

## بررسی همدیدی- دینامیکی الگوهای بارش حدی بهاره در سواحل جنوبی دریای خزر

جعفر معصوم پور سماکوش<sup>۱</sup> - استادیار اقلیم شناسی دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

مرتضی میری - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

رضا دوستان - استادیار اقلیم شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

جلیل صحرائی - استادیار فیزیک جو دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۶/۲

### چکیده

شناخت شرایط همدیدی و دینامیکی الگوهای گردش جو جهت تحلیل و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع بارش حائز اهمیت است. هدف پژوهش حاضر، شناخت الگوهای بارش حدی بهاره در ارتباط با کمیت‌های دینامیکی طی دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱) در سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشد. بدین منظور، داده‌های روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه مداری (u) و نصف‌النهاری (v) باد، نم و ویژه و سرعت قائم مرکزملی پیش بینی محیطی و پژوهش جوّی آمریکا با تفکیک مکانی ۲/۵ درجه استفاده گردید. در ادامه کمیت‌های دینامیکی: تاوایی نسبی، نمودار هاومولر تاوایی، سرعت قائم، میدان‌های باد واگرایی - همگرایی و نیمرخ قائم تعیین گردید. نتایج نشان داد، بارش‌های حدی بهاره سواحل جنوبی دریای خزر از ۴ الگوی دینامیکی تبعیت می‌کنند. الگوی اول، سامانه بندالی امگایی واقع در شرق اروپا و کوه‌های اورال-الگوی دوم، سیکلون‌های مدیترانه‌ای -الگوی سوم، سامانه بندالی شکل گرفته بر روی سیرری و آسیای میانه و الگوی چهارم، شگل‌گیری سامانه بندالی عامل اصلی بارش بهاره در سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشند. این الگو تا حدودی شبیه به الگوی اول بوده با این تفاوت که، گسترش پرفشار جنب حاره به سمت شمال در فصل بهار غیرعادی است. بررسی کمیت‌های دینامیکی طی فعالیت سامانه‌ها نشان دهنده سرعت قائم منفی جو، تاوایی مثبت و منطقه همگرایی بر روی سواحل خزر می‌باشد. مجموعه این عوامل حاکی از وجود شرایط مناسب برای صعود دینامیکی هوای جو منطقه و صعود سریع ذرات به سطوح میانی و فوقانی جو بوده که ریزش‌های سنگین بهاره را موجب می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** تاوایی، واگرایی، همگرایی، امگا، دینامیک، بارش حدی، خزر.

## ۱. مقدمه

هدف آب‌وهواشناسی دینامیکی، توجیه و تفسیر ساختار حرکات جوئی با استفاده از قوانین حاکم بر حرکت است. تغییر در اندازه نیروهای گرادیان فشار و گرانش، منجر به تشکیل سامانه‌های همدیدی متفاوت، رخداد پدیده‌ها و در نتیجه بی‌نظمی و ناهنجاری‌های اقلیمی می‌گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸). منطقه جنوبی دریای خزر از نظر اقلیمی با سایر مناطق کشور تفاوت بسیار دارد. وجود دریای خزر، توپوگرافی پیچیده و تأثیرپذیری این منطقه از الگوی گردش بزرگ مقیاس، محلی، منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای در طول سال، ویژگی‌های اقلیمی بسیار پیچیده‌ای را برای این منطقه فراهم کرده است (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۳۱). سواحل جنوبی دریای خزر در فصل بهار کمترین مقدار بارش را تجربه می‌کند (معصوم پور، ۱۳۸۴: ۶۵) اما گاهی شدت زیاد این بارش‌ها، خسارات جانی و مالی زیادی را به دنبال دارند. بنابراین، منطقی است تا با شناخت مکانیسم و تکوین، تقویت و قانون‌مندی حاکم بر حرکت و گسترش الگوهای سینوپتیکی و دینامیکی سیستم‌های اقلیمی حاکم بر منطقه، از اثرات مثبت آن سود جست و از نتایج زیان بار آن دوری کرد یا آن را به حداقل رساند (مرادی، ۱۳۸۵: ۱۱۰). سازوکارهای جوی مؤثر در بارش‌های شدید سواحل جنوبی خزر از طریق نقشه‌های همدیدی قابل شناسایی و پیگیری می‌باشد. در این راستا استفاده از تجربیات و پژوهش‌های علمی دیگران ضرورتی انکارناپذیر است. لذا تلاش شده است کارهای پژوهشی داخلی و خارجی در این رابطه مورد بررسی قرارگیرد. یوسترنال<sup>۱</sup> و خزکیردا<sup>۲</sup> (۲۰۰۱)، در بررسی بارش اروپای مرکزی، دلیل اصلی بارش سنگین بزرگ مقیاس را در این نقطه از کره زمین، ناشی از قطاع سرد سیکلونی می‌دانند که مرکز این سیکلون به مدت چند روز در اروپای شرقی مستقر می‌شود. باناکاس<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از همگرایی جریان رطوبت برای پیش‌بینی و پیش‌یابی بارش‌های همرفتی نتیجه گرفتند که جت‌های سطوح بالایی و پایینی تروپوسفر، جبهه‌زایی و برخی مکانیسم‌های واداشتی، ممکن است همگرایی افقی توده هوا را در بالای سطح زمین موجب شوند که این امر قادر است صعود همرفتی بسته‌های هوا را تأمین کند. مولر<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، در یک دوره ۴۵ ساله (۱۹۵۸-۲۰۰۲)، ۱۶ رخداد بارش حدی بزرگ مقیاس را در جمهوری چک مطالعه کردند و اظهار داشتند که متغیرهای دینامیکی و ترمودینامیکی می‌توانند به درستی وقایع حدی را توجیه و تفسیر کنند و اینکه ناهنجاری‌های بوجود آمده، با شدت بارش بزرگ مقیاس و وقایع سیل مرتبط می‌شوند. کلابنیتزر<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، با هدف ارزیابی آماری پیش‌بینی‌های بارش با پارامترهای دینامیک به معرفی شاخص وضعیت پویایی (DSI) پرداختند. نیمن<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، از جریان بخار آب به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی بارش استفاده کردند و اظهار داشتند که بین مؤلفه افقی باد و مقدار بارش‌های کوهستانی و بین ارتفاع جت سطح

1 Ustrnul

2 Czekierda

3 Banacos

4 Muler

5 Claubnitzer

6 Neiman

پایین و افزایش انتقال بخار آب در پیشانی یک جبهه سرد سیکلون همبستگی وجود دارد. گالوچی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، دلیل اصلی هوشناختی وقوع سیل ۲۰۰۳ ویکتوریای استرالیا را مقدار بالای آب قابل بارش در جو شناسایی کردند. البته بیان کردند که عوامل دینامیکی و ترمودینامیکی از قبیل عوامل همرفتی نیز به دلیل گرمایش سطحی در وقوع بارش‌ها تأثیرگذار بوده است. همچنین خوشحال دستجردی (۱۳۷۶)، در تحلیل بارش‌های بیش از صد میلی متر سواحل جنوبی خزر، جریان‌های شمالی همراه با فرارفت رطوبت را به سبب استقرار یک سامانه پرفشار در شمال دریای خزر، علت اصلی بارش‌های شدید در منطقه خزری می‌داند. همچنین تقویت جبهه نسیم دریا را بواسطه همین جریان‌های شمالی، عامل اصلی وقوع حداکثر بارش پاییزه در نوار ساحلی بیان کرده است. نصیری (۱۳۷۸)، سیستم‌های مدیترانه‌ای را عامل اصلی بارش‌های کرخه، و سیستم‌های سودانی را سیستم‌های موثر در بارش‌های حوضه دز می‌داند. همچنین بیان می‌کند که سیستم‌های سودانی به دلیل داشتن منابع غنی رطوبت و دمای بالا شرایط کسب رطوبت به درون سیستم را به بهترین شکل داشته و به همین دلیل بارش‌های شدید حوضه دز را ایجاد می‌نمایند. مرادی (۱۳۸۱)، نشان داد که رخداد بارش‌های شدید شش ماه سردسال در سواحل جنوبی دریای خزر، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، با حاکمیت پشته بر روی شرق دریای سیاه تا مرکز اروپا، شرق دریای مدیترانه و حضور ناوه عمیق در شرق دریای سیاه همراه است. مشکواتی و مرادی (۱۳۸۳)، در بررسی ناوه فشاری دریای سرخ از دیدگاه دینامیکی دریافتند که چنانچه فرارفت تاوایی پتانسیل مثبت در شرق دریای مدیترانه یا شمال دریای سرخ صورت گیرد، ناوه فشاری دریای سرخ به سوی شرق دریای مدیترانه حرکت می‌کند و سامانه آب و هوایی که شکل می‌گیرد غرب و شمال‌غرب ایران را متأثر می‌نماید. آزاد و همکاران (۱۳۸۶)، در مقایسه ساختار دینامیکی پدیده بندال با مودون‌ها در شارهای ژئوفیزیکی دریافتند که پدیده بندال آذر ماه ۱۳۸۳ با ظهور یک مرکز بریده از مقادیر کم  $Q$  در نقشه‌های تاوایی پتانسیلی زمین گردوار در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال همراه است. حبیبی (۱۳۸۶)، به تحلیل سینوپتیکی و دینامیکی چرخندزایی روی مدیترانه به عنوان منطقه بیشینه چرخندزایی در دنیا پرداخته و نشان داد که چرخندزایی شدید در سطح دریای مدیترانه نتیجه ترکیب شارش انرژی جنبشی پیچکی با کم فشاری محلی است که در آن انتقال انرژی جنبشی به شکل جت استریم قوی در جلوی ناوه رخ می‌دهد. مفیدی و همکاران (۱۳۸۶)، در بررسی بارش‌های شدید سواحل جنوبی خزر نتیجه گرفتند که این نوع از بارش‌ها در سه الگوی همدیدی اصلی شامل الگوی پرفشار (۵۷/۲٪)، کم فشار (۲۱/۴٪) و زوجی (۲۱/۴٪) جا می‌گیرد. در دو الگوی پرفشار و زوجی، وقوع همرفت به صورت محلی سازوکار اصلی بارش‌ها بوده، در حالی که در الگوی کم فشار، استقرار سامانه کم فشار دینامیکی دلیل اصلی بارش است. اردکانی و همکاران (۱۳۸۷)، در تحقیقی رخداد بارش‌های سنگین در خراسان را به سه الگوی اصلی همدیدی سیستم‌های پرفشاری عرض‌های بالا، سیستم‌های کم فشاری مدیترانه‌ای و الگوی ترکیبی این دو الگو، طبقه‌بندی نمودند. مرادی و همکاران (۱۳۸۷)، در بررسی نقش تاوایی پتانسیلی هم ارز و تر در مسیریابی سامانه‌های سودانی نشان دادند که تاوایی پتانسیلی به دلیل عدم وابستگی به نم و ویژه نمی‌تواند نقش مناسبی را در پیش بینی این سامانه‌ها داشته باشد. محمدی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب‌غرب ایران

نشان دادند که در توفان‌های منتخب، دو مرکز بیشینه تاوایی پتانسیل تراز میانی، یکی در شرق دریای مدیترانه و دیگری در غرب دریای سرخ، روی کشور سودان شکل گرفته‌اند. زیانه بیشینه مستقر بر روی دریای سرخ همراه با پیشروی شرق سوی ناوه، به صورت نوار باریکی به ایران کشیده شده و مقادیر تاوایی نسبی به تدریج در جنوب غرب ایران افزایش یافته است. مفیدی و همکاران (۱۳۹۱)، در تبیین علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش‌های زمستانه در قیاس با بارش‌های پاییزه نتیجه گرفتند که در طول فصل پاییز، استقرار مکرر و مناسب پرفشار دینامیکی بر بخش شمالی دریای خزر و به دنبال آن شکل‌گیری یک الگوی آلانگی یک سویه در امتداد نصف النهاری، پتانسیل زیادی برای صعود رطوبت و وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر در اختیار قرار می‌دهد. این درحالی است که در طول فصل زمستان، با توجه به وردایی نصف النهاری قابل توجه پرفشار دینامیکی، این شرایط کمتر قابل مشاهده است. مقاله حاضر به دنبال تحقیق و بررسی شدیدترین بارش‌های فصل بهار از دیدگاه دینامیکی، پهنه‌بندی مقادیر مجموع بارش سامانه هر یک از الگوها و در نهایت ترسیم و ارائه الگوهای این بارش‌ها می‌باشد.

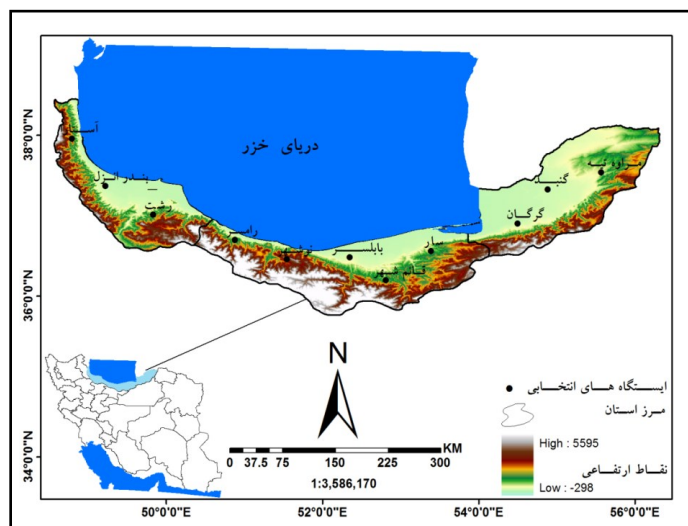
## ۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعه شامل استان‌های شمالی ایران، گیلان، مازندران و گلستان در حاشیه جنوبی دریای خزر و شمال رشته کوه البرز می‌باشد. منطقه مذکور بین عرض‌های ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل شماره ۱). در این منطقه با توجه به فاصله دریا تا کوهستان، وسعت دشت‌های آبرفتی حاصلخیز در غرب و شرق منطقه نسبت به مرکز وسیعتر می‌باشند. همچنین پربارترین ایستگاه‌های ایران و به تبع آن رودخانه‌های دائمی همراه با پوشش جنگلی متراکم در این منطقه از ایران قرار داشته، چنانکه با کاهش بارش‌ها از غرب به شرق منطقه (گلستان)، پوشش جنگلی و رودخانه‌های دائمی کاهش می‌یابند.

## ۳. مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر به منظور مطالعه و بررسی دینامیکی الگوهای بارش حدی بهاره در سواحل جنوبی دریای خزر از روش‌های آماری - همدیدی استفاده شد. در این راستا داده‌های بارش روزانه ۱۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در سواحل جنوبی دریای خزر طی یک دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱)، از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد (شکل ۱). در ادامه نمونه‌ها روزهای حدی بارش انتخاب شدند و روزهایی که مقدار بارش طی ۲۴ ساعت برابر یا بیشتر از ۲۰٪ مقدار متوسط درازمدت بارش فصلی باشد (مفیدی، ۱۳۸۶: ۱۳۵). در واقع اینکه، میانگین بارش ۲۴ ساعته ۷۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، برابر یا بیشتر از آستانه ۲۰٪ بارش فصلی باشند (جدول ۱). از این رو، پس از بررسی، ۱۸ سامانه بارشی که در نوار شمالی کشور باعث ریزش‌های جوی سنگین در فصل بهار شده بودند، تعداد ۴ الگوی غالب استخراج گردید (جدول ۲). بدین منظور، با بهره‌گیری از داده‌های مراکز ملی پیش‌بینی محیطی / مرکز ملی پژوهش جوی<sup>۱</sup> با تفکیک افقی  $2/5 \times 2/5$  درجه، شرایط جوی حاکم در مقیاس روزانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. داده‌ها شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌های مداری (U) و نصف‌النهاری (V) باد، نم و ویژه

و سرعت قائم برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشند. با بهره‌گیری از داده‌های فوق، کمیت‌های دینامیکی تاوایی نسبی، نمودار هاومولر تاوایی، سرعت قائم، میدان‌های باد واگرایی و همگرایی و همچنین نیمرخ‌های قائم تاوایی نسبی، میدان‌های باد واگرایی و همگرایی به تفکیک برای هر یک از الگوهای مورد مطالعه تهیه شد. سپس نقشه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و در نهایت الگوهای دینامیکی اصلی مشخص شدند.



شکل ۱ ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در سواحل جنوبی دریای خزر

جدول ۱ مقدار بارش آستانه برای تعیین بارش‌های شدید و حدی، طی دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۱۰)

آستانه‌ها	مشخصه بارش	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین بارش فصلی در ۱۱ ایستگاه منتخب		۱۲۹/۸	۲۳۰/۶	۴۴۵/۸	۲۶۷
۱۰٪ از بارش فصلی	بارش شدید	۱۳	۲۳	۴۴/۶	۲۶۷
۲۰٪ از بارش فصلی	بارش حدی	۲۶	۴۶/۱	۸۹/۲	۵۳/۴

جدول ۲ تعداد و تاریخ الگوهای بارشی استخراج شده جهت مطالعه دینامیکی بارش بهاره سواحل جنوبی خزر

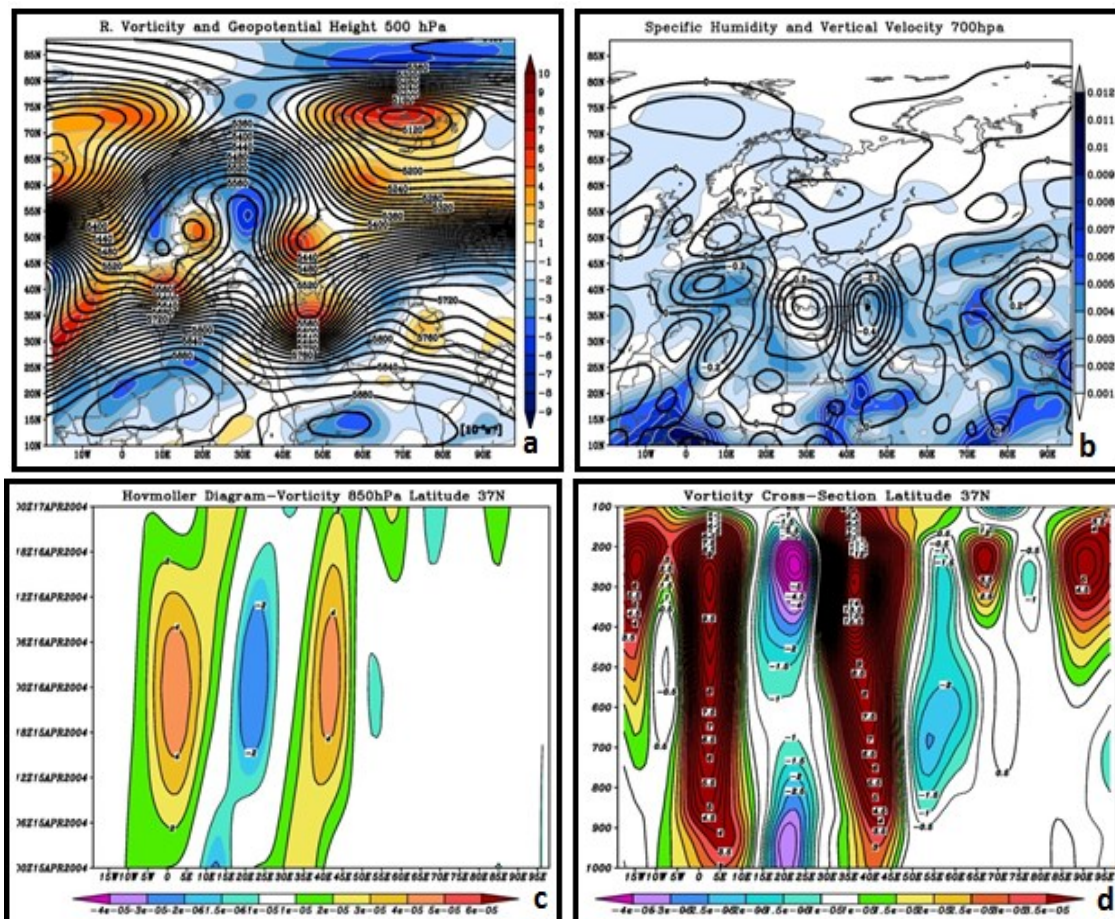
الگو	تعداد سامانه	میانگین بارش ایستگاه‌ها	روز	ماه	سال	الگو	تعداد سامانه	میانگین بارش ایستگاه‌ها	روز	ماه	سال
۱	۱	۲۸	۲۰	خرداد	۱۳۴۹	۲	۲	-۱۸/۸ - ۶/۸	۳۱/۳۰/۲۹	اردیبهشت	۱۳۵۶
	۲	۲۱ - ۳۵	۲۶/۲۵	خرداد	۱۳۴۸		۳	۳۱/۸	۱	تیر	۱۳۵۷
	۳	۲۴ - ۳۷/۲	۱۳/۱۲	فروردین	۱۳۶۰		۴	۲۱/۴	۷-۶-۵	تیر	۱۳۷۳
	۴	۳۱/۴ - ۱۸/۷	۲۹/۲۸	فروردین	۱۳۸۳		۵	۲۳/۴ - ۱۸/۸	۲۰/۱۹	خرداد	۱۳۴۱
	۵	۲۳/۴	۲۳/۴	فروردین	۱۳۷۱		۳	۱	۱۸ - ۳/۳	۱۶/۱۵	خرداد
۶	۲۱/۴	۳۰/۲۹	فروردین	۱۳۷۱	۲	۱۶/۸		۱۳	خرداد	۱۳۵۲	
۷	۳۱/۴	۷-۶-۵	تیر	۱۳۷۳	۳	۱۴/۱		۱	خرداد	۱۳۸۰	
۸	۲۹/۲۸	۲۹/۲۸	فروردین	۱۳۸۳	۴	۴/۳		۱۸ - ۳/۳	۴/۳	اردیبهشت	۱۳۷۴

## ۴. بحث و نتایج

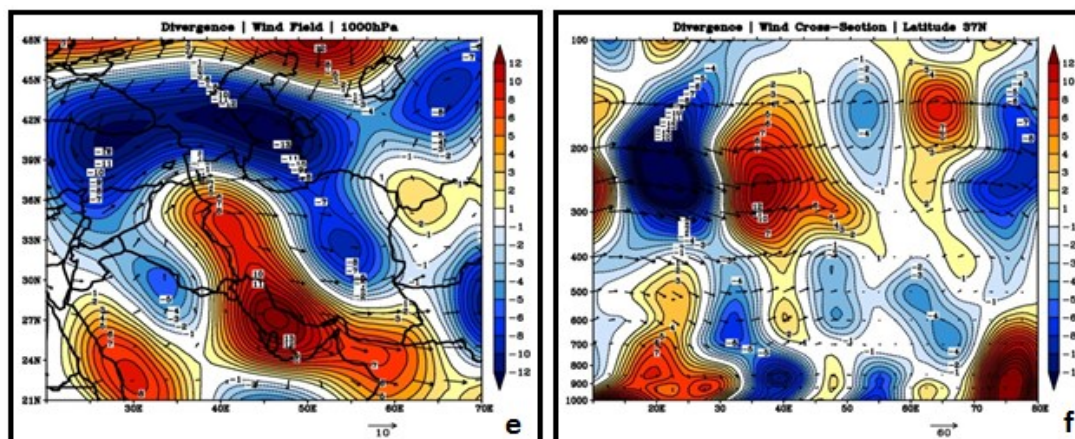
تحلیل دینامیکی نقشه‌های هوا: از آنجا که هدف اصلی این پژوهش تعیین الگوهای بارش حدی بهاره در ارتباط با کمیت‌های دینامیکی در نوار ساحلی شمال کشور می‌باشد، در این بخش نقشه‌های جوی بارش‌های حدی و فراگیر ۴ الگوی استخراج شده مورد بررسی و تحلیل دینامیکی قرار می‌گیرند.

**الگوی ۱:** مشخصه اصلی این الگو، سامانه بندالی (امگا) است که اصولاً در شرق اروپا واقع شده است. اهمیت سامانه بندالی در ایجاد پدیده‌های حدی اقلیم با توجه به موقعیت قرارگیری و شکل آن است. در الگوهای مورد بررسی با توجه به اینکه قسمت شرقی مرکز کم ارتفاع حاصل از این سامانه بر روی ایران قرار دارد، سبب صعود و ناپایداری هوا شده است (شکل ۲ a). این شرایط در همه ۹ مورد این الگو مشاهده شد. از آنجایی که نم و ویژه با افزایش ارتفاع به شدت کاهش می‌یابد، از این رو بررسی این کمیت در ترازهای بالاتر از ۵۰۰ هکتوپاسکالی ضرورتی ندارد و در این پژوهش هم به بررسی مقادیر نم و ویژه در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال و در ارتباط با موقعیت سامانه پرداخته شده است. بررسی شرایط رطوبتی و نم و ویژه سامانه‌های بارشی این الگو نشان می‌دهد که این کمیت در شرایط نسبتاً خوبی بوده و در همه موارد مقدار قابل توجهی از نم و ویژه در سواحل جنوبی دریای خزر مشاهده شد (b۲). بررسی کمیت‌های دینامیکی نشان داد که، مقدار تاوایی نسبی بر روی کشور و مخصوصاً نوار شمالی کشور به بیش از  $9^{-5} s^{-1}$  می‌رسد (a۲)، همچنین در همه موارد سرعت قائم منفی جو (سیکلونی) بر روی منطقه مورد مطالعه قابل توجه بوده بطوری که مقدار آن بین  $0.2 -$  تا  $0.5 -$  بوده است (b۲). بررسی نمودارهای هاومولر تاوایی عرض  $37^{\circ}$  شمالی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داد که حداکثر میزان تاوایی مثبت بین  $2 \times 10^{-5}$  تا  $5 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه طی فعالیت سامانه‌های مورد مطالعه این الگو می‌باشد (c۲). جهت فراهم ساختن درکی مناسب‌تر از ساختار گردش جو، مقادیر متوسط روزانه تاوایی نسبی در مقطع قائم جو نیز برای سامانه‌های بارشی مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نقشه‌ها نشان داد که مرکز کم ارتفاعی با حداکثر میزان تاوایی مثبت بین  $8/5 \times 10^{-5}$  تا  $15 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه در بین ترازهای ۷۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال شکل می‌گیرد. به طوری که مقادیر بالایی تاوایی نسبی تراف بسیار عمیقی ایجاد کرده که با حرکت شرق سو، وضعیت دینامیکی مناسبی را برای صعود در منطقه ایجاد می‌کند (d ۲). بررسی میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در این الگو در سطوح زیرین جو (تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) بر روی سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد که نیمه غربی کشور به دلیل قرار گرفتن در محل ریزش و نزول هوای سامانه بندالی (منطقه واگرایی) امکان صعود هوا فراهم نمی‌شود. در حالی که نوار ساحلی شمال و نواحی شمال شرق کشور به دلیل قرارگیری در محل ناوه کم ارتفاع شرقی سامانه بندالی، همگرایی بسیار مناسبی مشاهده می‌شود؛ به طوری که بیشینه همگرایی بین  $9 \times 10^{-6} m s^{-1}$  تا  $14 \times 10^{-6} m s^{-1}$  می‌باشد (e ۲). جهت فراهم نمودن یک دید جامع‌تر از ماهیت گردش بهاره جو بر روی سواحل جنوبی دریای خزر، نیمرخ قائم میدان واگرایی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^{\circ}$  درجه شمالی تهیه شد. با توجه به شکل (f ۲) سواحل جنوبی دریای خزر و شرق مدیترانه در طی فعالیت

سامانه‌های بارشی این الگو در فصل بهار یک جریان غربی (شرق سو) غالب را در ترازهای بالاتر از ۴۰۰ هکتوپاسکال تجربه می‌کنند. جریانات شرق سو با منشأ غربی به واسطه شیب مداری موجود، بیشینه شدت خود را در حد فاصل تراز ۲۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال تجربه می‌کند و مناطق بیشینه واگرایی و کمینه همگرایی با میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۲ e) مطابقت دارند. مقایسه نقشه‌ها بطور کلی نشان داد که میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تطابق بسیار مناسبی با میدان تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دارند. بطوری‌که، میدان‌های واگرایی منفی (همگرایی) در سطوح زیرین جو (۱۰۰۰ هکتوپاسکال) با میدان‌های مثبت واگرایی (سیکلونی) در سطوح میانی و فوقانی جو جایگزین می‌شوند. مجموعه این شرایط حاکی از وجود شرایط مناسب برای صعود دینامیکی هوا بر روی جو منطقه و صعود دینامیکی سریع ذرات به سطوح میانی و فوقانی جو می‌باشد که نهایتاً بارش حدی بهاره را ایجاد کرده است. نقشه‌های همدید و محاسبه کمیت‌های دینامیکی برای بارش ۲۸ فروردین ۱۳۸۳ بعنوان نمونه برای این الگو آورده شده است (شکل ۲).

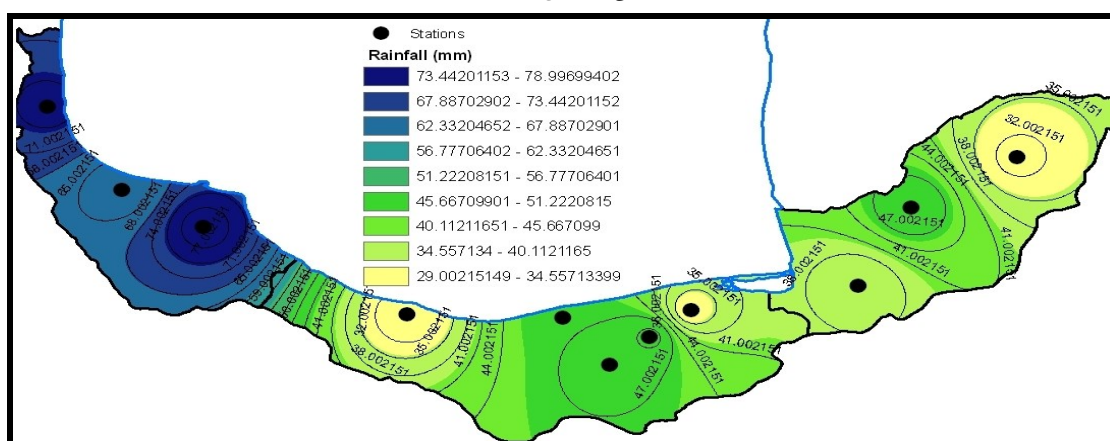






شکل ۲- (a) وضعیت میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل بر حسب متر (کتور)، تاوایی نسبی بر حسب  $10^{-5} S^{-1}$  (پهنه‌ای) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ (b) شرایط میانگین روزانه نم و ویژه گرم بر مترمکعب) و سرعت قائم جو بر حسب پاسکال (مگا) در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال. (c) وضعیت نمودار هاومولر تاوایی ۲۷-۲۹ فروردین ماه ۱۳۸۳ عرض  $37^{\circ}$  شمالی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ (d) مقطع قائم شرایط میانگین روزانه تاوایی عرض  $37^{\circ}$  شمالی. (e) مقادیر متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (f)، نیمرخ قائم متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^{\circ}$  شمالی. میدان‌های واگرایی و همگرایی بر حسب  $10^{-6} m s^{-1}$  است. نقشه‌ها مربوط به ۲۸ فروردین ماه ۱۳۸۳ می‌باشند.

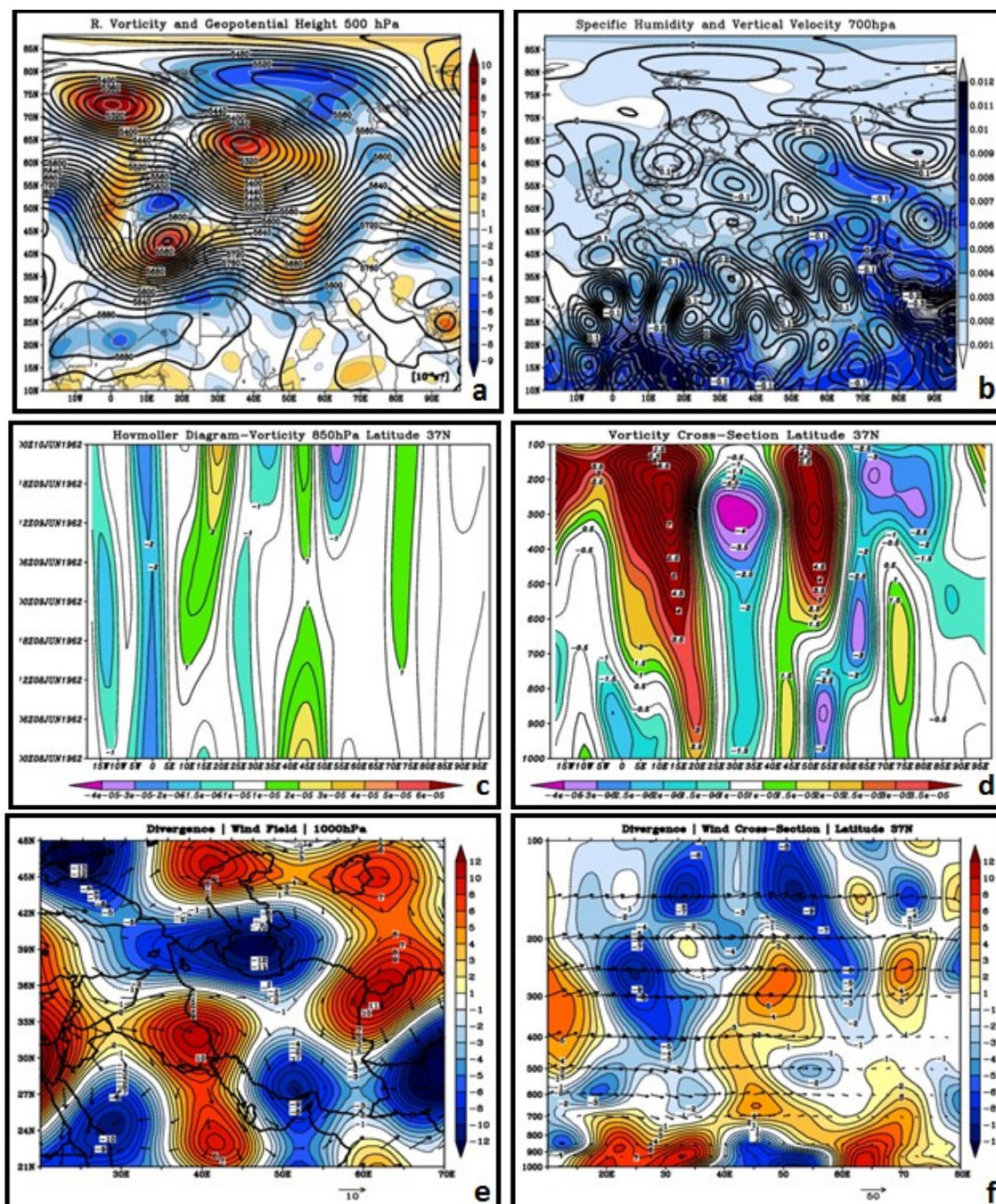
در ادامه، پهنه‌بندی مجموع مقادیر بارش سامانه فروردین ماه ۱۳۸۳ نیز صورت پذیرفت. بدین منظور، داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های منتخب از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. بعد از استخراج مقادیر بارندگی سامانه‌ی مورد نظر، نقشه پهنه‌بندی مجموع بارش آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی ترسیم گردید. همان‌گونه که شکل (۳) نشان می‌دهد، بیشترین مقادیر بارش این سامانه در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه، یعنی استان گیلان به ثبت رسیده است. در عین حال، بخش‌های مرکزی و شرق سواحل جنوبی دریای خزر به مراتب بارش کمتری را تجربه کرده‌اند.



شکل ۳ مجموع بارندگی سامانه بارشی ۲۸-۲۹ فروردین ماه ۱۳۸۳ در الگوی اول

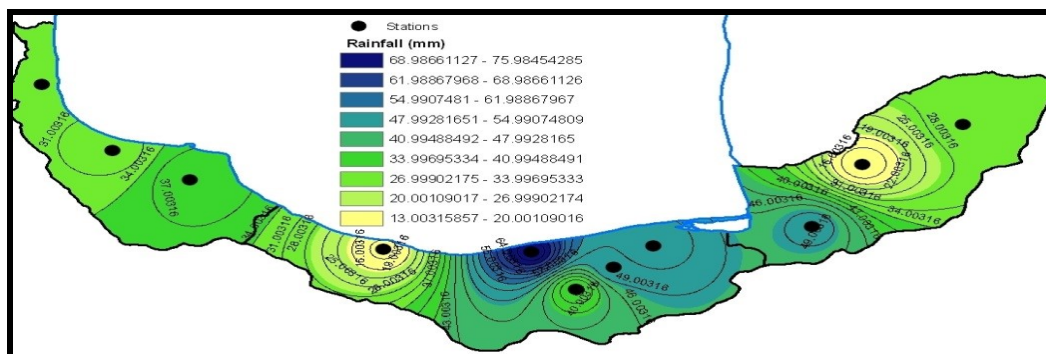


**الگوی ۲:** سیکلون‌های مدیترانه‌ای عامل اصلی بارش‌های بهاره سواحل جنوبی دریای خزر در این الگو محسوب می‌شوند. همچنین، سیکلون‌های مهاجر اروپایی به همراه تقویت شدن توسط کم ارتفاع‌های عرض‌های بالا نیز به وقوع بارش‌های این فصل شمال کشور کمک زیادی می‌کنند. علاوه بر آن، کشیده شدن پر فشار عربستان به سمت شرق و گسترش بیش از حد زبانه‌هایی از پر فشار جنب حاره به عرض‌های بالاتر از ۸۰ درجه شمالی، شرایط مناسبی را برای محصور کردن سیکلون‌های مهاجر در منطقه مورد مطالعه به همراه سیکلون‌های مدیترانه‌ای به وجود آورده که نهایتاً ریزش‌های سنگین این الگو بر منطقه شمالی کشور را رقم می‌زند. این شرایط در همه ۶ مورد مشاهده می‌شود. بررسی شرایط رطوبتی و نم ویژه سامانه‌های بارشی این الگو نشان می‌دهد که بیشتر مقادیر نم ویژه در عرض‌های پایین تمرکز یافته‌اند (۴ b). بررسی کمیت‌های دینامیکی نشان داد که، مقدار تاوایی پتانسیل بر روی سواحل جنوبی دریای خزر به بیش از  $3 \times 10^{-5} S^{-1}$  متر بر ثانیه می‌رسد (۴ a). در همه موارد سرعت قائم منفی جو (سیکلونی) بر روی منطقه مورد مطالعه قابل توجه بوده بطوریکه مقدار آن بین  $-0.1$  تا  $-0.3$  مشاهده شد (۴ b). بررسی نمودارهای هاومولر تاوایی عرض  $37^\circ$  شمالی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داد حداکثر میزان تاوایی مثبت طی فعالیت سامانه‌های مورد مطالعه این الگو به  $2 \times 10^{-5}$  تا  $4 \times 10^{-5}$  متر می‌رسد (۴ c). بررسی نقشه‌های مقادیر متوسط روزانه تاوایی نسبی در مقطع قائم جو برای سامانه‌های بارشی مورد نظر نشان داد که مرکز کم ارتفاعی با حداکثر میزان تاوایی مثبت بین  $4/5 \times 10^{-5}$  تا  $7 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه حدفاصل ترازهای ۵۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال شکل می‌گیرد. به طوری که مقادیر بالایی تاوایی نسبی تراف بسیار عمیقی ایجاد کرده که با حرکت شرق سوی خویش وضعیت دینامیکی مناسبی را برای صعود در منطقه مورد مطالعه ایجاد می‌کند. این شرایط مقطع قائم تاوایی تقریباً در ۶ مورد این الگو مشاهده شد (۴ d). بررسی میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا نشان می‌دهد که در روزهای بارش، سواحل جنوبی دریای خزر و تقریباً نیمه شمالی کشور به دلیل قرار گیری در محل ناوه کم ارتفاع عرض‌های بالا و سیکلون‌های مدیترانه‌ای، همگرایی سطحی شرایط مناسبی را برای صعود فراهم کرده است. بطوری که بیشینه همگرایی (میدان‌های منفی) به  $1 \times 10^{-6} m s^{-1}$  تا  $15 \times 10^{-6} m s^{-1}$  می‌رسد (۴ e). همچنین نیمرخ قائم میدان واگرایی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^\circ$  (۴ f) نشان دهنده جریان غربی (شرق سو) غالب را در ترازهای بالاتر از ۵۰۰ هکتوپاسکال هستند. جریانات شرق سو با منشأ غربی به واسطه شیب مدار موجود، بیشینه شدت خود را در حد فاصل تراز ۱۵۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال تجربه می‌کند و مناطق بیشینه واگرایی و کمینه همگرایی با میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارند. مجموعه این شرایط نشان دهنده وجود شرایط مناسب برای صعود دینامیکی هوا بر روی جو منطقه و صعود دینامیکی سریع ذرات به سطوح میانی و فوقانی جو می‌باشند که نهایتاً ریزش‌های سنگین بهاره را ایجاد کرده است (شکل ۴)



شکل ۴- (a) وضعیت میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل بر حسب متر (کتور)، تاوایی نسبی بر حسب  $10^{-6} s^{-1}$  (پهنای) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ (b) شرایط میانگین روزانه نم و ویژه گرم بر مترمکعب) و سرعت قائم جو بر حسب پاسکال (آمگا) در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال. (c) وضعیت نمودار هومولر تاوایی ۲۷-۲۹ فروردین ماه ۱۳۸۳ عرض  $37^{\circ}$  شمالی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ (d) مقطع قائم شرایط میانگین روزانه تاوایی عرض  $37^{\circ}$  شمالی. (e) مقادیر متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (f)، نیمرخ قائم متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^{\circ}$  شمالی. میدان‌های واگرایی و همگرایی بر حسب  $10^{-6} ms^{-1}$  است. نقشه‌ها مربوط به ۲۰ خرداد ماه ۱۳۸۱ می‌باشند.

نقشه پهنه‌بندی مجموع مقادیر بارش سامانه خرداد ماه ۱۳۴۱ (شکل ۵) نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر بارش این سامانه در بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه یعنی استان مازندران به ثبت رسیده است.

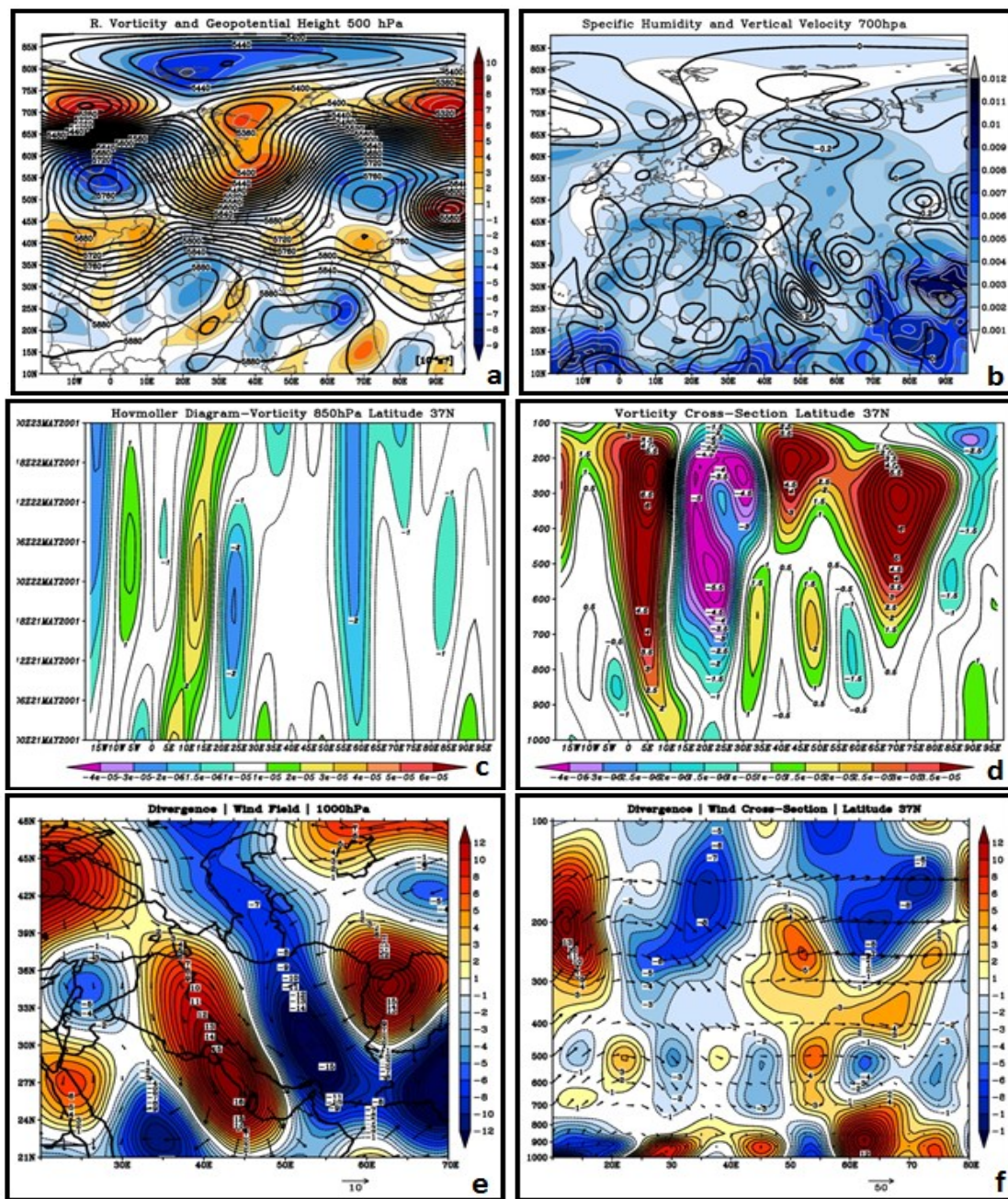


شکل ۵ مجموع بارندگی سامانه بارشی ۲۰-۱۹ خرداد ماه ۱۳۴۱ در الگوی دوم

**الگوی ۳:** بارش‌های بهاره این الگو تحت تاثیر سامانه‌های بندالی منطقه آسیای میانه و سیبری می‌باشد. در عین حال، گسترش پر فشار جنب حاره در جهت شمال شرقی و تا حدودی استقرار پر فشار عربستان در نواحی جنوبی کشور، اثر منفی بر ناوه حاصل از کم ارتفاع‌های سامانه بندالی گذاشته به نحوی که از ایجاد بارش‌های شدید و سیل آسا تا حدودی کاسته است. این شرایط در همه ۳ مورد این الگو مشاهده شد (۶a). بررسی شرایط رطوبتی و نم ویژه سامانه‌های بارشی این الگو نشان می‌دهد که بیشتر مقادیر نم ویژه در عرض‌های پایین تمرکز یافته‌اند (۶b). مقدار تاوایی بر روی سواحل جنوبی دریای خزر به بیش از  $1^{\circ} S^{-1}$  متر بر ثانیه می‌رسد که نشان دهنده صعود نه چندان شدید هوا است (۶a). همچنین، در همه موارد سرعت قائم منفی جو (سیکلونی) بر روی منطقه مورد مطالعه قابل توجه بوده به طوری که مقدار آن بین  $0.2^{\circ}$  تا  $0.4^{\circ}$  - مشاهده شد (۶b). بررسی نمودارهای هاومولر تاوایی عرض  $37^{\circ}$  شمالی در سطح  $850$  هکتوپاسکال نشان می‌دهد که حداکثر میزان تاوایی مثبت بین  $1 \times 10^{-5}$  تا  $2 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه طی فعالیت سامانه‌های مورد مطالعه می‌باشد (۶c). مقادیر متوسط روزانه تاوایی نسبی در مقطع قائم جو نشان می‌دهد که مرکز کم ارتفاع با حداکثر میزان تاوایی مثبت بین  $1/5 \times 10^{-5}$  تا  $3 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه در بین ترازهای  $800$  تا  $500$  هکتوپاسکال، تراف‌های نسبتاً ضعیفی ایجاد کرده که با حرکت شرق سوی خویش وضعیت دینامیکی نسبتاً مناسبی را برای صعود ایجاد می‌کنند (۶d). در بررسی میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی در سطوح زیرین جو (تراز  $1000$  هکتوپاسکال)، در سواحل جنوبی دریای خزر و تقریباً نواحی مرکزی کشور از جنوب تا شمال، به دلیل قرارگیری در محل ناوه کم ارتفاع عرض‌های بالا، همگرایی (واگرایی منفی) بسیار مناسبی مشاهده می‌شود. بیشینه همگرایی سامانه بارشی خرداد ماه  $1380$  به بیش از  $15 \times 10^{-6} m s^{-1}$  می‌رسد که مرکز آن بر روی نواحی جنوبی کشور مستقر است (۶e). همچنین نیمرخ قائم میدان واگرایی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^{\circ}$  شمالی نشان داد که سواحل جنوبی دریای خزر و شرق مدیترانه یک جریان غربی (شرق سو) غالب را در ترازهای بالاتر از  $150$  هکتوپاسکال تجربه می‌کند (۶f).

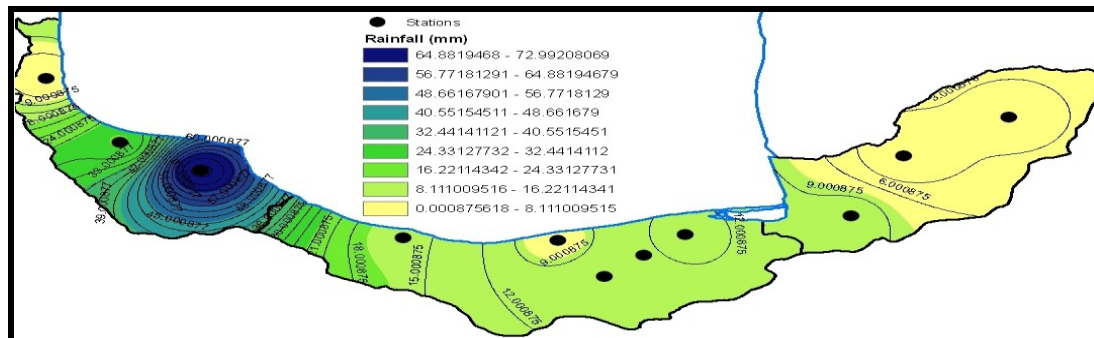
مجموعه این شرایط حاکی از وجود شرایط مناسب برای صعود دینامیکی هوا بر روی جو منطقه و صعود دینامیکی سریع ذرات به سطوح میانی و فوقانی جو می‌باشد که نهایتاً ریزش‌های سنگین بهاره را ایجاد کرده است (شکل ۶).





شکل ۶- (a) وضعیت میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل بر حسب متر (کتور)، تاوایی نسبی بر حسب  $10^{-5} S^{-1}$  (پهنه‌ای) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ (b) شرایط میانگین روزانه نم و ویژه (گرم بر مترمکعب) و سرعت قائم جو بر حسب پاسکال (آمگا) در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال. (c) وضعیت نمودار هاومولر تاوایی ۲۷-۲۹ فروردین ماه ۱۳۸۳ عرض  $37^{\circ}$  شمالی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ (d) مقطع قائم شرایط میانگین روزانه تاوایی عرض  $37^{\circ}$  شمالی. (e) مقادیر متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، (f) نیمرخ قائم متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^{\circ}$  شمالی. میدان‌های واگرایی و همگرایی بر حسب  $10^{-6} m s^{-1}$  است. نقشه‌ها مربوط به ۱ خرداد ماه ۱۳۸۰ می‌باشند.

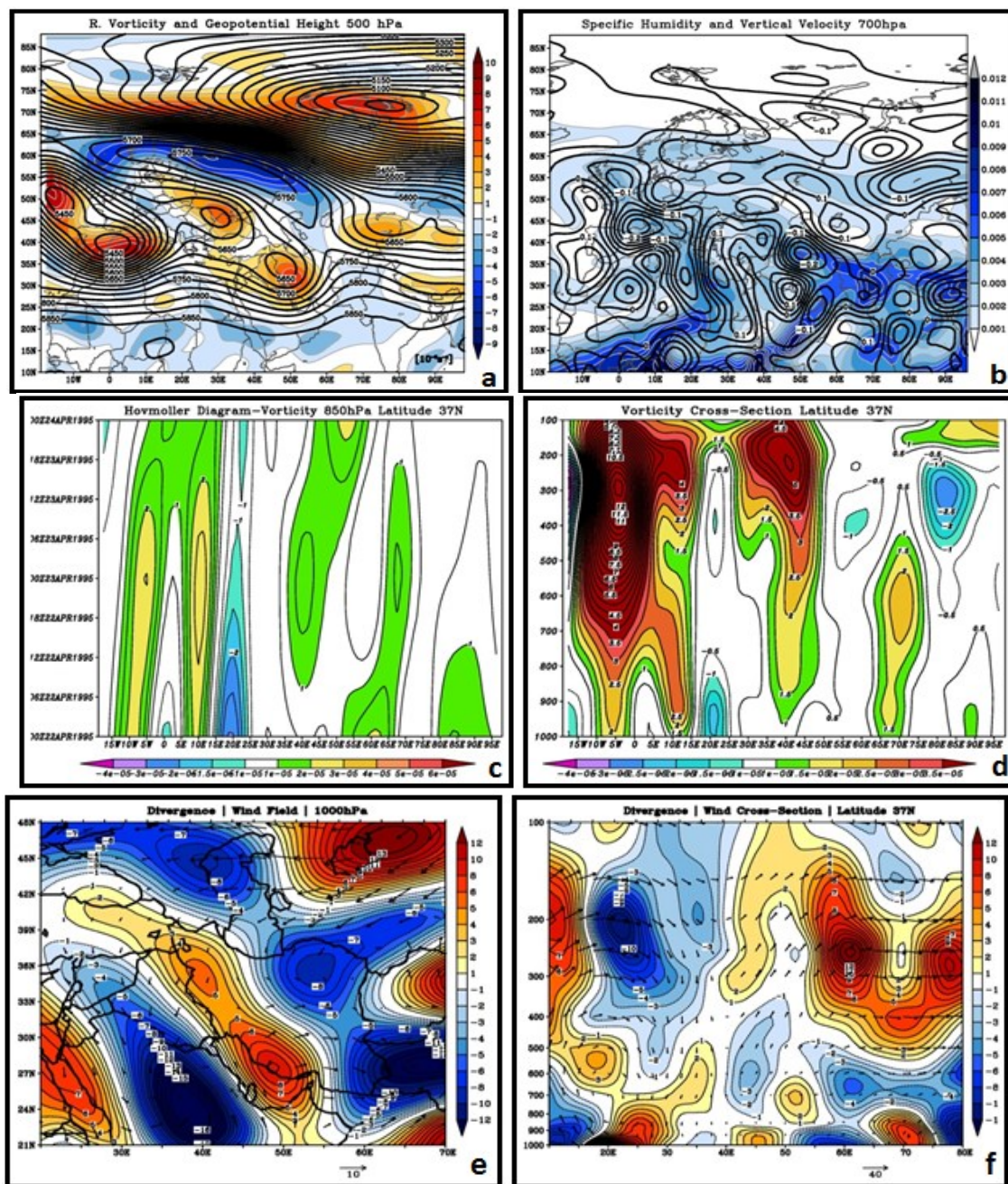
نقشه پهنه بندی مجموع مقادیر بارش سامانه خرداد ماه ۱۳۸۰ (شکل ۷)، نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر بارش این سامانه در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه یعنی استان گیلان به ثبت رسیده است.



شکل ۷ مجموع بارندگی سامانه بارشی ۱ خرداد ماه ۱۳۸۰ در الگوی سوم (مقدار بارندگی به میلی‌متر)

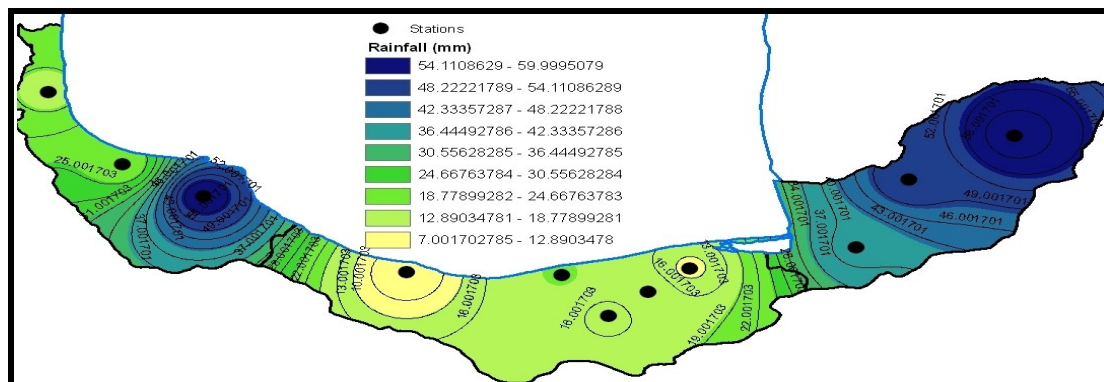
**الگوی ۴:** در این الگو، سامانه بندالی (امگا)، الگوی غالب بارش بهاره در سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود. این الگو نیز تا حدودی شبیه به الگوی اول می‌باشد. با این تفاوت که در این الگو گسترش غیرعادی و بسیار زیاد پرفشار جنب حاره به سمت شمال در فصل بهار مشاهده می‌شود که زبانه‌های آن حتی تا عرض  $60^{\circ}$ - $50^{\circ}$  درجه شمالی هم گسترش داشته است. علاوه بر آن، کم ارتفاع‌های عرض‌های بالا و همچنین سیکلون‌های مدیترانه‌ای نیز نقش اصلی را در بارش‌های این الگو بازی می‌کنند. این شرایط در هر ۲ مورد این الگو مشاهده شد (a ۸). بررسی شرایط رطوبتی و نم ویژه سامانه‌های بارشی این الگو نشان می‌دهد که این کمیت در همه موارد از مقدار قابل توجه‌ای در سواحل جنوبی دریای خزر برخوردار است (b ۸). مقدار تاوایی در نیمه غربی و شمالی کشور به بیش از  $4 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$  متر بر ثانیه می‌رسد (a ۸)، همچنین، در همه موارد سرعت قائم منفی جو (سیکلونی) بر روی منطقه مورد مطالعه قابل توجه بوده و مقدار آن بین  $-0.1$  تا  $-0.4$  مشاهده شد (b ۸). حد اکثر میزان تاوایی مثبت عرض  $37^{\circ}$  شمالی در سطح  $850$  هکتوپاسکال، بین  $1 \times 10^{-5}$  تا  $3 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه می‌باشد (c ۸). مقادیر متوسط روزانه تاوایی نسبی در مقطع قائم جو نشان از شکل گیری ترف بسیار عمیقی با حرکت شرق سو دارد که این وضعیت شرایط دینامیکی مناسبی را برای صعود فراهم می‌کند (d ۸). در این الگو، همگرایی سطحی مناسب بوده، بطوریکه بیشینه همگرایی میدان‌های منفی بین  $7 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$  تا  $17 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$  می‌رسد (e ۸). نیمرخ قائم میدان واگرایی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^{\circ}$  شمالی (f ۸) نشان می‌دهد که سواحل جنوبی دریای خزر و شرق مدیترانه طی فعالیت سامانه‌های بارشی این الگو یک جریان غربی (شرق سو) غالب را در ترازهای بالاتر از  $300$  هکتوپاسکال تجربه می‌کنند. جریانات شرق سو با منشأ غربی به واسطه شیب مدار موجود، بیشینه شدت خود را در حد فاصل تراز  $100$  تا  $300$  هکتوپاسکال تجربه می‌کند و مناطق بیشینه واگرایی و کمینه همگرایی با میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی در سطح  $1000$  هکتوپاسکال مطابقت دارند. مجموعه این شرایط حاکی از وجود شرایط مناسب برای صعود دینامیکی هوا بر روی جو منطقه و صعود دینامیکی سریع ذرات به سطوح میانی و فوقانی جو می‌باشد که نهایتاً ریزش‌های سنگین بهاره را ایجاد کرده است (شکل ۸).





شکل ۸- (a) وضعیت میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل بر حسب مترکتور، تاوایی نسبی بر حسب  $10^{-5} S^{-1}$  (پهنه‌ای) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ (b) شرایط میانگین روزانه نم و ویژه (گرم بر مترمکعب) و سرعت قائم جو بر حسب پاسکال (مگا) در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال. (c) وضعیت نمودار هاومولر تاوایی ۲۷-۲۹ فروردین ماه ۱۳۸۳ عرض  $37^{\circ}$  شمالی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ (d) مقطع قائم شرایط میانگین روزانه تاوایی عرض  $37^{\circ}$  شمالی. (e) مقادیر متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (f)، نیمرخ قائم متوسط روزانه میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در امتداد عرض  $37^{\circ}$  شمالی. میدان‌های واگرایی و همگرایی بر حسب  $10^{-7} m s^{-1}$  است. نقشه‌ها مربوط به ۴ اردیبهشت ماه ۱۳۷۴ می‌باشند.

پهنه‌بندی مقادیر بارندگی سامانه مورد نظر (شکل ۹)، نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر بارش این سامانه در بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه، یعنی استان گلستان و تا حدودی نیز در نواحی غربی یعنی استان گیلان به ثبت رسیده است.



شکل ۹ مجموع بارندگی سامانه بارشی ۴-۳ اردیبهشت ماه ۱۳۷۴ در الگوی چهارم

## ۵. نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر الگوهای دینامیکی غالبی از ساختار متوسط مقیاس سینوپتیکی را در سواحل جنوبی دریای خزر به نمایش می‌گذارد. تحلیل جریان هوا نقش بسیار مهمی در آشکار سازی فرآیندهای جوی حاکم بر منطقه داشته است. در این پژوهش، از مجموع ۱۸ سامانه بارشی بهار، تعداد ۴ الگوی غالب استخراج و نتایج کلی زیر حاصل گردید: نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که بارش‌های بهاره سواحل جنوبی دریای خزر اصولاً از ۴ الگوی مشخص تبعیت می‌کنند. مشخصه اصلی الگوی اول، سامانه بندالی (أمگا) است که اصولاً در شرق اروپا واقع می‌شود. در الگوهای مورد بررسی با توجه به اینکه قسمت شرقی مرکز کم ارتفاع حاصل از این سامانه بر روی ایران قرار دارد، سبب صعود و ناپایداری هوا شده است. سیکلون‌های مدیترانه‌ای عامل اصلی بارش‌های بهاره سواحل جنوبی دریای خزر در الگوی دوم محسوب می‌شوند. همچنین، سیکلون‌های مهاجر اروپایی به همراه تقویت شدن کم ارتفاع‌های عرض‌ها بالا نیز به وقوع بارش‌های این فصل شمال کشور کمک زیادی می‌کنند. علاوه بر آن، کشیده شدن پر فشار عربستان به سمت شرق و گسترش بیش از حد زبانه‌هایی از پر فشار جنب حاره به عرض‌های بالاتر از ۸۰ درجه شمالی، شرایط مناسبی را برای محصور کردن سیکلون‌های مهاجر و سیکلون‌های مدیترانه‌ای به وجود آورده، که نهایتاً ریزش‌های سنگین این الگو را رقم می‌زند. بارش‌های بهاره الگوی سوم تحت تأثیر سامانه‌های بندالی منطقه آسیای میانه و سیبری می‌باشد. در عین حال، گسترش پر فشار جنب حاره در جهت شمال شرقی و تا حدودی استقرار پر فشار عربستان در نواحی جنوبی کشور، اثر منفی بر ناوه حاصل از کم ارتفاع‌های سامانه بندالی گذاشته به نحوی که از ایجاد بارش‌های شدید و سیل آسا تا حدودی کاسته است. در الگوی چهارم سامانه بندالی، شکل غالب بارش‌های منطقه



محسوب می‌شود. این الگو نیز تا حدودی شبیه به الگوی اول می‌باشد. با این تفاوت که گسترش غیرعادی و بسیار زیاد پرفشار جنب حاره به سمت شمال در فصل بهار مشاهده می‌شود و زبانه‌های آن حتی تا عرض ۵۰-۶۰ درجه شمالی هم گسترش داشته است. علاوه بر آن، کم ارتفاع‌های عرض‌های بالا و همچنین سیکلون‌های مدیترانه‌ای نیز نقش اصلی را در بارش‌های این الگو بازی می‌کنند. بررسی شرایط رطوبتی و نم ویژه سامانه‌های بارشی الگوهای مورد مطالعه نیز نشان داد که این کمیت در همه موارد از مقدار قابل توجه‌ای در سواحل جنوبی دریای خزر برخوردار است. آن‌گونه که خروجی‌ها نشان داد، هسته‌های منابع رطوبتی مناسب با قرارگیری در نوار ساحلی کشور و شرق دریای خزر سامانه‌های بارشی مورد مطالعه را تغذیه می‌کنند. بررسی کمیت‌های دینامیکی (تاوایی نسبی، امگا، واگرایی، همگرایی) نشان داد که، در همه موارد سرعت قائم منفی جو (سیکلونی) بر روی منطقه مورد مطالعه قابل توجه بوده به طوری که مقدار آن بین ۰/۱- تا ۰/۵- مشاهده شد. در همه الگوهای مورد مطالعه، مقدار تاوایی بر روی سواحل جنوبی دریای خزر بین  $10^{-1} \text{ s}^{-1}$  تا  $9 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  متر بر ثانیه مشاهده شد. بررسی نمودارهای هائومولر تاوایی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز نشان داد که مراکز تاوایی مثبت بین  $1 \times 10^{-5}$  تا  $5 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه بین طول‌های جغرافیایی ۵۰-۳۰ درجه شرقی قرار می‌گیرند، که حاکی از شرایط بسیار مناسب صعود دینامیکی طی فعالیت سامانه‌های بارشی می‌باشد. مقادیر متوسط روزانه تاوایی در مقطع قائم جو نیز نشان داد که استقرار مراکز کم ارتفاع با مرکز بین  $2 \times 10^{-5}$  تا  $15 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه بین ترازهای ۷۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه شکل می‌گیرند. بطوری‌که مقدار تاوایی مذکور تراف‌های عمیق تا بسیار عمیقی را ایجاد کرده که با حرکت شرق سو طی دوره فعالیت سامانه‌ها وضعیت دینامیکی مناسبی را برای صعود ایجاد کرده است. بررسی میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی و باد واگرا در الگوهای مورد مطالعه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در روزهای بارشی، سواحل جنوبی دریای خزر، نواحی شمال شرق، نواحی مرکزی کشور از جنوب تا شمال و نیمه شرقی کشور به ترتیب به دلیل قرارگیری در محل ناوه‌های کم ارتفاع شرقی سامانه‌های بندال عرض‌های بالا و سیکلون‌های مدیترانه‌ای، و کم ارتفاع غربی سامانه‌های بندال، همگرایی بسیار مناسبی مشاهده شد، بطوری‌که بیشینه همگرایی میدان‌های منفی بین  $7 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$  تا  $17 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$  برآورد گردید. تهیه نیمرخ قائم میدان‌های واگرایی و باد واگرا در الگوهای مورد مطالعه در امتداد عرض  $37^\circ$  شمالی نشان داد که سواحل جنوبی دریای خزر و شرق مدیترانه طی فعالیت سامانه‌های بارشی الگوهای مورد نظر در فصل بهار یک جریان غربی (شرق سو) غالب را در ترازهای ۵۰۰ تا ۱۵۰ هکتوپاسکال تجربه می‌کنند. جریانات شرق سو با منشأ غربی به واسطه شیب مداری موجود، بیشینه شدت خود را در حد فاصل ترازهای ۳۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال تجربه می‌کنند. مناطق بیشینه واگرایی و کمینه همگرایی با میدان‌های واگرایی و همگرایی افقی در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال به خوبی مطابقت دارند. مجموعه این شرایط (منفی بودن سرعت قائم، مثبت بودن تاوایی، قرارگیری منطقه همگرایی بر روی سواحل خزر) حاکی از وجود شرایط مناسب برای صعود دینامیکی هوا بر روی جو منطقه و صعود دینامیکی سریع ذرات به سطوح میانی و فوقانی جو می‌باشد که نهایتاً ریزش‌های سنگین بهاره را ایجاد کرده است. نتایج حاصل از پهنه بندی مجموع مقادیر بارش سامانه‌های منتخب هر یک

از الگوهای مورد مطالعه نیز نشان داد که توزیع بارش از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند و بارش به طور غیر یکنواخت در سطح منطقه توزیع می‌شود. در عین حال، سهم مناطق غربی سواحل جنوبی دریای خزر در بارش‌های بهاره به مراتب بیشتر از دیگر نواحی است.

### فهرست منابع و مآخذ

- اردکانی، حسین و همکاران؛ ۱۳۸۷. مطالعه هم‌مدیدی و دینامیکی بیشترین بارش بر روی منطقه خراسان. مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۴. شماره ۲، صص ۱۰۷-۱۲۳.
- آزاد، روح ا... و همکاران؛ ۱۳۸۶. مقایسه ساختار دینامیکی پدیده بندال با مودون ها در شاره های ژئوفیزیکی. مجله ژئوفیزیک ایران. جلد ۱. شماره ۱، صص ۵۱-۵۹.
- حبیبی، فریده؛ ۱۳۸۶. آنالیز سینوپتیکی و دینامیک چرخندزائی روی مدیترانه. نیوار. شماره ۶۳ و ۶۴، صص ۷۶-۹۱.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ ۱۳۷۶. تحلیل و ارائه مدل‌های سینوپتیکی کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از یک صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر. رساله دکتری اقلیم شناسی. به راهنمایی هوشنگ قائمی. دانشگاه تربیت مدرس.
- محمدی، حسین و همکاران؛ ۱۳۹۱. تحلیل دینامیکی سامانه های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال دوازدهم. شماره ۲۴، صص ۷-۲۴.
- مرادی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۱. تحلیل هم‌مدیدی بارش های ساحل جنوبی دریای خزر در شش ماه سردسال. علوم و فنون دریایی ایران. شماره ۲، صص ۶۱-۷۲.
- مرادی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۵. پیش بینی وقوع سیلاب‌ها بر اساس موقعیت‌های سینوپتیکی در سواحل جنوبی دریای خزر. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۵، صص ۱۰۹-۱۳۱.
- مرادی، محمد و همکاران؛ ۱۳۸۷. نقش تاوایی پتانسیلی هم ارز و تر در مسیریابی سامانه های سودانی. نیوار. بهار و تابستان ۱۳۸۷. شماره ۲۴، صص ۳۳-۵۲.
- مشکواتی، امیر حسین و مرادی، محمد؛ ۱۳۸۳. بررسی ناوه فشاری دریای سرخ از دیدگاه دینامیکی. مجله نیوار. شماره های ۵۲ و ۵۳، صص ۵۳-۷۴.
- معصوم پور سماکوش، جعفر؛ ۱۳۸۴. مطالعه سینوپتیکی خشکسالی های فراگیر در سواحل جموی دریای خزر. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی به راهنمایی فرامرز خوش اخلاق. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تهران.
- مفیدی، عباس، زرین، آذر و جانباز قبادی، غلامرضا؛ ۱۳۸۶. تبیین علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش‌های زمستانه در قیاس با بارش‌های پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر. مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۸. شماره ۱، صص ۱۷۷-۲۰۳.
- ؛ ۱۳۹۱. تعیین الگوی هم‌مدیدی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر. مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۳. شماره ۳، صص ۱۳۱-۱۵۴.
- نصیری، بهروز؛ ۱۳۷۸. تحلیل الگوی سینوپتیکی و دینامیکی بارش‌ها در حوضه‌های کرخه و دز. رساله دکتری جغرافیای طبیعی به راهنمایی هوشنگ قائمی. دانشگاه تربیت مدرس.

- Banacos, P., Schultz, D., 2005. The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: Historical & Operational Perspectives, *Forecaster's Forum*, page 351.
- Claußnitzer, A, et al., 2009. Analysis of quantitative precipitation forecasts using Dynamic State Index, *Atmospheric Research* 94: 694-703.
- Gallucci, J., Tryhorn, L., Lynch, A., and Parkyn, K., 2011. On the meteorological and hydrological mechanisms resulting in the 2003 post-fire flood event in Alpine Shire Victoria, *Australian Meteorological and Oceanographic Journal* 61: 31-42.
- Hoskins, B. J., McIntyre, M. E., and Robertson, A. W., 1985. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 111: 877-946.
- Muller, M., KaSpar, M., Rezacova, D., Sokol, Z., 2009. Extremeness of meteorological variables as an indicator of extreme precipitation events, *Atmospheric Research*, 92: 308-317.
- Neiman, P.J., White, A. B., Ralph, F. M., Gattas, D.J., Gutman, S. I., 2009. A water vapor flux tool for precipitation forecasting, NOAA Research.
- Ustrnul, Z., Czekierda, D., 2001. Circulation background of the atmospheric precipitation in Central Europe (based on the Polish example), *Meteorologische Zeitschrift*, 10: 103–111.