

ارزیابی و کاربرد انواع مجموعه داده‌های دیدبانی (زمینی و ماهواره‌ای) بارش بر روی ایران

سید علی چاوشیان^۱ - پری سیما کتیرایی بروجردی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

چکیده

هدف این مقاله معرفی، ارزیابی و کاربرد انواع مجموعه داده‌های بارش دیدبانی زمینی و ماهواره‌ای معتبر است که بر روی ایران داده مستمر و به روز دارند. تولید و کاربرد مجموعه‌های بارش بر اساس داده‌های ماهواره‌ای به دلیل تفکیک مکانی و زمانی بالا و همچنین پوشش مکانی تقریباً کامل جهانی در سال‌های اخیر به سرعت رو به گسترش است. در این مقاله توزیع مکانی هفت مجموعه بارش جهانی دیدبانی بر روی ایران با داده‌های باران‌سنجی در ۲۲۸ پیکسل ۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی که حداقل شامل سه باران‌سنج هستند مقایسه و بررسی شده است. مقایسه این نتایج نشان می‌دهند که مجموعه‌ها اختلاف زیادی در مقدار بارش سالانه بر روی پهنه ایران نشان می‌دهد (۱۸۰-۲۶۰ mm). این اختلاف در کرانه دریای خزر بالغ بر ۸۰ درصد میانگین بارش سالانه (حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال) می‌رسد. داده‌های ماهواره‌ای روی منطقه سواحل دریای خزر و مناطق پر ارتفاع کوه‌های زاگرس واقع در جنوب غرب ایران بارش را با دقت کمتری نسبت به سایر نقاط برآورد می‌کنند. مجموعه‌های بارش زمینی بیشترین سهم از بارش سالانه را برای فصل بهار و سایر مجموعه‌ها بیشترین سهم را برای بارش زمستانی نشان می‌دهند. مقایسه بارش ماهانه، فصلی و سالانه مجموعه‌ها با داده‌های باران‌سنجی نشان می‌دهد مجموعه‌های ماهواره‌ای که با داده‌های باران‌سنجی تصحیح شده‌اند نتایج بهتری حتی نسبت به مجموعه‌های بارش زمینی دارند. مجموعه‌های ماهواره‌ای حال حاضر نیز بیش از سایرین بارش را کم برآورد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی بارش، بارش ماهواره‌ای، سنجش از دور، مجموعه‌های بارش

مقدمه

برآورد بیشتر می‌شود (۲۴)، در ضمن به دلیل توپوگرافی، صعب‌العبور و غیرقابل سکونت بودن بعضی مناطق توزیع مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی عملاً وجود ندارد به طوری که ایستگاه‌های باران‌سنجی ایران اغلب در دامنه‌های کم ارتفاع زاگرس و البرز و بعضی مناطق ساحلی قرار دارند و تعداد ایستگاه‌ها در قسمت مرکز، شرق و جنوب شرق کشور به دلیل بیابانی بودن بسیار کم است. ماهواره‌های هواشناسی امکان برآورد بارش را به صورت پیوسته و با تفکیک بالاتر (از لحاظ مکانی و زمانی) در سطح اقیانوس و خشکی (به‌ویژه مناطقی مانند بیابان‌ها و مناطقی با توپوگرافی بالا) که تهیه داده زمینی با تراکم مناسب پرهزینه است در کل جهان فراهم می‌نماید. بنابراین مجموعه داده‌های برآورد بارندگی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پتانسیل خوبی برای کاربرد وسیع در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی و عملیاتی دارند. البته این نوع داده‌ها هم مانند هر داده دیگری توأم با خطا هستند به ویژه اینکه اندازه‌گیری‌ها از راه دور انجام می‌شود ولی به دلیل کاربردهای فراوان تولیدکنندگان این مجموعه‌های داده به سرعت در حال برطرف کردن نقائص و کاهش خطای آنها هستند.

با خشک شدن پی در پی دریاچه‌ها مشکل کمبود آب در ایران تبدیل به یک بحران ملی شده است. در نتیجه نیاز به داده‌های بارش به عنوان مؤلفه اصلی چرخه هیدرولوژی در این بررسی‌ها به خوبی احساس می‌شود. چون تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش زیاد است، برآورد سطحی آن به سادگی امکان‌پذیر نیست. امروزه علاوه بر ایستگاه‌های باران‌سنجی که به طور مستقیم بارش را اندازه‌گیری می‌کنند از داده‌های ماهواره‌ها هم برای تخمین (اندازه‌گیری غیرمستقیم) بارش استفاده می‌شود. علی‌رغم اینکه باران‌سنج بارش را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کند ولی چون تغییرپذیری مکانی بارش زیاد است، بارشی را که در یک نقطه اندازه‌گیری شده نمی‌توان به مساحت اطرافش نسبت داد و هر چه مساحت بزرگتر باشد خطای

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
۲- استادیار گروه هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

(*- نویسنده مسئول)

(Email: sima_katiraie@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jsw.v0i0.78832

مواد و روش‌ها

در اینجا تنها مجموعه داده‌هایی مورد بررسی قرار گرفته است که بیشترین کاربرد را برای ایران داشته (از نظر تفکیک و پوشش مکانی)، به روز و از طریق اینترنت به رایگان در دسترس عموم قرار دارند. در این بررسی برای ارزیابی مجموعه‌های جهانی بارش از داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه بیش از ۲۰۰۰ ایستگاه باران‌سنجی طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ استفاده شده است. ابتدا ایران به پیکسل‌هایی به مساحت ۰/۲۵ درجه طول و عرض جغرافیایی تقسیم شده و بارش روزانه در هر یک از پیکسل‌های حاوی باران‌سنج محاسبه شده است. برای ارزیابی مجموعه‌های بارش در مقایسه با داده‌های زمینی تنها ۲۲۸ پیکسل که حداقل حاوی ۳ باران‌سنج بودند مورد استفاده قرار گرفتند. متوسط مکانی بارش ماهانه، فصلی و سالانه باران‌سنجی و همچنین هفت مجموعه بارش جهانی که در ذیل معرفی خواهد شد برای ۲۲۸ پیکسل محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

انواع مجموعه داده‌های بارندگی

در این مقاله تنها مجموعه داده‌های دیدبانی (زمینی و ماهواره‌ای) بارش بررسی شده است. این بررسی شامل انواع دیگر مجموعه‌های بارش مانند مجموعه‌های بارندگی که با استفاده از خروجی مدل‌های پیش‌بینی‌های عددی وضع هوا، پیش‌بینی‌های فصلی و پیش‌بینی‌های اقلیمی بدست می‌آیند نمی‌شود. بسیاری از مجموعه‌های بارش نه تنها با استفاده از داده‌های دیدبانی زمینی یا دیدبانی ماهواره‌ای، بلکه ترکیبی از این دو است. در بخش بعدی این مقاله ابتدا انواع مجموعه‌های جهانی و منطقه‌ای داده بارش که تنها براساس داده‌های زمینی تولید شده است سپس مجموعه‌های جهانی داده‌های بارش ماهواره‌ای و همچنین ترکیبی (ماهواره‌ای و زمینی) و در انتها دو مجموعه تلفیقی که علاوه بر داده‌های فوق از خروجی مدل‌ها نیز استفاده کرده‌اند نیز ارائه شده است. در بخش سوم نتایج مربوط به ارزیابی مجموعه‌های مختلف بر روی ایران بحث شده است. در انتها خلاصه، جمع‌بندی و تأکید بر نکات مهم برای استفاده از این داده‌ها آمده است.

مجموعه داده‌ها براساس دیدبانی زمینی

این مجموعه‌های بارش شبکه‌بندی تنها محدود به مناطق خشکی کره زمین است که امکان نصب باران‌سنج وجود دارد و در سلول‌هایی از شبکه مانند سلول‌های واقع بر روی اقیانوس‌ها و دریاها که امکان برآورد بارش باران‌سنجی وجود ندارد داده‌ای موجود نیست. باید توجه داشت که با وجود اینکه ظاهراً ممکن است داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی این مجموعه‌ها یکسان باشد ولی چون

روش‌های پالایش، همگن‌سازی و درون‌یابی آنها متفاوت است نمی‌توان انتظار داشت که این مجموعه‌ها دقیقاً یکسان باشند. به طور مثال دو مجموعه بارندگی جهانی که در مطالعات بسیاری استفاده می‌شود و مبتنی بر داده‌های زمینی هستند، یکی مجموعه واحد تحقیقات اقلیمی^۱ یا به اختصار CRU و دیگری محصول مرکز اقلیم‌شناسی جهانی بارش^۲ یا به اختصار GPCP است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در منطقه جنوب آسیا (که شامل ایران می‌شود) برای دوره‌های مختلف روند داده‌های این دو مجموعه داده متفاوت و بعضاً متضاد است (۱۰). شکل ۱ میانگین بارش سالانه CRU و GPCP راطی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ بر روی ایران نشان می‌دهد. به طوری که ملاحظه می‌شود این دو مجموعه مقادیر متفاوتی برای میانگین بارش سالانه در نقاط مختلف ایران طی این دوره ۳۰ ساله نشان می‌دهند. این مجموعه‌ها برای مناطقی مثل اروپا، آمریکا و کانادا که داده‌های زمینی مترکم دارند رژیم‌های بارندگی را بهتر نشان می‌دهند ولی در بعضی نواحی مانند ایران (بخصوص در بیابان‌ها که تعداد ایستگاه‌ها بسیار محدود یا برای مناطق کوهستانی با شیب شدید) هنگام تعمیم بارش نقطه مقیاس به مساحت مقیاس، خطای بیشتری دارند. لازم به ذکر است که چون تهیه و جمع‌آوری داده‌های زمینی در سراسر دنیا وقت می‌خواهد. این نوع مجموعه‌ها معمولاً با تأخیر زمانی حداقل چند ماهه بوده و هیچ‌یک از آنها به روز نمی‌باشد. فهرست انواع محصولات این مجموعه داده‌ها که براساس دیدبانی زمینی تولید شده است در جدول ۱ ارائه شده است.

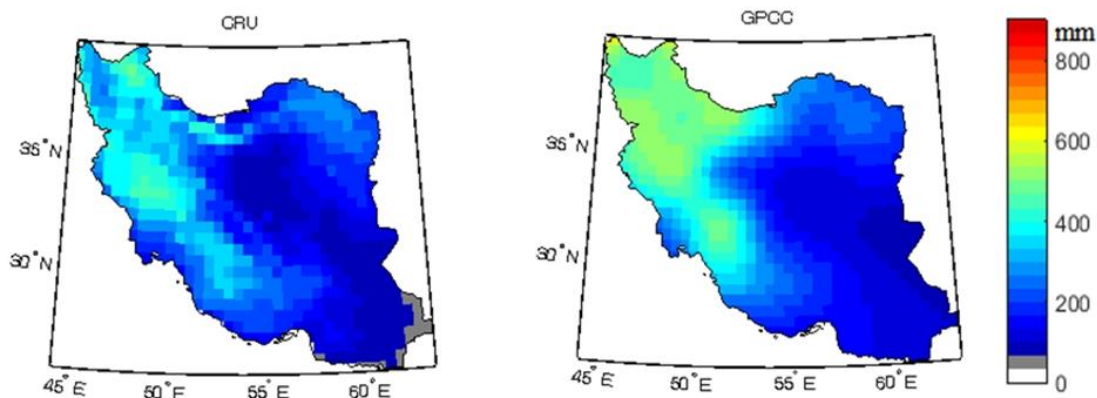
مجموعه APHRODITE's

مؤسسه تحقیقاتی آژانس هواشناسی و مؤسسه تحقیقاتی انسان و طبیعت ژاپن در پروژه آسیایی جمع‌آوری یکپارچه داده‌های دیدبانی برای ارزیابی منابع آب^۳ یا به اختصار APHRODITE مجموعه‌هایی از بارش روزانه با تفکیک بالا و مبتنی بر داده‌های زمینی برای قاره آسیا تولید کرده‌اند (۳۱). از جمله مجموعه‌ای از بارش روزانه برای خاورمیانه (20°E-65°E, 15°N-45°N) با تفکیک ۰/۵° و ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی است که شامل ایران هم می‌شود (جدول ۱) و بلندترین دوره آن ۲۰۰۷-۱۹۵۱ است. آنها ابتدا با داده‌های بارش ماهانه میانگین اقلیمی بارش را در سلول‌هایی با اندازه ۰/۰۵° درجه طول و عرض جغرافیایی درون‌یابی کرده سپس با استفاده از پالایند پابین گذر شش مؤلفه اول تبدیل فوریه را برای بارش روزانه بکار برده و بارش روزانه را برای سلول‌های فوق بدست آورده و آنرا با بارش ماهانه تعدیل کردند. بالاخره با استفاده از داده‌های سلول‌های ۰/۰۵° بارش را در سلول‌های ۰/۵° و ۰/۲۵° بدست آوردند.

1- Climate Research Unit

2- Global Precipitation Climatology Center

3- Asian Precipitation -Highly-Resolved Observational Data Integration Toward Evaluation of Water Resources



شکل ۱- مقایسه میانگین بارش سالانه دو مجموعه بارانسنجی GPCC و CRU بر روی ایران طی دوره ۱۹۸۱ الی ۲۰۱۰

Figure 1-Comparison between mean annual precipitation of two gauge-based datasets (GPCC and CRU) over Iran for 1981-2010

از داده میانگین ۱۹۶۱-۱۹۹۰ استفاده شده است. بنابراین داده‌های این مجموعه بر روی ایران تنها برای سال‌های پس از ۱۹۶۱ معتبر است.

مجموعه‌های CRU

این مجموعه بارندگی ماهانه اولین بار در دانشگاه انگلیس شرقی تولید و در معرض استفاده همگان قرار گرفت آخرین نسخه آن که توسط هریس و همکاران (۱۰) تهیه شده بنام CRU-TS است که شامل بارش ماهانه شبکه‌بندی شده با تفکیک نیم درجه طول و عرض جغرافیایی، برای کل خشکی‌های جهان غیر از مناطق منجمده و برای دوره‌های مختلف در دسترس است (جدول ۱). واضح است که تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده در این مجموعه در سال‌های مختلف در دوره زمانی مورد نظر به علت تأسیس ایستگاه‌های جدید و خلاهای آماری معمول کاملاً متغیر است.

در این مجموعه شبکه‌بندی داده‌ها براساس روش بی‌هنجاری اقلیمی است به این ترتیب که برای اینکه هر ایستگاه در محاسبات شرکت کند باید حداقل در ۷۵ درصد دوره زمانی پایه (در اینجا ۱۹۶۱-۱۹۹۰) برای ماه مورد نظر آمار داشته باشد. بارش‌های ماهانه‌ای که بیش از ۴ برابر انحراف معیار از میانگین فاصله داشتند به عنوان مقدار پرت از سری زمانی بارش ماهانه ایستگاه حذف شدند. به این ترتیب سری بارش ماهانه هر ایستگاهی که از این آزمون عبور کرد با سری بی‌هنجاری (با کاستن مقدار میانگین از مقدار بارش ماهانه) و بر حسب درصدی از میانگین دوره زمانی پایه (در اینجا ۱۹۶۱-۱۹۹۰) جایگزین شد، زیرا سری‌های بی‌هنجاری کمتر تحت تأثیر توپوگرافی هستند (۲۹). به هنگام استفاده از داده‌های CRU به عنوان مرجع باید به خاطر داشت که علاوه بر خطای دستگاهی و خطای انسانی، این روش درون‌یابی در شبکه کردن داده‌ها می‌تواند باعث برهم خوردن خود همبستگی داده‌ها شده و در نتایج ایجاد خطا کند. به طوری که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود بعضی از نسخه‌های CRU از سال ۱۹۰۱ شروع می‌شود که در بسیاری از نقاط جهان و همین‌طور ایران داده بارشی ثبت نمی‌شده است، برای این نوع سال‌ها

مجموعه‌های GPCC

این مجموعه‌های داده بارندگی ماهانه توسط مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی و در کشور آلمان تولید شده است. این مجموعه‌ها با تفکیک‌های مکانی و دوره‌های زمانی و برای کاربردهای مختلف طراحی شده‌اند. برای تهیه این مجموعه‌ها از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی و داده‌های ایستگاه‌هایی که ۹۰ درصد دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱ داده داشتند استفاده شده است (۲۱ و ۲۳). مجموعه داده‌های GPCC براساس طول دوره آماری مختلف به سه گروه تقسیم می‌شوند (۲۲). در گروه اول (GPCC_MP) که برای دوره آماری ۲۰۰۷ تا حال حاضر (با چند ماه تأخیر) است از داده‌های ۷۰۰۰ ایستگاه استفاده شده است. مجموعه‌های این گروه چون برای دوره زمانی طولانی و با تفکیک مکانی مختلف در دسترس هستند برای کالیبره کردن داده‌های ماهواره‌ای و یا گزارش‌های سالانه زود هنگام مناسب هستند. گروه دوم (GPCC_FD) که برای دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۰۱ است از داده‌های ۶۷۲۰۰ ایستگاه در سراسر دنیا که حداقل ۱۰ سال داده با کنترل کیفی مناسب داشته‌اند استفاده شده است. مجموعه‌های این گروه شامل جمع بارش ماهانه با تفکیک‌های مکانی نیم، یک و دو و نیم (۲/۵-۱-۰/۵) درجه طول و عرض جغرافیایی هستند. این مجموعه‌ها با دقت بالا و برای بررسی خروجی مدل‌ها یا بررسی روند تغییرات داده‌های مجموعه‌های بارندگی جهانی یا تحقیقات چرخه آب در مقیاس جهانی تهیه شده‌اند. گروه سوم (GPCC_FG) که برای دوره آماری ۲۰۱۲ تا حال حاضر با تفکیک زمانی ماهانه و روزانه و با تفکیک مکانی یک درجه طول و عرض

جدول ۱- مشخصات مجموعه داده‌های بارش براساس دیدبانی زمینی
Table 1-The characteristics of in-situ precipitation datasets

نام Name	دوره زمانی Time period	گام زمانی Temporal resolution	تفکیک مکانی Spatial resolution(lon-lat)	واحد Unit	تأخیر Delay
1 APHRODITE-MEv1101	1951-2007	Daily	0.25,0.5	mm	-----
2 CRU TS v.3.23	1901-2014	Monthly	0.5	mm	-----
3 GPCC_FD	1901-2013	Monthly	0.5,1,2.5	mm	-----
4 GPCC_FG	2009-present	Daily	1	mm	Some days
5 GPCC_FG	2004-present	Monthly	1	mm	Some days after end of month
6 GPCC_MP	2007-present	Monthly	1,2.5	mm	

زیادی از انواع ماهواره‌ها تشکیل شده است. تنها داده‌ای که ماهواره‌ها دریافت و ارسال می‌کنند امواج الکترومغناطیس با طول موج و فرکانس‌های مختلف (هفت کانال طول موج) است. امواج مرئی یکی از مهمترین امواج دریافتی ماهواره‌هاست ولی متأسفانه این امواج در شب وجود ندارند. البته با توجه به قوانین فیزیکی تابش اجسام (قانون پلانک و قانون استفان بولتزمن) می‌توان با استفاده از طول موج تابشی یک جسم دامنه تقریبی دمای جسم را حدس زد. در واقع امواج تابشی ابرها، بین طول موج‌های فرورسرخ^۴ (IR) بین $10^{-4} \times (1 - 0.007)$ متر می‌باشد. اما پیچیدگی برآورد بارش از این طریق دلیل تولید محصولات گوناگون مجموعه داده‌های بارندگی توسط سازمان‌ها و مؤسسات با الگوریتم و روش‌های مختلف است.

مهمترین منبع اندازه‌گیری امواج IR ماهواره‌های زمین ثابت هستند که با تفکیک زمانی و مکانی بالا (هر ۱۵ دقیقه و در هر ۳ کیلومتر) و پوشش کامل نمونه‌گیری انجام می‌دهند. بنابراین با استفاده از طول موج IR دریافت شده و روابط فیزیکی مربوطه می‌توان دمای قله ابر و سپس مقدار بارندگی را برآورد کرد. پایه منطقی این روش این است که هر چه قله ابر سردتر باشد گسترش قائم آن بیشتر و بنابراین مقدار بارش آن باید بیشتر باشد. اما مسئله بسیار پیچیده‌تر است. مثلاً هنگامی که به جای یک نوع ابر چندین لایه ابر در آسمان باشد که لایه‌ها بالایی مانع آشکار شدن لایه‌های پایین‌تر باشد، یا وجود ابرهای سیروس بدون بارش با قله سرد، یا وجود ابرهای نازک بدون بارش در بالای کوه‌های پرارتفاع پوشیده از برف و غیره می‌تواند باعث ایجاد خطا در برآورد بارش شود. یکی از راه‌های غلبه بر این مشکلات اندازه‌گیری امواج مایکروویو (طول موج‌های

جغرافیایی ولی از تعداد محدودی ایستگاه سینوپتیک استفاده کرده‌اند به عنوان اولین گمانه و به موقع (با تأخیر زمانی کوتاه) تهیه شده و برای آشکارسازی به هنگام خشکسالی مناسب هستند. مشخصات مجموعه‌های این مرکز در جدول ۱ ارائه شده است.

مجموعه داده‌ها براساس دیدبانی ماهواره‌ای

ماهواره‌های هواشناسی به دو گروه کلی ماهواره‌های زمین ثابت^۱ و مدار پایین^۲ یا کم ارتفاع تقسیم می‌شوند. ماهواره‌های زمین ثابت ماهواره‌هایی هستند که در یک نقطه ثابت بالای خط استوا به ارتفاع حدود ۳۶۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار داشته و چون با سرعت زاویه‌ای زمین و حول محور آن دوران می‌کنند نسبت به زمین ثابت هستند. از طرفی چون در ارتفاع بالا هستند مساحت بسیار بزرگی از سطح زمین را پوشش می‌دهند. ماهواره‌های هواشناسی کم ارتفاع در ارتفاع حدود ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتری به دور زمین می‌چرخند و پربودهای کوچکتری دارند. به طور مثال پربود ماهواره TRMM ۹۶ دقیقه است به طوری که در هر ۳ ساعت هر نقطه بین عرض‌های ۳۵° شمالی و جنوبی کره زمین را دو بار رصد می‌کند. این ماهواره‌ها مساحت کوچکتری را پوشش داده ولی نسبت به ماهواره‌های زمین ثابت از فاصله نزدیکتری ابرها را رصد می‌کنند.

از دهه هفتاد میلادی که اولین ماهواره‌های هواشناسی در مدار کره زمین قرار گرفتند دانشمندان در تلاش هستند که از داده‌های ماهواره‌ای برای مقاصد مختلف هواشناسی استفاده کنند. در واقع ماهواره‌های اندازه‌گیری بارش جهانی^۳ (GPM) از داده‌های تعداد

- 1- Geostationary
- 2- Low Orbit
- 3- Global Precipitation Measurement

4- InfraRed

مجموعه‌های CMAP

مرکز پیش‌بینی اقلیمی^۴ (CPC) ایالات متحده آمریکا برای بررسی تلفیقی بارش^۵ یا به اختصار CMAP با استفاده از داده‌های باران‌سنجی و برآوردهای ماهواره‌ای مجموعه‌ای از بارندگی ماهانه و همچنین پنج روزه (برحسب متوسط بارش روزانه یعنی میلی‌متر در روز برای هر ماه و همچنین هر پنج روز) با تفکیک مکانی $2/5^\circ \times 2/5^\circ$ طول و عرض جغرافیایی از سال ۱۹۷۹ تا حال حاضر (با تأخیر) در سراسر جهان تولید کرده است (۳۰). روش تهیه این داده‌ها بسیار شبیه به GPCP است ولی در نسخه بهسازی شده آن برای پر کردن خلاها از داده‌های بازتحلیل^۶ NCEP/NCAR استفاده و در جاهایی که داده باران‌سنجی و ماهواره‌ای هم‌پوشانی داشته، داده باران‌سنجی منظور شده است. تولید کنندگان اظهار می‌کنند که داده‌ها در منطقه حاره بهترین کیفیت را داشته که هر چه به عرض‌های بالاتر می‌رود کیفیت آن ضعیف‌تر می‌شود. مشخصات مجموعه‌های این مرکز در جدول ۲ ارائه شده است.

مجموعه‌های ماهواره‌ای CMORPH

مجموعه‌های جهانی فناوری ترسیم مرکز پیش‌بینی اقلیمی^۷ منحصراً برای ترکیب برآوردهای بارش از داده‌های مایکروویو را داری ماهواره‌های کم ارتفاع قطب مدار در سطح زمین که چگونگی انتشار آنها (ترسیم مسیر حرکت) - در زمان‌هایی که داده ماکروویو وجود ندارد - با استفاده از داده‌های IR ماهواره‌های زمین ثابت انجام می‌شود ایجاد شده است (۱۴). در واقع این فناوری الگوریتم برآوردهای بارش موجود از امواج مایکروویو را ترکیب می‌کند و همچنین از داده‌های IR برای انتقال الگوی کلی بارش (ترسیم مسیر) بدست آمده از امواج مایکروویو در حین زمانی (بین دو دیدبانی) که در محل مورد نظر داده مایکروویو وجود ندارد استفاده می‌کند. داده‌های این مجموعه با تفکیک مکانی 8×8 کیلو متر مربع و تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه و همچنین تفکیک مکانی $0/25^\circ \times 0/25^\circ$ طول و عرض جغرافیایی و با تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه، ۳ ساعته و روزانه در محدوده بین مدارهای $60^\circ N - 60^\circ S$ عرض جغرافیایی و از دسامبر ۲۰۰۲ تا حال حاضر (با ۱۸ ساعت تأخیر) در دسترس عموم قرار دارد.

$10^{-2} \times (1 - 0.01)$ متر) توسط ماهواره‌هاست. این امواج به دو دسته مایکروویو فعال^۱ (AMW) و مایکروویو غیرفعال^۲ (PMW) تقسیم می‌شوند. امواج PMW امواج خالص گرمایی هستند که مستقیماً از قله جو تابش می‌شوند. امواج AMW به امواجی که در اثر پخش و انتقال از جو می‌رسند اطلاق می‌شود. به کمک امواج PMW می‌توان به برهم کنش سطح زمین با مؤلفه‌های جوی مانند بخار آب، توزیع ابر و ذرات بارش پی برد. در واقع بر خلاف امواج IR که از قله ابر منتشر می‌شوند، امواج PMW اطلاعات خوبی مانند اندازه ذرات بارش از درون ابر می‌دهند. روش استفاده از امواج PMW برای برآورد بارش که هنوز هم استفاده می‌شود یک رابطه خطی ساده بین آهنگ بارش در سطح زمین و دمای درخشندگی اندازه‌گیری شده یا برآورد شده است (۲۴). یکی از مشکلات مهم در مورد این امواج این است که آنتن سنجنده این امواج که بر ماهواره‌های قطب مدار (کم ارتفاع) قابل نصب هستند تفکیک (از ۵ تا ۶۰ کیلومتر) و پوشش مکانی کوچکی دارند (چون میدان دید ماهواره‌های کم ارتفاع کمتر است). در واقع با وجود اینکه داده‌های PMW دقت بیشتری در برآورد بارش دارند ولی چون سابقه کوتاه‌تر و پوشش مکانی کمتری دارند برای ساخت مجموعه‌های بارندگی کفایت نمی‌کنند (۶). بنابراین برای تولید مجموعه‌های بارش از همه داده‌های PMW، IR و همچنین امواج مرئی و با الگوریتم‌های مختلف استفاده می‌شود.

محصولات ماهواره‌ای بارش شامل مجموعه‌های نزدیک به حال حاضر^۳ (RT) که با تأخیر زمانی کوتاه (حد اکثر چند ساعت) تولید و در دسترس عموم قرار می‌گیرند و برای کارهای پیش‌بینی و آشکارسازی (مانند وقوع سیل) بکار می‌روند و دیگری مجموعه‌های اقلیمی یا آرشیو شده که با تأخیر زمانی چند ماهه بوده و با داده‌های زمینی تصحیح شده و برای مطالعات تحقیقاتی توصیه شده‌اند. البته مجموعه‌های تصحیح شده چون پوشش مکانی کامل‌تری نسبت به داده‌های باران‌سنجی دارد در بررسی‌های مکانی پیوسته در مقایسه با داده‌های زمینی (به ویژه برای مناطق بدون داده باران‌سنجی) کاربرد بیشتری دارد. واضح است که مجموعه‌های آرشیو شده نسبت به مجموعه‌های RT با داده‌های زمینی سازگاری بیشتری داشته ولی به دلیل تأخیر زمانی برای بررسی‌های پیش‌بینی غیرقابل استفاده‌اند. بنابراین هنگام بررسی و ارزیابی این مجموعه‌ها باید این موضوع را کاملاً مدنظر داشت.

4- Climate Prediction Center

5- Merged Analysis of Precipitation

6- National Center for Environmental Prediction/
National Center for Atmospheric Research

7- Climate prediction center of MORPHing technique;
CMORPH

1- Active Micro Wave

2- Passive Micro Wave

3- Real Time

مجموعه‌های ماهواره‌ای GPCP

پروژه اقلیمی بارش جهانی یا GPCP توسط برنامه تحقیقاتی اقلیم جهانی برای برآورد توزیع بارندگی در سراسر جهان تاسیس شد. این پروژه با استفاده از ترکیب داده‌های باران‌سنجی و داده‌های ماهواره‌ای مجموعه‌هایی ترکیبی تولید می‌کند (۱ و ۲). این پروژه دو مجموعه مهم دارد که تمام کره زمین را پوشش می‌دهند یکی بارش ماهانه با تفکیک مکانی $2/5^\circ \times 2/5^\circ$ طول و عرض جغرافیایی که از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ (GPCP v2.2) و ادامه آن یعنی GPCP v2.3 که از ۲۰۱۶ تا حال حاضر با تأخیر چند ماهه در دسترس است با نسخه قبلی تفاوت‌هایی دارد که علت آن یکی بهبود داده‌های ماهواره‌ای به ویژه بر روی اقیانوس‌ها و همچنین بهبود داده‌های باران‌سنجی مجموعه GPCC در سال‌های اخیر است که برای کالیبر کردن و ترکیب با داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود. مجموعه دیگر شامل داده‌های برآورد بارش روزانه با تفکیک $1^\circ \times 1^\circ$ طول و عرض جغرافیایی و از اکتبر ۱۹۹۶ تا حال حاضر و با چند ماه تأخیر در دسترس است و هر کدام با توجه به تفکیک مکانی و زمانی اشان به کار برده می‌شوند. علاوه بر مجموعه‌های فوق مجموعه دیگر جمع بارش پنج روزه (GPCP_pen_v2.2) با پوشش زمانی و تفکیک مکانی بارش ماهانه است که کمتر از دو مجموعه روزانه و ماهانه مورد استفاده عموم قرار می‌گیرد ولی بعضی تولیدکنندگان داده از آن استفاده می‌کنند. مشخصات مجموعه‌های این پروژه در جدول ۲ ارائه شده است.

مجموعه‌های ماهواره‌ای GSMaP

مجموعه‌های ماهواره جهانی ترسیم بارش^۱ توسط آژانس علوم و فناوری و همچنین آژانس اکتشاف فضایی ژاپن تهیه شده است (۱۸). برای تهیه این داده‌ها با اعمال پالاینده کالمن^۲ بر داده‌های موج کوتاه ابتدا برآورد اولیه بارش انجام شده (۲۷). سپس با استفاده از داده‌های IR ماهواره‌های زمین ثابت و روشی شبیه به روش جوپس^۳ و همکاران (۱۴) که برای محصولات CMORPH به کار می‌رود مقدار دمای درخشندگی قله ابر و سپس بارش حال حاضر با دقت بیشتر در هر سلول $0/1^\circ$ درجه طول و عرض جغرافیایی برآورد می‌شود (۳). مجموعه "نزدیک به حال حاضر" (GSMaP-NRT) و همچنین مجموعه "نزدیک به حال حاضر-باران‌سنجی" (GSMaP-Gauge-) (NRT) که با داده‌های باران‌سنجی ترکیب شده (با تأخیر ۴ ساعته) که از سال ۲۰۰۸ در دسترس است با تفکیک مکانی $0/1^\circ$ و $0/25^\circ$ درجه و

تفکیک زمانی به ترتیب یک ساعته و روزانه برای بررسی‌های پیش‌بینی سیل به کار می‌روند. نسخه استاندارد (GSMaP-MVK) و همچنین نسخه استاندارد کالیبره شده با باران‌سنج هر دو با تأخیر چند روزه و تفکیک مکانی $0/1^\circ$ درجه و تفکیک‌های زمانی ساعتی و روزانه از ماه مارس ۲۰۱۴ در دسترس است. این مجموعه‌ها نسبت به مجموعه‌های قبلی دقت بیشتری دارند ولی چون با تأخیر همراهند برای بررسی‌های هیدرولوژی مناسب هستند. دو نسخه بازتحلیل و همچنین نسخه بازتحلیل-باران‌سنجی که با داده باران‌سنجی کالیبره شده با تفکیک مکانی $0/1^\circ$ درجه و تفکیک زمانی ساعتی و روزانه که از ماه مارس سال ۲۰۰۰ تا ماه فوریه سال ۲۰۱۴ در دسترس هستند در واقع همان مجموعه‌های "نزدیک به حال حاضر" و همچنین "نزدیک به حال حاضر-باران‌سنجی" است که برای سال‌های قبل (۲۰۰۰ الی ۲۰۱۴) و با همان الگوریتم و با استفاده از داده‌های بازتحلیل ۵۵ ساله (JRA-55) که برای دوره زمانی ۱۹۵۸ الی حال حاضر موجود است تولید شده‌اند.

مجموعه‌های ماهواره‌ای PERSIANN

مجموعه‌های برآورد بارش از اطلاعات سنسجش از دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی^۴ (PERSIANN) از تابع شبکه عصبی برای تولید برآورد بارش با استفاده از دمای درخشندگی ابر و اطلاعات ماهواره‌های زمین ثابت (امواج IR و امواج مرئی) کمک می‌گیرد (۲۵). PERSIANN سه نوع محصول مختلف به صورت جهانی (بین عرض‌های 60° درجه شمالی و 60° درجه جنوبی) با تفکیک مکانی و زمانی و همچنین دوره زمانی مختلف دارد. مجموعه اولیه PERSIANN که برای سلول‌هایی با تفکیک مکانی $0/25^\circ \times 0/25^\circ$ طول و عرض جغرافیایی و تفکیک زمانی ۱ و ۳ و ۶ ساعته، روزانه و ماهانه (از جمع بارش ۳۰ دقیقه‌ای و بر حسب میلی‌متر در بازه زمانی مربوطه) از ماه مارس سال ۲۰۰۰ تا زمان حاضر و با تأخیر زمانی کوتاهی در دسترس عموم است. این اولین مجموعه PERSIANN است که به صورت حال حاضر یا RT و برای بررسی‌های پیش‌بینی هیدرولوژی تولید شده است ولی بعدها تولیدکنندگان مجموعه دیگری با نام PERSIANN-CCS^۵ با تفکیک مکانی 4×4 کیلومتر مربع، تفکیک زمانی ۱ و ۳ و ۶ ساعته، روزانه و ماهانه با تأخیر حدود یک ساعت و از سال ۲۰۰۳ تا حال حاضر تولید کردند (۱۱) که برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مانند سیل به ویژه در حوضه‌های کوچک کاربرد بیشتری دارد. در واقع در این الگوریتم بر خلاف روش قبل که در هر سلول تنها براساس داده‌های

4- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Network
5- PERSIANN Cloud Classification System

1- Global Satellite Mapping of Precipitation
2- Kalman
3- Joyce

نقاط کره زمین را پوشش نمی‌دهند پس برای پر کردن این خلاها از داده‌های IR برای برآورد دمای درخشندگی ابر (3B41RT) و در نهایت با ترکیب این داده‌ها و داده‌های تاریخی سلول (شبکه $1^\circ \times 1^\circ$) برای ماه مورد نظر برای برآورد آهنگ بارش استفاده می‌شود. بنابراین از ترکیب داده‌های PMW و IR با روشی که بیان شد محصول TRMM 3B42RT آهنگ بارش ۳ ساعته در هر سلول شبکه (0.25°) درجه طول و عرض جغرافیایی) بدست می‌آید که با تأخیر کوتاهی (در حدود ۸ ساعت) در اینترنت در دسترس عموم قرار می‌گیرد. برای تولید محصول اقلیمی که به طور غیر مستقیم از داده‌های باران‌سنجی استفاده می‌شود به زمان بیشتری برای جمع‌آوری داده‌ها (حداقل یکی دو ماه) نیاز است. به این ترتیب که ابتدا از داده‌های آهنگ ۳ ساعته بهترین برآورد ماهواره‌ای جمع بارش ماهانه ماهواره‌ای^۳ (MS) تهیه و با ترکیب آن با داده‌های ماهانه باران‌سنجی (GPCC) محصول دیگری از TRMM به نام 3B43 تولید می‌شود که بارش ماهانه ترکیب ماهواره-باران‌سنج^۴ (SG) است. سپس نسبت SG/MS (با کنترل) برای محاسبه آهنگ بارش ۳ ساعته (در ماه مورد نظر) در هر یک از سلول‌های شبکه (0.25° درجه طول و عرض جغرافیایی) بکار رفته و محصول اقلیمی TRMM 3B42V7 تولید می‌شود. لازم به ذکر است که عملاً محصول اخیر در بررسی‌های مختلف بارش روزانه بکار برده می‌شود و 3B43 (بارش ماهانه) بیشتر فقط نقش واسطه برای تولید محصول روزانه TRMM 3B42V7 را دارد.

ماموریت ماهواره‌های TRMM در آوریل ۲۰۱۵ پایان یافته و ماهواره‌های آن پس از مدت کوتاهی به زمین سقوط کرد. البته حدود یکسال قبل از سقوط ماهواره‌های TRMM و انتقال آن به ماموریت اندازه‌گیری جهانی بارش (GPM)، محصول بازیافت یکپارچه چند ماهواره‌ای^۵ GPM (IMERG) شروع به تولید شد. از همان زمان کالیبره شدن برآوردهای بارش امواج PMW برای تولید 3B42 دستخوش تغییر شده و ایجاد ناهمگنی به‌ویژه بالای سطح اقیانوس‌ها گردید. از طرفی محصول IMERG حداقل تا اواسط سال ۲۰۱۸ ادامه محصولات TRMM است و تهیه‌کنندگان در حد امکان از هر گونه تغییری در داده‌های ورودی یا الگوریتم که می‌تواند تغییر بزرگی در محصول تولید کند پرهیز کرده‌اند. برای مثال کالیبره کردن 3B42RT مانند قبل با استفاده از برآوردهای (اقلیمی) بارش PMW و بدون استفاده از داده‌های جدید کالیبره می‌شوند.

اولیه IR و امواج مرئی و یک آستانه بارش ثابت برآورد انجام می‌شد، ابتدا ابر به صورت یکپارچه (در چندین سلول) بررسی و ویژگی‌های آن مشخص می‌شود سپس تکه‌های مختلف ابر شناسایی و برای هر تکه با توجه به ارتفاع، گسترش افقی و تغییرپذیری ساختار ابر یک آستانه مشخص و میزان بارش هر تکه ابر برحسب رابطه بین آهنگ بارش و دمای درخشندگی ابر تعیین می‌شود. مجموعه سوم که به منظور استفاده در مطالعات اقلیمی و خشکسالی تولید شده است (۴) مجموعه ثبت داده‌های اقلیمی^۱ PERSIANN (PERSIANN-CDR) است اولین مجموعه جهانی بلند مدت بارش ماهواره‌ای (که با داده‌های ماهانه باران‌سنجی GPCP هم تصحیح شده) است که به صورت روزانه و با تفکیک بالا (0.25° درجه طول و عرض جغرافیایی) تولید و مبدأ آن سال‌های اولیه‌ای (سال ۱۹۸۳) که اولین داده‌های ماهواره‌های هواشناسی به زمین رسیده است. چون داده‌های این مجموعه با داده‌های باران‌سنجی تصحیح می‌شود با چند ماه تأخیر در دسترس قرار می‌گیرد.

مجموعه‌های ماهواره‌ای IMERG و TRMM

ماموریت اندازه‌گیری باران حاره‌ای^۲ (TRMM) از سال ۱۹۹۸ محصولاتی را تولید و در دسترس عموم قرار داد. بعضی از مجموعه‌های TRMM با تلفیق امواج مایکروویو (PMW و AMW)، بعضی با امواج IR که با PMW کالیبره شده، بعضی از ترکیب داده‌های امواج مرئی، IR و PMW و AMW و پاره‌ای از آنها نیز با داده‌های باران‌سنجی تصحیح و تولید می‌شوند (۱۲). امواج AMW هم اطلاعات مفیدی از ساختار سه بعدی ابر می‌دهند. در واقع در روش ترکیبی پنجره‌های زمانی و مکانی متحرکی برای تولید رابطه محلی بین دیدبانی IR و برآورد بارش از دیدبانی PMW تولید و از آن برای ردیابی چگونگی توزیع بارش استفاده می‌کنند. محصولات مختلف TRMM برای تولید داده‌های آهنگ بارش چهار مرحله دارد که در ذیل به اختصار به آن اشاره می‌شود.

ابتدا با استفاده از همه داده‌های PMW مقدار آهنگ بارش (بر حسب میلی‌متر بر ساعت) در تمام سلول‌های شبکه (0.25° درجه طول و عرض جغرافیایی) و برای فاصله زمانی ۳ ساعته (± 90 دقیقه) برآورد می‌شود (3B40RT). سپس این برآوردها به کمک داده‌های تاریخی با تطبیق احتمال آهنگ بارش به بهترین برآورد تبدیل می‌شود. برای این منظور از تمام داده‌های تاریخی موجود برای آهنگ بارش ۳ ساعته در سلول شبکه $1^\circ \times 1^\circ$ و برای ماه مورد نظر استفاده می‌شود. به طوری که قبلاً ذکر شد داده‌های PMW همواره تمام

3- Multi-Satellite

4- Satellite-Gauge

5- Integrated MultisatellitE Retrievals for GPM

1- PERSIANN Climate Data Record

2- Tropical Rainfall Measuring Mission

جدول ۲- مشخصات مجموعه داده‌های بارش براساس دیدبانی ماهواره‌ای
Table 2- The characteristics of satellite-based precipitation datasets

	نام Name	دوره زمانی Time period	گام زمانی Temporal resolution	تفکیک مکانی Spatial resolution(lon-lat)	واحد Unit	تاخیر Delay
1	CMAP	1979-present	5 day, monthly	2.5	mm/day	1-mon
2	CMORPH	2003-present	30 min	0.08	mm/hr	18-hr
3	CMORPH	2003-present	30 min, daily	0.25	mm/hr	days
4	GPCP v1.2	1996-present	Daily	1	mm/day	months
5	GPCP v2.2	1979- 2015	Monthly	2.5	mm/day	----
6	GPCP v2.3	2016-present	Monthly	2.5	mm/day	months
7	GPCP_pen_v2.2	1979-present	5-day	2.5	mm/day	months
8	GSMaP-NRT	2008-present	Hourly	0.1	mm/h	hours
9	GSMaP-gauge-NRT	2017-present	Daily	0.1, 0.25	mm/h	hours
10	GSMaP-NOW	2015-present	Hourly	0.1	mm/h	RT
11	GSMaP- MVK	2014-present	Hourly	0.1	mm/h	days
12	GSMaP-gauge-MVK	2014-present	Daily	0.1	mm/h	days
13	PERSIANN	2000-present	1-hr, 3-hr, 6-hr, daily, monthly	0.25	mm	hours
14	PERSIANN-CCS	2003-present	1-hr, 3-hr, 6-hr, daily, monthly	0.04	mm	hours
15	PERSIANN-CDR	1983-present	Daily, monthly	0.25	mm	months
16	TRMM 3B42-RT	1998-2015	3-hr	0.25	mm/h	-----
17	TRMM 3B43	1998-2015	Monthly	0.25	mm/h	-----
18	TRMM 3B42V7	1998-2015	Daily	0.25	mm/h	-----
19	IMERG-NRT(early run)	2015-present	30min, 3-hr, daily, 3-day, 7-day, monthly	0.1	mm/h	6-hr
20	IMERG-NRT(late run)	2015-present	30min, 3-hr, daily, 3-day, 7-day, monthly	0.1	mm/h	18-hr
21	IMERG (final run)	2015-present	30min, 3-hr, daily, 3-day, 7-day, monthly	0.1	mm/h	4-mon

مخاطرات اقلیمی^۱ با پوشش جهانی (بین ۵۰° شمالی و جنوبی)، با تفکیک مکانی ۰/۵° طول و عرض جغرافیایی و تفکیک زمانی روزانه، پنج روزه و ماهانه از سال ۱۹۸۱ تا تقریباً حال حاضر توسط

مجموعه داده‌های تلفیقی براساس دیدبانی ماهواره‌ای و زمینی

۱. مجموعه‌های تلفیقی با بارش ماهواره‌ای CHIRPS

مجموعه داده بارش فروسرخ همراه با ایستگاه‌های گروه

1- Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations

زمانی مختلف استفاده می‌شود. نتایج مربوط به متوسط بارش سالانه و فصلی برای هفت مجموعه بارندگی بر روی ایران طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ در جدول ۴ و شکل ۲ نشان داده شده است. این مجموعه‌ها شامل دو مجموعه بارش زمینی (APHRODITE و CRU)، دو مجموعه بارش ماهواره‌ای (CMORPH و PERSIANN) و سه مجموعه بارش ترکیبی (TRMM3B42V7، PERSIANN-، TRMM3B42V7، GPCP و CDR) با تفکیک‌های مکانی مختلف (جدول ۲) است که همه با استفاده از روش درون‌یابی خطی به تفکیک 0.25° درجه طول و عرض جغرافیایی تبدیل و سپس میانگین‌گیری شده‌اند است. میانگین متوسط مکانی و انحراف معیار بارش سالانه و فصلی این هفت مجموعه در دو ستون آخر جدول ۴ ارائه شده است. میانگین بارش سالانه این هفت مجموعه طی دوره آماری مذکور $226/4$ میلی‌متر و انحراف معیار آن $32/3$ میلی‌متر است. در شکل ۲ علاوه بر متوسط بارش سالانه سهم بارش هر یک از چهار فصل سال نیز نمایش داده شده است. به طوری که در این شکل ملاحظه می‌شود سه مجموعه $TRMM3B42V7$ ، $PERSIANN-CDR$ و $GPCP$ بارش سالانه در ایران را در حدود 250 میلی‌متر و سایر مجموعه‌ها در حدود 200 میلی‌متر برآورد می‌کنند. در اغلب مجموعه‌ها غیر از $PERSIANN$ و $CMORPH$ بارش زمستانی بیشترین سهم بارش را از بارش سالانه دارد در صورتی که این دو مجموعه ماهواره‌ای RT بیشترین سهم را برای بارش بهاری نشان می‌دهند. برای پی بردن به توزیع مکانی نقاط اشتراک و تفرق این مجموعه‌ها بر روی ایران، میانگین و انحراف معیار نسبی (نسبت انحراف معیار به میانگین) میانگین بارش سالانه هفت مجموعه داده بارش اعم از زمینی، ماهواره‌ای و ترکیبی طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ در شکل ۳ نشان داده شده است.

به طوری که این شکل (سمت راست) نشان می‌دهد بیشترین اختلاف مجموعه‌ها در مناطق پرباران شمال رشته کوه‌های البرز، مناطق کویری مرکزی، نواحی بسیار خشک جنوب شرق و همچنین ناحیه پراارتفاع در کوه‌های زاگرس جنوبی قرار دارد. این اختلاف در کرانه دریای خزر در حدود 80 درصد میانگین بارش سالانه (حدود 300 میلی‌متر در سال) می‌رسد. علت عدم توافق مجموعه‌ها در مناطق کوهستانی البرز و زاگرس این است که نه تنها ماهواره‌ها در برآورد بارش در مناطقی با توپوگرافی بالا خطای بالاتری نسبت به مناطق هموار نشان می‌دهند بلکه در نواحی کوهستانی در برآورد بارش (توسط مجموعه‌های زمینی) بر روی یک مساحت (تبدیل بارش نقطه مقیاس باران سنج به مساحت مقیاس) نیز به علت عدم توزیع متراکم باران سنج‌ها خطا وجود دارد. در مناطق هموار و خشک کویر مرکزی و همچنین جنوب شرق با وجود هموار بودن ولی چون باران‌سنج‌ها بسیار پراکنده بوده و در بسیاری مناطق نیز داده زمینی وجود ندارد مجموعه‌های زمینی داده‌ها را از طریق درون‌یابی برآورد

گروه مخاطرات تولید و به تازگی در دسترس عموم قرار گرفته است (۷). برای تولید این مجموعه‌ها از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای چند مجموعه مختلف بارش از جمله $TRMM-3B42V7$ ، $TRMM-2B31$ ، $CMORPH$ و همچنین میانگین ماهانه دمای درخشندگی ماهواره‌های زمین ثابت و برآورد دمای سطح زمین استفاده شده است. تولیدکنندگان همچنین از تمام داده‌های زمینی قابل دسترس ماهانه و روزانه از مؤسسات مختلف استفاده کرده اند. در واقع گروه مخاطرات اقلیمی بارش از ترکیب میانگین داده‌های ماهواره‌ای فوق‌الذکر، نرمال‌های اقلیمی زمینی و استفاده از راهنماهای جغرافیایی ابتدا مجموعه اولیه اقلیمی بارش ماهانه ($CHPclim$) و همچنین مجموعه بارش مبتنی بر تنها داده‌های فروسرخ ماهواره‌ای ($CHIRP$) را تولید سپس با داده‌های ایستگاهی ترکیب و مجموعه نهایی $CHIRPS$ تولید شده است. این مجموعه‌ها برای بررسی‌های اقلیمی بویژه رویدادهای حدی کاربرد دارد. این مجموعه‌ها در دو مرحله تولید می‌شوند در مرحله اول داده‌هایی که با استفاده از داده‌های همدیدی باران‌سنجی ایستگاه‌های سازمان هواشناسی جهانی و با حدود دو روز تأخیر، و در مرحله دوم مجموعه داده‌هایی که از تمام داده‌های بارش ماهانه قابل دسترس در سراسر دنیا استفاده می‌کنند و با حدود ۳ هفته تأخیر منتشر می‌شود. مشخصات این مجموعه در جدول ۳ آمده است.

۲. مجموعه تلفیقی با بارش ماهواره‌ای MSWEP

مجموعه بارش همادی-وزنی چند-منبعی^۱، تحت عنوان برنامه "دیدبانی جهانی زمین برای ارزیابی یکپارچه منابع آب" در چارچوب هفتمین برنامه اتحادیه اروپا تهیه شده است (۵). این مجموعه با تفکیک زمانی سه ساعته و تفکیک مکانی 0.25° درجه طول و عرض جغرافیایی و برای دوره زمانی ۱۹۷۹ الی ۲۰۱۵ به منظور استفاده در مدل‌های هیدرولوژی طراحی شده است. برای تولید این مجموعه از چندین منبع داده شامل مجموعه‌های باران‌سنجی ($GPCP$ و CPC)، مجموعه‌های ماهواره‌ای ($CMORPH$ ، $GSMaP-MVK$ ، $TRMM$ ، $3B42RT$) و خروجی مدل‌های بازتحلیل جوی ($ERA-Interim$ ، $JRA-55$) استفاده شده است. مشخصات این مجموعه در جدول ۳ درج شده است.

نتایج و بحث

ارزیابی مجموعه‌های بارش ماهواره‌ای بر روی ایران

در بخش قبل ملاحظه شد که از داده‌های زمینی و دورسنجی برای تولید مجموعه‌های جهانی متنوع بارش با تفکیک مکانی و

برای بررسی صحت داده‌های ماهواره‌ای اساسی‌ترین مسئله ابتدا وجود داده قابل اعتماد زمینی و سپس انتخاب روش مناسب مقایسه (با توجه به شرایط جغرافیایی، توپوگرافی و اقلیمی در منطقه) است. در غیر این صورت مقایسه از پایه و اساس اشتباه خواهد بود.

می‌کنند که آن هم توام با خطا است. آگاهی از خطا نه تنها برای مصرف‌کنندگان بلکه برای تولیدکنندگان آن بسیار مهم است به‌طوری‌که برای برطرف کردن آن باید ابتدا میزان و ماهیت خطا و همچنین منبع آن شناسایی، سپس جهت اصلاح آن اقدام شود. اما

جدول ۳- مشخصات مجموعه داده‌های بارش تلفیقی

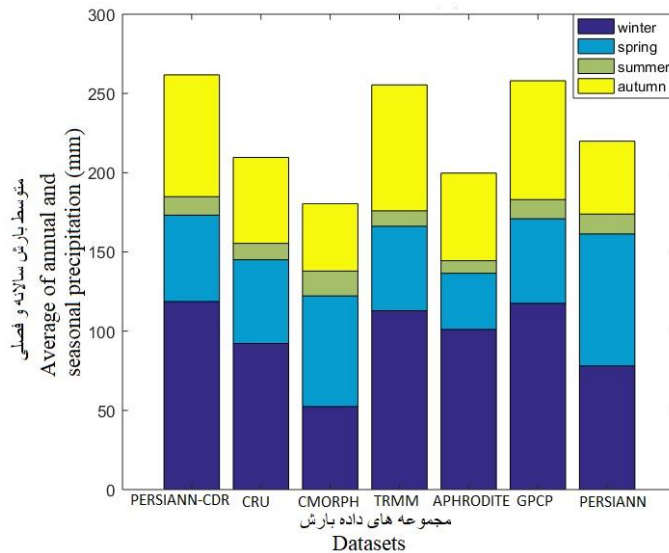
Table 3- The characteristics of assimilated precipitation datasets

نام	دوره زمانی	گام زمانی	تفکیک مکانی	واحد	تأخیر
Name	Time period	Temporal resolution	Spatial resolution (lon-lat)	Unit	Delay
1	CHIRPS	1981-present	Daily, 5-day	mm	2-day
2	CHIRPS	1981-present	monthly	mm	1-mon
3	MSWEP	1979-2015	3-hr, daily	mm	-----

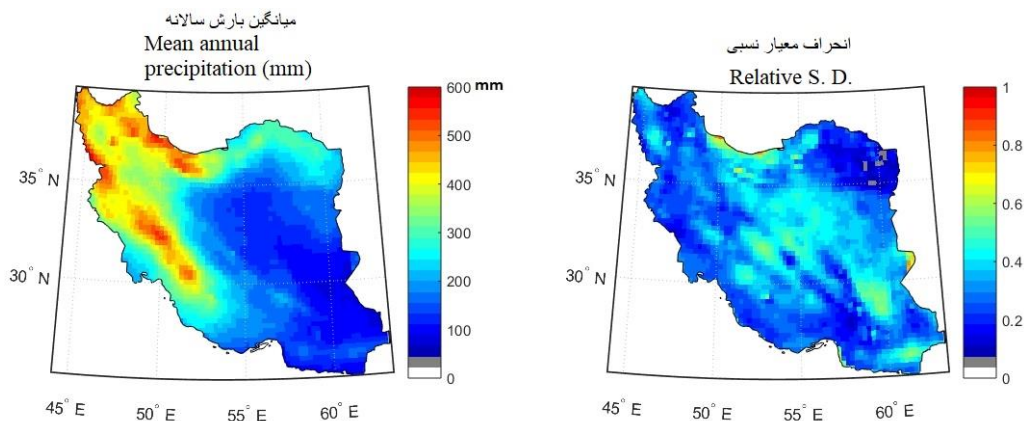
جدول ۴- متوسط مکانی بارش سالانه و فصلی (میلی متر) هفت مجموعه بارش مورد بررسی بر روی ایران طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ و همچنین میانگین و انحراف معیار آنها

Table 4- Areal average of annual and seasonal precipitation for seven selected precipitation datasets, as well as their mean and standard deviation

بارش فصلی و سالانه (میلی متر)	PERSIANN-CDR	CRU	CMORPH	TRMM3B42V7	APHRODITE	GPCP	PERSIANN	Mean (mm) میانگین (میلی متر)	S.D. انحراف معیار
Winter	118.6	92.2	52.4	112.9	101.1	117.5	78.0	96.1	24.2
Spring	54.5	52.9	69.9	53.4	35.5	53.4	83.3	57.5	15.1
Summer	11.7	10.3	15.7	9.7	7.9	12.1	12.6	11.4	2.5
Autumn	76.9	54.3	42.4	79.5	55.3	75.0	46.0	61.3	15.5
Annual	261.8	209.7	180.4	255.4	199.8	258.0	219.9	226.4	32.3



شکل ۲- متوسط مکانی بارش سالانه و همچنین سهم بارش فصل‌های مختلف سال برای ایران برای هفت مجموعه بارش مورد بررسی
Figure 2- Areal average of annual precipitation and the seasonal precipitation contribution for seven selected precipitation datasets



شکل ۳- میانگین و انحراف معیار نسبی بارش سالانه هفت مجموعه بارش برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷
 Figure 3- Mean and standard deviation of annual precipitation of seven selected datasets for 2003-2007

که تقریباً معادل است با ۱۵ امروز الی ۱۵ روز بعد به وقت گرینویچ را بعنوان بارش روزانه در نظر می‌گیرند در حالی که تمام مجموعه داده‌های جهانی جمع بارش از ساعت ۰۰ الی ۲۴ به وقت گرینویچ را بعنوان بارش روزانه در نظر می‌گیرند. بنابراین چون زمان جمع‌آوری بارش باران‌سنجی قابل تغییر نیست برای مقایسه بارش روزانه باید بارش روزانه ماهواره‌ای را از جمع بارش سه ساعته ماهواره‌ای همزمان با دوره زمانی جمع‌آوری بارش روزانه (۱۵ الی ۱۵ روز بعد به وقت گرینویچ) بدست آورد. بدیهی است که برای مقایسه بارش ماهانه اختلاف حدود سه ساعته در جمع بارش ماهانه قابل چشم‌پوشی است و در مقایسه بارش ماهانه نیازی به جمع‌آوری بارش ۳ ساعته نیست. امروزه ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی و همچنین داده‌های ماهواره‌ای به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. در واقع در حالت ایده‌آل سختگیرانه‌ترین روش آنست که انتظار داشته باشیم که ماهواره در هر سلول مقدار دقیق بارش را در زمان دقیق رخداد برآورد کند البته به شرطی که داده‌های زمینی صد در صد قابل اعتماد باشد. اما در عمل ارزیابی ممکن است نه تنها به صورت یک به یک (از نظر مکانی و زمانی) بلکه به طور متوسط انجام شود. به طور مثال می‌توان سری زمانی میانگین منطقه‌ای بارش روزانه، ماهانه یا فصلی بارش ماهواره‌ای با بارش زمینی در یک منطقه معین را مقایسه کرد. واضح است که منطقه مورد نظر باید الگوی بارشی همسانی داشته باشد تا هنگام میانگین‌گیری خطا ایجاد نشود. همچنین ممکن است در هر سلول منطقه ابتدا میانگین زمانی بارش (روزانه، ماهانه یا ...) را محاسبه سپس همبستگی توزیع مکانی بین داده ماهواره‌ای و داده زمینی و یا خطا را بدست آورد. به طور کلی روش‌های مختلفی برای ارزیابی وجود دارد (۲۸). از زمان شروع تولید داده‌های بارش ماهواره‌ای مطالعات بسیاری در جهت بررسی صحت آنها در مناطق مختلف جهان و در شرایط اقلیمی، توپوگرافی و جغرافیایی متفاوت

با توجه به اینکه داده‌های ماهواره‌ای به صورت شبکه‌بندی است واضح است در حالت ایده‌آل باید منبع مقایسه یک مجموعه داده شبکه‌بندی باران‌سنجی متراکم با تفکیک مکانی و زمانی بالا (منطبق بر تفکیک مکانی و زمانی داده ماهواره‌ای)، تعداد کافی باران‌سنج و با توزیع یکنواخت در هر سلول شبکه باشد که غالباً موجود نیست. بنا براین مقایسه باید با توجه به بهترین منبع قابل دسترس و همچنین انتخاب مناسب‌ترین روش متناسب با منبع موجود انجام شود. به طور مثال ممکن است هنگام شبکه کردن داده‌های باران‌سنجی در یک منطقه در بعضی سلول‌ها تنها یک باران‌سنج موجود باشد که در مجموعه‌های با تفکیک مکانی بالا (سلول‌های کوچک $10^{\circ}/0^{\circ}$ یا حتی $40^{\circ}/0^{\circ}$ طول و عرض جغرافیایی) و منطقه هموار گاهی وجود یک باران‌سنج هم کفایت می‌کند ولی در یک سلول شبکه $25^{\circ}/0^{\circ}$ طول و عرض جغرافیایی (۶۲۵ کیلومتر مربع) بویژه در مناطقی با گرادبان توپوگرافی بالا نمی‌تواند نشان دهنده بارش واقعی در آن سلول باشد. بنابراین با توجه به بضاعت از نظر تعداد باران‌سنج‌های موجود، همچنین توپوگرافی و شرایط اقلیمی منطقه و وسعت هر سلول حداقل تعداد باران‌سنج لازم در هر سلول باید مشخص شود. البته واضح است که برای پرهیز از خطا در بررسی تا حد ممکن باید سعی شود تا مقایسه تنها در سلول‌هایی که دارای باران‌سنج کافی هستند انجام گیرد اما بعضی اوقات بویژه هنگامی که مقایسه به صورت میانگین مکانی انجام می‌شود و در تعداد کمی از سلول‌های منفرد در منطقه مورد بررسی داده وجود ندارد، ناگزیر باید برای سلول‌های فاقد باران‌سنج با توجه به داده‌های سلول‌های مجاور داده بارش برآورد شود. از طرفی هنگام مقایسه (علاوه بر تطابق تفکیک مکانی و زمانی) به ویژه در مقیاس روزانه باید به تطابق زمانی (همزمانی دیدبانی) داده‌های زمینی و ماهواره‌ای توجه داشت. در ایران جمع بارش از ساعت ۱۸:۳۰ امروز الی ۱۸:۳۰ روز بعد به وقت محلی

کیلومتر مربع) نیز مهم است. خطای ناشی از عدم توزیع متقارن باران سنج‌ها در هر سلول در مناطقی با توپوگرافی بالا به ویژه مناطقی مانند شمال و جنوب کوه‌های البرز که دو رژیم بارندگی متفاوت دارد بیشتر است.

مقایسه میانگین مکانی بارش روزانه مجموعه‌های PERSIANN ، TRMM 3B42V7 و TRMM 3B42RT با داده‌های ۱۱۸۰ ایستگاه باران‌سنجی برای ۴۷ رویداد بارش روزانه طی زمستان و بهار ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۶ در ایران نشان داد که عملکرد TRMM 3B42V7 بهتر از دو مجموعه دیگر است (۲۰). بازم تأکید می‌شود که چون دو مجموعه دیگر با داده باران‌سنجی ترکیب نشده‌اند این نتیجه دور از انتظار نیست. این بررسی نشان داد که PERSIANN ، احتمال آشکارسازی (POD) بالاتر و در عین حال نسبت اعلان خطا (FAR) بزرگتر نسبت به دو مجموعه TRMM دارد. از نظر منطقه‌ای هر دو مجموعه RT در ارتفاعات بلند زاگرس توام با خطا (کم برآورد و بیش برآورد) هستند. در ضمن PERSIANN متوسط بارش روزانه در جنوب غرب را کم، ولی در شمال غرب را با دقت بیشتری برآورد می‌کند.

در بررسی دیگری معظمی و همکاران (۱۹) داده‌های بارش روزانه و ماهانه چهار مجموعه CMORPH ، PERSIANN ، TRMM 3B42V7 و TRMM 3B42RT را در شش منطقه اقلیمی متفاوت در ایران برای بارش سالانه، بهار و زمستان طی سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۸ بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که TRMM 3B42V7 ، PERSIANN و TRMM 3B42RT به طور متوسط مقدار بارش را به ترتیب ۳۳/۴۳ درصد، ۱۳/۱۳ درصد و ۷۸ درصد بیش برآورد و CMORPH ۱۷/۶- درصد کم برآورد می‌کنند. البته با توجه به اینکه از بین چهار مجموعه فوق تنها مجموعه TRMM 3B42V7 با داده‌های زمینی ترکیب شده است این نتیجه قابل پیش‌بینی بود. تقریباً همه مجموعه‌ها متوسط بارش را در منطقه کرانه دریای خزر، منطقه پراارتفاع زاگرس مرکزی و منطقه جنوبی نزدیک تنگه هرمز کم برآورد می‌کنند. PERSIANN و TRMM 3B42RT در منطقه شمال غرب و استان تهران بارش را بیش برآورد می‌کنند. البته نکته مهمی که نویسندگان این مقاله هم به آن اشاره کرده‌اند آن است که در این بررسی در اغلب سلول‌های ۰/۲۵° درجه طول و عرض جغرافیایی (تقریباً در حدود ۶۲۵ کیلومتر مربع) تنها یک باران‌سنج موجود است که نمی‌تواند نشان‌دهنده بارش موجود در این مساحت باشد. با توجه به مقایسه چند مجموعه بارش ماهواره‌ای و کم برآورد و بیش برآوردها در مناطق مختلف کشور گلپای و همکاران (۹) با مقایسه خطای متوسط بارش روزانه در هر سلول یک مجموعه تلفیقی از ترکیب‌های خطی مختلف مجموعه‌های فوق در هر سلول برای سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۶ تهیه کرده و برای سال‌های ۲۰۰۷ الی ۲۰۰۸ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مجموعه تلفیقی، بارش را

انجام شده و هم اکنون نیز ادامه دارد. در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است که به پاره‌ای از آنها که بر روی کل ایران بررسی شده در زیر اشاره خواهد شد. برای اطلاع خوانندگان از چگونگی عملکرد داده‌های بارش ماهواره‌ای بر روی ایران در این قسمت نتایج ارزیابی بعضی مجموعه‌های ماهواره‌ای به اختصار گردآوری آورده شده است.

جوانمرد و همکاران (۱۳) ابتدا با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۸۸ ایستگاه سینوپتیک و بارش ماهانه ۳۳۷ ایستگاه اقلیم‌شناسی با استفاده از روش یاتاگای و همکاران (۳۱) که در بخش ۲-۱-۱ به آن اشاره شده است یک مجموعه بارش روزانه با تفکیک مکانی ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی بر روی ایران تهیه کرده و با داده‌های بارش روزانه TRMM 3B42V6 طی دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۶ مقایسه کردند. این مجموعه بارش زمستانی را در کرانه دریای خزر و در ارتفاعات زاگرس را کم برآورد می‌کند. این بررسی برای سه منطقه، کل کشور، کرانه دریای خزر و زاگرس انجام شد. ضریب همبستگی مکانی بین داده‌های میانگین سالانه بارش (بر حسب میلی‌متر بر روز) داده‌های TRMM 3B43V6 و داده‌های زمینی برای سه منطقه فوق به ترتیب برابر ۰/۷۷ ، ۰/۵۷ و ۰/۷۵ بدست آمد و نتایج نشان داد که TRMM 3B42V6 میانگین بارش سالانه را در مناطق فوق به ترتیب ۰/۱۷ ، ۰/۳۹ و ۰/۱۵ میلی‌متر بر روز کم برآورد می‌کند.

نتایج بررسی دیگری برای مقایسه چهار مجموعه ماهواره‌ای PERSIANN ، TRMM 3B42V6 ، CMORPH و ADJ- طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ با استفاده از داده‌های حدود ۲۰۰۰ باران‌سنج بر روی ایران انجام شد (۱۷) نیز نشان داد که همه مجموعه‌ها بارش را در منطقه کرانه دریای خزر کم برآورد می‌کنند. برای اعتماد بیشتر به داده‌های زمینی بررسی محدود به سلول‌هایی شد که در آنها حداقل پنج باران‌سنج وجود داشت بدین ترتیب ۳۲ سلول در مناطق مختلف ایران در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی نشان داد که در مقیاس روزانه هم همه مجموعه‌ها در سلول‌های واقع در کرانه دریای خزر عملکرد ضعیفی دارند که با نتیجه جوانمرد و همکاران همخوانی دارد. مجموعه‌های ADJ- PERSIANN و TRMM 3B42V6 بهتر از سایرین بارش را برآورد می‌کنند ولی CMORPH عملکرد ضعیف‌تری بویژه بر روی کوه‌های زاگرس دارد. لازم به ذکر است که دو مجموعه اول با داده‌های باران‌سنجی ترکیب شده و عملکرد بهتر آنها دور از انتظار نیست ولی CMORPH که محصول حال حاضر یا RT است تنها داده ماهواره‌ای است. از طرفی ADJ-PERSIANN با وجود شناخت الگوی کلی بارش مقدار آن را کم برآورد می‌کند. با وجود اینکه در این بررسی سعی شده برای کاهش خطا از سلول‌هایی که در آنها پنج باران‌سنج موجود است استفاده شود ولی باید توجه داشت نه تنها تعداد باران‌سنج‌ها بلکه توزیع آنها در سطح هر سلول (به مساحت ۶۲۵

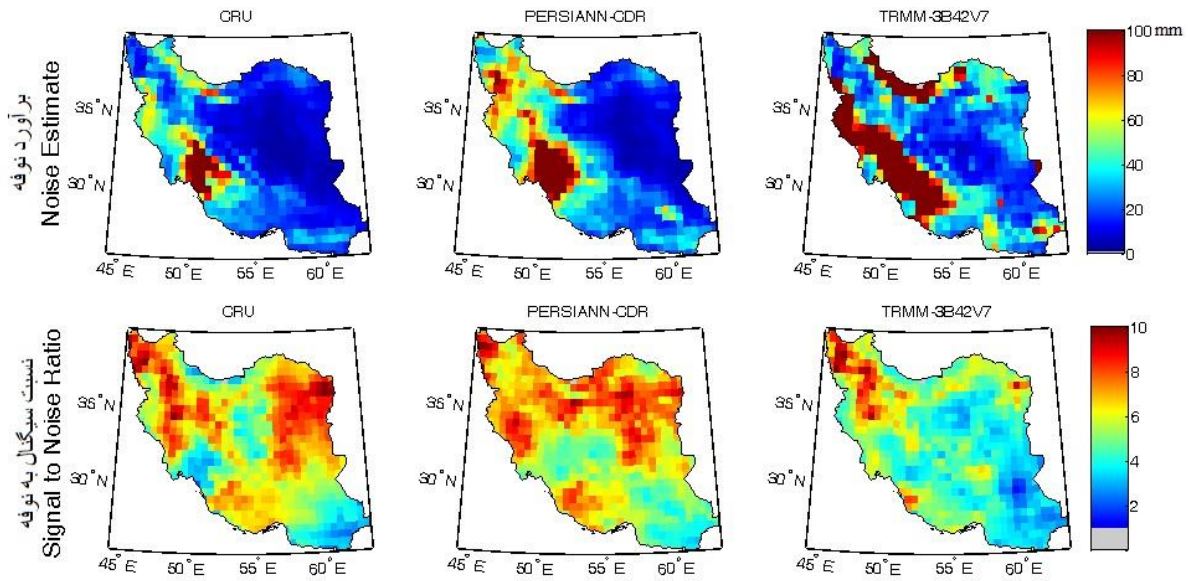
جنوب غرب در کوه‌های زاگرس و همچنین در کرانه دریای خزر نسبت سیگنال به نویز کوچکی نشان می‌دهند (شکل ۴). آنها همچنین تابع توزیع احتمال تجمعی بارش روزانه دو مجموعه ماهواره‌ای را در بعضی از سلول‌ها که حداقل پنج باران‌سنج دارند با آستانه‌های بارش روزانه به ترتیب ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌متر مقایسه کردند. این بررسی نشان داد که غالباً PERSIAN-CDR بارش روزانه را کم و TRMM 3B42V7 بیش برآورد می‌کند و هر چه آستانه بارش روزانه بالاتر می‌رود دو تابع احتمال به هم نزدیک‌تر می‌شوند.

به طوری که قبلاً نیز ذکر شد در این بررسی از داده‌های بارش ۲۲۸ پیکسل که شامل حداقل ۳ ایستگاه باران‌سنجی یا بیشتر طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ بودند استفاده شده است. شکل ۵ توزیع این پیکسل‌ها را در سراسر ایران نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌شود اغلب پیکسل‌ها در مناطق کوهستانی زاگرس و البرز قرار داشته و در مناطق کویری خشک و کم‌سکنه تعداد اندکی پیکسل قرار دارد. شکل ۶ متوسط مکانی بارش فصلی و سالانه هفت مجموعه بارش مورد بررسی را با بارش باران‌سنجی در ۲۲۸ پیکسل نشان داده شده در شکل ۵ مقایسه می‌کند. البته بارش سالانه باران‌سنجی در این پیکسل‌ها بالغ بر حدود ۴۵۰ میلی‌متر است که بالاتر از داده‌های رسمی بارش سالانه ایران است. علت این امر آن است که همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود تقریباً تمام پیکسل‌ها در مناطق پر باران کوهستانی کشور قرار دارند و تنها تعداد بسیار کمی از پیکسل‌ها در مناطق خشک کشور قرار دارند. به طوری که شکل ۶ نشان می‌دهد مجموعه‌های ماهواره‌ای که با داده‌های ماهانه باران‌سنجی تصحیح شده شامل PERSIANN-CDR, TRMM, GPCP کمترین و مجموعه‌های بارش ماهواره‌ای حال حاضر یا RT شامل CMORPH و PERSIANN بیشترین اختلاف را نسبت به داده‌های باران‌سنجی نشان می‌دهد. به طوری که بارها در این مقاله اشاره شده است مجموعه‌های حال حاضر معمولاً خطای بیشتری دارند ولی باید توجه داشت مزیت این مجموعه‌ها زود در دسترس بودن آنهاست. مجموعه‌های بارش براساس داده‌های زمینی شامل CRU و APHRODITE نسبت به سه مجموعه PERSIANN-CDR, TRMM, GPCP بر خلاف تصور اختلاف بیشتری با داده‌های باران‌سنجی به کار رفته دارند. شکل ۷ پراکنش بارش ماهانه هر یک از هفت مجموعه مورد بررسی را نسبت به بارش ماهانه باران‌سنجی طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. نتایج این شکل نیز نشان می‌دهد مجموعه‌های PERSIANN-CDR, TRMM, GPCP در مقایسه با بارش باران‌سنجی بهتر از سایر مجموعه‌ها بارش ماهانه را نشان می‌دهند. با وجود اینکه داده‌های CRU نسبت به بارش ماهانه باران‌سنجی استفاده شده کم برآورد نشان می‌دهند ولی با توجه به اینکه نقاط مماس بر خط برازش شده

بهتر از هر یک از چهار مجموعه مذکور برآورد می‌کند. محصولات بارش ماهواره‌ای در یکی دو دهه اخیر (سال ۱۹۹۸) شروع به تولید داده نموده‌اند ولی چون این دوره زمانی برای بررسی‌های خشکسالی و اقلیمی کافی نیست اخیراً مجموعه PERSIANN-CDR تولید شده که از سال ۱۹۸۳ و با چند ماه تأخیر در دسترس است. به طوری که قبلاً ذکر شد این مجموعه با داده‌های GPCP که خود دارای داده زمینی است ترکیب شده است. این مجموعه برای بررسی رویدادهای حدی و روند تغییرات آن در گذشته طراحی شده است. کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۶) ابتدا PERSIANN-CDR را برای نمایش ده شاخص حدی بارش (CLIVAR; ۳۲) با داده‌های باران‌سنجی برای دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۸ مقایسه کرده و سپس روند تغییرات بارش سالانه، تعداد روزهای بارانی و ده شاخص حدی را برای دوره سی ساله ۱۹۸۳ الی ۲۰۱۲ با استفاده از داده‌های این مجموعه حساب کردند. نتایج آنها نشان داد که با وجود اینکه این مجموعه اغلب شاخص‌های حدی را کم برآورد می‌کند ولی شاخص‌های شدتی مانند بارش صدک ۹۰ام، ماکزیمم بارش روزانه، ماکزیمم بارش پنج روزه و متوسط بارش روزهای بارانی هر سال و همچنین دو شاخص ماکزیمم تعداد روزهای متوالی بارانی و تعداد روزهای متوالی بدون بارش در هر سال را بهتر از شاخص‌های حدی آستانه مطلق مانند تعداد روزهای بارانی با بارش بیش از ۱۰ یا ۲۰ میلی‌متر در هر سال برآورد می‌کند. از طرفی با توجه به داده‌های این مجموعه بارش سالانه در شرق و غرب ایران روند کاهشی دارد و تعداد روزهای بارانی در شمال و شمال غرب ایران افزایش یافته است. در ضمن بارش صدک ۹۰ام و متوسط بارش روزانه در روزهای بارانی در شمال کشور روند منفی و روزهای خشک متوالی در شرق کشور روند مثبت نشان داده‌اند.

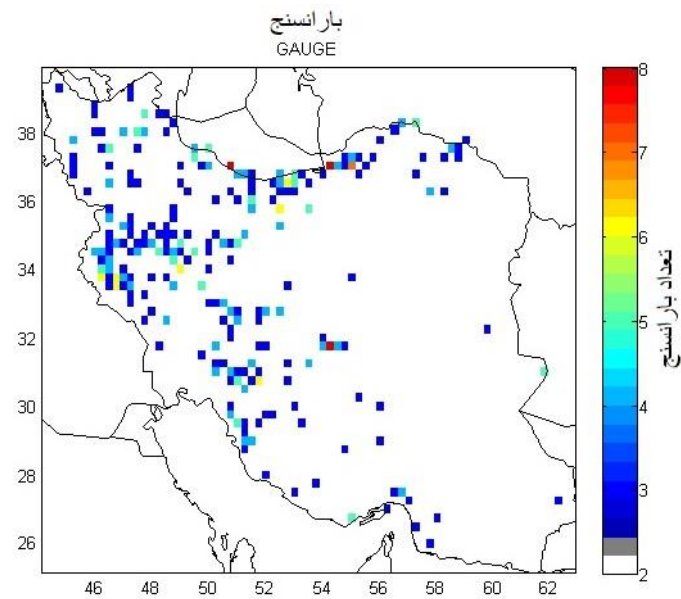
یکی از روش‌های ارزیابی مجموعه‌های داده ماهواره‌ای که نه تنها بارش بلکه داده‌های دیگری مانند رطوبت خاک را که بندرت داده زمینی برای آن وجود دارد، روش تعمیم یافته کلاه سه گوش^۱ است که برای ارزیابی نیاز به داده زمینی ندارد (۸). البته این روش بیشتر برای مقایسه چند مجموعه و گزینش مجموعه‌ای با بالاترین مقدار نسبت سیگنال به نویز (SNR) به کار می‌رود. کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۵) با استفاده از این روش داده‌های بارش ماهانه سه مجموعه PERSIANN-CDR, TRMM 3B42V7, و CRU بر روی ایران طی دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۷ را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که نسبت سیگنال به نویز (SNR) مجموعه PERSIANN-CDR بویژه در نیمه شمالی کشور بزرگ‌تر از دو مجموعه دیگر است. از طرفی هر سه مجموعه در مناطق پر ارتفاع

هستند به نظر می‌رسد با اعمال یک ضریب می‌توان داده‌ها را اصلاح نمود. سه مجموعه دیگر نیز ارزش ماهانه را کم برآورد می‌کنند.



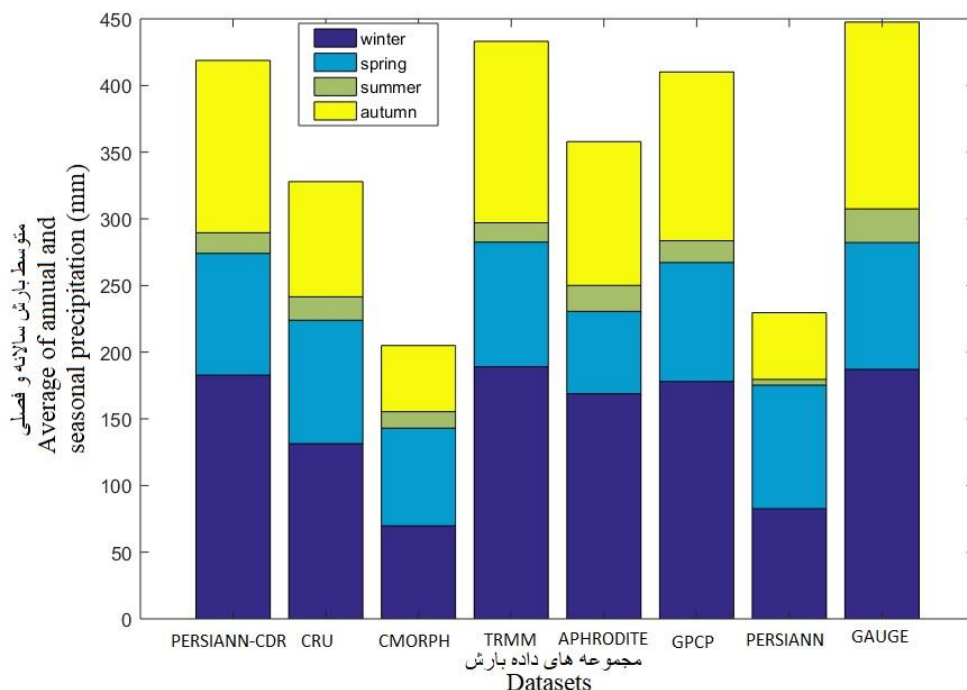
شکل ۴- مقایسه مقادیر نویز و SNR بارش ماهانه بدست آمده از روش GTCH برای مجموعه‌های CRU، PERSIANN-CDR و TRMM-3B42V7 طی دوره ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۷ در ایران (۱۵)

Figure 4- The noise estimates and SNR values of monthly precipitation using the GTCH method for CRU, PERSIANN-CDR, and TRMM-3B42V7 (Katirai-Boroujerdy et al. 2017)



شکل ۵- توزیع مکانی ۲۲۸ پیکسل (حاوی حداقل ۳ بارانسنج) مورد استفاده در ارزیابی نمایشگر رنگی تعداد بارانسنج‌های موجود در هر پیکسل را نشان می‌دهد.

Figure 5- The spatial distribution of 228 selected pixels that include at least three rain gauges. The color legend shows the number of rain gauges in each pixel.



شکل ۶- متوسط بارش سالانه و همچنین سهم بارش فصل‌های مختلف سال برای ۲۲۸ پیکسل برای هفت مجموعه بارش مورد بررسی و همچنین داده‌های باران‌سنجی

Figure 6- Areal average of annual precipitation and the seasonal precipitation contribution over 228 selected pixels for seven selected precipitation datasets and rain gauge data

این اختلاف در کرانه دریای خزر در حدود ۸۰ درصد میانگین بارش سالانه (حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال) می‌رسد. این نتایج با نتایج بررسی‌های قبلی که نشان می‌دهند داده‌های ماهواره‌ای روی منطقه سواحل دریای خزر و مناطق پراارتفاع کوه‌های زاگرس واقع در جنوب غرب ایران بارش را با دقت کمتری نسبت به سایر نقاط برآورد می‌کنند توافق دارد. در واقع در هر دو منطقه توپوگرافی بالایی وجود دارد و برآورد بارش به ویژه در سلول‌هایی به مساحت ۶۲۵ کیلومتر مربع باعث هموار شدن مقدار بارش در هر سلول شده و اگر باران‌سنج‌ها به طور یکنواخت در مساحت سلول توزیع نشده باشند نمی‌توانند نشان‌دهنده مقدار واقعی بارش در مساحت سلول باشند. به طور مثال در نوار ساحلی دریای خزر تقریباً تمام باران‌سنج‌ها در شمال رشته کوه‌های البرز یعنی در منطقه کاملاً مرطوب قرار گرفته‌اند در صورتی که بخشی از سلول (۶۲۵ کیلومتر مربع) در جنوب رشته کوه‌های البرز یعنی در منطقه خشک قرار دارد و چون بارش منسوب به مساحت سلول متوسط بارش در سطح سلول را نشان می‌دهد واضح است که با متوسط بارش باران‌سنج‌ها تفاوت دارد.

نتایج مقایسه هفت مجموعه با بارش باران‌سنجی در ۲۲۸ پیکسل شامل حداقل ۳ باران‌سنج نشان می‌دهد سه مجموعه بارش ماهواره‌ای که با داده‌های بارش زمینی تصحیح شده‌اند شامل

نتیجه‌گیری

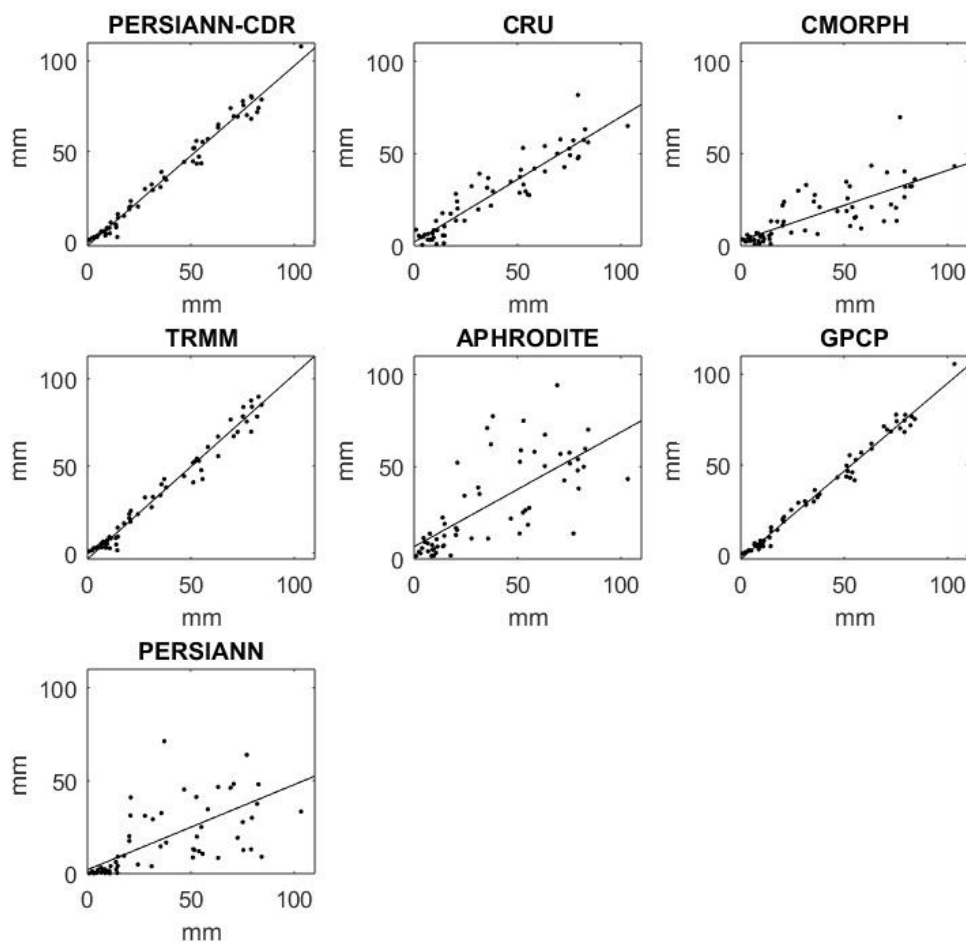
در این بررسی متوسط بارش سالانه برای مساحت ایران طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ برای هفت مجموعه بارندگی شامل دو مجموعه بارش زمینی (CRU و APHRODITE)، دو مجموعه بارش ماهواره‌ای (PERSIANN و CMORPH) و سه مجموعه بارش ترکیبی (PERSIANN-CDR، TRMM3B42V7 و GPCP) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سه مجموعه PERSIANN، TRMM3B42V7 و GPCP بارش سالانه در ایران را در حدود ۲۵۰ میلی‌متر و سایر مجموعه‌ها در حدود ۲۰۰ میلی‌متر برآورد می‌کنند. در اغلب مجموعه‌ها غیر از مجموعه‌های بارش ماهواره‌ای RT شامل PERSIANN و CMORPH بارش زمستانی بیشترین سهم بارش را از بارش سالانه دارد در صورتی که این دو مجموعه ماهواره‌ای بیشترین سهم را برای بارش بهاری نشان می‌دهند. نتایج مربوط به بررسی توزیع مکانی میانگین و انحراف معیار نسبی (نسبت انحراف معیار به میانگین) میانگین بارش سالانه هفت مجموعه داده بارش اعم از زمینی، ماهواره‌ای و ترکیبی نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف مجموعه‌ها در مناطق پرباران شمال رشته کوه‌های البرز، مناطق کویری مرکزی، نواحی بسیار خشک جنوب شرق و همچنین ناحیه پراارتفاع در کوه‌های زاگرس جنوبی قرار دارد.

پاره‌ای از آنها که به صورت حال حاضر (RT) و با تأخیر کوتاه (در حدود ساعت) در اختیار همگان قرار می‌گیرند غالباً برای پیش‌بینی کوتاه مدت سبیل استفاده می‌شوند. بعضی دیگر با چند روز تأخیر (حدود ماه) منتشر می‌شوند و برای بعضی مناطق با داده‌های قابل دسترس زمینی تصحیح شده‌اند برای پیش‌بینی کوتاه مدت خشکسالی مناسب هستند. در نهایت گروه دیگری از مجموعه‌ها که غالباً با تأخیر چند ماهه در دسترس عموم قرار می‌گیرند با داده‌های زمینی کاملتری تصحیح می‌شوند برای بررسی‌های اقلیمی از جمله مسائل مربوط به تغییر اقلیم مناسب هستند.

هنگام ارزیابی داده‌های بارش روزانه باید به تطابق زمان جمع‌آوری بارش روزانه باران‌سنجی و ماهواره‌ای توجه داشت. در واقع چون زمان جمع‌آوری بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی غیر قابل

مقایسه با داده‌های باران‌سنجی دارند به‌طوری‌که نتایج آنها در مقایسه با مجموعه‌های باران‌سنجی CRU و APHRODITE نیز بهتر است. دو مجموعه ماهواره‌ای حال حاضر PERSIANN و CMORPH بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه را کم برآورد می‌کنند.

باران‌سنج‌ها با وجود اینکه بارش را مستقیماً اندازه‌گیری می‌کنند ولی هنگام تعمیم داده‌های نقطه‌ای باران‌سنجی به ناحیه (مساحت) اطراف (بخصوص در نواحی با توپوگرافی شدید) توأم با خطا می‌شوند. بعلاوه در بسیاری از مناطق کره زمین مانند دریاها و اقیانوس‌ها، بیابان‌ها، کوهستان‌ها و مناطق صعب‌العبور و خالی از سکنه که داده‌های باران‌سنجی کمیاب است، داده‌های ماهواره‌ای پتانسیل خوبی برای برآورد و تولید داده‌های بارش در سراسر کره زمین دارند. این مجموعه‌ها بسته به نحوه تولید کاربردهای متفاوتی دارند.



شکل ۷- مقایسه پراکنش بارش ماهانه هر یک از هفت مجموعه بارش با داده‌های باران‌سنجی برای ۲۲۸ پیکسل طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۰۷
محور افقی هر یک از نمودارها بارش ماهانه باران‌سنجی است.

Figure 7- The scatter plots of seven datasets versus gauge monthly precipitation for 228 selected pixels for 2003-2007
The horizontal axis of each diagram shows gauge monthly precipitation.

در پایان توجه خوانندگان مقاله به نشانی اینترنتی <http://192.168.1.13:3000/fa> و یا سایت RCUWM-Tehran – مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری-یونسکو که پایگاه داده بارش استخراج شده از تمامی مجموعه‌های PERSIANN برای ایران بوده و به صورت رایگان در دسترس عموم است جلب می‌نماید. لازم به ذکر است که این داده‌ها به صورت فایل‌های CSV و به راحتی قابل استفاده است و طول و عرض جغرافیایی تمام سلول‌ها در آن درج شده است.

تغییر (از ساعت ۱۵ به وقت گرینویچ) است، باید بارش روزانه ماهواره‌ای را از جمع بارش‌های ۳ ساعته که از ساعت ۱۵ گرینویچ شروع می‌شود بدست آورد. البته در بررسی بارش ماهانه این اختلاف زمانی تأثیر چندانی ندارد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای پروفسور سروشیان که بدون نظارت و راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان انجام این کار ممکن نبود تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- 1- Adler R., Sapiano M., Huffman G., Bolvin D., Gu G., Wang J., and Ferraro R. 2016. The new version 2.3 of the global precipitation climatology project (GPCP) monthly analysis product. University of Maryland, April.
- 2- Adler R., Huffman G., Chang A., Ferraro R., Xie P., Janowiak J., and Bolvin D. 2003. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *Journal of Hydrometeorology* 4(6): 1147-1167.
- 3- Aonashi K., Awaka J., Hirose M., Kozu T., Kubota T., Liu G., and Takahashi N. 2009. GSMap passive microwave precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and validation. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II* 87: 119-136.
- 4- Ashouri H., Hsu K.L., Sorooshian S., Braithwaite D. K., Knapp K.R., Cecil L.D., and Prat O.P. 2015. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(1): 69-83.
- 5- Beck H.E., Van Dijk A.I.J.M., Levizzani V., Schellekens J., Miralles D.G., Martens B., and Roo A.D. 2017. MSWEP: 3-hourly 0.25 global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data. *Hydrology and Earth System Sciences* 21(1):589-615.
- 6- Ebert E.E. 2007. Methods for Verifying Satellite Precipitation Estimates. In: Levizzani V., Bauer P., Turk F.J. (eds) *Measuring Precipitation From Space. Advances In Global Change Research*, vol 28. Springer, Dordrecht.
- 7- Funk C., Peterson P., Landsfeld M., Pedreros D., Verdin J., Shukla S., and Hoell A. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2, 150066.
- 8- Galindo, Francisco J, & Palacio, Juan. (1999). Estimating the instabilities of N correlated clocks: REAL OBSERVATORIO DE LA ARMADA (SPAIN).
- 9- Golian S., Moazami S., Kirstetter P.E., and Hong Y. 2015. Evaluating the performance of merged multi-satellite precipitation products over a complex terrain. *Water Resources Management* 29(13): 4885-4901.
- 10- Harris I.P.D.J., Jones P.D., Osborn T.J., and Lister D.H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International journal of climatology* 34(3): 623-642.
- 11- Hong Y., Hsu K.L., Sorooshian S., and Gao X. 2004. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. *Journal of Applied Meteorology* 43(12): 1834-1853.
- 12- Huffman G.J., Bolvin D.T., Nelkin E.J., Wolff D.B., Adler R.F., Gu G., and Stocker E.F. 2007. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of hydrometeorology* 8(1): 38-55.
- 13- Javanmard S., Yatagai A., Nodzu M.I., BodaghJamali J., and Kawamoto H. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences* 25: 119-125.
- 14- Joyce R.J., Janowiak J.E., Arkin P.A., and Xie P. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology* 5(3): 487-503.
- 15- Katiraie-Boroujerdy P.S., Asanjan A.A., Hsu K.L., and Sorooshian S. 2017. Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3b42v7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. *Atmospheric Research* 193: 36-49.
- 16- Katiraie-Boroujerdy P.S., Ashouri H., Hsu K.L., and Sorooshian S. 2017. Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. *Theoretical and Applied Climatology* 130(1-2): 249-260.

- 17- Katirai-Boroujerdy P.S., Nasrollahi N., Hsu K.L., and Sorooshian S. 2013. Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of Arid Environments* 97: 205-219.
- 18- Kubota T., Shige S., Hashizume H., Aonashi K., Takahashi N., Seto S., and Nakagawa K. 2007. Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45(7): 2259-2275.
- 19- Moazami S., Golian S., Hong Y., Sheng C., and Kavianpour M.R. 2016. Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrological Sciences Journal* 61(2): 420-440.
- 20- Moazami S., Golian S., Kavianpour M. R., and Hong Y. 2013. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *International Journal of Remote Sensing* 34(22): 8156-8171.
- 21- Rudolf B., and Schneider U. 2005. Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations. P. 231-247, Paper presented at the Proc. Second Workshop of the Int. Precipitation Working Group, October 2004, Monterey, Germany, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.
- 22- Schamm K., Ziese M., Becker A., Finger P., Meyer-Christoffer A., Schneider U., and Stender P. 2014. Global gridded precipitation over land: A description of the new GPCC First Guess Daily product. *Earth System Science Data* 6(1): 49-60.
- 23- Schneider U., Becker A., Finger P., Meyer-Christoffer A., Ziese M., and 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.
- 24- Sorooshian S., AghaKouchak A., Arkin P., Eylander J., Foufoula-Georgiou E., Harmon R., Skahill B. 2011. Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92(10): 1353-1357.
- 25- Sorooshian S., Hsu K.L., Gao X., Gupta H.V., Imam B., and Braithwaite D. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81(9): 2035-2046.
- 26- Sun Q., Miao C., Duan Q., Ashouri H., Sorooshian S., and Hsu K.L. 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics* 56(1): 79-107.
- 27- Ushio T., Sasashige K., Kubota T., Shige S., Okamoto K., Aonashi K., and Kachi M. 2009. A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 87: 137-151.
- 28- Wilks D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Burlington, MA: Academic Press.
- 29- Willmott C.J., and Robeson S.M. 1995. Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. *International Journal of Climatology* 15(2): 221-229.
- 30- Xie P., and Arkin P.A. 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(11): 2539-2558.
- 31- Yatagai A., Kamiguchi K., Arakawa O., Hamada A., Yasutomi N., and 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.
- 32- Zhang X., Alexander L., Hegerl G.C., Jones P., Tank A.K., Peterson T.C., and Zwiers F.W. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2(6): 851-870.

Evaluation and Application of Different Observational (Land and Satellite) Datasets over Iran

A. Chavoshian¹ – P.S. Katiraie-Boroujerdy^{2*}

Received: 25-02-2019

Accepted: 08-07-2019

Introduction: Precipitation has an important role not only in the variety of scientific applications including climate change, climate simulations, weather modeling, and forecasting but also in decision making such as water management, hydrology, agriculture, drought, and crisis management. Different temporal resolutions and coverages of data are required for this and other applications. For example, long term meteorological data are needed for monitoring the climate variability and trends and for climate simulation assessments in local and global scales. Also, present data are used to assimilate into forecast models to improve the predictions. Historical and present precipitation data are the main requirements to monitor and predict droughts which help to early warning system and water management decisions in a country. The recent rainfall data are also the primary input of hydrological models to flood forecast in a basin. The accurate estimation of precipitation amount is vital for these applications.

Materials and Methods: However, rainfall is discontinuous and varies greatly both in time and space which makes it parallel with difficulties in the actual measurements. The two main sources of observational precipitation datasets are ground-based rain gauge measurements and space-based remote sensing satellite estimations each one with its own limitations and strengths. Historically, rain-gauge measurements have been considered as the “ground truth”, but they have mostly limited to land surface, the measurements are sparse or nonexistent in some regions like deserts or high topographic areas. Although rain gauges measure rainfall directly, their data are only representative for a limited spatial extent and may be subjected to some errors caused by local effects such as topography or wind-induced undercatch. An alternative approach which can provide relatively homogenous estimates with complete coverage over most of the globe is based on using satellite observations. Therefore, satellite data are capable to estimate precipitation over the oceans and over remote areas where few or no ground measurements are available. The satellite-based precipitation estimates are derived mainly from visible, infrared (IR) and passive microwave (PMW) radiances which are measured by satellites. Although the visible channels cannot be used at night, the IR data are available in fine spatial resolution (about 3-4 km) with high temporal sampling (15 min) which are provided by geosynchronous satellites. Another source of data is PMW that can be used to estimate rainfall more directly. Low-altitude polar-orbiting satellites serve to measure the PMW data. Although, the microwave sensors can penetrate into the clouds and provide more information about the cloud characteristics such as water vapor, cloud particles, and structure of hydrometeors, but at the expense of temporal sampling. In recent years, different algorithms have been developed using the combination of the IR, Visible (VIS) and PWM observations to provide more accurate rainfall estimations in high spatial and temporal resolutions. To demonstrate the similarities and differences between the spatial distribution of different satellite-based and gauge-based precipitation datasets over Iran we compared seven different datasets. For comparisons all datasets are regridded to 0.25-degree latitude longitude spatial resolutions. Then the spatial distribution of the mean and relative standard deviations of annual precipitation of these datasets have been calculated. We also used more than 2000 rain gauges to evaluate the selected datasets. To reduce error only 228 pixels, include at least 3 rain gauges are used for comparisons of spatial average of monthly, seasonal and annual precipitation of gauge and seven datasets.

Results and Discussion: The results showed a large amount of differences in annual precipitation between seven selected datasets. The most differences pronounce in wet areas in the north of Alborz Mountain, in the

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran & Regional Center on Urban Water Management (RCUWM-Tehran) Under the Auspices of UNESCO, International Drought Initiative (IDI) Secretariat, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Meteorology, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: sima_katiraie@yahoo.com)

semi-arid and arid regions of the central desert and in the high mountainous areas of the southern Zagros. The reason for these differences is that not only satellite-based but gauge-based datasets have large uncertainties estimating areal precipitation in such high topographic areas. The satellite products are prone to some errors arising from not fully understood physical process, sampling error and parameter estimation. Therefore, verification of precipitation datasets is one of the most important parts of the data development and refinements. In this paper, the spatial distribution of seven different global-observational precipitation datasets over Iran are compared for the period 2003-2007. At first all datasets were regridded to 0.25° spatial resolutions using linear interpolation method. Then, the mean and relative standard deviation of annual precipitation of the datasets were calculated to analyze the spatial discrepancies between datasets. The areal average of annual precipitation and the contribution of seasonal precipitation were calculated for comparison purposes. The results showed that areal average of annual and seasonal precipitation for 228 selected pixels for PERSIANN-CDR, TRMM, and GPCP which are satellite-based and gauge adjusted datasets are more similar to the rain gauge data than other datasets. The results for the above datasets are even better than CRU and APHRODITE which are gauge-based datasets.

Conclusion: The results showed that the satellite estimates are not capable to show the precipitation (detection and amount) over the coast of Caspian Sea and the high areas of the Zagros Mountain as well as other parts of the country. There are some useful recommendations for data users at the end of this paper. In fact, in this paper our spatial focus is on Iran and we introduced a web address which data users can access freely from one of the most popular and widely used satellite-based products in easy-to-use format only for Iran. The results show considerable differences between the datasets. The difference is about 0.8 times of mean annual precipitation (about 300 mm in a year) for the coast of Caspian Sea. The satellite-based estimations were less accurate over the coast of Caspian Sea and high mountainous area of the southwest of Zagros comparing to other parts of the country. While spring precipitation shows maximum contributions in annual precipitation for in-situ datasets, winter precipitation shows maximum contribution in annual precipitation for other datasets. The results showed that areal average of monthly, seasonal and annual precipitation over 228 selected pixels for PERSIANN-CDR, TRMM and GPCP were consistent with rain gauge data. CMORPH and PERSIANN underestimate areal average of monthly and seasonal precipitation over the pixels.

Keywords: Evaluation, Iran, Precipitation datasets, Remote sensing, Satellite-based precipitation