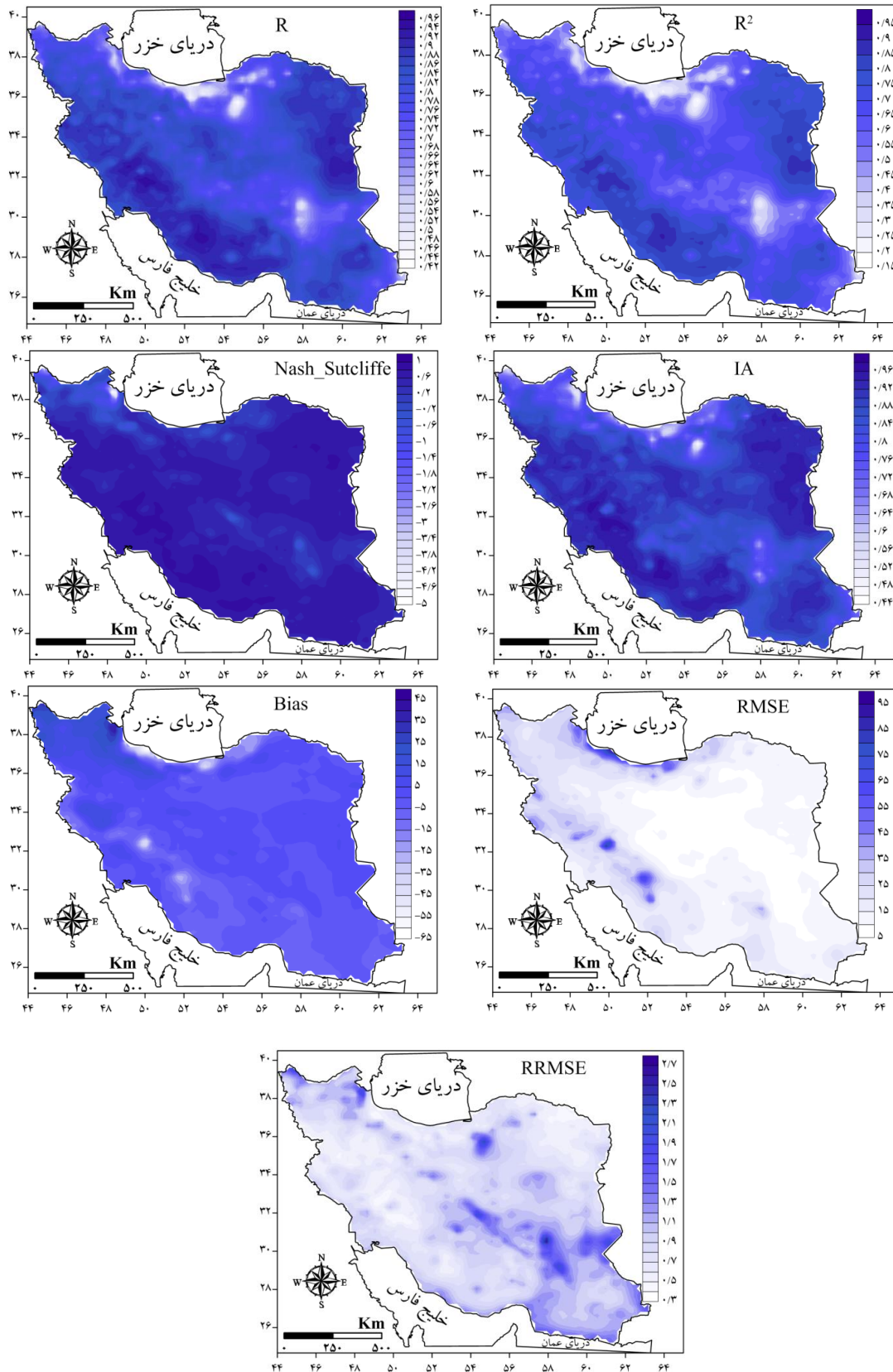
یافته‌های پژوهش

سری زمانی میانگین پهنه‌ای بارش روزانه، ماهانه و سالانه ایران زمین مربوط به دو پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی و اسفزاری در شکل ۶ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین سری‌های زمانی بارش دو پایگاه در سه بازه روزانه، ماهانه و سالانه، هماهنگی بسیار خوبی در افت‌وخیزهای زمانی بارش وجود دارد. در بازه زمانی روزانه، به‌ویژه در نیمه نخست دوره واکاوی شده، هنگام رخداد اوج بارش در فصل زمستان، مقادیر برآوردشده بارش ECMWF بیشتر از مقادیر بارش اسفزاری است؛ در حالی که در دیگر روزهای بارانی سال، شرایط برعکس است. همین قضیه موجب شده است که در بازه ماهانه، اثر بیش‌برآوردی مقادیر بارش اوج بارش را کم‌برآوردی بارش روزهای دیگر خنثی کند. رابطه خطی بین مقادیر بارش سری زمانی دو پایگاه طی ۱۲۷۸۴ روز در شکل ۵ آمده است. ضریب تعیین (R²) این ارتباط برابر با ۰/۷۹۹ است. مقدار هماهنگی وردایی بارش دو سری در بازه زمانی ماهانه نسبت به روزانه بیشتر است و ضریب تعیین ۴۲۰ ماه مجموع بارش ماهانه پهنه ایران زمین برای دو پایگاه بسیار زیاد و برابر با ۰/۹۷ است. با نگاهی به سری زمانی بارش سالانه گستره ایران زمین بر پایه دو پایگاه می‌توان دریافت که اگرچه هماهنگی زمانی بسیار زیادی بین سری زمانی مقادیر دو پایگاه دیده می‌شود، در سال‌های نخستین دوره آماری (۱۹۷۹ تا ۱۹۸۳) کم‌برآوردی و در سال ۱۹۹۶ بیش‌برآوردی پایگاه ECMWF چشمگیر بوده است. در دیگر سال‌های دوره آماری، شباهت و همسانی بسیار زیادی در مقادیر بارش برآوردشده پهنه ایران برای این دو پایگاه دیده می‌شود. ضریب تعیین رابطه خطی بین سری زمانی سالانه (۳۵ سال) دو پایگاه، برابر با ۰/۸۱ است.

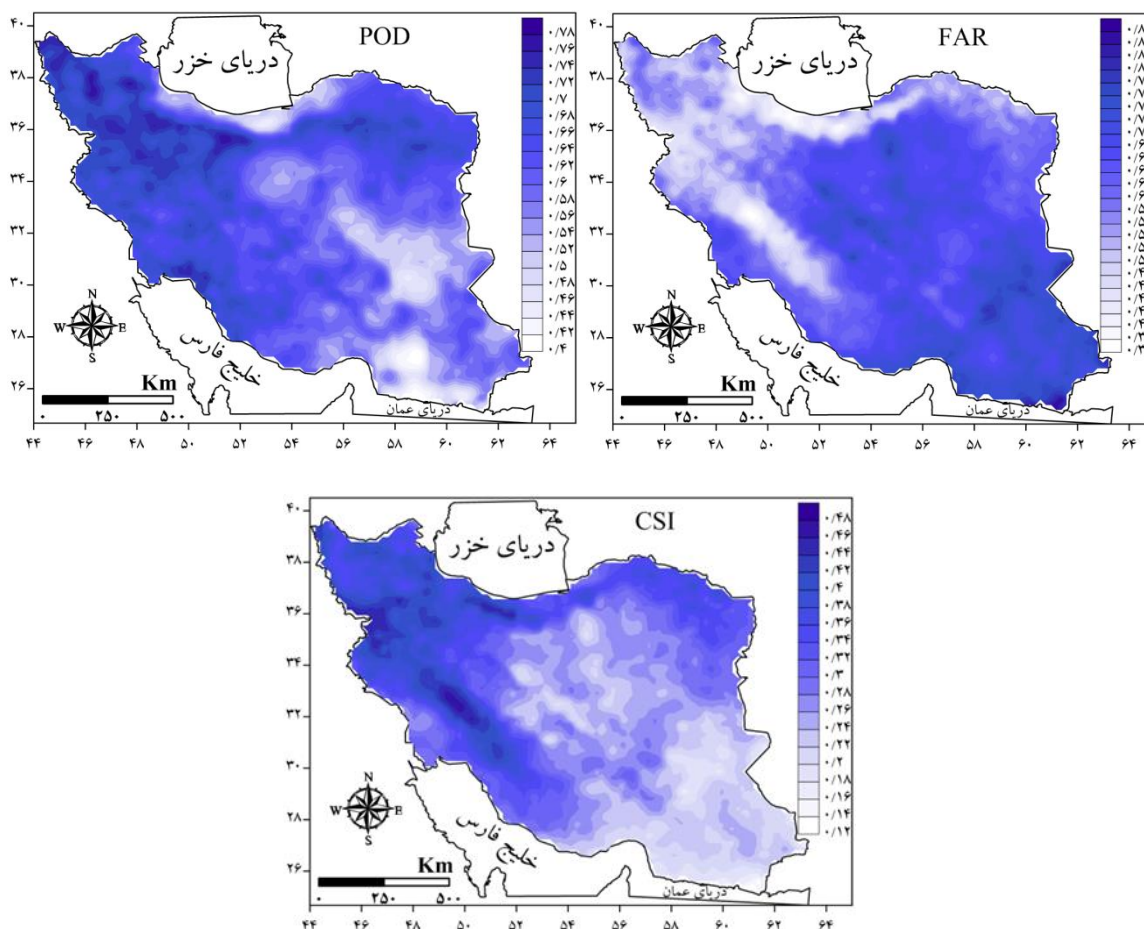


شکل ۶. سری زمانی میانگین روزانه، ماهانه و سالانه بارش پهنا ایران زمین بر پایه پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان مدت جوی اروپایی و پایگاه داده ملی بارش اسفزاری (به ترتیب الف، ج و ک) و رابطه خطی بین آنها (ب، د و ل).

در شکل‌های ۷ و ۸، پراکنش مکانی مقادیر نمایه‌های به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش برای آگاهی از دقت مکانی مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF آمده است. بر پایه نتایج این پژوهش می‌توان گفت بیشترین هماهنگی و همبستگی بین مقادیر ماهانه بارش دو پایگاه داده ECMWF و اسفزاری بر روی رشته‌کوه‌های زاگرس، جنوب غرب و شمال شرق کشور مشاهده می‌شود. بر روی مناطق یادشده ضریب همبستگی (R) بیش از ۰/۹۴ است؛ درحالی‌که بر روی برخی مناطق از جمله دشت لوت، سواحل جنوبی دریای خزر، سمنان و اردبیل، همبستگی به نسبت کمتر است و ضریب همبستگی بین ۰/۴۲ تا ۰/۴۸ است. پراکنش مکانی ضریب تعیین (R²) از ضریب همبستگی پیروی می‌کند. در بخش‌های جنوبی استان خراسان جنوبی و جنوب غربی کشور، ضریب تعیین بیش از ۰/۹۵ است؛ به‌بیانی دیگر بیش از ۹۵ درصد از وردایی بارش این‌گونه مناطق را می‌توان به‌وسیله وردایی مقادیر بارش برآوردشده پایگاه داده ECMWF توجیه و تبیین کرد. بر پایه نقشه پراکنش مکانی ضریب کارایی ناش-ساتکلیف می‌توان گفت بر روی اغلب گستره ایران زمین، به‌کارگیری مقادیر بارش برآوردشده پایگاه داده ECMWF بهتر از به‌کارگیری میانگین بارش بلندمدت است. بر روی برخی مناطق در شمال غرب کشور و دشت لوت، مقدار ضریب کارایی پایگاه داده ECMWF از صفر کوچک‌تر بوده، بیان‌کننده عملکرد بهتر میانگین بلندمدت نسبت به مقادیر بارش برآوردشده ECMWF است.



شکل ۷. ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R²)، نمایه ناش- ساتکلیف، نمایه توافق (IA)، نمایه آریبی (Bias)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) بین داده‌های ماهانه بارش پایگاه ECMWF و پایگاه داده ملی بارش اسفزاری



شکل ۸. احتمال آشکارسازی (POD)، نسبت هشدار اشتباه (FAR) و نمایه آستانه موفقیت (CSI) روزهای بارانی پایگاه داده ECMWF در مقایسه با پایگاه داده اسفزاری

پراکنش ضریب توافق (IA) بر روی ایران زمین نشان می‌دهد که نه تنها افت‌وخیزهای زمانی بارش دو پایگاه بارش طی ماه‌های مختلف دوره آماری واکاوی شده بر روی رشته کوه‌های زاگرس، جنوب غرب و شمال شرق کشور با هم هماهنگ‌اند، بلکه مقادیر بارش برآورده شده پایگاه داده ECMWF بسیار نزدیک به مقادیر بارش پایگاه ملی اسفزاری است. بر روی برخی مناطق یادشده، مقدار نمایه کارایی به عدد یک نزدیک بوده که بیان‌کننده یکسانی مقادیر بارش این دو پایگاه است. مقدار نمایه اریب (Bias) بر روی مناطق پربارش ایران زمین در سواحل جنوب غربی دریای خزر و زاگرس مرکزی بیشینه است. بر روی این مناطق، به‌طور میانگین بارش حدود ۶۵ میلی‌متر کمتر از پایگاه ملی اسفزاری برآورد شده است؛ درحالی‌که مقدار بارش برآورده شده بر روی برخی مناطق در آستارا و اردبیل به‌طور میانگین حدود ۴۵ میلی‌متر بیشتر است. بر روی اغلب گستره ایران زمین، مقدار نمایه اریب بین ۵ تا ۵- میلی‌متر است. اگرچه بر پایه نقشه مربوط به ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) اندازه خطا به‌صورت هسته‌های بیشینه بر روی مناطق پربارش ایران زمین (سواحل جنوب غربی دریای خزر و زاگرس میانی) قرار گرفته، از آنجاکه بر روی مناطق یادشده مقدار خطای برآورد بارش پایگاه داده ECMWF نسبت به بارش دریافتی این مناطق کمتر است، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) کمتری را نسبت به دیگر مناطق کم‌بارش ایران زمین از خود نشان می‌دهد؛ به‌بیانی دیگر در مقام مقایسه

می‌توان گفت که نسبت خطای برآورد بارش در مناطق کم‌بارش جنوب شرقی و مرکزی بیشتر از هسته‌های پربارش ایران‌زمین در سواحل جنوب غربی دریای خزر و زاگرس میانی است.

نقشه پراکنش نمایه احتمال آشکارسازی (POD) روزهای بارانی پایگاه داده ECMWF در مقایسه با پایگاه داده اسفزاری در شکل ۸ الف آمده است؛ ملاحظه می‌شود که عملکرد پایگاه داده ECMWF در شناخت روزهای بارانی شمال غرب، جنوب غرب و شمال شرق کشور نسبت به مناطق دیگر گستره ایران‌زمین بیشینه است. بر روی برخی مناطق یادشده، احتمال آنکه پایگاه داده ECMWF به‌درستی روزهای بارانی را ثبت کرده باشد، نزدیک به ۰/۸ است؛ در حالی که بر روی سواحل جنوبی دریای خزر، برخی مناطق داخلی ایران‌زمین، جنوب شرقی و سواحل دریای عمان مقدار خطای پایگاه در گزارش روزهای بارانی به نسبت کمتر است. بر پایه نقشه پراکنش نسبت هشدار اشتباه (FAR) می‌توان گفت این پایگاه به خوبی توانسته است بر روی مناطق پربارش ایران‌زمین از جمله بر روی سواحل جنوبی دریای خزر و زاگرس، روزهای غیربارانی را شناسایی کند. نسبت هشدار اشتباه (FAR) بر روی برخی مناطق یادشده به نسبت دیگر مناطق بسیار کمتر و برابر با ۰/۳۶ است. در مناطق کم‌بارش و بسیار کم‌بارش مرکزی و جنوب شرقی ایران‌زمین، مقدار این نمایه بسیار زیاد و در برخی مناطق، ۰/۸۷ است. به‌طور کلی، نمایه آستانه موفقیت (CSI) نشان می‌دهد که عملکرد پایگاه داده ECMWF در تفکیک روزهای بارانی و غیربارانی مناطق دارای بارش ایران‌زمین، به‌ویژه در نیمه غربی کشور، نسبت به مناطق بسیار کم‌بارش مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی زیاد است. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، به‌طور کلی بر روی پهنه ایران‌زمین، هماهنگی و همبستگی (R) افت‌وخیزهای بارش بین دو پایگاه داده ECMWF و اسفزاری در همه ماه‌های سال زیاد است. در ماه‌های پربارش، مقدار همبستگی نسبت به ماه‌های خشک سال، بیشتر است. بیشترین و کمترین همبستگی بین سری‌های زمانی بارش دو پایگاه، به ترتیب مربوط به نوامبر (۰/۹۸۵) و اوت (۰/۸۱۱) است؛ در نوامبر، ۰/۹۷۲ از پراش بارش پهنه ایران‌زمین را وردایی بارش پایگاه داده ECMWF تبیین می‌کند. ضریب کارایی ناش - ساتکلیف نیز نشان می‌دهد که اگر پهنه ایران‌زمین را به‌مثابه یک واحد پژوهشی در نظر بگیریم، به‌کارگیری داده‌های بارش این پایگاه در همه ماه‌های سال بهینه‌تر از میانگین بلندمدت بارش ایران‌زمین خواهد بود؛ چراکه در همه ماه‌های سال، مقدار نمایه بیش از عدد صفر است. به‌کارگیری داده‌های طی ماه‌های پربارش ایران‌زمین، عملکرد بهتری خواهد داشت. مقدار نمایه اریب (Bias) در ماه‌های مختلف سال بسیار کم است؛ نمایه اریب (Bias) به‌غیر از سه ماه فوریه، مارس و آوریل، در ماه‌های دیگر سال منفی است. در ژانویه پایگاه داده ECMWF مقدار بارش را ۲/۳۸۷ میلی‌متر کمتر از پایگاه ملی اسفزاری برآورد کرده است. بر پایه ضریب توافق (IA) می‌توان گفت علاوه‌بر هماهنگی در نوسان بارش، همانندی و هم‌مقداری بارش دو پایگاه نیز بر روی ایران‌زمین شایان توجه است. در بین ماه‌های سال، در ماه‌های گرم بیشترین مقدار نمایه ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) مشاهده می‌شود. در آوریل، عملکرد پایگاه داده ECMWF در شناخت روزهای بارانی ایران‌زمین بیشینه است. عملکرد این پایگاه در شناخت روزهای غیربارانی طی ماه‌های خشک ایران‌زمین، به نسبت دیگر ماه‌های سال، کمتر است. به‌طور کلی در همه ماه‌های سال، آستانه موفقیت (CSI) پایگاه واکاوی‌شده در شناخت روزهای بارانی و غیربارانی زیاد است.

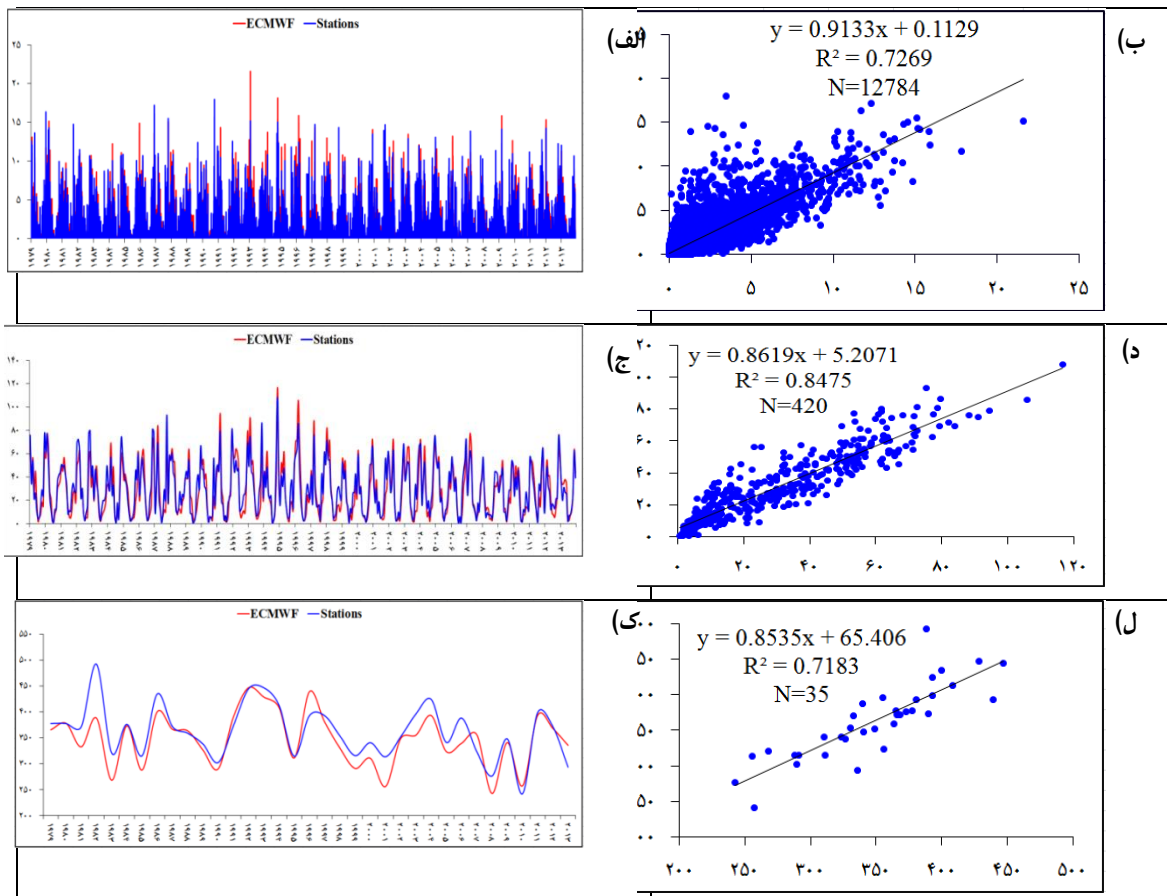
جدول ۲. مقادیر ماهانه نمایه‌های به‌کارگرفته‌شده بر پایه پایگاه‌های داده ECMWF و اسفزاری

CSI	FAR	POD	RRMSE	RMSE	IA	Bias	Nash-Sutcliffe	R ²	R	
۰/۷۷۹	۰/۰۲۶	۰/۷۹۶	۰/۱۲۸	۵/۲۱۸	۰/۹۷۱	-۲/۳۸۷	۰/۸۹۵	۰/۹۱۷	۰/۹۵۸	ژانویه
۰/۸۳	۰/۰۱۹	۰/۸۴۴	۰/۱۳۲	۴/۹۱۸	۰/۹۷۶	۰/۴۲۲	۰/۹۱	۰/۹۱۲	۰/۹۵۵	فوریه
۰/۸۷	۰/۰۲	۰/۸۸۷	۰/۱۰۳	۴/۳۵۳	۰/۹۸۶	۱/۵۸۸	۰/۹۴۲	۰/۹۶۱	۰/۹۸	مارس
۰/۸۶۱	۰/۰۵	۰/۹۰۲	۰/۱۴۱	۳/۷۵	۰/۹۷۳	۱/۰۷۳	۰/۸۹۶	۰/۹۰۷	۰/۹۵۲	آوریل
۰/۸۱۵	۰/۰۸۹	۰/۸۸۶	۰/۲۰۳	۳/۰۲۸	۰/۹۵۲	-۰/۰۵۸	۰/۸۳۳	۰/۸۳۳	۰/۹۱۲	مه
۰/۶۳۴	۰/۲۱	۰/۷۶۳	۰/۱۸۳	۰/۸۵۸	۰/۹۸۶	-۰/۱۸۲	۰/۹۴۳	۰/۹۵	۰/۹۷۴	ژوئن
۰/۴۶۲	۰/۲۰۴	۰/۵۲۴	۰/۴۴۷	۱/۵۹۱	۰/۸۳۵	-۱/۲۴۳	۰/۴۲۶	۰/۷۸۹	۰/۸۹۳	ژوئیه
۰/۴۵۳	۰/۱۷۴	۰/۵۰۲	۰/۴۶۴	۱/۸۵	۰/۷۸	-۱/۳۵۹	۰/۲۵۳	۰/۶۵۸	۰/۸۱۱	اوت
۰/۵۹۴	۰/۱۸۳	۰/۶۸۵	۰/۲۴۱	۱/۰۶۴	۰/۹۰۵	-۰/۵۴۵	۰/۶۳۶	۰/۷۴۲	۰/۸۶۱	سپتامبر
۰/۷۲۲	۰/۱۲۴	۰/۸۰۵	۰/۲۱۳	۲/۵۲۶	۰/۹۶۹	-۰/۵۹۹	۰/۸۹	۰/۸۹۸	۰/۹۷۴	اکتبر
۰/۷۹۱	۰/۰۴۵	۰/۸۲۲	۰/۱۱۵	۲/۷۷۶	۰/۹۹۱	-۱/۲۴۹	۰/۹۶۵	۰/۹۷۲	۰/۹۸۵	نوامبر
۰/۷۸۵	۰/۰۲۹	۰/۸۰۴	۰/۱۱۳	۴/۰۹۶	۰/۹۸۷	-۰/۸۶۹	۰/۹۵۱	۰/۹۵۳	۰/۹۷۶	دسامبر

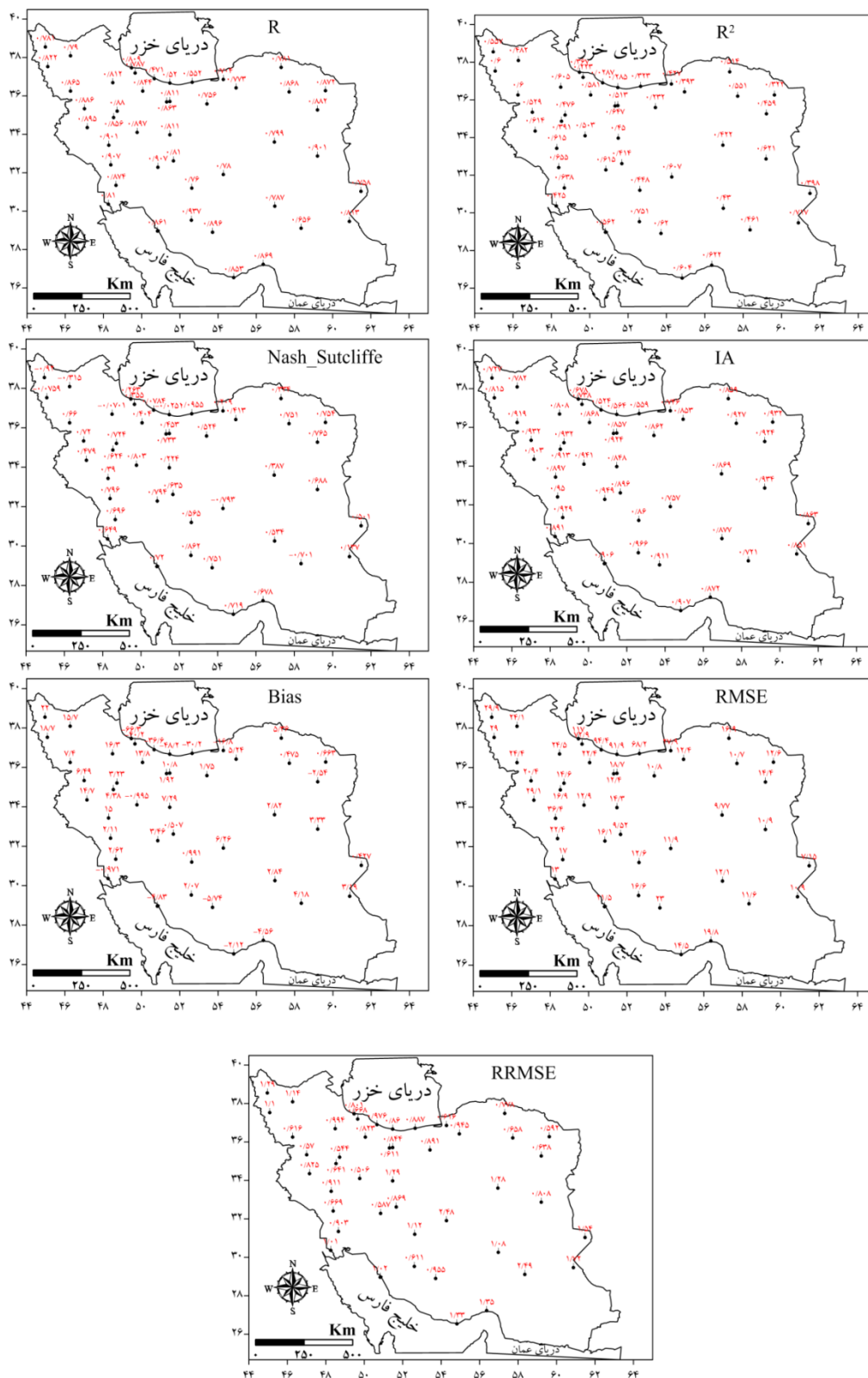
در شکل ۹، سری زمانی روزانه، ماهانه و سالانه بارش پهنه ایران زمین بر پایه دو پایگاه داده ECMWF و پیمونگه‌های همدید طی بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۳ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در سه مقیاس زمانی یادشده، بین سری زمانی مقادیر بارش این دو پایگاه، هماهنگی شایان توجهی وجود دارد. اگرچه در نگاه نخست به‌نظر می‌رسد که هماهنگی بین دو سری زمانی، به‌ویژه در زمان‌های اوج بارش، در مقایسه با پایگاه داده اسفزاری بیشتر است، مقدار بارش مشاهده‌شده بر روی پیمونگه‌ها در زمان‌های خارج از اوج، بیشتر از مقادیر برآوردشده پایگاه داده ECMWF است. این تفاوت سبب شده است که در مجموع، مقدار ضریب تعیین (R²) ارتباط بین دو سری به‌نسبت کمتر باشد (شکل ۹ب). مقدار نمایه یادشده بین دو سری زمانی طی ۱۲۷۸۴ روز واکاوی، ۰/۷۲۶ است. هماهنگی افت‌وخیزهای بارش طی بازه زمانی ماهانه دو پایگاه (۴۲۰ ماه) به نسبت روزانه و سالانه، بیشتر است. بر پایه رابطه خطی بین سری‌های زمانی ماهانه دو پایگاه، ضریب تعیین (R²) برابر با ۰/۸۴۷ است. در شکل ۹ک، هماهنگی بسیار زیاد بین نوسان مقادیر بارش سالانه ایران زمین حاصل از دو پایگاه مشاهده می‌شود؛ باین‌حال، مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF پهنه ایران زمین، کمتر از مقادیر واقعی بارش مشاهده‌شده پیمونگه‌های همدید است.

نتایج به‌کارگیری نمایه‌های ارزیابی دقت داده‌های بارش پایگاه ECMWF در مقایسه با ۴۵ پیمونگه همدید بر روی گستره ایران زمین در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نه‌تنها بین میانگین پهنه‌ای بارش ایران زمین بلکه بین سری زمانی مقادیر ماهانه بارش برآوردشده این پایگاه بر روی پیمونگه‌های همدید نیز هماهنگی چشمگیری دیده می‌شود. بر روی مناطق واقع در رشته‌کوه‌های زاگرس و شمال شرق کشور، مقدار ضریب همبستگی و تعیین به نسبت دیگر مناطق بیشتر است. در پیمونگه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر در سواحل جنوبی دریای

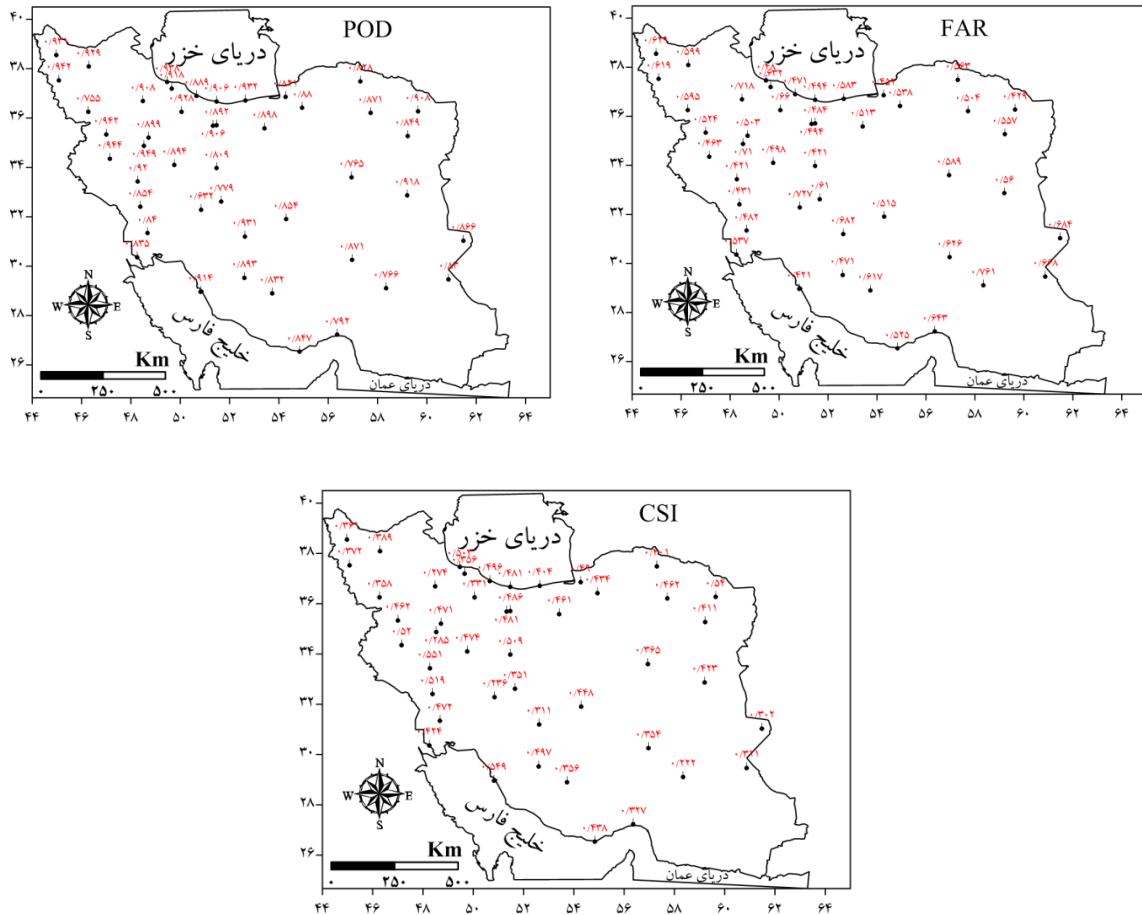
خزر و پیمونگاه‌های مرکزی ایران زمین، مقدار دو نمایه یادشده به نسبت دیگر پیمونگاه‌ها کمتر است. ضریب کارایی ناش- ساتکلیف، به‌غیراز پیمونگاه‌های شمال‌غرب کشور (تبریز، خوی و ارومیه)، نوشهر، زنجان، بم و یزد، بر روی دیگر پیمونگاه‌ها مثبت است. مثبت بودن مقدار نمایه حاصل‌شده بر روی پیمونگاه‌ها بیان‌کننده کارایی بهتر مقادیر بارش برآوردشده پایگاه ECMWF نسبت به میانگین بلندمدت بارش است. همان‌طور که نتایج ضریب توافق (IA) نشان می‌دهد، بیشترین هماهنگی در مقدار بارش، جدا از هماهنگی زمانی، بر روی پیمونگاه‌های واقع در رشته‌کوه‌های زاگرس و شمال شرق کشور مشاهده می‌شود. همانندی مقادیر بارش دو پایگاه بر روی برخی پیمونگاه‌ها شایان توجه است. در پیمونگاه همدید شیراز، مقدار ضریب توافق بیشتر از دیگر پیمونگاه‌هاست. پراکنش نمایه اریبی (Bias) بر روی گستره ایران زمین بیان‌کننده کم‌برآوردی بارش پایگاه ECMWF نسبت به مقادیر واقعی و مشاهده‌شده پیمونگاه‌های همدید به‌ویژه بر روی سواحل جنوبی دریای خزر و سواحل شمالی خلیج فارس در جنوب ایران است. به‌طورمتوسط، بزرگی مقدار نمایه یادشده بر روی انزلی، $۶۶/۳$ - میلی‌متر است. به‌غیراز مناطق یادشده و دو پیمونگاه همدید اراک و تربت‌حیدریه، بر روی دیگر پیمونگاه‌های همدید ایران زمین، مقدار بارش برآوردشده پایگاه یادشده بیشتر از مقادیر مشاهده‌شده است. بیش‌برآوردی بارش پایگاه ECMWF بر روی پیمونگاه همدید خوی نسبت به دیگر پیمونگاه‌ها بیشینه بوده، به‌طورمتوسط برابر با ۲۲ میلی‌متر است.



شکل ۹. سری زمانی میانگین روزانه، ماهانه و سالانه بارش پهنه ایران زمین بر پایه پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی و پیمونگاه‌های همدید (به ترتیب الف، ج و ک) و رابطه خطی بین آنها (ب، د و ل)



شکل ۱۰. ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R²)، نمایه ناش-ساتکلیف، نمایه توافق (IA)، نمایه اریبی (Bias)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) بین داده‌های ماهانه بارش پایگاه ECMWF و پیمونگاه‌های همدید



شکل ۱۱. احتمال آشکارسازی (POD)، نسبت هشدار اشتباه (FAR) و نمایه آستانه موفقیت (CSI) روزهای بارانی پایگاه داده ECMWF در مقایسه با پیمونگاه‌های همدید

اگرچه ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) بر روی پیمونگاه‌های سواحل جنوبی دریای خزر به نسبت چشمگیر به نظر می‌رسد، مقدار خطای برآورد بارش پایگاه ECMWF در مقایسه با مقدار بارش دریافتی و مشاهده شده بر روی این منطقه، بسیار ناچیز و نمایه ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) گویای این موضوع است. پراکنش مقادیر نمایه یادشده بر روی گستره ایران زمین نشان می‌دهد که بر روی شمال غرب کشور، سواحل شمالی خلیج فارس و مناطق مرکزی، نسبت خطای مشاهده شده در مقابل بارش دریافتی در مقایسه با دیگر مناطق گستره ایران زمین بیشتر است. همان‌طور که گفته شد، برای شناخت روزهای بارانی، غیربارانی و ارزیابی کلی عملکرد پایگاه داده ECMWF در شناسایی آنها بر روی ایران زمین از سه نمایه احتمال آشکارسازی (POD)، نسبت هشدار اشتباه (FAR) و نمایه آستانه موفقیت (CSI) بهره گرفته شد. نتایج برآورد نمایه احتمال آشکارسازی (POD) نشان داد که عملکرد پایگاه داده ECMWF در پایش روزهای بارانی بر روی گستره ایران زمین بسیار زیاد است. بر روی پیمونگاه‌های همدید واقع در مناطق غربی و شمال غربی کشور، احتمال تشخیص درست روزهای همراه با باران به نسبت دیگر مناطق بیشتر است. در پیمونگاه همدید فرودگاه همدان، احتمال گزارش صبح روزهای بارانی حدود ۰/۹۵ است. بر پایه نمایه نسبت هشدار اشتباه (FAR) عملکرد پایگاه داده ECMWF در شناخت روزهای غیربارانی بر روی برخی مناطق ایران زمین از جمله

دامنه غربی رشته‌کوه‌های زاگرس، سواحل جنوبی دریای خزر و شمال شرق کشور، نسبت به دیگر مناطق بیشتر است. ارزیابی کلی عملکرد پایگاه داده ECMWF در پایش روزهای بارانی و غیربارانی را می‌توان بر پایه نمایه آستانه موفقیت (CSI) بیان کرد. همان‌طور که پراکنش این نمایه بر روی گستره ایران زمین نشان می‌دهد، بر روی پیمونگاه‌های واقع در زاگرس، سواحل جنوبی دریای خزر و شمال شرق کشور، جداسازی این روزها از همدیگر توسط پایگاه داده ECMWF به نسبت دیگر مناطق گستره ایران زمین بهتر انجام گرفته است.

بر پایه مقادیر زمانی نمایه‌های به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش، برای ارزیابی دقت داده‌های برآوردشده میانگین پهنه‌ای بارش ایران زمین پایگاه ECMWF در مقایسه با مقادیر بارش مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدید می‌توان گفت در همه ماه‌های سال همبستگی بسیار زیادی (R) بین سری زمانی مقادیر بارش دو پایگاه دیده می‌شود. در ماه‌های پربارش گستره ایران زمین، مقدار همبستگی به نسبت دیگر ماه‌های سال، بیشتر است. بیشترین همبستگی بین سری زمانی میانگین بارش دو پایگاه ECMWF و پیمونگاه‌های همدید در نوامبر مشاهده می‌شود. در این ماه از سال، ۰/۹۳۶ از پراش میانگین مشاهده‌شده بارش پهنه‌ای ایران زمین بر پایه پایگاه پیمونگاه‌های همدید را می‌توان به کمک وردایی بارش پایگاه ECMWF تبیین و توجیه کرد. مقدار نمایه کارایی ناش - ساتکلیف نشان داد که در همه ماه‌های سال، به‌غیر از سپتامبر، به‌کارگیری مقادیر بارش ماهانه پایگاه ECMWF عملکرد بهتری نسبت به میانگین بلندمدت بارش پهنه‌ای ایران زمین دارد. بیشترین مقدار نمایه ناش - ساتکلیف و بیشترین نمایه توافق (IA) و همانندی مقادیر بارش در ژانویه دیده می‌شود. در اغلب ماه‌های سال، مقدار میانگین پهنه‌ای بارش برآوردشده ایران زمین بر پایه پایگاه ECMWF نسبت به مقادیر مشاهده‌شده و واقعی کمتر است. این پایگاه در سپتامبر و اکتبر به ترتیب ۱۰/۷۲۸ و ۱۲/۵۷ میلی‌متر مقدار میانگین پهنه‌ای بارش ایران زمین را کمتر برآورد می‌کند؛ درحالی‌که طی چهار ماه فوریه تا مه، مقدار نمایه آریبی (Bias) مثبت است. به دلیل زیاد بودن نسبت خطا به مجموع بارش دریافتی در سپتامبر، بیشترین مقدار نمایه ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) در این ماه از سال رخ نمود دارد. بر پایه نمایه یادشده، در ژانویه مقدار خطای پایگاه ECMWF به نسبت دیگر ماه‌ها کمتر است. بر پایه مقادیر نمایه احتمال آشکارسازی (POD) روزهای بارانی پهنه ایران زمین طی ماه‌های مختلف سال می‌توان گفت در آوریل به نسبت دیگر ماه‌های سال، احتمال شناخت درست این روزها بیشتر است. در این ماه از سال، در ۰/۹۸ موارد که روزهای بارانی بر روی پهنه ایران زمین رخ نمود داشته، این پایگاه توانسته است به درستی رخداد آن را شناسایی کند. همانند نمایه احتمال آشکارسازی (POD)، نمایه نسبت هشدار اشتباه (FAR) روزهای غیربارانی نیز نشان داد که طی ماه‌های پربارش ایران زمین دقت این پایگاه به نسبت بیشتر است. در سه ماه فصل زمستان، احتمال تشخیص نادرست پایگاه داده ECMWF حدود ۰/۱ است؛ درحالی‌که طی ماه‌های ژوئن و ژوئیه مقدار آن حدود ۰/۳۵ است. بر پایه نمایه آستانه موفقیت (CSI) این پایگاه عملکرد مناسبی در شناسایی روزهای بارانی و غیربارانی پهنه ایران زمین در مقایسه با پیمونگاه‌های همدید دارد.

جدول ۳. مقادیر ماهانه نمایه‌های به کار گرفته شده بر پایه پایگاه‌های داده ECMWF و پیمونگاه‌های همدید

CSI	FAR	POD	RRMSE	RMSE	Bias	IA	Nash-Sutcliffe	R ²	R	
۰/۸۵۴	۰/۱۰۶	۰/۹۵	۰/۱۲۲	۵/۶۸۹	-۰/۶۴۲	۰/۹۶۶	۰/۸۷	۰/۸۷۱	۰/۹۳۶	ژانویه
۰/۸۶۸	۰/۱۰۸	۰/۹۷۱	۰/۱۸۳	۷/۴۹۵	۴/۷۳۳	۰/۹۴۲	۰/۷۷۱	۰/۸۶۶	۰/۹۳	فوریه
۰/۸۷	۰/۱۰۸	۰/۹۷۴	۰/۲۱	۹/۸۸۸	۷/۹۲۴	۰/۹۲۶	۰/۶۳	۰/۹۲۷	۰/۹۶۲	مارس
۰/۸۱۸	۰/۱۶۸	۰/۹۸	۰/۳۴۶	۱۰/۹۸۶	۹/۳۱۵	۰/۸۸۵	۰/۳۹	۰/۸۹۶	۰/۹۴۶	آوریل
۰/۷۵۶	۰/۲۲۶	۰/۹۷۱	۰/۳۸	۷/۴۴۱	۵/۰۱۶	۰/۸۵۶	۰/۲۹۴	۰/۷۳۴	۰/۸۵۷	مه
۰/۵۹۲	۰/۳۴۹	۰/۸۶۸	۰/۴۶۲	۳/۷۴۲	-۰/۴۳۶	۰/۸۴۵	۰/۵۲۹	۰/۵۴۶	۰/۷۳۹	ژوئن
۰/۵۱۶	۰/۳۵۴	۰/۷۲۱	۰/۵۷۸	۳/۴۷۳	-۱/۸۴۸	۰/۷۹۲	۰/۴۷۵	۰/۶۸۳	۰/۸۲۶	ژوئیه
۰/۶۱۲	۰/۲۶۱	۰/۷۸۲	۰/۵۹۸	۶/۰۰۸	-۴/۳۴۶	۰/۷۵۹	۰/۳۴۳	۰/۸۱۶	۰/۹۰۳	اوت
۰/۷	۰/۲۵	۰/۹۱۵	۰/۶۰۳	۱۲/۶۳۵	-۱۰/۷۲۸	۰/۵۶۲	-۱/۱۰۹	۰/۴۴۹	۰/۶۷	سپتامبر
۰/۷۳۳	۰/۲۳۷	۰/۹۵	۰/۴۱۲	۱۵/۲۳۸	-۱۲/۵۷	۰/۷۸۲	۰/۱۵	۰/۷۳۴	۰/۸۵۶	اکتبر
۰/۸۴	۰/۱۱۱	۰/۹۳۹	۰/۱۹۶	۹/۰۱۱	-۶/۹۳۲	۰/۹۶۱	۰/۸۴	۰/۹۳۶	۰/۹۶۷	نوامبر
۰/۸۰۹	۰/۱۴۲	۰/۹۳۵	۰/۱۵۱	۷/۴۵۸	-۳/۹۱۹	۰/۹۶۱	۰/۸۵۳	۰/۸۹۴	۰/۹۴۵	دسامبر

نتیجه گیری

برخلاف اغلب سنج‌های جوی، بارش سنج‌های خوش رفتار نیست و رخنمود آن شرایط ویژه‌ای را می‌طلبد؛ بنابراین وردایی زمانی و مکانی آن بسیار چشمگیر است. دانش مکانی و زمانی بارش برای بسیاری از پژوهش‌های هیدرولوژیکی، اقلیم‌شناسی و کشاورزی حائز اهمیت فراوانی است. باران‌سنج‌های پیمونگاه‌های هواسنجی، اغلب مهم‌ترین ابزار سنجش بارش سطحی است. آگاهی حاصل از باران‌سنج‌ها محدود به مشاهدات مجاورش است و اغلب بسیاری از مناطق جهان را به‌طور مناسب دربر نمی‌گیرد. رادارهای هواسنجی در صورتی که گستره مکانی وسیعی را دربر گیرد، قابلیت آن را دارد که جایگزین ارزشمندی برای باران‌سنج‌ها باشد؛ ولی اغلب به دلیل محدودیت‌های مالی، ایجاد یک شبکه راداری با تفکیک مکانی مناسب، ممکن نیست. با در نظر داشتن این چنین محدودیت‌هایی برای باران‌سنج‌ها و رادارها، سنجنده‌های ماهواره‌ای گزینه مناسبی برای پیش‌زمانی و مکانی بارش بر روی اغلب مناطق جهان به‌شمار می‌رود (حبیب و همکاران، ۲۰۱۲). در نسخه ERA-Interim پایگاه داده ECMWF برای برآورد بارش از سه منبع یادشده بهره گرفته شده است. هدف این پژوهش، ارزیابی دقت مقادیر بارش پایگاه داده یادشده بر روی گستره ایران زمین بود. برای نیل به این هدف، با به‌کارگیری نمایه‌های مختلف، دقت مقادیر بارش برآوردشده ایران زمین در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه این پایگاه در مقایسه با مقادیر بارش مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدید و پایگاه داده ملی اسفزاری واکاوی شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که افت‌وخیزهای بارش ایران زمین بر پایه پایگاه داده ECMWF با دو پایگاه داده پیمونگاه‌های همدید و پایگاه ملی اسفزاری در مقیاس‌های زمانی مختلف، همبستگی (R) بسیار زیادی دارد. مقدار همبستگی بین سری زمانی ماهانه بارش پهنه ایران زمین بر پایه پایگاه داده ECMWF با سری زمانی ماهانه بارش دو پایگاه داده ملی اسفزاری و پیمونگاه‌های همدید، به ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۰/۸۴۷ است. نه تنها از نگاه هماهنگی زمانی، بلکه به لحاظ مقدار نیز همانندی بسیار زیادی بین مقادیر برآوردشده بارش پایگاه داده ECMWF با مقادیر مشاهده‌شده

بارش دو پایگاه ایران وجود دارد. پراکنش مکانی نمایه‌های ارزیابی دقت مقادیر بارش پایگاه بر روی ایران زمین نشان داد که بر روی رشته‌کوه‌های زاگرس، جنوب غرب و شمال شرق کشور، هماهنگی زمانی و همانندی مقادیر نسبت به دیگر مناطق گستره ایران، بیشتر است. بر روی مناطق یادشده، ضریب همبستگی (R) و نمایه توافقی (IA) به ترتیب بیش از ۰/۹۴ و نزدیک به عدد ۱ است؛ درحالی که بر روی برخی مناطق از جمله دشت لوت، سواحل جنوبی دریای خزر، سمنان و اردبیل، مقدار دقت پایگاه به نسبت کمتر است. بر پایه نمایه کارایی ناش - ساتکلیف بر روی اغلب گستره ایران زمین، به کارگیری مقادیر بارش برآورده شده این پایگاه بهتر از به کارگیری میانگین بلندمدت بارش است. مقدار نمایه اریبی (Bias) مقادیر بارش برآورده شده این پایگاه بر روی هسته‌های پربارش گستره ایران زمین در سواحل جنوبی دریای خزر و زاگرس میانی و سواحل شمالی خلیج فارس منفی است؛ درحالی که بر روی دیگر مناطق، مثبت است. اگرچه مقدار اریبی و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) بر روی هسته‌های پربارش سواحل جنوبی دریای خزر و زاگرس میانی نسبت به دیگر مناطق چشمگیر است، مقدار خطای برآورد بارش پایگاه ECMWF در مقایسه با مقدار بارش دریافتی و مشاهده شده بر روی این مناطق، بسیار ناچیز است؛ به طوری که مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) کوچک‌تری را نسبت به دیگر مناطق کم‌بارش ایران زمین از خود نشان می‌دهد؛ به بیانی دیگر در مقام مقایسه می‌توان گفت که نسبت خطای برآورد بارش در مناطق کم‌بارش جنوب شرقی، برخی مناطق شمال غربی و مرکزی، بیشتر از هسته‌های پربارش ایران زمین در سواحل جنوب غربی دریای خزر و زاگرس میانی است.

پراکنش نمایه احتمال آشکارسازی (POD) روزهای بارانی نشان داد که بر روی شمال غرب، غرب، جنوب غرب و شمال شرق کشور، عملکرد پایگاه داده ECMWF در شناخت درست این گونه روزها نسبت به مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی بیشتر است. بر روی هسته‌های بیشینه بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس، نسبت هشدار اشتباه (FAR) روزهای غیربارانی به نسبت کوچک‌تر است. به طور کلی، بر پایه نمایه آستانه موفقیت (CSI) پایش روزهای بارانی و غیربارانی توسط پایگاه داده ECMWF بر روی مناطق واقع در زاگرس، سواحل جنوبی دریای خزر و شمال شرق کشور به نسبت دیگر مناطق گستره ایران زمین بهتر انجام گرفته است. به نظر می‌رسد که هماهنگی زیاد در مناطق یادشده ناشی از تمرکز بیشتر پیمونگاه‌ها باشد. طی ماه‌های پربارش، دقت پایگاه داده ECMWF هم در برآورد مقدار بارش و هم در شناخت روزهای بارانی و غیربارانی گستره ایران زمین، بیشتر از ماه‌های کم‌بارش است. به طور کلی یافته‌های این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران در زمینه دقت زیاد داده‌های بارش نسخه ERA-Interim پایگاه ECMWF هماهنگ است.

منابع

- Balsamo, G., Boussetta, S., Lopez, P. and Ferranti, L. (2010). "Evaluation of ERA-Interim and ERA-Interim-GPCP-rescaled precipitation over the U.S.A.". ERA Report Series. No. 5. ECMWF. Reading. UK. 10 pp.
- BeloPereira, M., Dutra, E. and Viterbo, P. (2011). "Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012). 116 (D20).
- Bosilovich, M.G., Chen, J., Robertson, F.R. and Adler, R.F. (2008). "Evaluation of global precipitation in reanalysis". *Journal of applied meteorology and climatology*. No. 47 (9): 2279-2299.
- Cohen Liechti, T., Matos, J.P., Boillat J.L. and Schleiss, A.J. (2012). "Comparison and evaluation of satellite derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin". *Hydrol. Earth Syst. Sci.* No. 16: 489–500.

- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balsamede, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A., Van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kallberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.J., Park, B.K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J. N. and Vitart, F. (2011). "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system". *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* No. 137: 553–597.
- Dee, D.P. and Uppala, S.M. (2009). "Variational bias correction of satellite radiance data in the ERA-Interim reanalysis". *Q. J. R. Meteorol. Soc.* No. 135: 1830–1841.
- Diro, G.T., Grimes, D.I.F., Black, E., O'Neill, A. and Pardo-Iguzquiza, E. (2009). "Evaluation of reanalysis rainfall estimates over Ethiopia". *International Journal of Climatology*. No. 29 (1): 67-78.
- Ebert, E.E., Janowiak, J.E. and Kidd, C. (2007). "Comparison of near real time precipitation estimates from satellite observations and numerical models". *Bull. Amer. Meteor. Soc.* No. 88: 47–64.
- Habib, E., Tamiru Haile, A., Tian, Y and Joyce, R.J. (2012). "Evaluation of the High-Resolution CMORPH Satellite Rainfall Product Using Dense Rain Gauge Observations and Radar-Based Estimates". *Journal of hydrometeorology*. No. 13: 1784-1798.
- Huffman, G.J., Adler, R.T., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K., Hong, Y., Stocker, E.F. and Wolff, D.B. (2007). "The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales". *J. Hydrometeorol.* No. 8: 38–55.
- Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A. and Xie, P.P. (2004). "CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution". *J. Hydrometeorol.* No. 5: 487–503.
- Khan, A., Richards, K.S., Parker, G.T., McRobie, A., Booij, M.J., Duan, Z. and Khan, M. (2015). "Spatial and altitudinal variation of precipitation and the correction of gridded precipitation datasets for the Upper Indus Basin and the Hindukush-Karakoram-Himalaya". *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 17. EGU 2015-7770-2.
- Kishore, P., Jyothi, S., Basha, G., Rao, S.V. B., Rajeevan, M., Velicogna, I. and Sutterley, T.C. (2015). "Precipitation climatology over India: validation with observations and reanalysis datasets and spatial trends". *Climate Dynamics*: 1-16.
- Layberry, R., Kniveton, D.R., Todd, M.C., Kidd, C. and Bellerby, T.J. (2006). "Daily precipitation over Southern Africa: A new resource for climate studies". *J. Hydrometeorol.* No. 7: 149–159.
- Poli, P., Healy, S.B. and Dee, D.P. (2010). "Assimilation of Global Positioning System radio occultation data in the ECMWF ERA-Interim reanalysis". *Q. J. R. Meteorol. Soc.* No. 136: 1972–1990.
- Simmons, A.J., Willett, K.M., Jones, P.D., Thorne, P.W. and Dee, D.P. (2010). "Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature and precipitation: Inferences from reanalysis and monthly gridded observational datasets". *J. Geophys. Res.* 115. 1–21. doi: 10.1029/2009JD012442.
- Sorooshian, S., Hsu, K., Gao, X., Gupta, H.V., Imam, B. and Braithwaite, D. (2000). "Evaluation of PERSIANN systemsatellite-based estimates of tropical rainfall". *Bull. Amer. Meteor. Soc.* No. 81: 2035–2046.
- Stanski, H.R., Wilson, L.J. and Burrows, W.R. (1989). "Survey of common verification methods in meteorology". *World weather watch tech. Rep. 8. WMO/TD. No. 358. Geneva. Switzerland.*
- Szczypta, C., Calvet, J.C., Albergel, C., Balsamo, G., Bousetta, S., Carrer, D., Lafont, S. and Meurey, C. (2011). "Verification of the new ECMWF ERA-Interim reanalysis over France". *Hydrol. Earth Syst. Sci.* No. 15: 647–666.
- Uppala SM, 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., Balsamede, M.A., Beljaars, A.C.M., Van De Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Cairns, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Hólm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P.A.E.M., 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 reanalysis". *Q. J. R. Meteorol. Soc.* No. 131: 2961–3012.
- Willmott, C.J. (1981). "On the validation of models". *Phys. Geogr.* No. 2: 184-194.
- 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*. No. 23: 593-604.