

## تحلیل هم‌دید سیل ویرانگر تیرماه سال ۱۳۹۴ شمال ایران

محمود احمدی\*

استادیار اقلیم‌شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

فرزانه جعفری

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی سینوپتیک دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۱۴

### چکیده

بارش‌های سیل‌آسا و سهمگین در فصل تابستان به دلیل ناگهانی بودن آن آسیب‌های سنگینی در بخش‌های تأسیسات زیر بنایی، عمرانی و کشاورزی برای مناطق مختلف کشورمان به بار می‌آورند. در پژوهش حاضر به تحلیل هم‌دید و ترمودینامیکی بارش سیل‌آسای ۲۸ تا ۳۱ تیر ۱۳۹۴ در نیمه شمالی، مرکزی و غربی کشورمان پرداخته شده است. ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاه زمینی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه، بررسی شد و سپس با استفاده از داده‌های جو بالا و ترسیم نقشه‌های مربوط، بارش‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که گسترش پرفشار دریای سیاه بر روی نیمه شمالی و نفوذ کم‌فشار گرم پاکستان-خلیج فارس از جنوب، ضمن شمالی شدن جریان‌ها، موجب شیو شدید فشاری در تراز دریا شده است. در ترازهای میانی جو کشیده شدن محور فرود از آسیای مرکزی تا جنوب ایران صعود شدید هوا را به همراه داشته است. واکاوی نقشه‌های امگا بر روی ایران حاکی از استقرار میدان پیشینه امگای منفی در شمال ایران می‌باشد. تحلیل نقشه‌های وزش رطوبتی نیز نشان داد که در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال دریای سیاه و خزر منابع تأمین‌کننده رطوبت می‌باشند؛ اما در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال دریای عمان، عرب و شبه‌جزیره هند نقش اصلی انتقال رطوبت را بر روی منطقه مورد مطالعه بر عهده داشته‌اند. نکته قابل توجه این‌که رود باد تنها در بالای تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و در بالاتر از عرض ۳۸ درجه شمالی و خارج از محدوده‌ی رخداد موج بارشی ابرسنگین روزهای پایانی تیرماه ۹۴ قرار داشته است و تأثیر آن به صورت غیرمستقیم بوده که موجب تخلیه هوای گرم و مرطوب درون ناوه و در نتیجه تقویت ناپایداری شده است.

**واژگان کلیدی:** بارش سیل‌آسا، پرفشار دریای سیاه، کم فشار پاکستان-خلیج فارس، شیو فشار، شمال ایران.

### مقدمه

یکی از شاخه‌های مهم علم اقلیم‌شناسی سینوپتیک، شناسایی حالت‌های فرین ویژگی‌های محیطی، مانند طوفان‌های شدید و به‌ویژه بارش‌های سنگین و سیل‌آسا است (علی‌جانی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸، ۱۰۷). سیل معمولی‌ترین آسیب‌های

محیطی است. هرساله سیلاب‌ها بیش از ۲۰۰۰ نفر را از بین می‌برند و متأسفانه بر ۷۵ میلیون نفر از جمعیت مردم جهان تأثیر می‌گذارد (محمدی، ۱۳۸۸، ۷۰). سیل‌های ناگهانی، آب‌گرفتگی خطرناکی است که به دلیل بارش شدید باران در منطقه‌ای کوچک در چندین ساعت و کمتر اتفاق می‌افتد. این سیل‌ها یکی از فراوان‌ترین انواع مخاطرات تولید شده توسط توفان‌های هم‌رفتی هستند که پیش‌بینی آن‌ها بسیار دشوار است (بارنز، ۲۰۱۰، ۲). در سال‌های اخیر رخدادهای بارشی منجر به سیل افزایش یافته است. حدود ۱۶۹ میلیون نفر از ساکنان کره زمین در بیش از ۹۰ کشور به‌طور متوسط هر ساله با یک سیل مخرب مواجه می‌شوند (کامسکو و سیلک، ۲۰۱۳، ۷۸۱). سیل یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی در کشور ما مطرح است و آنچه از این بلای طبیعی فاجعه می‌سازد عدم آگاهی برای مقابله با عواقب آن و پیشگیری از تأثیر سوء وقایع طبیعی بر ارکان تندرستی اقتصادی و محیطی است. بنابراین از آنجایی که بارش‌های سنگین و سیل‌آسا از پدیده‌های خطرناک و آسیب‌های بار محیطی هستند که در بیشتر مکان‌ها به‌ویژه در مناطق کم باران اتفاق می‌افتند و آسیب‌های زیادی را سبب می‌شوند، شناسایی شرایط سینوپتیک به وجود آورنده این بارش‌ها می‌تواند در پیش‌بینی زمان وقوع و اجرای آمادگی لازم کمک کند.

در سطح جهانی و در ارتباط با تحلیل سینوپتیک رخداد بارش‌های سنگین می‌توان به مطالعه (چن و همکاران، ۲۰۰۱، ۱۴۹) اشاره کرد. ایشان بارش‌های سنگین بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بعد از ظهرها در تایوان را در طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷ در طی فصل می (فصل بارشی در جنوب شرق آسیا) را مطالعه کردند. در طی این دوره پنج بارش بیش از ۱۰۰ میلی‌متر را مشخص و در دو گروه جداگانه طبقه‌بندی شد. گروه اول بارش‌هایی را شامل می‌شد که در زمان آن‌ها جریان‌های جوی جهت جنوبی داشتند و گروه دوم بارش‌هایی را شامل می‌شد که جریان‌های جوی در آن زمان جهت جنوب‌غربی داشته‌اند. با استفاده از اطلاعات رادار و باران‌سنج در تحلیل بارش‌های سنگین در نور در این -وستفالندر غرب آلمان، پنج بارش سنگین با استفاده از رادار مطالعه و در آخر وسعت فضایی محدوده‌ی بارش را به‌وسیله اطلاعات رادار و مقایسه آن با داده‌ای باران‌سنج شناسایی شد (جیسن، ۲۰۰۵، ۳۴۶). شرایط جو را در زمان رخداد بارش‌های سنگین و غیر سنگین در سوئد نشان داد که تفاوت‌های میانگین شرایط جوی در زمان رویداد بارش‌های سنگین تابستانی (ژوئن تا اوت) و غیر سنگین بر اساس تیپ‌های هوای لامب (چرخندی، واچرخندی و جهت‌دار)، سهم رویدادهای بارش که در زمان تیپ چرخندی رخ داده بود برای رویداد بارش غیر سنگین ۴۵ درصد و برای رویداد بارش‌های سنگین ۷۰ درصد است (هلستروم، ۲۰۰۵، ۶۳۱). در زمینه شناخت الگوهای سینوپتیک منجر به بارش‌های سنگین در فصل بارندگی، الگوهای سینوپتیک توسط نقشه‌های باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و آب قابل بارش می‌تواند به‌سادگی آشکار شوند و این نقشه‌ها را خود سازمان یافته نامیدند (نیشی یاما، ۲۰۰۷، ۲۰۰). ایشان با استفاده از این نقشه‌ها و تکنیک‌های خوشه‌ای الگوهای

- 
- 1-Alijani
  - 2- K m şc  and  elik
  - 2-Chen
  - 3-Jessen
  - 4-Hellstrom
  - 5-Nishiyama

سینوپتیک بارش‌های سنگین را به ۸ خوشه تقسیم کردند و به این نتیجه رسیدند که این نقشه‌ها ابزار مؤثری برای آشکارسازی وقایع بارش‌های سنگین می‌باشند. همچنین پژوهش (لانا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷، ۲۷) با عنوان الگوهای جوی به وجود آورنده‌ی بارش‌های سنگین جزایر بالریک واقع در شرق اسپانیا نمونه دیگری در این زمینه است. آن‌ها در مجموع ۱۵۷ روز بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر مشخص کردند که از این تعداد بارش ۵۰ در صد در فصل پاییز رخ داده بود و تقریباً ۸۷ درصد بارش‌های سنگین در زمانی رخ داده بود که یک مرکز چرخندی در شعاع ۶۰۰ کیلومتری جزیره واقع شده بود. در بررسی تأثیرات ناهمواری‌ها بر رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب تایوان، در طول فصل می-یو(فصل گرم)، صعود توده هوای مرطوب از کوهستان علت بارش‌های سنگین در این منطقه می‌باشد (چن<sup>۷</sup>، ۲۰۱۱، ۵۹۵). (اکبری و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۶، ۵۹۱) در بررسی نقش سامانه بندالی در رخداد بارش ژانویه ۲۰۰۸ جنوب شرق ایران نشان دادند که در زمان بارش نفوذ کم‌فشار سودانی در سطح زمین و سامانه بندالی در تراز میانی جو با راستای شمالی به جنوب موجب دینامیکی شدن کم‌فشار و رخداد بارش سیل‌آسا در منطقه شده است.

در کشورمان نیز مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. در پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها در ساحل شمالی ایران بر اساس موقعیت‌های سینوپتیک که سه نوع توده‌ی هوا و سیستم فشاری در ریزش بارش‌های سواحل دریای خزر مؤثر است که عبارت‌اند از: سامانه‌های کم‌فشار، چرخندها، و واچرخندهای مهاجر. در بین این سه عامل، شدیدترین بارش‌ها مربوط به چرخندها و واچرخندهای مهاجر است (مرادی، ۱۳۸۵، ۱۳۱). عامل اصلی بارش‌های سنگین و سیل‌زا در جنوب غرب ایران حضور ناوه‌ی عمیق در تراز بالا (به طوری که محور ناوه به سمت جنوب تا جنوب دریای سرخ کشیده شود) می‌باشد. و کم‌فشار دینامیکی مدیترانه‌ای حین حرکت به سوی شرق و جنوب شرق، از طریق تزریق هوای سرد به کم‌فشار منطقه سودان، باعث دینامیکی شدن این کم‌فشار شده و سامانه ترکیبی موسوم به مدیترانه ای-سودانی تشکیل می‌شود که نمونه‌ای از برهم‌کنش توده‌هوای قطبی با توده‌هوای حاره‌ای است و بارش‌های نسبتاً قابل توجهی در ایران به همراه دارند (سبزی پرور، ۱۳۷۰). در بررسی الگوی سینوپتیک سیل بهمن ۱۳۸۴ در شهرستان پل‌دختر نشان داد که تقویت سامانه‌ی سودانی و ورود آن از سمت جنوب غرب به منطقه مورد مطالعه، موجب ریزش‌های جوی فراوان در استان لرستان شده است که منجر به سیل در شهرستان پل‌دختر شده است (کرمی، ۱۳۸۹، ۹۹). با بررسی کم‌فشار سودانی و نقش آن در بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران مشخص شد که سامانه کم‌فشار سودانی یکی از عناصر سازنده گردش عمومی جو در شمال آفریقا است که در بیشتر ایام سال بر روی غرب اتیوپی و کشور سودان تشکیل می‌شود و چهار الگوی کلی ناشی از نحوه آرایش سامانه‌های سیبری، واچرخند شمال آفریقا و شبه‌جزیره عربستان و ناوه شمال آفریقا و کم‌فشار سودان در سطح‌های زیرین و میانی جو، منجر به رخداد بارش‌های سنگین در جنوب و جنوب غرب ایران می‌شوند (لشکری، ۱۳۸۲، ۵۲). در مطالعه همدیدی بارش‌های سیل‌زا در خاورمیانه که ناشی از منطقه دریای سرخ بوده،

6-Lana

7-Chen

8-Akbari et al

کم‌فشارهای سودانی که در آغاز به صورت یک منطقه همگرایی بر جانب غربی فلات اتیوپی ظاهر شده و سپس تحت تأثیر عوامل توپوگرافی دریای سرخ و شرایط ترمودینامیکی و دینامیکی حاکم بر جو مناطق اطراف، به سوی ایران یا مدیترانه شرقی منتقل شده‌اند (مفیدی، ۱۳۸۳، ۲۵). استفاده از محاسبه‌ی چرخندگی در شناسایی توده‌های باران‌آور تهران نشان داد که اثر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مهم‌تر از سطوح دیگر است و تیپ‌های چرخندی، بارش‌های سنگین‌تری را ایجاد می‌کنند (علیجانی، ۱۳۸۱).

تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سنگین و سیل‌زا در ایران از نظر همیدی نقش اصلی در کشیده تاوه قطبی، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر می‌گردد که منبع اصلی تاوایی برای پیدایش الگوی گردش ناهنجار و تقویت سلول هدلی یا جت جنب حاره بر روی مدیترانه و شمال آفریقا وارد عمل می‌شود (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴، ۷۷). (مسعودیان، ۱۳۸۴، ۱۸۲) با تحلیل همید الگوهای گردشی تراز میانی جو بارش‌های سیل‌آسای کارون را تحلیل کرده و نقش فرودهای مدیترانه را در ایجاد این‌گونه بارش‌ها را نشان داده است. در واکاوی و تحلیل شرایط همیدی و ترمودینامیکی رخدادهای بارش در منطقه‌ی شیرکوه نتایج حاصله نشان داد که بارش‌های این منطقه، ناشی از سه سامانه همیدی: ۱- استقرار کم‌فشار سودانی روی شبه‌جزیره‌ی عربستان؛ ۲- سامانه‌های ترکیبی سودانی و مدیترانه‌ای؛ ۳- سامانه‌های مدیترانه‌ای می‌باشد (امیدوار، ۱۳۸۶، ۹۸). در مطالعه‌ای تحت عنوان واکاوی همید سیلاب آبان ماه ۱۳۹۰ در شهرستان بهبهان و لیکک نتایج نشان داد که تشکیل و گسترش مراکز کم‌فشار مدیترانه-سودانی به دلیل قرارگیری بین مراکز پرفشار اروپا و پرفشار جنب‌حاره‌ای جنوب‌شرق عربستان، وجود ناوه عمیق شمال آفریقا از شرق مدیترانه تا شمال سودان و قرارگیری منطقه پژوهش در خروجی رود باد جنب‌حاره‌ای نقش مهمی در تقویت کم‌فشار مدیترانه-سودانی و حرکت شرق سوی آن و در نهایت رخدادهای سیلاب شده است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۰۹). مسعودیان و کارساز (۱۳۹۳) به بررسی و تحلیل همید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که فرود منتهی‌الیه شرق دریای مدیترانه با کمی تغییر موقعیت در جنوب‌غرب ایران و منطقه کثرفشاری شدیدی را ایجاد کرده که در رخدادهای بارش‌های سنگین این منطقه نقش اساسی دارند. احمدی و علیجانی (۱۳۹۳) به بررسی الگوهای همیدی بارش‌های سنگین ساحل شمالی خلیج فارس پرداختند. آن‌ها از داده‌های روزانه شرایط اتمسفر با ارتفاع ژئو پتانسیل، آب قابل بارش و سرعت قائم باد الگوهای روزانه این متغیرها را طبقه‌بندی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که چهار الگو با اغلب بارش‌های سنگین ارتباط دارند که شناسایی آن‌ها با عمیق‌تر شدن ناوه سوریه، جابه‌جایی پرفشار سبیری به غرب، کم‌فشار سودانی، افزایش سرعت و پایین آمدن پایه رود باد جنب حاره، سامانه سرد چال، کم‌فشار قوی، کم ارتفاع بسته تا تراز بالای تروپوسفر و حضور هم‌زمان مؤلفه‌های گرم و سرد، گردش جو هنگام تغییر فصل امکان ایجاد بارش‌های سنگین را به وجود می‌آورد. احمدی و جعفری (۱۳۹۴، ۳۲۲) رخدادهای بارش ۱۰۴ میلی‌متری ۱۴ مارس ۲۰۱۴ ایستگاه بندرعباس را در گسترش ناوه عرض‌های فوقانی بر روی خاورمیانه، فعال شدن کم‌فشار سودانی و نفوذ آن بر روی منطقه و استقرار رود باد جنب حاره در جلوی ناوه که موجب فرا رفت شدید هوای گرم

و مرطوب دریاهاى جنوبى شده، مى دانند. براتى و همکاران (۱۳۹۴، ۸۷) در واکاوى همديد بارش‌هاى سنگين بهاره استان زنجان به عواملی همچون حرکت شرق سوي ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در نیمه شرقی مدیترانه، ادغام رود باد جنب حاره و قطبی و جهت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال از سمت دریای مدیترانه یکی از مهم‌ترین منبع رطوبتی در ایجاد شرایط برای شکل‌گیری بارش‌هاى سنگين اشاره کرده‌اند. هدف از این پژوهش شناخت همیددی و ترمودینامیکی علل وقوع توفان بارش سیل‌آسا و مخرب ایران به‌ویژه مناطق شمالی همچون البرز و مازندران بوده که نتایج آن به شناسایی و پیش‌بینی توفان‌هاى بارشی تابستانه در این مناطق کمک می‌کند.

## داده‌ها و روش‌ها

در این مطالعه از دودسته داده جهت تحلیل مخاطره‌ی سیل ۲۸ تا ۳۱ تیر ۹۴ ایران استفاده شده است که عبارت از داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های سطوح فوقانی جو می‌باشد. داده‌های ایستگاه زمینی مورداستفاده در پژوهش شامل داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های موردمطالعه در بیشتر ایستگاه‌های سینوپتیکی و باران‌سنجی ایران که از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو گرفته شده است. داده‌های سطوح فوقانی شامل داده‌های بازکاوی شده مؤلفه‌های ارتفاع ژئو پتانسیل، فشار سطح دریا، باد مداری، باد نصف‌النهاری، امگا و رطوبت ویژه می‌باشد که از سایت مرکز ملی پیش‌بینی محیطی در کلرادو اخذ شده‌اند. با توجه به زمان اوج بارش، ساعت ۰۰ زو لو روز ۱۴ مارس ۲۰۱۴، جهت ترسیم نقشه‌ها انتخاب شد. روش مورداستفاده برای نگاشت و تحلیل همیددی بارش ابرسنگین ۲۸ تا ۳۱ تیر ۱۳۹۴ از روش محیطی به گردشی است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های اخذ شده، نقشه‌های فشار سطح دریا، نقشه‌ی ترکیبی امگا و ارتفاع ژئو پتانسیل، نقشه رود باد، وزش رطوبتی و مجموع رطوبت تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از نرم‌افزار گرادس<sup>۱۰</sup> ترسیم و تحلیل گردیده‌اند. به‌جز نقشه فشار تراز سطح دریا که تک ترازه است و همچنین نقشه‌های رود باد که در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال ترسیم شده است، سایر نقشه‌ها در سطوح فشاری ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ ترسیم گردید. زمان مورد نظر جهت ترسیم نقشه‌ها با توجه به زمان شروع بارش و شدت آن ۰۰ زو لو (۳:۳۰) بامداد انتخاب شد. بازه فضایی در نظر گرفته شده برای ترسیم نقشه‌ها، بین ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی و ۱۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی که در محدوده مذکور تقریباً تمامی الگوهای جوی قابل‌رديابی هستند، انتخاب شده است. در نهایت با استفاده از داده‌های جو بالا شاخص‌های ناپایداری و پیش‌بینی کننده توفان تندی توسط نرم‌افزار RAOB محاسبه و مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۳). شدت هر شاخص نیز با استفاده از آستانه‌های موجود در نرم‌افزار در هر یک از روزهای مورد نظر در ایستگاه مهرآباد تهران نشان داده شد.

## یافته‌ها

توفان سیل روزهای ۲۸ تا ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ قوی‌ترین و مخرب‌ترین توفان بارشی در طی چند دهه اخیر در ایران بوده است. در واپسین روزهای تیرماه ۱۳۹۴ بیشتر مناطق کشور با بارش‌های ناگهانی و مخرب مواجه شد که باعث رخداد سیل در بیش از ۱۴ استان شد. اوج توفان در روز ۲۸ و ۲۹ تیر در مناطق شمالی (البرز و مازندران) بود که با وزش باد و باران شدید به‌ویژه در مناطق کوهستانی و نزدیک بستر رودخانه‌ها آسیب‌های جانی، مالی و زیربنایی فراوانی را به‌جای گذاشت. در جدول زیر مقادیر بارش روزهای ذکر شده را در بیشتر استان‌های ایران به‌ویژه مناطق شمالی کشور را نشان می‌دهد. طبق جدول ۱ بالاترین مقادیر بارش در استان‌های شمالی در روزهای آغازین به وقوع پیوسته است و در ادامه استان‌های مرکزی، غربی و جنوبی نیز از موج بارشی ابرسنگین متأثر شده‌اند.

جدول ۱: مقادیر بارش ۲۸ تا ۳۱ تیر ۹۴ در ایران (منبع نگارندگان)

ایستگاه	بارش روز ۹۴/۴/۲۸	بارش روز ۹۴/۴/۲۹	بارش روز ۹۴/۴/۳۰	بارش روز ۹۴/۴/۳۱	جمع بارش ایستگاه (میلی‌متر)
رامسر	۸۵.۹	۷۳	۲	۰	۱۶۰.۹
نوشهر	۱۶۶.۱	۲۴	۷.۲	۰	۱۹۷.۳
سیاه‌بیشه	۳۵.۱	۱۶	۰.۰۱	۰	۵۱.۱
بابلسر	۸۲.۷	۵۷.۲	۰.۲	۰	۱۴۰
قائم‌شهر	۴۲.۶	۶۳	۱۵.۷	۰	۱۲۱.۳
ساری	۶۹.۹	۶۹	۱۳.۲	۰	۱۵۲.۱
کیاسر	۵۸.۹	۵۴	۱۱.۶	۰	۱۲۴.۵
دشت‌ناز	۷۳	۴۵	۰	۰	۱۱۸
گلوگاه	۳۹.۴	۳۲	۰	۰	۷۱.۴
بندر امیرآباد	۵۱.۲	۲۲	۱۱	۰	۸۴.۲
امل	۵۰.۹	۳۸	۱۴	۰	۱۰۲.۹
کجور	۷۲.۸	۶۵	۹	۰	۱۴۶.۸
بلده	۲۱.۸	۱۹	۴	۰	۴۴.۸
پل سفید	۶۶.۲	۷۰	۰	۰	۱۳۶.۲
آلاشت	۸۱.۲	۷۷	۰	۰	۱۵۸.۲
تهران (پلور)	۱۶.۳	۱۷.۲	۰	۰	۳۳.۵
فیروزکوه	۱	۲۳	۰	۰	۲۴
ورامین	۵	۱.۲	۰	۰	۶.۲

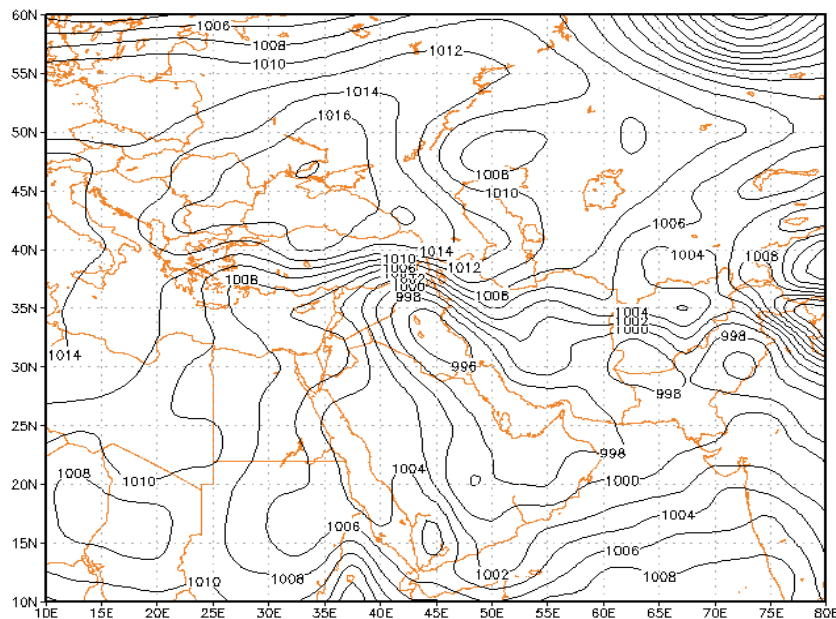
ادامه جدول ۱: مقادیر بارش ۲۸ تا ۳۱ تیر ۹۴ در ایران

۳۱,۳	۱۰	۱۴,۳	۸	۰	لرستان
۲۰,۲	۱۵	۵,۲	۰	۰	الیگودرز
۴۱,۴	۱۴	۲۷,۴	۰	۰	دو رود
۳۷,۳	۹	۱۷,۳	۱۱,۳	۰	الشتبر
۱۱,۸	۰	۱۱,۸	۰	۰	یاسوج
۲۶,۴	۱۹,۸	۶,۶	۰	۰	شهرکرد
۲۵,۳	۲۴,۱	۱,۲	۰	۰	سورسجان
۹,۹	۰	۵,۹	۴	۰	کرمان
۲۳,۴	۰	۴,۴	۱۹	۰	نیک شهر
۱۲,۹	۰	۶,۵	۶,۴	۰	ایران شهر
۳,۲	۰	۱,۲	۲	۰	سیرجان
۴,۲	۰	۳,۲	۱	۰	شهر بابک
۱۷	۰	۵	۱۲	۰	آباده
۷	۰	۰	۷	۰	فارس
۳۸	۰	۱۰	۲۸	۰	اصفهان
۲۶,۵	۰	۶,۵	۲۰	۰	نجف آباد
۱۷	۱۳	۴	۰	۰	ایلام
۱۳	۴	۹	۰	۰	همدان
۲۷	۰	۰	۱۱	۱۶	منجیل
۵۳,۵	۰	۰	۱۲	۴۱,۵	رشت
۲۸	۰	۰	۳	۲۵	تکاب
۲۸,۵	۰	۰	۰	۲۸,۵	سقز
۴	۰	۰	۰	۴	قروه
۱۵,۵	۰	۰	۱۱,۵	۴	خدا بنده
۱۷	۰	۰	۱۰	۷	زنجان
۱۵	۰	۰	۰	۱۵	سمنان (مجن)
۳۴	۰	۰	۱۵	۱۹	گلستان
۲۶,۵	۰	۰	۲۰	۶,۵	اراز
۴۶	۰	۹	۱۰	۲۷	قزوین
۳۴,۷	۰	۶,۵	۱۲,۴	۱۴	آبیک
۳۱,۸	۰	۲	۱۹,۸	۱۲	بویین زهرا
۲۱	۰	۰	۱۲	۹	تاکستان
۱۷	۱۷	۰	۰	۰	کرمانشاه
۱۵	۱۵	۰	۰	۰	روانسر

## تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی روز ۲۸ تیر ۹۴

با توجه به شکل ۱ در نقشه فشار تراز دریا، گسترش کم فشار چند هسته‌ای بر روی پاکستان و افغانستان با ۹۹۸ هکتوپاسکال و مرکز کم فشار قوی با ۹۹۶ هکتوپاسکال در شرق عراق که با روندی جنوب شرقی - شمال غربی تا

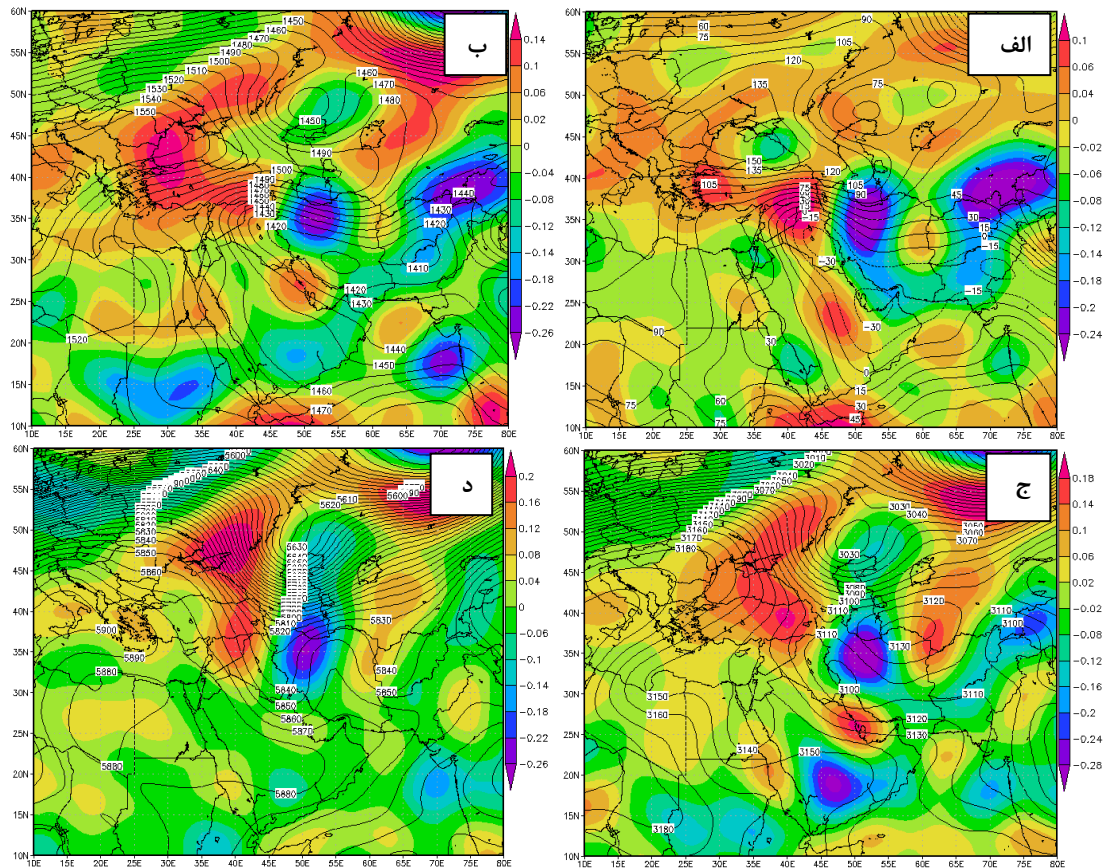
شمال غرب ایران کشیده شده است. حد جنوبی این کم فشار عظیم تا دریای عرب و جنوب شرقی عربستان و خلیج عدن گسترش یافته است. در مقابل استقرار مرکز پرفشار با ۱۰۱۶ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه که با حرکتی شمال غربی - جنوب شرقی نیمه شمالی ایران را در بر گرفته است گسترش هوای گرم و مرطوب جنوبی و برخورد آن با هوای سرد پرفشار دریای سیاه، باعث ایجاد شیو شدید فشاری و دمایی در نواحی غربی و شمالی ایران شده است. فشردگی خطوط هم فشار در مناطق شمالی کشور منطبق بر شدت بارش های این روز می باشد. مسیر گسترش کم فشار از عرض های جنوبی نیز کاملاً با جهت نفوذ مجموع رطوبت فرا رفت شده از تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال همخوانی دارد.



شکل ۱: نقشه فشار تراز دریا در روز ۲۸ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

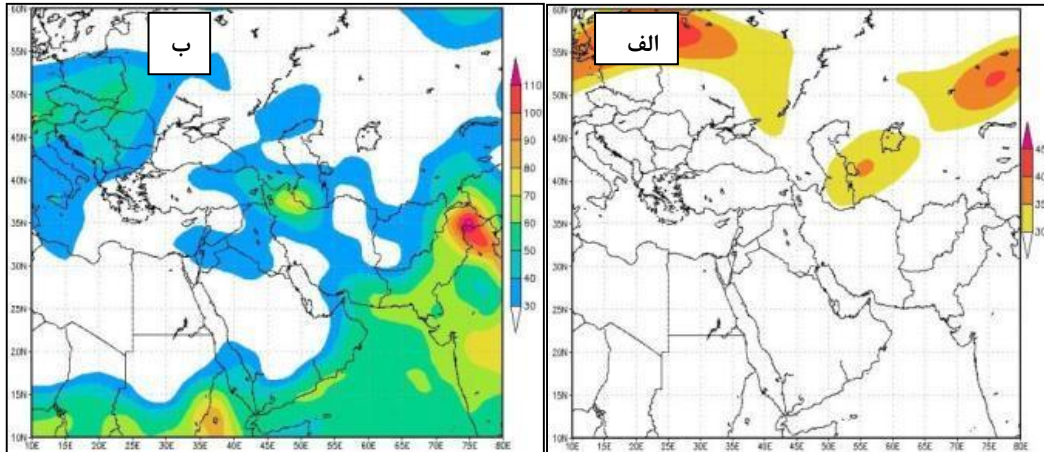
شکل ۲ نقشه های ترکیبی ارتفاع و امگا را برحسب پاسکال بر ثانیه در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد. با واکاوی نقشه های امگا مشخص شد که در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری مرکز امگای منفی قوی با راستای جنوبی-شمالی و  $-۰,۲۶$  پاسکال بر ثانیه واگرایی شدید را منطبق بر اوج ناپایداری توفان داشته است؛ اما در ترازهای بالاتر این میدان امگای منفی گسترده تر شده و تا نواحی شمالی دریای خزر ادامه پیدا کرده است. با توجه به شکل زیر در طرفین این میدان امگای منفی منطبق با نقشه های ارتفاع و فشار بر روی دریای سیاه و شرق اروپا و نیمه شرقی ایران، امگای مثبت وجود دارد که همگرایی هوا به سمت ایران و به ویژه نیمه شمالی ایران نشان می دهد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه واقع بر روی ایران با ناوه عمیق مناطق شمال روسیه یکپارچه شده است که بیشترین صعود هوای گرم و مرطوب از نیمه شرقی ناوه و از روی آب های گرم جنوب به سمت نیمه شمالی ایران صورت گرفته است.





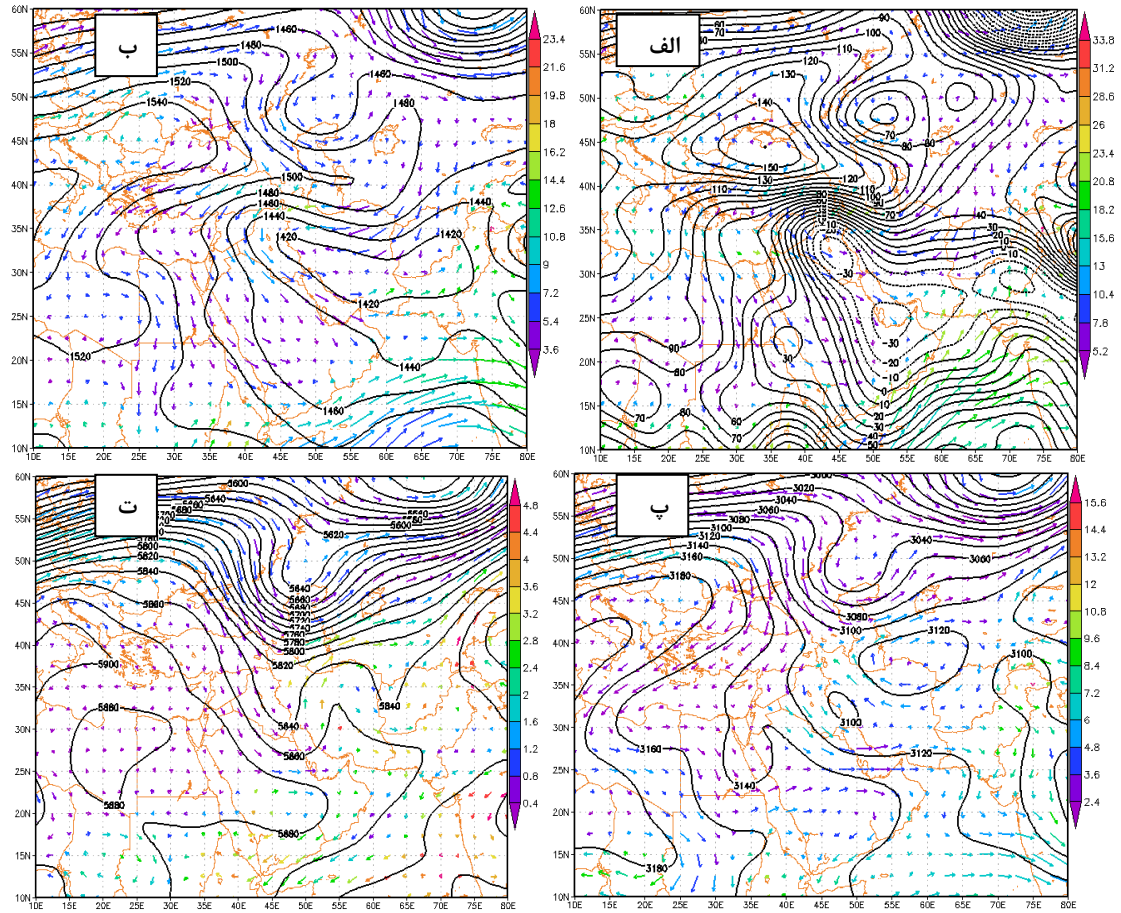
شکل ۲: نقشه‌های ترکیبی ارتفاع و امگا بر حسب پاسکال بر ثانیه در ترازهای الف: ۱۰۰۰، ب: ۸۵۰، ج: ۷۰۰ هکتوپاسکال، د: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۸ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

شکل ۳- الف، سمت راست نقشه رود باد را بر حسب متر بر ثانیه در روز ۲۸ تیر ۹۴ نشان می‌دهد که هسته مرکزی آن با بیش از ۴۵ متر بر ثانیه با راستای جنوب غربی - شمال شرقی در نیمه شرقی خزر قرار گرفته است. موقعیت استقرار رود باد منطبق بر نیمه شرقی ناوه و میدان امگای منفی می‌باشد؛ اما در منطقه‌ای دور از توفان بارشی سیل آسا قرار گرفته است که با تخلیه هوای گرم و مرطوب درون ناوه موجب تقویت صعود و واگرایی گردیده است. در شکل ۳- ب، نقشه مجموع رطوبت جوی تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روز ۲۸ تیر ۹۴ نشان می‌دهد که حاکی از گسترش رطوبت از نواحی شرقی دریای عمان و غرب شبه جزیره هند و از دریای سیاه است. بر روی ایران بالاترین مقدار رطوبت با بیش از ۷۰ گرم بر کیلوگرم در جنوب غربی دریای خزر و مناطق شمالی است که با تطبیق نقشه مجموع رطوبت با نقشه‌های ارتفاع، بیشینه رطوبت در نیمه شرقی کم ارتفاع و محور ناوه واقع شده است که در این حالت نقش فرا رفت هوای سرد دریای سیاه بر روی دریای خزر و نواحی شمالی به ویژه در ترازهای زیرین جو و تأمین رطوبت به وسیله دریای خزر و سیاه از یک سو و نفوذ کم ارتفاع گرم پاکستان-خلیج فارس از سوی دیگر را نشان می‌دهد.



شکل ۳: الف: نقشه رود باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال، ب: نقشه مجموع رطوبت جوی تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۸ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

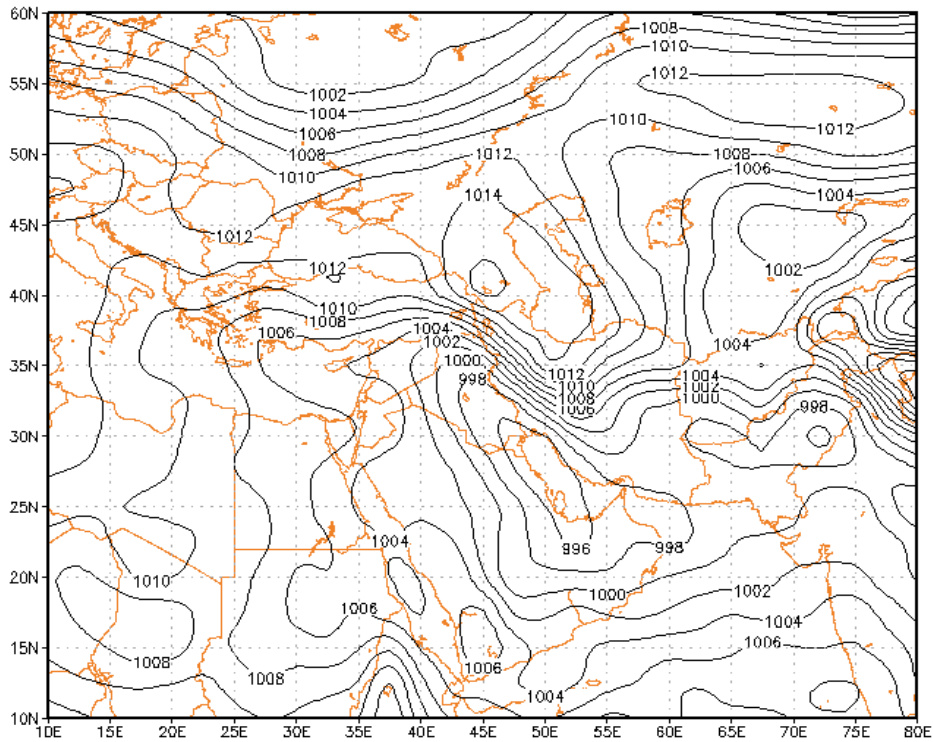
شکل ۴ نقشه‌های ترکیبی وزش رطوبتی و ارتفاع ژئو پتانسیل را در روز ۲۸ تیر ۹۴ نشان می‌دهد. با واکاوی نقشه‌های وزش رطوبتی مشخص شد که در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال به علت قرارگیری کم ارتفاع قوی بر روی جنوب غرب ایران و پر ارتفاع سرد بر روی دریای سیاه باعث همسویی جریان‌های شرقی و شمال شرقی در شمال و شمال غرب ایران شده است؛ و از لحاظ تغذیه رطوبتی نیز دریای خزر و دریای سیاه بیشترین نقش را در انتقال و تأمین رطوبت بر عهده داشته‌اند و منطبق بر کانون ناپایداری‌ها بالاترین مقدار رطوبت با بیش از ۲۳,۴ گرم بر کیلوگرم در شمال غرب کشور واقع شده است. در ترازهای بالاتر ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال وزش رطوبتی با تغییر روبه‌رو بوده است به نحوی که با قرارگیری مرکز کم ارتفاع با ۳۱۰۵ ژئو پتانسیل متر در نیمه غربی کشور و عمیق شدن ناوه واقع بر روی جنوب روسیه و کشیده شدن آن تا جنوب خلیج فارس و عمان با وزش پادساعت گرد و امتداد جنوب شرقی به شمال غربی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و جنوبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حاکم شده است. که باعث فرا رفت رطوبت از سمت منابع آبی خلیج فارس، عمان و نواحی شمالی دریای عرب شده است.



شکل ۴: نقشه‌های وزش رطوبتی برحسب گرم بر کیلوگرم در ثانیه در ترازهای الف: ۱۰۰۰، ب: ۸۵۰، پ: ۷۰۰، ت: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۸ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

### تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی ۲۹ تیر ۹۴

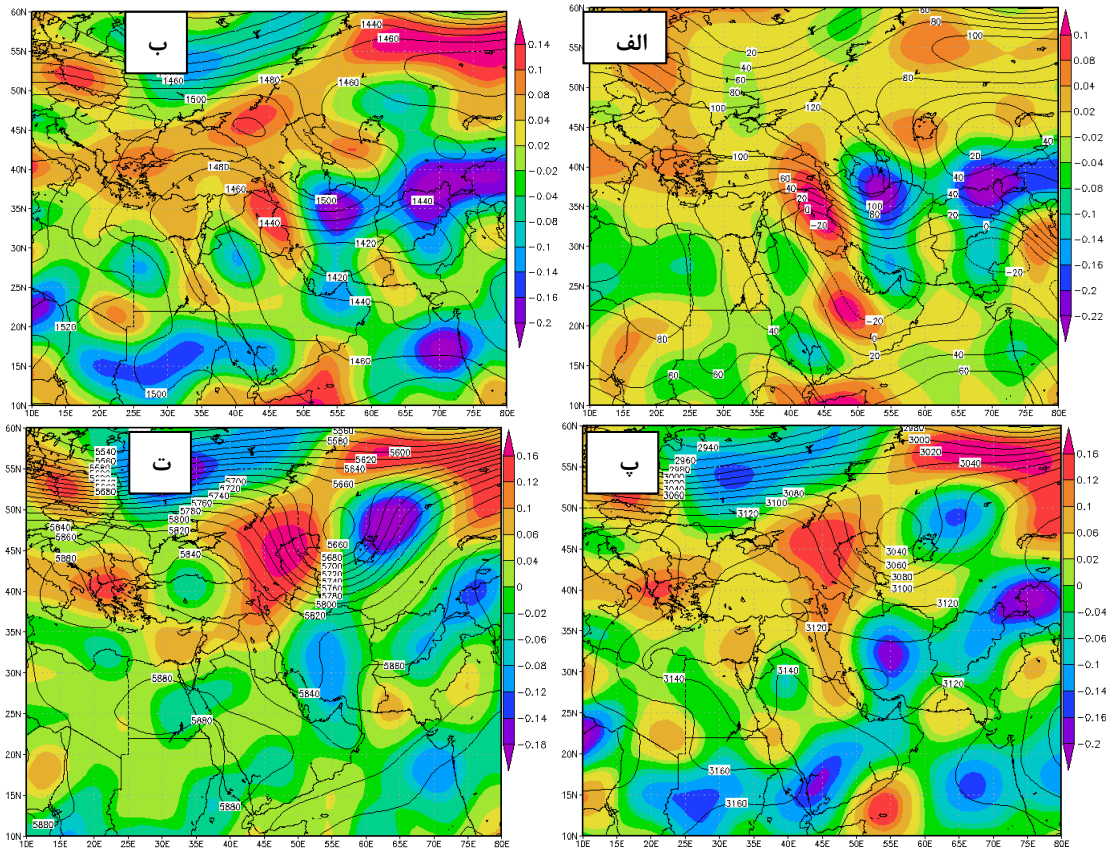
در این روز با حرکت جنوب سوی پرفشاری که روز قبل در شمال دریای سیاه واقع شده بود در این روز تا غرب خزر پایین آمده است و زبان‌های آن تا جنوب زاگرس گسترش یافته است و کم‌فشار مستقر در نیمه غربی ایران با مرکز بسته ۹۹۶ هکتوپاسکال اندکی به سمت شمال حرکت کرده و جریان‌های جنوبی آن نیمه غربی و شمال غربی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. فشردگی خطوط هم‌فشار حاکی از شیو شدید فشاری و دمایی و تقویت شرایط جبهه‌ای، ناپایداری و اغتشاشات قوی را در استان‌های شمال غرب، غرب و مرکز ایران می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه فشار تراز دریا در روز ۲۹ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

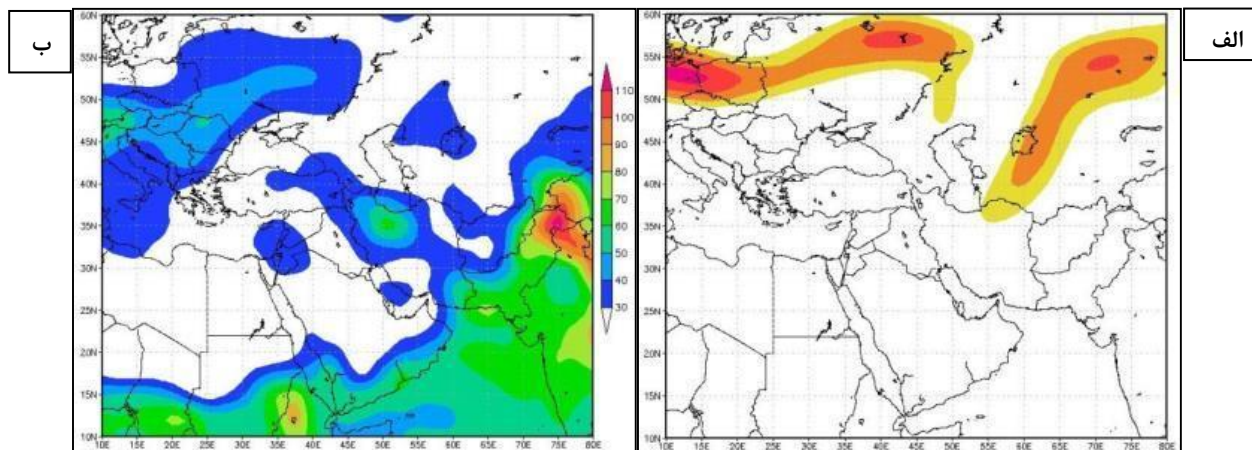
شکل ۶ نقشه‌های امگا را برحسب پاسکال بر ثانیه در ترازهای ۴ گانه در روز ۲۹ تیر نشان می‌دهد. با توجه به نقشه امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، هسته امگای منفی با  $-۰,۲۲$  پاسکال بر ثانیه به سمت جنوب شرق دریای خزر جابه‌جاشده است منتهی در این روز با گسترده‌تر شدم میدان امگای منفی بیشتر کشور را در بر گرفته است؛ که حاکی از واگرایی شدید به‌ویژه در نواحی شمالی و شمال غرب کشور می‌باشد. نکته جالب توجه استقرار هسته بیشینه امگای منفی و شدیدتر بودن آن در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نسبت به ترازهای بالاتر (۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال) بر روی منطقه مورد مطالعه است. این در حالی است که در سطوح فوقانی (۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال) هسته بیشینه امگای منفی به سمت جنوب منطقه کشیده شده است و با کاهش در مقدار واگرایی و صعود هوا مواجه شده است. مجموع شرایط مذکور بیانگر مهیا بودن شرایط برای صعود هوا و تقویت همرفت بر روی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.





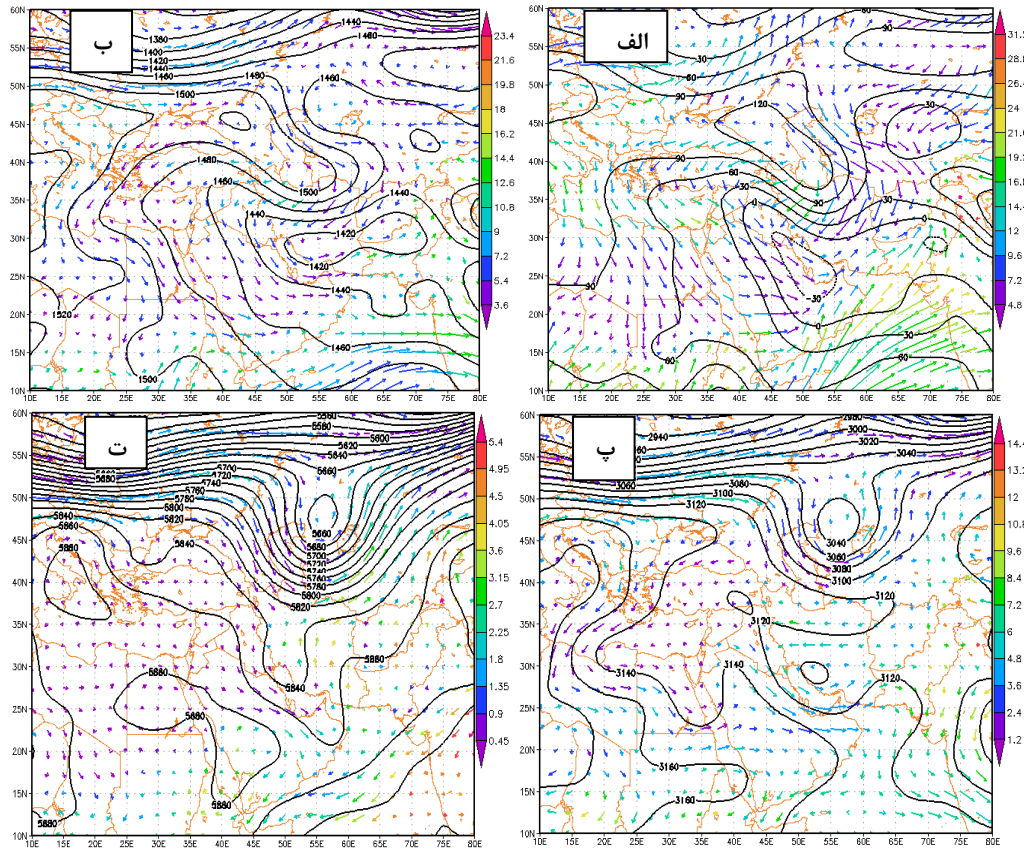
شکل ۶: نقشه‌های امگا برحسب پاسکال بر ثانیه در ترازهای الف: ۱۰۰۰، ب: ۸۵۰، پ: ۷۰۰ هکتوپاسکال، ت: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۹ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

در این روز هسته رود باد با سرعت بیش از ۴۰ متر بر ثانیه بر روی آسیای مرکزی قرار گرفته است که منطبق بر نقشه‌های ارتفاع ژئو پتانسیل بر روی جلوی فرود واقع شده است. در واقع تأثیر رود باد به صورت غیرمستقیم و با قرارگیری در جلوی فرود موجب واگرایی هوای ترازهای زیرین و در نتیجه تقویت شدت همرفت شده است (شکل ۷-الف). با توجه به شکل ۷-ب نقشه‌ی مجموع رطوبت جوی ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال. در روز ۲۹ تیر ماه هسته بیشینه رطوبت ضمن اندکی کاهش نسبت به روز قبل و نفوذ به عرض‌های پایین‌تر با بیش از ۶۰ گرم بر کیلوگرم بر روی استان قزوین و تهران و مناطق مرکزی کشور مستقر شده است. روند گسترش رطوبت بر روی منطقه مورد مطالعه با راستای جنوب‌شرقی - شمال غربی از شبه‌جزیره هند با گذر از دریای عمان و عرب صورت گرفته است و در مقابل در عرض‌های شمالی دریای سیاه و خزر نیز منطبق با نقشه‌های فشار تراز دریا و ارتفاع، با عبور جریان‌های از روی دریای سیاه و خزر، رطوبت این مناطق به سمت سرزمین مورد پژوهش فرا رفت شده است.



شکل ۷: الف: نقشه رود باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال، ب: نقشه مجموع رطوبت جوی تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۹ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

شکل ۸ نقشه‌های وزش رطوبتی را در ترازهای ۴ گانه در روز ۲۹ تیر ۹۴ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۰-الف ملاحظه می‌شود که در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با گسترش سامانه پرفشار غرب دریای خزر به سمت عرض‌های پایین‌تر، شدت وزش رطوبتی در استان‌های مرکزی و شمال‌غربی کشور بیشتر شده است و با گردش ساعت‌گرد پرفشار شمالی و پاد ساعت‌گرد کم‌فشار واقع در نیمه غربی ایران باعث همسویی شدید جریان‌های رطوبتی با سمت شمال‌شرقی بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز با کشیده شدن پر ارتفاع شرق دریای سیاه با فشار مرکزی ۱۵۲۰ ژئو پتانسیل متر تا مناطق مرکزی ایران، ضمن فشردگی خطوط هم‌ارتفاع باعث شمالی شدن جریان‌های فرا رفت رطوبتی بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز به علت نفوذ شرقی-غربی کم ارتفاع با مرکز بسته ۳۱۰۰ ژئو پتانسیل متر بر روی جنوب ایران، با وزش پاد ساعت‌گرد، رطوبت دریاهای جنوبی را با جهت شرقی فرا رفت کرده است؛ اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با یک‌پارچه شدن ناوه بر روی ایران با مرکز بسته ۵۶۶۰ ژئو پتانسیل متر در شمال دریای خزر و گسترش شمالی-جنوبی آن تا شرق عربستان، موجب جنوبی شدن جریان‌های گرم و مرطوب از سمت منابع آبی عمان، خلیج فارس و عرب شده است. در این تراز خلیج فارس و دریای عمان نقش اصلی تأمین رطوبت را ایفا می‌کنند و قرارگیری مرکز بسته پر ارتفاع با ۵۸۸۰ ژئو پتانسیل متر بر روی عربستان، باعث عدم انتقال رطوبت از دریای سرخ و خلیج عدن به طرف ایران شده است.

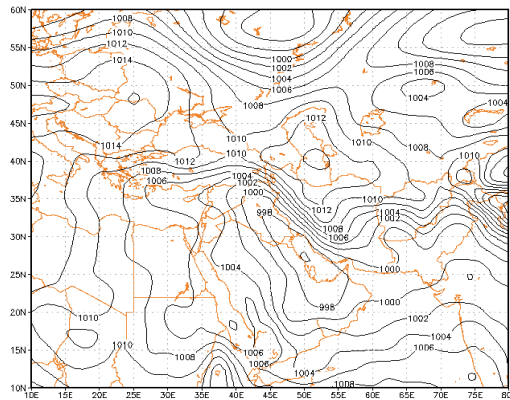


شکل ۸: نقشه‌های وزش رطوبتی برحسب گرم بر کیلوگرم در ثانیه در ترازهای الف: ۱۰۰۰، ب: ۸۵۰، پ: ۷۰۰، ت: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۹ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

### تحلیل هم‌دیدگی و ترمودینامیکی ۳۰ تیر ۹۴

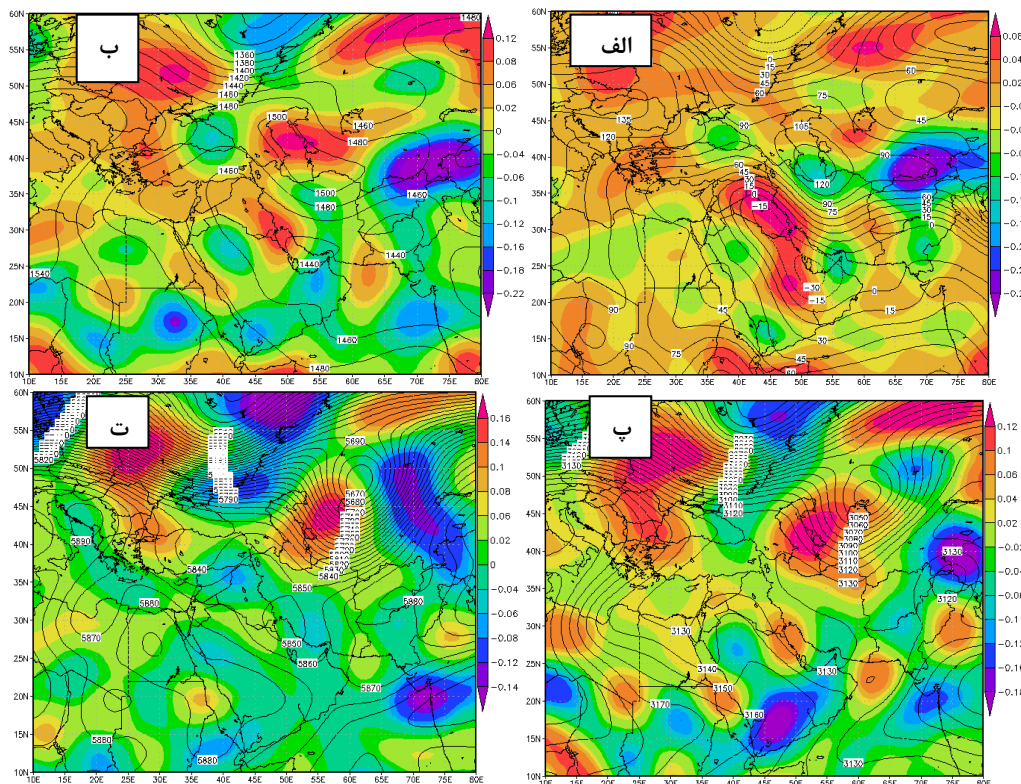
نقشه‌ی فشار تراز دریا در روز پایان بارش نشان‌دهنده‌ی آن است که هسته‌ی کم فشار پاکستان-خلیج فارس در همان موقعیت غرب خلیج فارس با فشار مرکزی ۹۹۶ هکتوپاسکال اندکی به سمت غرب متمایل شده است همچنین پرفشار دریای سیاه نیز شرق سو شده و مرکز آن درروی خزر واقع شده است و زبانه‌های این پرفشار گسترش بیشتری پیدا کرده و بیشتر ایران را در بر گرفته است. این جابه‌جایی شیو شدید فشار را در مناطق غربی کشور به وجود آورده است. درواقع چرخش چرخندی سامانه‌ی پاکستان-خلیج فارس به کمک چرخش و اچرخندی زبانه‌های نفوذی پرفشار سرد مهاجر در نیمه غربی و مرکزی ایران تقویت شده است. با این تغییرات مراکز فشاری، ناپایداری و سیلاب‌ها نیز به غرب ایران و استان‌های لرستان و چهارمحال و بختیاری رسیده است؛ و از شدت بارش‌ها در مناطق شمالی کشور کاسته شده است.





شکل ۹: نقشه فشار تراز در روز ۳۰ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

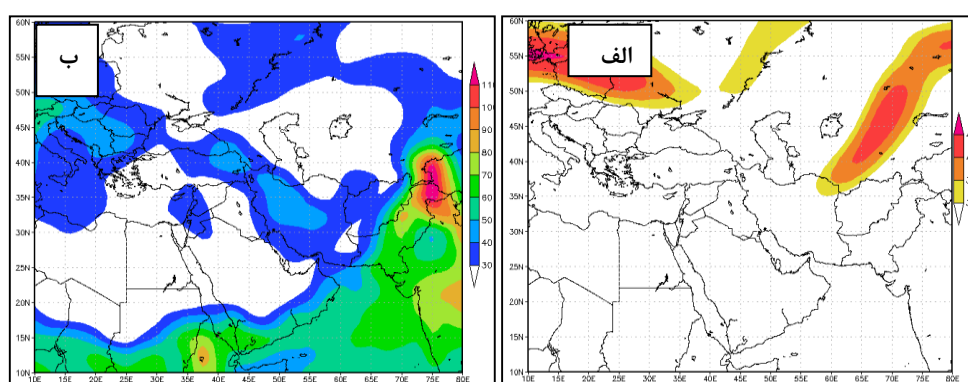
با توجه به نقشه‌های ترکیبی امگا و ارتفاع (شکل ۱۰) در نقشه‌های تراز ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال نیمه غربی کشور در این روز بین دو کانون امگای منفی در شمال و امگای مثبت در غرب ایران قرار گرفته است؛ اما در ترازهای بالاتر هسته‌ی بیشینه‌ی مقادیر امگای منفی در منطقه‌ی غرب و جنوب کشور مستقر شده است. با توجه به شکل زیر مراکز بیشینه امگای منفی ضمن ضعیف‌تر شدن به مناطق مرکزی و جنوب‌غربی کشور جابه‌جاشده است که منطبق با آن از میزان بارش نیز کاسته شده است. با غرب سو شدن کم فشار پاکستان-خلیج فارس و نفوذ بیشتر پر ارتفاع بر روی کشور و در ترازهای بالاتر با شرق سو شدن کم ارتفاع شمال خزر با دو محور ناوه، موجب تضعیف موج بارشی و محدود شدن بارش‌ها به نواحی غربی کشور شده است.



شکل ۱۰: نقشه‌های امگا برحسب پاسکال بر ثانیه در ترازهای الف: ۱۰۰۰، ب: ۸۵۰، پ: ۷۰۰ هکتوپاسکال، ت: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۳۰ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)



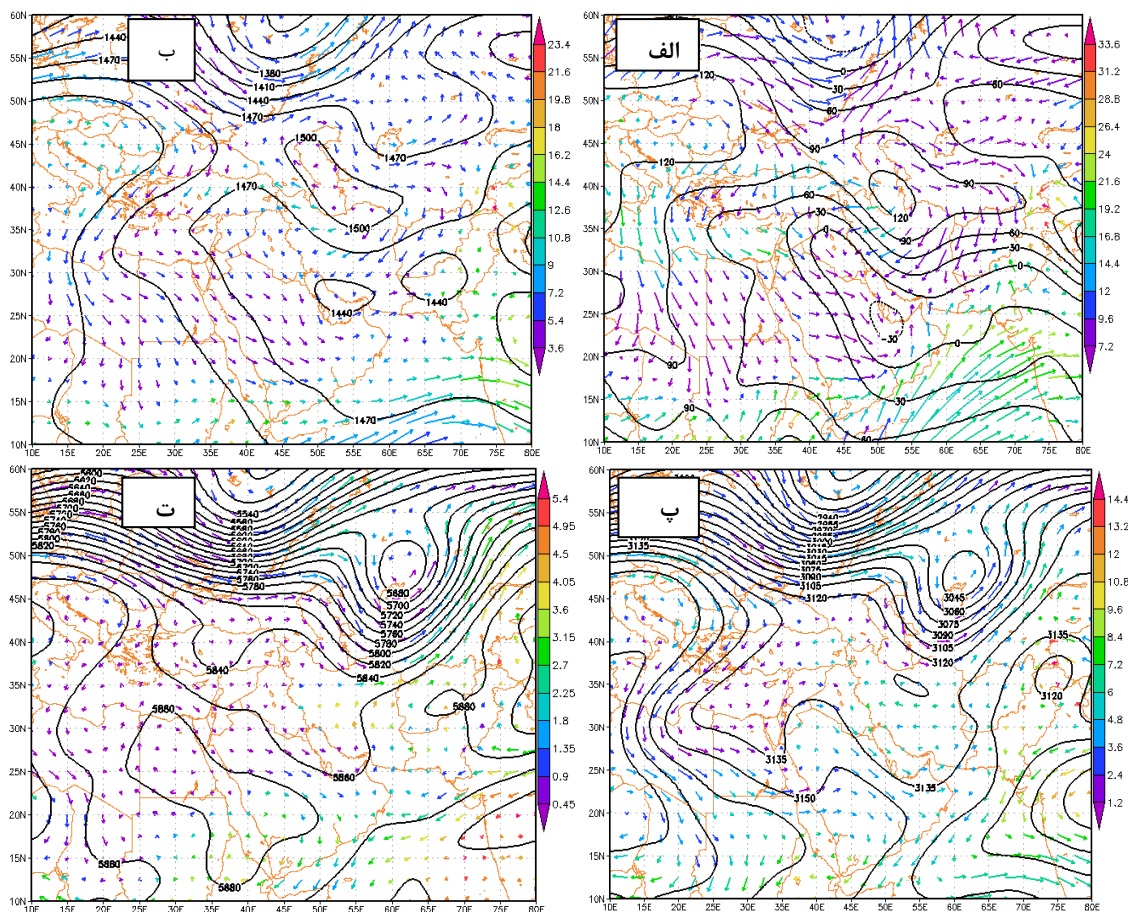
با توجه به نقشه رود باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال شکل ۱۱-الف ملاحظه می‌شود که با حرکت روبه شرق ناوه، رود باد نیز منطبق با آن شرق سو شده است و اثری از آن بر روی ایران دیده نمی‌شود. شکل ۱۱-ب نقشه مجموع رطوبت جوی را در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد، همان‌طور که مشخص است بیشینه رطوبت بر روی ایران در مناطق مرکزی و غربی کشور مستقر است که با جهت شمال غربی- جنوب شرقی فرا رفت شده است که نقش دریای سیاه و خزر را در تأمین رطوبت به‌ویژه در ترازهای پایین جو نشان می‌دهد. انطباق نقشه‌های مجموع رطوبت تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های وزش رطوبتی گویای آن است که بیشترین حجم رطوبتی در ترازهای زیرین جو و از سمت منابع آبی خزر و سیاه فرا رفت شده است



شکل ۱۱: الف: نقشه رود باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال، ب: نقشه مجموع رطوبت جوی تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۳۰ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

شکل ۱۲ نقشه‌های ترکیبی ارتفاع و وزش رطوبتی را در ترازهای ۴ گانه در روز ۳۰ تیر ۹۴ نشان می‌دهد. با توجه به نقشه وزش رطوبتی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، مرکز پر ارتفاع با ۱۲۵ ژئو پتانسیل متر در این روز بر روی دریای خزر واقع شده است و هم‌زمان سامانه کم ارتفاع با همان موقعیت روزهای گذشته در جنوب خلیج فارس و جنوب غرب کشور بسته شده است. گردش ساعت‌گرد پر ارتفاع مستقر بر روی دریای خزر با راستای شمال شرقی - جنوب غربی رطوبت را بر روی مناطق غربی و مرکزی ایران منتقل می‌کند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، مرکز پر ارتفاع ۱۵۰۰ ژئو پتانسیل متر حرکتی جنوب شرقی داشته و بر روی نیمه شمالی ایران قرار گرفته است و کم ارتفاع جنوب ایران با افزایش ارتفاع با پربند ۱۴۴۰ ژئو پتانسیل متر بر روی خلیج فارس که نیمه جنوبی ایران را فرا گرفته است و سبب شیو شدید فشار و افزایش سرعت باد شده است. جهت وزش رطوبت مطابق روزهای قبل با گردش ساعت‌گرد هماهنگ با پر ارتفاع شمالی، با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی بر روی نیمه غربی ایران فرا رفت شده است در این روز هسته بارش‌ها در استان لرستان و اصفهان قرار دارد. در نقشه وزش رطوبتی و ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مرکز کم ارتفاع با ۳۰۴۵ ژئو پتانسیل متر به سمت عرض‌های بالا جابه‌جاشده است و ضمن افزایش ارتفاع از عمق آن نیز کاسته شده است و حد جنوبی این کم ارتفاع با پربند ۳۱۳۵ ژئو پتانسیل متر تا جنوب خلیج فارس نفوذ کرده است. همان‌طور که دیده می‌شود خلیج فارس و

دریای عمان نقش اصلی فرا رفت رطوبت را بر روی ایران بر عهده دارند؛ و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منطبق با تغییر محور ناوه بر روی ایران راستایی شمال شرقی - جنوب غربی را شکل داده است که مرکز ثانویه کم ارتفاع با ۵۸۶۰ ژئو پتانسیل متر در جنوب غرب کشور با گردشی پاد ساعت گرد رطوبت دریای عمان را فرا رفت کرده است. در واقع با تغییر سامانه‌ها از کم ارتفاع پاکستان و پر ارتفاع سیاه در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال به ناوه یکپارچه در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال جهت وزش رطوبت نیز از سیاه و خزر به خلیج فارس، عمان و شمال دریای عرب متغیر شده است.



شکل ۱۲: نقشه‌های وزش رطوبتی برحسب گرم بر کیلوگرم در ثانیه در ترازهای الف: ۱۰۰۰، ب: ۸۵۰، پ: ۷۰۰، ت: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۳۰ تیر ۹۴ (منبع نگارندگان)

## شاخص‌های ناپایداری

واکاوی نمودار اس کیوتی و شاخص‌های ناپایداری ایستگاه مهرآباد تهران در روزهای موج بارشی تیر ماه ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. در روز اوج توفان تندری ۲۸ تیر ماه بیشتر شاخص‌ها که مؤلفه‌هایی همچون تغییرات فشار، نوسان در جهت و سرعت باد، انرژی پتانسیل همگرایی، شدت صعود و واگرایی، تغییرات دمایی و دیگر پارامترها را نشان می‌دهد، شدت توفان تندری را متوسط نشان داده است؛ اما در روزهای ۲۹ و ۳۰ تیرماه به ترتیب از شدت شاخص‌های ذکر شده کاسته شده است؛ و شدت توفان تندری را توسط نرم‌افزار RAOB در طبقه‌ی ضعیف قرار داده است. در بررسی مقادیر ابرناکی

در خروجی نرم افزار نیز مقادیر ابرناکی در روز اول از تراز ۷۵۰ تا حدود ۴۰۰ هکتوپاسکالی به صورت ممتد ادامه داشته است؛ اما در روز ۲۹ تیر ماه مقادیر ابرناکی در تراز ۷۰۰ تا ۶۰۰ هکتوپاسکال دیده می شود؛ و در روز آخر نیز ضمن کاهش شدت و تداوم ابر در ترازهای جوی، ارتفاع پایه ابر نیز به بالاتر از تراز ۳۰۰ هکتوپاسکالی افزایش یافته است. همچنین در روز ۳۰ تیر ماه چند وارونگی دمایی از نوع فرونشینی در تراز زیرین، میانی و بالای جو در ایستگاه مهرآباد حاکم شده است که نشان از تضعیف کامل توفان تندی و شدت ناپایداری در این روز در نیمه شمالی کشور می باشد.

**جدول ۳:** اندازه شاخص های توفان تندی برای ایستگاه مهرآباد تهران در روزهای موج بارش تیر ماه ۱۳۹۴ بر اساس آستانه های نرم افزار

RAOB (منبع نگارندگان)

شاخص	۲۸ تیر	۲۹ تیر	۳۰ تیر
CAPE Total	۴۴۵ ض	۸۱ ض	۵ ض
CT - Cross Totals	۱۸,۳ م	۱۹,۹ م	۱۵,۳ ض
JI - Jefferson Index	۳۱ ق	۳۰ م	۲۷ م
K Index	۳۶,۵ ق	۳۲,۹ م	۳۰,۳ م
KO Index	۴,۴ ق	۷,۷ ق	۶,۸ ق
LI - Lifted Index	۳,۳ م	۰,۸ ض	۲,۶ ض
SI - Showalter Index	۱,۸ -	۰,۰ م	۳ م
SWEAT Index	۲۰۷,۴ ض	۱۸۴ ض	۱۲۸ ض
TQ Index	۱۶ م	۱۶ م	۱۸ ق
TT - Total Totals	۵۱,۶ م	۴۵,۸ م	۴۲,۶ ض
VGP - Vorticity Generation Parameter	۰,۲۴۳ م	۰,۰۹۶ ض	۰,۰۱۱ ض
VT - Vertical Totals	۳۳,۳ ق	۲۵,۹ م	۲۷,۳ ق
Maximum Vertical Velocity(MVV)	۳۰ م	۱۳ ض	۳ ض

توضیح: ق: قوی، م: متوسط، ض: ضعیف

## نتیجه گیری

در این پژوهش به واکاوی همدیدی و ترمودینامیکی سامانه های موجب رخداد بارش های رگباری و مخرب ۲۸ تا ۳۱ تیر ۹۴ در مناطق شمالی، مرکزی و غربی کشور پرداخته شده است. نتایج نشان داد که در زمان اوج توفان در ۲۸ و ۲۹ تیر در استان البرز و مازندران در سطح زمین با گسترش پرفشار دریای سیاه با عبور از خزر و نفوذ هوای سرد شمالی بر روی دریا و در تراز میانی جو با قرارگیری در عقب ناوه سبب رخداد بارش های سیل آسا در نوار شمالی شده است. و در روزهای ۳۰ و ۳۱ تیر آخرین روز بارش، با کشیده شدن هسته های بارش ها به عرض های پایین تر واقع در مرکز، غرب و جنوب کشور، پرفشار دریای سیاه بانفوذ بیشتر بر روی ایران و شمالی شدن جریان ها و استقرار کم فشار حرارتی در نیمه جنوبی کشور موجب شیو شدید فشار و در تراز میانی نیز با قرارگیری کم ارتفاع عمیق بر روی مرکز و جنوب ایران و جنوبی شدن جریانات رطوبتی سبب رخداد بارش های سیل آسا شده است. واکاوی نقشه های ترکیبی وزش رطوبتی و ارتفاع نشان داد، کم ارتفاع نفوذی از شبه جزیره هند به دلیل قدرت و رشد بیشتر در روزهای ۲۸ و ۲۹ تیر تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز گسترش یافته است به نحوی که عمیق شدن ناوه جنوب روسیه بر روی ایران تنها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به بالا

شکل گرفته است. نقشه مجموع رطوبت ویژه ترازهای جوی تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در روزهای اوج توفان مخرب یعنی ۲۸ و ۲۹ تیر ۹۴ با حداکثر رطوبت ویژه به میزان ۷۰ گرم بر کیلوگرم بر روی جنوب غربی خزر و نوار شمالی کشور مستقر بوده و در روزهای بعد نیز منطبق بر هسته بارش‌ها بر روی مناطق جنوبی‌تر گسترش یافته است. در تحلیل نقشه‌های وزش رطوبتی بارش‌ها در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، به سبب نفوذ پر ارتفاع دریای سیاه بر روی نیمه شمالی کشور، منابع عمده تأمین رطوبت دریای سیاه و خزر می‌باشند اما در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ با گسترش بیشتر کم ارتفاع جنوبی و عمیق شدن ناوه، دریای عمان، عرب و جریان‌های مستقر در شبه جزیره هند تقویت و تأمین رطوبت بارش‌های مناطق شمالی به ویژه مرکز و غرب ایران را بر عهده داشته‌اند. در روز آخر موج بارش با حرکت شرق سو و کاهش شدید عمق ناوه، ضعیف و شمال سو بودن پرفشار واقع بر روی دریای سیاه و خزر، سبب کاهش ناپایداری و قطع بارش‌ها در بیشتر مناطق مورد مطالعه شده است. بررسی شاخص‌های ناپایداری با استفاده از نرم‌افزار RAOB در روزهای رخداد موج بارشی نشان داد که بیشترین قدرت توفان تندی در روز اول بارش یعنی ۲۸ تیر ماه ۹۴ بوده است که شدت آن را متوسط نشان داده است اما در روزهای بعد توفان تندی تضعیف و با قطع بارش‌ها در بیشتر ایستگاه‌های شمالی کشور همراه شده است. پژوهش‌های که به واکاوی علل رخداد بارش‌های سنگین در ایران پرداخته‌اند، به عوامل جوی مختلفی اشاره کرده‌اند. شکل‌گیری الگوی پرفشار باختر روسیه و فرود عربستان-عراق (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶، ۳)، شکل‌گیری الگوی پرفشاری دریای سیاه تا جنوب خاوری ایران و کم‌فشار عراق (مسعودیان و محمدی، ۱۳۸۸، ۱۹) هنگام رخداد بارش‌های سنگین در گستره ایران، نقش سرد چال‌ها در رخداد بارش‌های سنگین جنوب غرب و مرکز ایران (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۹)، شکل‌گیری الگوی سودانی هنگام رخداد بارش‌های شمال شرقی ایران (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۸۹) و بارش‌های استان بوشهر (گندم‌کار، ۱۳۸۹)، اثر سامانه بندالی در ایجاد بارش‌های شدید شمال غرب ایران (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۱۷) و لشکری (۱۳۸۱) تأثیر الگوی سودانی و ادغامی در رخداد بارش‌های منطقه جنوب و جنوب غرب از جمله نتایج پژوهش‌های انجام شده. در حالی که در این پژوهش مشخص شد نفوذ هم‌زمان کم فشار گرم پاکستان-خلیج فارس و پرفشار سرد مهاجر اروپایی توانسته است موج بارشی مخاطره‌آمیز فوق سنگین، فراگیر و چند روزه‌ای را در بیشتر مناطق شمالی، شمال غرب و غرب کشور ایجاد کند.

## منابع

- ۱- احمدی، اسماعیل و بهلول علیجانی. (۱۳۹۳): شناسایی الگوهای همدیدی بارش‌های سنگین ساحل شمالی خلیج فارس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۳: ۲۹۶-۲۷۵.
- ۲- امیدوار، کمال. (۱۳۸۶): تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹: ۹۸-۸۱.

- ۳- امیدوار؛ کمال، فرشاد صفر پور، مهدی محمودآبادی، سعید الفتی. (۱۳۸۹): تحلیل همیدید اثرهای سرد چال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی مرکز و جنوب غرب ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۶۸: ۱۶۱-۱۸۹.
- ۴- احمدی، محمود و فرزانه جعفری. (۱۳۹۴): واکاوی بارش فوق سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ مولد سیلاب مخرب در شهرستان بندرعباس، دانش مخاطرات، ۲(۳): ۳۲۴-۳۰۷.
- ۵- براتی، غلامرضا؛ محمد مرادی، رقیه سلیمی. (۱۳۹۴): واکاوی همیدید بارش‌های سنگین بهاره استان زنجان، فصل‌نامه مخاطرات محیط طبیعی، ۴(۶): ۷۷-۸۸.
- ۶- حمیدیان پور؛ محسن، بهلول علیجانی، علیرضا صادقی. (۱۳۸۹): شناسایی الگوهای همیدیدی بارش‌های شدید شمال شرق ایران، مطالعه جغرافیایی مناطق خشک، ۱: ۱-۱۶.
- ۷- خوش‌اخلاق؛ فرامرزی، رضا صفایی راد، داود سلمانی. (۱۳۹۳): واکاوی همیدید رخداد سیلاب آبان ماه ۱۳۹۰ در شهرستان بهبهان و لیکک، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴(۴۶): ۵۲۴-۵۰۹.
- ۸- سبزی پرور، علی‌اکبر. (۱۳۷۰): بررسی ایران، به راهنمایی: محمد خیراندیش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه تهران، موسسه ژئوفیزیک.
- ۹- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۱): آب و هواشناسی سینوپتیکی؛ چاپ اول؛ نشر سمت؛ تهران، ص ۲۸۵.
- ۱۰- عسگری؛ احمد، فاطمه رحیم زاده، نوشین محمدیان، ابراهیم فتاحی. (۱۳۸۶): تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران، تحقیقات منابع آب، ۳: ۴۲-۵۵.
- ۱۱- عزیزی؛ قاسم، محسن سلطانی، علی حنفی، عباس رنجبر، ابراهیم میرزایی. (۱۳۹۰): تحلیل اثر سامانه بلوکی‌نگ در ایجاد بارش‌های شدید (مطالعه موردی بارش‌های شدید ۴ تا ۷ آبان ماه ۱۳۸۷ شمال غرب ایران)، تحقیقات جغرافیایی، ۱۰۳: ۱۱۷-۱۴۸.
- ۱۲- کرمی، فریبا؛ شیرواند، هنگامه، درگاهیان، فاطمه. (۱۳۸۹): بررسی الگوی سینوپتیکی سیل بهمن ۱۳۸۴ شهرستان پلدختر. فصل‌نامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوم. شماره ۴: ۹۹-۱۰۶.
- ۱۳- کارساز، سکینه و سید ابوالفضل مسعودیان. (۱۳۹۳): تحلیل همیدید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی، جغرافیا و توسعه، ۳۷: ۲۷-۱۵.
- ۱۴- گندمکار، امیر. (۱۳۸۹): بررسی همیدید بارش شدید روزهای سوم و چهارم اردیبهشت سال ۱۳۸۹، مجموعه مقالات همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی، لرستان، دانشگاه آزاد اسلامی.
- ۱۵- لشکری، حسن. (۱۳۸۱): مسیریابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲: ۱۴۲-۱۸۰.
- ۱۶- لشکری، حسن. (۱۳۸۲): مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶.
- ۱۷- مرادی، حمیدرضا. (۱۳۸۵): پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها بر اساس موقعیت سینوپتیکی در سال جنوبی دریای خزر، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵: ۱۳۱-۱۰۹.
- ۱۸- مفیدی، عباس. (۱۳۸۳): اقلیم‌شناسی همیدیدی بارش‌های سیل زا با منشأ منطقه دریای سرخ در خاورمیانه؛ فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی؛ شماره ۷۵: ۲۵-۵۱.
- ۱۹- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر. (۱۳۸۴): بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل زا در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۳۶: ۷۷-۱۱۳.
- ۲۰- مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۴): شناسایی الگوهای گردشی پدیدآورنده سیلاب‌های بزرگ در کارون، جغرافیا و توسعه، شماره ۵: ۱۸۲-۱۶۱.
- ۲۱- محمدی، بختیار؛ مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۸): تحلیل همیدید بارش‌های سنگین ایران، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹: ۷۰-۴۷.

- 23- Alijani, B. J. O'Brien, B. Yarnal. (2008): Spatial Analysis of Precipitation Intensity and Concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94: 107–124.
- 24- Akbari, T. Azizi, Gh. Asadi, A. Davodi, M. (2016): The Role of Blocking System in Heavy Precipitation of Iran (A Case Study: Southeast of Iran January 2008), *Arab J Geo Sic* 9: 591-606.
- 25- Barnes, G. M. (2010): Meteorological Hazards in The Tropics: Severe Convective Storms and Flash Floods. Chapter in *Tropical Meteorology, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* ([www.eolss.net](http://www.eolss.net)), Sponsored By The UNESCO, 109 pp.
- 26- Ch, Chen. (2011): Orographic Effects on Localized Heavy Rainfall Events Over Southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 During The Post-Mei-Yu Period. *Atmospheric Research*, 101:595–610.
- 27- Chen, C, S. Lin, C. Y. Chuang, Y. J. Yeh, H. C. (2001): A Study of Afternoon Heavy Rainfall in Taiwan During The Mei-yu Season, *Atmospheric Research*, No. 65:129-149.
- 28- C, hailstorm, Atmospheric Condition During Extreme and Non-Extreme Precipitation Events in Sweden. (2005): *International Journal of Climatology*, 25:631-648.
- 29- Koji Nishiyama, Schneider, S. Ch, Chen, (2007): Identification of Typical Synoptic Patterns Causing Heavy Rainfall in The Rainy Season in Japan By a Self-Organizing Map. *Atmospheric Research*, 83:185–200.
- 30- Kömüscü, A. Ü. & Çelik, S. (2013): Analysis of The Marmara Flood in Turkey, 7–10 September 2009: An Assessment From Hydro Meteorological Perspective. *Natural Hazards*, 66(2): 781-808.
- 31- M, Jessen, (2005): Analysis of Heavy Rainfall Events in North Rhine–Westphalia With Radar and Rain Gauge Data, *Atmospheric Research*, 77:337–346.
- 32- [www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded).