

ارزیابی محصولات بارش GPM و تصویربرداری رطوبت خاک با استفاده از داده‌های SMAP در شمال غرب ایران

احسان تقی زاده^۱، و فرهنگ احمدی گیوی^{۲*}

^۱دانشجوی دکتری هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران ایران
^۲دانشیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۸)

چکیده

ماهواره فعال/غیرفعال رطوبت خاک (SMAP)، برای نقشه‌برداری و پایش رطوبت سطحی خاک توسعه یافته است و در نقشه‌برداری طغیان رودخانه‌ها استفاده می‌شود. از طرف دیگر، مأموریت اندازه‌گیری جهانی بارش (GPM)، اولین ماهواره‌ای است که هدف آن اندازه‌گیری بارش باران و برف سبک و همچنین باران‌های شدید حاره‌ای است. بازیابی‌های یکپارچه چندماهواره‌ای برای GPM (IMERG)، برآوردهای شبه‌کره‌ای ($60^{\circ}\text{S}-60^{\circ}\text{N}$) از بارش را فراهم می‌آورد.

در این مطالعه، تخمین بارش روزانه سه اجرای IMERG (نسخه ۴) با داده‌های بارش ۲۲ ایستگاه هم‌مدیدی سازمان هواشناسی کشور واقع در شمال غرب و غرب ایران، برای دوره آوریل ۲۰۱۶ تا فوریه ۲۰۱۷ مقایسه می‌شوند. کمیت‌های راست‌آزمایی برای دو آستانه وقوع بارش ($0/1 \text{ mm/day}$) و نیز بارش‌های متوسط یا بیشتر (5 mm/day) محاسبه شدند. نتایج، فروتخمین این سه اجرا (محصولات) را برای بارش‌های بیشتر از 5 mm/day نشان می‌دهند، اگرچه میزان این فروتخمین برای محصول IMERG-F نسبت به دو محصول دیگر کمتر است. همچنین در آستانه دوم، احتمال آشکارسازی (POD) و امتیاز مهارتی پیرس (PSS) بیانگر کارایی بهتر محصول IMERG-F نسبت به دو محصول دیگر است. کمیت‌های نسبت هشدارهای نادرست (FAR) و احتمال آشکارسازی نادرست (POFD) برای هر سه محصول تقریباً یکسان است. به علاوه، در این تحقیق با استفاده از این دو سامانه ماهواره‌ای، نقشه‌برداری ماهواره‌ای سیل شدید در شمال غرب ایران در ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ (۲۵ فروردین ۱۳۹۶) انجام شده است. مطابقت تغییرات محصول رطوبت خاک حاصل از SMAP با سامانه بارشی آشکارسازی شده توسط GPM، دلالت بر امکان استفاده عملیاتی ترکیبی این دو مأموریت برای ارزیابی و پایش سیل دارد.

واژه‌های کلیدی: ماهواره‌های GPM و SMAP، بارش، رطوبت خاک، سیل

۱ مقدمه

داده‌های بارندگی با تفکیک مکانی و زمانی زیاد، به‌عنوان ورودی کلیدی در مدل‌های آب‌شناسی و هواشناسی برای افزایش دقت پیش‌بینی مدل‌ها و همچنین مدیریت منابع آب ضروری هستند (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵). ایستگاه‌های باران‌سنجی از نظر مکانی در بسیاری از مناطق جهان، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه‌ای مانند ایران، فاقد یک شبکه مترکم بوده و با توجه به نقطه‌ای بودن بارش اندازه‌گیری شده، این ایستگاه‌ها نمی‌توانند بارش را به‌صورت سطحی نمایش دهند و این محدودیت قابل توجهی برای کاربردهای آب‌شناختی است. بنابراین از آنجاکه ماهواره‌ها می‌توانند تصویر بهتری از توزیع باران و برف در سطح کره زمین نسبت به ایستگاه‌های زمینی، به‌ویژه در مناطقی با کمبود ایستگاه‌های زمینی، فراهم کنند؛ بنابراین استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای برای کاهش خسارات و تلفات سیل و همچنین به‌عنوان داده‌های ورودی در مدل‌های آب‌شناسی و هواشناسی مورد توجه است.

تاکنون تعدادی از محصولات بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف زمانی و مکانی منتشر و در دهه گذشته مطالعات زیادی درباره محصولات بارش ماهواره‌ای انجام شده است. برای نمونه، زی و همکاران (۲۰۰۷) کیفیت پنج خروجی بارش به‌دست‌آمده از ماهواره (Tropical TRMM (3B42-V6, 3B42-RT) Rainfall Measuring Mission) از خدمات هواشناسی آمریکا (NWS)، مرکز پیش‌بینی اقلیمی (CPC)، روش‌های ریخت‌نگاری (CPC MORPHing technique; CMORPH)، برآورد بارش از اطلاعات سنجش از دور با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks; PERSIANN) و اطلاعات آزمایشگاه

پژوهشی ناول (NRL) را در مقایسه با داده‌های ایستگاهی ارزیابی کردند و دریافتند که این محصولات ماهواره‌ای در مناطق با اقلیم مرطوب و فصل‌های مرطوب بهتر هستند. از سوی دیگر، مهارت کمی در برآورد بارش روی مناطق خشک و نیمه‌خشک آسیای میانی مشاهده می‌شود.

رنزولو و همکاران (۲۰۱۱)، سطوح میزان بارش روزانه در استرالیا را با به‌کاربردن یکی از محصولات مأموریت اندازه‌گیری باران حاره‌ای (TRMM)، به‌نام محصول بارش TRMM 3B42، بررسی کردند. این محصول در مطالعات مدل‌سازی جریان رودخانه و سیل برای مناطقی استفاده شده است که داده‌های باران‌سنج زمان واقعی پراکنده هستند (سو و همکاران، ۲۰۰۸ و هازاریکا و همکاران، ۲۰۰۷). فلمینگ و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که همبستگی زیادی بین داده‌های بارش TRMM و داده‌های شبکه‌ای ماهانه اداره هواشناسی استرالیا وجود دارد.

شریفی و همکاران (۲۰۱۶) تخمین بارش حاصل از سه محصول (Integrated Multi-satellitE IMERG Retrievals for GPM، 3B42، ERA-Interim) را در مناطق مختلف ایران بررسی کردند. نتایج میانگین‌گیری شده مکانی برای کل کشور ایران نشان داد که هر سه محصول تمایل به تخمین کمتر بارش نسبت به مقادیر ایستگاه‌های زمینی دارند، اما IMERG عملکرد بهتر و اریبی خیلی کمتری نسبت به دیگر محصولات دارد.

از طرف دیگر، رطوبت خاک بر میزان تبخیر-تعرق، نفوذ و رواناب حاصل از بارش تأثیر می‌گذارد و از این رو عامل مهمی در تعیین شدت رویدادهای سیل است (برای نمونه، بک و همکاران، ۲۰۰۹ و کاستر و همکاران، ۲۰۱۰). سیل در مقایسه با خشکسالی، آتش‌سوزی و زمین‌لغزه، تاکنون بیشترین سهم را در بلایای طبیعی داشته است. در دهه گذشته، تعداد زیادی از این سیل‌ها در کشورهای درحال توسعه آسیا و آفریقا رخ داده است که زیرساخت لازم برای کنترل حوزه سیل را ندارند. همچنین

از ترکیب داده‌های رطوبت خاک اندازه‌گیری شده با ماهواره، محصولات بارش در دسترس و همچنین اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک و توپوگرافی منطقه در مقیاس مکانی بزرگ، روشی را برای شناسایی خطر سیل در حوضه آبریز موری-دارلینگ (Murry-Darling) در استرالیا ارائه دادند. نتایج آنها براساس پارامترها و امتیازهای مهارتی تخمین زده شده، رضایت‌بخش بود.

با توجه به روند روبه‌رشد استفاده از محصولات رطوبت خاک ماهواره‌ای در مدل‌های عددی، در این پژوهش سعی شده است امکان استفاده عملیاتی از محصول رطوبت خاک SMAP در منطقه ایران بررسی شود. برای این منظور، سیل ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ در منطقه شمال‌غرب و غرب ایران انتخاب شد تا با ارزیابی کیفی تصاویر این ماهواره و تصاویر بارش GPM، روند تغییرات رطوبت خاک در این دوره کوتاه بررسی شود. در صورت دسترسی به داده‌های یک شبکه مترکم ایستگاهی، ارزیابی کمی محصول رطوبت خاک SMAP با دقت مناسب امکان‌پذیر است اما در حال حاضر، چنین داده‌هایی وجود ندارد.

محصولات IMERG به‌صورت داده‌های نزدیک به زمان واقعی، یعنی IMERG Early (IMERG-E) و IMERG Late (IMERG-L) و همچنین به‌صورت داده‌های پژوهشی پس از زمان واقعی، IMERG Final (IMERG-F)، بعد از تحلیل باران‌سنجی ماهانه، دریافت و استفاده می‌شوند. در این پژوهش، ابتدا تلاش شده است تا ارزیابی و مقایسه‌ای از عملکرد تخمین بارش این سه اجرای IMERG (نسخه ۴) روی مناطق شمال‌غرب و غرب ایران انجام شود. سپس با بررسی نقشه‌های رطوبت خاک حاصل از مأموریت SMAP برای سیل ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ در این منطقه، امکان‌سنجی استفاده از این داده‌ها برای کارهای پژوهشی ارزیابی شود. SMAP یک سنجنده ریزموج (microwave) است که توانایی نفوذ در ابر را

این مناطق فاقد شبکه مشاهداتی مناسب برای فراهم کردن اطلاعات لازم جهت پیش‌بینی و فعالیت‌های امدادرسانی سیل‌های بزرگ‌مقیاس هستند. از این‌رو، سنجش از دور ماهواره‌ای نقش مهمی در این مناطق بازی می‌کند. لکشمی و همکاران (۲۰۱۶) سیل‌های شدید تاریخی در کارولینای جنوبی در بازه ۷-۴ اکتبر ۲۰۱۵ را با استفاده از ماهواره اندازه‌گیری جهانی بارش GPM (Global Precipitation Measurement) و ماهواره فعال/غیرفعال رطوبت خاک (Soil Moisture SMAP (Active Passive نقشه‌برداری کردند. آنها نشان دادند که نقشه‌های تغییرات رطوبت خاک مشاهده شده با استفاده از SMAP، سازگار با تخمین‌های بارش حاصل از IMERG است؛ به طوری که بیشترین میزان رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه‌شان هم‌زمان با بیشترین میزان بارش مشاهده شده بود.

از دیگر کارهای انجام شده در خارج از کشور، می‌توان به گوارد داده‌های رطوبت خاک به مدل‌های هواشناسی و آب‌شناسی اشاره کرد (مانند کرو و ریو، ۲۰۰۹؛ هو و همکاران، ۲۰۱۰؛ واندروز و همکاران، ۲۰۱۴؛ بلنکنشپ و همکاران، ۲۰۱۵ و ماساری و همکاران، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸). سنسی و همکاران (۲۰۱۷)، برای بهبود پیش‌بینی سیل یک مدل آب‌شناسی (Continuum) که کاربرد عملیاتی در ایتالیا دارد، تأثیر داده‌گواری رطوبت خاک حاصل از Sentinel 1 (S1) را ارزیابی کردند. کار آنها روی یک حوضه آبریز مستعد سیل در ایتالیا برای دوره اکتبر ۲۰۱۴ تا فوریه ۲۰۱۵ انجام شده است. نتایج نشان داد که گوارد رطوبت خاک حاصل از S1، پیش‌بینی تخلیه (discharge) مدل را به‌خصوص برای جریان‌های بزرگ‌تر بهبود داده است. همچنین آنها بیان کردند تفکیک مکانی بالا، سهم قابل توجهی در سامانه داده‌گواری رطوبت خاک دارد، اما تفکیک زمانی مهم‌ترین نقش را دارد. کیم و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده

ذرات و شدت بارش فراهم می‌کند (هو و همکاران، ۲۰۱۴). از سوی دیگر، تابش سنج پایش مخروطی غیرفعال GMI (دراپر و همکاران، ۲۰۱۵)، دید یکپارچه‌ای از ستون بارش و به‌طور مؤثر، مجموع مقدار بارش مایع و جامد در داخل میدان دید ارائه می‌دهد.

محصولات تراز ۳ نسخه ۴ IMERG شامل داده‌های بارش باران و برف با تفکیک مکانی $1^\circ \times 1^\circ \times 0.1^\circ$ و تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه است که از ترکیب داده‌های ریزموج غیرفعال (PMW) و فرسرخ (IR) ماهواره‌های منظومه‌ای GPM تولید شده است و با تحلیل باران‌سنجی مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (Global Precipitation Climatology Center; GPCC) و اسنجی شده‌اند (اشنایدر و همکاران، ۲۰۰۸). محصولات IMERG به‌صورت رایگان و با تأخیر پنج‌ساعته برای کاربران (به‌منظور نقشه‌برداری مکان‌های مستعد سیل، زمین‌لغزه، مکان و شدت چرخندها و ...) در دسترس هستند. براساس نیاز کاربر و متناسب با مدت تأخیر و دقت داده‌ها، پردازش‌های مختلفی روی داده‌ها انجام می‌شود. از این‌رو، IMERG اجراهایی دارد که عبارت‌اند از: اجرای اول (Early)، تقریباً شش ساعت پس از زمان مشاهده؛ اجرای دیر (Late)، تقریباً هجده ساعت پس از زمان مشاهده و اجرای نهایی (Final)، تقریباً چهار ماه پس از زمان مشاهده. این اجراها به‌ترتیب با نمادهای IMERG-E، IMERG-L و IMERG-F نشان داده می‌شوند (هافمن و همکاران، ۲۰۱۵ الف و ب).

در حال حاضر، داده‌های IMERG از ۱۲ مارس ۲۰۱۴ تاکنون در دسترس هستند؛ ولی شایان ذکر است برخی از محصولات نسخه ۴، به‌دلیل تغییر داده‌های ورودی که IMERG از آنها تولید می‌شد، تا آخر فوریه ۲۰۱۷ و برخی دیگر از محصولات این نسخه، تا آخر نوامبر ۲۰۱۷ موجود است. آخرین نسخه IMERG، نسخه ۵ است که به‌تازگی منتشر شده است (هافمن و همکاران، ۲۰۱۷ الف و ب) و نگارندگان این مقاله، در حال ارزیابی این نسخه از مجموعه داده‌ها روی ایران هستند.

دارد و با وجود تفکیک مکانی کم آن (حدود ۴۰ km) در مقایسه با سنجنده‌های مرئی و فرسرخ (حدود ۱ km)، برای نقشه‌برداری طغیان رودخانه‌ها قابل استفاده است. تا آنجا که نگارندگان این مقاله اطلاع دارند، پژوهش خاصی در خصوص اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک توسط مأموریت SMAP روی ایران، انجام نشده است و از این جهت، این پژوهش گام نخست در داخل کشور خواهد بود.

۲ داده‌ها و روش کار

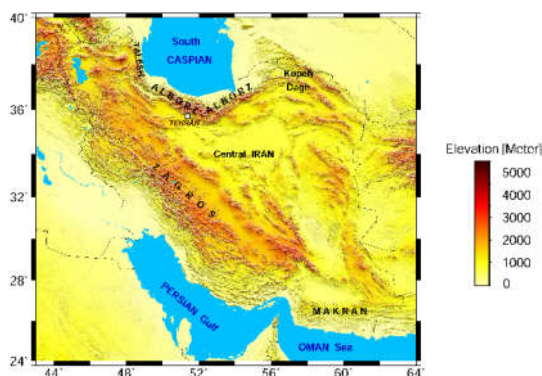
هر دو سنجنده بارش (GPM) و رطوبت خاک (SMAP)، در نوار ریزموج طیف الکترومغناطیس کار می‌کنند و بسته به طول موج، توانایی نفوذ متفاوتی از میان پوشش ابر دارند؛ هرچند مشاهدات ریزموج در زمینه تفکیک مکانی، نقطه ضعف دارند. تفکیک مکانی بیشتر سنجنده‌های ریزموج، دست کم یک مرتبه بزرگی کمتر از سنجنده‌های مرئی و نزدیک فرسرخ است. تفکیک مکانی MODIS از مرتبه ۲۵۰ m و تفکیک سنجنده‌های ریزموج بارش و رطوبت خاک ۴۰-۱۰ km است. مشاهدات بارش همراه با رطوبت خاک، شرایط اولیه لازم برای پیش‌بینی رویدادهای بزرگ مقیاس سیل را فراهم می‌کند (بیندلیش و همکاران، ۲۰۰۹).

۱-۲ مأموریت ماهواره اندازه‌گیری جهانی بارش (GPM)

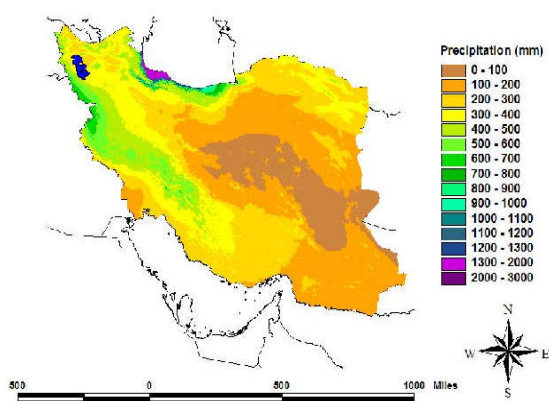
رصدخانه مرکزی GPM - مأموریت مشترک سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) و آژانس کاوش‌های هوافضای ژاپن (JAXA) - دو ابزار شامل رادار بارش دوبسامدی (Dual-frequency Precipitation Radar; DPR) که JAXA آن را ساخته است و تصویربرداری ریزموج GPM Microwave Imager; GMI) دارد. رادار فعال DPR با ارائه داده‌های سه‌بعدی از میان ستون جو، اطلاعاتی درباره توزیع اندازه

۲-۲ مأموریت ماهواره فعال/غیرفعال رطوبت خاک (SMAP)

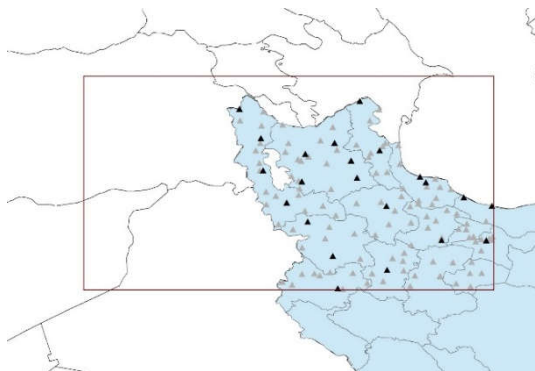
مأموریت ماهواره SMAP ناسا به‌طور مشخص برای نقشه‌برداری و پایش رطوبت سطحی خاک طراحی شده و توسعه یافته است (انتخابی و همکاران، ۲۰۱۰). این ماهواره، همچنین شامل یک رادار بانده L- با تفکیک زیاد بود که هم‌زمان اندازه‌گیری‌های پس‌پراکنش را تهیه می‌کرد. پیشرفت مهمی که در SMAP وجود داشت، ارائه محصول با افزایش تفکیک مکانی به ۹ km بود که با ترکیب مشاهدات فعال و غیرفعال به‌دست می‌آمد. این محصول با تفکیک زیاد، طیف وسیع‌تری از کاربردها را پشتیبانی می‌کرد. ماهواره SMAP در ۳۱ ژانویه ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شد و از اواخر آوریل ۲۰۱۵ شروع به فراهم کردن مشاهدات روزانه کرد. نتایج ارزیابی تابش‌سنج و همچنین محصول فعال/غیرفعال، دلالت بر کارایی خوب این سنجنده در ایستگاه‌های اعتبارسنجی داشت و هدف دستیابی به دقت اندازه‌گیری $0.04 \text{ m}^3/\text{m}^3$ را تأمین می‌کرد؛ یعنی سنجنده می‌توانست تا دست کم 0.04 مترمکعب آب را در هر مترمکعب خاک اندازه‌گیری کند (چان و همکاران، ۲۰۱۶). به‌رحال، در ۷ ژوئیه ۲۰۱۵ رادار این ماهواره آسیب دید و ارائه داده متوقف شد. با تداوم کار تابش‌سنج و اعتبارسنجی گسترده، نشان داده شد که اطلاعات رطوبت خاک با کیفیت زیادی فراهم می‌شود. در حال حاضر، بررسی روش‌های متنوع برای افزایش تفکیک مکانی محصول تابش‌سنج در جریان است. محصولات SMAP را دو مرکز مختص داده ناسا به‌نام‌های تسهیلات ماهواره‌ای ناسا (ASF) و مرکز ملی داده‌های برف و یخ آمریکا (NSIDC) در دسترس عموم قرار می‌دهند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱. (الف) نقشه توپوگرافی ایران، (ب) میانگین بارش سالانه ایران برای دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰، (ج) نمای نزدیک از منطقه بررسی شده و ایستگاه‌های همدیدی هواشناسی. شکل (ب) برگرفته از جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) است.

بازی می‌کند و از این‌رو، تغییرات زمانی و مکانی بارش در آن زیاد است. متوسط بارش سالانه کل کشور حدود 1600 mm است که از 50 mm در مناطق بیابانی تا 1600 mm

۲-۳ منطقه مورد مطالعه

وضعیت مختلف پوشش سطح زمین و توپوگرافی ایران (شکل ۱- الف) نقش مهمی در رژیم‌های اقلیمی کشور

در این پژوهش، بارش تجمعی ۲۴ ساعته از ساعت 00 UTC، مربوط به ۲۲ ایستگاه همدیدی که گزارش‌های شش ساعته بارش دارند (جدول ۱)، با برآوردهای بارش تجمعی روزانه GPM در بازه زمانی آوریل ۲۰۱۶ تا فوریه ۲۰۱۷، مقایسه و کمیت‌های راست‌آزمایی مورد نظر محاسبه شده است. برای این کار از روش درونیابی دوخطی استفاده شده است تا برآوردهای بارش ماهواره‌ای از نقاط شبکه‌ای به نقاط ایستگاهی درونیابی شوند. محصول بارش ماهواره‌ای به کاررفته در این مطالعه، بارش روزانه حاصل از نسخه ۴ IMERG-E، IMERG-L و IMERG-F است. همچنین با استفاده از محصول رطوبت خاک تراز ۲ ارتقایافته (SPL2SMP_E)، سیل ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ (۲۵ فروردین ۱۳۹۶) به کمک تصاویر بارش روزانه IMERG-L و تصاویر رطوبت خاک SMAP بررسی شد.

۲-۴ پارامترهای به کاررفته در ارزیابی عملکرد

مطالعه آماری درباره چگونگی همبستگی بین نتایج سه اجرای IMERG و داده‌های بارش ایستگاهی در منطقه شمال غرب ایران انجام و در این راستا، شاخص‌های آماری میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه شد.

در منطقه ساحلی دریای خزر گسترش می‌یابد (شکل ۱-ب). به علاوه، ایران درگیر رویدادهای فرین اقلیمی مانند خشکسالی‌های مکرر و سیل‌های بزرگ است. شدیدترین خشکسالی‌ها در دهه اخیر، اغلب در مناطق جنوب شرق و بخش‌های مرکزی رخ داده است؛ حال آنکه سیل، بلای طبیعی غالب در بخش‌های شمالی، شمال غربی و جنوب غربی ایران است (معظمی و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین بررسی کردن و استفاده از تخمین‌های بارش ماهواره‌ای برای ارزیابی و پایش رویدادهای فرین روی ایران، که پراکندگی باران‌سنج‌های ایستگاهی در آن کم است، حائز اهمیت فراوان است. تمرکز مقاله حاضر بر منطقه شمال غرب و تا حدودی غرب ایران است (شکل ۱-پ) که سیل ۲۵ فروردین ۱۳۹۶ (۱۴ آوریل ۲۰۱۷) در این منطقه رخ داد و متأسفانه خسارات مالی و جانی قابل توجهی به همراه داشت. کادر مستطیل شکل ($51/5^{\circ}E$ - $40/0^{\circ}N$ - $34/3^{\circ}N$ - $40/3^{\circ}N$)، منطقه بررسی شده توسط داده‌های SMAP را نشان می‌دهد که در آن، مثلث‌های خاکستری، ایستگاه‌های همدیدی موجود در منطقه و مثلث‌های مشکی، ایستگاه‌های همدیدی در نظر گرفته شده برای ارزیابی محصولات IMERG هستند.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های همدیدی استفاده شده در این تحقیق.

نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
پارس آباد	ARAL	۴۷/۷۷۸۹	۳۹/۶۰۳۱	رشت	OIGG	۴۹/۶۲۴۲	۳۷/۳۲۲۵
ماکو	OITU	۴۴/۳۷۱۷	۳۹/۳۷۹۴	مهاباد	AZUM	۴۵/۷۱۵۳	۳۶/۷۵۳۳
خوی	AZUH	۴۴/۹۹۵۳	۳۸/۵۵۸۱	سقز	OITS	۴۶/۳۱۱۱	۳۶/۲۲۱۷
اهر	AZTA	۴۷/۰۶۶۷	۳۸/۴۳۳۳	زنجان	ZAZN	۴۸/۵۲۱۷	۳۶/۷۰۲۵
تبریز	OITT	۳۸/۱۲۱۹	۴۶/۲۴۲۲	قزوین	OIKK	۵۰/۰۶۱۴	۲۵/۷۰۲۵
اردبیل	ARAD	۴۸/۳۲۸۶	۳۸/۲۱۸۱	رامسر	OINR	۵۰/۶۸۳۳	۳۶/۹۰۴۴
سراب	AZTS	۴۷/۵۳۳۳	۳۷/۹۳۳۳	نوشهر	OINN	۵۱/۴۶۶۹	۳۶/۶۶۱۴
ارومیه	OITR	۴۵/۰۵۵۳	۳۷/۶۵۸۶	سندج	OICS	۴۷/۰۱۴۷	۳۵/۲۵۴۴
مراغه	OITM	۴۶/۱۴۵۸	۳۷/۳۴۷۵	تهران (فرودگاه مهرآباد)	OIII	۵۱/۳۰۹۲	۳۵/۶۹۳۱
میانه	AZTY	۴۷/۷	۳۷/۴۵	کرمانشاه	OICC	۴۷/۱۵۳۳	۳۴/۳۵۲۲
بندر انزلی	GIRA	۴۹/۴۵۷۵	۳۷/۴۷۹۷	همدان	OIHH	۴۸/۵۳۴۷	۳۴/۸۶۹۴

فوریه ۲۰۱۷ و تنها برای روزهایی که دیدبانی ایستگاه بارش گزارش کرده است، در منطقه مورد بررسی دیده می‌شود. شکل ۲-الف مربوط به IMERG-E و شکل ۲-ب مربوط به IMERG-L، فروتخمین این محصولات را به‌خصوص با افزایش آستانه بارش نشان می‌دهند. در موارد متعددی برای بارش‌های کمتر از ۱۰ mm/day، فروتخمین این محصولات مشاهده می‌شود؛ اما با افزایش آستانه، فراوانی نقاط نزدیک به محور افقی و به عبارتی فروتخمین این محصولات افزایش می‌یابد. در شکل ۲-ج مربوط به IMERG-F، این فروتخمین تا حد قابل توجهی کاهش یافته است به طوری که بیشینه بارش محصولات IMERG-E، IMERG-L و IMERG-F به ترتیب ۵۸، ۶۹/۴ و ۱۱۰/۹ میلی‌متر در روز است. با این حال، برای این اجرا نیز در آستانه‌های بالا تعداد زیادی از نقاط، نزدیک به محور افقی قرار دارند. بهبود اریبی اجرای نهایی شاید به این دلیل باشد که در IMERG-F از داده‌های باران‌سنجی ماهانه GPCC برای تصحیح اریبی استفاده می‌شود در صورتی که IMERG-E و IMERG-L از ضرایب اقلیم‌شناسی استفاده می‌کنند که با مکان و ماه‌های سال تغییر می‌کند.

۳-۲ ارزیابی دودویی تخمین‌های بارش

با توجه به اینکه در گزارش‌های همدیدی، بارش‌های کمتر از ۰/۱ mm گزارش نمی‌شوند (به صورت Trace ثبت می‌شوند)، بنابراین بارش‌های بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۱ mm/day به عنوان اولین آستانه وقوع بارش در نظر گرفته شده است. همچنین در بررسی بارش‌های متوسط و شدید، از مقادیر بزرگ‌تر یا مساوی ۵ mm/day به عنوان دومین آستانه استفاده شده است. در شکل ۳، نمودار کمیت‌های آماری به کاررفته در این مطالعه برای دو آستانه فوق دیده می‌شود. در شکل ۳-الف، کمیت RMSE به ازای آستانه بارش بیشتر از ۵ mm/day برای IMERG-E، IMERG-L و IMERG-F به ترتیب حدود

شاخص MAE برای تعیین اندازه متوسط خطا با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_{S_i} - P_{O_i}|}{N} (mm), \quad (1)$$

شاخص RMSE نیز که نسبت به شاخص MAE وزن بیشتری به خطاهای بزرگ‌تر می‌دهد، مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

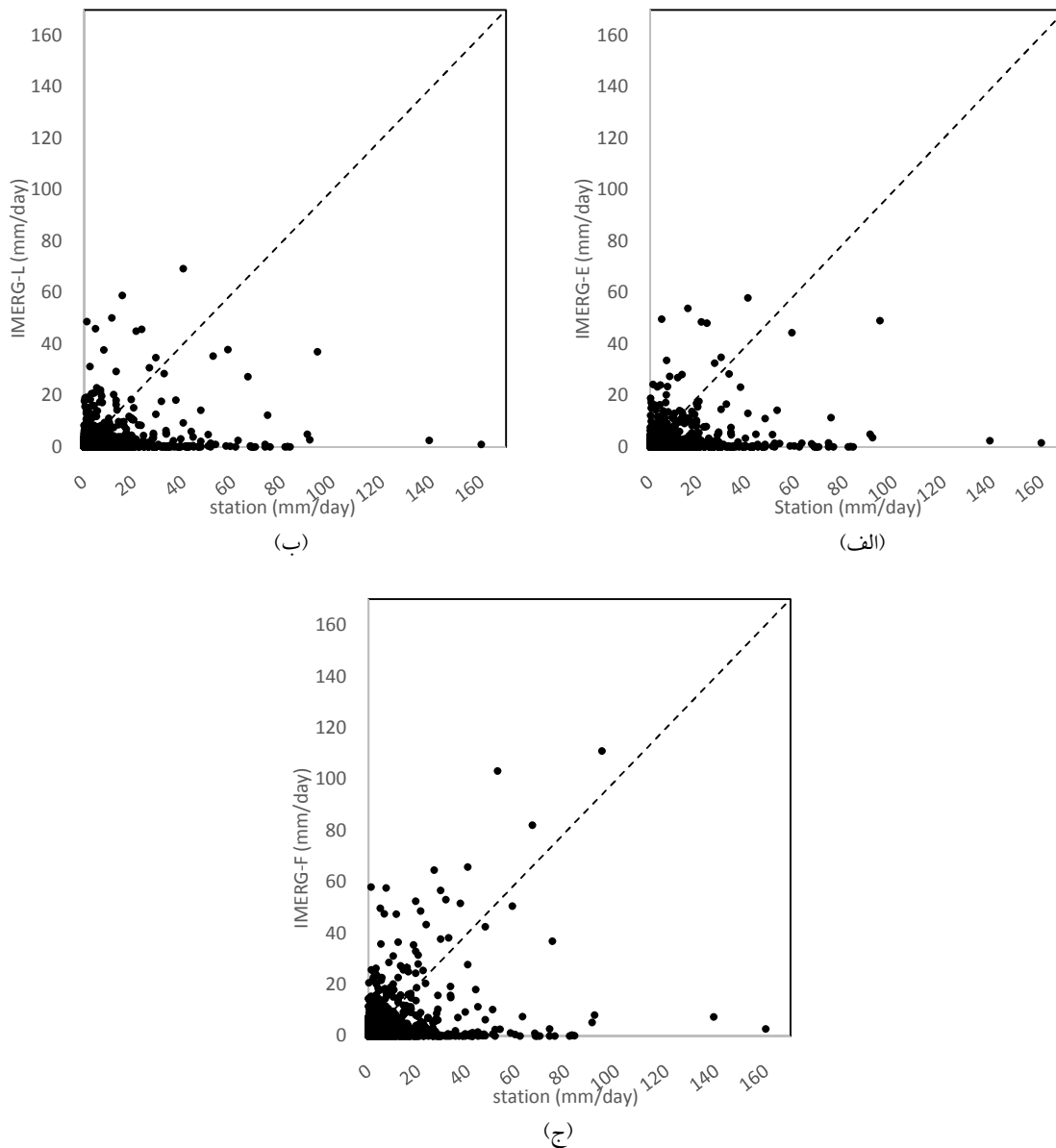
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{S_i} - P_{O_i})^2} (mm). \quad (2)$$

که P_{O_i} و P_{S_i} به ترتیب، مقادیر تخمین بارش ماهواره و دیدبانی بارش ایستگاه برای i امین رویداد روزانه و N تعداد روزهای دیدبانی است. در این مطالعه، با توجه به پژوهش‌های مشابه انجام شده در سطح دنیا (مانند تانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ شریفی و همکاران، ۲۰۱۶ و وانگ و همکاران، ۲۰۱۷) و با استفاده از رویکرد جدول توافقی (جولیف و استفسون، ۲۰۱۱ و ویلکس، ۲۰۱۱) شاخص‌های آماری دسته‌ای (categorical statistical indices) شامل نسبت صحیح (PC)، امتیاز تهدید (TS)، اریبی (Bias)، احتمال آشکارسازی (POD)، نسبت هشدارهای نادرست (FAR)، احتمال آشکارسازی نادرست (POFD) و امتیاز مهارتی پیرس (PSS) انتخاب و محاسبه شدند. برای رعایت اختصار، از ارائه روابط ریاضی این کمیت‌ها خودداری شده است و می‌توان به مراجع فوق مراجعه کرد.

۳ تحلیل نتایج

۳-۱ ارزیابی بارش روزانه سه اجرای IMERG

در شکل ۲، نمودار پراکنش مقادیر بارش روزانه اجراهای مختلف IMERG در مقابل بارش تجمعی روزانه دیدبانی ایستگاه‌های همدیدی برای بازه زمانی ۱ آوریل ۲۰۱۶ تا ۲۸



شکل ۲. نمودار پراکنش مقادیر بارش روزانه سه اجرای مختلف (الف) IMERG-E، (ب) IMERG-L و (ج) IMERG-F نسبت به داده‌های بارش تجمعی روزانه ایستگاهی برای دوره ۱ آوریل ۲۰۱۶ تا ۲۸ فوریه ۲۰۱۷.

بارش روزانه IMERG-L و IMERG-E مقادیر خطای مشابه دارند.

مطابق شکل ۳-ج، مقدار کمیت PC که بیانگر کسری از مواردی است که به درستی در بالاتر یا پایین تر از آستانه مورد نظر تخمین زده شده‌اند، در آستانه دوم برای IMERG-F و IMERG-L، ۰/۹۸ و برای IMERG-E

۳۲/۸، ۳۲/۸ و ۳۱/۸ میلی‌متر است. کمیت MAE در شکل ۳-ب برای IMERG-F به ازای آستانه دوم بارش حدود ۱۴/۸ mm و برای دو محصول دیگر حدود ۱۵/۶۵ mm است. با توجه به شکل ۳-الف و شکل ۳-ب مشاهده می‌شود که محصول IMERG-F با اختلافی ناچیز، خطای کمتری نسبت به دو محصول دیگر دارد و برآوردهای

دوم برای IMERG-F برابر ۰/۲۷ و برای دو محصول دیگر ۰/۱۴ است (شکل ۳- و). این کمیت نیز در آستانه اول، برای سه محصول، کارایی مشابه و در آستانه دوم برای محصول IMERG-F کارایی زیادتری نشان می‌دهد. نسبت هشدارهای نادرست (FAR) که بیانگر درصد مواردی است که تخمینی بالاتر از آستانه مورد نظر زده شده ولی پدیده رخ نداده است، مقادیر تقریباً یکسانی برای هر سه محصول دارد (شکل ۳- ز)؛ اگرچه با اندک اختلافی، حدود ۰/۰۵، مقدار این کمیت در آستانه دوم برای IMERG-F بیشتر است. به عبارتی، در این آستانه، IMERG-F نسبت به دو محصول دیگر، موارد بیشتری را بزرگ‌تر از ۵ mm/day تخمین زده است که در گزارش‌های ایستگاهی کمتر بوده است. کمیت POFD - کسری از موارد عدم رخداد پدیده که به اشتباه تخمین وقوع داشته‌اند - برای هر سه محصول در آستانه اول حدود ۰/۱۵ و در آستانه دوم حدود ۰/۰۱ است (شکل ۳- ح). امتیاز مهارتی پیرس، به‌عنوان میزان مهارت در تمیز دادن بین وقوع و عدم وقوع یک پدیده، در آستانه بارش بیشتر از ۵ mm/day، برای IMERG-E و IMERG-L حدود ۰/۱۳ و برای IMERG-F حدود ۰/۲۵ است که عملکرد بهتر این محصول نسبت به دو محصول دیگر را نشان می‌دهد (شکل ۳- ط). در آستانه اول، سه محصول تقریباً مهارت یکسانی دارند.

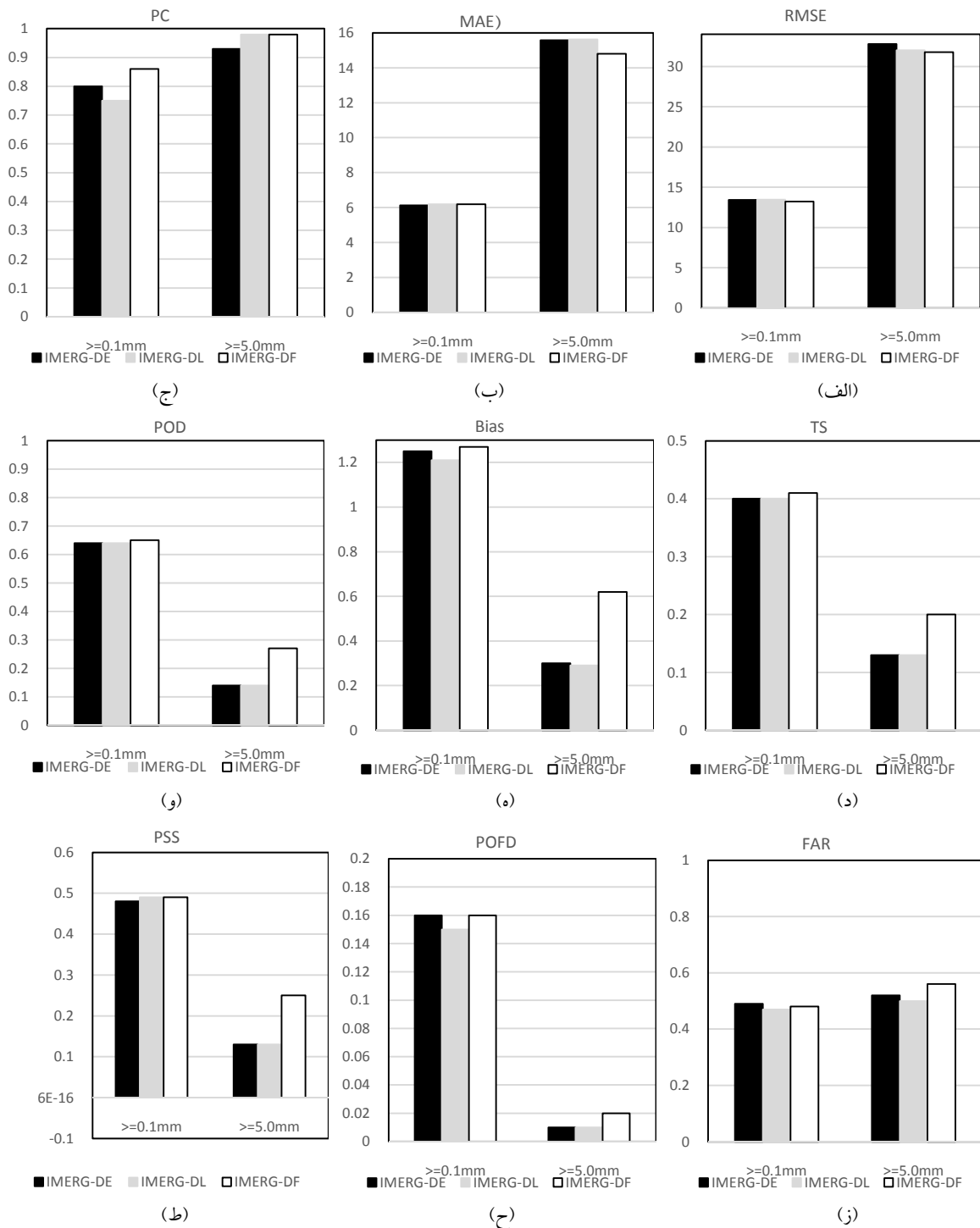
۳-۳ مقایسه محصولات GPM و SMAP

به‌طور کلی، محصول IMERG-F دقت زیادی دارد و برای کاربردهای آب‌شناختی مناسب است درحالی‌که محصولات IMERG-E و IMERG-L بیشتر در زمان وقوع سیل، کاربرد آب‌شناختی دارند و از این رو پتانسیل زیادی برای پیش‌بینی زمان واقعی سیل دارند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷)؛ لذا در این بخش برای بررسی سیل ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ از برآوردهای بارش IMERG-L با تفکیک

حدود ۰/۹۳ است. در اولین آستانه وقوع بارش نیز این کمیت برای IMERG-L کمترین مقدار را دارد و برابر ۰/۷۵ است و برای IMERG-E و IMERG-F به‌ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۸۶ است. اما کمیت TS که کسری از تخمین‌ها یا دیدبانی‌های وقوع پدیده است که به‌درستی تخمین زده شده‌اند، برای هر سه محصول در آستانه وقوع بارش تقریباً برابر با ۰/۴۱ و در آستانه دوم برای IMERG-F با اختلاف کمی (حدود ۰/۰۷) بیشتر از دو محصول دیگر است (شکل ۳- د)؛ لذا IMERG-F دقت بهتری را نسبت به دو محصول دیگر برای آستانه دوم بارش نشان می‌دهد.

ارایی کمیتی است که بیانگر مقایسه تعداد تخمین مثبت با تعداد دیدبانی مثبت برای وقوع پدیده است. این کمیت در آستانه اول برای هر سه محصول بزرگ‌تر از یک است و فراتخمین IMERG در این آستانه را نشان می‌دهد (شکل ۳- ه). در آستانه دوم، برای هر سه محصول، اریبی کمتر از یک، بیانگر فروتخمین IMERG برای بارش‌های بیشتر از ۵ mm/day است. به عبارتی، می‌توان نتیجه گرفت مواردی که سنجنده، بارش بزرگ‌تر از ۰/۱ mm/day را آشکارسازی کرده است، بیشتر از موارد گزارش بارش (بزرگ‌تر از ۰/۱ mm) دیدبانی است که این موضوع به احتمال زیاد به اندازه‌گیری بارش سطحی ماهواره و درون‌یابی این بارش به نقطه ایستگاه مربوط می‌شود. عکس این موضوع برای آستانه دوم بارش وجود دارد؛ یعنی آشکارسازی بارش‌های بزرگ‌تر از ۵ mm/day توسط سنجنده، کمتر از مواردی است که بارش بیشتر از این آستانه گزارش شده است. در این بین، فروتخمین IMERG-F کمتر از دو محصول دیگر است به‌طوری‌که مقدار اریبی برای این محصول در این آستانه ۰/۶۲ و برای دو محصول دیگر حدود ۰/۳۰ است.

کمیت POD، معرف کسری از موارد وقوع پدیده است که به‌درستی تخمین زده شده‌اند. این کمیت در آستانه اول برای هر سه محصول حدود ۰/۶۵ و در آستانه



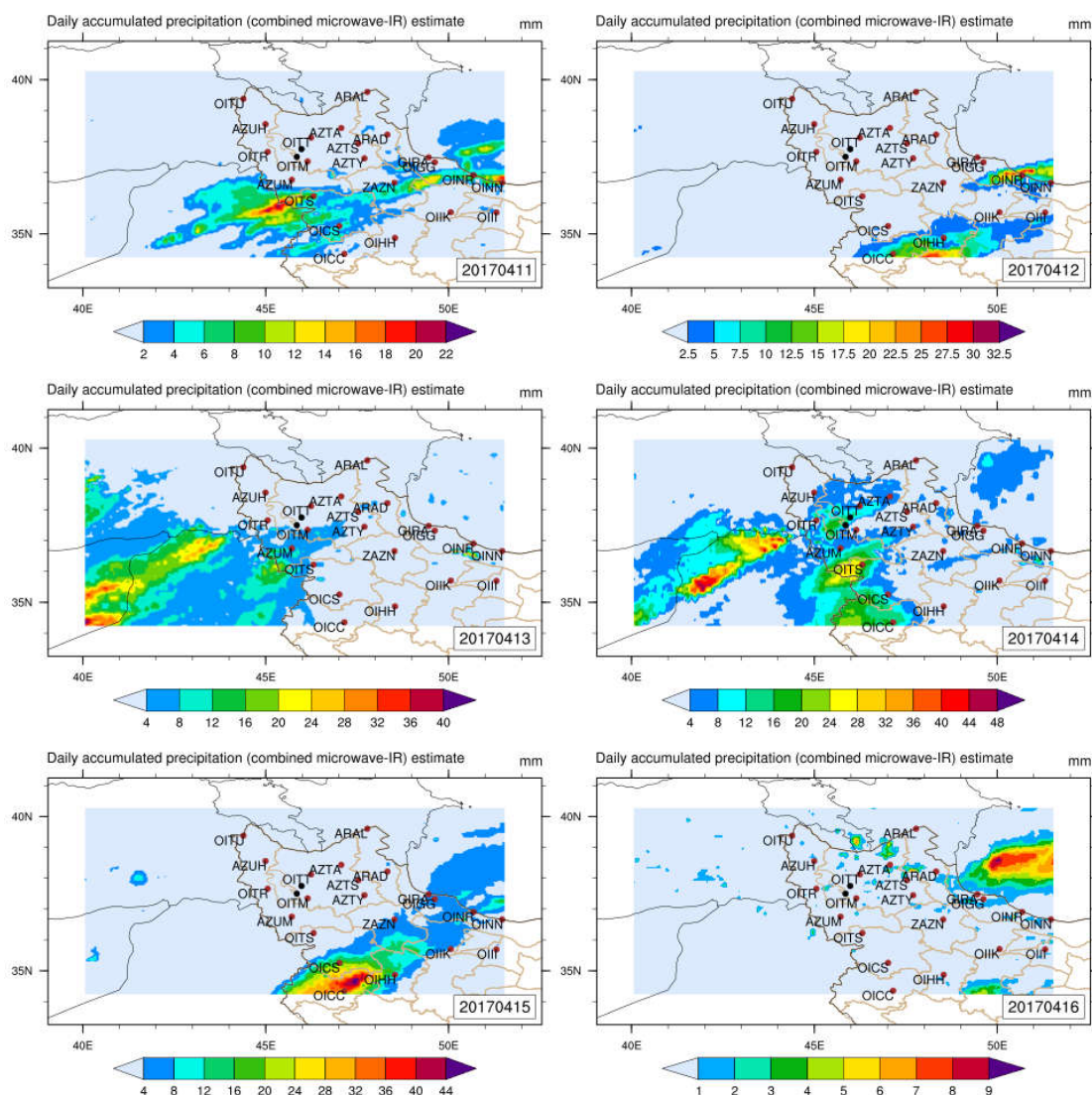
شکل ۳. نمودار کمیت‌های آماری بررسی شده شامل (الف) RMSE، (ب) MAE، (ج) PC، (د) TS، (ه) Bias، (و) POD، (ز) FAR، (ح) POFD و (ط) PSS برای ارزیابی محصولات IMERG-E (ستون‌های مشکی)، IMERG-L (ستون‌های خاکستری) و IMERG-F (ستون‌های سفید).

۲۰۱۷ را نشان می‌دهد. در این شکل، موقعیت ۲۲ ایستگاه‌ها همدیدی (دایره‌های توپر قهوه‌ای که در شکل ۱

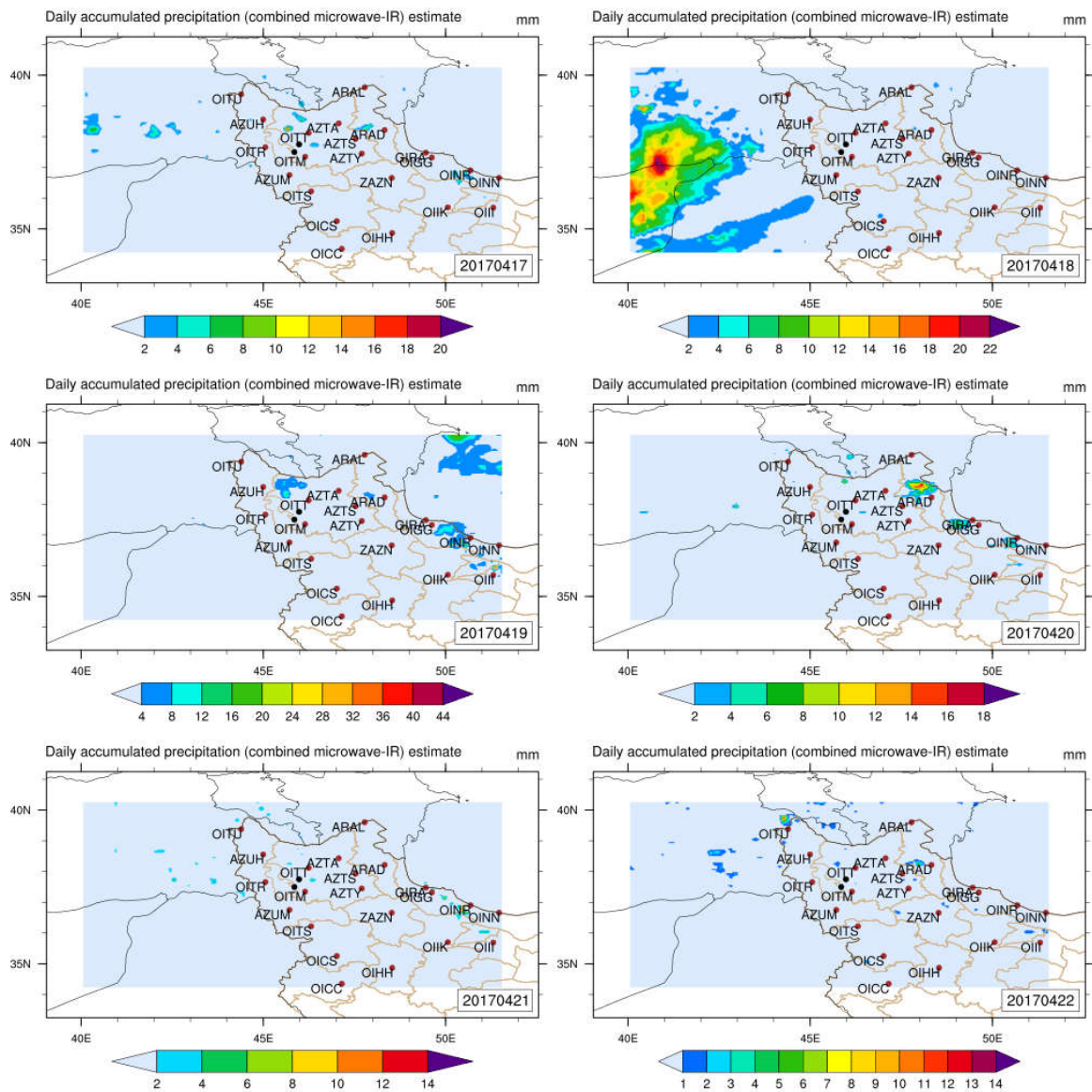
مکانی $0/1^\circ$ (تقریباً 10 km) استفاده شده است. شکل ۴ میزان بارش تجمعی روزانه برای روزهای ۲۲-۱۱ آوریل

نشان می‌دهد. رنگ‌های متمایل به آبی، نشان‌دهنده رطوبت خاک کم و رنگ‌های متمایل به قرمز و بنفش نشان‌دهنده رطوبت زیاد خاک هستند. با توجه به اینکه SMAP ماهواره‌ای مدار قطبی با دوره تکرار هشت روزه است، پوشش نوار SMAP هر هشت روز یکسان است (روزهای ۱۱ و ۱۹ آوریل در شکل ۵، منطقه پوششی یکسانی دارند).

با مثلث‌های مشکی نشان داده شده‌اند) به همراه کدهای چهار حرفی آنها و شهرستان‌های عجب‌شیر و آذرشهر (دایره‌های توپر مشکی) - که در اثر سیل در آن تاریخ خسارت زیادی دیده‌اند - نیز قابل مشاهده است. در شکل ۵ نقشه رطوبت خاک محصول SPL2SMP_E از SMAP برای روزهای ۱۱ تا ۲۲ آوریل ارائه شده است. مناطقی که درباره آنها بحث خواهد شد، با کادر قرمز رنگ دیده می‌شوند. طیف رنگی در شکل، میزان رطوبت خاک را



شکل ۴. بارش روزانه (برحسب mm) محصول IMERG-L برای روزهای ۱۱-۲۲ آوریل ۲۰۱۷.



ادامه شکل ۴.

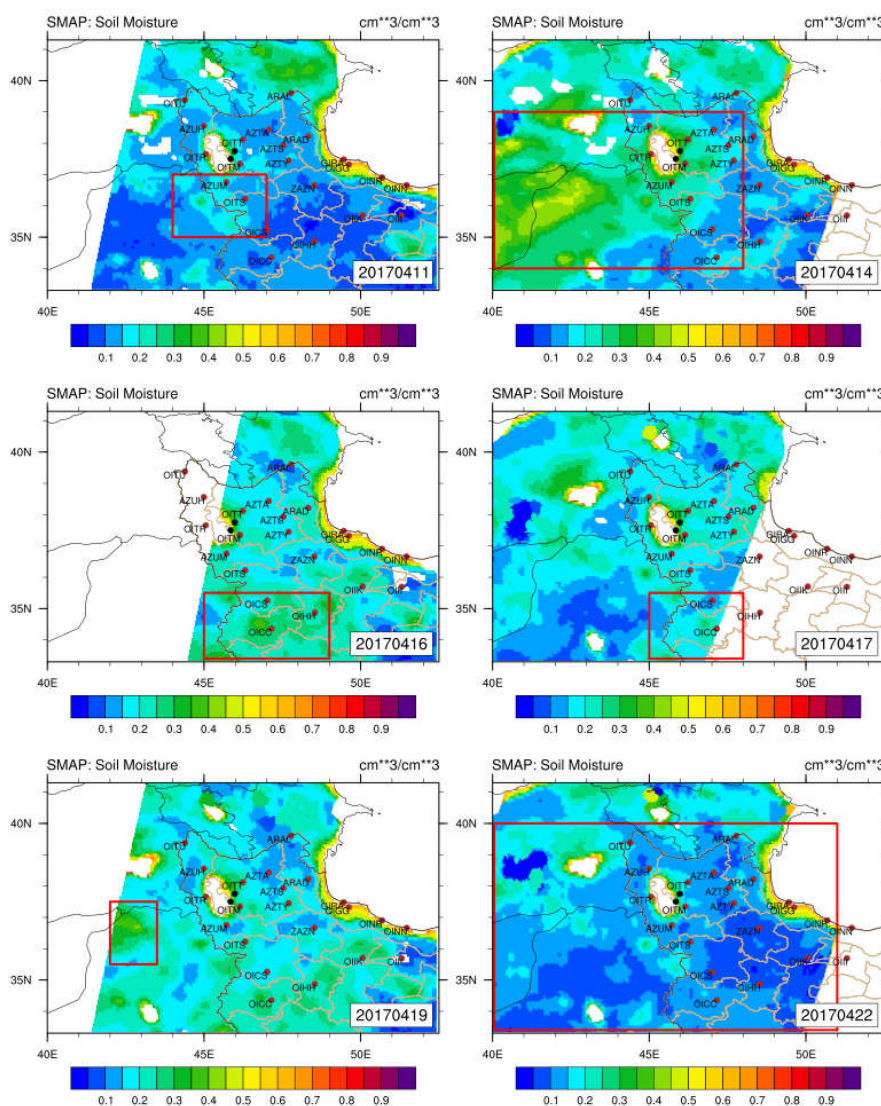
سبز) دیده می‌شود. در روز ۱۳ آوریل، بارش روی کشورهای سوریه و عراق تا بیشینه مقدار ۴۴ mm می‌رسد و در روز ۱۴ آوریل، حرکت سامانه بارشی به سمت شرق با بیشینه بارش ۵۲ mm روی کشور عراق به چشم می‌خورد. همین‌طور، بارش روی استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان و کرمانشاه با بیشینه‌های مختلف آشکارسازی شده است. نتیجه این مقدار ریزش بارش، افزایش میزان رطوبت خاک در ناحیه‌ای است که در

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، در روز ۱۱ آوریل، رصدخانه مرکزی GPM، سامانه بارشی در مرز استان‌های کردستان، آذربایجان غربی و کشور عراق را با بیشینه بارش حدود ۲۲ mm آشکارسازی کرده است. در شکل ۵ نیز در این تاریخ و در این مناطق (داخل کادر قرمز رنگ)، میزان رطوبت خاک بیشتری نسبت به سایر مناطق بدون بارش وجود دارد به طوری که با توجه به طیف رنگی، رطوبت خاک تا میزان $0.35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (رنگ

۱۶ آوریل نسبت به روز ۱۴ آوریل، تغییر رطوبت خاک در این استان مشاهده می‌شود (شکل ۵). رطوبت خاک در برخی نقاط استان از میزان $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ و کمتر (طیف رنگ آبی)، به حدود $0.4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ و بیشتر (طیف رنگ سبز) رسیده است. در روزهای ۱۶ و ۱۷ آوریل، استان کرمانشاه بارش نداشت (شکل ۴)؛ از این رو، از روز ۱۶ آوریل به روز ۱۷ آوریل، رطوبت خاک کاهش می‌یابد (شکل ۵). از ۱۹ تا ۲۲ آوریل، GPM بارشی روی کشور

شکل ۵ با کادر قرمز مشخص شده است. میزان رطوبت خاک در برخی از نقاط به بیش از $0.55 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (رنگ زرد) می‌رسد. میزان تغییر رطوبت خاک در شهرستان‌های عجب‌شیر و آذرشهر که گرفتار سیل شده‌اند، نسبت به روز ۱۱ آوریل که در این مناطق بارش نبوده است، قابل توجه است.

در روز ۱۵ آوریل، بارش روی استان کرمانشاه نیز آشکارسازی شده است (شکل ۴) و براساس آن، در روز



شکل ۵. تصویربرداری تغییرات رطوبت خاک با استفاده از ماهواره SMAP.

فرا تخمین و در آستانه دوم، فرو تخمین دارند که فرو تخمین IMERG-F به میزان قابل توجهی کمتر از دو محصول دیگر است. این نتیجه می‌تواند به علت آن باشد که برای تنظیم اریبی، اجراهای IMERG NRT از داده‌های اقلیم‌شناسی استفاده می‌کنند، در حالی که در اجرای IMERG-F، تحلیل‌های باران‌سنجی ماهانه GPCP به کار می‌رود. کمیت‌های POD و PSS، در آستانه دوم، کارایی بیشتر محصول IMERG-F و در آستانه اول، کارایی مشابه سه محصول را نشان می‌دهند. همچنین کمیت‌های FAR و POFD تقریباً برای هر سه محصول مقادیر مشابهی دارند. با این نتایج می‌توان گفت محصول IMERG-F برای بارش‌های متوسط و بیشتر، نسبت به دو محصول دیگر برتری دارد. در واقع، نتایج پژوهش حاضر با مستندات IMERG و برخی از مطالعات اعتبارسنجی مربوط به این محصول سازگار است (هافمن و همکاران، ۲۰۱۵ الف و ب و سونگمین و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج این پژوهش، برتری محصول IMERG-F نسبت به دو محصول دیگر را تایید می‌کند، اما اختلاف این محصولات آنقدر نیست که استفاده از محصولات نزدیک به زمان واقعی در کاربردهایی مانند هشدار سیل، خطا و نامناسب باشد. نتایج نشان داد که از میان کمیت‌های بررسی شده، دو کمیت RMSE و MAE اختلافی اندک و برخی کمیت‌ها اختلاف‌هایی در حدود ۰/۰۷ (TS) تا ۰/۱۳ (POD) به نفع IMERG-F داشتند. در ضمن دو کمیت FAR و POFD نیز برای IMERG-F بهتر نیستند. از این رو، هدف دیگر این پژوهش که امکان‌سنجی استفاده از محصولات IMERG-E و IMERG-L بود نیز تأمین شد. در ادامه و در مرحله دوم پژوهش حاضر، برای پایش سیل ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ (۲۵ فروردین ۱۳۹۶) در منطقه شمال غرب ایران از تصاویر بارش روزانه IMERG-L از ماهواره GPM و تصاویر رطوبت خاک ماهواره SMAP استفاده شد. این کار، اولین روش ترکیبی با استفاده از

ایران آشکارسازی نکرده است؛ بنابراین کاهش میزان رطوبت خاک در روز ۲۲ آوریل مشاهده می‌شود (شکل ۵) به طوری که در بیشتر مناطق، میزان رطوبت خاک به $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ و کمتر بازگشته است. شایان ذکر است که شکل ۴ سامانه بارشی دیگری را روی بخش‌هایی از کشور سوریه و ترکیه در روز ۱۸ آوریل نشان می‌دهد که نتیجه بارش آن، در میزان رطوبت خاک روز ۱۹ آوریل در کشور سوریه (شکل ۵، داخل کادر قرمز) دیده می‌شود.

نتایج بررسی انجام شده، امکان استفاده از تصاویر محصول رطوبت خاک SMAP را روی ایران نشان می‌دهد. با این حال، بررسی کمی این محصول و به کار بردن آن در مدل‌های عددی توسط نگارندگان این مقاله در حال انجام است که نتایج متعاقباً انتشار خواهد یافت.

۴ خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تخمین‌های بارش تجمعی روزانه سه اجرای IMERG-E، IMERG-L و IMERG-F، با استفاده از داده‌های باران‌سنجی ۲۲ ایستگاه همدیدی در منطقه شمال غرب و غرب ایران برای دوره تقریباً یک‌ساله (آوریل ۲۰۱۶ تا فوریه ۲۰۱۷) ارزیابی شد. برای این منظور، داده‌های شبکه $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ محصول IMERG با استفاده از روش درون‌یابی دوخطی به نقاط ایستگاهی درون‌یابی شدند.

با توجه به کمیت‌های آماری MAE و RMSE برای آستانه دوم وقوع بارش (مقادیر بزرگ‌تر یا مساوی $5/0 \text{ mm/day}$)، مشاهده می‌شود که محصول IMERG-F خطای کمتری، گرچه با اختلاف اندک، نسبت به دو محصول دیگر دارد. کمیت TS، دقت تقریباً مشابه سه محصول را در آستانه اول (بارش‌های بزرگ‌تر یا مساوی $0/1 \text{ mm/day}$) و دقت بهتر IMERG-F در آستانه دوم را نشان می‌دهد. هر سه محصول در آستانه وقوع بارش،

- Observations and Remote Sensing, **2**, 250–259.
- Bindlish, R., Crow, W. T., and Jackson, T. J., 2009, Potential role of passive microwave remote sensing in improving flood forecasts: IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, **6**, 112-116.
- Blankenship, C., Case, J. L., and Zavodsky, B., 2015, SMOS soil moisture data assimilation in the NASA Land Information System: Impact on LSM initialization and NWP forecasts: 29th Conference on Hydrology, 95th AMS Annual Meeting, Phoenix, AZ. [Available online at <https://ams.confex.com/ams/95Annual/webprogram/Manuscript/Paper263645/AMS-2015-SMOS-ext-abs.pdf>].
- Cenci, L., Pulvirenti, L., Boni, G., Chini, M., Matgen, P., Gabellani, S., Squicciarino, G., and Pierdicca, N., 2017, An evaluation of the potential of Sentinel 1 for improving flash flood predictions via soil moisture–data assimilation: Advances in Geosciences, **44**, 89-100.
- Chan, S., Bindlish, R., O'Neill, P. E., Njoku, E., Jackson, T., Colliander, A., et al., 2016, Assessment of the SMAP Level 2 Passive Soil Moisture Product: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **54**(8), 4994-5007.
- Crow, W. T., and Ryu, D., 2009, A new data assimilation approach for improving runoff prediction using remotely-sensed soil moisture retrievals: Hydrology and Earth System Sciences, **13**(1), 1-16.
- Draper, D. W., Newell, D. A., Wentz, F. J., Krimchansky, S., and Skofronick-Jackson, G. M., 2015, The Global Precipitation Measurement (GPM) Microwave Imager (GMI): Instrument Overview and Early On-orbit Performance: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, **8**(7), 3452- 3462.
- Entekhabi, D., Njoku, E. G., O'Neill, P. E., Kellogg, K. H., Crow, T., Edelstein, J. K., et al., 2010, The soil moisture active and passive (SMAP) mission: Proceedings of the IEEE, **98**(5), 704-716.
- Fleming, K., Awange, J. L., Kuhn, M., and Featherstone, W. E., 2011, Evaluating the TRMM 3B43 monthly precipitation product using gridded raingauge data over Australia: Australian Meteorological and Oceanographic Journal, **61**, 171–184.
- بارش تخمینی توسط GPM و رطوبت خاک SMAP به‌عنوان جایگزینی برای سنجنده‌های مرئی-نزدیک فرسوخ روی ایران است. در این تصاویر، همخوانی تغییرات رطوبت خاک با بارش نشان داده شد.
- داده‌های SMAP نواری به‌پهنای ۱۰۰۰ km دارد و به‌طور متوسط بازدید زمانی دو-سه روزه دارد. SMAP و GPM با یکدیگر می‌توانند اطلاعاتی درباره شار آب‌های سطحی فراهم کنند که کمیت مهمی برای ارزیابی و پایش منابع آب شیرین زمین است. بنابراین داده‌های ترکیبی SMAP و GPM می‌تواند به‌عنوان ابزاری کلیدی برای کاربران در زمینه‌های کاربردی و مدیریت مواقع ضروری جهت ارزیابی گستره و پتانسیل تأثیر رویدادهای سیل در میان دیگر پدیده‌های آب و هواشناسی در نظر گرفته شود.
- ### سپاسگزاری
- نگارندگان این مقاله از آقای احسان شریفی، دانشجوی دکتری دانشکده هواشناسی و ژئوفیزیک دانشگاه وین، برای مشاوره درباره داده‌های GPM تشکر می‌کنند. همچنین برای ذخیره‌کردن داده‌ها و انجام کارهای محاسباتی از سرور پژوهشکده هواشناسی سازمان هواشناسی کشور استفاده شد که بدین وسیله از همکاری صمیمانه این مرکز سپاسگزاریم.
- ### منابع
- شریفی، ا.، ثقفیان، ب. و اشتایناکر، ر. ه.، ۱۳۹۵، بررسی کارایی جدیدترین نسل محصولات بارش ماهواره‌ای با وضوح زمانی- مکانی بالا: ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
- Beck, H. E., de Jeu, R. A., Schellekens, J., van Dijk, A. I., and Bruijnzeel, L. A., 2009, Improving curve number based storm runoff estimates using soil moisture proxies: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth

- Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran: *Advances in Geosciences*, **25**, 119–125.
- Jolliffe, I. T., and Stephenson, D. B., 2011, *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*: John Wiley and Sons, 2nd edition, 292 pp.
- Kim, S., Paik, K., Johnson, F. M., and Sharma, A., 2018, Building a flood-warning framework for ungauged locations using low resolution, open-access remotely sensed surface soil moisture, precipitation, soil, and topographic information: *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **11**(2), 375-387.
- Koster, R. D., Mahanama, S. P., Livneh, B., Lettenmaier, D. P., and Reichle, R. H., 2010, Skill in stream flow forecasts derived from large-scale estimates of soil moisture and snow: *Nature Geoscience*, **3**, 613–616.
- Lakshmi, V., Bindlish, R., Fayne, J., Huffman, G. J., Jackson, T. J., Kirschbaum, D., Skofronick-Jackson, G., and Yueh, S., 2016, Mapping the 2015 South Carolina flood using SMAP and GPM measurements: *GEWEX News*, **26**(2), 6-10.
- Massari, C., Brocca, L., Moramarco, T., Trambly, Y., and Lescot, J. F. D., 2014, Potential of soil moisture observations in flood modelling: Estimating initial conditions and correcting rainfall: *Advances in Water Resources*, **74**, 44-53.
- Massari, C., Camici, S., Ciabatta, L., and Brocca, L., 2018, Exploiting satellite-based surface soil moisture for flood forecasting in the Mediterranean area: state update versus rainfall correction: *Remote Sensing*, **10**(2), p.292.
- 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.
- Renzullo, L., Chappell, A., Raupach, T., Dyce, P., Li, M., and Shao, Q., 2011, An assessment of statistically blended satellite-gauge precipitation data for daily rainfall analysis in Australia: *Proceeding of 34th international symposium on remote sensing of environment (ISRSE)*, 10–15 April, Sydney, Australia.
- Hazarika, M. K., Kafle, T. P., Sharma, R., Karki, S., Shrestha, R. M., and Samarkoon, L., 2007, Statistical approach to discharge prediction for flood forecasts using TRMM data: *Proceedings of 5th Annual Mekong Flood Forum*, 17-18 May, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K., and Iguch, T., 2014, The global precipitation measurement mission: *Bulletin of the American Meteorological Society*, **95**(5), 701-722
- Hu, Y. M., Ding, Y. H., and Liao, F., 2010, An improvement on summer regional climate simulation over East China: Importance of data assimilation of soil moisture: *Chinese Science Bulletin*, **55**, 865–871.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Kidd, C., Nelkin, E. J., and Xie, P., 2015a, *NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG): Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*, NASA, version 4.5, 30 pp.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., and Nelkin, E. J., 2015b, *Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) technical documentation*. Available at: http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_doc.pdf (last access: 18 December 2017).
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Stocker, E. F., and Tan, J., 2017a, *V05 IMERG Final Run Release Notes*. 9 November 2017; Rev. 13 November 2017, 17 November 2017: NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, Greenbelt, MD, USA. [Available online at https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_FinalRun_V05_release_notes-rev2.pdf].
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., and Stocker, E. F., 2017b, *V05 IMERG Early and Late Run Release Notes*. 1 December 2017: NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, Greenbelt, MD, USA. [Available online at https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_EarlyLateRun_V05_release_notes.pdf].
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., BodaghJamali, J., and Kawamoto, H., 2010,

- Tang, G., Ma, Y., Long, D., Zhong, L., and Hong, Y., 2016, Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales: *Journal of Hydrology*, **533**, 152-167.
- Wanders, N., Karssenber, D., Roo, A. D., De Jong, S. M., and Bierkens, M. F. P., 2014, The suitability of remotely sensed soil moisture for improving operational flood forecasting: *Hydrology and Earth System Sciences*, **18**(6), 2343-2357.
- Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., and Chen, J., 2017, Evaluation of the GPM IMERG satellite-based precipitation products and the hydrological utility: *Atmospheric Research*, **196**, 151-163.
- Wilks, D. S., 2011, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 3rd edition, 704 pp
- Xie, P., Chen, M., Yang, S., Yatagai, A., Hayasaka, T., Fukushima, Y., and Liu, C., 2007, A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia: *Journal of Hydrometeorology*, **8**, 607-626.
- Schneider, U., Fuchs, T., Meyer-Christoffer, A., and Rudolf, B., 2008, Global precipitation analysis products of the GPCC: Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, Internet Publication, 112pp.
- Sharifi, E., Steinacker, R., and Saghafian, B., 2016, Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results: *Remote Sensing*, **8**(2), 135.
- Su, F., Hong, Y., and Lettenmaier, D. P., 2008, Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin: *Journal of Hydrometeorology*, **9**, 622-640.
- Sungmin, O., Foelsche, U., Kirchengast, G., Fuchsberger, J., Tan, J., and Petersen, W. A., 2017, Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Australia. *Hydrology and Earth System Sciences*, **21**(12), 6559-6572.

Evaluation of GPM precipitation products and mapping soil moisture using SMAP data in the northwest of Iran

Ehsan Taghizadeh¹, and Farhang Ahmadi-Givi^{2*}

¹Ph. D. student in Meteorology, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 10 April 2018, Accepted: 30 September 2018)

Summary

Soil moisture influences the partitioning of rainfall into evapotranspiration, infiltration and runoff, hence it is an important factor for determining the magnitude of flood events. The Soil Moisture Active and Passive (SMAP) mission is a microwave all-weather sensor with cloud penetration capability it can be harnessed for inundation mapping. On the other hand, Global Precipitation Measurement (GPM) is the first satellite that has been designed to measure light rain and snowfall, in addition to heavy tropical rainfall. The Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) products, with $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ spatial resolution and 30 min temporal resolution, are available in the form of near-real-time data, i.e., IMERG Early and Late, and in the form of post-real-time research data, i.e., IMERG Final, after monthly rain gauge analysis is received and taken into account.

In this study, daily rainfall estimates from IMERG Early, Late, and Final runs (IMERG-E, IMERG-L and IMERG-F) are compared with daily precipitation measured by 22 synoptic rain-gauges over the northwest and western regions of Iran. Assessment is implemented for a period from April 2016 to February 2017. The assessment technique is using a contingency table that reflects the frequency of “Yes” and “No” of the satellite estimation. We have used two threshold values of 0.1 mm/day to define rain/no rain and 5.0 mm/day as moderate or higher rainfall events. The scatter plots of daily precipitation values, IMERG-E, IMERG-L and IMERG-F data against rain-gauge observations, indicate underestimation according to Bias for moderate or higher rainfall; this is more so when the precipitation threshold is increased. However, the IMERG-F shows better performance (i.e., closer to one-to-one line) in estimating moderate or higher rain. For the first threshold, all the three runs show approximately same performances; but some differences are seen at the second threshold. At this threshold, POD for IMERG-F is about 0.27 and for the two other products is about 0.14, which means larger fraction of the observed “Yes” events was correctly estimated by IMERG-F than IMERG-E and IMERG-L.

At the second part of this work, the synergistic use of satellite-based precipitation and soil moisture observations was dedicated to mapping of flood monitoring in the northwest of Iran on 14 April 2017. In this study, a value-added product was used that over-samples the SMAP volumetric soil moisture data with a spatial resolution of 40 km and posts it on a 9 km grid, SPL2SMP_E. The SMAP data maps show a pattern that is consistent with the precipitation maps; i.e., following the rainfall on 14 April, there is an increase in the saturated area and after that it begins to decay.

So together, SMAP and GPM can provide information on the surface water fluxes, an important quantity for assessing and monitoring the Earth’s fresh water resources. Therefore, integrated GPM and SMAP data can serve as a key tool for application users and emergency management to assess the extent and potential impact of flooding events among other hydrometeorological phenomena.

Keywords: GPM constellation satellites, SMAP, precipitation, soil moisture, flood

*Corresponding author: