

تحلیل الگوهای گردشی مؤثر بر بارش‌های رگباری ناحیه کوهپایه‌ای داخلی ایران

محسن فنودی (دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، ایران، نویسنده مسئول)

mohsenfanoodi1346@gmail.com

کمال امیدوار (استاد اقلیم‌شناسی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه یزد، ایران)

komidvar@yazd.ac.ir

احمد مزیدی (دانشیار اقلیم‌شناسی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه یزد، ایران)

amazidi@yazd.ac.ir

رضا دوستان (استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران)

doostan@um.ac.ir

صص ۱۶۳ - ۱۳۷

چکیده

اهداف: هدف تحقیق، شناسایی الگوهای گردشی سطوح میانی جو بارش‌های رگباری در ناحیه کوهپایه داخلی ایران است.

روش: به منظور فوق، داده‌های از ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵) کدهای هواشناسی جهانی ۸۰ تا ۹۹ ایستگاه‌های هم‌دید سازمان هواشناسی کشور استفاده شد. بارش رگباری هم‌دید، بارشی است که حداقل در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها حادث شود. بنابراین، ۸۰ رگبار مشترک مبنای شناسایی الگوهای جوی است که با روش تحلیل مؤلفه اصلی و خوشه‌بندی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال تعیین شد.

یافته‌ها/ نتایج: از ۷ الگوی گردشی به دست آمده در اثر خوشه‌بندی، بیشترین تعداد روزهای رگباری، از الگوی جوی اول تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ماه مارس، آوریل و می (فصل بهار) تبعیت می‌کند. بیشترین مقادیر بارش این الگو در نواحی غربی و شمال غرب منطقه پدید آمده است. این الگو حاکی از شکل‌گیری مرکز کم‌ارتفاع عمیق و قوی بسته در دریای سیاه است که باعث شیو ژئوپتانسیل در منطقه و توسعه امواج کژفشار در مناطق شرقی ناوه می‌شود. بسته بودن مرکز کم‌ارتفاع (سرد چال) باعث کندی حرکت سامانه‌های غربی در کوهپایه داخلی ایران و ادامه بارش‌ها شد. با

بررسی الگوهای گردش سطح زمین، نواحی غربی و شمال غرب منطقه مطالعه شده در این الگو، تحت تأثیر پرفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال غرب اروپا و نواحی شرقی منطقه تحت تأثیر مرکز کم فشار قرار دارد. در این الگو وجود پشته قوی در شمال دریای مدیترانه و سرد چال در شرق دریای سیاه، باعث تقویت وضعیت کم فشار در سطح زیرین جو شده است. بنابراین، با توجه به همگرایی زیاد در تراز پایین، مهیا بودن شرایط برای صعود و تاوایی مثبت بالا و واگرایی در تراز میانی جو، بارش‌های رگباری مناسبی (بیش از ۴۰ میلیمتر)، عمدتاً در نواحی شمال غرب منطقه می‌ریزد. در این الگو، زبانه‌های پر فشار، رطوبت را از دریای خزر به شمال غرب و غرب منطقه منتقل کرده و نقش حرکت چرخندی سیستم جنوب غربی در تقویت رطوبت از دریای عرب و خلیج فارس به منطقه مشهود است.

نتیجه‌گیری: بارش‌های رگباری مرتبط با سرد چال یا مرکز کم ارتفاع عمیق در لایه‌های فوقانی جو است. همچنین، وجود پشته قوی غرب اروپا و ریزش هوای سرد عرض بالا باعث تقویت مرکز فرابار در تراز پایین شده و زبانه‌های آن، جریانات شمالی و تزریق رطوبت خزری را به نواحی غربی منطقه مطالعه شده موجب می‌شود. همچنین، روزهای رگباری کوهپایه داخلی مرتبط با سیستم کم فشار جنوب و جنوب غربی و همگرایی سطوح پایین است.

کلیدواژه‌ها: بارش رگباری، الگوهای گردش، تحلیل مولفه اصلی و خوشه‌بندی، کوهپایه داخلی ایران.

۱. مقدمه

بارش مهم‌ترین پدیده یا ویژگی محیط زیست است و تاکنون مطالعات فراوانی در باره عوامل ایجاد آن انجام شده است. سال‌های پرباران یا بسیار خشک هر دو در کیفیت محیط زندگی انسان نقش مؤثری دارند. در هر مکانی بارش زمانی اتفاق می‌افتد که هوای مرطوب و عامل صعود فراهم شود. هر دوی این شرایط به وسیله الگوهای گردش اتمسفر فراهم می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۸، ص. ۲۰۳). معروف‌ترین و اولین کار در این زمینه به وسیله کلاین^۱ در

1. Klein

سال ۱۹۴۸ انجام شد و نشان داد که در جلوی فرود در محدوده پیشروی تاوایی مثبت، شدت بارندگی بیشتر است. بارش‌های سنگین به‌عنوان عاملی مخاطره‌انگیز در بروز حوادث طبیعی همانند سیل مطرح است از این رو مطالعه هم‌دیدگی سیستم‌های مولد آن می‌تواند نقش مهمی در تشخیص به موقع و کنترل سیلاب و کاهش خسارات داشته باشد (عزیزی و صمدی، ۱۳۸۶، ص. ۷۴). توجه به افزایش وقوع سیل‌ها با شدت‌های بالا و افزایش فراوانی وقوع آن‌ها در چند سال اخیر بحث‌های جدیدی را درباره رگبارها و تغییرات شدت بارندگی مطرح کرده است. منشأ بسیاری از سیلاب‌های عظیم باران‌هایی است که به صورت رگبارهایی با شدت زیاد، تداوم نسبتاً طولانی، تکرارهای متوالی و یا در سطح وسیعی از منطقه رخ می‌دهند (امیدوار، ۱۳۹۰، ص. ۱۸۹). بارش به‌عنوان یکی از نعمت‌های الهی، همیشه آبادانی و سرسبزی طبیعت را به همراه دارد؛ ولی هنگامی که بشر با فعالیت‌های نادرست خود بستر نزول این نعمت را خراب کرده باشد، پیامدهای آن بیشتر زیانبار خواهد بود (براتی، بداق‌جمالی و ملکی، ۱۳۹۱، ص. ۸۵). وقوع بارش‌های رگباری و شدید از جمله ویژگی‌های آب و هوایی نواحی خشک و نیمه‌خشک است که موجب بروز سیل می‌شود. وقوع چنین بارش‌هایی حاصل ترکیب شرایط هم‌دیدگی و محیطی است. عبور چرخندهای مدیترانه‌ای مهم‌ترین عامل بروز بارش‌های سیل‌آسا در ایران است؛ اما در برخی مناطق ایران از جمله نواحی جنوبی و جنوب غربی، اثری از سیکلون‌های مدیترانه‌ای نیست و اگر این سامانه با سایر سامانه‌های ورودی به ایران از جمله سامانه کم فشار سودانی و شرایط صعود محلی مانند گرمای زمین همراه شوند بارش‌های شدیدتری رخ می‌دهد. در مجموع، در زمان حدوث بارش‌های رگباری، هوای سرد و بسیار مرطوب، هم‌گرایی شدید سطوح پایین و واگرایی شدید سطوح بالا، کاهش ضخامت اتمسفر و ارتفاع سطوح هم‌فشار اتفاق می‌افتد (گندمکار، ۱۳۹۱، ص. ۱۱۵).

با توجه به وسعت و اهمیت بسیار زیاد اقتصادی و اجتماعی منطقه مطالعه‌شده در ایران که جنوب رشته‌کوه البرز و شرق رشته‌کوه زاگرس را در بر می‌گیرد، ضرورت ایجاب می‌کند که با استفاده از این تحقیق، الگوهای گردشی به وجود آورنده بارش‌های رگباری و خسارت‌زا شناسایی شوند، بدین منظور می‌توان از حداقل یک یا دو روز قبل، با رؤیت آغاز توالی

الگوهای مختوم به ایجاد بارش‌های رگباری و سیل‌آسا، وقوع آن را پیش‌بینی کرد، در این صورت فرصت کافی برای ایجاد آمادگی‌های لازم وجود دارد.

هدف از اجرای این تحقیق، شناسایی الگوهای گردشی و عوامل پدیدآورنده بارش‌های رگباری در ناحیه کوهپایه‌ای داخلی ایران (جنوب رشته‌کوه‌های البرز و شرق رشته‌کوه‌های زاگرس) و چگونگی شکل‌گیری آن‌ها است که در چه زمان‌هایی از سال احتمال تکوین آن‌ها بیشتر است و در چه زمان‌هایی بیشتر در منطقه پیدا می‌شوند و همچنین چه مشابهت و یا تفاوت‌هایی با همدیگر دارند.

۲. پیشینه تحقیق

تاکنون برای شناسایی رگبارها و بارهای سنگین در دنیا مطالعات زیادی صورت گرفته است. از آن جمله در پژوهشی عواملی چون کوهستانی بودن و جزیره گرمایی در شهر توکیو را علل اصلی افزایش روزهای بارش سنگین این منطقه دانستند (یونتانی^۱، ۱۹۸۲، ص. ۱۴۶۶). در تحقیقاتی الگوی فضایی زمانی بارش‌های سنگین جنوب شرق ایالات متحده بررسی شد و نتیجه گرفته شد که مکانیسم غالب رخدادها فرین بارش در سراسر منطقه مطالعاتی سیستم جبهه‌ای به ویژه جبهه سرد است که سبب صعود سریع هوا و شکل‌گیری تندر می‌شود (کیم^۲، ۱۹۹۶، ص. ۲۴). در تحقیقاتی، کم فشارهای شکل‌گرفته در شرق فلات تبت و تقویت آن‌ها در تنگه تایوان و ناپایداری محلی را عامل شکل‌گیری بارش شدید ژوئن ۲۰۰۹ در جنوب غرب تایوان معرفی کردند (چن و لیو^۳، ۲۰۰۹، ص. ۲۳۵). با بررسی بارش‌های سنگین ناحیه لانگدوک فرانسه به این نتیجه رسیدند که رخداد بارش‌های سنگین منطقه در ارتباط با افزایش دمای سطح آب مدیترانه، فاز منفی شاخص‌های نوسان مدیترانه و نوسان غرب مدیترانه است (ترمبلی و نجیب^۴، ۲۰۱۰، ص. ۱۲). جهت تشخیص الگوهای هم‌دیدگی باران سنگین بر اساس روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، همچنین ارزیابی کمی شرایط

1. Yonetani

2. Keim

3. Chen & Liu

4. Trambly & Najib

ترمودینامیکی باران مداوم و سنگین، جمهوری چک را مطالعه کردند (کاسپار و مولر^۱، ۲۰۱۰، ص. ۴۷۷). در تحقیقاتی شکل‌گیری جت سطح پایین از الگوی بزرگ مقیاس را عامل اصلی بارش‌های سنگین جنوب شرق ایتالیا دانستند (ماسترانگلو و میگلیتا^۲، ۲۰۱۱، ص. ۵۸۶). هورلینگ و چنگ در پژوهشی با به‌کارگیری صدک ۹۵، بارش‌های فرین روزانه آمریکا را بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که تغییرات دمای سطح دریا بر رخداد بارش‌های فرین در مناطق شمالی در تابستان و کاهش بارش‌های فرین در زمستان در مناطق جنوبی آمریکا تأثیرگذار است (هورلینگ و چنگ^۳، ۲۰۱۶، ص. ۲۳۱).

در ایران با بررسی هم‌دیدگی بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلیمتر ناحیه خزری نتیجه گرفته شد که بارش‌های سنگین این منطقه ناشی از ورود جبهه تقویت‌شده نسیم دریا است که توسط سیستم‌های هم‌دیدگی تقویت شده‌اند (خوشحال، ۱۳۷۶، ص. ۳۵). در بررسی بارش‌های حدی پاییزه سواحل شمالی ایران به این نتیجه رسیدند که استقرار مرکز پرفشار غرب دریای خزر و تاوایی منفی روی دریا در ترازهای پایین جو همراه با جریان‌های شدید و غالب شمالی - جنوبی، از عوامل اصلی ایجاد بارش‌های شدید و حدی پاییزه هستند (مفیدی، زرین و جانباز قبادی، ۱۳۸۶، ص. ۱۳۱). نتایج پژوهشی گویای وجود اختلاف معنی دار در آرایش الگوها، فراوانی تیپ‌های هوا و مسیر حرکت آن‌ها به سوی ایران است. به عبارتی، علل تنوع رژیم‌های بارش، دما و به تبع آن دوره‌های خشک و مرطوب، سرد و گرم در ارتباط با نوع الگوهای گردشی و فراوانی آن‌ها قابل بررسی است (فتاحی، رضیئی، ۱۳۸۸، ص. ۴۵). در بررسی عامل اصلی ایجاد بارش‌های شدید پاییزه تهران، نفوذ استقرار سامانه پرفشار سیبری و تشکیل سردچالی وسیع بر روی دریای خزر و مرکز ایران را مؤثر دانستند (امیدوار، حسن بیگی و رحیمی، ۱۳۹۲، ص. ۴۸۶). بررسی سهم بارش‌های هم‌رفتی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری طی دوره ۲ ساله به این نتیجه منجر شد که نقش عامل هم‌رفت در رخداد بارش‌های دوره گرم منطقه بسیار ناچیز است و به‌عنوان یک عامل ثانویه به شمار می‌رود (معصوم‌پور، میری، ذوالفقاری و یاراحمدی، ۱۳۹۲، ص. ۲۲۷). در تحقیقی رخداد بلاکینگ را یکی از

1. Kaspar & Müller
2. Mastrangelo & Miglietta
3. Hoerling & Cheng

عوامل اصلی رخداد بارش‌های مداوم و سنگین دانستند (درگاهیان، علیجانی، محمدی، ۱۳۹۳، ص. ۱۵۵). در پژوهشی نمایه‌های ناپایداری هنگام رخداد پدیده‌های آب و هوایی مخرب در شهر مشهد را بررسی کردند که ترکیب نمایه صعود، انرژی پتانسیل در دسترس هم‌رفتی و نمایه صعود و سطح تعادل به‌عنوان بهترین نمایه‌های ترکیبی معرفی شدند (صالحی، ثنائی‌نژاد، موسوی بایگی، ۱۳۹۳، ص. ۱۱۳). با بررسی بارش سنگین بهمن ۱۳۸۹ استان کرمان به این نتیجه رسیدند که عامل اصلی ایجاد این بارش، تشکیل کم ارتفاع بریده بر روی دریای مدیترانه است (امیدوار، محمودآبادی و صفرپور، ۱۳۹۴، ص. ۲۱). در تحلیل هم‌دیدگی بارش شدید منجر به سیل تیرماه ۱۳۹۴ استان‌های تهران و البرز نتیجه گرفته شد که شکل‌گیری مرکز پرفشار سطحی بر روی اروپا و گسترش زبانه‌های آن بر روی خزر و دامنه‌های البرز از یک طرف و گسترش زبانه‌های کم‌فشار حرارتی نیمه جنوبی به عرض‌های بالایی از طرف دیگر، سبب تقابل این دو زبانه فشاری و فرارفت هوای سرد توسط زبانه پرفشار و فرارفت هوای گرم توسط زبانه کم‌فشار شده و شرایط کژفشاری و ناپایداری سطحی را فراهم کرده است؛ هم‌زمان در ترازهای بالایی جو نفوذ ناوه تراز میانی بر روی غرب و به‌ویژه شمال غرب ایران و قرارگیری استان‌های دامنه جنوبی البرز در زیر ناحیه واگرایی بالایی این موج؛ یعنی منطقه تاوایی مثبت، به همراه و اشار بودن این ناوه، سبب صعود شدید و سریع هوا و در پی آن توسعه ابرهای کومه‌ای و ریزش‌های سیل‌آسا در این نواحی شده است (زارع نیستانک، ۱۳۹۴، ص. ۵۳). در واکاوی آماری - هم‌دیدگی توفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران نشان داده شد که روند مکانی این پدیده از غرب به شرق کاهش می‌یابد و پتانسیل رخداد آن در استان بوشهر بیش از هرمزگان است. از نظر زمانی، بیشترین رخداد این پدیده در پاییز با ۴۵ و زمستان با ۴۳ درصد ثبت شده است. در مقیاس ساعتی تفاوت قابل توجهی در ساعت‌های متفاوت مشاهده نمی‌شود و امکان رخداد آن در همه ساعت‌ها به‌ویژه به‌هنگام صبح محلی وجود دارد. نتایج هم‌دیدگی حاکی از نفوذ بادهای غربی تا جنوب عربستان و قرارگیری ناحیه واگرایی و منطقه فرارفت تاوایی مثبت روی منطقه بررسی شده است که شرایط ناپایداری و صعود هوا را ایجاد می‌کند. گسترش بادهای غربی یا ناشی از شکل‌گیری سامانه‌های بندالی در تراز میانی جو و یا ناشی از وزش نصف‌النهاری آن‌ها و فرارفت هوای سرد از اروپا یا شمال

آسیا روی شرق مدیترانه است. مقادیر حاصل از شاخص‌های ترمودینامیکی در این منطقه نشان داد که هم‌رفت و ناپایداری‌های ایجادشده تحت تأثیر شرایط محلی، عامل اصلی رخداد این پدیده نیستند و در صورت فراهم شدن شرایط مناسب در ترازهای بالایی جو، هم‌رفت در حکم عامل تشدیدکننده این پدیده محسوب می‌شود (معصوم پور سماکوش، میری، رحیمی، ۱۳۹۵، ص. ۶۹۷).

۳. روش‌شناسی تحقیق

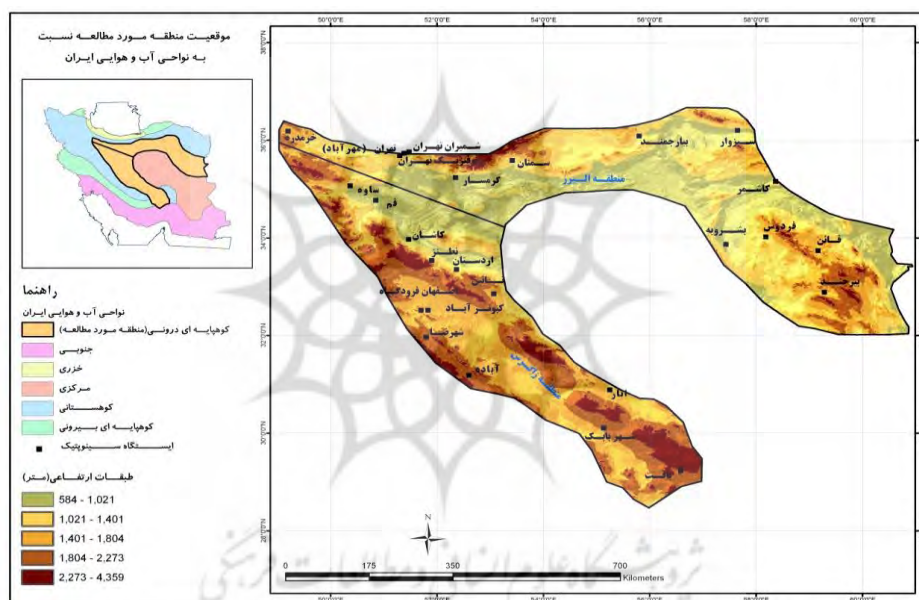
دو رویکرد عمده در مطالعات اقلیم‌شناسی هم‌دید مورد توجه است. این دو رویکرد عبارتند از رویکرد گردشی به محیطی و رویکرد محیطی به گردشی (مسعودیان، ۱۳۸۵، ص. ۳۸). در این تحقیق از رویکرد هم‌دید محیطی به گردشی استفاده شد. بدین صورت که ابتدا آمار و اطلاعات کدهای هوای حاضر و گذشته ایستگاه‌ها شامل کدهای ۸۰ تا ۹۹ که مربوط به رگبار و یا بارندگی‌های شدید همراه با رعد و برق است، از آمار دیده‌بانی‌های ثبت‌شده در ۵۰ ایستگاه هم‌دید منطقه مطالعه‌شده در دوره آماری ۳۰ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ میلادی استخراج شد و سپس روزهایی که دارای این پدیده (کد ۸۰ تا ۹۹) بودند، مشخص شدند و بعد از آن روزهای رگباری که حداقل در ۵۰ درصد ایستگاه‌های منطقه مطالعه‌شده مشاهده شده بودند از بین کل داده‌های آماری استخراج شدند، در نتیجه ۸۰ روز رگباری شناسایی شد. سپس بر اساس داده‌های ارتفاعی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای فوق که بهترین تراز نشان‌دهنده چگونگی شکل‌گیری رگبارها است، خوشه‌بندی بر اساس فواصل اقلیدسی و ادغام آن به روش وارد در محیط نرم‌افزار آماری SPSS بر روی داده‌ها به‌منظور شناسایی الگوهای گردشی به وجود آورنده این رگبارها انجام شد.

در ادامه داده‌های مربوط به سرعت قائم (امگا)، مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری و تاوایی الگوهای حاصله از خوشه‌بندی در قلمرو جغرافیایی ۱۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی با قدرت تفکیکی مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه تهیه شدند و

سرانجام نقشه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزارهای سورفر^۱ و گرادس^۲ ترسیم و تجزیه و تحلیل شد.

۳.۱. منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ تا ۶۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۳۶ درجه شمالی واقع شده است. این منطقه دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز و دامنه شرقی رشته‌کوه زاگرس را در بر می‌گیرد و به نام ناحیه کوهپایه‌ای داخلی ایران، یکی از ۶ ناحیه آب و هوایی ایران مشهور است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده و ایستگاه‌های هم‌دید

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

ناحیه کوهپایه‌ای داخلی ایران که کوهپایه‌های داخلی سلسله جبال البرز و زاگرس در اطراف چاله‌های مرکزی را تشکیل می‌دهند (علی‌جانی، ۱۳۸۸، ص. ۱۹۳). به علت محصور شدن کوهستان‌های مرتفع البرز و زاگرس خشک‌تر و بری‌تر از سرزمین‌های کوهپایه‌ای بیرونی

1. Surfer

2. Grads

(شمال رشته‌کوه البرز و غرب رشته‌کوه زاگرس) هستند. بدین جهت، علیرغم تشابه توپوگرافیک از نظر آب و هوایی به دو ناحیه متمایز از همدیگر تقسیم شده‌اند. این ناحیه علاوه بر کوهپایه‌های زاگرس، کوه‌های منفرد مرکزی را نیز دربر می‌گیرد، مرز جنوبی آن به ارتفاعات کرمان که جزء ناحیه کوهستانی هستند ختم می‌شود. کوهپایه‌های البرز نیز از تهران تا مرز افغانستان ادامه دارد. ماهیت بری بودن ناحیه سبب بی‌نظمی بارندگی آن شده است و در بیشتر موارد بارش‌های بسیار سنگین و رگباری می‌بارد. این بدان معنی است که همیشه عامل صعود و هوای مرطوب برای بارش فراهم نیست و فقط به صورت اتفاقی این شرایط فراهم می‌شود و بارش‌های رگباری هم ایجاد می‌شود. به طور متوسط در کل ناحیه ممکن است تا ۲۱ درصد از بارندگی سالانه در یک روز ببارد. این درصد در این ناحیه بیشتر از ناحیه کوهپایه‌ای بیرونی است و نشان می‌دهد آب و هوای کوهپایه‌ای داخلی به شرایط بیابانی نزدیک‌تر است. در واقع وضعیت بارندگی در ناحیه کوهپایه‌ای داخلی بسیار متغیر و غیر قابل اطمینان است؛ به همین جهت است که همیشه مشکلات ناشی از بارندگی در این ناحیه بیشتر از نواحی دیگر آب و هوایی ایران است.

۴. یافته‌های تحقیق

براساس یافته‌های به دست آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تعداد هفت مؤلفه نخست که مجموعاً ۸۰ درصد کل پراش داده‌ها را شامل می‌شوند، برای تعیین الگوهای گردش جوی انتخاب شدند. جدول (۱) مقادیر ارزش ویژه، واریانس و واریانس افزایشی مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال منطقه

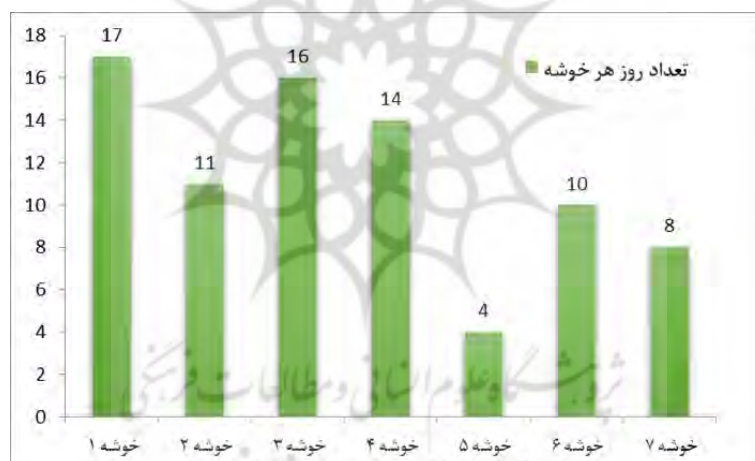
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

شماره مؤلفه	ارزش ویژه	درصد واریانس	درصد افزایشی واریانس
۱	۲۳۵/۸۶۴	۳۲/۵۳۳	۳۲/۵۳۳
۲	۱۱۱/۴۲۰	۱۵/۳۶۸	۴۷/۹۰۱
۳	۷۱/۴۱۶	۹/۸۵۱	۵۷/۷۵۲
۴	۵۹/۱۵۷	۸/۱۶۰	۶۵/۹۱۱

ادامه جدول ۱

شماره مؤلفه	ارزش ویژه	درصد واریانس	درصد افزایشی واریانس
۵	۵۲/۳۲۹	۷/۲۱۸	۷۳/۱۲۹
۶	۳۰/۳۶۹	۴/۱۹۳	۷۷/۳۲۲
۷	۲۵/۶۱۲	۳/۵۳۳	۸۰/۸۵۵

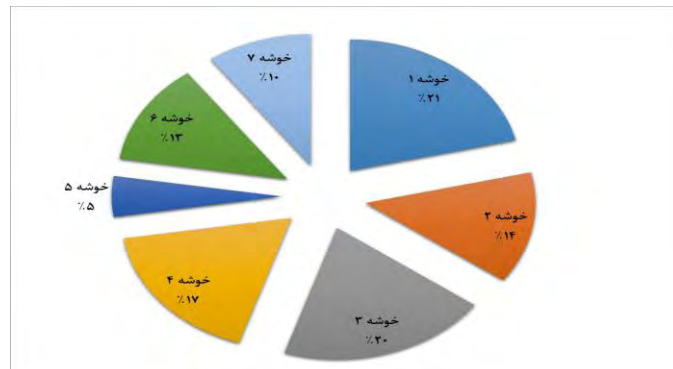
۸۰ روز نماینده از همه روزهای مطالعه شده (۱۹۳۳۳ روز) در ۵۰ ایستگاه هم‌دید منطقه طی دوره آماری ۳۰ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ میلادی به روشی که در بخش پیشین گفته شد و با انجام تحلیل خوشه‌ای با فواصل اقلیدسی و بر اساس داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به روش ادغام وارد، ۷ خوشه (الگوی گردشی) موجد رگبار شناسایی شد. فراوانی تعداد روزهای هر خوشه در شکل شماره (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- فراوانی تعداد روزهای رگباری در هر خوشه بر اساس داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

الگوی خوشه اول با ۲۱ درصد دارای بالاترین فراوانی وقوع و الگوی خوشه سوم با ۲۰ درصد به ترتیب در منطقه مطالعه شده با بالاترین میزان فراوانی رخداد همراه بوده‌اند (شکل ۳).



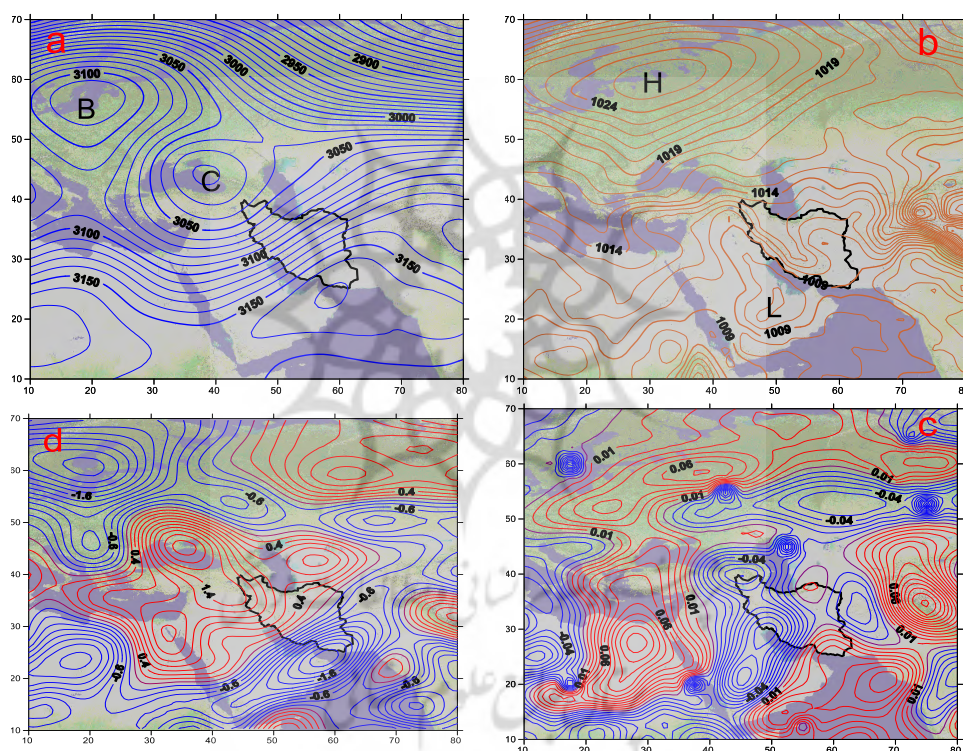
شکل ۳- درصد فراوانی روزهای رگباری در هر خوشه بر اساس داده های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

سپس نقشه های ترکیبی این الگوها که متناوب ترین الگوهای گردش جوی در ناحیه مطالعه شده هستند، ترسیم شدند. با توجه به موقعیت مؤثرترین پدیده در الگوی گردشی هر یک از خوشه های منطقه مطالعاتی، برای هر یک از آنها اسم خاصی انتخاب شد.

الگوی سردچال دریای سیاه (خوشه ۱): دارای فراوانی ۲۱ درصد است که ۱۷ روز از روزهای دارای رگبار در منطقه مطالعه شده از این الگو پیروی می کند (شکل ۴). در سطح زمین، گسترش کم فشار جنوب شرقی و ادغام آن با زبانه پرفشار باعث انتقال رطوبت و حرکات تلفیقی بین دو سیستم شده که با توجه به شرایط موجود امکان تزیق رطوبت در نواحی غربی منطقه مطالعه شده از سایر نقاط بیشتر فراهم است. با توجه به نحوه جابه جایی سیستم، گسترش رطوبت از نواحی غربی به سمت شرق ناحیه به میزان کمتری رخ داده است؛ ضمن این که ناحیه جنوب غربی منطقه تحت تأثیر کم فشار مستقر بر روی کشور عربستان و امواج گسترش یافته از منطقه دریای عمان و خلیج فارس امکان وقوع بارش های رگباری را فراهم کرده است (شکل ۴b). در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ناوه عمیقی در نواحی شرقی دریای سیاه و مدیترانه تشکیل شده است که گسترش نصف النهاری محور آن تا جنوب غرب دریای سرخ گسترش یافته است (شکل ۴a). بسته بودن این مرکز کم ارتفاع و بلاکینگ آن توسط دو پشته پر ارتفاع در غرب و شرق آن باعث کندی حرکت و تأثیر دینامیکی عمیق تر آن بر سطح زمین و ایجاد تاوایی مثبت قوی تریدر نیمه شمالی غربی کشور شده است (شکل ۴d). وجود سرعت قائم (امگا) منفی خصوصاً مقادیر بالای

امگای منفی در غرب منطقه مطالعه شده از شمال تا جنوب (شکل ۴c) و تاوایی مثبت بالا، با توجه به شرایط مناسب همگرایی در سطح زمین و واگرایی در جانب شرق ناوه، باعث وجود ناپایداری‌های شدید، صعود بالا و رگبارها در منطقه خصوصاً نواحی غربی آن شده است.

بیشترین بارش‌های رگباری این الگو، در ایستگاه‌های شمیران تهران (۳۲ میلیمتر)، کاشان (۲۹/۲ میلیمتر)، تهران (۲۹ میلیمتر)، شهریار (۲۸/۳ میلیمتر)، تفرش (۲۸ میلیمتر)، اوج (۲۷/۶ میلیمتر)، نجف آباد (۲۷ میلیمتر)، خرمدره (۲۶/۲ میلیمتر) و بویین زهرا (۲۵/۳ میلیمتر) ثبت شده است.



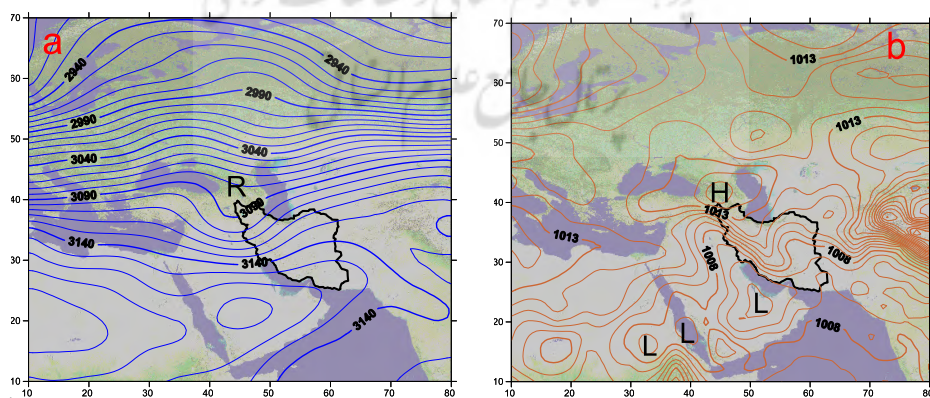
شکل ۴- نقشه الگوی سردچال دریای سیاه (a) ارتفاع تراز ۷۰۰، (b) هم فشار سطح زمین، (c) امگای تراز

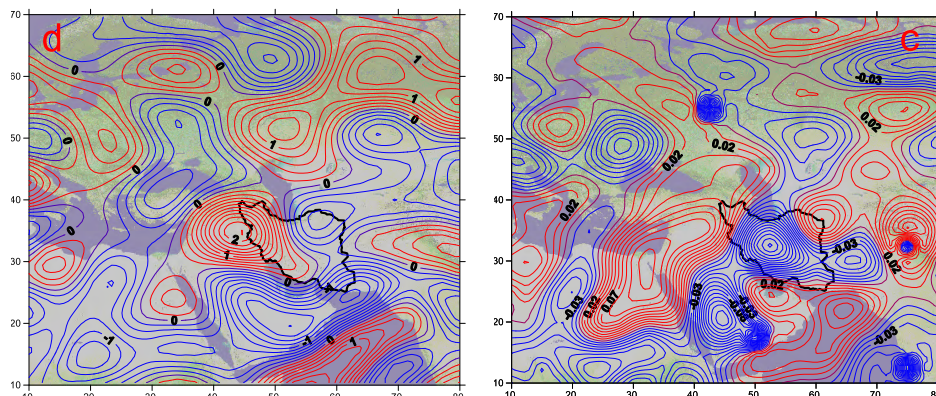
(۷۰۰، d) تاوایی تراز ۷۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

الگوی ناوهای غرب ایران (خوشه ۲): دارای فراوانی ۱۴ درصد است که ۱۱ روز رگباری در منطقه مطالعه شده از این الگو پیروی می‌کند. در نقشه سطح زمین این خوشه (شکل ۵)، مرکز پر

فشاری در غرب دریاچه خزر با پربند بسته ۱۰۱۵ هکتوپاسکال بسته شده است. همچنین، مرکز کم‌فشاری بر روی جنوب شرق کشور دیده می‌شود. حرکت چرخندی این کم‌فشار توسط حرکات واپرخندی پرفشار غرب خزر تقویت شده است. انتقال رطوبت از منطقه تشکیل موسمی هند، همچنین دریای خزر به منطقه مطالعه شده صورت گرفته است. تشکیل جبهه بر روی منطقه و انتقال رطوبت مناسب به دامنه جنوبی البرز و شرقی زاگرس از روی دریای خزر و همچنین رطوبت نواحی شرقی منطقه مورد نظر از اقیانوس هند و دریای عمان تأمین شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال این الگو (شکل ۵a)، ناوهای بر روی مرزهای غربی کشور دیده می‌شود و منطقه مطالعه شده در جانب شرقی ناوه قرار دارد. بنابراین، شرایط برای واگرایی در سطوح بالای جو مهیا است. در این الگو که بیشتر در فصول گرم سال رخ می‌دهد به خوبی تأثیرپذیری از تضعیف یا عقب‌نشینی سامانه پراتفعا جنب‌حاره باعث تقویت کم‌فشار سطحی گشته و ناپایداری‌ها را افزایش داده و باعث بارش‌های رخ داده در کشور می‌شود. افزایش دمای لایه‌های فوقانی جو، باعث تقویت حرارتی کم‌فشار مستقر بر روی عربستان شده و به دنبال آن شیو فشاری خصوصاً در غرب منطقه فراهم شده است (شکل ۵b) که به شدت ناپایداری‌ها در ناحیه کمک کرده است. مقادیر بالای امگای منفی (شکل ۵c) و تاوایی مثبت (شکل ۵d) به‌ویژه در غرب منطقه نیز وجود همگرایی، صعود و وقوع رگبارها در منطقه مطالعه شده را تأیید می‌کند. بیشترین بارش‌های رگباری این الگو، در ایستگاه‌های آوج (۲۸ میلیمتر)، تفرش (۲۷ میلیمتر)، خرمدره (۲۶۷ میلیمتر)، شمیران تهران (۲۶ میلیمتر)، چیتگر (۲۳ میلیمتر) و ژئوفیزیک تهران (۲۴ میلیمتر) ثبت شده است.





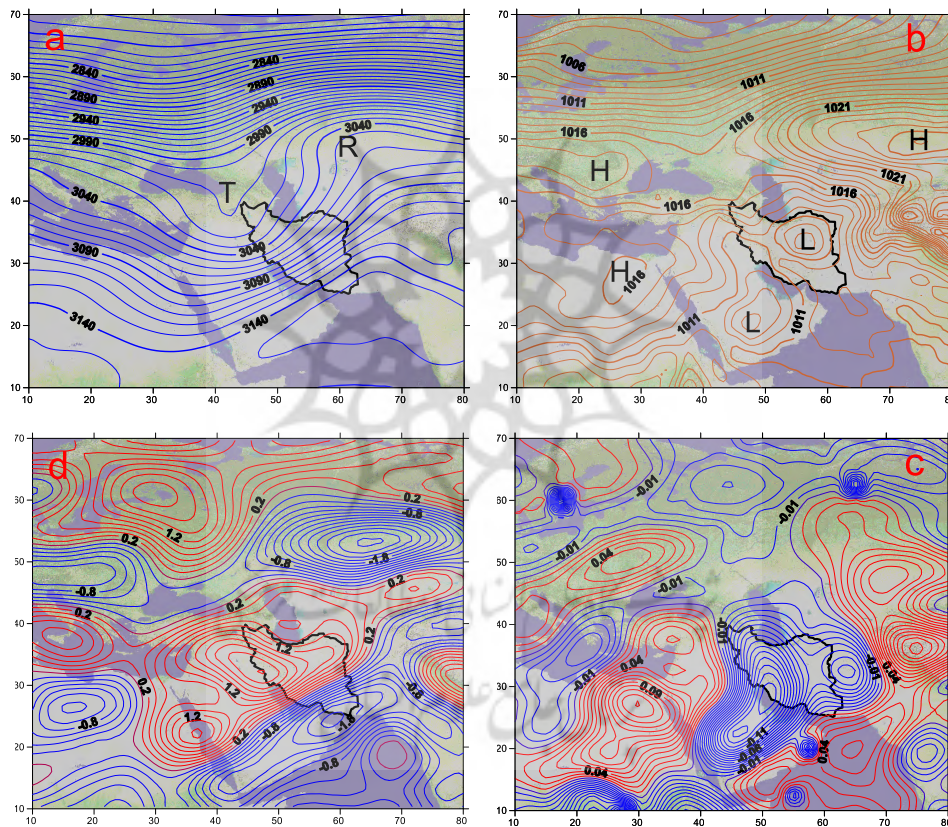
شکل ۵- نقشه‌الگوی ناوه غرب ایران (a) ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰،

d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

الگوی ناوهای عمیق شمال غرب ایران (خوشه ۳): دارای فراوانی ۲۰ درصد است که ۱۶ روز از روزهای با بارش رگباری از این الگو پیروی می‌کنند (شکل ۶)، فراوانی این الگو، بیشتر در اوایل فصل بهار ثبت شده است. بارش‌های رگباری بالای ۴۰ میلیمتر به‌ویژه در غرب منطقه مطالعه‌شده در این خوشه ثبت شده است؛ از جمله در سلفچگان (۷۰/۶۱ میلیمتر)، آباده (۵۷ میلیمتر)، شهر بابک (۴۱ میلیمتر) و شهرضا (۴۰ میلیمتر)، بیشترین بارش‌های رخ داده در این الگو هستند. علت اصلی بارش‌های شدید این الگو، عبور سامانه کم‌فشار جنوبی (سودانی) و تزریق رطوبتی زیاد و همگرایی و گردش چرخندی ناشی از آن است. در نقشه تراز دریا (شکل ۶b)، کل منطقه مطالعه‌شده تحت تأثیر جریانات کم‌فشار قرار دارد. ضمن این‌که کم‌فشار واقع بر جنوب خلیج فارس (بر روی کشور عربستان) نیز با حرکت چرخندی خود ضمن انتقال رطوبت از دریای عرب و خلیج فارس، باعث تشدید بارش‌ها در منطقه شده است. همچنین، فعالیت سیستم کم‌فشار دینامیکی مستقر در مرکز منطقه مطالعه‌شده و حرکت چرخندی ایجادشده باعث انتقال رطوبت از ناحیه خزری به شمال غرب منطقه شده است و دیگر این‌که تأثیر زبانه‌های پرفشار واقع در غرب دریای سیاه نیز باعث تشکیل جبهه و شیب فشاری مناسب و بارش‌های رگباری در این ناحیه شده است. در سطوح فوقانی جو و در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶a)، ناوه عمیقی با گسترش نصف‌النهاری در مزرهای غربی کشور دیده می‌شود. ناحیه مطالعه‌شده بر جانب شرقی این ناوه

قرار گرفته است. بنابراین، گسترش تاوایی مثبت (شکل ۶d) در لایه‌های زیرین و واگرایی در این لایه، باعث صعود جریان‌ات هوا و تشدید ناپایداری‌ها در منطقه شده است. ضمن این‌که پشتة واقع در شرق دریایچه آرال که در سطح زمین با سیستم پرفشار و تاوایی منفی همراه است، زمینه لازم جهت کندی حرکت سامانه فعال بر روی منطقه و تشدید بارش‌ها را فراهم آورده است. مقادیر منفی امگا در منطقه، هم‌گرایی، صعود و تشکیل ابرهای جوششی، شدت ناپایداری‌ها و بارش‌های رگباری در منطقه را تأیید می‌کند (شکل ۶c).

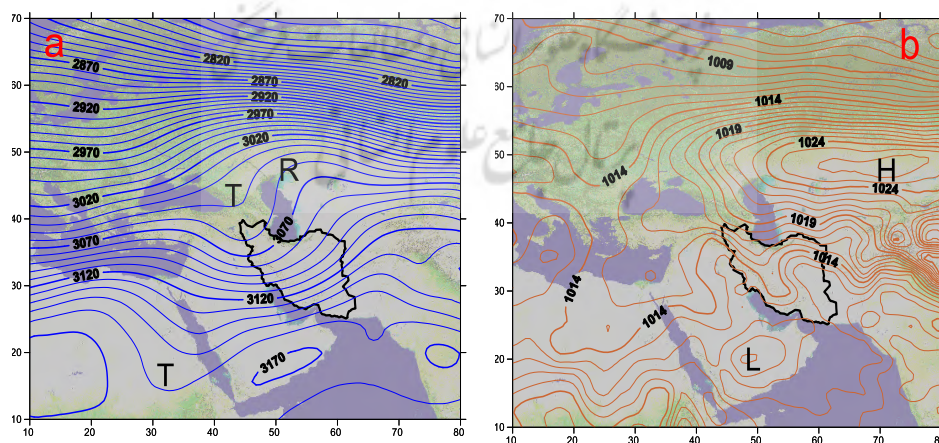


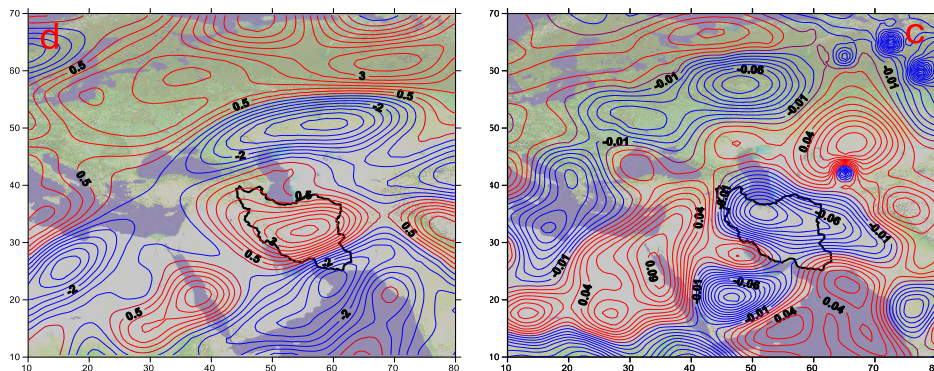
شکل ۶- نقشه الگوی ناوه عمیق شمال غرب ایران (a) ارتفاع تراز ۷۰۰، b) هم‌فشار سطح زمین، c) =

امگای تراز ۷۰۰، d) تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

الگوی پشته شمال ایران (خوشه ۴): دارای فراوانی ۱۷ درصد است که ۱۴ روز از روزهای رگباری در منطقه مطالعه شده از این الگو پیروی می‌کند (شکل ۷). برابر نقشه تراز دریا در منطقه مطالعه شده (شکل ۷b)، یک سیستم کم فشار استقرار یافته که در نواحی غربی با زبانه پرفشار واقع در شرق آرال ادغام شده و امکان تشکیل جبهه سرد و بارش‌های شدید را در این ناحیه از منطقه فراهم کرده است (بیشترین بارش‌های رگباری این الگو در قم ۴۰ میلیمتر، آوج ۳۵ میلیمتر، بیرجند ۲۹ میلیمتر، گرمسار ۲۸ میلیمتر، کاشان ۲۴/۸ میلیمتر، بیارجمند ۲۴ میلیمتر، شمشیران تهران ۲۲/۴ میلیمتر و سبزوار ۲۳/۵ میلیمتر بوده است). نواحی شرقی منطقه تحت تأثیر سیستم کم فشار جنوب شرقی است. گردش و اچرخندی سیستم پرفشار باعث تزریق رطوبت خزر به منطقه تشکیل جبهه شده و در نواحی شرقی نیز امکان انتقال رطوبت از روی اقیانوس هند و دریای عمان با حرکت چرخندی سیستم کم فشار فراهم شده است. در تراز ۷۰۰ میلی باری (شکل ۷a) ناوه عمیقی با شیو بالا بر روی مرزهای غربی کشور از جانب غربی دریاچه خزر تا مرکز شبه جزیره عربستان قرار دارد که بخش‌های غربی منطقه مطالعه شده تحت تأثیر تاوایی مثبت شرق ناوه است و نواحی شرقی منطقه از امواج شرقی ناوه، جهت ایجاد و ناپایداری رخ داده متأثر شده است. مقادیر بالای امگای منفی (شکل ۷c) به ویژه در شمال غرب منطقه و وجود تاوایی مثبت بالا (شکل ۷d)، شرایط همگرایی تراز زیرین، تزریق رطوبت و واگرایی در سطوح بالایی جو، وجود ناپایداری‌ها، صعود و تشکیل ابرهای جوششی و بارش‌های رگباری را به خوبی توجیه می‌کند.





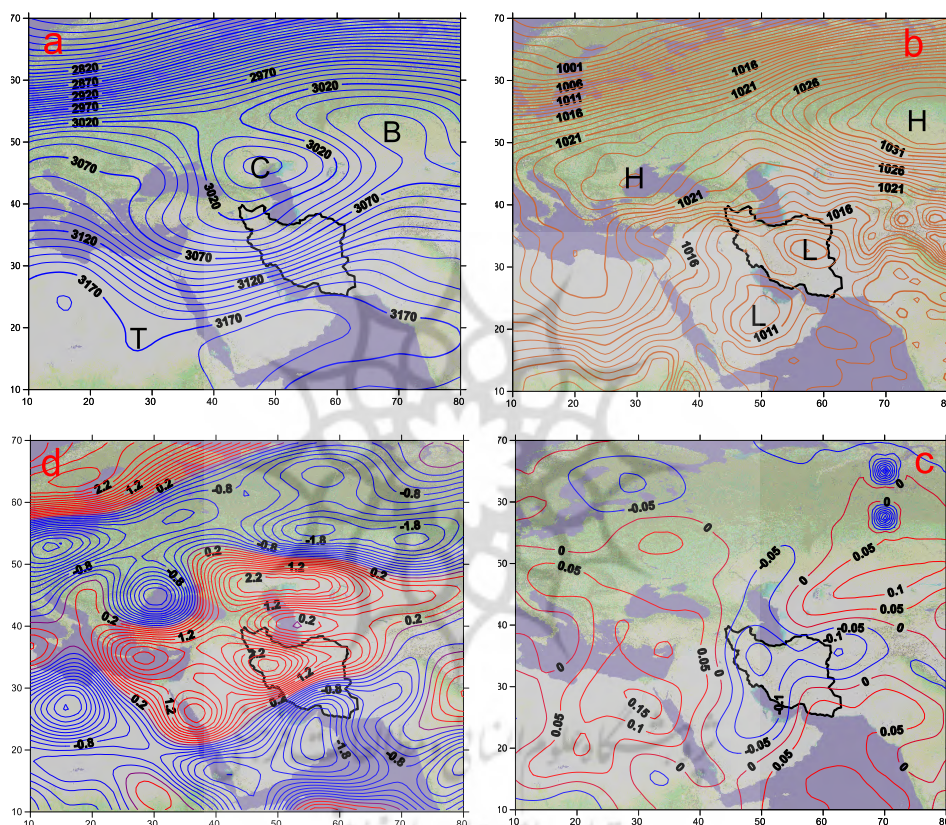
شکل ۷- نقشه الگوی پشته شمال ایران (a) ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰،

d= تاوایی تراز ۷۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

الگوی سردچال شمال ایران (خوشه ۵): دارای فراوانی ۵ درصد است که تعداد روزهای کمی (۴ روز) از روزهای دارای بارش رگباری در منطقه از این الگو پیروی می‌کنند (شکل ۸). در نقشه سطح زمین این الگو (شکل ۸b)، مرکز کم فشاری در منتهی‌الیه شرق منطقه مطالعه شده واقع شده است. تعداد ایزوبارهای کمی از این سیستم امکان عبور از روی دریای خزر را دارند؛ اما استقرار مرکز سرد و پرفشار واقع در خارج از مرزهای شرق کشور باعث کند شدن جا به جایی این سیستم شده است. ضمن این که شاخه شمالی آن نیز تحت تأثیر پرفشار واقع در مدیترانه است. تزریق رطوبتی از منطقه مذکور و همچنین دامنه غربی البرز باعث افزایش بارندگی در نواحی شمال غرب منطقه مطالعه شده، شده است. بارش‌های نواحی شرقی در این الگو، احتمالاً تحت تأثیر جریانات رطوبتی سایر الگوهای فعال در منطقه است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸a) گسترش ناوه عمیق در نوار غربی کشور با مرکز بسته ۲۰۹۰ ژئوپتانسیل متر، باعث ایجاد کم فشار بریده، حرکت کند سیستم در سطوح فوقانی، تشکیل سامانه دینامیکی و تأثیرگذاری بر ماندگاری و اثر طولانی مدت سیستم بارشی در سطح زمین شده است. بررسی نقشه امگا در این الگو (شکل ۸c)، نشان دهنده وجود بیشترین مقدار امگای منفی در ناحیه شمال غربی منطقه مطالعه شده است که منطبق بر ناپایداری‌های این سیستم در سطح زمین است. ضمن این که این الگو نسبت به الگوهای دیگر دارای گرادیان و مقدار امگای کم تر است که این موضوع نیز عملکرد ضعیف تر این الگو را تأیید می‌کند. الگوی تاوایی این خوشه نشان می‌دهد که در نواحی شمال و شمال غرب

منطقه بیشترین تاوایی مثبت رخ داده است و بارش‌های این سیستم بیشتر تحت تأثیر الگوهای واقع در غرب کشور است (شکل ۸d). بیشترین بارش‌های رگباری این الگو، در ایستگاه‌های خرمدره (۵۳ میلیمتر)، شمیران تهران (۳۶ میلیمتر)، شهرضا (۳۳ میلیمتر)، شرق اصفهان و آوج (۳۲ میلیمتر) ثبت شده است.



شکل ۸- نقشه الگوی سردچال شمال ایران (a) ارتفاع تراز ۷۰۰، (b) هم‌فشار سطح زمین، (c) امگای تراز

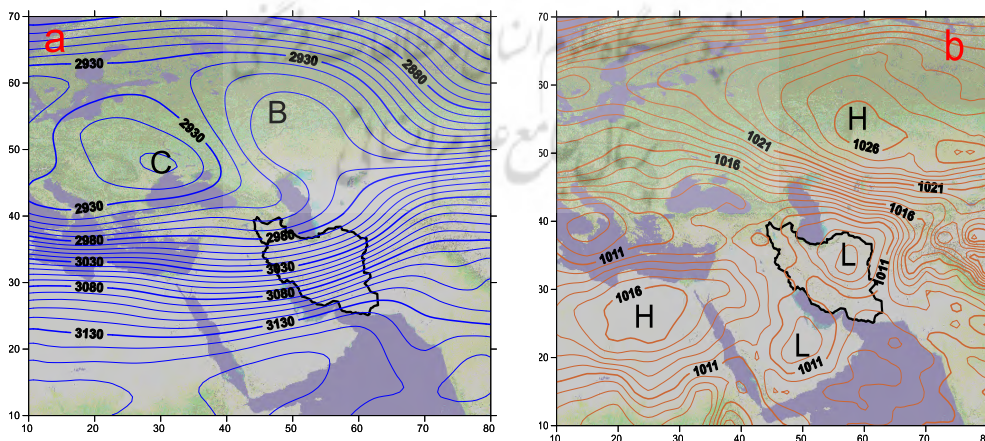
(۷۰۰، d) تاوایی تراز ۷۰۰)

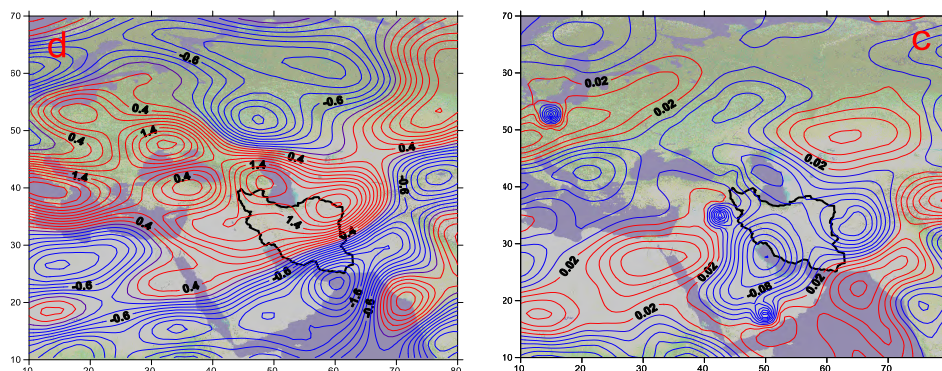
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

الگوی بلاکینگ شمال شرق ایران (خوشه ۶): دارای فراوانی ۱۳ درصد است که ۱۰ روز از روزهای رگباری در منطقه مطالعه شده از این الگو پیروی می‌کند (شکل ۹). در سطح زمین (شکل ۹b)، مرکز کم‌فشار ثانویه‌ای مستقر در نیمه شرقی کشور با شیو زیاد بسته شده است که کم‌فشار

مستقر بر روی کشور عربستان با پربند بسته ۱۰۱۰ هکتوپاسکال باعث تقویت این سیستم جوی شده است.

حرکت پادساعتگرد زبانه‌های این سیستم باعث انتقال رطوبت به دامنه جنوبی البرز شده است. بنابراین، با توجه به تأثیرگذاری لایه‌های فوقانی جو و همگرایی بالایی که سیستم در سطح زمین داشته، ابرهای جوششی در منطقه تشکیل شده و بارش‌های نسبتاً خوبی در نقاط مختلف از جمله شمیران تهران (۴۵ میلیمتر)، تهران (۳۸ میلیمتر)، کاشمر (۳۴ میلیمتر) و سبزوار (۳۰/۵ میلیمتر) ثبت شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹a)، این الگو مرکز کم‌ارتفاعی در شمال غرب دریای سیاه تشکیل شده که دارای ناوه‌ای با محور شمال غرب، جنوب شرقی است. وجود پشته امگا در مقابل این مرکز کم‌ارتفاع باعث بلاک شدن و کندی حرکت آن شده و شاهد گرادیان خوب کانتوری و واگرایی مناسب در منطقه مطالعه شده هستیم. بررسی تغییرات امگا نشان‌دهنده هم‌خوانی و تطبیق ناپایداری‌های تشخیص داده شده در سطح زمین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال است. وجود مراکز امگای منفی در منطقه نشان‌دهنده حرکات صعودی شدید در منطقه ایجاد بارش‌های رگباری با حجم بالا است (شکل ۹c). آنچه نقشه تاوایی تراز ۷۰۰ در این الگو نشان می‌دهد وجود تاوایی مثبت در منطقه است که با هم‌خوانی با نقشه سطح زمین، حرکات صعودی جریانات جوی، تراکم و تشکیل ابرهای جوششی در منطقه و وقوع بارش‌های رگباری را تأیید می‌کند (شکل ۹d).





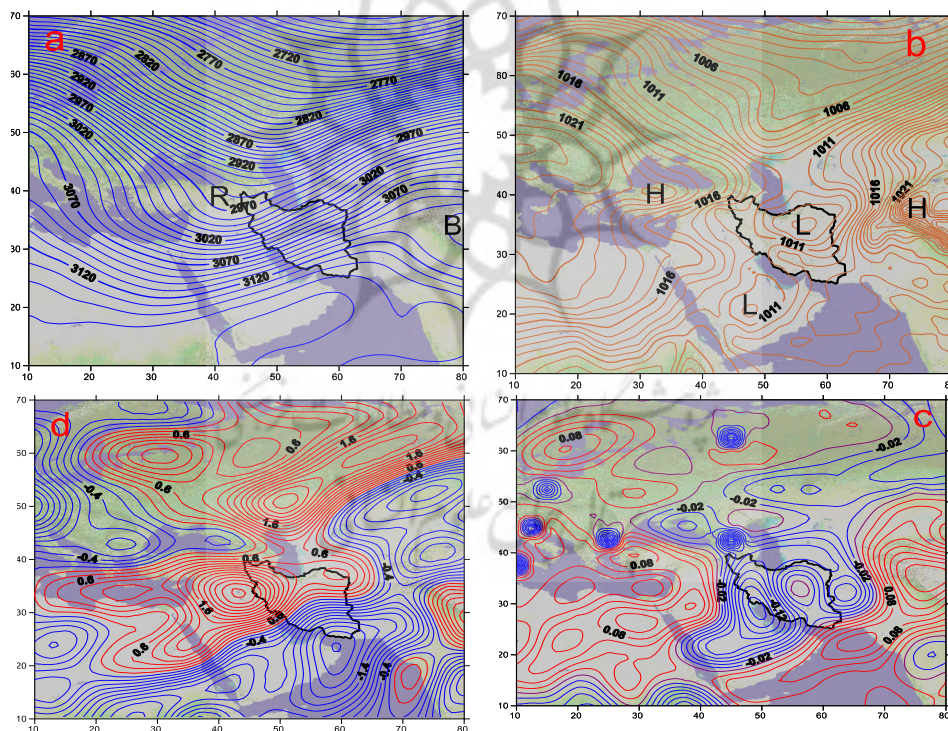
شکل ۹- نقشه الگوی بلاکینگ شمال شرق ایران (a) ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم فشار سطح زمین، c= امگای

تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

الگوی شیو ارتفاعی زیاد (خوشه ۷): دارای فراوانی ۱۰ درصد است و ۸ روز از روزهای دارای بارش رگباری در منطقه از این الگو پیروی می‌کنند (شکل ۱۰). در تراز سطح زمین (شکل ۱۰b)، یک سیستم کم فشاری با مرکزیت ۱۰۰۸ هکتوپاسکالی در نواحی جنوب شرقی دریاچه خزر تشکیل شده است که به دلیل بسته بودن سیستم و نیز قرارگیری و مانع بودن پرفشار با مرکزیت ۱۰۲۶ هکتوپاسکال در مرزهای شرقی کشور، جابه جایی سیستم به کندی صورت گرفته است. ضمن این که گرادیان فشاری سیستم باعث تقویت و گسترش همگرایی در سطح زمین و صعود سریع جریانات جوی و تشکیل ابرهای کومولونیمبوس در منطقه فعالیت سیستم شده است. حرکت پادساعتگرد سیستم کم فشار باعث انتقال رطوبت از منطقه دریاچه خزر به ناحیه جنوبی و جنوب غربی رشته کوه البرز و بارش های رگباری با حجم بالا در مناطق داخلی ایران خصوصاً نواحی ذکر شده، شده است (تفرش ۴۳ میلیمتر، تهران ۳۹ میلیمتر و خرمدره ۲۶ میلیمتر). ضمن این که در ناحیه غربی این سیستم، تأثیر ایزوبار ۱۰۱۱ هکتوپاسکال متأثر از سیستم پرفشار اروپایی و عبور آن از ناحیه غربی خزر و جذب و انتقال رطوبت به دامنه شرقی زاگرس، باعث افزایش حجم بارش در این ناحیه، از جمله در شرق اصفهان به میزان ۳۵ میلیمتر شده است. همگرایی شدید ایجاد شده در منطقه این سیستم باعث افزایش شدت وزش باد نیز شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰a)، تشکیل سامانه کم ارتفاع و ناوه واقع در مرزهای غربی کشور با گرادیان

کانتوری بالا و قرار گیری منطقه مطالعه شده در جانب شرق ناوه با کمک به شرایط سطح زمین باعث افزایش قدرت فعالیت سیستم شده است. بنابراین، افزایش ناپایداری و افزایش حجم بارش‌ها را به دنبال داشته است. بررسی تغییرات امگا، نشان‌دهنده هم‌خوانی و تطبیق مناسب آن با ناپایداری‌های تشخیص داده شده در سطح زمین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی است. شاخص امگا در منطقه شرق زاگرس و دامنه جنوبی البرز، دارای بزرگترین مقادیر امگای منفی است که طبق آمار بیشترین ناپایداری و بالاترین حجم بارش رگباری در همین ناحیه رخ داده است (شکل ۱۰c). با بررسی الگوی تاوایی مستقر در منطقه مشخص می‌شود بیشترین تاوایی (تاوایی مثبت) منطبق با منطقه ناپایدار است. این مقادیر نشان‌دهنده صعود جریانات جوی از لایه‌های پایین، ایجاد هم‌گرایی در سطح زمین و گسترش واگرایی در سطوح فوقانی بوده که موجب صعود رطوبت، تراکم و تشکیل ابرهای جوششی در منطقه و وقوع بارش‌های رگباری در ناحیه است (شکل ۱۰d).



شکل ۱۰- نقشه الگوی شیور ارتفاعی زیاد (a) ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم فشار سطح زمین، c= امگای تراز

۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جمع‌بندی تحلیل خوشه‌های هفت‌گانه در منطقه مطالعه‌شده در جدول شماره ۲ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود وجود ناوه مستقر در غرب منطقه و بلاکینگ و سرد چال در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، وجود سامانه کم‌فشار عربستان و شرق ایران و سامانه پرفشار مستقر در شمال منطقه، پدیده‌های هم‌دید غالب روزهای توأم با بارش‌های رگباری در منطقه مطالعه‌شده است

جدول ۲- جمع‌بندی ویژگی خوشه‌های هفت‌گانه الگوهای هم‌دید منطقه مطالعه‌شده

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

خوشه	تعداد روز	درصد	میانگین بارش رگباری خوشه (میلیمتر)	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ایستگاه (میلیمتر)	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ماه	الگوی غالب هم‌دید
سردچال دریای سیاه	۱۷	۲۱	۷/۵	شمیران ۳۲، کاشان ۲۹/۲، تهران ۲۹	اکتبر، می، آوریل	ناوه عمیق دریای سیاه (سردچال)، بلاکینگ، کم-فشار عربستان
ناوه غرب ایران	۱۱	۱۴	۵/۹	آوج ۲۸، تفرش ۲۷، خرمدره ۲۶/۷	اکتبر ۲، می	ناوه غرب ایران، پراارتفاع جنب حاره، کم‌فشار عربستان، پرفشار غرب خزر (قفقاز)
ناوه عمیق شمال غرب ایران	۱۶	۲۰	۹/۱	سلفچگان ۷۰، ۶، آباده ۵۷، شهر بابک ۴	مارس، دسامبر، می	ناوه عمیق غرب ایران، کم‌فشار جنوب خلیج فارس و عربستان
پشته شمال ایران	۱۴	۱۷	۶/۷	قم ۴۰، آوج ۳۵، بیرجند ۲۹	مارس ۲، آوریل	ناوه عمیق غرب ایران، کم‌فشار عربستان، پرفشار دریاچه آرال
سردچال شمال ایران	۴	۵	۸/۳	خرمدره ۵۳، شمیران تهران ۳۶، شهرضا ۳۳	مارس ۳	سرد چال، کم‌فشار عربستان، کم‌فشار شرق ایران، پرفشار شمال مدیترانه

ادامه جدول ۲

الگوی غالب هم دیدی	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ماه	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ایستگاه (میلیمتر)	میانگین بارش رگباری خوشه (میلیمتر)	درصد	تعداد روز	خوشه
بلاکینگ، کم فشار عربستان، کم فشار شرق ایران، پرفشار سیبری	آوریل ۲، مارس	شمیران تهران ۴۵، تهران ۳۸، کاشمر ۳۴	۸/۲	۱۳	۱۰	بلاکینگ شمال شرق ایران
ناوه ضعیف، شیو ارتفاعی زیاد، کم فشار شرق ایران، پرفشار اروپا	مارس فوریه ۲	تفرش ۴۳، تهران ۳۹، شرق اصفهان ۳۵	۷	۱۰	۸	شیو ارتفاعی زیاد
ناوه مستقر در غرب منطقه و بلاکینگ و سرد چال، کم فشار عربستان و شرق ایران و سامانه پرفشار مستقر در شمال منطقه	مارس - آوریل - می	سلفچگان ۷۰/۶ و آباده ۵۷ و خرمدره ۵۳	۷/۵	۱۰۰	۸۰	جمع

۵. نتیجه گیری و پیشنهادها

یکی از مهم ترین مسائل محیطی جلوگیری از خسارات رگبارهای شدید و پیش بینی سیلاب ها است. بر اساس روش های متداول هیدرولوژیست ها، پیش بینی سیلاب ها پس از شروع بارش های رگباری امکان پذیر است که معمولاً وقت کافی برای عملیات آمادگی وجود ندارد و در هر صورت خسارت های رگبارها و سیلاب غیر قابل اجتناب می شود؛ اما اگر هواشناسان، الگوهای گردشی به وجود آورنده را شناسایی کنند می توان از حداقل یک یا دو روز قبل، با رؤیت آغاز توالی الگوهای مختوم به ایجاد بارش های رگباری و سیل، وقوع آن را پیش بینی کرد. در این صورت فرصت کافی برای ایجاد آمادگی های لازم وجود دارد.

بررسی الگوهای تراز فوقانی جو در منطقه مطالعه شده نشان‌دهنده این مطلب است که بیشترین حجم بارش‌ها زمانی رخ داده که سیستم‌ها به شکل بلاکینگ تشکیل شده و مرکز پراارتفاع جنب حاره به عرض‌های جنوبی‌تر انتقال یافته است. به طور کلی در تحلیل الگوهای هم‌دید ترسیم شده بر اساس داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال باید اشاره شود که در بین الگوهای به دست آمده از خوشه‌بندی داده‌های سطح فوق، بیشترین تعداد روزهای دارای رگبار در منطقه مطالعه شده از الگوی سردچال دریای سیاه (۱) و ناوه عمیق شمال غرب ایران (۳) پیروی می‌کنند. این الگوها بیشتر در فصل بهار (در ماه‌های مارس، آوریل و می) شکل گرفته است. بیشترین مقادیر بارش در این الگو در نواحی غربی و شمال غرب منطقه رخ داده است. بررسی این الگو نشان‌دهنده وجود یک مرکز کم‌ارتفاع عمیق و قوی بسته بر روی دریای سیاه است. این مرکز کم‌ارتفاع، باعث گرادیان کانتوری در منطقه شده و در حین حرکت خود موجب شکل‌گیری و توسعه امواج کژفشاری در مناطق شرقی ناوه شده است. بسته بودن مرکز کم‌ارتفاع (سردچال) باعث کندی حرکت سامانه‌های غربی بر روی مناطق کوهپایه‌ای داخلی ایران و ادامه بارش‌ها شده است. از طرفی در این الگو نواحی غربی و شمال غرب منطقه مطالعه شده، تحت تأثیر پرفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال غرب اروپا است و نواحی شرقی منطقه تحت تأثیر مرکز کم‌فشار قرار دارد. در این الگو وجود پشته‌ای قوی در شمال دریای مدیترانه و نیز سردچالی عمیق در شرق دریای سیاه باعث تقویت کژفشاری در سطح زیرین جو شده است. بنابراین، با توجه به همگرایی خوب در تراز پایین، مهیا بودن شرایط برای صعود و تاوایی مثبت بالا و نیز واگرایی در ترازهای بالایی جو، بارش‌های رگباری مناسبی (بیش از ۴۰ میلیمتر) به‌ویژه در نواحی شمال غرب منطقه قابل مشاهده است. در این الگو انتقال رطوبت خصوصاً در نواحی شمال غرب و غرب منطقه از روی دریای خزر و توسط زبانه‌های پرفشار صورت گرفته است و علاوه بر آن نقش حرکت چرخندی سیستم‌های جنوب غربی را نیز در انتقال رطوبت دریای عرب و خلیج فارس به منطقه و تقویت رطوبت نمی‌توان نادیده گرفت. در ۷ الگوی هم‌دیدگی شکل گرفته در این خوشه‌بندی سیستم‌های کم‌فشار جنوب و جنوب غربی در ایجاد همگرایی سطوح پایین و بارش‌های رگباری از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بارش‌های با حجم بالا زمانی رخ داده که در لایه‌های فوقانی جو سیستم‌هایی به صورت سردچال یا مرکز کم‌ارتفاع عمیق و قوی بسته ظاهر شده‌اند. همچنین، وجود پشته قوی در غرب اروپا و ریزش هوای

سرد عرض‌های بالا باعث تقویت مرکز فرابار در تراز پایین شده و زبانه‌های آن باعث ایجاد جریانات شمالی شده و تزریق رطوبت خزری به نواحی غربی منطقه مطالعه‌شده را موجب شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت اقتصادی و اجتماعی ناحیه کوهپایه‌ای داخلی ایران که زیست‌بوم‌های شکننده و حساس کوهپایه‌ای دارند که در اثر بارش‌های رگباری، فرسایش خاک و تخریب آبخیزها و تأسیسات شهری و صنعتی اتفاق افتاده و با توجه به زیان‌های بسیار اقتصادی و اجتماعی ناشی از رگبارها و جریان سیلاب‌های ویرانگر غیرطبیعی ناشی از تخریب آبخیزها که آثار زیانبار فراوان در بخش‌های مهم عمرانی و اقتصادی منطقه، از قبیل کشاورزی، دامداری، آب و برق، راه و ارتباطات، مسکن و منابع طبیعی و غیره به جای می‌گذارد، روشن است که اگر بخواهیم سرمایه‌گذاری‌های گسترده دولت و بخش خصوصی (مردم) در این زمینه‌ها به توسعه دراز مدت، مستمر و پایدار اقتصادی بیانجامد، باید برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری و سیستم‌های هشدار بارش‌های رگباری و سیل را به‌عنوان زیربنای اقدامات پیشگیرانه در جهت توسعه پایدار گسترش داد.

کتاب‌نامه

۱. امیدوار، ک. (۱۳۹۰). *مخاطرات طبیعی*. یزد: دانشگاه یزد.
۲. امیدوار، ک. (۱۳۹۲). *آب و هواشناسی هم‌دید*. یزد: دانشگاه یزد.
۳. امیدوار، ک.، حسن بیگی، س. و رحیمی، ک. (۱۳۹۲) تحلیل سینوپتیکی بارش‌های سنگین پاییزه تهران. *نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی*، ۱۳۹۲، (صص. ۴۹۵-۴۸۶). دانشگاه کرمان.
۴. امیدوار، ک.، محمودآبادی، م. و صفری‌پور، ف. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل هم‌دید بارش‌های سنگین بهمن ۱۳۸۹ در مناطق جنوبی و مرکزی ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۵۱، ۳۹-۲۱.
۵. براتی، غ.، بذاق جمالی، ج. و ملکی، ن. (۱۳۹۱). نقش واچرخندها در رخداد بارش‌های سنگین دهه اخیر غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴ (۸۰)، ۹۸-۸۵.
۶. جوانمرد، س. و آسیایی، م. (۱۳۸۳). *فرهنگ اصطلاحات هواشناسی و اقلیم‌شناسی*. مشهد: سخن گستر.
۷. خوشحال دستجردی، ج. (۱۳۷۶). تحلیل و ارائه مدل هم‌دید کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلیمتر در سواحل دریای خزر. *رساله دکتری اقلیم‌شناسی*، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.
۸. درگاهیان، ف.، علیجانی، ب. و محمدی، ح. (۱۳۹۳) بررسی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ مؤثر بر رخداد بارش‌های مداوم و سنگین ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰، ۱۷۳-۱۵۵.

۹. زارع نیستانک، م. (۱۳۹۴). تحلیل هم‌دیدگی بارش شدید منجر به سیل ۱۳۹۴/۴/۲۸ استان‌های تهران و البرز. همایش ملی بحران آب و مدیریت آب در مناطق خشک ایران، ۱۳۹۴، دانشگاه یزد.
۱۰. صالحی، ح.، ثنایی‌نژاد، ح. و موسوی بایگی، م. (۱۳۹۳). بررسی شاخص‌های ناپایداری هنگام وقوع پدیده‌های آب و هوای مخرب در مشهد. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹، ۱۲۳-۱۱۳.
۱۱. عزیزی، ق. و صمدی، ز. (۱۳۸۶). تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۶۰، ۷۴-۶۱.
۱۲. علیجانی، ب. (۱۳۸۸). *اقلیم‌شناسی سینوپتیک*. تهران: سمت.
۱۳. فتاحی، ا. و رضیعی، ط. (۱۳۸۸). الگوهای گردش جوی روزانه بر روی ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۴(۲)، ۶۰-۴۵.
۱۴. گندمکار، ا. (۱۳۹۱). مدیریت بحران وقوع سیل در شهر اصفهان با استفاده از سامانه‌های جوی. *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۰۵، ۱۲۸-۱۱۵.
۱۵. معصوم پورسماکوش، ج.، میری، م.، ذوالفقاری، ح. و یاراحمدی، د. (۱۳۹۲). تعیین سهم بارش‌های هم‌رفتی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۳۱، ۲۴۵-۲۲۷.
۱۶. معصوم‌پور سماکوش، ج.، میری، م. و رحیمی، م. (۱۳۹۵). واکاوی آماری - هم‌دیدگی توفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲(۳)، ۷۰۸-۶۹۷.
۱۷. مفیدی، ع.، ذرین، آ. و جانباز قبادی، غ. (۱۳۸۶). تعیین الگوی هم‌دیدگی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۳(۳)، ۱۵۴-۱۳۱.
18. Chen, C.-S., Lin, Y.-L., Peng, W. C., & Liu, C.-L. (2010). Investigation of a heavy rainfall event over southwestern Taiwan associated with a sub-synoptic cyclone during the 2003 Mei-Yu season. *Atmospheric Research*, 95(2), 235-254.
19. Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X.-W., Wolter, K., & Cheng, L. (2016). Characterizing recent trends in U.S. heavy precipitation. *Journal of Climate*, 29(7), 2313-2332.
20. Kašpar, M., & Müller, M. (2010). Variants of synoptic-scale patterns inducing heavy rains in the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9), 477-483.
21. Keim, B. D. (1996). Spatial, synoptic, and seasonal patterns of heavy rainfall in the southeastern United States. *Physical Geography*, 17(4), 313-328.
22. Trambly, Y., Neppel, L., & Najib, K. (2010, September). *Heavy rainfall events in the Languedoc region (France): Relationships with synoptic patterns*

and frequency analysis. Paper presented at the 12th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Corfu Island, Greece.

23. Yonetani, T. (1982). Increase in number of days with heavy precipitation in Tokyo urban area. *Journal of Applied Meteorology*, 21(10), 1466-1471.

