



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال پانزدهم، شماره ۵۰
تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۱۰۵-۸۳

حسن لشکری^۱
فرشاد پژوه^۲
محمد بیتار^۳

تحلیل همدید بارش تگرگ فراگیر در غرب ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۴

چکیده

بارش تگرگ شدید و فراگیر نقش موثر و عمده‌ای در خسارت به محصولات کشاورزی در مناطق مختلف کره زمین دارد. لذا جهت مقابله با خسارت‌ها و تاثیرات ناشی از آن شناخت شرایط همدید این پدیده مخرب لازم است. جهت بررسی شرایط همدید و دینامیکی پدیده‌ی تگرگ در غرب کشور از داده‌های روزانه بارش تگرگ ۳۰ ایستگاه همدید استان‌های کرمانشاه، همدان، لرستان و کردستان در یک دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۰) استفاده شد. سپس دو نمونه از بارش‌های تگرگ فراگیر که شدت بیش‌تری از بقیه داشتند شناسایی و انتخاب گردید. سپس با استفاده از داده‌های سایت NCEP/NCAR نقشه‌های همدید فشار تراز دریا، ژئوپتانسیل، شاخص امگا، بادمداری و نصف‌النهار، نم و یژه و وزش باد، در ترازهای دریا، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از نرم‌افزارگردس در روز اوج بارش برای دو نمونه انتخابی، ترسیم شد. در نهایت شرایط همدید و الگوهای ریزش تگرگ در هر دو نمونه در روز اوج بارش با استفاده از نقشه‌ها و داده‌های ذکر شده، مشخص گردید. نتایج پژوهش نشان داد که از لحاظ دوره شبانه‌روزی، ساعت ۹ تا ۱۵ و در بین ماه‌های سال آوریل و می حداکثر فراوانی را داشتند.

E-mail: dr_lashkari61@yahoo.com

E-mail f.pazhooh@mail.sbu.ac.ir

۱- دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

و ایستگاه‌های همدید مریوان، بانه و بیجار بیش‌ترین فراوانی بارش تگرگ را داشته‌اند. بررسی الگوهای جوی نشان داد که بارش تگرگ فراگیر در منطقه، نتیجه گسترش سامانه‌ی کم فشار واقع بر روی دریای سرخ و سودان است. به طوری که در روز بارش تگرگ غرب ایران جلو ناوه قرار داشته و سامانه واپرخند بر روی دریای عرب سبب انتقال هوای گرم و مرطوب، با راستای جنوبی-شمالی به درون منطقه شده و ضمن تقویت سامانه کم فشار سودانی شرایط مناسبی برای ایجاد ناپایداری و ریزش تگرگ فراهم کرده و بررسی نقشه‌های امگا، نشان از همگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و واگرایی قوی در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال می‌داد، به صورتی که جریانات بالاسوی قوی هوای گرم و مرطوب را صعود داده و زمینه ایجاد ناپایداری‌های شدید را فراهم کرده است.

کلید واژه‌ها: تگرگ فراگیر، غرب ایران، تحلیل همدیدی، کم فشار، همرفت.

مقدمه

تگرگ یکی از پدیده‌های مخرب جوی است که باعث خسارات بسیاری به بخش‌های مختلف از جمله خسارت در بخش کشاورزی می‌شود. تگرگ به عناصر جوی و عوامل جغرافیایی محل وابسته است؛ هر زمان که شرایط جوی و فرآیندهای فیزیکی مناسب با موقعیت جغرافیایی محل ترکیب شوند، باعث رخداد و تشدید این پدیده می‌گردد. و میزان خسارت تگرگ بسته به اندازه و شدت رگبار آن، متفاوت است (دانگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۹۳)، خسارت تگرگ در بخش کشاورزی در چین در سال ۲۰۰۴ را بیش از یک میلیارد دلار بیان کرده‌اند.

تگرگ از دانه‌ها یا تکه‌های یخ به قطر ۵ تا ۵۰ میلی‌متر و گاهی بیش‌تر تشکیل شده است. رشد شدید تگرگ حاصل حرکات عمودی شدید و مکرر هوا در ابرهای کومولونیمبوس است و این امر باعث می‌شود که نطفه‌های تگرگ قطرات آب را به دور خود جذب کنند و سبب انجماد آن‌ها شوند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۶: ۲۶۴). تگرگ همچنین با مساعدت همرفت قوی و انجماد لایه پایینی توده هوا در جو با جبهه‌ای شامل دو توده هوای مختلف، و در قسمت بالای جت استریم به وسیله بادهای برشی عمودی قوی ایجاد می‌شوند (دسنس^۵، ۱۹۶۰: ۳۳۵). تگرگ یک پدیده در ارتباط با توفان‌های تندری می‌باشد که احتمالاً بیش‌تر در جو ناپایدار و ناآرام رخ می‌دهد، که با افزایش رطوبت در تراز پایین و با حضور بادهای برشی عمودی قوی روی می‌دهد (داس^۶، ۱۹۶۲: ۴۱۲). همراه با راه افتادن

4- Dong

5- Dessens

6- Das

مکانیزی می که می تواند این ناپایداری را آزاد کند (لانگلی و تامسون^۷، ۱۹۶۵: ۷۹). توپوگرافی و گردش جو نقش مهمی را در تشکیل تگرگ دارد (اتکین و بران^۸، ۱۹۹۹: ۱۳۶۴).

در زمینه ی بارش تگرگ تا کنون در دنیا پژوهش های نسبتاً زیادی صورت گرفته و با رویکردهای متفاوتی به مطالعه و شناخت این پدیده پرداخته شده است.

(استانلی و چنگنون^۹، ۱۹۶۲: ۳۴)، در مطالعه ای با عنوان فراوانی های منطقه ای روزهای همراه با تگرگ و طوفان رعد و برق در ایلی نويز آمریکا انجام داده اند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که در طول ماه های مارس و اکتبر که به عنوان فصل طوفان های رعد و برق حساب می شود، به طور متوسط نصف روزهای مورد نظر را طوفان های رعد و برق در بر می گیرد و یک سوم آن را طوفان های تگرگ شامل می شود (هاف^{۱۰}، ۱۹۶۱: ۲۴۲). در یک دوره ۵۰ ساله نقش توزیع طوفان های تندری، بارش، ماکزیمم درجه حرارت، نقطه شبنم و جبهه های هوا و تاثیرات آنها را در توزیع بارش تگرگ در ایلی نويز بررسی کرده است. وی معتقد بود که توزیع بارش تگرگ در ناحیه کوچک نیز می تواند تحت تاثیر عناصر مختلف اقلیمی قرار گیرد. (ریتالاک^{۱۱}، ۱۹۷۸: ۳۵)، در تحقیق خود به چگونگی تشکیل تگرگ و عوامل موثر بر آن پرداخته و مناطق خاصی را برای بارش تگرگ بیش تر مناسب دانسته و معتقد است که یک مکانیسم مانع وجود دارد که در نواحی گرم تر و مناطق دیگر در طول ماه های گرم تابستان مانع بارش تگرگ می شود (نولان^{۱۲}، ۱۹۹۴: ۱۱). در مقاله ای با عنوان تگرگ پدیده خطرناک تابستان شرق کلرادو، در دوره آماری ۱۹۸۶-۱۹۹۳ علت رخداد طوفان های تگرگ را در منطقه مورد مطالعه، ارتفاع زیاد، تابش شدید آفتاب و گرم شدن سریع منطقه، افزایش سرعت عمودی در داخل ابر و شدت حرکات همرفتی در ابرهای کومولونیمبوس می داند. (لوت^{۱۳}، ۱۹۹۹: ۷۹۹)، کوه های بلند را یکی از عوامل افزایش بارش تگرگ دانسته است (فریدی وینت^{۱۴}، ۲۰۰۰: ۳۱۱). با بررسی بارش تگرگ در فرانسه، نقشه خطر تگرگ را تهیه و بیان می کند که در منطقه شرق و مرکز فرانسه توپوگرافی محلی می تواند انرژی تگرگ را به ویژه در دامنه باد پناه تقویت کند (بایرز^{۱۵}، ۱۳۷۷: ۴۲۸). معتقد است که تعداد اندکی از طوفان های تندری تگرگی به زمین می رسند و بسیاری از آنها، حتی در مناسب ترین قسمت ابر، بدون تگرگ اند. (کوستا و همکاران^{۱۶}، ۲۰۰۰: ۷۷)، در بررسی همرفت عمیق شمال ایتالیا نشان می دهند که تعامل بین

7- Longley and Thompson

8- Etkin and Brun

9- Stanley and Changnon

10- Huff

11- Retallack

12- Nolan

13- Lott

14- Freddy Vinet

15- Byers

16- Costa et al

جریان همدیدی و شیب اوروگرافی آلپ، عامل کلیدی برای گردش ساختار متوسط مقیاس است که به انواع متوسط طوفان‌های شدید منجر می‌شود. (استرلینگ^{۱۷}، ۲۰۰۳: ۱۸۵)، از طوفان‌های تندری به عنوان معضل مهم آمریکا در قرن بیستم یاد کرده و پیامدهای محیطی و اقتصادی ناشی از طوفان‌های تندری و پدیده‌های مربوط به آن (تگرگ، سیل و باد شدید) را بر اقتصاد قشر کشاورز آمریکا بررسی کرده است. (جیوتی و همکاران^{۱۸}، ۲۰۰۳: ۲۴۹)، در بررسی‌های با عنوان آب و هواشناسی تگرگ در دشت فریلی ونزیا جیولیا^{۱۹}؛ بیان می‌کنند حتی اگر تگرگ که یک پدیده محلی است، آب و هواشناسی تگرگ می‌تواند فقط به وسیله محسوب دانستن سازوکارهای متوسط مقیاس، توسط فعل و انفعالات بین آشفتگی‌های همدیدی و اوروگرافیکی پیچیده در این دشت تفسیر شده باشد (سیوتاس و فلو کاس^{۲۰}، ۲۰۰۳: ۱۹۹). با مطالعه الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی بارش تگرگ شمال یونان در فصل گرم، جریان‌ها و تراف جنوب‌غربی بیش‌ترین تاثیر را در بارش تگرگ منطقه داشته است.

(نیتو و کوایترس^{۲۱}، ۲۰۰۵: ۳۱۰۹)، در مقاله خود با عنوان ویژگی‌های اقلیمی کم فشارهای بریده در نیمکره شمالی با بررسی منطقه شمال‌شرقی چین، بارش تگرگ را با سیستم‌های گردشی، جبهه‌ها و کم فشارهای بریده مرتبط دانسته‌اند. (چروما و همکاران^{۲۲}، ۲۰۰۶: ۱)، تغییر پذیری فضایی-زمانی توفان تگرگ در مراویا و سیلسیا را بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که حداکثر بارش تگرگ در منطقه هروبی جسینیک^{۲۳} و کوه‌های بسکیدس^{۲۴} بوده و حداکثر روزهای بارش (۵۰ درصد) کل توفان‌های تگرگ مشاهده شده در دوره مطالعاتی در ماه می رخ داده است. و طبقه‌بندی همدید آن‌ها نشان داد که در ۸۸٪ روزهای همراه با بارش تگرگ شرایط سیکلونی در منطقه حاکم بوده است. به طور کلی مطالعات انجام‌شده در رابطه بین شرایط همدیدی و عناصر آب و هوایی، به بررسی اثرات آن بر آب و هوای محلی و یا منطقه‌ای، متمرکز گردیده‌اند (ام آران و همکاران^{۲۵}، ۲۰۱۰: ۴۲۸). در مطالعه‌ای با عنوان تجزیه و تحلیل فعالیت‌های همرفتی و سابقه همدیدی آن در کرواسی، (میکوس و همکاران^{۲۶}، ۲۰۱۱: ۱۴۳) بیان می‌دارند که فعالیت همرفتی در اوایل بعد از ظهر شروع و در پایان غروب به اتمام می‌رسد. دوره فراوانی بیش‌تر همرفت شبانه در ساحل آدریاتیک به وقوع می‌پیوندد.

-
- 17- Sterling
 - 18- Giaiotti et al
 - 19- Friuli Venezia Giulia
 - 20- Sioutas and Flocas
 - 21- Nieto and Coauthors
 - 22- Chroma et al
 - 23- Hruby jesenik
 - 24- Beskids
 - 25- Aran M et al
 - 26- Mikus et al

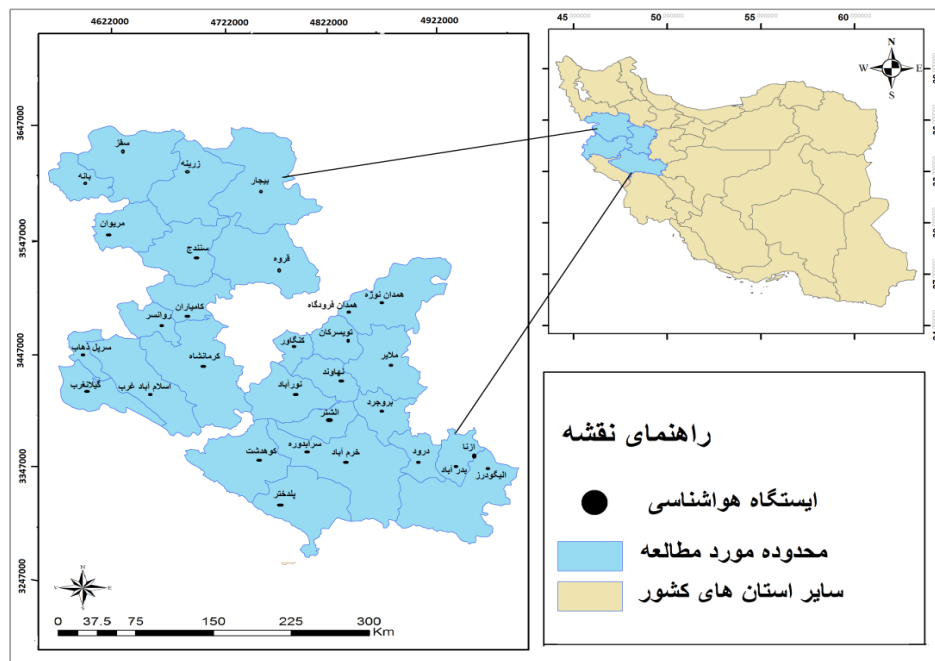
در ایران (قربانی، ۱۳۷۵: ۱۱۲)، در رابطه با تحلیل همید بارش تگرگ در استان اصفهان، به این نتیجه رسیده که فعالیت مرکز پرفشار سرد و ریزش هوای سرد به لایه‌های میانی جو در شمال غرب کشور و وجود کم فشار جنوبی در لایه زیرین جو که جریانات گرم و مرطوب عربستان را به منطقه وارد می کند، باعث رشد ابرهای کومولونیمبوس شده و بارش تگرگ را ایجاد می کند (سیف، ۱۳۷۵: ۲۹). با استفاده از تحلیل داده‌های ۳۵ ایستگاه‌های همید کشور در یک دوره سی ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱)، فراوانی و چگونگی توزیع بارش تگرگ بر روی ایران را به دست آورده است. وی از میان کدهای پدیده مربوط به هوای حاضر، کدهای ۲۷، ۸۷ تا ۹۱، ۹۳، ۹۴، ۹۶ و ۹۹ را استخراج کرده است. ایشان ابتدا داده‌های موجود را به ۳ دوره‌ی زمانی ۳۰ ساله تقسیم‌بندی و به این نتیجه رسیده است که کانون‌های بارش تگرگ در کشور بیش‌تر در غرب و شمال غرب کشور قرار دارند (لشکری، ۱۳۸۱: ۱۳۳). با مطالعه بر روی ۲۰۰ سامانه سودانی در یک دوره آماری ۲۰ ساله با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۸۲ ایستگاه هواشناسی مستقر در جنوب و جنوب غرب کشور نشان داد که سامانه‌های سودانی با توجه به الگوی‌های همید از پنج مسیر عمده وارد ایران شده و باعث ایجاد بارندگی می‌شوند. (امینی و بروجنی، ۱۳۸۲: ۱۱۱)، به بررسی همیددی ترمودینامیکی بارش تگرگ در استان اصفهان پرداخته‌اند. در این تحقیق بر اساس نقشه‌های ترازهای مختلف جو، نمودارهای جوشناختی و اطلاعات جو بالای اصفهان به تجزیه و تحلیل دینامیکی و همیددی بر روی این پدیده پرداخته شده است (صناعی و همکاران، ۱۳۸۲: ۹). در بررسی مدل آماری تگرگ با استفاده از روش‌های استاندارد آماری، فراوانی رخداد پدیده‌ی تگرگ در محدوده‌ی غرب و شمال غرب و کم‌ترین آن در نیمه شرقی کشور رخ می دهد. (عبد منافی، ۱۳۸۳: ۴۸)، در بررسی مناطق ناپایدار، به مطالعه ۱۵ مورد رخداد تگرگ در شهر تهران پرداخته است. از نتایج این مطالعه می‌توان به تمرکز بیش‌تر بارش تگرگ در فصل بهار و در ماه‌های اسفند تا اردیبهشت و در ساعت‌های ۶ تا ۱۸ اشاره کرد. (حاج بابایی و همکاران، ۱۳۸۴: ۶۴)، با تحلیل همیددی و دینامیکی بارش تگرگ در مورخه ۲۶ اکتبر ۱۹۹۰، شمال غرب و غرب کشور را به عنوان منطقه‌ای با حداکثر فراوانی بارش تگرگ می‌باشند، و علت اصلی این پدیده را وجود رطوبت کافی و صعود توده هوا دانسته‌اند (قندهاری، ۱۳۸۵: ۹۸). با استفاده از مدل $MM5^{27}$ بارش‌های رگباری را شبیه‌سازی نموده و نفوذ زبانه‌ی پرفشار سبیری از شمال شرق و همچنین تاثیر زبانه‌های کم فشار و گرم آفریقا بر روی جنوب غرب کشور را دلیل بارش‌های رگباری شدید در منطقه می‌داند (آسیایی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۵). در مطالعه خود تحت عنوان پهنه‌بندی بارش تگرگ در ایران و ارایه روش‌های مناسب جهت تعدیل آن در دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۶ نشان دادند که تفاوت‌های موجود بین نحوه توزیع وقوع پدیده تگرگ در سطح کشور را می‌توان به تفاوت اقلیم مناطق مختلف کشور و همچنین تفاوت

توپوگرافی آن مناطق نسبت داد به طوری که مناطق کوهستانی و مرتفع واقع در مرکز، غرب و شمال غرب کشور بالاترین مقادیر ثبت شده این پدیده را به خود اختصاص داده‌اند. (جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۰)، در مقاله‌ای با عنوان مدیریت ریسک تگرگ جهت کاهش پتانسیل خطر پذیری در کشور، با بررسی‌های آماری میانگین تعداد وقوع بارش تگرگ در غرب کشور، کرمانشاه (شدید)، کردستان (بسیار شدید)، همدان و لرستان نیز شدتی متوسط-داشته‌اند. (مصطفی پور، ۱۳۸۷)، با بررسی زمانی و مکانی بارش تگرگ در ایران؛ به بارش تگرگ، رخداد توفان تگرگ و طوفان تندی در ایران پرداخته است. ایشان از آمار مشاهده ۳ پدیده فوق در تعداد ۶۷ ایستگاه همدید کشور در یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) را مورد تحلیل و در نهایت توزیع مکانی رخداد ۳ پدیده ذکر شده را در روی کشور نمایش داد. 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، رخداد طوفان تندی در ماه می می‌باشد. (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳)، در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی پدیده تگرگ و روش‌های کنترل و مقابله با آن، از علل افزایش بارش تگرگ در غرب کشور را تفاوت‌های اقلیمی و توپوگرافی عنوان کرده‌اند. (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۵)، در مطالعه‌ای با عنوان بررسی زمانی و مکانی بارش تگرگ در فصل رشد گیاهان در طول دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۶، بیش‌تری بارش تگرگ را در سه ماه اولیه (آوریل، می و ژوئن) دانسته‌اند، به طوری که ۸۸/۳ درصد کل بارش را در این فصل اختصاص داشته است. (لشکری و امینی، ۱۳۸۹: ۱)، به تحلیل همدید و پهنه‌بندی بارش تگرگ در خراسان بزرگ پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که حداکثر فراوانی وقوع این پدیده به ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا و محل ورود سامانه‌های همراه با بارش تگرگ بستگی دارد. (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۴)، در مقاله واکاوی همدید بارش تگرگ فراگیر در شمال غرب ایران، بیش‌ترین فراوانی ریزش تگرگ را طی ساعات ۹ تا ۱۸ رخ داده است، و دلیل این مسأله را در افزایش انرژی تابشی رسیده به جو و نهایتاً ویژگی‌های سطح زمین در این ساعات دانسته که سبب افزایش ناپایداری‌های جوی گردیده و شرایط مناسبی را جهت بارش تگرگ فراهم ساخته است. همچنین با نفوذ زبانه‌های کم فشار ایسلند به سمت شمال ایران و عقب نشینی پرفشار جنب حاره از شمال عربستان، مسیر حرکت کم فشارهای دریای سرخ به سمت بین‌النهرین باز شده و شرایط مناسبی را برای بارش تگرگ فراهم گردیده است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه غرب ایران و شامل استان‌های کرمانشاه، کردستان، همدان و لرستان قرار دارد. جهت بررسی آماری پدیده تگرگ از داده‌های ایستگاه‌های همدید این استان‌ها استفاده شده است. از نظر موقعیت ریاضی در

محدوده ۳۳ و ۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و از ۴۵ و ۵۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق از داده‌های مربوط به هوای حاضر (WW) با فواصل زمانی ۳ ساعته در دوره آماری (۲۰۱۰-۲۰۰۰) برای ایستگاه‌های همید استان‌های لرستان، همدان، کرمانشاه و کردستان جهت تحلیل آماری پدیده تگرگ استفاده گردیده است. از بین ۱۰۰ کد هوای حاضر، کدهای ۹۹، ۹۶، ۸۹ و ۲۷ که پدیده تگرگ را با شدت‌های متفاوت را در بردارند، در نظر گرفته شد که شامل هر گونه ظهور این پدیده در ساعات دیده‌بانی و سه ساعت قبل از آن را شامل می‌شود. مشخصات هر یک از کدهای ذکر شده در جدول ۱ بیان شده است. سپس با استفاده از داده‌های سایت NCEP/NCAR نقشه‌های همیدی فشار سطح دریا، ژئوپتانسیل، شاخص امگا، نم ویژه در ترازهای دریا، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال و نقشه وزش باد در تراز ۸۵۰ با استفاده از نرم افزار گرادس^{۲۸} در روز اوج بارش برای دو نمونه انتخابی، ترسیم شد. در نهایت شرایط همیدی و الگوهای ریزش تگرگ در هر دو نمونه در روز اوج بارش با استفاده از نقشه‌ها و داده‌های ذکر شده، مشخص گردید.

جدول ۱- مشخصات کدهای تگرگ

کد	پدیده
۲۷	رگبار تگرگ یا باران و تگرگ
۸۹	رگبار تگرگ همراه با باران و بدون باران
۹۶	توفان رعد و برق، سبک یا متوسط همراه با تگرگ در زمان دیده بانی
۹۹	توفان رعد و برق سنگین همراه با تگرگ در زمان دیده بانی

منبع: سازمان هواشناسی کشور

سپس با استفاده از نرم افزار اکسل نمودارهای مربوط به فراوانی وقوع کدهای نام برده در ۳۰ ایستگاه همدید منطقه پژوهشی، کدها، زمانی (ساعتی، ماهانه و سالانه) بارش تگرگ ترسیم و تحلیل شد. به منظور بررسی همدیدی از میان ۱۴ بارش فراگیر تگرگ، دو نمونه از سامانه‌های همراه با بارش تگرگ شدید در حالت فراگیر (رخداد پدیده تگرگ در دو ایستگاه یا بیش‌تر)، بارش تگرگ ۲ آوریل ۲۰۰۲ و ۱۰ آوریل ۲۰۰۷، پس از بررسی همدیدی نقشه‌های هوا و شدید بودن آن نسبت به دیگر نمونه‌ها به عنوان نمونه‌های نهایی در بخش یافته‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۲ تعدادی از بارش‌های فراگیر تگرگ منطقه در دوره آماری مورد مطالعه ذکر گردیده است.

جدول ۲- تعدادی از بارش‌های تگرگ در حالت فراگیر در منطقه مورد مطالعه

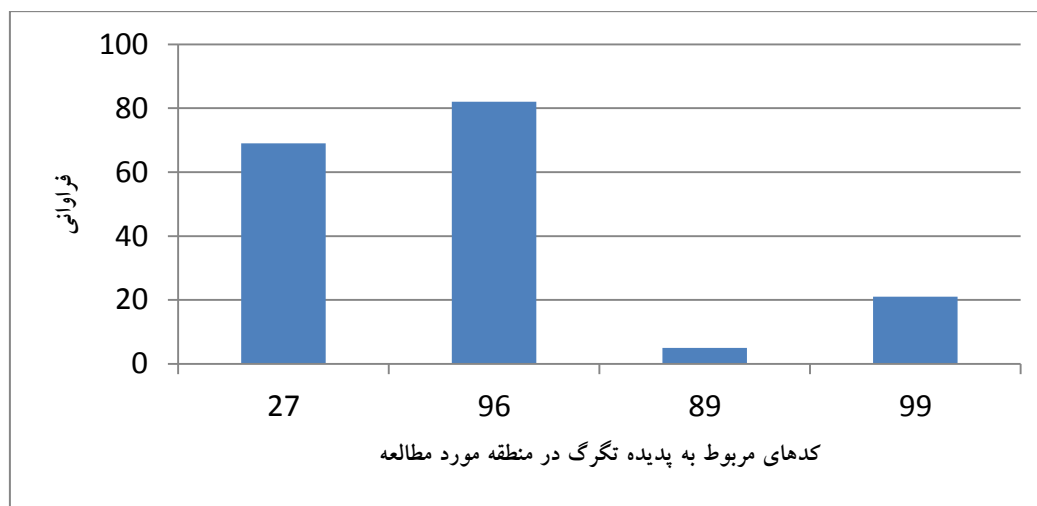
ردیف	ایستگاه‌های فراگیر تگرگ	تاریخ	ردیف	ایستگاه‌های فراگیر تگرگ	تاریخ
۱	قروه، بانه	۸ آپریل ۲۰۰۹	۸	کوهدشت، کنگاور	۳ می ۲۰۰۱
۲	سقز، زرینه	۲ آپریل ۲۰۰۲	۹	لرستان، بدرآباد، روانسر	۱۶ آپریل ۲۰۰۳
۳	بانه، مریوان	۱۹ آپریل ۲۰۰۹	۱۰	دورود، الشتر	۴ می ۲۰۰۴
۴	مریوان، زرینه	۲۳ آپریل ۲۰۰۴	۱۱	روانسر، سرپل‌ذهاب	۱۱ آپریل ۲۰۰۷
۵	نهادند، قروه	۱۰ آوریل ۲۰۰۷	۱۲	سرپل‌ذهاب، مریوان	۲ می ۲۰۰۱
۶	تویسرکان، همدان نوژه	۲۴ می ۲۰۰۶	۱۳	سرپل‌ذهاب، کنگاور	۱۵ می ۲۰۰۱
۷	پلدختر، دورود	۱۷ می ۲۰۰۷	۱۴	کنگاور، اسلام آباد	۱۸ می ۲۰۰۵

یافته‌ها و بحث

تحلیل آماری تگرگ

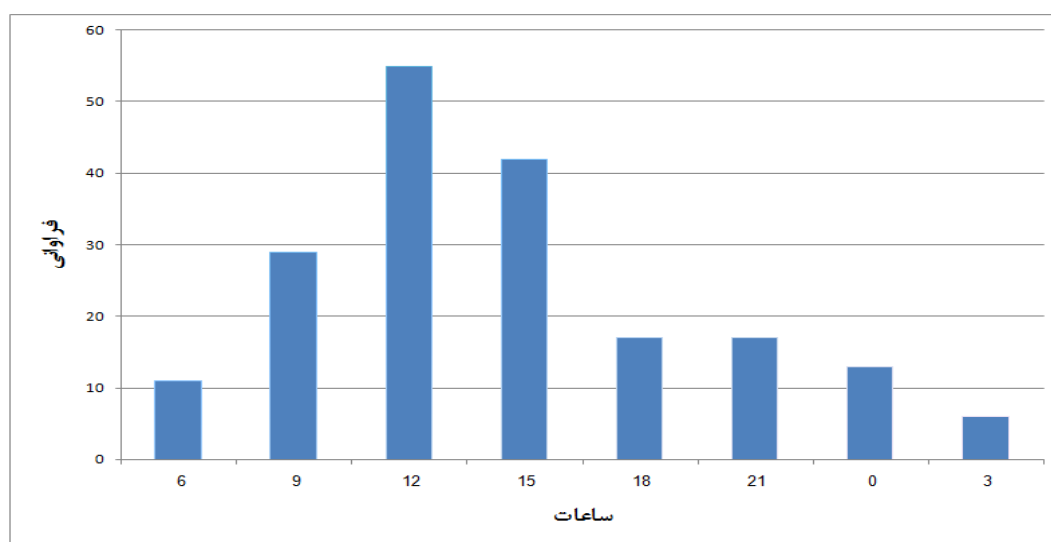
نمودارهای ۱ تا ۵ طی دوره آماری ۱۰ ساله برای ۳۰ ایستگاه سینوپتیک، استان‌های همدان، کرمانشاه، لرستان و کردستان تهیه شده است.

شکل ۲ به منظور فراوانی کدها تهیه شده است، حاکی از آن است که در این دوره آماری کد ۹۶ بیشترین و کد ۸۹ کمترین فراوانی را به خود اختصاص داده است (رجوع شود به جدول ۱).



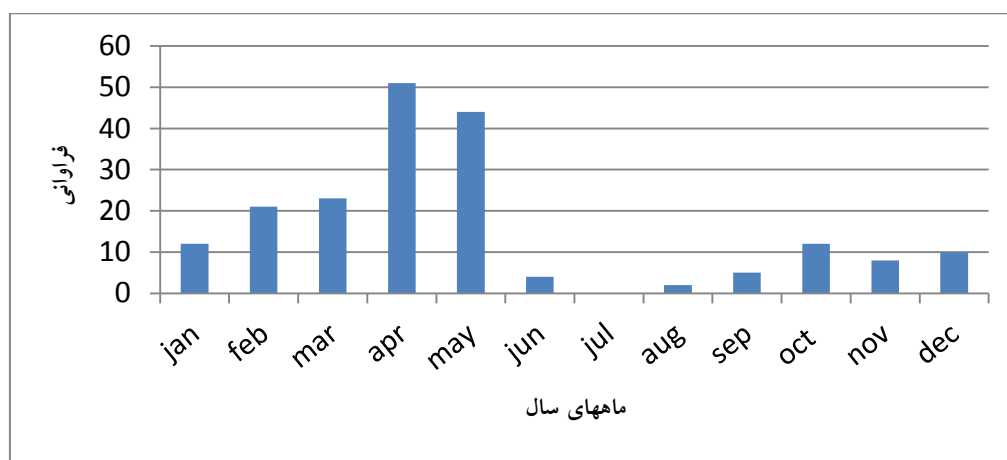
شکل ۲: فراوانی کدهای تگرگ در منطقه مورد مطالعه

همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می شود بیشترین بارش رخداد پدیده تگرگ در طول شبانه روز برای دوره ۱۰ ساله در بین ساعات ۹ تا ۱۵ می باشد و در ساعت ۱۲ به حداکثر می رسد و از ساعت ۱۵ به بعد به طور سریع کاهش می یابد. این مساله نشان دهنده افزایش ناپایداری های جوی در این ساعات است. و با افزایش انرژی تابشی رسیده به جو و ویژگی های سطح زمین، ناپایداری های جوی کاملا تقویت شده و به نظر می رسد در ساعات های ۹ تا ۱۲ به دلیل افزایش گرمای جوی این شرایط فراهم می شود.

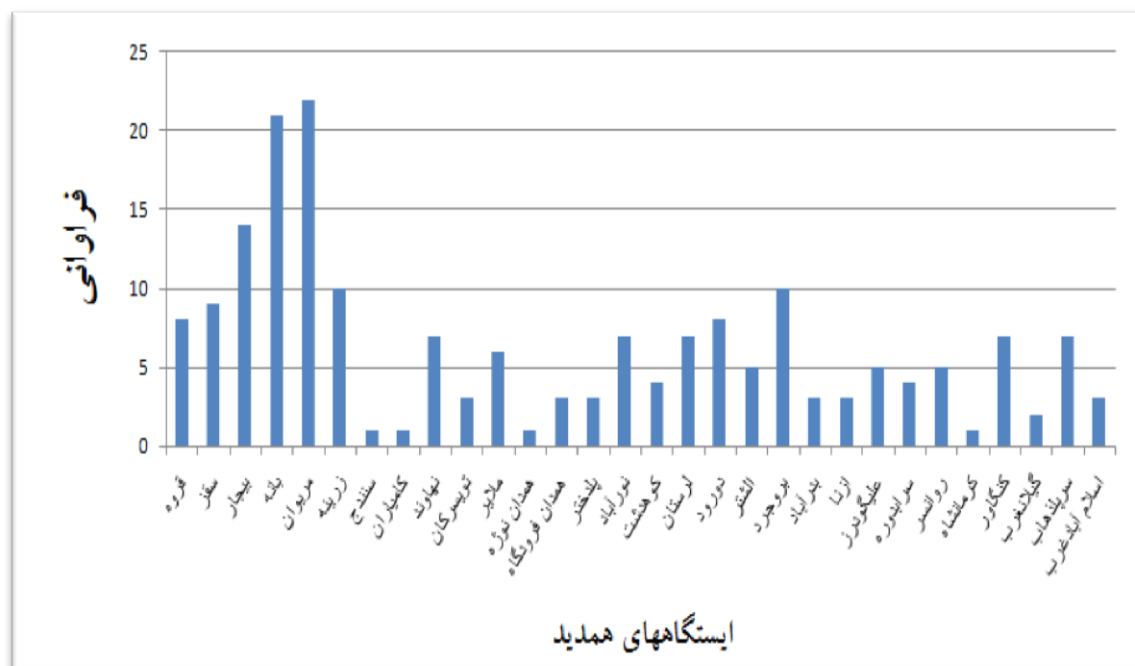


شکل ۳: فراوانی ریزش تگرگ طی ۲۴ ساعت شبانه روز در منطقه مورد مطالعه در دوره آماری (۲۰۱۰-۲۰۰۰)

شکل ۴ فراوانی ماهانه رخداد تگرگ را نشان می‌دهد. بیش‌ترین فراوانی رخداد تگرگ را به ترتیب در ماه‌های آوریل می، مارس و فوریه را نشان می‌دهد. و در ماه جولای پدیده تگرگ گزارش نشده است. و در ماه‌های ژوئن، آگوست و سپتامبر کم‌ترین فراوانی را داشته‌ایم. در ماه‌های مارس و آوریل که ماه‌های انتقالی گرم (بهار) هستند، به دلیل گرم شدن سریع سطح زمین و لایه‌های زیرین جو (افزایش طول روز و نزدیک شدن خورشید به خط قائم) و بالا بودن رطوبت هوا ناپایداری زیاد شده و جریان‌های همرفتی شدت یافته و تحت شرایط مناسب، ابرهای همرفتی رشد کرده و باعث ایجاد طوفان تندری می‌شوند (عزتیان، ۱۳۸۲: ۱۲۱).

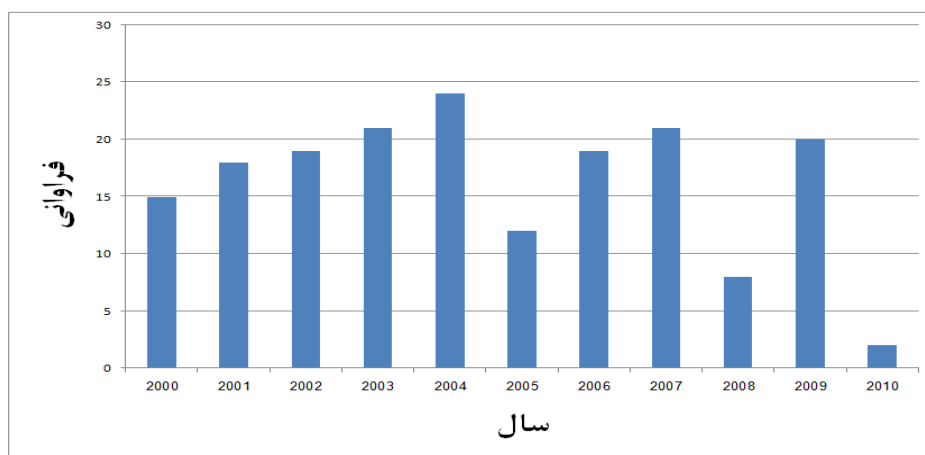


شکل ۴: فراوانی ماهانه ریزش تگرگ در منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۰



شکل ۵: فراوانی رخداد تگرگ در منطقه مورد مطالعه به تفکیک ایستگاه در دوره آماری (۲۰۱۰-۲۰۰۰)

شکل ۵ نشان دهنده فراوانی ریزش تگرگ در دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه‌های همید منطقه می‌باشد. ملاحظه می‌شود که ایستگاه همید مریوان بیش‌ترین فراوانی ریزش تگرگ را در منطقه دارد، و ایستگاه همید کرمانشاه، همدان نوژه، کامیاران و سنندج کم‌ترین فراوانی ریزش تگرگ را در طی دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۰) را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۶: فراوانی سالانه ریزش تگرگ در منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۰

شکل ۶ نشان دهنده فراوانی رخداد تگرگ در منطقه مورد مطالعه به تفکیک سال را نشان می‌دهد. در این مورد سال ۲۰۰۴ بیش‌ترین فراوانی و سال ۲۰۱۰ کم‌ترین رخداد پدیده تگرگ را داشته است، و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ روند صعودی داشته و بعد از آن روند کاهشی و پراکنده پیدا کرده است. که می‌تواند دلایل مختلف داشته باشد که دلایل آن به تحقیقی دیگر نیاز دارد.

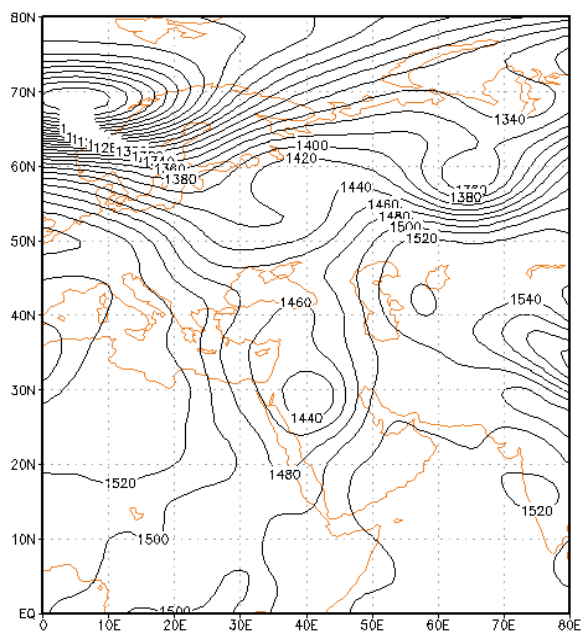
نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های همید

به منظور واکاوی همید بارش تگرگ به تهیه و تفسیر نقشه‌های بارش تگرگ در ۱۰ آوریل ۲۰۰۷ (ایستگاه‌های بانه و قروه) و ۲ آوریل ۲۰۰۲ (سقز وزرینه) در زمان شروع بارش اقدام گردید.

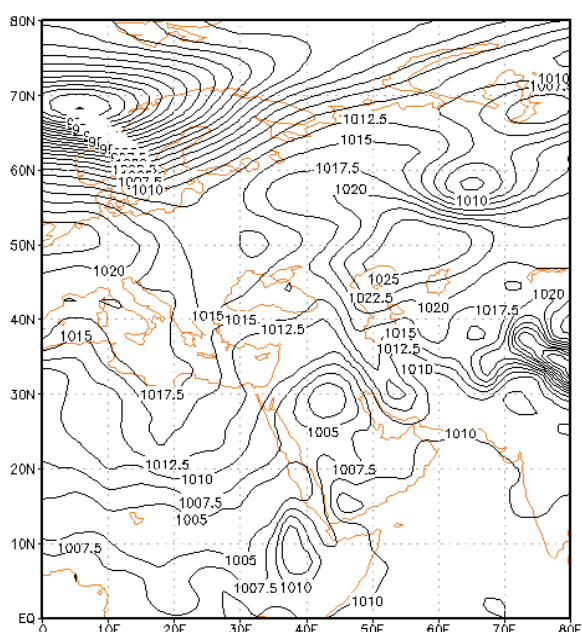
تحلیل همیدی و ترمودینامیکی نمونه مطالعاتی ۱۰ آوریل ۲۰۰۷

در این روز در نقشه سطح دریا مرکز کم فشاری با هم فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال بر روی سودان و مرکز دیگری با همین هم‌فشار بر روی جنوب عراق و شمال عربستان بسته شده است. زبان‌های این کم‌فشار با راستای جنوبی-شمالی تا جنوب دریای سیاه و شرق ترکیه امتداد یافته است. در نتیجه غرب ایران تحت تاثیر این زبانه کم فشار قرار دارد. و جریانات جنوبی فرارفت هوای گرم و مرطوب دریاهای جنوبی را بر روی منطقه مطالعاتی انجام می‌دهند (شکل ۷). در تراز ۸۵۰ مرکز کم ارتفاع با پربند ۱۴۴۰ ژئو پتانسیل متر با راستای شمالی-جنوبی سوریه،

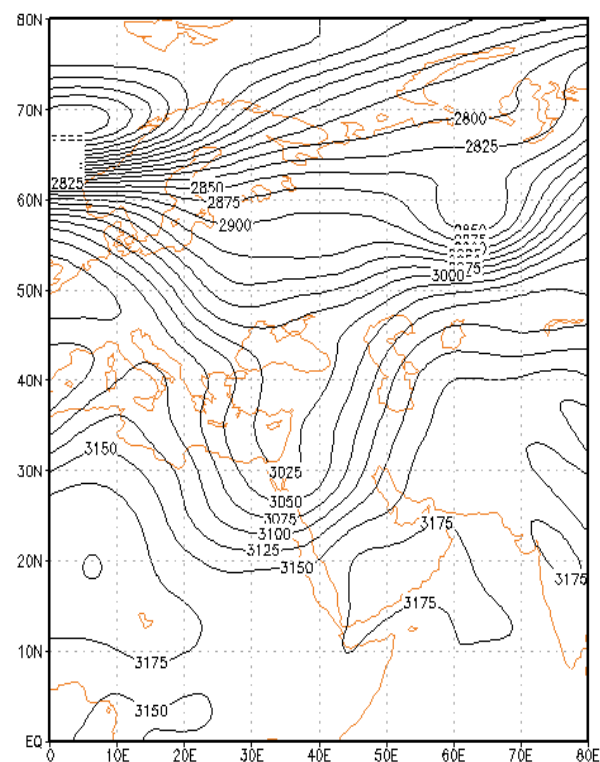
اردن و شمال غرب عربستان را در بر گرفته است. زبانه حاصل از این چرخند تا جنوب سودان تداوم دارد. همان طور که ملاحظه می‌شود غرب ایران در بهترین موقعیت جلو ناوه قرار داشته و جریانات بر روی منطقه کاملاً جنوبی می‌باشد. این پدیده فرارفت گرم را در این تراز نیز تایید می‌کند (شکل ۸). ایجاد گردش و اچرخندی بر روی دریای عرب گرم و رطوبت را به داخل سامانه سودانی فراهم آورده و با تقویت زبانه کم فشار بر روی منطقه، باعث تشدید ناپایداری‌ها در روز بارش تگرگ شده است (شکل ۹). در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ناوه کاملاً عمیقی با راستای شمالی-جنوبی تمام محدوده مدیترانه مرکزی تا مرکز ایران و از سمت جنوب تا شمال سودان را در بر گرفته است. ملاحظه می‌شود که منطقه مورد مطالعه در بهترین شرایط جلو ناوه قرار دارد. و جریانات را جنوب غربی نشان می‌دهد (شکل ۱۰). در نقشه امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال هسته‌ای با امگای منفی قوی بر روی شمال غرب ایران و دریای خزر بسته شده است. دامنه این هسته با امگای منفی شمال منطقه مطالعاتی را فرا گرفته است. در حالی که در جنوب غرب ایران هسته‌ای با امگای مثبت بسته شده است. وجود این هسته با امگای مثبت مفهوم همگرایی هوا در واقع دریافت هوای گرم و مرطوب اطراف در این تراز می‌باشد (شکل ۱۱). در نقشه امگای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که بر عکس نقشه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال میدانی با امگای منفی با راستای شمالی-جنوبی تمام محدوده بین غرب ایران تا مشرق سوریه و دریای سرخ تا شمال آذربایجان را در بر گرفته است. بنابراین منطقه مورد مطالعه در محدوده امگای منفی قرار گرفته است؛ و بیشینه امگای منفی بر روی غرب کشور بیش از ۰/۲- می‌باشد. به این ترتیب همگرایی لبه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با واگرایی قوی‌تر از ۸۵۰ هکتوپاسکال جبران شده و هوای گرم و مرطوب فرارفت شده در لبه زیرین جو در این لایه به خوبی واگرا شده و جریانات بالاسوی قوی این تراز، این هوای گرم و مرطوب را صعود داده و زمینه ایجاد ناپایداری‌های شدید را فراهم کرده است (شکل ۱۲). در نقشه امگای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در انطباق با نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال میدان گسترده‌ای با امگای منفی قوی با راستای جنوبی-شمالی همان محدوده تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را در بر گرفته است. هسته اصلی امگای منفی بر روی جنوب عراق قرار دارد. مقدار امگا بر روی جنوب عراق و هسته اصلی این میدان به بیش از ۰/۴- پاسکال بر ثانیه می‌رسد که واگرایی بسیار خوب و جریانات بالاسوی قوی در این تراز و به تبع ایجاد ناپایداری‌های همرفتی شدید بر روی غرب کشور می‌باشد (شکل ۱۳).



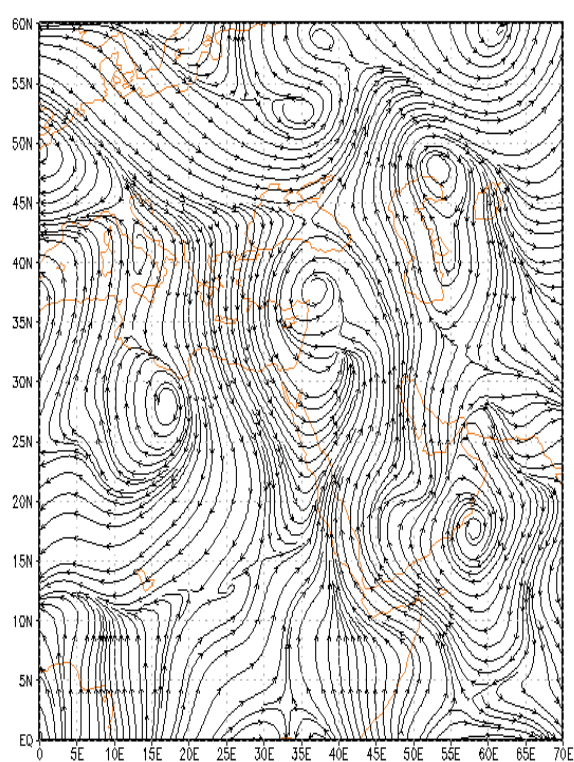
شکل ۸: نقشه ارتفاعی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



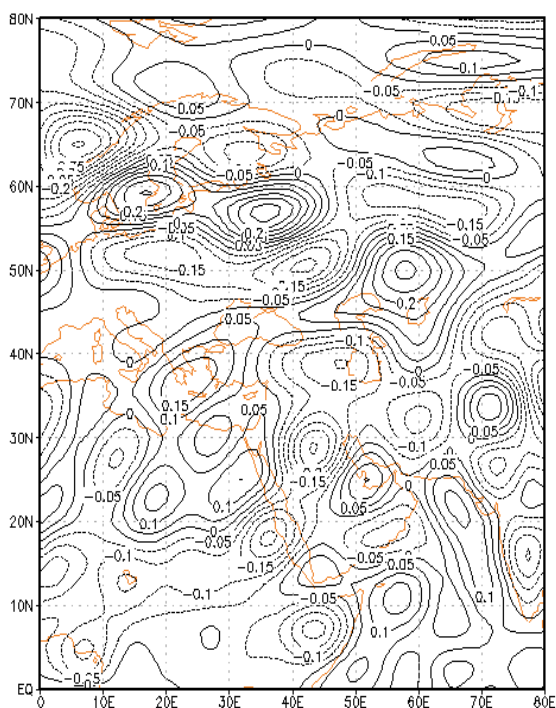
شکل ۷: فشار سطح دریا ساعت ۱۲



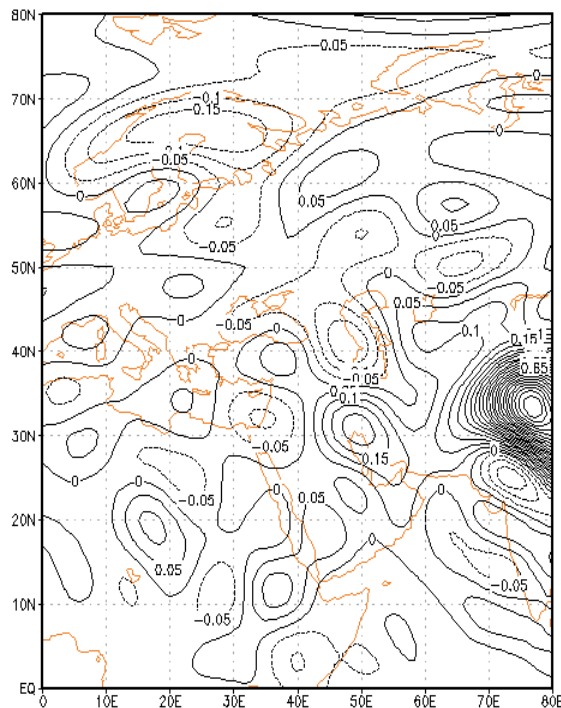
شکل ۱۰: نقشه ارتفاعی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



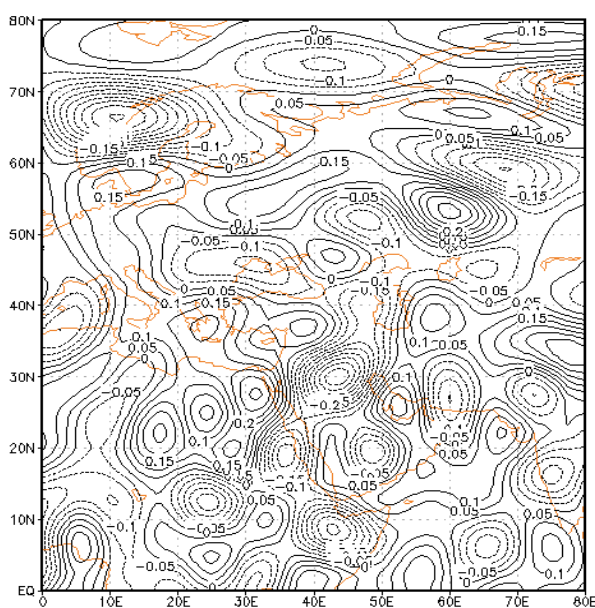
شکل ۹: میدان باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



شکل ۱۲: امگا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



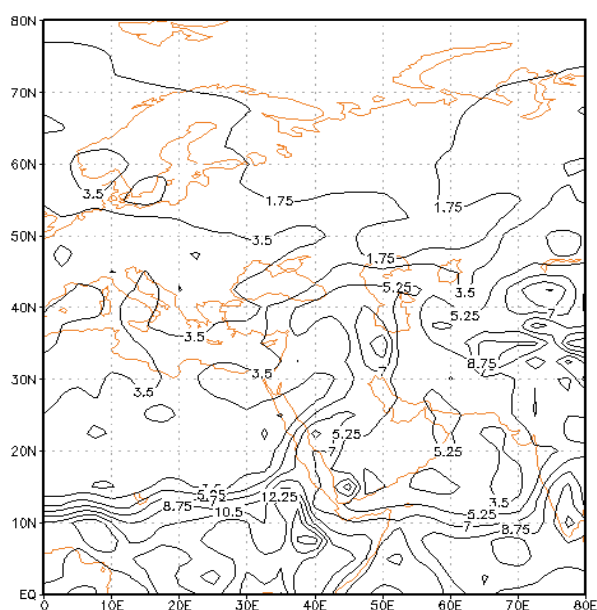
شکل ۱۱: امگا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



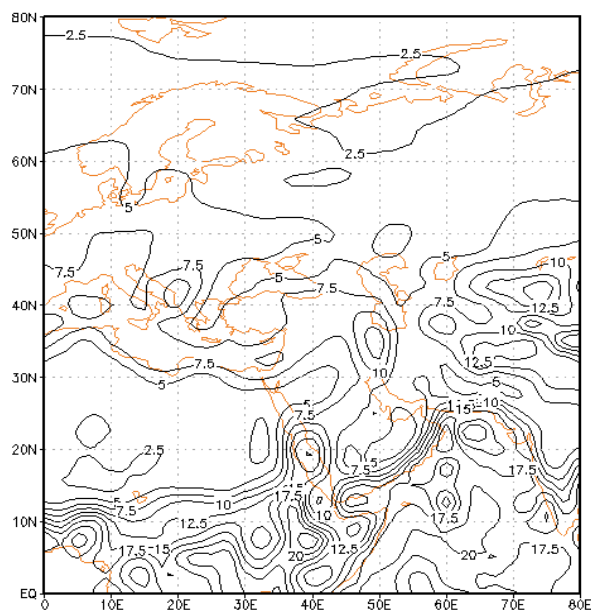
شکل ۱۳: نقشه امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲

در نقشه نم ویژه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال هسته‌ای با نم ویژه بالا بر روی جنوب سودان و هسته دومی بر روی مرکز دریای سرخ به چشم می‌خورد که زبانه‌ای از این هسته با نم ویژه بالا با راستای جنوب‌غربی-شمال‌شرقی پس از عبور از مرکز عربستان از سمت جنوب‌غرب وارد ایران شده و غرب ایران را در بر گرفته است. هسته سوم در درون این زبانه با نم ویژه بالا بر روی شمال‌غرب ایران بسته شده است و نم ویژه ۱۱ گرم بر کیلوگرم از روی منطقه مطالعاتی

عبور می‌کند که نم ویژه مناسبی برای ایجاد ناپایداری و انرژی ترمودینامیکی برای حرکات بالاسو می‌باشد (شکل ۱۴). نم ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نسبت به تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با اندکی تغییر همان شرایط رطوبتی تکرار شده است. و نشان دهنده‌ی فرارفت رطوبت از عرض‌های پایین بر روی منطقه مطالعاتی می‌باشد. نم ویژه ۷ گرم بر کیلوگرم از روی منطقه مطالعاتی عبور می‌کند که این رطوبت برای حرکات بالاسو مناسب می‌باشد. (شکل ۱۵).



شکل ۱۵: نم ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲

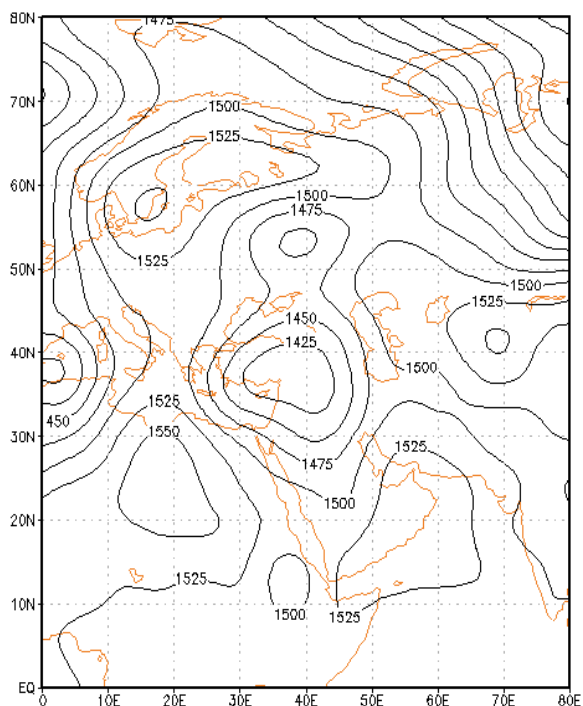


شکل ۱۴: نم ویژه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲

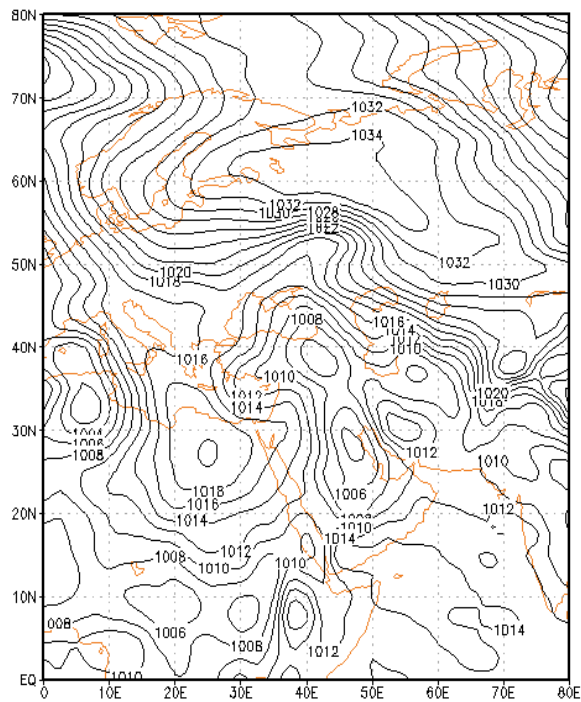
تحلیل همیدیدی و ترمودینامیکی نمونه مطالعاتی ۲ آوریل ۲۰۰۲

در نقشه سطح دریا مرکز کم فشاری با هم فشار ۱۰۰۴ هکتوپاسکال بر روی جنوب عراق بسته شده است. زبانه‌های این کم فشار با راستای جنوبی-شمالی تا شمال منطقه مطالعاتی گسترش یافته است. با قرارگیری یک هسته پرفشار بر روی جنوب دریای عمان و گردش ساعتگرد هوا در این سامانه هوای گرم و مرطوبی را به چرخند مستقر بر روی سودان می‌فرستد و با گسترش زبانه‌ای از این کم فشار، به سمت عرض‌های بالا با راستای جنوبی-شمالی فرارفت رطوبت و زمینه ایجاد ناپایداری را فراهم کرده است (شکل ۱۶). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ملاحظه می‌شود که یک مرکز کم ارتفاع با پربند ۱۴۲۵ ژئوپتانسیل متر با راستای شمالی-جنوبی تمام عراق، سوریه، اردن، شرق مدیترانه و تقریباً نیمی از ایران بسته شده است. و زبانه آن تا مرکز عربستان امتداد یافته است. در این حالت منطقه مورد مطالعه در جلو ناوه استقرار یافته است (شکل ۱۷). وجود واچرخند در جنوب شرقی عربستان با گردش ساعتگرد هوا در این مرکز پرفشار هوای گرم و مرطوب دریای عرب از روی جنوب و شرق عربستان به مرکز و شمال عربستان و از آنجا جلو ناوه این رطوبت را بر روی غرب ایران فرارفت نموده است (شکل ۱۸). همان‌طور که مشاهده می‌شود

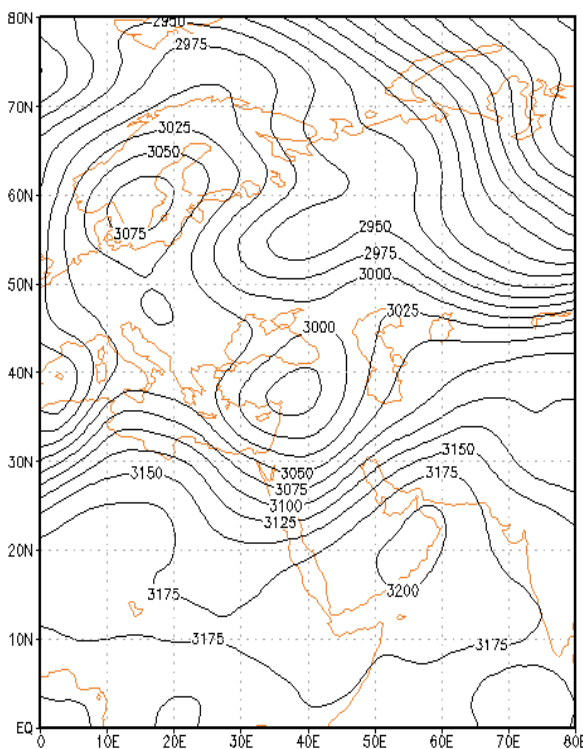
سرزمین مورد پژوهش در محدوده سامانه کم فشار (جلوی موج) قرار گرفته است و جریانات جنوبی بخش شرقی مرکز کم فشار باعث انتقال رطوبت از عرض‌های پایین بر روی منطقه شده است (شکل ۱۹). در نقشه امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال هسته‌ای با امگای منفی قوی ۰/۲۵- پاسکال بر ثانیه بر روی شمال ایران بسته شده است. و هسته این امگا با راستای شمالی-جنوبی، و در شمال منطقه مطالعاتی قرار گرفته است. در حالی که هسته‌ای با امگای مثبت در شمال عربستان بسته شده است. یک هسته امگای مثبت دیگر از شمال دریای عمان تا مرکز ایران به چشم می‌خورد، وجود این دو هسته به معنای همگرایی هوا از دو طرف منطقه مطالعاتی می‌باشد (شکل ۲۰). چنانچه ملاحظه می‌شود در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، هسته‌ای با امگای منفی با راستای شمالی-جنوبی کل منطقه مطالعاتی و تقریباً نیمی از ایران را فرا گرفته و از دریای سرخ با جهت جنوب‌غربی-شمال شرقی از روی عربستان گذشته و وارد منطقه مطالعاتی شده است. در منطقه مورد پژوهش و در طول جغرافیایی ۴۲ تا ۵۵ درجه شرقی امگای منفی حاکم است و مقدار امگا بر روی منطقه به ۰/۳- پاسکال بر ثانیه می‌رسد. نتیجه این شرایط، ایجاد حرکات بالاسو و ناپایداری در منطقه است. همچنین در این تراز دو هسته امگای مثبت یکی در شمال سودان و دیگری بر روی دریای عرب وجود دارد که همگرایی منابع رطوبتی را نشان می‌دهد. و راستای این امگای منفی با حداکثر نم ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال انطباق کامل دارد، که تایید کننده وقوع پدیده همرفت می‌باشد (شکل ۲۱). در امگای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، هسته امگای مثبت بر روی شمال سودان و دریای عرب قرار دارد وجود این دو هسته، همگرایی رطوبت را در این تراز نشان می‌دهد. در حالی که میدان امگای منفی قوی‌تر شده، (در انطباق با نقشه تراز ۸۵۰)، و با راستای جنوبی-شمالی کل منطقه مطالعاتی را در بر گرفته است. منطقه مطالعاتی درون مرکز بیشینه این میدان امگا قرار گرفته است. که مقدار آن بر روی منطقه مورد پژوهش به ۰/۴- پاسکال بر ثانیه می‌رسد. که این امگای منفی مطابق با کم فشار واقع بر روی منطقه، باعث واگرایی در جلوی ناوه شده است. بنابراین در این تراز حرکات قائم بسیار قوی بر روی منطقه حاکم می‌باشد (شکل ۲۲).



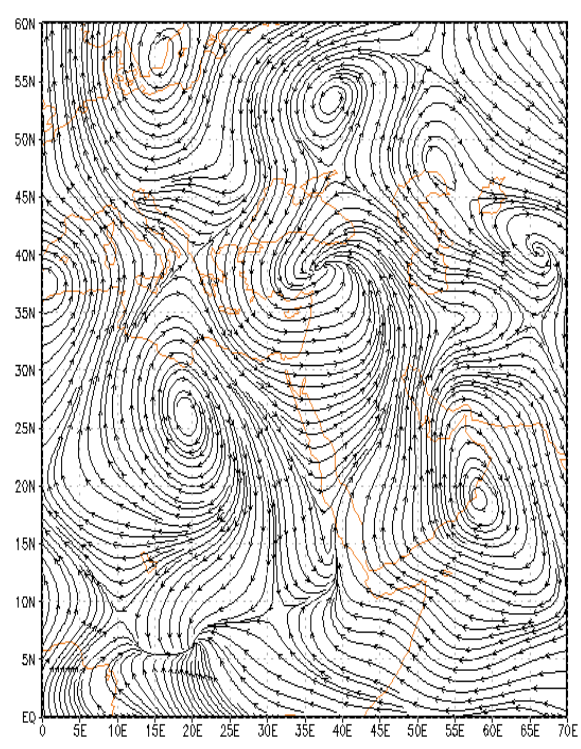
شکل ۱۷: نقشه ارتفاعی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



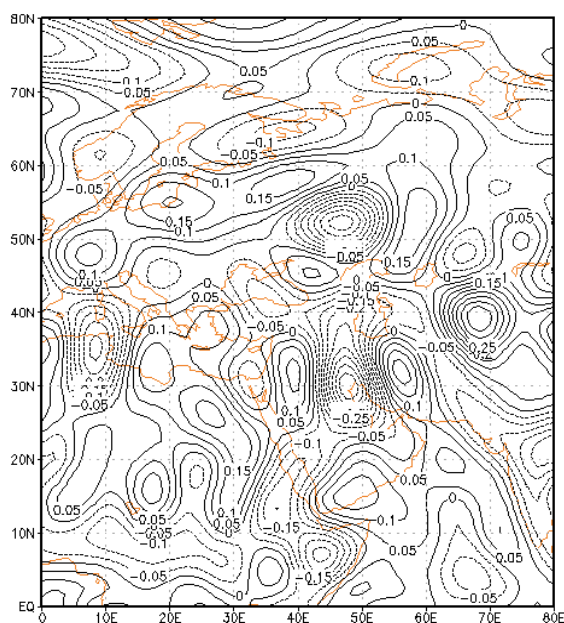
شکل ۱۶: فشار سطح دریا ساعت ۱۲



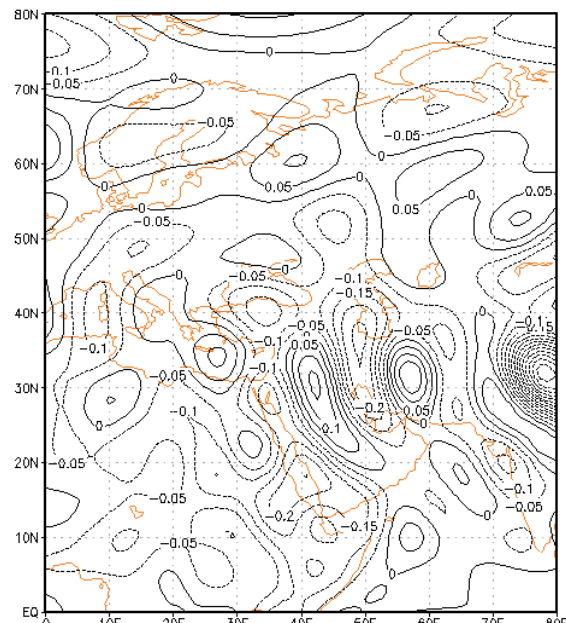
شکل ۱۹: نقشه ارتفاعی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



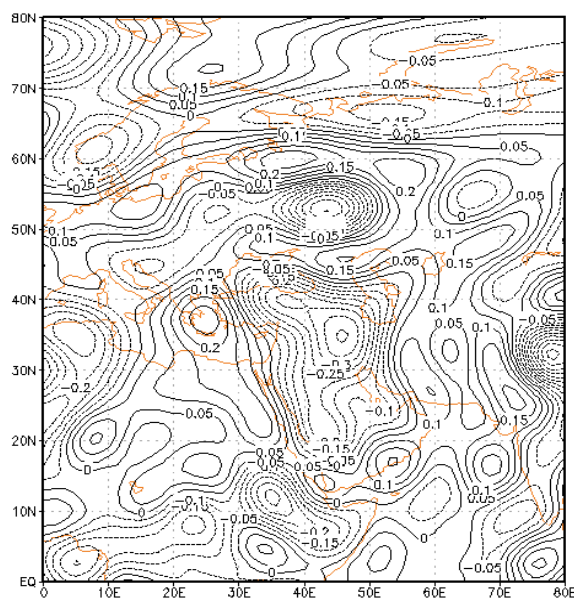
شکل ۱۸: نقشه میدان باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



شکل ۲۱: امگا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲

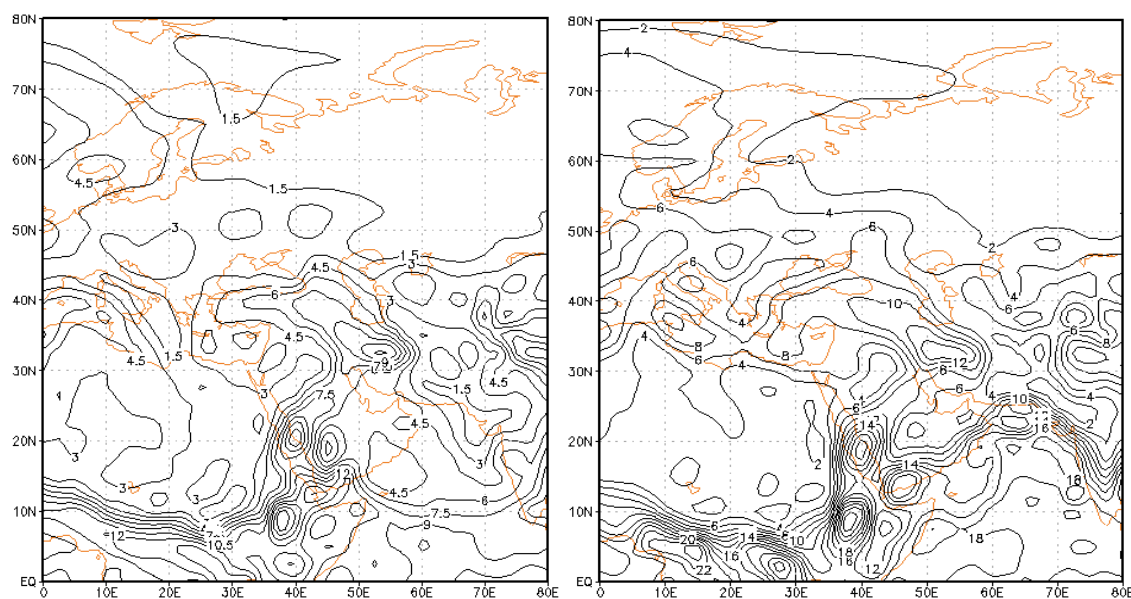


شکل ۲۰: امگا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲



شکل ۲۲: امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲

در نقشه نم ویژه روز ۲ آوریل، در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، هسته‌ی مرطوبی بر روی دریای سرخ و سودان با جهت جنوب غربی-شمال شرقی از روی عربستان گذشته و به سمت غرب ایران در حال گسترش است. و نم ویژه ۱۲ گرم بر کیلوگرم از روی منطقه مطالعاتی عبور می‌کند که رطوبت قابل ملاحظه‌ای برای ایجاد ناپایداری‌های همرفتی می‌باشد (شکل ۲۳). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال هسته مرطوب بر روی جنوب سودان به چشم می‌خورد. که زبانه‌ای از آن در همان امتداد تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال از روی عربستان گذشته و با نم ویژه ۷ گرم بر کیلوگرم تمام منطقه را از غرب تا شمال غرب در بر گرفته است (شکل ۲۴).



شکل ۲۴: نم ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲

شکل ۲۳: نم ویژه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲

نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های به دست آمده بیشترین فراوانی بارش تگرگ در ماه آوریل و می رخ داده است. در فصل بهار آفتاب سطح زمین را گرم کرده و ارتفاع منطقه از سطح دریا نیز نسبتاً زیاد بوده و عرض جغرافیایی منطقه نیز شرایط را برای تقویت سامانه‌های کم فشار جنوبی در این زمان از سال فراهم گردیده است. بررسی سامانه‌های همیدی همراه با بارش تگرگ، در ایستگاه‌های که بارش فراگیر تگرگ داشته‌اند، نشان داده که قرار گرفتن مرکز کم فشار بر روی سودان و امتداد زبانه‌ی آن به عرض‌های بالاتر با راستای جنوب غربی-شمال شرقی تمام محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه را فراگرفته است. در روز بارش تگرگ نیز، زبانه‌ای از نم ویژه بالا از منابع آب جنوبی (سرخ، عرب) و سودان، به عرض‌های بالا نفوذ می‌کنند. همزمان در این روز هسته‌ای با امگای منفی قوی در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه مطالعاتی قرار گرفته است که همگرایی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با واگرایی قوی در ترازهای بالاتر بسته شده است و هوای گرم و مرطوب فرارفت شده جو واگرا شده و با آزاد شدن گرمای نهان فراوان، جریانات بالا سوی مناسب و زمینه ایجاد ناپایداری‌های همرفتی را فراهم کرده است. به طوری که در بررسی نقشه‌های میدان باد در روز بارش تگرگ، ملاحظه می‌شود باد غالب بر روی منطقه نصف النهاری (جنوبی) بوده و باد مداری (غربی) ضعیف می‌باشد. این پدیده فرارفت رطوبت را از روی دریاها گرم تأیید می‌کند. با استقرار واپرخند در جنوب شرق عربستان و روی دریای عرب، و انتقال هوای گرم و مرطوب از طریق شار واگرای حاکم بر روی دریای عرب و عمان، به مرکز چرخند مستقر در دریای سرخ و سودان توسط این چرخند بر روی منطقه فرارفت نموده است. اکثر تحقیقات قبلی که بر روی پدیده تگرگ انجام شده است، توده هواهای عرض‌های بالاتر

نقش اصلی در رخداد پدیده تگرگ داشته است. اما این پژوهش نشان داد که نفوذ زبانه‌های کم فشار و گرم از جنوب ایران بر روی غرب کشور همراه با رشد قائم ابر، رطوبت فراوان، همرفت و صعود شدید و وجود شرایط کوهستانی غرب کشور عامل مهم برای ناپایداری و بارش تگرگ بوده است.

منابع

- آسیایی، مهدی؛ خزانه‌داری، لیلی (۱۳۸۶)، «پهنه بندی بارش تگرگ در ایران و ارائه روش‌های مناسب جهت تعدیل آن»، *مجله علوم جغرافیایی*، شماره ۵ و ۶، صص ۱۸۲-۱۶۹.
- امینی، لیلا؛ بروجنی، محمدرضا. (۱۳۸۲)، «بررسی هم‌دیدی-ترمودینامیکی بارش تگرگ در استان اصفهان»، *یازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، ۱۷ اسفندماه ۱۳۸۲ تهران، صص ۱۱۱-۱۰۶.
- بلاق جمالی، جواد؛ جوانمرد، سهیلا؛ فاتح، شهرام. (۱۳۸۹)، «بررسی پدیده تگرگ در ایران و روش‌های کنترل و مقابله با آن»، *چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ماه ۱۳۸۹، تهران، صص ۴۷-۴۴.
- بایرز، هاریس رابرت (۱۳۷۷)، «*هواشناسی عمومی*»، (ترجمه تاج‌الدین بنی‌هاشم، بهروز حاجبی و علیرضا بهروزیان)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۵۲۴ ص.
- جوانمرد، سهیلا؛ فاتح، شهرام؛ دالایی، حمیده (۱۳۸۶)، «مدیریت ریسک تگرگ جهت کاهش پتانسیل خطرپذیری در کشور (مطالعه موردی محصولات سیب زمینی و برنج)»، *نخستین کنگره بین‌المللی مدیریت ریسک*، ۲۷ و ۲۸ آذر ۱۳۸۶، تهران، صص ۱۵۳-۱۳۳.
- حاج بابایی، نوید؛ نصیری، آزاده؛ معزی، مینا (۱۳۸۴)، «بررسی هم‌دیدی بارش تگرگ، مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راه‌کارهای مقابله با آنها»، دانشگاه تبریز، ۵-۷ مهرماه ۱۳۸۴، تبریز، صص ۵۴-۴۵.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ محمدی، حسین؛ شمسی پور، علی اکبر؛ افتادگان خوزانی، اصغر (۱۳۹۱)، «واکاوی هم‌دید بارش تگرگ فراگیر در شمال غرب ایران»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۲، صص ۶۹-۵۵.
- سیف، مهرزاد (۱۳۷۵)، «*بررسی توزیع بارش تگرگ در ایران*»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- صناعی، بهرام؛ باستانی، خداداد؛ رفیع بخش، فاطمه (۱۳۸۲)، «بررسی مدل آمار پدیده تگرگ در کشور»، *نیوار*، شماره ۴۸ و ۴۹، صص ۱-۱۴.
- عبد منافی، دینا (۱۳۸۳)، «بررسی شاخص‌های ناپایداری، برش قائم باد و وضعیت‌های رطوبتی در هنگام نزول تگرگ در تهران»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- عزتیان، ویکتوریا (۱۳۸۲)، «نقش فرایند فیزیکی در تشدید ناپایداری‌های جوی»، *یازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، ۱۷ اسفندماه ۱۳۸۲ تهران، صص ۱۲۴-۱۱۷.

- علیجانی، بهلول (۱۳۸۹)، «آب و هوای ایران»، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۲۰ ص.
- قربانی، اعظم (۱۳۸۵)، «مطالعه پدیده تگرگ در حوضه زاینده رود»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم.
- قندهاری، شهرزاد (۱۳۸۵)، «بررسی امکان شبیه‌سازی بارش‌های شدید حاصل از سلول همرفتی با استفاده از مدل MM5 و مقایسه نتایج به صورت موردی»، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات.
- کاویانی، محمدرضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۶)، «مبانی آب و هواشناسی»، انتشارات سمت، تهران، ۵۷۷ ص.
- لشکری، حسن؛ امینی، میترا (۱۳۸۸)، «تحلیل هم‌دید و پهنه‌بندی بارش تگرگ در خراسان بزرگ برای دوره آماری ۱۹۹۶ - ۲۰۰۵»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۳۱، صص ۱۰۸-۵۱.
- لشکری، حسن (۱۳۸۱)، «مسیریابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران»، *فصلنامه مدرس*، شماره ۶، صص ۱-۱۴.
- میرموسوی، سیدحسین؛ اکبرزاده، یون (۱۳۸۹)، «مطالعه زمانی مکانی بارش تگرگ در فصل رشد گیاهان؛ مطالعه موردی؛ استان آذربایجان شرقی»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دانشگاه تبریز، شماره ۳۳، صص ۱۹۰-۱۷۵.
- مصطفی‌پور، طاهر (۱۳۸۷)، «توزیع زمانی و مکانی بارش تگرگ در ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- Aran, M., Pena, J.C., Tora, M., (2010), "Atmospheric Circulation Patterns Associated with Hail Events in Lleida (Catalonia)", *Atmospheric Research*, 100: 428-438.
- Costa, S., Mezzasalma, P., Levizzani, V., Alberoni, P.P., Nanni, S., (2000), "Deep - Convection over Northern Italy: Synoptic and Thermodynamic Analysis", *Atmospheric Research Review*, 56: 73-88.
- Chroma, K., Brázdil, K., Tolasz, R., (2006), "Temporal and Spatial Variability of Hailstorms in Moravia and Silesia (Czech Republic) in the 19th-20thcenturies", *Geophysical Research Abstracts*, 8: (4): 4367- 2006
- Dong, W. J. Q. Zhang, J. X. Guo. Y. Chen, (2006), "Annals for Chinese Nature Disasters in 2004 (in Chinese)", China Meteorological Press, 193 pp.
- Das, P. (1962), "Influence of the wind shear on the growth of hail", *J Atmos. Sci*, 19 : 407-414.
- Dessens, H., (1960), "Severe hailstorms are associated with very strong winds between 6,000 and 12,000 meters", *Physics of Precipitation*, Geophys. Monogr, No. 5, Amer. Geophysics.
- Etkin, S., Brun, E., (2001), "Canada's Hail Climatology", 2: 1977-1993.
- 27- Giaiotti, Dario, Sergio, N., Fulvio, S., (2003), "The Climatology of Hail in the Plain of Friuli Venezia Giulia", *Atmospheric Research*, 67- 68: 47-259.

- Huff, F.A., (1961),"Correlation between Summer Hail Patterns in Illinois and Associated Climatological Events", *Journal of Applied Meteorology Review*, 3: 240-256.
- Lott, F., (1999),"Alleviation of stationary biases in a GCM through a mountain drag parameterization scheme and a simple representation of mountain lift forces", *Mon. Wea. Rev.*, 127: 788-801
- Longley, R. W., Thompson, C.V., (1965), "A study of causes of hail", *J. Appl. Meteor*, 4: 69-82.
- Mikus, Petra., Maga, T.P., Natasha, S.M., (2011),"Analysis of the Convective Activity and its Synoptic Background over Croatia", *Atmospheric Research Review*, 104-105: 139-159.
- Nolan, J., (1994),"Hail The Summertime Hazard of Eastern Colorado", *Colorado Climate publication*, 17: 1-11.
- Nieto, R., Coauthors, (2005), "Climatological features of cutoff low systems in the Northern Hemisphere", *J. Climate*, 18: 3085-3103.
- Retallack , B.J., (1978),"Aeronautical Meteorology", *WMO*, 364, pp, 2, Geneva.
- Sterling, R., (2003), "Trend in U.S Climate during the twentieth century", *Consequences*, 2: 182-201.
- Stanley, A., , Changnon, JR., (1962),"Areal Frequencies of Hail and Thunderstorm Days in Illinois", *Monthly Weather Review*, 17: 519-524.
- Sioutas, M.V., Flocas, H.A., (2003),"Hail Storms in Northern Greece: Synoptic Patterns and Thermodynamic", *Environment Theor. Appl. Climatol*, 75: 189- 202.
- Vinet, F., (2001),"Climatology of hail in France", *Atmospheric Research*, 56: 333-338.