



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۴۰۳، دوره ۷، شماره ۲، صص ۴۳۷-۴۱۷

تحلیل هم‌دیدگی - ترمودینامیکی الگوهای مولد بارش سنگین استان کرمانشاه (مطالعه

موردی: دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹)

فاطمه وطن‌پرست قلعه‌جوق^۱، بهروز سبجانی^۲، علی زالی کورعباسلو^۳

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای

طبیعی، اردبیل، ایران

۲- استاد دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران

(Email: sobhani@uma.ac.ir)

(Email: f.vatanparast.g72@gmail.com)

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، گروه

سنجش‌ازدور و GIS، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲

چکیده

وقوع بارش‌های سنگین با الگوهای هم‌دید سطح زمین و سطوح فوقانی جو در ارتباط است. هدف اصلی این پژوهش الگوی هم‌دیدگی - ترمودینامیکی بارش سنگین در ایستگاه‌های منتخب استان کرمانشاه است. بدین منظور داده‌های بارش روزانه برای دوره آماری (۲۰۱۹ - ۲۰۱۰) اخذ شد. پایگاه دوم داده‌ها شامل نقشه‌های تراز سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت نسبی، امگا، جهت وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و آب قابل بارش است که با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، برای شناسایی مؤلفه‌ها مورد پردازش قرار گرفتند. برای واکاوی ترمودینامیکی نیز از شاخص‌های ناپایداری نظیر CAPE، LI، KI، TTI و PW، SI استفاده شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که سه عامل در مجموع ۸۰/۵ درصد واریانس الگوهای مولد را تبیین و توجیه می‌کند. در ادامه با اجرای گروه‌بندی خوشه‌ای سلسله مراتبی به روش ادغام Ward و فاصله اقلیدسی چهار الگو به دست آمد که این الگوها شامل فرود شرق مدیترانه و عراق، بندال بریده کم ارتفاع مدیترانه، فرود عمیق روسیه و بندال شبه امگایی شرق مدیترانه و عراق است. نتایج تحلیل‌های هم‌دیدگی نشان داد که در روزهای همراه با بارش سنگین الگوی غالب کم‌فشار مستقر بر روی شرق دریای مدیترانه و عراق و قرارگیری قسمت جنوب غربی بندال امگایی شکل و شرق ناوه مدیترانه در منطقه بوده که از ۳۸ روز بارش سنگین ثبت شده در طول دوره آماری با ۲۲ روز بیشترین فراوانی را دارا بوده است. تأمین رطوبت این روزها از دریاها، مدیترانه و سرخ، وجود رطوبت نسبی نزدیک به رطوبت اشباع و امگای منفی منجر به افزایش رطوبت موجود در هوا، صعود هوای مرطوب، تقویت همرفت، ایجاد جوی ناپایدار و بارش‌های سنگین در منطقه شده است. نتایج تحلیل ترمودینامیکی نشان داد شاخص‌های ناپایداری در روزهای منتخب مربوط به الگوی دوم و سوم چندان قوی نبوده ولی در الگوهای اول و چهارم شاخص‌ها ناپایداری شدید و پتانسیل زیاد را برای بارش شدید آشکار ساخته‌اند.

کلید واژه: استان کرمانشاه، بارش سنگین، تحلیل هم‌دیدگی، تحلیل مؤلفه اصلی، خوشه‌بندی.

بارش عنصری اقلیمی با ویژگی تغییرپذیری زمانی و مکانی بالاست (منصوری و همکاران، ۱۳۹۸). بارش‌های سنگین و سایر پدیده‌های محیطی، حاصل‌الگویی خاص از توزیع فشار است. تنها راه تعیین و پیش‌بینی بارش‌های شدید در یک مکان، بررسی الگوهای گردشی یا اقلیم‌شناسی همدید سیستم‌های فشار در سطح زمین و سطوح بالای جو است. بارش‌های سنگین و به‌تبع آن‌ها سیلاب‌های حاصل از آن، همه ساله خسارات زیادی در مناطق جغرافیایی مختلف به بار می‌آورند. از آنجایی که ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است از این امر مستثنی نبوده و همه ساله در مناطق مختلفی از کشور شاهد وقوع بسیاری از مخاطرات جوی از جمله بارش‌هایی که باعث طغیان رودخانه‌ها و جاری شدن سیل می‌شود هستیم (حسینی و اکبری قمصری، ۱۳۹۵). مطالعات زیادی رابطه الگوهای جوی و بارش‌ها را در جهان و ایران بررسی کرده‌اند: اولیویرا و همکاران (۲۰۱۳) شرایط همدیدی منجر به بارش‌های سنگین در نواحی ساحلی شمال شرق برزیل را تحلیل کردند. نتایج نشان داد رخداد بارش‌های سنگین با ناوه سیکلونی سطوح بالا و ناحیه همگرایی جنوب اطلس در سطوح پایین در ارتباط است. مرینو و همکاران (۲۰۱۴) اثر گرم شدن کره زمین در کاهش بارش برف را با تحلیل الگوهای همدیدی به روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و تکنیک‌های خوشه‌ای در شبه‌جزیره می‌بری (۱۹۶۰-۲۰۱۱) مورد مطالعه قراردادند. مادسنا و همکاران (۲۰۱۴) به تحلیل بارش شدید و سیل هیدرولوژیکی در اروپا بر اساس مشاهدات و پیش‌بینی آب و هوایی آینده پرداخته‌اند. نتایج نشان از افزایش کلی در بارش شدید دارد. تیبالدو و همکاران (۲۰۱۶) روند گردش همدیدی بارش در کوه‌های برفی استرالیا را در دوره (۱۹۸۵-۲۰۱۲) بررسی کردند و نتایج نشان داد بارش تولید شده، ۷/۵ میلی‌متر در هر دهه افزایش یافته است. چن و همکاران (۲۰۱۸) بارش سنگین ۱۱ تا ۱۲ ژوئن ۲۰۱۲ را در شمال تایوان بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند بارش شمال غرب سواحل تایوان و تایپه، در اثر وجود یک جبهه سرد ناشی از بن‌دال امگایی شکل رخ داده است. ژائو و همکاران (۲۰۲۰) در طی دوره‌ی آماری (۲۰۲۰-۱۹۶۰) رویداد بارش سنگین در چین و ارتباط آن با توفان را بررسی کردند.

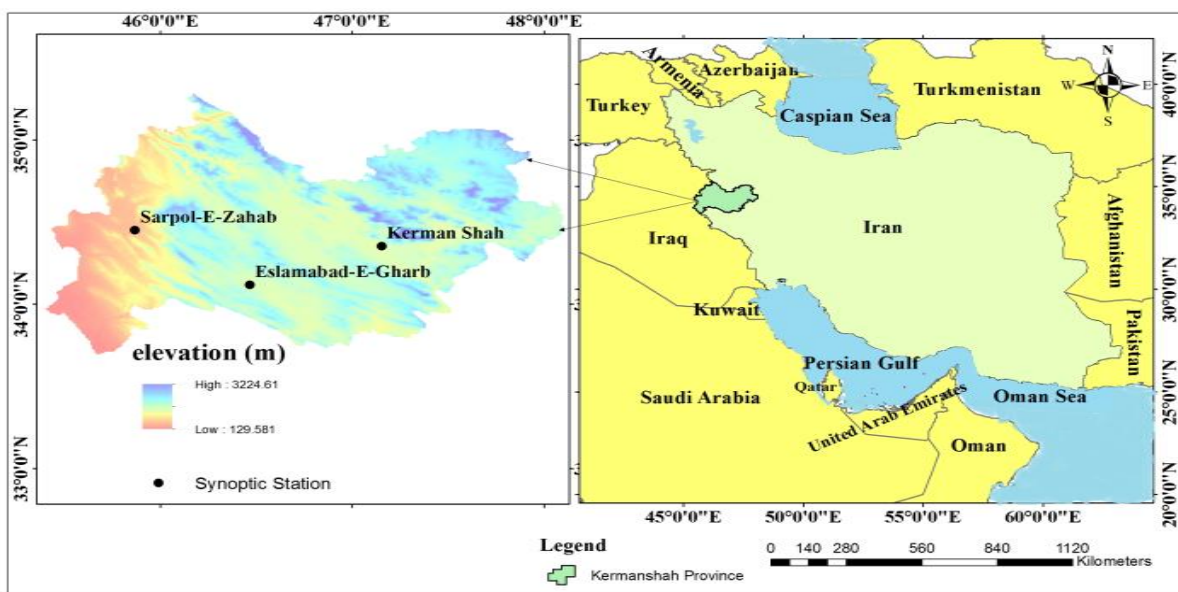
درگاهیان و علیجانی (۱۳۹۸) وقوع بارش‌های سنگین در ایران را با استقرار مرکز پرفشار قوی در شمال دریای خزر و ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا و کسب رطوبت زیاد از دریای خزر مرتبط دانسته‌اند. قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۶) در غرب کشور ایران به تحلیل الگوهای همدیدی بارش سیل‌خیز با مؤلفه‌های اصلی (PCI) در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که تنها یک مؤلفه ۹۹/۹۹ درصد واریانس را تبیین می‌کند و وجود امگای منفی و قرارگیری در جلو ناوه عامل اصلی بارش‌ها بوده است. جلالی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی الگوهای همدید ایجادکننده بارش‌های شدید تابستانه در سواحل جنوبی دریای خزر برای دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ پرداختند و با استفاده از روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای سه الگوی همدید را به‌عنوان عامل اصلی به دست آوردند. نتایج نشان داد

که عامل اصلی وقوع بارش‌های تابستانه نفوذ سامانه پرفشار شمالی و شکل‌گیری جریانات مرطوب و وقوع همرفت گسترده در منطقه می‌باشد. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۶) الگوهای همدیدی ریزش برف در کرمانشاه در اثر ورود پرفشار اروپایی به شمال غرب ایران، قرارگیری منطقه در زیر فرود مدیترانه، گسترش پرفشار سیبری در شمال شرق ایران و نفوذ زبانه‌های کم‌فشار سودانی به سمت غرب می‌باشد. ذکی زاده و همکاران (۱۳۹۷) مؤثرترین الگوی رودباد مولد بارش فراگیر ایران در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۷۱ را با تحلیل عاملی بررسی کردند. نتایج تحلیل‌ها نشان داد ۸ مؤلفه اصلی ۸۵ درصد داده‌ها را تبیین می‌کند. صلاحی و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل همدیدی بارش‌های رگباری ۱۳۲ میلی‌متری در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۲۲ شهرستان بهشهر پرداخته‌اند. نتایج کار نشان داد که سامانه کم‌فشار و پرفشار مهاجر اروپایی و فرود وارده از غرب و جنوب غرب منطقه ایران در بارش این روز مؤثر بوده است. حیدرآبادی و همکاران (۱۳۹۷) در الگوبندی همدید بارش‌های حدی شمال شرق ایران، از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ به ترتیب الگوی ترکیبی ۵۳/۴ درصد، مدیترانه‌ای، ۳۶/۳ درصد و سودانی با ۱۰/۳ درصد بیشترین بارش حدی را به خود اختصاص داده‌اند. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) عامل مؤثر در ایجاد بارش سنگین شهرستان گرمی را دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۸۳ وجود مرکز کم‌فشار حرارتی سودان، بر فراز منطقه مورد مطالعه و شکل‌گیری بندال در فراز دریای مدیترانه دانسته‌اند. امیدوار و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل همدیدی و ترمودینامیک بارش سنگین و سیلابی روزهای ۵ تا ۸ آبان ۱۳۹۴ در استان کرمانشاه با استفاده از داده‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری و نم و یژه و هم‌چنین شاخص ناپایداری (LI, SW, SI, KI) پرداختند و نتیجه گرفتند که اختلاف فشار بین دو کم‌فشار سودانی و پرفشار اروپایی سبب شکل‌گیری جبهه و عامل اصلی رخداد بارش سنگین در منطقه می‌باشد. لشکری و اسفندیاری (۱۴۰۰) الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی رودخانه‌های جوی منجر به بارش سنگین دوره سرد ایران را با استفاده از تحلیل عاملی و نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند کم‌فشار سودان نقش انکارناپذیری در رخداد بارش داشته است. کیخسروی و همکاران (۱۴۰۱) بارش‌های ابر سنگین در حوضه آبریز کرخه در دوره آماری (۲۰۱۸ - ۲۰۰۵) ناشی از استقرار سامانه‌های حرارتی پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان و پاکستان، پرفشار عربستان و ناوه مدیترانه هستند. فروتن و صلاحی (۱۴۰۲) در تحلیل بارش‌های سنگین استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که کم‌فشار دریاچه آرال و پرفشار دریای مدیترانه و سیاه‌نقش مؤثری در بارندگی‌ها داشته‌اند. سیستم‌های جوی مختلفی استان کرمانشاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند که باعث بارش‌های فصول پاییز، زمستان، بهار و گاه‌ها در تابستان می‌شوند. توده هوای غربی از دریای مدیترانه و دریای سیاه سبب بارندگی‌های پاییزی و زمستانی در این استان می‌شود. جریانات سودانی، دریای سرخ و صحرای عربستان نیز در بارش‌های زمستانی و بهاری مؤثرند و در تابستان سبب گرم شدن هوا می‌شوند. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که عمده مطالعات بر روی بارش سنگین محدود به شناسایی الگوهای همدید این نوع بارش‌ها می‌باشد و نقش فرود مدیترانه در وقوع

بارش‌های سنگین استان کرمانشاه در کمتر مطالعاتی مورد توجه قرار گرفته است. لذا هدف پژوهش پیش رو بررسی الگوهای مولد بارش سنگین و نقش فرود مدیترانه در رخداد این بارش‌ها در استان کرمانشاه می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی برای این پژوهش، در میانه ضلع باختری ایران بین ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و در محدوده زاگرس چین خورده واقع شده است و به‌طور کلی این منطقه ناحیه‌ای کوهستانی محسوب می‌شود. (شکل ۱).



شکل ۱ جایگاه جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور

مواد و روش

در این پژوهش از روش محیطی به گردشی به منظور الگویابی هم‌مدیدی-ترمودینامیکی بارش‌های سنگین ایستگاه‌های منتخب در استان کرمانشاه (سرپل ذهاب، اسلام‌آباد غرب و کرمانشاه) استفاده شده است. بدین منظور داده‌های بارش در مقیاس روزانه برای دوره آماری (۲۰۱۰-۲۰۱۹) اخذ شد و روزهای دارای بارش ۳۵ میلی‌متری و بیش‌تر از آن از داده‌های مذکور استخراج شد که تعداد ۳۸ بارش سنگین در استان کرمانشاه به دست آمد. برای استخراج الگوهای گردشی مولد بارش از شیوه تحلیل عاملی با روش مؤلفه‌های مبنا استفاده شد. برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها به منظور اجرای تحلیل عاملی از معیار KMO و نیز آزمون بارتلت استفاده شد. بدین صورت اگر KMO بیشتر از ۰/۶۰ باشد نشان دهنده این است که داده‌ها قابلیت عاملی شدن را دارند و اگر سطح معنی‌داری در آزمون بارتلت کمتر از ۵ درصد باشد، ارتباط معنادار بین متغیرها برقرار بوده است. به منظور بهبود روابط بین متغیرها و عامل‌های اولیه و

اعمال تبدیلات خاص بر روی عامل‌ها، عمل دوران به روش واریمکس انجام شد. عامل‌های اصلی استخراج شدند و از بقیه عامل‌ها صرف نظر شد و در آخرین مرحله، با اجرای گروه بندی خوشه‌ای سلسله مراتبی روی بارهای عاملی استخراج شده، روزهای مورد مطالعه برای استان در ۴ خوشه قرار داده شدند. در خوشه‌بندی از روش وارد برای تعیین خوشه‌ها و از معیار مربع فاصله اقلیدسی برای تعیین فاصله بین خوشه‌ها استفاده شد. برای بررسی بهتر الگوها در محیط نرم‌افزار GRADS نقشه‌های سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا، رطوبت نسبی، رطوبت مطلق و جهت باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و آب قابل بارش به صورت ترکیبی ترسیم و تحلیل هم‌دید شدند. سپس داده‌های رادیوسوند ایستگاه کرمانشاه از وب سایت دانشگاه وایومینگ دریافت و بر اساس داده‌های رادیوسوند نمودار اسکپوتی ترسیم شد. آنگاه شاخص‌های ناپایداری شامل شاخص انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی (CAPE)، شاخص ویتینگ (KI)، شاخص بالابری (LI)، آب قابل بارش (PW) و شاخص شولتر (SI) بررسی گردید.

مقادیر زیاد دمای نقطه شبنم در شاخص K بیانگر وجود رطوبت در تراز پایین و افزایش احتمال رخداد همرفت است (صادقی حسینی و رضاییان، ۱۳۸۵) در جدول (۱) مقادیر شاخص K و وضعیت همرفتی معرف آن آورده شده است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱ مقیاس طبقه‌بندی شاخص KI برای تعیین میزان همرفت پتانسیل

شرایط	ارزش شاخص KI
همرفت پتانسیل کم	۱۵-۲۵
همرفت پتانسیل متوسط	۲۶-۳۹
همرفت پتانسیل زیاد	۴۰ و بیشتر

شاخص SI تفاضل دمای محیط و بسته هوا را در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. عدد منفی بزرگ‌تر این شاخص به ناپایداری شدید و فوق شدید جو اشاره دارد و طبقه‌بندی آن در جدول (۲) آورده شده است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۲ مقیاس طبقه‌بندی شاخص SI

شرایط	ارزش شاخص SI
ناپایداری متوسط	۰ - ۴
ناپایداری شدید	۴ - ۷
ناپایداری خیلی شدید	کمتر از ۸

شاخص LI بالاروی اختلاف دمای محیط و بسته هوا را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد و برای ارزیابی وضعیت جو از نظر پایداری و ناپایداری به کار می‌رود. مقادیر منفی بزرگ‌تر LI به ناپایداری شدید در جو اشاره دارند معیار طبقه‌بندی آن در (جدول ۳) آورده شده است.

جدول ۳ مقدار آستانه شروع ناپایداری و وقوع طوفان بر اساس شاخص LI

ارزش شاخص LI	شرایط
۲-۰	احتمال وقوع رگبارهای باران و برف
۲ تا کمتر از ۵	احتمال وقوع طوفان
۵ تا کمتر از ۶	طوفان تندی حتمی
۶ تا کمتر از ۷	احتمال وقوع تورنادو

شاخص CAPE انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی، حداکثر انرژی جنبشی ممکن بسته هوای ناپایدار صرف نظر از اثر بخار آب و آب چگالیده شده در شناوری را نشان می‌دهد (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰).

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، ابتدا داده‌های بارش سنگین استان کرمانشاه، از طریق روش آماری آزمون تست کرویت بارتلت مورد بررسی قرار گرفت. جدول شماره (۴)، نشان می‌دهد مقدار آزمون تست کرویت بارتلت ۶۱ درصد می‌باشد. چون بیشتر از ۶۰ درصد است بنابراین داده‌های مورد استفاده در این پژوهش قابلیت عاملی شدن را دارند.

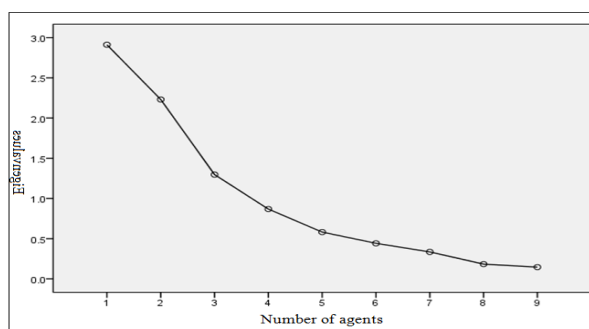
جدول ۴ آزمون تست کرویت بارتلت در استان کرمانشاه

	کرمانشاه
KMO	۰.۶۱۹
Bartlit spherical test	۱۳۴.۹۰۵
Df	۳۶
sig	۰.۰۰۰

Sig (میزان خطا) و سطح معنی‌داری آزمون بارتلت کمتر از ۰/۰۵ است که نشان می‌دهد داده‌ها قابلیت عاملی شدن دارند. در واقع آزمون تست کرویت بارتلت شاخصی برای مقایسه مقادیر ضرایب همبستگی ساده و جزئی بر روی همه متغیرهاست، مقادیر بزرگ KMO بر رضایت‌بخش بودن تحلیل عاملی دلالت می‌کند برای این منظور اگر KMO بیشتر از ۰/۶۰ باشد نشان دهنده این است که داده‌ها قابلیت عاملی شدن را دارند و اگر سطح معنی‌داری در آزمون بارتلت کمتر از ۵ درصد باشد، ماتریس همبستگی، واحد نخواهد بود و ارتباط معنادار بین متغیرها برقرار بوده و فرض صفر آماری رد خواهد شد و به معنای آن است که ماتریس مذکور برای تحلیل‌های بعدی مناسب نیست.

پایین بودن در صد کل واریانس‌های تبیین شده و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف برای یک عامل به این معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است. برای کاهش پیچیدگی داده‌ها و استخراج حالت‌های عمده و اصلی با استفاده از آزمون غربالی (شکل ۲) مقادیر ارزش ویژه مؤلفه‌ها در برابر تعداد

مؤلفه‌های روی نمودار بهره برده شد.



۲ نمودار پلکانی، تحلیل مؤلفه اصلی و تغییرات مقادیر ویژه در ارتباط با عامل‌ها در استان کرمانشاه

از روی خط تغییر شیب این نمودار می‌توان درباره تعداد مؤلفه‌هایی که باید بررسی کرد تصمیم گرفت. در استان کرمانشاه عامل‌های ۱ و ۲ و ۳ مجموعاً ۸۰/۵۵ درصد از واریانس‌ها را تبیین می‌کنند که به ترتیب ۳۳/۸۴ درصد و ۲۵/۱۴ درصد و ۲۱/۵۶ درصد می‌باشند و از میان آن‌ها عامل اول بیشترین سهم را در تبیین واریانس داده‌ها دارد. در واقع عامل اول نسبت به عامل‌های بعدی شیب زیادی دارد و از عامل ۴ به بعد خط نمودار سنگ‌ریزه به سمت افق میل می‌کند و محور X آن‌ها مقدار ویژه کمی دارند و در تحلیل عامل مشارکت نمی‌کند. بر اساس جدول ۵، سه عامل قابل‌شناسایی است که بر مبنای ماهیت متغیرها عامل یک برای استان کرمانشاه به‌عنوان عامل رطوبت و عامل دوم به‌عنوان عامل ناپایداری و عامل سوم نیز به‌عنوان عامل باد شناخته شدند.

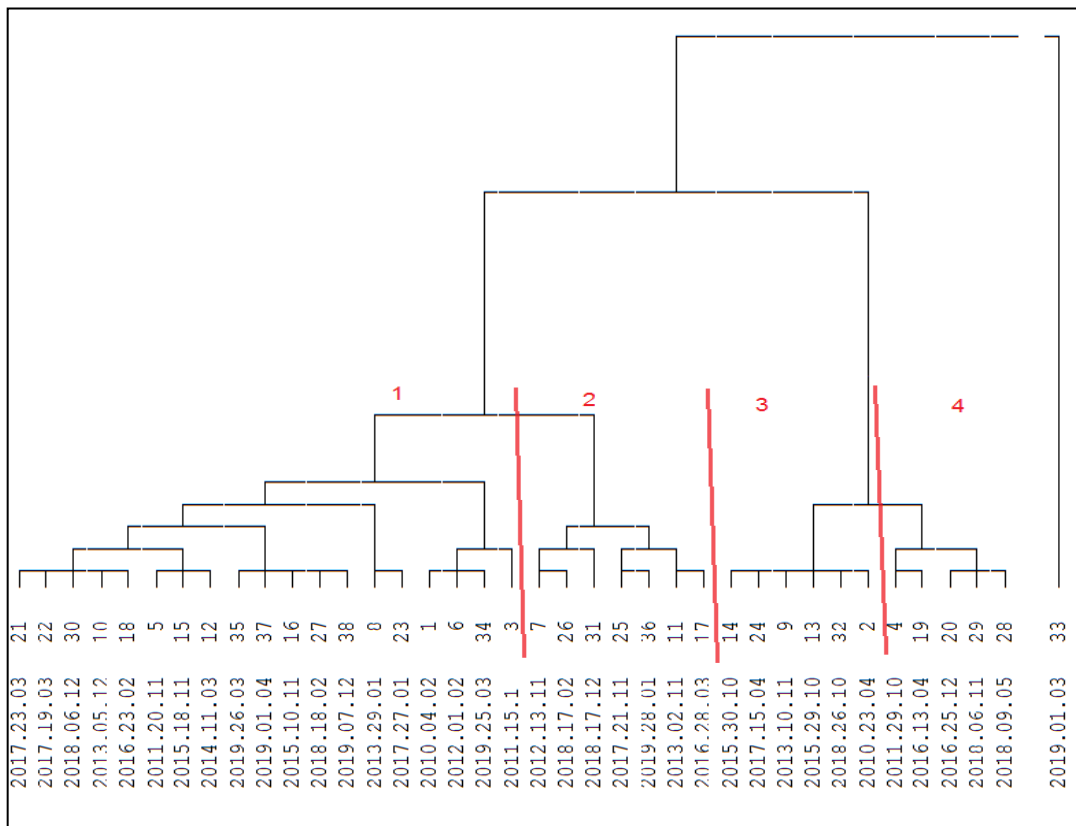
جدول ۵ عامل‌های حاصل از چرخش ماتریس‌ها در کرمانشاه

	Combination of agents		
	1	2	3
Hgt 500	۰.۹۱۶		
pw	۰.۸۴۵	-۰.۱۰۲	0.249
Air surface	۰.۷۳۶	۰.۳۱۰	۰.۳۳۶
Omega 500		۰.۸۳۴	۰.۱۵۵
Thickness	۰.۲۰۶	۰.۶۹۶	۰.۲۶۶
Sea level pressur	۰.۵۵۳	-۰.۶۸۶	۰.۲۰۹
Shum 500	۰.۴۵۵	۰.۴۵۷	
Uwnd, Vwnd surface	۰.۲۲۱	-۰.۱۵۱	۰.۸۴۷
Rhum 500	۰.۴۰۷		۰.۷۳۸

تحلیل همدیدی روزهای نماینده بارش سنگین

خوشه‌بندی بر مبنای عامل‌های اصلی باقی‌مانده انجام شد و چهار الگو از آن‌ها به دست آمد و بر مبنای دندروگرام حاصل شده (شکل ۳)، روزهای نماینده برای هر الگو بر اساس همبستگی میان آن‌ها انتخاب و در آخر برای بررسی

بهتر الگوها از نرم افزار GRADS که نرم افزاری رایج در رسم نقشه های هواشناسی با استفاده از داده هایی با فرمت باینری می باشد استفاده شد.

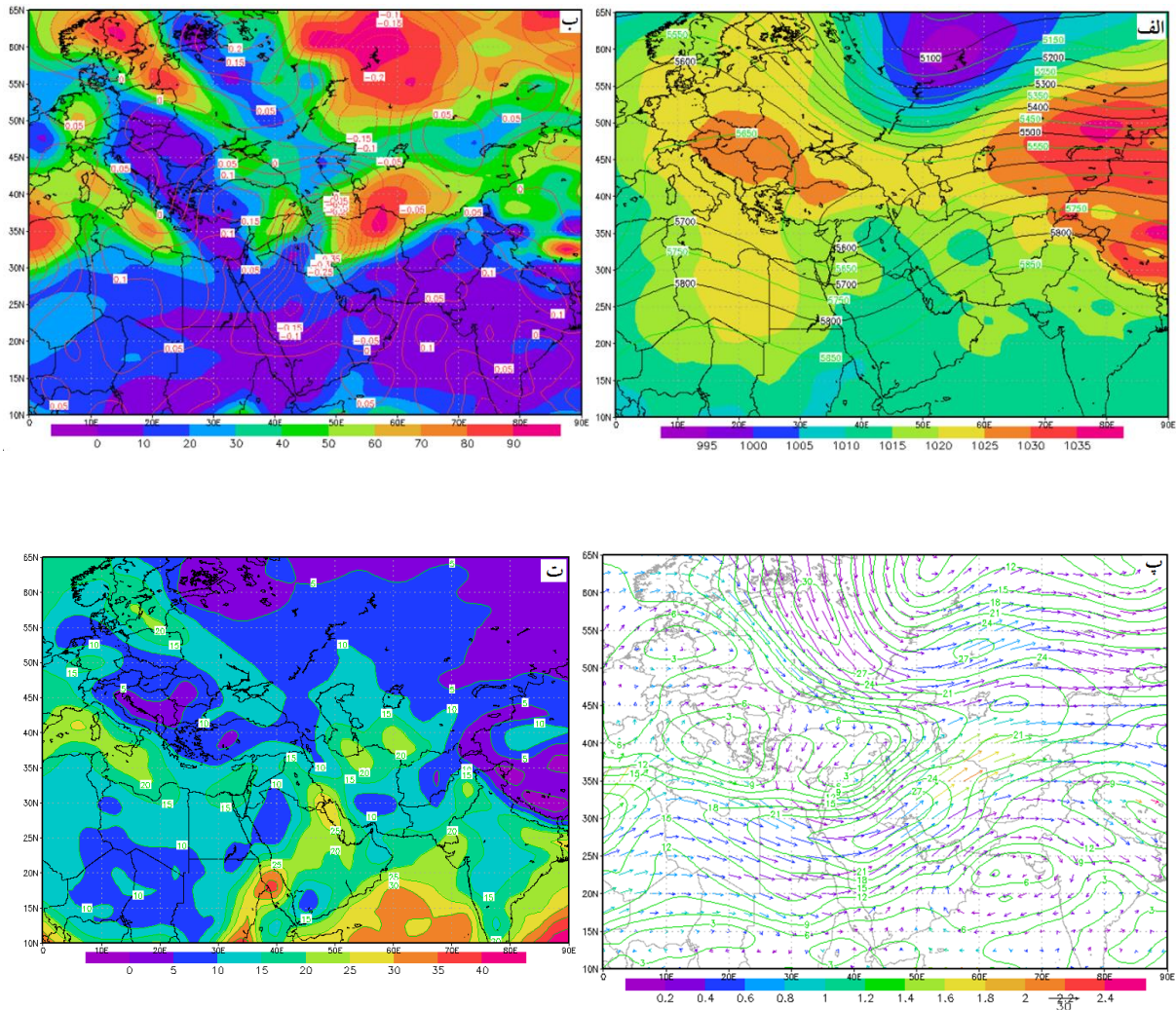


شکل ۳ دارنمای حاصل از ترکیب همه ی متغیرها در استان کرمانشاه

تحلیل همدیدی روز نماینده خوشه اول (فرود عمیق مدیترانه و تشکیل کم فشار بر روی مدیترانه)

در روز ۲۰ نوامبر سال ۲۰۱۱ ایستگاه سرپل ذهاب با ۱۳۸ میلی متر بارندگی همراه بوده است. از این رو بررسی نقشه های سطح زمین مبین فعالیت یک سیستم کم فشار با فشار مرکزی ۱۰۱۵ هکتوپاسکال بر روی قسمت هایی از شرق دریای مدیترانه، سوریه و عراق می باشد که با حرکت پادساعت گرد در راستای غرب سو به سمت نیمه غربی ایران کشیده شده و منطقه مورد بررسی را تحت احاطه خود در آورده است. این زبانه کم فشار توأم با هوای سرد مدیترانه ای، در مسیر حرکت خود از دریای مدیترانه رطوبت کافی کسب کرده و به سمت منطقه مورد بررسی به صورت مداری حرکت کرده و نفوذ این کم فشار و ورود رطوبت به منطقه شرایط را برای صعود هوا، ناپایداری و تراکم هوا ایجاد کرده و موجبات ریزش بارش سنگین در محدوده مورد پژوهش را فراهم کرده است. در نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک ناوه بر روی ترکیه، سوریه و شرق دریای مدیترانه با راستای شمال غربی - جنوب شرقی استقرار یافته است که ارتفاع مبنا آن ۵۶۰۰ ژئوپتانسیل متر است و امتداد محور فرود آن تا دریای سرخ نیز گسترش یافته و شرق ناوه بر روی نیمه غربی ایران قرار گرفته و استقرار این سامانه بر روی دریای مدیترانه باعث مکش رطوبتی،

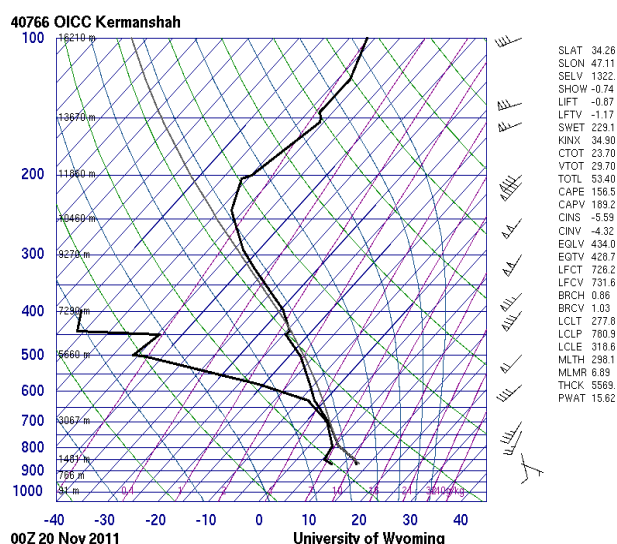
جذب و حمل آن به سمت شرق ناوه شده و با گسترش شرایط واگرایی شدید، صعود و قرار گرفتن محدوده مورد پژوهش در جلو فرود و عبور منحنی ۵۶۵۰ متر از روی آن، بارش سنگین را در ایستگاه در پی داشته است (شکل ۴-ا). رطوبت نسبی (نسبت بخار آب موجود در هوا نسبت به مقدار موجود در آن دمای معین) در محدوده مورد پژوهش در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۳۰ درصد بوده و بیشینه آن در روسیه و ترکیه منطبق بر محلی است که محور فرود و شرق ناوه در آن واقع شده است و مقدار شاخص سرعت قائم جو در ایستگاه ۰/۲۵- پاسکال بر ثانیه که نشان از تقویت همرفت و ناپایداری دارد و باعث پوشش ۶۰-۹۰ درصدی ابر شده و بیشینه آن بر روی روسیه و جنوب غرب ایران منطبق بر شرق و محور ناوه به صورت هسته است (شکل ۴-ب). جریان وزش رطوبتی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ایستگاه از غرب به شرق است که رطوبت را از دریای مدیترانه به منطقه آورده و نم ویژه (مقدار واقعی بخار آب موجود در هوا) در آن به ۰/۴ گرم در کیلوگرم می‌رسد و سرعت باد در این تراز برابر با ۲۱ متر در ثانیه است (شکل ۴-ج). آب قابل بارش آن ۲۵ کیلوگرم در مترمربع برای تمام ضخامت جو است که برای بارش سنگین این روز مناسب برآورد شده است (شکل ۴-د).



شکل ۴ نقشه‌های همدید روز نماینده (۲۰ نوامبر ۲۰۱۱) استان کرمانشاه (a) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (کتورها بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریا (رنگ‌ها بر حسب هکتوپاسکال)، (b) نقشه نیمرخ امگا (خطوط کنتور بر حسب پاسکال بر ثانیه) و رطوبت نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (رنگ‌ها بر حسب درصد)، (c) رطوبت ویژه (پیکان‌های رنگی بر حسب گرم در کیلوگرم) و خطوط جریان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (پیکان‌ها جهت وزش باد و طول پیکان‌ها معرف سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه هستند)، (d) آب قابل بارش (بر حسب کیلوگرم در مترمربع)

نمودار ترمودینامیکی اسکیتوی روز ۲۰ نوامبر ۲۰۱۱ ساعت ۰۰ برای ایستگاه کرمانشاه جهت بررسی وضعیت ناپایداری جو ترسیم گردید. در این نمودار خط سمت راست نیمرخ دمای هوا و خط سمت چپ نیمرخ دمای نقطه شبنم و خط سیاه بین آن‌ها افت محیطی دما را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در این ساعت در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال دمای توده هوا به دمای نقطه شبنم نزدیک شده است که این امر به معنای اشباع و تراکم توده هوای

صعودی در این سطح می‌باشد. از این سطح به بعد توده هوا به دلیل طی کردن مسیر افت آدیاباتیک اشباع از نیمرخ نقطه شبنم و افت محیطی دما فاصله گرفته است. جهت مطالعه شرایط جوی در این ساعت از شاخص‌های CAPE برای بررسی وضعیت ناپایداری و از شاخص K برای نشان دادن نوع بارش استفاده گردید. شاخص CAPE حداکثر انرژی جنبشی بسته هوای در حال صعود را نشان می‌دهد. مقدار محاسبه شده آن (۱۵۶/۵) می‌باشد که نشان می‌دهد میزان ناپایداری حادث شده شدید می‌باشد. شاخص ویتینگ (KI) که فرمولی برای اندازه‌گیری پتانسیل توفان تندی بر اساس افت محیطی دما و صعود عمودی آن است، در این روز با مقدار ۳۹/۴۰ در ایستگاه کرمانشاه محاسبه گردید که نشان دهنده پتانسیل زیاد برای تندر همراه با بارش شدید می‌باشد. شاخص TT با مقدار ۵۳/۴۰ نشان دهنده احتمال توفان تندی شدید است و شاخص LI با مقدار ۰/۸۷ - احتمال رگبارهای باران و برف را نشان می‌دهد.

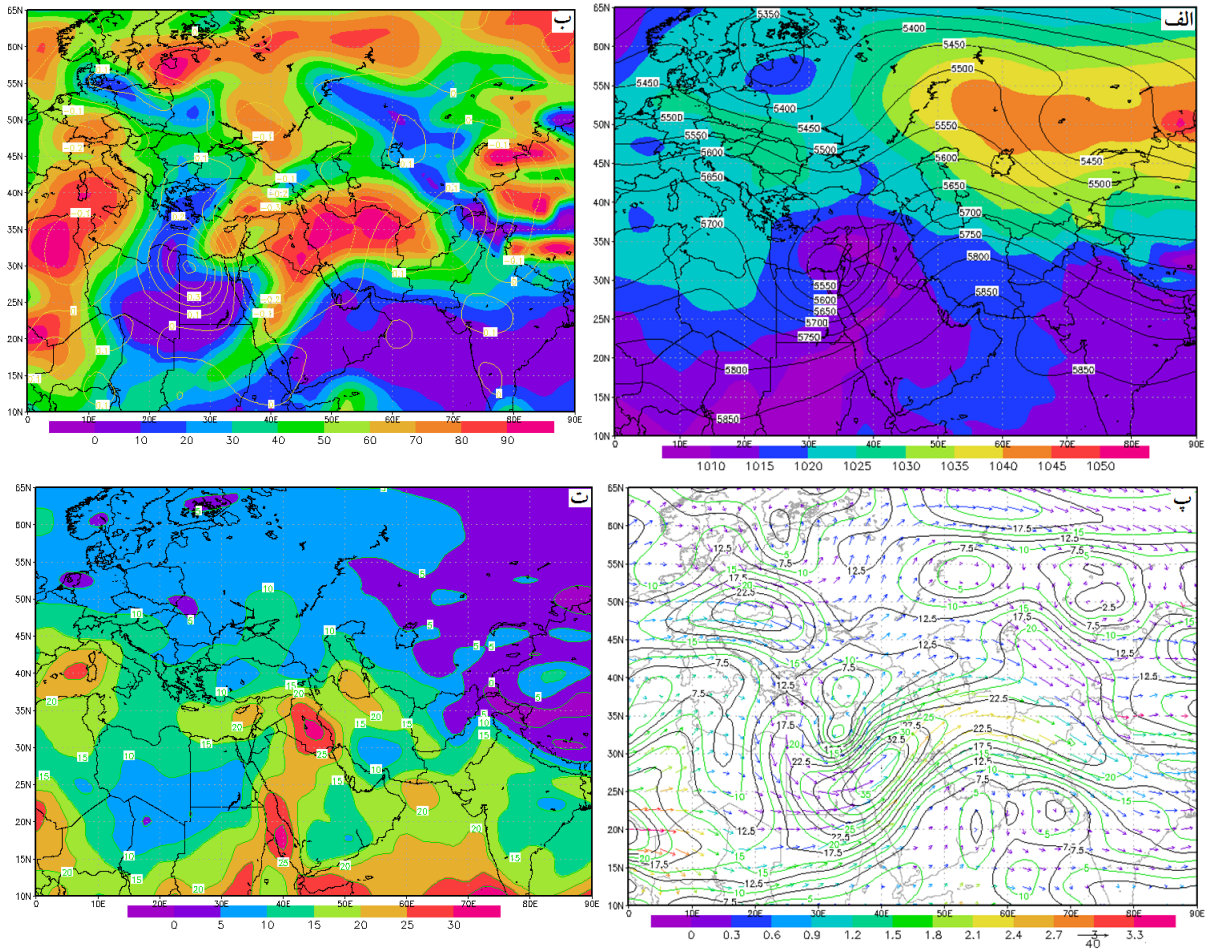


شکل ۵ نمودار Stew-T ایستگاه کرمانشاه در روز ۲۰ نوامبر ۲۰۱۱

مطابق شکل شاخص شولتر در این روز ۰/۷۴ - درجه بوده که نشان می‌دهد هرچه این شاخص به سمت منفی برود میزان ناپایداری هم بالاتر می‌شود. آب قابل بارش آن نیز ۱۵/۶۲ میلی‌متر برآورد شده است. بر روی نمودار اسکیوتی منحنی دمای محیط و نقطه شبنم در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال به هم نزدیک شده‌اند که نشان دهنده شناور بودن بسته هوا است. در تراز ۸۵۰ خط پای ابر تشکیل شده است و در این تراز، بسته هوا به نقطه اشباع رسیده و با اضافه شدن رطوبت و سرمایش هوا، رطوبت موجود متراکم شده و به آب تبدیل می‌شود.

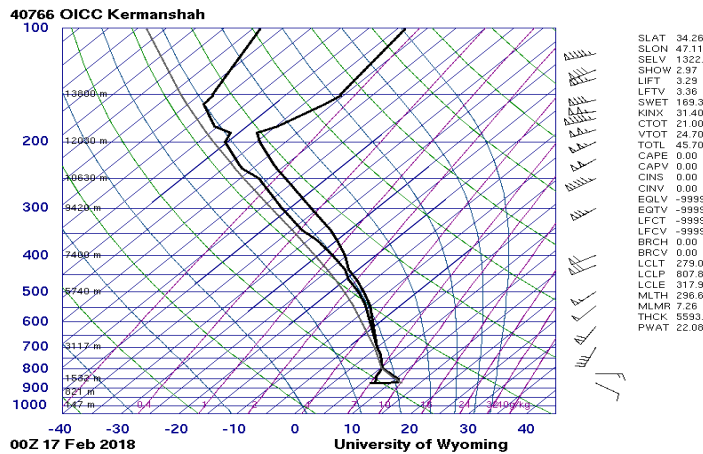
تحلیل همدیدی روز نماینده خوشه دوم (سامانه بندال مدیترانه و تشکیل کم فشار بر روی مدیترانه)

بارش سنگین که در روز ۱۷ فوریه سال ۲۰۱۸ رخ داده است ۳۶/۵ میلی متر در ایستگاه سرپل ذهاب بارندگی در پی داشته است. در نقشه فشار سطح زمین، یک چرخند قوی با مرکزیت ۱۰۱۰ هکتوپاسکال در شرق دریای مدیترانه، سوریه و عراق شکل گرفته که منطقه وسیعی را در مدار ۱۰ تا ۴۵ درجه شمالی و ۱۰ تا ۵۰ درجه شرقی در بر گرفته است و زبانه‌های شرق سوی خود را از روی عراق به منطقه ارسال کرده است و جریان هوا در آن پادساعت گرد است و زبانه ۱۰۱۵ هکتوپاسکال از روی محدوده مورد بررسی عبور کرده و این کم فشار با عبور از شرق دریای مدیترانه و جذب رطوبت از این منبع و حرکت و اچرخندی خود هوای گرم و مرطوب مدیترانه را وارد غرب ایران از جمله محدوده‌ی مورد پژوهش کرده و منجر به ریزش بارش سنگین شده است. واکاوی نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد که در این روز یک سامانه بندال از نوع بریده کم ارتفاع در حال فعالیت می باشد که بر روی شرق دریای مدیترانه، عراق و سوریه شکل گرفته که برای ناحیه تحت پوشش خود هوای ابری و مرطوب را به ارمغان دارد. منطقه مورد مطالعه در قسمت جلو ناوه بلند حاصل از بندال مدیترانه قرار گرفته است و از آنجایی که جلو فرود محل واگرایی بالایی و همگرایی پایینی و وزش افقی چرخندگی مثبت و محل صعود و ناپایداری است و ناپایداری‌های قسمت جلو چرخند بالایی ایستگاه مورد پژوهش را تحت تأثیر قرار داده است. همان طور که مشاهده می شود ناوه مدیترانه تا مدار ۲۰ درجه شمالی نیز کشیده شده است (شکل ۶- a). همچنان که در نقشه رطوبت نسبی تراز ۵۰۰ مشاهده می شود مقدار رطوبت در ایستگاه مورد بررسی به ۹۰ درصد رسیده که نشان دهنده شرایط بسیار مناسب برای رخداد یک بارش سنگین می باشد و تمام نیمه غربی ایران از جمله کرمانشاه را یک امگای منفی با مقدار ۰/۲- پاسکال بر ثانیه فراگرفته که نشان از صعود هوا و ناپایداری در منطقه دارد و بیشینه امگای منفی بر بیشینه بارش منطبق است (شکل ۶- b). نقشه‌های جهت وزش رطوبتی (پیکان‌های رنگی) جهت وزش رطوبت ویژه را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد که جریان شمال غربی رطوبت را از دریای مدیترانه و دریای سرخ به کرمانشاه آورده و نم ویژه در این روز به ۲/۴ گرم در کیلوگرم رسیده است (شکل ۶- c). نقشه آب قابل بارش در (شکل ۶- d) مشاهده می شود این نقشه نشان می دهد مقدار آب قابل بارش ۳۰ کیلوگرم در مترمربع برای تمام ضخامت جو است که برای بارندگی این مقدار مناسب می باشد.



شکل ۶ نقشه‌های همدید روز نماینده (۱۷ فوریه ۲۰۱۸) استان کرمانشاه (a) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (کتورها بر حسب ژئوتانسیل متر) و فشار سطح دریا (رنگ‌ها بر حسب هکتوپاسکال)، (b) نقشه نیمرخ امگا (خطوط کنتور بر حسب پاسکال بر ثانیه) و رطوبت نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (رنگ‌ها بر حسب درصد)، (c) رطوبت ویژه (پیکان‌های رنگی بر حسب گرم در کیلوگرم) و خطوط جریان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (پیکان‌ها جهت وزش باد و طول پیکان‌ها معرف سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه هستند)، (d) آب قابل بارش (بر حسب کیلوگرم در مترمربع)

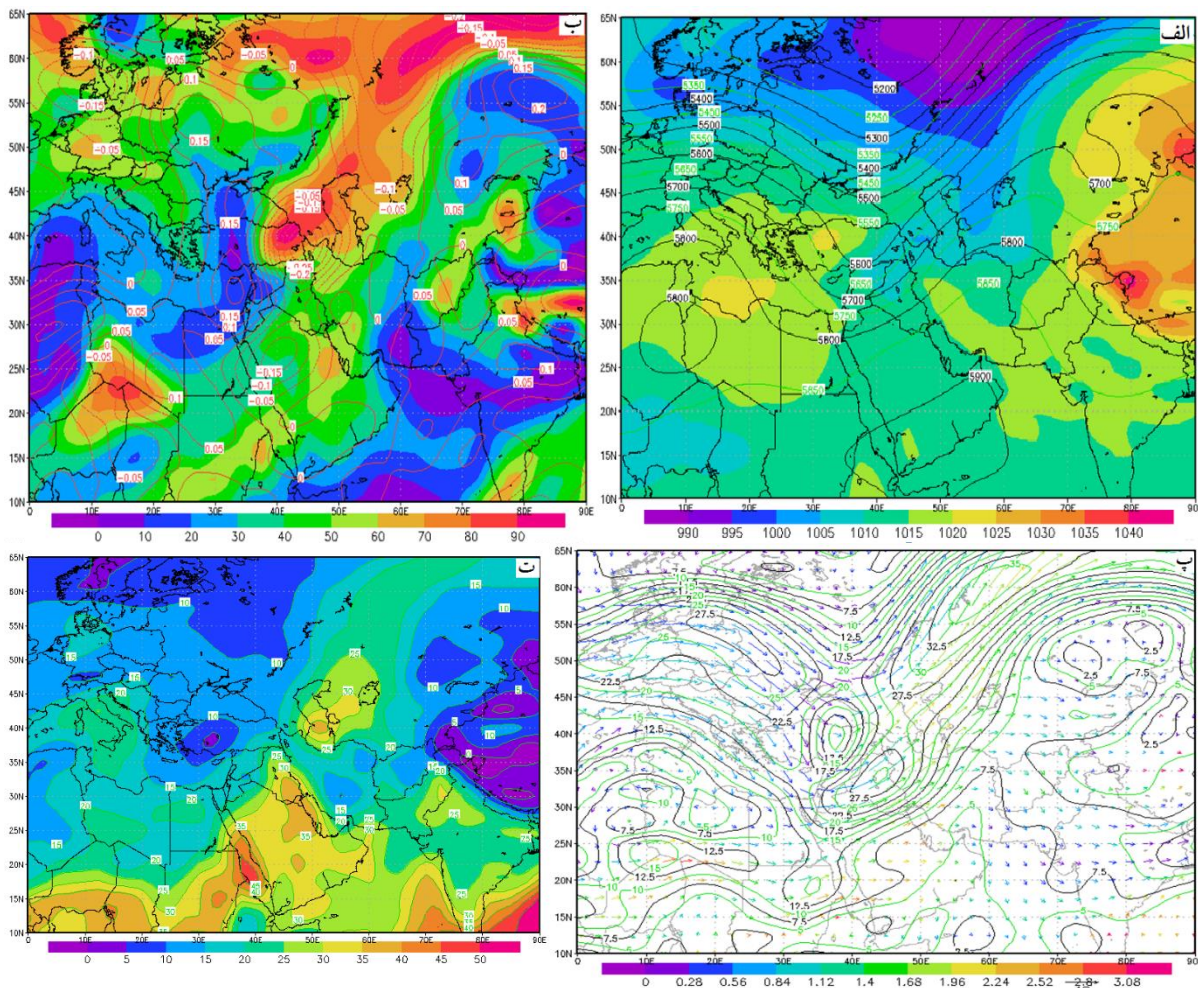
شکل (۷) نمودار ترمودینامیکی اسکیتوی روز ۱۷ فوریه ۲۰۱۸ ساعت ۰۰ ایستگاه کرمانشاه را نشان می‌دهد در این روز شاخص CAPE برابر با مقدار ۰/۰۰ و شاخص شولتر ۲/۹۷ درجه بوده که نشان دهنده تشکیل شرایط ناپایدار جزئی می‌باشد. شاخص ویتینگ (KI) ۳۱/۴۰ است که نشان می‌دهد احتمال همرفت با پتانسیل متوسط وجود دارد. شاخص بالابری (LI) با مقدار ۳/۲۹ احتمال وقوع طوفان را نشان می‌دهد. مقدار آب قابل بارش ۲۲/۰۸ میلی‌متر بوده است.



شکل ۷ نمودار Stew-T ایستگاه کرمانشاه در روز ۱۷ فوریه ۲۰۱۸

تحلیل همدیدی روز نماینده خوشه سوم (فرود عمیق روسیه و تشکیل کم فشار بر روی مدیترانه، عراق و سوریه) در روز ۲۶ اکتبر سال ۲۰۱۸ در ایستگاه اسلام آباد غرب ۴۷ میلی متر بارندگی گزارش شده است. بررسی نقشه های فشار تراز دریا نشان می دهد که در این روز یک چرخند با مرکزیت ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی بر روی عراق و سوریه شکل گرفته که با توجه به گردش پادساعت گرد و چرخندی این کم فشار، زبانه های آن جریان باد گرم و مرطوب را با راستای شمال غربی از روی دریای سیاه و مدیترانه به منطقه روانه کرده و ورود رطوبت به همراه هوای ناپایدار (کم فشار توأم با صعود، اغتشاش و ناپایداری) شرایط را برای تراکم و بارش سنگین فراهم نموده است و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز یک ناوه عمیق بر روی روسیه شکل گرفته که ارتفاع مرکزی آن ۵۲۰۰ ژئوپتانسیل متر است و محور این ناوه تا مصر و لیبی امتداد یافته و شرق فرود بلند مدیترانه بر روی منطقه مورد پژوهش واقع شده و شرایط را برای ایجاد واگرایی بالایی و صعود و ناپایداری فراهم کرده است (شکل ۸- a) میزان رطوبت نسبی در محدوده مورد پژوهش در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۵۰ درصد که به رطوبت اشباع تقریباً نزدیک بوده و بیشترین مقدار رطوبت در روسیه و ترکیه جایی که محور و شرق ناوه در آن واقع شده است، قرار دارد و مقدار شاخص سرعت قائم جو در محدوده مورد بررسی ۰.۰- پاسکال بر ثانیه که نشان از تقویت همرفت و ناپایداری دارد و باعث پوشش ۶۰-۹۰ درصدی ابر شده است (شکل ۸- b). جهت وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روز از شمال غرب بوده و دریای مدیترانه تأمین کننده رطوبت این روز بارشی در تراز مذکور بوده است و نم ویژه آن ۱/۹۶ گرم در کیلوگرم می باشد و جهت وزش جریان ها با جهت منحنی ها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همخوانی دارد، با توجه به آن که زمان رخداد بارش در پاییز می باشد، در این ماه سرعت باد شدیدتر شده و پرفشار جنب حاره ای تضعیف می شود و سرعت باد به ۲۲/۵ متر در ثانیه در سطوح میانی جو رسیده است (شکل ۸- c).

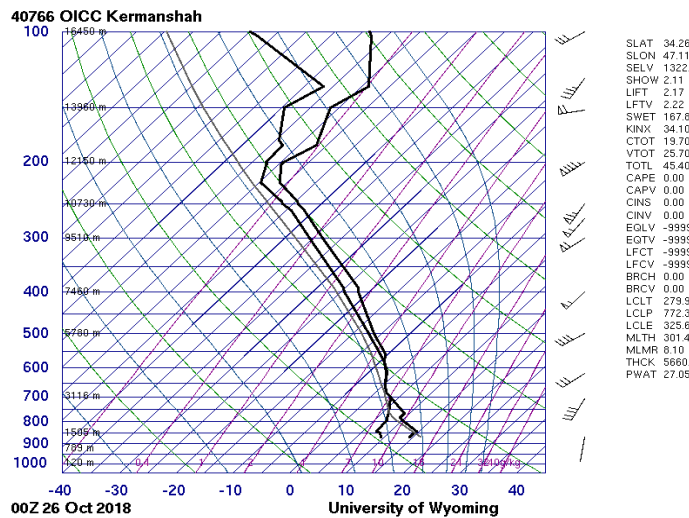
آب قابل بارش آن ۳۰ کیلوگرم در مترمربع برای تمام ضخامت جو است که برای بارش سنگین این روز مناسب برآورد شده است. (شکل ۸-d).



شکل ۸ نقشه‌های همدید روز نماینده (۲۶ اکتبر ۲۰۱۸) استان کرمانشاه **a** نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (کنتورها بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریا (رنگ‌ها بر حسب هکتوپاسکال)، **b** نقشه نیمرخ امگا (خطوط کنتور بر حسب پاسکال بر ثانیه) و رطوبت نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (رنگ‌ها بر حسب درصد)، **c** رطوبت ویژه (پیکان‌های رنگی بر حسب گرم در کیلوگرم) و خطوط جریان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (پیکان‌ها جهت وزش باد و طول پیکان‌ها معرف سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه هستند)، **d** آب قابل بارش (بر حسب کیلوگرم در مترمربع)

مطابق شکل (۹) نمودار ترمودینامیکی اسکیتی روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸ ساعت ۰۰ را برای ایستگاه کرمانشاه شاخص CAPE و شاخص شولتر با ناپایداری جزئی جو همراه بوده‌اند. شاخص KI ۱۰/۳۴ است که نشان می‌دهد احتمال

همرفت با پتانسیل متوسط وجود دارد. شاخص LI با مقدار ۲/۱۷ احتمال وقوع رگبارهای باران و برف و مقدار آب را نشان می دهد.

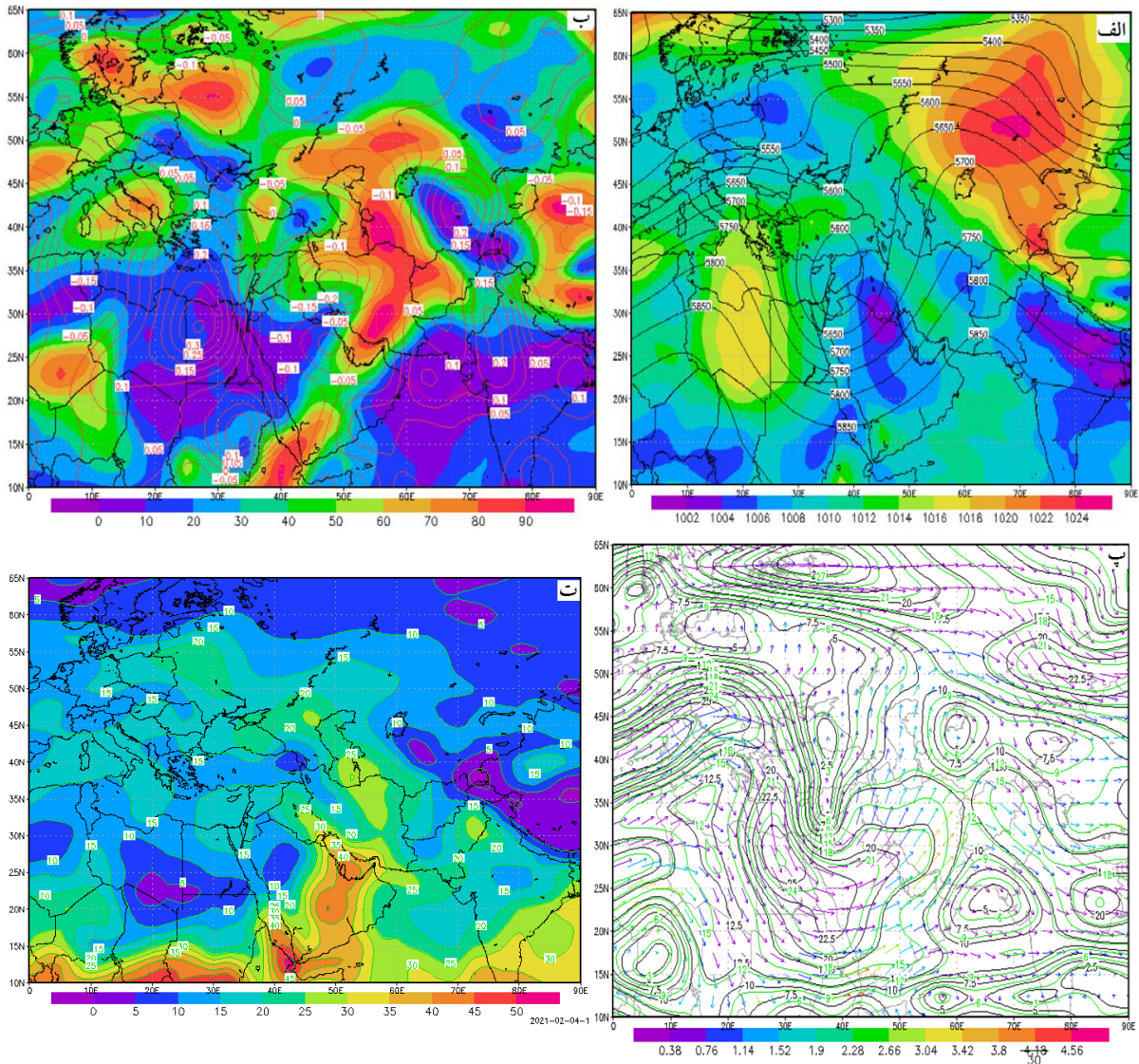


شکل ۹ نمودار Stew-T ایستگاه کرمانشاه در روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸

تحلیل همدیدی روز نماینده الگوی چهارم (استقرار بندال بر روی عراق، ترکیه، سوریه و شرق مدیترانه و زبانه های کم فشار عراق و عربستان)

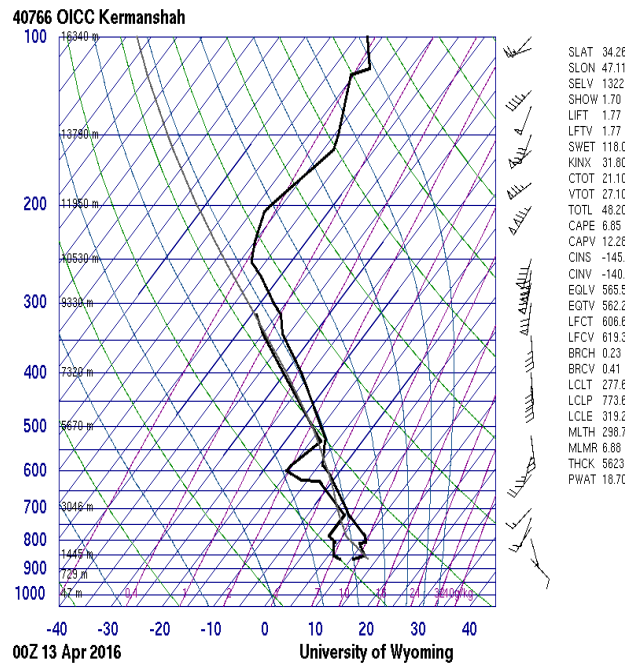
ترکیب همزمان نقشه های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۳ فوریه ۲۰۱۶ با ۵۱ میلی متر بارش در ایستگاه های منتخب استان کرمانشاه نشانگر استقرار یک سیستم کم فشار وسیع با فشار مرکزی ۱۰۰۲ هکتوپاسکال بر روی عراق و عربستان است که بین مدار ۲۰ تا ۳۵ درجه شمالی و ۳۰ تا ۶۰ درجه شرقی امتداد داشته و زبانه ای از آن با فشار ۱۰۰۸ هکتوپاسکال با حرکت و اچرخندی و با راستای شمال غربی از روی ایستگاه های مورد پژوهش عبور کرده و نفوذ هوای گرم به همراه رطوبت دریاهای مدیترانه و سرخ موجب صعود، اغتشاش و بارش سنگین شده است. علاوه بر شرایط فشاری یاد شده در سطح زمین، در این روز در نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی نیز بندال شبه امگایی بر روی شرق دریای مدیترانه، عراق و سوریه و قسمتی از ترکیه شکل گرفته است. ماهیت بندال امگایی به گونه ای است که در مرکز خود پشته ای با شرایط پایدار و در جنوب غرب و جنوب شرق خود دارای ناوهای با شرایط ناپایدار و بارش را همراه است. در جنوب غرب این سامانه هوای گرم و مرطوب در مسیر حرکت خود به سمت منطقه مورد پژوهش هدایت شده و منطقه در جلوی این سرد چال که محل وزش افقی چرخندگی مثبت (PVA) و واگرایی بالایی، همگرایی پایینی و مستعد صعود و ناپایداری است واقع شده است که به بارندگی سنگین در این روز منتهی شده است (شکل ۱۰- a) میزان رطوبت نسبی در محدوده مورد پژوهش در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۶۰ درصد که به رطوبت اشباع تقریباً نزدیک بوده و مقدار شاخص سرعت قائم جو در کرمانشاه ۰/۱- پاسکال بر ثانیه که نشان از تقویت همرفت و ناپایداری دارد (شکل ۱۰- b). نقشه های جهت حرکت رطوبت ویژه در تراز ۵۰۰

هکتوپاسکال نشان می‌دهد که جریان به صورت شمالی-جنوبی و همراه با رطوبت دریای مدیترانه بوده و نم ویژه آن به ۱/۱۴ گرم در کیلوگرم رسیده است. نقشه بردار باد معرف وجود هسته‌های سرعت با جهت شمال غربی - جنوب شرقی منطبق بر محور ناوه است که سبب تشدید جریان واگرایی و اغتشاش در سطوح فوقانی جو شده است (شکل ۱۰- c). آب قابل بارش در این روز مطالعه شده در کرمانشاه ۳۰ کیلوگرم در یک مترمربع برای تمام ضخامت جو است که این مقدار برای بارش سنگین مناسب است (شکل ۱۰- d).



شکل ۱۰- نقشه‌های همدید روز نماینده (۱۳ فوریه ۲۰۱۶) استان کرمانشاه (a) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (کتورها بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریا (رنگ‌ها بر حسب هکتوپاسکال)، (b) نقشه نیمرخ امگا (خطوط کنتور بر حسب پاسکال بر ثانیه) و رطوبت نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (رنگ‌ها بر حسب درصد)، (c) رطوبت ویژه (پیکان‌های رنگی بر حسب گرم در کیلوگرم) و خطوط جریان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (پیکان‌ها جهت وزش باد و طول پیکان‌ها معرف سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه هستند)، (d) آب قابل بارش (بر حسب کیلوگرم در مترمربع)

تحلیل نمودار ترمودینامیکی اسکیتوی برای این روز نشان می دهد (شکل ۱۱) شاخص CAPE و شاخص شولتر با ناپایداری قوی جو همراه بوده اند. شاخص KI نشانگر احتمال همرفت با پتانسیل متوسط است. شاخص بالابری با مقدار ۱/۷۷ احتمال وقوع رگبارهای باران و برف را بیان می کند .



شکل ۱۱- نمودار Stew-T ایستگاه کرمانشاه در روز ۱۳ فوریه ۲۰۱۶

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی الگوهای همدیدی - ترمودینامیکی عوامل جوی بارش های سنگین در استان کرمانشاه انجام شده است. نتایج پژوهش نشان داد که در بروز این بارش ها، ورود سیستم های کم فشار از جانب شرق دریای مدیترانه، عراق و سوریه از سمت غرب و تغذیه رطوبت کافی و مناسب از سمت دریای مدیترانه، سیاه و سرخ باعث ایجاد بارش های سنگین در استان کرمانشاه می شود. ورود سیستم باران زای شرق مدیترانه با یک ناوه عمیق و استقرار قسمت جنوب غربی بندال مدیترانه و رخنه آن به نوار غرب از جمله کرمانشاه از دلایل اصلی وقوع بارش های سنگین استان کرمانشاه می باشد که نقش دریای مدیترانه در سطح زمین و سطوح فوقانی جو را در ایجاد بارش های سنگین محدوده مورد مطالعه انکارناپذیر می سازد. نتایج این پژوهش با پژوهش (امیدوار و ترکی، ۱۳۹۱؛ صلاحی و عالی جهان، ۱۳۹۲؛ حلیان، ۱۳۹۴ و فرج زاده و رجایی نجف آبادی، ۱۳۹۲) همساز است. با توجه به موقعیت استان و قرارگیری در سلسله جبال زاگرس و شرایط برای صعود می توان عامل اقلیم محل و توپوگرافی را باز هم به عنوان یکی از دلایل رخداد بارش های سنگین در این استان دانست. بررسی سایر نقشه های همدیدی نیز مبین شرایط مناسب

برای وقوع و رخداد بارش سنگین استان می‌باشند: از جمله افزایش مقادیر رطوبت نسبی و وجود امگای منفی سبب صعود، ناپایداری و تقویت همرفت سطوح فوقانی جو شده و آب قابل بارش بالای ۳۰ کیلوگرم در یک مترمربع است که همگی این موارد موجبات جوی پر آشوب و ناپایدار را برای بارش‌های سنگین فراهم کرده است.

منابع

- امیدوار، کمال؛ سپندار، نساء و شفیعی، شهاب (۱۳۹۸). تحلیل سینوپتیک و ترمودینامیک بارش سنگین و سیلابی روزهای ۵ تا ۸ آبان ۱۳۹۴ در استان کرمانشاه. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۷، ص ۲۵۲-۲۳۷.
- امیدوار، کمال؛ الفتی، سعید؛ اقبالی بابایی، فریبا و مرادی، خدیجه (۱۳۹۷). واکاوی ترمودینامیکی بارش‌های شدید ناشی از پدیده سردچال نواحی مرکزی و جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: رخداد بارش ۱۱ آذر ۱۳۸۷). نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۲، شماره ۱، ص ۲۰-۱.
- امیدوار، کمال و ترکی، مسلم (۱۳۹۱). شناسایی الگوهای ریزش بارش‌های سنگین در استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، سال ۱۶، شماره ۴، ص ۱۶۹-۱۳۵.
- حسینی، علیرضا و اکبری قمصری، هدیه (۱۳۹۵). شناسایی الگوهای سینوپتیکی پدید آورنده بارش‌های سنگین حوضه آبخیز طالقان در استان البرز. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۳، شماره ۴، ص ۱۰۰-۸۹.
- حلبیان، امیرحسین (۱۳۹۴). شناسایی الگوهای گردشی بارش‌های شدید موجد سیل در منطقه فارس. مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۵، شماره ۱۸، ص ۳۱-۴۶.
- حیدرآبادی، حسین؛ زرین، آذر و دوستان، رضا (۱۳۹۷). تحلیل الگوهای همدید بارش‌های حدی شمال شرق ایران. دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، ۱۹ اردیبهشت، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- جلالی، مسعود؛ شاهبایی، علی و کمریان، وهاب (۱۳۹۶). شناسایی الگوهای همدید بارش‌های شدید تابستانه در سواحل جنوبی دریای خزر. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۱، شماره ۵۹، ص ۲۳-۳۹.
- درگاهیان، فاطمه و علیجانی، بهلول (۱۳۹۶). بررسی سینوپتیکی و دینامیکی بارش برف بهمن ۹۲ در ایران با تأکید بر نقش پدیده بلاکینگ. مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ۶، شماره ۱۲، ص ۳۶-۱۹.
- رضایی بنفشه، مجید؛ جهانبخش، سعید و حقیقی، اسماعیل (۱۳۹۶). بررسی الگوهای همیدی ریزش برف در کرمانشاه. فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۷، شماره ۵۹، ص ۱۱۹-۱۰۳.

- ذکی زاده اوماسلان علیا، میربهرز؛ سلیقه، محمد؛ ناصر زاده، محمد حسین و اکبری، مهری (۱۳۹۷). تحلیل آماری و سینوپتیکی مؤثرترین الگوی رودباد ایجادکننده بارش‌های سنگین ایران. مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۵، ص ۴۸-۳۱.
- صادقی حسینی، سید علیرضا و رضاییان، مهتاب (۱۳۸۵). بررسی تعدادی از شاخص‌های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۲، شماره ۲، ص ۸۳-۹۸.
- صلاحی، برومند؛ ابراهیمی تبار، ابراهیم؛ روشنعلی، محمد و امید زاده، هانیه (۱۳۹۷). تحلیلی برای الگوهای سینوپتیکی مولد بارش‌های رگباری (مطالعه موردی: بارش ۱۳۲ میلی‌متری مورخ ۱۳۹۱/۷/۲۲ شهرستان بهشهر). مجله علوم جغرافیایی (جغرافیای کاربردی)، دوره ۱۴، شماره ۲۹، ص ۵۴-۴۶.
- صلاحی، برومند و عالی جهان، مهدی (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی شهرستان یاسوج (مطالعه موردی: بارش سنگین ۲۰ اسفند ۱۳۸۹). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۵، ص ۷۳-۸۹.
- فرج زاده، منوچهر و رجایی نجف آبادی، سعید (۱۳۹۲). تحلیل شرایط سینوپتیک رخداد سیل در بارش‌های سنگین (شهرستان کوه‌رنگ). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۵، ص ۱۶۲-۱۴۳.
- فروتن، مهدی و صلاحی، برومند (۱۴۰۲). واکاوی ارتباط بارش‌های سنگین با بادهای حدی در استان اردبیل. مجله جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۵، شماره ۴، ص ۱۴۶-۱۲۸.
- قاسمی فر، الهام؛ ناصر پور؛ سمیه و آرزومندی، لیلا (۱۳۹۶). شناسایی الگوهای سینوپتیکی بارش‌های سیل خیز غرب ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۴، شماره ۲، ص ۸۶-۶۹.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰). کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز. نشریه فضای جغرافیایی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، ص ۲۰۸-۱۸۲.
- کیخسروی، قاسم؛ شکیبا، علیرضا و حمید پور، پگاه (۱۴۰۱). تحلیل الگوهای همدیدی و ترمودینامیک منجر به بارش‌های ابر سنگین و برآورد پهنه آبی حاصل از بارش‌ها در حوضه آبخیز کرخه. فصلنامه مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی، دوره ۳، شماره: ۱، ص ۱۰۰-۸۳.
- لشکری، حسن و اسفندیاری، ندا (۱۴۰۰). الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی رودخانه‌های جوی منجر به بارش سنگین دوره سرد کشور ایران. مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۲۹، ص ۱۴۴-۱۲۵.
- منصوری، شیدا و دوستان، رضا (۱۳۹۸). الگوهای جوی تداوم بارش‌های غرب ایران. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۳، ص ۱۵۹-۱۴۱.

مصطفی‌زاده، رئوف؛ صفریان زنگیر، وحید و حاجی، خدیجه (۱۳۹۷). تحلیل الگو و شرایط وقوع بارش‌های منجر به سیل در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در شهرستان گرمی. استان اردبیل. مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۵، ص ۸۹-۱۰۶.

Chen, Y. L., Ghu, Y. J., Chen, C. S., Tu, C. C., Teng, J. H., Lin, P. I. (2018). Analysis and Simulations of a Heavy Rainfall Event Over Northern Taiwan during 11–12 June 2012. *Monthly Weather Review*, 146, p 2715- 2697.

Oliveira, P., Lima, K., Santos e Silva, C. (2013). Synoptic environment associated with heavy rainfall events on the coastland of Northeast Brazil. *Advances in Geosciences*, 35, p 73–78.

Madsena, H.D., Lawrence, M., Lang M., Martinkova Kjeldsen, T.R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519(D), p 3634-3650.

Merino, A., Fernández, S., Hermida, L., López, L., Sánchez, J.L., Ortega, E.G., Gascon, E. (2014). Snowfall in the Northwest Iberian Peninsula: Synoptic circulation patterns and their influence on snow day trends. *Article ID*, 275, p 1-14.

Theobald, A., HamishMc, G., Johanna, S. (2016). Trends in synoptic circulation and precipitation in the snowy mountains region, Australia, in the period 1985-2012. *Atmospheric Research*, 169(B), p 434-448

Zhao, Y. C., Cui, C. G. (2010). A study of rainstorm process triggering Zhouqu extremely mudslide on 8 August 2010. *Torrential Rain and Disasters*, 3, 015.