

## تحلیل همدید سامانه‌های سیل‌زا در قم (مطالعه موردی: سیلاب فروردین سال ۱۳۸۸)

دکتر امیرحسین حلبیان\*، استادیار، گروه علمی جغرافیا، دانشگاه پیام‌نور  
فرشته حسینعلی پورجزی، کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان  
بیژن صابری، کارشناس اداره هواشناسی استان اصفهان

### چکیده

سیل یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که در طول تاریخ خسارت‌های زیادی را به مردم تحمیل کرده و می‌کند. از این رو، هدف غایی این مطالعه ی همدید، تبیین اندرکنش‌های کلیدی میان جو و محیط سطحی و به عبارتی کشف رابطه ی میان الگوی گردشی موجب بارش‌های سیل‌زا در منطقه ی قم به منظور پیش‌بینی وقوع رگبارهای منجر به سیل است. بدین منظور برای تحلیل همدید بارش‌های سنگین فروردین ۱۳۸۸ استان قم که پدیده ی سیل را به همراه داشت، با استفاده از رویکرد محیطی به گردشی، الگوهای گردشی ایجادکننده ی بارش‌های سیل‌زا شناسایی شد و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بارش‌های سیل‌زا در منطقه غالباً از ادغام دو سامانه ی کم‌فشار نشأت می‌گیرند: الف) کم‌فشارهای مهاجر همراه با جبهه از سمت شرق مدیترانه و ب) کم‌فشارهای منطقه دریای سرخ. در عین حال، الگوهای ضخامت جو، منطقه ی کثرفشاری شدیدی را آشکار ساخت که ناشی از برخورد توده هوای سرد عرض‌های بالایی با هوای گرم و مرطوب نفوذی از سمت شمال آفریقا می‌باشد. تحلیل الگوهای تابع همگرایی شاررطوبت نیز نشان داد که بارش‌های سیل‌زا نتیجه ی شارش رطوبت از پهنه های آبی مدیترانه ی شرقی، دریای سرخ شمالی و خلیج فارس به منطقه ی قم و انباشت رطوبت در این پهنه است.

### واژگان کلیدی

سیلاب، بارش سیل‌زا، تحلیل همدید، الگوهای گردشی، الگوهای ضخامت، همگرایی شاررطوبت، قم

## ۲- مقدمه

بدون شک سیل یکی از عوامل مخرب در مناطق مختلف محسوب می‌شود و از این جهت در فهرست بلایای طبیعی منظور گردیده است. شاید بتوان گفت در عمل، سیلاب هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی، مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌گردد. از این رو، شناخت علل و عوامل موجد آن و در صورت امکان پیش‌بینی زمان و شدت وقوع آن ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. سیلاب را نه تنها با در نظر گرفتن الگوی گردشی در روز رخداد، بلکه با بررسی الگوهای گردشی چند روز پیش از رویداد سیلاب بهتر می‌توان شناخت. این موضوع از یک سو نشان از این دارد که الگوهای گردشی پیش از رخداد سیلاب نقش مهمی در تعیین شرایط و محتوای رطوبتی قلمرو مطالعاتی دارند و به سبب تعیین رطوبت پیشین نقشی اساسی در ضریب جریان منطقه ایفا می‌کنند و از دیگر سو می‌توان این نکته است که در بررسی سیلاب‌ها و عوامل هواشناختی موجد آن‌ها ناگزیر به ردیابی سامانه‌های همدید باران‌زا از سرچشمه تا محل پایان فعالیت آن‌ها هستیم تا از این طریق به شناخت جامع‌تری از ارتباط بین الگوهای گردشی و سیلاب‌ها دست یابیم. به عبارت دیگر، شناسایی الگوهای همدید پدید آورنده‌ی سیلاب نه تنها ساز و کار پیدایش آن‌ها را آشکار می‌سازد، بلکه برای پیش‌آگاهی و آمادگی رویارو شدن با آن‌ها نیز سودمند است.

در زمینه‌ی سیلاب‌شناسی تحقیقات گسترده‌ای در جهان و ایران انجام شده است، با این وجود سابقه‌ی پژوهش‌های همدید در این زمینه در ایران قدمت زیادی ندارد و اغلب این مطالعات در دو یا سه دهه اخیر صورت گرفته است. یارنال و فریکس<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) رابطه بین الگوهای گردشی و طغیان‌های حوضه‌ی ساسکوانا در جنوب غربی ایالت پنسیلوانیا را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که فراوان‌ترین و مهم‌ترین الگوی توالی در ایجاد سیلاب‌های حوضه‌ی مزبور کم‌فشارهای قوی هستند که جبهه‌های سرد و گرم شدید دارند (علیجانی، ۱۳۸۵: ۲۱۱). کمپوسکیو<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۸: ۱) به تحلیل هواشناسی عوامل ایجادکننده سیلاب‌های بزرگ روزهای سوم و چهارم نوامبر ۱۹۹۵ شهر از میر ترکیه پرداختند. بر اساس یافته‌های آن‌ها در مقیاس متوسط پدیده‌های چون وزش سطوح پایین، چرخندگی مثبت و همگرایی شدید در سطوح بالا از عوامل بروز توفان‌های شدید منجر به وقوع سیلاب‌های ویرانگر می‌باشد. کریچاک<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۰: ۴۵) با بررسی توفان‌های شدید ۲ نوامبر ۱۹۹۴ جنوب شرقی مدیترانه به این نتیجه رسیدند که پیشرفت این توفان‌ها نتیجه فرایند بی‌دررو شدید ناشی از انتشار رو به شمال مقدار زیاد گرما و رطوبت هوای حاره‌ای در مقیاس وسیع می‌باشد. روهلی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۱: ۳۶۴) رابطه‌ی بین الگوهای گردشی و دبی حوضه‌ی دریاچه‌های بزرگ آمریکا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که تغییرات رواناب در ناحیه‌ی مذکور با میانگین ماهانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال رابطه‌ی ضعیف اما با فشار تراز دریا بر روی ایالت‌های میسوری و ایلینوی همبستگی بالا دارد. کاهانا<sup>۵</sup> (۲۰۰۲: ۸۶۷) در بررسی سینوپتیکی کلیماتولوژی سیل‌های بزرگ در بیابان‌نقب به مطالعه‌ی ۵۲ مورد سیل در منطقه پرداخته است که نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در ۳۷ مورد از سیل‌های به وقوع پیوسته دو الگو وجود دارد:

۱ - Yarnal & feriqse

۲ - Komuscu

۳ - Krichak

۴ - Rohli

۵ - Kahana

ناوهی عمیق بر فراز دریای سرخ و دیگری کم فشار سوریه. زیو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵: ۵۳) توفان های ایجادکننده ی سیلاب های بزرگ حاره ای در میانه ی زمستان جنوب اسرائیل را در روزهای ۲۳-۲۰ دسامبر ۱۹۹۳ بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن ها نشان داد این توفان ها حاصل ناهوی فعال دریای سرخ می باشد. کارلایما<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹: ۹) ضمن بررسی رویدادهای بارش سنگین در تابستان های گرم و مرطوب در جنوب شرقی برزیل نشان دادند که این رویدادها اکثراً ناشی از دو نوع آشفتگی جوی هستند: جبهه ی سرد (در حدود ۵۳ درصد از رویدادها) و منطقه ی همگرایی آتلانتیک جنوبی (۴۸ درصد از رویدادها) را در بر می گیرد).

در داخل کشور نیز پژوهشگران متعددی اقلیم شناسی سیلاب را مورد مطالعه قرار داده اند که از جمله ی آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

باقری (۱۳۷۲: ۲۵-۱۰) ضمن بررسی سینوپتیکی سیستم های سیل زا در شمال ایران به این نتیجه رسید که بارش های سیل زا نتیجه ی حضور واپرخندی است که در شمال و شمال شرق دریای خزر مستقر شده است. همزمان با بارش های شدید، رودباد جنب حاره نیز در منطقه حضور داشته است. غیور (۱۳۷۵: ۱۰۱) ضمن بررسی سیل و مناطق سیل خیز در ایران به عوامل پیدایش سیلاب، توزیع جغرافیایی سیل و توزیع مکانی سیلاب در ایران و سرانجام روش های مقابله با سیل پرداخته است. کاویانی و حجتی زاده (۱۳۸۰: ۱) به تحلیل سینوپتیکی و ترمودینامیکی واقعه ی سیل اسفندماه ۱۳۷۱ در حوضه آبی کارون پرداختند. آنان به این نتیجه رسیدند که استقرار یک مرکز کم فشار بر روی شرق شبه جزیره ی عربستان سبب انتقال رطوبت و گرما به درون سامانه ی کم فشار جنوب غرب ایران شده و میزان رطوبت را به مقدار زیادی افزایش داده است. مرادی (۱۳۸۰: ۳۳) ضمن بررسی سینوپتیک سیلاب ۲۱ آبان ماه سال ۱۳۷۵ در نواحی مرکزی استان مازندران، عامل اصلی وقوع بارش را حاکمیت پشته ی پرفشار در سطح زمین و حضور ناوه در ترازهای بالای جو می داند. هم چنین مرادی (۱۳۸۳: ۵۴) به پیش بینی سیلاب ها بر اساس موقعیت سامانه های همدید در شمال شرق ایران پرداخته و به این نتیجه رسیده است که در ایجاد بارش های سیل زا در این منطقه چهار الگوی کم فشارهای مهاجر قطبی اروپایی، کم فشارهای مدیترانه ای، کم فشارهای سودانی- دریای سرخ و کم فشارهای مهاجر قطبی سیبری مؤثر هستند. مفیدی (۱۳۸۳: ۷۱) در پژوهشی با عنوان اقلیم شناسی سینوپتیکی بارش های سیل زا با منشأ منطقه ی دریای سرخ در خاورمیانه به این نتیجه رسید که شدیدترین بارش در منطقه ی دریای سرخ هنگامی اتفاق می افتد که ناهوی امواج غربی در ترازهای میانی جو به سمت شرق مدیترانه حرکت نموده و به منطقه ی دریای سرخ نفوذ نماید. مسعودیان (۱۳۸۴: ۱۶۱) در مطالعه ای تحت عنوان شناسایی الگوهای گردشی پدیدآورنده ی سیلاب های بزرگ در کارون، شش الگوی گردشی ایجاد کننده ی سیلاب های بزرگ در کارون را شناسایی نمود و نشان داد که الگوی کم ارتفاع، ارتباط معناداری با بارش و رواناب دارد. هم چنین مسعودیان (۱۳۸۴: ۵۴) در پژوهشی به پیش بینی سیلاب های استان چهارمحال و بختیاری پرداخته است. بررسی نتایج این تحقیق نشان داد که از ۱۷ الگوی گردشی شناسایی شده تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال چهارالگوی ناهوی دریای سیاه، ناهوی غرب مدیترانه، ناهوی سوریه و ناهوی شرق مدیترانه بیشترین ارتباط را با بارش های این استان دارند. پرنده ی خوزانی و لشکری (۱۳۸۹: ۶۶) به بررسی

۱ - Ziv

۲ - Carla Lima

سینوپتیکی سیستم های سیل‌زا در جنوب ایران پرداخته اند. آنان به این نتیجه رسیده‌اند که طوفان‌های شدید که منجر به وقوع بارش‌های سنگین و سیل آسا در این منطقه شده‌اند نتیجه‌ی تقویت و گسترش مرکز کم فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و در مواردی هم ناشی از ادغام مرکز کم فشار سودان با مرکز کم فشار مدیترانه‌ای بوده است.

سیل فروردین ۱۳۸۸ استان قم بر اساس گزارش استانداری قم ۷ نفر تلفات انسانی و مفقود در پی داشت. در عین حال بیش از ۱۵۰۰ واحد مسکونی در شهر و روستاهای استان قم بر اثر سیل و باران شدید دچار خسارت‌های کلی و جزئی شده و ۱۸۰۰ راس دام نیز در این حادثه تلف شدند. هم‌چنین به ۴۰ خودرو نیز در اثر این سیل صدمه وارد گردید (اداره کل هواشناسی استان قم، ۱۳۸۸).

از آن جایی که یکی از شاخه‌های مهم اقلیم‌شناسی همدید شناسایی حالت‌های فرین و ویژگی‌های محیطی نظیر سیلاب‌ها و تعیین الگوهای گردش مسبب آن‌ها است، در این پژوهش به صورت موردی روندیابی سیل فروردین ۱۳۸۸ در قم به صورت علت و معلولی مورد توجه قرار گرفته است. در واقع در این پژوهش سعی بر این است که الگوهای موجد سیلاب در استان قم شناسایی شود، تا از طریق پیش‌بینی این الگوها قبل از وقوع سیل بتوان اقدامات پیش‌گیرانه لازم را جهت جلوگیری از خسارات احتمالی و هم‌چنین استفاده بهینه از بارش‌ها به عمل آورد.

### ۳- مواد و روش‌شناسی پژوهش

از آن جایی که انجام صحیح و اصولی هر پژوهشی نیازمند تهیه‌ی پایگاه داده‌ای مناسب می‌باشد، در این مطالعه همدید نیز نیاز به دو پایگاه داده ضرورت می‌یابد؛ یکی پایگاه داده رویداد محیطی (سطحی) مورد نظر که در این پژوهش، بارش روزانه است و دیگری پایگاه داده‌ی جوی که چگونگی جریان‌های جوی را مشخص می‌کند. به عبارت دیگر، پایگاه داده‌ی این پژوهش از دو گروه متغیر تشکیل شده است؛ یک گروه متغیرها و داده‌های جوی مشتمل بر ارتفاع ژئوپتانسیل<sup>۱</sup> تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (برحسب ژئوپتانسیل متر)، باد مداری<sup>۲</sup> و باد نصف‌النهاری<sup>۳</sup> (بر حسب متربر ثانیه) و نم و یژه (بر حسب گرم بر کیلوگرم) طی ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ گرینویچ در محدوده ۰ تا ۸۰ درجه‌ی شمالی و ۰ تا ۱۲۰ درجه‌ی شرقی با تفکیک مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه‌ی که از پایگاه داده (NCEP/NCAR)<sup>۴</sup> وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا برداشت شده است و گروه دیگر داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های بارانسنجی منطقه طی روزهای ۹ تا ۱۳ فروردین ماه ۱۳۸۸ (۲۹ مارس ۲۰۰۹ تا ۲ آوریل ۲۰۰۹) می‌باشد (جدول شماره ۱). بر اساس جدول مزبور بیشینه‌ی بارش به ترتیب در ایستگاه‌های میم با ۱۱۲ میلی‌متر در روز ۱۱ فروردین، دستجرد با ۱۰۹ میلی‌متر در روز ۱۰ فروردین و سنجگان با ۱۰۷.۵ میلی‌متر در روز ۱۱ فروردین به وقوع پیوسته است.

۱ - hgt

۲ - uwnd

۳ - vwnd

۴ - National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research

جدول شماره ی ۱) بارش روزانه (۲۴ ساعته) ایستگاه های بارانسنجی استان قم  
طی روزهای ۹ تا ۱۳ فرودین ماه ۱۳۸۸

ردیف	ایستگاه	روز	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱	قم		۰.۰	۱۰.۰	۳۷.۶	۰.۰	۰.۰
۲	سلفچگان		۰.۰	۵۲.۰	۳۰.۴	۰.۰	۰.۰
۳	کهنک		۰.۰	۱۰.۰	۸۹.۰	۰.۰	۰.۰
۴	کوشک نصرت		۰.۰	۰.۰	۳۶.۰	۰.۰	۰.۰
۵	احمدآباد شاهجرد		۰.۰	۳.۷	۵۸.۸	۰.۰	۰.۰
۶	امام زاده اسماعیل		۸.۵	۵۰.۵	۰.۰	۰.۰	۱۱.۵
۷	آذر		۰.۰	۱.۷	۴۹.۸	۰.۰	۰.۰
۸	باغک کوشک نصرت		۰.۰	۰.۰	۳۲.۰	۰.۰	۰.۰
۹	باغک		۰.۰	۲۸.۰	۹۳.۰	۶.۰	۰.۰
۱۰	جنت آباد		۰.۰	۵.۰	۳۰.۵	۰.۵	۰.۰
۱۱	چشمه پلنگی		۰.۰	۳.۷	۵۶.۶	۰.۰	۰.۰
۱۲	حسن آبادنیزار		۰.۰	۲۲.۰	۳۷.۰	۰.۰	۰.۰
۱۳	حوض سلطان		۰.۰	۰.۰	۴۶.۰	۰.۰	۰.۰
۱۴	حسین آباد میش مست		۷.۰	۳۰.۰	۱۳.۰	۰.۰	۰.۰
۱۵	خاوه		۰.۰	۱۵.۰	۳۲.۰	۱.۰	۰.۰
۱۶	خورآباد		۰.۰	۸.۵	۳۸.۵	۰.۰	۰.۰
۱۷	دبزار		۰.۰	۱۱.۵	۸۵.۸	۰.۰	۰.۰
۱۸	دولت آباد		۰.۰	۳۲.۰	۶.۰	۰.۰	۰.۰

ادامه ی جدول بارندگی روزانه (۲۴ ساعته) ایستگاه های بارانسنجی استان قم  
طی روزهای ۹ تا ۱۳ فرودین ماه ۱۳۸۸

ردیف	ایستگاه	روز	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۹	دستجرد		۱۵.۰	۱۰۹.۰	۱.۵	۰.۰	۰.۰
۲۰	ساقه		۰.۰	۵۵.۰	۱۲.۰	۰.۰	۰.۰
۲۱	سالاریه		۰.۰	۳.۵	۶۶.۰	۰.۰	۰.۰
۲۲	سنجگان		۰.۰	۱۴.۰	۱۰۷.۵	۰.۰	۰.۰
۲۳	سیرو		۰.۰	۱۲.۰	۷۵.۰	۶.۰	۰.۰
۲۴	طایقان		۰.۰	۷.۰	۷۱.۰	۰.۲	۰.۰
۲۵	طلاب		۰.۰	۵.۴	۵۱.۸	۰.۳	۰.۰
۲۶	علی آبادنیزار		۰.۰	۰.۰	۴۶.۵	۰.۰	۰.۰
۲۹	عباس آباد		۰.۰	۰.۰	۴۵.۰	۰.۰	۰.۰

ردیف	ایستگاه	روز	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۳۰	فدک	۰.۰	۵۰.۰	۳.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۱	فرج آباد	۰.۰	۲.۸	۴۷.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۲	فردو	۰.۰	۱۶.۰	۹۲.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰
۳۳	فوجرد	۰.۰	۶۱.۰	۶۴.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۴	قاهان	۰.۰	۱۵.۰	۸۵.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۵	قلعه چم	۰.۰	۴.۵	۶۷.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۶	قلعه سنگی	۰.۰	۰.۰	۴۷.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۷	قمرود	۰.۰	۰.۰	۵۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۸	قنوات (حاجی آبادلکها)	۰.۰	۶.۰	۴۵.۶	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۳۹	کرمجگان	۰.۰	۲۰.۰	۷۲.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۴۰	کهندان	۰.۰	۷۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۴۱	مشک آباد	۰.۰	۰.۰	۲۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۴۲	مهرزمین	۰.۰	۲۰.۰	۹۸.۳	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۴۳	میم	۲.۰	۰.۰	۱۱۲.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۴۴	نیروگاه	۰.۰	۴.۵	۴۸.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۴۵	نیزار	۰.۰	۱.۰	۴۶.۰	۲.۵	۰.۰	۰.۰
۴۶	وسف	۰.۰	۱۵.۰	۴۱.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
۴۷	ونارج	۰.۰	۱۵.۰	۷۱.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰

به منظور شناسایی الگوهای گردشی پدیدآورنده ی سیلاب فروردین سال ۱۳۸۸ در منطقه ی قم، ابتدا در قالب رویکرد محیطی به گردشی تاریخ وقوع سیل در قلمرو مطالعاتی استخراج گردید. سپس بارش های روزانه ی ایستگاه های بارانسنجی منطقه گردآوری و بدین ترتیب، روزهایی که بارش فراگیر در قلمرو مورد بحث حادث شده و با تاریخ رخداد سیلاب انطباق کامل داشته، مشخص گردید. در نهایت نقشه‌های الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، الگوهای ضخامت جو ترازهای ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال و تابع همگرایی شار رطوبت از روز ۹ تا ۱۳ فروردین ۱۳۸۸ (که از نظر تقویمی منطبق بر ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش های رگباری تا پایان فعالیت طوفان می‌باشد) با استفاده از داده‌های اخذ شده از پایگاه اطلاعاتی NCEP/NCAR به ترسیم الگوهای حاکم بر بارش‌ها پرداخته و شرایط همدید سیل مزبور در منطقه، مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت.

در این پژوهش، علت انتخاب تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از یکسو مبنی بر این واقعیت است که جریان های این تراز جوی به عنوان لایه ی میانی جو نقش تعیین کننده ای در آرایش فشار سطحی دارند و از دیگر سو به سبب نقش تعیین کننده ای است که الگوهای جریان های جوی این تراز در تغییرات نهاده های اصلی اقلیمی (دما و بارش) ایفا می کنند. از آن جایی که مراکز کنش جوی از لحاظ مداری و نصف النهاری تعاملاتی نسبت به یکدیگر دارند، در این پژوهش جهت تبیین بهتر تأثیر رفتار همدید سامانه های فشار بر رخداد سیلاب مورد بحث محدوده ی ۰ تا ۸۰ درجه ی شمالی و ۰ تا ۱۲۰ درجه ی شرقی به سبب قرارگیری ایران در عرض های

میان و حاکمیت جریان های غربی انتخاب شده است تا کلیه ی سامانه های فشار که منطقه ی مطالعاتی را تحت تأثیر قرار می دهند بتوان مطالعه کرد.

گذشته از شناسایی الگوهای گردشی که همزمان با رویدادهای بارشی دیده شده اند، برای شناخت منابع رطوبتی بارش های بررسی شده، معادله ی همگرایی شار رطوبت محاسبه و ارزیابی گردید. بناکوس و شولز<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) ضمن بررسی تاریخچه ای از مطالعاتی که بر روی همرفت رطوبت انجام شده، به معرفی روش های مناسب جهت محاسبه همگرایی شار رطوبت<sup>۲</sup> پرداخته اند که صورت برداری معادله ی مزبور به صورت زیر است:

$$MFC = -\nabla \cdot (q\bar{V}_h) = -\bar{V}_h \cdot \nabla q - q\nabla \cdot \bar{V}_h, \quad (1) \text{ رابطه ۱}$$

$$MFC = -\underbrace{u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y}} - \underbrace{q \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)} \quad (2) \text{ رابطه ۲}$$

که در آن:

$-\nabla \cdot (q\bar{V}_h)$ : همگرایی شار رطوبت،  $-\bar{V}_h \cdot \nabla q$ : وزش رطوبتی،  $q\nabla \cdot \bar{V}_h$ : همگرایی رطوبت،  $q$ : رطوبت ویژه،  $X$  و  $Y$ : متغیرهای مستقل مکانی؛  $u$  و  $v$ : مؤلفه های مداری و نصف النهاری باد می باشد.

#### ۴- یافته های پژوهش

به منظور بررسی همدید بارش سیل زای ۹ تا ۱۳ فروردین ۱۳۸۸ در قم، از اقلیم شناسی پویشی-همدید که رابطه ی میان گردش های جوی با محیط سطحی یک منطقه را بررسی می کند، بهره گرفته ایم. در این راستا الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، الگوهای ضخامت ترازهای ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه های شار رطوبت ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ترسیم گردید. لازم به ذکر است که نقشه های ترسیم شده برای الگوهای گردشی و الگوهای ضخامت در تاریخ های مورد نظر به صورت میانگین روزانه، ولی نقشه های شار رطوبت در ساعات چهارگانه ی همدید (۰۰:۰۰، ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۸:۰۰ به وقت گرینویچ)، ترسیم گشته است. علت این امر آن است که سرعت تغییرات پدیده هایی مانند شار رطوبت زیاد است، در صورتی که تغییرات ژئوپتانسیل آرام می باشد. بررسی نقشه های همگرایی شار رطوبت (تعداد ۱۲۰ نقشه) به طریق درونسو نشان از اهمیت تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال طی ساعت های ۰۰:۰۰ و ۰۶:۰۰ در تأمین رطوبت برای بارش های موجد سیل در منطقه ی مورد نظر داشت که در ادامه بدان می پردازیم.

#### ۴-۱- الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو

بررسی الگوهای گردشی روزهای مورد بحث می تواند مبین این مسئله باشد که رخداد بارش های سیل زا در منطقه از دو سامانه ی همدید نشأت می گیرد: ۱. کم فشارهای مهاجر همراه با جبهه که از جانب شرق مدیترانه به سوی ایران شارش می یابند، ۲. کم فشارهای منطقه ی دریای سرخ در شرق این دریا بر روی شبه جزیره ی عربستان که از جانب جنوب غرب، ایران را متأثر می سازند. غالباً این دو سامانه ی کم فشار ضمن ادغام با یکدیگر منجر به بارش های جوی شدید در منطقه می گردند. در واقع الگوهای گردشی تراز ۵۰۰

<sup>۱</sup> - Banacos and Schulta

<sup>۲</sup> - Moisture Flux Convergence(MFC)

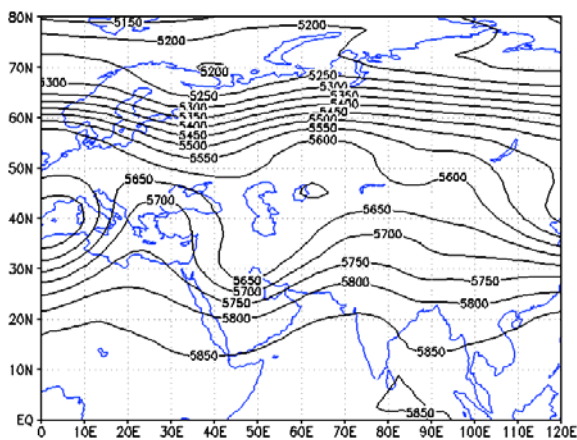
هکتوپاسکال بویژه در روزهای ۹ تا ۱۱ فروردین استقرار ناوهای عمیق بر روی شرق مدیترانه را آشکار می‌سازد که محور آن از غرب دریای خزر تا عربستان مرکزی گذر می‌نماید. به نظر می‌رسد شکل‌گیری ناوهای عمیق مزبور نتیجه‌ی مکش ناوه دریای سرخ به طرف شمال و حاصل تقریب، الحاق و ادغام سامانه‌های کم فشار مدیترانه‌ای و کم فشارهای منطقه‌ی دریای سرخ به یکدیگر بر روی شرق مدیترانه و شمال شبه جزیره ی عربستان باشد که می‌تواند ضمن ورود از جانب غرب و جنوب غرب منجر به وقوع بارش‌های سنگین در ایران و از جمله منطقه‌ی مطالعاتی گردد. در واقع از آنجایی که جریان‌های درون مرکز همگرایی دریای سرخ ویژگی ترمودینامیکی دارند، وقتی ناوهای بادهای غربی بر روی دریای مدیترانه موسوم به ناوهای مدیترانه در روی آن قرار گیرد، در شرق دریا در امتداد این افت ارتفاع (ترمودینامیکی) ژئوپتانسیلی، جنوبسو گسترش یافته و بر روی مرکز همگرایی دریای سرخ امکان چرخند زایی در محل تقویت می‌گردد (شکل شماره ۲).

در مرکز ناوهای مزبور در روز ۹ فروردین امکان شکل‌گیری یک سردچال نیز وجود دارد. اساساً روند شکل‌گیری سردچال مزبور بدین صورت است که در تراز میانی جوی نمود آشکار یک سلول کم ارتفاع می‌تواند عامل ناپایداری و رخداد بارش در منطقه قلمداد شود. در واقع این مرکز کم ارتفاع بخشی از ناوهای عمیق مستقر بر شرق مدیترانه است که به تدریج با پیشروی پشته‌ی مستقر در اروپا به طرف شرق با جدایش از ناوهای اصلی به صورت یک سردچال در منطقه آشکار شده و موجبات ایجاد ناپایداری شدیدی را در منطقه فراهم می‌نماید. بر اساس الگوی گردشی مورد بحث و به ویژه آرایش جریان‌های جوی روزهای ۹ تا ۱۱ فروردین سرزمین‌های شمال مدیترانه واقع در اروپا شاهد یک آرایش پشته‌ای است. از این رو، هوای سرد اروپا می‌تواند بر روی دریای سیاه و بخش‌های شرقی مدیترانه سرازیر شده، در برخورد با هوای گرم و مرطوب این دو توده‌ی آبی (دریای سیاه و دریای مدیترانه) شرایط تشکیل جبهه را فراهم آورد. در عین حال استقرار و حاکمیت ناوه بر روی شرق مدیترانه شرایط دینامیکی ناپایداری را آماده می‌سازد، در نتیجه همراه با ناپایداری حاصل از ناپیوستگی جبهه‌ای امکان تشکیل سامانه‌های باران‌زا مهیا می‌شود. این سامانه‌ها ضمن ترکیب با کم فشارهای منطقه‌ی دریای سرخ و با شکل‌گیری ناوه‌ای عمیق در شرق مدیترانه، می‌تواند در بستر جریان‌های غربی موج با ورود به ایران موجبات بارش را فراهم سازند. تداوم بارش در شرایطی است که به طور همزمان دو سامانه مذکور در منطقه، فعالیت و کنش داشته و جبهه در منطقه به حالت مخلوط درآید. در زمان رخداد این الگوهای گردشی با استقرار ناوهای مزبور بر روی شرق مدیترانه و به لحاظ قرارگیری ایران در نیمه‌ی شرقی این موج بلند، شرایط ناپایداری بر اغلب نقاط کشور از جمله منطقه‌ی مطالعاتی حاکم می‌شود. نگاهی به الگوهای گردشی مورد بحث مبین این است که در زمان رخداد بارش‌های سیل‌زا، آرایش جوی در منطقه کاملاً حالت نصف‌النهاری دارد و جهت جریان‌ها نیز جنوب غربی-شمال شرقی است. محور ناوهای عمیق مذکور نیز از حوالی طول ۴۰ تا ۵۰ درجه‌ی شرقی عبور می‌نماید. این ناوه به سطح زمین تقریباً نزدیک است و به سبب عمق مناسب به ویژه در الگوهای گردشی روزهای ۹ تا ۱۱ فروردین و نیز ارتفاع نسبتاً کم (کم‌تر از ۵۸۰۰ ژئوپتانسیل متر) می‌تواند زمینه را برای رخداد بارش‌های شدید در منطقه فراهم نماید. در عین حال، به نظر می‌رسد هر قدر محور ناوه به سمت جنوب عمیق‌تر شده و محور آن نیز در جهت مداری به جانب شرق تغییر مکان دهد، رویداد بارش در منطقه با شدت بیشتری تداوم می‌یابد. آرایش منحنی‌های هم ارتفاع در روزهای فوق نیز این موضوع که علاوه بر دریای مدیترانه و دریای سرخ از طریق دریای سیاه و خلیج فارس نیز می‌تواند به درون سامانه ترکیبی تغذیه رطوبت صورت گیرد را تبیین می‌کند. آرایش منحنی‌های

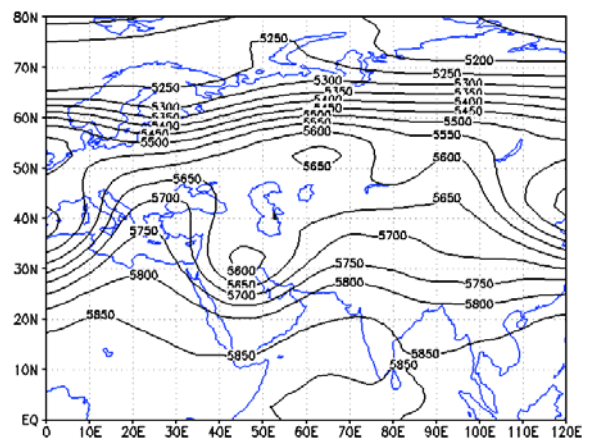


هم ارتفاع در روزهای ۱۲ و ۱۳ فروردین نیز نشانگر انتقال محور ناوه در راستای مداری به جانب شرق و در عین حال کاهش عمق و به تبع آن تضعیف حداکثری آن می‌باشد، به گونه‌ای که آرایش مزبور در روز ۱۳ فروردین بر روی ایران نمادی از جریان‌های تقریباً مداری را آشکار می‌سازد.

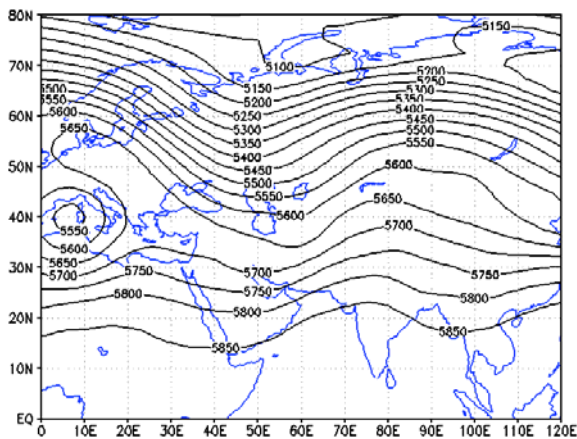
بررسی همدید تأثیر سامانه‌های مؤثر در رخداد بارش‌های سیل‌زا در منطقه‌ی قم مبین این نکته نیز می‌توانند باشد که اگر چه تشکیل و گسترش ناوه‌ی عمیقی بر روی شرق مدیترانه شرایط لازم را در این خصوص مهیا می‌سازد، اما به نظر می‌رسد که نباید از نقش مهم انتقال کم فشارهای جنب قطبی به طرف عرض‌های پائین‌تر در جهت نصف‌النهاری برای پیدایش الگوی گردشی نابهنجار به سادگی گذشت (شکل شماره ۱).



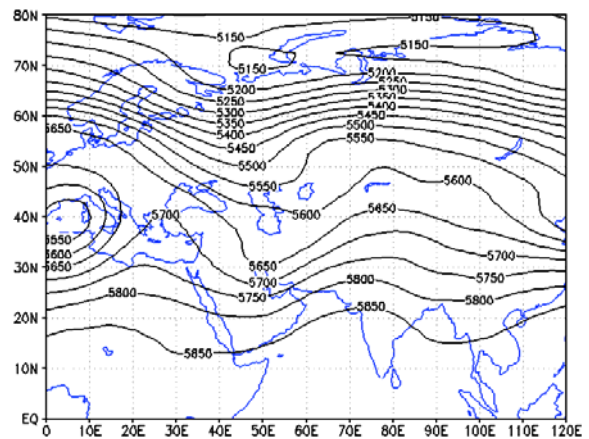
(ب) الگوی گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۰ فروردین ۱۳۸۸



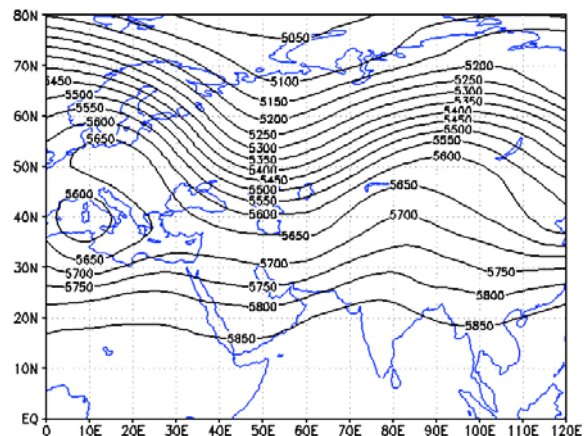
(ف) الگوی گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۹ فروردین ۱۳۸۸



(د) الگوی گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۲ فروردین ۱۳۸۸



(ج) الگوی گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۱ فروردین ۱۳۸۸



هـ) الگوی گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳ فروردین ۱۳۸۸  
 شکل شماره ۱) نقشه‌های الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۹ تا ۱۳ فروردین ۱۳۸۸ (بر حسب ژئوپتانسیل متر)

#### ۲-۴- تحلیل الگوهای ضخامت جو در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال

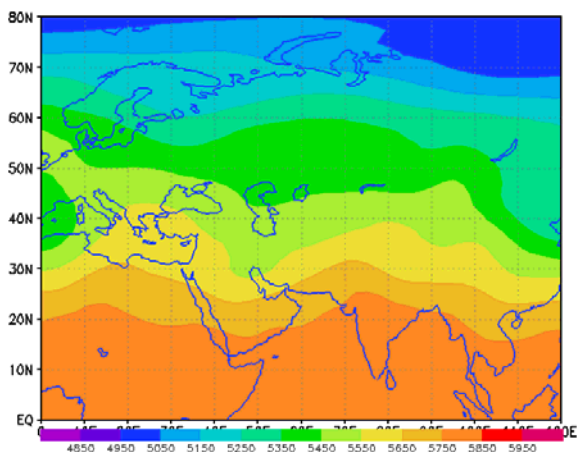
بررسی نقشه‌های ضخامت جو طی روزهای ۹ و ۱۰ فروردین نیز ناوهای بسیار عمیقی را بر روی شرق مدیترانه آشکار می‌سازد. در این شرایط بخش‌های شمالی مدیترانه شاهد یک الگوی پشته‌ای است. از این رو هوای سرد اروپا می‌تواند بر روی دریای سیاه و منتهی الیه شرقی مدیترانه سرازیر شده و در تصادم با هوای گرم و مرطوب تر این پیکره‌های آبی امکان تشکیل جبهه را فراهم آورد. از سوی دیگر، زبانه‌ای از سامانه‌ی کم فشار سودان با عنوان ناوه دریای سرخ به شکل ۸ (V معکوس) به طرف شمال تا دریای سرخ شمالی و سپس تا جنوب مدیترانه امتداد می‌یابد. در این شرایط نیز امکان تشکیل سامانه‌های باران‌زا به سبب تصادم هوای گرم و مرطوب آفریقای حاره‌ای با هوای سرد اروپایی مهیا می‌گردد. ریزش هوای سرد در درون این ناوه عمیق که حاصل ادغام سامانه‌های کم فشارهای مدیترانه‌ای با کم‌فشارهای منطقه‌ی دریای سرخ می‌باشد و برخورد آن با هوای گرم و مرطوب شمال آفریقا، شیو دمایی شدیدی را موجب شده که شرایط کژفشاری را بر منطقه حاکم کرده و زمینه را برای تشکیل جبهه (ناپوستگی) و ایجاد حرکات صعودی فراهم می‌سازد. در روزهای ۱۱ تا ۱۳ فروردین ناوه‌ی مزبور اندکی به سمت شرق تغییر مکان داده و شرایط کژفشاری روزهای قبل نیز به طرف شرق جابجا شده است. در عین حال از عمق این ناوه عمیق نیز طی روزهای ۱۲ و ۱۳ فروردین به تدریج کاسته شده که این امر می‌تواند به کاهش و سرانجام توقف بارش در منطقه نیز بیانجامد. در مجموع تحلیل نقشه‌های ضخامت جو حاکی از آن است که ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر و برخورد آن با هوای گرم و مرطوب کشیده شده از عرض‌های پائین‌تر، بویژه شمال آفریقا بر روی ایران منطقه‌ی کژفشاری شدیدی را ایجاد نموده که در رخداد بارش‌های سیل‌زا در منطقه‌ی مطالعاتی نقش مهمی را ایفا کرده است (شکل شماره ۲).

#### ۳-۴- تحلیل تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال

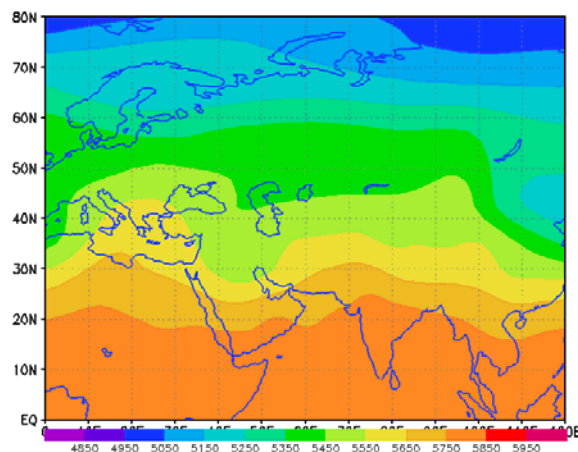
در ارزیابی معادله‌ی همگرایی شار رطوبت و شناخت منابع رطوبتی بارش‌ها برای تاریخ‌های مورد مطالعه، تابع همگرایی شار رطوبت در شش تراز، طی ساعت‌های چهارگانه‌ی همدید، تحلیل گردید. بررسی نقشه‌های

همگرایی شار رطوبت (تعداد ۱۲۰ نقشه) به طریق درونسو<sup>۱</sup> نشان داد که تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال طی ساعت-های ۰۰:۰۰ و ۰۶:۰۰، ترازوی است که اهمیت زیادی در تأمین رطوبت برای بارش در منطقه‌ی مورد نظر دارد. آنچه در پی می‌آید تحلیل نقشه‌های رطوبتی این تراز است (شکل‌های شماره ۳ و ۴).

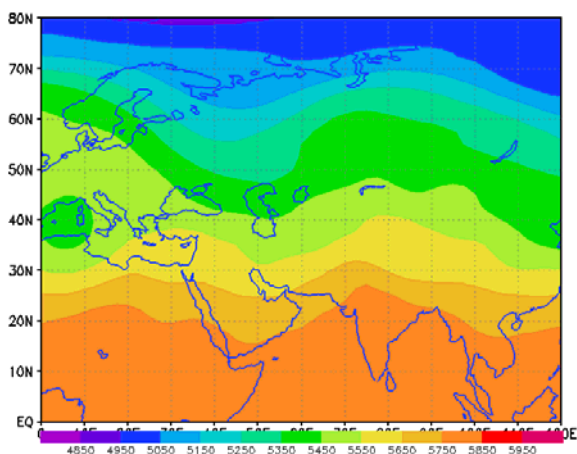
بررسی تابع همگرایی شار رطوبت در روز ۹ فروردین در ساعت ۰۰:۰۰، نشان داد که همگرایی شار رطوبت نسبتاً چشم‌گیر بوده است. در این روز همگرایی شار رطوبت بر روی شبه جزیره‌ی عربستان بسیار شدید بوده، به گونه‌ای که نسبت به مناطق اطراف خود به صورت یک هسته‌ی بیشینه‌ی کاملاً مشخص است. بردارهای باد وزش نسبتاً شدیدی (سرعت ۱۵-۱۰ متر در ثانیه) را از روی دریای سیاه، منتهی‌الیه شرقی مدیترانه و دریای سرخ نشان می‌دهند. از سوی دیگر حرکت واچرخندی شدیدی نیز بر روی آسیای مرکزی که خاستگاه زبانه‌ی غربی سامانه‌ی پرفشار سیبری است مشاهده می‌شود که با عبور از روی دریاچه‌ی آرال و دریای خزر و با طی مسیر از روی این دو پهنه‌ی آبی و در عین حال تقویت بیش‌تر وارد نیمه‌ی شمالی کشور شده و تا ایران مرکزی گسترش می‌یابد.



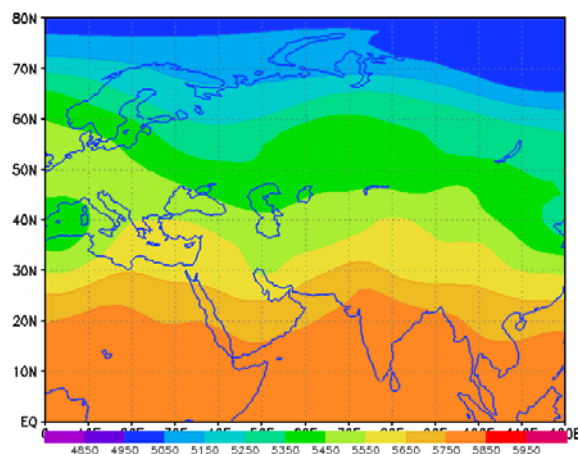
ب) الگوی ضخامت جو ۱۰ فروردین ۱۳۸۸



الف) الگوی ضخامت جو ۹ فروردین ۱۳۸۸

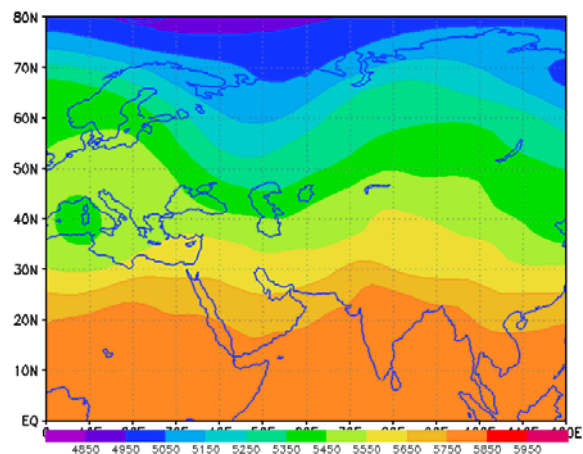


د) الگوی ضخامت جو ۱۲ فروردین ۱۳۸۸



ج) الگوی ضخامت جو ۱۱ فروردین ۱۳۸۸

۱ - Objective



هـ) الگوی ضخامت جو ۱۳ فروردین ۱۳۸۸

شکل شماره ۲) نقشه‌های الگوهای ضخامت جو در تاریخ ۹ تا ۱۳ فروردین ۱۳۸۸

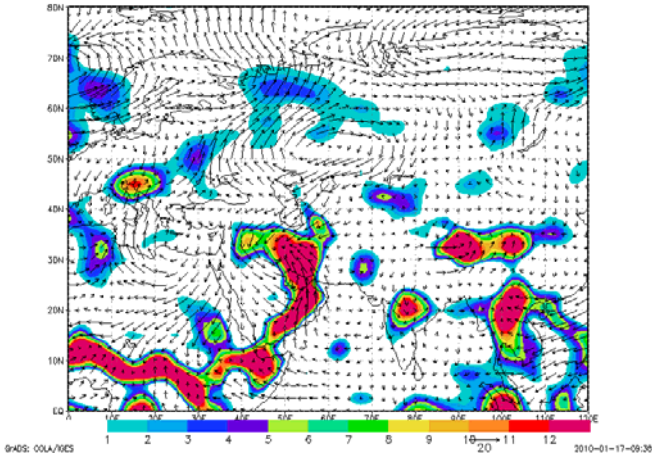
بررسی الگوی شار رطوبت در ساعت ۰۶:۰۰ روز ۹ فروردین ضمن تشابه نسبی با ساعت ۰۰:۰۰ همان روز نشان می‌دهد که بیشینه‌ی همگرایی شار رطوبت ضمن انتقال به سمت شرق در جهت مداری و گسترش نصف‌النهاری به طرف شمال و در عین تقویت به جهت گذر از روی خلیج فارس، قلمروی مرکزی ایران بویژه منطقه‌ی مورد مطالعه را در بر گرفته است. در این ساعت بادهایی با سرعت تقریبی ۱۵ متر بر ثانیه از جانب منتهی الیه بخش شرقی مدیترانه، خلیج فارس و دریای خزر بر روی قلمروی نسبتاً وسیعی از کشور و از جمله منطقه‌ی مطالعاتی وزیده است.

در ساعت ۰۰:۰۰ روز ۱۰ فروردین همگرایی شار رطوبت بر روی ایران مرکزی به جهت تزریق از توده‌های آبی مدیترانه‌ی شرقی و خلیج فارس منجر به ایجاد هسته‌ای بیشینه در قلمرو مورد بحث شده است. حرکت چرخندی بر روی شبه جزیره‌ی عربستان و خلیج فارس همگام با حرکت چرخندی موجود در شمال دریای سرخ، سبب انتقال رطوبت منابع آبی مدیترانه‌ی شرقی و خلیج فارس به ایران مرکزی شده است. بررسی الگوی شار رطوبت در ساعت ۰۶:۰۰ همین روز نیز نشان از تزریق رطوبت در قالب یک حرکت چرخندی و در جهت پادساعتگرد از توده‌های آبی مدیترانه‌ی شرقی، دریای سرخ شمالی و خلیج فارس به ایران مرکزی و از جمله منطقه‌ی مطالعاتی دارد، به گونه‌ای که هسته‌ی بیشینه‌ای را در این قلمرو مکانی ایجاد کرده است. سرعت وزش بادها در این پهنه به طور تقریبی ۲۰-۱۵ متر بر ثانیه بوده است.

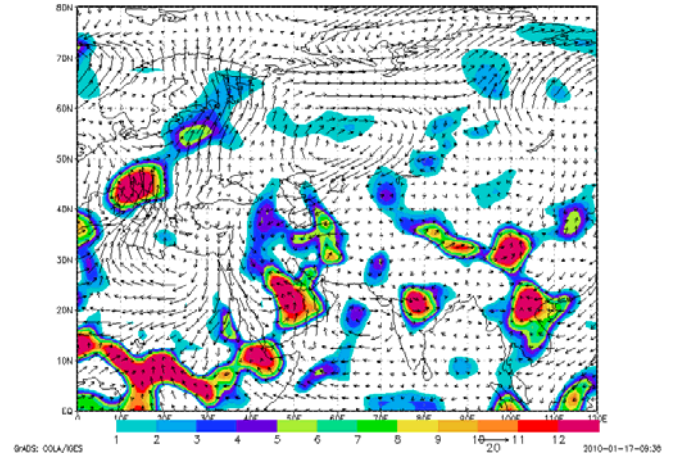
نقشه‌ی تابع همگرایی شار رطوبت در روز ۱۱ فروردین در ساعت ۰۰:۰۰ کماکان مبین وجود هسته‌ی بیشینه‌ی شار همگرایی شار رطوبت در ایران مرکزی در راستای مداری است. وقوع حرکت و چرخندی در شمال دریای خزر همراه با حرکت چرخندی موجود بر روی شرق مدیترانه، شبه جزیره‌ی عربستان و خلیج فارس ضمن شارش رطوبت به ایران به سبب گذار از توده‌های آبی مذکور موجب انباشت رطوبت در قلمرو وسیعی از کشور از جمله منطقه‌ی قم شده است. سرعت وزش بادها در این روز و ساعت به منطقه‌ی مطالعاتی به طور تقریبی بین ۲۰-۱۵ متر بر ثانیه بوده است. در ساعت ۰۶:۰۰ همین روز از سرعت وزش بادها کاسته شده و هسته‌ی رطوبتی نیز ضمن کاهش توان به سمت شرق و شمال شرق تغییر موقعیت داده است. نقشه‌های



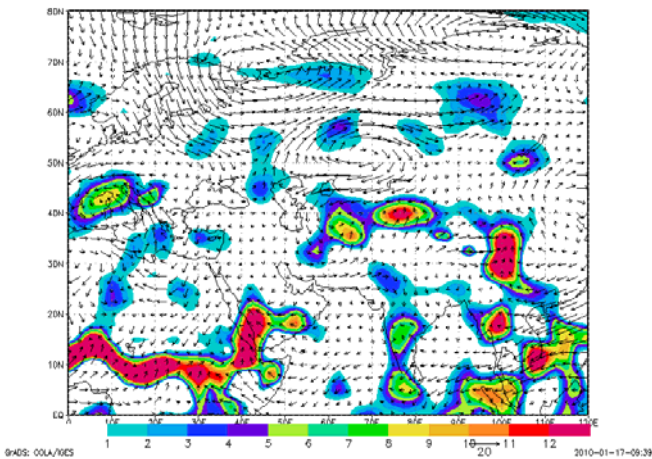
روزهای ۱۲ و ۱۳ فروردین طی ساعت‌های ۰۰:۰۰ و ۰۶:۰۰ نیز کاهش تدریجی حضور هسته‌های رطوبتی و سرعت وزش بادها را آشکار می‌سازد. این موضوع می‌تواند به منزله‌ی پایان آشفته‌گی و خروج سامانه‌ی بارش زا از کشور قلمداد شود.



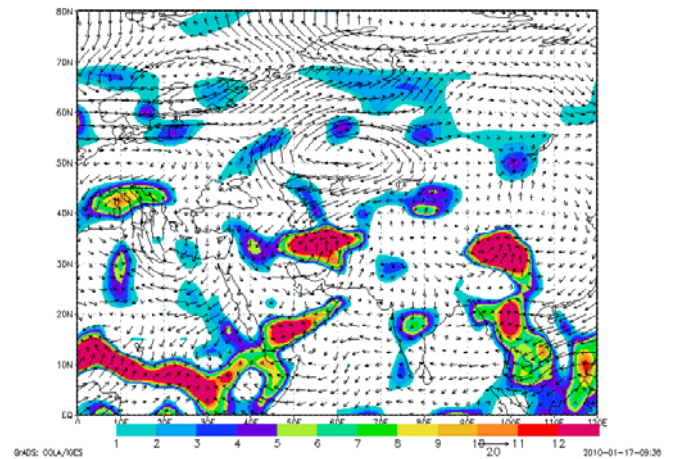
(ب) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۱/۱۰



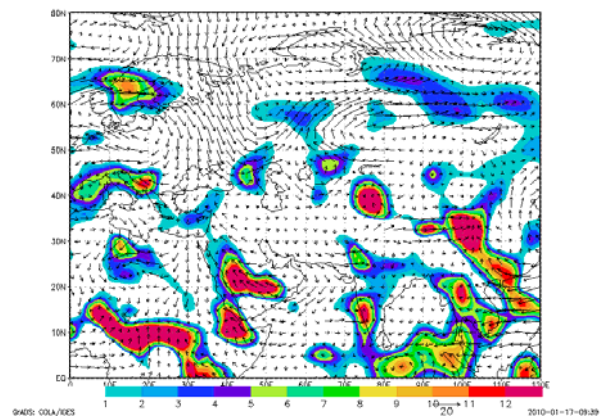
(الف) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۰/۱/۹



(د) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۱/۱۲

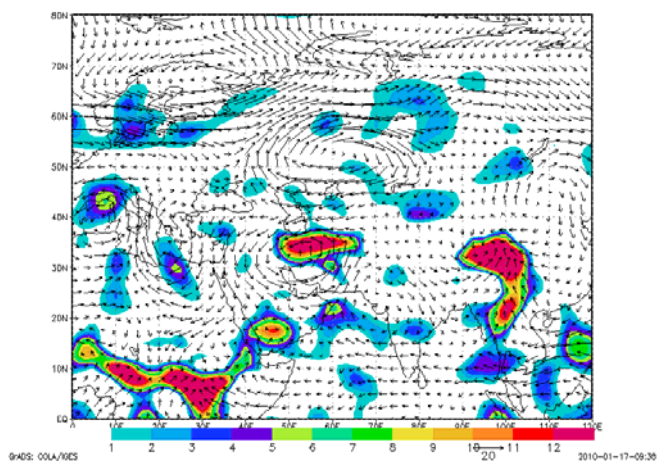


(ج) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۱/۱۱

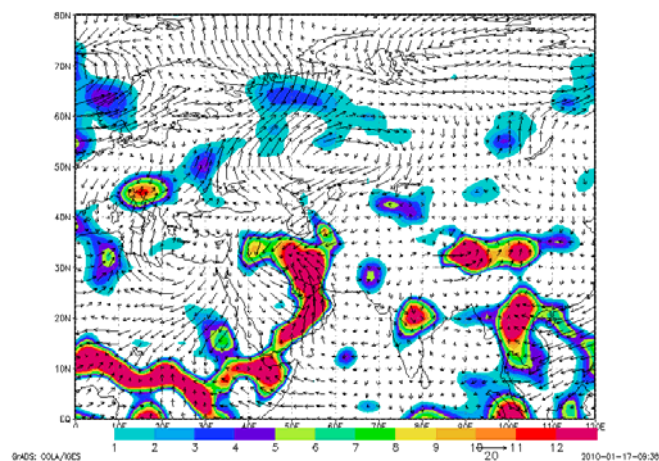


(ه) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۱/۱۳

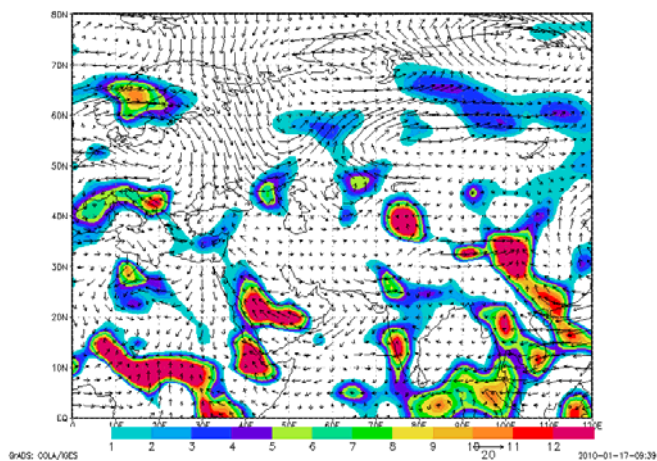
شکل شماره ۳) نقشه‌های تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال ساعت ۰۰ گرینویچ بر حسب  $1-1.5-5g.kg$



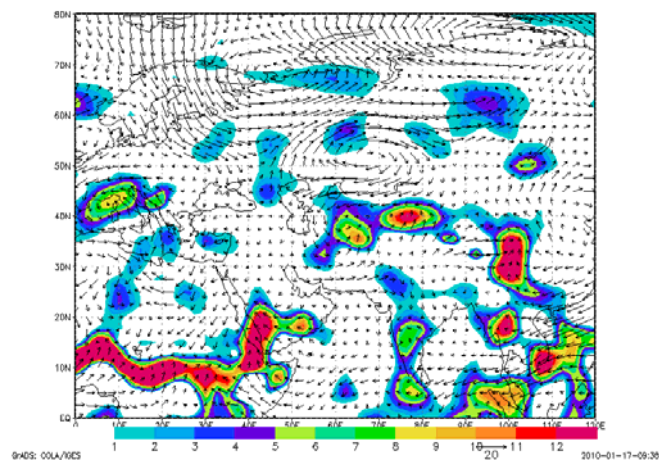
(ب) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۰۱/۱۰



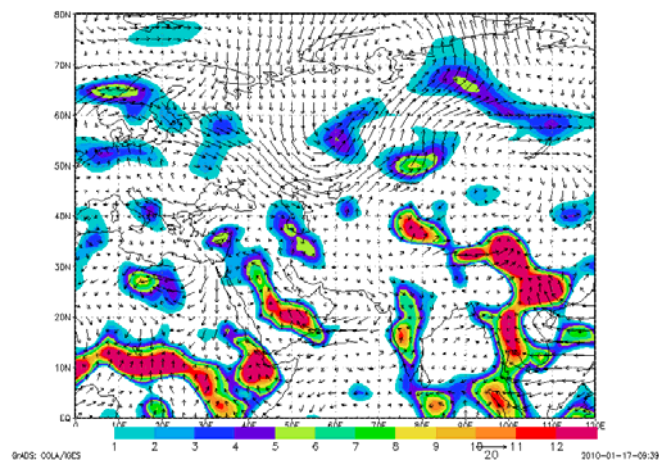
(الف) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۰۱/۹



(د) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۰۱/۱۲



(ج) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۰۱/۱۱



(ه) تابع همگرایی شار رطوبت ۱۳۸۸/۰۱/۱۳

شکل شماره ۴) نقشه‌های تابع همگرایی شار رطوبت تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال ساعت ۰۶:۰۰ گرینویچ بر حسب ۱-۱.۵-۵g.kg-۱۰

## ۵- نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از داده‌های بارش روزانه‌ی ایستگاه‌های باران سنجی در سطح استان قم طی روزهای ۹ تا ۱۳ فروردین ماه ۸۸ (۲۹ مارس ۲۰۰۹ تا ۲ آوریل ۲۰۰۹)، بر مبنای رویکرد محیطی به گردشی، الگوهای اصلی ایجاد کننده‌ی بارش‌های سیل زای استان شناسایی شد و از دیدگاه همدید مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد رخداد بارش‌های سیل زای در قم عمدتاً از ادغام دو سامانه‌ی همدید نشأت می‌گیرد:

کم فشارهای مهاجر همراه با جبهه که از جانب شرق مدیترانه به سوی ایران شارش می‌یابند؛ کم فشارهای منطقه‌ی همگرایی دریای سرخ در شرق این دریا بر روی شبه جزیره‌ی عربستان. نقشه‌های ضخامت جو بیانگر این مطلب بود که ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا و برخورد آن با هوای گرم و مرطوب نفوذی از عرض‌های پائین، به ویژه از شمال آفریقا بر روی ایران منطقه‌ی کژفشاری شدیدی را ایجاد نموده که در وقوع بارش‌های سیل زای در منطقه‌ی مورد بحث نقش مهمی را ایفا می‌کند. تحلیل نقشه‌های تابع همگرایی شار رطوبت در روزهای ۱۰ و ۱۱ فروردین که منطبق بر اوج بارش‌های سیل زای در منطقه‌ی قم می‌باشد نیز نشان از وجود هسته‌ی بیشینه‌ی ای از انباشت رطوبت در ایران مرکزی که منطقه‌ی مطالعاتی را نیز در بر می‌گیرد دارد. در این راستا، حرکت واچرخندی بر روی شمال دریای خزر با عبور از روی دریاچه‌ی آرال و دریای خزر، سبب تقویت سامانه‌ی بارشی موجود در شرق مدیترانه از لحاظ رطوبتی شده که به نیمه‌ی شمالی کشور وارد می‌شود و تا ایران مرکزی نیز گسترش می‌یابد. هم‌چنین حرکات چرخندی از سمت مدیترانه شرقی شبه جزیره‌ی عربستان و خلیج فارس، رطوبت را از پهنه‌های آبی مدیترانه‌ی شرقی، دریای سرخ شمالی و خلیج فارس به ایران مرکزی و منطقه‌ی مطالعاتی تزریق می‌نماید.

## ۶- منابع

- ۱- اداره کل هواشناسی استان قم (۱۳۸۸)، اطلاعات بارندگی شدید و سیل فروردین ۱۳۸۸، قم.
- ۲- باقری، سعید (۱۳۷۲)، بررسی سینوپتیکی سیستم های سیل‌زا در شمال ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران، صص ۲۵-۱۰.
- ۳- پرنده خوزانی، ا. و لشکری، حسن (۱۳۸۹)، بررسی سینوپتیکی سیستم های سیل‌زا در جنوب ایران، مجله‌ی تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲، صص ۶۶-۷۳.
- ۴- حجتی زاده، رحیم (۱۳۸۱)، بررسی سینوپتیکی سیلاب رودهای دامنه غربی زاگرس (با تأکید بر حوضه های کرخه و کارون-دز)، پایان‌نامه‌ی دوره‌ی دکتری جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان.
- ۵- علیجانی، بهلول (۱۳۸۵)، اقلیم‌شناسی سینوپتیک، تهران، انتشارات سمت.
- ۶- غیور، حسنعلی (۱۳۷۵)، سیل و مناطق سیل‌خیز در ایران، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۴۰، صص ۱۲۰-۱۰۱.
- ۷- کاویانی، محمدرضا و حجتی زاده، رحیم، (۱۳۸۰)، تحلیل سینوپتیک و ترمودینامیک واقعه‌ی سیل اسفندماه ۱۳۷۱ در حوضه‌ی آبریز کارون، مجله‌ی علمی-پژوهشی دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان، دوره‌ی دوم، شماره‌ی ۲۶ و ۲۷، پائیز و زمستان ۸۰، صص ۱۸-۱.
- ۸- مارتین، جاناتان، (۲۰۰۶)، دینامیک جو در عرض میانه، ترجمه سیدابوالفضل مسعودیان، ۱۳۸۸، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان و سمت.
- ۹- مرادی، حمیدرضا (۱۳۸۰)، بررسی سینوپتیک سیلاب ۲۱ آبان ماه سال ۱۳۷۵ در نواحی مرکزی استان مازندران، آموزش جغرافیا، سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۷، بهار ۱۳۸۰، صص ۴۱-۳۳.
- ۱۰- مرادی، حمیدرضا (۱۳۸۳)، پیش‌بینی سیلابها بر اساس موقعیتهای سامانه های همدید در شمال شرق ایران، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، زمستان ۱۳۸۳، شماره ۷۵، صص ۷۰-۵۴.
- ۱۱- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۴)، شناسایی الگوهای گردشی پدید آورنده سیلابهای بزرگ در کارون، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره ۵، بهار و تابستان، صص ۱۸۲-۱۶۱.
- ۱۲- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۴)، پیش‌بینی و برآورد سیلاب در استان چهارمحال و بختیاری، طرح پژوهشی استانداری چهارمحال و بختیاری.
- ۱۳- مفیدی، عباس (۱۳۸۳)، اقلیم‌شناسی سینوپتیکی بارش های سیل‌زا با منشأ دریای سرخ در خاورمیانه، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۵، صص ۹۳-۷۱.
- ۱۴- یارنال، برنت (۱۹۹۳)، اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، ترجمه‌ی سید ابوالفضل مسعودیان، (۱۳۸۵)، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه اصفهان.

۱۵- Banacos. P. G., D. M., Schulta (۲۰۰۴); *Moisture Flux Convective Initiation*

*Forecasting*, [www.ams.confex.com](http://www.ams.confex.com)

۱۶- Carla Lima, K., P. Satyamurty and J. P. Reyes Fernández (۲۰۰۹); *Large-Scale*

*Atmospheric Conditions Associated with Heavy Rainfall Episodes in Southeast Brazil*,

Springer Wien, DOI. 10.1007/s00704-009-0207-9. *Theoretical and Applied Climatology*



- ۱۷- Kahana, R. (۲۰۰۲); *Synoptic Climatology of Major Floods in the Negev Desert, J: Climatol, Vol. ۲۲, pp. ۸۶۷-۸۸۲.*
- ۱۸- Komusce, A. U. et al (۱۹۹۸); *Analysis Of Meteorological and Terrain Features Leading to the Izmir Flash Floods, ۳-۴ November*”, *Natural Hazards*, ۱۸: ۱-۲۵.
- ۱۹- Krichak, S. et al (۲۰۰۰); *November ۲, ۱۹۹۴, Sever Storms in the Southeastern Mediterranean, Atmospheric Research*, ۵۳: ۴۵-۶۲.
- ۲۰- Rohli, R. V. et al (۲۰۰۱); *Synaptic Circulation and Stream Discharge in the Grent Lake Basin USA, Applied Geography*, ۲۱: ۳۶۴-۳۸۵.
- ۲۱- Ziv, B. et al (۲۰۰۵); *A Mild Winter Tropical Extreme Flood Producing Storm in Southern Israel: Synoptic Scale Analysis, Meteorology and Atmospheric Physics*, ۸۸: ۵۳-۶۳.
- ۲۲- [www.cdc.noaa.gov](http://www.cdc.noaa.gov)