نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

صفحات ۲۱ – ۳۴

مطالعه مقایسه‌ای روش‌های نگاشت چندک برای تصحیح اریبی داده‌های بارش بازتحلیل ERA۵

کاوه باپیرزاده؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران.

حسام سیدکابلی؛[1] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران

لیلا نجفی؛ مربی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۱۱/۲۴ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹

چکیده

این تحقیق به ارزیابی توانایی روش‌های مختلف نگاشت چندک (QM) به عنوان یک تکنیک تصحیح اریبی داده‌های بارش بازتحلیل ERA۵ می‌پردازد. نوع اقلیم و موقعیت جغرافیایی می‌توانند عملکرد روش تصحیح اریبی را به دلیل تفاوت در خصوصیات بارش تحت تأثیر قرار دهند. به این منظور داده‌های بارش بازتحلیل ERA۵ برای سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۹ به صورت روزانه برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک منتخب در اقلیم‌هایی با ویژگی‌های توپوگرافیک گوناگون از سایت مرکز پیش‌بینی میان مدت جوی اروپا (ECMWF) دریافت شد. تصحیح اریبی این داده‌ها با استفاده از ۵ روش نگاشت چندک بر پایه داده‌های مشاهداتی در محیط نرم‌افزار R انجام گرفت. ارزیابی دوبخشی و دیاگرام تیلور برای مقایسه عملکرد روش‌های مختلف به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که عملکرد روش نگاشت چندک به توابع عملکرد، مجموعه پارامترها و شرایط اقلیمی بستگی دارد. به طورکلی روش‌های ناپارامتریک نگاشت چندک عملکرد مناسب‌تری نسبت به روش‌های پارامتریک دارند به گونه‌ای که بهترین عملکرد مربوط به روش QUANT و RQUANT است، در این بین روش DIST ضعیف‌ترین عملکرد را دارد.

واژه‌های کلیدی: نگاشت چندک، تصحیح اریبی، ERA۵، ECMWF.

[1] . نویسنده مسئول: Email:hkaboli@jsu.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که تغییرات زمانی-مکانی زیادی دارد و این عنصر اقلیمی سهم بسزایی در توسعه پایدار منابع آب دارد. در دسترس نبودن داده‌های روزآمد و نیز وجود داده‌های گم‌شده فراوان در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی از اساسی‌ترین مشکلاتی است که پژوهشگران با آن روبرو هستند. در سال‌های اخیر برآورد کمیت بارش به صورت نقشه‌های بارندگی توسط مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا NWP[۱] بسیار مورد توجه است [Collischonn et al., ۲۰۰۷]. به کمک این مدل‌ها می‌توان مقادیر نزولات جوی و پارامترهای هواشناسی را پیش‌بینی نمود. پیش‌بینی‌های مدل‌ها همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است، بنابراین پیش‌بینی اولیه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای موجود باید کنترل شوند. داده‌های تولید شده در این فرایند را داده‌های بازتحلیل[۲] می‌نامند که از ترکیب نتایج پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا (NWP) با داده‌های مشاهده‌ای به دست می‌آیند. اولین داده‌های بازتحلیل شده با نام FGGE در ۱۹۷۹ تولید شد. بعد از آن ایرادهای موجود در مدل‌ها و داده‌های مورد استفاده در مدل برطرف شد و خروجی‌ها بهبود یافت. اگر چه اصلاح پیوسته مدل‌ها باعث کاهش خطای پیش‌بینی‌ها و داده‌های بازتحلیل شد، ولی این باعث شد که سری‌های زمانی داده‌های بازتحلیل همگنی لازم را از دست بدهند و در نتیجه کارایی لازم را برای بررسی تغییرات اقلیمی در سطح کرهٔ زمین نداشته باشند [Uppala et al., ۲۰۰۵]. این مشکل سبب شد تا منابع [Bengtsson and Shukla, ۱۹۸۸] و [Trenberth and Olsen, ۱۹۸۸] پیشنهاد استفاده از یک مدل معین ولی با داده‌های روزآمد را عرضه کنند. این پیشنهاد سازنده سبب شد تا مراکز تولید داده‌های بازتحلیل مانند NCAR/NCEP ، NASA[۳] و ECMWF هر یک مدل معینی را مورد استفاده قرار دهند. با استفاده از این رویکرد ECMWF توانست ERA-۱۵ را عرضه کند. مرکز NCAR/NCEP نیز داده‌های را به صورت تقریباً روزآمد عرضه کرده است. مرکز NASA نیز چنین داده‌هایی را ارائه داده است [Uppala et al. ۲۰۰۵]. مرکز ECMWF بعدها داده‌های ERA-۴۰ را عرضه کرد. با توجه به بازخورد داده‌های ERA-۱۵ و ERA-۴۰ این مرکز توانست ERA-Interim را عرضه کند [Dee et al. ۲۰۱۱]. پس از آن مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا، ERA۵ را منتشر نموده است. ERA۵ نسل پنجم داده‌های بازتحلیل ECMWF از هواشناسی جهانی است که به‌روزرسانی‌های روزانه آن ۵ روز عقب‌تر از زمان واقعی در دسترس هستند.

تحقیقات زیادی در رابطه با داده‌های بازتحلیل در سطح جهان انجام گرفته است. سودودی و همکاران به بررسی کارایی مدل ECMWF برای پیش‌بینی بارش روی ایران پرداختند [Sodoudi et al. ۲۰۱۰]. نتایج نشان داد که مدل ECMWF فقط تا حدی موقعیت مکانی بارش را به درستی پیش‌بینی می‌کند، در حالی که موقعیت بارش‌های بیشینه با مشاهدات سازگار است. بلو-پری‌یرا و همکاران بارش شبه‌جزیره ایبری را با استفاده از داده‌های بارش نسخه ERA-Interim و ERA-۴۰ از پایگاه داده ECMWF و پایگاه‌های GPCC و CRU بررسی و مقادیر بارش پایگاه‌ها یاد شده را با مقادیر بارش پایگاه IBO۲ مقایسه کردند [Belo-Pereira et al., ۲۰۱۱]. نتایج نشان داد مقادیر بارش برآورد شده پایگاه ECMWF، بهترین داده برای شناخت ویژگی‌های بارش این منطقه بود. لی اوو و همکاران دقت EAR-Interim را در برآورد ویژگی‌های بارش روزانه و ماهانه انگلستان و ولز مورد ارزیابی قرار دادند و مشخص کردند که داده‌های ERA-interim همبستگی زیادی با داده‌های مشاهده‌ای دارد [De Leeuw et al., ۲۰۱۵]. سیمونز و همکاران مقادیر بارش برآورد شده دو نسخه پایگاه داده ECMWF (ERA-۴۰ و ERA-Interim) را با مقادیر بارش نسخه جدید مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی ECMWF، مرکز پیش‌بینی اقلیمی CPC[۴]، طرح اقلیم شناسی بارش جهانی GPCP[۵]، تحلیل ادغام شده بارش و بارش روی خشکی مقایسه کردند [Simmons et al., ۲۰۱۰] و نتایج نشان داد که هماهنگی بین مقادیر بارش نسخه جدید ECMWF و آخرین

۱. Numerical Weather Prediction
۲. Reanalysis
۳. National Aeronautics and Space Administration
۴. Climate Prediction Center
۵. GEWEX Modeling and Prediction Panel

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

نسخه پایگاه داده GPCP با مقادیر بارش ECMWF نسبت به دیگر پایگاه‌ها بیشتر است. زیپتا و همکاران داده‌های نسخه جدید ERA-Interim از پایگاه داده ECMWF را بر روی کشور فرانسه ارزیابی کردند [Szczypta et al., ۲۰۱۱] و نتایج نشان داد که اگر چه مقادیر برآورد شده بارش این پایگاه ۲۷ درصد کمتر از مقادیر مشاهده شده است اما همبستگی بسیار خوبی با داده‌های بارش پایگاه ملی دارد.

پیش‌بینی‌هایی که توسط مدل‌های جهانی ارائه می‌شوند، داده‌های خام هستند. این داده‌ها عدم قطعیت‌های زیادی به همراه دارند. همچنین این‌گونه مدل‌ها می‌توانند نمایان‌گر خوبی از ویژگی‌های گسترده در جو باشند، اما ممکن است خصوصیات اقلیمی مانند رعد و برق، تغییرات در پوشش زمین، اثرات ساحلی و موارد دیگر را در نظر نگیرند. بنابراین، بهتر است که پس‌پردازش خروجی‌ها به یک مقیاس دقیق‌تر و یا سازگارتر با ویژگی‌های آماری (اقلیم‌شناسی) گذشته در مکان‌های مورد علاقه تبدیل شوند. به طور کلی دو دلیل عمده برای پس‌پردازش مدل‌های پیش‌بینی عددی جهانی در پیش‌بینی بارش‌های سیل‌زا وجود دارد [Tao et al., ۲۰۱٤]:

۱) صحت پیش‌بینی‌های خام مدل؛ هنوز در اندازه شبکه‌ها محدود است و به طور مستقیم برای پیش‌بینی‌های بارش‌های سیل‌زا مناسب نیست؛

۲) دامنه پیش‌بینی برخی از مدل‌ها، غیرقابل اعتماد است.

بر این اساس، پس‌پردازش پیش‌بینی‌های خام از اهمیت زیادی برخوردار است و می‌توان به کمک تکنیک‌های آماری مانند روش‌های تصحیح اریبی، خطای پیش‌بینی‌ها را تصحیح نمود. جوانمرد قصاب و همکاران به ارزیابی داده‌های بارش پیش‌بینی شده مدل‌های عددی جهانی پایگاه TIGGE و بهبود آن‌ها با استفاده از تصحیح اریبی در حوضه آبریز کارون بزرگ پرداختند [JAVANMARD et al., ۲۰۱۸]. ارزیابی‌ها در بخش هواشناسی به صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای و ارزیابی خطای جابجایی، حجم و الگوی مکانی بارش مدل‌ها با استفاده از روش شی‌گرا انجام گرفت. سپس با استفاده از روش نگاشت چندک به بهبود بارش‌های پیش‌بینی شده پرداخته شد. در ارزیابی داده‌های اولیه مدل‌های جهانی پایگاه TIGGE ، و مدل عددی ECMWF در ارزیابی نقطه‌ای و منطقه‌ای نسبت به دیگر مدل‌ها برتری داشته‌اند. ارزیابی داده‌های تصحیح اریبی‌شده توسط روش نگاشت چندک نیز نشان از بهبود شاخص‌های ارزیابی نسبت به قبل از استفاده از این روش دارد. نگای و همکاران به بررسی روش نگاشت چندک برای تصحیح اریبی داده‌های بارش و دمای مدل‌های اقلیمی جهانی و منطقه‌ای بر روی جنوب آسیا پرداختند و نتایج نشان داد که این روش برای تصحیح دما بسیار مناسب بوده، اما دقت کمتری برای بارش دارد [Ngai et al., ۲۰۱۷].

این تحقیق یک مطالعه مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف تصحیح اریبی اعم از نگاشت چندک پارامتریک و ناپارامتریک را به منظور تصحیح اریبی داده های بازتحلیل ERA-۵ توسعه داده است. اثر اقلیم‌های مختلف نیز با انتخاب ۱۰ ایستگاه سینوپتیک در گستره ایران با ویژگی‌های مختلف اقلیمی در نظر گرفته شد. اهداف ویژه این تحقیق عبارتند از ۱- بررسی اثر تفاوت اقلیمی بر روی تصحیح داده‌های بازتحلیلی بارش، ۲- مقایسه روش‌های نگاشت چندک پارامتریک، ۳- مقایسه بین روش‌های چندک پارامتریک و ناپارامتریک. یافته‌های این تحقیق می‌تواند یک راهنما در بهره‌گیری از روش‌های تصحیح اریبی در تهیه نقشه‌های بارش با توزیع مکانی مناسب بر اساس داده‌های بازتحلیل ERA-۵ در اقلیم‌های مختلف ایران باشد.

داده و روش کار

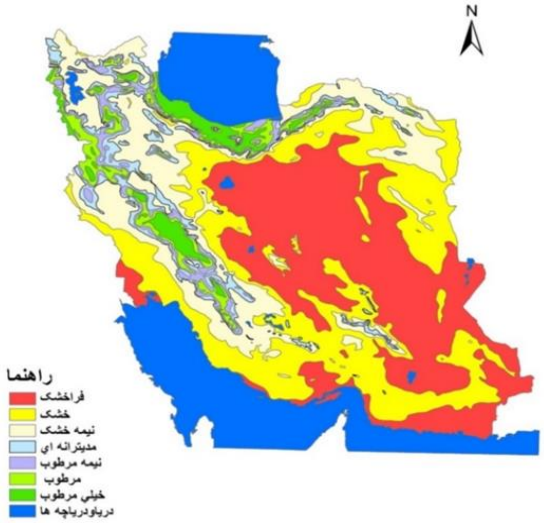
- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

تعداد ۱۰ ایستگاه سینوپتیک در پهنه کشور ایران به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. ایران کشوری است به مساحت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع که در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه در جنوب منطقه معتدله نیمکره شمالی و همچنین در ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است؛ بنابراین از نظر جغرافیایی قسمت‌های جنوبی آن در نواحی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

گرمسیری، قسمت‌های شمالی آن در نواحی نیمه‌گرمسیر تا معتدل و مرطوب واقع است. شکل ۱ پهنه اقلیمی کشور ایران را بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی به روش دمارتن[۱] نشان می‌دهد. طبقه بندی دومارتن بر مبنای شاخص خشکی[۲] بنا نهاده شده است و در آن از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است اقلیم ایران به ۷ دسته از فراخشک تا خیلی مرطوب تقسیم شده است. در این مطالعه تعداد ۱۰ ایستگاه سینوپتیک در ۵ اقلیم فراخشک، خشک، نیمه خشک، مدیترانه‌ای و خیلی مرطوب با توجه به طول دوره آماری و تکمیل بودن داده‌های ثبت شده انتخاب شدند و در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. البته در انتخاب ایستگاه‌ها معیاری دوری و نزدیکی به دریاها به دلیل تفاوت در شکل بارش نیز مورد توجه قرار گرفت. برای مثال ایستگاه چابهار و یزد هر دو در اقلیم فراخشک دسته‌بندی شدند اما چابهار در مجاورت دریای عمان و یزد در مرکز ایران واقع است. در جدول ۲ ارتفاع از سطح دریا به ترتیب بیانگر مجاورت ایستگاه‌های چابهار، بوشهر و بندرانزلی به دریای عمان، خلیج فارس و دریای خزر است که هر کدام دارای اقلیم متقاوت هستند.



شکل ۱- نقشه طبقه‌بندی اقلیمی سراسر ایران

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در اقلیم‌های مختلف

اقلیم	تعداد	ایستگاه
فراخشک	۲	چابهار، یزد
خشک	۲	اهواز، بوشهر
نیمه‌خشک	۲	تهران، مشهد
مدیترانه‌ای	۲	ایلام، شهرکرد
نیمه‌مرطوب	۰	-
مرطوب	۰	-
خیلی‌مرطوب	۲	بندرانزلی، ساری

[۱] De Martonne
[۲] Aridity Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های منتخب همدیدی کشور

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		متوسط مجموع بارش سالیانه (mm)	ارتفاع از سطح دریا (m)
	طول	عرض		
اهواز	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۰۶/۷۵	۲۲/۵
ایلام	۴۶/۴۰	۳۳/۵۹	۵۱۹/۳۰	۱۳۳۷
بندر انزلی	۴۹/۴۶	۳۷/۴۸	۱۶۸۷/۶۰	-۲۳/۶
بوشهر	۵۰/۸۲	۲۸/۹۶	۲۲۹/۲۶	۹
تهران	۵۱/۳۱	۳۵/۶۹	۲۲۳/۹۶	۱۱۹۱
چابهار	۶۰/۶۵	۲۵/۲۸	۸۳/۱۱	۸
ساری	۵۲/۹۹	۳۶/۵۴	۷۵۸/۴۳	۲۳
شهرکرد	۵۰/۸۴	۳۲/۲۹	۳۰۶/۳۴	۲۰۴۹
مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۴	۲۳۰/۸۳	۹۹۹
یزد	۵۴/۲۹	۳۱/۹۰	۴۷/۰۸	۱۲۳۰

• روش تحقیق

هدف اصلی این مطالعه بررسی توانایی‌های روش‌های نگاشت چندک در اصلاح اریبی داده‌های بارش روزانه تحت شرایط اقلیمی و موقعیت‌های جغرافیایی مختلف در ایران است، برای این منظور ابتدا داده‌های بازتحلیل ERA۵ از سایت ECMWF و داده‌های بارش روزانه ۱۰ ایستگاه سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور برای بازه ۳۰ ساله ۲۰۱۹-۱۹۸۹ به صورت روزانه دریافت شد، پس از آن، آماده سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB ، روش‌های نگاشت چندک در محیط نرم‌افزاری R توسط پکیج QM به منظور اصلاح اریبی اجرا شد. در نهایت توانایی روش نگاشت چندک برای داده‌های بارش بازتحلیل مدل ERA۵ توسط معیارهای خطا و در شرایط توپوگرافیک گوناگون مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. الگوریتم اصلاح اریبی نگاشت چندک (QM) از جمله روش‌های مناسب تصحیح اریبی است. روش QM با استفاده از تابع توزیع تجمعی برای مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی در هر مقیاس زمانی موجب حذف اریب‌ها می‌شود. این الگوریتم معمولاً برای اصلاح اریبی‌های توزیع سیستماتیک در خروجی‌های بارش از مدل‌های آب و هوایی استفاده می‌شود [Cannon et al., ۲۰۱۵]. این روش با جایگزین کردن مقدار پیش‌بینی شده با مقدار مشاهداتی در صدک‌های مشابه انجام می‌گیرد [Voisin et al., ۲۰۱۰].

این روش با استفاده از معادله خط بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌های خام، یک تابع تبدیل h(x) به دست می‌آورد. بر اساس این تابع می‌توان توزیع روزانه بارش‌های پیش‌بینی شده P_F را با توزیع روزانه بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها P_O، تنظیم و تعدیل کرد، تابع تبدیل بر اساس رابطه ۱ فرمول‌بندی می‌شود [Piani et al., ۲۰۱۰], [Gudmundsson et al., ۲۰۱۲]

$$P_O = h(P_F) \quad (۱)$$

در صورتی که متغیر مورد نظر دارای یک توزیع شناخته شده باشد، رابطه‌ی آن به شرح زیر بیان می‌شود:

$$P_F = F_O^{-1}\left(F_F(P_F)\right) \quad (۲)$$

که درآن تابع توزیع تجمعی F_F تابع توزیع تجمعی $(CDF)^{-1}$ متغیر P_F و F_O^{-1} معکوس CDF متغیر P_O است.

روش نگاشت چندک برای هر مجموعه پیش‌بینی گروهی در هر روز اعمال می‌شود و روش کار به این صورت است که چندک P_F هر عضو پیش‌بینی بارش توسط تابع توزیع تجمعی F_F یا CDF متناظر پیش‌بینی (یک پنجره ۳۱ روزه که مورد نظر در وسط این پنجره است) محاسبه می‌شود. چندک محاسبه شده با مقدار مشاهداتی متناظر با همان چندک در F_F روزانه جایگزین می‌شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

در روش نگاشت چندک برای مدل‌سازی روابط چندک–چندک، تبدیلات آماری متعددی وجود دارد. تابع تبدیل از یک توزیع نظری برای حل رابطه ۲ استفاده می‌کند. از طرفی برای مدل‌سازی رابطه چندک–چندک با کمک رابطه ۱، می‌توان مستقیم از تبدیلات پارامتری استفاده کرد. در نهایت به جای در نظر گرفتن توزیعات پارامتری، از توابع توزیع تجمعی تجربی در تبدیلات غیرپارامتری برای حل معادله ۲ یا رگرسیون‌های غیرپارامتری مانند SSPLIN، QUANT و RQUANT برای حل معادله ۱ استفاده می‌شود [Gudmundsson et al., ۲۰۱۲].

روش‌های نگاشت چندک به عنوان مهم‌ترین، محبوب‌ترین و نتیجه‌بخش‌ترین روش‌های اصلاح اریبی در نظر گرفته می‌شوند [Villani et al., ۲۰۱٤], [Kouhestani et al., ۲۰۱٦]. بعضی روش‌های پارامتریک (۶ فرمول ذکر شده در روش PTF) بستگی به روابط از پیش تعیین شده‌ای دارد که باید برای هر مورد خاص تنظیم شود. علاوه براین همان‌طور که توسط معادلات آن‌ها نشان داده شد این روش‌ها مبتنی بر رگرسیون هستند و برای داده‌ها یک توزیع نظری خاص فرض شده‌اند. در روش‌های ناپارامتریک (QUANT, RQUANT and SSPLINE) برای داده‌ها، توزیع تجربی مورد استفاده قرار گرفته و بنابراین فرض اولیه برای این توزیع‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. علاوه بر این بر خلاف گزینه‌ها پارامتریک، این روش‌ها به هیچ رابطه از پیش تعیین شده‌ای محدود نیستند که این روش‌ها را انعطاف‌پذیرتر می‌کند.

- **انواع روش‌های نگاشت چندک**

- روش تبدیلات پارامتریک [۱] PTF

این روش با یک چارچوب پارامتر محور ارائه می‌شود که از توابع تغییر پارامتریک برای ایجاد یک رابطه چندک–چندک استفاده می‌کند، این روابط که به صورت ریاضی در قالب زیر توصیف می‌شوند [Kouhestani et al., ۲۰۱٦].

$$P_o = bP_m \quad \text{PTF:scale} \quad (۳)$$

$$P_o = a + bP_m \quad \text{PTF:linear} \quad (۴)$$

$$P_o = (a + bP_m) \times (۱ - e^{\left(-\frac{P_m}{\zeta}\right)}) \quad \text{PTF:expasympt} \quad (۵)$$

$$P_o = bP_m^c \quad \text{PTF:power} \quad (۶)$$

$$P_o = b(P_m - y)^c \quad \text{PTF:power.×۰} \quad (۷)$$

$$P_o = (a + bP_m)\left(۱ - e^{\left(-\frac{P_m - y}{\zeta}\right)}\right) \quad \text{PTF:expasympt.×۰} \quad (۸)$$

که P_o و P_m احتمال متغیرهای مشاهداتی و مدل شده است. a، b، c، y و ζ پارامترهای مرتبط به کالیبراسیون روش است.

- روش تبدیلات توزیع تجمعی [۲] DIST

به طور کلی متغیرهای CDF مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را می‌توان در توزیع تجربی یا تئوری قرار داد [Maraun et al., ۲۰۱۰]. مطابق روش DIST، یک CDF نظری مناسب می‌تواند برای عملکرد انتقال مورد استفاده قرار گیرد.

$$x^o = f(x^m) \quad (۹)$$

$$x^o = F_o^{-۱}[F_m(x^m)] \quad (۱۰)$$

در این روابط x^o متغیر مشاهداتی، x^m متغیر مدل‌شده، f() تابع انتقال، $F_m(x^m)$ برابر CDF x^m و $F_o^{-۱}[\,]$ شکل معکوس CDF x^o است.

۱. Parametric Transformations
۲. Distribution Derived Transformations

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

این روش فقط می‌تواند برای کاهش انحراف متغیر بارندگی استفاده گردد [Li et al., ۲۰۱۰], [Ines et al., ۲۰۰۶]. در این روش CDF نظری [$F_m(.)$] از دو توزیع گاما[۱] و برنولی[۲] تشکیل شده است، به طوری که توزیع برنولی برای محاسبه احتمال وقوع متغیر بارش و توزیع گاما برای مدل‌سازی شدت بارندگی استفاده می‌شود [Maraun et al., ۲۰۱۰].

- **روش ناپارامتریک با استفاده از چندک‌های تجربی QUANT[۳]**

QUANT یک روش ناپارامتریک نگاشت چندک است که از عملگرهای انتقال ناپارامتریک نیز استفاده می‌کند. این روش مقدار سری‌های زمانی تابع CDF مشاهداتی و مدل‌شده را در چندک با فاصله معین تخمین می‌زند. بر همین اساس روش QUANT از درون‌یابی برای تنظیم یه داده با مقدارچندک نامشخص استفاده می‌کند [Teutschbein and Seibert, ۲۰۱۲].

- **روش ناپارامتریک با استفاده از چندک‌های تجربی استوار RQUANT[۴]**

RQUANT نیز یک روش ناپارامتریک نگاشت چندک است که از رگرسیون خطی حداقل مربعات محلی برای تخمین مقدار رابطه چندک-چندک سری‌های زمانی مشاهداتی و مدل شده برای چندک‌ها با فواصل منظم استفاده می‌شود. مقادیر نامشخص چندک‌ها با استفاده از درون‌یابی از مقادیر متناسب تخمین زده می‌شود [Osuch et al., ۲۰۱۷].

- **روش منحنی هموارساز SSPLIN[۵]**

این روش نیز یک روش ناپارامتریک است که با استفاده از یک منحنی هموارساز متناسب با سری‌های زمانی مشاهداتی و مدل‌شده طرح چندک-چندک استفاده می‌کند. در این شیوه نمودار چندک–چندک سری‌های زمانی پیش‌بینی‌ها و داده‌های مشاهداتی ترسیم می‌شوند و با استفاده از تابع منحنی، توزیع پیش‌بینی‌ها با داده‌های مشاهداتی تطبیق داده می‌شوند [Jolliff et al., ۲۰۰۹].

- **روش‌های ارزیابی عملکرد**

مانند هر فرایند مدل‌سازی دیگری، خروجی مدل‌ها بر اساس داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. دیاگرام تیلور برای انتخاب بهترین مدل **PFT** و مقایسه با روش‌های ناپارامتریک نگاشت چندک استفاده می‌شود. دیاگرام تیلور بر اساس سه فاکتور عملکرد مختلف شامل ضریب همبستگی (R) معادله ۱۱، ضریب انحراف معیار (σ^*) معادله ۱۲ و ریشه مربعات انحراف میانگین (CRMSD) معادله ۱۳ است.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i^o - \bar{x}_i^o)(x_i^m - \bar{x}_i^m)}{\sigma^o \sigma^m} \quad (۱۱)$$

$$\sigma^* = \frac{\sigma^m}{\sigma^o} \quad (۱۲)$$

$$\sigma^* = \sum_{i=1}^{N}([(x_i^o - \bar{x}_i^o) - (x_i^m - \bar{x}_i^m)])^{0.5} \quad (۱۳)$$

که σ^o و σ^m به ترتیب انحراف استاندارد داده‌های مشاهداتی و مدل هستند، و N تعداد داده است. محدوده R ۱- تا ۱+ است. هر چه همبستگی بین x^m و x^o بیشتر باشد مقدار R به مرزهای خود نزدیک‌تر می‌شود. σ^* همچنین به صورت بی‌بعد است، مقدار ایده‌آل آن برابر ۱+ است که برابری مقدار انحراف استاندارد مشاهداتی و مدل شده را بیان می‌کند.

[۱] Gamma
[۲] Bernoulli
[۳] Non-parametric quantile mapping using empirical quantiles
[۴] Non-parametric quantile mapping using robust empirical quantiles
[۵] Smoothing Spline

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

هرچه عملکرد مدل بهتر باشد مقدار *CRMSD* کاهش پیدا می‌کند و بهترین حال آن مقدار صفر است. در کل ایده اصلی دیاگرام تیلور مهیا کردن یک دید کلی برای مقایسه این ۳ فاکتور کمیتی است.

ارزیابی دوبخشی به منظور مقایسه بهتر بین پیش‌بینی مدل و داده‌های مشاهداتی نیز صورت گرفت. در این ارزیابی طبق جدول۳، پیش‌بینی‌ها بر دو بخش است: بله، یعنی رویداد اتفاق خواهد افتاد و خیر، رویداد اتفاق نخواهد افتاد. بر اساس این جدول چهار ترکیب پیش‌بینی‌ها (بله/خیر) و مشاهدات (بله/خیر) از توزیع مشترک استفاده می‌کنند. موفقیت یا Hit رویدادی است که پیش‌بینی شده اتفاق می‌افتد و در واقعیت اتفاق افتاد. رویدادهای از دست رفته یا Miss رویدادی است که پیش‌بینی شده اتفاق نمی‌افتد ولی در واقعیت اتفاق افتاد. هشدار اشتباه یا False Alarm رویدادی است که پیش‌بینی شده اتفاق می‌افتد ولی در واقعیت اتفاق نیفتاد. منفی‌های صحیح یا Correcct Negetive رویدادی است که پیش‌بینی شده اتفاق نمی‌افتد و در واقعیت هم اتفاق نیفتاد. بر اساس جدول احتمالاتی ارزیابی دوبخشی ۷ معیار ارزیابی تعریف می‌شوند.

جدول ۳- جدول احتمالاتی برای ارزیابی دو بخشی

کل	مشاهدات خیر	مشاهدات بله	
پیش‌بینی بله	هشدار اشتباه (False alarm)	موفقیت (Hit)	پیش‌بینی بله
پیش‌بینی خیر	منفی‌های صحیح (Correct Negative)	رویدادهای از دست رفته (Miss)	پیش‌بینی خیر
تعداد کل رویدادها	مشاهدات خیر	مشاهدات بله	کل

معیار موفقیت بحرانی (نمره تهدید) یا CSI، میزان نزدیکی تعداد رویدادهای پیش‌بینی شده (بله) به رویدادهای اتفاق افتاده را محاسبه و ارزیابی می‌کند. محدوده آن بین صفر تا یک و بهترین مقدار آن برابر با یک است.

$$\mathrm{CSI} = \frac{\mathrm{Hits}}{\mathrm{Hits} + \mathrm{Misses} + \mathrm{False\ Alarms}} \quad (۱۴)$$

معیار تشخیص رویدادهای صحیح یا POD را بیان می‌کند، چه تعدادی از رویدادهای مشاهداتی (بله) به درستی پیش‌بینی شده‌اند. دامنه تغییرات آن بین صفر تا یک و مقدار ایده‌آل آن برابر با یک است.

$$\mathrm{POD} = \frac{\mathrm{Hits}}{\mathrm{Hits} + \mathrm{Misses}} \quad (۱۵)$$

معیار تشخیص رویدادهای غلط یا POFD را بیان می‌کند، چه تعداد از رویدادهای مشاهداتی (خیر) نادرست پیش‌بینی شده‌اند. دامنه تغییرات آن بین صفر تا یک و مقدار ایده‌آل آن برابر با صفر است.

$$\mathrm{POFD} = \frac{\mathrm{False\ Alarms}}{\mathrm{Correct\ Negatives} + \mathrm{False\ Alarms}} \quad (۱۶)$$

روش بعدی که در ارزیابی کیفیت پیش‌بینی‌ها به کار گرفته می‌شود، روش نسبت هشدارهای اشتباه یا FAR است. این معیار بیان می‌کند که چه تعدادی از رویداهای مشاهداتی اشتباه پیش‌بینی شده‌اند. دامنه تغییرات آن بین صفر تا یک و مقدار ایده‌آل آن برابر با صفر است.

$$\mathrm{FAR} = \frac{\mathrm{False\ Alarms}}{\mathrm{Hits} + \mathrm{False\ Alarms}} \quad (۱۷)$$

معیار دقت یا ACC، روشی است که در کل مشخص می‌کند چه مقداری از پیش‌بینی‌ها درست هستند. دامنه تغییرات آن بین صفر تا یک و مقدار ایده‌آل آن برابر با یک است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

$$\mathrm{ACC} = \frac{\mathrm{Hits} + \mathrm{Correct\ Negatives}}{\mathrm{Total}} \quad (۱۸)$$

معیار نسبت موفقیت یا SR است. این معیار مشخص می‌کندکه چه مقدار از پیش‌بینی‌های (بله) رویدادها، به درستی مشاهده شدند. دامنه تغییرات آن بین صفر تا یک و مقدار ایده‌آل آن برابر با یک است.

$$\mathrm{SR} = \frac{\mathrm{Hits}}{\mathrm{Hits} + \mathrm{False\ Alarms}} \quad (۱۹)$$

آخرین و مهم‌ترین معیار ارزیابی در این بخش معیار نسبت اریبی یا BIAS، پیش‌بینی‌ها را با فراوانی رویدادهای اتفاق افتاده داده‌های مشاهداتی مقایسه می‌کند. تمایل مدل به پیش‌بینی دست پایین (BIAS<۱) یا پیش‌بینی دست بالا (BIAS>۱) را نشان می‌دهد. این شاخص مقدار تطابق پیش‌بینی با مشاهداتی را اندازه‌گیری نمی‌کند، بلکه فقط فراوانی‌های نسبی را بررسی و ارزیابی می‌کند. دامنه تغییرات آن بین ∞- تا ∞+ تغییر می‌کند و مقدار ایده‌آل آن برابر با یک است. همچنین لازم به ذکر است که این معیار از متغیرهای توزیع مشترک استفاده می‌کند.

$$\mathrm{BIAS} = \frac{\mathrm{Hits} + \mathrm{False\ Alarms}}{\mathrm{Hits} + \mathrm{Misses}} \quad (۲۰)$$

شرح و تفسیر نتایج

مقایسه داده‌های ERA۵ با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد نظر بر اساس هفت معیار ارزیابی دوبخشی انجام شد و در جدول ۴ نشان داده شده است. شاخص ACC نشان داد که ۸ ایستگاه بالای ۸۰ درصد بارش‌ها را برآورد کرده‌اند. در این بین ایستگاه ساری با ۰/۴۹ کمترین مقدار را ثبت کرده است، پس از واکاوی در داده‌های بارش این ایستگاه مشخص شد که تعداد روزهای بارانی آن ۲۳۳۴ روز است اما از بین این تعداد، ۱۲۳۱ روز دارای بارش زیر دو میلیمتر است و مدل در پیش‌بینی این مقدار اندک موفق عمل نکرده و بسیاری از این روزها را بدون بارش گزارش کرده است. در بررسی نسبت SR مشخص شد که تمامی ایستگاه‌ها قادر به پیش‌بینی بیش از ۳۰ درصد روزهای دارای بارش نشده است، در این بین شهرکرد با ۰/۴۸ دارای کمترین میزان است. شاخص POFD نشان داد که ۷ ایستگاه مقدار کمتر از ۰/۱ را ثبت کرده‌اند، این معیار بیانگر این واقعیت است که رویدادهایی را که مدل ERA۵ در ایستگاه‌های مورد بررسی به غلط پیش‌بینی کرده بسیار اندک بوده و این مدل از دقت بالایی برخوردار است. شاخص POD که بیانگر دقت مدل در درست پیش‌بینی کردن رویدادهای مشاهداتی است، نشان می‌دهد که ۷ ایستگاه بیش از ۷۰ درصد وقایع را به درستی نشان می‌دهند. معیار FAR نیز نشان می‌دهد که ۷ ایستگاه زیر ۰/۴ هستند، کمترین مقدار آن ایستگاه ایلام با ۰/۲۵ و بیشترین مقدار ایستگاه شهرکرد با ۰/۵۱ است. نتایج این شاخص نشان‌دهنده‌ی این نکته است که درست است که مدل ERA۵ جدیدترین نسل پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل داده است، با این حال این امکان وجود دارد که حتی تا ۵۰ درصد پیش‌بینی‌های درست نباشد. شاخص CSI برای ۷ ایستگاه بین بیش از ۰/۵ است و تنها در ایستگاه یزد این مقدار با ۰/۲۶ کمترین مقدار و ایستگاه‌های انزلی و ایلام با ۰/۶۳ بیشترین مقدارهای این شاخص ارزیابی بودند. ترکیب ۷ شاخص بر اساس میانگین مجذور معیارها از مقدار ایده‌آل خودشان نشان می‌دهد که داده‌های ERA۵ برای ایستگاه ایلام بهترین دقت و برای ایستگاه یزد بدترین پیش‌بینی را دارا است. اثر هم‌زمان نوع اقلیم و موقعیت جغرافیایی می‌تواند بر دقت و کارایی داده‌های ERA۵ تأثیر بسزایی بگذارد. با این وجود برای اقلیم فراخشک (ایستگاه‌های چابهار و یزد) داده‌های ERA۵ کارایی مطلوبی نخواهند داشت.

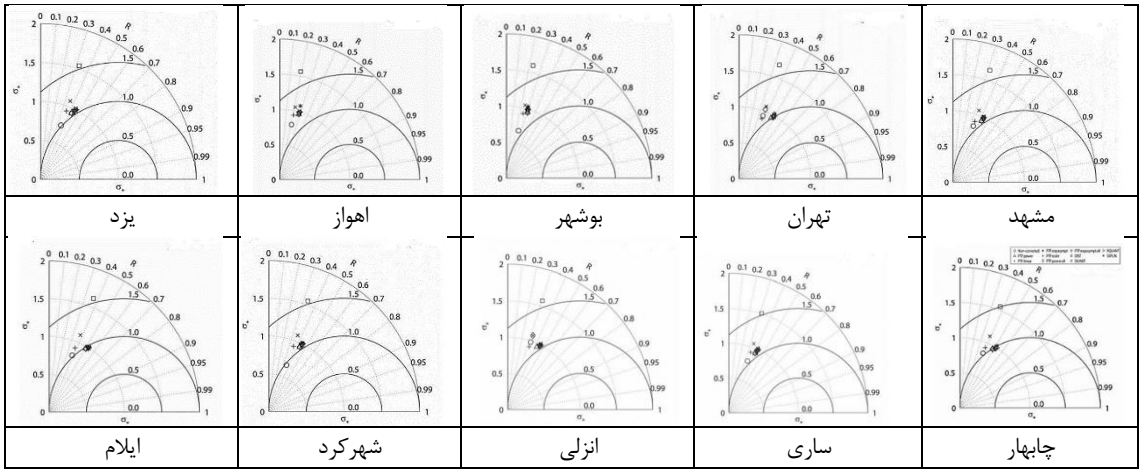
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

جدول ۴- مقادیر شاخص‌ها در ارزیابی داده‌های بارش ERA۵ در ایستگاه‌های منتخب

	ACC	SR	POD	POFD	FAR	CSI	BIAS	میانگین مجذور معیارها از مقدار ایده‌آل
مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	
ایلام	۰/۹۰۶	۰/۷۴۷	۰/۷۷۶	۰/۰۶۳	۰/۲۵۳	۰/۶۱۴	۱/۰۴	۰/۰۴۹
مشهد	۰/۸۷۳	۰/۶۸۷	۰/۷۶۴	۰/۰۹۷	۰/۳۱۳	۰/۵۶۷	۱/۱۱۳	۰/۰۶۸
بوشهر	۰/۹۴۵	۰/۶۸۶	۰/۷۳۴	۰/۰۳۴	۰/۳۱۴	۰/۵۵۰	۱/۰۶۹	۰/۰۶۸
اهواز	۰/۹۳۳	۰/۶۶۴	۰/۷۳۴	۰/۰۴۳	۰/۳۳۶	۰/۵۳۵	۱/۱۰۵	۰/۰۷۶
انزلی	۰/۷۷۳	۰/۶۷۸	۰/۸۶۵	۰/۲۹۳	۰/۳۲۲	۰/۶۱۳	۱/۲۷۶	۰/۰۸۴
تهران	۰/۸۸۴	۰/۶۴۲	۰/۷۴۶	۰/۰۸۷	۰/۳۵۸	۰/۵۲۷	۱/۱۶۱	۰/۰۸۵
ساری	۰/۴۹۲	۰/۶۲۸	۰/۸۲۰	۰/۲۴۶	۰/۳۷۲	۰/۵۵۲	۱/۳۰۵	۰/۱۳۲
چابهار	۰/۹۶۸	۰/۵۳۲	۰/۶۱۵	۰/۰۱۹	۰/۴۶۸	۰/۳۹۹	۱/۱۵۶	۰/۱۳۹
شهرکرد	۰/۸۵۹	۰/۴۸۶	۰/۶۷۵	۰/۱۱۲	۰/۵۱۴	۰/۳۹۴	۱/۳۹۰	۰/۱۶۹
یزد	۰/۹۱۱	۰/۵۰۹	۰/۳۵۳	۰/۰۳۳	۰/۴۹۱	۰/۲۶۳	۰/۶۹۴	۰/۲۲۱

ارزیابی عملکرد روش‌های نگاشت چندک در تصحیح اریبی داده‌های بارش ۱۰ ایستگاه سینوپتیک منتخب توسط دیاگرام تیلور در شکل ۲ ارائه شده است. در بین روش‌های PTF روش PFT-power عملکرد بهتری را در تمامی ایستگاه‌ها دارد. DIST ضعیف‌ترین عملکرد را در بین این روش‌ها از خود نشان می‌دهد؛ به طوری که حتی داده‌های تصحیح شده از داده‌های اولیه بسیار پرت و نامناسب می‌شود. در همین حال دو روش QUANT و RQUANT بهترین عملکرد را در بین این روش‌ها به خود اختصاص می‌دهند. به طوری که نه تنها مقادیر R و CRMSD بهبود می‌بخشند، بلکه مقدار σ^* را نیز به عدد ۱ نزدیک می‌کنند. با این وجود برای بررسی دقیق‌تر ارزیابی دو بخشی روش‌های پارامتریک شامل PFT-power و روش‌های ناپارمتریک شامل DIST، QUANT، RQUANT و SSPLINE انجام گرفت.



شکل ۲- مقایسه عملکرد روش‌های نگاشت چندک برای اصلاح اریب بارش توسط دیاگرام تیلور

ارزیابی داده‌های اصلاح شده توسط ۷ شاخص ارزیابی دو بخشی نشان می‌دهد که بر اساس چهار شاخص ACC، SR، POFD و FAR، روش QUANT و RQUANT با بهبود داده‌ها در ۹ ایستگاه بهترین نتایج را ارائه می‌دهند و پس از آن‌ها

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

به ترتیب روش‌های SSPLIN و PTF قرار دارند. در معیار CSI مشاهده می‌شود که دو روش QUANT، RQUANT در ۴ ایستگاه، روش SSPLIN، PTF و DIST به ترتیب در ۳، ۲ و ۱ ایستگاه قادر به پایین آوردن این نرخ شده‌اند و این بدان معنی است که مدل‌ها در نزدیک کردن رویدادهای پیش‌بینی شده به رویدادهای اتفاق افتاده بسیار وابسته به اقلیم و موقعیت جغرافیایی هستند. بهبود شاخص POD در سطح معنی‌داری ۵ درصد در هیچ یک از مدل‌ها اتفاق نیفتاده است که نشان می‌دهد روش‌های تصحیح اریبی قادر به بهبود درستی تعداد پیش‌بینی‌ها نیستند. البته خطا در تشخیص تعداد پیش‌بینی‌ها مربوط به داده بارش با مقدار کم است، برای مثال میزان POD در ایستگاه یزد بسیار کم (۰/۳۵) است. بر اساس شاخص BIAS روش‌های QUANT و RQUANT در ۶ ایستگاه انحراف را به طور کامل از بین بردند و در ۳ ایستگاه دیگر به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دادند پس از این دو، روش SSPLIN انحراف را در ۲ ایستگاه به طور کامل و در ۵ ایستگاه دیگر کاهش می‌دهد، سپس روش‌های PTF و DIST هر کدام در ۵ ایستگاه کارایی مناسبی از خود نشان دادند. همچنین ایستگاه یزد دچار هیچ‌گونه تغییری بعد از فرآیند تصحیح اریبی توسط این پنج روش نشده است. پس از بررسی داده‌های بارش این ایستگاه مشخص گردیدکه ایستگاه یزد تنها دارای ۲۴ روز با بارش بالای ۱۰ میلی‌متر و بدون روز بارانی بالای ۲۰ میلی‌متر است، کم بودن تعداد روز بارانی منجر شده تا مدل ERA_{5} با ۰/۶۹ اریب عملکرد ضعیفی را از خود نشان دهد.

در نهایت دو روش QUANT و RQUANT عملکرد بسیار مناسبی در تصحیح اریبی داده‌ها دارند و پس از این دو، روش SSPLIN در جایگاه بعد قرار می‌گیرد. در نتیجه روش‌های ناپارامتریک کارایی بهتری نسبت به روش‌های پارامتریک دارند. اما هیچ‌کدام از روش‌های یاد شده توانایی کامل در از بین بردن انحراف را از خود نشان ندادند. نکته دیگری که به چشم می‌خورد میزان تغییر زیاد بین شاخص‌ها در ایستگاه‌هایی با روزهای بارانی بیشتر است که این امر با توجه به وضوح[۱] ۰/۲۵×۰/۲۵ مدل ERA_{5} و بارش‌ها با مقدار اندک (زیر ۲ میلی‌متر) قابل انتظار است.

جدول ۵- فاکتورهای ارزیابی دوبخشی روش‌های تصحیح اریبی مدل ERA_{5}

اهواز								انزلی							
	AC	SR	POD	FAR	CSI	BIAS			AC	SR	POD	FAR	CSI	BIAS	
مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۱	۱	مقدار ایده‌آل	مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۱	۱	مقدار ایده‌آل
PTF	+	+	-	-	-	-	PTF	PTF	+	+	-	-	-	-	PTF
DIST	-	-	۰	+	-	+	DIST	DIST	+	+	-	-	-	-	DIST
QUANT	+	+	-	-	+	-	QUANT	QUANT	+	+	-	-	-	-	QUANT
RQUANT	+	+	-	-	+	-	RQUANT	RQUANT	+	+	-	-	-	-	RQUANT
SSPLIN	+	+	۰	-	-	-	SSPLIN	SSPLIN	+	+	-	-	-	-	SSPLIN
ایلام								بوشهر							
	AC	SR	POD	FAR	CSI	BIAS			AC	SR	POD	FAR	CSI	BIAS	
مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۱	۱	مقدار ایده‌آل	مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۱	۱	مقدار ایده‌آل
PTF	+	+	-	-	+	-	PTF	PTF	+	+	-	-	-	-	PTF
DIST	۰	۰	۰	۰	۰	۰	DIST	DIST	۰	۰	۰	۰	۰	۰	DIST
QUANT	+	+	-	-	+	-	QUANT	QUANT	+	+	-	-	-	-	QUANT
RQUANT	+	+	-	-	+	-	RQUANT	RQUANT	+	+	-	-	-	-	RQUANT
SSPLIN	+	+	-	-	+	-	SSPLIN	SSPLIN	۰	۰	۰	۰	۰	۰	SSPLIN
تهران								چابهار							

[۱] Resolution

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

ساری

	ACC	SR	POD	POFD	FAR	CSI	BIAS
مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
PTF	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
DIST	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
QUANT	+	+	−	−	−	+	−
RQUANT	+	+	−	−	−	+	−
SSPLIN	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

شهرکرد

	ACC	SR	POD	POFD	FAR	CSI	BIAS
مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
PTF	+	+	−	−	−	−	−
DIST	+	+	−	−	−	−	−
QUANT	+	+	−	−	−	−	−
RQUANT	+	+	−	−	−	−	−
SSPLIN	+	+	−	−	−	−	−

مشهد

	ACC	SR	POD	POFD	FAR	CSI	BIAS
مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
PTF	+	+	−	−	−	−	−
DIST	+	+	−	−	−	−	−
QUANT	+	+	−	−	−	−	−
RQUANT	+	+	−	−	−	−	−
SSPLIN	+	+	−	−	−	−	−

یزد

	ACC	SR	POD	POFD	FAR	CSI	BIAS
مقدار ایده‌آل	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
PTF	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
DIST	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
QUANT	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
RQUANT	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
SSPLIN	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

+ نشان‌دهنده‌ی افزایش نسبت به مدل است (در سطح معنی‌داری ۵ درصد)

− نشان‌دهنده‌ی کاهش نسبت به مدل است (در سطح معنی‌داری ۵ درصد)

۰ نشان‌دهنده‌ی عدم تغییر نسبت به مدل است (در سطح معنی‌داری ۵ درصد)

نتیجه‌گیری

اگر چه داده‌های بازتحلیل روز به روز پیشرفت چشمگیری در زمینه ثبت داده‌های هواشناسی به خصوص بارش دارند، اما هنوز وجود خطای سیستماتیک در این گونه داده‌ها وجود دارد. فرایند تصحیح اریبی از طریق روش‌های نگاشت چندک برای غلبه به این مشکل بسیار کارآمد است. اگرچه، این را باید به خاطر سپرد که روش‌های متنوع نگاشت چندک لزوماً قابلیت‌های یکسانی با هم ندارند. به عنوان نمونه نتایج این مطالعه تفاوت بسیار زیاد در روش‌های مختلف را به طور برجسته نشان می‌دهد. در بین تمامی روش‌ها، روش DIST ضعیف‌ترین عملکرد و دو روش QUANT و RQUANT بهترین گزینه نسبت به روش‌های دیگر بودند. عملکرد بسیار خوب این دو روش را می‌توان به ماهیت انعطاف‌پذیر آن‌ها و این واقعیت که بر خلاف روش‌های پارامتریک به عملگرهای از پیش تعیین شده‌ای وابسته نیستند برگشت داد. در بین روش‌های PTF بدترین و بهترین به ترتیب نتایج مربوط به PTF:scale و PTF-power بود، سایر روش‌های پارامتریک نیز عملکرد نزدیکی به روش‌های ناپارمتریک داشتند. تفاوت اقلیم و ویژگی‌های گوناگون توپوگرافیک نشان داده که استفاده از داده‌های ERA۵ و روش‌های تصحیح اریبی با احتیاط کامل باید انجام شود. به گونه‌ای که برای اقلیم فراخشک (چابهار، یزد) و اقلیم بسیار

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

مرطوب (ساری) و مناطق مرتفع (شهرکرد) این داده‌ها از دقت مناسبی برخوردار نیستند و روش‌های اصلاح اریبی نمی‌توانند این نواقص را پوشش دهند.

منابع

Collischonn W, Allasia D, Da Silva BC, Tucci CE. The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*. ۲۰۰۷ Oct ۱; **۵۲(۵):**۸۷۸-۹۵.

Uppala SM, Kållberg PW, Simmons AJ, Andrae U, Bechtold VD, Fiorino M, Gibson JK, Haseler J, Hernandez A, Kelly GA, Li X. The ERA ‐ ٤٠ re ‐ analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*. ۲۰۰۵ Oct; **۱۳۱(٦۱۲):**۲۹٦۱-۳۰۱۲.

Bengtsson L, Shukla J. Integration of space and in situ observations to study global climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*. ۱۹۸۸ Oct; **٦۹**(۱۰):۱۱۳۰-٤۳.

Trenberth KE, Olsen JG. Evaluation of NMC global analyses: ۱۹۷۹-۱۹۸۷. *Climate and Global Dynamics Division, National Center for Atmospheric Research*; ۱۹۸۸.

Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda MA, Balsamo G, Bauer DP, Bechtold P. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*. ۲۰۱۱ Apr; **۱۳۷(٦٥٦)**:٥٥۳-۹۷.

Sodoudi S, Noorian A, Geb M, Reimer E. Daily precipitation forecast of ECMWF verified over Iran. *Theoretical and applied climatology*. ۲۰۱۰ Jan; **۹۹**(۱):۳۹-٥۱.

Belo-Pereira M, Dutra E, Viterbo P. Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. ۲۰۱۱ Oct ۲۷; **۱۱٦**(D۲۰).

De Leeuw J, Methven J, Blackburn M. Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. ۲۰۱٥ Apr; **۱٤۱(٦۸۸)**:۷۹۸-۸۰٦.

Simmons AJ, Willett KM, Jones PD, Thorne PW, Dee DP. Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature, and precipitation: Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. ۲۰۱۰ Jan ۱٦; **۱۱٥**(D۱).

Szczypta C, Calvet JC, Albergel C, Balsamo G, Boussetta S, Carrer D, Lafont S, Meurey C. Verification of the new ECMWF ERA-Interim reanalysis over France. *Hydrology and Earth System Sciences*. ۲۰۱۱ Feb ۲٥; **۱٥**(۲):٦٤۷-٦٦.

Tao Y, Duan Q, Ye A, Gong W, Di Z, Xiao M, Hsu K. An evaluation of post-processed TIGGE multimodel ensemble precipitation forecast in the Huai river basin. *Journal of hydrology*. ۲۰۱٤ Nov ۲۷; **٥۱۹**: ۲۸۹۰-۹۰٥.

JAVANMARD GM, Delavar M, Morid S. Medium-Term Forecast Evaluation of TIGGE Numerical Weather Prediction Models for Karun Basin. *The Journal of Iran-Water Resources Research (IR-WRR)*. ۲۰۱۸ Jan ۲; **۱٤ (۳)**: ۱-۱٤.

Ngai ST, Tangang F, Juneng L. Bias correction of global and regional simulated daily precipitation and surface mean temperature over Southeast Asia using quantile mapping method. *Global and Planetary Change*. ۲۰۱۷ Feb ۱; **۱٤۹**:۷۹-۹۰.

Cannon AJ, Sobie SR, Murdock TQ. Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes?. *Journal of Climate*. ۲۰۱٥ Sep ۱; **۲۸**(۱۷):٦۹۳۸-٥۹.

Voisin N, Schaake JC, Lettenmaier DP. Calibration and downscaling methods for quantitative ensemble precipitation forecasts. *Weather and Forecasting*. ۲۰۱۰ Dec ۱; **۲٥**(٦):۱٦۰۳-۲۷.

Gudmundsson L, Bremnes JB, Haugen JE, Skaugen TE. Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using quantile mapping–a comparison of methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*. ۲۰۱۲; **۹(٥)**:٦۱۸٥-۲۰۱.

Piani C, Haerter JO, Coppola E. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. ۲۰۱۰ Jan; **۹۹**(۱):۱۸۷-۹۲.

Villani V, Rianna G, Mercogliano P, Zollo AL, Schiano P. Statistical approaches versus weather generator to downscale rcm outputs to point scale: a comparison of performances. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. ۲۰۱٤ Jul ۱; ۸(۲):۱٤۲-٥٤.

Kouhestani S, Eslamian SS, Abedi-Koupai J, Besalatpour AA. Projection of climate change impacts on precipitation using soft-computing techniques: A case study in Zayandeh-rud Basin, Iran. *Global and Planetary Change*. ۲۰۱٦ Sep ۱; **۱٤٤**:۱٥۸-۷۰.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]

Maraun D, Wetterhall F, Ireson AM, Chandler RE, Kendon EJ, Widmann M, Brienen S, Rust HW, Sauter T, Themeßl M, Venema VK. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of geophysics*. ۲۰۱۰ Sep; ٤٨(۳).

Ines AV, Hansen JW. Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and forest meteorology*. ۲۰۰٦ Aug ۲۹; ۱۳۸(۱-٤):٤٤-٥۳.

Li H, Sheffield J, Wood EF. Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from Intergovernmental Panel on Climate Change AR٤ models using equidistant quantile matching. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. ۲۰۱۰ May ۲۷; ۱۱٥(D۱۰).

Teutschbein C, Seibert J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of hydrology*. ۲۰۱۲ Aug ۱٦; ٤٥٦:۱۲-۲۹.

Osuch M, Lawrence D, Meresa HK, Napiorkowski JJ, Romanowicz RJ. Projected changes in flood indices in selected catchments in Poland in the ۲۱st century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. ۲۰۱۷ Nov; ۳۱(۹):۲٤۳٥-٥۷.

Jolliff JK, Kindle JC, Shulman I, Penta B, Friedrichs MA, Helber R, Arnone RA. Summary diagrams for coupled hydrodynamic-ecosystem model skill assessment. *Journal of Marine Systems*. ۲۰۰۹ Feb ۲۰; ۷٦(۱-۲):٦٤-۸۲.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.2.0]