

## نقش بی‌هنجاری‌های عمودی و ردسپهر در بارش‌های جامد

### مورد مطالعه: مخاطرات تگرگ در استان کرمانشاه

فرباد شایسته<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
بهلول علیجانی، استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
محمد سلیقه، دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

پذیرش نهایی: ۹۶/۰۶/۲۰

دریافت مقاله: ۹۶/۰۳/۰۸

#### چکیده

تگرگ هر ساله خسارات زیادی به بخش‌های گوناگون اقتصادی در استان کرمانشاه می‌رساند. جهت کاهش و مقابله با این زیان‌ها، شناسایی الگوهای همدیدی جهت پیش‌بینی این پدیده لازم است. بدین منظور داده‌های هوای حاضر، از سازمان هواشناسی استان در دوره‌ی ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۶ برای هفت ایستگاه سینوپتیک منطقه اخذ شد. سپس در اکسل بر مبنای کدهای ۹۹، ۹۶، ۹۱، ۹۰، ۸۹، ۸۷ و ۲۷ که پدیده‌ی تگرگ با شدت‌های متفاوت را در بر دارند، کدنویسی شد. در داده‌های اخذ گردیده از سازمان هواشناسی، از بین گروه‌های ۲۳ گانه، گروه هفتم داده‌ها که هوای حاضر و گذشته را گزارش می‌دهد، انتخاب و با ورود به برنامه روزهای تگرگ معلوم گردید. سپس بر اساس روش مطالعاتی گردشی به محیطی، نقشه‌های مولفه‌های جوی برای ترازهای سطح دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که از نظر رخداد زمانی، اواسط سپتامبر تا اواسط ژوئن و از نظر رخداد مکانی ایستگاه کرمانشاه بیشترین و سرپل ذهاب کمترین تعداد را داشته است. ارتفاع و توپوگرافی سهم عمده‌ای در فراوانی مکانی این پدیده دارد. همچنین بررسی نقشه‌ها نشان داد که شرایط عمومی برای رخداد این پدیده شکل‌گیری ناوهایی با حرکات شدید صعودی قائم، چرخندگی مثبت از سطح زمین تا ترازهای فوقانی و ردسپهر، تزریق رطوبت توسط سیستم‌های غربی و جنوب‌غربی می‌باشد؛ و نیز شرط لازم اختلاف دمای زیاد بین ترازهای پایینی و بالایی جو می‌باشد. چنانکه هوای گرم صعودکننده با انتقال و ورود به ترازهای بالایی با دمای بسیار سرد مواجه گردد؛ پدیده تگرگ به وقوع می‌پیوندد.

واژگان کلیدی: تحلیل همدید، مخاطره‌ی تگرگ، بی‌هنجاری‌های و ردسپهری، چرخندگی، استان کرمانشاه.

## مقدمه

مخاطرات اقلیمی یکی از انواع مخاطراتی است که برای جوامع انسانی خساراتی را به بار می‌آورد. از جمله‌ی این مخاطرات، پدیده‌ی تگرگ است که در مقیاس خرد موجب تلفات مالی و جانی می‌شود. تگرگ به عناصر جوی و عوامل جغرافیایی محل وابسته است؛ هر زمان که شرایط جوی و فرایندهای فیزیکی مناسب با موقعیت جغرافیایی محل ترکیب شوند، باعث رخداد و تشدید این پدیده می‌گردد.

تگرگ از دانه یا تکه‌های یخ به قطر ۵ - ۵۰ میلی‌متر (و گاهی بیشتر) تشکیل شده است. رشد شدید تگرگ، حاصل حرکات عمودی شدید و مکرر هوا در درون ابرهای کومه‌ای‌بارا است و این امر باعث می‌شود که نطفه‌های تگرگ قطرات آب را به دفعات به دور خود جذب کنند و سبب انجماد آن‌ها شوند؛ از این رو ساختار تگرگ از لایه‌های شفاف، نیمه شفاف، کدر تا شیری رنگ، شبیه به برف ایجاد می‌شود. تگرگ غالباً به شکل رگبار، به طور محدود و همراه با رعد و برق، به ویژه در بهار، می‌بارد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۳: ۲۶۳). از نظر فیزیکی دانه‌ی تگرگ از برخورد و به هم پیوستگی قطرات آب فوق سرد موجود در ابرهای کومه‌ای با نوعی گوی‌چه‌های یخی کوچک درون ابر تشکیل می‌شود. جریان‌های بالا سوی هوا درون ابر می‌توانند دانه‌های تگرگ را در ترازهای دمای زیر انجماد برای زمان طولانی نگه‌دارند (آسیایی، ۱۳۸۰). طوفان‌های همرفتی که اغلب به صورت تندری ظاهر می‌شوند، پدیده‌های خرد تا میان مقیاس جوی‌اند که به طور معمول، پرنرزی و همراه با رعد و برق و باران‌های شدید هستند و گاهی باعث تگرگ و بادهای جست‌ناک بسیار شدید در سطح زمین می‌شوند. این جریان‌های جست‌ناک اغلب به صورت پرنرزی و کوتاه مدت‌اند که از مشخصات آنها: کاهش دما (حدود ۳ تا ۸ درجهٔ سلسیوس)، افزایش فشار (حدود ۲ تا ۳ هکتوپاسکالی)، افزایش ناگهانی سرعت باد (حدود ۱۰ تا ۲۰ متر بر ثانیه)، تغییرات جهت باد (تا ۱۰۰ درجه) و افزایش رطوبت (حدود ۱۰ درصد) می‌باشد که هنگام عبور پدیده از روی ایستگاه‌های زمینی ثبت می‌شوند (علی‌اکبری بیدختی و همکاران، ۱۳۸۳). محل بیشینه‌ی روزهای طوفان رعد و برق در منطقه‌ی کوهستانی غرب کشور قرار دارد که بیش‌ترین فراوانی طوفان‌های رعد و برق در ماه اردیبهشت در ارتفاعات آذربایجان، کردستان و خراسان رخ می‌دهد و به دلایل: وجود بادهای غربی؛ امکان ورود رطوبت دریای مدیترانه؛ مکانیزم صعود دامنه‌ای است (علیجانی، ۱۳۸۷). در صورت فراهم آمدن شرایط ترمودینامیکی لازم در جو، ابر تشکیل شده و با توجه به شرایط ناپایداری، درجه حرارت و رطوبت موجود در جو و دیگر عوامل امکان بارش در طیف وسیعی از اشکال نظیر باران، برف، باران ریزه، باران یخی و تگرگ فراهم خواهد گردید (بدایع جمالی و همکاران، ۱۳۸۹). تمام خصوصیات بارز طوفان تندری مانند باد شدید، تگرگ، رعد و برق و رگبار شدید تماماً حاصل ایجاد یک سلول همرفتی بزرگ در جو است (صلاحی، ۱۳۸۹).

زیان‌های ناشی از تگرگ بیشتر در بخش کشاورزی و در اثر صدمه دیدن محصولات کشاورزی هنگام رشد و جوانه زدن تأثیرگذار بوده، هرچند که در دیگر بخش‌ها نظیر ساختمان‌های مسکونی تلفات حیوانات کوچک و بزرگ، همچنین در پرواز هواپیما و صدمه دیدن اجزای آن اختلال ایجاد می‌کند. تگرگ هر ساله خسارات قابل توجهی را در استان کرمانشاه به بار آورده چنانکه کشاورزان به بیمه کردن محصولات خود در برابر این پدیده می‌پردازند و دولت در قبال خسارتی که به این بخش از فعالیت وارد آمده است، هزینه‌های زیادی را متحمل می‌شود. مدیر کل جهاد کشاورزی استان، مجموع خسارت‌های پدیده‌های تگرگ و سرمازدگی را بالغ بر ۲۲۴ میلیارد تومان برآورد کرده که در اکثر شهرستان‌های استان، بیش‌ترین خسارت این دو پدیده در بخش‌های زراعت و باغات وارد آمده است. ایشان برای کاهش خسارات، بارورسازی

ابرها را ارزان تر از پرداخت خسارت به کشاورزان و باغداران استان ذکر کرده است (خبرگزاری ایرنا، ۱۳۹۳). از دیرباز تاکنون در سراسر دنیا تلاش‌های زیادی برای مقابله با این پدیده انجام شده است که مقابله‌ی موثر با آن نیازمند مطالعه و شناخت مراکز رخداد تگرگ و عوامل به وجود آورنده و شرایط تکوین آن و تأثیر آن‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی معین است.

در زمینه‌ی بارش تگرگ تاکنون پژوهش‌های زیادی با رویکردهای متفاوت در دنیا انجام شده است. به طور کلی مطالعات انجام شده در رابطه‌ی بین شرایط همدیدی و عناصر آب و هوا، به بررسی اثرات آن بر آب و هوای محلی و یا منطقه‌ای، متمرکز گردیده‌اند (Aran et al 2010). بنابراین مطالعات تحقیقی در این زمینه معمولاً بر توسعه‌ی طبقه‌بندی همدیدی برای توضیح پدیده‌های محیطی و انسانی با استفاده از نقشه‌ی آماری هوا دلالت دارند (Aran et al 2010).

هاف (Huff, 1961)، در یک دوره‌ی ۵۰ ساله نقش توزیع توفان‌های تندری، بارش بیشینه، درجه حرارت، نقطه‌ی شبنم و جبهه‌های هوا و تأثیرات آن‌ها را در توزیع بارش تگرگ در ایلینویز (Illinois) بررسی کرده است. نتایج نشان داد که موقعیت مراکز دارای بیش‌ترین فراوانی تگرگ بر الگوی توزیع جبهه‌های هوا منطبق است. استنلی و چنگنون (Stanley and Changnon, 1962)، فراوانی‌های منطقه‌ای روزهای همراه با تگرگ و طوفان رعد و برق در ایلی نويز آمریکا بررسی کردند. نتایج آنها نشان می‌دهد که ماه‌های مارس و اکتبر به عنوان فصل طوفان‌های رعد و برق محسوب می‌شود. بوگمن و همکاران (Baughman et al, 1969)، وقوع رعد و برق و تگرگ در توفان‌های تندری کوهستانی را بررسی کردند. مورگان و همکاران (Morgan et al, 1974)، با مطالعه‌ی تغییرپذیری کوچک مقیاس تگرگ و اهمیت آن برای آزمایش‌های پیشگیری تگرگ، نشان دادند که تغییرپذیری زیادی از شاخص‌های تگرگ روی فاصله‌های کوتاه وجود دارد. امبوران و ولف (Amburan and Wolf, 1996)، با بررسی چگالی درصد رطوبت مایع به عنوان شاخص تگرگ، بیان می‌کنند که درصد رطوبت مایع چون مستقل از فصل و مکان جغرافیایی است، برای عملیات هشدار می‌فید است. فردی ونت (Freddy Vinet, 2000)، در مقاله‌ای با عنوان: آب و هواشناسی تگرگ در فرانسه، نقشه‌ی خطر تگرگ را تهیه و بیان می‌کند که در منطقه‌ی شرق و مرکز فرانسه توپوگرافی محلی می‌تواند انرژی تگرگ به خصوص در دامنه‌ی باد پناه را تقویت کند. کوستا و همکاران (Costa et al, 2000)، در بررسی همرفت عمیق شمال ایتالیا، نشان می‌دهند که تعامل بین جریان همدیدی و شیب اوروگرافی آلپ، عامل کلیدی برای ساختار گردش متوسط مقیاس است که به انواع متفاوت طوفان‌های شدید منجر می‌شود. فرال و دیگران (Feral et al, 2002)، در تشخیص تگرگ با استفاده از تفاوت باندهای C و S راداری، بیان می‌کند که نسبت بازتاب دو طول موج برای تمام مشاهدات راداری شبیه‌سازی شده، تشخیص تگرگ را قادر می‌سازند. جیوتی و همکاران (Gaiotti et al, 2003)، آب و هواشناسی تگرگ در دشت فریلی ونزیا جیولیا را مطالعه و بیان می‌کنند حتی اگر تگرگ که یک پدیده‌ی محلی است، آب و هواشناسی تگرگ می‌تواند فقط به وسیله‌ی محسوب داشتن سازوکارهای متوسط مقیاس توسط فعل‌وانفعالات بین آشفتگی‌های همدیدی و اوروگرافی پیچیده در این دشت تفسیر شده باشد. سیوتاس و فلوکاس (Sioutas and Flocas, 2008)، در بررسی الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی محیطی بر بارش تگرگ شمال یونان در فصل گرم دریافتند که جریان‌های جنوب غرب و همچنین ترف جنوب غرب بیش‌ترین تأثیر را در بارش تگرگ و توفان‌های منطقه دارد. آن‌ها بیان می‌کنند که پیوند مابین وقایع تگرگ و گردش همدیدی به پیش‌بینی طوفان‌های تندری و حتی تعیین سطح ریسک تگرگ می‌تواند کمک کند. میکوس (Mikus, 2011)، تجزیه و تحلیل فعالیت همرفتی و سابقه‌ی همدیدی آن در کرواسی را بررسی و بیان می‌کند که فعالیت همرفتی در اوایل

بعدازظهر شروع و در پایان غروب به اتمام می‌رسد. دوره‌ی فراوانی بیشتر همرفت شبانه در ساحل آدریاتیک به وقوع می‌پیوندد.

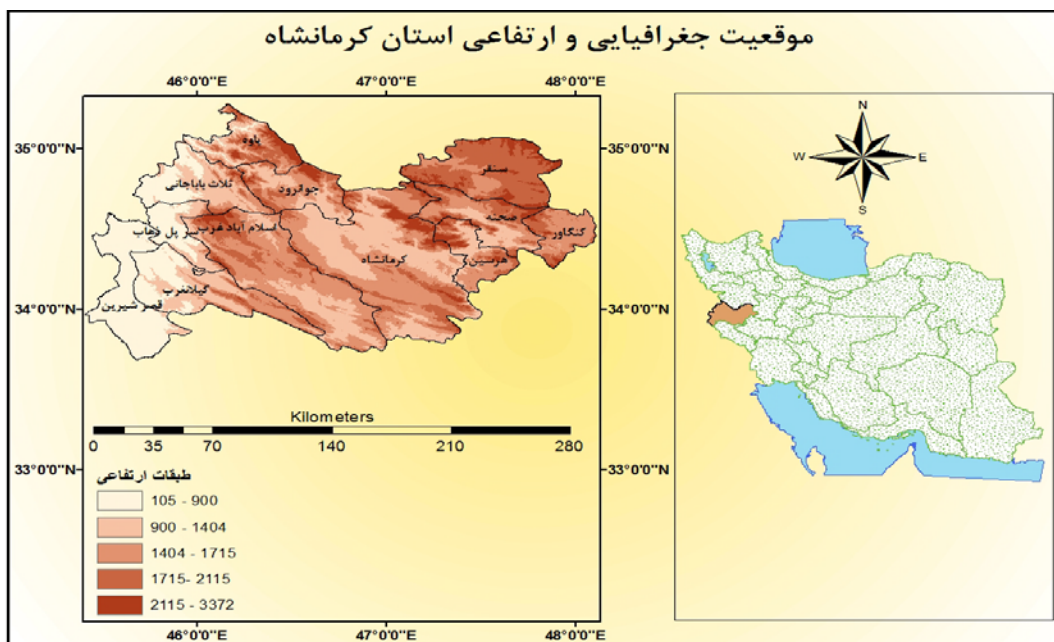
در ایران رویکرد مطالعه‌ی تگرگ به نسبت مطالعات خارج از کشور، دارای تنوع کمتری است. میر موسوی و اکبر زاده (۱۳۸۷) کار بست توزیع‌های پواسون و دو جمله‌ای منفی در برآورد احتمالات رخداد روزهای تگرگ در استان آذربایجان شرقی را بررسی کرده و نتایج آنها نشان می‌دهد که بیش‌ترین فراوانی بارش تگرگ در محدوده‌ی جنوب غربی استان (شهرستان مراغه) و کمترین فراوانی آن در شمال غربی استان (شهرستان جلفا) اتفاق افتاده است و توزیع پواسن برازش مناسبی را نسبت به داده‌های تگرگ در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. مصطفی پور (۱۳۸۷)، با بررسی زمانی و مکانی بارش تگرگ در ایران؛ به بارش تگرگ، رخداد طوفان تگرگ و طوفان تندری در ایران پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کانون‌های اصلی رخداد این ۳ پدیده در ایران بیشتر در نواحی غرب و شمال غرب می‌باشند. بیش‌ترین فراوانی رخداد تگرگ در کشور در ماه‌های مارس و آوریل؛ رخداد طوفان تگرگ در ماه‌های آوریل و می و رخداد طوفان تندری در ماه می می‌باشد. لشکری و امینی (۱۳۸۹)، تحلیل هم‌دید و پهنه‌بندی بارش تگرگ در خراسان بزرگ برای دوره‌ی آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ را بررسی نموده و نتایج آن‌ها نشان داد که در حداکثر بودن فراوانی وقوع تگرگ در نواحی تحت بررسی، علاوه بر ارتفاع زیاد آن‌ها از سطح دریا، محل ورود سیستم‌های همراه با بارش تگرگ نیز نقش مؤثری داشته است. خوش‌اخلاق و دیگران (۱۳۹۱) بارش تگرگ فراگیر را در شمال غرب ایران جهت شناسایی الگوهای هم‌دید و تعیین آستانه‌های کمیت‌های دینامیکی همچون تاوایی نسبی، هم‌گرایی و واگرایی رطوبت، سرعت قائم در سامانه‌ی ارتفاعی و کمیت‌های ترمودینامیکی همچون نم و یژه و جهت وزش جریان‌ها از ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش تگرگ بررسی نمودند. نتایج آنها نشان می‌دهد که با عقب‌نشینی مرکز پرفشار آזור و مرکز پرفشار فرعی حاصل از آن به سمت غرب و پرفشار سیبری به سمت شرق، کم‌فشار ایسلند با حرکت به سمت شرق و جنوب و قوی‌تر شدن، زبانه‌های آن تا جنوب دریای خزر رسیده، همچنین با عقب‌نشینی پرفشار جنب‌حاره‌ای از شمال عربستان مسیر حرکت کم‌فشارهای دریای سرخ به سمت بین‌النهرین باز شده و شرایط مناسب برای ایجاد بارش فراهم می‌گردد. شاکری و همکاران (۱۳۹۳) در شهرستان مشهد شاخص‌های ناپایداری را برای این پدیده استفاده کردند و شکل‌گیری تگرگ را ناشی از ریزش هوای سرد از ترازهای بالا و نفوذ هوای گرم از سطح زمین بیان کرده‌اند. در استان کرمانشاه و غرب کشور سه مطالعه تاکنون صورت گرفته است: میرموسوی و همکاران (۱۳۹۰) با تأکید بر جنبه‌های آماری، فراوانی بارش تگرگ را برای استان کرمانشاه بررسی نمودند. آنها از نقطه نظر آسیب‌پذیری به گیاهان و محصولات کشاورزی، آسیب‌پذیرترین مناطق را در این استان، در مناطق غربی، ایستگاه سرپل ذهاب و در مناطق شرقی، ایستگاه کنگاور و کرمانشاه بیان کرده‌اند. لشکری و همکاران (۱۳۹۲) بارش فراگیر تگرگ را در غرب کشور در استان‌های کرمانشاه و کردستان و همدان و لرستان را با رویکرد هم‌دید بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که از لحاظ دوره شبانه روزی ساعات ۹ تا ۱۲ و ماه‌های آوریل و می و ایستگاه‌های مریوان و بانه و بیجار بیشترین فراوانی را داشته و از لحاظ الگوهای هم‌دید، سامانه‌ی کم‌فشار دریای سرخ و سودان باعث بارش تگرگ گردیده‌اند. درگاهیان و همکاران (۱۳۹۳)، تحلیل آماری، ترمودینامیکی و هم‌دید پدیده تگرگ را در استان لرستان بررسی نمودند. این مطالعه تأثیر برخی شاخص‌های ترمودینامیکی را در ایجاد این پدیده بیان کرده و در رویکرد هم‌دید تگرگ را به دو رخداد گرم و سرد تفکیک کرده و ویژگی‌های هم‌دید هر یک از این دو دوره را بیان نموده‌اند.

تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای به صورت جداگانه در خصوص رویکرد همدیدی و مخاطره‌ای در استان کرمانشاه صورت نگرفته است و مطالعات انجام شده توسط میرموسوی و همکاران (۱۳۹۰) جنبه آماری؛ و لشکری و همکاران (۱۳۹۲) تگرگ را تنها حاصل نفوذ جریانهای گرم و مرطوب منطقهٔ سودان و دریای سرخ بیان داشته‌اند؛ چنانکه به نظر می‌رسد سیستم‌های بادهای غربی نیز در تشکیل این پدیده به‌خصوص در انتقال هوای سرد عرض‌های بالا نقش موثری ایفا می‌کنند. لذا ضرورت بررسی همدید برای این استان به منظور شناسایی سیستم‌های به‌وجود آورنده‌ی تگرگ و مناطق مساعد رخداد آن در کاهش خسارات ناشی از آن ضرورت می‌یابد.

## داده‌ها و روش کار

### الف) قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحت ۲۵۲۵۹ کیلومترمربع تقریباً ۵ / ۱ درصد از کل مساحت ایران را به خود اختصاص داده است و از لحاظ جغرافیایی، بین ۳۳ و ۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی در غرب ایران قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۲۰۰ متر می‌باشد. وجود ارتفاعات متعدد و امتداد جغرافیایی آن‌ها و ارتفاع استان از سطح دریا، از عوامل موثر بر اقلیم استان می‌باشد. جهت ارتفاعات این منطقه به پیروی از ساخت زمین‌شناسی شمال‌غربی جنوب‌شرقی می‌باشد. این قسمت به دلیل قرار گرفتن کوه‌ها در مسیر بادهای مرطوب غربی از بارش قابل توجهی برخوردار می‌باشد. رشته‌کوه‌های زاگرس به عنوان سدی در برابر بادهای غربی، باعث می‌شوند بخار آب دریای مدیترانه در دامنه‌ی غربی این رشته‌کوه‌ها ریزش کند (علیجانی، ۱۳۸۵). تمرکز ارتفاعات بلند با ارتفاع بیش از ۳۵۰۰ متر در شمال غرب و شمال شرق استان بیشتر از دیگر قسمت‌های استان بوده و مناطق با کمتر از ۹۰۰ متر ارتفاع در قسمت‌های غرب و جنوب غرب استان جای گرفته‌اند (شکل ۱). استان کرمانشاه یکی از مناطقی است که در فصل بهار بارش تگرگ را تجربه می‌کند و صدمات زیادی را به خصوص در بخش کشاورزی به بار می‌آورد از این رو ضرورت مطالعه‌ی بیشتر آن احساس می‌شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی استان کرمانشاه

**ب) روش کار**

برای انجام این تحقیق از داده‌های مربوط به هوای حاضر با فواصل زمانی ۳ ساعته در دوره‌ی آماری ۶۵ ساله ( ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۶ ) ایستگاه‌های همدید استان کرمانشاه که شامل ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، روانسر، کنگاور، گیلان‌غرب و سرپل ذهاب می‌باشد، استفاده شده است.

از بین ۱۰۰ کدهای حاضر، کدهای ۹۹، ۹۶، ۹۱، ۹۰، ۸۹، ۸۷ و ۲۷ که پدیده‌ی تگرگ با شدت‌های متفاوت را در بر دارند، در نظر گرفته شده است و شامل هرگونه ظهور این پدیده را در ساعات دیده بانی و سه ساعت قبل از آن را شامل می‌شود. مشخصات هر یک از کدهای ذکرشده در جدول شکل (۲) بیان شده است.

جدول ۱: جدول مشخصات کدهای تگرگ(منبع: سازمان هواشناسی کشور)

کد	پدیده
۹۹	رعد و برق شدید توام با تگرگ در وقت دیده بانی
۹۶	رعد و برق ملایم یا متوسط توام با تگرگ در وقت دیده بانی
۹۱	باران ملایم در وقت دیده بانی- توام با رعد و برق در ساعت گذشته اما نه در وقت دیده بانی
۹۰	باران و برف که توام با رعد و برق نیست- با ریزش متوسط و یا شدید
۸۹	رگبار تگرگ همراه با تگرگ یا بدون آن و یا مخلوط- با بارش ملایم
۸۷	رگبار تگرگ ریز و یا تگرگ نرم همراه با باران یا بدون باران- با بارش ملایم
۲۷	رگبار تگرگ و یا رگبار تگرگ همراه باران- طی ساعت گذشته

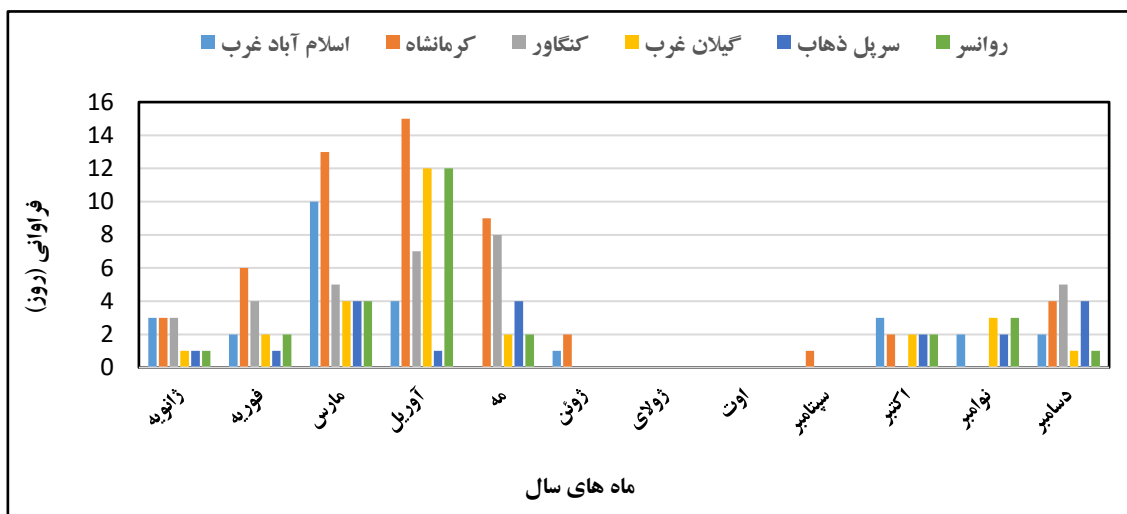
سپس بر مبنای کدهای ذکرشده، در اکسل کدنویسی شد تا هنگام ورود داده‌های برگرفته از هواشناسی استان به برنامه‌ی مورد نظر، از بین گروه‌های ۲۳ گانه‌ی این داده‌ها، گروه هفتم که هوای حاضر و گذشته را گزارش می‌دهد، کدهای جدول ۱ یعنی کدهای ۹۶، ۹۱، ۹۰، ۸۹، ۸۷ و ۲۷ شناسایی شوند و هنگامی که کدهای نوشته‌شده شناسایی شدند، روزهای تگرگ مشخص گردیدند.

رویکرد مطالعه‌ی موردنظر، بر اساس گردشی به محیطی می‌باشد که در آن رابطه‌ی گردش‌های همدید با متغیرهای موردنظر بررسی شده چراکه داده‌های گردشی تقریباً مستقل از پاسخ‌های محیطی انجام می‌گیرند. با توجه به اینکه در این مطالعه بارش تگرگ از لحاظ شرایط همدیدی و ناهنجاری دمایی بررسی می‌شود لذا برای وضعیت همدید آن، داده‌های فشار، چرخندگی، رطوبت ویژه، مولفه‌های U و V، نیمرخ عرضی امگا و تابش طول موج بلند خروجی، و برای وضعیت ناهنجاری دمایی، مولفه‌های آنومالی دما و همدمای سایت: [esrl.noaa.gov/psd](http://esrl.noaa.gov/psd) اخذ و با استفاده از نرم‌افزار Grads نقشه‌ها برای یک روز منتخب ترسیم گردیدند تا چگونگی تشکیل تگرگ مشخص گردد. جهت بررسی شرایط عمودی وردسپهر از نقشه‌های مقطع جوی که از سایت فوق قسمت vertical profile تهیه گردیده بود، استفاده شد. پس از تهیه‌ی نقشه‌های مربوطه ابتدا شرایط فشار و سپس تاوایی از سطح دریا تا سطوح میانی وردسپهر مورد تحلیل قرار

گرفت. در مرحله‌ی بعد جریان‌های جوی، مسیرهای ورود رطوبت، نقشه‌های ناهنجاری دمایی در ترازهای پایینی و میانی مورد مقایسه و شرایط گرادبان عمودی دما که می‌تواند در تشدید صعود موثر باشد بررسی شد. طول موج بلند خروجی تابش زمینی در هنگام رخداد تگرگ کاهش می‌یابد و مقدار آن به کمتر از ۲۶۰ وات بر متر مربع در ساعت می‌رسد. جهت بررسی توده هوای موجد تگرگ از نقشه‌های ناهنجاری OLR استفاده شد.

### شرح و تفسیر نتایج

فراوانی روزهای رخداد تگرگ در دوره‌ی آماری ۶۵ ساله در استان کرمانشاه به ۱۸۷ مورد رسیده است. به طور کلی این پدیده از اواسط سپتامبر تا اواسط ژوئن روی می‌دهد. بیش‌ترین تعداد در ایستگاه کرمانشاه و کم‌ترین در ایستگاه سرپل ذهاب بوده است (شکل ۲). علاوه بر ارتفاع مناطق مرتفع‌تر، به دلیل قرارگیری در مسیر بادهای باران‌آور از فراوانی بیشتری نسبت به بقیه برخوردار بوده‌اند. دوره‌ی سرد از ماه‌های اکتبر تا اواخر مارس و دوره‌ی گرم از آوریل تا اواخر سپتامبر می‌باشد و بنابراین از لحاظ فراوانی، در دوره‌ی سرد تعداد بیشتری نسبت به دوره‌ی گرم روی داده است. فراوانی دوره‌ی سرد به دلیل اینکه رخداد تگرگ همراه با سایر پدیده‌های دیده‌بانی ذکرشده در کدهای ۲۷، ۸۷، ۸۹، ۹۰ و ۹۱ جدول ۱ می‌باشد و لذا از لحاظ شدت، دوره‌ی گرم شدت بیشتری را نسبت به دوره‌ی سرد داشته است زیرا پدیده‌های دیده‌بانی کدهای ۹۶ و ۹۹ جدول ۱، که شدت این پدیده را نشان می‌دهند، اغلب در این دوره روی داده‌اند. این شدت به دلیل گذار از دوره‌ی سرد به گرم و در دوره‌های انتقالی بیشتر اتفاق می‌افتد.



شکل ۲: فراوانی روزهای همراه با تگرگ در ایستگاه‌های همدید استان کرمانشاه در دوره‌ی آماری ۱۹۵۱ - ۲۰۱۶

### - شرایط عمومی همدید در رخداد تگرگ (سامانه‌ی ۸ آوریل ۲۰۰۹):

ماه آوریل دارای بیشترین تعداد تگرگ از نظر فراوانی در استان کرمانشاه بوده است و بیشترین خسارات نیز در این ماه از سال به بخش کشاورزی وارد می‌شود و از آنجا که کشاورزی سهم عمده‌ای از درآمد مردم ساکن این استان دارد، لذا انتخاب سیستم بارشی تگرگ برای بررسی چگونگی وقوع ناهنجاری‌های دمایی و شکل‌گیری تگرگ در این ماه از سال، ضروری به نظر می‌رسد. سامانه‌ی ۸ آوریل ۲۰۰۹ به دلیل فراگیر بودن در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه انتخاب گردیده و لذا محدوده‌ی وسیع و گسترده‌ای را در بر گرفته است.

استان کرمانشاه در دوره‌ی سرد سال تحت نفوذ ناپایداری‌های بادهای غربی و سیکلون‌ها و آنتی سیکلون‌های مهاجر بوده و لذا دارای بارش جبهه‌ای است. در دوره‌ی گرم سال، گرچه بادهای غربی به صورت کم و بیش وجود دارند اما عمده‌ی بارش‌ها توسط سیستم‌های همرفتی به وجود می‌آیند. از آنجا که گرم شدن سطح زمین در اواخر فصل سرد زمستان و اوایل بهار بیشتر از هر زمان دیگری انجام می‌گیرد و اتمسفر ناپایدار می‌گردد لذا شدت این نوع بارش در این زمان از سال در منطقه‌ی غرب کشور به وقوع پیوسته و مکانیسم همرفت نقش به‌سزایی در تشکیل این نوع بارش در دوره‌ی گرم دارد (درگاهیان، ۱۳۹۳: ۱۲۵). علاوه بر همرفت باید عامل صعود و همگرایی در سطح زمین باعث شدت بخشیدن به صعود گردد.

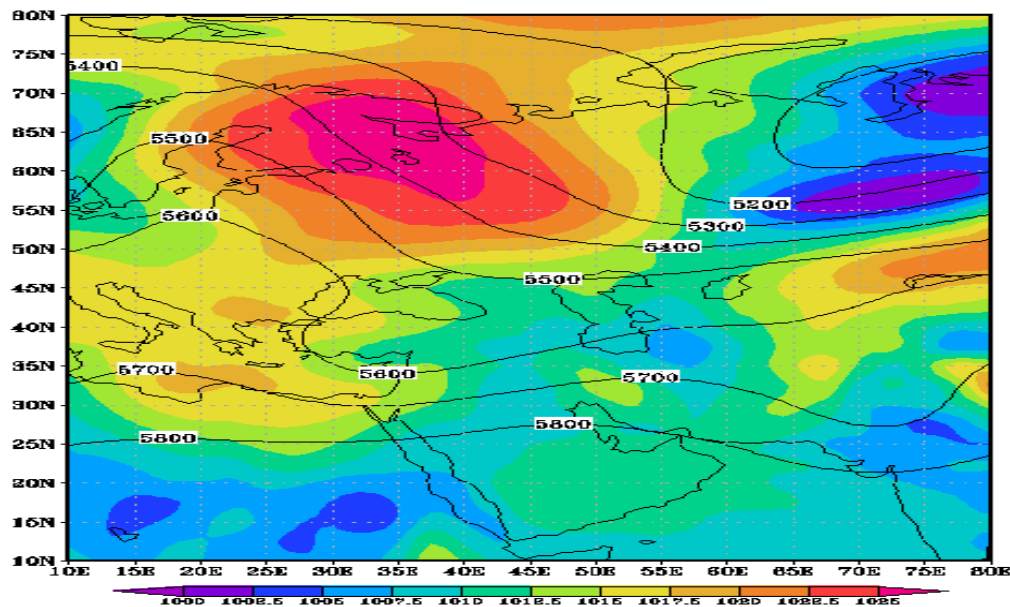
شکل ۳ تشکیل ناوهِی مدیترانه در شرق این دریا مشاهده می‌شود. اریب شدن محور ناوهِی از شمال شرق به جنوب غرب باعث ریزش هوای سرد از عرض‌های بالایی به منطقه‌ی شرق دریای مدیترانه نموده است. در تراز دریا کم‌فشار در روی منطقه‌ی مطالعه تشکیل شده است. افزایش واگرایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی در اثر افزایش فاصله‌ی خطوط ژئوپتانسیل از هم در شکل ۳ قابل مشاهده است. استقرار ناوهِی در تراز میانی و کم‌فشار در تراز دریا و بدنبال آن همگرایی در این تراز، امگای مثبت را تا تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی و بیشترین شدت آن را در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکالی بوجود آورده است. امگای منفی پیوستگی خود را از سطح زمین تا ترازهای بالایی در روی منطقه‌ی مطالعه حفظ نموده است (شکل ۵). جهت گیری خطوط ژئوپتانسیل از مناطق دارای منابع رطوبتی جنوب و جنوب غرب خاورمیانه به همراه تشدید شرایط صعود از ویژگی‌های اقلیمی این روز است.

نقشه‌ی وزش چرخندگی تراز ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی شکل ۴ حاکی از استقرار منطقه‌ی چرخندگی مثبت روی منطقه‌ی مورد مطالعه است. استقرار موج کوتاه در مجاورت منطقه‌ی مطالعه و تشدید شرایط صعودی، همچنین امتداد یافتن شرایط تاوایی مثبت از سطح زمین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی از شرایط دینامیکی لازم برای بارش تگرگ در این روز بوده است.

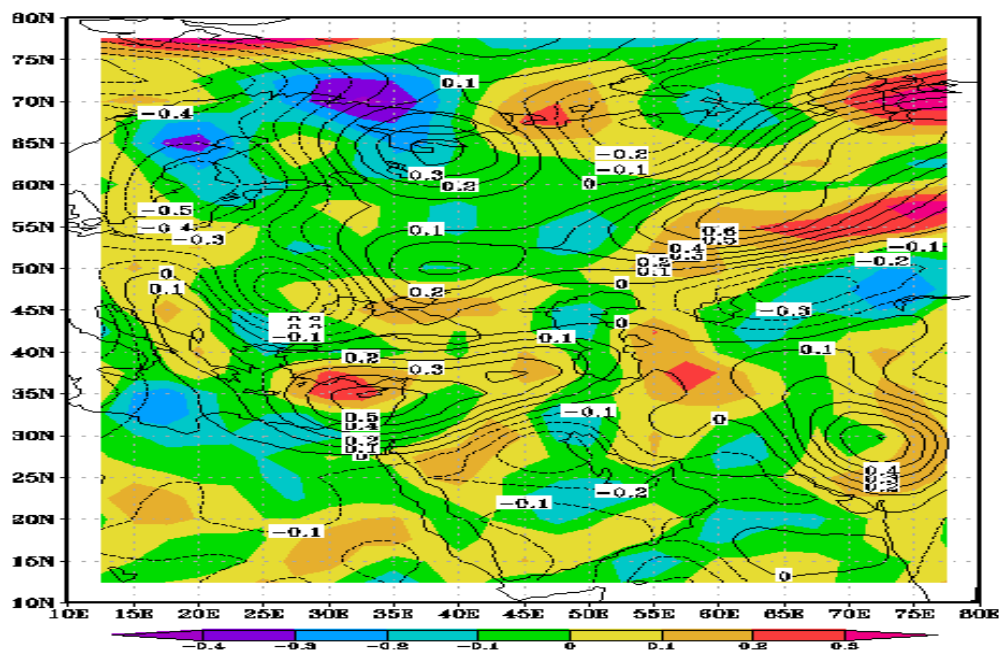
نقشه‌ی رطوبت ویژه و بردار باد تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی در شکل ۶ نشان داده شده است. انتقال رطوبت توسط دو سیستم چرخندگی مخالف هم انجام شده است. حرکت چرخندی ناوهِی مستقر روی دریای مدیترانه و امتداد آن تا دریای سرخ از یک طرف و حرکت واچرخندی روی دریای عرب و خلیج فارس و دریای عمان از طرف دیگر، رطوبت تمام منابع رطوبتی دریاهای اطراف را به سمت منطقه مطالعه رسانده است.

همچنین ناهنجاری OLR برای روز رخداد تگرگ حاکی از منفی بودن آن در محدوده‌ی منطقه‌ی مطالعه بوده و بیانگر این می‌باشد که خروجی طول موج بلند در این روز نسبت به میانگین طولانی مدت آن، به شدت کاهش یافته و لذا شرایط ابرناکی و تشکیل و تشدید همرفت‌ها فراهم گردیده است (شکل ۷).

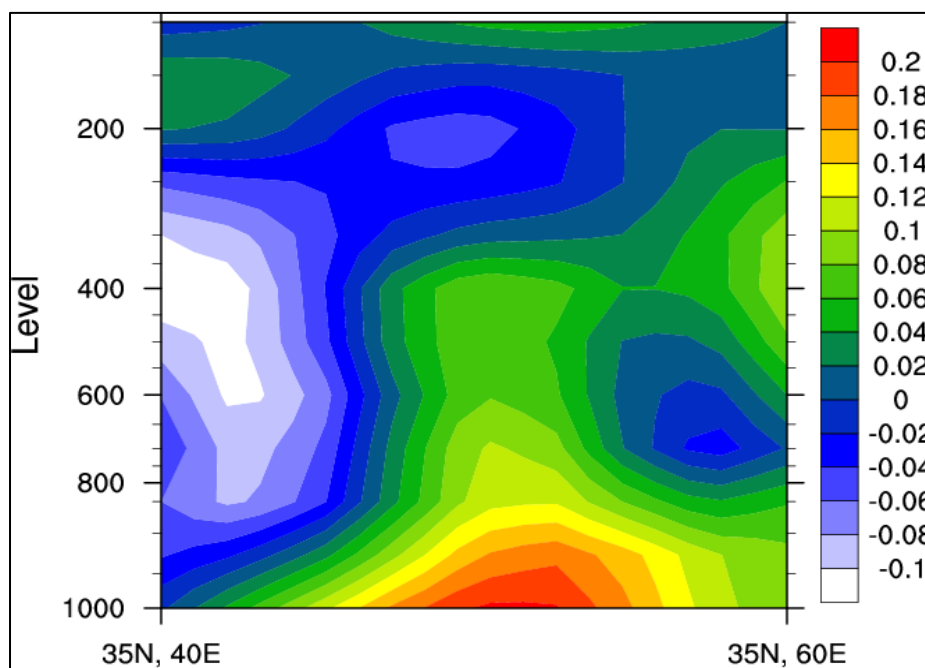




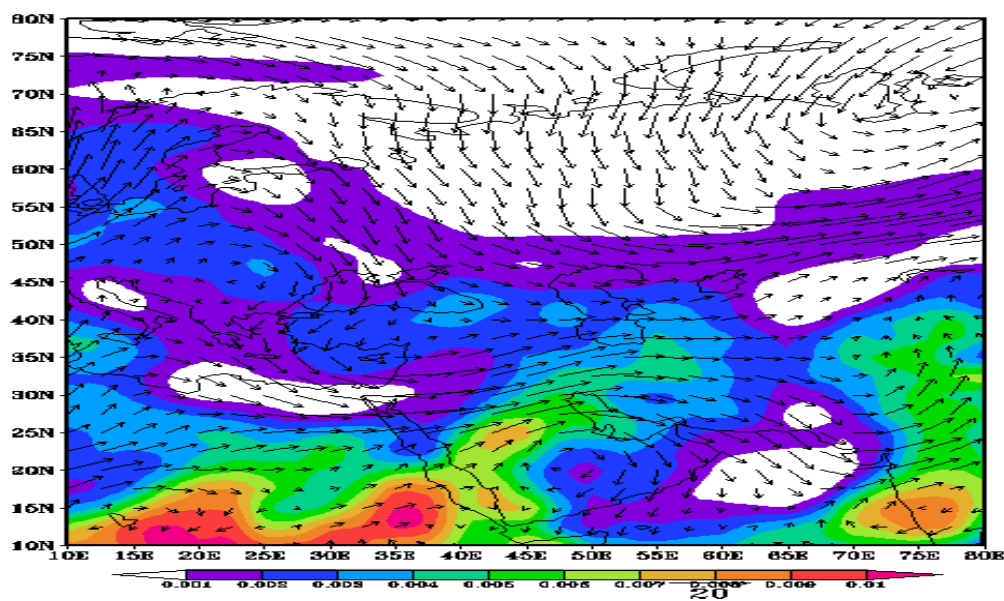
شکل ۳: زمینه‌ی نقشه، فشار سطح دریا (slp) و منحنی‌ها، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روز ۸ آوریل ۲۰۰۹ نمایش می‌دهد



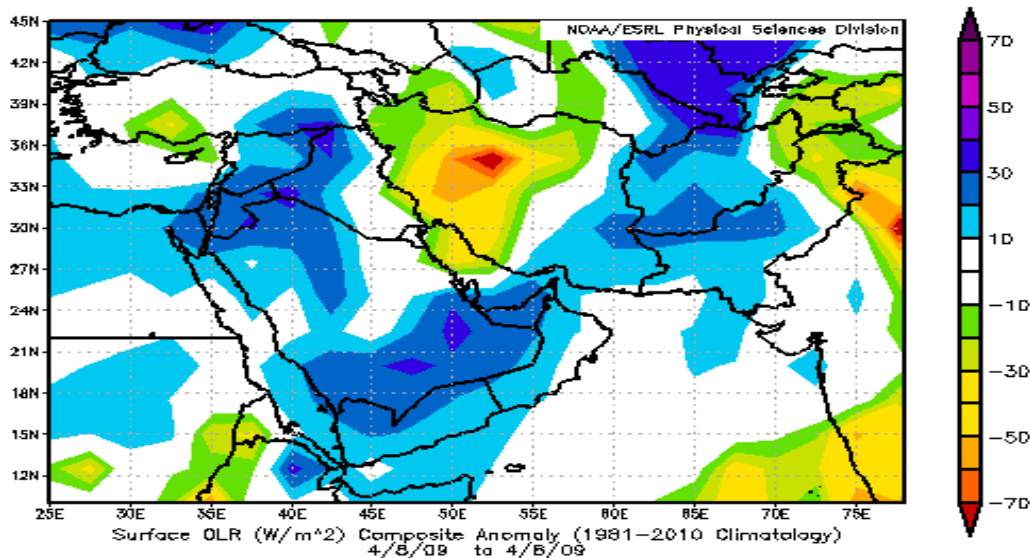
شکل ۴: زمینه‌ی نقشه، چرخندگی تراز ۱۰۰۰ میلی‌بار و منحنی‌ها، چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی‌بار را در روز ۸ آوریل ۲۰۰۹ نشان می‌دهد



شکل ۵: مقطع عرضی امگای سطح ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ میلی‌بار در روز ۸ آوریل ۲۰۰۹



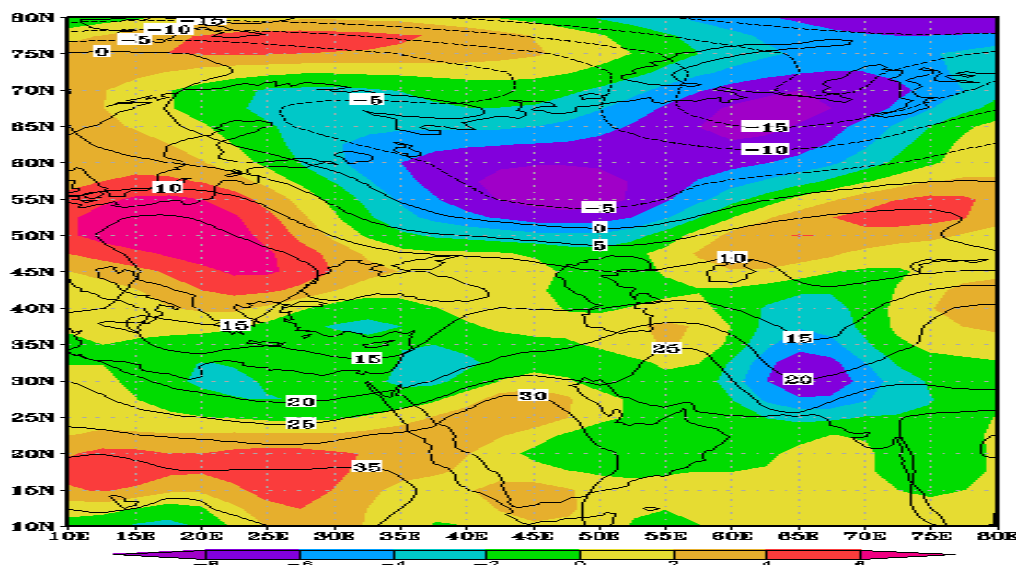
شکل ۶: زمینه‌ی نقشه، رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و پیکان‌ها، بردار باد را در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۸ آوریل ۲۰۰۹ نمایش می‌دهد



شکل ۷: ناهنجاری تابش خروجی موج بلند خروجی در روز ۸ آوریل ۲۰۰۹

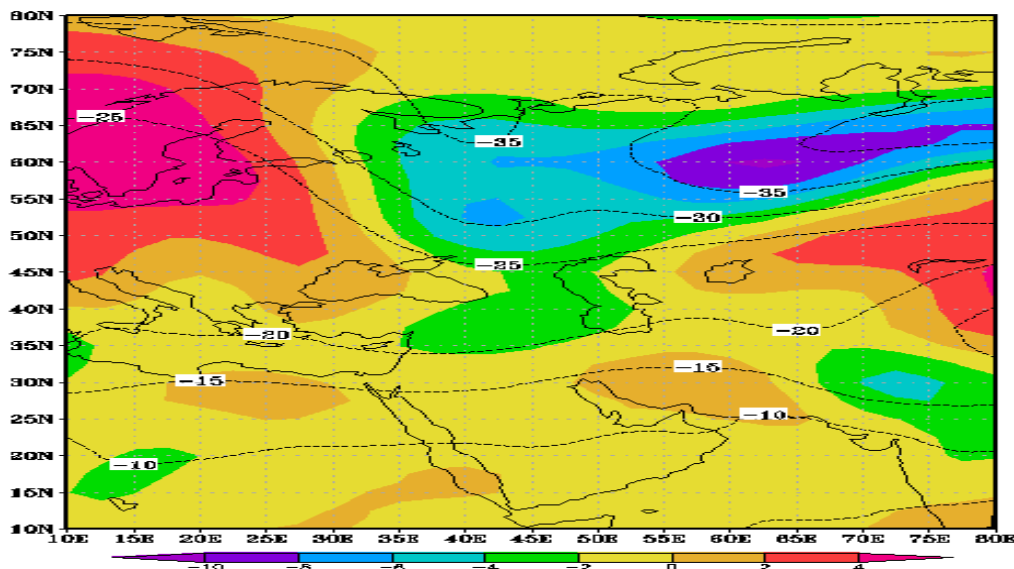
- ناهنجاری‌های دمایی و در سپهری در هنگام رخداد تگرگ (۸ آوریل ۲۰۰۸):

شکل ۸ نقشه‌ی آنومالی دمایی و خطوط همدمای در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی را نشان می‌دهد. در این تراز آنومالی مثبت ۲ درجه حاکی از شرایط دمایی بالاتر از میانگین در تراز دریا است. شکل ۹ نقشه آنومالی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی را نشان می‌دهد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی آنومالی منهای ۲ درجه سانتیگراد حاکی از دمایی پایین‌تر از نرمال در این تراز است. این عوامل باعث تشدید گرادیان عمودی دما در منطقه مطالعه در این روز است. همچنین منحنی همدمای ۲۰+ درجه‌ی سانتیگراد و ۲۰- درجه‌ی سانتیگراد به ترتیب در سطح‌های ۱۰۰۰ و ۵۰۰ به روی منطقه‌ی مطالعه کشیده شده و اختلاف دمایی بسیار زیادی بین ترازهای بالا و پایین به وجود آمده است.



شکل ۸: زمینه‌ی نقشه، آنومالی دمایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و منحنی‌ها، دمایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

را در روز ۸ آوریل ۲۰۰۹ نشان می‌دهد



شکل ۹: زمینه‌ی نقشه، آنومالی دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و منحنی‌ها، دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روز ۸ آوریل ۲۰۰۹ نمایش می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی انجام شده شرایط همید برای رشد تگرگ، نفوذ ناوه‌ی عمیق در ترازهای میانی می‌باشد و لذا برای رخداد‌های تگرگ، شرایط همیددی همچون ناوه‌های عمیق، امگای منفی، تاوایی مثبت، نفوذ و تزریق رطوبت باید به عنوان پایه و مبنا فراهم باشد و هنگامی این ریزشها تبدیل به تگرگ می‌شوند که ناهنجاری شدید دمایی نیز بین ترازهای بالایی و پایینی جو وجود داشته باشد.

نفوذ زبانه‌های ناوه‌هایی که از سرزمینهای شمالی دریای مدیترانه و دریای سیاه منشأ گرفته‌اند، در روی منطقه‌ی مطالعه باعث ناپایداری‌ها و هم‌سویی خطوط ارتفاع ژئوپتانسیل از منابع رطوبتی دریای سیاه و مدیترانه و سرخ گردیدند. امگای منفی شدید در روی منطقه‌ی مطالعه از ترازهای پایینی تا بالایی ادامه داشته و تاوایی مثبت نیز از سطوح پایین تا تراز ۵۰۰ میلی‌بار شرایط دینامیکی همراه با نفوذ ناوه‌ی عمیق بوده است. کاهش خروجی طول موج بلند به تشدید شرایط همرفتی و ابرناکی گردید. از طرفی دیگر، علاوه بر شرایط همیددی، شرط اصلی برای بارش تگرگ اختلاف دمایی بسیار زیاد بین سطح زمین و ترازهای فوقانی بوده بدین صورت که با صعود توده‌ی هوای گرم ترازهای پایینی و افزایش شیو عمودی دما و ورود توده‌ی هوای گرم به ترازهای بالا، در مواجهه با دمای بسیار پایین ترازهای بالایی بخصوص تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی قرار گرفته و باعث رویداد این پدیده می‌گردد.

پدیده‌ی تگرگ به فصل خاصی از سال اختصاص ندارد اما بررسی مطالعات قبلی و به خصوص مطالعه حاضر نشان داد که مناطق غربی کشور و از جمله استان کرمانشاه دارای موقعیت مکانی مناسبی برای شکل‌گیری این پدیده می‌باشند. این موقعیت مکانی به دلیل قرارگیری رشته کوه‌های زاگرس در مسیر بادهای غربی و باران آور و نفوذ جریان‌های سرد سرزمین‌های شمالی اطراف دریای سیاه و مدیترانه از یک طرف و جریان‌های گرم سودانی و رطوبت دریای سرخ از طرف دیگر می‌باشد. وقوع زمانی این پدیده از اوایل اکتبر تا اواسط ژوئن در استان کرمانشاه و وقوع مکانی آن در استان، در همه‌ی شهرستان‌های آن بخصوص در ارتباط با مناطق مرتفع و کوهستانی قرار می‌گیرد.

در دوره‌ی سرد سال در استان کرمانشاه، محصولات کشاورزی و باغی مراحل کاشت و داشت و برداشت به پایان رسیده و تگرگ برای تأسیسات انسانی به خصوص همراهی با شرایط سیلابی شدن رودخانه‌ها و مسیل‌ها مخاطره‌آمیز خواهد بود؛ هرچند که به دلیل افزایش سطح آب رودخانه‌ها، از نظر تأمین و تغذیه‌ی منابع و جریان‌های آب زیرزمینی اطراف رودخانه‌ها در دوره‌ی سرد سال مفید می‌باشد؛ اما در دوره‌ی گرم علاوه بر تأسیسات انسانی و حمل و نقل جاده‌ای، به ویژه در مراحل کاشت و گل‌دهی درختان و محصولات باغی، خسارات بسیاری را هر ساله متحمل کشاورزان و باغداران نموده است و لازم است دستگاه‌ها و عوامل زیربند با آگاهی از زمان و مکان وقوع این پدیده در این بررسی، که شرایط رخداد آن تا حدودی قابل پیش‌بینی شده است، با اعلام پیش‌آگاهی‌های لازم از خسارات جلوگیری کرده و در جهت برنامه‌ریزی محلی و منطقه‌ای ابعاد خسارات آن را کاهش داد.

### منابع

- آسیایی، مهدی و لیلا خزانهداری. ۱۳۸۶. پهنه بندی بارش تگرگ در ایران و ارائه‌ی روش‌های مناسب جهت تعدیل آن. *مجله‌ی علوم جغرافیایی*، ۱۷۰: ۵۶.
- بداق جمالی، جواد؛ سهیلا جوانمرد و شاهرخ فاتح. ۱۳۸۹. بررسی پدیده‌ی تگرگ در ایران و روش‌های کنترل و مقابله با آن. *چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، مقالات شفاهی*، ۴۴-۴۷.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ حسین محمدی، علی اکبر شمسی‌پور و اصغر افتادگان خوزانی. ۱۳۹۱. واکاوی هم‌دید بارش تگرگ فراگیر در شمال غرب ایران. *مجله‌ی جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲: ۶۹ و ۵۵.
- درگاهیان، فاطمه؛ بهلول علیجانی، غلامحسین رضایی و رحمان پرنو. ۱۳۹۳. تحلیل آماری، ترمودینامیکی و هم‌دید پدیده تگرگ در استان لرستان. *فصلنامه‌ی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۸: ۱۳۰ و ۱۱۷.
- شاکری، فهیمه. ۱۳۹۳. تحلیل شاخص‌های ناپایداری هنگام وقوع پدیده تگرگ در شهرستان مشهد، پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.
- صلاحی، برومند. ۱۳۸۹. بررسی ویژگی‌های آماری و هم‌دید طوفان‌های تندری استان اردبیل. *مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۷۲: ۱۲۹-۱۴۲.
- علی‌اکبری بیدختی، علی‌اکبر؛ ندا بیوک و محمد ثقفی. ۱۳۸۳. بررسی ساختار چند جریان جست ناک طوفان‌های هم‌رفتی تهران با استفاده از داده‌های سودار. *مجله‌ی فیزیک زمین و فضا*، ۳۰: ۹۳-۱۱۳.
- علیجانی، بهلول. ۱۳۸۵. *آب و هوای ایران*، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- فرج‌زاده، منوچهر و طاهر مصطفی‌پور. ۱۳۹۱. تحلیل زمانی و مکانی بارش تگرگ در ایران، *نشریه‌ی جغرافیا و توسعه*، ۲۸: ۵۵-۶۶.
- کاوایی، محمدرضا و بهلول علیجانی. ۱۳۸۳. *مبانی آب و هواشناسی*، چاپ نهم، انتشارات سمت، تهران.
- لشکری، حسن و میترا امینی. ۱۳۸۸. تحلیل هم‌دید و پهنه بندی بارش تگرگ در خراسان بزرگ برای دوره‌ی آماری ۱۹۹۶-۲۰۰۵. *نشریه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز*، ۳۱: ۵۱-۱۰۸.
- لشکری، حسن؛ فرشاد پژوه و محمد بیتار. ۱۳۹۴. تحلیل هم‌دید بارش تگرگ فراگیر در غرب ایران. *فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۵۰: ۱۰۵ و ۸۳.

میر موسوی، سید حسین و یونس اکبر زاده. ۱۳۸۸. کاربست توزیع‌های پواسن و دو جمله‌ای منفی در برآورد احتمالات رخداد روزهای تگرگ مطالعه‌ی موردی: استان آذربایجان شرقی. مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۶: ۷۳-۸۴.

میرموسوی، سید حسین؛ مسعود جلالی و حدیث کیانی. ۱۳۹۲. تحلیل زمانی-مکانی احتمال وقوع بارش تگرگ در استان کرمانشاه. مجله‌ی فضای جغرافیایی، ۴۳: ۹۸ و ۸۳.

Amburn, A. and P, Wolf. 1996. Vil density as a hail indicator. *National Weather Service Office*. **12**: 473-478.

Aran, M; J. Pena, and M. Tora. 2010. Atmospheric circulation patterns associated with hail events in Lleida (Catalonia). *Atmospheric Research*, **100**: 428-438

Baughman, R. and D. Foquay. 1970. Hail and lightning occurrence in mountain thunderstorms. *USDA Forest Service*, **9**: 657-660.

Stanley, A, JR, Changnon. 1962. Areal frequencies of hail and thunderstorm days in Illinois. *Monthly Weather Review*, December 1962: 519-524.

Costa, S; P, Mezzasalma, V, Levizzani, P, Alberoni and S, Nanni. 2000. Deep -convection over northern Italy: synoptic and thermodynamic analysis. *Atmospheric Research Review*, **56**: 73-88

Feral, L; Sauvageot, H, and Soula, S. 2002. Hail detection using S- and C-band radar reflectivity difference. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **20**: 233-248.

Giaiotti, D; Sergio, N, and Fulvio, S. 2003. The climatology of hail in the plain of friuli venetia Giulia. *Atmospheric Research*, 67- 68: 47-259.

Huff, F.A. 1964. Correlation between summers hails patterns in Illinois and associated climatological events. *Journal of Applied Meteorology Review*, **3**: 240- 246.

Mikus, P; Maja, T, P, and Natasa, S, M. 2011. Analysis of the convective activity and its synoptic background over Croatia. *Atmospheric Research Review*, **104-105**: 139-159.

Morgan, G. M; and Nell, G. T. 1975. Small-Scale variability of hail and significance for hail prevention experiments. *Illinois State Water Survey*, **14**:763- 770.

Sioutas, M; Terence, M, and Jonathan, D. C. Webb. 2008. Hail frequency, distribution and intensity in northern Greece. *Atmospheric Research Review*, **93**: 526- 533.

Vinet, F. 2000. Climatology of hail in France. *Atmospheric Research*, **56**: 309-323.