



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.11, No. 2, Summer 2019

۲۱-۴۶

ارزیابی آماری برآورد بارش مبتنی بر تکنیک سنجش از دور در استان‌های البرز، قزوین، زنجان، کردستان و همدان

مژگان احمدی^۱، عباس کاویانی^{۲*}، پیمان دانش‌کار آراسته^۳ و زهره فرجی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
۲. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
۳. دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
۴. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۸

چکیده

تخمین بارش در محاسبات بیلان انرژی، مطالعات هیدرولوژیکی و هواشناسی از اهمیت چشمگیری برخوردار است. با توجه به اهمیت داده‌های بارش در علوم مختلف و عدم وجود شبکه باران‌سنجی گسترده و مناسب، لازم است داده‌های بارش به نحوی برآورد شوند. یکی از راه‌های برآورد بارش، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای است. در این پژوهش، به ارزیابی داده‌های بارش مدل GPCP، CRU، GLDAS، TRMM، CMAP و NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی در استان‌های البرز، قزوین، زنجان، کردستان و همدان پرداخته شد. نتایج نشان داد که در این مناطق، بارش GPCP، TRMM، CMAP و NCEP-NCAR نتایج خوبی داشتند و از میان آنها GPCP و TRMM نتیجه بهتری را ارائه کرده‌اند. در ارزیابی GPCP با میانگین ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در پیکسل ۳ در سال ۲۰۰۳، ضریب تبیین (R^2)، ضریب کارایی مدل (EF)، خطای اریب میانگین (MBE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب برابر ۰/۱۹۶، ۰/۹۴، ۳/۱۳، ۵/۳۰ و ۶/۵۸ میلی‌متر بر ماه به دست آمد. همچنین داده‌های بارش مدل GLDAS با داده‌های ایستگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در مناطقی که بارش زیاد است، مانند ایستگاه رشت و نوشهر مدل GLDAS از دقت خوبی برخوردار نیست.

کلید واژه‌ها: بارش، سنجش از دور، آزمون‌های آماری، میان‌یابی

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۰۹۱۸۳۱۶۳۹۸۹

۱- مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین و متغیرترین پارامترهای آب و هوایی است که در بستر زمان و مکان به شدت تغییر می‌کند. ایران به‌عنوان یک کشور خشک و نیمه‌خشک در منطقه آسیا، دارای میانگین بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال است که این رقم، کمتر از یک سوم میانگین (۸۶۰ میلی‌متری) جهان است (صفوی، ۱۳۸۵). تغییر زمانی و مکانی بارش، تغییرات اقتصادی فراوانی دارد و همین تغییرپذیری در مقیاس‌های مختلف، دلیل اصلی سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها به‌شمار می‌آید. به دلیل اهمیت تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش و نقش آن در ارتباطات و مخاطرات اقتصادی مناطق و مشکلات امنیت غذایی و بسیاری موارد دیگر، موضوع مذکور در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (معروفی و همکاران، ۱۳۸۸). اندازه‌گیری دقیق بارش، کاربردهای بسیاری در تحقیقات اقلیمی، کشاورزی، خشکسالی، بلایای طبیعی و آب‌شناسی دارد. واضح است که نبود دسترسی به شبکه باران‌سنجی منظم زمینی، مانع رشد و توسعه و استفاده از مدل‌های اخطار سیل و خشکسالی، آب‌شناختی و سامانه نشان‌دهنده وضعیت اقلیمی حدی و تصمیم‌گیری است. علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجهی که در سال‌های اخیر درباره پیش‌بینی و اندازه‌گیری بارش ایجاد شده است، هنوز تعیین دقیق میزان بارش در یک منطقه امری مشکل است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل پراکندگی ایستگاه‌ها و تغییرات زیاد بارش، اهمیت در نظر گرفتن موقعیت نقاط در برآوردها دوچندان می‌شود. در هر صورت، ایجاد شبکه‌های متراکم باران‌سنجی و انجام محاسبات کلاسیک درون‌یابی، امری اجتناب‌ناپذیر است. با وجود این، در بسیاری از مناطق جهان و همچنین ایران یا باران‌سنج وجود ندارد یا باران‌سنج‌ها بسیار پراکنده‌اند، به طوری که یک شبکه باران‌سنجی زمینی مطمئن موجود نیست (کتیرایی بروجردی، ۱۳۹۲). از سوی دیگر، به دلایل اقتصادی و اجرایی،

محدودیت قابل توجهی به‌منظور ایجاد تعداد ایستگاه‌های کافی در هر شبکه، وجود دارد (گیور و همکاران، ۱۳۹۰). شناخت پراکنش زمانی و مکانی بارش، ابزاری سودمند برای درک چگونگی پراکنش غیر یکنواخت منابع آب و پوشش گیاهی در هر منطقه است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

بنابراین، نیاز به برآورد بارش در سطح جهانی محصولات به‌دست آمده از سنجش از دور ماهواره‌ای است. اخیراً با تلاش زیاد، اغلب محصولات جهانی با تفکیک زیاد تولید شده‌اند. با ورود ماهواره‌های هواشناسی در دهه ۱۹۷۰، امکان تخمین بارش از طریق تصاویر ماهواره‌ای فراهم شده است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

در سال‌های اخیر با رشد فزاینده پایگاه‌های داده جهانی، مبتنی بر برآوردهای ماهواره‌ای و همچنین افزایش توانایی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در مدل‌سازی فرایندهای پیچیده حاکم بر بیلان آب در سطح زمین، کوشش‌های زیادی به‌منظور استفاده مناسب از این ابزارهای نوین برای کاهش مشکلات موجود در این زمینه به عمل آمده است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات پایش پدیده‌های زمینی را به‌خوبی فراهم کرده است. مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی، پایش‌های بیابان‌زایی، تخریب سیلاب، خشکسالی، تغییرات آب دریاها و دریاچه‌ها، تغییرات آب و هوا، آلودگی‌های آب و خاک و هوا، تغییرات شهرها و مناطق مسکونی به عنوان ابزارهایی برای مدیریت دقیق، مطرح است که با اطلاعات ماهواره‌ای، انجام بسیاری از این مطالعات مقدور می‌شود.

داده‌های بارش ماهواره‌ای دارای کم برآورد بارش هستند. به‌طور کلی، آنها نتیجه گرفتند که می‌توان از داده‌های بارش ماهواره TRMM برای برنامه‌های کاربردی در منابع آب و هیدرولوژی در مناطق با ایستگاه پراکنده و اندک استفاده کرد (Guofeng et al, 2017).

مدل‌های سطح زمین به‌روز شده با مشاهدات ماهواره‌ای به‌دلیل ارائه پارامترهای هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی از اهمیت بالایی در مناطق فاقد آمار برخوردار هستند. قبل از استفاده از داده‌های سنجش از دور لازم است با داده‌های زمینی مقایسه شده و دقت آنها مشخص شود. لذا این پژوهش، با هدف ارزیابی امکان استفاده از نتایج مدل‌های GLDAS، CRU^۱، GPCP، TRMM، CMAP^۲، NCEP-NCAR^۳ انجام شد و برای این منظور از داده‌های بارش مدل GLDAS، CRU، GPCP، TRMM، CMAP، NCEP-NCAR در استان‌های زنجان، قزوین، البرز، کردستان و همدان استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، استان‌های همجوار البرز، زنجان، قزوین، کردستان و همدان است. به دلیل عدم پراکندگی مناسب ایستگاه‌ها و عدم دسترسی به ایستگاه‌های بیشتر در برخی از استان‌های مورد مطالعه، از ایستگاه‌های کمکی رشت در استان گیلان، سیاه‌بیشه و نوشهر در استان مازندران، شمال تهران در استان تهران، میانه در استان آذربایجان شرقی، سردشت و مهاباد در استان آذربایجان غربی و خلخال در استان اردبیل استفاده شد تا داده‌ها پراکندگی بهتری در پیکسل‌های مدل‌های مورد مطالعه داشته باشند.

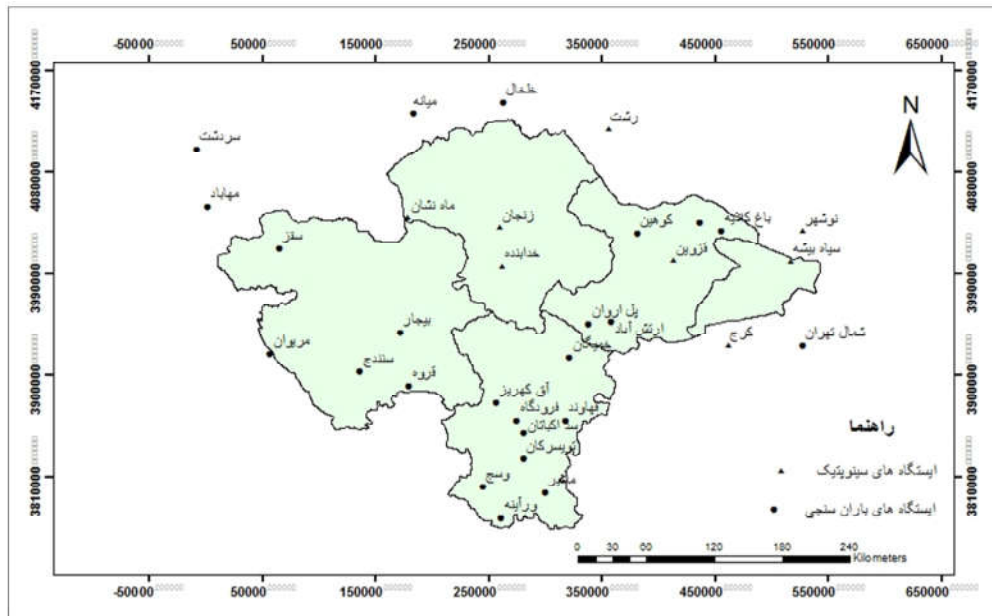
1. Global Land Data Assimilation System
2. Gravity Recovery and Climate Experiment
3. Tropical Rainfall Measuring Mission
4. Global Precipitation Climatology Project
5. Climatic Research Unit
6. CPC Merged Analysis of Precipitation
7. National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research

مدل سیستم اطلاعات جهانی سطح زمین (GLDAS)^۱ از جمله مدل‌هایی است که تاکنون محققان زیادی در سطح جهان به مطالعه آن پرداختند. محققان، با استفاده از مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) به بررسی تغییرات بارش و رواناب، در حوضه سد دوستی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل داده‌ها نشان داد که در شرق و جنوب شرقی حوضه مورد مطالعه، همبستگی بین بارش و رواناب، ضعیف‌تر از سایر نقاط است (پلرودی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۴). به بررسی قابلیت داده‌های مدل GLDAS و ماهواره GRACE^۲ در برآورد بیلان آب در دریاچه ارومیه پرداختند. مقایسه مقادیر برآورد شده تغییرات بیلان کل آب در حوضه توسط GRACE و تغییرات مشاهداتی حجم آب دریاچه نشان دهنده وجود روند یکسان است (فرخ‌نیا و مرید، ۱۳۹۳). به مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM^۳ در استان فارس طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۸ پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی، همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در بیشتر مناطق استان برای همه مقیاس‌های زمانی وجود دارد (شیروانی و فخاری‌زاده شیرازی، ۱۳۹۳). داده‌های تبخیر-تعرق حاصل از مدل GLDAS را مورد توجه قرار داده و نتایج نشان می‌دهد که بعد از اصلاح داده‌ها، ضریب تبیین ۰/۹۲ بین داده‌های تبخیر-تعرق مدل GLDAS و لایسیمتر و همچنین ضریب تبیین ۰/۹۴ بین داده‌های بارش مدل GLDAS و ایستگاه هواشناسی وجود دارد (Moiwo et al., 2009). با استفاده از (GPCP)^۴ به بررسی ماهانه بارش جهانی ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج سال ۲۰۱۷ روند قابل ملاحظه‌ای در میزان بارش ماهانه در مناطق استوایی نشان داد (Adler et al, 2018). دقت و صحت داده‌ها بارش ماهواره TRMM را در منطقه جنوب غربی چین بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ ارزیابی و بررسی کردند. نتایج نشان داد که داده‌های بارش ماهواره‌ای با داده‌های بارش مشاهداتی، همبستگی بالایی دارند، اما

نام ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ و شکل ۱ زیر، آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول دوره آماری
قزوین	سینوپتیک	۵۰/۰۳	۳۶/۱۵	۱۲۷۹/۲	۲۰۰۱-۲۰۱۰
رشت	سینوپتیک	۴۹/۳۷	۳۷/۱۹	-۸/۶	۲۰۰۱-۲۰۱۰
سیاه‌بیشه	سینوپتیک	۵۱/۱۸	۳۶/۱۵	۱۸۵۵/۴	۲۰۰۱-۲۰۱۰
پل اروان	باران‌سنجی	۴۹/۲	۳۵/۶۳	۱۷۵۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
رجایی‌دشت	باران‌سنجی	۵۰/۲۸	۳۶/۴۵	۹۶۸	۲۰۰۱-۲۰۱۰
باغ‌کلایه	باران‌سنجی	۵۰/۵	۳۶/۳۹	۱۲۸۳	۲۰۰۱-۲۰۱۰
کوهین	باران‌سنجی	۴۹/۶۷	۳۶/۳۷	۱۵۱۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
ارتش‌آباد	باران‌سنجی	۴۹/۴۳	۳۵/۶۶	۱۷۵۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
خمیگان	باران‌سنجی	۴۹/۰۲	۳۵/۳۷	۱۸۶۹	۲۰۰۷-۲۰۱۶
تویسرکان	باران‌سنجی	۴۸/۶	۳۴/۵۵	۱۷۸۳	۲۰۰۷-۲۰۱۶
ملایر	باران‌سنجی	۴۸/۸۲	۳۴/۲۸	۱۷۲۵	۲۰۰۷-۲۰۱۶
همدان	باران‌سنجی	۴۸/۵۳	۳۴/۸۵	۱۷۴۹	۲۰۰۷-۲۰۱۶
سداکباتان	باران‌سنجی	۴۸/۶	۳۴/۷۶	۱۹۵۷	۲۰۰۷-۲۰۱۶
وسج	باران‌سنجی	۴۸/۲۲	۳۴/۳۲	۱۵۶۶	۲۰۰۷-۲۰۱۶
ورآینه	باران‌سنجی	۴۸/۴	۳۴/۰۸	۱۷۹۵	۲۰۰۷-۲۰۱۶
آق‌کهریز	باران‌سنجی	۴۸/۳۳	۳۴/۹۹	۱۸۴۴	۲۰۰۷-۲۰۱۶
قهاوند	باران‌سنجی	۴۸/۹۹	۳۴/۸۶	۱۵۵۴	۲۰۰۷-۲۰۱۶
نوشهر	سینوپتیک	۵۱/۳	۳۶/۳۹	-۲۰/۹	۲۰۰۰-۲۰۱۰
شمال‌تهران	باران‌سنجی	۵۱/۲۹	۳۵/۴۸	۱۵۴۹/۱	۲۰۰۰-۲۰۱۰
خلخال	باران‌سنجی	۴۸/۳۱	۳۷/۳۸	۱۷۹۶	۲۰۰۰-۲۰۱۰
میانه	بارن‌سنجی	۴۷/۴۲	۳۷/۲۷	۱۱۱۰	۲۰۰۰-۲۰۱۰
سقز	بارن‌سنجی	۴۶/۱۶	۳۶/۱۵	۱۵۲۲/۸	۲۰۰۲-۲۰۱۰
مریوان	بارن‌سنجی	۴۶/۱۲	۳۵/۳۱	۱۲۸۶/۸	۲۰۰۲-۲۰۱۰
قروه	بارن‌سنجی	۴۷/۴۸	۳۵/۱	۱۹۰۶	۲۰۰۲-۲۰۱۰
بیجار	بارن‌سنجی	۴۷/۳۷	۳۵/۵۳	۱۸۸۳/۴	۲۰۰۲-۲۰۱۰
سنندج	بارن‌سنجی	۴۷	۳۵/۲	۱۳۷۳/۴	۲۰۰۲-۲۰۱۰
مهاباد	بارن‌سنجی	۴۵/۴۳	۳۶/۴۵	۱۳۵۱/۸	۲۰۰۲-۲۰۱۰
سردشت	بارن‌سنجی	۴۵/۲۹	۳۶/۹	۱۵۵۶/۸	۲۰۰۲-۲۰۱۰
ماه‌نشان	سینوپتیک	۴۷/۴۱	۳۶/۴۴	۱۲۸۲	۲۰۰۲-۲۰۱۰
زنجان	سینوپتیک	۴۸/۳۱	۳۶/۳۹	۱۶۶۳	۲۰۰۰-۲۰۱۰
خداآباد	سینوپتیک	۴۸/۳۵	۳۶/۰۸	۱۸۸۷	۲۰۰۰-۲۰۱۰
کرج	سینوپتیک	۵۰/۵۷	۳۵/۴۸	۱۲۹۲/۹	۲۰۰۳-۲۰۱۰



شکل ۱. نقشه ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی

۲-۲-۲- ماهواره، مدل و پایگاه‌های مورد استفاده

در این پژوهش، از داده‌های بارش مدل GLDAS، CRU، GPCP، TRMM، NCEP-NCAR، CMAP در استان‌های زنجان، قزوین، البرز، کردستان و همدان استفاده شده است. پایگاه CRU تنها از اطلاعات زمینی، پایگاه CMAP از اطلاعات ماهواره‌ای، TRMM و GPCP از ترکیب اطلاعات زمینی و ماهواره‌ای و GLDAS از اجرای مدل‌های سطح زمین بدست می‌آیند (موغاری و همکاران، ۱۳۹۶). در ادامه به معرفی پایگاه‌ها، مدل و ماهواره مورد استفاده در این پژوهش پرداخته شده است.

۲-۲-۱- CRU

واحد تحقیقات آب و هوایی CRU، وابسته به دانشگاه شرق آنجلیا، یکی از مؤسسات پیشرو در زمینه مطالعه تغییرات طبیعی و انسانی آب و هوا است که به تهیه و انتشار تعدادی از مجموعه داده‌های آب و هوایی با تفکیک‌های مختلف می‌پردازد (میری و همکاران، ۱۳۹۵).

این مجموعه داده، برای سری زمانی (۲۰۰۰-۱۹۰۱) و پنج متغیر اقلیمی شامل بارش (میلی‌متر بر ماه)، دمای متوسط روزانه (درجه سلسیوس)، محدوده دمای روزانه (درجه سلسیوس)، فشار بخار آب (هکتا پاسکال) و پوشش ابر (درصد٪) برای جهان با وضوح ۰/۵ درجه محاسبه شد (Mitchell et al, 2004). مدل CRU، یک مدل شبیه‌سازی دینامیکی است و از حداکثر داده‌های هواشناسی زمینی ثبت شده در سطح جهان بهره می‌برد. شمار ایستگاه‌های مورد استفاده در آن متغیر بوده، به طوری که برای سال‌های اولیه این داده‌ها (۱۹۰۱)، شمار ایستگاه‌هایی که در تولید این پایگاه‌های داده به کار رفته، ۴۹۵۷ ایستگاه و در سال ۱۹۸۱ به ۱۴۵۷۲ ایستگاه افزایش یافته است (Harris et al, 2014).

۲-۲-۲- CMAP

واکاوی ادغام شده بارش (CMAP)، تکنیکی است که واکاوی‌های بارش جهانی را در مقیاس‌های ماهانه و

۲-۲-۴-GPCP

طرح اقلیم شناسی بارش جهانی (GPCP) توسط برنامه پژوهش اقلیم جهان^۱ بنیان نهاده شده تا پراکنش و توزیع ریزش‌های آسمانی را بر پهنه کره‌زمین طی سال‌های طولانی اندازه‌گیری نماید. ویژگی فرآورده‌های پایگاه بارشی GPCP به شرح زیر است:

نسخه دوم این پایگاه از ژانویه ۱۹۷۹ تا به امروز را پوشش داده، داده‌های بارشی آن در مقیاس زمانی ماهانه و در تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه طول و عرض جغرافیایی با دو تا سه ماه تأخیر بر روی وبگاه این پایگاه در دسترس است. فرآورده دیگر داده‌های بارشی در مقیاس ۵ روزه آن هم در تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه طول و عرض جغرافیایی است که این فرآورده، همه پهنه زمین را پوشش داده و داده‌های آن از ژانویه ۱۹۷۹ تا به امروز در دسترس است، اما داده‌های 1×1 درجه طول و عرض جغرافیایی این پایگاه در بازه زمانی روزانه از اکتبر ۱۹۹۶ تا به امروز را پوشش می‌دهد. همه فرآورده‌های نامبرده شده در بالا به کمک یک کاسه کردن و در هم تنیدن داده‌های فرورسرخ کهنوج و داده‌های بارشی واکاوی شده باران-سنج‌های زمینی، پدید می‌آیند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۲-۵-NCEP-NCAR

مرکز پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌های اقلیمی NCEP-NCAR داده‌های بازتحلیل شده خود را به صورت تقریباً روزآمد از ۱۹۴۶ تا زمان واقعی عرضه کرد که هم اکنون نیز ادامه دارد. امروزه با پیشرفت‌های گسترده در زمینه‌های گوناگون فناوری و علوم جوی و اقیانوسی نسل جدیدتری از داده‌های بازتحلیل شده عرضه می‌شود که هم از نظر کارایی مدل و هم از نظر داده‌های ورودی به مدل، بسیار توسعه پیدا کرده‌اند. داده‌های بارش NCEP-NCAR هر شش ساعت یک بار با مدل پیش‌بینی می‌شود که از مجموع چهار

پنج‌روزه فراهم می‌کند، بدین‌گونه که داده‌های ایستگاهی اندازه‌گیری بارش با برآوردهای به‌دست‌آمده از ماهواره‌ها یک کاسه می‌شوند. نسخه ۰۸۰۲ CMAP، افزون بر داده‌های ایستگاهی و ماهواره‌ای، از داده‌های بارشی مدل‌های عددی پیش‌بینی آب و هوا بهره می‌جوید. واکاوی‌های بارشی پایگاه CMAP در مقیاس مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه طول و عرض جغرافیایی هستند. داده‌های پایگاه CMAP از سال ۱۹۷۹ بدین سو در دسترس هستند. پوشش واکاوی‌های مکانی این پایگاه برای همه خشکی‌ها و آب‌های ساره است (Keyantash and Darcup, 2002).

۲-۲-۳-TRMM

ماهواره TRMM، محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است که در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شده است (Kummerow et al, 2000). ماهواره TRMM دارای حس‌گرهایی همچون رادار آب و هوایی، چند تشعشع‌سنج ماکروویو غیرفعال و تشعشع‌سنج بسیار پیشرفته با وضوح بالا است (Simpson et al, 1988). این ماهواره، برای قدرت تفکیک مکانی بهتر در ارتفاع نسبتاً کم ۳۵۰ کیلومتری حرکت می‌کند (Wentz et al, 2001). قدرت تفکیک مکانی محصولات بارش این ماهواره $0/25$ درجه و قدرت تفکیک زمانی آن سه ساعته و روزانه است. این ماهواره از عرض 50 درجه جنوبی تا 50 درجه شمالی را پوشش می‌دهد (Sohn et al, 2010). هدف از پرتاب این ماهواره اندازه‌گیری بارندگی در سطح اقیانوس‌ها و دریاها بود. علاوه بر این از اطلاعات این ماهواره می‌توان در اندازه‌گیری بارش در سطح خشکی‌ها و مخصوصاً مناطق که دارای آمار و اطلاعات ثبت شده مناسبی نیستند استفاده نمود. با استفاده از تصاویر ارسالی این ماهواره امکان ثبت و تجزیه و تحلیل مداوم مقادیر بارش در سطح زمین فراهم می‌شود (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵).

1. WCRP – World Climate Research Programme

میلادی برای کل کره زمین در مقیاس مکانی 1×1 درجه ارائه می‌کند. همچنین اخیراً نتایج مدل NOAA در مقیاس $25 \times 25 / 0$ درجه نیز از سال ۲۰۰۰ به بعد ارائه شده است. قدرت تفکیک زمانی برای محصولات GLDAS، ۳ ساعته است. فرآورده‌های ماهانه نیز از طریق میانگین‌گیری زمانی از محصولات ۳ ساعته تولید می‌شوند، این محصولات در فرمت شبکه دودویی (GRIB)^۸ است که از طریق تعدادی از رابطه‌ها قابل دسترسی است (Fangl et al, 2009).

در این پژوهش، برای ارزیابی بارش از مجموعه داده‌های بارش مدل GLDAS استفاده شد که در جدول ۲، این مجموعه داده‌ها آورده شده است.

۲-۳- معیارهای ارزیابی آماری مدل

در این تحقیق، نتایج حاصل از مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی توسط معیارهای آماری خطا شامل آماره‌های ضریب تبیین (R^2)^۹، مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)^{۱۰}، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)^{۱۱}، میانگین خطا یا اربیبی (MBE)^{۱۲} و ضریب کارایی مدل (EF)^{۱۳} مقایسه شدند. به دلیل محدودیت تعداد صفحات از ارائه فرمول‌های این بخش خودداری شده است.

ویژگی پایگاه‌ها، ماهواره و مدل مورد استفاده در جدول ۳ آورده شده است.

پیش‌بینی صورت گرفته در یک روز، مجموع بارش روزانه به دست می‌آید. بنابراین می‌توان گفت که داده‌های بارش در این گونه مدل‌ها نتیجه پیش‌بینی مدل هستند (Janowiak et al, 1998; Bordi et al, 2006). داده‌های باز تحلیل شده نتیجه برهم‌کنش پیچیده میان داده‌های موجود و نتایج مدل‌های جوی است که به صورت داده‌های شبکه‌بندی شده با پوشش سیاره‌ای داده می‌شوند. داده‌های باز تحلیل شده (NCEP- NCAR) و ECMWF^۱ از آغاز دهه گذشته تاکنون در دسترس پژوهشگران قرار گرفته و شتاب گسترده‌ای را در پژوهش‌های هواشناسی، آب و هواشناسی و اقیانوسی موجب شده‌اند (رضی و فتاحی، ۱۳۹۰). در این گونه مدل‌ها برای تولید داده‌های بارش که مهم‌ترین متغیر برای دسترسی و ارزیابی خشکسالی است (Keyantash and Dracup, 2002) از داده‌های مشاهده‌ای بارش (ایستگاه‌های باران‌سنج) استفاده نمی‌شود بلکه مقدار بارش از یک مدل فیزیکی که از متغیرهای دیگری مانند باد، دما، رطوبت ویژه و مانند آن بهره می‌برد پیش‌بینی می‌شود.

۲-۲-۶- GLDAS

هدف این مدل ترکیب محصولات داده‌های ماهواره‌ای و زمینی، استفاده از مدل‌سازی‌های پیشرفته‌ی سطح زمین و تکنیک‌های شبیه‌سازی به منظور رسیدن به حالت جریان بهینه‌ی زمین است. این مدل توسط کار چهار گروه دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)^۲، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)^۳، سازمان ملی اقیانوسی و جو (NOAA)^۴ و مراکز ملی پیش‌بینی محیط زیست (NCEP)^۵ ایجاد شده است. این سیستم، با استفاده از ۴ مدل سطح زمین (VIC)^۶، Mosaic، CLM^۷ و NOAA پارامترهای سطح زمین مانند رطوبت خاک و دمای سطح و شارها مانند تبخیر و شار گرمای محسوس را شبیه‌سازی می‌کند (Rodell et al, 2004). GLDAS هم‌اکنون نتایج شبیه‌سازی چهار مدل LSM، شامل NOAA، Mosaic، CLM و VIC را از سال ۱۹۷۹

1. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
2. The Nation Aeronautics and Space Administration
3. Goddard Space Flight Center
4. The National Oceanic and Atmospheric Administration
5. The National Center for Environmental Prediction
6. The Common Land Model
7. Variable Infiltration Capacity macroscale model
8. GRIdded Binary
9. correlation coefficient Determination Coefficient
10. Root mean square error
11. Mean absolute error
12. Mean Bias Error
13. Efficiency Factor

ارزیابی آماری برآورد بارش مبتنی بر تکنیک سنجش از دور ...

جدول ۲. مجموعه داده‌های بارش مدل GLDAS

محصول (Product)	مدل سطح زمین (LSM)	مجموعه داده‌های متداول بارش (Precipitation dataset used)	لایه‌های خاک (Soil layers)
GLDAS-2 v1	Noah, version 2.7 (v2.7; Chen et al. 1996)	Princeton University [Climatic Research Unit, version 2 (CRU2.0) + Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) + GPCP + National Centers for Environmental Prediction –National Center for Atmospheric Research (NCEP – et al, 2006] NCAR) reanalysis; Sheffield	4 (0 – 10, 10 – 40, 40 – 100, and 100 – 200 cm)
GLDAS-2 v2	Noah, version 3.3 (v3.3)	Princeton University [Climatic Research Unit, version 2 (CRU2.0) + Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) + GPCP + National Centers for Environmental Prediction –National Center for Atmospheric Research (NCEP – et al, 2006] NCAR) reanalysis; Sheffield	4 (0 – 10, 10 – 40, 40 – 100, and 100 – 200 cm)
GLDAS-1	Noah (v2.7)	Combination of CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) + Global Data Assimilation System (GDAS) + ECMWF [see Rodell et al. (2004) for details]	3 (0 – 2, 2 – 150, and 150 – 350 cm)
	Mosaic (Koster and Suarez. 1996)	Combination of CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) + Global Data Assimilation System (GDAS) + ECMWF [see Rodell et al. (2004) for details]	3 (0 – 10, 10 – 160, and 160 – 190 cm)
	VIC (Liang et al. 1994, 1996)	Combination of CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) + Global Data Assimilation System (GDAS) + ECMWF [see Rodell et al. (2004) for details]	10 (0 – 1.8, 1.8 – 4.5, 4.5 – 9.1, 9.1 – 16.6, 16.6 – 28.9, 28.9 – 49.3, 49.3 – 82.9, 82.9 – 138.3, 138.3 – 229.6, and 229.6 – 343.3 cm)
	CLM2 (Bonan et al. 2002)	Combination of CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) + Global Data Assimilation System (GDAS) + ECMWF [see Rodell et al. (2004) for details]	10 (0 – 1.8, 1.8 – 4.5, 4.5 – 9.1, 9.1 – 16.6, 16.6 – 28.9, 28.9 – 49.3, 49.3 – 82.9, 82.9 – 138.3, 138.3 – 229.6, and 229.6 – 343.3 cm)

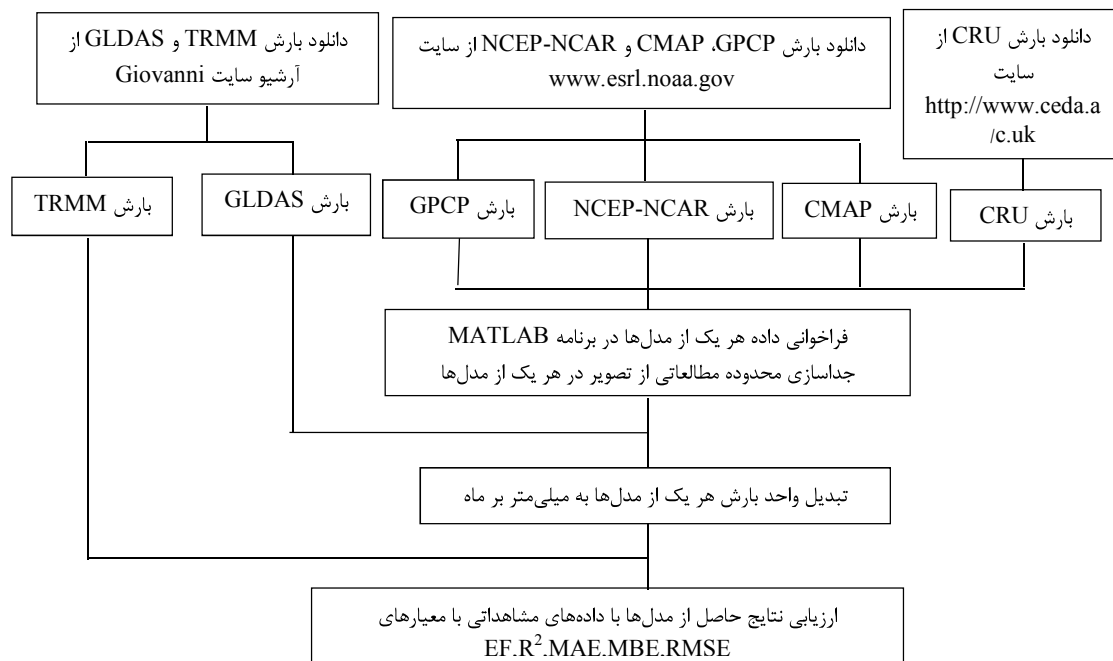
جدول ۳. ویژگی پایگاه‌ها، ماهواره و مدل بارش

نشانی اینترنتی	واحد	پوشش مکانی	بازه زمانی	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی	منابع اطلاعاتی	پایگاه، ماهواره مدل،
http://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_4.01/data/pre/	میلی‌متر بر ماه	خشکی‌های کره زمین (به جز قطب جنوب)	۲۰۱۶- تا ۱۹۰۱	۰/۵×۰/۵ درجه	ماهانه	اطلاعات زمینی	CRU_ts_4.01
https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/	میلی‌متر بر ماه	عرض ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی	۱۹۹۷ تا حال حاضر	۰/۲۵×۰/۲۵ درجه	سه ساعته - روزانه	اطلاعات زمینی و ماهواره‌ای	TRMM
https://www.ncei.noaa.gov/data/global-precipitation-climatology-project-gpcp-monthly/access/	میلی‌متر در روز	جهانی	۱۹۷۹ تا حال حاضر	۲/۵×۲/۵ درجه	ماهانه - ۵ روزه روزانه	اطلاعات زمینی و ماهواره‌ای	GPCP نسخه ۲ نسخه ۱
https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surfaceflux.html	$\frac{kg}{(m^2 \cdot s)}$	جهانی	۱۹۴۶ تا حال حاضر	حدود ۱/۹ درجه	روزانه	مدل فیزیکی	NCEP – NCAR
https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.cmap.html	میلی‌متر در روز	همه خشکی‌ها و آب‌های ساره	۱۹۷۹ تا حال حاضر	۲/۵×۲/۵ درجه	ماهانه - ۵ روزه	اطلاعات ماهواره‌ای	CMAP
https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/	$\frac{kg}{(m^2 \cdot s)}$	۶۰- تا ۹۰ درجه N تا ۱۸۰- تا ۱۸۰ درجه E	۲۰۰۰ تا حال حاضر	۰/۲۵×۰/۲۵ درجه	۳ ساعته - ماهانه	اجرای مدل‌های سطح زمین	GLDAS-2 GLDAS-1

۴-۲- روش پژوهش

این پژوهش، با هدف ارزیابی امکان استفاده از نتایج مدل‌های GLDAS، CRU، GPCP، TRMM، CMAP، NCEP-NCAR انجام شد و به ارزیابی داده‌های بارش مدل GLDAS، CRU، GPCP، TRMM، CMAP و NCEP-NCAR، با داده‌های ایستگاهی در پنج استان البرز، قزوین، زنجان، کردستان و همدان پرداخته شد. داده‌های هر یک از مدل‌ها و پایگاه‌ها از نشانی اینترنتی (جدول ۳) دانلود شد. فرمت داده‌های GPCP، CRU، CMAP و NCEP-NCAR به صورت NetCDF^۱ است که توسط نرم‌افزار MATLAB قابل مدیریت هستند. پس از فراخوانی در نرم‌افزار MATLAB، منطقه مورد مطالعه و بازه زمانی مورد نظر از تصویر اصلی جدا و ذخیره شد. واحد داده‌های GPCP و CMAP میلی‌متر در روز بود که برای مقایسه داده‌های مذکور با داده‌های

ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی به میلی‌متر بر ماه تبدیل شد. داده‌های GLDAS و NCEP-NCAR به صورت $\frac{kg}{m^2 \cdot s}$ بود که به میلی‌متر بر ماه تبدیل شد. برای ارزیابی آماری، این دیتاست‌ها با داده‌های ایستگاهی میانگین وزنی ایستگاه‌ها در هر پیکسل به روش چند ضلعی تیسن محاسبه شد. با استفاده از نرم‌افزار ArcMap10.2 چندضلعی تیسن رسم و مساحت آنها محاسبه شد. برای ارزیابی دقت برآورد بارش در محل هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین خطا یا اریبی (MBE) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شده است. ارزیابی آماری در نرم‌افزار اکسل انجام شد. فلوجارت مراحل ارزیابی داده‌های بارش در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲. فلوجارت مراحل ارزیابی داده بارش

1. Network Common Data Form

۳- نتایج و بحث

در این بخش به ارزیابی نتایج بارش مدل GLDAS، CRU، GPCP، TRMM، CMAP و NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی پرداخته می‌شود. به دلیل متفاوت بودن بازه زمانی ایستگاه‌ها در هر استان و کوتاه بودن بازه زمانی مشترک بین آنها، بازه زمانی متفاوت برای استان‌ها در نظر گرفته شد و محاسبات برای هر پیکسل صورت گرفت.

۳-۱- ارزیابی آماری و مکانی بارش مدل GLDAS و ماهواره TRMM با داده‌های ایستگاهی

در تحقیق حاضر، اطلاعات مدل NOAA با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه به صورت ماهانه (GLDAS_NOAH025_M.2.1) از سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰، برای ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک، از سایت Giovanni تهیه شد. داده‌های مذکور به صورت $\frac{kg}{m^2 \cdot s}$ بود که به میلی‌متر در ماه تبدیل شد. داده‌های TRMM از آرشیو سایت Giovanni با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه به صورت ماهانه (میلی‌متر در ماه) برای سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰ دریافت شد.

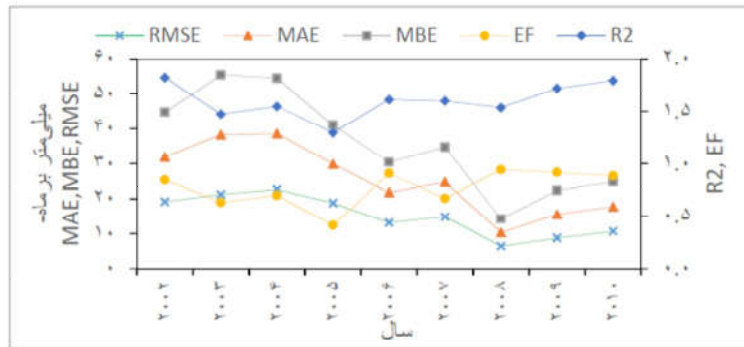
ارزیابی آماری برای ایستگاه‌های هواشناسی انجام شد. شکل‌های ۳ و ۴ نتایج ارزیابی آماری بارش GLDAS و TRMM با ایستگاه سقز در استان کردستان را نشان می‌دهند. نتایج ضریب تبیین برای ایستگاه‌های هواشناسی نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع ایستگاه‌ها، میزان این ضریب افزایش می‌یابد. در استان‌های البرز و زنجان، ضریب کارایی مدل برای ایستگاه‌هایی که کد ارتفاعی بالاتری دارند، نتایج بهتری نسبت به سایر ایستگاه‌های هواشناسی استان داشت. این درحالیست که ضریب کارایی مدل در استان کردستان برای ایستگاه‌هایی که کد ارتفاعی بالاتری دارند در اکثر سال‌ها کمتر از دیگر ایستگاه‌ها بود. در ارزیابی TRMM با ایستگاه‌های مورد مطالعه، ضریب کارایی مدل در اکثر ایستگاه‌ها نتایج بهتری نسبت به مدل GLDAS داشت. مقدار آماره‌های قدر مطلق خطا

(MAE) و ریشه دوم میانگین خطا (RMSE) در ایستگاه‌هایی که در نواحی پربارش قرار دارند بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است. به عنوان مثال، ایستگاه‌های رشت و نوشهر در نواحی پربارش قرار دارند و نتایج قابل قبولی نداشتند. اکثر ایستگاه‌ها (مانند ایستگاه‌های سقز و سنندج در استان کردستان) در سال‌های نرمال نتایج خوبی داشتند. پیچیدگی توپوگرافی، درهم‌تنیدگی شرایط هوایی دریا و خشکی در یک فاصله کوتاه و نقش فعالیت‌های همرفتی در این مناطق از جمله علت‌هایی است که برآورد بارش را بسیار سخت می‌کند. نتایج پژوهش‌های (دزفولی و همکاران، ۱۳۹۵)، (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵)، (میری و همکاران، ۱۳۹۵)، (Chokngamwong and Chiu, 2008)، (Feidas, 2010) و (Tan et al, 2015) نشان می‌دهد که بین داده‌های بارش ماهواره TRMM و داده‌های ایستگاهی همبستگی خوبی وجود دارد. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌های سایر پژوهشگران همخوانی دارد.

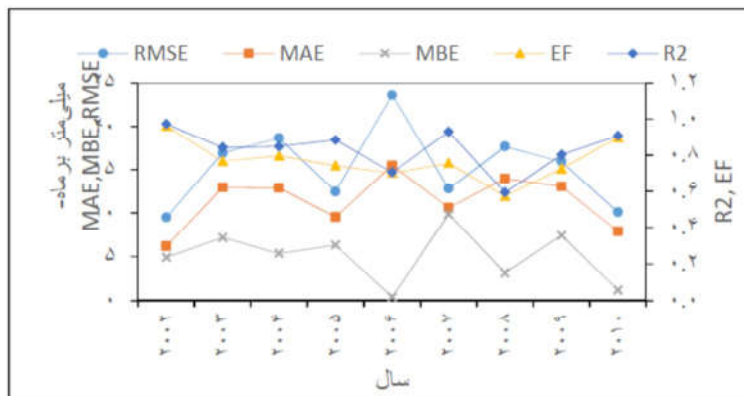
توزیع مکانی مدل GLDAS با داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۷ در شکل‌های زیر آورده شده است. داده‌های ایستگاهی و GLDAS برای بازه زمانی مذکور وارد نرم‌افزار ArcMap10.2 شد و با استفاده از روش کریجینگ میان‌یابی صورت گرفت و نقشه توزیع مکانی بارش به دست آمد. شکل‌های زیر، نقشه توزیع مکانی بارش را برای داده‌های ایستگاهی و GLDAS نشان می‌دهد.

استان همدان در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ در نواحی کم‌بارش قرار دارد که GLDAS به خوبی این روند را نشان می‌دهد. استان کردستان از شمال به جنوب روند افزایشی بارش را دارد، به‌ویژه نواحی جنوب غربی استان در ناحیه پربارش قرار دارد که GLDAS این روند را به خوبی نشان نمی‌دهد. GLDAS نواحی شمالی استان زنجان را پربارش نشان می‌دهد که با نقشه ایستگاهی همخوانی ندارد. نواحی جنوبی استان‌های البرز و قزوین در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰

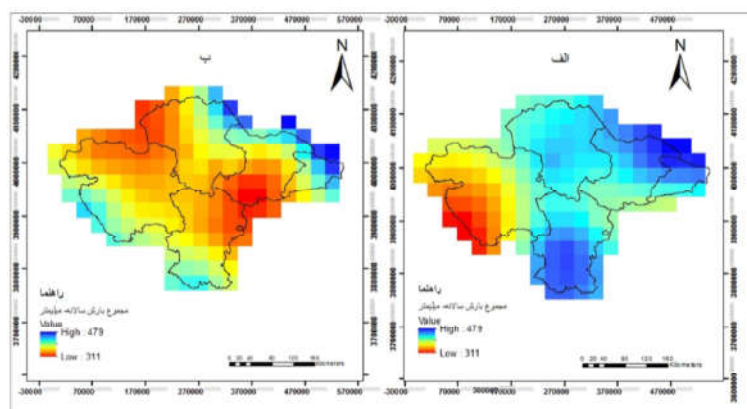
کمبارش هستند که GLDAS این روند را به خوبی نشان می‌دهد. به‌طور کلی، می‌توان گفت که GLDAS توزیع مکانی بارش را در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ برای محدوده مورد مطالعه به خوبی نشان نمی‌دهد.



شکل ۳. ارزیابی آماری بارش TRMM با ایستگاه سقز (استان کردستان)

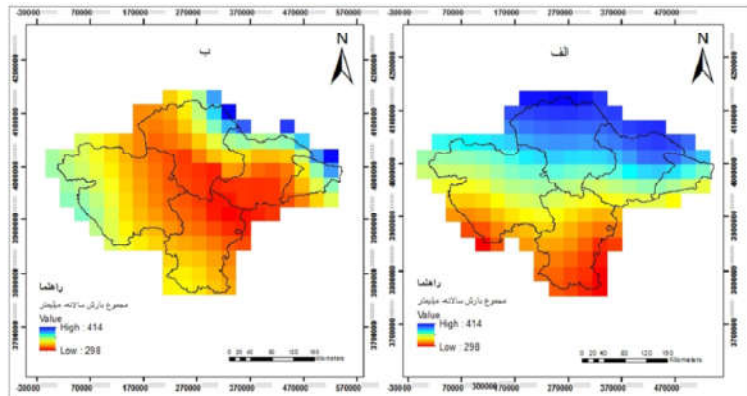


شکل ۴. ارزیابی آماری بارش GLDAS با ایستگاه سقز (استان کردستان)

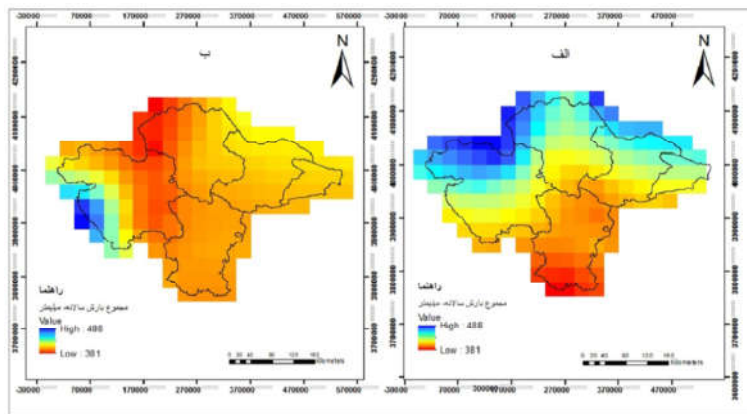


شکل ۵. الف- توزیع مکانی بارش GLDAS سال (۲۰۰۷)، ب- توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۷)

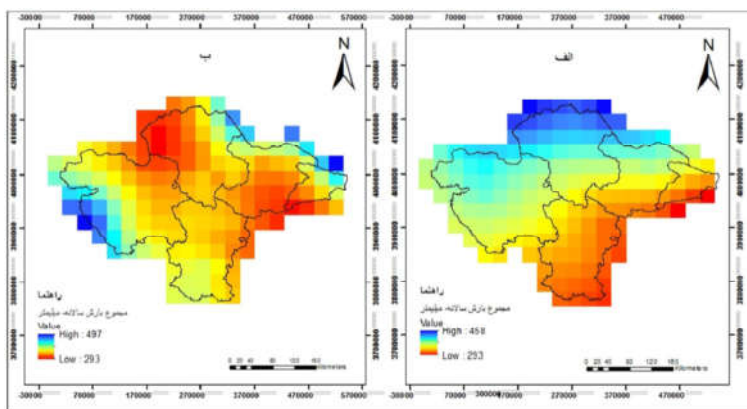
ارزیابی آماری برآورد بارش مبتنی بر تکنیک سنجش از دور ...



شکل ۶. الف- توزیع مکانی بارش GLDAS سال (۲۰۰۸)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۸)



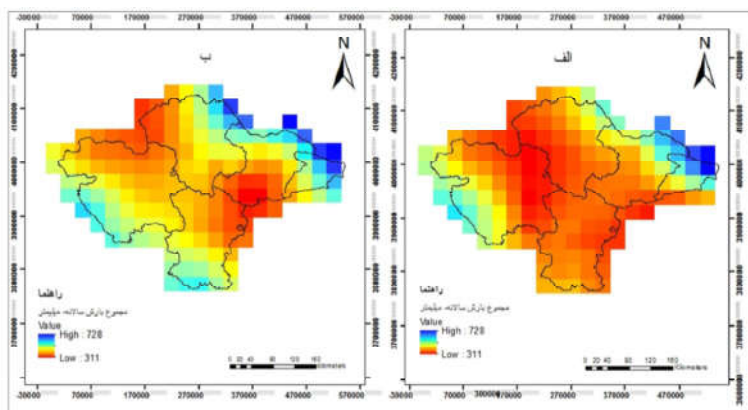
شکل ۷. الف- توزیع مکانی بارش GLDAS سال (۲۰۰۹)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۹)



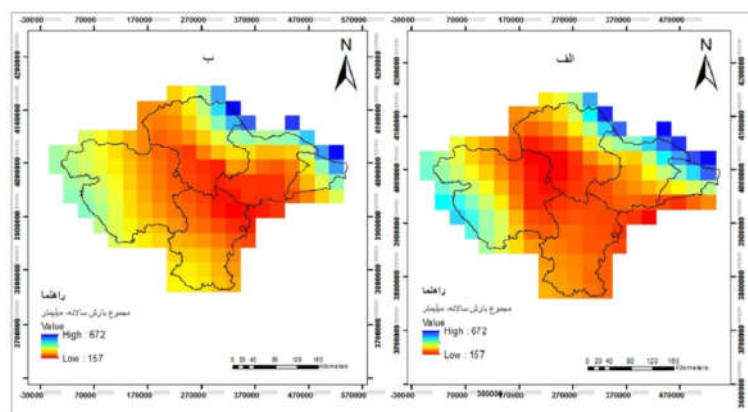
شکل ۸. الف- توزیع مکانی بارش GLDAS سال (۲۰۱۰)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۱۰)

روش کریجینگ میان‌یابی صورت گرفت و نقشه توزیع مکانی بارش به دست آمد. شکل‌های زیر، نقشه توزیع مکانی بارش را برای داده‌های ایستگاهی و TRMM نشان می‌دهد.

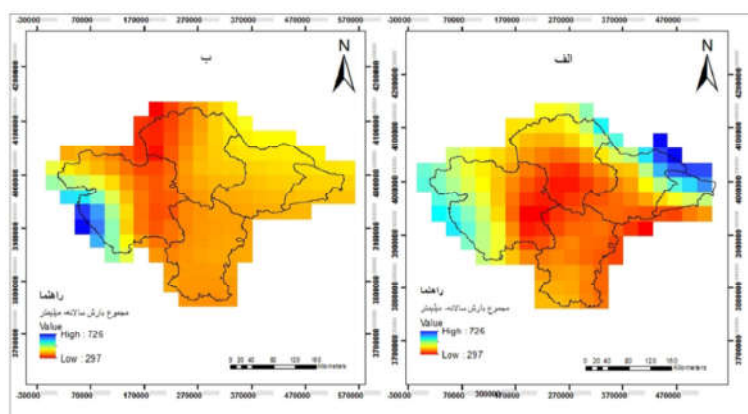
داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۷ با داده‌های TRMM مقایسه شد. داده‌های ایستگاهی و TRMM برای بازه زمانی مذکور وارد نرم‌افزار ArcMap10.2 شد و با استفاده از



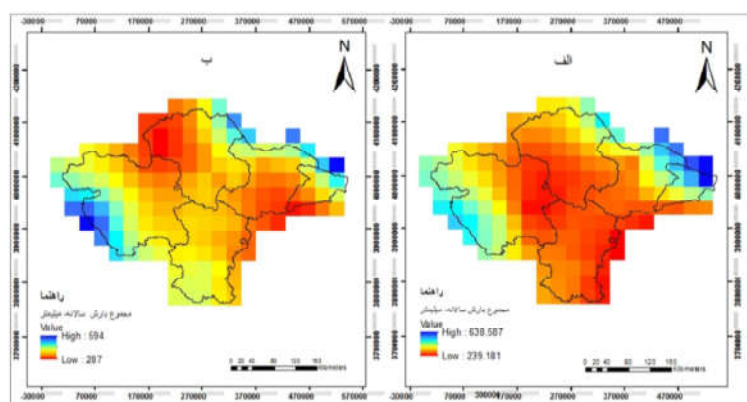
شکل ۹. الف- توزیع مکانی بارش TRMM سال (۲۰۰۷)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۷)



شکل ۱۰. الف- توزیع مکانی بارش TRMM سال (۲۰۰۸)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۸)



شکل ۱۱. الف- توزیع مکانی بارش TRMM سال (۲۰۰۹)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۹)



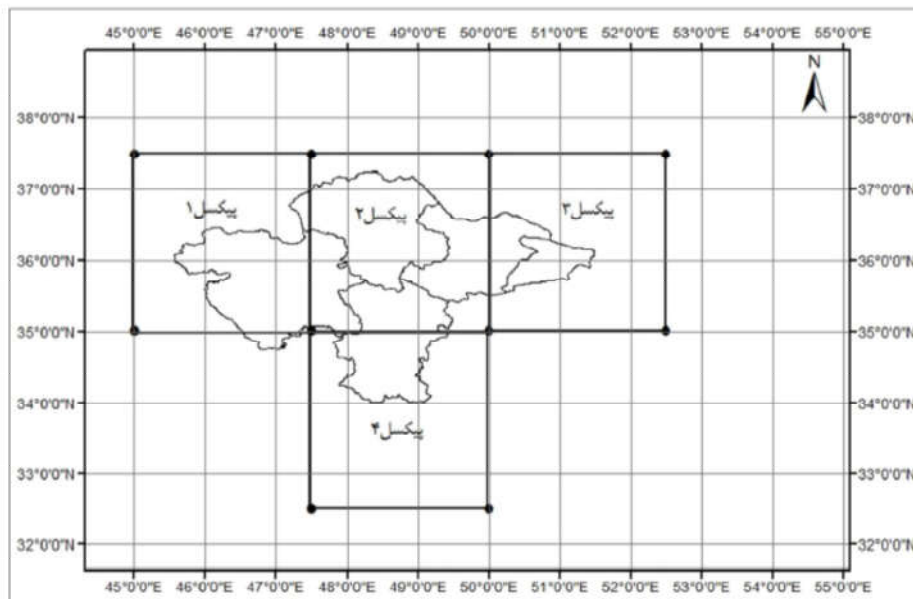
شکل ۱۲. الف- توزیع مکانی بارش TRMM سال (۲۰۱۰)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۱۰)

۳-۲- ارزیابی بارش پایگاه CMAP و GPCP با داده‌های ایستگاهی

داده بارش GPCP و CMAP با قدرت تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه به صورت ماهانه دریافت شد. فرمت این داده‌ها به صورت NetCDF است که توسط نرم‌افزار MATLAB قابل مدیریت هستند. پس از فراخوانی در نرم‌افزار MATLAB منطقه مورد مطالعه و بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۰ از تصویر اصلی جدا و ذخیره شد. واحد این داده‌ها، میلی‌متر در روز بود که برای مقایسه داده‌های مذکور با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی به میلی‌متر در ماه تبدیل شد.

محدوده مطالعاتی در پایگاه CMAP و GPCP شامل ۴ پیکسل شد. به دلیل متفاوت بودن بازه زمانی ایستگاه‌ها در هر استان و کوتاه بودن بازه زمانی مشترک بین آنها، محاسبات برای هر پیکسل صورت گرفت. برای ارزیابی آماری این دیتاست‌ها با داده‌های باران‌سنجی و سینوپتیک، میانگین وزنی ایستگاه‌ها در هر پیکسل به روش چندضلعی تیسن محاسبه شد. با استفاده از نرم‌افزار Arc Map 10.2 چندضلعی تیسن رسم و مساحت آنها محاسبه شد. در شکل زیر موقعیت جغرافیایی پیکسل‌های بارش CMAP و GPCP آورده شده است.

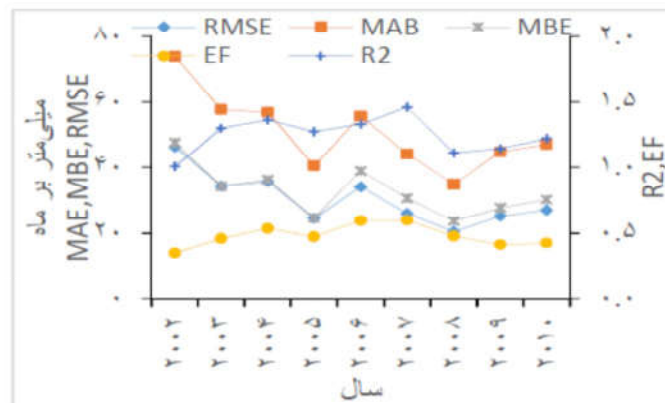
نواحی شمالی استان‌های البرز، قزوین و همچنین شمال‌شرقی استان زنجان در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ کم‌بارش هستند که TRMM به خوبی این نقاط را نشان می‌دهد. TRMM نقاط جنوب غربی استان کردستان را کم‌بارش نشان می‌دهد که با نقشه ایستگاهی همخوانی دارد. نواحی شمالی استان‌های البرز و قزوین در سال ۲۰۰۹ کم‌بارش و نواحی جنوب غربی استان کردستان پربارش هستند که این روند در نقشه TRMM به خوبی نشان داده نشده است. نواحی شمالی استان‌های البرز و قزوین و همچنین شمال‌شرقی استان زنجان در سال ۲۰۱۰ در نقشه TRMM پر بارش نشان داده شده است که با نقشه ایستگاهی همخوانی دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت که TRMM توزیع مکانی بارش را در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ در محدوده مورد مطالعه به خوبی نشان می‌دهد. در پژوهشی به ارزیابی بارش TRMM و مقایسه آن با مقادیر حاصل از درون‌یابی کریجینگ در طول سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ پرداخته شد. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که در نواحی غربی و جنوب غربی کشور دقت داده‌های بارش TRMM را می‌توان مناسب برشمرد (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌های سایر پژوهشگران همخوانی دارد.



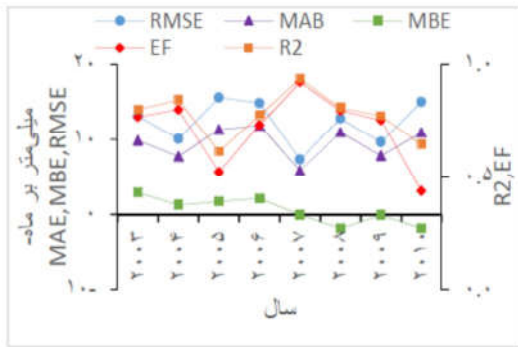
شکل ۱۳. موقعیت جغرافیایی پیکسل‌های بارش GPCP و CMAP

قرار گرفتند. در پایگاه GPCP و CMAP پیکسل ۴ با مرکز مختصات $33^{\circ}75'N-48^{\circ}75'E$ درجه ایستگاه‌های ورآینه، ملایر، وسج، تویسرکان، سداکباتان، همدان (فرودگاه)، قهاوند و آق کهریز قرار گرفتند. میانگین وزنی بارش (میلیمتر بر ماه) این ایستگاه‌ها محاسبه شد و ارزیابی آماری برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۳ انجام شد. در شکل‌های زیر ارزیابی آماری بارش پایگاه GPCP و CMAP با داده‌های ایستگاهی پیکسل‌های ۱ تا ۴ آورده شده است.

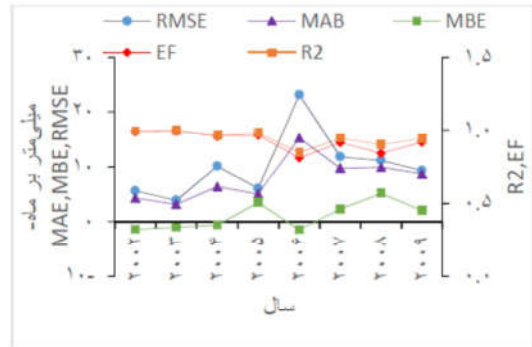
در پایگاه GPCP و CMAP پیکسل ۱ با مرکز مختصات $36^{\circ}25'N-46^{\circ}25'E$ درجه ایستگاه‌های مهاباد، سقز، قروه، بیجار، مریوان، سنندج، سردشت، میانه و ماه‌نشان قرار گرفتند. در پایگاه GPCP و CMAP پیکسل ۲ با مرکز مختصات $33^{\circ}75'N-48^{\circ}75'E$ درجه ایستگاه‌های رشت، خلخال، زنجان، خدابنده، کوهین، پل‌اروان، ارتش‌آباد و خمیگان قرار گرفتند. در پایگاه GPCP و CMAP پیکسل ۳ با مرکز مختصات $36^{\circ}25'N-45^{\circ}25'E$ درجه ایستگاه‌های شمال تهران، نوشهر، سیاه‌بیشه، کرج، باغ‌کلايه، رجایی‌دشت و قزوین



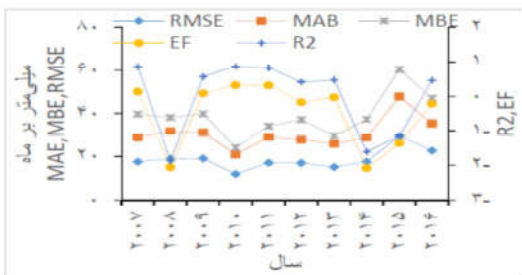
شکل ۱۴. ارزیابی آماری بارش پایگاه CMAP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۱



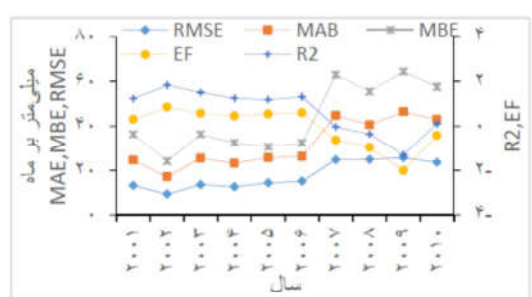
شکل ۱۹. ارزیابی آماری بارش پایگاه GPCP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۳



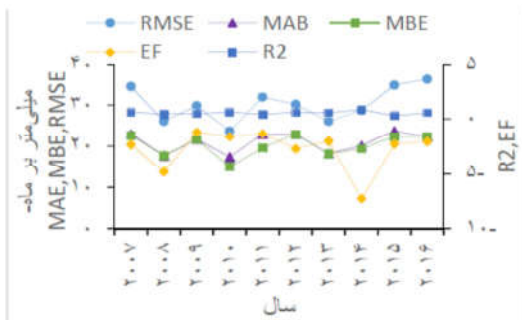
شکل ۱۵. ارزیابی آماری بارش پایگاه GPCP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۱



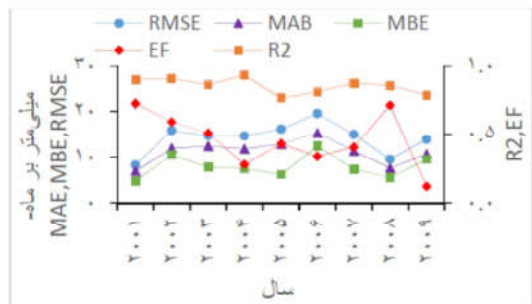
شکل ۲۰. ارزیابی آماری بارش پایگاه CMAP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۴



شکل ۱۶. ارزیابی آماری بارش پایگاه CMAP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۲

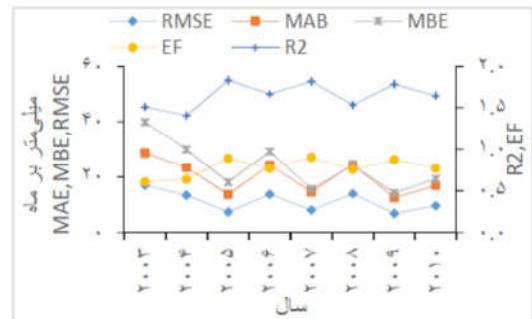


شکل ۲۱. ارزیابی آماری بارش پایگاه GPCP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۴



شکل ۱۷. ارزیابی آماری بارش پایگاه GPCP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۲

نتایج نشان داد که مقادیر ضریب تبیین، بیانگر دقت مناسب داده‌های GPCP و CMAP است. زیرا مقدار آن در بیشتر سال‌های مورد بررسی، بیش از ۰/۶ به‌دست آمد که این نشان‌دهنده دقت قابل قبول داده‌های پایگاه CMAP و GPCP در برآورد بارش در منطقه مورد مطالعه است. بیشترین ضریب تبیین، برای GPCP برابر ۰/۹۹ و CMAP برابر ۰/۹۸ مشاهده شد. مقدار ضریب تبیین بیش از ۰/۹۰ در برخی از سال‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد واریانس موجود در



شکل ۱۸. ارزیابی آماری بارش پایگاه CMAP با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۳

مکانی حدود $1/9 \times 1/9$ درجه به صورت ماهانه دریافت شد. فرمت این داده‌ها به صورت NetCDF است که توسط نرم‌افزار MATLAB قابل مدیریت هستند. پس از فراخوانی در نرم‌افزار MATLAB، منطقه مورد مطالعه و بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۰ از تصویر اصلی جدا و ذخیره شد. داده‌های مذکور به صورت $\left(\frac{kg}{m^2}\right)$ بود که برای مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی به میلی‌متر در ماه تبدیل شد. محدوده مطالعاتی در NCEP-NCAR شامل ۷ پیکسل شد. در شکل زیر، موقعیت جغرافیایی پیکسل‌های بارش NCEP-NCAR آورده شده است.

در NCEP-NCAR پیکسل ۱ با مرکز مختصات $37/14N-46/87E$ درجه ایستگاه‌های ماه‌نشان و میانه قرار گرفتند. در NCEP-NCAR پیکسل ۲ با مرکز مختصات $37/14N-48/75E$ درجه ایستگاه‌های کوهین، خلخال، رشت و زنجان قرار گرفتند. در NCEP-NCAR پیکسل ۳ با مرکز مختصات $37/14N-50/62E$ درجه ایستگاه‌های باغ‌کلایه، نوشهر و رجایی‌دشت قرار گرفتند. در NCEP-NCAR پیکسل ۴ با مرکز مختصات $35/23N-46/87E$ درجه ایستگاه‌های استان کردستان شامل سنندج، مریوان، بیجار، قروه و سقز قرار گرفتند. در NCEP-NCAR پیکسل ۵ با مرکز مختصات $35/23N-48/75E$ درجه ایستگاه‌های خمیگان، ارتش‌آباد، پل‌اروان، خدابنده، آق‌کهریز، قهاوند، همدان (فرودگاه)، وسج، سد اکباتان و توپسرکان قرار گرفتند. در NCEP-NCAR پیکسل ۶ با مرکز مختصات $35/23N-50/62E$ درجه ایستگاه‌های کرج، سیاه‌بیشه، شمال‌تهران و قزوین قرار گرفتند. در NCEP-NCAR پیکسل ۷ با مرکز مختصات $33/33N-48/75E$ درجه ایستگاه‌های ورآینه، ملایر قرار گرفتند. میانگین بارش (میلی‌متر بر ماه) این ایستگاه‌ها محاسبه شد و ارزیابی آماری برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۲ انجام شد. در شکل زیر، ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی پیکسل ۴ آورده شده است.

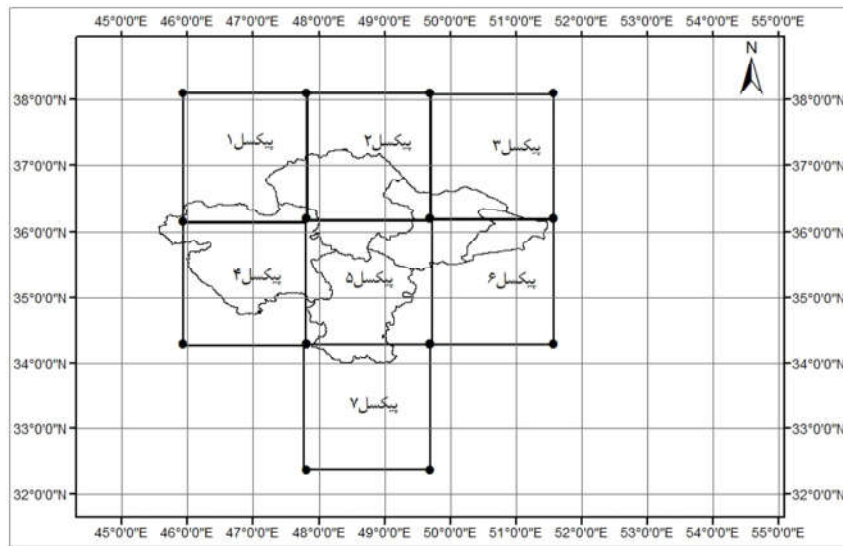
داده‌های بارش این ایستگاه‌ها با داده‌های CMAP و GPCP توصیف می‌شود. مقدار ضریب کارایی مدل (EF) در پیکسل ۱ و ۳، نتایج بهتری نسبت به سایر پیکسل‌ها داشت که بیانگر هماهنگی خوب داده‌های CMAP و GPCP با داده‌های زمینی در این ایستگاه‌ها است. به‌رغم توان زیاد CMAP و GPCP در پیش‌بینی قابل قبول بارش در برخی از پیکسل‌ها، مقدار بسیار کم EF در برخی از سال‌ها در برخی پیکسل‌ها (مانند پیکسل‌های ۲ و ۴) نشان از ناتوانی مدل در پیش‌بینی بارش در این پیکسل‌ها دارد. در پیکسل ۳ پایگاه GPCP مقدار RMSE در برخی از سال‌ها کمتر از ۸ میلی‌متر است که بیانگر انحراف کم بارش پیش‌بینی شده با GPCP در مقایسه با بارش واقعی است. آماره MBE نشان می‌دهد که CMAP در پیکسل‌های ۲ و ۴، در تمام سال‌های مورد ارزیابی بیش برآورد داشته است. در مقابل در پیکسل ۱ در سال خشکسالی (۲۰۰۸) و پیکسل ۳ در تمام سال‌های مورد ارزیابی مقدار بارش کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. آماره MBE نشان می‌دهد که GPCP در پیکسل‌های ۲ و ۴، در تمام سال‌های مورد ارزیابی بیش برآورد داشته است. در مقابل، در پیکسل ۱ در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و پیکسل ۳ در سال‌های ترسالی و نرمال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ و ترسالی (۲۰۰۶) مقدار بارش کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است.

در مورد CMAP و GPCP، در صورت چشم‌پوشی از مواردی که در آن پیش‌بینی درستی از بارش برخی ایستگاه‌ها به دست نیامد که آن هم به دلیل توپوگرافی پیچیده در برخی مناطق، پراکندگی نامناسب ایستگاه‌ها در پیکسل و تراکم کم شبکه ایستگاهی در ارزیابی برخی پیکسل‌ها باشد، به‌طور کلی، این‌گونه نتیجه گرفته شد که برآورد خوبی از بارش در منطقه مورد مطالعه می‌کند.

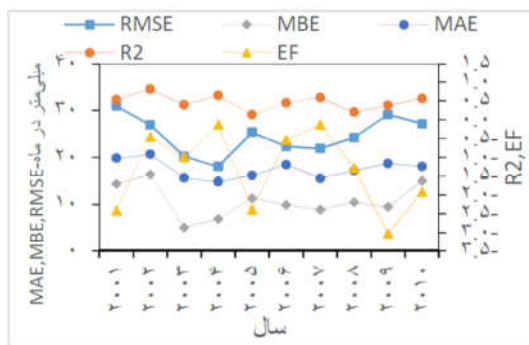
۳-۳- ارزیابی بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی

داده بارش مرکز NCEP-NCAR با قدرت تفکیک

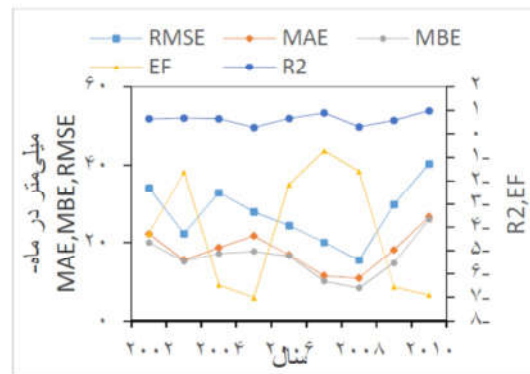
ارزیابی آماری برآورد بارش مبتنی بر تکنیک سنجش از دور ...



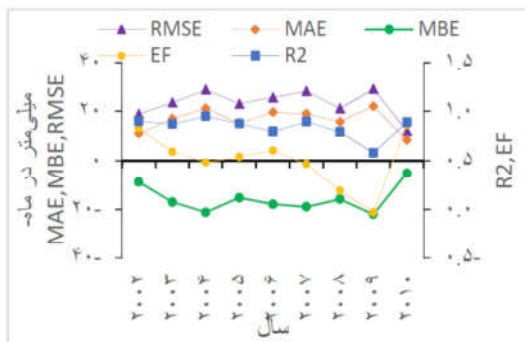
شکل ۲۲. موقعیت جغرافیایی بیکسل‌های بارش NCEP-NCAR



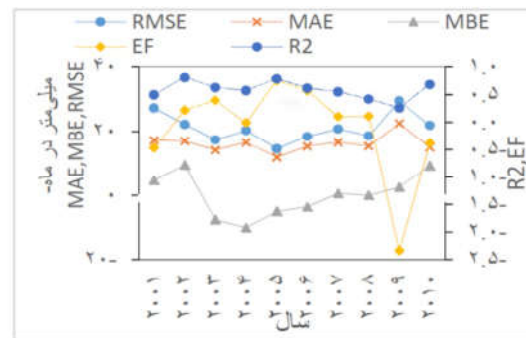
شکل ۲۵. نمودار ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی (بیکسل ۳)



شکل ۲۳. نمودار ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی (بیکسل ۱)



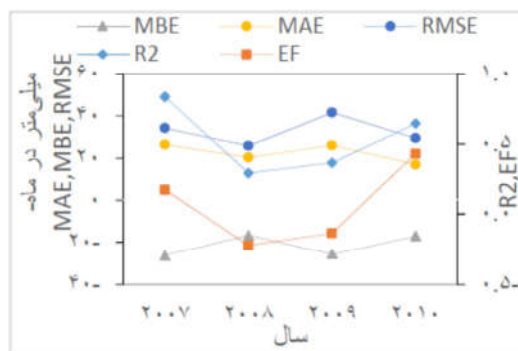
شکل ۲۶. نمودار ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی (بیکسل ۴)



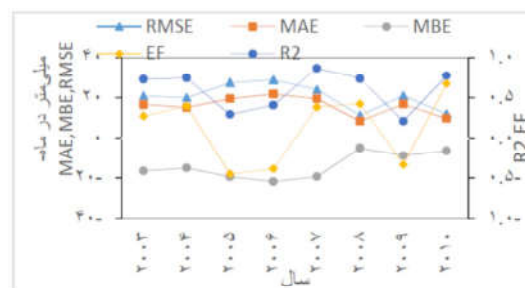
شکل ۲۴. نمودار ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی (بیکسل ۲)

واریانس موجود در داده‌های بارش این ایستگاه‌ها با داده‌های NCEP-NCAR توصیف می‌شود. بیشترین ضریب تبیین، برابر ۰/۹۸ مشاهده شد. برخلاف دقت خوب NCEP-NCAR در برآورد بارش در بسیاری از پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه، دقت این پایگاه در برآورد بارش در برخی از پیکسل‌ها در برخی از سال‌ها مانند پیکسل‌های ۳ و ۷ ضعیف‌تر است و مقدار ضریب تبیین در این پیکسل‌ها به کمتر از ۰/۶ کاهش می‌یابد. مقدار ضریب کارایی مدل (EF) در پیکسل ۴، نتایج بهتری نسبت به سایر پیکسل‌ها داشت که بیانگر هماهنگی خوب داده‌های NCEP-NCAR با داده‌های زمینی در این ایستگاه‌ها است. نتایج آن در شکل‌های فوق، آورده شده است. به‌رغم توان زیاد NCEP-NCAR در پیش‌بینی قابل قبول بارش در برخی از پیکسل‌ها، مقدار بسیار کم EF در برخی از پیکسل‌ها (مانند پیکسل‌های ۷ و ۱۰) نشان از ناتوانی مدل در پیش‌بینی بارش در این پیکسل‌ها دارد. در پیکسل ۴، مقدار RMSE در برخی از سال‌ها کمتر از ۱۳ میلی‌متر است که بیانگر انحراف کم بارش پیش‌بینی شده با NCEP-NCAR در مقایسه با بارش واقعی است. در برخی از پیکسل‌ها مانند پیکسل ۲، مقدار RMSE رقم‌های بزرگتری را نشان می‌دهد که با توجه به رقم بزرگ ضریب تبیین و EF در این پیکسل‌ها می‌توان گفت که بزرگ بودن مقدار RMSE در این پیکسل‌ها دلیلی بر کم بودن دقت مدل در پیش‌بینی بارش نیست. آماره MBE نشان می‌دهد که NCEP-NCAR در پیکسل‌های ۷، ۶، ۵، ۴ در تمام سال‌های مورد ارزیابی و پیکسل ۲ در سال‌های ترسالی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ و سال خشکسالی ۲۰۰۸ کم برآورد داشته است. در مقابل در برخی پیکسل‌ها مانند پیکسل‌های ۱ و ۳ مقدار بارش بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است.

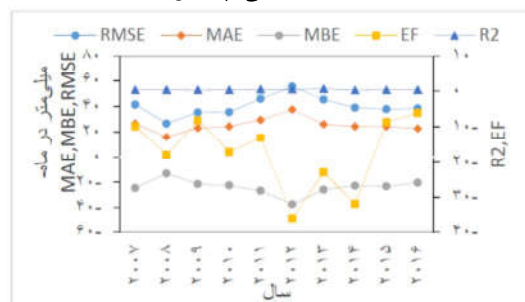
درباره NCEP-NCAR، در صورت چشم‌پوشی از مواردی که در آن پیش‌بینی درستی از بارش برخی ایستگاه‌ها به دست نیامد که آن هم، به دلیل توپوگرافی پیچیده در برخی مناطق، پراکندگی نامناسب ایستگاه‌ها



شکل ۲۷. نمودار ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی (پیکسل ۵)



شکل ۲۸. نمودار ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی (پیکسل ۶)



شکل ۲۹. نمودار ارزیابی آماری بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی (پیکسل ۷)

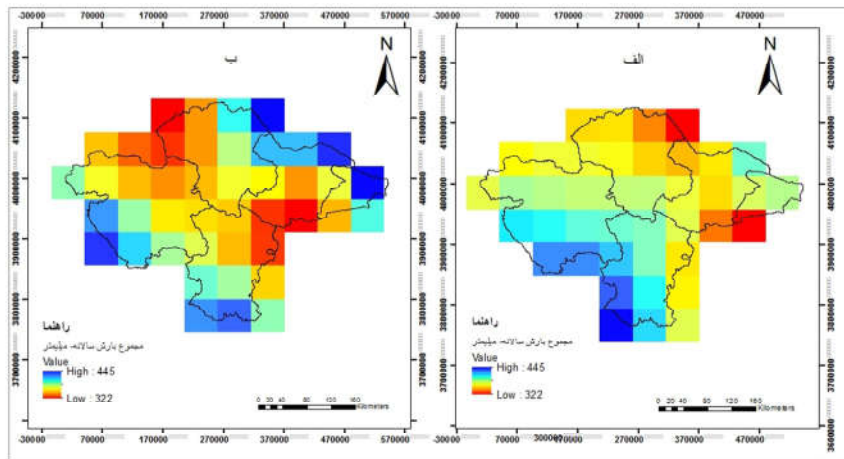
بررسی مقادیر ضریب تبیین، بین بارش NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی، بیانگر دقت مناسب بارش این پایگاه در منطقه مورد مطالعه است. زیرا مقدار ضریب در بیشتر سال‌های مورد بررسی، بیش از ۰/۶ به دست آمد که این نشان دهنده دقت قابل قبول داده‌های NCEP-NCAR در برآورد بارش، در منطقه مورد مطالعه است. مقدار ضریب تبیین، بیش از ۰/۹۰ در برخی از سال‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد

زمانی و مکانی بارش در ایران را به خوبی نشان می‌دهد (رضیئی و فتاحی، ۱۳۹۰). بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش، با نتایج حاصل از پژوهش‌های سایر پژوهشگران همخوانی دارد.

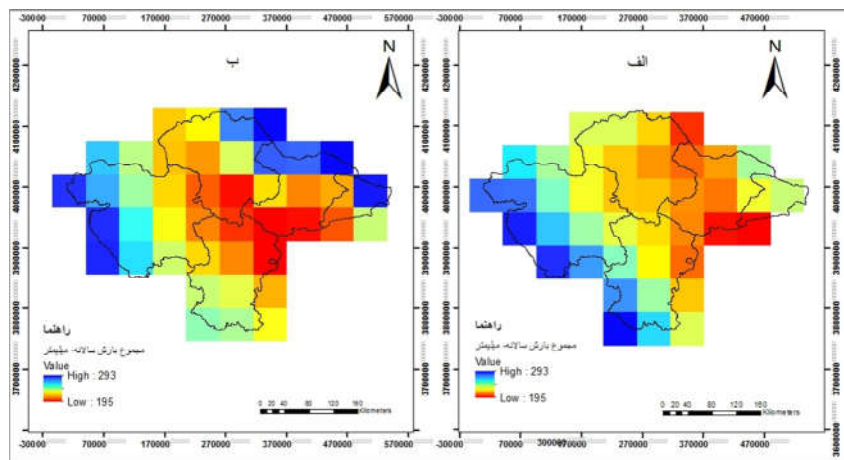
۳-۴- ارزیابی بارش CRU با داده‌های ایستگاهی

داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۷ با داده‌های CRU مقایسه و برای مقایسه از نقشه توزیع مکانی استفاده شد. داده‌های ایستگاهی و CRU با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ × ۰/۵ برای بازه زمانی مذکور وارد نرم‌افزار ArcMap10.2 شد و با استفاده از روش کریجینگ میان‌یابی صورت گرفت و نقشه توزیع مکانی بارش به دست آمد. شکل‌های زیر نقشه توزیع مکانی بارش را برای داده‌های ایستگاهی و CRU نشان می‌دهد.

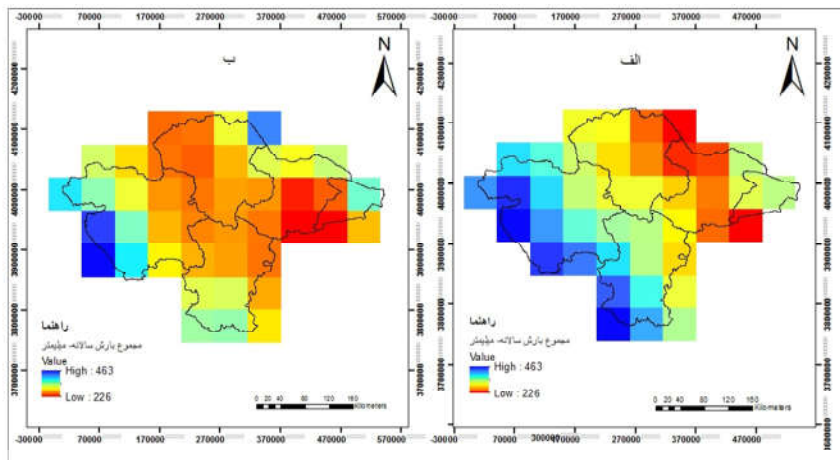
در پیکسل و تراکم کم شبکه ایستگاهی در ارزیابی برخی پیکسل‌ها باشد. به‌طور کلی، این‌گونه نتیجه گرفته شد که برآورد خوبی از بارش در منطقه مورد مطالعه می‌کند. دقت داده‌های NCEP-NCAR و ECMWF را در تحلیل مکانی و تغییرپذیری بارش فصلی و سالانه اتیوپی در مقایسه با داده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل در مقایسه با داده‌های زمینی به خوبی الگوی مکانی بارش را به دست می‌دهند، اما مقدار بارش را در برخی مناطق بیشتر و در برخی مناطق کمتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌کنند (Diro et al, 2009). به ارزیابی کاربرد داده‌های بارش NCEP-NCAR در پایش خشکسالی ایران برای دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۵ پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های NCEP-NCAR روند تغییرات



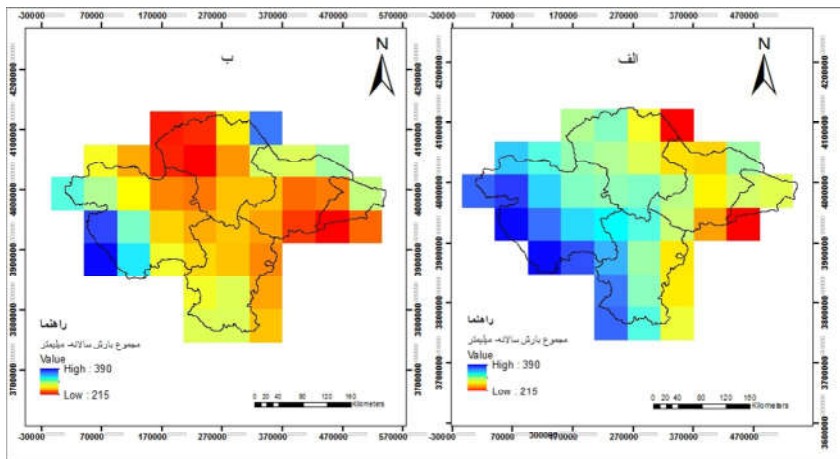
شکل ۳۰. الف- توزیع مکانی بارش CRU سال (۲۰۰۷)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۷)



شکل ۳۱. الف- توزیع مکانی بارش CRU سال (۲۰۰۸)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۸)



شکل ۳۲. الف- توزیع مکانی بارش CRU سال (۲۰۰۹)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۰۹)



شکل ۳۳. الف- توزیع مکانی بارش CRU سال (۲۰۱۰)، ب - توزیع مکانی بارش ایستگاهی سال (۲۰۱۰)

سال‌های مذکور همخوانی دارد. نواحی شمالی استان‌های البرز، قزوین و زنجان در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ پر بارش هستند که CRU این روند را به خوبی نشان نمی‌دهد. CRU نقاط جنوبی استان‌های البرز و قزوین را کم بارش نشان می‌دهد که با نقشه ایستگاهی همخوانی دارد. به طور کلی، این‌گونه نتیجه گرفته شد که در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰، CRU توزیع مکانی بارش را در محدوده مورد مطالعه به خوبی پیش‌بینی می‌کند. در پژوهشی، محصول بارش دو پایگاه داده GPCP و CRU را با اطلاعات ایستگاهی در نواحی کوهستانی آفریقا مقایسه نمودند. نتایج حاکی از ارتباط

همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است بارش در استان کردستان از شمال به جنوب، در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ روند افزایشی دارد، به‌طوری‌که جنوب غربی استان کردستان جزء نواحی پر بارش است و CRU این روند را به خوبی نشان می‌دهد. استان همدان نیز در سال ۲۰۰۷ از شمال به جنوب روند افزایشی دارد و CRU این روند را به خوبی نشان می‌دهد ولی در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ که میزان بارندگی در استان کم است، CRU نقاط جنوبی استان را پر بارش نشان داده است. نقاط مرکزی استان زنجان در نقشه CRU کم بارش نشان داده شده است که با نقشه ایستگاهی در

بسیار قوی داده‌های شبکه‌ای با داده‌های مشاهده‌ای است (Dinku et al, 2008). با ارزیابی داده‌های CRU و مدل SWAT در شبیه‌سازی بارش رواناب بالادست رودخانه هیرمند طی دوره ۱۹۷۹-۱۹۶۹ بیان کردند که داده‌های بارش CRU از دقت مناسبی برخوردار است (حاجی حسینی و همکاران، ۱۳۹۳). به ارزیابی دقت داده‌های واحد تحقیقات آب و هوایی (CRU) به همراه آخرین به‌روزرسانی داده‌های GPCC در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های همدیدی کشور طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۵ پرداختند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که داده‌های بارش مؤسسه CRU در سطح ایران به‌ویژه نیمه غربی، از دقت مناسبی برخوردارند، اما مقدار برآورد بارش در برخی از مناطق به‌ویژه نواحی ساحلی خزر و جنوب، اعتماد کمتری دارد (میری و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌های سایر پژوهشگران همخوانی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

تعیین بارش، در محاسبات بیلان انرژی، مطالعات هیدرولوژیکی و هواشناسی از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در این میان، تعداد محدود ایستگاه‌های هواشناسی به‌منظور تعیین بارش در مقیاس‌های مکانی بزرگ از جمله مشکلات پیشرو است. استفاده از فناوری سنجش از دور به دلیل دید وسیع و یکپارچه و به روز بودن تصاویر ماهواره‌ای، گزینه مناسبی در برآورد این پارامترها به نظر می‌رسد. در این پژوهش، داده‌های بارش مدل GLDAS و دیتاست‌های آن، مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های بارش مدل GLDAS، CRU، GPCC، TRMM، CMAP و NCEP-NCAR با داده‌های ایستگاهی در استان‌های البرز، قزوین، زنجان، کردستان و همدان مقایسه و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که در این مناطق بارش GPCC، TRMM، CMAP و NCEP-NCAR نتایج خوبی را داشتند و از میان آنها GPCC و TRMM نتیجه بهتری را ارائه کرده‌اند. با توجه به اینکه داده‌های بارش TRMM با سنسورهای

ماهواره‌ای اندازه‌گیری و با داده‌های زمینی تنظیم می‌شود، دارای دقت مناسبی است. از این رو هماهنگی خوب بین داده‌های TRMM با داده‌های ایستگاهی، امیدها را برای پیشرفت‌های بیشتر در فناوری ماهواره‌ها و افزایش دقت پیش‌بینی بارش با آنها را دو چندان می‌کند. هر چند قدرت تفکیک مکانی GPCC کمتر از TRMM و GLDAS است ولی دقت GPCC در برآورد بارش، در اکثر نقاط منطقه مورد مطالعه بیشتر است. مقایسه داده‌های بارش مدل GLDAS با داده‌های ایستگاهی نیز نشان داد که در مناطقی که بارش زیاد است (مانند ایستگاه رشت)، به دلیل تغییرات شدید بارش در مسافت‌های کوتاه به علت توپوگرافی پیچیده منطقه، مدل GLDAS نتواند پیش‌بینی درستی از بارش منطقه داشته باشد. با توجه به پیش‌بینی تقریباً خوب بارش GPCC، TRMM، CMAP و NCEP-NCAR در بیشتر ایستگاه‌ها و نیز با توجه به روزآمد بودن این داده‌ها و پوشش مکانی و زمانی بسیار خوب آنها می‌توان از آنها در حکم یک منبع اطلاعاتی آرمانی برای تحقیقات گوناگون اقلیمی و آب‌شناسی در پنج استان در مناطق مرکزی و غربی کشور استفاده کرد.

۵- منابع

- پلرودی مقدم، م، حمزه، س. و وظیفه دوست، م، ۱۳۹۵، بررسی روند تغییرات بارش و رواناب با استفاده از مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) در حوضه سد دوستی، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره بیست و پنجم، شماره نهم، صص ۵۶-۴۳.
- حاجی حسینی، ح، حاجی حسینی، م، نجفی، ع، مرید، س. و دلاور، د، ۱۳۹۳، ارزیابی تغییرات متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در بالادست حوضه هیرمند طی سده گذشته با استفاده از داده‌های اقلیمی CRU و مدل SWAT، تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۰،

- شماره ۳، صص ۵۲-۳۸. حجازی زاده، ز، علیجانی، ب، ضیایان، پ، کریمی، م. و رفعتی، س، ۱۳۹۱، ارزیابی بارش ماهواره 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون یابی کریجینگ، سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره سوم، صص ۶۴-۴۹.
- حجازی زاده، ا، علیجانی، ب، ضیایان، پ، کریمی، م. و رفعتی، س، ۱۳۹۱، ارزیابی بارش ماهواره های 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون یابی کریجینگ، سنجش از دور و GIS ایران، ۴ (۳)، صص ۶۴-۴۹.
- دزفولی، د، حسینی موغاری، م، ابراهیمی، ک، ۱۳۹۵، مقایسه اطلاعات بارش ماهواره ای PERSIANN و TRMM-3B42 با مشاهدات ایستگاه های زمینی (مطالعه موردی: حوضه گرگان رود)، علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیستم، شماره هفتاد و ششم، صص ۹۸-۸۵.
- رسولی، ع، عرفانیان، م، ساری صراف، ب، جوان، خ، ۱۳۹۵، ارزیابی تطبیقی مقادیر بارندگی برآورد شده TRMM و بارش ثبت شده ایستگاه های زمینی در حوضه دریاچه ارومیه، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۶، شماره ۵۴، صص ۱۹۵-۲۱۷.
- رسولی، ع، عرفانیان، م، ساری صراف، ب، جوان، خ، ارزیابی تطبیقی مقادیر بارندگی برآورد شده TRMM و بارش ثبت شده ایستگاه های زمینی در حوضه دریاچه ارومیه، ۱۳۹۵، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۵۴، صص ۲۱۷-۱۹۵.
- رضیئی، ط. و فتاحی، ا، ارزیابی کاربرد داده های NCEP/NCAR در پایش خشکسالی ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۲، صص ۲۲۵-۲۴۷.
- شیروانی، ا. و فخاری زاده شیرازی، ا، ۱۳۹۳، مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس، نشریه هواشناسی کشاورزی، جلد دوم، شماره سوم، صص ۱۵-۱. صفوی، ح، هیدرولوژی مهندسی، ۳، ارکان دانش، ۱۳۸۵.
- غیبور، ح، ا، مسعودیان، م، آزادی، م، نوری، ح، ۱۳۹۰، تحلیل زمانی و مکانی رویدادهای بارشی سواحل جنوبی خزر، تحقیقات جغرافیایی، سال بیست و پنجم، شماره صد، صص ۳۰-۱.
- فرخ نیا، ا. و مرید، س، ۱۳۹۳، بررسی قابلیت داده های ماهواره بازیابی گرانس و آزمایش اقلیمی و خروجی مدل های سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی برای برآورد بیلان آب در مقیاس های مکانی بزرگ (مطالعه موردی حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، تحقیقات منابع آب ایران، سال دهم، شماره ۱، صص ۶۲-۵۱.
- کتیرایی بروجردی، پ، ۱۳۹۲، مقایسه داده های بارش ماهانه ماهواره ای و زمینی در شبکه ای با تفکیک زیاد روی ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۷، شماره ۴، صص ۱۴۹-۱۶۰.
- مسعودیان، ا، کیخسروی کیانی، م. و رعیت پیشه، ف، ۱۳۹۳، معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه های داده GPCP، GPC و CMAP، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۱، صص ۷۳-۸۷.
- معروفی، ص، گل محمدی، گ، محمدی، ک. و زارع ایبانه، ح، ۱۳۸۸، ارزیابی روش های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش استان همدان در محیط GIS، دانش آب و خاک، جلد یکم، شماره دوم، صص ۱۶۴-۱۴۷.
- موغاری، م، عراقی نژاد، ش. و ابراهیمی، ک، ۱۳۹۶، بررسی دقت اطلاعات بارش شبکه بندی شده

- Chokngamwong, R. & Chiu, L. S., 2008, **Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products**, J. Hydrometeorol., 9(2):256-266.
- Chokngamwong, R. and Chiu, L. S., 2008, **Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products**, J. Hydro-meteorol., 9(2):256-266.
- Dinku, T. Connor, S.J. Ceccato, P. & Ropelewski, C.F., 2008, **Comparison of global gridded precipitation products over a mountainous region of Africa**, International Journal of Climatology, 28-1627-1638.
- Diro, G. T., Grimes, D.I.F., Black, E., O'Neill, A. & Pardo- Iiguezquiza, E., 2009, **Evaluation of reanalysis rainfall estimates over Ethiopia**, Int, J. Climatol., 29: 67-78.
- Fangl, H., Beaudoin, H., Rodell, W. Tengl W., & Vollmer, B., 2009, **Global land data assimilation products, services and application from nasa hydrology data and information services center (HDISC)**, ASPRS 209 Annual Conference Baltimore, Maryland March8-13.
- Feidas, H., 2010, **Validation of satellite rainfall products over Greece**, Theor App Climatol, 99, 193-216.
- Guofeng,Z., Dahe,Q., Yuanfeng,L., Fenli,C., Pengfei,H., Dongdong,C., 2017, **Accuracy of TRMM precipitation data in the southwest monsoon region of China**, Theoretical and applied Climatology, 129.1-2:353-62.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. & Lister, D.H., 2014, **Updated high-resolution grids of monthly climatic observations-the CRUTS3.10 Dataset**, International Journal Climatology, 34(3):623-642.
- جهانی در حوضه دریاچه ارومیه، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۸، شماره ۳، صص ۵۸۷-۵۹۸.
- میری، م.، رضیئی، ط. و رحیمی، م.، ۱۳۹۵، **ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCP با داده‌های مشاهده‌ای در ایران**، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۲، شماره ۳، صص ۶۵۷-۶۷۲.
- میری، م.، عزیزی، ق.، خوش‌اخلاق، ف.، رحیمی، م.، ۱۳۹۵، **ارزیابی آماری داده‌های شبکه‌ای بارش و دما با داده‌های مشاهده‌ای در ایران**، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دهم، شماره ۳۵، صص ۳۹-۵۰.
- Adler, R.F., Sapiano, M.R.F., Huffman, G.J., Wang, J., Gu, G., Bolvin, D., Chiu, L., Schneider, U., Andreas, B., Nelkin, E., Xie, P., Ferraro, R., Shin, D., 2018, **The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Analysis (New Version 2.3) and a Review of 2017 Global Precipitation**, Journal of Atmosphere, 9, 138, 1-14, doi:10.3390.
- Bonan, G.B., Oleson, K.W., Vertenstein, M., Levis, S., Zeng, X., Dai, Y., Dickinson, R.E., & Yang, Z.L., 2002, **The land surface climatology of the Community Land Model coupled to the NCAR Community Climate Model**, Journal of Climate, 15,3123-3149.
- Bordi, I., Fraedrich, K., Petitta, M. & Sutera, A., 2006, **Large- scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 Re-Analyses**, Water Resour Manage, 20, 899- 915.
- Chen, F., & Coauthors., 1996, **Modeling of land-surface evaporation by four schemes and comparison with FIFE observations**, Journal of Geophys, Res, 101,7251-7268.Doi:10.1029/ 95JD02165.

- Janowiak, J., Gruber, A., Kondragunta, C., Livezey, R. & Huffman, G., 1998, **A comparison of the NCEP-NCAR reanalysis precipitation and the GPCP rain gauge- satellite combined dataset with observational error consideration**, Journal of Climate, 11, 2960-2979.
- Katiraie-Boroujerdy, S.P.S., Nasrollahi, N., Hsu, K.L., & Sorooshian, S., 2016, **Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a semiarid region: Theor. Appl. Climatol.**, 123,387-398.
- Keyantash, J. & Darcup, J. A., 2002, **The quantification of drought indices**, Bull. Amer. Meteor. Soc. 83, 1167- 1180.
- Koster, R. D., & Suarez, M. J., 1996, **Energy and water balance calculations in the Mosaic LSM**. NASA Tech. Memo. 104606, Vol.9,60pp.
- Kummerow, C., Simposn, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A. T. C., Stocker, E. & Nakamura, K., 2000, **The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit**, Journal of Applied Meteorology, 39 (12): 1965-1982.
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Burges, S. J., 1994, **A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for GSMs**, Journal of Geophys Res., 99, 14415-14428, doi:10.1029/94JD00483.
- [1] Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Burges, S. J., 1996, **One-dimensional statistical dynamic representation of subgrid spatial variability of precipitation in the two-layer Variable Infiltration Capacity model**, Journal of Geophys. Res., 101, 21 403-21 422, doi:10.1029/96JD01448.
- Mitchell, T.D. Carter, T.R. Jones, P.D. Hulme, M. & New, M., 2004, **A comprehensive set of high – resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901- 2000) and 16 scenarios (2001-2100)**, Tyndall Working Paper 55, Tyndall Center, UEA, Norwich, UK. <http://www.tyndall.ac.uk/> [last accessed 19 April 2005].
- Moiwo, J.P. Yang, Y, Li, H. Han, S. & Hu, Y. 2009, **Comparison of GRACE with in situ hydrological measurement data shows storage depletion in Hai River basin**, Northern China. Water SA, 35:663-670.
- Rodell, M., & Coauthors, 2004, **The Global Land Data Assimilation System**. Bull. Amer. Meteor. Soc., 85, 381-394, doi:10.1175/BAMS-85-3-381.
- Sheffield, J., Goteti, G., & Wood, E.F., 2006, **Development of 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling**, Journal of Climate, 19,3088-3111, doi:10.1157/JCLI3790.1.
- Simpson, J., Adler, R.F. & North, G.R., 1988, **A proposed tropical rainfall measuring mission (TRMM) satellite**, Bulletin of the American meteorological Society, 69(3): 278-295.
- Sohn, B.J., Han, H. J. & Seo, E.K., 2010, **Validation of satellite- based high-resolution rainfall products over the Korean Peninsula using data from a dense rain gage network**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49(4): 701-714.
- Tan, M.L., Ibrahim, A.L., Duan, ZH., Cracknell, A.P. & Chaplot, V., 2015, **Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia**, Remote Sens, 7, 1504-1528.

Wang, F., Wang, L., Koike, T., Zhou, H., Yang, K., Wang, A. & Li, W., 2011, **Evolution and application of a fine-resolution global data set in a semiarid mesoscale river basin with a distributed biosphere hydrological model**, Journal of Geophysical Research Vol. 116

Wentz, F.J., Ashcroft, P. & Gentemann, C., 2001, **Post-launch calibration of the TRMM microwave imager**, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 39(2): 415-422.



نخستین شماره از دور
و
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
Vol.11, No. 2, Summer 2019

21-46

Estimation of precipitation based on remote sensing technique in Alborz, Qazvin, Zanjan, Kurdistan and Hamedan provinces

Ahmadi, M.¹, Kaviani, A.^{2*}, Daneshkar Arasteh P.³, Faraji, Z.⁴

1. M.Sc. Student of Water resources engineering, Imam Khomeini International University
2. Assistant Professor of Water Engineering Dept., Imam Khomeini International University
3. Aassociated Professor of Water Engineering Dept., Imam Khomeini International University
4. Ph.d candidate student in irrigation and drainage eng. From water science and engineering department, imam Khomeini International University, qazvin, iran.

Abstract

Determination of precipitation in energy balance calculations are vital for hydrological studies and meteorology. Due to the importance of precipitation data in different sciences and the absence of a wide and appropriate rainwater meter, precipitation data needs to be estimated in some way. One of the ways to estimate precipitation is the use of satellite data. In this study, GLDAS, CRU, GPCP, TRMM, CMAP and NCEP-NCAR models are evaluated with station data in Alborz, Qazvin, Zanjan, Kurdistan and Hamedan provinces. The results showed that GPCP, TRMM, CMAP and NCEP-NCAR had good outcomes in these regions, among which GPCP and TRMM provided better results. In the evaluation of GPCP with mean stations in the study area in pixel 3 in 2003, the explanatory factor (R^2), EF coefficients, average error margin (MBE), absolute error of error (MAE) and root mean square error (RMSE) were 0.96, 0.94, 3.13, 5.30, and 6.58, respectively. In addition, precipitation data model of GLDAS is evaluated with station data. Results show that GLDAS model is not very accurate in areas with high precipitation such as Rasht and Noshahr stations.

Keywords: Precipitation, remote sensing, statistical tests, interpolation