

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست، زمستان ۱۳۹۵

صص ۱۳۴-۱۰۹

DOI: 10.22067/geo.v5i4.56072

واکاوی همدید - ماهواره‌ای موج بارشی سنگین استان چهارمحال و بختیاری

بهروز سبحانی - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران
مهدی عالی جهان^۱ - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران
بتول زینالی - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۵

چکیده

این تحقیق با رویکرد همدید - ماهواره‌ای جهت بررسی ریشه‌های جوی رخداد موج بارشی ابر سنگین استان چهارمحال و بختیاری و ارزیابی دقت ماهواره TRMM در برآورد مقدار بارش این منطقه صورت گرفته و براساس سه دسته داده، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های استان چهارمحال و بختیاری، داده‌های سطوح فوقانی جو و داده‌های 3B42 ماهواره TRMM به انجام رسیده است. ابتدا نقشه‌های جوی ترسیم شده و مورد تحلیل قرار گرفت. سپس جهت آشکارسازی بارش رخ داده و ارزیابی دقت عملکرد ماهواره TRMM مقدار بارش ثبت شده توسط ماهواره با استفاده از مدل زمین آمار (کریجینگ) مورد پهنه‌بندی قرار گرفت و با مقدار مشاهده‌ای ارزیابی شد. ترسیم و تحلیل نقشه‌های جوی نشان داد که گرادیان فشار حاصل شده بین پرفشارهای مستقر بر روی اروپای مرکزی، شمال خزر و غرب چین، با کم فشارهای مستقر بر روی شمال غرب عربستان، خلیج فارس، غرب هندوستان و شمال غرب افریقا و از طرفی دیگر حاکمیت شرایط سیکلونیک در روزهای پایانی در سطح زمین همراه با رخداد بلوکی‌نگ در سطوح فوقانی و کشیده شدن فرودهای عمیق ناشی از آنها بر روی منطقه مورد مطالعه در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال، همچنین بالاسو بودن جریان هوا در جو (امگای منفی) که مبین صعود هوا و تقویت جریان‌ات همرفتی در ترازهای یاد شده بوده و باعث ناپایداری و واگرایی شدید شده با منفی بودن پیچانه-های جوی در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شرایط مساعد جهت رخداد بارش سنگین مهیا شده است. از طرفی با تأمین و تغذیه عمده رطوبتی توسط دریای سرخ در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ هکتوپاسکال و خلیج فارس در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و در نهایت وجود کلیه شرایط ذکر شده با حاکمیت و استقرار رودباد قوی و شدید بر روی بیشتر نقاط ایران در روزهای مطالعاتی باعث

تشدید ناهنجاری‌ها و ناپایداری جوی در منطقه مورد مطالعه شده و در نتیجه بارش سنگین ۵۵۱ میلی‌متری را به دنبال داشته است. با توجه به برآورد بارش صورت گرفته توسط ماهواره TRMM و مقایسه آن با مقادیر ثبت شده توسط ایستگاه‌های مشاهداتی مشخص می‌گردد که ماهواره TRMM از دقت کافی جهت تخمین و برآورد بارش در این منطقه برخوردار نبوده و در اکثر ایستگاه‌ها برآوردی بیشتر از حد مشاهده شده انجام شده است؛ به نحوی که همبستگی و ضریب تعیین بین آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۰۵ درصد است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل همدید، ماهواره TRMM، مخاطره اقلیمی، بارش سنگین، استان چهارمحال و بختیاری.

۱. مقدمه

بارش نه تنها در زندگی بشر، بلکه در زندگی گیاهان و جانوران از ارزش حیاتی برخوردار بوده و جزء جدانشدنی طبیعت محسوب می‌گردد (صلاحی و عالی جهان، ۱۳۹۲: ۷۴). همرفت‌های عمیق مرطوب اغلب به چند دسته یا خطوط سازماندهی می‌شوند که بسیار بزرگ‌تر از ابعاد صعودهای تک سلولی هستند، این گروه سازماندهی شده از ابرها در مجموع یک سیستم همرفتی مقیاس متوسط شناخته می‌شود (شوماخر^۱، ۲۰۰۹: ۱۵۴۳). تعامل بین سلول‌های همرفتی مقیاس متوسط و شرایط سینوپتیکی منجر به رخداد بارش‌های سنگین شده که می‌تواند در مناطق خاصی منجر به ایجاد سیلاب گردد (کاولکانتی^۲، ۲۰۱۲: ۲۸). همرفت‌های عمیق مرطوب، نتیجه تعامل فرآیندهای فعال در مقیاس‌های زمانی - مکانی متفاوت می‌باشد (داسول^۳، ۱۹۸۷: ۳). هنگامی که تروپوسفر مرطوب که ناپایدار مشروط می‌باشد و یک سیستم متوسط مقیاس قادر به صعود توده هوای ناپایدار باشند در این مکان در این لحظه انتظار شکل‌گیری یک سیستم مرطوب عمیق همرفتی می‌رود (داسول و همکاران^۴، ۱۹۹۶: ۵۶۱) و در پی آن بارش سنگین به وقوع می‌پیوندد. به واسطه چرخه کوتاه مدت سلول‌های همرفتی منفرد، مخصوصاً هنگامی که سلول‌های مختلف به وجود می‌آیند و در داخل سیستم‌های همرفتی مقیاس متوسط حرکت می‌کنند، بارش‌های سنگین به ثبت می‌رسند. بخصوص امکان وقوع بارش‌های شدید در نتیجه عبور آهسته و سازمان یافته سیستم‌های همرفتی مقیاس متوسط که به صورت سلول‌های متعدد و پی در پی از روی منطقه‌ای عبور پیدا می‌کنند بسیار محتمل‌تر می‌باشد (داسول و همکاران، ۱۹۹۶: ۵۶۳ و شوماخر و جانسون^۵، ۲۰۰۵: ۱۳۲). بارش‌های سنگین پتانسیل این را دارد که در اکثر مناطق جهان به عنوان یک مخاطره بسیار خطرناک تبدیل شود. همچنان که ما شاهد وقوع سیلاب و کشته شدن بسیاری از مردم در جای جای جهان توسط سیلاب‌ها بودیم (داسول، ۱۹۹۸: ۱۰۲). بارش‌های شدید می‌تواند اثرات اجتماعی بسیار

1 Schumacher

2 Cavalcanti

3 Doswell

4 Doswell, et al.

5 Schumacher & Johnson

شدیدی، از قبیل سیلاب‌های ناگهانی که می‌تواند منجر به خسارت، آسیب و مرگ شود، را در پی داشته باشد. با وجود نیاز بسیار مبرم برای پیش‌بینی‌های دقیق و هشدار بارش‌های شدید که می‌تواند سیلاب‌های ناگهانی تولید بکند، پیش‌بینی بارش‌های سنگین فصول گرم سال همچنان به‌عنوان یکی از چالش‌های بسیار سخت در فرآیند عملیات پیش‌بینی محسوب می‌گردد (شوماخر و جانسون، ۲۰۰۸: ۳۹۶۴). در ایران و در منطقه مورد مطالعه هم رخداد بارش‌های سنگین پدیده‌ای نامأنوسی نبوده و در نقاط مختلف کشور این پدیده به وقوع می‌پیوندد. اما با توجه به خشک و نیمه خشک بودن اقلیم کشور و تخریب و دستکاری‌هایی که بشر بر روی طبیعت انجام داده وقوع این چنین پدیده‌هایی با عکس‌العمل بسیار شدید محیط مواجه شده و منجر به وقوع سیلاب‌های شدید و مخرب در گستره ایران می‌گردد، که در سال‌های گذشته بارها و بارها این پدیده خطرناک جوی منجر به خسارت‌های جانی و مالی سنگینی در کشور شده است.

مطالعات زیادی در ارتباط با تحلیل ابعاد سینوپتیک رخداد سیلاب‌های ناشی از بارش‌های سنگین در سطح جهان به عمل آمده که از آن جمله می‌توان به مطالعه ارتباط الگوهای سینوپتیک با بارش‌های جنوب استرالیا توسط تربله^۱ و همکاران (۲۰۰۴) الگوی سینوپتیک و منطقه‌ای بارش‌های سنگین در استرالیا توسط سایرت، فرانک و فومایر^۲ (۲۰۰۵) تحلیل فراوانی منطقه‌ای بارش‌های فرین منجر به سیلاب شدید ۲۹ آگوست ۲۰۰۳ در آلپ شرقی ایتالیا توسط نوربیاتو^۳ و همکاران (۲۰۰۷) و تغییر پذیری روند رخداد بارش‌های فرین در بلغارستان توسط بوچوا و همکاران^۴ (۲۰۰۸) اشاره کرد. تواردوز^۵ (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان تجزیه و تحلیل تغییرات روزانه بارش‌های ساعتی سنگین در کراکوف با استفاده از طبقه‌بندی انواع جریان گردشی جو در جنوب لهستان به تحلیل بارش سنگین پرداخته است. چربی و الحروش^۶ (۲۰۰۹) در پژوهش خود شرایط سینوپتیک تغییرات بارش زمستانه در عمان را مورد بررسی قرار داده‌اند. از جمله تحقیقات دیگر که در سطح جهانی در رابطه با تحلیل بارش‌های سنگین صورت گرفته می‌توان به مطالعه مکانیزم توسعه جریان همرفتی در رخداد بارش‌های سنگین طولانی مدت در جنوب شرق ایتالیا توسط ماسترانگلو و همکاران^۷ (۲۰۱۰) و روند بارش‌های فرین مرتبط با الگوهای سینوپتیک در جنوب شبه جزیره ایبری توسط هیدالگو مونز و همکاران^۸ (۲۰۱۱) اشاره نمود.

در راستای بررسی بارش و مطالعه و ارزیابی آن توسط ماهواره TRMM در سطح جهانی می‌توان به موارد زیر

اشاره کرد:

1 Treble et al.

2 frank & Fumaber

3 Norbiato

4 Bocheva et al.

5 Twardosz

6 Charabi & Al-Hatrush

7 Mastrangelo et al.

8 Hidalgo-Muñoz et al.

جیو و همکاران^۱ (۲۰۱۰)، به ارزیابی هیدرولوژیکی داده‌های TRMM با داده‌های ثبت شده توسط باران‌سنج‌ها در حوضه رودخانه یانگتزه پرداختند. نتایج کار آنان حاکی از برآورد بالای TRMM در دوره‌های مرطوب و برآورد پایین بارش در دوره‌های گرم و خشک سال دارد. در نتیجه آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که داده‌های بارشی ماهواره‌های TRMM را می‌توانند به‌عنوان داده‌های تناوبی برای مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس استفاده کنند. در پژوهشی دیگر موفیت و همکاران^۲ (۲۰۱۱)، به اعتبار سنجی داده‌های ماهواره TRMM جهت آشکارسازی و تشخیص سیلاب‌ها در بنگلادش پرداختند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در تشخیص سیلاب در مناطقی که مستعد سیلاب هستند مثل بنگلادش بسیار مفید می‌باشد. المزروبی^۳ (۲۰۱۱)، به واسنجی داده‌های ماهواره TRMM در عربستان سعودی پرداخت. نتایج کار این پژوهشگر نشانگر تخمین نزدیک به واقعیت ماهواره TRMM در برآورد بارش سالانه عربستان می‌باشد. به‌نحوی که میانگین بارندگی سالانه ثبت شده عربستان توسط ایستگاه‌های مشاهده‌ای ۸۲/۲۹ میلی‌متر بوده و مقدار بارش برآوردی TRMM برابر با ۸۲/۴۲ میلی‌متر می‌باشد. از این نظر ایشان استفاده از داده‌های ماهواره TRMM جهت بکارگیری مدل‌های مختلف مرتبط با آب در این منطقه را توصیه می‌کنند. مانتاس و همکاران^۴ (۲۰۱۴)، در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که داده‌های نسخه ۷ ماهواره TRMM تحت عنوان آنالیز بارش ماهواره چندگانه (TMPA) تطابق خوبی با مقادیر بارش اندازه‌گیری شده توسط باران‌سنج‌ها دارد این امر مخصوصاً در دوره‌های طولانی مدت بسیار محرز و مشخص می‌باشد. در پژوهشی دیگر که توسط پارکاش و همکاران^۵ (۲۰۱۵)، انجام گرفته خصوصیات خطای محصولات (TMPA-3B42) ماهواره TRMM در منطقه هندوستان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج کار آنان نشان می‌دهد با اینکه هر دو داده (TMPA-RT) و (TMPA-V7) در برآورد میانگین بارندگی عملکرد قابل قبولی داشتند اما هر دوی آن‌ها برآورد مازادی مخصوصاً در مناطق کوهستانی از خود نشان دادند. با این حال ۷۷ عملکرد بسیار بهتری نسبت به RT در برآورد بارش از خود نشان داد. از طرفی آن‌ها دست یافتند که هر دو دسته داده در مناطق پیچیده توپوگرافی هندوستان خطای سیستماتیک بسیار زیادی دارند.

پومبو و الیوبرا^۶ (۲۰۱۵)، به ارزیابی برآورد بارش‌های حدی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در منطقه آنگولا پرداختند. نتایج کار آن‌ها حاکی از برآورد کمتر مجموع سالانه حداکثر بارش‌های روزانه نسبت به مقادیر مشاهده‌ای دارد. پژوهشی همسو با این پژوهش توسط ناستوس و همکاران^۷ (۲۰۱۵)، در یونان صورت گرفته است.

1 Gu, Yu et al.

2 Moffitt et al.

3 Almazroui

4 Mantas et al.

5 Prakash et al.

6 Pombo & de Oliveira

7 Nastos et al.

آن‌ها به ارزیابی داده‌های 3B43 ماهواره TRMM در برآورد بارش یونان پرداختند. نتایج حاصل شده از کار آنان دلالت بر آن دارد که محصولات ماهواره‌ای عملکرد ضعیفی در برآورد مجموع حداکثر بارندگی ماهانه بر فراز یونان دارد. بایک و چوی^۱ (۲۰۱۵)، داده‌های TRMM را با داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای COMS در کره جنوبی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان از برآورد پایین ماهواره TRMM نسبت به داده‌های ثبت شده ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنین آن‌ها دست یافتند نتایج حاصل شده از داده‌های ماهواره COMS بهترین ارزیابی را از میزان بارش انجام داده و می‌تواند بهترین داده جهت استفاده در مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی باشد.

در ایران نیز تحقیقات زیادی در رابطه با تجزیه و تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین به انجام رسیده است که از آن جمله می‌توان به پیش بینی وقوع سیلاب براساس موقعیت سینوپتیک در ساحل جنوبی دریای خزر توسط مرادی (۱۳۸۵) اشاره کرد. وی عقیده دارد که هرگاه در ساحل جنوبی دریای خزر و در سطح زمین، پشته پرفشار کوتاه ناشی از گسترش هوای سرد در منطقه استقرار یابد و در ترازهای میانی و بالایی جو نیز ناوه وجود داشته باشد شرایط لازم برای وقوع بارش‌های شدید مهیا می‌شود. صمدی (۱۳۸۶) عقیده دارد که وجود ناوه عمیق در شمال شرق اروپا و امتداد محور آن بر روی خزر و کشیدگی شمال غرب - جنوبی آنتی سیکلون مهاجر در غرب ناوه و سیکلون جبهه‌ای در شرق آن، هم جهت شدن حرکت آنتی سیکلون با حرکت سیکلونی جلو ناوه از یک طرف و حرکت نصف النهاری قابل ملاحظه جریان سطح میانی جو از سوی دیگر موجب تقویت تاوایی شده و همزمانی عوامل مذکور و نیز تشدید حداکثر اختلاف حرارتی بین هوای سرد قطبی و سطح آب دریا در پاییز باعث ریزش بارش‌های شدید و سیل آسای سال ۱۳۸۲ در ساحل جنوبی دریای خزر شده‌اند.

امیدوار (۱۳۸۷) معتقد است که توقف سیستم‌های بارانزا در صورت کسب رطوبت از منابع آبی جنوبی کشور و مدیریت آن می‌تواند به وقوع سیل در یزد منجر شود. رضایی (۱۳۸۸) با تحلیل سینوپتیک ۳ الگوی سیل زا را شناسایی کرد. منشاء الگوی های چرخندی دریای مدیترانه و سیاه بوده و سامانه‌های واپرخندی نیز عمدتاً بر روی دریای خزر و به ندرت از دریای سیاه است. به عقیده محمدی و مسعودیان (۱۳۸۸) به دنبال ورود زبانه‌ای از پرفشار اروپا و دریای سیاه از شمال غرب کشور و گرادیان شدید آن با کم فشار عراق و ادغام رودباد های جنب حاره‌ای و جبهه قطبی بر روی عراق، وجود فرود بر روی قبرس و تغذیه رطوبتی خلیج فارس، دریای سرخ و مدیترانه و سیاه در ترازهای بالا منجر به بارش سنگین اتفاق افتاده در آبان ۱۳۷۳ شده‌اند. در این زمینه تحقیق مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹) علت وقوع بارش‌های ابر سنگین را کشیده شدن رودبادها تا سطح ۶۰۰ هکتوپاسکال دانسته‌اند. پرنده خوزانی و لشگری (۱۳۸۹) عامل اصلی سیلاب‌های جنوب کشور را در نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و در مواردی ادغام مرکز کم فشار سودان با مرکز فشار مدیترانه‌ای دانسته‌اند. کرمی و

همکاران (۱۳۸۹) منشاء سینوپتیک وقوع سیل در ایران را تقویت سامانه سبیری و گسترش آن بر روی آب‌های گرم و انتقال رطوبت به داخل ایران و عربستان تا آخرین ساعات بارش و نیز ریزش هوای سرد و اچرخند آזור برای انتقال سامانه سودانی به عرض‌های بالاتر و ادغام آن با سامانه مدیترانه‌ای و وزش سرد عرض‌های بالا از ایسلند و سامانه ادغامی دانسته‌اند.

گندمکار (۱۳۸۹) عقیده دارد که ورود سامانه‌های سودانی علت سیلاب‌های بوشهر است که اگر با سامانه‌های مدیترانه همراه باشد شدیدترین سیلاب‌ها را تولید خواهد کرد. یاراحمدی و مریانجی (۱۳۹۰) معتقدند که وضعیت همگرایی و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۴ آبان ۱۳۸۳ مبین شرایط مساعد جریان‌های صعودی در جنوب غرب خزر و نوار غربی ایران بوده و این عوامل باعث تقویت بارش سنگین منجر به سیل در جنوب غرب خزر و غرب ایران گردیده است.

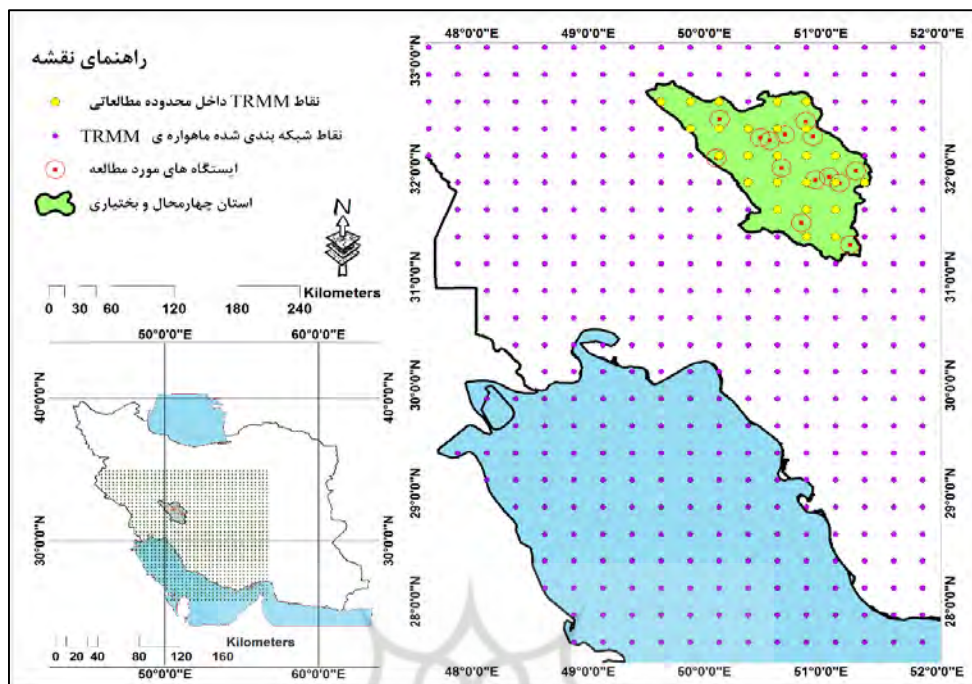
در ایران هم کم و بیش روی داده‌های بارشی ماهواره TRMM و ارزیابی آن با داده‌های مشاهداتی پژوهشی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی داده‌های بارشی TRMM با داده‌های مشاهداتی در ایران پرداختند. نتایج آنان حاکی از برآورد زیاد بارش در مناطق کم بارش و برآورد کم در مناطق با بارش زیاد می‌باشد. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند در مناطق جنوب البرز، مناطق مرکزی و نواحی شرقی کشور دقت برآورد کم و در نواحی غربی و جنوب کشور دقت برآورد بالا می‌باشد. در نهایت آن‌ها استفاده از داده‌های TRMM را برای گستره ایران صحیح نمی‌دانند. در پژوهشی دیگر محمدیها و همکاران (۱۳۹۲)، داده‌های ماهواره TRMM، رادار تهران و ایستگاه‌های باران سنجی را با هم مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن می‌باشد که در روز ۲۰۱۰/۱۱/۱ ماهواره TRMM مقادیر کمتری نسبت به رادار ثبت کرده و در روز ۲۰۱۰/۱۱/۲ این فرآیند بالعکس صورت گرفته است. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳)، به مقایسه داده‌های TRMM و داده‌های اسفزاری پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشانگر نزدیکی این دو پایگاه داده به همدیگر می‌باشد. اما از نظر جغرافیایی در برخی مناطق کشور از قبیل رشته کوه‌های البرز و زاگرس داده‌های ماهواره‌ای دارای بیش برآورد و کم برآورد بوده که بیانگر عدم دقت آن در برآورد بارش مناطق کوهستانی دارد. در پژوهشی دیگر داده‌های بارشی ماهواره TRMM با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در استان فارس توسط شیروانی و فنخاری‌زاده (۱۳۹۳)، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این پژوهشگران در حالت کلی بیانگر وجود ارتباط همبستگی مثبت معنی دار در سطح ۵ درصد بین این دو پایگاه داده‌ای در بیشتر نقاط استان فارس می‌باشد. رسولی و همکاران (۱۳۹۳)، به مدل‌سازی بارش‌های رعد و برقی شمال غرب کشور با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد بین داده‌های بارش TRMM و ارتفاع منطقه ۰/۶۳ همبستگی مثبت وجود دارد که بیانگر افزایش مقدار بارش در نتیجه افزایش ارتفاع در منطقه می‌باشد.

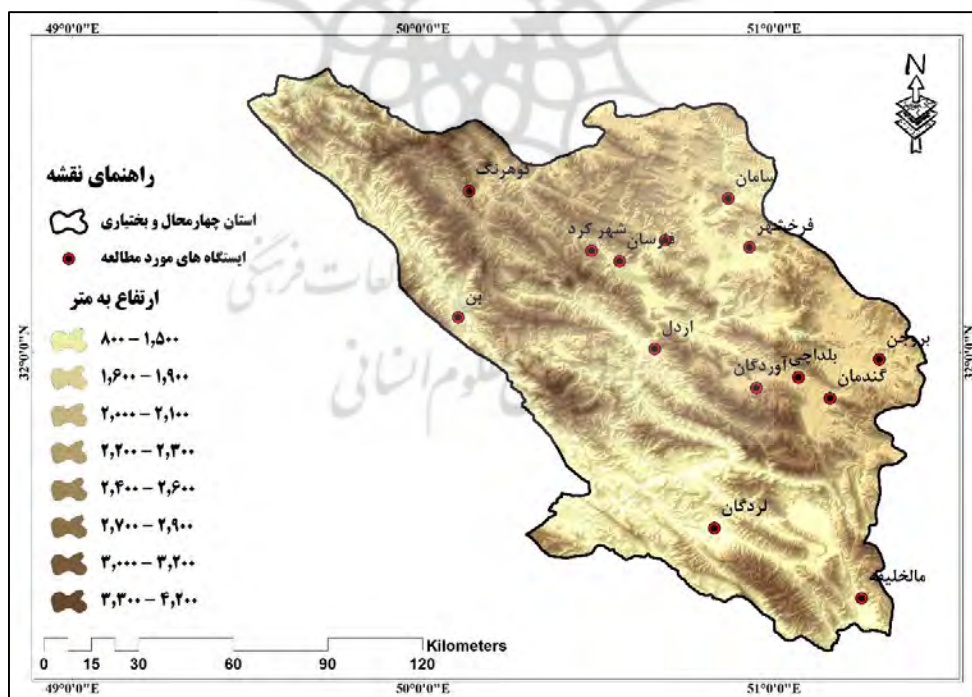
با این که همه ساله و به کرات بارش‌های سنگین و ابر سنگین در استان چهارمحال و بختیاری اتفاق می‌افتند، اما تحقیق جامعی که تمام ابعاد و سازوکارهای جوی مؤثر بر وقوع این بارش‌های سنگین را مورد بررسی قرار دهد، انجام نشده و به این دلیل تحقیق حاضر در راستای پر کردن خلأ مذکور سعی دارد که با تحلیل داده‌های سطوح فوقانی جو در ترازهای مختلف علل و ریشه‌های جوی منجر به بارش‌های سنگین در این منطقه را شناسایی و تحلیل نماید. از طرفی به دلیل کوهستانی بودن استان چهارمحال و بختیاری و نبود امکانات لازم جهت احداث ایستگاه‌های سینوپتیکی در بیشتر نقاط استان بررسی داده‌های ماهواره TRMM با مقادیر مشاهده‌ای و اعتبارسنجی آن از ارزش حیاطی برای این منطقه برخوردار می‌باشد. چراکه در صورت تخمین درست و دقیق ماهواره TRMM می‌توان از آن جهت تخمین و تحلیل بارندگی مناطق فاقد ایستگاه استفاده کرده و به‌عنوان داده ورودی قابل اطمینان برای بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی، خشکسالی و غیره مورد استفاده قرار بگیرد.

۲. منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۷۵۳۳ کیلومتر مربع یک درصد از مساحت کشور را شامل می‌شود و ناحیه‌ای است مرتفع که در گستره فلات مرکزی ایران و در امتداد رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، در حد فاصل ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. نزدیک به ۸۰ درصد استان چهارمحال و بختیاری را کوه‌ها و تپه‌ها دربردارند. این کوه‌ها دارای ۱۶ قله با ارتفاع بیش از ۳۵۰۰ متر هستند. مرتفع‌ترین آن زردکوه با ارتفاع ۴۵۴۸ متر در شمال غرب است و پست‌ترین منطقه استان با ارتفاع ۸۰۰ متر در منطقه خروجی رودخانه کارون در محل پیوستن رودخانه خرسان به کارون قرار دارد. میزان بارش در این منطقه به اندازه‌ای است که ده درصد از آب کشور را تأمین و مناطق مرکزی ایران و دشت خوزستان را سیراب می‌کند؛ به گونه‌ای که سالانه ۷/۴ میلیارد متر مکعب آب از استان خارج و در سدهای شهید عباسپور و دز و زاینده رود ذخیره می‌شود (امیدوار و ترکی، ۱۳۹۱: ۱۳۹). اشکال (۱ و ۲) نقشه منطقه مورد مطالعه و مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر استان چهارمحال و بختیاری همراه با ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش و نقاط تحت پوشش ماهواره TRMM را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر استان چهارمحال و بختیاری

۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از سه دسته داده، داده‌های ایستگاه‌های زمینی، داده‌های سطوح فوقانی جو و داده‌های مربوط به ماهواره TRMM جهت تحلیل موج بارشی سنگین استان چهارمحال و بختیاری استفاده شده است. داده‌های ایستگاه‌های زمینی مورد استفاده در این پژوهش مربوط به داده‌های روزانه ایستگاه‌های موجود در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که از روز ۸۷/۲/۶ برابر با ۲۵ آوریل ۲۰۰۹ میلادی تا روز ۸۷/۲/۱۳ برابر با ۲ می ۲۰۰۹ به ثبت رسیده‌اند؛ می‌باشد. داده‌های سطوح فوقانی جو استفاده شده عبارت از داده‌های بازکاوی شده مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا، باد مداری، باد نصف النهاری، رطوبت ویژه، رطوبت نسبی، فشار سطح دریا هستند که از وب سایت^۱ متعلق به مرکز ملی پیش بینی محیطی (NCEP) اخذ گردیده‌اند.

پژوهش حاضر با رویکرد محیطی به گردشی انجام گرفته است. در این پژوهش جهت تحلیل موج بارشی سنگین ۵۵۱ میلی‌متری استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از داده‌های سطوح فوقانی جو ابتدا نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، جت استریم، پیچانه، وزش رطوبتی، حرکت قائم هوا ترسیم و سپس مورد تحلیل قرار گرفتند. جهت ترسیم و تحلیل نقشه‌های سینوپتیک علاوه بر نقشه فشار سطح دریا که بدون تراز جوی می‌باشد، سایر نقشه‌های جوی از ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین ترسیم و تحلیل نقشه رودبادهای در ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال انجام گرفت. تمامی نقشه‌ها در محدوده عرض جغرافیایی ۷۰-۱۰ درجه شمالی و طول ۹۰-۱۰ درجه شرقی طراحی شده و زمان مورد نظر جهت ترسیم نقشه‌ها ۱۲ زولو (۱۵:۳۰ به وقت محلی) برای تحلیل‌ها انتخاب شد.

۳-۱. ماهواره TRMM

TRMM یک مأموریت مشترک ماهواره‌ای بین ایالات متحده آمریکا و کشور ژاپن می‌باشد که جهت پایش بارش مناطق حاره‌ای و جنب حاره‌ای و همچنین جهت برآورد گرمای نهان تبخیر مرتبط با بارش طرح‌ریزی شده است. TRMM در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ از مرکز فضایی تانگاشیمای کشور ژاپن به طور موفقیت آمیزی به فضا پرتاب شد (کومرو و همکاران^۲، ۱۹۹۸: ۸۱۲). این ماهواره شامل تعدادی از ابزارآلات و ادوات مرتبط با بارش از قبیل رادار بارش (PR)، سنسور مرئی و مادون قرمز (VIRS) و یک سنسور ویژه تصاویر مایکروویو (SSM/I) می‌باشد (کومرو و همکاران^۳، ۲۰۰۰: ۱۹۶۹، هافمن و همکاران^۴، ۲۰۰۷: ۴۲ و لئو و همکاران^۵، ۲۰۱۲: ۱۳۱۹). داده‌های TRMM 3B42 نسخه ۷ این ماهواره از تاریخ ۲۲ می سال ۲۰۱۲ در دسترس عموم جهت استفاده قرار گرفت. که این نسخه دارای قدرت

1 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis>

2 Kummerow et al.

3 Kummerow et al.

4 Huffman et al.

5 Liu et al.

تفکیک فضایی ۰/۲۵ درجه عرض جغرافیایی در ۰/۲۵ درجه طول جغرافیایی و قدرت تفکیک زمانی ۳ ساعته و ۱ روزه می‌باشد. تفاوت عمده بین داده‌های نسخه قدیمی و نسخه جدید استفاده شده در این پژوهش این است که نسخه جدید یک طرح بهبود یافته جهت وزن دادن برای ترکیب با داده‌های باران سنج‌ها می‌باشد (هافمن و بولوین، ۲۰۱۳: ۱۰ و فلمینگ و آوانگه، ۲۰۱۳: ۴۲۳).

جهت استفاده از داده‌های این ماهواره ابتدا داده‌ها از سایت^۳ دانلود شده و سپس یک پایگاه اطلاعاتی در اکسل تهیه گردید. جهت پهنه‌بندی داده‌های بارشی ماهواره TRMM مقادیر کمی داده‌ها به نرم‌افزار GIS انتقال داده شد و سپس با استفاده از مدل زمین آمار و روش کریجینگ که نسبت به سایر روش‌ها در برآورد بارش داده‌های TRMM ضریب خطای کمتری داشت پهنه‌بندی بارش صورت گرفت.

۲-۳. روش کریجینگ

کریجینگ از این حیث که در آن وزن‌های مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی مجاور را برای استنتاج پیش‌بینی در هر موقعیتی به کار می‌برد، شبیه روش IDW است. اگرچه، وزن‌ها تنها مبتنی بر فاصله‌ی بین نقاط اندازه‌گیری شده و موقعیتی که قرار است پیش‌بینی صورت گیرد، نیست، بلکه مبتنی بر آرایش مکانی سرتاسری میان نقاط اندازه‌گیری شده نیز می‌باشد. برای استفاده از آرایش مکانی در وزن دهی‌ها، کمیت خود همبستگی مکانی باید تعیین شود. از بین تابع همبستگی، کوواریانس و نیم تغییر نما برای نشان دادن پیوستگی مکانی داده‌ها نیم تغییر نما بیشترین کاربرد را به خود اختصاص می‌دهد. رابطه نیم تغییر نما به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

که در این رابطه $\gamma(h)$ ، مقدار نیم تغییر نما برای جفت نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند، $n(h)$ تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند، $z(x_i)$ ، مقدار مشاهده‌ای متغیر x در موقعیت i و $z(x_i + h)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله‌ی h از x_i است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۲).

شرط استفاده از این تخمین گر این است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. کریجینگ بهترین تخمین گر خطی نارایب است و عاری از خطای سیستماتیک می‌باشد، همچنین واریانس تخمین در آن نیز حداقل می‌باشد بنابراین:

$$E \left[Z(x_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z^*(x_i) \right] = 0 \quad , \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

1 Huffman & Bolvin

2 Fleming & Awange

3 <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas/>

که در رابطه فوق $Z(x_i)$ ، مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه i ام با مختصات معلوم، $Z^*(x_i)$ ، مقدار تخمینی در همان نقطه i ام، λ_i ، وزن داده‌های مشاهده‌ای و E ، امید ریاضی است. بنابراین شرط ناریبی کرچینگ بیانگر آن است که مجموع ضرایب وزنی تخمین باید مساوی واحد باشد. شرط دیگر در روش کرچینگ این است که واریانس تخمین باید حداقل باشد. اعمال این شرط به حل معادله ماتریسی زیر منتهی می‌شود:

$$AX = B \Rightarrow X = A^{-1}.B$$

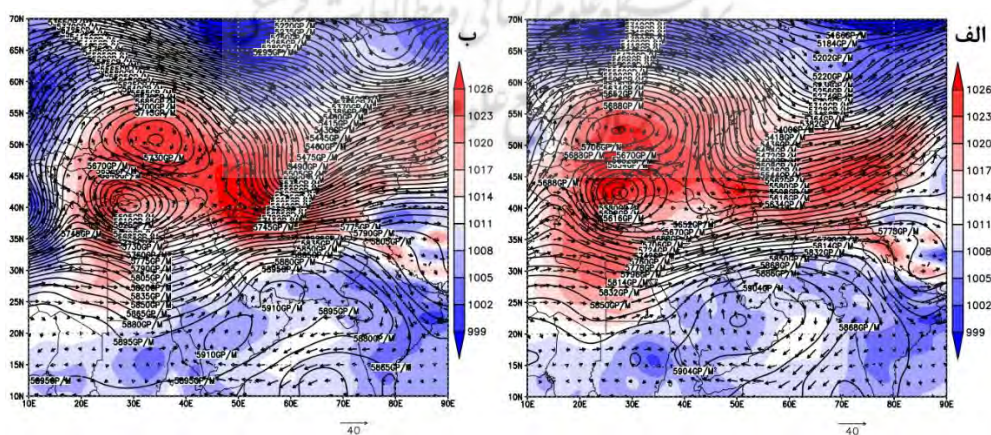
که در این رابطه A ماتریس γ_{ij} (مقدار مدل نیم تغییرنا بین نمونه‌های i و j)، B ، ماتریس γ_{0i} (مقدار مدل نیم تغییرنا بین نقطه مجهول و نقاط نمونه i) و X ، ماتریس ضرایب λ_i (مقدار نمونه i ام برای تخمین نقطه مجهول) می‌باشد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱۸).

۴. بحث و نتایج

۴-۱. فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان باد

در اولین روز بارشی استان چهارمحال و بختیاری که برابر با ۶ اردیبهشت سال ۱۳۸۸ می‌باشد پدیده فشاری که دیده می‌شود تسلط سیستم فشاری پرفشار با محوریت مرکزی منطقه اروپای مرکزی و به تبع آن کشیده شدن زبان‌هایی از آن بر فراز اروپای جنوبی، شمال افریقا، غرب آسیا، دریای خزر و نواحی شمالی کشور تا منطقه غرب چین می‌باشد که هسته‌های فشاری مجزایی به دلیل کوهستانی بودن این ناحیه با شدت فشاری بیشتری در آنجا تشکیل شده است. از سویی دیگر سیستم متضاد سیکلونی هم بر روی هندوستان (سیستم کم فشار دره گنگ)، عربستان (سیستم کم فشار عربستان) و شمال شرق افریقا (سیستم کم فشار سودانی) تشکیل شده و زبان‌هایی از آن منطقه مورد مطالعه و بخش قابل توجهی از ایران را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. این سیستم فشاری مستقر بر روی منطقه با وارد شدن به روزهای بعد بارشی متحول شده و رفته رفته به سمت شرق جابه‌جا می‌شود به نحوی که در روز ۸ اردیبهشت سیستم پرفشار با شدت بسیار بیشتری بر روی آسیای مرکزی و خزر و نیمه شمالی کشور فعالیت می‌کند که در نتیجه آن شیو فشاری حاصل شده و ناپایداری تولید شده هم بیشتر خواهد شد. بر اثر استقرار سیستم فشاری این چنین در سطح زمین در روزهای یاد شده اختلاف فاز فشار شدیدی بین پرفشارهای مستقر بر روی شمال منطقه مورد مطالعه و کم فشارهای مستقر بر روی جنوب آن شکل گرفته در نتیجه آن منجر به ناپایدار شدن و تقویت شرایط سیکلونیک بر فراز استان چهارمحال و بختیاری گشته و بر شدت جریانات همگرایی بین سیستم‌های یاد شده به شدت افزوده است. شرایط یاد شده از طرفی جذب و حمل رطوبت منابع رطوبتی مسیر گذری خود از قبیل دریای خزر، دریای سرخ و خلیج فارس را هم در پی داشته که رطوبت لازم جهت رخداد بارش چند روزه در این منطقه را فراهم کرده است.

شرایط فشاری یاد شده در سطح زمین با شکل گیری بلوکینگ در سطوح فوقانی جو که به دلیل چند روزه بودن بارش پدیده دور از انتظاری نبوده و قرارگیری ایران در شرق ناوه متشکل از بلوکینگ، زمینه‌های لازم جهت رخداد موج بارشی را فراهم کرده است. در تحلیل نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل جو در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال اولین پدیده‌ای که جلب توجه می‌کند شکل گیری بلوکینگ تپیک نوع رکس بر روی اروپای مرکزی، ترکیه و تا حدودی روی شرق مدیترانه است که با رسیدن به روزهای پایانی به سمت شرق جابه‌جا شده و در نهایت در روز ۱۰ اردیبهشت از بین رفته و سیستم جدیدی جایگزین آن می‌شود. با توجه به خاصیت موج‌های بلوکه شده نوع رکس برای عرض‌های جغرافیایی که در شمال دارای هوای سرد و در جنوب دارای هوای گرم است، مقدار گردان نرمال دما را کاهش داده و در نتیجه حرکت مداری باد را به حرکت نصف النهاری تبدیل می‌کند که فرایند مشروح منجر به تداوم زمانی چند روزه و حتی هفته‌ای سیستم‌های آب و هوایی همراه با آن شده و در نتیجه باعث تداوم و شدت یافتن ناپایداری‌ها و ریزش بارش سنگین در مناطق غربی ایران و مخصوصاً استان چهارمحال و بختیاری شده است. دیگر پدیده‌ای که در این ترازها به عینه قابل تشخیص می‌باشد کشیده شدن فرودهایی از ناوه ناشی از بلوکینگ یاد شده بر روی ناحیه غرب، شمال غرب و جنوب غرب ایران می‌باشد. محور ناوه مربوطه که محل حداکثر تاوایی می‌باشد در اولین روزهای بارشی در نزدیکی دریای سرخ بوده و با گذشت زمان و حرکت به سمت روزهای پایانی به سمت شرق جابه‌جا شده که با تغییر حرکت جریان گردشی از همگرایی به واگرایی در این محل باعث شدت یافتن جریان باد و به دنبال آن ناپایداری‌ها و صعود بسیار شدید هوا گشته و با جذب و حمل رطوبت مسیر گذری خود از طریق فرودهای ناوه به داخل ایران وارد شده و با فراهم بودن شرایط صعودی و وجود حداکثر ناپایداری در این قسمت از ناوه که منطقه مورد مطالعه هم در آن قرار دارد موجبات رخداد بارش در این ناحیه را فراهم کرده است.

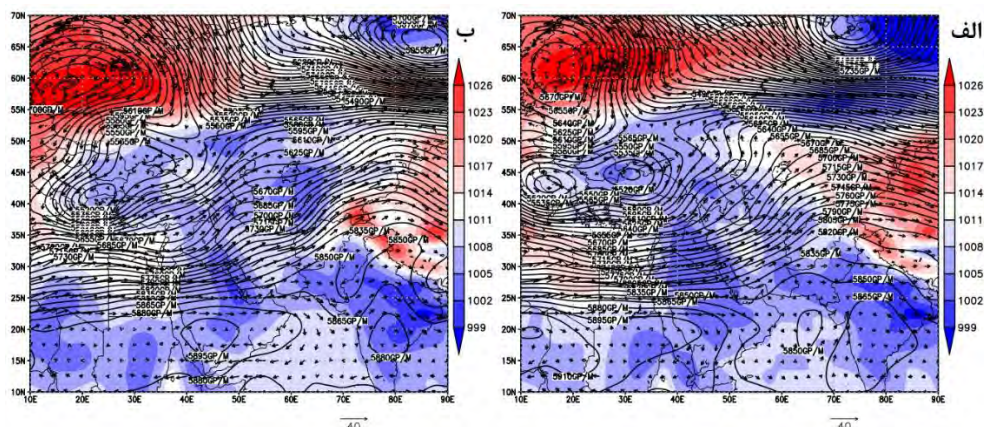


شکل ۳- نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان وزش باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف: روز ۷ ب:

روز ۸ اردیبهشت

با نزدیک شدن به روزهای پایانی بارشی سیستم پرفشار سطح زمین تضعیف شده و از مسیر آسیای مرکزی و ترکمنستان به سمت شرق جابه‌جا گشته و در روز ۱۱ اردیبهشت منطقه را ترک کرده و سیستم آب و هوایی جدیدی جایگزین سیستم قبلی می‌شود. سیستم فشاری جدیدی که منطقه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد سیستم کم فشاری می‌باشد که آب و هوای کل ایران را تحت کنترل خود در آورده است. در روزهای ۱۱ و ۱۲ اردیبهشت پرفشارهایی بر روی اروپای شمالی، مرکزی، شمال آفریقا و منطقه شرق آسیا (عمدتاً چین) مستقر می‌باشد و سیستم کم فشاری جای جای ایران، آسیای مرکزی، هندوستان، غرب آسیا و خاورمیانه را تحت تأثیر خود قرار داده است. شدت این سیکلون‌ها بر روی غرب هندوستان بیشتر بوده و زبانه‌هایی از آن جنوب شرق کشور را هم متأثر ساخته است. از طرفی کم فشاری هم بر روی شمال شرق عربستان تشکیل شده و با ارسال زبانه‌های خود بر روی غرب و جنوب غرب کشور سیستمی متشنج را بر منطقه مسلط ساخته است. در روز ۱۳ اردیبهشت که آخرین روز بارشی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد پرفشار مستقر بر روی اروپا گسترش پیدا کرده و منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد به نحوی که شدت فشار بر روی منطقه مورد مطالعه به ۱۰۱۴ هکتوپاسکال می‌رسد. در این روز سیستم آب و هوایی غالبی که دیده می‌شود کم فشارهایی بر روی هندوستان که زبانه‌هایی از آن شرق و جنوب ایران را متأثر ساخته، شرق آفریقا، خلیج فارس و عربستان می‌باشد. همچنین علاوه بر پرفشار شکل گرفته بر فراز اروپا بر روی غرب چین نیز پرفشاری با فشار هسته مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال مستقر می‌باشد که در وضعیت ناپایداری منطقه بی تأثیر نبوده است.

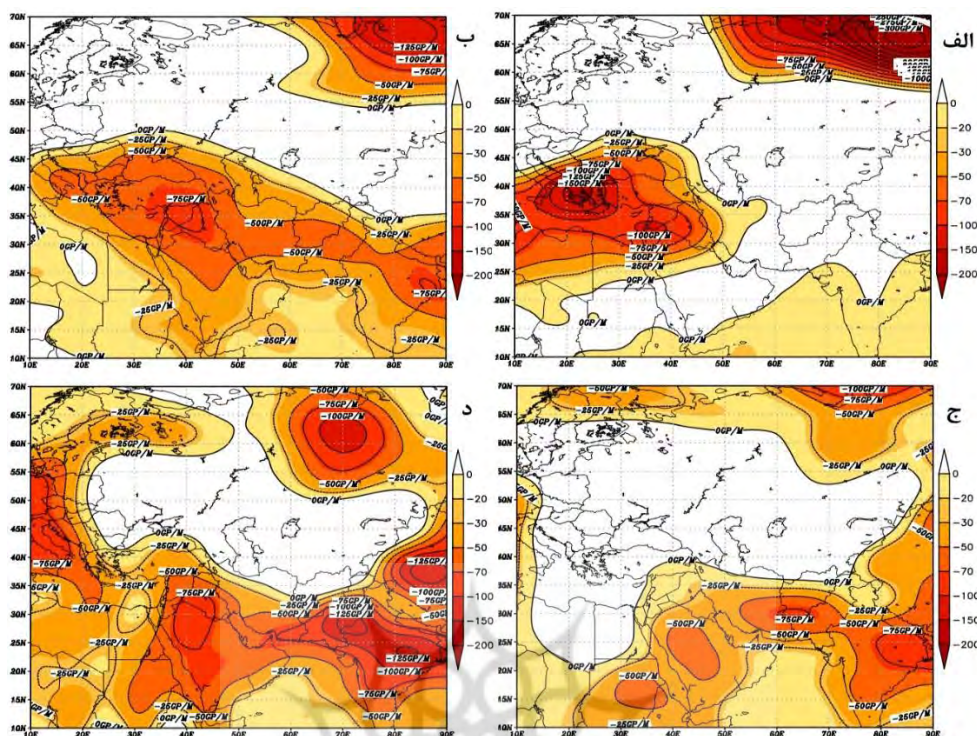
با خروج پرفشار تشکیل شده بر روی اروپا در روز ۱۰ اردیبهشت بلوکینگ رکس متشکل از این سیستم پرفشار نیز از بین رفته و با شکل‌گیری سیستم کم فشار از روز ۱۱ اردیبهشت بر روی اروپای جنوبی و شمال ترکیه بلوکینگ بریده کم فشاری به دنبال آن در ترازهای بالای جو ایجاد می‌گردد. با شکل‌گیری بلوکینگ مذکور ناوهی نسبتاً عمیقی از شمال شرق آفریقا تا دریای سرخ ایجاد شده است، که در روز ۱۲ اردیبهشت این ناوه عمیق‌تر شده و در روز آخر موج بارشی محور ناوه درست بر روی استان چهارمحال و بختیاری قرار می‌گیرد. با شکل‌گیری الگوی مذکور منطقه مورد مطالعه دچار آب و هوایی متشنج و ناپایدار شده است. در روزهای ذکر شده استان چهارمحال و بختیاری در جلوی فرود یا به عبارتی شرق ناوه که محل صعود توده هوا و چرخندگی مثبت می‌باشد قرار گرفته و با توجه به مسیر عبوری خود که از روی منابع رطوبتی دریای مدیترانه، دریای سرخ و خلیج فارس می‌گذرد رطوبت این منابع را به خود گرفته و با صعود هوای مرطوب در شرق ناوه موجبات بارش در این منطقه را فراهم کرده است. مکانیزم یاد شده از تراز ۵۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال به روشنی دیده می‌شود.



شکل ۴- نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان وزش باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف: روز ۱۱ ب: روز ۱۲ اردیبهشت

۲-۴. پیچانه‌های جوی

نقشه‌های پیچانه مربوط به ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال از روز ۶ اردیبهشت تا ۱۰ اردیبهشت نشان دهنده مثبت بودن مقادیر پیچانه بر روی ایران و منطقه مورد مطالعه است که نشان از پایداری و باروتروپیک بودن جو در این زمان بر روی ایران و استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که تاوایی منفی را به دنبال داشته و باعث جریان نزولی هوا و یا به عبارتی فرونشینی هوا در این ترازها شده که باعث پایداری جو گشته و شرایط برای صعود دینامیکی هوا در این ترازها امکان پذیر نشده است. اما از روز ۱۱ تا ۱۳ اردیبهشت بر روی منطقه مورد مطالعه پیچانه منفی حاکم بوده که بیانگر ناپایدار بودن و روند صعودی جو در این روزها می‌باشد. در ترازهای نزدیک به سطح زمین شرایط به گونه دیگری تغییر پیدا می‌کند به طوری که در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مقادیر منفی و جوی کژفشار بر روی ایران در تمامی روزهای مطالعاتی حاکم می‌شود که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک مرکز منفی پیچانه درست بر روی شرق و مرکز ایران استقرار پیدا کرده است. اما در ترازهای ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مقادیر منفی پیچانه گسترده‌تری پیدا کرده و به غیر از بخش کوچکی از ایران تمام نواحی را تحت تأثیر خود قرار داده و جوی کژفشار و ناپایدار برای ایران و منطقه مورد مطالعه ایجاد کرده که با جریان تاوایی مثبت شرایط برای صعود دینامیکی هوا در این ترازها محیا شده و جریان هوا حالت واگرایی پیدا کرده و با افزایش ناهنجاری‌های شدید جوی شرایط برای ریزش سنگین بارش در استان چهارمحال و بختیاری فراهم شده است.

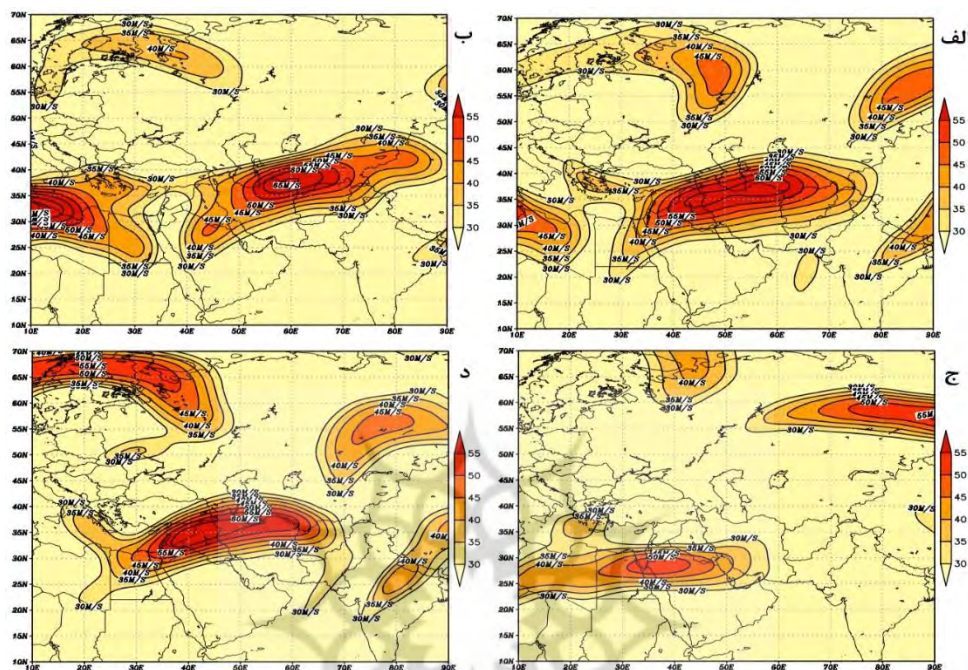


شکل ۵- نقشه پیچانه های جوی الف: روز ۱۲ اردیبهشت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب: روز ۱۱ اردیبهشت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ج: روز ۷ اردیبهشت تراز ۹۲۵ د: روز ۹ اردیبهشت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

۳-۴. رودبادهای جوی

نقشه‌های مربوط به رودبادهای تراز ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که به غیر از روزهای ۹، ۱۰ و ۱۱ اردیبهشت در زمان رخداد بارش سنگین استان چهارمحال و بختیاری رودباد جنب حاره با سرعت بسیار زیاد بر روی ایران، عراق، افغانستان، غرب چین، ترکمنستان، ترکیه، شرق مدیترانه و شمال عربستان مستقر است که هسته مرکزی این رودبادهای مورد مطالعه بر روی ایران استوار بوده و به جزء جنوب و جنوب شرق تمام ایران را در بر گرفته است. ضخامت رودباد مربوطه تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال رسیده که شدت ناپایداری و تاثیری که می‌توانست روی بارش سنگین داشته باشد افزایش پیدا کرده است. در نقشه رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال سرعت هسته مرکزی رودباد تا ۷۰ متر بر ثانیه می‌رسد که در اکثر روزها با رودباد موجود بر روی شمال آفریقا ادغام گشته و بر شدت ناهنجاری‌ها افزوده شده است. در این تراز جوی سرعت رودباد جبهه قطبی بر روی منطقه مورد مطالعه به ۴۵ متر بر ثانیه می‌رسد. اما در رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال سرعت رودباد نسبت به تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال اندکی کاهش یافته به طوریکه سرعت هسته مرکزی آن برابر با ۵۵ متر بر ثانیه بوده و از رودباد موجود بر روی شمال آفریقا جدا شده و سرعت رودباد بر روی استان چهارمحال و بختیاری در این تراز به ۴۰ متر بر ثانیه رسیده است. در تمامی

ترازهای یاد شده قسمت افزایش تدریجی واگرایی رودباد بر روی منطقه مورد مطالعه بوده که با جریان شدید صعودی همراه شده و شدت ناهنجاریهای جوی را تقویت کرده و در نتیجه باعث ریزش بارش سنگین در منطقه شده است.

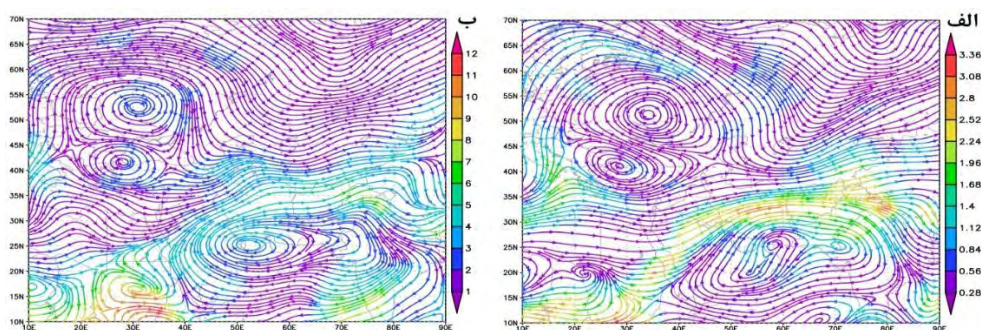


شکل ۶- نقشه رودبادهای جوی الف: روز ۷ اردیبهشت ب: روز ۸ اردیبهشت تراز ۲۵۰ ج: روز ۱۰ اردیبهشت د: روز ۶ اردیبهشت تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال

۴-۴. وزش رطوبتی

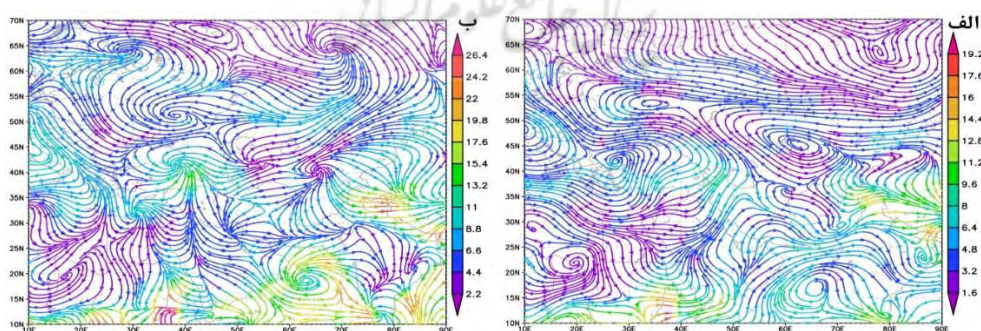
در زمان رخداد بارش سنگین استان چهارمحال و بختیاری منبع عمده تأمین رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دریای سرخ می باشد. دومین منبع تأمین کننده رطوبت در این تراز جوی خلیج فارس بوده که البته ادغام رطوبت حاصل از دریای سرخ با رطوبت حاصل از خلیج فارس علت ریزش شدید بارش در این منطقه بوده است. در این تراز همچنین نقش دریای مدیترانه در تأمین رطوبت کاملاً مشخص است. از طرفی یک منطقه همگرایی رطوبتی بر روی تنگه هرمز مستقر بوده که رطوبت موجود بر روی خلیج عمان را با خلیج فارس ادغام کرده و وارد جنوب شرق و جنوب ایران می کند. در این تراز جوی اثری از تغذیه رطوبتی خزر و دریای سیاه مشاهده نمی شود. در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال دوباره دریای سرخ تأمین کننده اصلی رطوبت بارش بوده است. اما همگرایی رطوبتی موجود بر روی تنگه هرمز باعث انتقال و ادغام رطوبت خلیج عمان، دریای عرب و خلیج فارس با رطوبت دریای سرخ شده است. در این تراز دریای مدیترانه و دریای سیاه هم نقش عمده ای در تأمین رطوبت نواحی غرب کشور را داشته اند. تحلیل نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال حاکی از ادغام شدید رطوبت حاصل از مدیترانه، دریای سرخ، خلیج عمان، دریای عرب

و خلیج فارس است. منبع عمده رطوبت در این تراز ابتدا دریای سرخ می باشد و دریای مدیترانه، دریای عمان و خلیج فارس در رده بعدی در تغذیه رطوبتی این بارش سنگین نقش داشتند.



شکل ۷- نقشه وزش رطوبت الف: روز ۸ اردیبهشت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب: روز ۷ اردیبهشت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

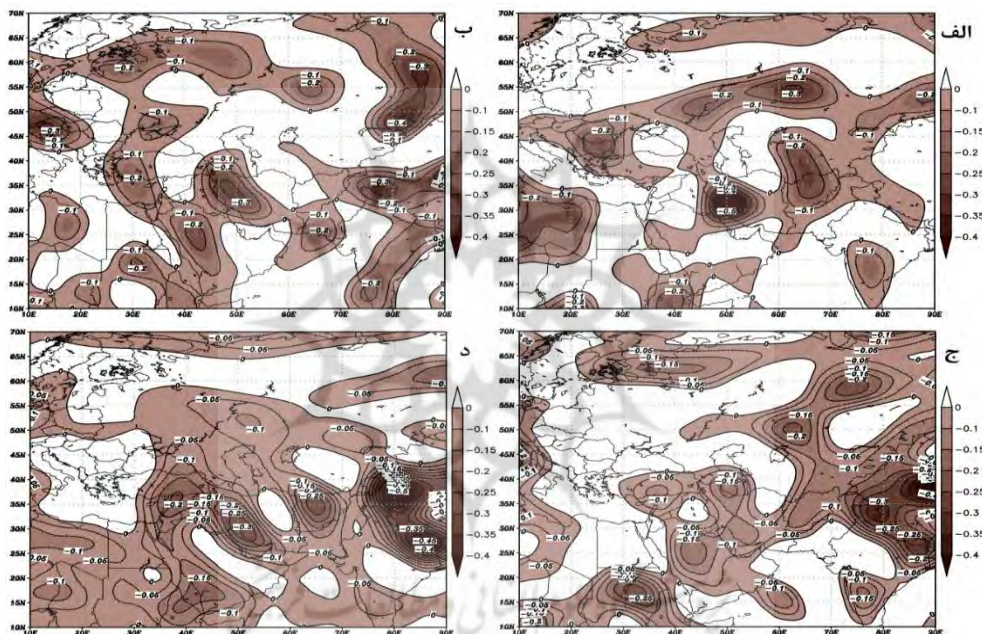
در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نقش اصلی تغذیه رطوبتی بارش سنگین را خلیج فارس بر عهده داشته است. اما نباید نقش سایر منابع رطوبتی را نادیده گرفت. در روزهایی که بارش رخ داده در ترازهای ذکر شده نقش خلیج فارس به صورت منفرد و در خیلی از مواقع به صورت مکمل و ترکیبی از سایر منابع رطوبتی در تأمین رطوبت بارش چهارمحال و بختیاری به چشم می خورد. شکل گیری مناطق همگرایی و واگرایی رطوبتی بر روی اقیانوس هند، دریای سیاه، شمال شرق عربستان و جنوب خلیج فارس ضمن جذب و حمل رطوبت دریای سیاه، اقیانوس هند، دریای عرب، دریای عمان و از سویی با گذر خود از روی منابع بزرگ رطوبتی از قبیل مدیترانه و دریای سرخ تغذیه دوچندان شده و در برخی روزها به صورت منفرد و در برخی دیگر به صورت منفرد و ترکیبی از منابع رطوبتی مختلف وارد منطقه مورد مطالعه شده و رطوبت لازم جهت رخ داد بارش ۵۵۱/۳ میلی متری استان چهارمحال و بختیاری در طی ۸ روز بارشی را فراهم کرده است.



شکل ۸- نقشه وزش رطوبت الف: روز ۱۰ اردیبهشت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ب: روز ۹ اردیبهشت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

۵-۴. امگا

نقشه‌های سرعت قائم هوا (امگا) در جو در کلیه ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده منفی بودن مقادیر بر روی قسمت بزرگی از ایران و منطقه مورد مطالعه می‌باشد که دلیل قاطعی بر رخداد بارش سنگین است. مقادیر منفی نشان دهنده بالا سو بودن هوا در جو یا به عبارتی صعود هوا و تقویت همرفت دارد که در تمامی ترازهای یاد شده مقادیر منفی مستقر بوده که نشان دهنده ناپایداری شدید و واگرایی شدید هوا در این روز بوده است. با شکل گیری این الگو شرایط برای صعود هوا کاملاً مهیا بوده و در کنار تغذیه رطوبتی از منابع مختلف و همراه بودن عامل صعود هوا و شدت یافتن شرایط کژفشاری و ناهنجاری‌های جوی شرایط برای ایجاد بارش سنگین فراهم شده است.

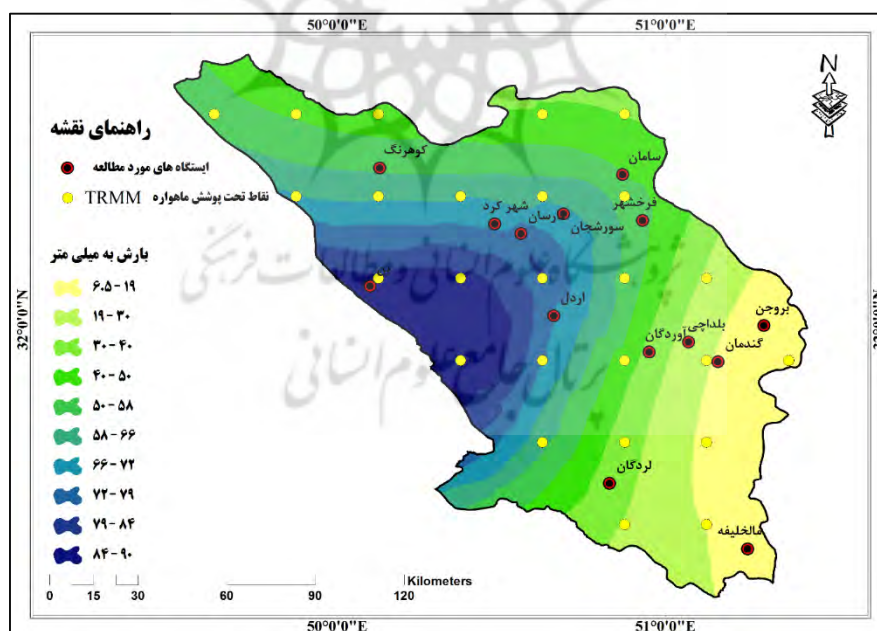


شکل ۹- نقشه امگای الف: روز ۱۲ اردیبهشت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب: روز ۱۰ اردیبهشت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ج: روز ۸ اردیبهشت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال د: روز ۱۱ اردیبهشت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

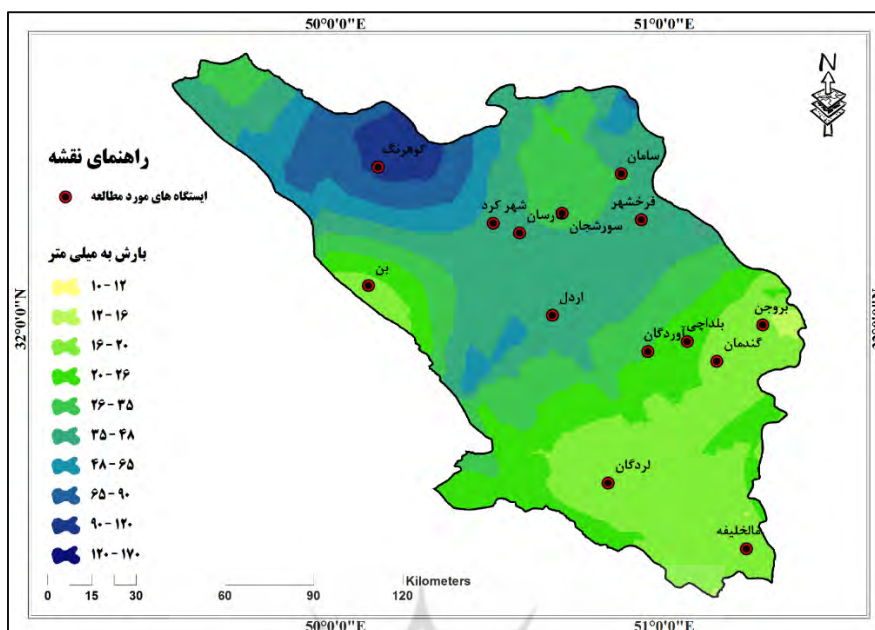
۶-۴. ارزیابی ماهواره TRMM

مقایسه مقدار بارش تخمین زده شده توسط ماهواره TRMM با مقدار بارش ثبت شده ایستگاه‌های مشاهده‌ای نشان از تخمین ضعیف ماهواره TRMM در برآورد بارش این منطقه دارد. با نگاهی به اشکال (۱۰ و ۱۱) این امر به وضوح قابل تشخیص می‌باشد. با توجه به نقشه پهنه بندی شده بارش ایستگاه‌های مشاهده شده (شکل ۱۱) بیشترین میزان بارش رخ داده منوط به منطقه شمال غرب استان یا به عبارتی ایستگاه کوه‌رنگ بوده و کمترین میزان آن در قسمت جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری مشاهده می‌گردد. براساس تخمینی که توسط ماهواره TRMM

صورت گرفته (شکل ۱۰) بیشترین مقدار بارش رخ داده در غرب استان چهارمحال و بختیاری می باشد و منطقه کوهزنگ که در طی ۸ روز موج بارشی بالغ بر ۱۷۲/۳ میلی متر بارندگی داشته با مقدار بارش ۵۶ میلی متر مشخص می گردد. با توجه به نتایج حاصل شده می توان گفت علاوه بر اینکه نقاط ۲۵ در ۲۵ درجه ماهواره TRMM که تقریباً جای جای نقاط منطقه مورد مطالعه را با ۲۵ نقطه شبکه تحت پوشش قرار داده در این منطقه که بخشی از منطقه کوهستانی زاگرس بوده و دارای توپوگرافی پیچیده از نظر ساختار ناهمواری ها می باشد قادر به تخمین درست مقدار بارش نبوده و مقادیر بارش ایستگاه های مشاهده ای اختلاف تقریباً زیادی با تخمین صورت گرفته توسط ماهواره TRMM دارد. با توجه به نمودار میله ای بارش (شکل ۱۲ الف) ایستگاه های مطالعاتی و بارش تخمین زده شده توسط ماهواره TRMM به عینه مشاهده می گردد که به غیر از مقدار بارش دو ایستگاه گندمان و بروجن که تقریباً نزدیک به هم می باشد در بقیه ایستگاه ها یا تخمین کم و یا بیشتر از مقدار بارش رخ داده در ایستگاه ها توسط ماهواره TRMM زده شده است که تخمین بیشتر از مقادیر مشاهده ای در بین ایستگاه ها بیشتر به چشم می خورد. از طرفی نمودار پراکندگی (شکل ۱۲ ب) بین مقدار بارش ثبت شده ایستگاه های مطالعاتی با مقدار بارش تخمین زده شده توسط ماهواره TRMM نشانگر برآورد ضعیف و ارتباط بسیار ضعیف این دو مقدار با هم می باشد به نحوی که مقدار ضریب همبستگی و ضریب تعیین آن به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۰۵۰۷ می باشد که گواهی بر این مدعاست.



شکل ۱۰- نقشه پهنه بندی شده بارش ماهواره TRMM

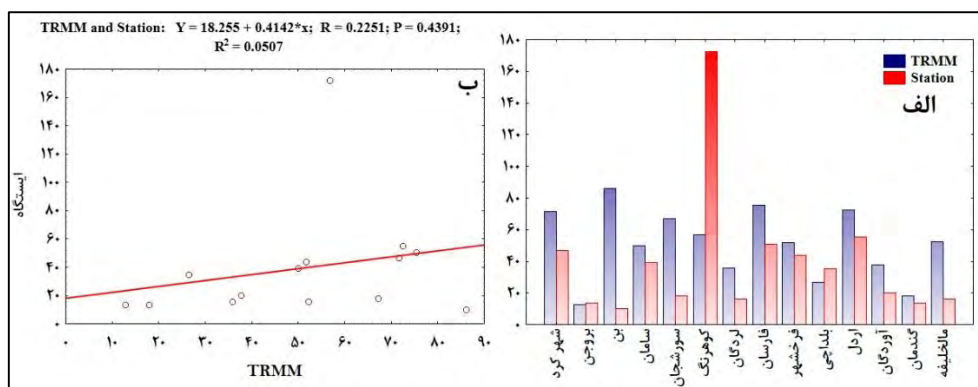


شکل ۱۱- نقشه پهنه بندی شده بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌ها

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و مقدار بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های زمینی و ماهواره

TRMM

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه	مجموع بارش ۸ روزه به میلی متر	مقدار برآورد بارش توسط ماهواره TRMM
شهر کرد	۵۰/۴۸	۳۲/۲۹	۲۰۵۰	۴۷	۷۱/۶۰
بروجن	۵۱/۳	۳۱/۹۸	۲۲۶۰	۱۳/۴	۱۲/۷۴
بن	۵۰/۱	۳۲/۱	۲۲۲۸	۱۰/۲	۸۶/۱۰
سامان	۵۰/۸۷	۳۲/۴۴	۲۰۷۵	۳۹/۳	۵۰/۰۲
سورسجان	۵۰/۶۹	۳۲/۳۲	۲۱۳۰	۱۸/۲	۶۷/۱۳
کوه‌رنگ	۵۰/۱۳	۳۲/۴۶	۲۳۶۵	۱۷۲/۳	۵۶/۸۲
لردگان	۵۰/۸۳	۳۱/۵	۱۶۱۱	۱۵/۹	۳۵/۸۳
فارسان	۵۰/۵۶	۳۲/۲۶	۲۰۵۹	۵۰/۷	۷۵/۲۸
فرخشهر	۵۰/۹۳	۳۲/۳	۲۰۷۳	۴۳/۹	۵۱/۶۰
بلداچی	۵۱/۷	۳۱/۹۳	۲۲۳۱	۳۵/۲	۲۶/۴۵
اردل	۵۰/۶۶	۳۲/۱	۱۸۷۵	۵۵/۴	۷۲/۵۳
آوردگان	۵۰/۹۵	۳۱/۹	۲۴۱۰	۲۰/۴	۳۷/۷۰
گندمان	۵۱/۱۶	۳۱/۸۷	۲۲۴۷	۱۳/۴	۱۷/۹۵
مالخلیفه	۵۱/۲۵	۳۱/۳	۱۷۶۲	۱۶	۵۲/۲۴
مجموع بارش به میلی متر				۵۵۱/۳	۶۷۶/۹۹



شکل ۱۲- الف نمودار مقایسه‌ای مقدار بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های زمینی و ماهواره TRMM ب: نمودار

پراکندگی بارش ایستگاه‌های زمینی و ماهواره TRMM

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش موج بارشی ابر سنگین ۵۵۱ میلی‌متری ۸ روزه از مورخه ۸۷/۲/۶ تا ۸۷/۲/۱۳ استان چهارمحال و بختیاری با رویکرد ترکیبی همدید - ماهواره‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در زمان رخداد بارش سنگین کوه‌رنگ در روزهای ابتدایی پرفشار بسیار قوی بر روی مرکز و جنوب اروپا، خزر و ناحیه شمالی آن و غرب چین مستقر شده و زبانه‌هایی از آن بر روی اکثر نقاط ایران کشیده می‌شود. کم‌فشارهایی هم بر روی شمال و شمال شرق آفریقا، شمال شرق عربستان، هندوستان و پاکستان وجود دارد که زبانه‌هایی از آنها به سمت نواحی جنوبی کشور هم کشیده شده است. به دلیل اختلاف فشار زیاد حاصل شده بین زبانه‌های پرفشار کشیده شده از پرفشارهای واقع بر روی شمال منطقه مورد مطالعه به داخل ایران و کم‌فشارهای واقع بر روی جنوب منطقه مورد مطالعه، ناپایداری لازم جهت صعود توده هوای مرطوب فراهم شده است. از سویی دیگر در روزهای پایانی بارشی این مکانیزم تغییر پیدا کرده و سیستمی سراسر سیکلونیک منطقه را احاطه می‌کند که به نوبه خود شرایط مساعد جهت ایجاد جوی کژفشار بر فراز منطقه را فراهم کرده است. تحلیل نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل گواه بر وجود موج بلوکه شده در جنوب اروپا، ترکیه، شرق مدیترانه می‌باشد. همچنین فرودهای عمیقی که متشکل از بلوکینگ‌ها می‌باشند در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال بر جنوب غرب، غرب، شمال غرب ایران کشیده شده است. تحلیل نقشه‌های حرکات قائم هوا نشان از وجود جریان صعودی و ناپایداری در تمامی ترازهای مورد مطالعه می‌باشد. نقشه‌های پیچانه سطوح فوقانی جو در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده مقادیر منفی و کژفشاری بودن شدید هوا است. در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال وظیفه تغذیه رطوبتی این بارش سنگین بر عهده دریای سرخ بوده که با منابع رطوبتی دیگر ادغام گشته و در ترازهای نزدیک سطح زمین ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نقش تغذیه رطوبتی خلیج فارس همراه با ترکیب سایر منابع رطوبتی کاملاً آشکار

می‌گردد. تحلیل نقشه‌های رودباد ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده وجود رودباد با سرعت هسته مرکزی زیاد در اکثر روزهای بارشی بر روی بخش وسیعی از ایران می‌باشد. نتایج حاصل شده از تحلیل همدید این پژوهش همسوی با نتایج سایر پژوهشگران (صمدی ۱۳۸۶، امیدوار ۱۳۸۷، رضایی ۱۳۸۸، محمدی و مسعودیان ۱۳۸۸، مسعودیان و محمدی ۱۳۸۹، پرند خوزانی و لشکری ۱۳۸۹، گندمکار ۱۳۸۹) می‌باشد که به بررسی همدید بارش‌های سنگین و سیلابی و آشکارسازی علل جوی آن در نقاط مختلف ایران پرداختند.

نتایج حاصل شده از ارزیابی ماهواره TRMM در برآورد بارش این موج ابر سنگین بارشی، بیانگر دقت نه چندان خوب آن در این منطقه دارد. ماهواره TRMM در بیشتر ایستگاه‌ها برآورد مازادی نسبت به داده‌های ثبت شده داشته است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی شده بارش مشاهده‌ای با بارش تخمینی (TRMM) (اشکال ۱۰ و ۱۱) اختلاف مکانی برآوردی آن به خوبی نمایان می‌شود. لذا می‌توان گفت در مناطق پیچیده توپوگرافی همانند منطقه چهارمحال و بختیاری که به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی زاگرس از توپوگرافی پیچیده‌ای برخوردار است نمی‌توان به مقادیر برآوردی این ماهواره اعتماد کرد. که نتایج بدست آمده با نتایج پژوهشگران (حجازی زاده و همکاران ۱۳۹۱، مسعودیان و همکاران ۱۳۹۳) که به عدم دقت لازم این ماهواره در برآورد بارش نقاط کوهستانی اشاره داشتند همسو می‌باشد.

کتابنامه

- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ عالی جهان، مهدی؛ رحیمی، مسعود؛ ۱۳۹۳. ارزیابی مدل‌های جبری و زمین آماری در تخمین توزیع مکانی سطح ایستابی دشت اردبیل. نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۲)، صص ۶۲ - ۴۴.
- امیدوار، کمال؛ ۱۳۸۷. بررسی سیلاب براساس موقعیت‌های سیستم‌های سینوپتیکی در استان یزد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۳(۸۸)، صص ۱۶۵-۱۳۷.
- امیدوار، کمال؛ نبوی‌زاده، معصومه؛ ۱۳۹۳. پیش‌بینی بارش روزانه استان کرمان با شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: کرمان، بافت و میانه جیرفت. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۲(۲۳)، صص ۲۱۴-۱۹۷.
- پرند خوزانی، اکرم؛ لشکری، حسین؛ ۱۳۸۹. بررسی سینوپتیک سیستم‌های سیل زا در جنوب ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۲)، صص ۷۳-۶۶.
- حجازی زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان، پرویز؛ کریمی، مصطفی؛ رفعتی، سمیه؛ ۱۳۹۱. ارزیابی بارش ماهواره‌ای 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ۴(۳)، صص ۶۴ - ۴۹.
- رحیمی، داریوش؛ خوشحال، جواد؛ علیزاده، تیمور؛ ۱۳۸۹. تحلیل آماری - هم‌دید بارش‌های سنگین مناطق خشک ایران (مطالعه موردی: استان کرمان. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۸(۱۴)، صص ۶۹ - ۵۱.
- رسولی، علی اکبر؛ نصیری قلعه بین، سحر؛ ولی زاده کامران، خلیل؛ ۱۳۹۳. مدلسازی توزیع مکانی بارش‌های رعد و برقی مناطق کوهستانی شمال غرب ایران، سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۶(۴)، صص ۴۱۷ - ۴۰۷.

- رضایی، پرویز؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدیدی رخداد سیلاب در حوضه ماسوله. پژوهش های جغرافیایی طبیعی، ۴۱(۶۸)، صص ۱۱۸-۱۰۵.
- رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ توحیدی سردشت، آزاد؛ ۱۳۹۳. مطالعه بارش های فرین فصل بهار استان آذربایجان غربی (۲۰۰۸-۲۰۰۳). مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، ۱۲(۲۲)، صص ۱۶۹-۱۵۱.
- شیروانی، امین؛ فخاری زاده شیرازی، الهام؛ ۱۳۹۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۲(۲)، صص ۱۵ - ۱.
- صلاحی، برومند؛ عالی جهان، مهدی؛ ۱۳۹۲. تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی شهرستان یاسوج (مطالعه موردی: بارش سنگین ۲۰ اسفند ۱۳۸۹). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲(۵)، صص ۸۹ - ۷۳.
- صمدی، زهرا؛ ۱۳۸۶. تحلیل سینوپتیکی بارش سیل زای پاییز سال ۱۳۸۲ ساحل جنوبی دریای خزر. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، ۶(۲۷)، صص ۹۴-۷۷.
- عزیزی، قاسم؛ صمدی، زهرا؛ ۱۳۸۶. تحلیل الگوی سینوپتیکی ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان های گیلان و مازندران. پژوهش های جغرافیایی، ۳۹(۶۰)، صص ۶۱-۷۴.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۸۹. نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم. انتشارات سها دانش، تهران.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از توفان حاره ای فت در سواحل چابهار. برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۵(۲)، صص ۱۱۸-۱۰۱.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ عالی جهان، مهدی؛ اوجی، روح الله؛ ۱۳۹۳. بررسی مدل های جبری و زمین آماری در پهنه بندی بارش استان اردبیل. فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۵(۵۰)، صص ۲۳۱ - ۲۰۹.
- کاوینی، محمد رضا؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۸. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت، تهران.
- کریمی، فریبا؛ شیروان، هنگامه؛ درگاهیان، فاطمه؛ ۱۳۸۹. بررسی الگوی سینوپتیک سیل بهمن ۱۳۸۴ شهرستان پلدختر. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۲(۴)، صص ۱۰۶-۹۹.
- گندمکار، امیر؛ ۱۳۸۹. بررسی همدید بارش های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر. چشم انداز جغرافیایی، ۴(۱۰)، صص ۱۵۷-۱۴۳.
- لشگری، حسن؛ اصغرپور، منیره؛ متکان، علی اکبر؛ ۱۳۸۶. تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش های سیل زا در استان گلستان. فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۲(۲)، صص ۲۱۱-۱۸۱.
- محمدی، بختیار؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدید بارش های سنگین ایران مطالعه موردی: آبان ماه ۱۳۷۳. جغرافیا و توسعه، ۸(۱۹)، صص ۷۰-۴۷.
- محمدی ها، امیر؛ غیبی، ابوالحسن؛ خوارزمی، سعیده؛ ریحانی پروری، محمد؛ بهادری، فرشته؛ ۱۳۹۲. مطالعه مورد همسنجی متغیر بارش تجمعی روزانه برآوردی ماهواره TRMM، رادار تهران و ایستگاه های باران سنجی. پانزدهمین کنفرانس دینامیک شماره ها، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان.

- مرادی، حمید رضا؛ ۱۳۸۳. پیش بینی وقوع سیلاب‌ها براساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸(۲)، صص ۱۰۹-۱۳۱.
- مسعودیان، ابوالفضل؛ محمدی، بختیار؛ ۱۳۸۹. تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۷(۲)، صص ۸۱-۹۱.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ رعیت پیشه، فاطمه؛ کیخسروی کیانی، محمد صادق؛ ۱۳۹۳. معرفی و مقایسه پایگاه‌های داده بارشی TRMM و اسفزاری. مجله ژئوفیزیک ایران، ۸(۴)، صص ۱۵ - ۳۱.
- یاراحمدی، داریوش؛ مریانجی، زهرا؛ ۱۳۹۰. تحلیل الگوی دینامیکی و هم‌مدیدی بارش‌های سنگین در جنوب غرب خزر و غرب ایران (مطالعه موردی: بارش). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۳(۷۶)، صص ۱۲۰-۱۰۵.
- Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998° 2009. *Atmospheric Research*, 99(3), 400-414.
- Baik, J., & Choi, M. (2015). Spatio-temporal variability of remotely sensed precipitation data from COMS and TRMM: Case study of Korean peninsula in East Asia. *Advances in Space Research*, 56(6), 1125-1138.
- Bocheva, L., Marinova, T., Simeonov, P., & Gospodinov, I. (2009). Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961° 2005). *Atmospheric Research*, 93(1), 490-497.
- Cavalcanti, I. F. A. (2012). Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research*, 118, 27-40.
- Charabi, Y., & Al-Hatrushi, S. (2010). Synoptic aspects of winter rainfall variability in Oman. *Atmospheric Research*, 95(4), 470-486.
- Doswell III, C. A. (1987). The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example. *Weather and Forecasting*, 2(1), 3-16.
- Doswell III, C. A., Brooks, H. E., & Maddox, R. A. (1996). Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Weather and Forecasting*, 11(4), 560-581.
- Doswell III, C. A., Ramis, C., Romero, R., & Alonso, S. (1998). A diagnostic study of three heavy precipitation episodes in the western Mediterranean region. *Weather and Forecasting*, 13(1), 102-124.
- Fleming, K., & Awange, J. L. (2013). Comparing the version 7 TRMM 3B43 monthly precipitation product with the TRMM 3B43 version 6/6A and BUREAU of Meteorology datasets for Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 63, 421-426.
- Gabler, R. E., Petersen, J. F., Trapasso, L. M., & Sack, D. (2008). *Physical geography*. USA: Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Gu, H. H., Yu, Z. B., Yang, C. G., Ju, Q., Lu, B. H., & Liang, C. (2010). Hydrological assessment of TRMM rainfall data over the Yangtze river basin. *Water Science Engineering*, 3(4), 418-430.
- Hidalgo-Muñoz, J. M., Argüeso, D., Gámiz-Fortis, S. R., Esteban-Parra, M. J., & Castro-Díez, Y. (2011). Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology*, 409(1), 497-511.
- Huffman, G. J., & Bolvin, D. T. (2013). TRMM and other data precipitation data set documentation. NASA, *Greenbelt*, USA, 1-40.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., & Stocker, E. F. (2007). The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear,

- combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38-55.
- Kavyani, M. R., & Alijahni, B. (2009). *Fundamental of climatology*. Tehran: Samt Press.
- Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., & Simpson, J. (1998). The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3), 809-817.
- Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A. T. C., Stocker, E., & Nakamura, K. (2000). The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology*, 39(12), 1965-1982.
- Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., & Kempler, S. (2012). Tropical rainfall measuring mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(9), 1317-1325.
- Mantas, V. M., Liu, Z., Caro, C., & Pereira, A. J. S. C. (2015). Validation of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products in the Peruvian Andes. *Atmospheric Research*, 163, 132-145.
- Mastrangelo, D., Horvath, K., Riccio, A., & Miglietta, M. M. (2011). Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy. *Atmospheric Research*, 100(4), 586-602.
- Moffitt, C. B., Hossain, F., Adler, R. F., Yilmaz, K. K., & Pierce, H. F. (2011). Validation of a TRMM-based global flood detection system in Bangladesh. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(2), 165-177.
- Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., & Philandras, K. M. (2015). Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. *Atmospheric Research*, 169, 1-18.
- Norbiato, D., Borga, M., Sangati, M., & Zanon, F. (2007). Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and August 29, 2003 flash flood. *Journal of Hydrology*, 345(3), 149-166.
- Pombo, S., & de Oliveira, R. P. (2015). Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola. *Journal of Hydrology*, 523, 663-679.
- Prakash, S., Mitra, A. K., Agha Kouchak, A., & Pai, D. S. (2015). Error characterization of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA-3B42) products over India for different seasons. *Journal of Hydrology*, 529, 1-11.
- Schumacher, R. S. (2009). Mechanisms for quasi-stationary behavior in simulated heavy-rain-producing convective systems. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 66(6), 1543-1568.
- Schumacher, R. S., & Johnson, R. H. (2005). Organization and environmental properties of extreme-rain-producing mesoscale convective systems. *Monthly Weather Review*, 133(4), 961-976.
- Schumacher, R. S., & Johnson, R. H. (2008). Mesoscale processes contributing to extreme rainfall in a midlatitude warm-season flash flood. *Monthly Weather Review*, 136(10), 3964-3986.
- Seibert, P., Frank, A., & Formayer, H. (2007). Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria. *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1-4), 139-153.
- Treble, P. C., Budd, W. F., Hope, P. K., & Rustomji, P. K. (2005). Synoptic-scale climate patterns associated with rainfall $\delta 18 O$ in Southern Australia. *Journal of Hydrology*, 302(1), 270-282.
- Twardosz, R. (2010). An analysis of diurnal variations of heavy hourly precipitation in Kraków using a classification of circulation types over southern Poland. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9), 456-461.
- www.chaharmahalmnet.com

www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis
www.irimo.ir.com

