

ارزیابی قابلیت محصولات بارشی ماهواره TRMM در پایش بارش و نرخ فرسایش ایران

پیمان محمدی احمد محمودی*: دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده‌ی علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس.

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸)

چکیده

برای محاسبه‌ی قدرت فرسایش بارش، داده‌های فضایی بارندگی با وضوح بالا برای ارزیابی فرسایش باران ضروری است. سنجنده‌های باران، توزیع فضایی نامنظم و ناهماهنگی فضایی حاصل از بارش را در برآورد مقدار بارندگی به خوبی نشان نمی‌دهند؛ زیرا بارش را به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند. برآورد مقدار بارش از داده‌های ماهواره‌ای، راه‌حلی جایگزین برای این مشکل است که امکان برآورد مقدار بارش و توزیع فضایی آن را در مناطق بزرگ فراهم می‌کند. هدف از این پژوهش، ارزیابی قابلیت داده‌های بارشی ماهواره‌ی TRMM در برآورد بارش و پایش نرخ فرسایش در سطح ایران است. در این پژوهش از داده‌های ماهانه‌ی ماهواره‌ی TRMM طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵، به منظور برآورد نرخ و ترسیم نقشه‌ی بارش و فرسایش با استفاده از شاخص فورنیه در سطح کشور استفاده شده است. برای ارزیابی دقت و صحت داده‌های TRMM نیز از آمار بارش ماهانه‌ی ۴۵ ایستگاه زمینی هم‌زمان با داده‌های TRMM استفاده شده است. نتایج پژوهش در ارزیابی بارش و نرخ فرسایش نشان می‌دهد که به طور کلی، بیشترین نرخ بارش و فرسایش متعلق به ناحیه‌ی خزری، مناطق مرتفع زاگرس و البرز است و کم بارش‌ترین مناطق بارشی و نرخ فرسایش به ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق کشور اختصاص دارد. سایر مناطق کشور نیز نرخ فرسایش بینایی دارد. نتایج ارزیابی دقت داده‌های TRMM در قیاس با ایستگاه‌های زمینی نشان می‌دهد که ضریب R^2 برای سال‌های پایش شده به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۷۷، ۰/۷۳ و ۰/۸۲ است که از این منظر، این داده‌ها جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های زمینی محسوب می‌شود. نتایج ضریب RMSE برای سال‌های پایش شده نیز به ترتیب برابر است با ۱۵۲، ۲۰۵، ۲۱۳ و ۲۷۳ که از این نظر، اختلاف بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای به دلیل قدرت تفکیک مکانی ضعیف داده‌های TRMM و ماهیت متفاوت برداشت با ایستگاه‌های زمینی نسبتاً زیاد است.

واژگان کلیدی: داده‌های فضایی، فرسایش، مخاطرات محیطی، مدیریت اراضی.

۱- مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در هر کشور است که فرسایش آن به بروز بسیاری از مشکلات انسانی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر می‌شود. در ایران بیش از ۷۵ درصد خاک‌ها در معرض فرسایش هستند (Alizadeh, 1986). امروزه فرسایش خاک، خطری برای رفاه انسان و حتی حیات او به شمار می‌آید. فرسایش نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌شود و از این راه خسارت زیاد و جبران‌ناپذیری به جا می‌گذارد، بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن، سدها، بندرها و کاهش ظرفیت آبیگری آنها نیز سبب زیان‌های فراوانی

می‌شود (Refahi, 2010).

در فرسایش آبی قدرت فرساینده‌گی باران، نیروی محرکه یا توان عوامل فرسایش‌زا (نظیر باران یا روان آب ناشی از آن) در جداسازی و انتقال ذرات خاک است (Alipour et al, 2010). برای محاسبه‌ی قدرت فرساینده‌گی بارش، داده‌های فضایی بارندگی با وضوح بالا برای ارزیابی فرسایش باران ضروری است (Teng et al, 2017) با این حال، گردآوری اطلاعات پیرامون انرژی جنبشی قطرات باران و مقادیر ریزش باران در تفکیک زمانی کوتاه‌مدت به‌خصوص در کشورهای جهان سوم، زمانبر و سخت و در عین حال پردازش آنها مشکل است (Lai et al, 2016)؛ به همین دلیل برای محاسبه‌ی فرسایش‌پذیری خاک، اغلب از روابط آماری و بارندگی سالانه برای محاسبه‌ی شاخص فرسایش استفاده می‌شود (Mikhailova et al, 1997) سنجنده‌های باران، اطلاعات ارزشمندی در مورد میزان و شدت بارندگی ارائه می‌دهد، اما توزیع فضایی نامنظم و ناهماهنگی فضایی حاصل از بارش را در برآورد مقادیر بارندگی به‌خوبی نشان نمی‌دهد (Kühnlein et al, 2014)؛ زیرا بارش را به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کند. در این حالت، برآورد مقدار بارش از داده‌های ماهواره‌ای یک راه‌حل جایگزین برای این مشکل است که برآورد مقدار بارش و توزیع فضایی آن را در مناطق بزرگ ممکن می‌سازد (Maidment et al, 2017). از سال ۱۹۹۷ تاکنون از ماهواره‌ی TRMM^۱ برای رسیدن به محصولات بارشی - که نیمی از جهان را پوشش می‌دهد - استفاده می‌شود (Sanchez et al, 2014). این محصولات در پروژه‌های اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیکی (Kimani et al, 2017) و ارزیابی فضایی مقدار فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Teng et al, 2017).

Zhu و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با عنوان روشی جدید برای تخمین فاکتور فرساینده‌گی باران، بر اساس داده‌های TRMM در استان لیانونینگ چین، از داده‌های بارشی سه ساعته TRMM-3B42 به‌منظور تخمین فرساینده‌گی باران با استفاده از شاخص EI₃₀ استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که داده‌های TRMM، همبستگی معنی‌داری با داده‌های ایستگاه باران‌سنجی دارد. آنها استفاده از داده‌های TRMM - که بر اساس شدت بارندگی هستند - را برای استفاده به عنوان فاکتور فرساینده‌گی باران مؤثر دانستند و استفاده از آنها را بالأخص برای مناطق فاقد ایستگاه باران‌سنجی توصیه کردند.

Pandey و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان مدل‌سازی فرسایش خاک با استفاده از داده‌های بارشی ماهواره‌ای در محدوده‌ی حوضه‌ی آبخیز کارنالی در هند، از محصولات TRMM-3B42 V7 ماهواره‌ی TRMM به‌منظور برآورد فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از شاخص فورنیه استفاده کردند. سپس نتایج آن را در مدل جهانی فرسایش خاک قرار دادند. آنها پس از برآورد فرسایش خاک، به طبقه‌بندی و مقیاس‌گذاری کیفی حوضه‌ی آبخیز از نظر فرسایش آبی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۶۹ درصد از حوضه‌ی رودخانه‌ی کارنالی به توجه فوری نیازمند است تا اقدامات آبخیزداری برای حفاظت خاک در آن صورت گیرد.

Teng و همکاران (۲۰۱۶) پژوهشی با عنوان تلفیق داده‌های ماهواره‌ای مرئی و مادون‌قرمز انجام دادند. آنها به‌منظور مدل‌سازی فرسایش خاک و خسارت ناشی از آن در استرالیا، برای تخمین عامل فرساینده‌گی باران از داده‌های TRMM طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ به‌منظور محاسبه‌ی حداکثر شدت بارندگی سه ساعته و در نهایت تخمین فاکتور R در مدل

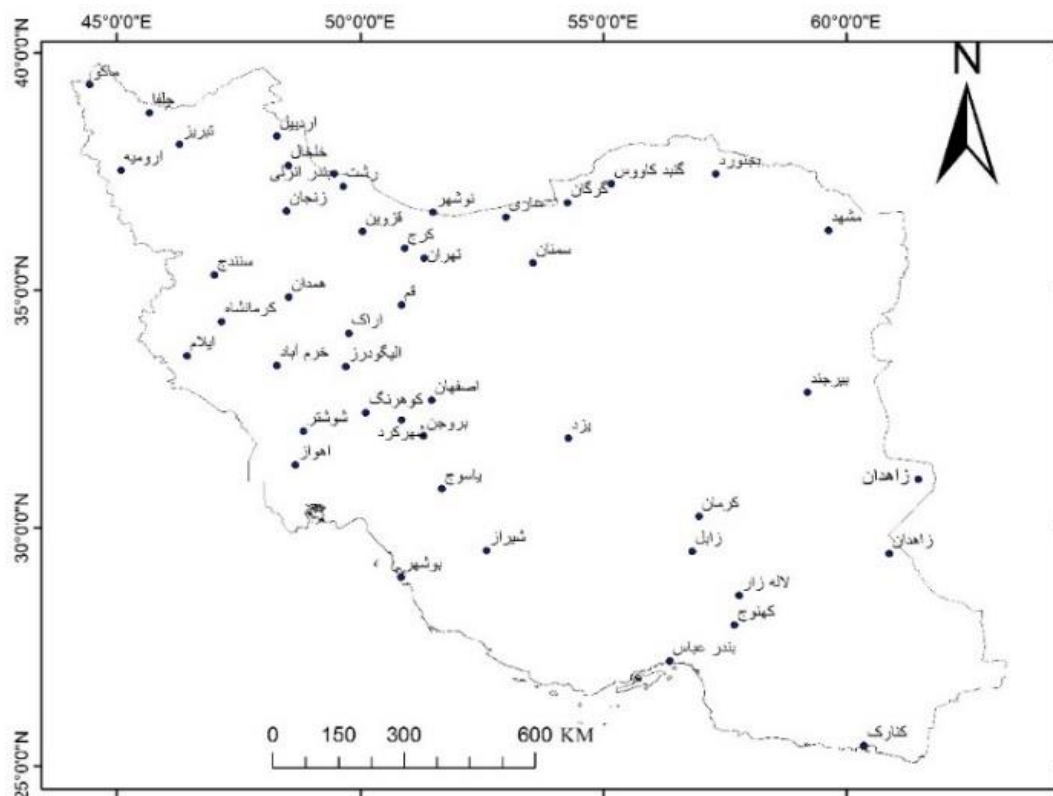
¹ Tropical Rainfall Measuring Mission

جهانی فرسایش خاک استفاده کردند. نتایج ارزیابی دقت فاکتور R تخمین زده شده توسط داده‌های TRMM با داده‌های ایستگاه‌های زمینی، دارای ضریب $R^2 = 0/86$ و $RMSE = 2726$ بود. Teng و همکاران (۲۰۱۷) پژوهشی با عنوان بهبود پارامتر بارش جهت برآورد فاکتور فرسایش پذیری با استفاده از تلفیق داده‌های بارش با داده‌های TRMM انجام دادند. آنها از محصولات روزانه‌ی TRMM در کل سطح کشور چین به منظور برآورد فرسایش خاک استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که داده‌های TRMM دقت بالایی در برآورد فرسایش پذیری خاک دارد.

بر اساس مطالعات انجام شده در ایران، سالیانه به طور متوسط ۱۵۰۰ تن خاک در هر کیلومتر مربع از سطح زمین در اثر فرسایش آبی شسته می‌شود و این بدان معناست که هر سال یک میلی‌متر از ضخامت خاک در کشور کاسته می‌شود. از آنجایی که در کشورهای در حال توسعه، استفاده از روش‌های تجربی و مشاهدات میدانی برای اندازه‌گیری نرخ فرسایش زمانبر است و اغلب هزینه‌های زیادی دارد؛ بنابراین، استفاده از روش‌های جایگزین و کم‌هزینه‌تر مانند انواع روش‌های پهنه‌بندی برای پیش‌بینی و ارزیابی فرسایش خاک مطلوب‌تر است (Abedin and Jacob njadasl, 2017). در سطح جهان چندین پژوهش با استفاده از محصولات بارشی ماهواره‌ی TRMM برای برآورد فاکتور فرسایش پذیری خاک صورت گرفت، ولی در ایران تاکنون از این محصولات در بررسی‌های مربوط به بحث فرسایش و فرسایش پذیری استفاده نشده است. از آنجایی که یکی از محدودیت‌های برآورد قدرت فرساینده‌ی باران در بخش‌های وسیعی از کشور، نبود اطلاعات پیرامون شدت یا مقدار بارش است (Moradi et al, 2015)، این پژوهش می‌تواند رهیافتی برای برطرف کردن محدودیت‌هایی همچون نبود آمار شدت و میزان بارش در سطح کشور باشد. هدف از این پژوهش، پایش مقدار بارندگی و فرسایش پذیری خاک با استفاده از محصولات بارشی ماهواره‌ی TRMM در سطح کشور است.

۲- مواد و روش

در این پژوهش برای پایش نرخ بارش و بررسی عملکرد داده‌های TRMM طی فصول و سال‌های مختلف، از داده‌های ماهانه‌ی TRMM-3B42 در تفکیک زمینی $0/25 \times 0/25$ درجه و به منظور تخمین نرخ فرساینده‌ی خاک با استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده استفاده شده است. علت استفاده از شاخص فورنیه اصلاح شده، مقایسه با نرخ فرساینده‌ی به دست آمده از ایستگاه‌های زمینی - که داده‌های آنها وجود دارد - است. داده‌های ماهانه‌ی TRMM-3B42 برای تخمین نرخ فرساینده‌ی طی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴، از تارنمای <http://apdrc.soest.hawaii.edu> دریافت شد. ایستگاه‌های زمینی مورد استفاده برای محاسبه‌ی نرخ فرساینده‌ی هم‌زمان با داده‌های TRMM ایستگاه‌های موجود در شکل ۱ است که آمار آنها نیز از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده برای پایش نرخ بارش و فرساینده‌گی.

شاخص فورنیه اصلاح شده، مطابق رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود (Gholami et al, 2016).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه F شاخص اصلاح شده‌ی فورنیه، P_i متوسط بارندگی ماهانه و P متوسط بارندگی سالانه برحسب میلی متر است.

در ادامه از رابطه‌هایی که رنارد و فریموند (۱۹۹۴) برای برآورد مقدار R با استفاده از مقادیر محاسبه شده شاخص فورنیه اصلاح شده پیشنهاد دادند، برای برآورد قدرت فرساینده‌گی باران برای تصاویر TRMM و ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شده است.

$$R - \text{Factor} = 0.7397F^{1.847} \quad F < 55 \text{ mm} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

$$R - \text{Factor} = (95.77 - 6.81 * F + 0.4770 * F^2) / 17.2 \quad F \geq 55 \text{ mm} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

در این روابط، R فاکتور فرساینده‌گی باران بر حسب $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ است.

برای تبدیل مقادیر برآورد نقطه‌ای شاخص فرساینده‌گی باران به سطح نقشه، از روش درون‌یابی IDW^1 برای پهنه-بندی عامل فرساینده‌گی باران استفاده شده است. در اغلب پژوهش‌های صورت گرفته به منظور میان‌یابی بارش ایستگاه‌های

¹ Inverse Distance Square Weighted

زمینی در برآورد فرسایندگی، از روش IDW استفاده شده است. در این پژوهش نیز از روش IDW به دلیل برآوردهای مشابه ایستگاه‌های زمینی و مناسب بودن آن برای مناطق وسیع و منطقه‌ای استفاده شده است.

ارزیابی دقت

به منظور ارزیابی داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، از ریشه‌ی میانگین مربع خطاها و ضریب تبیین R^2 بین مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک و محصول بارش TRMM مطابق روابط ۴ و ۵ استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ی ۴}$$

$$R^2 = \sqrt{\frac{\sum_1^n (P_i - \bar{O}_i)^2}{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}} \quad \text{رابطه ی ۵}$$

که P_i مقدار برآورد شده در نقطه‌ی i ، O_i مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه i ، \bar{O}_i میانگین مقادیر مشاهده‌ای برای نقطه i ، شماره نقاط و n تعداد مشاهده است.

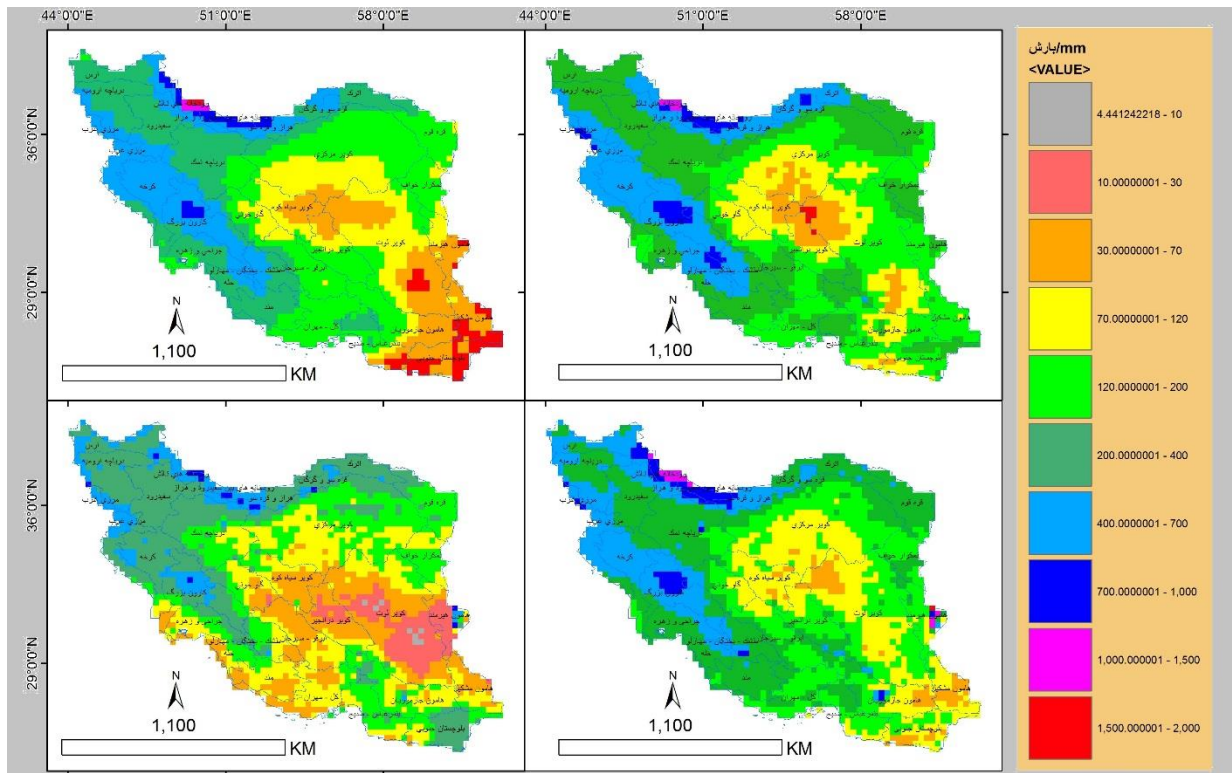
۳- یافته‌ها (نتایج)

بررسی میانگین بارش سالانه‌ی کشور که از محصولات TRMM-3B42 به دست آمده، نشان از تغییرات فضایی محسوس بارش برای مناطق کم بارش کشور طی هر چهار سال است. در سال ۲۰۰۲، مناطق پربارش کشور شامل نواحی خزری و مناطق مرتفع زاگرس است و پس از آن نواحی پایکوهی البرز و زاگرس بیشترین بارش را دارد. از رشته کوه‌ها به سمت کویر مرکزی به صورت لایه‌لایه‌ی منظم، از بارش سالانه کاسته شده، اما کم بارش‌ترین مناطق کشور نه در مرکز کشور بلکه ناحیه‌ی سیستان و بلوچستان است. در سال ۲۰۰۵، الگوی بارشی کشور همان الگوی سال ۲۰۰۰ است؛ با این تفاوت که ناحیه‌ی هزار و لاله‌زار شمال هرمزگان و سیستان و بلوچستان، بارش بهتری را نسبت به سال ۲۰۰۰ دریافت کرده‌اند و کم بارش‌ترین منطقه‌ی کشور، منطبق کویر مرکزی است. در سال ۲۰۱۰، کشور کاهش بارش سالانه را در تمامی مناطق تجربه کرده است؛ طی این سال از گستردگی مناطق پربارش در ناحیه‌ی خزری و زاگرس کاسته شده و پر بارش‌ترین مناطق به صورت تک پیکسل‌هایی مشخص شده‌اند که بارش آنها عمدتاً با بارش نواحی پایکوهی البرز و محدوده‌ی آذربایجان مساوی شده و از گستردگی سایر طبقات که بارش سالانه‌ی خوبی در سال‌های قبل داشته‌اند، کم شده است (جدول ۱). همچنین طی این سال، کم بارش‌ترین مناطق کشور منطبق بر کویر مرکزی و سیستان است. در سال ۲۰۱۰، زاگرس فارس، غرب هرمزگان، بوشهر و مناطق مرکزی و جنوب خوزستان کاهش شدید بارش را متحمل شده‌اند. در سال ۲۰۱۵، مجدداً الگوی بارش سالانه‌ی کشور با الگوی بارش در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ شباهت یافته است. طی این سال، طبقه‌ی بارشی ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر و طبقات پایین‌تر از آن در نقشه‌ی بارشی کشور وجود ندارد (شکل ۲).

جدول ۱: پهنه بندی میانگین بارش کشور و درصد فراوانی نسبی مساحت هر طبقه از بارش کشور با استفاده از محصولات

TRMM

سال				دامنه‌ی بارش (mm)
۲۰۱۵	۲۰۱۰	۲۰۰۵	۲۰۰۰	
درصد فراوانی				
۰	۰/۲۵	۰	۰	۰-۱۰
۰	۶/۲۷	۰/۲۵	۳/۱۸	۱۰-۳۰
۳/۲۶	۱۶/۶۳	۵/۳۹	۱۲/۹۷	۳۰-۷۰
۲۰/۲۱	۲۱/۷۴	۱۳/۶۷	۱۵	۷۰-۱۲۰
۲۵/۵۵	۲۱/۲۳	۲۷/۷۷	۲۷/۷۷	۱۲۰-۲۰۰
۳۲	۲۶/۸۷	۳۲/۷۸	۲۳/۷	۲۰۰-۴۰۰
۱۵/۸۳	۶/۵	۱۷/۵۳	۱۵/۵۹	۴۰۰-۷۰۰
۲/۶۱	۰/۵۱	۲/۳۷	۱/۴۳	۷۰۰-۱۰۰۰
۰/۴۹	۰	۰/۲۴	۰/۲۴	۱۰۰۰-۱۵۰۰
۰/۰۴	۰	۰	۰/۱۲	۱۵۰۰-۲۰۰۰
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	مجموع



شکل ۲: نقشه‌ی پهنه بندی شده‌ی میانگین بارش سالانه با استفاده از محصولات TRMM-3B42

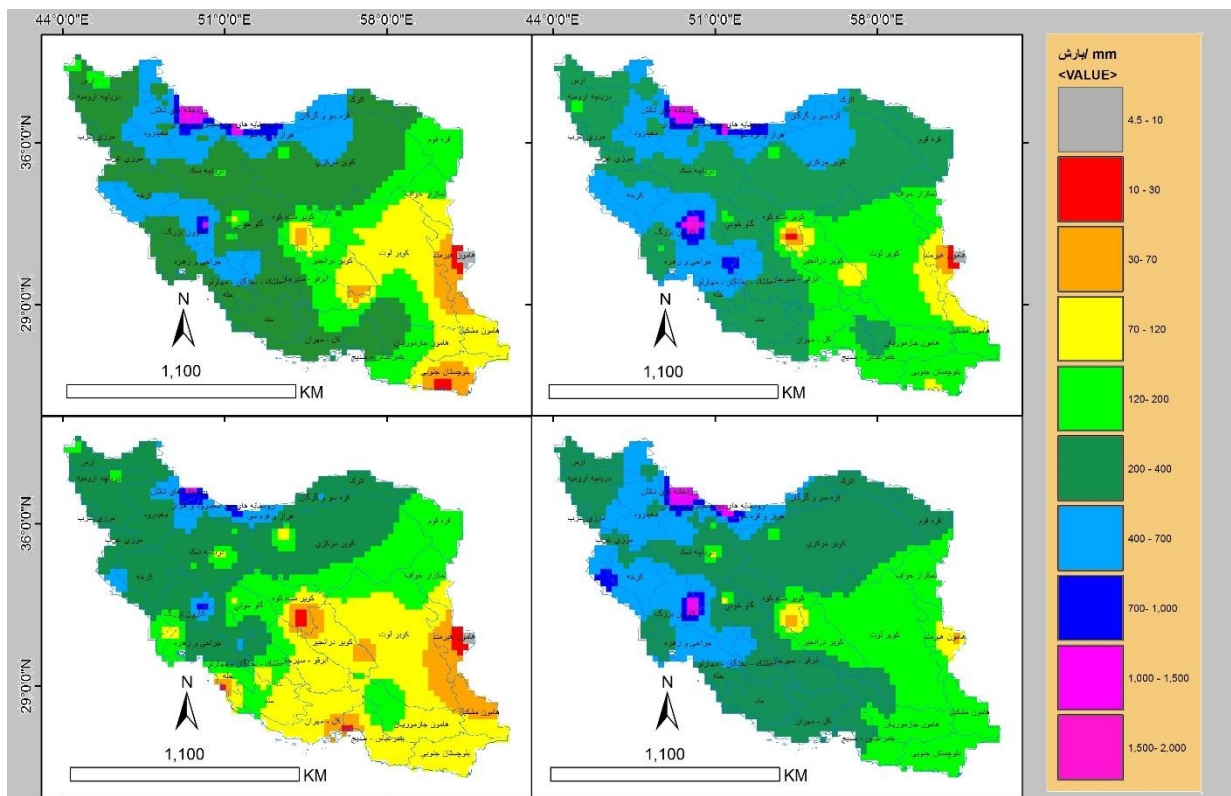
روند میانگین بارش سالانه‌ی کشور - که از ایستگاه‌های زمینی و با تکنیک درون‌یابی استخراج شده‌است - در نخستین نگاه نشان‌دهنده‌ی تعدد پیکسل‌های دارای بارش ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر برای ایستگاه‌های شهر کرد و کوه‌رنگ در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ است که در نقشه‌ی مشابه با استفاده از داده‌های TRMM، این طبقه‌ی بارشی مختص ایستگاه انزلی در ناحیه‌ی خزری بوده‌است. در سال ۲۰۰۰، مناطق پربارش کشور شامل ناحیه‌ی خزری، زاگرس بختیاری و پس از آن نواحی پایکوهی است که به‌صورت لایه‌لایه از مقادیر بارش به سمت ناحیه‌ی مرکزی کشور کاسته شده، ولی کم بارش‌ترین ناحیه‌ی کشور منطبق بر ناحیه‌ی سیستان و مکران است.

در سال ۲۰۰۵، مرز مناطق پربارش تغییرات محسوسی داشته‌است که افزایش سطح این مناطق را نشان می‌دهد. همچنین منطقه‌ی بلوچستان و حوضه لوت نیز از لحاظ بارش به طبقه‌ی ۱۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌متری ارتقا یافته‌اند. کم بارش‌ترین مناطق در این سال، منطبق بر زابل و یزد است. در سال ۲۰۱۰، میانگین بارش سالانه‌ی کشور نسبت به تمامی سال‌ها تغییرات کاهشی محسوسی داشته‌است و مطابق روند داده‌های RTMM، از مساحت طبقات پربارش (جدول ۲) که شامل ناحیه‌ی خزر و ارتفاعات میانی زاگرس بوده، کاسته شده‌است. در این سال نواحی پایکوهی البرز، زاگرس و آذربایجان در یک دامنه‌ی بارشی قرار گرفته‌اند. طی این سال بخش اعظمی از کشور که شامل کویر مرکزی، لوت، زاگرس فارس و هرمزگان، جلگه‌ی خوزستان، مکران و سیستان است، در طبقه‌ی بارشی ۷۰ تا ۱۲۰ میلی‌متری قرار گرفته‌اند. کانون‌های کم بارش کشور شامل نواحی یزد، زابل، بندرعباس و بوشهر است. در سال ۲۰۱۵ نیز میانگین بارش کشوری مجدداً به میانگین بارش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ شباهت یافته‌است. در سال ۲۰۱۵، مناطق کم بارش مرکزی و سیستان و بلوچستان از لحاظ بارش ارتقا یافته‌اند و مناطق زابل و یزد کم بارش‌ترین نواحی کشور هستند (شکل ۳ و جدول ۲).

جدول ۲: پهنه‌بندی میانگین بارش کشور و درصد فراوانی نسبی مساحت هر طبقه از بارش کشور با استفاده از داده‌ی

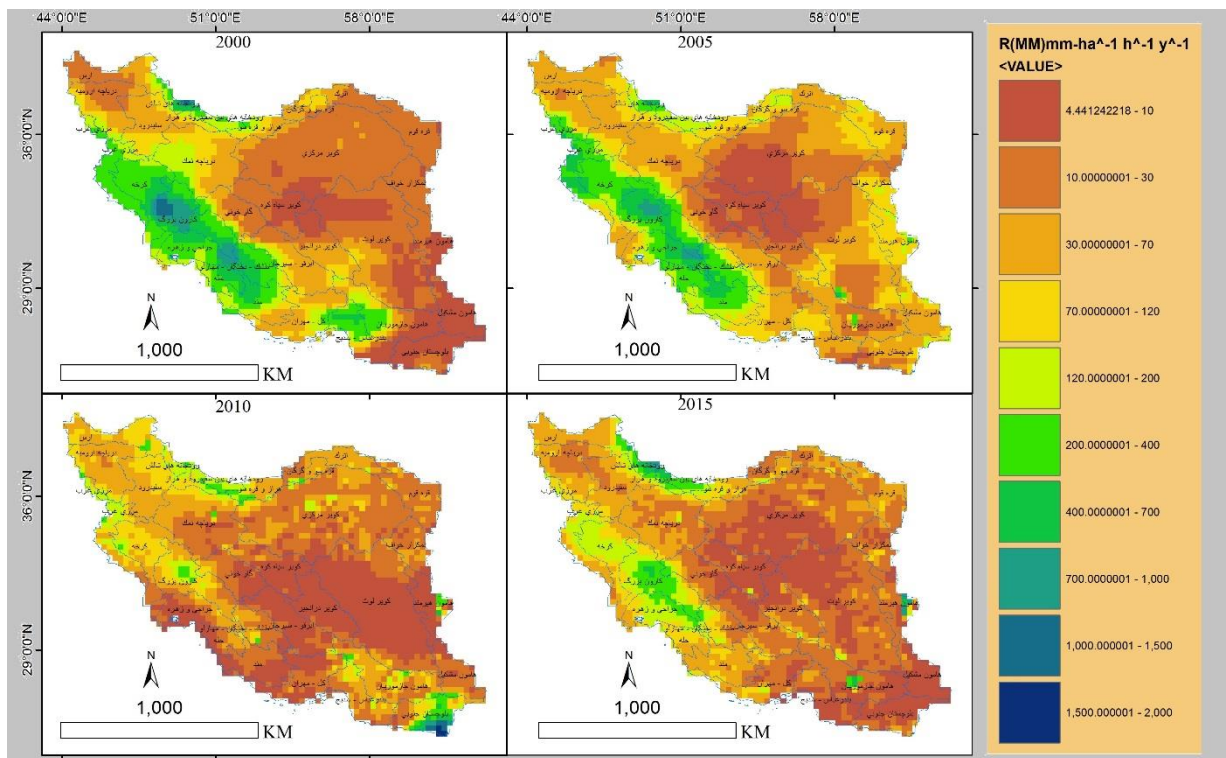
ایستگاه‌های سینوپتیک

سال				دامنه‌ی بارش (mm)
۲۰۱۵	۲۰۱۰	۲۰۰۵	۲۰۰۰	
درصد فراوانی				
۰	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۹	۰-۱۰
۰	۰/۷۱	۰/۳۳	۰/۵۰	۱۰-۳۰
۰/۱۹	۶/۴۲	۰/۶	۳/۹	۳۰-۷۰
۱/۵۱	۲۸/۹۱	۴/۶۱	۱۴/۹۴	۷۰-۱۲۰
۲۸/۳۴	۲۲/۲۸	۲۷/۲۰	۱۷/۴۰	۱۲۰-۲۰۰
۵۰/۵۹	۳۷/۲۶	۴۳/۷۵	۴۴/۹۵	۲۰۰-۴۰۰
۱۶/۸۸	۳/۶۳	۲۰/۸۹	۱۶/۲۴	۴۰۰-۷۰۰
۱/۵۸	۰/۶۲	۱/۷	۱/۲۲	۷۰۰-۱۰۰۰
۰/۸۲	۰/۰۶	۰/۷۲	۰/۵۶	۷۰۰-۱۵۰۰
۰/۰۸	۰	۰/۱۱	۰/۰۹	۱۵۰۰-۲۰۰۰
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	مجموع

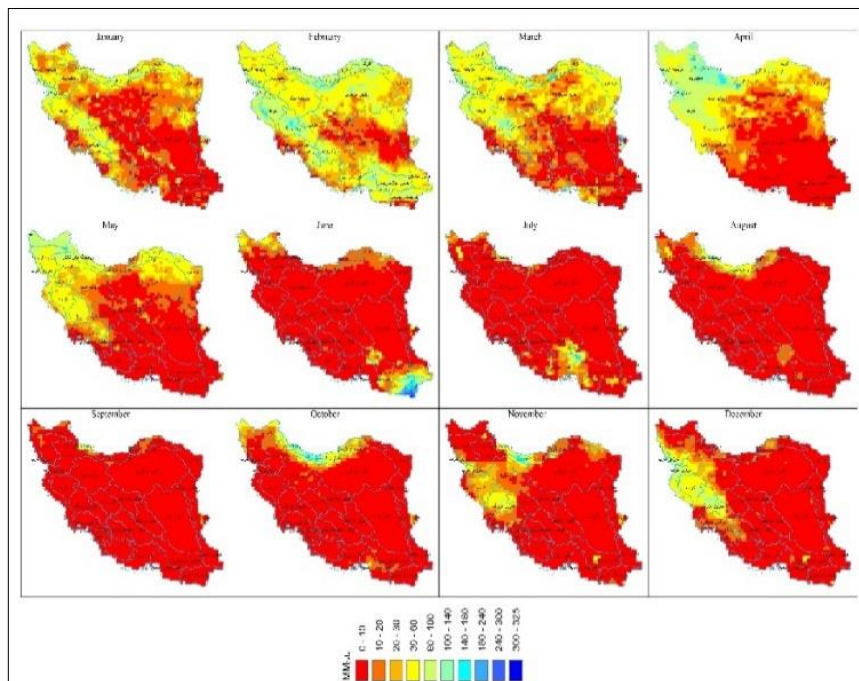


شکل ۳: نقشه‌ی پهنه‌بندی شده‌ی میانگین بارش سالانه با استفاده از داده‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک

بررسی نقشه‌های فرسایندگی باران که از محصولات TRMM به دست آمده است (شکل ۴)، در نگاه کلی تبعیت از بارش سالانه‌ی کشور را برای هر سال نشان می‌دهد، لکن در جزئیات آن نکات خوبی نیز مشاهده می‌شود. در سال ۲۰۰۰ مناطقی از کشور که بیشترین مقادیر فرسایندگی را دارد، منطبق بر ناحیه‌ی زاگرس میانی و خزری است. پس از طبقه‌ای که نرخ فرسایندگی آن ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ است، طبقه‌ی با نرخ فرسایندگی ۴۰۰ تا ۷۰۰ قرار دارد که شامل نواحی حاشیه‌ی زاگرس مرتفع و جنوب کرمان است. نقشه‌ی فرسایندگی کشور در سال ۲۰۰۵، منطبق بر نقشه‌ی سال ۲۰۰۰ است؛ با این تفاوت که از نرخ فرسایندگی ناحیه‌ی جنوب کرمان و شمال هرمزگان کاسته شده است. در سال ۲۰۱۰ که سال کاهش میانگین بارش سالانه‌ی کشور است، ناحیه‌ی چابهار بیشترین نرخ فرسایندگی کشور را دارد که علت آن هم نفوذ توده‌های موسمی در ماه ژوئن به این ناحیه است (شکل ۵). در سال ۲۰۱۵ نیز مجدداً بیشترین نرخ فرسایندگی کشور منطبق بر ناحیه‌ی خزر در مرتبه‌ی اول و زاگرس در مرتبه‌ی دوم است.

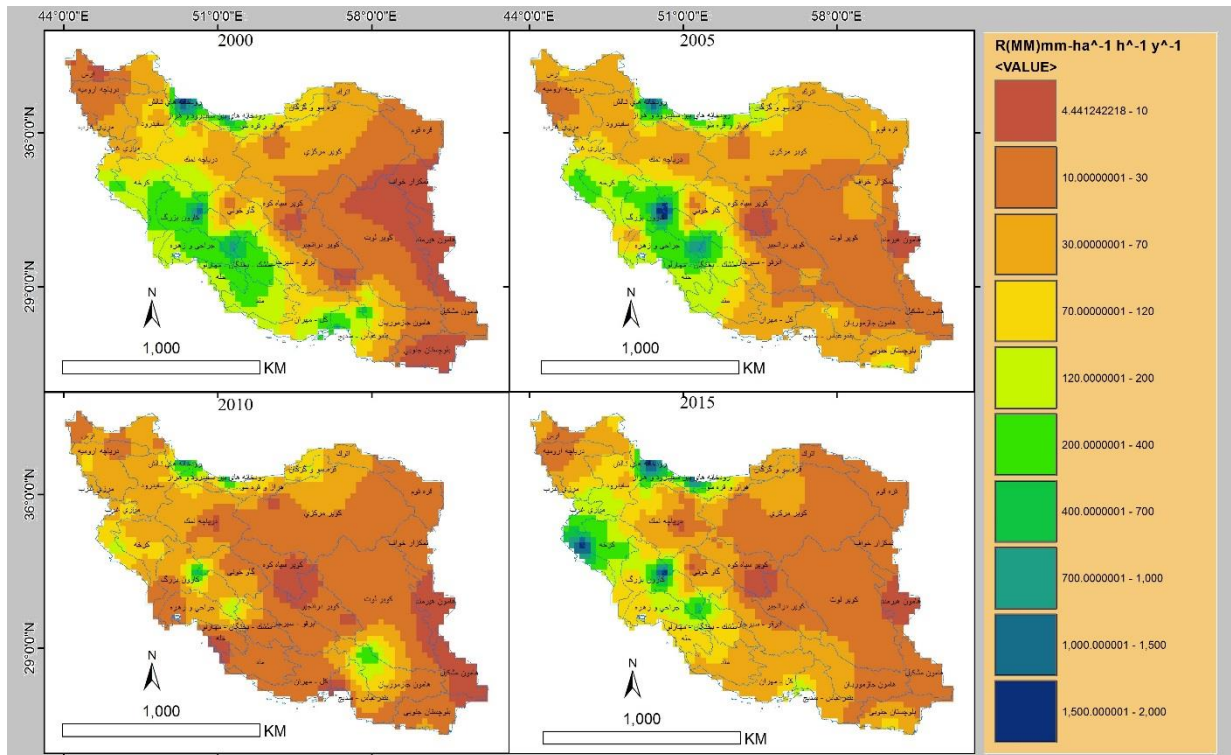


شکل ۴: نقشه‌ی پهنه بندی شده‌ی فرساینده‌ی کشور با استفاده از محصولات TRMM-3B42 .

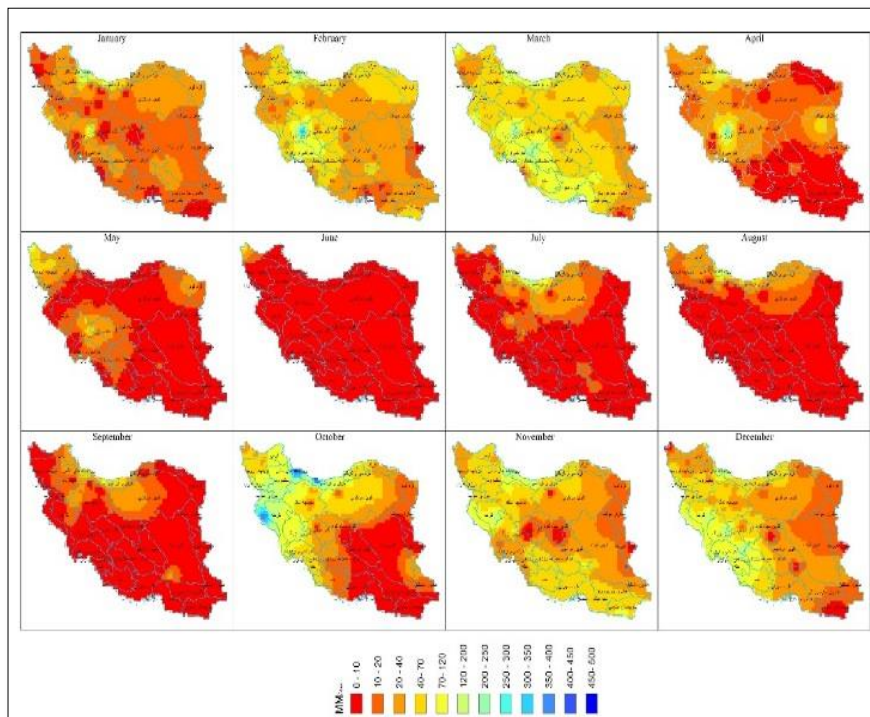


شکل ۵: نقشه‌ی میانگین بارش ماهانه‌ی کشور برای سال ۲۰۱۰ با استفاده از محصولات TRMM-3B42 .

نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی نرخ فرساینده‌ی کشور با استفاده از داده‌ی ایستگاه‌های زمینی و تکنیک درون‌یابی IDW، نشان از تبعیت این نقشه‌ها از بارش سالانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک است (شکل ۶). مهم‌ترین نکته‌ای که در این نقشه‌ها جلب توجه می‌کند، بالا بودن نرخ فرساینده‌ی برای ناحیه‌ی غرب کرمانشاه است که این منطقه طی اکتبر ۲۰۱۵، بارش ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در ماه را به ثبت رسانده‌است (شکل ۷).



شکل ۶: نقشه‌ی پهنه بندی شده‌ی فرساینده‌ی کشور با استفاده از داده‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک.



شکل ۷: نقشه‌ی میانگین بارش ماهانه‌ی کشور برای سال ۲۰۱۵ با استفاده از داده‌ی ایستگاه‌های زمینی.

ارزیابی دقت

مقایسه‌ی میانگین بارش سالانه‌ی محصول TRMM با ایستگاه‌های زمینی نشان می‌دهد که مقادیر R^2 طی چهار دوره مقدار قابل قبولی داشته‌است. مقدار R^2 بیانگر روند همسان بارندگی در دو منبع داده است که از این منظر می‌توان

داده‌های TRMM را با داده‌های زمینی در برآورد فاکتور بارش و متعاقباً فرسایش‌نگی باران جایگزین کرد. مقدار RMSE نشان می‌دهد در سال ۲۰۰۰ - که پر بارش‌ترین سال در میان سال‌های پایش شده است - این مقدار ۱۵۲ میلی‌متر است. در این سال اختلاف بیشینه‌ی بارش در دو داده، ۴۰۶ میلی‌متر است که عمدتاً به چهار ایستگاه پربارش بازمی‌گردد. در سال ۲۰۰۵، اختلاف بین حداکثرهای بارشی در دو منبع داده به ۵۴۳ میلی‌متر و ضریب RMSE به ۲۰۵ میلی‌متر می‌رسد. همچنین در این سال بین مقادیر کمینه‌ی بارش نسبت به دیگر سال‌ها بیشترین اختلاف وجود دارد. در سال ۲۰۱۰، اختلاف در بیشینه‌ی بارش در دو منبع داده به ۵۳۳ و ضریب RMSE به ۱۲۹ تقلیل می‌یابد. در سال ۲۰۱۰ نسبت به دیگر سال‌ها، اختلاف در کمینه‌ی بارش، میانگین، جمع و انحراف معیار بارش نسبت به دیگر سال‌ها کمتر است که این نکته نشان می‌دهد با افزایش بارندگی سالانه، خطای اندازه‌گیری دو منبع داده بالاتر می‌رود؛ زیرا سال ۲۰۱۰ کم بارش‌ترین سال میان سال‌های پایش شده است. طی سال ۲۰۱۵ نیز اختلاف در بیشینه‌ی بارشی در دو منبع داده به ۵۰۴ میلی‌متر می‌رسد، طی همین سال بیشترین مقدار ضریب RMSE و کمترین مقدار همبستگی نسبت به دیگر سال‌ها وجود دارد.

توجه به مرز نقشه‌های تولید شده چه در پهنه‌بندی بارش سالانه و چه در تهیه‌ی نقشه‌ی فرسایش‌نگی باران، همچنین پارامترهای آماری جدول ۳ نشان می‌دهد که نقشه‌های تولید شده هر چند در دو منبع داده، کلیات را منطبق بر هم نشان می‌دهند، ولی مرزهای فضایی، دامنه‌ی بارشی و انحراف بارش متفاوتی دارند که مهم‌ترین دلایل آن شامل موارد زیر است:

۱- نقشه‌های پهنه‌بندی شده‌ی بارش و فرسایش‌نگی که با استفاده از داده‌ی ایستگاه‌های زمینی و تکنیک درونیابی تولید شده‌اند، ماهیت نقطه‌ای دارند که هر چه نقاط بیشتری در فرآیند درونیابی دخالت داده شود، نقشه‌های تولیدی از انعطاف‌پذیری و دقت بالاتری برخوردار خواهند شد.

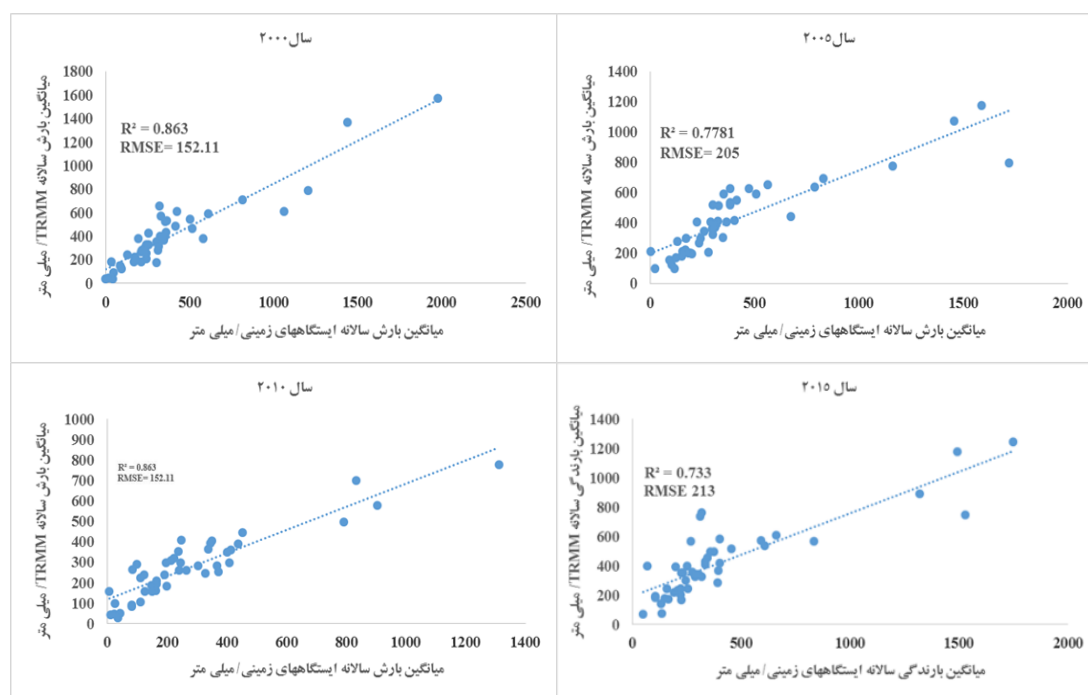
۲- نقشه‌های پهنه‌بندی بارش و فرسایش‌نگی باران که با استفاده از محصولات TRMM ترسیم شده‌اند، ماهیتی فضایی دارند که توسط سنجنده‌های مستقر بر روی ماهواره برداشت شده‌اند. تفکیک فضایی ۲۵ در ۲۵ کیلومتر باعث می‌شود که هر پیکسل، میانگین بارش در این ابعاد را برداشت کند و نمایش دهد؛ زیرا طبق تعریف، پیکسل کوچک‌ترین واحد فضایی است که تجانس دارد و فاقد تفکیک‌پذیری است. مقدار DN در سرتاسر پیکسل یکسان است در صورتی که دامنه‌ی بارشی در ۶۲۵ کیلومترمربع - که مساحت یک پیکسل است - ممکن است تغییرات زیادی داشته باشد و در بعضی قسمت‌های آن در برخی مواقع بارشی دریافت نشود، ولی فرآیند اسکن، بارش منطقه را به آن قسمت تعمیم دهد.

۳- از آنجایی که داده‌های TRMM به صورت فضایی هستند روش مطلوب‌تر در ارزیابی خطا، سنجش همبستگی فضایی دو منبع داده است که به دلیل کم بودن ایستگاه‌های دارای آمار، تنها برای پیکسل‌هایی که ایستگاه سینوپتیک در آن قرار داشته است، پارامترهای ارزیابی به دقت اندازه‌گیری شده‌اند.

با توجه به نکات گفته شده، داده‌های TRMM می‌تواند جایگزین مناسبی برای داده‌ی ایستگاه‌های زمینی باشد، ولی ذکر این امر به پژوهش‌های بیشتری در مقیاس حوضه‌های آبریز نیازمند است.

جدول ۳: پارامترهای آماری بارش سالانه ایستگاه‌های زمینی و محصول TRMM

سال بارشی	منبع داده	کمینه	بیشینه	میانگین	جمع	انحراف از معیار
۲۰۰۰	ایستگاه سینوپتیک	۱/۰۵	۱۹۷۵/۴	۳۷۵/۰۸	۱۶۸۷۸/۵	۳۸۲/۹۸
	TRMM	۳۷/۲۸	۱۵۶۹/۲۹	۳۹۵/۳۳	۱۷۸۷۹/۹۹	۲۴۰/۹
۲۰۰۵	ایستگاه سینوپتیک	۱/۶	۱۷۲۰/۱	۴۰۴/۷۶	۱۸۲۱۴/۱۶	۳۸۶/۳۹
	TRMM	۹۸/۲۴	۱۱۷۵/۷۷	۴۱۸/۲۴	۱۸۸۲۰/۵۹	۲۴۱/۳۵
۲۰۱۰	ایستگاه سینوپتیک	۷/۵۸	۱۳۱۰/۹۸	۲۷۵/۱۲	۱۲۳۸۰/۵۴	۲۵۴/۳۱
	TRMM	۲۸/۴۳	۷۷۷/۲۴	۲۷۴/۸۷	۱۲۳۶۹/۱۸	۱۵۸/۴۲
۲۰۱۵	ایستگاه سینوپتیک	۵۰/۶۱	۱۷۴۸/۳۷	۴۰۲/۲۹	۱۸۱۰۲/۹۳	۳۸۶/۰۳
	TRMM	۶۹/۵۲	۱۲۴۴/۰۷	۴۱۹/۹۹	۱۸۸۹۹/۶۱	۲۵۲/۸۷



شکل ۸: رابطه‌ی بین میانگین بارش سالانه، ایستگاه‌های زمینی و محصول بارشی TRMM

۴- بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین عوامل در جلوگیری از پدیده‌ی مخرب فرسایش، تعیین روشی مناسب برای اندازه‌گیری میزان فرسایش‌پذیری خاک‌هاست؛ به همین دلیل، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک پیشنهاد شده‌ است و از آن استفاده می‌شود. سنجنده‌های باران اطلاعات ارزشمندی در مورد میزان و شدت بارندگی ارائه می‌دهد. با این حال، توزیع فضایی نامنظم و ناهماهنگی فضایی حاصل از بارش باران را در برآورد بارش به‌خوبی نشان نمی‌دهد؛ زیرا بارش را به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کند. در این حالت، برآورد مقدار بارش از داده‌های ماهواره‌ای یک راه-

حل جایگزین برای این مشکل است که امکان برآورد مقدار بارش و توزیع فضایی آن را در مناطق بزرگ فراهم می‌کند (Teng et al, 2017). سنجنده‌ی TRMM از سال ۱۹۹۷ تاکنون برای رسیدن به محصولات بارشی - که نیمی از جهان را پوشش می‌دهد - مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش برای بررسی قابلیت محصولات بارشی TRMM در تهیه‌ی نقشه‌ی بارندگی و فرساینده‌ی کشور، از محصولات ماهانه‌ی TRMM-3B42 و جهت ارزیابی دقت، از آمار بارش ماهانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور استفاده شده‌است. نتایج ارزیابی نرخ سالانه‌ی بارندگی نشان می‌دهد که به طور کلی مناطق پربارش کشور منطبق بر ناحیه‌ی خزری و رشته کوه‌های البرز و زاگرس است و نواحی کم بارش منطبق بر نواحی مرکزی کشور، شرق و جنوب شرق کشور است که مرز طبقات بارشی آنان طی چهار سال پایش شده به برخی از تغییرات کاهشی یا افزایشی گرفتار شده‌است. کم بارش‌ترین سال در میان سال‌های پایش شده، ۲۰۱۰ و پر بارش‌ترین سال، سال ۲۰۰۰ است. بررسی نقشه‌های فرساینده‌ی باران نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۰، مناطقی از کشور که بیشترین مقادیر فرساینده‌ی را دارند، منطبق بر ناحیه‌ی زاگرس میانی و خزری هستند. نقشه‌ی فرساینده‌ی کشور در سال ۲۰۰۵ منطبق بر نقشه‌ی سال ۲۰۰۰ است؛ با این تفاوت که از نرخ فرساینده‌ی ناحیه‌ی جنوب کرمان و شمال هرمزگان کاسته شده‌است. در سال ۲۰۱۰ که سال کاهش میانگین بارش سالانه کشور است، ناحیه‌ی چابهار بیشترین نرخ فرساینده‌ی کشور را داشته که علت آن، نفوذ توده‌ی هوای موسمی در ماه ژوئن به این ناحیه است. در سال ۲۰۱۵ نیز مجدداً بیشترین نرخ فرساینده‌ی کشور منطبق بر نقشه‌ی فرساینده‌ی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ به تبعیت از افزایش بارندگی است. نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی نرخ فرساینده‌ی کشور با استفاده از داده‌ی ایستگاه‌های زمینی و تکنیک درون‌یابی IDW، تبعیت این نقشه‌ها از بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهد. مهم‌ترین نکته‌ای که در این نقشه‌ها جلب توجه می‌کند، بالا بودن نرخ فرساینده‌ی در ناحیه‌ی غرب کرمانشاه است که این منطقه طی اکتبر ۲۰۱۵، بارش ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در ماه را به ثبت رسانده‌است.

مقایسه‌ی بارندگی سالانه‌ی داده‌های TRMM و ایستگاه‌های سینوپتیک نشان می‌دهد که طی هر ۴ سال، ضریب R^2 مطلوبی بین داده‌های TRMM و ایستگاه‌های زمینی برقرار است. بیشترین مقدار R^2 بین دو دسته داده در سال ۲۰۰۰ با مقدار ۰/۸۶ و کمترین مقدار متعلق به سال ۲۰۱۵ با مقدار ۰/۷۳ بوده‌است. مقدار RMSE نشان می‌دهد در سال ۲۰۰۰ - که پر بارش‌ترین سال در میان سال‌های پایش شده است - این مقدار ۱۵۲ میلی‌متر بوده‌است. در این سال اختلاف بیشینه‌ی بارش در دو روش، ۴۰۶ میلی‌متر است که عمدتاً به چهار ایستگاه پربارش بازمی‌گردد. در سال ۲۰۰۵، اختلاف بین حداکثرهای بارشی در دو منبع داده به ۵۴۳ میلی‌متر و ضریب RMSE به ۲۰۵ میلی‌متر می‌رسد. همچنین در این سال، بیشترین اختلاف بین مقادیر کمینه‌ی بارش نسبت به دیگر سال‌ها وجود دارد. در سال ۲۰۱۰، اختلاف در بیشینه‌ی بارش در دو منبع داده به ۵۳۳ و ضریب RMSE به ۱۲۹ تقلیل می‌یابد. در سال ۲۰۱۰ نسبت به دیگر سال‌ها اختلاف در کمینه‌ی بارش، میانگین، جمع و انحراف معیار بارش نسبت به دیگر سال‌ها کمتر است که این نکته نشان می‌دهد با افزایش بارندگی سالانه، خطای اندازه‌گیری دو منبع داده بالاتر می‌رود؛ زیرا سال ۲۰۱۰ کم بارش‌ترین سال میان سال‌های پایش شده‌است. طی سال ۲۰۱۵ نیز اختلاف در بیشینه‌ی بارشی در دو منبع داده به ۵۰۴ میلی‌متر می‌رسد. طی همین سال نیز بیشترین مقدار ضریب RMSE و کمترین مقدار همبستگی نسبت به دیگر سال‌ها وجود دارد.

ارزیابی نتایج به دست آمده از هر دو منبع داده نشان می‌دهد که هر دو روش، روند کلی بارندگی و متعاقب آن فرسایندها را نشان می‌دهند، ولی در مرزهای نواحی بارشی و مناطق حداکثری بارش و حداقلی بارش تفاوت‌هایی دارند که به ماهیت روش برداشت این دو نوع داده برمی‌گردد. ایستگاه‌های زمینی، بارش را به صورت نقطه‌ای برآورد می‌کنند؛ به همین دلیل، در تهیه نقشه‌ی بارش انعطاف‌پذیری ضعیفی دارند. تکنیک تهیه نقشه‌های بارش و فرسایندها از داده‌ی ایستگاه‌های زمینی درون‌یابی است که هر چه نقاط شرکت‌کننده در فرآیند درون‌یابی بیشتر باشد، نقشه‌ی درون‌یابی شده از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار خواهد شد. داده‌های ماهواره‌ای از برداشت سنجنده در طول خط اسکن حاصل می‌شود که ابعاد هر کدام از پیکسل‌های آن، ۲۵×۲۵ کیلومتر است. با توجه به تعریف و ماهیت پیکسل، عدد ثبت شده برای هر پیکسل شامل میانگینی از بارش سطح ۶۲۵ کیلومتر مربع است.

با توجه به اینکه محصولات TRMM در انواع فرمت زمانی (سه ساعته، روزانه و ماهانه) و شامل شدت بارش برای مقیاس زمانی گفته شده هستند، با انواع شاخص‌های برآورد نرخ فرسایندها قابلیت سازگاری دارند و برای تهیه نقشه‌ی فرسایندها و حوضه‌ها و زیر حوضه‌های کشور قابل استفاده هستند. بنابراین، توصیه می‌شود از این محصولات برای مطالعات بیشتر و بررسی قابلیت اطمینان و اعتمادپذیری به این منبع داده، استفاده شود.

منابع

1. Abedini, M., & N. Jacob njadasl., (2017). Assessment and Zoning of the Soil Erosion Risk in Balekhli river Watershed of Yamci dam, Using Fuzzy Model. *Journal of Quantitative Geomorphology Research*. 6(1), 137-155. (in Persian)
2. Alipour, Z.; Mahdian, M.; Hakimkhani, S.; & M. Saeedi, 2010. Determined of Rainfall Erosivity Indices (EI^{30} , Lal, Hudson and Onchev) for Namak Lake Basin, 4 (14), 141-158. (in Persian)
3. Alizadeh, A., 1986. Erosion and soil conservation, Astan Quds Razavi Publishing House. (in Persian)
4. Gholami. H.; Fathizad, H.; Safari, A.; & M. Biniiaz., 2016. Evaluation erosivity factor of rain using Geostatistical algorithms (case study: Ilam province, Iran). *E.E.R.* . 2016, 5 (4), 1-16. (in Persian).
5. Kimani, M. W; Hoedjes, J. C; & Z. Su., 2017. An assessment of satellite-derived rainfall products relative to ground observations over East Africa, *Remote sensing*, 9 (5), 430 p.
6. Kühnlein, M.; Appelhans, T.; Thies, B.; & T. Nauss, 2014. Improving the accuracy of rainfall rates from optical satellite sensors with machine learning—A random forests-based approach applied to MSG SEVIRI, *Remote Sensing of Environment*, 141, 129-143.
7. Lai, C; Chen, X; Wang, Z; Wu, X; Zhao, S; Wu, X; & W. Bai, 2016. Spatio-temporal variation in rainfall erosivity during 1960 -2012 in the Pearl River Basin, China. *Catena*, 137, 382-291.
8. Maidment, R. I; Grimes, D.; Black, E.; Tarnavsky, E.; Young, M.; Greatrex, H.; ... & E. M. U. Alcántara, 2017. A new, long-term daily satellite-based rainfall dataset for operational monitoring in Africa, *Sci. Data*, 4, 163-170.
9. Mikhailova, E. A .; Bryant, R. B .; Schwager, S. J .; & S. D. Smith, 1997. Predicting rainfall erosivity in Honduras, *Soil Science Society of America Journal*, 61 (1), 273-279.
10. Moradi, S.; Mohammadi Limaiei, S.; Khanmohamadi, M.; & P. Lohmander, 2015. Estimation of erosion and sediment yield with EPM model in Zemkan basin using GIS, *E.E.R.*, 5 (1), 13-26. (in Persian)

11. Pandey, A.; Mishra, S. K.; & A. K. Gautam, 2015. Soil Erosion Modeling Using Satellite Rainfall Estimates, *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering*, 4 (4), 325-318.
12. Refahi. H., 2010. Water erosion and Conservation, Tehran University Press, Tehran (in Persian)
13. Sanchez-Moreno, J. F.; Mannaerts, C. M.; & V. Jetten, 2014. Applicability of satellite rainfall estimates for erosion studies in small offshore areas: A case study in Cape Verde Islands, *Catena*, 121, 365-374.
14. Teimori. M., 2017. The Use of Satellite Rainfall Data and SWAT Models to Simulate Runoff in Kalam Watershed. Master's Thesis, University of Hormozgan, Faculty of Literature and Humanities.
15. Teng, H.; Ma, Z.; Chappell, A.; Shi, Z.; Liang, Z.; & W. Yu, 2017. Improving Rainfall Erosivity Estimates Using Merged TRMM and Gauge Data, *Remote Sensing*, 9 (11), 1134.
16. Teng, H.; Rossel, R. A. V.; Shi, Z.; Behrens, T.; Chappell, A.; & E. Bui, 2016. Assimilating satellite imagery and visible-near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia, *Environmental Modelling & Software*, 77, 156-167.
17. Zhu, Q.; Chen, X.; Fan, Q.; Jin, H.; & J. Li, 2011. A new procedure to estimate the rainfall erosivity factor based on Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) data, *Science China Technological Sciences*, 54 (9), 24-37.

Evaluation of Precipitation Products of TRMM Satellite in Precipitation and Erosion Rate Monitoring across Iran

Peyman Mohammadi Ahmad Mohammadi¹: Master Degree in Remote Sensing and Geographical Information Systems, Humanities, Hormozgan University, Bandar Abbas

Article History (Received: 22/10/2018

Accepted: 17/02/2019)

Extended abstract

1- Introduction

In order to calculate the erosive power of rainfall, high-resolution precipitation data are necessary for rainfall erosion evaluation. However, collecting the required data on kinetic energy of the rainfall particles and precipitation rates with short-term temporal resolution is a time-intensive task, particularly in developing countries, and the collected data are difficult to process. Rain sensors provide valuable information on the rate and intensity of rainfall, but fail to adequately represent irregular and inconsistent spatial distribution of the precipitation when evaluating the precipitation rate as those perform point measurements of precipitation. Under such circumstances, evaluation of precipitation rate from satellite data provides an alternative approach to the problem, which makes it possible to estimate precipitation rate and its spatial distribution across large areas. All around the world, several research works have been performed to estimate soil erodibility factor using the precipitation product of TRMM sensor, while no research has used such products for erosion and erodibility studies in Iran. Given that a limiting factor for estimating rainfall erosive power across large areas in Iran has been the lack of required data on precipitation intensity or precipitation rate, the present research can provide an approach to address such limitations. This study is aimed at monitoring the precipitation and hence evaluating and monitoring soil erodibility factor using precipitation products of TRMM sensor and comparing the results with those of terrestrial stations

2- Methodology

In this research, in order to use Modified Fournier Index (MFI) to estimate corrosive rate during 2000, 2005, 2010, and 2015, monthly precipitation products data of TRMM3B24 sensor was retrieved from <http://apdrc.soest.hawaii.edu> for all months of the considered years. Then, using the Fournier index and the equation proposed by Renard and Ferimvend, the erosive rate for the entire country was extracted for the four years considered in this study. In order to verify and evaluate the accuracy of the precipitation products of TRMM sensor, the monthly precipitation data collected from 45 terrestrial stations were used, and interpolation technique was used to develop precipitation and erosion maps based on the terrestrial data. Accuracy of the precipitation products of TRMM sensor was verified based on root-mean-square error (RMSE) and coefficient of determination (CD) of the annual precipitation at the pixel position of the synoptic stations.

3- Results

Results of evaluating annual precipitation rates indicated among the monitored years, the 2010 had experienced the lowest level of precipitation, while the 2000 was the year with the highest precipitation level. A review on rainfall erosion maps indicated that, in 2000, the areas of the country with the highest erosion rates corresponded to the Middle Zagros and Caspian areas. The country's erosion map in 2005 closely resembled that in 2000, the erosion rates in the southern Kerman and northern Hormozgan were significantly lower than 2005. In 2010, when mean annual precipitation exhibited a low, the Chabahar Area exhibited the lowest erosion rate across the country, because of the intrusion of a seasonal air mass in June. In 2015, once again, maximum erosion rate across the country corresponded to those in 2000 and 2005, as determined by increased precipitation rate. A comparison between annual precipitation data collected from TRMM sensor and synoptic stations showed that, during all of the four

¹ Corresponding Author: Geostudy.1371@yahoo.com

years, an adequately good R2 value was established between the data from TRMM and that from terrestrial stations. The highest value of R2 between the TRMM and terrestrial stations data was obtained for 2000 (0.86), while the lowest R2 value was that of 2015 (0.73). The obtained value of RMSE showed that, in 2000 (the year with the highest precipitation rate among the monitored years), the value of RMSE was 152 mm. For this year, the difference between the peak participation estimated from the two methodologies was 406 mm, which was mainly related to the four stations with the highest precipitation rates. In 2005, the difference between the peak participation estimated based on the data from the two sources was 543 mm, with a RMSE of 205 mm. Also in this year, the difference between minimum precipitation values was highest, as compared to the other years considered in this study. In 2010, the difference between the peak participation estimated based on the data from the two sources was 533 mm, with the RMSE reduced to 129 mm.

4- Discussion & Conclusions

Spatial resolution includes terrestrial dimensions of each pixel of the image and determines accuracy of the image. Terrestrial dimensions of each pixel of the precipitation products of TRMM is 25 km by 25 km. Given the nature and definition of the pixel, it is the smallest spatial unit with its most important characteristic being the consistency across the entire pixel. Accordingly, the 625-km² area of each pixel of an image from TRMM takes only one numerical value (DN) which is an average value of the precipitation across the entire 625-km² area. Therefore, accuracy of each pixel in recording the precipitation depends on the variations of precipitation across the mentioned area. Terrestrial stations provide point estimations of precipitation, and interpolation technique is used to prepare erosion and precipitation maps from terrestrial stations. Accordingly, the higher the number of points included in the process of interpolation, the more flexible will be the resultant interpolated map. Given the fundamental differences between precipitation measurements by satellite sensors and classic terrestrial stations, it is difficult to firmly express that the data from terrestrial stations shall be taken as reference data and the remote sensing data shall be verified against the terrestrial data, because even in point measurements, there are cases where the precipitation condition in points near the measurement point is significantly different from that at the measurement point.

Key Words: Spatial Data, Erosion, Environmental Hazards, Land Management.