

## تحلیل زمانی - مکانی تاوه قطبی و نقش آن در وقوع روزهای بارش سنگین و فراغیر حوضه آبریز قره سو در استان کرمانشاه

غلامرضا محمدی؛ دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

رضا برنا؛ دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

فریده اسدیان؛ استادیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۱/۳۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۱/۰۹

### چکیده

در پژوهش حاضر به تحلیل زمانی-مکانی تاوه قطبی و نقش آن در وقوع روزهای بارش سنگین حوضه آبریز قره سو پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا با روش صدک ۹۵ درصد روزهای بارش سنگین حوضه استخراج شد. سپس با در نظر گرفتن شرط فراغیری، ۷۹ روز بارش سنگین و فراغیر طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۵ تعیین شد. در ادامه با در نظر گرفتن پربندهای معرف تاوه قطبی در نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوباسکال موقعیت تاوه در هر یک از روزهای بارش سنگین بر مبنای بیشترین گسترشی که بر روی پهنه همدید داشته، شناسایی گردید. تحلیل همدید موقعیت زمانی و مکانی تاوه قطبی طی روزهای منتخب بارش سنگین و فراغیر نشان می‌دهد که ۴ الگو طی ۷۹ روز بارش سنگین قابل شناسایی است. موقعیت و تمرکز الگوهای تاوه در هر یک از فصول، تغییر پیدا کرده‌اند. بهنحوی که کمترین نفوذ تاوه طی فصل پاییز و بیشترین نفوذ در فصل زمستان دیده می‌شود. در تمامی موارد روزهای بارش سنگین و فراغیر در اثر قرارگیری ناوه حاصل از تاوه قطبی بر روی منطقه مورد مطالعه ایجاد شده‌اند که هم‌زمان با استقرار بندال‌های عظیم رکس و امگایی بر روی اروبا است. بیشترین ارتباط بین عرض جغرافیایی، تاوه و شدت بارش در الگوی سوم (دریای سرخ تا غرب خلیج فارس) بوده که بیشترین نفوذ تاوه بر روی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در هر یک از موقعیت‌های مکانی تاوه، موقعیت، امتداد و عمق ناوه نیز متغیر شده است. بهنحوی که بهترین موقعیت و بیشترین اثرگذاری تاوه در الگوهای سوم و چهارم که ناوه‌های حاصل از تاوه بیشترین عمق و گستردگی را بر روی منابع آبی مجاور دارند، رخداده است.

واژه‌های کلیدی: بارش سنگین، تاوه قطبی، ناوه، حوضه قره سو.

<sup>۱</sup>: نویسنده مسئول:

## مقدمه

کشور ایران به دلیل شرایط و موقعیت جغرافیایی خاص، از شرایط متفاوت بارشی برخوردار است بهنحوی که علی‌رغم دارا بودن بارشی معادل یک‌سوم بارش میانگین بارش جهانی، دارای نوسان شدید در رژیم بارش است. سیلاب‌ها در طبقه‌بندی جهانی در زمره‌ی مهم‌ترین بلایای طبیعی قرار می‌گیرند. در دهه‌های اخیر، به دلیل دخالت‌های نابجا و مدیریت نادرست انسان در استفاده از سرزمین، شدت و تواتر وقوع این بلایای طبیعی افزایش یافته است (عباس زاده و همکاران، ۱۳۸۹). بروز سیلاب‌های سهمگین در اثر تغییرات آب و هوایی طی دهه‌های اخیر سبب بروز خسارت‌های فراوانی در نواحی مختلف دنیا شده است و در نواحی خشک تأثیر این تغییرات محسوس‌تر است (نگارش و همکاران، ۱۳۹۲). تاوه قطبی شکل دینامیکی غالب گردش زمستانی در استراتوسفر و تروپوسفر محسوب می‌گردد. مهم‌ترین مشخصه تاوه، وجود بادهای شدید در لبه بیرونی و پایین بودن دما در نواحی داخلی تاوه است. شناخت تاوه بینشی کامل از سامانه گردش جو در عرض‌های میانی فراهم می‌سازد که می‌تواند به صورت ابزاری مفید برای درک بهتر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که طبق تعریف، علم اقلیم شناسی همدید، عبارت است رابطه‌ی میان گردش‌های جوی با محیط سطحی یک منطقه؛ بنابراین شناخت تاوه قطبی به عنوان یکی از بزرگترین و مهم‌ترین مؤلفه‌های گردش عمومی جو دارای اهمیت ویژه‌ای است (مسعودیان، ۱۳۸۵).

در سالهای اخیر مطالعات متعددی در رابطه با بارش‌های سنگین و سیل‌آسا به روش سینوپتیک و به کمک نقشه‌های سطوح مختلف جو در سطح جهان و ایران انجام شده است. تحقیقات مربوط به بارش‌های سنگین و باددام به دو دسته تحقیقات در جهان و ایران قابل تقسیم است:

از دسته‌ی اول مطالعات می‌توان به مطالعه هوسر (Hauser, ۲۰۱۰) اشاره کرد. ایشان تأثیر تاوه قطبی نیمکره شمالی را بر روی آب‌وهوای وردسپهری در ماههای زمستان (نوامبر تا مارس) با استفاده از داده‌های مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت در بازه زمانی ۱۹۸۹-۲۰۰۹ بررسی نمودند. آن‌ها تاوه قطبی را بر روی سطح همدرگاشت ۸۵۰ کلوین از لحظه شکل، اندازه و موقعیت تحلیل خوش‌ای کردند و مرز تاوه قطبی را ۵۰۰ یا واحد تاوایی پتانسیل در نظر گرفتند و هر یاخته‌ای را که مقدار آن بیشتر از این مقدار باشد به عنوان تاوه قطبی معرفی کردند. آن‌ها همچنین اثر تاوه قطبی را بر روی میدان باد در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال و دمای سطحی بررسی نمودند. ون و کی (Wen and Ke, ۲۰۰۹) تغییر پذیری سالانه تاوه قطبی پوش سپهری در زمستان را در نیمکره شمالی بررسی نموده و ارتباط آن را با پدیده‌های انسو و نوسان شبه دو سالانه مشخص کردند. آن‌ها با استفاده از تحلیل توابع متعامد تجربی دو تا از نمایه‌های تغییرپذیری تاوه قطبی پوش سپهری را در مقیاس زمانی سالانه تعیین کردند. نمایه اول تغییرپذیری شدت تاوه قطبی را نشان می‌دهد و نمایه دوم تغییرات در عدم تقارن مداری تاوه قطبی را که عمدتاً فعالیت امواج ایستای سیاره‌ای را توصیف می‌کند، نمایش می‌دهد. نوسان شبه دو سالانه، به عنوان قوی‌ترین تغییرات سالانه هواسپهر، می‌تواند شدت تاوه قطبی را تحت تأثیر قرار دهد. از طرف دیگر، چرخه انسو، به عنوان قوی‌ترین تغییرات سالانه در اقیانوس، نیز می‌تواند با تغییرات فعالیت امواج ایستای سیاره‌ای در ارتباط باشد. وارونا (Wrona, ۲۰۰۵) اثر فصلی تاوه قطبی نیمکره شمالی را در بازه زمانی ۱۹۵۹-۲۰۰۱ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای چهار فصل سال مطالعه کردند. آن‌ها برای هر ماه از پربند خاصی برای تاوه قطبی استفاده نمودند. مساحت، شکل و گرانیگاههای تاوه قطبی را محاسبه کردند و به این نتایج رسیدند که ویژگی‌های هندسی تاوه قطبی ارتباط بین گردش‌های نیمکره‌ای و ناهنجاری‌های دمایی را در سراسر

سال مشخص می‌کند. گرانیگاه‌های تاوه قطبی به سمت اقیانوس آرام متمایل هستند. بجز در فصل بهار، شاخص نوسان قطبی با مساحت تاوه قطبی در ماههای دسامبر، فوریه و آوریل مرتبط است.

چوی و همکاران (Choi et al., ۲۰۰۹) تغییرات اخیر در تاوه قطبی نیمکره شمالی را در بازه زمانی ۱۹۴۸-۲۰۰۸ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی کردند. آن‌ها ارتباط بین تاوه قطبی نیمکره شمالی را با دیگر متغیرهای اقلیمی مانند دمای هوای گستره بخ و نوسان قطبی برگرفته از مرکز ملی مطالعات اقیانوس و جوایلات متحده آمریکا است، مطالعه کردند. آن‌ها به این نتایج رسیدند که مساحت تاوه قطبی در ماه مارس در حال کاهش (عقبنشینی) و ضربی گردواری آن در حال افزایش است؛ یعنی تاوه قطبی در ماه مارس به طرف قطب عقب نشینی و شکل آن دایره‌ای تر می‌شود و پشت‌هه و ناووه‌ها کاهش می‌یابد. مساحت تاوه در ماه جولای نیز در حال کاهش شدید است. این کاهش در شمال سبیری و آسیا شدیدتر است. اندازه تاوه قطبی در ماه مارس با گستره برف در ماههای فوریه، مارس و آوریل رابطه خطی مستقیم معنی‌دار دارد. همچنین اندازه تاوه قطبی در ماه مارس با نمایه نوسان قطبی در ماههای فوریه و مارس رابطه معکوس معنی‌دار دارد. بینگ (Bing, ۲۰۰۸)، یک ساختار ناهنجاری دو قطبی را در قطب شمال برای بارندگی‌های تابستانی در شمال شرق چین شناسایی کردند. این ساختار حاصل نمایه دوم تحلیل توابع متعامد تجربی میانگین فشار تراز دریا در شمال ۷۰ درجه عرض شمالی در ماههای تابستانی در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۶ می‌باشد. قدرت تبیین آن ۱۲/۹۴ درصد است. مرکز این ناهنجاری دو قطبی بر روی جهت‌های قطبی کانادا و دریای بوفورت و بین دریای کارا و لیتیو قرار دارد. ناهنجاری دو قطبی تغییرات را در محل تاوه قطبی بین نواحی شرقی و غربی قطب شمال نشان می‌دهد. فاز مثبت ناهنجاری دو قطبی با استقرار مرکز تاوه قطبی در ناحیه غربی قطب منطبق است که باعث افزایش میانگین بارندگی تابستانی در شمال شرق چین می‌گردد. لیانگ و همکاران (Liang et al., ۲۰۱۵) در واکاوی شاخص‌های بارش در حوضه رودخانه زرد در مرکز چین، نشان دادند که دو سامانه همدید مقیاس پرفشار جنب حاره و تاوه قطبی مهم‌ترین نقش را در تغییرات شاخص‌های بارش ایفا می‌کنند. بهنحوی که یک ارتباط معنادار همبستگی منفی با تاوه قطبی و مثبت با پرفشار جنب حاره طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۲ نشان می‌دهند.

در ایران مطالعات اندکی در زمینه‌ی تاوه قطبی و اثرات آن بر اقلیم و پدیده‌های فرین کشور، صورت گرفته است. که می‌توان به پژوهش مرادی (۱۳۸۰: ۱۲۱) اشاره کرد، ایشان با مطالعه تاوه قطبی با استفاده از داده‌های بارش و دمای ماهانه‌ی سطح زمین و فشار ماهانه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شش ماه دوره سرد سال (اکتبر تا مارس) در بازه زمانی ۱۹۷۱-۱۹۸۹ به این نکته دست یافت که بارش‌های فرگایر و افت دما در کشور با شدت فعالیت کم فشار ایسلند همراه بوده و با موقعیت پربند معرف تاوه قطبی در امتداد طولهای ۴۰ و ۵۰ درجه شرقی همبستگی منفی دارد. استقرار مرکز اصلی تاوه در نیمکره غربی و نسبتاً دور از قطب با افزایش دمای هوای در کل کشور همراه بوده است و بر عکس استقرار مرکز تاوه قطبی در نیمکره شرقی، کاهش دمای هوای را در کل کشور به همراه داشته است. بنابراین وضعیت دما و بارش کشور تحت تأثیر دو عامل پرفشار جنب‌حراء‌ی و کم فشار قطبی قرار دارد. پاک نظر (۱۳۸۳: ۳)، موقعیت تاوه قطبی و اثر آن را بر سرمایه‌ای شدید شمال شرق ایران در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکالی با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه دما در ماههای سرد سال در ایستگاه‌های همدید مشهد، سبزوار و تربت حیدریه در بازه زمانی ۱۹۷۷-۱۹۸۶ مطالعه نموده و به این نتیجه رسید که وقوع کمینه و بیشینه دما به ترتیب با بیشینه انبساط و انقباض تاوه به اندازه یک ماه تأخیر دارد. مساحت تاوه با میانگین ماهانه دما همبستگی منفی بسیار قوی دارد. عرض جغرافیایی مرکز تاوه در

نیمکره شرقی و موقعیت مرز تاوه در ناحیه بین ۵۰ تا ۶۰ درجه طول شرقی با دمای هوا همبستگی مثبت قوی دارد؛ یعنی درجه مرز تاوه و یا مرکز آن در عرض پایین تر قرار بگیرد، دما در شمال شرق ایران کمتر است. علیدادی (۱۳۸۹)، روزهای بارشی- برفي ایران را مربوط به پیشروی شمال سوی پشته جنب حاره به سمت عرض های جغرافیایی بالاتر و در نتیجه خارج شدن تاوه قطبی از حالت بهنجار خود می داند و معتقد است که کشیده شدن تاوه قطبی به عرض های پایین تر منجر به عمیق شدن ناوه مستقر در شرق مدیترانه شده است.

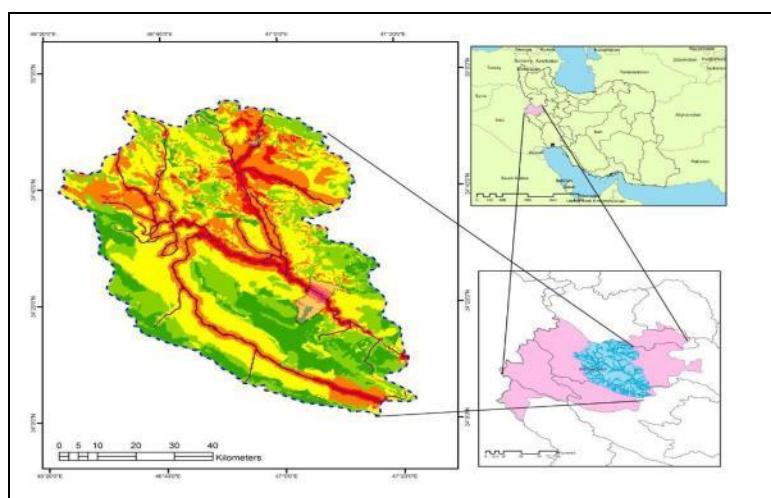
بخش اعظم مطالعات انجام شده در زمینه بارش های سنگین مرتبط با بررسی های همدید و دینامیکی جو است که نقش تاوه قطبی را به عنوان یکی از سرچشممهای اصلی اثرگذار بر سامانه های همدید مقیاس موردو توجه قرار نداده اند. از جمله مرادی (۱۳۸۵) در مطالعه خود به پیش بینی وقوع سیلابها در ساحل شمالی ایران بر اساس موقعیت های سینوپتیکی پرداخت و به این نتیجه رسید که سه نوع توده هوا و سیستم فشاری در ریزش بارش های سواحل دریای خزر مؤثر است که عبارتند از: سیستم های کم فشار، چرخندها و واچرخند های مهاجر. در بین سه عامل، شدید ترین بارش ها مربوط به چرخندها و واچرخند های مهاجر است. پروین (۱۳۸۹) در مطالعه خود به بررسی ارتباط تغییرات سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و سیل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخت. ایشان پس از تعیین آستانه سیل، داده های ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای ۴۴ طوفان مولد سیل طی دوره (۱۳۸۴-۱۳۷۰) مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که به هنگام وقوع سیلاب های مذکور پنج کانون با برخورداری از بیشترین آnomالی های ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال قابل تشخیص هستند که عبارتند از: ۱\_ منطقه بین دریای سرخ تا جنوب غربی ایران ۲\_ منطقه بین دریای مدیترانه و دریای سیاه ۳\_ منطقه شمال دریای خزر ۴\_ شرق ایران ۵\_ منطقه شمال اروپا. مهم ترین عامل شکل گیری بارش های سنگین کرمان حرکت رو به شرق و تقویت فرود شرق مدیترانه در تروپوسفر میانی است و زمانی که با حرکت رو به پایین سامانه تاوه قطبی همراه است بارش های سنگینی در سطح ایستگاه های استان رخ می دهد (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۹).

کارساز و مسعودیان (۱۳۹۳) به بررسی و تحلیل همدید الگوهای ضخامت بارش های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی پرداختند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که فرود منتهی الیه شرق دریای مدیترانه با کمی تغییر موقعیت در جنوب غرب ایران و منطقه کژفشاری شدیدی را ایجاد نموده که در رخداد بارش های سنگین این منطقه نقش اساسی دارند. محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۵) نقش کم فشار سودانی در تراز دریا و بندال دوقطبی در تراز میانی تروپوسفر را در رخداد بارش های سیلابی فروردین ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران را حائز اهمیت می دانند. ذکی زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز استقرار رودباد با سرعت ۶۵ متر بر ثانیه در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در نیمه جنوبی ایران به همراه تشکیل ناوه سرد چالی بر روی خزر را دلیل رخداد بارش های سنگین و فراگیر در ایران دانسته اند.

همان طور که ملاحظه می شود عموم تحقیقات انجام شده در منطقه مطالعاتی به تحلیل های همدیدی بارش ها با منشاء ناوه شرق مدیترانه و پر ارتفاع عربستان پرداخته و نقش ناوه های حاصل از بندال و تاوه قطبی برای بارش های فرین انجام نشده است. در این تحقیق تلاش خواهد شد با در نظر گرفتن اطلاعات تمام ترازهای جوی موثر و به صورت ترکیبی مورد تحلیل قرار گرفته و ویژگی های همدیدی و ترمودینامیکی و نقش تاوه قطبی در بارش های ابر سنگین حوضه آبریز قره سو در استان کرمانشاه بررسی شود تا با دادن هشدارهای لازم و ارائه طرح های مدیریت بحران از خسارات طغیان در بستر رودخانه و نقاط حساس شهری کاست.

## داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه قره سو در استان کرمانشاه و شامل ایستگاههای پل کهنه، طاقبستان، قورباغستان و دوآب مرک می‌باشد. از لحاظ موقعیت مکانی در عرض جغرافیایی ۳۴.۵ تا ۳۴.۰ شمالي و طول ۴۶.۲ تا ۴۷.۲ درجه شرقی واقع شده است. این حوضه به همراه ایستگاه هیدرومتری قورباغستان که در خروجی آن قرار دارد از زیر حوضه های مهم حوضه آبخیز کرخه است که در شمال غربی آن قرار دارد. مساحت آن حدود ۵۲۷۸ کیلومتر مربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۶۰ و ۱۲۷۰ متر است. شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز قره سو در ایران و استان کرمانشاه به همراه شبکه آبراههای آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منابعی که برای تهییه داده ها جهت انجام تحقیق مراجعه شد شامل موارد زیر بودند:

- بخش خدمات ماشینی سازمان هوشناسی کشور و شرکت مدیریت منابع آب ایران - دفتر مطالعات پایه منابع آب برای تهییه داده ها شامل مقادیر کمینه بارش و دبی روزانه برای ۴ ایستگاه واقع در حوضه آبخیز قره سو در استان کرمانشاه برای دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ تا ۲۲ ژوئن تا ۲۰۱۵ سپتامبر (فصل تابستان) سال های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۹؛
- تارنمای ECMWF برای تهییه داده های شبکه بندی شده ارتفاع ژئوپتانسیل، نم ویژه، امگا، باد مداری و نصف النهاری، در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال، فشار و رواناب نیز در سطح زمین. میزان دقیقت مکانی داده های اخذ شده ۰.۱۲۵ می باشد که مقیاس آن حدوداً  $11 \times 11$  کیلومتر بوده و از داده های پایگاه مطالعات محیطی آمریکا NCEP/NCAR که ۲.۵ درجه یعنی  $250 \times 250$  کیلومتر می باشد بسیار دقیقتر عمل کرده و این افزایش دفت مکانی موجب شناسایی بهتر رفتار سامانه های همدید مقیاس و رفع خطا می شود.

### • شناسایی و استخراج روزهای بارش سنگین و فراغیر

پس از اخذ داده های بارش روزانه از سازمان هوشناسی کشور و شرکت مدیریت منابع آب ایران - دفتر مطالعات پایه منابع آب ، ابتدا داده های روز بارشی بر حسب ۱ میلیمتر و بیشتر از سایر روزهایی که بارش کمتر از مقدار مذکور بود جدا شدند. دلیل انتخاب آستانه ۱ میلیمتر آن است که به خصوص در استفاده از شاخص صدک، از غیر واقعی شدن

تعداد روزها و مقدار بارش شدید و حدی جلوگیری شود (راستگو و رنجبر سعادت آبادی، ۱۳۹۷). سپس در محیط اکسل روزهای بارشی به صورت نزولی مرتب شدند. سپس جهت مشخص کردن روزهای بارش سنگین و فراغیر دو معیار در نظر گرفته شد: ۱- بارش روزانه در هر ایستگاه بیش از میانگین صدک ۹۵ درصد طی دوره آماری باشد. ۲- مقادیر روزانه بارش بیشتر از صدک ۹۵ درصد حداقل در نیمی از ایستگاه ها رخ داده باشد. بر اساس شروط فوق ۷۹ روز بارش سنگین و فراغیر در منطقه مورد مطالعه جهت تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی انتخاب شد. پس از استخراج روزهای بارش سنگین، روند فراوانی روزانه، ماهانه و سالانه این گونه بارشها در محیط نرم افزار اکسل محاسبه شد. آستانه بارش ها از این نظر برای کاربران مهم است که می دانند در چه نقطه ای چه مقدار بارش خطرآفرین است (علیجانی، ۱۳۹۰). شدت، تداوم و فراغیری بر حسب میانگین همهی روزهای بارشی هر یک از الگوها محاسبه گردید.

#### • تعیین موقعیت تاوه قطبی

جهت تعیین موقعیت تاوه قطبی، نقشه های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر یک از ۷۹ روز بارش سنگین و فراغیر در نرم افزار گرادس ترسیم شد و با استفاده از پربندهای معرف تاوه در ماههای مختلف، موقعیت تاوه بر روی نقشه ها تعیین و مشخص گردید. علت انتخاب تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان تراز میانی جو این است که نشان دهنده ویژگی های سطوح بالا و پایین جو و همچنین بیانگر بیشترین هدایت سامانه های عرض های میانه و اغتشاشات جوی می باشد (علیجانی، ۱۳۷۸؛ Ahrens, ۱۹۹۹؛ ۱۳۷۸). در نهایت پربنده مشخصه تاوه قطبی در هر ماه بر حسب ژئوپتانسیل متر برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال طبق مطالعه فرونفیلد و دیویس (Frauenfeld and Davis, ۲۰۰۳) تعیین گردید. فرونفیلد و دیویس در پژوهش خود روند تاوه قطبی را در ارتباط با تغییرات اقلیمی برای تراز های ۷۰۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال در مقیاس نیمکره شمالی طی دوره ۱۹۴۹-۲۰۰۰ (۶۲۴ ماه) انجام داند. طبق یافته های آنها جهت تعیین پربنده معرف تاوه قطبی در سطوح مذکور تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل در هر ۵ درجه طول شرقی بررسی شد تا پربنده که هسته ای جریان بادهای غربی را بهتر توصیف می کند، شناسایی و مبنایی جهت سنجش مساحت و گستره نفوذ تاوه قطبی به تفکیک ماهانه قرار گیرد (جدول ۱). در این تحقیق نیز با استفاده مقادیر پربنده منتخب حاصل از نتایج (Frauenfeld and Davis, ۲۰۰۳) اقدام به شناسایی موقعیت تاوه طی روزهای بارش سنگین شد. پربندهای معرف تاوه قطبی در تحقیق مذکور برای نیمکره شمالی انجام شده است. آن هم طی یک دوره بلند مدت ۵۰ ساله و برای همه مناطق از عرض صفر تا ۹۰ درجه شمالی و سراسر طول شرقی در این پهنه بررسی و انجام شده است. لذا استفاده از این مقادیر مشخص شده پربنده در این تحقیق نیز می تواند قابل قبول و مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱. پربند مشخصه تاوه قطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماههای مختلف سال، فرونفیلد و دیویس (Frauenfeld ۲۰۰۳) and Davis,

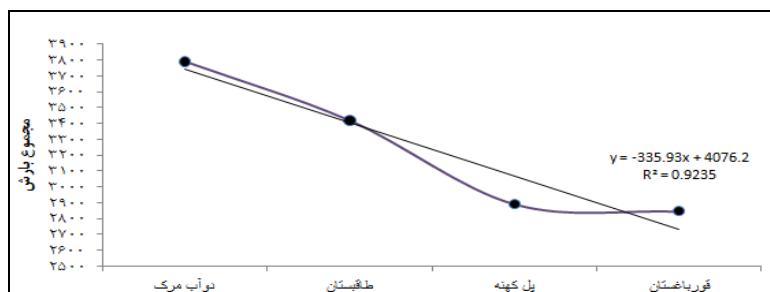
پربند	ماه	پربند	ماه	پربند	ماه	پربند	ماه
۵۵۸۰	اکتبر	۵۷۰۰	جولای	۵۵۸۰	آوریل	۵۴۶۰	ژانویه
۵۵۲۰	نومبر	۵۷۶۰	اوت	۵۶۴۰	می	۵۴۶۰	فوریه
۵۴۶۰	دسامبر	۵۶۴۰	سپتامبر	۵۷۰۰	ژوئن	۵۵۲۰	مارس

الگوهای همدید تاوه قطبی بر حسب موقعیت تاوه در مناطق جغرافیایی مختلف روزهای بارش سنگین بدست آمد. به طوریکه پس از بررسی موقعیت تاوه در همه روزهای مورد بررسی چهار الگوی (موقعیت) متفاوت شناسایی شد. به نحوی که در الگوی اول تاوه قطبی به صورت متمایز در نواحی مجاور دریای خزر پراکنده شده‌اند و در سایر الگوها نیز به ترتیب در شرق مدیترانه، شبه‌جزیره عربستان و شمال آفریقا واقع شده‌اند که کاملاً از هم متمایز می‌باشند. در ادامه پس از شناسایی الگوهای همدید موقعیت تاوه برای ۷۹ روز بارش منتخب در حوضه آبخیز قره سو طی دوره آماری ۱۹۷۹-۱۹۸۰ برای هر الگو یک روز نماینده تعیین گردید تا سازوکار همدیدی و دینامیکی در موقعیت‌های مختلف تاوه قطبی بررسی و با هم مقایسه گردد. با استفاده از داده‌های پایگاه ECMWF با دقت مکانی ۱/۱۲۵ نقشه‌های فشار تراز دریا، نقشه ترکیبی ارتفاع زئوپتانسیل و وزش رطوبت، نقشه ترکیبی امگا و نم ویژه برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای نماینده چهار الگوی موقعیت تاوه قطبی در نرم افزار گرادرس ترسیم و تفسیر گردید. موقعیت پربند مشخصه تاوه قطبی بر حسب بیشترین گسترشی که بر روی پهنه همدید مورد مطالعه داشته است، صورت گرفته است. بدین صورت که در جنوب ناوه‌های نفوذی که همسو با بیشترین نفوذ تاوه نیز می‌باشد یک دایره توپر بر روی پربند مشخصه تاوه قرار داده تا موقعیت تاوه در روزهای مختلف بارش سنگین مشخص گردد.

### شرح و تفسیر نتایج

شکل (۲) مجموع بارش ایستگاههای مورد بررسی را طی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۵۸ نشان می‌دهد. بر اساس شکل زیر بیشترین ارتفاع بارش ثبت شده متعلق به ایستگاه دوآب مرک با ۳۷۹۰ میلیمتر و کمترین ارتفاع بارش نیز در ایستگاه قورباغستان با ۲۸۴۵ میلیمتر است. کاهش ارتفاع بارش از ایستگاه دوآب مرک تا قورباغستان همسو با کاهش عرض و ارتفاع ایستگاهها می‌باشد که نقش ارتفاع و عرض جغرافیایی را در نوسان بارش ایستگاههای واقع در سطح شهرستان نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۳) فراوانی روزهای بارش سنگین منطقه مورد بررسی از ایستگاه دوآب مرک واقع در شمال غرب شهرستان کرمانشاه به سمت جنوب شرق شهرستان یعنی ایستگاه قورباغستان کاهشی بوده است که دقیقاً همسو با کاهش ارتفاع بارش در این امتداد از منطقه می‌باشد. بیشترین روزهای همراه با بارش سنگین در ایستگاه دوآب مرک با ۱۰۷ روز و کمترین فراوانی نیز مربوط به ایستگاه قورباغستان با ۷۸ روز بارش سنگین بوده است. بررسی فراوانی سالانه روزهای بارش سنگین در منطقه طی دوره آماری ۳۷ ساله نشان می‌دهد (شکل ۴) که دوره آماری را می‌توان به دو دوره قبل از سال ۱۳۷۴-۷۵ و بعد از آن تقسیم کرد. در قبل از سال ۱۳۷۴-۷۵ در اکثر سالها فراوانی

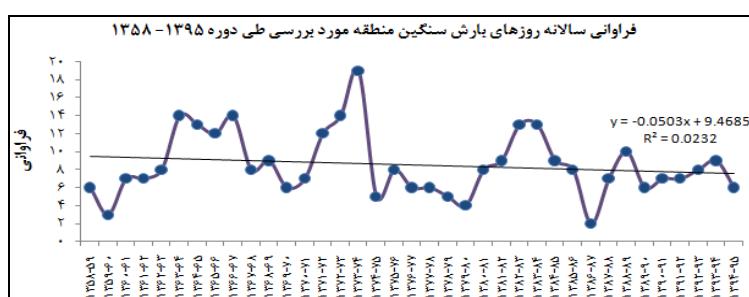
روزهای بارش سنگین بیش از ۱۰ روز است اما بعد از این سال فراوانی اینگونه روزها کاهش یافته است. بیشینه فراوانی در سال ۱۳۷۳-۷۴ با ۱۹ روز و کمینه فراوانی نیز در سال سرد خشک ۸۷-۱۳۸۶ با ۲ روز دیده می شود.



شکل ۲. مجموع بارش ایستگاههای مورد بررسی طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۸



شکل ۳. فراوانی روزهای بارش سنگین منطقه مورد بررسی طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۸



شکل ۴. روند فراوانی سالانه روزهای بارش سنگین منطقه مورد مطالعه طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۸

جدول (۲) فراوانی ماهانه روزهای بارش سنگین را برای ایستگاههای مورد بررسی نشان می دهد. طبق جدول زیر ماه آبان با ۸۸ روز، آذر با ۶۷ و اسفند با ۵۷ روز بیشترین رخداد بارش های سنگین منطقه مورد بررسی را به ثبت رسانده اند. در ماههای تیر و مرداد هیچ گونه رخداد بارش سنگینی دیده نمی شود. روند افزایش تدریجی رخداد بارشهای سنگین از مهر ماه آغاز و از اردیبهشت ماه نیز کاهش بارشها شروع می گردد.

جدول ۲. فراوانی ماهانه روزهای بارش سنگین ایستگاههای مورد بررسی طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۸

	دوآب مرک	طاقبستان	پل کنه	فوریاگستان
مهر	۴	۲	۳	۰
آبان	۲۰	۲۱	۲۲	۲۵
آذر	۲۲	۱۹	۱۵	۱۱
دی	۱۰	۱۳	۵	۷
بهمن	۱۲	۷	۱۲	۹
اسفند	۲۰	۱۷	۱۰	۱۰
فروردين	۱۲	۱۰	۱۰	۱۱
اردیبهشت	۷	۷	۷	۴
خرداد	۰	۰	۰	۱
تیر	۰	۰	۰	۰
مرداد	۰	۰	۰	۰
شهریور	۰	۱	۰	۰

موقعیت تاوه قطبی را در زمان رخداد بارش های سنگین شهرستان کرمانشاه طی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۵۸ نشان می دهد. از مجموع ۷۹ روز بارش سنگین و فراغیر منتخب منطقه مورد بررسی، الگوی سوم بیشترین فراوانی و الگوی دوم نیز از کمترین فراوانی برخوردار است. بیشینه فراغیری (بر حسب تعداد ایستگاه)، شدت (بر حسب میلیمتر) و تداوم (بر حسب روز) روزهای بارش سنگین در الگوی سوم (دریای سرخ تا غرب خلیج فارس) که بیشترین نفوذ تاوه بر روی منطقه در این الگو دیده می شود.

جدول ۳. مشخصات الگوهای موقعیت تاوه قطبی در زمان رخداد بارش های سنگین و فراغیر

شدت	فراغیری	فراءونی	الگوی
۱.۷	۲.۵۷	۳۲.۹	الگوی اول
۴	۲.۹۰	۳۸.۸	الگوی دوم
۴.۲	۳	۳۳.۹	الگوی سوم
۲.۵	۲.۶۵	۳۴.۳	الگوی چهارم

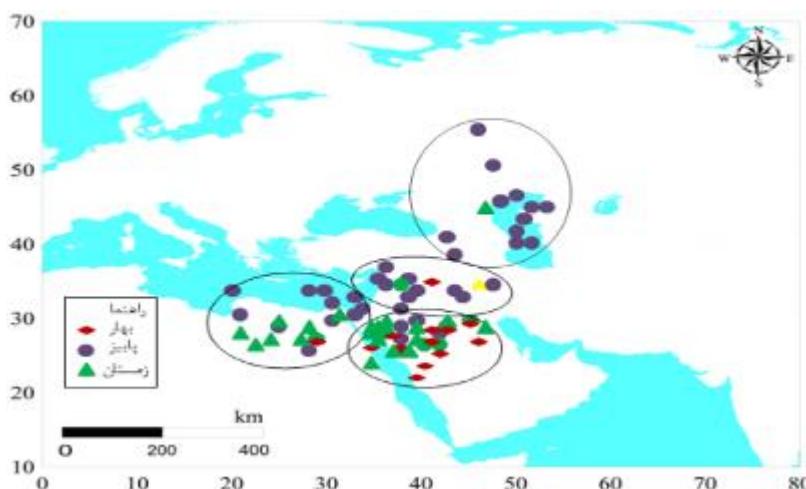
همبستگی عرض پربند تاوه قطبی در حد جنوبی آن در منطقه ناوه های ارتفاعی با میانگین بارش در روزهای بارش سنگین واقع در هر یک از الگوهای همدید نیز محاسبه شده است (جدول ۴). عرض جغرافیایی پربند تاوه قطبی با میانگین بارش روزهای منتخب رابطه معکوس دارد که این امر حاکی از وجود یک ناوه در این مناطق است. هر چه عرض تاوه قطبی در این مناطق در عرض جغرافیایی پایین تر استقرار یابد، شدت، میانگین و تداوم روزهای بارش سنگین بیشتر شده است. بیشترین رابطه معکوس در الگوی سوم موقعیت تاوه یعنی جنوبی ترین موقعیت در روی

سرزمین عربستان و دریای سرخ دیده می شود. در این الگو پریند معرف تاوه بیشترین نفوذ را بر روی منطقه همدید موردن بررسی داشته است که موجب افزایش شدت و مدت بارش ها نیز در غرب کشور شده است. کمترین ارتباط میان موقعیت تاوه و میانگین بارش در الگوی اول (خرزی) دیده می شود. این الگو کمترین نفوذ را بر روی کشور و منطقه همدید داشته است و به تبع آن شدت و دام بارش های سنگین در این الگو کمترین مقادیر را به خود اختصاص داده است.

**جدول ۴. همبستگی بین عرض جغرافیایی پریند تاوه قطبی و میانگین بارش در روزهای بارش سنگین الگوهای همدید**

الگوی اول	الگوی دوم	الگوی سوم	الگوی چهارم	کل روزها
-۰/۳۴	-۰/۵۱	-۰/۵۳	-۰/۴۸	-۰/۴۶.۵

شکل (۵) موقعیت تاوه قطبی را در زمان رخداد بارش های سنگین و فراگیر شهرستان کرمانشاه طی دوره آماری ۳۷ ساله (۱۳۹۵-۱۳۵۸) و برای فصول مختلف نشان می دهد. همان طور که در فصل روش تحقیق ذکر گردید. جهت شناسایی موقعیت تاوه از پریندهای تعیین شده در نقشه های ارتفاعی ژئوپتانسیل متر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر یک از روزها طبق مطالعات فروندهفیلد و دیوپس (۲۰۰۳) استفاده گردید. بر اساس شکل زیر چهار الگو تاوه قطبی را طی ۷۹ روز بارش سنگین و فراگیر در راستای عرض جغرافیایی از مناطق مرکزی عربستان تا شرق اروپا و در راستای طول جغرافیایی نیز از شمال شرقی آفریقا تا غرب ایران و شرق دریای خزر پراکندگی داشته است. بر اساس این پراکنش، الگوی اول تاوه از شرق دریای سیاه با عبور از دریای خزر تا شرق اروپا قرار گرفته است. الگوی دوم نیز در پهنه مرکزی موردن بررسی یعنی شرق مدیترانه تا غرب ایران مشاهده می گردد. الگوی سوم که بیشترین فراوانی را در میان الگوهای چهارگانه دارد در جنوبی ترین عرض جغرافیایی از میانه دریای سرخ تا غرب خلیج فارس مستقر شده اند. بیشتر روزهای بارش فصل زمستان و اوایل بهار در این الگو رخ داده اند. الگوی چهارم که متفاوت تر از سایر الگوها بود در موقعیتی دور تر و غربی تر قرار داشت. این الگو از مناطق مرکزی کشور لیبی تا شمال شرقی مصر کشیدگی نشان می دهد. روزهای بارش پایان فصل پاییز و اوایل زمستان بیشترین حضور را در این الگو دارند.



شکل ۵. موقعیت تاوه قطبی در زمان بارشهای سنگین و فراگیر شهرستان کرمانشاه طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۸

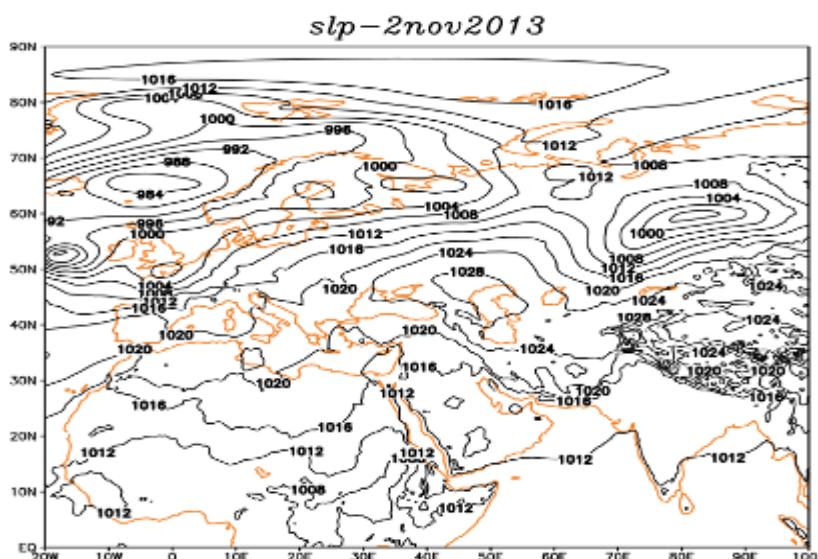
• تحلیل همدید روزهای نماینده هر یک از الگوهای چهارگانه موقعیت تاوه قطبی

جهت شناخت بیشتر الگوهای مختلف موقعیت تاوه و مقایسه تفاوت و شباهت های شرایط وزش رطوبت، ارتفاع زئوپتانسیل، میدان امگا و رودباد در هر یک از الگوهای چهارگانه، یک روز از هر الگو جهت تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی انتخاب شد. در ادامه هر یک از روزهای نماینده الگوهای شناسایی شده تشریح خواهد شد.

• الگوی اول موقعیت تاوه دریای خزر تا شرق اروپا

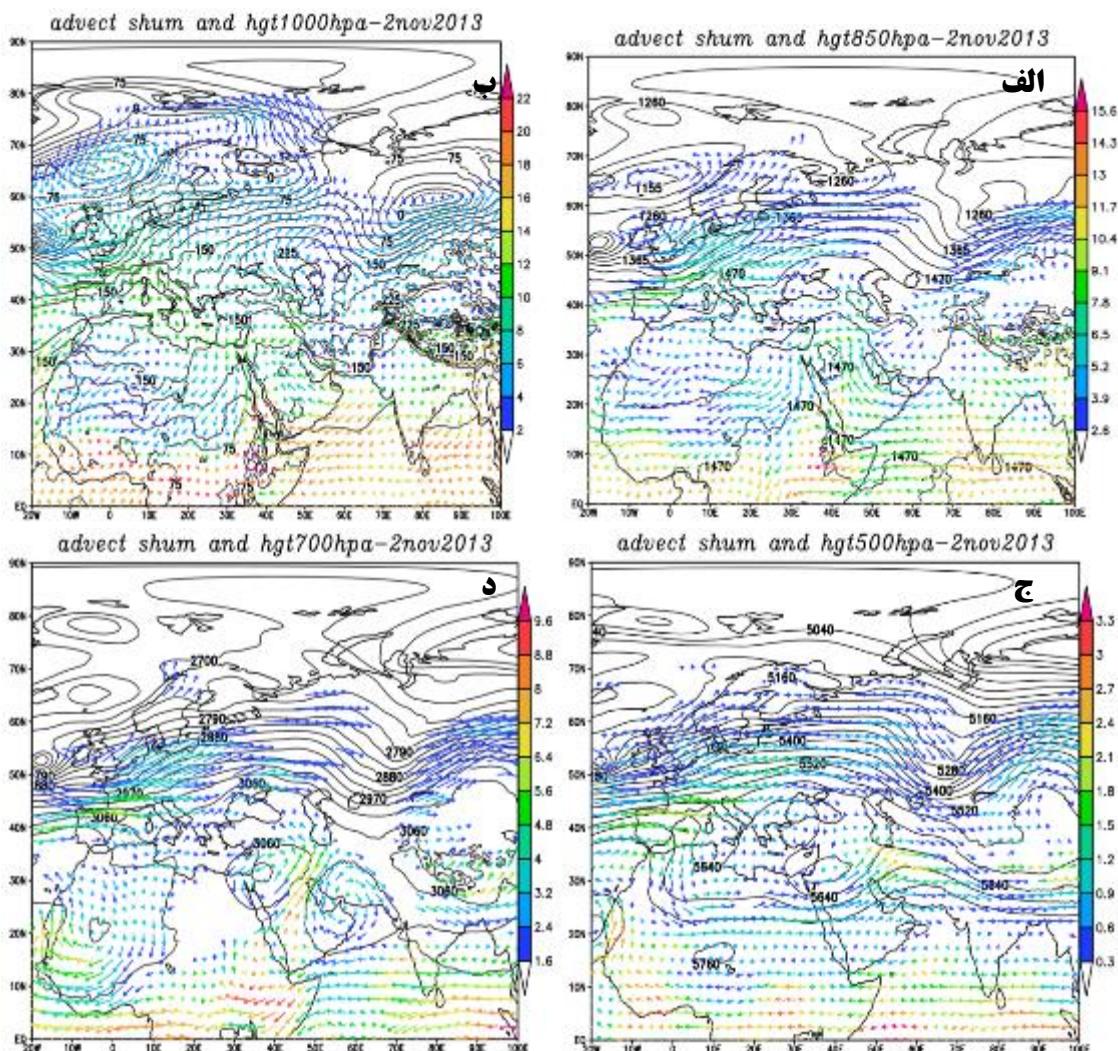
- روز نماینده ۲ نوامبر ۲۰۱۳

شکل (۶) شرایط فشار تراز دریا را برای الگوی اول موقعیت تاوه خزر تا شرق اروپا در روز نماینده ۲ نوامبر ۲۰۱۳ نشان می دهد. همانطور که دیده می شود در این روز مرکز کم فشاری با ۱۰۱۷ هکتوپاسکال بر روی عراق گرفته است. این کم فشار از نوع ادغامی (مذیترانه ای \_سودانی و عربستان) می باشد که از روزهای قبل با حرکتی همگرا بر روی کشور عراق ادغام شده اند. زبانه های این کم فشار با راستایی جنوبی \_ شمالی تا شمال کشور عراق پیشروی کرده است و غرب ایران تحت تأثیر این زبانه ای کم فشار قرار گرفته است. در این روز نیمه غربی مابین زبانه های کم فشار ادغامی و پرفشار سرد خزری واقع شده اند که موجب شکل گیری شرایط جبهه ای در سطح زمین و رخداد ناپایداری ها گردیده است.



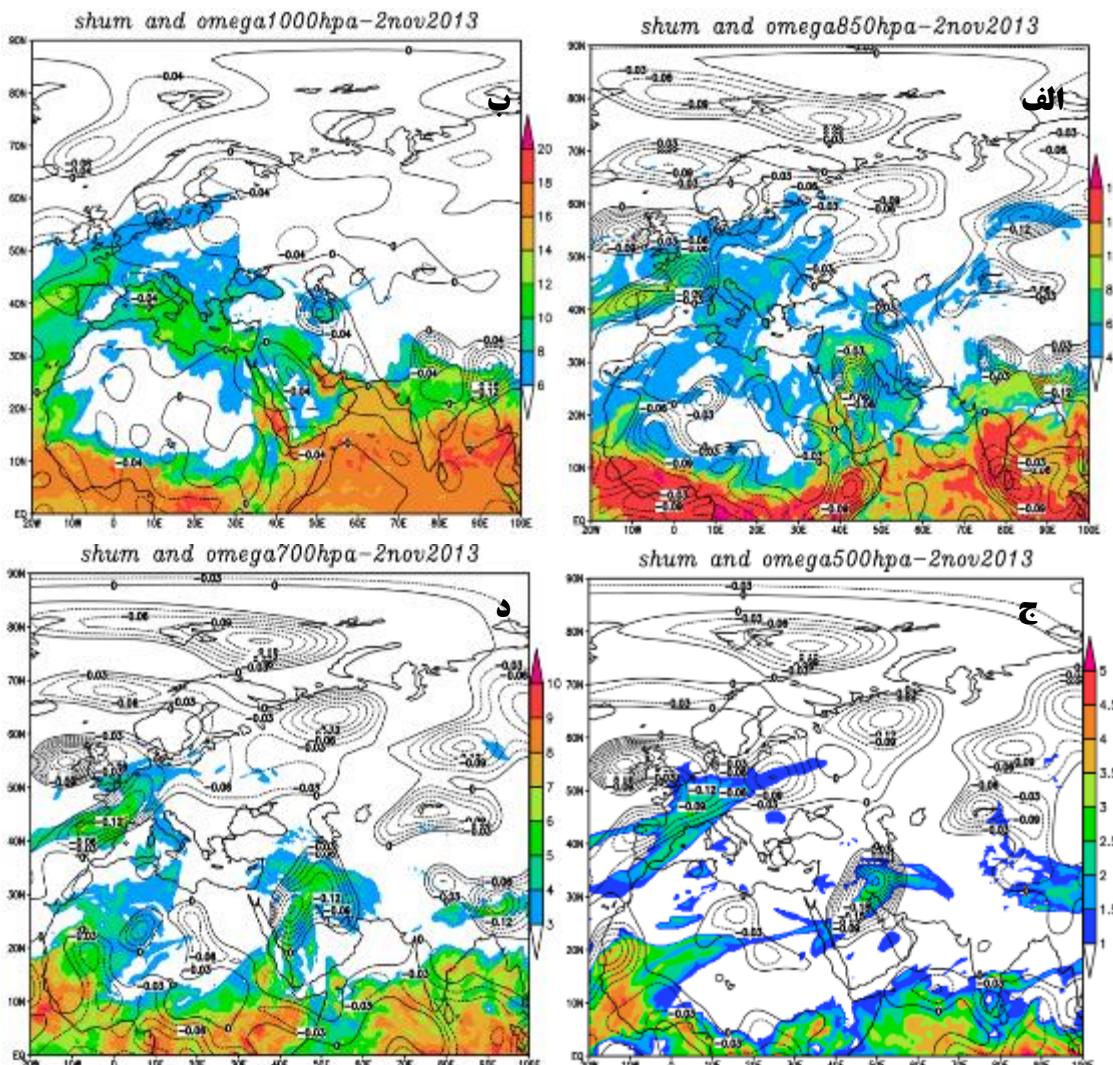
با توجه به شکل (۷\_الف) نقشه‌ی ترکیبی وزش رطوبت و ارتفاع در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نیز منطبق بر سطح زمین ناوه‌ی عمیقی با گسترش از سمت جنوب عربستان و شرق مذیترانه با عبور از منابع آبی گرم و مرتبط جنوبی سراسر نیمه غربی کشور را در بر گرفته است. این ناوه همسو با پریندهای سامانه پرارتفاع شمال خزر موجب وزش رطوبت به میزان ۱۲ گرم بر کیلوگرم از سمت دریای خزر و چرخشی ساعتگرد به سمت منطقه مورد بررسی شده است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۷\_ب) با تضعیف سامانه پرارتفاع شمال خزر و گسترش ناوه واقع بر روی عربستان به سمت عرض‌های بالاتر و اتصال آن با ناوه شرق روسیه موجب فرآگیر شدن تزریق رطوبت از منابع آبی خزر، دریای عرب و خلیج عدن به سمت غرب کشور شده است. گسترش ناوه شرق روسیه تا جنوب ایران موجب تقویت و تشدید جریان

های شرقی به غربی از دریای عرب به سمت خشکی و درون ناوه و در نتیجه افزایش شدت و گستره رطوبت فرارفتی به سمت نیمه غربی شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با غرب سو شدن مرکز سامانه چرخندی به سمت شمال دریای سرخ و شکل گیری مرکز واچرخند عربستان بر روی شمال دریای عرب، وزش جریان رطوبت به جنوب غربی تغییر یافته است. حاکمیت چنین جریانی سبب انتقال زبانه‌ای از هوای مرطوب از دریای سرخ به نواحی غربی کشور در روز ۲ نوامبر ۲۰۱۳ می باشد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۷\_د) سامانه چرخندی شمال عربستان به یک سردچال قوی تغییر شکل داده است. در این تراز وزش رطوبت به دلیل عمق کمتر ناوه به صورت مداری تر صورت گرفته است و در نتیجه نواحی شمالی دریای سرخ و دریای مدیترانه در این تراز در تأمین رطوبت افزایش بیشتری نشان می دهد. در این روز پربند ۵۵۲۰ ژئوپتانسیل متر معرف تاوه قطبی تا شمال خزر پایین آمده است. گسترش کمتر پربند تاوه در الگوی اول نسبت به سایر الگوهای عموماً ناوه ای کم عمق تر و با گستره مکانی کوچک تری را بر روی منطقه ایجاد کرده است. همچنین در این الگو محور ناوه عموماً از شرق مدیترانه تا غرب ایران واقع شده است که این موقعیت شرایط را جهت فرارفت رطوبت از عرضهای پایین مهیا می کند.



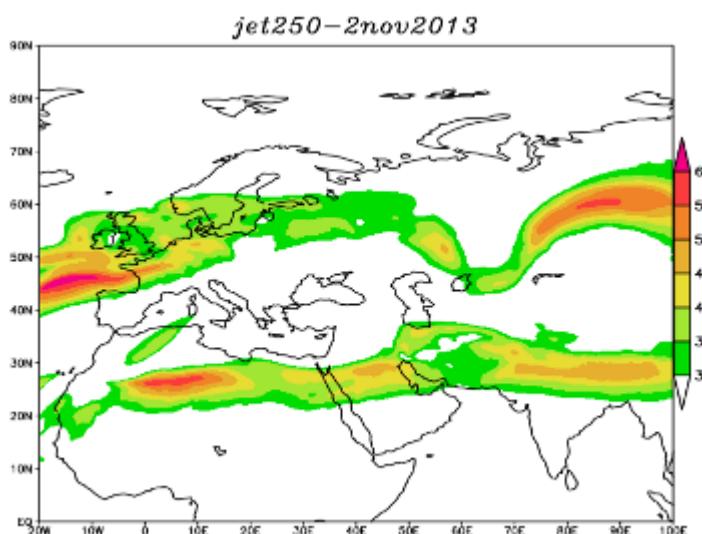
شکل ۷. نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و وزش رطوبت در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز نماینده الگوی اول ۲ نوامبر ۲۰۱۳

در نقشه ترکیبی نم ویژه و امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸ - الف) نیمه غربی کشور مابین دو میدان بزرگ امگای مثبت در نیمه جنوبی و منفی در نیمه شمالی کشور قرار گرفته است. همگرایی و واگرایی جریان های ناپایدار در تراز نزدیک به سطح زمین، شرایط جبهه ای و متضادی را ایجاد کرده است؛ اما در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۸-ب) میزان امگای منفی در نواحی شمالی عربستان افزایش یافته و به  $-0.1$  پاسکال بر ثانیه رسیده است و از دریای سرخ با جهتی جنوب غربی به شمال شرقی از روی عربستان گذشته و منجر به ایجاد حرکات بالاسو و ناپایداری در منطقه شده است. این شرایط منجر به تجمع بیشینه رطوبت بر روی کشور در نیمه غربی و همسو با نیمه شرقی ناوه شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸ - ج) همزمان با افزایش گستره امگای منفی از دریای سرخ به میزان  $-0.15$  پاسکال بر ثانیه تا شمال ایران، سراسر کشور به صورت فراگیر رطوبتی حدود  $6$  گرم بر کیلوگرم را تجربه می کنند. راستای این امگای منفی با حداکثر نم ویژه انطباق کامل دارد که تأیید کننده وقوع پدیده همرفت دارد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸-د) میزان امگای منفی ضمن افزایش به  $-0.27$  پاسکال بر ثانیه دقیقاً در غرب کشور مستقر شده است که همسو با بیشینه رطوبت در این منطقه، بیشترین میزان حرکات بالاسو نیز دیده می شود.



شکل ۸: نقشه های ترکیبی نم ویژه و امگای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز نماینده الگوی اول ۲ نوامبر ۲۰۱۳

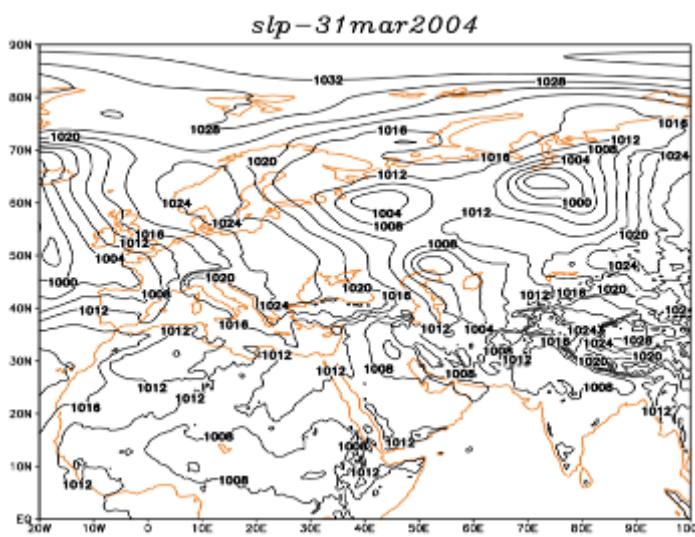
شکل ۹ نقشه رودباد روز نماینده ۲ نوامبر ۲۰۱۳ الگوی اول تاوه نشان می دهد. طبق این شکل رودباد جنب حاره با انحنای مداری پس از عبور از شمال آفریقا و عربستان، بر روی کشور و منطقه قرار گرفته است. نیمه چپ خروجی رودباد که دارای بیشترین شدت و اگرایی رودباد می باشد کاملاً بر روی جو غرب کشور واقع شده است که همسو با نیمه شرقی تاوه در نقشه های ارتفاعی بوده که نقش تخلیه جریان های گرم و مرطوب شرق تاوه را توسط رودباد بر روی منطقه تأیید می کند.



شکل ۹. نقشه رودباد در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال در روز نماینده الگوی اول ۲ نوامبر ۲۰۱۳

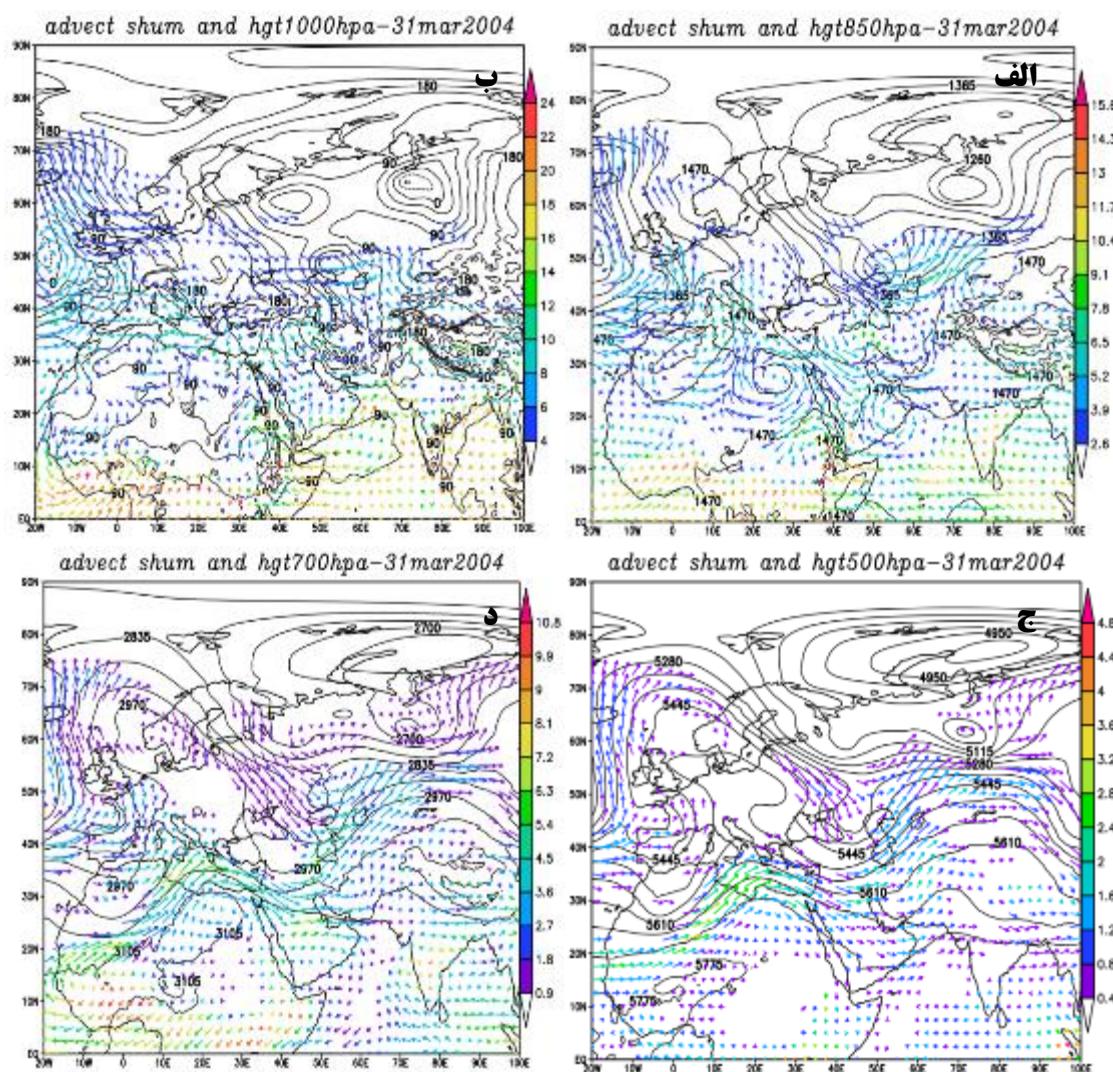
- الگوی دوم موقعیت تاوه شرق مدیترانه تا غرب ایران
- روز نماینده ۳۱ مارس ۲۰۰۴

شکل (۱۰) شرایط فشار تراز دریا را برای روز ۳۱ مارس ۲۰۰۴ نماینده الگوی دوم موقعیت تاوه بارش های سنگین و فرآگیر شهرستان کرمانشاه نشان می دهد. بر اساس شکل زیر کم فشار مدیترانه ای با حرکت از غرب دریای مدیترانه در روز اوج بارش ۳۱ مارس ۲۰۰۴ در جنوب عراق مرکز بسته ای را با ۱۰۰۴ هکتوپاسکال قرار گرفته است و همسو با مرکز کم فشار بسته ایران مرکزی سراسر کشور و منطقه غرب را فرا گرفته اند. گسترش پرفشار سرد بسته از جانب اروپا به عقب این کمفارش در روی کشور مصر و دریای سرخ موجب ایجاد شیوه فشاری قوی در برخورد با این کم فشار گرم و تقویت شرایط جبهه ای سطح زمین گردیده است.



شکل ۱۳. نقشه فشار تراز دریای الگوی دوم روز نماینده ۳۱ مارس ۲۰۰۴

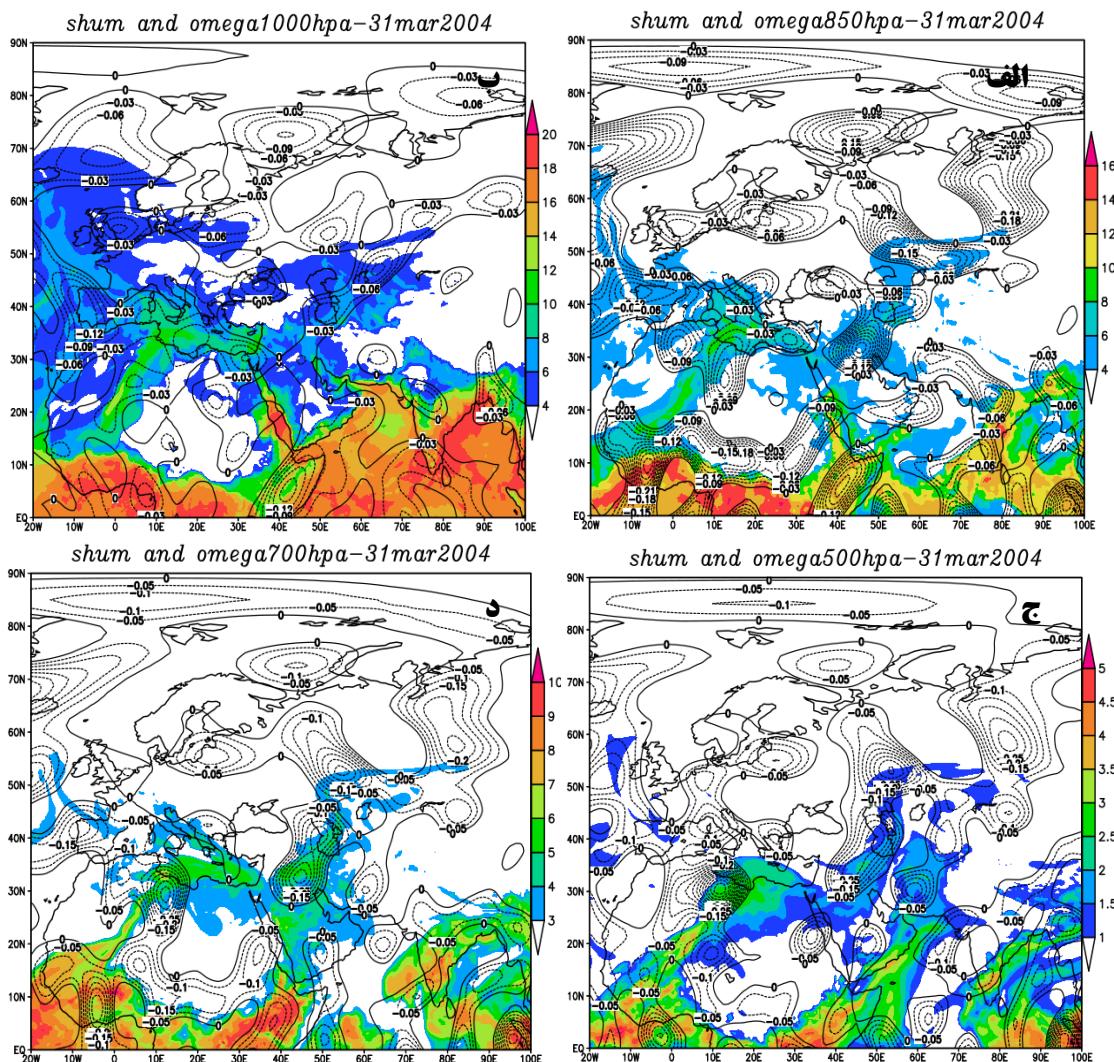
شکل (۱۱) شرایط ارتفاع ژئوپتانسیل و وزش رطوبت را به صورت ترکیب شده برای روز نماینده ۳۱ مارس ۲۰۰۴ الگوی دوم تاوه قطبی نشان می‌دهد. در نقشه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۱\_الف) مرکز سامانه چرخدنی منطبق بر کم فشار مدیترانه‌ای سطح زمین با ۲۵ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب عراق خودنمایی می‌کند. در الگوی دوم تاوه قطبی که شدت، تداوم و فراگیر روزهای بارشی نسبت به سایر الگوها بیشتر بوده است، تاوه نزدیک ترین موقعیت را به کشور و منطقه مورد بررسی نیز دارد. در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر خلاف الگوی اول که تنها از سمت دریای خزر تزریق رطوبت صورت گرفته بود، در این الگو وزش رطوبت علاوه بر دریای خزر از منابع آبی مدیترانه و عرب نیز دیده می‌شود؛ اما در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۱\_ب) با نفوذ بیشتر ناوه با انحنای مداری تا شمال عربستان، دریای مدیترانه اصلی ترین منبع تأمین رطوبت بوده است. در واقع استقرار سامانه پرارتفاع با مرکز بسته ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی کشور مصر مانع از نفوذ بیشتر ناوه به عرض‌های جنوبی و ایفای نقش دریاهای جنوبی در تزریق رطوبت شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۱\_ج) نقش ناوه از غرب مدیترانه و شرق اطلس در تزریق رطوبت به درون ناوه جلوی خود واقع در روی منطقه کاملاً مشخص است. در بیشتر روزهای واقع در الگوی دوم کشیدگی محور ناوه از شرق مدیترانه و عراق به سمت شمال کشور سودان و مصر موجب قرارگیری ناوه با راستایی جنوب غربی به شمال شرقی بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. این ناوه‌ها عموماً حاصل بندالهای عظیم رکس و امگایی واقع بر روی مرکز و غرب اروپا می‌باشند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۱\_د) با مداری تر شدن پربندهای ناوه، نقش دریای مدیترانه و مناطق شرقی اقیانوس اطلس در تزریق رطوبت افزایش محسوسی یافته است.



شکل ۱۱. نقشه های ترکیبی ارتفاع زئوپتانسیل و وزش رطوبت در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال روز نماینده ۳۱ مارس ۲۰۰۴

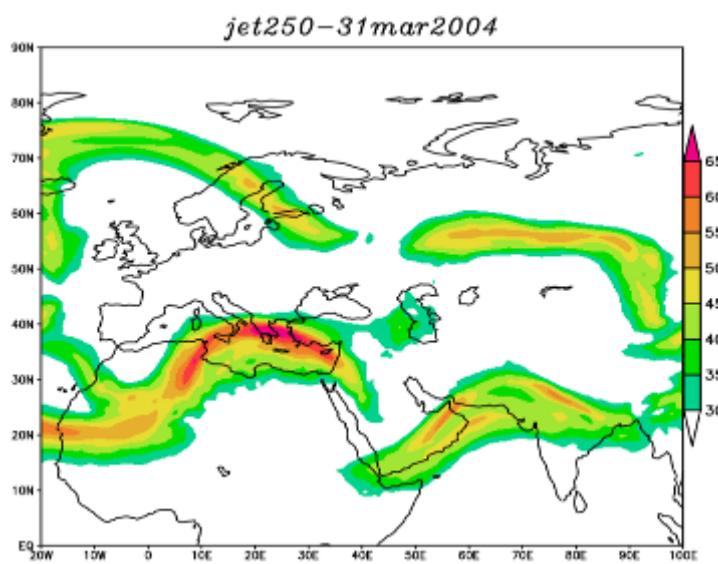
بر اساس شکل (۱۲\_الف) نقشه ترکیبی نم ویژه و امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، غرب کشور مابین دو میدان امگای مثبت و منفی ضعیف قرار گرفته که با توجه به کشیدگی میدان امگای مثبت از دریای مدیترانه و شمال سرخ، مسیر فرارفتی رطوبت را از این مناطق به سمت غرب کشور تأیید می کند. این وضعیت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۲\_ب) به یک مسیر بیشینه امگای منفی با راستایی جنوب غربی به شمال شرقی تمام محدوده شرق مدیترانه تا غرب ایران و مرکز عربستان تا شمال ایران را در بر گرفته است؛ که مرکز بیشینه امگای منفی به میزان ۰.۲۵ پاسکال بر ثانیه منطبق بر شرق و جلوی ناوه کاملاً بر روی منطقه مورد مطالعه واقع شده است. شدت رطوبت در این تراز به بیش از ۸ گرم بر کیلوگرم رسیده است که انطباق آن با پارامتر امگای منفی واگرایی آن را بر روی جو منطقه به تأیید می رساند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۲\_ج) گستره امگای منفی بر روی کشور بیشتر شده و تا نواحی شمالی دریای خزر نیز رسیده است. ملاحظه می شود با گسترش یافتن امگای منفی، رطوبت وزش یافته مناطق بیشتری را در بر گرفته است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۲\_د) میدان های امگای منفی با دو هسته مجزا بر روی عراق و شمال

ایران به بیش از ۰.۳۰ پاسکال بر ثانیه می‌رسد که واگرایی بسیار خوب و جریانات بالاًسوی قوی در این تراز و به تبع آن ایجاد ناپایداری‌های همرفتی شدید در غرب کشور می‌باشد.



شکل ۱۲. نقشه‌های ترکیبی نم ویژه و امگای الگوی دوم در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال روز نماینده ۳۱ مارس ۲۰۰۴

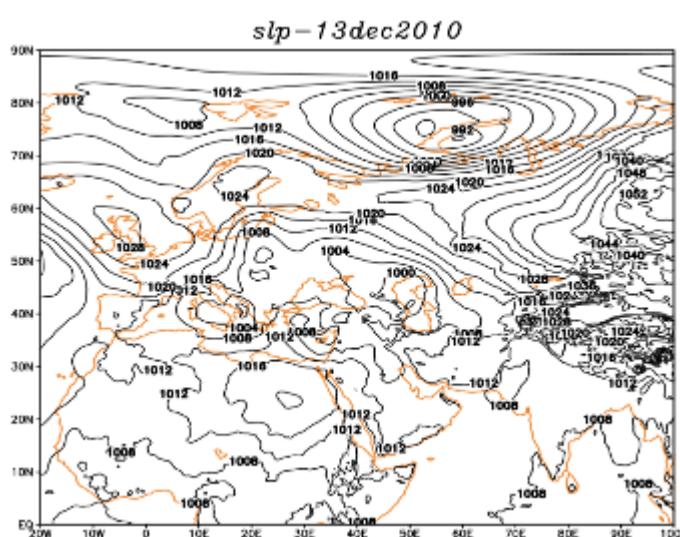
شکل (۱۳) وضعیت رودباد را در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال برای روز نماینده الگوی دوم ۳۱ مارس ۲۰۰۴ نشان می‌دهد. در این روز رودباد جنب قطبی با انحنای منطبق بر پشته و ناوه ارتفاعی بر روی دریای مدیترانه و غرب تا شمال غرب ایران قرار گرفته است. هسته رودباد با ۶۵ متر بر ثانیه با استقرار بر روی دریای مدیترانه رطوبت را از سمت دریا به طرف خروجی رودباد که بر روی جو استان کرمانشاه تا شمال غرب واقع شده است، منتقل می‌کند. خروجی چپ رودباد دقیقاً با میدان‌های بیشینه امگای منفی و شرق ناوه همسو بوده که نقش مهم رودبادها یعنی تخلیه جریان‌های گرم‌ها و رطوبت درون شرق ناوه‌ها و بروز ناپایداری و اغتشاشات جوی نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. نقشه رودباد در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال الگوی دوم روز نماینده ۳۱ مارس ۲۰۰۴

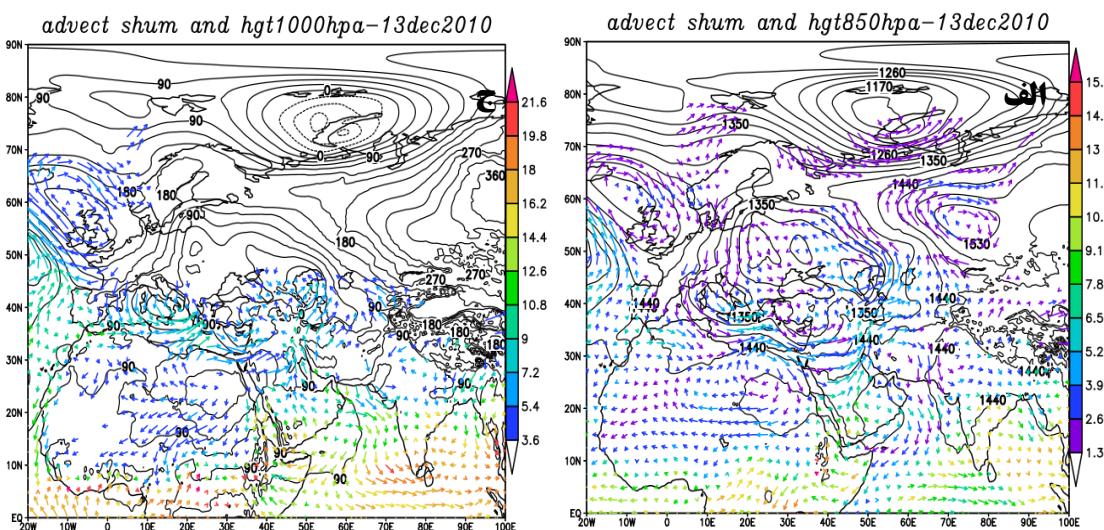
- الگوی سوم موقعیت تاوه دریای سرخ تا غرب خلیج فارس
- روز نماینده ۱۳ دسامبر ۲۰۱۰

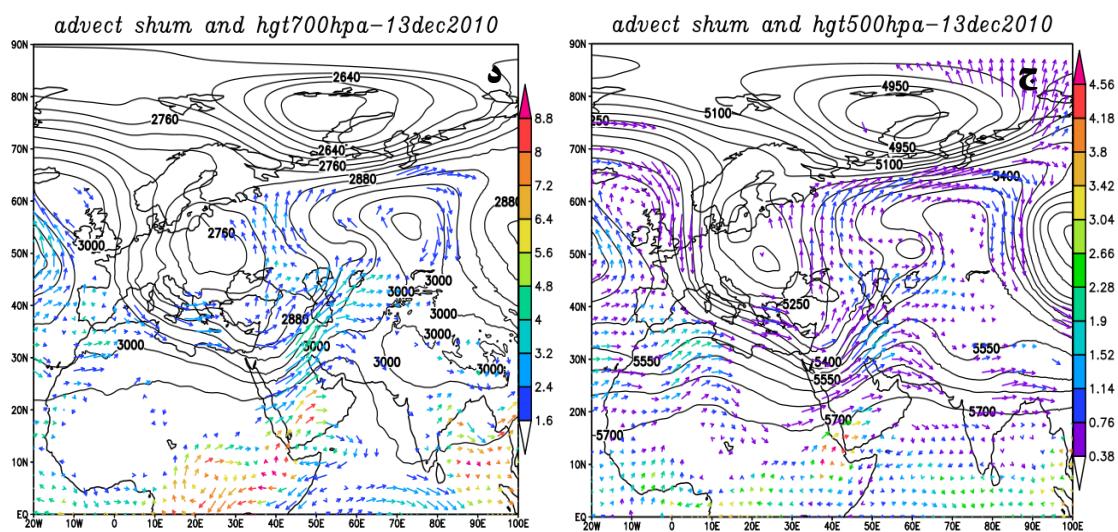
در این الگو در نقشه فشار تراز دریا شرایط مقاوت تری از پارامترهای مورد بررسی خواهیم دید. به نحوی که کم فشار چند هسته ای مدیترانه مرکز بسته ای را در مرکز، شرق و شمال غرب ایران شکل داده است. این کمفارش در واقع منشأ یافته از کم فشار نفوذ یافته ایسلند است که از روزهای قبل از اوج بارش با گسترش به سمت عرض های پایین تر و قرارگیری زبانه های هم فشار آن در شرق مدیترانه و تقویت آن بخش وسیعی از جنوب اروپا، نیمه غربی و مرکزی کشور را در بر گرفته است. کمترین میزان فشار با ۹۹۸ هکتوپاسکال در غرب دریای خزر دیده می شود. در مقابل نفوذ زبانه های پرفشار سرد هیمالیا و تبت از شرق کشور تا مناطق غربی موجب ایجاد شیو فشاری و دمایی قوی و شکل گیری شرایط جبهه ای در روز نماینده الگوی سوم شده است.



شکل ۱۴. نقشه فشار تراز دریای الگوی سوم در روز نماینده ۱۳ دسامبر ۲۰۱۰

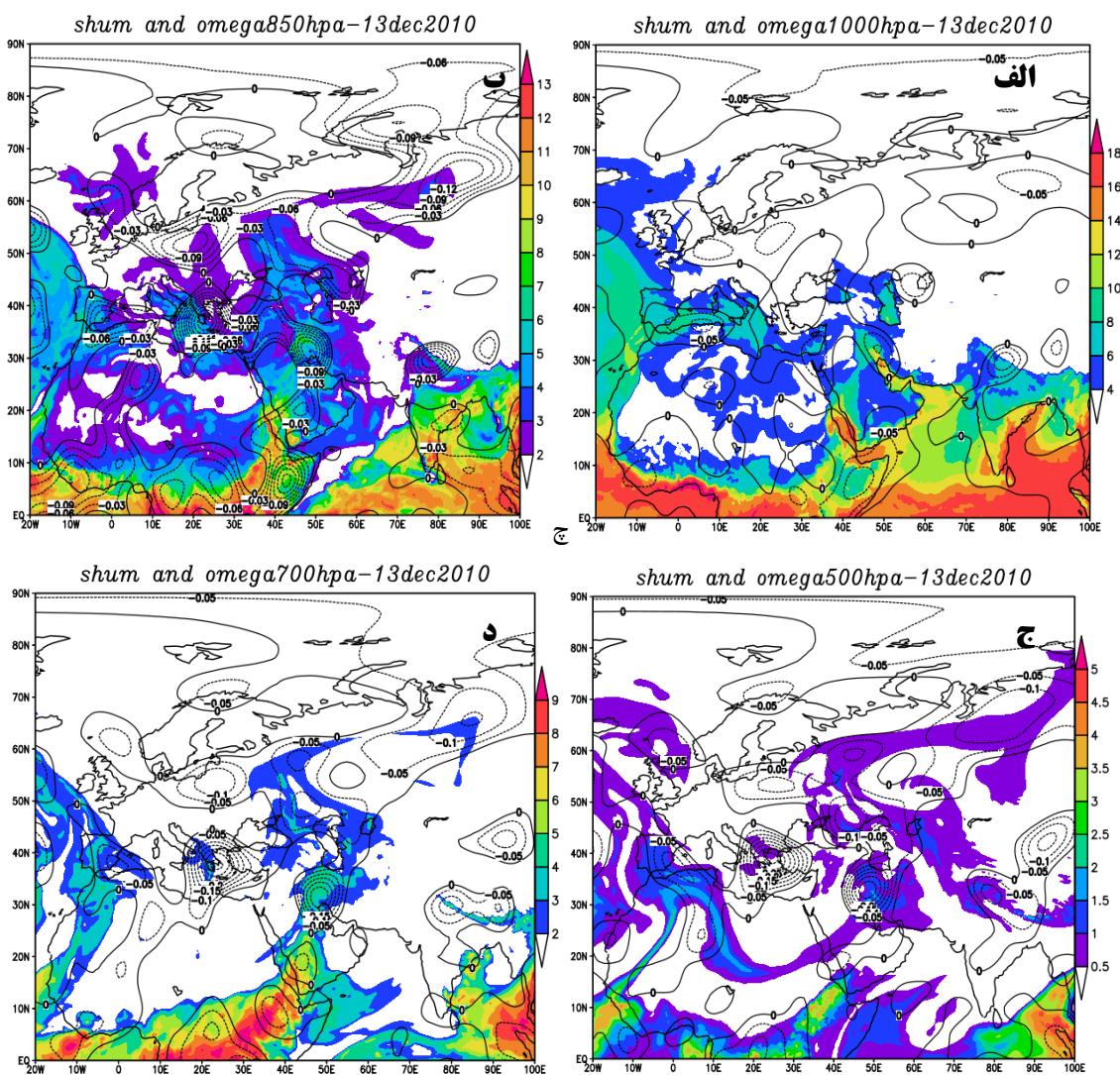
با توجه به نقشه وزش رطوبت و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۵\_الف) چرخدنی با مرکز بسته ۵۰ ژئوپتانسیل متر در شرق دریای مدیترانه مستقر شده که نفوذ زبانه های آن بر روی غرب کشور موجب برقراری سمت وزش رطوبت غربی به شرقی از دریای مدیترانه شده است. همچنین گردش واچرخدنی غرب دریای عرب نیز موجب وزش رطوبت با راستای جنوب به شمال از دریای عرب، جنوب سرخ با عبور از خلیج فارس و استقرار هسته رطوبت با ۱۴ گرم بر کیلوگرم در غرب کشور شده است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۵\_ب) با عقب نشینی پشته واقع بر روی عربستان و شمال کشور مصر، ناوه ارتفاعی کاملاً به سمت شرق عربستان جا به جا شده است. این شرایط موجب همراهی همزمان منابع مختلف رطوبتی جنوبی و غربی در تأمین رطوبت شده است با این تفاوت که شدت رطوبت فرارفتی از منابع آبی جنوبی بسیار بیشتر از منابع آبی مدیترانه و شمال سرخ می باشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۵\_ج) با گستردگی تر شدن پرارتفاع عربستان و تغییر انحنای نیمه شرقی ناوه به جنوب غربی به شمال شرقی نقش مناطق مرکزی و شمالی دریای سرخ و شرق مدیترانه در تأمین رطوبت افزایش بیشتری پیدا می کند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۵\_د) یک هسته کم ارتفاع با مرکزیت ۵۲۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب اروپا وجود دارد خطوط ارتفاعی در این تراز شیو بیشتری دارد و افزایش انحنای مداری ناوه باعث تقویت جریانات بالاسو و واگرایی مناسب جریان رطوبت فرارفتی را بر روی منطقه فراهم کرده است. در الگوی سوم موقعیت تاوه، محور ناوه در بیشتر روزها شمالی-جنوبی و شمال غربی به جنوب شرقی است. عمق ناوه ها در این الگو بیشتر از سایر الگوها بوده به طوریکه حد جنوبی ناوه در بعضی موارد تا جنوب عربستان گسترش می یابد. محور ناوه ها نیز عموماً از شمال و مرکز عربستان عبور می کند. همچنین مرکز چرخدنده در الگوی سوم بیشترین نفوذ را از نظر عرض جغرافیایی نشان می دهد. ناوه ها، عموماً دو دامنه و حاصل از بندالهای امگایی و دو قطبی می باشند.





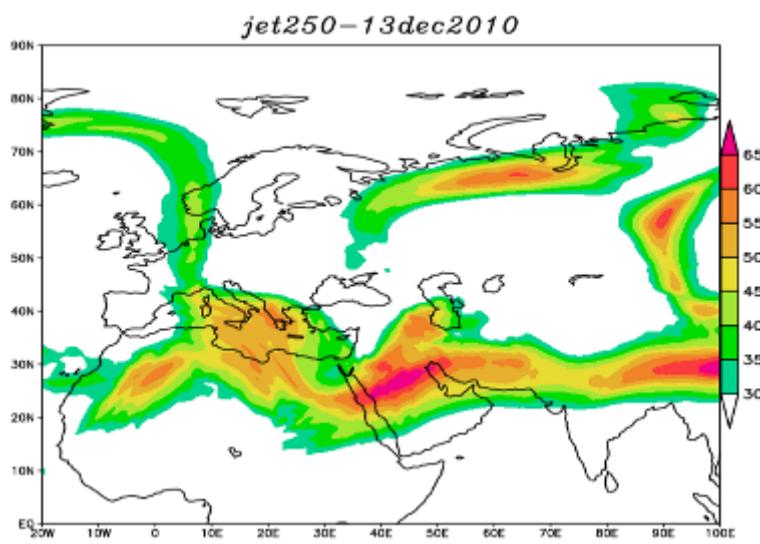
شکل ۱۵. نقشه های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و وزش رطوبت ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی سوم در روز نماینده ۱۳ دسامبر ۲۰۱۰

شکل (۱۶) شرایط امگا و نم ویژه ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال روز نماینده ۱۳ دسامبر ۲۰۱۰ الگوی سوم موقعیت تاوه را نشان می دهد. در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۶\_الف) مانند سایر الگوهای مورد بررسی در تراز نزدیک به سطح زمین میدان های امگای مثبت و منفی در مجاورت هم و بر روی جو منطقه مورد مطالعه می باشند که وضعیت جبهه ای و متضاد را برای شروع یک بارش سنگین و فراغیر نشان می دهد. در نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۶\_ب) مشاهده می شود که به تدریج بر شدت و گستره امگای منفی بر روی غرب و جنوب غرب کشور افزوده شده است. بیشینه رطوبت با ۹ گرم بر کیلوگرم در شمال هسته امگای منفی در غرب کشور دیده می شود. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۶\_ج) میزان امگای منفی در هسته آن به ۰.۳۰- پاسکال بر ثانیه در نیمه غربی افزایش یافته و هسته مرطوبی بر روی شرق آفریقا و جنوب دریای سرخ با جهتی جنوب غربی به شمال شرقی از روی عربستان گذشته و به سمت نواحی غربی ایران گسترش یافته است و باعث عبور نم ویژه ۵ گرم بر کیلوگرم از روی منطقه مطالعاتی شده است. ملاحظه می گردد که مسیر امگای منفی و رطوبت کاملاً با هم همخوانی نشان می دهند. این مسیر نیز منطبق با نیمه شرقی ناوه بوده که واگرایی جریان ها، وجود بارش های سنگین و سیل آسا را بر روی منطقه مورد بررسی تأیید می کند. در آخرین تراز مورد بررسی یعنی ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۶\_د) نیز مانند ترازهای زیرین میزان امگای منفی به افزایشی بودن خود ادامه داده و به ۰.۳۵- پاسکال بر ثانیه در غرب ایران رسیده است. در این تراز نقش منابع آبی دور دست مانند شرق اقیانوس اطلس از طریق ناوه و با عبور از آفریقا و دریای سرخ در تأمین رطوبت بارش های فوق سنگین و فراغیر روز ۱۳ دسامبر کاملاً مشهود است.



شکل ۱۶. نقشه های ترکیبی نم ویژه و امگا در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی سوم در روز نماینده ۱۳ دسامبر ۲۰۱۰

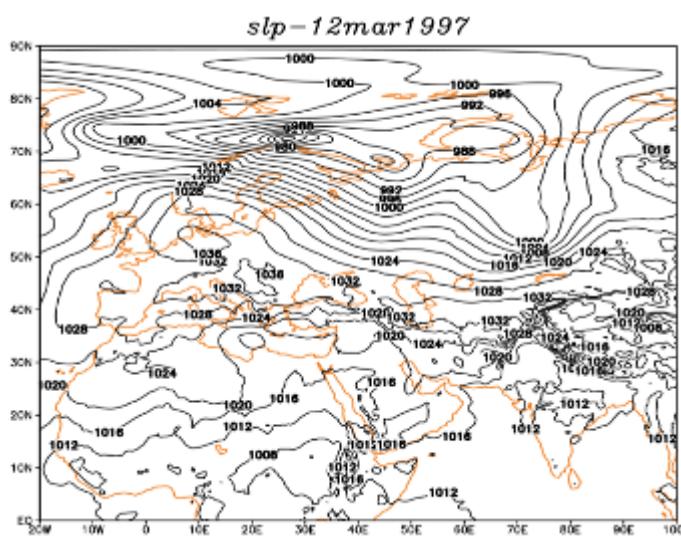
شکل (۱۷) وضعیت رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال را برای روز نماینده ۱۳ دسامبر ۲۰۱۰ الگوی سوم تاوه نشان می دهد. ملاحظه می گردد که عمق و گسترش بیشتر ناوه های نفوذی از نظر راستای نصف النهاری در الگوی سوم موجب استقرار و نفوذ رودبادهای ادغامی بر روی منطقه گردیده است. در این روز رودباد با هسته سرعت باد ۶۵ متر بر ثانیه در شمال عربستان جای گرفته است و نیمه غربی نیز با قرارگیری در ربع چهارم رودباد یعنی محل بیشینه واگرایی و صعود هوا با بیشترین میزان واگرایی و صعود هوا گرم و مرطوب ترازهای زیرین و رخداد بارشی فرآگیر مواجه شده است. موقعیت مکانی بهتر رودباد نسبت به شرق و جلوی ناوه را به عبارتی میتوان تعیین کننده شدت و فرآگیری روزهای بارش به حساب آورد.



شکل ۱۷. نقشه رودباد در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال الگوی سوم در روز نماینده ۱۳ دسامبر ۲۰۱۰

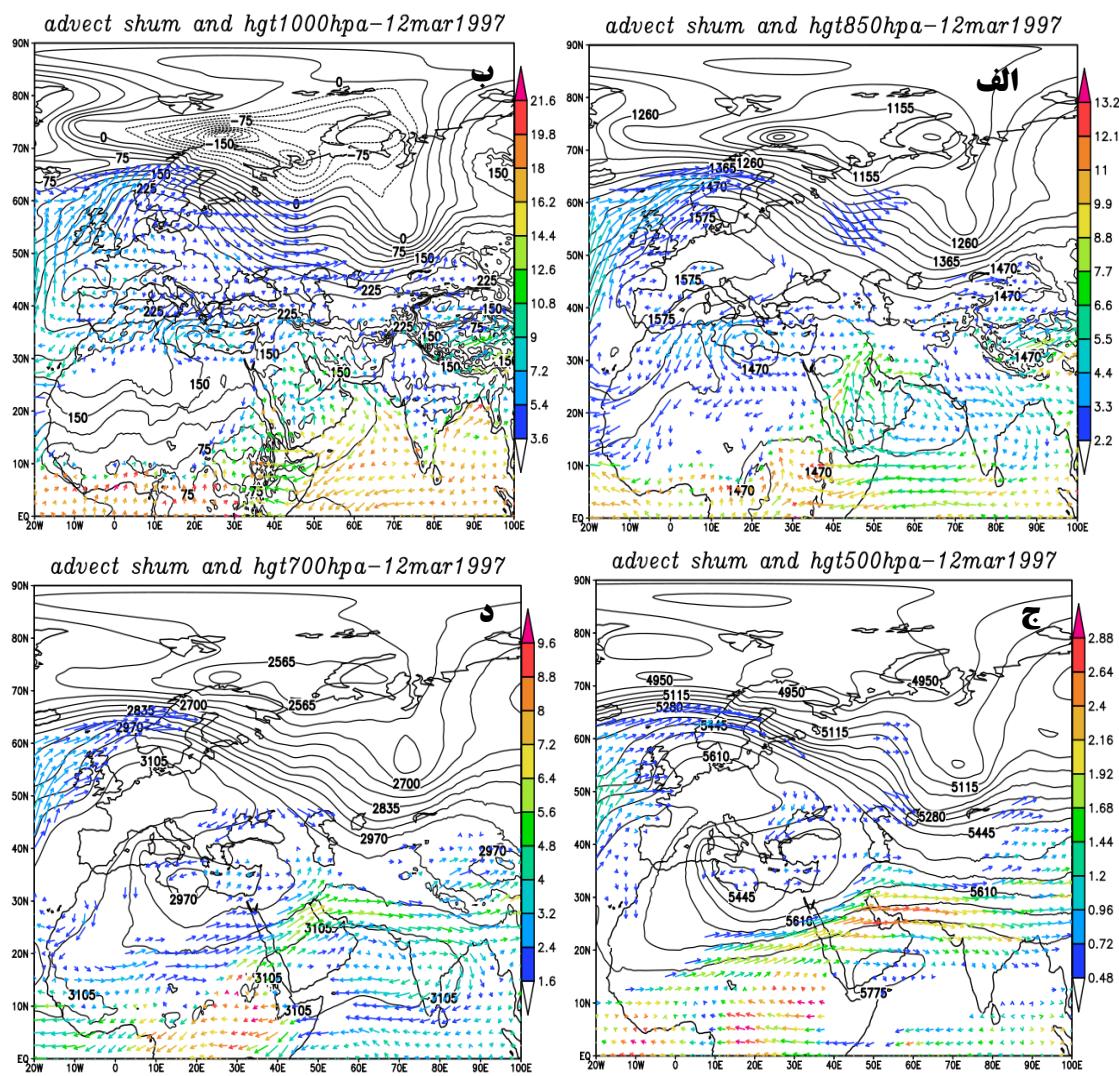
- الگوی چهارم موقعیت تاوه در شمال شرقی آفریقا تا اردن
- روز نماینده ۱۲ مارس ۱۹۹۷

شکل (۱۸) وضعیت فشار تراز دریا را برای روز نماینده الگوی چهارم موقعیت تاوه ۱۲ مارس ۱۹۹۷ نشان می‌دهد. الگوی چهارم تاوه پس از الگوی سوم با ۲۲ روز بیشترین حضور و نقش را در رخداد بارش‌های سنگین و فراغیر داشته است. شدت، مدت و فراغیری روزهای بارش در این الگو پس از الگوهای دوم و سوم تاوه بیشترین مقادیر را نشان می‌دهد. در این روز زبانه‌های کم فشار سودانی و عربستان با گسترش و عبور از عربستان و عراق تا مناطق شمال غربی ایران را در بر گرفته‌اند. شکل گیری کم فشار قدرتمند ایسلند-قطبی با مرکز بسته ۹۷۸ هکتوپاسکال در عرض ۷۵ درجه شمالی و در شمال اروپا با نفوذ به سمت عرض‌های جنوبی تا شمال دریای خزر موجب رانش زبانه‌های پرفشار سرد سیبری و مهاجر اروپایی به درون ایران و در نتیجه تقویت و تشدید شیوه فشاری و دمایی در اثر برخورد با هوای گرم درون کم فشار جنوبی شده است. این شرایط دوگانه جریان‌ها بر روی منطقه مورد مطالعه وضعیت را برای رخداد یک روز بارشی سنگین و فراغیر آماده کرده است.



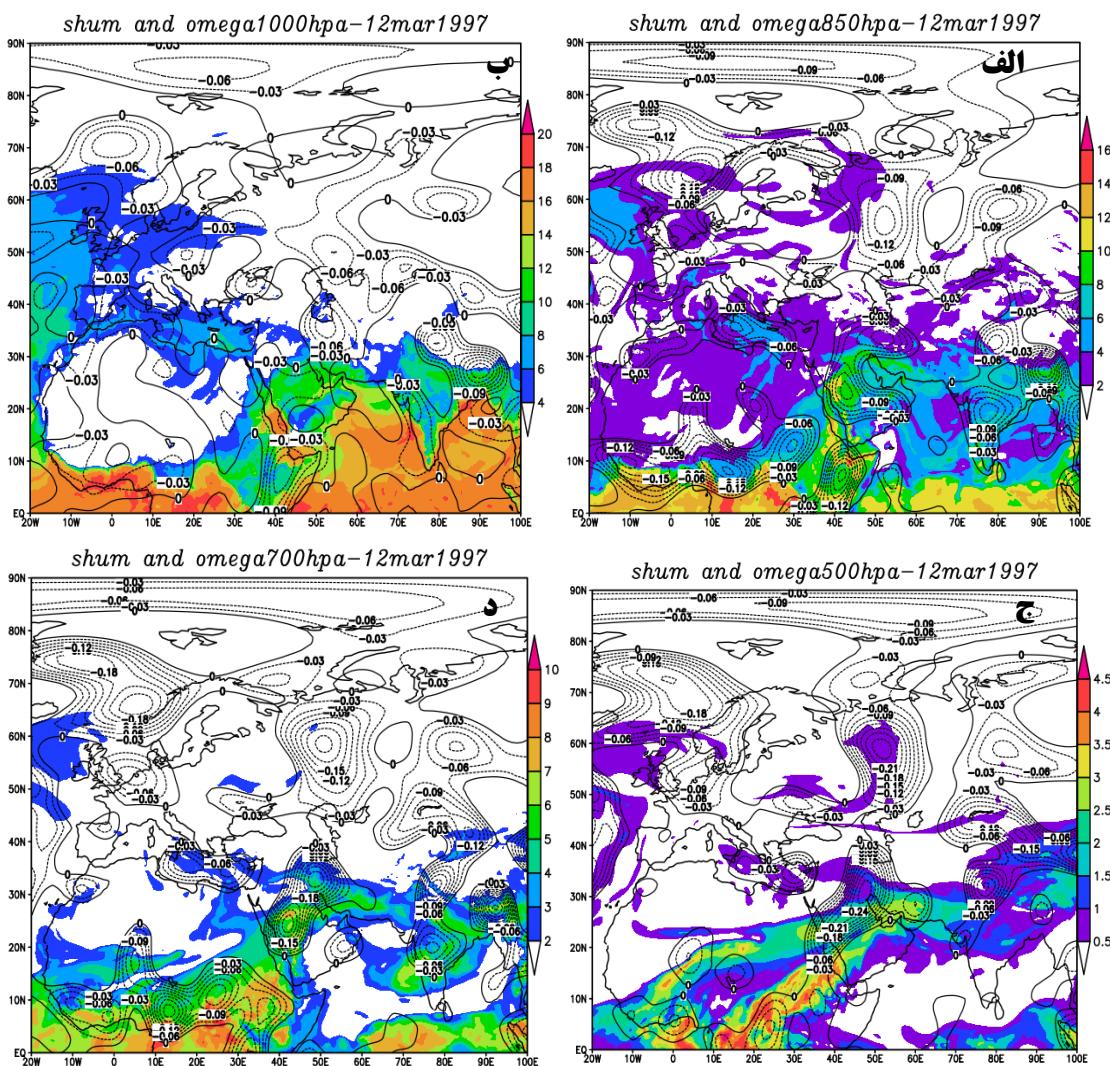
شکل ۱۸. نقشه فشار تراز دریای الگوی چهارم در روز نماینده ۱۲ مارس ۱۹۹۷

شکل (۱۹) شرایط ورث رطوبت و ارتفاع ژئوپتانسیل را به صورت ترکیبی برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال روز نماینده ۱۲ مارس ۱۹۹۷ نشان می دهد. با توجه به شکل (۱۹-الف) در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با نفوذ ناوه معکوس از سمت عربستان جریان رطوبتی به صورت چرخدنی و پاد ساعتگرد و با سمتی جنوب به شمال به طرف منطقه غربی کشور فرارفت شده است. در این تراز منابع آبی جنوب سرخ، دریای عرب و خلیج عدن بیشترین میزان رطوبت را تأمین کرده اند؛ اما در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۹\_ب) پارتفاع عربستان با مرکز بسته ۱۵۱۵ ژئوپتانسیل متر با استقرار در غرب دریای عرب بیشترین نقش را در فرارفت رطوبت ایفا می کند. به نحوی که با ایجاد جریان های ساعتگرد و شرقی به غربی به سمت شرق آفریقا و از آنجا توسط ناوه با راستایی جنوبی-شمالي با عبور از سرزمین عربستان به سمت منطقه غرب منتقل شده است. قرارگیری مرکز کم ارتفاع و محور ناوه در موقعیتی غربی تر تا مرکز دریای مدیترانه باعث شده همزمان دریای مدیترانه نیز در تأمین رطوبت مؤثر باشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۹\_ج) وزش رطوبت توسط دو سامانه پارتفاع عربستان با مرکز بسته ۳۱۱۵ ژئوپتانسیل متر در نیمه شمالی دریای عرب و کم ارتفاع شمالی با مرکز بسته ۲۹۷۵ ژئوپتانسیل متر در شمال کشور لیبی و مرکز دریای مدیترانه با سمتی جنوب غربی به شمال شرقی به سوی غرب ایران فرارفت شده است. منابع آبی مرکز و شمالی دریای سرخ و شرق مدیترانه بیشترین حجم رطوبت را برای بارشها روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷ تأمین کرده اند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۹\_د) با مداری شدن پریندهای ناوه واقع بر روی غرب آسیا، نقش دریای مدیترانه و به ویژه منابع آبی دور دست همچون اطلس بیشترین افزایش را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود محور ناوه در الگوی چهارم شمال شرقی به جنوبی می باشد. ناوه با عمقی متوسط اما بیشترین گسترش طولی را در میان الگوهای مورد بررسی دارد. در اکثر موارد طول ناوه از ۱۰ تا ۵۰ درجه شرقی گسترده شده است و محور ناوه از دریای سیاه تا مرکز مدیترانه و شمال شرقی آفریقا کشیدگی پیدا می کند. پریند معرف تاوه قطبی و مراکز چرخدنی در الگوی چهارم، دورترین موقعیت را نسبت به کشور و منطقه مورد مطالعه دارد؛ که این امر موجب گستردگی بیشتر ناوه و سامانه های ارتفاعی و تزریق همزمان رطوبت از منابع آبی مختلف و حتی دور دست در روزهای بارشی به سمت منطقه مورد مطالعه می شود.



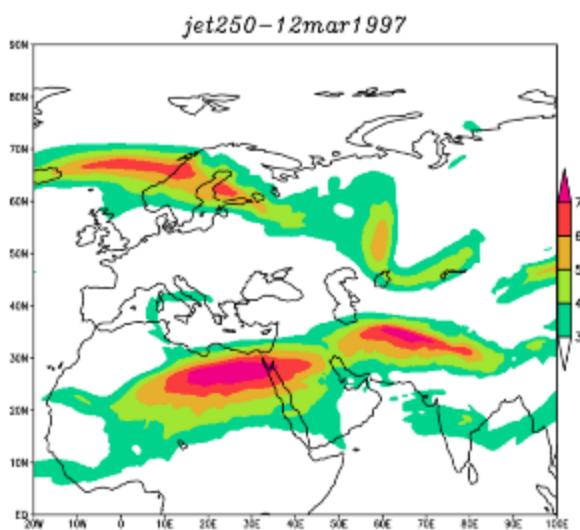
شکل ۱۹. نقشه های ترکیبی ارتفاع ژوپتانسیل و وزش رطوبتی ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی چهارم در روز نماینده ۱۲ مارس ۱۹۹۷

بر اساس نقشه ترکیبی امگا و نم ویژه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۲۰\_الف) مانند سایر الگوهای مورد بررسی منطقه مورد مطالعه مابین دو میدان امگای مثبت و منفی قرار گرفته است که منطبق با شرایط متفاوت فشاری و جبهه ای می باشد. نفوذ زبانه های رطوبت از عرض های جنوبی همسو با مسیر امگای منفی در این تراز بر روی غرب کشور کاملاً مشخص است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (۲۰\_ب) میزان امگای منفی بر روی غرب کشور منفی شده و به ۰.۱ پاسکال برابر رسانیده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۲۰\_ج) هسته بیشینه امگای منفی به ۰.۲۲ پاسکال بر ثانیه افزایش یافته و دقیقاً بر روی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. مقادیر امگای منفی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با ۰.۲۶ پاسکال بر ثانیه به اوج خود بر روی کشور و منطقه رسانیده است. ملاحظه می شود در این الگو در ترازهای ۷۰۰ و به ویژه ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۲۰\_د) اقیانوس اطلس نیز در تأمین رطوبت نقش مهمی را ایفا می کند. مسیر رطوبت فرارفت شده از اطلس با عبور از قاره آفریقا به سمت منطقه و کشور دقیقاً با موقعیت شرق ناوه منطبق است.



شکل ۲۰. نقشه های ترکیبی نم ویژه و امگای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی چهارم در روز نماینده ۱۲ مارس ۱۹۹۷

شکل (۲۱) شرایط رودباد را در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال روز نماینده ۱۲ مارس ۱۹۹۷ الگوی چهارم موقعیت تاوه نشان می دهد. با توجه به شکل زیر مسیر رودباد جنوب حاره با انحنای مداری در این تراز با مسیر ناوه و شرق آن همسو است. هسته رودباد با ۷۰ متر بر ثانیه در شمال شرقی آفریقا مستقر بوده و خروجی سمت چپ رودباد نیز به خوبی نیمه غربی کشو را در بر گرفته است که تخلیه شدید رطوبت را از منابع آبی جنوبی و غربی بر روی منطقه نشان می دهد.



شکل ۲۱. نقشه رودباد در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال الگوی چهارم در روز نماینده ۱۲ مارس ۱۹۹۷

### نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش، تحلیل زمانی مکانی تاوه قطبی و نقش آن در وقوع روزهای بارش سنگین و فراغیر حوضه قره سو در استان کرمانشاه است. نتایج آماری روزهای بارش سنگین نشان داد که مجموع و فراوانی روزهای بارش سنگین از ایستگاه دو آب مرک در بالادست حوضه قره سو به سمت ایستگاه قورباقستان در جنوبی ترین نقطه حوضه کاهش یافته است. بررسی روند فراوانی سالانه نیز حاکی از روند ضعیف کاهشی به ویژه از سال زراعی ۱۳۷۷-۷۸ به بعد است که موجب تقسیم دوره آماری به دو دوره روند مثبت قبل از سال فوق و روند منفی و کاهشی بعد از این سال گردیده است. بیشترین فراوانی روزهای بارش سنگین در مقیاس ماهانه نیز به ترتیب در آبان، آذر و اسفند رخ داده است. تحلیل موقعیت تاوه قطبی و همیدد آن نشان داد که از ۷۹ روز بارش سنگین و فراغیر منتخب، الگوهای سوم ۳۲، چهارم با ۲۲، اول با ۱۴ و دوم با ۱۱ روز بارش سنگین را به خود اختصاص داده اند. بیشترین فراغیری و تداوم روزهای بارش سنگین با شکل گیری الگوی سوم (موقعیت دریایی سرخ تا غرب خلیج فارس) رخ داده است. بیشترین شدت بارش های سنگین نیز در الگوی دوم (شرق مدیترانه تا غرب ایران) دیده می شود. همبستگی بین عرض جغرافیایی پربند معرف تاوه قطبی در موقعیت بیشترین گسترش خود در جنوب ناوه و میانگین بارش ایستگاه ها در هر یک از روزهای بارش سنگین نشان داد که رابطه معکوسی بین این دو برقرار است. به نحوی که با کاهش عرض جغرافیایی تاوه قطبی بر شدت بارش افزوده شده است. میزان این ارتباط معکوس در الگوی سوم (دریایی سرخ تا غرب خلیج فارس) که بیشترین نفوذ تاوه قطبی نیز در این الگو روی داده است، بیشتر از سایر الگوها می باشد. کمترین ارتباط نیز در الگوی اول موقعیت تاوه قطبی (دریایی خزر) که کمترین گسترش و نفوذ تاوه را دارد، دیده می شود. تحلیل موقعیت تاوه قطبی در ۷۹ روز بارش سنگین و فراغیر نشان داد که ۴ الگو یا موقعیت مختلف تاوه شرایط را برای رخداد اینگونه بارش های در حوضه آبریز قره سو فراهم می کند. ویژگی مشترک در همه الگوهای مختلف موقعیت تاوه قطبی در تراز میانی جو اینکه پشته های عظیم ارتفاعی واقع بر روی اروپا با سرازیر کردن هوای سرد قطبی از یال غربی ناوه و پشته واقع بر روی دریایی عرب نیز با فرارفت هوای گرم و مرطوب از طریق یال شرقی ناوه شرایط را برای جریان های جبهه ای قوی و تقویت واگرایی و صعود هوا موجب شده اند؛ اما تفاوت الگوها با هم بسیار

بوده به نحوی که به طور مشخصی در چهار الگوی (موقعیت) مختلف قرار می‌گیرند. به نحوی که در الگوی اول (موقعیت خزری) ناوه‌ها عموماً دو دامنه، اتصال زنجیره وار ناوه‌ها از آسیای مرکزی تا غرب آسیا و به صورت چند منبعی در تأمین رطوبت ظاهر شده‌اند. در الگوی دوم (شرق مدیترانه) عمق کمتر ناوه، انحنای مداری ناوه و با نقش غالب دریای مدیترانه در فراهمنی رطوبت دیده می‌شود. در الگوی سوم (موقعیت دریای سرخ تا خلیج فارس) با انحنای نصف النهاری و عمق زیاد ناوه و نقش غالب منابع آبی عرض‌های جنوبی تر مانند جنوب سرخ، خلیج‌های عدن، فارس و دریای عرب در کسب رطوبت خود نمایی کرده است؛ اما در الگوی چهارم و متفاوت تر از بقیه الگوها، انحنای ناوه مداری و کشیده بوده و مرکز کم ارتفاع عموماً در مسافت دورتری از کشور قرار گرفته و مناطق مرکزی و شمالی سرخ نیز نقش بیشتری در تزریق رطوبت ایفا کرده‌اند. شناسایی الگوهای همدید تراز میانی بر اساس موقعیت‌های مکانی متفاوت تاوه قطبی طی دوره بلند مدت در این پژوهش را می‌توان رویکردی نوین در مباحث اقلیم شناسی همدید دانست که موجب بررسی دقیق تر رفتار سامانه‌های گردشی جو مؤثر در بروز مخاطرات اقلیمی به ویژه بارش‌های سیل آسا، می‌گردد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج علیدادی (۱۳۸۹) برای غرب میانه ایران در ارتباط با نقش موقعیت تاوه در شرق مدیترانه، با نتایج مرادی (۱۳۸۰) نیز در زمینه ارتباط معکوس بین عرض جغرافیایی تاوه و شدت و فراغیری بیشتر بارش همسو است. بخش اعظم تحقیقات انجام شده در زمینه تاوه قطبی به صورت آماری رفتار تاوه قطبی را مورد بررسی قرار داده اند؛ اما در این تحقیق نه تنها رفتار همدید تاوه قطبی مورد بررسی قرار گرفت بلکه ارتباط آن با روزهای بارشی سنگین و مخاطره‌آمیز و تأثیر کنترلی آن بر سامانه‌های همدید مقیاس نیز مورد واکاوی قرار گرفت.

### منابع

- پاک نظر، سارا. ۱۳۸۳. بررسی موقعیت تاوه قطبی و اثر آن بر سرماهای شدید در شمال شرق ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنمای: محمد خیراندیش، دانشگاه آزاد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه هواشناسی.
- پروین، نادر. ۱۳۸۹. بررسی ارتباط بین تغییرات اسطح ۵۰۰ هکتار پاسکال و سیل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. تحقیقات جغرافیایی، ۹۷ (۲۵): ۱۱۷-۱۳۸.
- ذکی زاده اسلام‌علیا، میر بهروز؛ محمد سلیقه، محمد حسین ناصرزاده و مهری اکبری. ۱۳۹۷. تحلیل آماری و سینوپتیکی مؤثرترین الگوی رودباد ایجاد کننده بارش‌های سنگین. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۵ (۷): ۴۸-۳۱.
- رحیمی، داریوش؛ جواد خوشحال، و تیمور علیزاده. ۱۳۸۹. تحلیل آماری- همدیدی بارش سنگین مناطق خشک ایران (مطالعهٔ موردی: استان کرمان). جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۸ (۱۴): ۶۹-۵۱.
- علیدادی، معصومه. ۱۳۸۹. نقش تاوه قطبی در تعیین نوع و مقدار بارش در میانه غرب ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علیدادی، دانشگاه تهران.
- علیجانی، بهلوان. ۱۳۷۸. آب و هوای ایران. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- عباس‌زاده تهرانی، نادیا؛ مجید مخدوم و محمد مهدوی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر میزان دبی سیلاب‌ها با کاربرد فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز رودخانه مادرسو. نشریه پژوهش‌های محیط زیست، ۱ (۲): ۷۸-۹۰.

- کارساز، سکینه و سید ابوالفضل مسعودیان. ۱۳۹۳. تحلیل همدید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی. *جغرافیا و توسعه*, ۳۷: ۲۷-۱۵.
- مسعودیان، سید ابوالفضل. ۱۳۸۵. اقلیم شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی. چاپ اول. نشر دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- محمودآبادی، مهدی؛ کمال امیدوار، غلامعلی مظفری، احمد مزیدی، مهدی نارنگی فرد و مهران فاطمی. ۱۳۹۵. تحلیل همدید اثرات پدیده بلاکینگ بر بارش‌های سیلابی فورورین ماه ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران. *پژوهش‌های اقیم شناسی*, ۷(۲۵): ۸۲-۶۷.
- مرادی، حمید رضا. ۱۳۸۰. تحلیل سینوپتیکی تاوه قطبی و اثرهای آن بر اقلیم ایران. پایان نامه دکتری. استاد راهنمای: محمد خیراندیش. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- مرادی، محمد ۱۳۸۵. بررسی نفس کم فشار گرمایی سودان- اتیوپی به ارتفاعات زاگرس در سامانه‌های مؤثر بر آب و هوای ایران. رساله دکتری هواشناسی. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم تحقیقات.
- نگارش، حسین؛ مهدی ازدری مقدم و محسن آرامش. ۱۳۹۲. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی و پیش‌بینی سیلاب در حوضه آبریز سرباز. *مجله جغرافیا و توسعه*, ۳۱: ۱۵-۲۸.
- Ahrens, C. D. ۱۹۹۹. *Meteorology Today*. 6th edn. Brooks/Cole: Pacific Grove, CA.
- [۱۰]. Bing, Y. ۲۰۰۸. Arctic dipole anomaly and summer rainfall in Northeast China. *Chinese Science Bulletin*, 53(14): 2222-2229.
- Choi, C., A. David, and N. Robinson. ۲۰۰۹. *Won-Tae Kwon, Recent Changes in the Northern Hemisphere Circumpolar Vortex*, Association of American Geographers. Las Vegas, USA.
- Frauenfeld, O.W., and R.E. Davis. ۲۰۰۳. Northern Hemisphere circumpolar vortex trends and climate change implications. *Journal of Geophysical Research*, 108(14): 4423.
- Hauser, M. ۲۰۱۰. *Cluster Analysis of the Polar Vortex 1989 to 2009*. Bachelor Thesis. Supervisor: Olivia Martius. Sebastian Schemm. Dynamical Meteorology Group.
- Ligang, X., H. Zhou, D. Li, and H. Wang. ۲۰۱۰. Precipitation trends and variability from ۱۹۵۰ to ۲۰۰۰ in arid lands of Central Asia. *Journal of Arid Land*, 2: ۵۱۴-۵۲۶.
- Liang, K., S. Liu, P. Bai, and R. Nie. ۲۰۱۰. The Yellow River basin becomes wetter or drier? The case as indicated by mean precipitation and extremes during ۱۹۶۱-۲۰۱۲. *Theor Appl Climatol*, 119: ۷۰۱-۷۲۲.
- Wen, C., and W. Ke. ۲۰۰۹. Interannual Variability of the Winter Stratospheric Polar Vortex in the Northern Hemisphere and Their Relations to QBO and ENSO. *Advances in Atmospheric Sciences*, 26(5): ۸۵۵-۸۶۳.
- Wrona, K. M. ۲۰۰۰. *Long-term Changes and Variability in Northern Hemisphere Circumpolar Vortex*. Master Thesis of Geography and Anthropology. Northern Illinois University.