

## ارزیابی و مقایسه داده‌های باز کاوی شده بارش جهت استفاده در ایران

قاسم عزیزی\* - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
طاهر صفرراد - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران  
حسین محمدی - استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
حسنعلی فرجی سبکبار - دانشیار جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۱/۱۸

### چکیده

در پژوهش پیش رو، داده‌های آفرودیت، GPCC و داده‌های بارش دانشگاه دی لور (UDeI) براساس داده‌های بارش ایستگاهی ارزیابی شده است. در این راستا، از تکنیک‌های RMSE، ضریب همبستگی و دیاگرام تیلور استفاده شده است. نتایج ارزیابی داده‌ها نشان داد که دیاگرام تیلور به دلیل ارائه تصویری جامع‌تر از رابطه هندسی بین RMSD، ضریب همبستگی و انحراف معیار سری‌های زمانی، نسبت به سایر روش‌های تک‌متغیره نظیر RMSE و ضریب تعیین، مناسب‌تر است. ترسیم میانگین بلندمدت بارش سالانه ایران بر اساس داده‌های مزبور، دقت بیشتر داده‌های آفرودیت و GPCC را نسبت به داده‌های UDeI نشان می‌دهد. داده‌های آفرودیت برای مناطق شمال، شمال غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و نواحی داخلی کشور مناسب‌تر است و داده‌های GPCC در مناطق غرب، جنوب، جنوب شرق و شمال شرق کشور به نتایج بهتری منتهی می‌شود. همچنین، مشخص شد که داده‌های UDeI به دلیل در نظر گرفتن ارتباط فضایی داده‌ها با متغیر وابسته، مقادیر بارش سری‌های زمانی ناقص را بهتر از دو داده دیگر برآورد می‌کند.

کلیدواژه‌ها: داده‌های آفرودیت، داده‌های دانشگاه دی لور، داده‌های GPCC، دیاگرام تیلور.

### مقدمه

پراکندگی مجموع بارش سالانه کشور، گویای تفاوت‌های بسیار زیاد مکانی است. این تفاوت‌ها از یک سو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی‌گردد که اساساً متغیری سرکش است و تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر، تنوع منشأ بارش، در نقاط مختلف ایران سبب شده است در هر منطقه مقدار ریزش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۲۱). علاوه بر این، عدم توزیع مناسب و کافی ایستگاه‌های زمینی از یک طرف و در دسترس نبودن آمار طولانی‌مدت بارش از طرف دیگر، پیچیدگی واکاوی بارش را دوچندان کرده است. داده‌های بارش، ورودی ثابت اکثر پژوهش‌ها و مدل‌های مرتبط با منابع آب (مانند اقلیم، کشاورزی، هیدرولوژی، محیط زیست) است. بر همین اساس، سازمان‌های تحقیقاتی و مؤسسات فراوانی بر حسب هدف مورد نظرشان، مشغول جمع‌آوری و ارائه این داده‌ها به

کاربران‌اند. متنوع‌بودن این داده‌ها و استفاده نهادهای مربوط از روش‌های متفاوت درون‌یابی، نتایج متفاوتی را سبب می‌شود، لذا انتخاب داده مناسب بر اساس هدف پژوهش اهمیت بسیاری دارد. چین تالایودی و همکاران (۲۰۱۲: ۱۱۹۱) برای شبیه‌سازی جریان آب حوضه رودخانه وادالوپه در جنوب مرکزی تگزاس از سه منبع متفاوت بارش برآوردشده از ۲۲ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه آبریز، داده‌های راداری مرحله سوم<sup>۱</sup> NEXRAD و داده‌های ماهواره‌ای TRMM<sup>۲</sup> استفاده کردند و نشان دادند که تفاوت‌های حاصل از برآورد داده‌های مزبور، اختلاف معنادار واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز را در پی داشته است. در این راستا، مشخص کردند که داده‌های برآوردشده بارش حاصل از رادار، نسبت به داده‌های برآوردشده ایستگاه‌های زمینی و ماهواره TRMM به نتایج بهتری منجر خواهد شد.

در تحقیقی مشابه، حاجی میررحیمی و فیضی‌زاده (۱۳۸۷: ۱) در بررسی میزان انطباق داده‌های رادار و TRMM با داده‌های بارش زمینی مشخص کردند داده‌های رادار، دارای همبستگی معناداری با داده‌های بارش زمینی است. از طرف دیگر، داده‌های TRMM علی‌رغم تطابق نسبی با بارش‌های زمینی، جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های باران‌سنج سنتی نیست. جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰: ۱۱۹) نیز داده‌های بارش سطح ۳، ماهواره TRMM را با داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده با قدرت تفکیک مکانی بالا (۰/۲۵ درجه) در ایران مقایسه کردند و نشان دادند که تطابق خوبی از لحاظ الگوی پراکنش و مقدار بارش بین دو مجموعه داده وجود دارد به این صورت که داده‌های ماهواره TRMM در نواحی داخلی کشور، سواحل خزر و مناطق کوهستانی زاگرس به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۷۷، ۰/۵۷ و ۰/۷۵ با داده‌های زمینی است و ۰/۱۷، ۰/۳۹ و ۰/۱۵ میلی‌متر در روز، مقدار بارش را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند.

از طرف دیگر، عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲: ۱) بر این باورند که داده‌های بارش TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، مقادیر بارندگی ماهانه را در ۸۰ درصد از ایستگاه‌های سینوپتیک، بیش از مقدار واقعی برآورد می‌کند، اما ضریب همبستگی بالایی (۰/۸) در بیشتر ماه‌های سال بین دو منبع اطلاعاتی وجود دارد. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱: ۴۹) نیز به دلیل دقت کمتر داده‌های بارش TRMM نسبت به برآوردهای حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ، استفاده از آن‌ها را برای مقاصد علمی در ایران پیشنهاد نمی‌کنند. با وجود این، نشان دادند که دقت این داده‌ها در نواحی غرب و جنوب کشور بیش از سایر نواحی کشور است.

بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰: ۲۶۱۵) با بررسی صحت‌سنجی داده‌های بارندگی الگوریتم<sup>۳</sup> PERSIANN از طریق داده‌های آفرودیت<sup>۴</sup>، نشان دادند که این داده‌ها متأثر از فصل است و بیشترین همبستگی و تطابق مکانی را در فصل پاییز و بهار با داده‌های آفرودیت دارد، به این صورت که الگوی بارشی حاکم بر فصل پاییز را شناسایی می‌کند، اما مقدار بارش آن را کمتر از مقدار داده‌های آفرودیت برآورد می‌کند، در حالی که مقدار بارش فصل بهار را بیشتر از مقدار آفرودیت برآورد می‌کند و کمترین تطابق را با داده‌های آفرودیت در فصل تابستان دارد. لو کونتی و همکاران (۲۰۱۴: ۱۸۹) چهار

1. Next-Generation Radar

2. Tropical Rainfall Measuring Mission

3. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

4. Asian Precipitation Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources

داده بارش حاصل از مشاهدات ماهواره‌ای شامل  $CMORPH^1$ ،  $PERSIANN$ ،  $PERSIANN-CCS^2$  و  $TMPA-RT^3$  و دو مجموعه داده بارش تعدیل شده  $GPCP^4$  (داده‌های تعدیل شده  $PERSIANN$  و نسخه پژوهشی داده‌های  $TMPA$ ) را با داده‌های ایستگاهی در جزیره سیسیل مقایسه کردند. ایشان از شاخص‌های ارزیابی نظیر  $MBE^5$ ،  $RMSE^6$  و ضریب همبستگی و شاخص‌های طبقه‌ای مانند  $POD^7$  و  $FAR^8$  برای ارزیابی داده‌ها بهره گرفتند و نشان دادند که داده‌های بارش حاصل از ماهواره به صورت سیستماتیک مقدار بارش را کمتر از شبکه‌های باران‌سنجی برآورد می‌کند.

رضیئی و فتاحی (۱۳۹۰: ۲۲۵) امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده بارش  $NCEP/NCAR$  را به منظور استفاده در پایش خشک‌سالی ایران ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند، این داده‌ها روند تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران را به خوبی نشان می‌دهد و برای پایش بهنگام خشک‌سالی در کشور مناسب است. کتیرویایی بروجردی (۱۳۹۲: ۱۴۹) داده‌های بارش ماهواره‌ای  $PERSIANN$  را با داده‌های زمینی ارزیابی کرد و نشان داد که  $PERSIANN$  الگوی تغییرات مکانی بارش سالانه را به خوبی نمایش می‌دهد، ولی مقدار آن را در اغلب نقاط ایران کم و در بعضی مناطق خشک کویری زیاد برآورد می‌کند. نتایج ایشان همچنین نشان داد که این داده‌ها، بارش منطقه زاگرس را کم، بارش کرانه دریای خزر را به شدت کم، و بارش منطقه خشک شرق را زیاد برآورد می‌کند. رضیئی و همکاران (۲۰۱۴: ۲۵۰) با ارزیابی داده‌های آفرودیت از طریق داده‌های ایستگاهی دارای سری زمانی کامل، نشان دادند که همبستگی قوی بین آن‌ها وجود دارد، بدین صورت که شاخص‌های حداکثر بارش روزانه، بارش تجمعی صدک ۹۰ به بالا، درصد روزهای مرطوب و مجموع بارش سالانه در ایستگاه‌ها و نزدیک‌ترین نقاط آفرودیت به آن‌ها را از طریق آماره ضریب همبستگی مقایسه کردند و نشان دادند که ارتباط قوی بین شاخص‌های مورد مطالعه در دو مجموعه داده وجود دارد. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳: ۷۳) از طریق مقایسه پایگاه ملی بارش اسفزاری با پایگاه‌های بارش جهانی  $GPCC$ ،  $GPCP$  و  $CMAP$  در پهنه ایران، نشان دادند که میان پایگاه بارش ملی اسفزاری و سه پایگاه مورد بررسی به‌ویژه  $GPCC$  همبستگی بالایی به‌خصوص در فصل‌های پربارش دیده می‌شود.

پژوهش‌های یادشده، غالباً یک نوع داده را با داده‌های زمینی مقایسه و بیان کرده‌اند که داده مورد نظر در کدام بخش‌ها دقت بیشتری دارد و تنها تعداد اندکی از پژوهش‌ها، چندین پایگاه داده مختلف را بررسی کرده و مناسب‌ترین آن‌ها را برای مقاصد خاص و نواحی مختلف پیشنهاد داده‌اند. در این راستا، از مقایسه و ارزیابی داده‌های  $GPCC$ ، آفرودیت و داده‌های دانشگاه دی‌لور به صورت توأمان و در ارتباط با ایران غفلت شده است و از آنجا که این داده‌ها در

1. Climate prediction center (CPC) morphing technique (CMORPH)
2. PERSIANN° Cloud Classification System
3. TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis
4. Global Precipitation Climatology Project
5. Mean Bias Error
6. Root Mean Square Error
7. Probability of Detection
8. False Alarm Ratio

مطالعات اقلیم‌شناسی به وفور استفاده می‌شود، در این پژوهش سعی می‌شود این داده‌ها در ارتباط با ایستگاه‌های زمینی ارزیابی و مقایسه شود.

## داده‌ها و روش‌ها

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه انواع داده بارش، پرکاربردترین داده‌ها به همراه برخی ویژگی‌های آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. از آنجا که واکاوی ویژگی‌های بارش مستلزم داشتن سری زمانی بلندمدت است، در این پژوهش سعی خواهد شد داده‌های بارش بازکاوی شده با سری زمانی بلندمدت (داده‌های آفرودیت، داده‌های<sup>۱</sup> GPCC و داده‌های دانشگاه دی‌لور<sup>۲</sup>) براساس داده‌های ایستگاهی ارزیابی شود. در این راستا، از تکنیک‌های RMSE، ضریب همبستگی و دیگران تیلور استفاده خواهد شد. در نهایت، اولویت استفاده از این داده‌ها در ایران توضیح داده می‌شود.



شکل ۱. طول دوره زمانی پرکاربردترین داده‌های بارش به همراه برخی ویژگی‌های آن‌ها

## داده‌های بارش آفرودیت

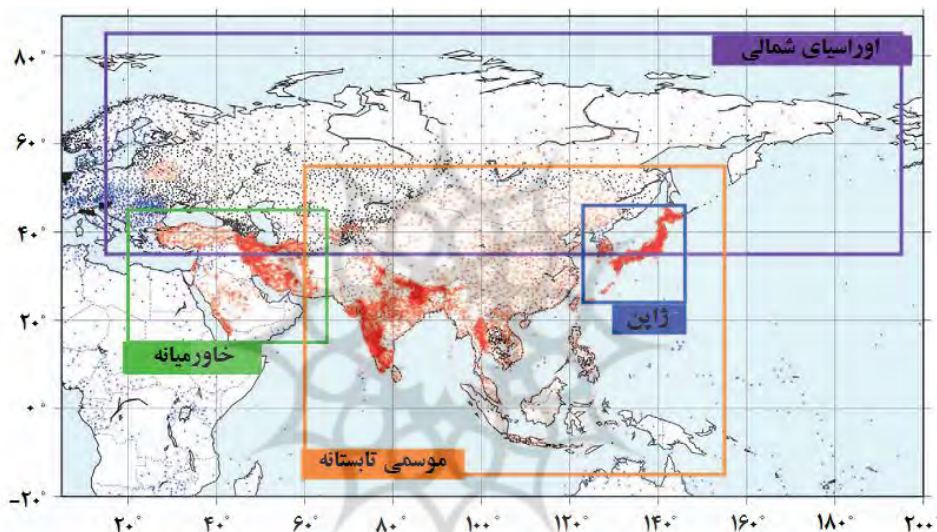
مجموعه داده‌های آفرودیت را کنسرسیومی بین پژوهشکده انسانی و طبیعی ژاپن<sup>۳</sup> (RIHN) و پژوهشکده هواشناسی متعلق به آژانس هواشناسی ژاپن<sup>۴</sup> (MRI/JMA) توسعه داده است. کنسرسیوم مزبور داده‌های بارش با قدرت تفکیک متفاوت را در مناطق مختلف آسیا توسعه داده است. این داده‌ها با روش فاصله وزین از طریق ایستگاه‌های زمینی بارش درون‌یابی شده است. شمار ایستگاه‌های زمینی معتبر در هر درون‌یابی بین ۵۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ ایستگاه است.

بازه زمانی پوشش داده‌شده بیش از ۵۰ سال (۱۹۵۱-۲۰۰۷) است که به صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه قوسی ارائه می‌شود (اندرمن و همکاران، ۲۰۱۱: ۴ و <http://www.chikyu.ac.jp>). داده‌های استفاده‌شده در

1. Global Precipitation Climatology Centre
2. University of Delaware
3. Research Institute for Humanity and Nature
4. Meteorological Research Institute of Japan Meteorological Agency

پروژه آفرودیت عبارت است از: ۱. داده‌های سامانه مخابرات جهانی<sup>۱</sup> (GTS) مانند داده رادیوسوندها، ۲. داده‌های قبلاً استخراج شده از سایر پروژه‌ها و سازمان‌ها، ۳. مجموعه داده‌های متعلق به آفرودیت. قلمرو مکانی و توزیع فضایی داده‌های مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است. الگوریتم به کار برده شده در درون‌یابی این داده‌ها، مشابه الگوریتم شی‌یه و همکاران (۲۰۰۷) است به این صورت که درون‌یابی را با روش PRISM<sup>۲</sup> و در نظر گرفتن اثر اوروگرافیک انجام می‌دهد (جزئیات بیشتر در یاتاگای و همکاران ۲۰۱۲؛ شی‌یه و همکاران، ۲۰۰۷).

مهم‌ترین مزیت این داده‌ها، استفاده از شبکه ایستگاه‌های زمینی بسیار متراکم است. متغیرو بودن مکان و تعداد شبکه ایستگاه‌های زمینی طی زمان و فصل‌های مختلف از ضعف‌های این داده‌ها محسوب می‌شود، زیرا ممکن است ناهمگنی داده‌های ایجاد شده را سبب شود.



شکل ۲. قلمرو و توزیع فضایی ایستگاه‌های ثبت بارش استفاده شده در پروژه آفرودیت، نسخه VII01 برای موسمی تابستانه، خاورمیانه و اوراسیای شمالی و نسخه VI005 برای ژاپن. ایستگاه‌های استخراج شده از شبکه‌های GTS (نقاط آبی)، مجموعه داده‌های پیش‌تألیف شده (نقاط مشکی) و مجموعه داده‌های مخصوص آفرودیت (نقاط قرمز) نشان داده شده‌اند (منبع: یاتاگای و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۴۰۴).

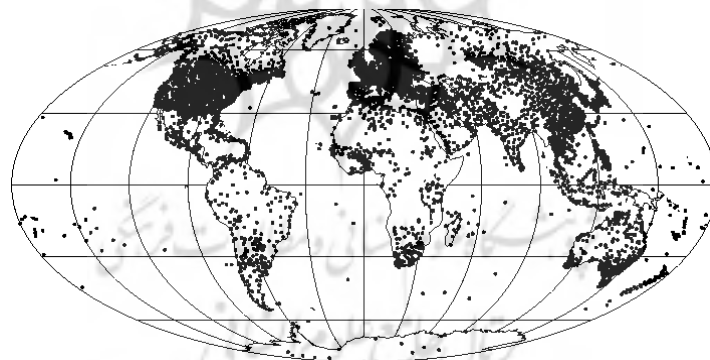
### داده‌های بارش دانشگاه دی‌لور (UDel)

ویل‌مات و ماتسوئورا (۲۰۰۱) انبوه داده‌ها را از شمار زیادی از ایستگاه‌های GHCN2 (شبکه جهانی دیرینه اقلیم)<sup>۳</sup> و فراتر از آن از آرشیو لی‌گیترو و ویل‌مات گردآوری کردند. نتیجه این کار ایجاد پایگاه داده اقلیمی ماهانه از درجه حرارت و بارش در سطح زمین بود. این داده‌ها سری زمانی میانگین درجه حرارت ماهانه سطح زمین و مجموع بارش ماهانه را طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه قوسی ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که این داده‌ها تنها سطح خشکی‌های کره زمین را پوشش می‌دهد. مقدار بارش ماهانه در نسخه ۳،۰۲ متشکل از چندین منبع به‌روز شده

1. Global Telecommunication System
2. Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model
3. Global Historical Climate Network

شامل موارد زیر است: آخرین نسخه شبکه جهانی دیرینه اقلیم (GHCN2)، خدمات جوی محیط زیست (محیط زیست کانادا)، مؤسسه هیدرومتئورولوژی در سنت پترزبورگ روسیه، داده‌های GC-net<sup>۱</sup>، یافته‌های ایستگاه گرینلند، مرکز ملی مطالعات جوی (NCAR)، داده‌های روزانه هند، داده‌های آرشو شده بارش در آفریقا، داده‌های ایستگاهی بارش ماهانه در آمریکای جنوبی و خلاصه روزانه داده‌های سطح زمین (GSOD<sup>۲</sup>) نمایه شده در وبگاه NCDC<sup>۳</sup>. مجموع بارش ماهانه با روش درون‌یابی CAI<sup>۴</sup> استخراج شده است. این روش دقت درون‌یابی فضایی متغیرهای اقلیمی را افزایش می‌دهد، زیرا از داده‌های بارش دارای سری زمانی بلندمدت برای بهبود درون‌یابی مقدار ماهانه یا سالانه بارش استفاده می‌کند. به همین سبب می‌توان آن را جزو روش‌های چندمتغیره نام‌گذاری کرد. در این روش، نسبت به روش‌های تک‌متغیره حداقل از دو نوع داده استفاده می‌شود: ۱. داده دارای بیشترین ارتباط فضایی با متغیر وابسته، ۲. داده‌های دارای قدرت تفکیک فضایی بالاتر نسبت به داده ایستگاهی. به صورت خلاصه می‌توان گفت که در این روش داده‌های بارش با قدرت تفکیک مکانی بالا و انحراف فضایی سالانه ترکیب شده که در ایستگاه‌های زمینی درون‌یابی شده است، و بر اساس روش کروی مبتنی بر فاصله معکوس وزن مقدار هر یک از گره‌ها برآورد می‌شود (جزئیات بیشتر در ویلمات و رایبسون، ۱۹۹۵؛ ویلمات و ماتسوئورا، ۲۰۰۱). موقعیت ایستگاه‌های نمونه در ماه دسامبر سال ۲۰۱۰ برای برآورد بارش این ماه در شکل ۳ نشان داده شده است.

مزیت این داده‌ها، پوشش سراسری خشکی‌های کره زمین با تفکیک فضایی ۰/۵ درجه و ضعف آن به‌روزرسانی نامنظم و کم آن‌هاست.



شکل ۳. موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش در ماه دسامبر سال ۲۰۱۰ که در برآورد بارش از آن‌ها استفاده شده است.

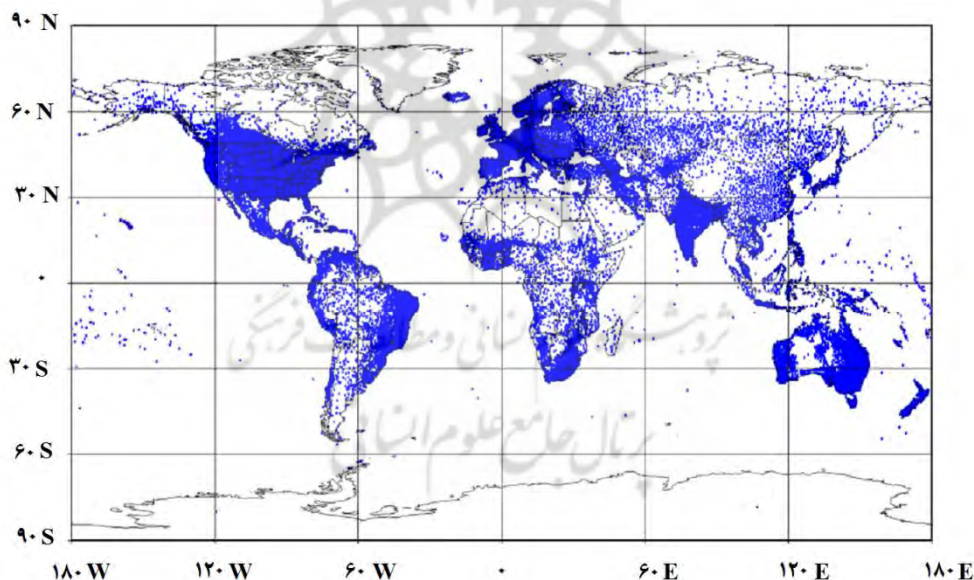
### داده‌های بارش GPCC (مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی)

مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) در سال ۱۹۸۹ به درخواست سازمان جهانی هواشناسی (WMO<sup>۵</sup>) تأسیس شد. این مرکز را دوپچر و ترداینست (DWD، خدمات ملی هواشناسی آلمان) به عنوان سهم آلمان از برنامه تحقیقاتی اقلیم

1. Greenland Climate Network
2. Global Surface Summary of Day
3. National Climatic Data Center
4. Climatologically aided interpolation
5. World Meteorological Organization

جهانی (WCRP<sup>۱</sup>) عملیاتی کرد. رسالت اصلی GPCC تحلیل جهانی بارش ماهانه سطح زمین براساس داده‌های ایستگاهی مناسب است. داده‌های بارش GPCC با تفکیک فضایی ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲/۵ درجه قوسی در دسترس است. این داده‌ها از طریق دورن‌یابی ۶۷۲۰۰ (برای داده‌های با تفکیک مکانی ۰/۲۵ و ۰/۵ درجه قوسی) تا ۸۵۰۰۰ (برای داده‌های با تفکیک ۱ و ۲/۵ درجه قوسی) ایستگاه زمینی از طریق روش اصلاح‌شده وزن‌دهی تجربی شپرد<sup>۲</sup> ایجاد شد. در این روش، طرح وزن‌دهی تجربی شپرد با روش کروی تعدیل شده است که در آن علاوه بر فاصله کروی، جهت و شیب مقدار ایستگاه‌ها در ارتباط با مراکز شبکه‌ها نیز بررسی شده است (جزئیات بیشتر در وبگاه<sup>۳</sup> DWD؛ ویلمات و همکاران، ۱۹۸۵؛ شنایدر و همکاران، ۲۰۱۴). محصولات متنوع GPCC را طیف وسیعی از سازمان‌ها و مراکز تحقیقاتی جهان نظیر، WMO، WRCP، GCOS<sup>۴</sup>، FAO<sup>۵</sup>، یونسکو<sup>۶</sup> و GEO<sup>۷</sup> استفاده و واکاوی کرده‌اند.

مزیت این داده‌ها استفاده از ایستگاه‌های زمینی فراوان حتی بیش از شبکه ایستگاه‌های GHCN است (شکل ۴)، اما از آنجا که بازکاوی داده‌های کامل GPCC به کمک تمام داده‌های موجود در هنگام واکاوی صورت می‌پذیرد، تعداد ایستگاه‌ها در هر شبکه طی زمان متغیر خواهد شد. این امر ناهمگنی در داده‌ها را سبب می‌شود و این نکته از ضعف‌های این داده‌هاست.

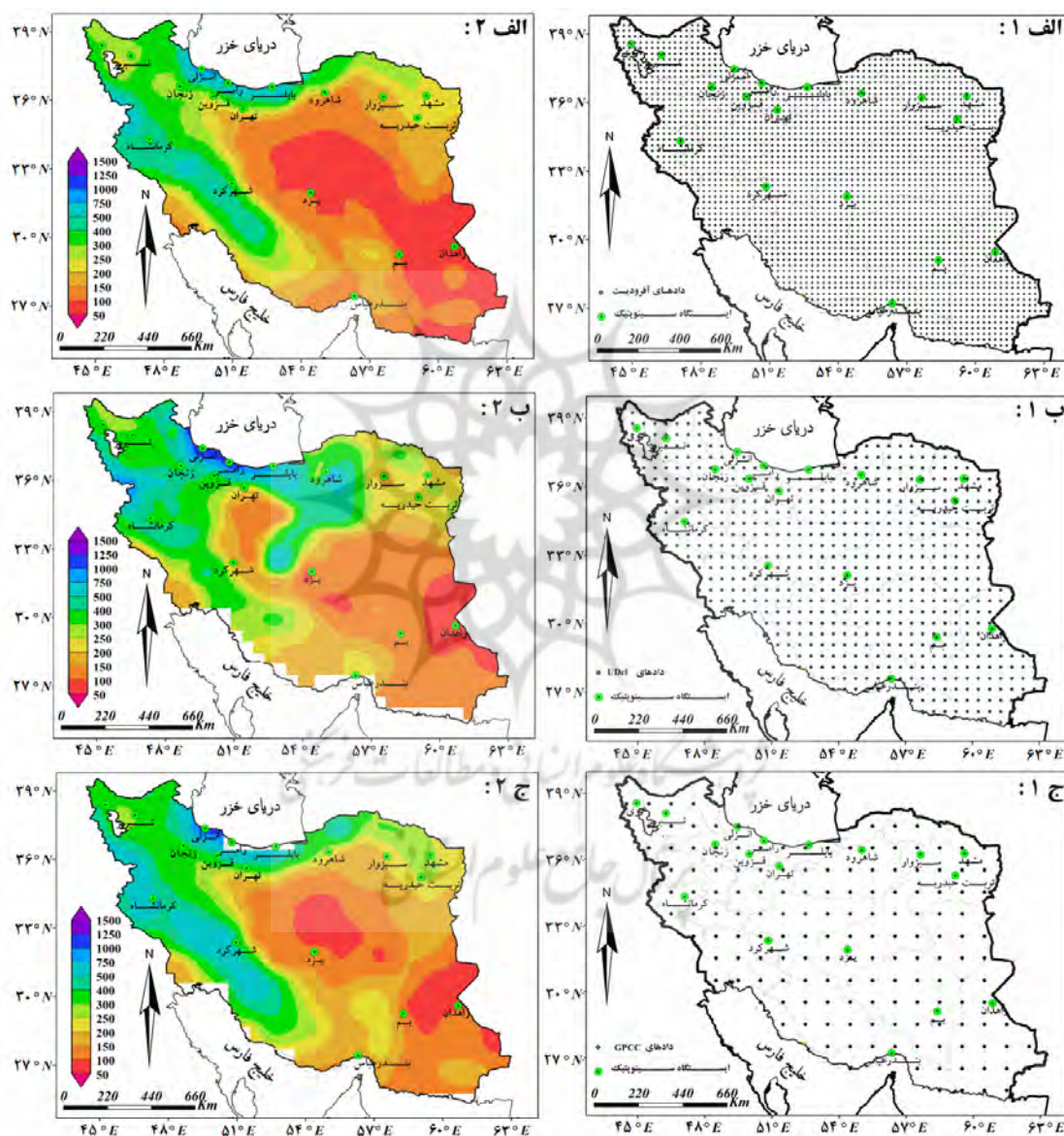


شکل ۴. توزیع فضایی ایستگاه‌ها (برای داده‌های ماهانه) برای بارش اقلیمی نرمال بر اساس داده‌های حداقل ۱۰ ساله در پایگاه داده GPCC (تعداد ایستگاه‌ها در جولای: ۶۷۲۸۳؛ منبع: شنایدر و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۱)

1. World Climate Research Programme
2. rrrrrr rrrrr r iiii aal tttttt tttt
3. [ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpcc/html/fulldata\\_download.html](ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpcc/html/fulldata_download.html)
4. Global Climate Observing System
5. UN Food and Agriculture Organisation
6. UN Educational, Scientific and Cultural Organization
7. Group on Earth Observations

## الگوی بارندگی سالانه ایران با استفاده از داده‌های آفرودیت، GPCP و UDel

پراکندگی بارش سالانه ایران با استفاده از داده‌های مورد مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل‌های الف، ب و ج به ترتیب میانگین بلندمدت بارش را براساس داده‌های آفرودیت (۱۹۵۱-۲۰۰۷)، UDel (۱۹۴۸-۲۰۱۰) و GPCP (۱۹۴۸-۲۰۱۳) نشان می‌دهد.



شکل ۵. میانگین بلندمدت بارش سالانه ایران براساس داده‌های آفرودیت (الف)، UDel (ب)، GPCP (ج) و موقعیت مراکز هر شبکه در داده‌های آفرودیت (الف)، UDel (ب) و GPCP (ج)



موقعیت مرکز شبکه‌های این داده‌ها نیز در سمت چپ هر شکل نشان داده شده است. پراکنش بارش سالانه بر اساس داده‌های مزبور تقریباً الگویی مشابه را نشان می‌دهد، بدین صورت که مکان‌های پربارش در سواحل خزر و دامنه‌های رو به باد زاگرس قرارداد با این تفاوت که در داده‌های UDel، هسته پربارش زاگرس در عرض‌های ۳۰ تا ۳۳ شمالی بارش به مراتب کمتری را نسبت به عرض‌های ۳۳ تا ۳۶ درجه شمالی دریافت می‌دارد. همچنین، شکل‌گیری هسته‌ای پربارش در نواحی داخلی ایران (جنوب شرقی اصفهان اطراف شهرستان ناین) براساس داده‌های UDel متفاوت از سایر داده‌هاست. مکان‌های کم‌بارش در الگوی توزیع بارش سالانه عموماً، در نواحی داخلی، شرق و جنوب شرق کشور قرارداد که در داده‌های آفرودیت به صورت پهنه‌ای پیوسته ظاهر شده ولی براساس داده‌های GPCC به صورت دو پهنه مجزا از هم است. مکان‌های کم‌بارش براساس داده‌های UDel، در نواحی شرق متمایل به جنوب شرق کشور تشکیل شده است. برای اطمینان از صحت این داده‌ها باید از ایستگاه‌های زمینی مورد اعتماد استفاده کرد. برای این منظور، ایستگاه‌های دارای داده کامل روزانه و فاقد تغییر مکانی طی زمان، انتخاب شدند (رحیم‌زاده، ۲۰۱۴). موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است.

### روش‌های ارزیابی داده‌های بارش

به منظور ارزیابی صحت داده‌های مورد بررسی، ابتدا بازه زمانی مشترک (۱۹۶۱-۲۰۰۷) بین داده‌های مورد بررسی و داده‌های ایستگاهی انتخاب و سپس نزدیک‌ترین نقطه داده‌های مورد بررسی به ایستگاه‌های زمینی (فاصله حداکثر ۴۰ کیلومتری) انتخاب شد. بعد از انتخاب ایستگاه‌های مناسب به عنوان معیار ارزیابی داده‌های مختلف، از تکنیک‌های RMSE، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و دیاگرام تیلور جهت ارزیابی بهره گرفته شد. RMSE مقدار انحراف داده‌های برآورد شده (داده‌های مورد بررسی) از داده‌های مشاهده‌ای (ایستگاه‌های زمینی) و ضریب همبستگی درصد اشتراک پراش دو داده را می‌سنجد حال آنکه دیاگرام تیلور (تیلور، ۲۰۰۱) بر مبنای ارتباط هندسی بین ضریب همبستگی ( $R$ )، انحراف معیار سری‌های زمانی و  $RMSD^1$  استوار است. نحوه محاسبه شاخص‌های یادشده به شرح زیر است (تیلور، ۲۰۰۱؛ لو کونتی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۹۳).

$$RMSD^2 = \sigma_{est}^2 + \sigma_{obs}^2 - 2\sigma_{est}\sigma_{obs}R$$

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_{est_n}^{(i)} - \overline{P_{est}^{(i)}})(P_{obs_n}^{(i)} - \overline{P_{obs}^{(i)}})}{\sigma_f \sigma_r}}$$

$$\sigma_{est}^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_{est_n}^{(i)} - \overline{P_{est}^{(i)}})^2$$

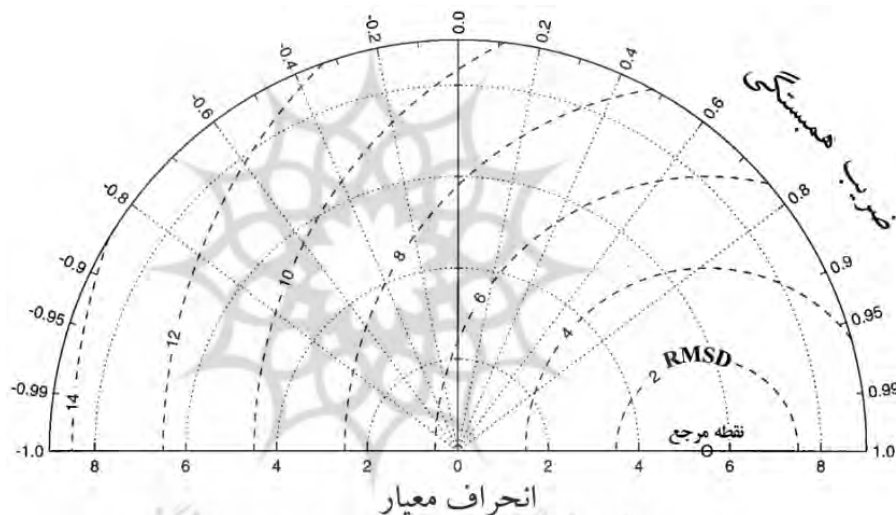
$$\sigma_{obs}^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_{obs_n}^{(i)} - \overline{P_{obs}^{(i)}})^2$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs}^{(i)} - P_{est}^{(i)})^2}{n}}$$

$$R^2 = \frac{n \left( \sum_{i=1}^n P_{est}^{(i)} P_{obs}^{(i)} \right) - \left( \sum_{i=1}^n P_{est}^{(i)} \right) \left( \sum_{i=1}^n P_{obs}^{(i)} \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n P_{est}^{(i)2} - \left( \sum_{i=1}^n P_{est}^{(i)} \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n P_{obs}^{(i)2} - \left( \sum_{i=1}^n P_{obs}^{(i)} \right)^2 \right]}}$$

که  $\sigma_{est}^2$  و  $\sigma_{obs}^2$ ، واریانس داده‌های ایستگاهی و برآوردشده،  $P_{est}^{(i)}$  و  $P_{obs}^{(i)}$ ، مقدار بارش ایستگاهی و برآوردشده و  $n$  تعداد ایستگاه‌های استفاده شده در برآورد است.

دیگرام تیلور، ابزاری مناسب برای ارزیابی روش‌های متنوع است و اخیراً در مطالعات مربوط به آب و هواشناسی به کرات استفاده می‌شود (برای نمونه، گزارش IPCC<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱: ۳۱۷؛ پینکس و همکاران، ۲۰۰۸: ۷؛ واینر، ۲۰۱۳: ۹؛ لو کونتی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۹۶). نمونه‌ای خام از نمودار تیلور در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶. نمونه‌ای از نمودار تیلور. ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره، انحراف معیار و RMSD به ترتیب به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به مرکز دایره و نقطه مرجع نشان داده شده است. نقطه مرجع، موقعیت ایستگاه زمینی را براساس انحراف معیار سری زمانی آن نشان می‌دهد.

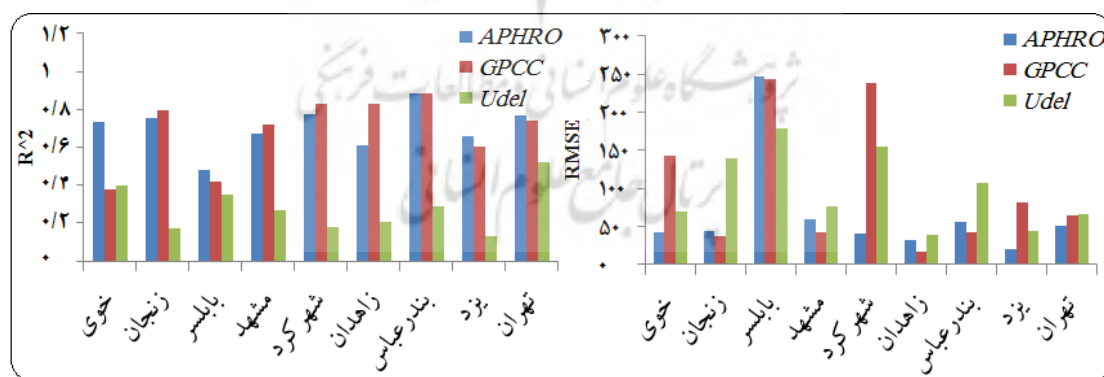
نمودار تیلور به دو صورت نیم‌دایره (نمایش همبستگی منفی و مثبت) و ربع‌دایره (فقط نمایش همبستگی مثبت) ارائه می‌شود که در هر دو صورت، مقادیر ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره روی قوس آن، مقادیر انحراف معیار به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به مرکز دایره و مقادیر RMSD به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به نقطه مرجع (دایره توخالی روی محور افقی) ترسیم می‌شود. نقطه مرجع موقعیت ایستگاه زمینی را براساس انحراف معیار سری زمانی آن نشان می‌دهد (زیرا مقدار RMSD و ضریب تعیین سری زمانی ایستگاه زمینی در مقایسه با خودش به ترتیب صفر و یک خواهد بود، لذا موقعیت آن روی محور افقی براساس مقدار انحراف معیار تعیین خواهد شد). روش ارزیابی در این دیگرام به این صورت است که موقعیت داده‌های مورد بررسی بر اساس RMSD، ضریب همبستگی آن با ایستگاه زمینی

و انحراف معیار سری زمانی روی دیاگرام ترسیم می‌شود و هر داده‌ای که موقعیت مکانی آن روی نمودار به نقطه مرجع نزدیک‌تر باشد، با دقت بیشتری مقدار بارش ایستگاه زمینی را برآورد می‌کند و بنابراین مناسب‌تر خواهد بود.

## یافته‌های پژوهش

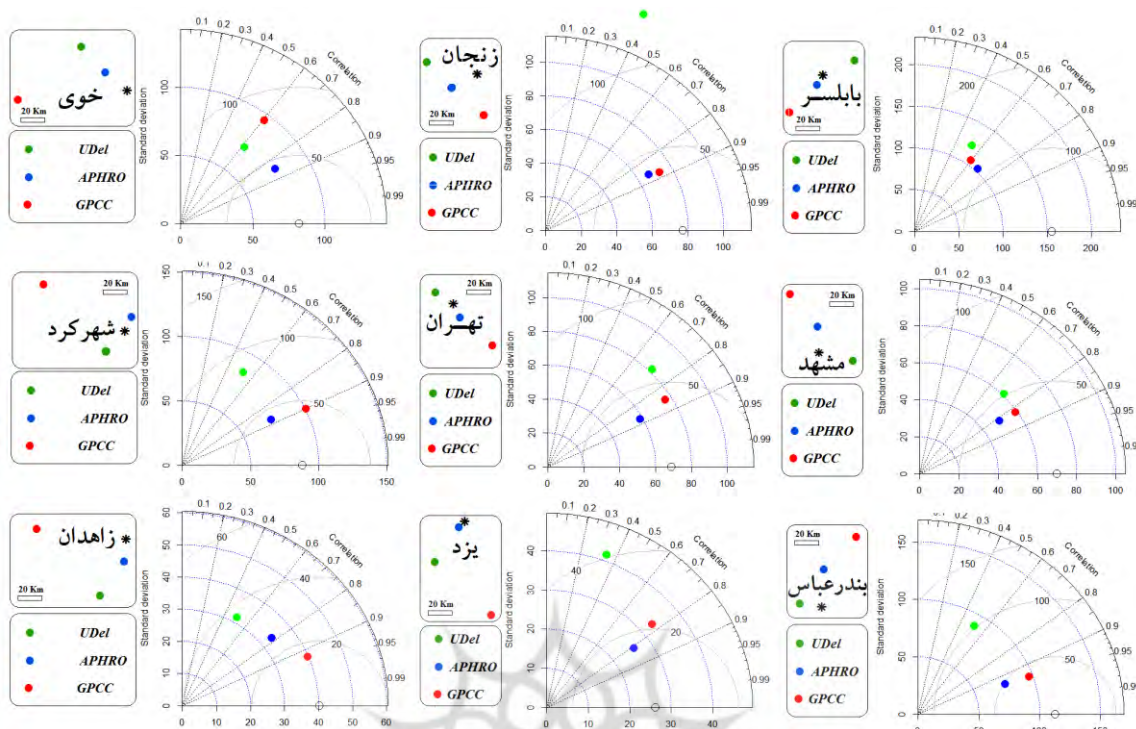
### ارزیابی داده‌های بارش با استفاده از ایستگاه‌های زمینی

در این ارزیابی ایستگاه‌های دارای سری زمانی کامل و در شعاع ۴۰ کیلومتری آن‌ها هر سه داده مورد نظر انتخاب شد. این ایستگاه‌ها (بابلسر، خوی، شهرکرد، زنجان، تهران، یزد، مشهد، بندرعباس و زاهدان) دارای آمار کامل روزانه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۳ بودند و در طی زمان نیز دستخوش تغییرات عمده نشده‌اند. مهم‌تر از همه در تمام پهنه‌های بارشی کشور پراکنده‌اند (شکل ۵). ارزیابی داده‌های بارش از طریق این ایستگاه‌ها بر اساس تکنیک‌های RMSE و ضریب همبستگی در شکل ۷ آمده است. براساس تکنیک RMSE، داده‌های آفرودیت در ایستگاه‌های خوی، شهرکرد، یزد و تهران، داده‌های GPCC در ایستگاه‌های زنجان، مشهد، بندرعباس و زاهدان، و داده‌های UDel در ایستگاه بابلسر مناسب‌تر از سایر داده‌هاست. نتایج حاصل از روش ضریب تعیین، متفاوت از روش RMSE است، بدین صورت که در ایستگاه‌های خوی، بابلسر، یزد و تهران داده‌های آفرودیت و در ایستگاه‌های زنجان، مشهد، شهرکرد و زاهدان داده‌های GPCC عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر داده‌ها دارد. همان‌طور که ملاحظه شد، نتایج ارزیابی بر اساس هر یک از روش‌های RMSE و ضریب همبستگی متفاوت است، بنابراین در ادامه برای در نظر گرفتن مقدار انحراف داده‌های مختلف بارش از داده‌های ایستگاهی و در عین حال در نظر گرفتن درصد اشتراکات آن‌ها از دیاگرام تیلور استفاده خواهد شد.



شکل ۷. مقدار RMSE و ضریب تعیین محاسبه شده برای داده‌های مختلف بارش براساس ایستگاه‌های منتخب

نتایج ارزیابی داده‌ها براساس دیاگرام تیلور در شکل ۸ ارائه شده است. در قسمت بالای راهنمای دیاگرام‌ها، موقعیت مکانی داده‌های ایستگاهی (با علامت ستاره) و موقعیت نزدیک‌ترین نقاط هر یک از داده‌های GPCC (قرمز)، آفرودیت (آبی) و UDel (سبز) نسبت به آن نشان داده شده است.

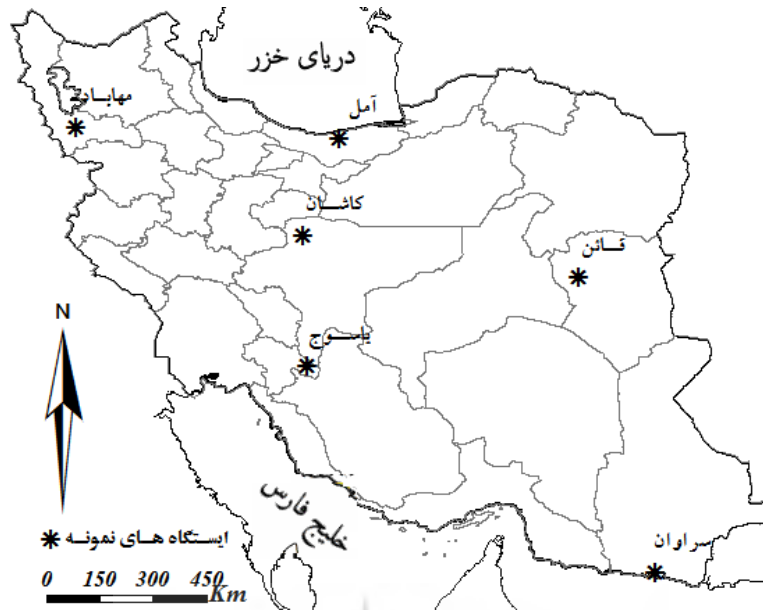


شکل ۸. نمودار تیلور برای ایستگاه‌های دارای کمترین فاصله از مراکز شبکه داده‌های مورد مطالعه

با توجه به شکل ۸، داده‌های آفرودیت در ایستگاه‌های خوی، بابلسر، تهران و یزد دارای دقت بیشتری است و در ایستگاه‌های زاهدان و بندرعباس، داده‌های GPC عملکرد بهتری نسبت به سایر داده‌ها دارد. در ایستگاه‌های شهرکرد، مشهد و زنگان داده‌های آفرودیت و GPC دارای RMSD مشابه است ولی با توجه به بیشتر بودن ضریب همبستگی داده‌های GPC، به نظر می‌رسد که مناسب‌تر از داده‌های آفرودیت باشد (جزئیات بیشتر در شکل ۸). با توجه به نتایج، می‌توان اظهار داشت که داده‌های آفرودیت برای مناطق شمال، شمال غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و نواحی داخلی کشور مناسب‌تر و داده‌های GPC در مناطق غرب، جنوب، جنوب شرق و شمال شرق کشور به نتایج بهتری منتهی می‌شود.

### انتخاب داده مناسب به منظور واکاوی بارش در مناطق دارای سری زمانی کوتاه مدت

یکی از انگیزه‌های اصلی استفاده از داده‌های بارش واکاوی و شبکه‌بندی شده، واکاوی و شناخت بارش در مناطق بدون داده یا دارای سری زمانی کوتاه مدت است. مکان‌هایی که به دلایل مختلف فاقد ایستگاه‌های زمینی یا فاقد سری زمانی بلندمدت (ایستگاه‌های جدیدالتأسیس) است دلیل اصلی بسیاری از پژوهشگران برای استفاده از این نوع داده‌هاست. به همین دلیل، عملکرد هر یک از داده‌ها در رابطه با این مکان‌ها و برآورد مقادیر بارش آن‌ها در سال‌های بدون داده اهمیت فراوانی دارد. بدین منظور ایستگاه‌های آمل، ناین، سراوان، قاین، یاسوج و مهاباد (شکل ۹) برای این نوع ارزیابی انتخاب شد. ملاک انتخاب این ایستگاه‌ها در مرحله اول پراکندگی مناسب در سراسر کشور بود، به صورتی که هر کدام نماینده یک بخش بارشی ایران محسوب شود. سپس، قرارگیری هر سه مرکز داده واکاوی شده (آفرودیت، GPC و UDel) در فاصله حداکثر تا ۴۰ کیلومتری آن‌ها بوده است.



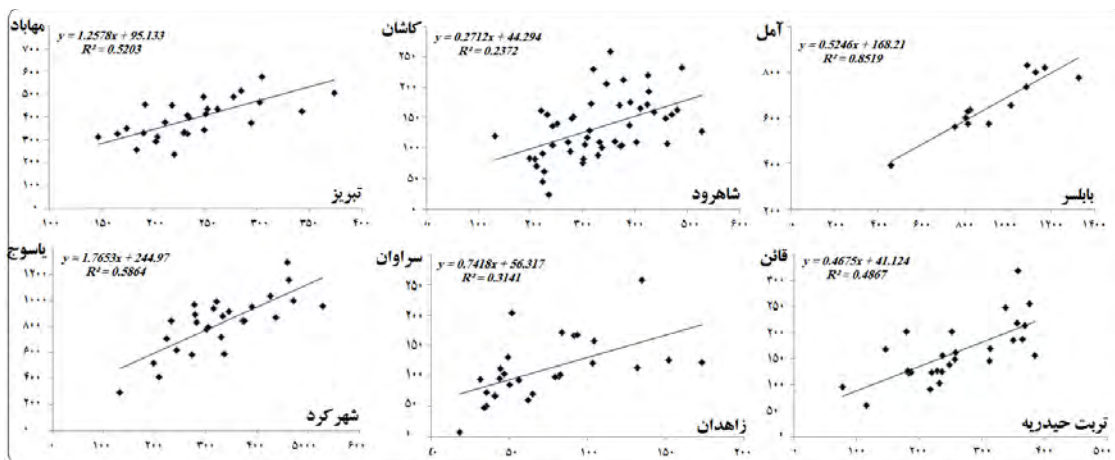
شکل ۹. موقعیت ایستگاه‌های نمونه به منظور ارزیابی داده‌های مورد نظر در رابطه با سری‌های زمانی کوتاه مدت

برای ارزیابی، ابتدا مقدار همبستگی این ایستگاه‌ها (ایستگاه نمونه) با ایستگاه‌های دارای داده کامل محاسبه شد و ایستگاه دارای بیشترین همبستگی معنادار (ایستگاه قرینه) انتخاب شد (جدول ۱). با انتخاب ایستگاه قرینه، سری زمانی ایستگاه‌های نمونه در سال‌های بدون بارش با استفاده از مدل رگرسیونی (شکل ۱۰) بازسازی و برآورد شد (شکل ۱۱). عملکرد داده‌های بارش، با محاسبه  $RMSE$  و ضریب همبستگی تنها برای آن بخش از سری زمانی بازسازی شده ارزیابی شد (شکل ۱۲). نتایج ارزیابی داده‌های بارش بر اساس دو روش  $RMSE$  و ضریب همبستگی متفاوت از یکدیگر بود. برای نمونه در ایستگاه یاسوج، داده‌های  $UDeI$  بر اساس روش ضریب همبستگی و داده‌های  $GPCC$  بر اساس روش  $RMSE$  مناسب‌تر از سایر داده‌ها تشخیص داده شد. به همین منظور، به منظور در نظر گرفتن هر دو ویژگی‌های  $RMSE$  ضریب همبستگی برای ارزیابی داده‌ها از دیاگرام تیلور استفاده و مشخص شد (شکل ۱۳) که داده‌های  $UDeI$  در همه ایستگاه‌ها به استثنای کاشان، عملکرد بهتری نسبت به سایر داده‌ها داشته است (در ایستگاه کاشان داده‌های  $UDeI$  دارای همبستگی منفی و  $RMSE$  بالایی بود. به همین دلیل خارج از محدوده تعیین شده در دیاگرام قرار گرفت. در این ایستگاه داده‌های  $GPCC$  بارش را بهتر از سایر داده‌ها برآورد کرد.

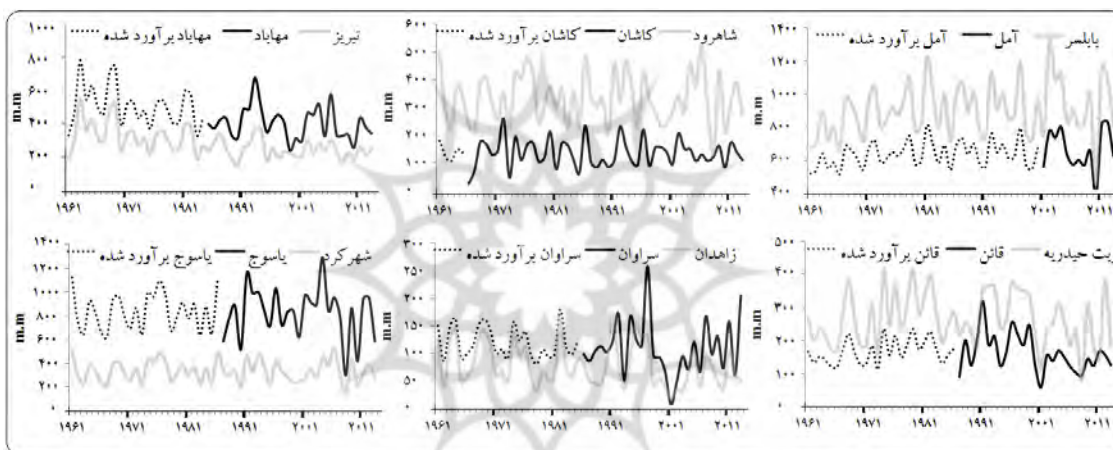
جدول ۱. ضریب همبستگی و ضریب تعیین ایستگاه‌های نمونه با ایستگاه‌های قرینه

ایستگاه نمونه	ایستگاه قرینه	ضریب همبستگی	$R^2$	سطح معناداری
مهاباد*	تبریز	۰/۷۲۱	۰/۵۲۰	۰/۰۰۰
یاسوج*	شهرکرد	۰/۷۶۶	۰/۵۸۶	۰/۰۰۰
قائن*	تربت حیدریه	۰/۶۹۸	۰/۴۸۷	۰/۰۰۰
سراوان*	زاهدان	۰/۵۶۰	۰/۳۱۴	۰/۰۰۲
آمل*	بابلسر	۰/۹۲۳	۰/۸۵۲	۰/۰۰۰
کاشان*	شاهرود	۰/۴۸۷	۰/۲۳۷	۰/۰۰۰

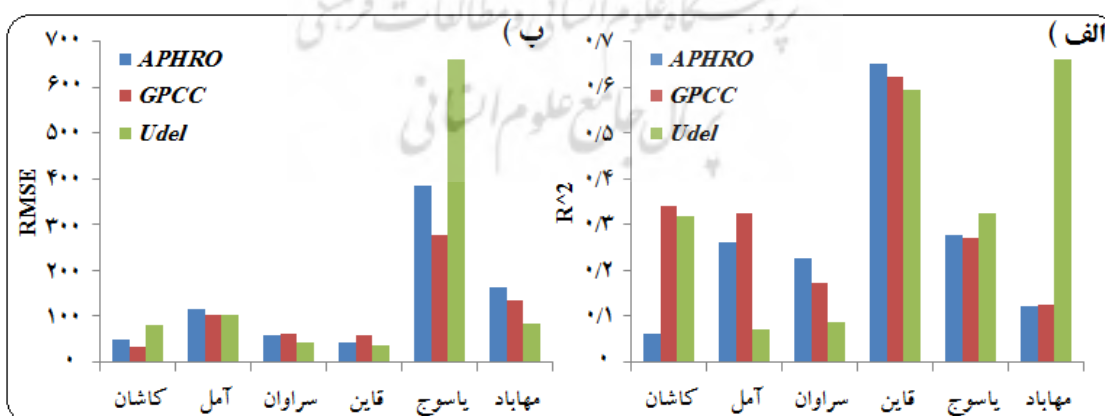
\* در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است.



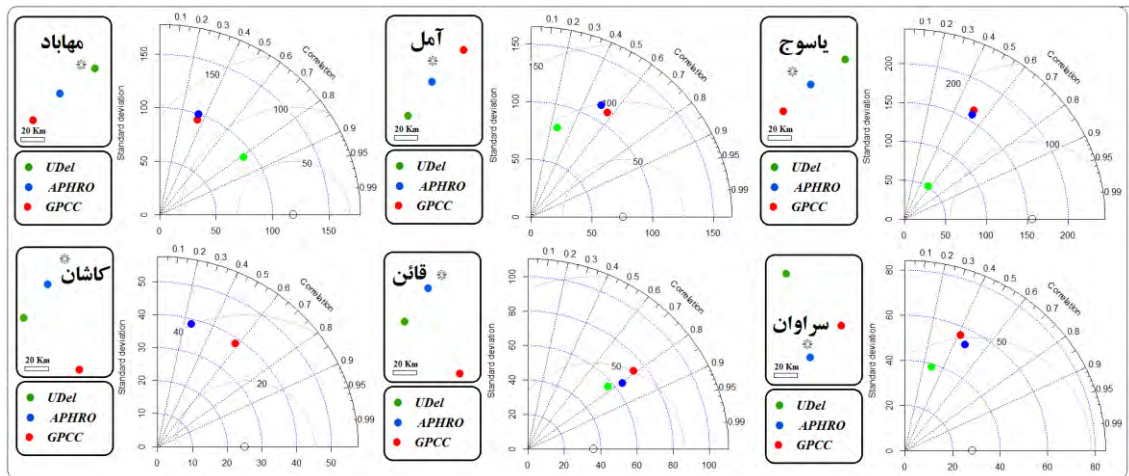
شکل ۱۰. نمودار پراکنش ایستگاه‌های نمونه و قرینه به همراه معادله خط برازش داده شده با روش رگرسیون خطی



شکل ۱۱. سری زمانی برآوردشده در ایستگاه‌های نمونه بر اساس سری زمانی مشترک آن‌ها



شکل ۱۲. مقادیر ضریب همبستگی (الف) و RMSE (ب) محاسبه شده برای بخش بازسازی شده سری زمانی ایستگاه‌های نمونه



شکل ۱۳. نمودار تیلور برای سری زمانی بارش بازسازی شده در ایستگاه‌های نمونه، موقعیت نزدیک‌ترین مراکز شبکه داده‌های مورد مطالعه به موقعیت ایستگاه‌ها (ستاره سفید رنگ) نیز نشان داده شده است.

## نتیجه‌گیری

محاسبه و ترسیم میانگین بلندمدت بارش سالانه ایران بر اساس داده‌های آفرودیت، GPCC و UDel بیانگر دقت بیشتر داده‌های آفرودیت و GPCC نسبت به داده‌های UDel است. بارزترین اشتباه داده‌های UDel، در ترسیم متوسط بارش بلندمدت سالانه ایران مربوط به نواحی مرکزی کشور است، بدین نحو که از طریق این داده‌ها، هسته پربارش ۵۰۰ تا ۷۵۰ میلی‌متری در جنوب ناپین نشان داده شده است، در حالی که مجموع بارش سالانه ناپین در هیچ سالی به ۲۰۰ میلی‌متر هم نرسیده است. داده‌های بارش بازسازی شده براساس ایستگاهی و بهره‌گیری از روش‌های RMSE، ضریب همبستگی و دیاگرام تیلور ارزیابی شد. از آنجا که دیاگرام تیلور رابطه هندسی بین RMSD، ضریب همبستگی و انحراف معیار سری‌های زمانی مشاهده‌شده و برآوردشده را بررسی می‌کند، به‌منظور ارزیابی داده‌ها، نسبت به سایر روش‌های تک‌متغیره نظیر RMSE و ضریب تعیین، مناسب‌تر تشخیص داده شد. براساس این دیاگرام، داده‌های آفرودیت برای مناطق شمال، شمال غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و نواحی داخلی کشور مناسب‌تر و داده‌های GPCC در مناطق غرب، جنوب، جنوب شرق و شمال شرق کشور به نتایج بهتری منتهی می‌شود. همچنین، مشخص شد که داده‌های UDel به دلیل در نظر گرفتن ارتباط فضایی داده‌ها با متغیر وابسته، مقادیر بارش سری‌های زمانی ناقص را بهتر از دو داده دیگر برآورد می‌کند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برای واکاوی ویژگی‌های بارش در مناطق دارای سری زمانی کوتاه‌مدت از این نوع داده‌ها استفاده شود. البته، از این داده‌ها در نواحی داخلی کشور باید با احتیاط استفاده شود.

## منابع

- بارانیزاده، ا.؛ بهیار، م.ب.؛ عابدینی، ی.ع. (۱۳۹۰). ارزیابی برآوردهای بارندگی ماهواره TRMM-3B43 با استفاده از مقایسه با داده‌های زمینی مشاهداتی شبکه‌های بارش قدرت تفکیک بالا (APHRODIT) در ایران، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه زنجان، ۲۸-۲۹ اردیبهشت، ص ۸.
- حاجی میر رحیمی، م.؛ فیضی‌زاده، ب. (۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش، همایش ژئوماتیک ۸۷، تهران.
- حجازی‌زاده، ز.؛ علیجانی، ب.؛ ضیاییان، پ.؛ کریمی، م.؛ رفعتی، س. (۱۳۹۱). ارزیابی بارش ماهواره‌ای 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ، مجله سنجش از دور و GIS ایران، ۴(۳): ۴۹-۶۴.
- رضیعی، ط.؛ فتاحی، ا. (۱۳۹۰). ارزیابی کاربرد داده‌های بارش NCEP/NCAR در پایش خشکسالی ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۲): ۲۲۵-۲۴۷.
- عرفانیان، م.؛ کاظم‌پور، س.؛ حیدری، ح. (۱۳۹۲). ارزیابی داده‌های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، نخستین کنفرانس ملی هواشناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.
- کتیرایی بروجردی، س. (۱۳۹۲). مقایسه داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیاد روی ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، ۷(۴): ۱۴۹-۱۶۰.
- مسعودیان، ا. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، چاپ اول. انتشارات شریعه توس، مشهد.
- مسعودیان، ا.؛ کیخسروی، م.ص.؛ رعیت پیشه، ف. (۱۳۹۳). معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه‌های داده GPCP، GPCC و CMAP. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱): ۷۳-۸۸.
- Andermann, C.; Bonnet, S.; Gloaguen, R. (2011). Evaluation of precipitation data sets along the Himalayan front. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(7): 1-16.
- Baranzadeh, E.; Behyar, M.; Abedini, Y. (2011). Evaluation of Satellite Rainfall Estimates from TRMM-3B43 through comparison with Ground-Based data of High-Resolution Network (APHRODITE) in Iran, The second Iranian National conference on applied research in water resources, Zanjan University, May 18-19, pp. 8, (In Persian).
- Chintalapudi, S.; Sharif, H.O.; Yeggina, S.; Elhassan, A. (2012). Physically Based, Hydrologic Model Results Based on Three Precipitation Products. *Journal of the American Water Resources Association*, 48(6): 1191-1203.
- Erfanian, M.; Kazempour, S.; Heidari, H. (2013). Evaluation and Calibration of TRMM Satellite Rainfall Data in a Semi-arid Region of Iran, First National Conference on Climatology of Iran, May 21 -22, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran, (In Persian).
- Hajimir Rahimi, M.; Feizizade, B. (2007). Validation of TRMM Precipitation and Ground-Based Radar in estimation of precipitation, National Geomatics Conference 86 (GEO86), National Cartographic Center, Tehran, Iran, (In Persian).
- Hejazizadeh Z.; Alijani B.; Zeaiean P.; Karimi M.; Rafati S. (2012). Evaluation of Satellite-based Precipitation Estimates (3B43) and Comparison with Kriging Interpolation Results, *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 4(3): 49-64, (In Persian).
- <http://www.chikyu.ac.jp>.
- <http://www.esrl.noaa.gov>
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Javanmard, S.; Yatagai, A.; Nodzu, M.I.; BodaghJamali, J.; Kawamoto, H. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM\_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25(25): 119-125.



- Katirai Boroujerdy, P. (2014). Comparison of high-resolution gridded monthly satellite and ground-based precipitation data over Iran, *Iranian Journal of Geophysics*, 7(4): 149-160, (In Persian).
- Lo Conti, F.; Hsu, K.L.; Noto, L.V.; Sorooshian, S. (2014). Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. *Atmospheric Research*, 138: 189-204.
- Masoodian, A.; Kiany, K.; Raiyatpishhe, M.S. (2014). Introduction and a Comparison among Gridded Precipitation Database of Asfazari with GPCC, GPCP and CMAP, *Geographical Research*, 29(1): 73-88, (In Persian).
- Masoodian, S.A. (2011). *The climate of Iran*, Sharia Toos publication, First edition, (In Persian).
- Pincus, R.; Batstone, C.P.; Hofmann, R.J.P.; Taylor, K.E.; Glecker, P.J. (2008). Evaluating the present-day simulation of clouds, precipitation, and radiation in climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D14): 1-10.
- Rahimzadeh, F.; Nassaji Zavareh, M. (2014). Effects of adjustment for non-climatic discontinuities on determination of temperature trends and variability over Iran. *International Journal of Climatology*, 34(6), 2079-2096.
- Raziei, T.; Daryabari, J.; Bordi, I.; Modarres, R.; Pereira, L.S. (2014). Spatial patterns and temporal trends of daily precipitation indices in Iran. *Climatic Change*, 124(1-2): 239-253.
- Raziei, T.; Fatahi, E. (2011). Evaluation of the applicability of the NCEP/NCAR precipitation dataset for drought monitoring in Iran, *Iranian Journal of Geophysics* 37(2): 225-247, (In Persian).
- Schneider, U.; Becker, A.; Finger, P.; Meyer-Christoffer, A.; Ziese, M.; Rudolf, B. (2014). GPCC's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle, *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2): 15-40.
- Taylor, K.E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7): 7183-7192.
- Wehner, M.F. (2013). Very extreme seasonal precipitation in the NARCCAP ensemble: model performance and projections, *Climate Dynamics*, 40(1-2): 59-80.
- Willmott, C.J.; Matsuura, K. (2001). *Terrestrial air temperature and precipitation: monthly and annual climatologies (version 3.02)*, Center for Climatic Research, Department of Geography, University of Delaware.
- Willmott, C.J.; Robeson, S.M. (1995). Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. *International Journal of Climatology*, 15(2): 221-229.
- Willmott, C.J.; Rowe, C.M.; Philpot, W.D. (1985). Small-scale climate maps: A sensitivity analysis of some common assumptions associated with grid-point interpolation and contouring. *The American Cartographer*, 12(1): 5-16.
- Xie, P.; Chen, M.; Yang, S.; Yatagai, A.; Hayasaka, T.; Fukushima, Y.; Liu, C. (2007). A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia, *Journal of Hydrometeorology*, 8(3): 607-626
- Yatagai, A.; Kamiguchi, K.; Arakawa, O.; Hamada, A.; Yasutomi, N.; Kitoh, A. (2012). APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(9): 1401-1415.