

تحلیل همدیدی اثرهای سردچال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی مرکز و جنوب غرب ایران

کمال امیدوار^{۱*}، فرشاد صفرپور^۲، مهدی محمودآبادی^۳، سعید الفتی^۴

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

دریافت: ۸۸ / ۱۱ / ۳

پذیرش: ۸۹ / ۸ / ۱۲

چکیده

در این تحقیق، تأثیر سردچال‌ها را بر وقوع بارش‌های شدید در نواحی جنوب غرب و مرکز ایران، بررسی کرده‌ایم. بدین منظور، نخست پنج مورد از وقوع سردچال را از مرکز پیش‌بینی سازمان هواشناسی استخراج کردیم و سپس به دلیل اختصار، موردی را که دارای بیشترین تأثیر در بارش منطقه مورد مطالعه بود (نهم تا سیزدهم آذر ۱۳۸۷)، بررسی و تحلیل کردیم. بدین منظور، ۲۱ ایستگاه هواشناسی واقع در جنوب غرب و مرکز ایران را برگزیدیم. برای تحلیل این پدیده از آمار بارش روزانه ایستگاه‌های واقع در جنوب غرب و مرکز کشور و همچنین نقشه‌های سطح دریا و سطوح ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال استفاده کرده‌ایم. پس از بررسی موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه، نقشه‌های هوا و داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه را به کار گرفتیم؛ همچنین برای تعیین شدت ناپایداری‌ها، شاخص‌های ناپایداری Si و Ki را در ایستگاه‌های شیراز و اهواز بررسی کرده‌ایم. آرایش الگوی همدیدی و روند آن در نقشه‌های هوا طی یک دوره انتخابی پنج‌روزه بررسی شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که عامل اصلی ایجاد بارش‌های شدید در منطقه مورد مطالعه، نفوذ و استقرار سامانه پرفشار سیبری و تشکیل سردچالی وسیع بر روی جنوب دریای خزر و مرکز ایران بوده است. در همین زمان، سامانه‌های ناپایدار غربی در برخورد با این سردچال، تغییرمسیر داده و به سمت عرض‌های پایین‌تر منتقل شده‌اند؛ در نتیجه، سامانه‌های غربی با حرکت از روی آب‌های جنوبی کشور، رطوبت زیادی را کسب کرده و از سمت جنوب غرب به داخل کشور نفوذ کرده‌اند و در استان‌های جنوب غربی و مرکزی، بارش‌های قابل توجهی را پدید آورده‌اند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل همدید، سردچال، بارش، نواحی مرکزی، جنوب غرب، ایران.



۱- مقدمه

کشور ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، از آب و هوای متنوعی برخوردار است. بارش‌های سالانه اندک با نوسان‌های شدید، رگباری و کوتاه‌مدت بودن، از ویژگی‌های بارز رژیم بارش‌ها در ایران است (علیجانی، ۱۳۸۱: ۲). به علت نوسان‌های آب و هوایی و همچنین اهمیت منطقه‌های جنوب غرب و مرکز کشور از لحاظ کشاورزی و داشتن رودخانه‌ها و سرشاخه‌های مهم، شناسایی چگونگی و سازوکار بارش‌ها در این منطقه‌ها ضروری است.

سردچال یا کم‌فشار بریده^۱، فرودی است که در شاخص مداری از جریان اصلی بادهای غربی بریده شده و به صورت یک کم‌ارتفاع پر از هوای سرد، در منطقه گرم جنوب بادهای غربی قرار می‌گیرد و ناپایداری ایجاد می‌کند. سردچال، مانند موج‌های کوتاه در ناحیه زیرین خود ناپایداری به وجود می‌آورد و چون بیشتر اوقات، در یک منطقه ساکن می‌ماند، به بارش‌های درازمدت منجر می‌شود (کاوینانی و علیجانی، ۱۳۷۹: ۳۰۱). در ایران، این پدیده‌ها به ندرت ایجاد می‌شود؛ ولی در صورت وقوع، بارش‌های زیادی را همراه دارد.

درباره تأثیر گردش‌های جوی بر وقوع بارش و الگوهای آن در منطقه‌های مختلف جهان، مطالعات زیادی انجام شده است: فایرس (۱۹۸۸: ۹۹-۱۱۹) نوع آب و هوا را با استفاده از بارش روزانه ماه ژانویه در دریاچه چارلز لویز تحلیل همدیدی کرده است؛ کیبلس (۱۹۸۹: ۱۲۸۹-۱۲۹۴) با استفاده از نقشه‌های سطح هفت صد هکتوپاسکال، توزیع حداکثر بارش را طی ماه‌های ژوئن و سپتامبر در منطقه بی‌مودال بررسی کرده است؛ بلترامدو و کمبرلین (۱۹۹۳: ۵۳۳-۵۴۶) ارتباط گردش‌های جوی و تغییر در بارش‌های سالانه را در منطقه سومالی مطالعه کرده‌اند و بین این بارش‌ها و فشار در روی اقیانوس هند، همبستگی مثبتی دریافته‌اند؛ وانگ و همکاران (۲۰۰۹: ۴۷۹-۴۷۱) تغییرهای سیکلون‌های برون حاره را در آسیای شمال شرقی با استفاده از الگوهای سینوپتیک بررسی کرده‌اند؛ همچنین دلدن و همکاران (۲۰۰۱: ۸۹-۱۱۰) با توجه به الگوهای سینوپتیک، وضعیت سینوپتیک طوفان‌های تندی را در غرب اروپا بررسی کرده‌اند؛ هومار و همکاران (۲۰۰۱: ۳۱-۵۵) همدیدی و متوسط مقیاس رخداد ترنادو را در جزایر باله‌آریک

1. Cut-off Low

شناسایی کرده‌اند؛ کوداما و بارنز (۱۹۹۷: ۳۴۷-۳۶۷) حادثه بارش سنگین روی دامنه‌های جنوبی هاوایی را با استفاده از الگوهای سینوپتیک بررسی کردند و یوما (۱۹۹۸: ۸۹-۱۱۲) رخداد بارش سنگین در جنوب چین را با استفاده از الگوهای جوی مطالعه کرده است.

در حوزه بررسی همدیدی گردش‌های جوی و ارتباط آن با وقوع بارش در ایران می‌توان این پژوهش‌ها را نام برد: تأثیر نوسانات پرفشار جنب‌حاره‌ای در تغییر فصل ایران (حجازی‌زاده، ۱۳۷۲: ۳۵)، بلوکینگ و اثر آن بر بارش‌های ایران (عزیزی، ۱۳۷۵)، بررسی همدید نقش دریای سیاه بر بارش ایران (مفیدی، ۱۳۷۹) و بررسی پراکندگی مکانی و زمانی بارش ایران نسبت به عوامل همدید ایجادکننده آن (عربی، ۱۳۸۵: ۱۰-۱۵)؛ علاوه بر اینها خوشحال دستجردی (۱۳۷۶) الگوهای همدیدی-کلیماتولوژی بارش‌های بیش از صد میلی‌متر را در سواحل جنوبی دریای خزر بررسی و تحلیل کرده است؛ مفیدی و زرین (۱۳۸۴: ۱۱۳-۱۳۶) با بررسی الگوهای گردش ترازهای ۸۵۰، ۵۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ هکتوپاسکال و سطح زمین، الگوهای همدید هجده طوفان با منشأ سودانی را بررسی کردند؛ حبیبی (۱۳۸۵: ۶۹-۸۹) نیز نقش سامانه‌های بندالی در چرخندزایی روی دریای مدیترانه و اثر آنها را در سیل سال دوهزار میلادی در غرب ایران مطالعه کرده است.

هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر سردچال‌ها بر بارش‌های مناطق جنوب غرب و مرکز کشور و تعیین منابع و مسیر رطوبت این بارش‌ها طی سه سال اخیر (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹)، به‌ویژه آذر ۱۳۸۷، با استفاده از الگوهای جوی سطح زمین و تراز بالای جو می‌باشد (جدول ۱). در پژوهش حاضر، با ترسیم نقشه‌های همدید مربوط به متغیرهای مختلف داده‌های جو بالا، در زمان روی‌دادن بارش شدید در منطقه مورد مطالعه، کوشیده‌ایم عوامل پویا^۱ و دما پویای^۲ به‌وجودآورنده این رویداد را شناسایی و تبیین کنیم. گفتنی است که تأثیر پدیده سردچال بر بارش‌های مناطق جنوب غرب و مرکز ایران، کمتر بررسی شده و در این تحقیق، برای نخستین بار این پدیده را بررسی کرده‌ایم.

1. Dynamic
2. Thermodynamic



جدول ۱ بارش رخ داده در اثر پدیده سردچال در ایستگاه‌های جنوب غرب و مرکز کشور طی سه سال اخیر

ایستگاه	مجموع بارش در محدوده زمانی فعالیت سردچال (میلی‌متر)				
	۸۷/۹/۹ تا ۸۷/۹/۱۳	۸۷/۱۱/۱۱ تا ۸۷/ ۱۱/۱۴	۸۷/۱۲/۵ تا ۸۸/ ۱۲/۱۰	۸۸/۹/۱۸ تا ۸۸/۹/۲۲	۸۹/۲/۱۲ تا ۸۹/۲/۱۷
شیراز	۴/۹۲	۱۱/۴	۱۴/۴	۰/۵	۷/۳
ياسوج	۶۳/۷	۵۵/۴	۳۰	۷/۹	۲۶/۳
اهواز	۱۳/۸	۷/۱	۰/۱	۰/۵	۱/۴
رامهرمز	۳۱/۹	۱۲/۸	۱/۹	۰/۳	۱۳
آبادان	۲۸	۱۰/۱	۰/۲	۲/۵	۱/۲
مسجدسلیمان	۴۶/۷	۲۹/۷	۵/۱	۱۰/۱	۴۹
شهرکرد	۳۵/۵	۲۰/۶	۱۸/۸	۲/۲	۰/۴
کوه‌رنگ	۶۱/۴	۸۸/۱	۵۲/۸	۲۳	۴۵/۷
بروجن	۱۸/۲	۱۴	۹	۲/۶	۰/۱
بندر دیر	۱۴/۵	۰/۴	۰/۱	۱۴/۵	۰/۳
بوشهر	۳۱	۳/۱	۰/۱	۰	۰/۲
سمیرم	۳۴/۳۱	۳۳/۳	۳۱/۱	۱/۲	۲۴/۸
اقلید	۲۰/۸	۸/۹	۱۷/۷	۰	۷/۲
کرمان	۱۸/۵۱	۱	۴/۲	۱۳/۴	۱/۱
انار	۱۶/۴	۰	۰	۱/۲	۲
بافت	۱۳	۰	۲۸/۶	۶۲/۴	۲/۱
کاشان	۱۳/۵	۳/۳	۸/۱	۶/۱	۶/۵
یزد	۳۵/۴	۰/۲	۱	۳/۹	۰

۲- داده‌ها و روش‌شناسی

در این پژوهش‌ها، نخست وضعیت اقلیمی و نقشه‌برداری منطقه را بررسی کردیم و سپس براساس آن، برای داشتن پوششی نسبتاً کامل از بارش‌های منطقه و اطلاعات دقیق‌تر، ویژگی‌های بیشتر ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی را تهیه کردیم (جدول ۲ و شکل ۱). براساس بررسی‌های انجام‌شده از بین تاریخ‌های استخراج‌شده، وقوع پدیده سردچال، به‌دلیل بارش‌های قابل‌ملاحظه به‌ویژه در مناطق مرکزی و از تاریخ نهم تا سیزدهم آذر ۱۳۸۷ را بررسی و تحلیل کردیم. داده‌های

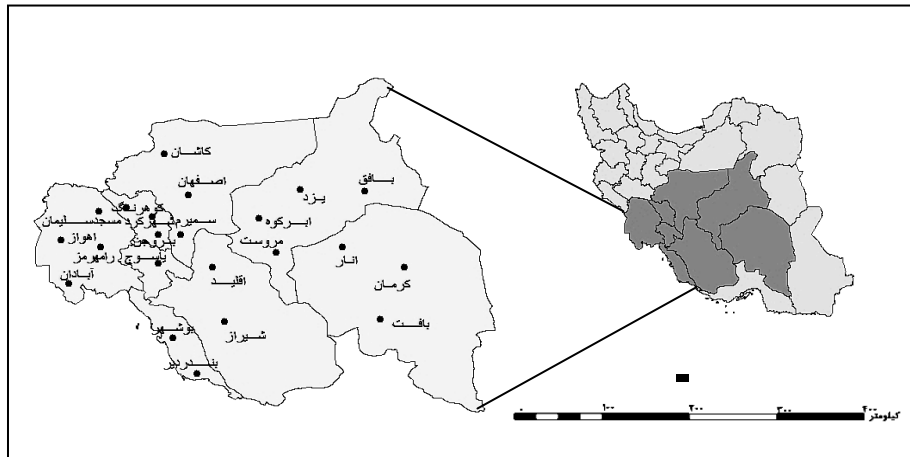
جوی لازم برای این پژوهش را از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR و آمار بارش را از سازمان هواشناسی تهیه کردیم؛ همچنین برای تحلیل الگوی همدیدی بارش، نقشه‌های وضع هوای سطح دریا و سطوح فوقانی جو (۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال) مرتبط با آن را در ساعت‌های صفر و دوازده به وقت گرینویچ، از یک روز قبل از وقوع بارش تا روزهای رخ دادن بارش، از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) استخراج و استفاده کردیم.

جدول ۲ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و میزان بارش ۲۴ ساعته در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول (شرقی)		عرض (شمالی)		بارش روز ۸۷/۹/۹	بارش روز ۸۷/۹/۱۰	بارش روز ۸۷/۹/۱۱	بارش روز ۸۷/۹/۱۲	بارش روز ۸۷/۹/۱۳	جمع بارش ایستگاه (میلیمتر)
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه						
شیراز	۱۴۸۴	۳۶	۵۲	۲۹	۳۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۴/۹	۰	۰	۴/۹۲
یاسوج	۱۸۳۱	۴۱	۵۱	۳۰	۵۰	۰	۱۰/۴	۵۳/۳	۰	۰	۶۳/۷
اهواز	۲۲/۵	۴۰	۴۸	۲۰	۳۱	۰/۱	۱۳/۴	۰/۳	۰	۰	۱۳/۸
رامهرمز	۱۳۴	۳۴	۴۹	۳۱	۱۶	۰	۲۵/۸	۶/۱	۰	۰	۳۱/۹
آبادان	۶/۶	۱۵	۴۸	۲۲	۳۰	۰	۲۸	۰	۰	۰	۲۸
مسجد سلیمان	۴۳۸	۱۹	۴۹	۳۱	۵۶	۰	۳۱	۱۵/۷	۰	۰	۴۶/۷
شهرکرد	۲۰۴۸	۵۱	۵۰	۳۲	۱۷	۰	۴/۶	۳۰/۹	۰	۰/۰۱	۳۵/۵
کوه رنگ	۱۹۴۶	۵۴	۵۰	۳۲	۲۷	۰	۳۱/۴	۳۰	۰	۰	۶۱/۴
بروجن	۲۱۹۷	۱۸	۵۱	۳۱	۵۷	۰	۰/۴	۱۷/۸	۰	۱	۱۸/۲
بندر دیر	۴	۵۶	۵۱	۲۷	۵۰	۰	۰	۱۴/۵	۰	۰	۱۴/۵
بوشهر	۱۹/۶	۵۰	۵۰	۲۸	۵۹	۰	۰/۵	۳۰/۵	۰	۰	۳۱
سمیرم	۲۳۸۷	۳۴	۵۱	۳۱	۲۴	۰	۰/۰۱	۳۴/۳	۰	۰	۳۴/۳۱
اقلید	۲۳۰۰	۳۸	۵۲	۳۰	۵۴	۰	۰	۳/۸	۱۷	۰	۲۰/۸
کرمان	۱۷۵۹	۳	۵۷	۳۰	۱۶	۰	۰	۰/۰۱	۷/۲	۱۱/۳	۱۸/۵۱
انار	۱۴۰۷	۱۶	۵۵	۳۰	۵۲	۰	۰	۰/۶	۱۵/۴	۰/۴	۱۶/۴
بافت	۲۲۶۶	۳۶	۵۶	۲۹	۱۳	۰	۰	۰/۷	۹/۷	۲/۶	۱۳
کاشان	۹۴۰	۲۶	۵۱	۳۳	۵۹	۰	۰	۶/۲	۷/۱	۰/۲	۱۳/۵
ابرکوه	۹۲۷	۲۹	۵۳	۳۱	۳۱	۰	۰	۰	۳/۱	۵/۷	۸/۸
باقی	۸۴۵	۳۹	۵۳	۳۱	۲۸	۰	۰	۰	۵/۳	۸/۷	۱۴
یزد	۹۰۰	۴۳	۵۴	۳۱	۴۰	۰	۱/۲	۳/۴	۷/۶	۲۳/۲	۳۵/۴
مروست	۱۰۵۰	۵۱	۵۳	۲۹	۳۵	۰	۰	۲/۳	۵/۴	۸/۶	۱۶/۳
مجموع بارش روزانه						۰/۱۱	۱۵۴/۸۲	۲۵۵/۳۱	۷۷/۸	۶۱/۷۱	۵۴۰/۶۴



برای به‌دست آوردن میزان ناپایداری در روزهای مورد مطالعه، شاخص‌های K_i و S_i را در ایستگاه‌های شیراز و اهواز محاسبه کردیم. شایان ذکر است که اساس شاخص شولتر (S_i) بر رابطه بین دمای خشک و نقطه شبنم تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دمای خشک تراز پانصد هکتوپاسکال استوار است. اگر مقدار این شاخص بین سه تا یک باشد، احتمال ناپایداری وجود دارد؛ اگر بین ۱ تا (-۳) باشد، احتمال ناپایداری بیشتر می‌شود و اگر کمتر از (-۳) باشد، شدت ناپایداری افزایش می‌یابد. شاخص ناپایداری K_i بر مبنای روش ویتینگ و براساس اطلاعات کاوش گر جو بالا محاسبه می‌شود. اگر مقدار عددی این شاخص کمتر از بیست باشد، ناپایداری کم و اگر بیشتر از بیست باشد، ناپایداری شدید اتفاق می‌افتد؛ بدین ترتیب، روند آرایش الگوی سینوپتیک سامانه‌های فشار طی پنج روز متوالی و نقشه‌های وضع هوا در سطوح مختلف جو را تجزیه و تحلیل کرده‌ایم؛ علاوه بر این، داده‌های روزانه عناصر اقلیمی، شامل رطوبت نسبی و بارش در کلیه ایستگاه‌ها از روز نهم تا سیزدهم آذر را از روی گزارش‌های اصلی ایستگاه‌ها استخراج کردیم. در مجموع، این آمار و اطلاعات برای ساعت‌های صفر و ۱۲ به‌وقت گرینویچ در چهار روز آخر بررسی شد؛ همچنین با استفاده از نرم‌افزار Grads، نقشه‌هایی از ترازهای مختلف جو (نقشه وزش رطوبتی، اُمگا، چرخندگی، ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا و رودباد) را برای روزهای بارش ترسیم کردیم و سپس با توجه به الگوهای هم‌مدید و میزان بارش، نقشه‌های توزیع بارش روزهای مورد بررسی در محیط GIS را با استفاده از روش IDW کشیدیم.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های انتخاب‌شده در آن

۳- تحلیل داده‌ها

در جدول ۱، بارش‌های ناشی از پدیده سردچال در دوره مورد مطالعه (۱۳۸۷-۱۳۸۹) مشاهده می‌شود. با توجه به این جدول، بیشترین بارش‌های ناشی از این پدیده، در آذر ۱۳۸۷ رخ داده است و در این مطالعه، علت‌های وقوع آنها را بررسی می‌کنیم. با توجه به جدول ۲، در نواحی جنوب غرب، بارش‌های زیاد در تاریخ‌های دهم و یازدهم آذر اتفاق افتاده و با حرکت سامانه‌های غربی به طرف شمال شرق، بیشتر بارش‌های استان‌های یزد و کرمان در تاریخ دوازدهم و سیزدهم آذر رخ داده‌اند. برای مشخص شدن علت‌های همدیدی این رخداد و به لحاظ اختصار، الگوهای جوی و رفتار آنها از تاریخ نهم آذر ۱۳۸۷ (۲۹ نوامبر ۲۰۰۸) و نقشه‌های ساعت صفر به وقت گرینویچ را بررسی کرده‌ایم.

جدول ۳ مقایسه مجموع بارش در روزهای نهم تا سیزدهم آذر با مجموع بارش ماه آذر ۱۳۸۷ به میلی‌متر در

منطقه مورد مطالعه

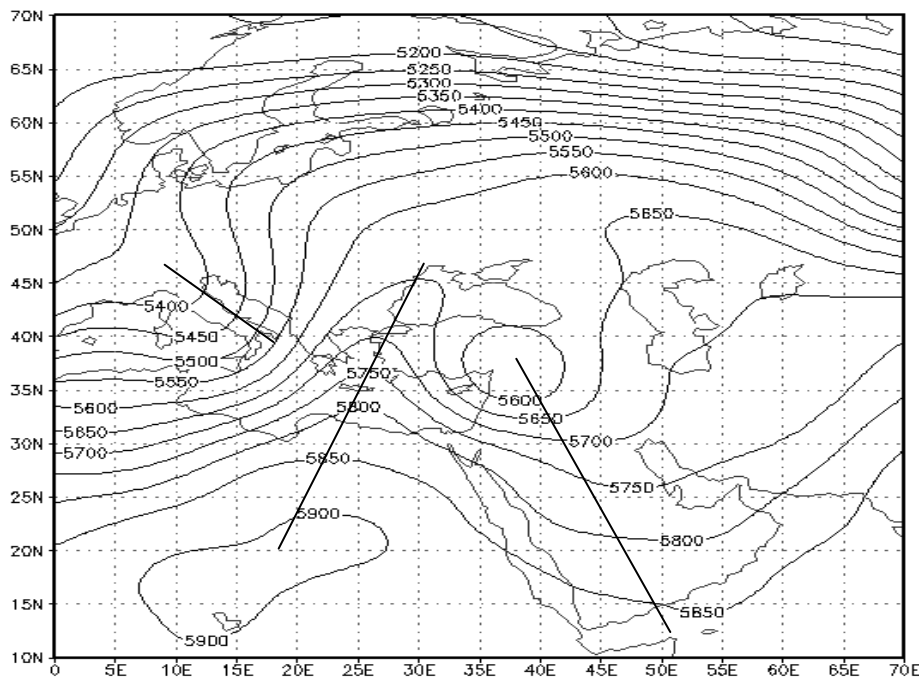
ایستگاه	مسجد سلیمان	کوه رنگ	شهرکرد	بوشهر	سمیرم	یزد	یاسوج
مؤلفه							
بارش دوره مورد مطالعه	۴۶/۷	۶۱/۴	۳۰/۹	۳۵/۵	۳۴/۳	۳۵/۴	۶۳/۷
مجموع بارش ماه آذر	۴۹/۷	۹۲/۵	۳۶/۳	۴۱/۵	۴۰	۳۹/۷	۶۹/۹
نسبت بارش مورد مطالعه به میانگین ماه آذر به درصد	۹۳/۹	۶۶/۳	۸۵/۱	۸۵/۵	۸۵/۷	۸۹/۱	۹۱/۱

۳-۱- یک روز قبل از شروع بارش‌ها (نهم آذر ۱۳۸۷)

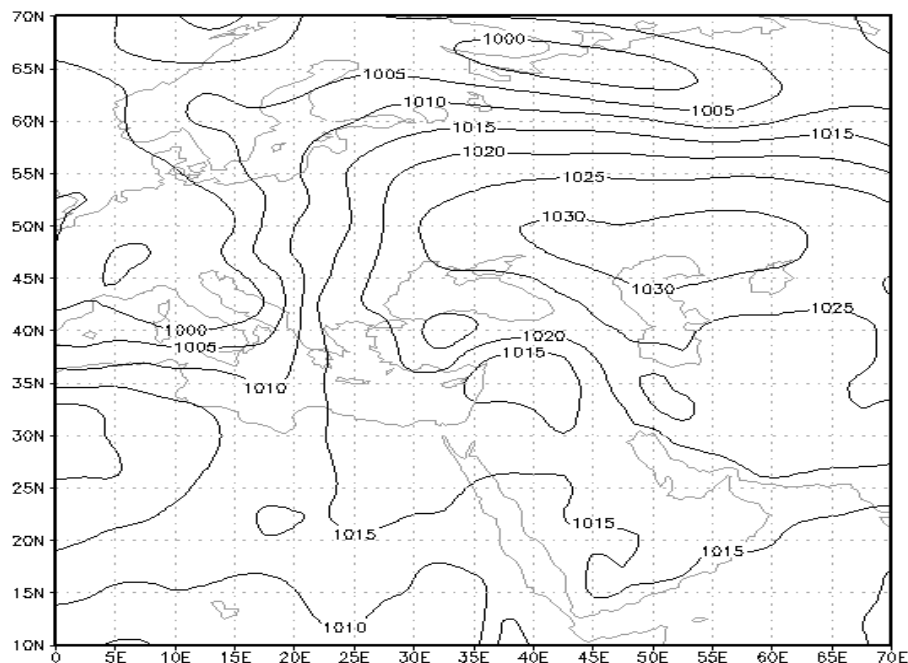
در نقشه سطح پانصد هکتوپاسکال این روز (شکل ۲) می‌بینیم که مرکز کم‌ارتفاع بسته (۵۶۰۰ ژئوپتانسیل متر) در غرب عراق واقع شده است. این مرکز کم‌ارتفاع، مانند مانعی در مسیر حرکت فروودبادهای غربی قرار گرفته و آن را در شرق دریای مدیترانه به دو شاخه تقسیم کرده است. شاخه‌ای از این ناوه به طرف شمال دریای خزر به حرکت درآمده و شاخه‌ای که به سمت جنوب حرکت کرده، در حال عبور از روی دریای سرخ و



سرزمین عربستان است. در نقشه فشار سطح دریا (شکل ۳)، پرفشار ۱۰۳۰ هکتوپاسکال در شمال دریای خزر دیده می‌شود که بخش وسیعی از ایران را تحت تأثیر قرار داده و پربند ۱۰۲۰ هکتوپاسکال آن تا مرکز و نیمه جنوبی کشور کشیده شده است. استقرار همین پرفشار باعث می‌شود جریان‌های جنوبی نتوانند به‌خوبی وارد ایران شوند؛ در نتیجه، بیشتر قسمت‌های کشور دارای هوایی پایدار و بدون بارش می‌باشد. در این روز، کم‌فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال در جنوب دریای سرخ تشکیل می‌شود و پربند ۱۰۱۵ هکتوپاسکال آن تا نواحی جنوب غرب ایران امتداد می‌یابد.



شکل ۲ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز پانصد هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۹ (ساعت: ۰۰)



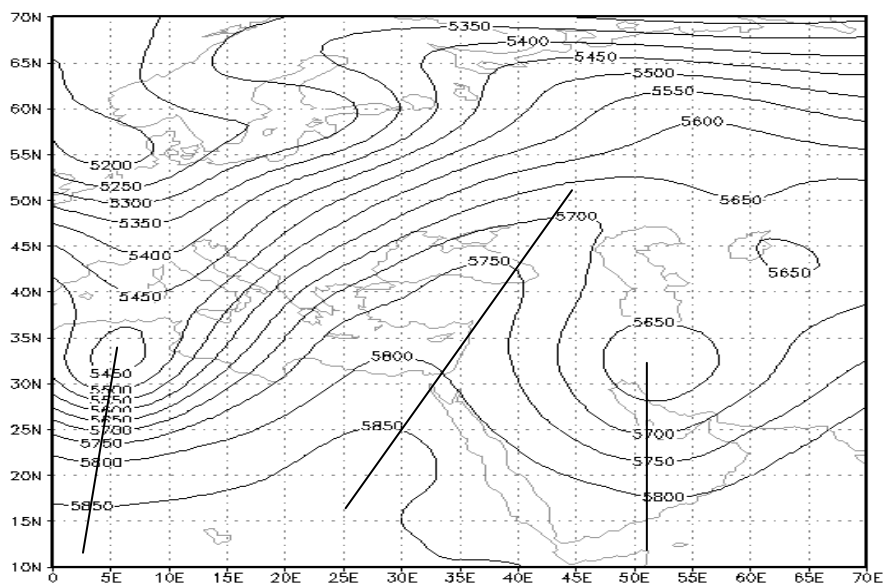
شکل ۳ نقشه فشار سطح دریا، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۹ (ساعت: ۰۰)

۳-۲- روز شروع بارش (دهم آذر ۱۳۸۷)

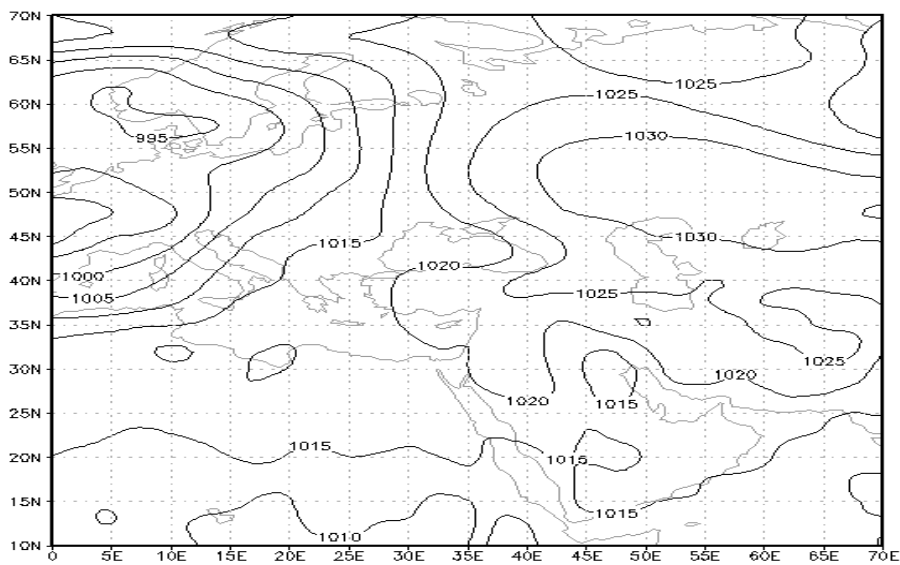
در این روز، ناوه عمیقی که روز قبل بر روی مدیترانه تشکیل شده بود، به طرف شرق حرکت کرده و تا غرب ایران پیش رفته است. در روز قبل، این سامانه در روی شرق دریای مدیترانه، دو شاخه شده بود شاخه جنوبی آن از روی آب‌های جنوبی کشور عبور کرده و از سمت جنوب غرب و جنوب وارد ایران شده است (شکل ۴). در همین زمان، با نفوذ بیشتر کم‌فشار مستقر در غرب و جنوب ایران، پرفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال به طرف مرکز و شمال شرق کشور عقب‌نشینی کرده و زمینه را برای بارش‌های نیمه جنوبی و نواحی جنوب غرب کشور فراهم کرده است. پرفشاری که روز قبل بر روی ایران تشکیل شده بود، در این روز باعث ریزش هوای سرد شده و از حرکت سریع کم-فشار مستقر بر روی عربستان و جنوب غرب ایران جلوگیری کرده است (شکل ۵).



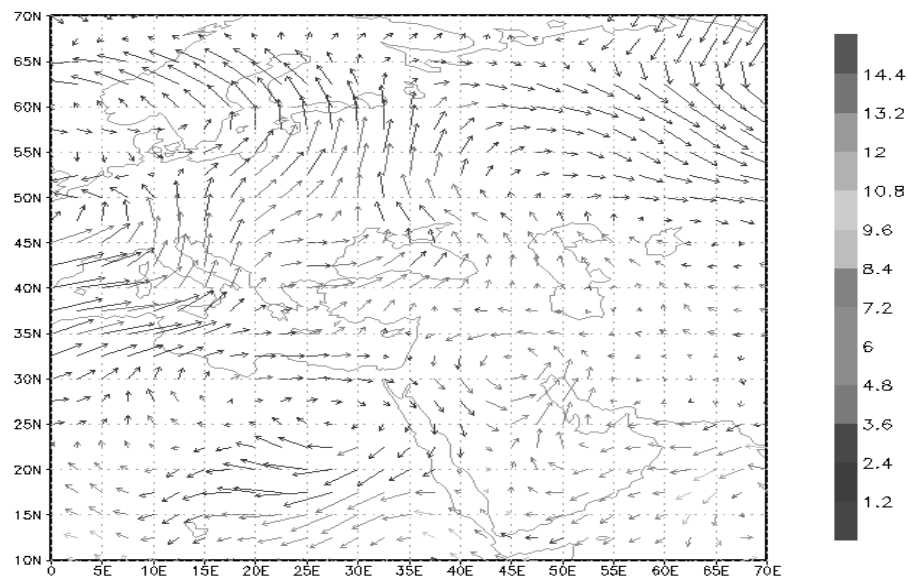
نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در این روز (شکل ۶)، یک حرکت واچرخندی را بر روی جنوب عربستان نشان می‌دهد. این واچرخند باعث گردش هوا از روی خلیج عدن و جنوب دریای سرخ شده و رطوبت آن مناطق را از طریق مرکز عربستان به سمت خلیج فارس و نواحی جنوب غرب ایران آورده است. شاهد این فرایند، زبانه مرطوبی است که از جنوب شرق دریای سرخ با جهت شمال شرقی به سوی خلیج فارس در حال حرکت می‌باشد. در روز دهم آذر، هسته پرسرعت ۴۵ متر بر ثانیه (سطح سیصد هکتوپاسکال) در شمال شرق دریای سرخ قرار گرفته و زبانه‌های آن از طرف خلیج فارس و با جهت شمال غربی-جنوب شرقی وارد ایران شده است؛ هسته پرسرعت دیگری نیز بر روی دریای عمان واقع شده که در جهت شمال شرقی-جنوب غربی در حرکت است (شکل ۸). نقشه اُمگای تهیه‌شده برای این روز، ناپایداری را در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان طور که می‌بینیم، نقشه اُمگا از پدیده سردچال پیروی می‌کند؛ به طوری که در طول جغرافیایی ۳۹ درجه شرقی (منطقه NVA سردچال)، یک هسته نزول هوا و در طول جغرافیایی پنجاه درجه شرقی (منطقه PVA سردچال)، یک هسته صعود تشکیل شده است؛ به علاوه، یک هسته صعود نیز در جنوب عربستان شکل گرفته است (شکل ۹). با توجه به نقشه چرخندگی مربوط به این روز می‌توان چرخندگی منفی یا آنتی‌سیکلونی را در غرب دریای سرخ و چرخندگی مثبت یا سیکلونی را در شرق دریای سرخ، مناطق غربی خلیج فارس و روی عراق دید. چرخندگی مثبت باعث ایجاد ناهنجاری در مناطق جنوب شرق گردیده؛ ولی هنوز وارد ایران نشده است (شکل ۱۰). در این روز، شاخص Si عدد صفر و شاخص Ki عدد ۲۵ را نشان دادند که هردو بیانگر ناپایداری هستند. نقشه توزیع بارش در این روز نیز نشان می‌دهد که بیشینه بارش در نواحی جنوب غرب بوده و سامانه هنوز به نواحی مرکزی ایران نرسیده است؛ به طوری که ایستگاه‌های رامهرمز ۲۵/۸ میلی‌متر، مسجدسلیمان ۳۱ میلی‌متر، آبادان ۲۸ میلی‌متر و کوه‌رنگ ۳۱/۴ میلی‌متر بارش داشته‌اند (شکل ۷).



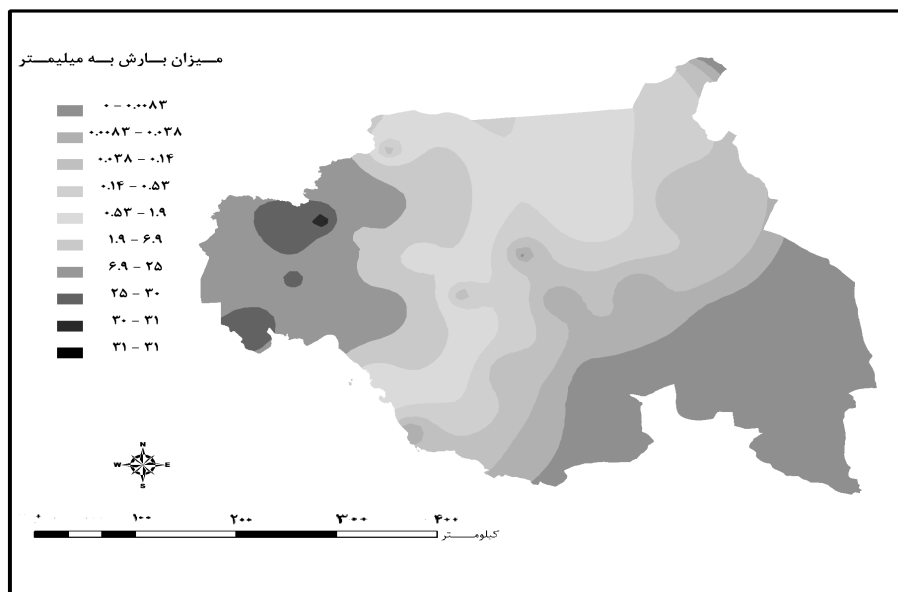
شکل ۴ ارتفاع ژئوتانسیل تراز پانصد هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۰ (ساعت: ۰۰)



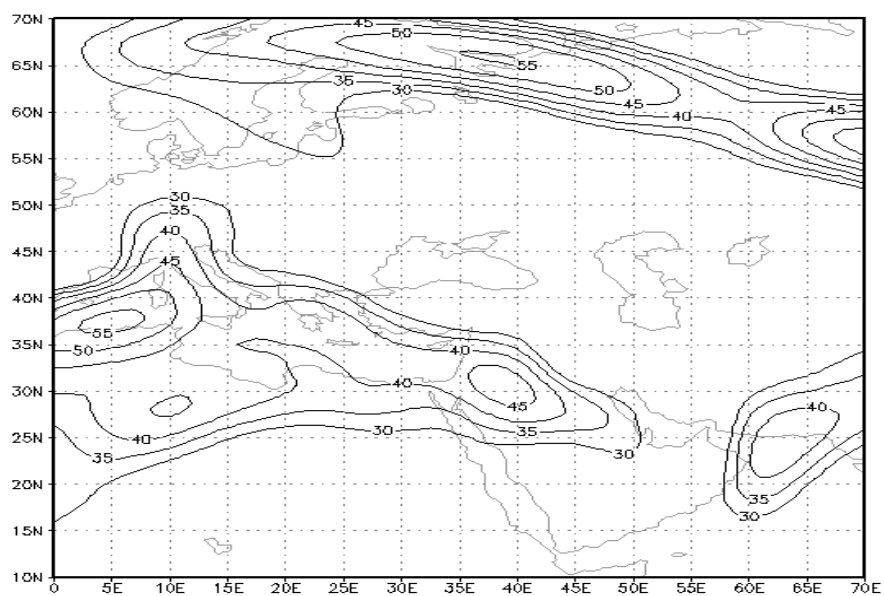
شکل ۵ فشار سطح دریا، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۰ (ساعت: ۰۰)



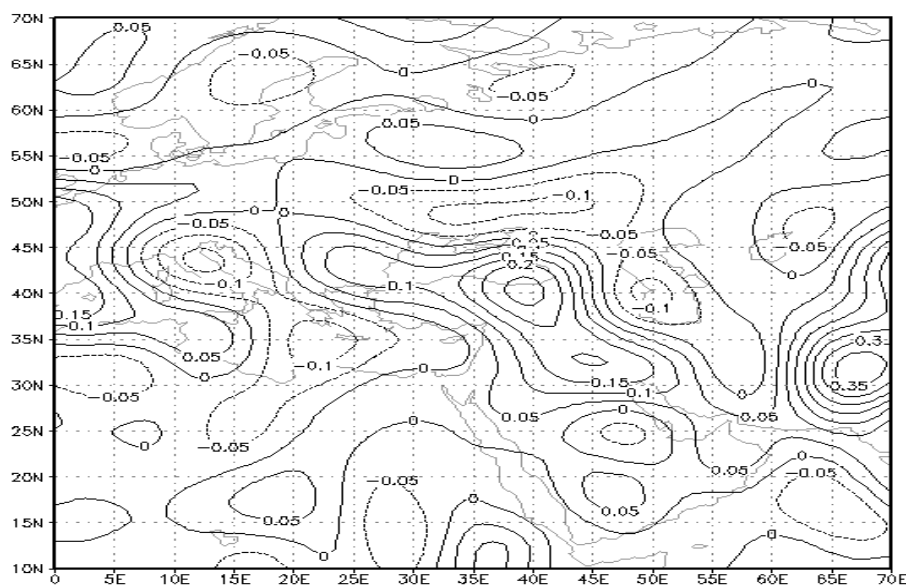
شکل ۶ وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۰ (gr/kg)



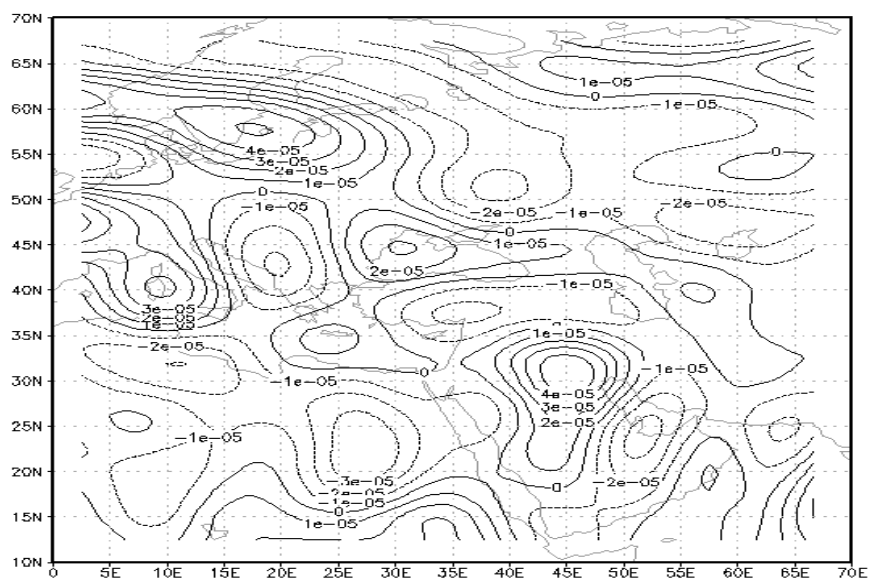
شکل ۷ توزیع بارش روز دهم آذر ۱۳۸۷ در منطقه مورد مطالعه



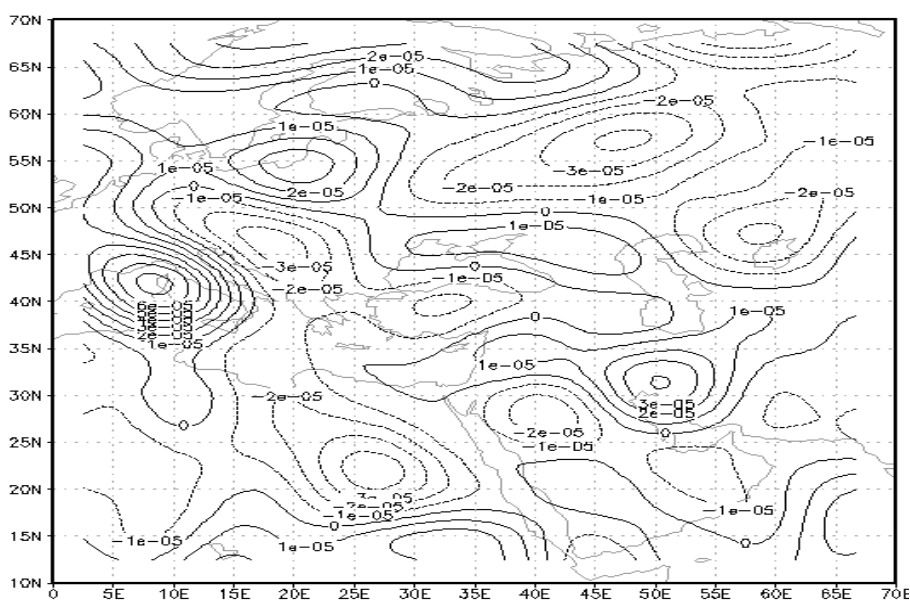
شکل ۸ نقشه رودباد تراز سبب هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۰ (m/s)



شکل ۹ نقشه اُنگای سطح زمین، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۰ (pascal/s)



شکل ۱۰ نقشه چرخندگی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۰



شکل ۱۱ نقشه چرخندگی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱

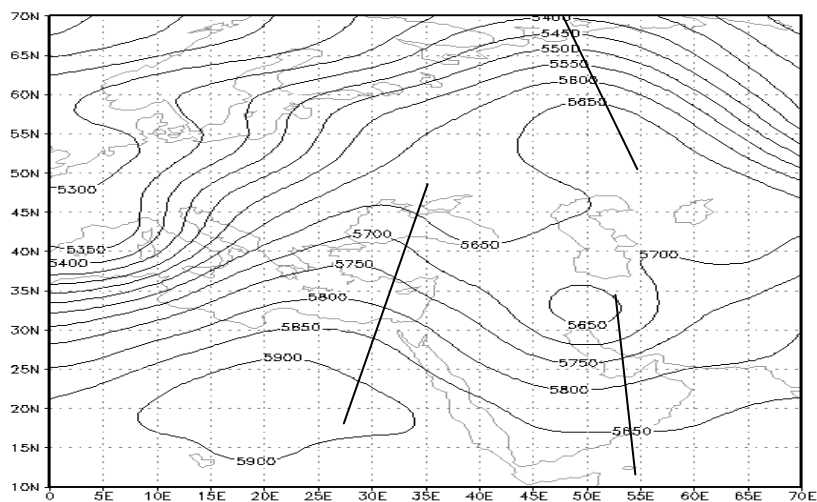
۳-۳- روز اوج بارش (یازدهم آذر ۱۳۸۷)

در روز یازدهم آذر، مرکز کم‌ارتفاعی که روزهای قبل در غرب ایران قرار داشت، از منشأ خود جدا شده و به‌صورت یک کم‌فشار بریده درآمده است. این کم‌فشار بریده کم‌کم به داخل کشور پیش‌روی کرده و تا عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی پایین آمده است (شکل ۱۲). نقشه سطح دریا نیز نشان می‌دهد که وجود کم‌فشار بریده (سردچال) باعث حرکت کند سامانه‌های جنوب و جنوب غربی روی ایران شده و سبب ادامه بارش‌ها شده است. سامانه پرفشاری که بر روی شمال دریای خزر و روسیه مستقر بود، قوی‌تر شده و به‌علت همراهی یک پشته در تراز پانصد هکتوپاسکال، فشار مرکز آن به ۱۰۴۵ هکتوپاسکال رسیده و زبانه‌های آن نواحی غربی و مرکزی ایران را دربر گرفته است (شکل ۱۳)؛ همچنین در این روز، کم‌فشار ۱۰۱۵ هکتوپاسکال روز قبل، کاملاً در مرکز ایران مستقر شده و سبب ریزش‌های قابل‌توجهی شده است؛ به‌طوری که در یاسوج ۵۳/۳ میلی‌متر، در شهرکرد ۳۰/۹ میلی‌متر، در بوشهر ۳۰/۵ میلی‌متر، در کوه‌رنگ ۳۰ میلی‌متر و در سمیرم ۳۴/۳ میلی‌متر بارش وجود داشته است (شکل ۱۵). قوی‌تر شدن مرکز پرفشار واقع بر روی سیبری تا ۱۰۵۰ هکتوپاسکال، باعث ریزش هوای سرد بر روی نیمه شرقی و شمال شرق ایران شده است.

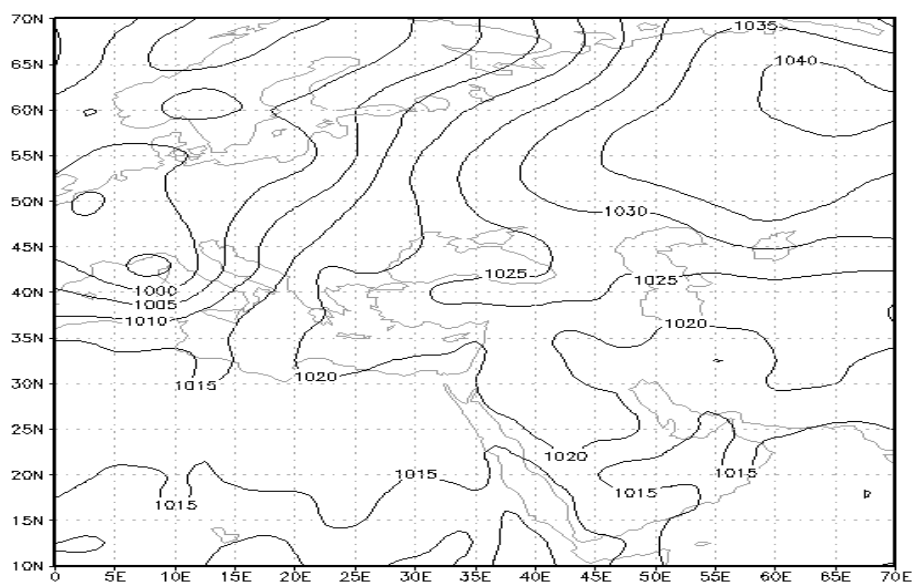
با توجه به نقشه وزش رطوبتی این روز، و اچرخند تشکیل‌شده بر روی عربستان به‌طرف شرق حرکت کرده و با گردش هوا از روی خلیج عدن و دریای سرخ، رطوبت را از طریق تنگه هرمز و دریای عرب به ایران وارد کرده است (شکل ۱۴)؛ همچنین در این روز، بادهای دو بخش تقسیم شده‌اند: بخشی از آن به‌سمت شاخ آفریقا حرکت کرده و بخشی دیگر از طریق تنگه هرمز وارد ایران شده است. نقشه رودباد تراز سیصد هکتوپاسکال نیز نشان می‌دهد که در روز یازدهم آذر، هسته پرسرعتی که در روز گذشته در حال حرکت به‌سمت شرق بود، جهت غربی - شرقی پیدا کرده و با عبور از روی خلیج فارس، تا شمال تنگه هرمز کشیده شده است (شکل ۱۶). با توجه به نقشه اُمگای روز یازدهم، هسته صعودی که روز قبل در طول جغرافیایی پنجاه درجه شرقی ایجاد شده بود، به‌سمت جنوب شرق تغییر مکان داده است. این هسته نیمه شمالی کشور را به‌طور کامل فراگرفته و تا نواحی مرکزی ایران ادامه یافته است (شکل ۱۷). نقشه چرخندگی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز یازدهم نشان می‌دهد که



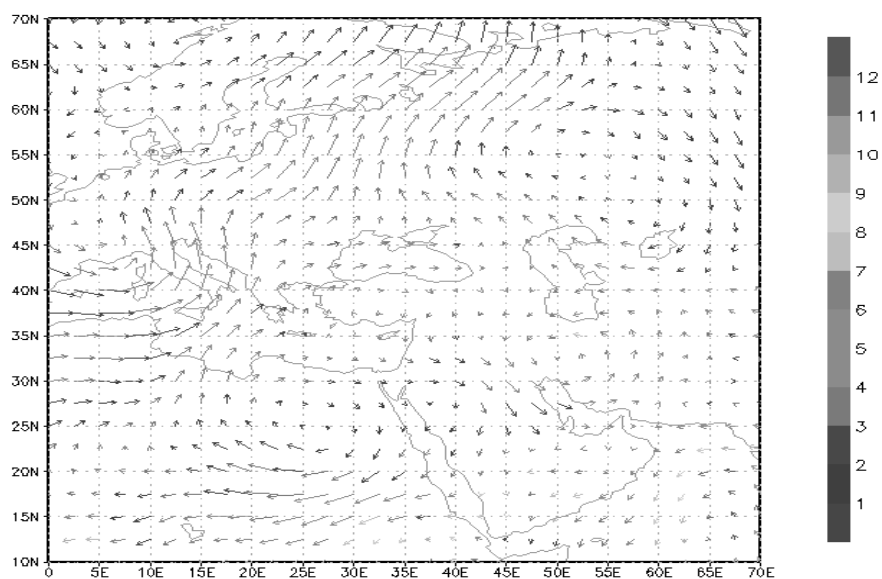
ناهنجاری در این تراز در غرب اروپا مثبت است و به طرف شرق، یعنی شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ، ناهنجاری منفی را نشان می‌دهد. چرخندگی مثبتی که روز قبل، در جنوب شرق ایران فعالیت می‌کرد، به طور کامل وارد کشور شده و مرکز فعالیت آن به نیمه غربی کشور انتقال یافته است (شکل ۱۱). این منطقه که بر منطقه چرخندگی مثبت سردچال منطبق است، دارای بیشترین ناپایداری و بارش می‌باشد. نیم‌رخ چرخندگی در عرض سی درجه شمالی، حاکی از ناهنجاری مثبت قوی در طول ۴۵ تا ۵۵ درجه شرقی در تمامی ترازهای جو، به ویژه ترازهای بالاتر از هفتصد هکتوپاسکال است (شکل ۱۸)؛ همچنین نیم‌رخ چرخندگی ترسیم شده برای طول ۵۳ درجه شرقی در این روز، ناهنجاری مثبت را از عرض ۲۵ درجه تا ۳۵ درجه شمالی، در بالاتر از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد (شکل ۱۹). شاخص‌های ناپایداری محاسبه شده برای ایستگاه‌های شیراز و اهواز نشان می‌دهند که بیشترین ناپایداری در روز یازدهم آذر رخ داده است؛ به طوری که در این روز، شاخص Si عدد ۲- و شاخص Ki عدد ۳۶ را نشان می‌دهد. در روز یازدهم، کلیه ایستگاه‌های نیمه غربی در منطقه مورد مطالعه، دارای بارش می‌باشند و بیشینه بارش به سمت شرق حرکت کرده است. در این روز، ایستگاه یاسوج بیشترین بارش (۵۳/۳ میلی‌متر) را داشته است (شکل ۱۵).



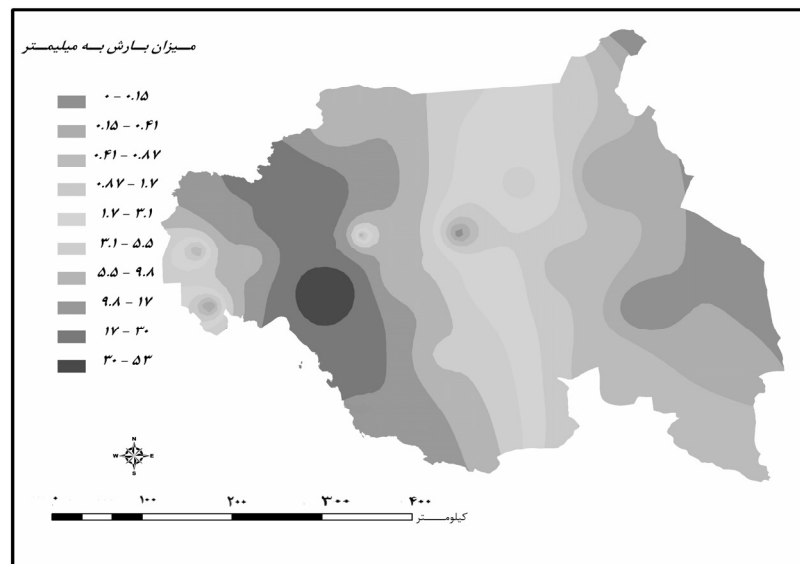
شکل ۱۲ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز پانصد هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱ (ساعت: ۰۰)



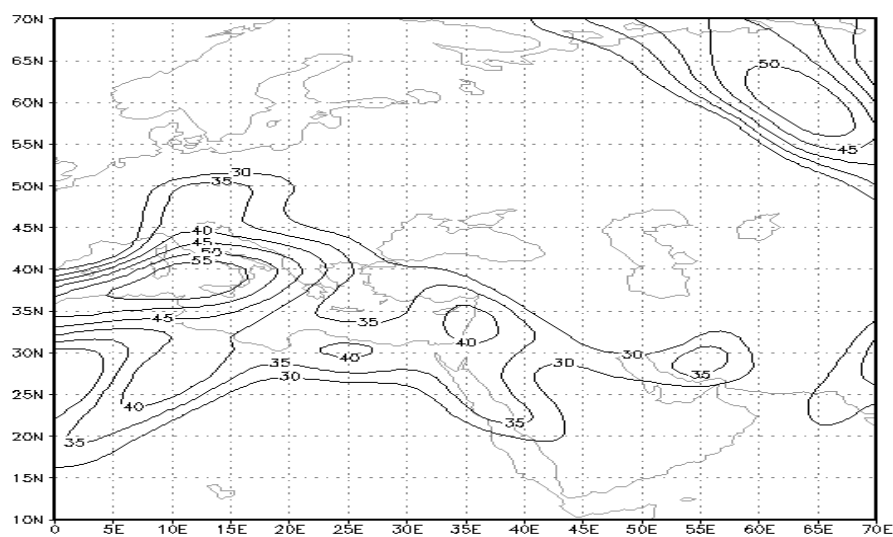
شکل ۱۳ نقشه سطح دریا، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱ (ساعت: ۰۰)



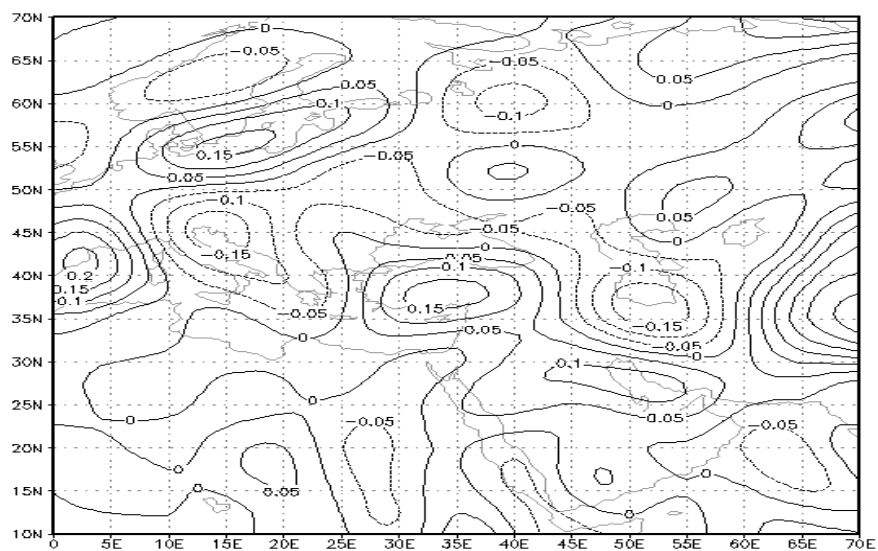
شکل ۱۴ وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱ (gr/kg)



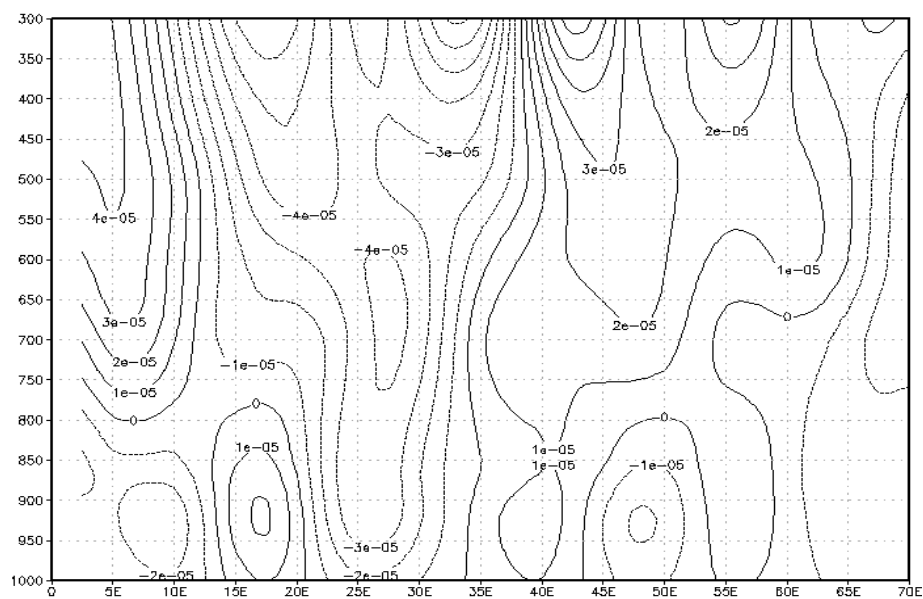
شکل ۱۵ توزیع بارش روز یازدهم آذر ۱۳۸۷ در منطقه مورد مطالعه



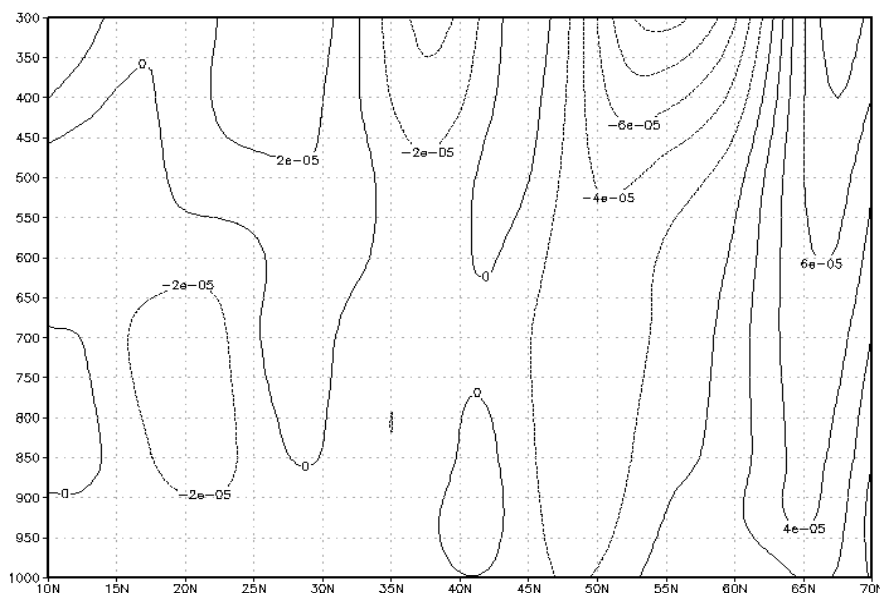
شکل ۱۶ نقشه رودباد تراز سید هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱ (m/s)



شکل ۱۷ نقشهٔ آمگا سطح زمین، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱ (pa/s)



شکل ۱۸ نیم‌رخ چرخندگی برای عرض سی درجهٔ شمالی، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱

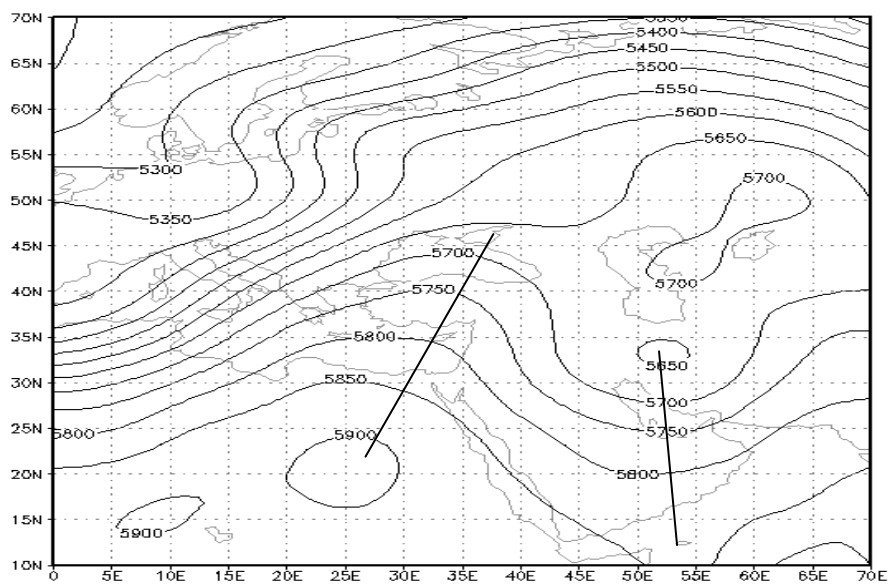


شکل ۱۹ نیمرخ چرخندگی برای طول ۵۳ درجه شرقی، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۱

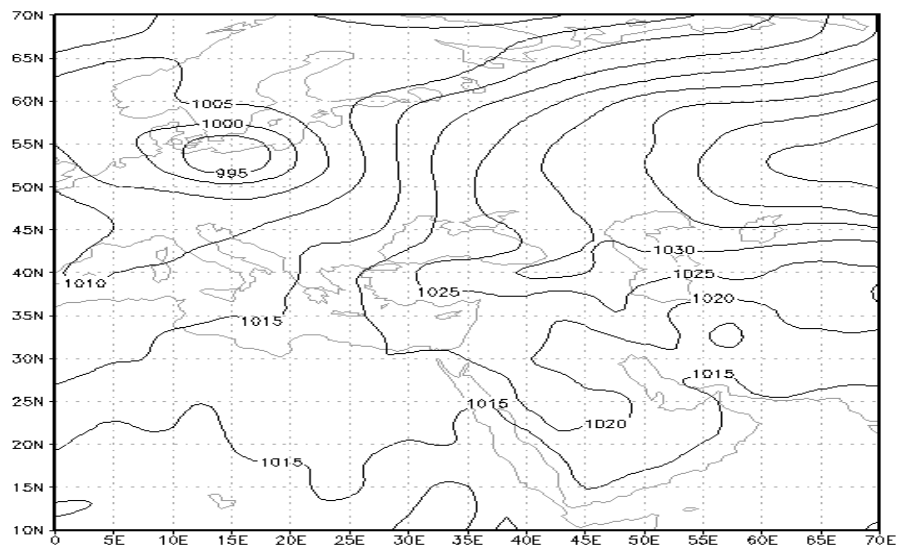
۳-۴- روز افت بارش در نواحی جنوب غرب (دوازدهم آذر ۱۳۸۷)

نقشه سطح پانصد هکتوپاسکال مربوط به این روز (شکل ۲۰) نشان می‌دهد که در غرب ایران، پشته عمیقی تشکیل شده که باعث عمیق‌تر شدن ناوه مستقر بر روی مرکز ایران شده است. در همین زمان، سردچالی که بر روی ایران مستقر شده بود، بیشتر قسمت‌های کشور را فرا گرفته و در نتیجه، شاخه جنوبی سامانه غربی از روی خلیج فارس و دریای عمان به قسمت‌های شرقی کشور کشیده شده است. کم‌فشاری که در مرکز ایران مستقر بود، به سمت شرق و شمال شرق حرکت کرده و سبب ادامه بارش‌ها در ایران مرکزی شده است. وضعیت ناپایداری در ایران با توجه به استقرار زبانه‌های سامانه پرفشار در نیمه شمالی کشور، در مقایسه با روزهای قبلی تغییر مکان داده و به نواحی مرکزی رسیده است (شکل ۲۱). شکل ۲۲ نقشه وزش رطوبتی را برای روز دوازدهم آذر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. در این روز، منطقه رطوبتی با مقدار دوازده گرم بر کیلوگرم، در مناطق جنوبی دریای سرخ واقع شده است. این منطقه رطوبتی با جهت شمال

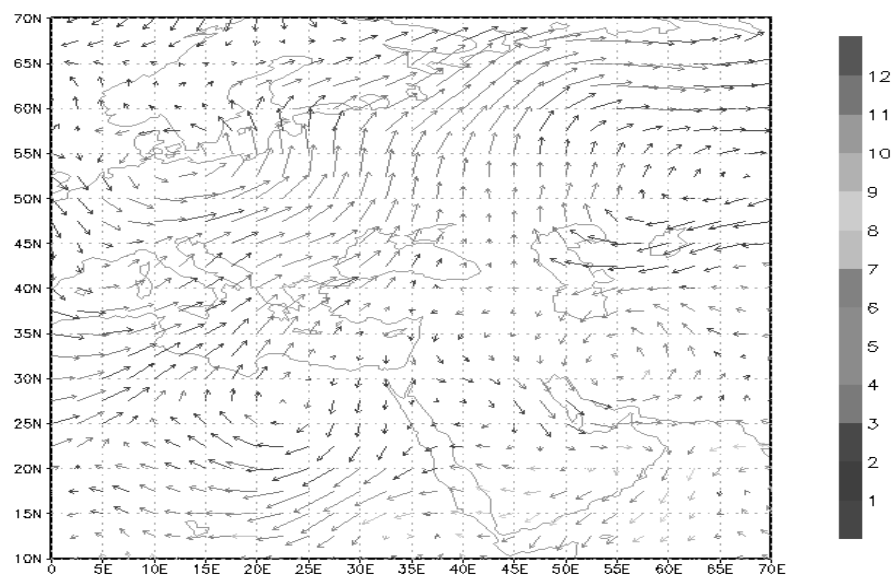
شرقی از روی عربستان گذشته، با گذر از خلیج فارس و دریای عمان تقویت شده و منطقه‌های مرکزی ایران را فراگرفته است (شکل ۲۲). نقشه رودباد مربوط به این روز، دو هسته سرعت را نشان می‌دهد. هسته‌های سرعت با تندی ۵۵ و ۴۰ متر بر ثانیه، به ترتیب بر روی شرق مدیترانه و شمال آفریقا قرار گرفته است. هسته جنوبی در مقایسه با روز قبل عقب‌نشینی کرده و تا شرق دریای سرخ کشیده شده است (شکل ۲۴). در این روز، هسته نزول هوا بر روی منطقه‌های غربی کشور قرار گرفته و تا شمال خلیج فارس ادامه یافته است؛ به طوری که در ایستگاه‌های غربی منطقه مورد مطالعه، هوا کاملاً در حال نزول است و هیچ‌گونه ناپایداری‌ای صورت نگرفته است؛ با وجود این، هسته صعودی هوا تا تنگه هرمز کشیده شده است (شکل ۲۵). در این روز، مرکز فعالیت چرخندگی مثبت به نواحی مرکزی ایران انتقال یافته و در این مناطق، باعث ایجاد ناهنجاری‌های مثبت شده است. شاخص Si برای این روز (۱-) و شاخص Ki، سی محاسبه شده است. در این روز، ایستگاه انار ۱۵/۴ میلی‌متر، بافت ۹/۷ میلی‌متر، یزد ۷/۹ میلی‌متر، کاشان ۷/۱ میلی‌متر و اقلید حداکثر بارش (هفده میلی‌متر) را دارا بوده است (شکل ۲۳).



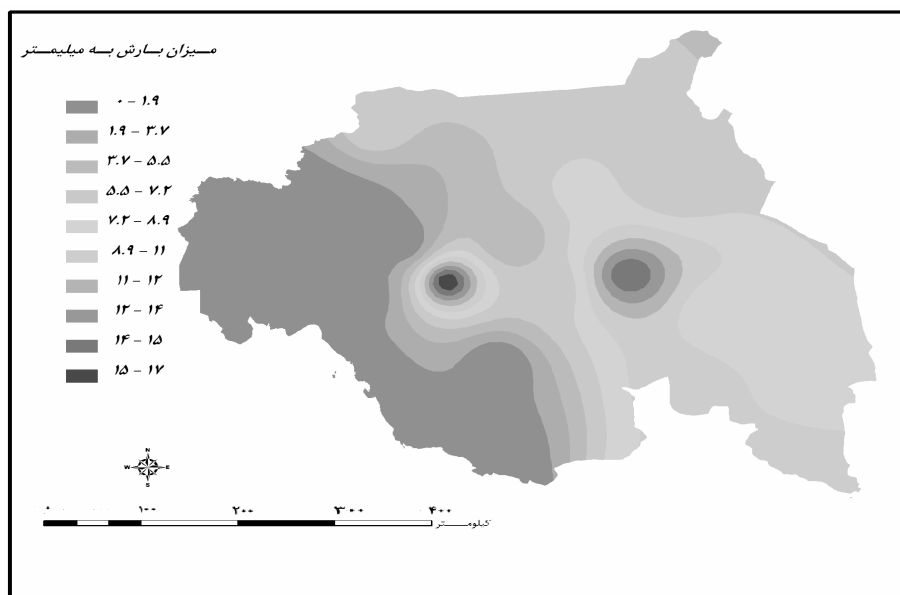
شکل ۲۰ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز پانصد هکتوپاسکال، تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۲ (ساعت: ۰۰)



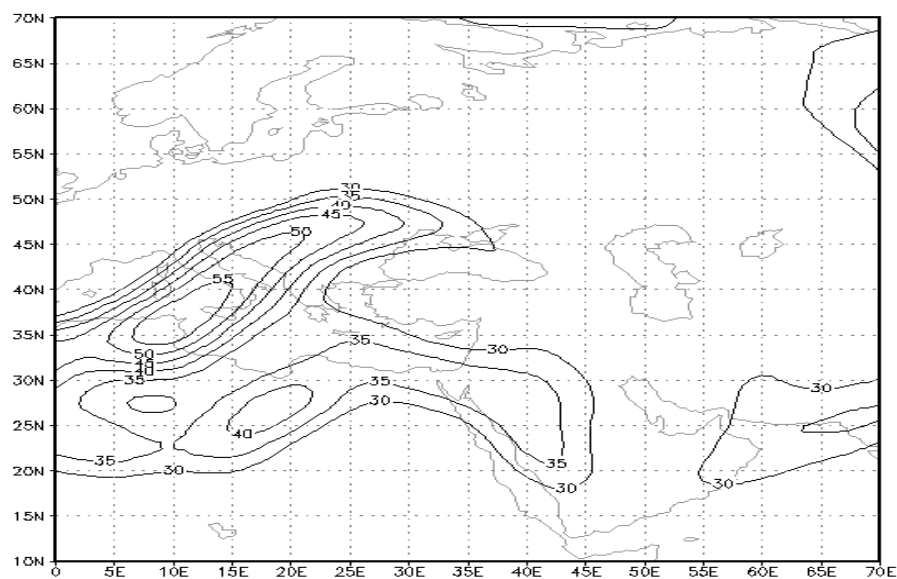
شکل ۲۱ نقشه فشار سطح دریا. تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۲ (ساعت: ۰۰)



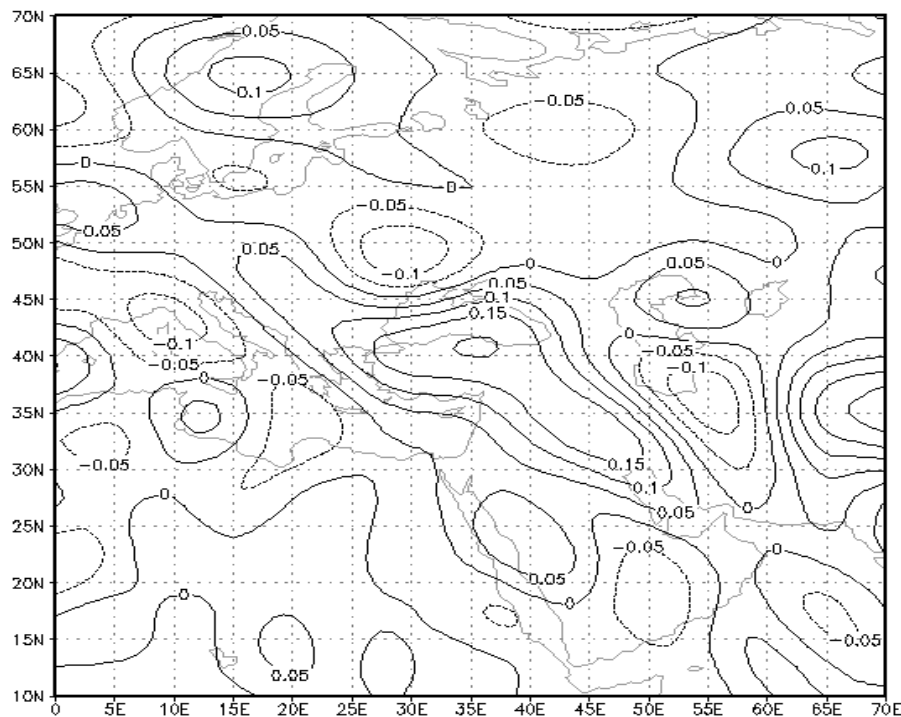
شکل ۲۲ وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال. تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۲ (gr/kg)



شکل ۲۳ توزیع بارش روز دوازدهم آذر ۱۳۸۷ در منطقه مورد مطالعه



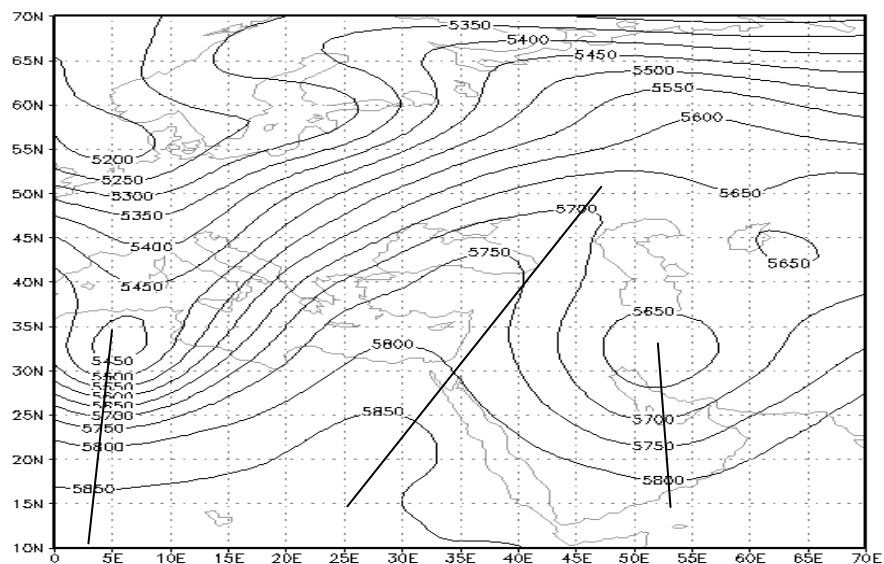
شکل ۲۴ نقشه رودباد تراز سبید هکتوپاسکال. تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۲ (m/s)



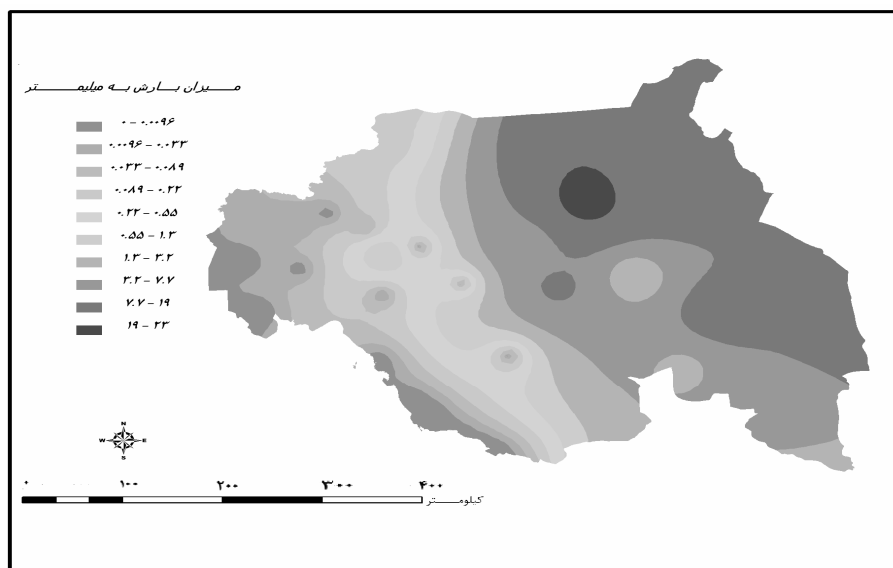
شکل ۲۵ نقشه آمگای سطح زمین. تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۲ (pa/s)

۳-۵- روز شدت بارش در نواحی مرکزی ایران (سیزدهم آذر ۱۳۸۷)

در روز سیزدهم آذر، همان وضعیت روز قبل دیده می‌شود و استقرار سردچال بر روی جنوب دریای خزر و مرکز ایران (شکل ۲۷) سبب ادامه ناپایداری‌ها در نواحی مرکزی ایران می‌گردد. با توجه به نقشه توزیع بارش در این روز (شکل ۲۸)، سامانه‌های غربی به طرف شرق جابه‌جا می‌شوند و ایستگاه یزد دارای بیشینه بارش (۲۳/۲ میلی‌متر) است.



شکل ۲۶ ارتفاع ژئوتانسیل تراز پانصد هکتوپاسکال. تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۳ (ساعت: ۰۰)



شکل ۲۷ توزیع بارش در روز سیزدهم آذر ۱۳۸۷ در منطقه مورد مطالعه



۴- نتیجه‌گیری

از آنجا که برای ایجاد بارندگی‌های شدید، عامل رطوبت مهم‌تر از صعود می‌باشد، شناسایی منابع و منشأ رطوبت بارش‌های شدید، ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور، با بررسی نقشه‌های وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، منشأ و مسیر رطوبت بارش مورد بررسی را شناسایی کردیم. برای درک بهتر سازوکار تزریق رطوبت به منطقه و ایجاد بارش، الگوهای آرایش هم‌فشاری تراز دریا و پربندی تراز پانصد هکتوپاسکال، نقشه‌های چرخندگی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های رودباد سطح سیصد هکتوپاسکال مربوط به این بارش را نیز شناسایی کردیم؛ همچنین برای تشخیص مکان صعود هوا و میزان ناپایداری، نقشه‌های اُمگای سطح زمین برای روزهای بارش را ترسیم و تحلیل کردیم. بارش‌های شدید نواحی مرکز و جنوب غرب، که براساس نقشه‌های سطوح مختلف جو بررسی شده‌اند، بیانگر آن هستند که علت اصلی وقوع بارش در روزهای مورد مطالعه (نهم تا سیزدهم آذر ۱۳۸۷)، ناشی از استقرار چندروزه پدیده سردچال در نواحی جنوب دریای خزر و مرکز ایران است؛ در نتیجه، سامانه‌های باران‌آور غربی در برخورد با این کم‌ارتفاع، مسیر جنوبی‌تری را انتخاب کرده‌اند و با حرکت بر روی دریای سرخ و سپس خلیج فارس و دریای عمان، مرطوب‌تر شده و از جنوب و جنوب غرب به داخل ایران نفوذ کرده‌اند. با توجه به اینکه در این زمان، زبانه‌های سردچال، قسمت‌های وسیعی از ایران را دربرگرفته‌اند، سامانه مرطوب جنوبی در برخورد با این سردچال، بارش‌های قابل توجهی را در قسمت‌های مرکز و جنوب غربی ایران به وجود آورده است. این بارش تا زمانی ادامه یافته که سردچال بر روی ایران مستقر بوده است. و با از بین رفتن این سامانه، بارش قطع شده و هوایی پایدار در کشور مستقر گردیده است.

در پژوهش‌های دیگر محققان، بیشتر بر منشأ بارش و منبع رطوبتی آن تأکید شده است. در بیشتر این تحقیقات، منشأ بارش، جریان‌های سودانی و مدیترانه‌ای، و منبع رطوبتی آنها دریای سرخ و مدیترانه تشخیص داده شده است؛ اما پژوهش حاضر بر این اساس انجام شده

که علاوه بر منشأ بارش، ساختار آن نیز درخور توجه است. بدین منظور، سردچال‌های ایجادشده و تأثیر آن بر روی این بارش در مرکز و جنوب غرب ایران را بررسی کردیم که در هیچ‌کدام از تحقیقات گذشته مد نظر قرار نگرفته‌اند. به نظر می‌رسد یافته‌های این پژوهش بدان سبب دارای اهمیت است که در آن، برای اولین بار نقش پدیده سردچال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی جنوب غرب و مرکز ایران بررسی شده و مؤلفه‌های مؤثر بر انتقال آن بر روی منطقه مورد مطالعه برآورد شده است.

۵- سپاس‌گزاری

نگارندگان بر خود واجب می‌دانند از آقایان دکتر مصطفی کریمی و اردشیر بازدار، و سرکار خانم اقدس اصلانی که در انجام این پژوهش یاریمان کردند، تشکر کنند.

۶- منابع

- حبیبی، فریده (۱۳۸۵). «تحلیل هم‌پیدی و دینامیکی سامانه‌های بندالی: روش تشخیص سامانه‌های بندالی و تأثیر آن روی منطقه ایران». *مجله فیزیک زمین و فضا*. ش ۳. صص ۶۹-۸۹.
- حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۷۲). *نوسانات فشار زیاد جنب حاره و اثر آن در تغییر فصل ایران*. رساله دکتری جغرافیای طبیعی. دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- خوشحال دستجردی، جواد (۱۳۷۶). *الگوی سینوپتیک-کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر*. رساله دکتری جغرافیای طبیعی. دانشکده علوم انسانی.
- عربی، زهرا (۱۳۸۵). «تحلیل سینوپتیکی بارندگی دوره ۲۱ تا ۲۶ تیرماه ۱۳۷۸ در ایران». *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی*. ش ۵۶. صص ۱-۱۵.
- عزیزی، قاسم (۱۳۷۵). *بلوکینگ و اثر آن بر بارش‌های ایران*. رساله دکتری دانشکده علوم انسانی. دانشگاه تربیت مدرس.



- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). *اقلیم‌شناسی سینوپتیک*. تهران: سمت.
- کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی (۱۳۷۹). *مبانی آب و هواشناسی*. تهران: سمت.
- مرکز پیش‌بینی سازمان هواشناسی کل کشور.
- مفیدی، عباس و آذر زرین (۱۳۸۴). «بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌آسا در ایران». *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ش ۷۷. صص ۱۱۳-۱۳۶.
- مفیدی، عباس (۱۳۷۹). *بررسی سینوپتیکی نقش دریای سیاه بر بارش‌های ایران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد. واحد علوم و تحقیقات.
- Beltramdo. G. and P. Camberlin (1993). «Intrnnual Variability of Rainfall in the Eastern Horn of Africa & Indicators of Atosheric Circulation». *Int. J. Climatol.* Vol 13. 533-546.
- Delden.Van Aarnour (2001). «The Synoptic Setting of Thunderstorms in Western Europe». *Atmospheric Research*. Vol 56. Pp 89- 110.
- Faiers. G. E (1988). «A Synoptic Weather Type Analysis of January Hourly Precipitation at Lake Charls». *Louisiana, Phys. Geogra.* Vol 8. 99-119.
- Homar.v, Gaya.M. and C. Ramis (2001). «A Synoptic and Mesoscale Diagnosis of a Tornado Autbreak in the Balearic Islands». *Atmospheric Research*. vol 56. pp 31-55.
- Keables, M.J (1989). «A Synoptic Climatology of Bimodal Precipitation Distribution in the Upper Midwest». *J.Climato*. Vol 2. 1289-1294.
- Kodama. Kevin Gary.M, Barnes. (1997). «Heavy Rain Events over the South- Facing Slopes of Hawaii: Attendant Conditions». *Weather and Forecasting*. Vol 12. Pp 347- 367.

- Wang Xinmin, Zhai Panmao, Wang Cuicui (2009). «Variations in Extropical Cyclon Activity in Northern East Asia». *Journal of Atmospheric Sciences*. Vol 26. No 3, pp 471- 479.
- Yama. Kai (1998). «A Synoptic Overview of Heavy Rain Event in Soutern China». *Weather and Forecasting*. Vol 2. pp 89-112.