

تحلیل هم‌دید فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های سنگین شمال غرب ایران^۱

مجید رضایی بنفشه^۲
فاطمه جعفری شندی^۳
فرشته حسین‌علی پور گزی^۴
مجید علی‌محمدی^۵

چکیده

در این پژوهش با استفاده از رویکرد محیطی به گردش، فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های سنگین شمال غرب ایران بررسی شد. ۱۰۶ روز از سنگین‌ترین بارش‌های شمال غرب ایران از پایگاه داده بارش روزانه کشور، بر اساس آستانه بالای ۹۹ درصد، جهت مطالعه انتخاب شد. فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در محدوده صفر تا ۱۲۰ درجه طول شرقی و صفر تا ۸۰ درجه شمالی در ۶ سطح ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و در چهار دیده‌بانی در ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۸:۰۰ زولو محاسبه شد. نتایج نشان داد که از میان این سطوح، سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال به دلیل داشتن بالاترین فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت بر روی ایران و به‌ویژه شمال غرب ایران دارای اهمیت بوده است.

واژگان کلیدی: رویکرد محیطی به گردش، شار رطوبت، بارش سنگین، شمال غرب ایران.

۱- این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است.
۲- دانشیار گروه آب و هواشناسی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز. Email:mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز.
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جغرافیا.
۵- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی.

مقدمه

بارش مهم‌ترین پدیده یا ویژگی محیط زیست است و تاکنون مطالعات فراوانی درباره عوامل ایجاد آن انجام شده است. در هر مکانی، بارش زمانی اتفاق می‌افتد که هوای مرطوب و عامل صعود فراهم شود. هر دوی این شرایط به وسیله الگوهای گردشی فراهم می‌شوند (علیچانی، ۱۳۸۵: ۲۰۲ و ۲۰۳). بارش‌های سنگین غالباً از پدیده‌های خسارت بار محیط می‌باشند که در بیش‌تر مکان‌ها به‌ویژه در مناطق کم باران اتفاق می‌افتد. شناسایی شرایط همدید به‌وجودآورنده این بارش‌ها می‌تواند در پیش‌بینی زمان وقوع، جهت پیش‌آگاهی و آمادگی لازم کمک کند.

در زمینه بررسی عوامل دینامیکی مؤثر بر بارش‌های سنگین تحقیقات گسترده‌ای در جهان و ایران انجام شده است، که اغلب این مطالعات در دو یا سه دهه اخیر صورت گرفته است. رودری^۶ و همکاران (۲۰۰۴) رویدادهای بارش سنگین شمال غرب ایتالیا و رابطه آن با الگوهای جوی بزرگ مقیاس و میان مقیاس را مطالعه نمودند. آن‌ها بارش‌های سنگین را با سه شکل از قرارگیری جریان‌های جوی تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال بر روی منطقه مرتبط دانستند. جیسن^۷ و همکاران (۲۰۰۵)، بارش‌های سنگین شمال راین- وستفاليا^۸ را با استفاده از داده‌های راداری و باران‌سنج‌های منطقه بررسی کردند. بررسی‌ها نشان داد که تنها در صورتی می‌توان گستره مکانی یک بارش سنگین (بیش از ۱۰۰ میلی‌متر) را تعیین کرد که یا داده‌های راداری در دست باشند و یا چگالی باران‌سنج‌ها در منطقه زیاد باشد. به علت این که از پنج رویداد بارش سنگین مورد بررسی، تنها سه مورد در محدوده‌ای کم‌تر از ۱۵ کیلومتر مربع رخ داده بود و تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی نیز بسیار پایین بود، گستره این رویدادها تنها در تصاویر راداری مشاهده شدند. سیرت^۹ و همکاران (۲۰۰۶) برای بررسی الگوهای همدید و منطقه‌ای بارش‌های سنگین در اتریش طی سال‌های ۹۳-۱۹۷۹ (یک

6- Rodari

7- Jessen

8- Rhine-Westphalia

9- Seibert

دوره ۱۵ ساله) از داده‌های ۱۳۱ ایستگاه اقلیمی بهره گرفته و هفت الگوی هم‌دید مربوط به این بارش‌ها و نیز هفت ناحیه بارشی در اتریش را با روش تحلیل خوشه‌ای شناسایی کرده و در هر ناحیه الگوهای آنها را تحلیل و بررسی نموده‌اند. هدف آنها از شناسایی نواحی بارشی و شناخت پراکندگی مکانی بارش‌های سنگین، تعیین احتمال وقوع بارش‌های سنگین در یک وضعیت جوی معین به منظور جلوگیری از وقوع حوادث خسارت بار بوده است. ژائو^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۶) به تجزیه و تحلیل بارش‌های سنگینی پرداخته‌اند که طی ۲۴ ساعت از ساعت ۱۲:۰۰ در ۸ ژوئن تا ساعت ۱۲:۰۰ در ۹ ژوئن ۱۹۹۸ رخ داده و بیش از ۵۷۴ میلی-متر بارش در دلتای رودخانه پرل^{۱۱} در هنگ کنگ^{۱۲} گزارش شد که برخی ویژگی‌های رویدادهای بارشی در مقیاس مزو مطالعه گردیده که نتایج حاصل از این بررسی عبارتند از: ۱- حاکمیت یک جبهه باروکلینک ضعیف و حرکت روبه بالا منشعب در جلوی جبهه، ۲- قرارگیری هنگ‌کنگ در جلوی یک ناو، ۳- قرارگیری مناطقی که بارش سنگین را دریافت داشته‌اند در قسمت گرم جلوی جبهه، همه این عوامل، محرک وقوع و توسعه سیستم‌هایی گشته در مقیاس مزو که و منجر به بارش سنگین شده‌اند. لاسات^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی حوضچه‌های هوای سرد و سردچال‌ها و نقش آن‌ها در بارش‌های سنگین اسپانیا پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که نقش حوضچه‌های هوای سرد در رویدادهای بارش سنگین عمدتاً دینامیکی بوده و ناهنجاری‌های تاوایی بالقوه در پدید آوردن بارش‌ها مؤثر بوده است. وایدا^{۱۴} و کولکارنی^{۱۵} (۲۰۰۷) با استفاده از یک مدل میان مقیاس، بارش‌های سنگین بمبئی را همانندسازی کرده‌اند. در این پژوهش با استفاده از پارامترهای واگرایی، تاوایی، سرعت عمودی و رطوبت در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکالی بارش‌ها تحلیل گردیده است. لنا^{۱۶} و همکاران

10- Zhao

11- Pearl

12- Hog & Kog

13- Lasat

14- Vaidya

15- Kulkarni

16- Lana

(۲۰۰۷) الگوهای به‌وجودآورنده بارش‌های سنگین جزایر بالریک^{۱۷} را مطالعه کرده‌اند. آن‌ها توانسته‌اند به‌وسیله تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها هشت الگوی بارشی را شناسایی کنند.

فدریکو^{۱۸} و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله خود به بررسی الگوهای چرخش جوی وابسته به بارش‌های سنگین (HR) روزانه در کالابریای ایتالیای جنوبی^{۱۹} طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۷ (یک دوره ۸ ساله) پرداخته و به درک مکانیزم‌های دینامیکی تولیدکننده این رویدادها کمک نمودند. بر اساس یک تحلیل خوشه‌ای که بر روی متغیرهای جوی اعمال شد، ۱۱ الگوی جوی حاصل گردید که یک پیوستگی روشنی بین هر یک از تیپ‌های گردشی و الگوهای بارشی در کالابریا برای بارش‌های سنگین روزانه پدیدار گشت و این پیوستگی به واسطه کنش بین توپوگرافی منطقه، دور و نزدیکی به دریا و جریانات جوی در مقیاس سینوپتیک شرح داده شده‌اند. لی^{۲۰} و همکاران (۲۰۰۸) یک رویداد بارش سنگین ۱۸ روزه را در کره جنوبی بررسی نموده و در این بررسی به شناسایی الگوهای به‌وجود آورنده بارش به تحلیل ناپایداری و تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و میدان رطوبتی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال پرداخته و نقش آن‌ها را بسیار مؤثر دانسته‌اند. کارلا لیمایا^{۲۱} و همکاران (۲۰۰۹) ضمن بررسی رویدادهای بارش سنگین در تابستان‌های گرم و مرطوب در جنوب شرقی برزیل نشان داده‌اند که این رویدادها اکثراً ناشی از دو نوع آشفتگی جوی هستند: جبهه سرد (در حدود ۵۳ درصد از رویدادها) و منطقه همگرایی آتلانتیک جنوبی (۴۸ درصد از رویدادها) را در بر می‌گیرد. شولتر و شادلر^{۲۲} در پژوهشی به پیش‌بینی حساسیت‌پذیری بارش‌های سنگین حوضه رودخانه ایبی^{۲۳} به تغییرات کوچک الگوهای گردشی بزرگ مقیاس در دو مدل جداگانه پرداخته‌اند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که رطوبت نسبی و دما دو عامل مهم افزایش باران سامانه‌های

17- Bulrik Island

18- Federico

19- Calabria South Italy

20- Lee

21- Carla Lima

22- Schultler & Schadler

23- Iibe

همدید بزرگ مقیاس می‌باشد. سبزی‌پرور^{۲۴} و همکاران (۲۰۱۰) به تحلیل همدید سامانه‌های لایه میانی جو ایجادکننده سیلاب در جنوب غرب ایران پرداخته است. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که سیلاب‌های شدید حوضه رودخانه دالکی به‌عنوان حوضه نمونه مورد مطالعه، ناشی از تقویت کم‌فشار حرارتی سودان و تأمین رطوبت اقیانوس هند و دریای مدیترانه می‌باشد. در داخل کشور، شبانکاری (۱۳۸۷) به آشکارسازی تأثیر سامانه پرفشار سیبری به عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر در دوره سرد بر روی عناصر اقلیمی (دما و بارش) پرداخته است. در این راستا وی با اعمال روش آماری تحلیل خوشه‌ای پایگانی انباشتی به‌روش ادغام وارد بر روی داده‌های میانگین روزانه فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال، چندین الگوی گردشی در هر تراز جوی را شناسایی کرد. بررسی الگوهای گردشی در هشت قلمروی جغرافیایی ایران نشان داد که پرفشار سیبری فقط در چهار تراز دریا، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نمود و ظهوری آشکار می‌یابد. بر این اساس بر روی رفتار مکانی سامانه سیبری در ۲۰ الگوی گردشی ترازهای یاد شده، آشکار نمود که تنها در الگوهای گردشی سرد و پیش سرد در سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال و همچنین الگوی سرد و پیش سرد سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، زبانه‌های غربی این سامانه از روی منتهی الیه مرزهای شمالی و شمال غربی ایران عبور می‌کند. سامانه نیمه‌ماندگار سیبری بر اساس الگوهای گردشی فوق دارای سه فاز ظهور و شکل‌گیری، اوج و ضعف است. همچنین نتایج حاصله نشان داد که غالباً ارتباط معنی‌دار و پیوند نزدیکی میان بارش‌مندی نواحی هشت‌گانه مذکور در گستره جغرافیایی ایران و پرفشار سیبری وجود ندارد. مسعودیان (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای با عنوان شناسایی شرایط همدید بارش‌های ابر سنگین ایران بر روی بارش‌های یک روزه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر انجام داد و مشخص کرد که دو الگوی گردشی در پدید آوردن بارش‌های ابر سنگین ایران نقش دارد. الگوی اول با استقرار یک پرفشار بر روی دریای سیاه و گسترش فرود، و الگوی دوم با شکل‌گیری فرود بر روی

عراق و نفوذ زبانه پرفشار سیبری - سیاه به درون ایران مشخص می‌شود. حسینی (۱۳۸۸) به‌منظور بررسی شرایط همدید همراه با بارش در پهنه نیمه پربارش خزری، از آمار روزانه بارش در پهنه مورد نظر و داده‌های جو بالا از تاریخ ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ بهره گرفته و پایگاه داده‌ای به ابعاد ۱۵۹۹۲×۲۷۶ ایجاد کرده و با رویکرد محیطی به گردشی از روش ادغام وارد و فاصله اقلیدوسی بر روی نقشه‌های فشار تراز دریا و ضخامت جو استفاده کرده و یک تحلیل خوشه‌ای بر روی آن‌ها انجام داده است. بر این اساس وی چهار الگوی اصلی برای فشار تراز دریا شناسایی کرده که عبارتند از: ۱- پرفشار سیبری - قفقاز/ فرود خلیج فارس، ۲- پرفشار سیاه-غرب اروپا/ فرود گنگ، ۳- پرفشار سیبری - قفقاز/ فرود خلیج فارس-دریای سرخ و ۴- پرفشار سیاه و فرود خلیج فارس. وی همچنین چهار الگوی اصلی برای ضخامت جو تعیین کرد. وی در پژوهش خود به بررسی جبهه‌ها، رودباده‌ها و نیز منابع تأمین‌کننده رطوبت و جهت ورود آن‌ها به منطقه ی خود، پرداخته است. محمدی (۱۳۸۸) با استفاده از پایگاه داده بارش کشور و ترسیم نقشه‌های همبارش ایران طی سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۳ میان‌بایی داده‌ها، بارش‌های سنگین و فراگیر ایران را انتخاب کرده و به تحلیل و بررسی همدید آن‌ها پرداخته است. نتایج پژوهش وی نشان می‌دهد که سه الگوی اصلی فشار تراز دریا در به‌وجود آمدن این‌گونه رویدادها مؤثر بوده‌اند. الگوی اول، کم فشار عربستان/پرفشار سیبری، الگوی دوم، پرفشار سیبری-شمال شرق آفریقا/کم فشار عربستان و الگوی سوم، پرفشار غرب روسیه/کم فشار عراق-عربستان می‌باشد. تحلیل نقشه‌های ضخامت لایه‌های ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال نشان‌دهنده شش الگویی است که که مسبب اصلی بارش‌های سنگین و فراگیر ایران هستند. هرچند هر شش الگو در رخداد بارش‌ها مشخص شده‌اند، اما به‌طور کلی در همه آن‌ها فرود دریای سیاه-منتهی الیه شرق مدیترانه، با کمی تغییر دیده می‌شود. وی همچنین در بررسی خود به تحلیل رودباده‌ها، جبهه‌ها و همگرایی شار رطوبتی نیز پرداخته است. هاشمی عنا (۱۳۸۸) به‌منظور شناسایی سامانه‌های باران‌های سنگین که موجد سیلاب در استان بوشهر می‌شوند و آمادگی در برابر اثرات مخرب و کاهش خسارات ناشی از آن، از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های مستقر در منطقه و داده‌های جوی آن‌ها طی یک دوره بیست ساله (۲۰۰۴-۱۹۸۵) با رویکرد محیطی



به گردشی بهره گرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که سامانه‌های سودانی و مدیترانه‌ای مهم‌ترین الگوهای موجد بارش‌های سنگین در منطقه می‌باشند. در این پژوهش ضمن بررسی بارش‌های سنگین پهنه شمال غرب ایران، سعی شده فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت و منشأ آن در زمان رخداد این گونه بارش‌ها بررسی گردد تا با اهمیت‌ترین ترازها و دیده‌بانی‌های مؤثر در ایجاد رطوبت بارش‌های سنگین پهنه مورد مطالعه شناسایی شود.

مواد و روش‌ها

از آنجایی که انجام صحیح و اصولی هر پژوهشی نیازمند تهیه پایگاه داده‌ای مناسب می‌باشد، برای انجام این پژوهش نیز که با رویکرد محیطی به گردشی انجام شد: داده‌های بارش‌روزانه (رویداد محیطی) ۸۲ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی از تاریخ ۱۳۴۱ تا ۱۳۸۸ به‌عنوان پایگاه داده بارش پهنه شمال غرب ایران انتخاب گردید (شکل ۱). دلیل استفاده از این رویکرد این است که تغییرات زمانی و مکانی بارش شدید بوده و روش محیطی به گردشی به محقق این امکان را می‌دهد تا روی بارش‌ها و در نتیجه الگوهای همدیدی متمرکز شود که قصد مطالعه آن‌ها را دارد. داده‌های مربوط به مؤلفه‌ی باد مداری (uwnd) و باد نصف‌النهاری (vwnd) (بر حسب متر بر ثانیه) و نم ویژه (بر حسب گرم بر کیلوگرم) نیز داده‌های مورد استفاده برای ترسیم همگرایی شار رطوبت در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۲۵، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بودند. این داده‌ها از تارنمای www.cdc.noaa.gov به‌صورت دیده‌بانی‌های شش ساعته اخذ گردید. بر مبنای پایگاه داده‌ی یاد شده، بارش در ۱۷۵۰۸ روز به روش کریجینگ میانبایی شد. در جریان میانبایی بارش هر روز، پهنه شمال غرب ایران به اندازه ۱۴×۱۴ کیلومتر تبدیل شد؛ که نتیجه آن ماتریسی از پایگاه داده بارش پهنه یاد شده به ابعاد ۱۶۱۷×۱۷۵۰۸ بود؛ که ۱۷۵۰۸ تعداد روزها و ۱۶۱۷ نیز مقدار برآورد شده بارش در ۱۶۱۷ یاخته بود. برای هر روز، میانگین، بیشینه و درصد پهنه زیر بارش شمال غرب ایران محاسبه و هم‌چنین پایگاه داده پهنه یاد شده برحسب این سه عامل از بزرگ به کوچک مرتب شد. در ادامه بارش‌های سنگین پهنه بر مبنای آستانه بالای

۹۹ درصد انتخاب شد. یعنی ۱ درصد از پایگاه داده بارش پهنه (۱۰۶ روز) که میانگینی بیش از ۰/۱ میلی متر در روز را ثبت کرده بود؛ به عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب گردید.

$$(n+1) \times p = (k/r) \text{ عدد اعشاری} \quad (۱)$$

$n =$ تعداد رخداد های بارشی، $p = ۱\%$ (آستانه بالای ۹۹٪).

$$Q = r \cdot x_k + (1-r) \cdot x_{k+1}$$

$Q =$ شاخص پایه صدک، $r =$ رقم اعشار عبارت $(n+1) \times p$ ، $k =$ رقم صحیح عبارت $(n+1) \times p$

$x_k =$ عدد ردیف k ام، $x_{k+1} =$ عدد ردیف $k+1$ ام.

$$(۱۰۶۸۱+۱) \times ۱\% = ۱۰۶/۸۲$$

$$۰/۸۲ \times ۹/۱۰۶۸۷۴ + (۱-۰/۸۲) \times ۹/۹۹۰۷۵ = ۹/۱۰۵۴۷۱۸۲$$

بنابراین ۱۰۶ روز نمونه بارش را که بیش از ۹/۱ میلی متر بارش داشته انتخاب و محاسبات بر اساس این ۱۰۶ روز نمونه صورت گرفت. در ادامه فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در ۱۰۶ روز نمونه در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (۱۰۶×۱۶۱۷ پیکسل) و در چهار ساعت دیده بانی در ساعت های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ انجام گردید. سپس با استفاده از رویکرد محیطی به گردشی، یک تحلیل خوشه‌ای پایگانی انباشتی به روش ادغام "وارد"^{۲۵} روی الگوهای همدید مؤثر در این گونه بارش‌ها انجام و مشخص شد که چهار الگوی گردشی (جدول ۱) در ایجاد این گونه بارش‌های سنگین مؤثر می‌باشد. برای هر الگو یک روز نماینده انتخاب گردید؛ که در این جا برای احتراز از بسط مقاله از آوردن روزهای نماینده خودداری گردید. در نهایت فراوانی روزهای نماینده در زمان رخداد هر کدام از این بارش‌ها تحلیل و بررسی شد (جدول ۲). هم چنین درصد فراوانی الگوهای گردشی در طول سال‌های مورد بررسی (نمودار ۱) ترسیم گردید.



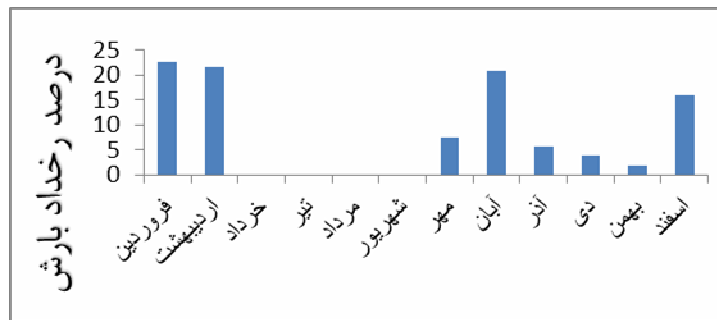
شکل (۱) پهنه شمال غرب ایران (محدوده مطالعاتی)

جدول (۱) ویژگی‌های الگوهای گردشی مؤثر در بارش پهنه مطالعاتی

الگوهای گردشی	میانگین بارش منطقه (میلی متر)	انحراف از میانگین بارش	مساحت زیر پهنه بارش (درصد)	میانگین حجم بارش الگو در منطقه (میلیون مترمکعب)
الگوی شماره ۱	۱۲/۹۹	۱۱/۰۴	۹۷/۰۸	۱۳۴۱۷۸
الگوی شماره ۲	۱۱/۳۷	۹/۶۰	۹۶/۷۷	۱۱۷۰۶۹
الگوی شماره ۳	۱۱/۲۲	۹/۵۴	۹۶/۰۲	۱۱۴۶۲۹
الگوی شماره ۴	۱۰/۴۹	۸/۶۰	۹۴/۳۴	۱۰۷۵۶۲

جدول (۲) فراوانی روزهای بارش سنگین شمال غرب ایران

الگوهای گردشی	ف	ار	خ	ت	م	ش	م	آ	آ	د	ب	ا	جمع (درصد)
۱	۱	۱۴	-	-	-	-	۵	۱	۱	-	-	۳	۲۳/۵۸
۲	۱۲	۵	-	-	-	-	۳	۱۳	۳	-	-	۴	۳۷/۷۳
۳	۷	-	-	-	-	-	-	۴	۲	۴	۲	۷	۲۴/۵۲
۴	۴	۴	-	-	-	-	-	۴	-	-	-	۳	۱۴/۱۵
جمع بارش	۲۴	۲۳	-	-	-	-	۸	۲۲	۶	۴	۲	۱۷	۱۰۶
درصدبارش	۲۲/۶۴	۲۱/۷۰	-	-	-	-	-	۲۰/۷۵	۵/۶۶	۳/۷۷	۱/۸۹	۱۶/۰۴	۱۰۰



نمودار (۱) درصد فراوانی الگوهای گردشی مؤثر در بارش بپهنه در طول سال‌های مورد بررسی

افزون بر این برای شناخت منابع رطوبتی تأمین‌کننده بارش‌های بررسی شده، قوانین نمویژه (هوشنگ قائمی ۱۳۸۶) و معادله همگرایی شار رطوبت، بر اساس پژوهش بناکوس و شولز^{۲۶} تحت عنوان: همگرایی شار رطوبت؛ تاریخچه و کاربرد همرفت رطوبت، محاسبه و ارزیابی گردید.

نمویژه مقدار بخار آب موجود در واحد جرم هوای مرطوب را نشان می‌دهد و بر حسب گرم بر کیلوگرم هوای مرطوب بیان می‌شود. چنانچه نمویژه با q نشان داده شود، مساوی خواهد بود با:

$$q = \frac{M_{\omega}}{M_a} \quad (۲)$$

M_{ω} ، جرم بخار آب و M_a مجموع جرم بخار آب و هوای خشک است که جمعاً باید یک کیلوگرم شود که اگر به جای $\frac{M_{\omega}}{M_a}$ مقدار آن گذاشته شود ($\frac{M_{\omega}}{M_a} = \frac{18}{28.9} = 0.622$) معادله به شکل ساده زیر و برحسب گرم بر گرم در می‌آید:

$$q = 0.622 \frac{e}{P - 0.378 e} \quad (۳)$$

که در آن: P مجموع فشار جو و e فشار بخار آب است.

هم‌گرایی شار رطوبت را بر اساس اصل پیوستگی بخار آب در دستگاه مختصات هم‌فشار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{dq}{dt} = S \quad (۴)$$

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \omega \frac{\partial}{\partial p}, \quad \text{که در آن}$$

$\vec{V} = (u, v, \omega)$ و q رطوبت ویژه است. S ذخیره بخار آب است که اختلاف بین برون‌داد و درون‌داد بخار آب در بسته هوا است. S معمولاً از E-C به دست می‌آید؛ که در آن E نسبت تبخیر درون بسته هوا و C نسبت چگالش (تراکم) در بسته هوا است.

با استفاده از معادله پیوستگی $\partial u / \partial x + \partial v / \partial y + \partial \omega / \partial p = 0$ می‌توان رابطه (۴) را به صورت معادله شار که تضمین‌کننده پایستگی کل جرم رطوبت است، بسط داده و بازنویسی کرد:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + \omega \frac{\partial q}{\partial p} + q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} \right) = E - P \quad (۵)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \underbrace{\nabla \cdot (q \vec{V}_h)}_{\text{هم‌گرایی افقی شار}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial p}(q \omega)}_{\text{هم‌گرایی عمودی شار رطوبت}} = \underbrace{E - P}_{\text{ذخیره}} \quad (۶)$$

که در آن $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j}$ و $\vec{V}_h = (u, v)$. رابطه (۴) به روشنی ترازمندی رطوبت بسته هوا که شامل: تغییر در جای q ، واگرایی افقی شار رطوبت و واگرایی عمودی شار رطوبت و تغییرات ذخیره است را بیان می‌کند. صورت‌برداری این معادله به شکل زیر است:

$$\text{MFC} = -\nabla \cdot (q \vec{V}_h) = -\vec{V}_h \cdot \nabla q - q \nabla \cdot \vec{V}_h, \quad (۷)$$

$$MFC = \underbrace{-u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y}}_{\text{جمله وزش}} - \underbrace{q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)}_{\text{جمله همگرایی}} \quad (۸)$$

در رابطه (۸) جمله وزش، وزش افقی رطوبت ویژه را بیان می‌کند. جمله همگرایی، حاصل ضرب رطوبت ویژه در همگرایی حجم جرم را بیان می‌کند.

یافته‌ها و بحث

همگرایی شار رطوبت، تجمع رطوبت در منطقه‌ای معین بر اثر وزش و جریان‌های جوی است. بررسی شار رطوبت ما را به شناخت منابع رطوبتی سامانه‌های باران‌زا نزدیک می‌کند.

تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰ و ۱۲:۰۰ نشان داد که در تمام گستره پهنه مطالعاتی، منطقه همگرایی شار رطوبت عمده‌ای مشاهده نمی‌شود. تنها ساعت ۱۸ فراوانی همگرایی شار رطوبت بر روی پهنه مطالعاتی با فراوانی بیش از ۶۰ درصد دیده می‌شود (شکل a۲).

تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال

با توجه به بررسی نقشه‌های فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال، می‌توان گفت در این تراز بیشینه همگرایی شار رطوبت تنها در ساعت ۰۰:۰۰ با فراوانی ۲۰ درصد مشاهده می‌شود. با توجه به نقشه‌های ترسیمی برای این تراز، به نظر می‌رسد تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال تراز مناسب برای تأمین رطوبت مورد نیاز این گونه بارش‌ها نمی‌باشد (شکل b۳).

تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

با توجه به این که تراز ۷۰۰ به سطح زمین در حال نزدیک شدن است، پس به نظر می‌رسد که درصد حضور هسته‌های همگرایی شار رطوبت نیز بایستی بیش‌تر باشد. ولی آنچه از نقشه‌های ترسیم شده برای فراوانی شار رطوبت در ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ می‌توان دریافت، این است که در هیچ جای پهنه فراوانی رطوبت چشمگیر نمی‌باشد، تنها در ساعت‌های ۰۰:۰۰ و ۰۶:۰۰ آن هم با فراوانی کم‌تر از ۲۰ درصد دیده می‌شود (شکل ۴ C به‌عنوان نماینده چهار دیده‌بانی).

تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه فراوانی همگرایی شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در چهار ساعت دیده‌بانی ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ نشان داد که تنها در سه ساعت دیده‌بانی اول هسته بیشینه همگرایی شار رطوبت با فراوانی بیش از ۵۰ درصد بر روی پهنه واقع شده است (شکل‌های ۵ d، ۶ e، ۷ f). هم‌چنان که انتظار می‌رود تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ترازوی است که روی ایران نسبت به بقیه ترازها، در بیش‌تر موارد دارای همگرایی شار رطوبت بوده؛ و این تراز را می‌توان به‌عنوان تراز مؤثر محسوب نمود.

تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال

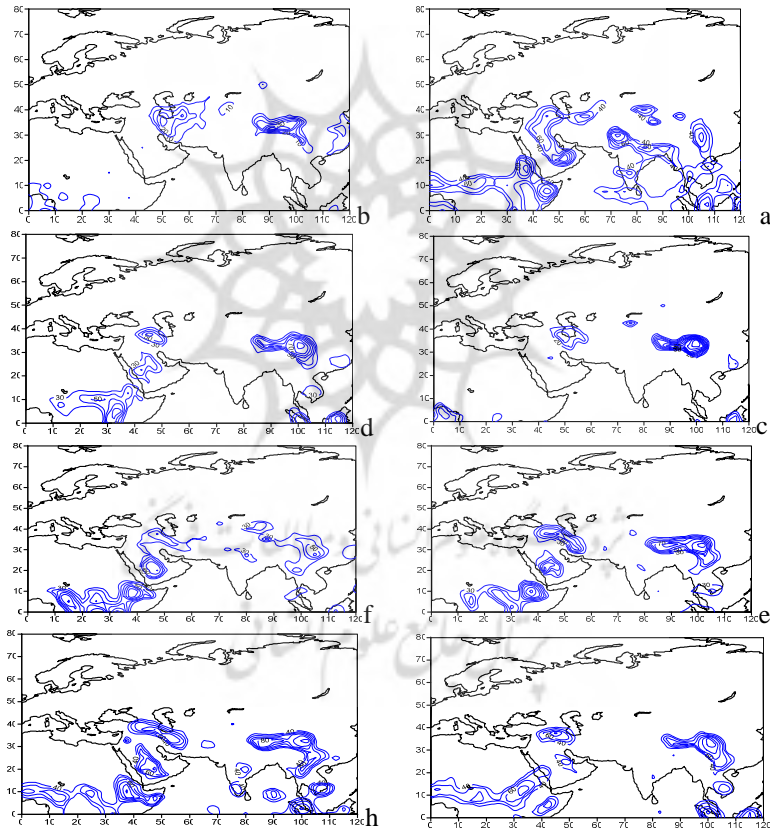
بررسی نقشه فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال نیز نشان داد که در سه ساعت دیده‌بانی ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰ و ۱۲:۰۰، تمام پهنه مطالعاتی، کانون تمرکز هسته‌های رطوبتی با فراوانی بیش از ۶۰ درصد بوده است. تنها در ساعت ۰۰:۱۸ فراوانی هسته رطوبت موجود در پهنه مطالعاتی به ۴۰ درصد می‌رسد (شکل‌های ۸ g، ۹ h، ۱۰ i، ۱۱ j).

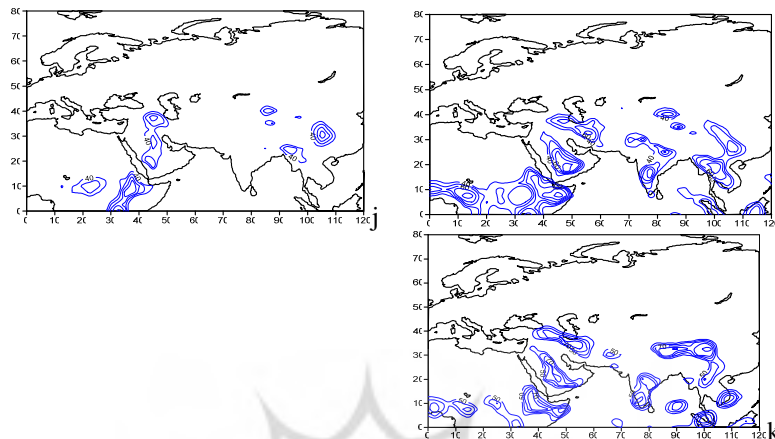
تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

بررسی نقشه‌های فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در این تراز در هر چهار ساعت دیده‌بانی نشان داد که تمام گستره پهنه مطالعاتی، منطقه تمرکز هسته‌های رطوبتی (با فراوانی ۷۰

درصد) بوده و این امر اهمیت این تراز را به‌عنوان محلی برای تشکیل هسته‌های رطوبتی نشان می‌دهد.

در این تراز در ساعت ۰۶:۰۰ هسته‌های رطوبتی حضوری قوی و چشمگیر داشته که می‌توان این زمان را به‌عنوان زمان‌های اوج تشکیل هسته‌های همگرایی شاررطوبت معرفی نمود به‌گونه‌ای که در این ساعت مرکز این هسته تمام گستره پهنه شمال غرب ایران را می‌پوشاند (شکل ۱۲ k به‌عنوان نماینده).



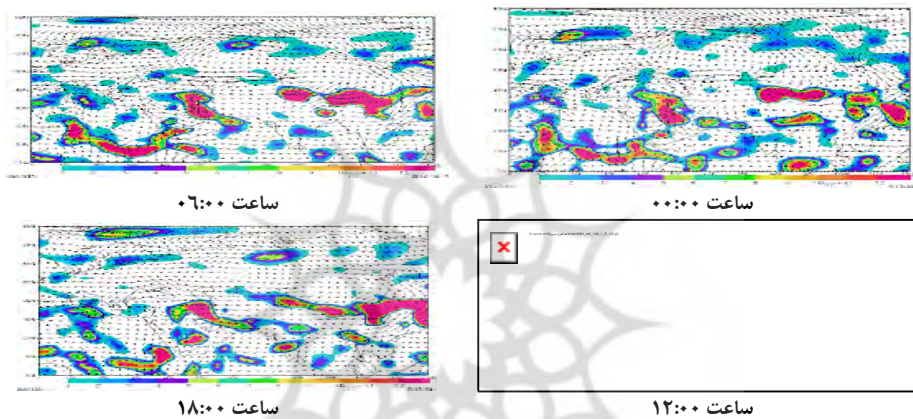


باتوجه به این که سه تراز اخیر (۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) دارای بیش‌ترین فراوانی تابع همگرایی شاررطوبت در هر چهار ساعت دیده‌بانی بودند؛ در این‌جا به تحلیل و بررسی نقشه‌های تابع همگرایی شار رطوبت پرداخته شده است:

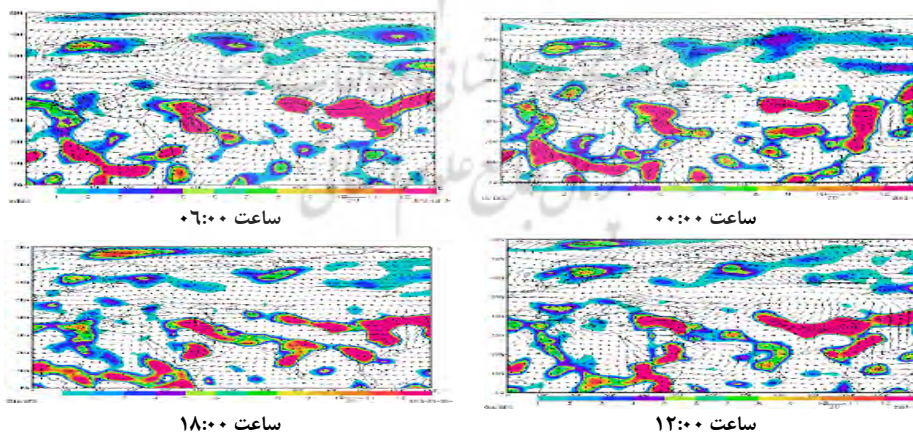
تحلیل نقشه‌های تابع همگرایی شار رطوبت ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

در تحلیل نقشه‌های تابع همگرایی شاررطوبت الگوهای گردشی مؤثر در ایجاد بارش‌های سنگین، به‌دلیل حجم زیاد نقشه‌ها، تنها نقشه روز اوج رخداد بارش تفسیر شده و در میان آن‌ها نیز، زمانی که بیش‌ترین همگرایی شار رطوبت بر روی ایران و پهنه مطالعاتی رخ داده، به‌عنوان نمونه آورده شده است. بررسی نقشه‌های مربوط به همگرایی شار رطوبت برای روز نماینده الگوی (۱)، در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال طی چهار دیده‌بانی همدید در ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ گرینویچ نشان داد که ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، ترازهای مناسبی برای تحلیل شار رطوبت بوده است. در این‌جا برای احتراز از طولانی شدن بحث تنها به آوردن نقشه‌های این سه تراز در روز نماینده الگوی (۱) اکتفا شده که این خود سبب کاهش تعدد نقشه‌های مورد بررسی می‌شود.

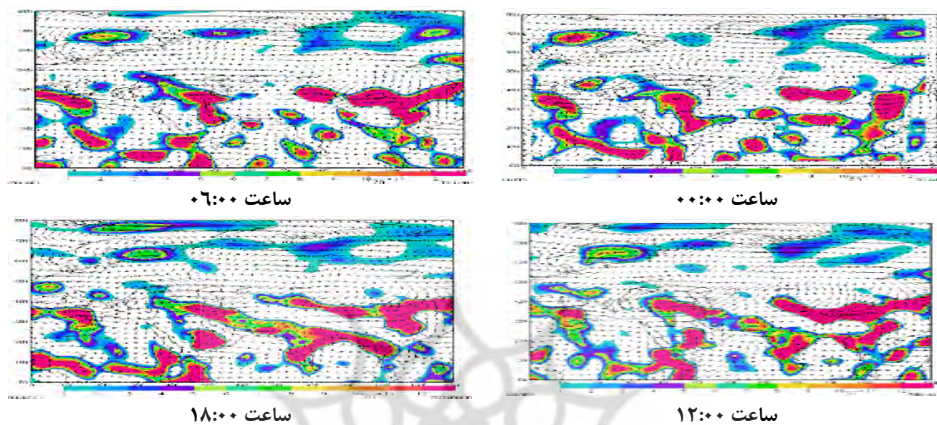
بررسی تابع همگرایی شار رطوبت در روز نماینده الگوی (۱) نشان داد که این سه تراز مورد بررسی در هر چهار ساعت دیده‌بانی، دارای بالاترین مقدار همگرایی شار رطوبت بر روی پهنه مطالعاتی بوده و جریان شدید باد به ترتیب ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد، رطوبت را از روی دریا‌های خزر، سیاه، مدیترانه، عرب، سرخ و خلیج فارس بر روی پهنه مطالعاتی انتقال داده‌اند (شکل ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶).



شکل (۱۳) تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برحسب $10^{-5} g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ (بردارها، نماینده سمت و سرعت باد هستند)



شکل (۱۴) تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال برحسب $10^{-5} g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ (بردارها، نماینده سمت و سرعت باد هستند)



شکل (۱۵) تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برحسب $10^{-5} g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ (بردارها، نماینده سمت و سرعت باد هستند)

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر ضمن بررسی فراوانی شار رطوبت بارش‌های سنگین پهنه شمال غرب ایران از نظر شدت، مدت و میزان گستردگی آن‌ها، روند کلی این‌گونه بارش‌ها تحلیل و بررسی گردیده است. به عبارتی تحلیل همیدید الگوهای گردشی مؤثر در ایجاد بارش‌های سنگین پهنه شمال غرب ایران طی روزهای مورد بررسی، در چهار ساعت دیده‌بانی نشان داد که این‌گونه بارش‌ها در فصول بهار و پاییز نسبت به بارش‌های زمستانه نمود چشمگیری داشته است. اما در فصل تابستان نیز بارشی دیده نمی‌شود. پیامد این موضوع افزایش بارش‌های سنگین در فصول بارشی می‌باشد که می‌تواند خسارات ناشی از وقوع بارش‌های سنگین و نیز شسته‌شدن خاک حاصل‌خیز را به دنبال داشته باشد. بنابراین توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و تقویت مراتع برای کاهش اثرات بارش‌های سیل‌آسا مفید می‌باشد.^{۲۷}

۲۷- این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- حسینی، سیدمحمد (۱۳۸۸)، «شناسایی شرایط هم‌مدید همراه با بارش در پهنه نیمه‌پربارش خزری»، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات، دانشگاه اصفهان.
- شبانکاری، مهران (۱۳۸۷)، «بررسی اثر پرفشار سیبری بر دما و بارش ایران»، پایان‌نامه دوره دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات، دانشگاه اصفهان.
- علیجانی، ب. (۱۳۸۵)، «*اقلیم‌شناسی سینوپتیک*»، چاپ دوم، تهران، انتشارات سمت، ص ۲۰۲ و ۲۰۳.
- قائمی، هوشنگ (۱۳۸۶)، «*هواشناسی عمومی*»، چاپ چهارم، تهران، انتشارات سمت، ص ۱۳۰.
- محمدی، بختیار (۱۳۸۸)، «تحلیل هم‌مدید بارش‌های ابر سنگین ایران»، رساله دکتری اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده ادبیات، دانشگاه اصفهان، ص: ۱۱۷.
- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۷)، «شناسایی شرایط هم‌مدید همراه با بارش‌های سنگین ایران»، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۲۳ الی ۲۵ مهر ۱۳۸۷، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، ص ۵۵۰.
- هاشمی‌عنا، سیدکرامت‌اله (۱۳۸۸)، «تحلیل سینوپتیکی بارش‌های سنگین استان خوزستان»، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات، دانشگاه اصفهان.
- Carla Lima, K., P. Satyamurty and J. P. Reyes Fernández (2009); "Large-Scale Atmospheric Conditions Associated with Heavy Rainfall Episodes in Southeast Brazil", *Theoretical and Applied Climatology*, Springer Wien, DOI. 10.1007/s00704-009-0207-9.
- Jessen, Markus, T., Thomas Einfalt, Andre Stoffer, Bernd Mehlig, (2005), "Analysis of heavy rainfall events in North Rhine-Westphalia with radar and rain gauge data", *Atmospheric Research*, 77, 337-346.
- Federico, S., Avolio, E., Pasqualoni, L., and Bellecci, C., (2008), "Atmospheric Patterns for Heavy Rain Events in Calabria", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 8, PP. 1173-1186.

- Lana. A, Campins. J, Genov'es. A, & Jans. A (2007), "*Advances in Geosciences*", 12, 27-32.
- LEE. Dong-Kyon, Park., Jeong-Gyun, & Kim. Joo-Wan (2008), "Heavy rainfall events lasting 18 days from July 31 to August 17, 1998, over Korea", *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol, 86, No.2, pp.313-333.
- Llasat. M-C, Mart. F, and Barrera. A., (2007), "From the Concept of "Kaltlufttropfen" (Cold air Pool) to the Cut-off Low, The Case of September 1971 in Spain as an Example of their Role in Heavy Rainfalls", *Meteorol Atmos Phys* 96, 43-60.
- Rudari. R., D., Entekhabi. G., Roth (2004), "Large-scale Atmospheric Patterns Associated with Mesoscale Features Leading to Extreme Precipitation Event in Northwestern Italy". *Advance in Water Resources*, 28. pp. 601-614.
- Seibert, P., A. Frank, and H. Formayer (2007), "Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria", *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 139-152.
- Schulter I. & Schadler G. (2010), "Sensitivity of heavy precipitation forecasts to small modifications of large-scale weather patterns for Elbe River", *Journal of Hydrometeorology*, 11.
- Sabziparvar A.A. et al. (2010), "Mid-level synoptic analysis of flood-generating system in South-west of Iran (case study: Dalaki watershedriver basin)", *Natural Hazards and Earth System Science*, 10.
- Vaidya, S.S, & Kulkarni, J.R, (2007), "Simulation of heavy Precipitation over Santacruz, Mumbai of 26 July 2005, using meso-scale model", *Meteorol Atmos Phys*, DOI 10, 1007 /s007 03 -006-0233-4.
- Zhao S., B. Naifang & S. Jianhua (2006), "Mesoscale Analysis of a Heavy Rainfall Event over Hong Kong during a Pre-Rainy Season in South China", *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. 24, No. 4 / July, 2007, pp. 555-572.