

مقایسه داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیاد روی ایران

پری‌سیما کتیرایی بروجردی^{*۱}

^۱دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۴)

چکیده

بارش برآورد شده از داده‌های ماهواره‌ای در زمینه‌های گوناگون از جمله بررسی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارد. استفاده کنندگان این داده‌ها باید شناخت کافی از خصوصیات خطای این محصولات در مناطق گوناگون جهان داشته باشند. در این بررسی داده‌های برآورد ماهواره‌ای بارش که به روش «برآورد بارش اطلاعات از راه دور با استفاده از نظریه شبکه عصبی» (PERSIANN) (Precipitation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks Estimation) به دست آمده، با داده‌های زمینی روی ایران مقایسه شده است. داده‌های بارش ماهانه PERSIANN با تفکیک مکانی 0.25° طول و عرض جغرافیایی روی شبکه‌ای با محدوده جغرافیایی بین 25° تا 40° شمالی و 44° تا 63° شرقی روی ایران طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ با داده‌های باران‌سنجی با همین تفکیک مکانی شبکه‌بندی و مقایسه شد. این شبکه باران‌سنجی متشکل از بیش از دو هزار ایستگاه اندازه‌گیری در سراسر ایران است. مقایسه نقشه میانگین بارش سالانه این دو شبکه روی ایران نشان می‌دهد که PERSIANN الگوی تغییرات مکانی بارش سالانه را به خوبی می‌شناسد ولی مقدار آن را در اغلب نقاط ایران کم‌برآورد و در بعضی مناطق خشک کویری بیش‌برآورد می‌کند. ضریب همبستگی و پراکنش بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی برای همه سلول‌های شبکه که حداقل شامل یک باران‌سنج بودند و سپس برای سلول‌هایی که حداقل پنج باران‌سنج داشتند به دست آمد. هر دو مورد نشان‌دهنده کم‌برآورد شدن بارش ماهانه این محصول ماهواره‌ای است. برای مقایسه این دو داده شبکه‌ای در مناطق جغرافیایی و اقلیم‌های متفاوت، نمودار سری زمانی بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی پنج سلول که حداقل پنج باران‌سنج داشتند رسم شد. نتایج نشان داد که PERSIANN بارش را در منطقه زاگرس کم و در کرانه دریای خزر به شدت کم و همچنین سلول واقع در منطقه خشک شرق را زیاد برآورد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بارش ماهواره‌ای، شبکه بارش، ارزیابی بارش PERSIANN

Comparison of high-resolution gridded monthly satellite and ground-based precipitation data over Iran

Pari Sima Katiraie Boroujerdy^{*۱}

^۱Department of meteorology, faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch

(Received: 9 December 2012, accepted: 5 August 2013)

Summary

In some countries such as Iran with large deserts and sparse rain gauge network satellite-based precipitation estimates have great potential for a wide range of applications. However, satellite-based precipitation estimates are not operational for decision making applications because of a lack of information regarding the associated uncertainties and reliability of these products. Obviously these data sets like others have error. To reduce the error, precipitation data users must have enough information about error characteristics over different parts of the world. In this analysis, satellite-based precipitation estimate data derived from the "Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks" (PERSIANN) is compared with ground-based data over Iran. The PERSIANN gridded precipitation data with $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ latitude/longitude spatial and 3-hourly temporal resolution are used for evaluation of the satellite product. In this study, satellite-based precipitation data were accumulated to daily and then monthly totals for comparison with accumulated monthly gauge precipitation for the period 2003-2007 over Iran (25° - 40° N, 44° - 63° E). This rain gauge network included more than 2000 rain gauge stations over Iran. The arithmetic monthly mean of gauge precipitations calculated for every pixel. A comparison of the mean annual precipitation maps between these two networks over Iran shows that for the study period the spatial variation pattern of annual precipitation is reasonably accurate in PERSIANN, but it underestimates the precipitation amount over most parts of Iran. In the next step, the correlation coefficient and the scatter plot of the monthly precipitation for PERSIANN and gauge data were calculated for grid cells which included at least one gauge. Then in an attempt to better evaluate precipitation and reduce the effect of gauge uncertainties, the study was limited to pixels, each of which contained at least five rain gauges. The results for both of them (pixels which include one rain gauge and pixels which include five rain gauges) show that this satellite product underestimates the monthly precipitation. The correlation coefficient between satellite and gauge monthly precipitation for all pixels which include at least one gauge is equal to 0.3035 (99% significant). The correlation coefficient for pixels which include at least five gauges is 0.2598 (99% significant). For a comparison between these two data sets in different topography and climates, the time series of satellite and ground monthly precipitation are plotted for five cells which included at least five rain gauges. A pixel located in mountainous area of Zagros which most of annual precipitation falls in winter and summer is almost a dry season. Another pixel is in the most humid region in the coast of Caspian Sea which precipitation falls in almost all months of the year. One of the selected pixel located in the desert area of the eastern part of country. The two others located at North West and North East of country which have wet cold climate. The results show that PERSIANN underestimates the precipitation in Zagros, and it also has a very poor performance over the Caspian coast. On the other hand, this satellite product overestimates the precipitation over dry eastern area.

Keywords: Satellite precipitation, the network of precipitation, the evaluation of PERSIANN precipitation

۱ مقدمه

آب‌شناسی دارد. واضح است که نبود دسترسی به شبکه باران‌سنجی منظم زمینی، مانع رشد و توسعه و استفاده از مدل‌های اختطار سیل و خشکسالی، آب‌شناختی و سامانه

اندازه‌گیری دقیق بارش کاربردهای بسیاری در تحقیقات اقلیمی، کشاورزی، خشکسالی، بلایای طبیعی و

گوتچاک و همکاران (۲۰۰۵) محصول (TMPA 3B42-RT Analysis Tropical Multisatellite Precipitation) را برای ایالات متحده در مقیاس زمانی روزانه تا فصلی ارزیابی کرده و دریافتند که در مقایسه با سایر محصولات برآوردهای TMPA 3B42-RT در مقیاس روزانه نتایج مطلوبی ندارد. تیان و همکاران (۲۰۰۷) نسخه تحقیقاتی TMPA 3B42 را با یک سری داده شامل داده‌های باران‌سنجی و داده‌های راداری مقایسه کردند. آنها دریافتند که این محصول در مقیاس فصلی و سالانه خطای نسبتاً کمی دارد ولی در مقیاس زمانی کوتاه‌تر به‌ویژه در آشکارسازی بارش روزانه نتایج رضایت‌مندی ندارد. ابرت و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که محصول ماهواره‌ای CPC MORPHing CMORPH (جوینس و همکاران، ۲۰۰۴) روی استرالیا و انگلستان بهترین احتمال آشکارسازی بارش روزانه را دارد. روان و رود (۲۰۰۷) واریانس داده‌های TMPA 3B42، CMORPH و PERSIANN را در سطح جهانی مقایسه کردند. با وجود اینکه داده زمینی کافی در سطح جهانی وجود ندارد تا به کمک آن تشخیص داد کدام محصول عملکرد بهتری نسبت به سایرین دارد، ولی آنها تفاوت‌های جالبی بین این محصولات پیدا کردند. سون و همکاران (۲۰۱۰) چهار محصول ماهواره‌ای را روی شبه‌جزیره کره ارزیابی کردند و نشان دادند که مدل تصحیح شده TMPA (یعنی TMPA-V6) نتایج بهتری نسبت به بقیه دارد.

جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) نیز داده‌های بارش سالانه و فصلی محصول ماهواره‌ای TRMM 3B42V6 (Tropical Rainfall Measuring Mission) را با سری داده‌های شبکه‌بندی شده با تفکیک مکانی ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی (IS0902) که شامل ۱۸۸ ایستگاه همدیدی روی ایران بود (طرح APHRODITE) مقایسه کردند. بررسی‌های آنها بر کل کشور، منطقه کوه‌های

نشان‌دهنده وضعیت اقلیمی حدی و تصمیم‌گیری است. باوجوداین 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. بنابراین نیاز به برآورد داده‌های بارش با تراکم و دقت مناسب برای کاربردهای عملی، کاملاً احساس می‌شود. امروزه یکی از منابع 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 که در ادامه به برخی از مراجع مرتبط اشاره خواهد شد. هر یک از آنها روش خاص خود را در واسنجی، وزن دادن و ترکیب منابع و داده‌های گوناگون دارند.

برای استفاده از این سری داده‌ها، ابتدا لازم است که کیفیت و ویژگی‌های خطای آنها در در مکان‌های متفاوت ارزیابی شود. چنین تحلیل‌ها و ارزیابی‌هایی راهنمای خوبی برای استفاده کنندگان هستند تا بتوانند برای کاربرد خود مناسب‌ترین محصول را انتخاب کنند. از طرفی، اگر این بررسی‌ها منجر به شناخت منابع خطا و تصحیح و کاهش خطا شود، برای بهبود و توسعه روش تولید داده در آینده بسیار مفید خواهد بود.

هدف از این مقاله بررسی محصول ماهواره‌ای «برآورد بارش با اطلاعات سنجش از دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی» با نام اختصاری PERSIANN (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰) در مقایسه با داده‌های باران‌سنج‌های زمینی است. توضیح روش برآورد بارش توسط این محصول در بخش ۲-۱ عرضه خواهد شد.

به علت پتانسیل بالایی که محصولات ماهواره‌ای برای کاربرد وسیع در زمینه‌های گوناگون دارند، اخیراً کوشش‌های بسیاری در زمینه تحقیق در دقت اجرا و برآورد و محاسبه خطای این محصولات صورت گرفته است که در اینجا فقط به بعضی از آنها اشاره می‌شود.

ماهواره‌های زمین‌همگام (Geosynchronous) و ماهواره‌های مدارپایین (Low Earth Orbit) تقسیم می‌شوند. ماهواره‌های زمین‌همگام داده‌های امواج مرئی و امواج فرسرخ را با تفکیک به ترتیب ۱ تا ۴ کیلومتر اندازه‌گیری می‌کنند. با وجود اینکه ماهواره‌های زمین‌همگام تقریباً کل کره زمین را پوشش می‌دهند ولی برای افزایش کیفیت داده‌ها از داده‌های ماهواره‌های مدار پایین که عموماً در مدارهای نزدیک به قطب و در ارتفاع پایین‌تر حرکت می‌کنند ولی پوشش کامل و پیوسته‌ای از کل کره زمین ندارند، استفاده می‌شود. ماهواره‌های مدارپایین علاوه بر امواج مرئی و فرسرخ، امواج غیر فعال ریزموج (Passive Micro Wave) را نیز اندازه‌گیری می‌کنند. اصلی‌ترین ابزارهای موجود در ماهواره‌های مدارپایین که برای تولید داده‌های بارش مورد استفاده قرار می‌گیرند ابزارهای متفاوت اندازه‌گیری امواج غیر فعال ریزموج هستند. البته روش‌هایی که فقط مبتنی بر داده‌های امواج مرئی و فرسرخ هستند با وجود اینکه اطلاعات نسبتاً خوبی در مورد بود یا نبود و همچنین ویژگی‌های ابر می‌دهند، ولی برای برآورد رویدادهای منفرد بارش کافی نیستند. ترکیب داده‌های مرئی و فرسرخ (که اندازه‌گیری پیوسته ولی غیر مستقیم دارند) و داده‌های امواج غیر فعال ریزموج (که اندازه‌گیری مستقیم ولی گسسته دارند) نتایج برآورد بارش را بهبود می‌دهند. در واقع داده‌های امواج غیر فعال ریزموج برآورد بارش در زمان نزدیک به حال‌حاضر را بهبود می‌دهد، درحالی‌که داده‌های مرئی و فرسرخ برای برآورد بلندمدت بارش مناسب‌تر است.

الگوریتم PERSIANN با استفاده از داده‌های مرئی و فرسرخ و روش شبکه عصبی مصنوعی ابتدا دمای درخشندگی قله ابر را در هر یک از سلول‌های شبکه برآورد می‌کند، سپس با استفاده از داده‌های امواج غیر فعال ریزموج داده‌های دمای درخشندگی قله ابر را با روش احتمال-تطابق واسنجی می‌کند و آهنگ بارش را

زاگرس و کرانه دریای خزر صورت گرفت. نتایج نشان داد که این محصول بارش سالانه و فصلی را روی کل ایران و به‌ویژه در منطقه کوهستانی زاگرس و کرانه دریای خزر کم برآورد می‌کند.

بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) بارش فصلی PERSIANN را با داده‌های زمینی شبکه‌بندی شده طرح APHRODITE مقایسه کردند و نشان دادند که با وجود اینکه این محصول بارش پاییزه را کم‌برآورد و بارش بهاره را بیش برآورد می‌کند ولی الگوی کلی بارش پاییزه را به‌خوبی شناسایی می‌کند. نقاط اشتراک و افتراق این پژوهش با بررسی حاضر در بند ۲-۳ آمده است.

غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۹۰) داده‌های بارش روزانه PERSIANN و داده‌های به‌دست آمده از روش‌های گوناگون درون‌یابی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های منطقه شمال خراسان برای ایستگاه بجنورد را با داده‌های دیدبانی شده در ایستگاه مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که ضریب همبستگی داده‌های PERSIANN با داده‌های دیدبانی بیشتر از ضریب همبستگی داده‌های درون‌یابی و داده‌های دیدبانی است.

در بخش دوم این مقاله در مورد داده‌های بارش محصول PERSIANN و همین‌طور در مورد داده‌های باران‌سنجی سطح زمین توضیح داده خواهد شد. بخش دوم همچنین شامل روش بررسی، نتایج و بحث آنها است. بخش سوم دربردارنده خلاصه و نتیجه کلی است.

۲ روش تحقیق

۱-۲ داده‌های PERSIANN

اندازه‌گیری بارش در سطح جهانی به‌ویژه برای کاربردهای نزدیک به حال‌حاضر به توانایی سامانه‌های ماهواره‌ای در تولید داده و فاصله زمانی دیدبانی در مقیاس جهانی بستگی دارد. سامانه‌های ماهواره‌ای که چنین داده‌هایی را اندازه‌گیری می‌کنند به دو گروه اصلی

شرقی که شامل ایران می‌شود جمع بارش روزانه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ به دست آمد.

۲-۲ داده‌های باران‌سنجی

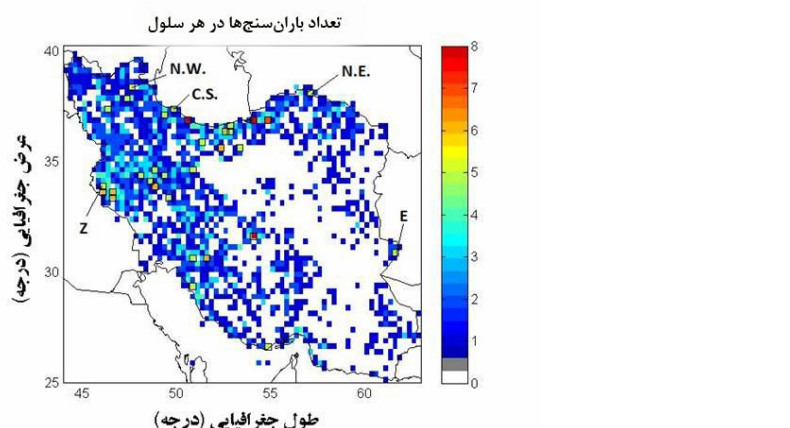
در این بررسی بیش از دو هزار سری داده بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی (اعم از همدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی) در سراسر ایران بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ استفاده شده است. در واقع یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های بین روش کار این مقاله با روش به کار رفته در تحقیقات قبلی (جوانمرد و همکاران، ۲۰۱۰؛ بارانی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰) روی ایران این است که تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی بسیار بیشتر از دو بررسی قبلی است. ابتدا مختصات مکانی (طول و عرض جغرافیایی) ایستگاه‌ها بررسی و ایستگاه‌هایی که مشکوک به نظر می‌رسید از داده‌ها حذف شد. شکل ۱ توزیع ایستگاه‌های باران‌سنجی را در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد. به طوری که ملاحظه می‌شود ایستگاه‌ها در مناطق کوهستانی و کوه‌پایه‌های البرز و زاگرس دارای بیشترین تراکم و در مناطق کویری در بسیاری از مناطق باران‌سنج‌ها بسیار پراکنده‌اند.

۲-۳ روش بررسی و ارزیابی

چون داده‌های ماهواره‌ای به صورت شبکه‌ای است به منظور ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای بارش ابتدا ایران که بین عرض جغرافیایی ۲۵° تا ۴۰° شمالی و طول جغرافیایی ۴۴° تا ۶۳° شرقی قرار گرفته است به صورت یک شبکه منظم با تقسیم‌بندی به مربع‌های ۰/۲۵° × ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی در آمد. سپس بارش روزانه برای هر یک از مربع‌های شبکه با استفاده از میانگین حسابی ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در هر یک از مربع‌ها به دست آمد. واضح است که در پاره‌ای از مربع‌ها هیچ باران‌سنجی وجود نداشت بنابراین آن مربع‌ها از محاسبات خارج شدند

در هر ساعت برآورد می‌سازد. در واقع این سامانه از روش تقریب تابع شبکه عصبی استفاده کرده و با استفاده از تصویر فرسوخ دمای درخشندگی که با ماهواره زمین‌همگام در هر ۳۰ دقیقه تهیه می‌شود، آهنگ بارش را در هر سلول ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی برآورد می‌کند. در ابتدا سامانه یک آرایه سلولی فرسوخ با یک پنجره متحرک ۵×۵ با مرکزیت سلول اصلی رسم می‌کند. سپس پنج کمیت: دمای درخشندگی هر سلول، میانگین دمای درخشندگی سلولی ۳ × ۳، انحراف معیار دمای درخشندگی سلولی ۳ × ۳، میانگین دمای درخشندگی سلول ۵ × ۵ و انحراف معیار دمای درخشندگی سلولی ۵×۵ را در این پنجره حساب می‌کند. سپس از یک طرحواره طبقه‌بندی براساس شبکه عصبی برای دسته‌بندی پنج کمیت فوق برای تعداد زیادی گروه با خصوصیات سطح ابر متفاوت استفاده می‌کند. برای هر گروه یک تابع خطی چندمتغیره می‌سازد که ورودی را به خروجی یعنی آهنگ بارش ربط می‌دهد (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰).

واضح است که این رابطه آماری به علت عوامل زیادی همچون خواص ابر (مثلا نوع و ارتفاع و ضخامت) و همچنین شرایط جوئی توام با نبود اطمینان است. در واقع پارامترهای شبکه عصبی هرگاه که داده‌های موج کوتاه قابل دسترس باشد، تقریباً هر سه ساعت با روش آموزش، روزآمد می‌شوند. محصول بارش PERSIANN با تفکیک مکانی ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی و هر سه ساعت یکبار بین عرض جغرافیایی ۶۰° شمالی تا ۶۰° جنوبی و به صورت نزدیک به حال حاضر در دسترس است (در مرکز تحقیقاتی آب‌شناسی و سنجش از دور (Center of Hydrometeorology and Remote Sensing) CHRS سایت دانشگاه کالیفرنیا در ایرواین (WWW.UCL.EDU). در این بررسی از جمع بارش سه ساعته برای منطقه بین ۲۵° تا ۴۰° شمالی و ۴۴° تا ۶۳°



شکل ۱. توزیع و پراکندگی باران‌سنج‌ها روی ایران. تعداد باران‌سنج‌ها از یک عدد (رنگ آبی) تا هشت عدد (رنگ سرخ) در هر سلول مشخص شده است. سلول‌هایی که برای بررسی سری زمانی بارش ماهانه در مناطق گوناگون کشور انتخاب شده‌اند در این شکل مشخص شده است.

رشته کوه‌های زاگرس، کرانه دریای خزر، منتهی‌الیه مرز شرقی، شمال شرق و شمال غرب ایران بودند و بیش از پنج باران‌سنج داشتند، درحکم نمونه سری زمانی داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی با یکدیگر مقایسه شدند.

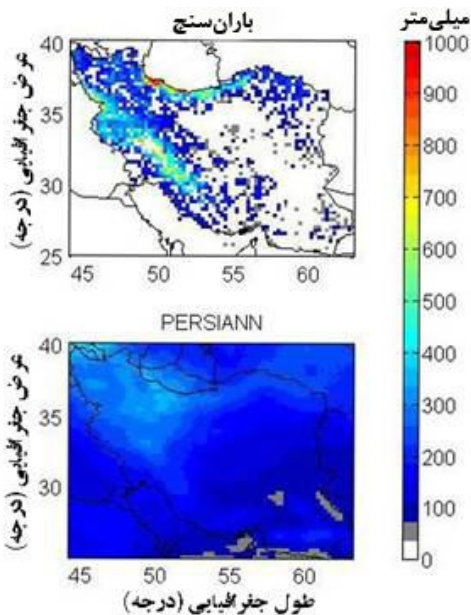
۲-۴ بحث نتایج

به طوری که قبلاً ذکر شد میانگین بارش سالانه باران‌سنجی و محصول PERSIANN برای هر یک از سلول‌های شبکه روی ایران طی دوره مورد بررسی محاسبه و مقایسه شد. شکل ۲ نتیجه این مقایسه را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که در قسمت بالای این شکل که مربوط به داده‌های باران‌سنجی است سلول‌های فاقد داده به رنگ سفید نشان داده شده‌اند. به طوری که ملاحظه می‌شود PERSIANN به شدت بارش سالانه را در نقاط گوناگون ایران کم برآورد می‌کند به طوری که بارش باران‌سنجی پاره‌ای از سلول‌های کرانه دریای خزر با مقدار بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر را PERSIANN حداکثر حدود ۵۰۰ میلی‌متر برآورد می‌کند. از طرفی این محصول ماهواره‌ای بارش را در مناطق خشک کویری بیش برآورد می‌کند. با وجود این PERSIANN الگوی کلی مکانی توزیع بارش را به خوبی

و بررسی فقط معطوف به مربع‌هایی شد که حداقل یک باران‌سنج در آنها وجود داشت.

با جمع بارش روزانه در هر مربع، بارش ماهانه و سالانه باران‌سنجی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ محاسبه شد. ابتدا میانگین بارش سالانه باران‌سنجی و ماهواره‌ای برای هر یک از سلول‌های شبکه طی دوره آماری ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ محاسبه شد. سپس توزیع پراکندگی بارش ماهانه باران‌سنجی و ماهواره‌ای برای کل سلول‌هایی که دارای باران‌سنج هستند رسم شد. برای مقایسه دقیق‌تر توزیع پراکندگی بارش ماهانه سلول‌هایی که حداقل پنج باران‌سنج داشتند نیز رسم شد. واضح است هرچه تعداد باران‌سنج‌های موجود در سلول‌های شبکه بیشتر باشد، نتیجه دقیق‌تر است اما تعداد باران‌سنج‌های موجود محدودند. بررسی‌های صورت گرفته در نقاط دیگر جهان (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰؛ حبیب و همکاران، ۲۰۰۹؛ ویلارینی، ۲۰۱۰) با توجه به شرایط توپوگرافی و داده‌های موجود آستانه‌های متفاوتی را در نظر گرفته‌اند. در این بررسی آستانه ۵ باران‌سنج در هر سلول در نظر گرفته شد. در نهایت برای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای در شرایط اقلیمی و مناطق گوناگون ایران، پنج سلول که در غرب در

مبنای مقایسه بهتری برای برآورد بارش ماهواره‌ای در نظر گرفته شود، در مرحله بعد فقط سلول‌هایی از شبکه که حداقل پنج تا یا بیشتر باران‌سنج در آنها قرار داشت در نظر گرفته شد. با توجه به شکل ۱ تعداد ۳۲ سلول در منطقه موجود است که در آنها حداقل پنج باران‌سنج وجود دارد. شکل ۴ پراکنش بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی را در این سلول‌ها نشان می‌دهد. مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که میزان کم‌برآورد PERSIANN در این ۳۲ سلول بیش از کل سلول‌ها است (شیب خط برازش شده در شکل ۴ کمتر از شکل ۳ است). در واقع شاید علت این تفاوت، وجود کسر بزرگی از این ۳۲ سلول در مناطق کرانه دریای خزر و دامنه‌های زاگرس باشد. ضریب همبستگی بین داده‌ها در شکل ۴ برابر $+0/2598$ است که در سطح $0/01$ معنی‌دار است.



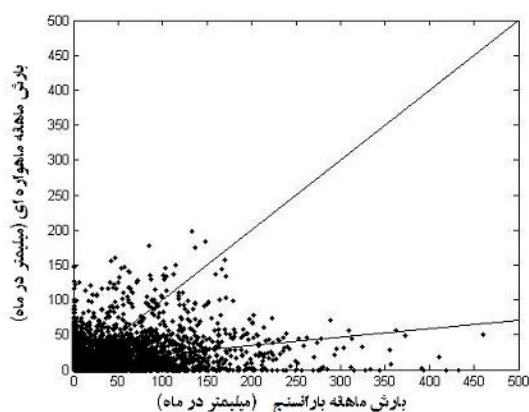
شکل ۲. مقایسه میانگین بارش سالانه داده‌های باران‌سنجی و محصول ماهواره‌ای PERSIANN رنگها روی نقشه ایران نشان‌دهنده مقدار میانگین بارش سالانه به ترتیب از زیر ۱۰۰ میلی‌متر (رنگ سفید و خاکستری) تا بالای ۱۰۰۰ میلی‌متر (رنگ سرخ) است.

تشخیص می‌دهد، به طوری که اختلاف بین مناطق مرطوب کرانه دریای خزر و منطقه کوهستانی زاگرس و البرز با سایر مناطق بسیار واضح است. این موضوع نشان می‌دهد که ممکن است بتوان با تشخیص درست منابع خطا و تصحیح آن، برآوردهای ماهواره‌ای روی ایران را بهبود بخشید. این نتیجه با نتایج به دست آمده بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) که برای فصل پاییز به دست آمده هم‌خوانی دارد. جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) نیز نتیجه تقریباً مشابهی برای مقایسه داده‌های TRMM و APHRODITE به دست آوردند.

در مرحله بعد برای ارزیابی بارش ماهانه روی ایران نمودار پراکنش داده‌های بارش ماهانه PERSIANN و داده‌های بارش ماهانه باران‌سنجی در همه سلول‌های شبکه که حداقل یک باران‌سنج در آنها وجود داشت رسم شد. نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود PERSIANN بارش ماهانه را به طور محسوسی کم‌برآورد می‌کند. برای به دست آوردن ضریب همبستگی بین بارش ماهانه ماهواره‌ای و باران‌سنجی فقط ماه‌هایی در نظر گرفته شد که هم ماهواره و هم باران‌سنج در سلول‌های شبکه داده داشتند. ضریب همبستگی بارش ماهانه باران‌سنج و ماهواره برابر $+0/3053$ به دست آمد که در سطح $0/01$ معنی‌دار است.

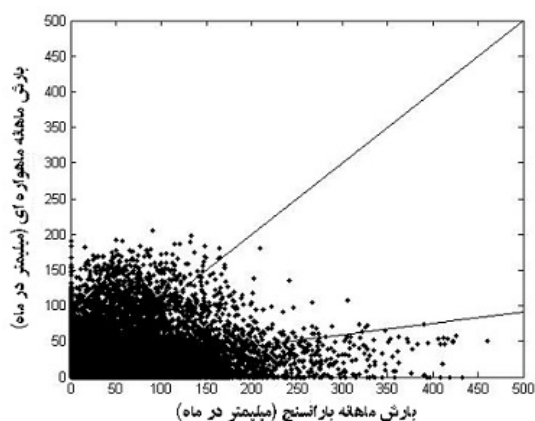
البته باید به خاطر داشت که باران‌سنج‌ها هم مانند هر وسیله اندازه‌گیری دیگری دارای خطا هستند. از طرفی خطاهای تصادفی (از جمله خطاهای انسانی) را می‌توان با میانگین‌گیری چند دیدبانی در یک گستره مکانی (یک سلول شبکه) کاهش داد، حتی اگر نمونه‌های دیدبانی به خوبی اندازه‌گیری نشده باشد. البته هرچه تعداد باران‌سنج‌های موجود در سلول بیشتر باشد، دقت بررسی بیشتر خواهد بود. باین حال حداقل تعداد باران‌سنج‌های لازم در هر سلول با توجه به توپوگرافی، شرایط اقلیمی و بضاعت داده‌های موجود تعیین می‌شود. پس برای اینکه

نشان می‌دهد. در ماه دسامبر سال ۲۰۰۴ (ماه ۲۴ در سری داده‌های ۶۰ ماهه)، داده‌های PERSIANN روی کل منطقه ایران دارای خلا است و در شکل‌های ۵ تا ۹ برای این ماه داده‌ای نمایش داده نشده است. محور افقی در این شکل‌ها، ماه‌های سال از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ و محور قائم جمع بارش ماهانه در هر سلول و در هر یک از ماه‌ها است.



شکل ۴. پراکنش بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی در سلول‌هایی که حداقل پنج ایستگاه باران‌سنجی دارند.

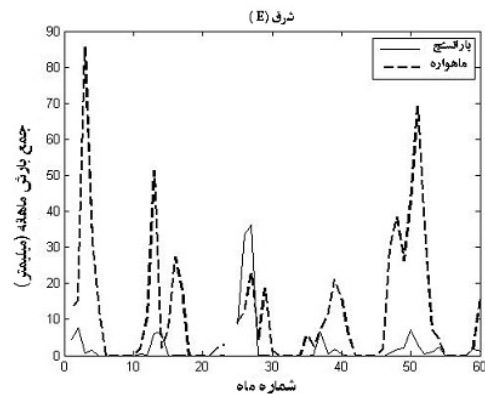
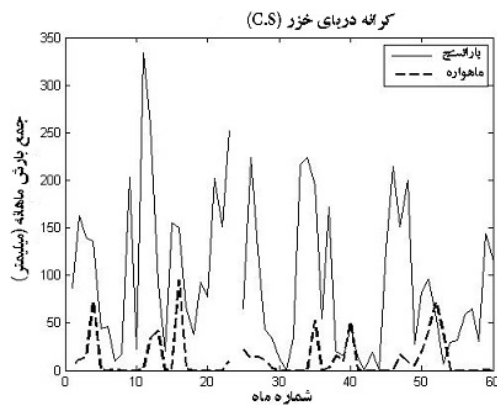
به طوری که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود داده‌های باران‌سنجی نشان می‌دهد که در منطقه شرق ایران بارش ماهانه به مقدار بسیار کم (معمولاً کمتر از ۱۰ میلی‌متر) و منحصر در زمستان اتفاق می‌افتد. میانگین بارش سالانه داده‌های باران‌سنجی در این سلول طی دوره مورد بررسی کمتر از ۵۵ میلی‌متر است. با وجود اینکه PERSIANN الگوی کلی تغییرات زمانی بارش ماهانه در منطقه بسیار خشک واقع در شمال شرق را تقریباً درست نشان می‌دهد ولی مقدار آن را کاملاً بیش برآورد می‌کند. شکل ۶ مربوط به سلولی واقع در کرانه غربی دریای خزر با مختصات طول و عرض جغرافیایی $49/875E$ و $37/375N$ است. به طوری که انتظار می‌رود در این منطقه مقدار بارش زیاد و در همه ماه‌های سال پراکنده شده است. میانگین بارش سالانه در این سلول طی دوره مورد بررسی حدود



شکل ۳. پراکنش داده‌های بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی برای همه سلول‌های شبکه که دارای حداقل یک باران‌سنج هستند.

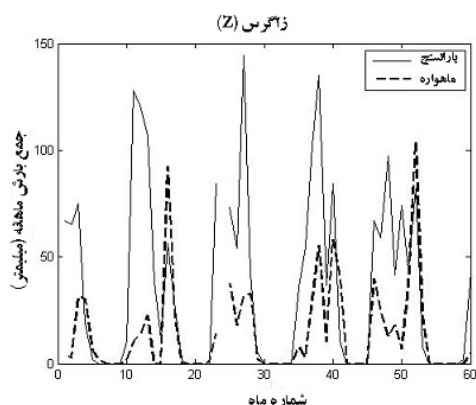
سپس به منظور ارزیابی و مقایسه محصول PERSIANN در پاره‌ای از مناطق ایران با شرایط اقلیمی و توپوگرافی متفاوت از ۳۲ سلول فوق، پنج سلول در مناطق گوناگون کشور انتخاب شد. در واقع این روش یکی از مهم‌ترین وجوه تفاوت این بررسی با بررسی‌های قبلی صورت گرفته روی ایران است. این بررسی برای هر ۳۲ سلول صورت گرفت اما به منظور خلاصه‌سازی، فقط نتایج پنج سلول به نمایندگی از شرایط متنوع اقلیمی ایران عرضه شده است. یک سلول در منطقه بسیار خشک شرق (با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $61/625E$ و $30/875N$)، یکی در کرانه دریای خزر در شمال (با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $49/875E$ و $37/375N$) (C. S.)، با اقلیم مرطوب، یکی در کوه‌های زاگرس در غرب (با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $46/625E$ و $33/625N$) (Z)، با اقلیم کوهستانی، یکی در منطقه مرطوب شمال شرق (با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $57/125E$ و $38/125N$) (NE)، و دیگری در ناحیه مرطوب سرد شمال غرب (با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $47/375E$ و $38/375N$) (NW) در نظر گرفته شد. شکل‌های ۵ تا ۹ مقایسه سری زمانی بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی را طی دوره مورد بررسی

می‌کند. شکل ۹ سلولی در ناحیه مرطوب سرد شمال غرب با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $47/375E$ و $38/375N$ را نشان می‌دهد. میانگین بارش سالانه در این منطقه حدود ۳۸۰ میلی‌متر است و با وجود اینکه ماه‌های زمستان پُرباران‌تر هستند ولی بارش تقریباً در تمام ماه‌های سال وجود دارد. به طوری که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود بر خلاف شکل قبل در این سلول PERSIANN ماه‌های آخر زمستان و اوایل بهار را بیش برآورد می‌کند. در واقع چون این منطقه پُراتفباع، محل تلاقی کوه‌های البرز و زاگرس است و اغلب در زمستان و اوایل بهار قله این کوه‌ها پوشیده از برف است امکان دارد که این پوشش



شکل ۵. مقایسه سری زمانی بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی طی دوره ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۷ در سلولی با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $61/625E$ و $30/875N$ واقع در شرق (E) ایران.

شکل ۶. مانند شکل ۵ ولی برای سلولی واقع در کرانه دریای خزر (C.S.) به مختصات طول و عرض جغرافیایی $49/875E$ و $37/375N$. برف در خطای برآورد بارش موثر باشد.



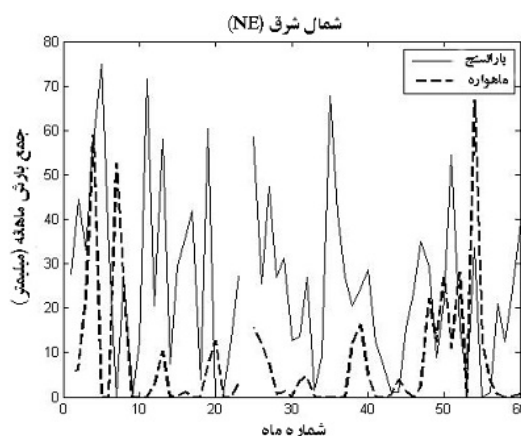
شکل ۷. مانند شکل ۵ ولی برای سلولی واقع در منطقه کوهستانی زاگرس (Z) در غرب با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $46/625E$ و $33/625N$.

۱۲۰۰ میلی‌متر است. بر خلاف شکل قبل، شکل ۶ نشان می‌دهد که PERSIANN بارش را در این منطقه به شدت کم برآورد می‌کند به طوری که مقدار بارش ماهانه را بین صفر تا حداکثر نصف مقدار گزارش زمینی برآورد می‌کند. شکل ۷ سلولی واقع در غرب در منطقه کوهستانی زاگرس با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $46/625E$ و $33/625N$ را نشان می‌دهد. در این منطقه قسمت اعظم بارش سالانه در ماه‌های زمستان و بهار اتفاق می‌افتد و تابستان‌ها کاملاً خشک است. به طوری که ملاحظه می‌شود PERSIANN الگوی تغییرات بارش ماهانه را در این سلول به خوبی نشان می‌دهد، ولی باز هم نسبت به داده‌های زمینی، بارش را کم برآورد می‌کند. البته در مقایسه با سلول واقع در کرانه دریای خزر میزان خطای کمتری نشان می‌دهد. شکل ۸ مربوط به سلولی در منطقه مرطوب شمال شرق ایران با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $57/125E$ و $38/125N$ است. با وجود اینکه میانگین بارش سالانه در این منطقه کمتر از منطقه کرانه دریای خزر است، ولی بارش در همه ماه‌های سال پراکنده است. به طوری که شکل ۸ نشان می‌دهد با وجود اینکه PERSIANN تغییرات بارش ماهانه را کمابیش درست نشان می‌دهد ولی مقدار بارش را کاملاً کم برآورد

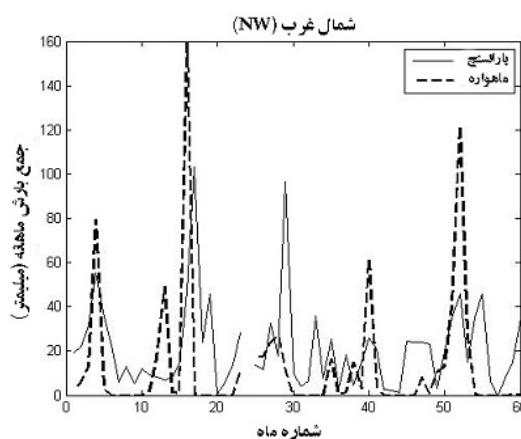
جغرافیایی و هر سه ساعت یکبار بین عرض جغرافیایی 60° شمالی تا 60° جنوبی و به صورت برخط در دسترس است. از جمع بارش سه ساعته برای منطقه بین 25° تا 40° شمالی و 44° تا 63° شرقی که شامل ایران می شود جمع بارش روزانه و سپس جمع بارش ماهانه طی سال های 2003 تا 2007 به دست آمد. برای مقایسه با داده های زمینی از بیش از دو هزار ایستگاه هواشناسی (اعم از همدیدی، اقلیم شناسی و باران سنجی) در سراسر ایران استفاده شد. ابتدا ایران که بین عرض جغرافیایی 25° تا 40° شمالی و طول جغرافیایی 44° تا 63° شرقی قرار گرفته است به صورت یک شبکه منظم با تقسیم بندی به مربع های $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ طول و عرض جغرافیایی در آمد. سپس بارش روزانه برای هر یک از مربع های شبکه با استفاده از میانگین حسابی ایستگاه های باران سنجی موجود در هر یک از مربع ها به دست آمد. بررسی فقط در مورد سلول هایی از شبکه صورت گرفت که حداقل دارای یک باران سنج بودند. ابتدا میانگین بارش سالانه باران سنجی و ماهواره ای برای هر یک از سلول های شبکه طی دوره آماری 2003 تا 2007 محاسبه شد. سپس توزیع پراکندگی بارش ماهانه باران سنجی و ماهواره ای برای کل سلول هایی که دارای باران سنج هستند رسم شد. برای مقایسه دقیق تر توزیع پراکندگی بارش ماهانه سلول هایی که حداقل پنج باران سنج داشتند نیز رسم شد. در نهایت برای ارزیابی داده های ماهواره ای در مناطق گوناگون ایران برای نمونه، داده های بارش ماهانه پنج سلول در رشته کوه های زاگرس، کرانه دریای خزر، شرق، شمال شرق و شمال غرب ایران که بیش از پنج باران سنج داشتند با یکدیگر مقایسه شد.

خلاصه نتایج به صورت زیر است:

۱. PERSIANN بارش سالانه را در اغلب نقاط گوناگون ایران به شدت کم برآورد می کند، به طوری که بارش باران سنجی در پاره ای از سلول های کرانه دریای



شکل ۸. مانند شکل ۵ ولی برای سلولی واقع در منطقه مرطوب شمال شرق (NE) با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $57/125^{\circ}E$ و $38/125^{\circ}N$.



شکل ۹. مانند شکل ۵ ولی برای سلولی در منطقه مرطوب سرد شمال غرب (NW) با مرکزیت طول و عرض جغرافیایی $47/375^{\circ}E$ و $38/375^{\circ}N$.

۳ نتیجه گیری

در سال های اخیر، داده های ماهواره ای برای برآورد بارش در مناطق گوناگون جهان مورد استفاده قرار می گیرد. تاکنون محصولات متنوعی برحسب نوع داده و روش برآورد با تفکیک مکانی و زمانی متفاوتی در دنیا عرضه شده و مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، ارزیابی بارش ماهانه محصول ماهواره ای PERSIANN روی ایران است. محصول بارش PERSIANN به صورت شبکه ای است با تفکیک مکانی 0.25° طول و عرض

تشکر و قدردانی

در اینجا از سازمان هواشناسی ایران و معاون محترم آن جناب آقای دکتر زمانیان که داده‌های هواشناسی را در اختیار اینجانب قرار داده و موجبات اجرای این بررسی را فراهم آورده‌اند تشکر می‌کنم. در ضمن پژوهش حاضر در طول مدت فرصت مطالعاتی نویسنده در مرکز تحقیقاتی آب‌شناسی و سنجش از دور (CHRS) دانشگاه کالیفرنیا ارواین UCI به رهبری آقای پروفیسور سروشیان و با کمک‌های بی دریغ ایشان صورت گرفته است که همین‌جا از ایشان نیز نهایت تشکر و امتنان را دارم.

منابع

بارانی‌زاده، ا.، م. ب.، بهیار، جوانمرد، س.، و عابدینی، ی.، ۱۳۹۰، صحت‌سنجی برآورد بارندگی الگوریتم ماهواره‌ای PERSIANN با داده‌های بارش زمینی شبکه‌بندی شده APHRODITE در ایران: کنفرانس فیزیک ایران، فیزیک میان‌رشته‌ای، ۲۶۱۵-۲۶۱۸. غزنفری مقدم، م. ص.، علیزاده، ا.، موسوی بایگی، س. م.، فرید حسینی، ع.، و بنایان اول، م.، ۱۳۹۰، مقایسه مدل PERSIANN با روش‌های درون‌یابی به‌منظور کاربرد در تخمین مقادیر بارندگی روزانه (مطالعه موردی: خراسان شمالی): نشریه آب و خاک دانشگاه فردوسی مشهد (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۱)، ۲۰۷-۲۱۵.

Ebert, E. E., Janowiak, J. E., and Kidd, C., 2007, Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models: Bull. Am. Meteorol. Soc., 88, 47-64.

Gottschalk, J., Meng, J., Rodell, M., and Houser, P., 2005, Analysis of multiple precipitation products and preliminary assessment of their impact on global land data assimilation system and land surface states: J. Hydrometeorol., 6, 573-598.

Habib, E., Henschke, A., and Adler, R., 2009, Evaluation of TMPA satellite-based research

خزر با مقدار بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر را حداکثر حدود ۵۰۰ میلی‌متر برآورد می‌کند.

۲. این محصول ماهواره‌ای بارش را در مناطق خشک کویری بیش‌برآورد می‌کند.

۳. به‌طور کلی PERSIANN الگوی کلی توزیع بارش را به‌خوبی تشخیص می‌دهد، به‌طوری‌که تفاوت بین مناطق مرطوب کرانه دریای خزر و منطقه کوهستانی زاگرس و البرز با سایر مناطق واضح است. این موضوع نشان می‌دهد که ممکن است بتوان با تشخیص درست منابع خطا و تصحیح آن برآوردهای ماهواره‌ای روی ایران را بهبود بخشید.

۴. ضریب همبستگی داده‌های بارش ماهانه PERSIANN و داده‌های بارش ماهانه باران‌سنجی روی ایران در همه سلول‌های شبکه که حداقل یک باران‌سنج در آنها وجود داشت در سطح معنی‌داری 0/01 برابر با $+0/3053$ به‌دست آمد.

۵. تعداد ۳۲ سلول منطقه با حداقل پنج باران‌سنج در آنها وجود دارد. میزان کم برآورد PERSIANN در این ۳۲ سلول بیش از کل سلول‌ها است (شیب خط برازش شده در شکل ۴ کمتر از شکل ۳ است) و ضریب همبستگی بین داده‌ها برای این سلول‌ها در سطح معنی‌داری 0/01 برابر با $0/2598$ است.

مقایسه سری زمانی بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی در پنج سلول منتخب دارای حداقل پنج باران‌سنج طی دوره مورد بررسی نشان می‌دهد، با وجود اینکه PERSIANN الگوی کلی تغییرات زمانی بارش ماهانه در اغلب مناطق را تقریباً درست نشان می‌دهد، ولی مقدار بارش را در شرق و شمال غرب زیاد، و در کرانه دریای خزر، شمال شرق و کوه‌های زاگرس کم برآورد می‌کند که شدت خطا در کرانه دریای خزر بیش از مناطق دیگر است.

- Sohn, B. J., Han, H. J., and Seo, E. K., 2010, Validation of satellite-based high-resolution rainfall products over the Korean Peninsula using data from a dense rain gauge network: *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **49**, 701–714.
- 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: *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **81**, 2035-2046.
- Tian, Y., Peters-Lidard, C. D., Choudhury, B. J., and Garcia, M., 2007, Multitemporal analysis of TRMM-based satellite precipitation products for land data assimilation applications: *J. Hydrometeorol.*, **8**, 1165-1183.
- Villarini, G., 2010, Evaluation of the research-version TMPA rainfall estimate at its finest spatial and temporal scales over Rome: *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **49**, 2591-2602.
- and real-time rainfall estimates during six tropical related heavy rainfall events over Louisiana: USA, *Atmospheric Research*, **94**(3), 373-388.
- 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: *Adv. Geosci.*, **25**, 119–125.
- 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: *J. Hydrometeorol.*, **5**, 487–503.
- Ruane, A. C., and Roads, J. O., 2007, 6-hour to 1-year variance of five global precipitation sets: *Earth Interact.*, **11**, 1-29.