

ارزیابی تولیدات شبکه‌ای تحلیل مجدد پایگاه اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی ECMWF در مناطق اقلیمی مختلف ایران

اعظم عربی یزدی^۱، سید حسین ثنائی نژاد^{۲*}، عباس مفیدی^۳

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

نبود یا عدم کفایت آمار مشاهداتی اقلیمی در مناطق مختلف می‌تواند منجر به عدم آگاهی لازم در اقلیم‌های مختلف و توان پایین مدیریت در زمینه‌های هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی شود. امروزه توسعه مراکز پیش‌بینی و مدلسازی داده‌های اقلیمی امکان دسترسی به داده‌های تقریباً به هنگام را فراهم کرده است. در این پژوهش از داده‌های تحلیل مجدد پایگاه اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF)، برای پنج ناحیه معرف تنوع اقلیمی در کشور (شمال، شمال شرق، جنوب و غرب) و تغییرهای دمایی (دمای حداقل، دمای میانگین، دمای حداکثر و دمای نقطه شبنم) و بارش در موقعیت‌های جغرافیایی متناظر با ایستگاههای سینوپتیک (۲۰۱۷-۲۰۱۵) با قدرت تفکیک مکانی ۰.۵*۰.۵ درجه مورد مقایسه آماری قرار گرفت. دامنه R^2 برای تغییرهای حداکثر دمای روزانه و میانگین دما، بالای ۹۰ درصد است. به نظر می‌رسد به طور متوسط مدل در برآورد دمای میانگین و دمای حداکثر خطای کمتری را دارد. دمای نقطه شبنم مدل در ایستگاه مشهد همبستگی قوی و مثبتی با مشاهدات دارد و برای ایستگاههای بیرجند و رشت به ترتیب بیش و کم برآورد دیده شد. دامنه تغییرات ضریب کارایی در ایستگاهها و متغیرهای مختلف بین ۰/۳- و ۰/۹ است.

پراکنش نقاط پیرامون خط وایزش برای متغیرها نشان‌دهنده ارتباط خوب بین داده‌های مشاهده‌ای با مدل ERA-interim است. همبستگی بالای سری زمانی روزانه بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل در همه متغیرها بین ۰.۷ تا ۰.۹۹، متغیر است و نشان‌دهنده ارتباط قوی خطی مثبت بین مقادیر مشاهده‌ای و مدل را نشان می‌دهد. به طور کلی مدل بخوبی توانسته روند تغییرات زمانی متغیرهای مختلف را در ایستگاههای منتخب شبیه‌سازی کند و دقت مدل در حد قابل قبول است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان از داده‌های این مدل در کنار داده‌های ایستگاهی و یا برای مناطق با تراکم ایستگاه کم و فاقد ایستگاه استفاده نمود.

کلمات کلیدی: داده‌های شبکه‌ای، ERA-Interim، آزمون آماری، تنوع اقلیمی،

۱- مقدمه

پایش دقیق عوامل آب و هوایی نظیر بارش و درجه حرارت در زمینه های مختلف هیدرولوژی، کشاورزی و صنایع و... حائز اهمیت است. تنوع مکانی ایستگاه های هواشناسی منجر به عدم دسترسی به داده های مختلف اقلیمی در مناطق فاقد ایستگاه شده است. امروزه توسعه مراکز پیش بینی و مدلسازی داده های اقلیمی امکان دسترسی به داده های تقریباً به هنگام را فراهم کرده است. داده های تحلیل مجدد^۱ در کنار داده های ایستگاهی و یا بعضاً در مکان های فاقد داده مورد استفاده قرار می گیرد که در پژوهش های مختلف اعتبار این داده ها مورد بررسی قرار گرفته است. از این مجموعه، داده های واکاوی پایگاه داده مرکز پیش بینی میان مدت جوی ECMWF است. این مدل ها با بهره گیری از داده های ایستگاه های هواشناسی سراسر کره زمین (ایستگاه های همدیدی، بویه های دریایی، ایستگاه های جو بالا)، داده های بدست آمده از ماهواره های هواشناسی، داده های بدست آمده از خطوط هواپیمایی و کشتیرانی بین المللی و نیز با در نظر گرفتن رابطه فیزیکی-دینامیکی بین جو و اقیانوس و اثر توپوگرافی پیچیده کره زمین و توزیع دریاها، اقیانوس ها و جنگل های گسترده بر روی آن به پیش بینی حرکات جوی و متغیرهای مختلف مانند فشار، باد و ... در طی زمان می-پردازند. در تولید داده های واکاوی از ترکیب داده های بدست آمده از پیش بینی بسیار کوتاه مدت مدل (کمتر از ۶ ساعت) و داده های مشاهده ای استفاده می شود. پیش بینی های مدل که به عنوان حدس اولیه نامیده می شود براساس داده های ورودی به مدل و رابطه ریاضی تعریف شده برای مدل به دست می آید (۱، ۴). این داده ها نقش و اثر داده های مشاهداتی را در برمی گیرند و با گذر زمان خطای پیش بینی در مقایسه با داده های مشاهداتی کم تر می شود (۴). داده های ERA-Interim از پایگاه ECMWF از نوع ترکیب داده^۲ است و از انواع داده های مشاهدات سطح زمین، رادیوسوند، اندازه گیری با بالون، نیمرخ های هوانوردی، و ماهواره های تابشی، طیف سنج و ارتفاع سنج ماهواره ای ERS، سنجنده های نوآ، سنجنده های تهیه نقشه مجموع

از TOMS، اشعه ماوراء بنفش خورشید SBUV و... استفاده می کند.

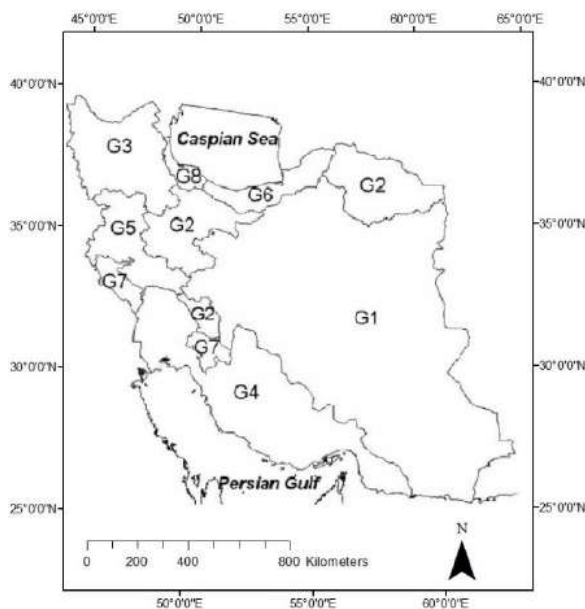
پژوهشگران مختلفی به بررسی داده های واکاوی پایگاه های داده نظیر NCEP/NCAR، CRU، ECMWF و ... در مناطق مختلف و برای متغیرهای مختلف اقلیمی پرداخته اند. بطور مثال واکاوی جهانی و منطقه ای بارش بر پایه داده های بارش پایگاه های GPCP، 40-ERA، CMAP و NCEP/NCAR صورت پذیرفته است. علاوه بر پایگاه های یادشده، از داده های بارش GEOS4 و ۲۵-JAR نیز استفاده شده که نتایج نشان داد هر کدام از پایگاه های استفاده شده بر روی پهنه های مکانی خاصی همبستگی و هماهنگی دارند (۲، ۱۶). داده های بارش، دما، رطوبت، تابش ورودی خورشید، و سرعت باد نسخه ERA-Interim را با مقادیر پایگاه داده ملی کشور فرانسه ارزیابی کردند و به همبستگی بسیار خوبی بین این دو پایگاه دست یافتند. در مطالعه دیگری مقادیر بارش هشت پایگاه داده را با ۴۶ ایستگاه زمینی در حوضه رودخانه سند و هندوکش -کاراکورام - هیمالیا در ارتفاع های مختلف مورد بررسی قرار گرفت که از این مجموعه پایگاه های NCEP/NCAR و ERA-Interim نسبت به دیگر پایگاه ها تشابه بیشتری با داده های زمینی دارد (۷). همبستگی بالای بین داده های بارش پایگاه ERA-Interim و داده های مشاهداتی در مقیاس های ماهانه و روزانه روی مناطق انگلستان و ولز یافته شد (۵). در مطالعه دیگری پتانسیل ERA-Interim در پیش بینی ویژگی های بارش های فرین با مدت ۱ تا ۷ روزه انگلستان و ولز مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان از ارتباط خیلی قوی بین بارش روزانه مشاهداتی و برآوردهای ERA-Interim دارد (۱۲). نتیجه واکاوی سنجش دقت زمانی- مکانی بارش پایگاه داده مرکز پیش بینی میان مدت جوی اروپایی (ECMWF) بر روی ایران زمین نشان داد که نه تنها از نگاه هماهنگی زمانی، بلکه به لحاظ مقدار نیز همانندی بسیار زیادی بین مقادیر برآورد شده بارش پایگاه داده ECMWF با مقادیر مشاهده شده بارش دو پایگاه ایران وجود دارد (۳). در پژوهشی که به منظور بررسی میزان خطای مرکز اروپایی پیش بینی های میان مدت جوی (ECMWF) در پیش بینی بارش مناطق مختلف ایران انجام

1. Reanalysis
2. Data assimilation

های شبکه بندی شده و بررسی امکان استفاده از آن‌ها، در این تحقیق به ارزیابی میزان دقت داده های تحلیل مجدد مرکز ECMWF (ERA-Interim) در برآورد بارش و دما در مناطق با اقلیم های متنوع ایران پرداخته شده است. مواد و روش:

منطقه مورد مطالعه: کشور ایران در مختصات جغرافیایی ۳۰°، ۲۵° و ۴۷'، ۳۹° عرض شمالی از خط استوا و ۱۴'، ۴۴° و ۲۰'، ۶۳° طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. پنج منطقه مطالعاتی در ایران مطابق روش (۸،۱۰) متناسب با شرایط اقلیمی و توپوگرافی مختلف در ایران انتخاب شده است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مطابق پیشنهاد (۱۳) ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه (ناحیه ۵)، ایستگاه سینوپتیک رشت (ناحیه ۸)، ایستگاه سینوپتیک بوشهر (ناحیه ۴)، ایستگاه سینوپتیک مشهد (ناحیه ۲) و ایستگاه سینوپتیک بیرجند (ناحیه ۱) مورد بررسی قرار گرفته اند. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه-های فوق الذکر و ارتفاع آنها را ارائه می‌کند.

گردید، نشان داد که ERA-Interim از دقت بسیار بالایی در پیش‌بینی بارش بسیاری از نقاط کشور برخوردار است و میزان خطای آن در بیش از ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه اندک و قابل چشم‌پوشی است (۱۱). همچنین بارش روزانه پیش‌بینی شده به وسیله ECMWF را با بارش روزانه شبکه باران‌سنجی کشور برای سال پایه ۲۰۱۰ مقایسه و نتایج نشان داد که ECMWF پیش‌بینی‌های قابل اطمینانی از بارش روزانه سراسر کشور ارائه می‌دهد که در بیشتر مناطق کشور این پیش‌بینی‌ها بیشتر از مقادیر مشاهداتی در ایستگاه‌ها است (۱۵). ضرورت دسترسی به داده‌های آب و هوایی شبکه‌ای در پهنه کشور ایران جهت انجام تحقیقات و مطالعات و اخذ تصمیمات مدیریتی و سیاست‌گذاری در حوزه‌های منابع آب، اقلیم و کشاورزی حائز اهمیت است و می‌تواند نقص و کمبود آمار و اطلاعات در مناطق فاقد ایستگاه‌های زمینی و یا با دوره‌های آماری ناقص را پوشش دهد. همچنین این نوع داده‌ها می‌تواند در پیش‌بینی پدیده‌های آب و هوایی و اقلیمی نیز کمک شایانی داشته باشد. با توجه به مزیت بکارگیری داده



شکل ۱- توزیع مکانی مناطق با تنوع بارندگی در ایران (مرجع مدرس ۲۰۰۶)

Interim پایگاه داده ECMWF با داده‌های ایستگاههای سینوپتیک در موقعیت‌های جغرافیایی متناظر برای سال‌های آماری ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ و با قدرت تفکیک مکانی ۰.۵*۰.۵

داده‌های تحلیل مجدد روزانه بارش و میانگین دما، حداکثر و حداقل دمای روزانه و دمای نقطه شبنم از پروژه ERA-

درجه مورد مقایسه آماری قرار گرفت. مجموعه فعالیت های گردآوری، کنترل کیفیت، انتخاب، یکسان سازی و نمایش داده های شبکه ای حاصل از منابع مختلف انجام شده است. محصولات ERA-Interim به طور معمول یک بار در هر ماه با یک تاخیر دو ماه برای تضمین کیفیت و اصلاح مشکلات فنی تولید، بروز می شود. این داده ها در فوریه سال ۲۰۱۸ از سایت ECMWF Public Datasets web interface بارگیری شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه

ایستگاه سینوپتیک	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	موقعیت جغرافیایی اقلیمی	ویژگی اقلیمی	مساحت از کل ایران (درصد)
مشهد	59 38	36 16	999.2	کوهپایه های شرقی -	معتدل کم بارش خشک	17.1
کرمانشاه	47 9	34 21	1318.6	بلندی ها	سرد بارش مند خشک	15.2
بوشهر	50 49	28 58	9	کرانه های عمان	بسیار گرم کم بارش بسیار مرطوب	7.7
رشت	49 37	37 19	-8.6	کرانه های خزر	معتدل پربارش مرطوب	1.5
بیرجند	59 12	32 52	1491	فلات شرقی	گرم بسیار کم بارش خشک	39.7

Ref: Masoudian, 2012

۲- مواد و روش ها

میانگین خطای اریبی (MBE) یا به اصطلاح آماره اریبی در رابطه (۳) نمایش داده شده است و میانگین تمایل مدل را در بیش برآورد کردن (مقادیر مثبت) یا کم برآورد کردن (مقادیر منفی) مدل نسبت به مقادیر مشاهده ای نشان می دهد.

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (3)$$

ضریب باقیمانده (CRM) با استفاده از رابطه (۴) تعریف شده است.

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N O_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (4)$$

که در آنها: مقادیر P_i و O_i معرف مقادیر پیش بینی شده و مشاهده ای و N تعداد داده ها یا طول سری زمانی و $\bar{O}_i$ میانگین داده های مشاهداتی است. $O_{\min}$ و $O_{\max}$ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مشاهده ای است.

۳- نتایج

یکی از ابعاد مهم در مطالعات مقایسه ای بین داده های اندازه گیری شده و پیش بینی شده، آگاهی از وضعیت داده های اندازه گیری شده است. همانطور که در شکل (۲) الف نشان داده شده است، میزان بارش تجمعی در بین ایستگاه های منتخب در محدوده ۳۷۶۰ میلیمتر تا ۳۴۰ میلیمتر به ترتیب

به منظور مقایسه پیش بینی های مدل در برآورد بارش و دما در برابر داده های مشاهداتی از آماره های ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و استاندارد شده (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE)، ضریب کارایی مدل ناش-ساتکلیف (NS) و ضریب باقیمانده (CRM)، استفاده شده است.

مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد شده ($NRMSE$)، برای ارزیابی دقت پیش بینی های مدل در برابر مشاهدات و مقایسه آن در مناطق مختلف به کار می رود و به صورت رابطه (۱) نشان داده می شود.

$$NRMSE = \frac{RMSE}{O_{\max} - O_{\min}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}}}{O_{\max} - O_{\min}} \quad (1)$$

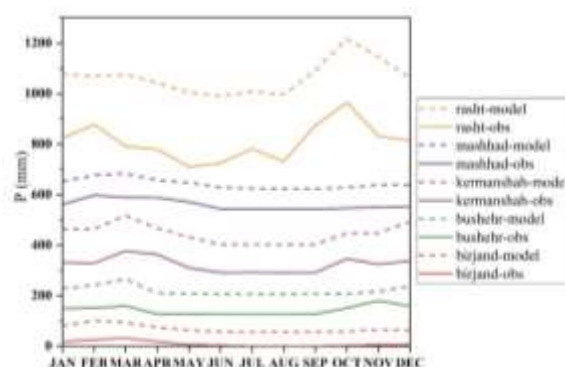
ضریب کارایی ناش-ساتکلیف برای مقایسه توان پیش بینی مدل با مقادیر مشاهده ای و توصیف دقت خروجی مدل مطابق رابطه (۲) به کار می رود

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

1. Normal root mean square error (NRMSE)

مدلی مانند ERA-Interim عدم قطعیت‌های بزرگتری بدست آید. در شکل (۲) ب میزان بارش تجمعی در مختصات متناظر هر ایستگاه از مدل ERA-interim ارائه شده است که نشان می‌دهد روند مشابهی را با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد و افت و خیزهای زمانی بارش را به خوبی نشان می‌دهد. دامنه بارش مدل از حدود ۳۳۰۰ میلی‌متر در ایستگاه رشت تا ۴۴۰ میلی‌متر در ایستگاه بیرجند متغیر است.

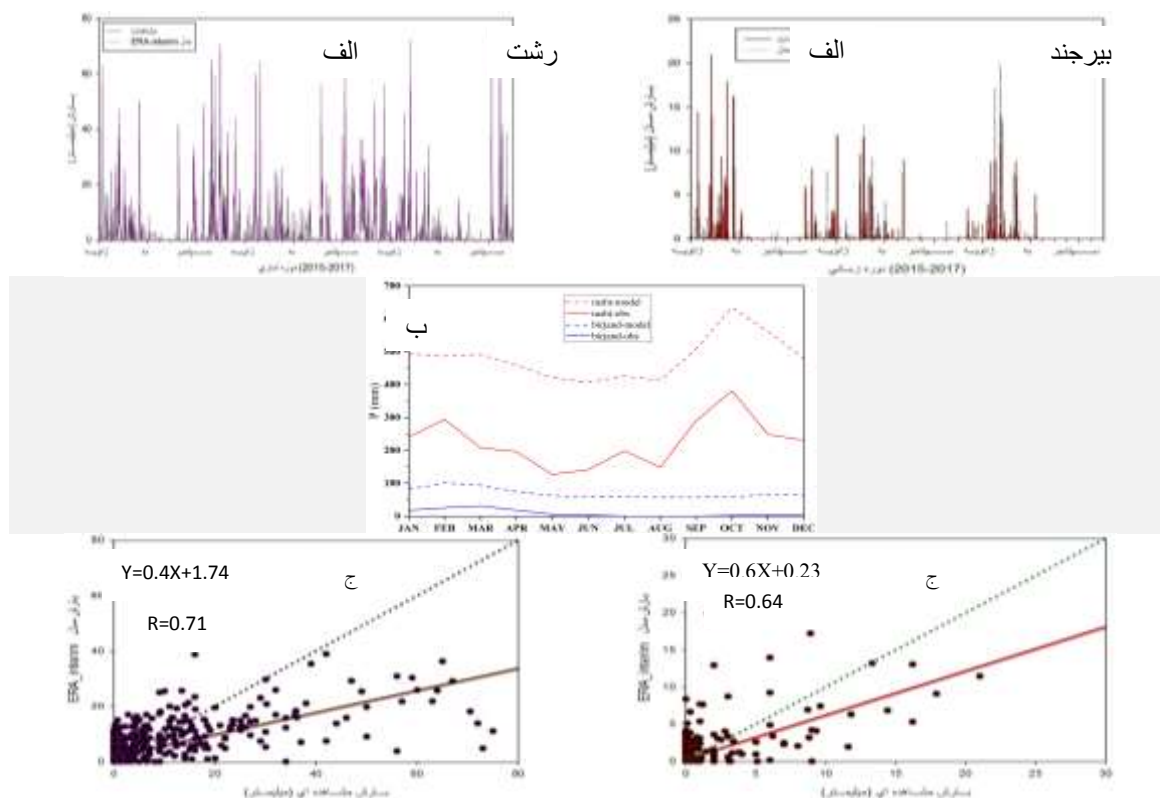
بین ایستگاه‌های رشت و بیرجند متفاوت است. علاوه بر عوامل اقلیمی، موقعیت ایستگاه، ارتفاع، پوشش گیاهی پیرامون ایستگاه، در معرض باد بودن و جهت وزش باد غالب و نوع باران سنج‌های مورد بهره‌برداری در هر ایستگاه و نحوه کالیبراسیون (۱۴) آن‌ها نیز ممکن است بر بارش اندازه‌گیری شده تأثیر گذار باشد. این عوامل باعث می‌شوند تا از یک رخداد بارش، مقادیر اندازه‌گیری متفاوتی ثبت شود و عدم قطعیت در مشاهدات را در پی داشته باشد. این عوامل باعث می‌شوند تا در ارزیابی داده‌های مشاهداتی با



شکل ۲- الف مقادیر مشاهده‌ای بارش تجمعی ایستگاه‌های سینوپتیک و ب) مقادیر پیش‌بینی شده بارش تجمعی مدل ERA-interim در ایستگاه‌های منتخب در دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۱۷

نمود. مدل در پیش‌بینی بارش‌های هم‌پیدی و گسترده توانمند است ولی در پیش‌بینی بارش‌های هم‌رفتی و ناشی از شرایط توپوگرافی و جوی منطقه عملکرد پایینی دارد. نتایج این تحقیق با نتایج (۱۱) هماهنگی دارد. وجود برخی عدم قطعیت در پیش‌بینی بارش‌های فرین ممکن است فاصله خط وایزش از خط یک به یک را افزایش دهد.

در شکل (۳) سری زمانی بارش مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده ایستگاه رشت (چپ) و بیرجند (راست) در دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۷ در مقیاس روزانه (الف)، تجمعی (ب) و روابط رگرسیونی (ج) آنها ارائه شده است. مدل بخوبی توانسته نوسانات بارش‌های دو ایستگاه کم بارش (بیرجند) و پر بارش (رشت) را نشان دهد. همچنین کم‌برآوردی مدل را می‌توان از پراکنش نقاط پیرامون خط وایزش استنباط



شکل ۳- سری زمانی بارش روزانه (الف)، تجمعی (ب) و رابطه رگرسیونی (ج) مقادیر مشاهده ای و پیش بینی مدل ERA-interim در دوره ۲۰۱۵-۲۰۱۷ ایستگاه های بیرجند (راست) و رشت (چپ)

مشاهده می شود این ضریب برای دمای نقطه شبنم در ایستگاه کرمانشاه به کمتر از ۱۰ درصد رسیده است که در ارتفاعات به طور استثنا این رابطه ضعیف دیده می شود. همچنین جدول (۲) خطای استاندارد برآورد^۱ را نشان می دهد که مشخص می کند مطابق مدل رگرسیون، مقدار برآورد شده یا پیش بینی شده مدل (ERA-interim) به طور متوسط چقدر تا مقدار واقعی (مشاهده ای) فاصله دارد. به طور متوسط کمترین و بیشترین میزان خطای استاندارد برآورد بارش به ترتیب برای ایستگاه های بیرجند و رشت است. به نظر می رسد به طور متوسط مدل در برآورد دمای میانگین و دمای حداکثر خطای کمتری را دارد.

در جدول (۳) نتایج ارزیابی دقت پیش بینی های مدل ERA-interim در برابر مقادیر مشاهده ای با استفاده از آماره های RMSE و NRMSE برای ایستگاه های منتخب ارائه شده است. هر چه مقدار این آماره به صفر نزدیکتر باشد، خطای مدل در پیش بینی مقادیر مشاهده ای کمتر است. دامنه

بررسی مدل های خطی رگرسیونی برازش شده بین متغیرهای مورد مطالعه (مقادیر مشاهده ای و پیش بینی مدل ERA-interim) نشان از معنی دار بودن این مدل ها دارد و ضرایب تعیین مدل ها در جدول (۲) ارائه شده است. همانطور که در نتایج جدول (۲) نشان داده شده است، دامنه R^2 برای متغیرهای حداکثر دمای روزانه و میانگین دما بالای ۹۰ درصد است. ضریب تعیین مشخص می کند مقادیر مشاهده ای چه نسبتی از تغییرات مقادیر پیش بینی شده مدل را تبیین می کند. بیشترین ضریب تعیین مربوط به دمای حداکثر در کرمانشاه است که نشان می دهد بیش از ۹۸ درصد تغییرات مقادیر پیش بینی شده مدل به واسطه مقادیر مشاهده ای تعریف شده است. ضریب تعیین بارش در ایستگاه های مورد مطالعه بین ۱۶ تا ۵۱ درصد متغیر است که کمترین آن مربوط به ایستگاه بوشهر است. همچنین در ایستگاه رشت ۸۵ درصد تغییرات و پراکندگی در متغیر دمای نقطه شبنم پیش بینی شده توسط مدل ERA-interim به مقادیر مشاهده ای بستگی داشته است، از طرف دیگر

1. Standard Error of Estimate (std. E. E)

RMSE بارش در ایستگاه‌های منتخب ۱,۴ الی ۷,۳ میلیمتر است. میزان بالاتر بودن مقدار آن در ایستگاه رشت به دلیل مقدار بارش بیشتر در این ایستگاه است و با نتایج (۱۱) مطابقت دارد. در بین متغیرهای دمایی کمترین و بیشترین مقدار RMSE به ترتیب برای دمای نقطه شبنم و دمای حداقل در ایستگاه‌های مشهد و بیرجند است. مقایسه

جدول ۲- ضریب تعیین و خطای استاندارد برآورد مقادیر پیش بینی مدل با مقادیر مشاهداتی متغیرهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های

مربوطه در مقیاس روزانه طی دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۱۵

parameter	Statistic	Mashhad	Birjand	Bushehr	Rasht	Kermanshah
Precipitation	R^2	0.494	0.406	0.157	0.508	0.447
	(std. E. E)	1.48	1.22	2.6	3.98	3.13
Average temperature	R^2	0.914	0.925	0.922	0.883	0.933
	(std. E. E)	2.42	2.41	2.12	2.47	2.1
Dew point temperature	R^2	0.731	0.724	0.205	0.854	0.083
	(std. E. E)	2.95	3.2	4.73	2.77	4.59
Minimum temperature	R^2	0.858	0.778	0.889	0.756	0.796
	(std. E. E)	3.96	4.44	3.16	4.19	5.03
Maximum temperature	R^2	0.976	0.981	0.923	0.906	0.981
	(std. E. E)	1.59	1.29	2.61	2.53	1.53

بیشترین مقدار NRMSE مربوط به پیش بینی دمای حداقل در ایستگاه بیرجند است. مقادیر پایین NRMSE نشان می‌دهد انحراف بارش مدل کمتر از یک است و بیانگر برآورد قابل قبول مدل در همه نواحی است. در این سطح مقایسه ای NRMSE مدل در برآورد دمای حداقل نسبت به دیگر

متغیرهای دمایی با خطای بیشتری همراه بوده است. به طور کلی مقادیر NRMSE در همه متغیرهای دمایی و بارش و در همه ایستگاه‌ها کمتر از ۰,۴ است. به بیان دیگر ضریب تغییرات پایین باقیمانده های مقادیر پیش بینی از مشاهدات را نشان می‌دهد و عدم قطعیت مدل بسیار پایین است.

جدول ۳- مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و استاندارد شده (NRMSE) مقادیر پیش بینی مدل با مقادیر مشاهداتی متغیرهای

مورد مطالعه در ایستگاه‌های مربوطه در مقیاس روزانه

parameter	Statistic	Mashhad	Birjand	Bushehr	Rasht	Kermanshah
Precipitation	RMSE	2.08	1.37	4.04	7.25	3.78
	NRMSE	0.04	0.07	0.05	0.10	0.00
Average temperature	NRMSE	7.73	6.07	4.76	5.75	8.07
	NRMSE	0.19	۰,۱۵	0.16	0.20	0.21
Dew point temperature	RMSE	3.02	4.66	11.36	6.21	6.69
	NRMSE	0.10	0.11	0.34	0.20	0.18
Minimum temperature	RMSE	9.82	14.24	11.42	6.38	12.37
	NRMSE	0.23	0.37	0.35	0.19	0.32
Maximum temperature	RMSE	4.29	3.40	5.29	4.89	12.37
	NRMSE	0.09	0.08	0.16	0.13	0.32

در جدول (۴) ضریب کارایی بین مقادیر مشاهداتی و پیش بینی مدل را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات ضریب کارایی در ایستگاه‌ها و متغیرهای مختلف بین ۰/۳- و ۰/۹ است. مدل

در پیش‌بینی بارش بوشهر، دمای حداقل در ایستگاه مشهد، بیرجند، بوشهر، کرمانشاه و دمای حداکثر در ایستگاه کرمانشاه دقت پایینی داشته است. از طرف دیگر در پیش-

پیش‌بینی کند. مدل در پیش بینی میانگین دما و دمای حداقل به ترتیب کم برآورد و بیش برآورد کرده است. مقادیر مثبت اریبی دمای نقطه شبنم در مشهد، بیرجند و کرمانشاه و مقادیر منفی آن در بوشهر و رشت دیده می شود. مقادیر مثبت دمای حداکثر در بوشهر و کرمانشاه و مقادیر منفی آن در مشهد، بیرجند و رشت دیده می شود.

بینی دمای نقطه شبنم در مشهد، دمای حداکثر در مشهد ، بیرجند و رشت توانایی بالایی داشته است. مدل در برآورد بارش بوشهر تقریباً با میانگین مشاهدات عمل کرده است و مقدار ضریب کارایی صفر شده است. بررسی میانگین خطای اریبی در این مطالعه نشان می‌دهد مدل در پیش بینی بارش ایستگاه مشهد بخوبی توانسته مقادیر مشاهده‌ای را

جدول ۴- ضریب کارایی و میانگین خطای اریبی مقادیر پیش بینی مدل با مقادیر مشاهداتی متغیرهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های مربوطه

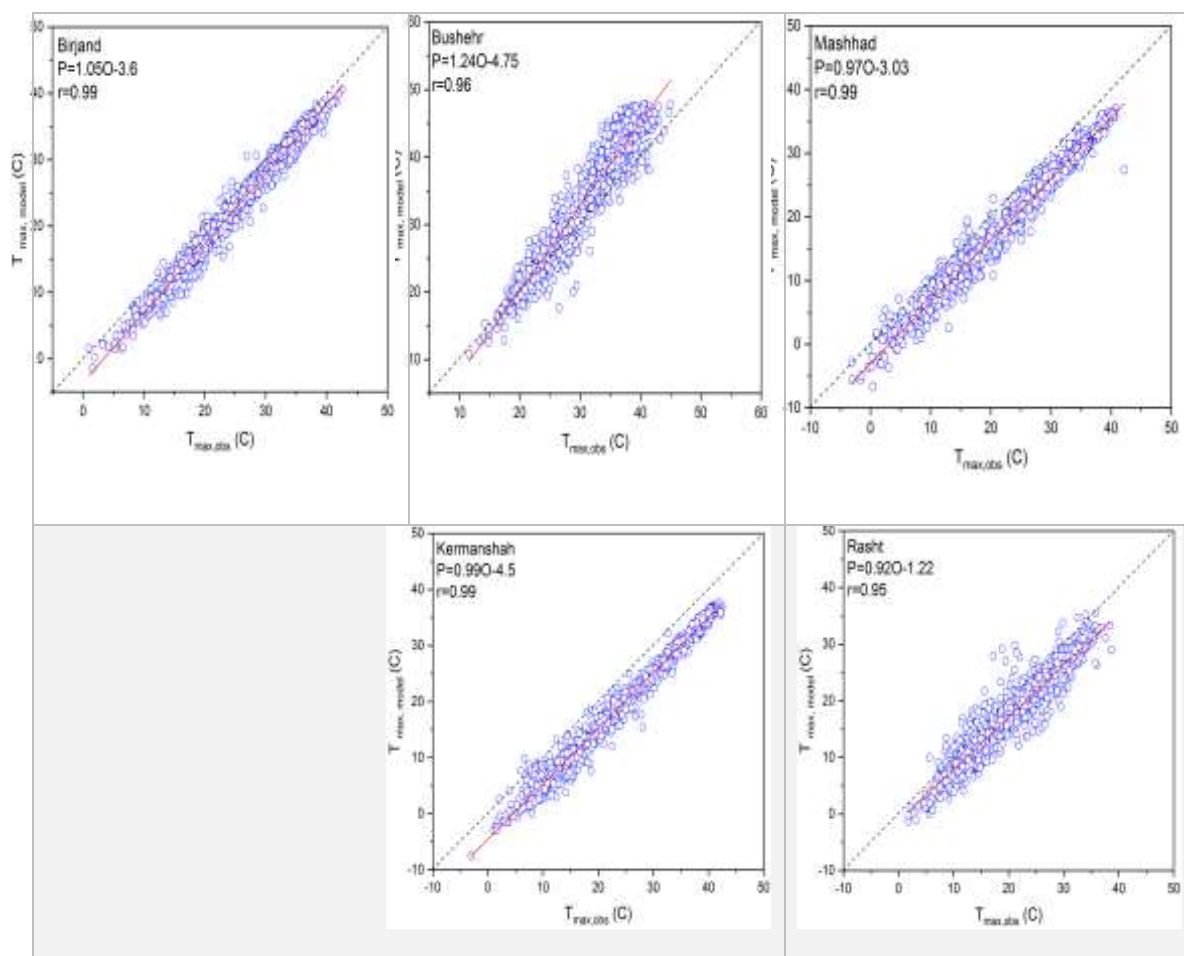
parameter	Statistic	Mashhad	Birjand	Bushehr	Rasht	Kermanshah
Precipitation	EF	0.5	0.3	0.0	0.5	0.4
	MBE	0.0	0.1	-0.1	-0.2	0.4
Average temperature	EF	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3
	MBE	-7.1	-5.6	-4.2	-5.1	-7.5
Dew point temperature	EF	0.7	0.4	-1.9	0.2	-0.2
	MBE	0.5	3.3	-9.4	-5.6	0.5
Minimum temperature	EF	-0.3	-1.8	-1.3	0.3	-1.4
	MBE	8.8	13.5	10.8	4.5	11.1
Maximum temperature	EF	0.8	0.9	0.6	0.7	-1.4
	MBE	-3.5	-2.2	3.2	-2.4	11.1

در شکل (۴) نمایش داده شده است که نشان‌دهنده ارتباط خوب بین داده‌های مشاهده‌ای با مدل ERA-interim است. انطباق نزدیکترین مختصات شبکه‌ای ERA-interim با مختصات ایستگاه سینوپتیک ممکن است یکی از عواملی باشد که خط وایزش از خط ۱:۱ فاصله گرفته است. ضرایب همبستگی خطی پیرسون بین ۰٫۹۵ تا ۰٫۹۹ متغیر است و نشان دهنده ارتباط قوی خطی مثبت بین مقادیر مشاهده‌ای و مدل ERA-interim در این متغیر را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر ضریب تبیین در جدول (۲) و مقادیر ضریب همبستگی در شکل (۴) می‌توان درصد تغییرات تعریف شده بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش بینی را نشان داد، به طور مثال برای متغیر دمای حداکثر در ایستگاه بیرجند می‌توان گفت که ۹۸ درصد کل تغییرات در مقادیر پیش‌بینی مدل از طریق ارتباط خطی مثبت قوی بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش بینی تعریف می‌شود و ۲ درصد تغییرات مقادیر پیش‌بینی مدل تعریف نشده باقی می‌ماند. در ایستگاه‌های مشهد، بیرجند، کرمانشاه و رشت خط وایزش پایینتر از خط ۱:۱ است که نشان می‌دهد

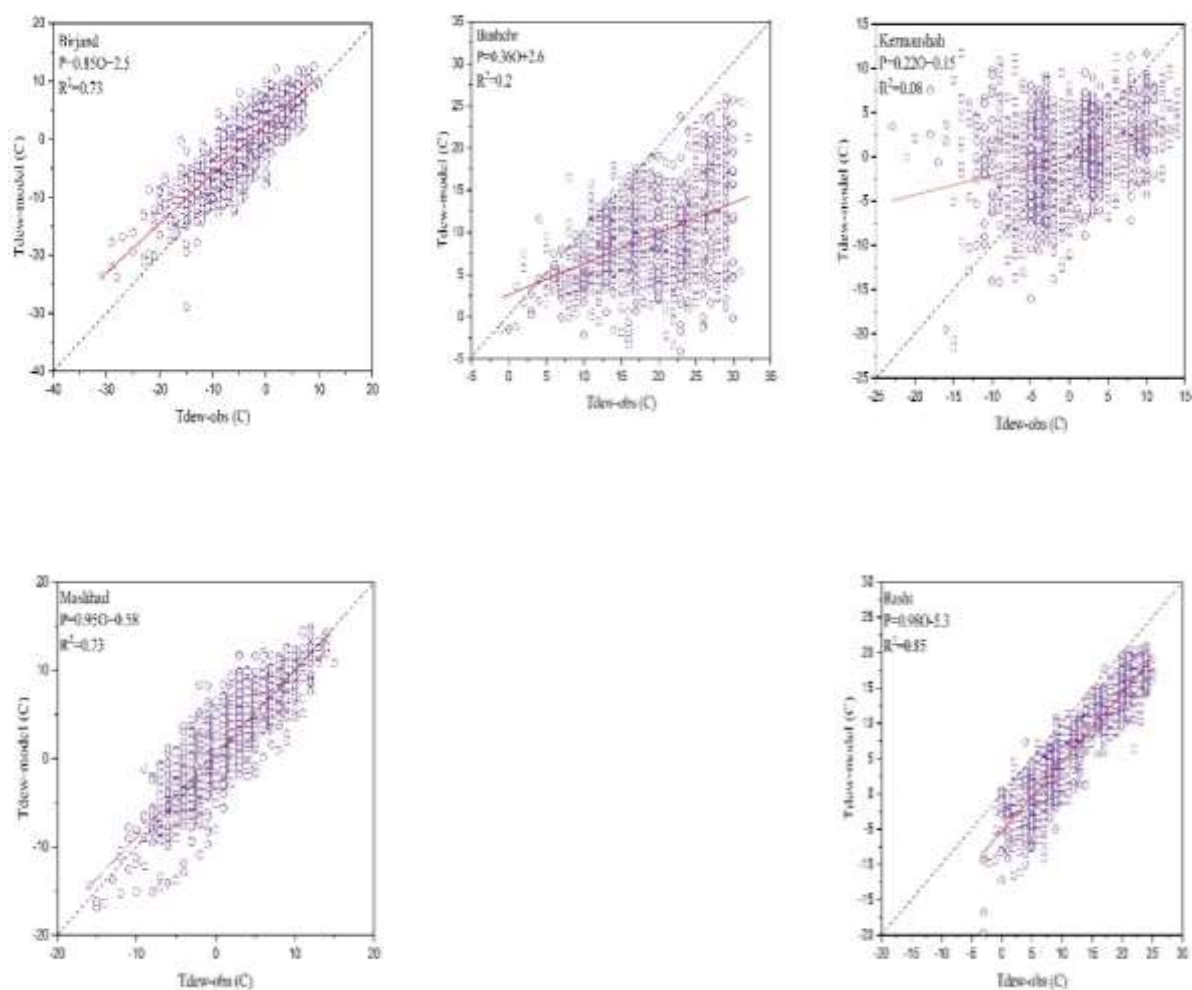
مقادیر دمای حداکثر مدل نسبت به مشاهده‌ای کم برآورد دارد که در جدول (۲) نیز مقدار MBE معرف این مطلب است. مقدار شیب معادلات رگرسیون بین ۰٫۹۲ تا ۱٫۲۴ است که نشان‌دهنده ارتباط خوب میان هر دو داده و توانایی بالای مدل دارد. در شکل (۴) بجز در ایستگاه بوشهر خط وایزش موازی خط یک به یک است و نشان می‌دهد که میزان حساسیت بین داده‌های مدل به مشاهدات در حدود یک است و تغییرات در هر دو مجموعه داده مشاهدات و مدل یکسان است. در شکل (۵) پراکنش مقادیر دمای نقطه شبنم ارائه شده است. بهترین نتایج دمای نقطه شبنم مدل در مشهد دیده شد و بیرجند و رشت به ترتیب بیش و کم برآورد یافت شد. در ایستگاه‌های کرمانشاه و بوشهر پراکنش نقاط گسترده‌تر می‌باشد و میزان ۲۰ درصد تغییرات دمای نقطه شبنم مدل توسط مشاهدات تبیین می‌شود. همچنین به علت توانایی پایین در پیش بینی بارش‌های فرین این مناطق ممکن است در برآورد پارامتر رطوبت ویژه نیز عدم قطعیت وجود داشته باشد؛ زیرا در مدل ERA-Interim دمای

توپوگرافی پیچیده و آب و هوای نسبتاً خشک کم است (Tang et al, 2018). و هر چه قدرت تفکیک مکانی بزرگ شود ممکن است تغییرات ناشی از توپوگرافی مختل شود.

نقطه شبنم مدل با استفاده از پارامترهای رطوبت ویژه و فشار سطح محاسبه می‌شود و در صورتی که درجه حرارت کمتر از دمای حداقل در ارتفاع دو متری باشد، دمای نقطه شبنم معادل دمای حداقل در نظر گرفته می‌شود یعنی $(T_{dew}=T_{min})$ ؛ دمای نقطه شبنم تحت تاثیر



شکل ۴- پراکنش نقاط پیرامون خط وایازش برای متغیر دمای حداکثر روزانه در همه ایستگاههای مورد مطالعه



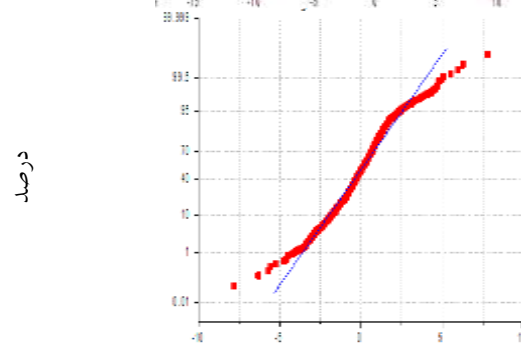
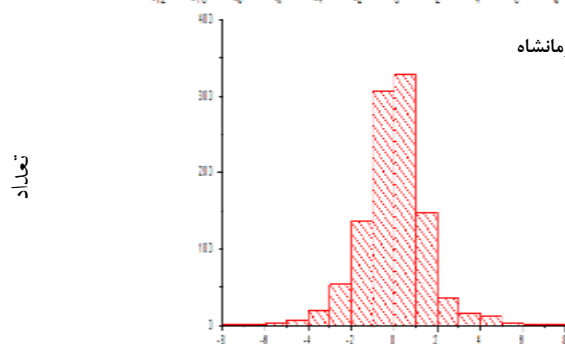
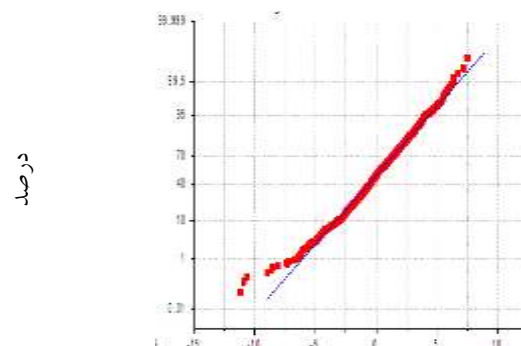
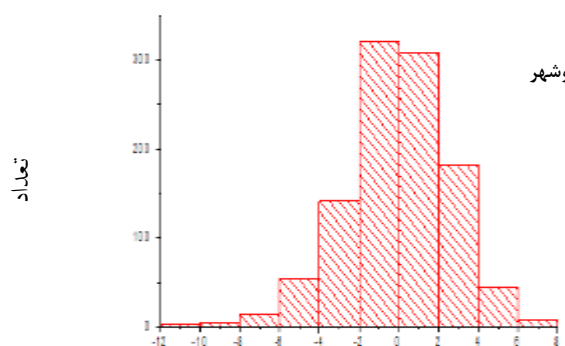
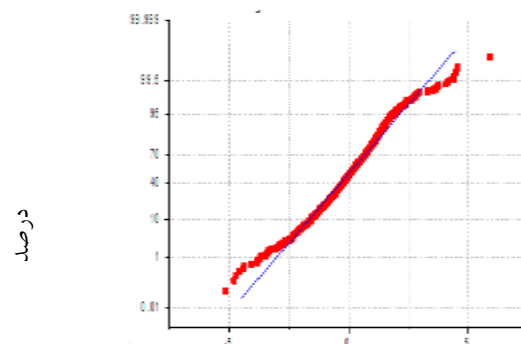
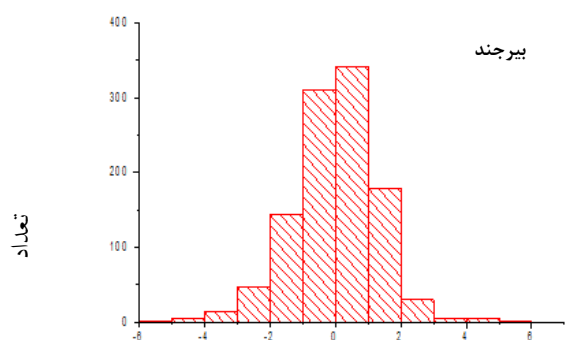
شکل ۵- پراکنش نقاط پیرامون خط وایازش برای متغیر دمای نقطه شبم روزانه در همه ایستگاههای مورد مطالعه

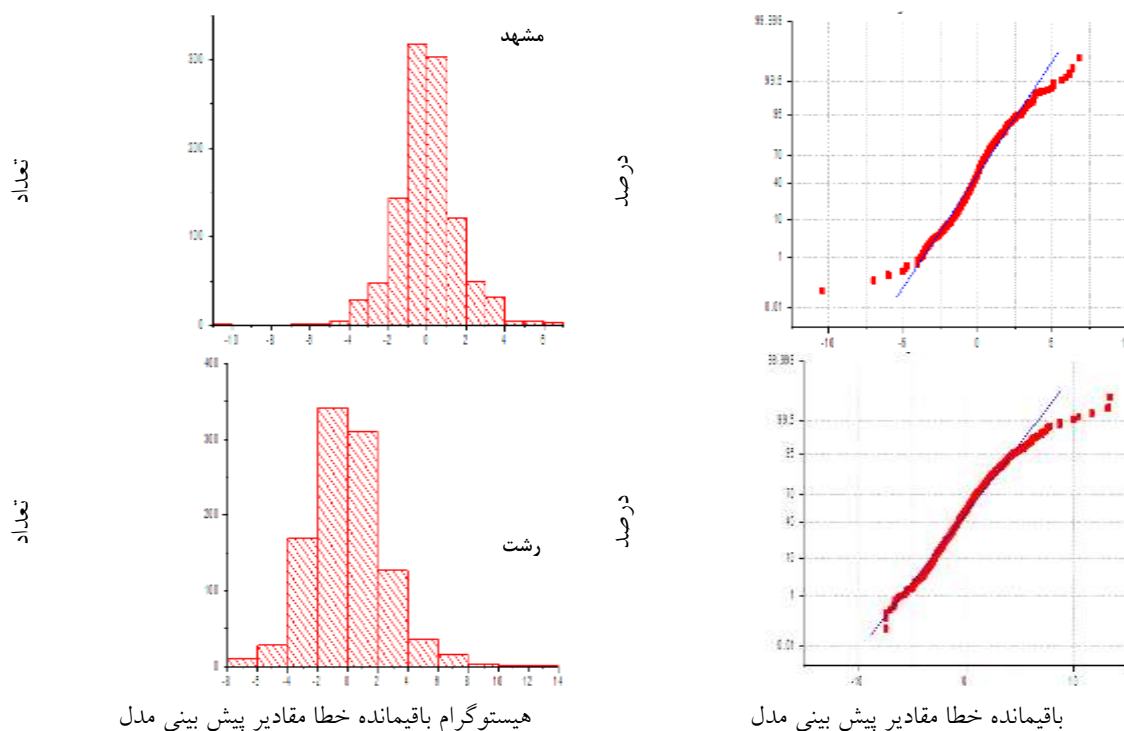
است. با توجه به پراکنش مکانی ایستگاههای منتخب، همبستگی بالای سری زمانی روزانه بین مقادیر مشاهده ای و پیش بینی مدل در همه متغیرها دیده شده است که با تحقیقات دیگر محققین (۳،۱۱،۱۳) مطابقت دارد.

جدول (۵) مقدار همبستگی خطی بین مقادیر مشاهده ای متغیرهای مورد مطالعه را با مدل نشان می دهد. مقادیر بالای ضریب r همبستگی قوی معنی دار بین دو سری زمانی داده را نشان می دهد. این مدل در پیش بینی بارش بوشهر و دمای نقطه شبم کرمانشاه عملکرد ضعیفتری را نشان داده

جدول ۵- ضریب همبستگی خطی (r) بین مقادیر مشاهده ای متغیرهای مورد مطالعه با مدل در مقیاس روزانه ERA-interim

parameter	Mashhad	Birjand	Bushehr	Rasht	Kermanshah
Precipitation	0.7	0.64	0.4	0.71	0.66
Average temperature	0.96	0.96	0.96	0.94	0.97
Dew point temperature	0.86	0.85	0.45	0.92	0.29
Minimum temperature	0.93	0.88	0.94	0.87	0.89
Maximum temperature	0.99	0.99	0.96	0.95	0.99





شکل ۶- نمودار احتمال-احتمال (P-P) و هیستوگرام باقیمانده خطای مقادیر پیش بینی دمای حداکثر مدل

تحلیل مجدد مدل در شرایط متنوع توپوگرافی و اقلیمی ایستگاه‌ها مورد بررسی آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد نوسانات متغیرهای مورد مطالعه در مدل با داده‌های مشاهده‌ای هماهنگی زمانی بسیار بالایی دارد. در مورد متغیر بارش، علاوه بر عوامل اقلیمی، موقعیت ایستگاه، ارتفاع، پوشش گیاهی پیرامون ایستگاه، در معرض باد بودن و جهت وزش باد غالب و نوع باران سنج‌های مورد بهره‌برداری در هر ایستگاه و نحوه کالیبراسیون (۱۴) آن‌ها نیز ممکن است بر بارش اندازه‌گیری شده تاثیر گذار باشد. اگر چه بررسی سری زمانی مدل و مشاهدات نشان می‌دهد که هماهنگی بسیار بالایی در ارائه نوسانات بارش وجود دارد ولی مقادیر مدل غالباً کم برآوردی مدل نسبت به مشاهدات را نشان می‌دهد؛ بطور مثال مدل در پیش بینی بارش بوشهر دقت پایینی داشته است و در پیش بینی بارش ایستگاه مشهد بخوبی توانسته مقادیر مشاهده‌ای را پیش‌بینی کند. ممکن است کم برآورد کردن بارش در ایستگاه‌هایی مانند رشت (ناحیه خزری) یا بوشهر (خلیج فارس) به علت توانایی پایین مدل در پیش‌بینی بارش‌های فرین در آن مناطق باشد که تحقیقات

آزمون نرمال بودن توزیع خطاها بررسی و نمودار احتمال-احتمال (P-P) مطابق شکل (۶) رسم گردیده است. نتایج نشان می‌دهد توزیع خطا در همه ایستگاه‌ها نرمال می‌باشد در ایستگاه‌های بیرجند و کرمانشاه نمودار باقیمانده خطا نرمال متقارن و در ایستگاه‌های بوشهر و رشتبه ترتیب نرمال و کمی چولگی به چپ و راست مشاهده می‌شود. نقاط نمودار (P-P) نیز نشان می‌دهد باقیمانده خطا پیرامون یک خط راست قرار گرفته اند، و تجمع بیشتر نقاط در اطراف این خط نشان دهنده اینست که پیش بینی های مدل برای امتغیر دمای حداکثر دقیق‌تر است.

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی دقت مقادیر روزانه متغیرهای دما (ی میانگین، حداقل و حداکثر، دمای نقطه شبنم) و بارش مدل ERA-interim از پایگاه ECMWF با پنج ایستگاه سینوپتیک در مناطق مختلف کشور (شمال، شمال شرق، شرق، جنوب و غرب) در دوره ۲۰۱۵-۲۰۱۷ با قدرت تفکیک مکانی ۵*۵*۵ درجه پرداخته شده است. داده های

کاربرد داده‌های تحلیل مجدد مدل‌های نظیر ERA-Interim در مناطقی است که داده‌های ایستگاه‌های زمینی وجود ندارد و یا دوره‌های آماری آن‌ها کم است. این نوع داده‌ها برای انواع پژوهش‌های اقلیمی، هیدرولوژی و مدیریت منابع آب کاربرد دارد.

منابع

1. Balsamo, G., S. Boussetta, P. Lopez, and L. Ferranti, 2010, Evaluation of ERA-Interim and ERA-Interim-GPC Pre-scaled precipitation over the U.S.A. ERA Report Series. No. 5, ECMWF. Reading. UK. 10 pp.
2. Bosilovich, M.G., J. Chen, F. Robertson, and R.F. Adler, 2008, Evaluation of global precipitation in reanalysis. Journal of applied meteorology and climatology. No. 47 (9): 2279-2299.
3. Darand, M., Z. Karimi, S, 2015, Evaluation of Spatio-Temporal Accuracy of Precipitation of European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) over Iran. Physical Geography Research Quarterly. V 47. pp. 651-675 (In Persian with English Summary).
4. Dee, D.P., S.M. Uppala, A.J. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M.A. Balmaseda, G. Balsamo, P. Bauer, P. Bechtold, A. Beljaars, L. Van De Berg, Bidlot, N. Bormann, C. Delsol, R. Dragani, M. Fuentes, A.J. Geer, L. Haimberger, S.B. Healy, H. Hersbach, E.V. Hölm, L. Isaksen, P. Kallberg, M. Köhler, M. Matricardi, A.P. McNally, B.M. Monge-Sanz, J.J. Morcrette, B.K. Park, C. Peubey, P. de Rosnay, C. Tavolato, J. N. Thépaut, and F. Vitart, 2011, The ERA-Interim reanalysis configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. No. 137: 553-597.
5. De Leeuw, J., J. Methven, M. Blackburn, 2014, Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, No.141, pp. 798-806.
6. IFS DOCUMENTATION Cy41r1 Operational implementation 12 May 2015 PART IV: PHYSICAL PROCESS
7. Khan, A., K.S. Richards, G.T. Parker, A. McRobie, M.J. Booij, Z. Duan, and M. Khan, 2015. Spatial and altitudinal variation of precipitation and the correction of gridded precipitation datasets for the Upper Indus

(۱۱) نیز موید این مسئله می‌باشد. این شرایط نیز ناشی از پیچیدگی توپوگرافی و شرایط خاص جوی در مناطق مختلف است که مدل نمی‌تواند بدرستی آن‌ها را نمایش دهد. بیش از ۹۰ درصد تغییرات در متغیرهای حداکثر دمای روزانه و میانگین دما توسط تغییرات مشاهدات قابل تبیین است. به طور متوسط مدل در همه مناطق در برآورد دمای میانگین و دمای حداکثر خطای کمتری را دارد. مقادیر NRMSE در همه متغیرهای دمایی و بارش و در همه ایستگاه‌ها کمتر از ۰,۴ است. مقادیر مثبت اریبی دمای نقطه شبنم در مشهد (شمال شرق)، بیرجند (شرق) و کرمانشاه (غرب) و مقادیر منفی آن در بوشهر و رشت دیده می‌شود. مقادیر مثبت دمای حداکثر در بوشهر و کرمانشاه و مقادیر منفی آن در مشهد، بیرجند و رشت دیده می‌شود. همچنین بیشترین کارایی مدل برای متغیر دمای حداکثر روزانه در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه محقق شد. با توجه به پراکنش مکانی ایستگاه‌های منتخب، وجود ارتباط قوی و معنی دار و همبستگی بالای سری زمانی روزانه بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل در همه متغیرها دیده شده است. به طور کلی مدل بخوبی توانسته روند تغییرات زمانی متغیرهای مختلف را در ایستگاه‌های منتخب شبیه‌سازی کند و دقت مدل در متغیرهای دمایی بیش از بارش است. کاربران داده‌های شبکه ای باید نسبت به وجود عدم قطعیت‌های بزرگتر در مناطق با تراکم ایستگاهی کمتر آگاه باشند. ممکن است اختلافات مشاهده شده ناشی از عواملی نظیر دقت پایگاه‌های داده مورد استفاده در مدل، قدرت تفکیک مدل و روش‌های درونیابی مدل در مختصات متناظر ایستگاه‌ها باشد. همچنین تراکم شبکه داده‌های زمینی در منطقه و بررسی روابط دینامیکی و فیزیکی حاکم در مدل، گام‌های اجرا و ... در پیش‌بینی مقادیر بارش و دمای نقطه شبنم و دیگر متغیرهای دمایی از مواردی است که باید در بکارگیری مدل‌ها در نظر گرفته شود. ممکن است اختلافات مشاهده شده ناشی از عواملی نظیر دقت پایگاه‌های داده مورد استفاده در مدل، قدرت تفکیک مدل و روش‌های درونیابی مدل در مختصات متناظر ایستگاه‌ها باشد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان از داده‌های این مدل در کنار داده‌های ایستگاهی استفاده نمود. مزیت غالب در

- Climatic Conditions in Iran: Preliminary Results, Remote Sensing, No.8, pp.134-158.
14. Sieck, L. C., S. J. Burges, and M. Steiner, 2007, Challenges in obtaining reliable measurements of point rainfall. Water Resources Research, No. 43, W01420, doi: 10.1029/2005WR004519.
 15. Sodoudi, S., A. M. Noorian, G. Manfred, R. Eberhard, 2010. Daily precipitation forecast of ECMWF verified over Iran, Theoretical Applied Climatology, 99, 39–51.
 16. Szczypka, C., J. C. Calvet, C. Albergel, G. Balsamo, S. Boussetta, D. Carrer, S. Lafont, and C. Meurey, 2011. Verification of the new ECMWF ERA-Interim reanalysis over France. Hydrology and Earth System Sciences. No. 15, pp. 647–666.
 17. Tang, G., A. Behrangi, Z. Ma, D. Long, Y. Hong, 2018, Downscaling of ERA-Interim Temperature in the Contiguous United States and Its Implications for Rain–Snow Partitioning. Journal of Hydrometeorology, No. 19(7). DOI: 10.1175/JHM-D-18-0041.1
 18. scaling of ERA-Interim Temperature in the Contiguous United States and Its
 19. Implications for Rain–Snow Partitioning
 20. nscaling of ERA-Interim Temperature in the Contiguous United States and Its
 21. Implications for Rain–Snow Partitioning
 - Basin and the Hindukush-Karakoram-Himalaya. Geophysical Research Abstracts. Vol. 17. pp. 2.
 8. Masoudian, A. 1391. Weather in Iran. Shariah Toos Publications. Iran (In Persian).
 9. MCEVOY, D., J. F. MEJIA, J. L. HUNTINGTON, 2014, Use of an Observation Network in the Great Basin to Evaluate Gridded Climate Data, JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY, No. 15, pp.1913-1931.
 10. Modarres, R., 2006, Regional precipitation climates of Iran. Journal of Hydrology, No. 45, pp. 13–27.
 11. Raziei, T., F. Sotoudeh, 2017. Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran, physics of earth and space. No. 43(1), pp.133-147(In Persian with English Summary).
 12. Rhodes, R. I., L. C. Shaffrey, and S. L. Gray, 2015. Can re-analyses represent extreme precipitation over England and Wales?, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, No.141, pp.1114–1120.
 13. Sharifi, E., R. Steinacker, and B. Saghafian, 2016, Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and