تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۰

واکاوی همدیدی الگوهای زمانی و مکانی بارش‌های تندری (مطالعه موردی: استان زنجان)

عبدالله فرجی
استادیار گروه جغرافیای دانشگاه زنجان
مهدی دوستکامیان*
دکتری تغییرات آب و هوایی- دانشگاه زنجان- ایران
زهرا صفری
کارشناسی ارشد اب و هواشناسی دانشگاه زنجان

چکیده
توفان‌های تندری یکی از پدیده‌های آب و هوایی هستند که به دلیل همراهی با تندر، آذرخش، جست باد و بارش شدید افزون بر پیامدهای مثبتی که می‌توانند داشته باشند، موجب آسیب‌های فراوانی در نقاط مختلف دنیا می‌شوند. با توجه به تنوع شرایط آب و هوایی ایران، رخداد این پدیده در نقاط مختلفی مشاهده‌شده است. شمال غرب ایران به‌خصوص استان زنجان نیز از این پدیده در امان نبوده است. در این پژوهش جهت بررسی شرایط آماری و همدیدی پدیده تندر در استان زنجان از داده‌های روزانه‌ی توفان تندری ایستگاه‌های همدید استان زنجان در یک دوره آماری ۱۶ ساله (۲۰۰۹-۱۹۹۴) استفاده شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد میانگین فراوانی بارش تندری مربوط به قسمت‌های شمال شرقی، مرکزی و جنوب و جنوب شرقی استان بوده است و بیشترین ضریب تغییرات نیز منطبق بر این نواحی می‌باشند. قسمت‌های غربی و شرقی استان کم‌ترین میانگین تندر را داشته‌اند و پایین‌ترین ضریب تغییرات را نیز دارا می‌باشند. با این تفاسیر در ماه‌های اسفند و فروردین که ماه‌های انتقالی گرم (بهار) هستند، به دلیل گرم شدن سطح زمین و لایه‌های زیرین جو (افزایش طول روز و نزدیک شدن خورشید به خط قائم) و بالا بودن رطوبت جو، ناپایداری زیاد شده و جریان‌های همرفتی شدت یافته و تحت شرایط مناسب، ابرهای همرفتی رشد کرده و درنتیجه توفان تندری می‌شود. در فصل انتقالی سرد (پاییز) نیز فرارفت هوای کاملاً سرد از عرض‌های بالاتر بر روی مناطق گرم جنوبی‌تر باعث صعود لایه‌های زیرین و ناپایداری می‌شود. البته به علت کمتر بودن رطوبت هوای پاییز نسبت به بهار، شدت وقوع توفان تندری در فصل پاییز به‌مراتب از فصل بهار کمتر است. نتایج واکاوی نقشه‌ها در ترازهای مختلف جوی نشان می‌دهد که مهم‌ترین سامانه‌های سینوپتیکی حاکم بر منطقه در روزهای نماینده، زبانه‌هایی از کم‌فشارهای مدیترانه‌ای و سودانی که دریای مدیترانه و دریای سیاه و سرخ در تقویت آن نقش داشته‌اند به سمت شمال غرب کشور و استان زنجان گسترش‌یافته‌اند. قرارگیری محورهای فرود بادهای غربی همراه با بریده‌های کم‌فشار در این مناطق عامل اصلی ناپایداری‌های شدید و توفان تندری در استان زنجان بوده است. بدین‌صورت که با فرارفت هوای گرم و مرطوب در سطح زمین و هوای سرد سطوح فوقانی همراه با وزش دمایی سرد منجر به اختلاف دمای شدید بین سطح زمین و ترازهای بالا شده که صعود توده‌هوای سطح زمین و ناپایداری را به دنبال داشته است.

کلمات کلیدی: تحلیل همدیدی، تحلیل خوشه‌ای، توفان‌های تندری،استان زنجان.

نویسنده مسئول: مهدی دوستکامیان، دکتری تغییرات آب و هوایی- دانشگاه زنجان ، s.mehdi67@gmail.com

مقدمه

شاید بتوان توفان تندری را جزو اولین پدیده‌های هواشناسی دانست که توجه انسان را به خود جلب نموده است. توفان تندری یک واژه هواشناسی است که شامل وقوع رعدوبرق با وزش شدید، نزول تگرگ و بارش رگباری می‌باشد که تماماً در ابرهای کومولونیمبوس ایجاد می‌شوند (چاگنون ۲۰۰۱)، بارش‌های تندری در فصول گرم سال، به‌ویژه در ساعات گرم روز و در عرض‌های میانی، شرایط ایجاد بارش‌های تندری را دارا می‌باشد و معمولاً یا براثر گرم شدن سطح زمین و صعود سریع توده‌های هوای بالای آن و یا در امتداد و به همراه جبهه‌های هوا، به‌ویژه در جبهه سرد، ظهور می‌کنند (جعفرپور، ۱۳۸۵: ۹۵). تمام خصوصیات بارز یک توفان تندری مانند رؤیت برق، صدای رعد، وزش باد شدید، نزول تگرگ و بارش‌های رگباری خفیف تا بسیار شدید تماماً حاصل تولید چرخه حیات سلول‌های همرفتی کوچک و بزرگ در جو زمین است. (علیزاده و همکاران،۱۳۸۴: ص ۱۴۵). برای فعالیت پدیده‌های رعدوبرقی رطوبت کافی، ناپایداری جوی و مکانیسم صعود در جو پایین و بالا باید مهیا باشد. (اسپیر و گرتس، ۱۹۹۴)[۱]. به عبارت بهتر برای وقوع پدیده رعدوبرق شرایط محیطی در داخل اتمسفر و همچنین سطح زمین موردنیاز است (بریانت، ۱۹۹۱)[۲]. در ایران روزهای تندری همراه با توفان‌های تندری و آذرخش که نماینده ناپایداری‌های شدید بوده، چندان فراوان نیست و میانگین سالانه آن به ده روز هم نمی‌رسد. ولی در برخی مناطق به‌مانند منطقه شمال غرب ایران تندر شاخصه اقلیم بوده است و این منطقه جزء اولین قلمرو تندری ایران، با میانگین روزهای تندری ۵۰ روز و بیش‌تر به شمار می‌آید ازآنجاکه این پدیده در استان زنجان نیز به‌ویژه در نیمه گرم سال سابقه وقوع دارد، بنابراین پیش‌بینی و پیش‌آگاهی از وقوع این پدیده مخرب جهت کاهش خسارات وارده بر محصولات کشاورزی و سایر فعالیت‌های اقتصادی ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش‌های زیادی درزمینهٔ توفان تندری در جهان و ایران صورت گرفته که در ادامه بحث به چند مورداشاره می‌گردد. والاس[۳] (۱۹۹۵) فراوانی توفان‌های رعدوبرق ایالات‌متحده را با استفاده از مشاهدات ۱۰۰ ایستگاه بررسی کرده و به این نتیجه رسید که حداکثر فراوانی رگبارهای همرفتی در اوایل شب و حداکثر فراوانی توفان‌های رعدوبرق در نیمه‌های شب اتفاق می‌افتد. دایان[۴] و همکاران (۲۰۰۱)، در تحلیل توفان‌های پاییزی منطقه‌ی شرق مدیترانه بیان می‌کنند که ژرف شدن ارتفاع ناوه تراز میانی جو و امتداد آن به‌سوی عرض‌های جنوبی، سبب تقویت جت استریم جنب‌حاره‌ای می‌شود و در نتیجه ناوه فشاری دریای سرخ توسعه‌یافته که سبب ایجاد ناپایداری و وقوع تندرهای شدید می‌گردد. اولفاسون و همکارن[۵] (2004) بررسی که در ایسلند بر روی فراوانی توفان انجام‌شده است ماکزیمم این توفان‌ها در زمستان شناسایی‌شده است، هنگامی‌که توده‌هوای قطبی بر روی دریاهای گرم در جهت ایسلند حرکت می‌کند. کالادو و پاسکال[۶] (۲۰۰۵)، با استفاده از مدل‌ها و طرح‌ها به بررسی توفان همرفتی بر روی دریای مدیترانه پرداخته‌اند. فراوانی توفان تندری را در منطقه کاتولونیا در اواخر بهار و تابستان به کوهستان محلی و تأثیرات دریایی نسبت داده‌اند. مهلی و میلر[۷] (۲۰۱۰)، به کمک داده‌های رادار و داده‌های سطح زمین در داکوتای شمالی، در پی ویژگی‌های آب هواشناسی توفان‌های تندری بودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که حداکثر فعالیت توفان تندری در خردادماه و تیرماه در بعدازظهر و اوایل صبح می‌باشد. لوگینوف و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای تغییرات تعدادی از توفان‌های تندری و خصوصیات شکل‌گیری آنها در بلاروس را موردبررسی قراردادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان

---

1 -Speer and Geerts
2 Berayan
3 -Wallace
4 -Dayan
5 - .Olafasson et al
6 Callo,A .and pascual -
7-Mohee & Miller

داد که توفان‌های تندری از تنوع زمانی و مکانی بالا و به‌طورکلی از توزیع فضایی متنوعی برخوردار بودند. سری زمانی وقوع این رخداد نیز از طریق روش‌های آماری محاسبه گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند در مناطق کوهستانی رخداد این پدیده بیشتر از سایر نواحی بوده است صلاحی (۱۳۸۹) توفان‌های تندری استان اردبیل را ازلحاظ آماری و سینوپتیکی موردبررسی قرارداد. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، مشکین‌شهر و خلخال، بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های تندری متعلق به ماه مه و در ایستگاه سینوپتیک پارس‌آباد، متعلق به ماه ژوئن است. در همین رابطه میر احمدی (۱۳۹۱:۱)، نوسان‌های زمانی توفان‌های تندری همراه با نتایج مخرب ان چون سیل و تگرگ را با استفاده از روش تجزیه مؤلفه روند سری‌های زمانی موردبررسی قرارداد است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که وقوع توفان‌های تندری در استان چهارمحال و بختیاری روند کاهشی داشته و نیز بیش‌ترین وقوع آن در فصل بهار ماه آوریل مصادف با حاکمیت سامانه‌های همرفتی قوی در منطقه بوده است. در مطالعه‌ای دیگر امیدوار و همکاران (۱۳۹۲)، با بررسی و تحلیل سینوپتیکی سه رخداد تگرگ شدید در استان فارس به این نتیجه رسیدند که هر سه دوره‌ی انتخابی ریزش تگرگ در استان در فروردین‌ماه و در اثر تشکیل و تقویت کم‌فشار بریده در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ایجاد کم‌فشار و ناپایداری در سطح دریا بوده است. موسوی و حیدری (۱۳۹۲)، به بررسی آماری و سینوپتیکی بارش تگرگ در شمال غرب پرداختند. نتایج سینوپتیک نشان داد که قرارگیری سرد چال‌های ناشی از فعالیت بادهای غربی دارای هوای سرد عرض‌های شمالی، رطوبت دریای مدیترانه و سیاه بر روی منطقه، اختلاف دمای شدید بین سطح زمین و ترازهای بالا (همراه با جبهه‌های سرد) به صعود توده‌هوای سطح زمین منجر گشته و موجب بارش تگرگ شده است. خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۲)، به تحلیل آماری و همدیدی بارش‌های تندری منطقه خزر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روند توفان‌ها کاملاً افزایشی و در سطح اعتماد ۹۵ درصد و بیشتر قرار دارد. این مسئله هشدار مهمی درزمینه تغییر اقلیم در منطقه موردمطالعه است؛ و بارش مهرماه ۱۳۹۱ حاصل یک چرخند مدیترانه‌ای قوی بوده که توسط ناوه ترازهای بالا قبل از بارش و زبانه پرفشار از جنبه دینامیکی و حرارتی تقویت‌شده است. با توجه به آنچه که بیان‌شده است در این مطالعه ساز کارهای مؤثر بر بارش‌های تندری موردبررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت.

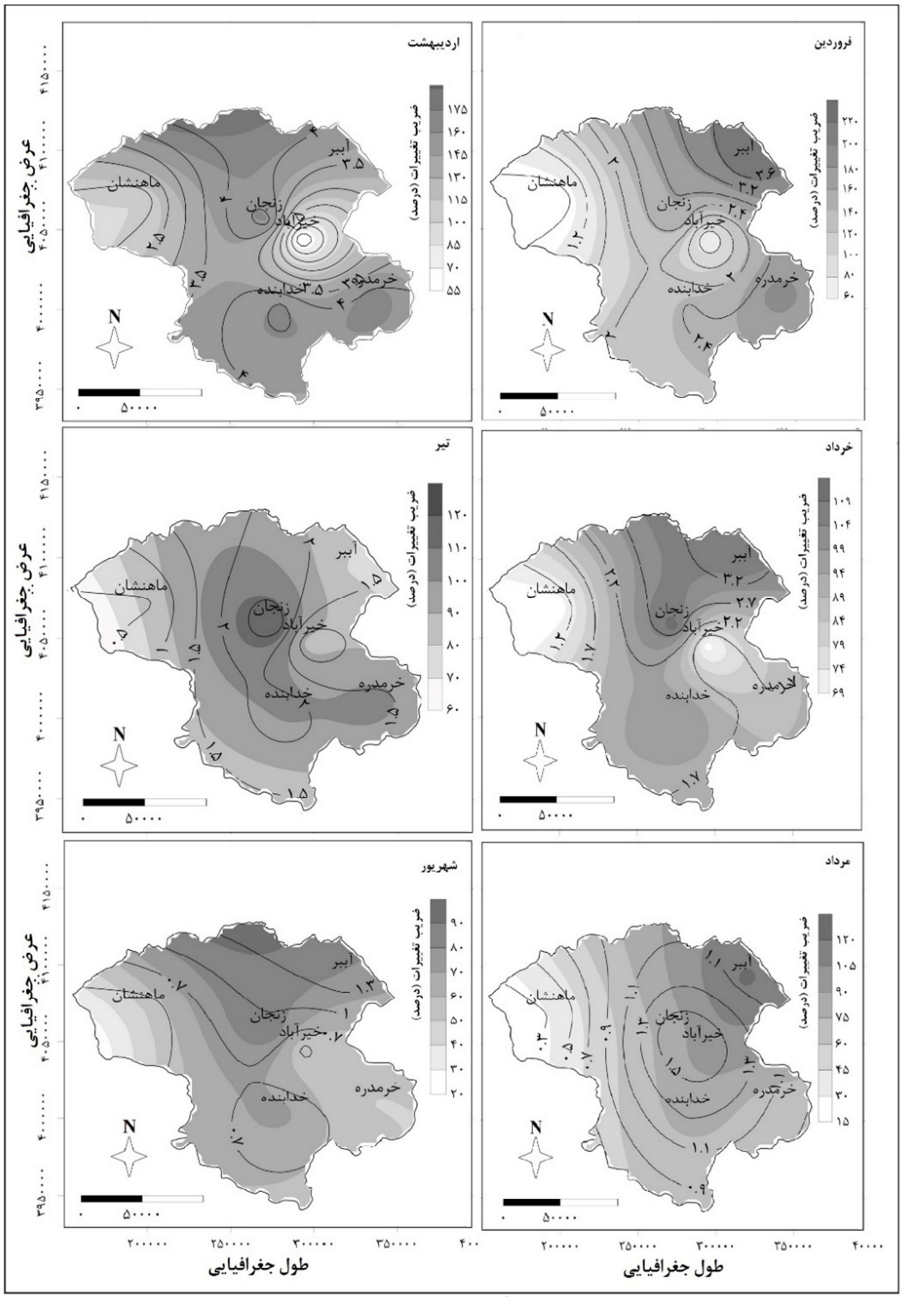
داده‌ها و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش از داده‌های مربوط به هوای حاضر (WW)، بافاصله‌ی زمانی ۳ ساعته در دوره‌ی آماری (۱۹۹۴ – ۲۰۰۹) برای ایستگاه‌های همدید استان زنجان جهت تحلیل آماری و همدیدی توفان تندری استفاده گردید. برای نشان دادن تغییرات مکانی بارش تندری در استان زنجان در طول زمان، ابتدا ضریب تغییرات و میانگین فراوانی بارش تندری برای هر ایستگاه به‌صورت ماهانه محاسبه گردید، سپس به‌صورت نقشه ترسیم شد. جهت تحلیل همدید سازوکار رخداد تندر در حالت فراگیر (رخداد در ۴۰ درصد ایستگاه‌های موردبررسی با تداوم ۲ روز)، تحلیل خوشه‌ای بر روی‌داده‌های فشار تراز دریا اعمال گردید. برای انتخاب نوع درصد پوشش موردمطالعه از نمودارهای باکس پلات استفاده‌شده است. بدین منظور که درصد تحت پوشش هریک از درصدها در قالب نمودار باکس پلات درآمده است بدین ترتیب درصدی که مقادیر پرت کمتری را پوشش داده است انتخاب‌شده است. در سایر درصدها (۴۰ به پایین) مقادیر پرت زیادی از شاخک بالای نمودار باکس پلات مشاهده‌شده است به همین خاطر این نوع درصد انتخاب‌شده است؛ بنابراین درصدهای پایین اعداد پرت زیاد بیانگر محلی بودن این نوع بارش‌ها می‌باشد این در حالی می‌باشد که در این پژوهش فقط بارش‌های تندری موردبررسی قرار گرفت که فراگیر بوده است. در این مطالعه به برای محاسبات بارش‌های تندری از امکانات برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب و به‌منظور ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار سورفر بهره گرفته‌شده است. در ادامه

به‌منظور تحلیل الگوی بارش‌های تندری از تحلیل خوشه‌ای بهره گرفته‌شده است. سپس به‌منظور تعیین روز نماینده برای هر خوشه، از روش همبستگی با آستانه ۰/۵ استفاده شد. به‌این‌ترتیب روزهای نماینده که درواقع معرف الگوهای نماینده بود شناسایی گردید. درنهایت از داده‌های NCEP/NCAR شامل داده‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، شاخص امگا، وزش دمایی برای ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲، در محدوده همدیدی ۱۵ تا ۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی، مورد واکاوی قرار گرفت.

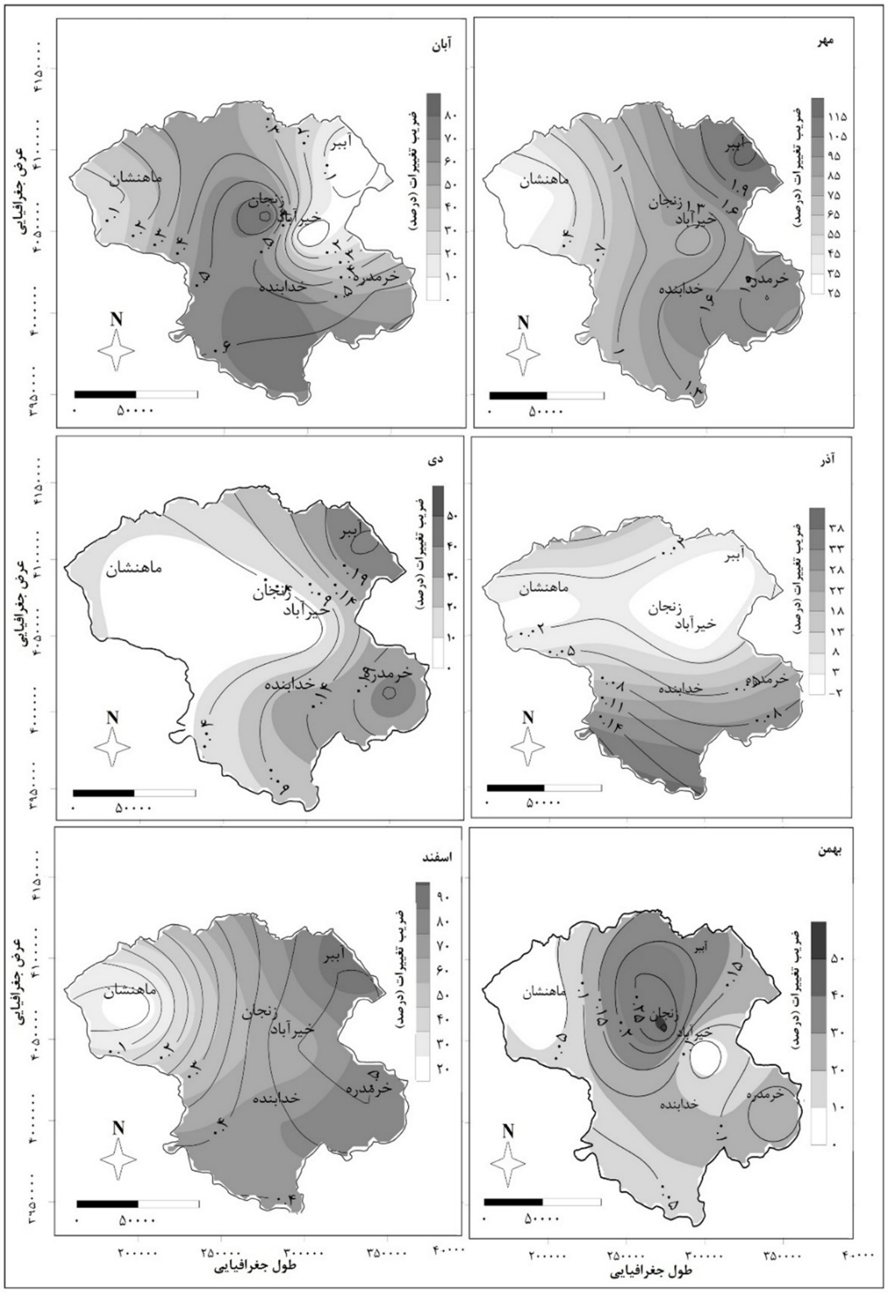
بحث و نتایج

مطالعه‌ی توزیع مکانی رویدادهای اقلیمی، ازجمله توفان‌های تندری، به‌وسیله‌ی نقشه نمایش داده می‌شود. شکل (۱)، توزیع مکانی میانگین و ضریب تغییرات توفان‌های تندری ماهانه زنجان را نشان می‌دهد. در فصل بهار با عقب‌نشینی پرفشارهای حرارتی نظیر فرابار سیبری و تکوین شرایط مناسب برای ورود بادهای غربی به محدوده موردمطالعه در فصل بهار فراهم می‌شود (علیجانی،۱۳۷۹: ۳۰). با توجه به شکل (۱)، میانگین فراوانی بارش تندری استان در ماه فروردین از قسمت‌های غرب و جنوب غرب به سمت شمال و شمال شرق منطقه و از مرکز استان به سمت جنوب شرقی روند افزایش دارد، کم‌ترین مقدار هم مربوط به غرب و نواحی شرقی منطقه می‌باشد. ضریب تغییرات بارش تندری در این ماه برای نقاط مختلف بین ۶۰ تا ۲۲۰ درصد در نوسان است. در اردیبهشت میانگین بارش تندری نسبت به فروردین افزایش پیداکرده است، بیش‌ترین بارش تندری با میانگین ۵ در مرکز و سپس در جنوب و جنوب شرق استان و کم‌ترین مقدار هم مربوط به قسمت‌های غربی و شرقی استان می‌باشد. خرداد به دلیل واقع‌شدن در فصل گذر، دامنه‌های آفتاب‌گیر در مناطق کوهستانی، انرژی بیش‌تری دریافت می‌کنند زیرا در بهار و پاییز زاویه‌ی تابش آفتاب یادشده تندتر از زمین‌های مسطح است. این اختلاف دما به ناپایداری هوای روی دامنه می‌انجامد و سبب صعود آن می‌شود. این فرآیند که به همرفت دامنه‌ای معروف است ویژه‌ی دامنه‌های آفتاب‌گیر در نواحی برون حاره است (کاویانی، علیجانی،۱۳۸۷: ۲۴۶). افزون بر این در خردادماه سامانه‌ی پرفشار پویشی جنب حاره هنوز کامل فعال نشده است که همین باعث می‌شود هوا بهتر امکان صعود پیدا کند؛ بنابراین بیش‌ترین مقدار مربوط به شمال شرق و مرکز استان با میانگین ۳/۲ روز می‌باشد که بیش‌ترین ضریب تغییرپذیری (۹۹ تا ۱۰۹) در این مناطق قرار دارد و کم‌ترین میانگین بارش تندری و ضریب تغییرات (۶۴ تا ۸۴) آن نیز در غرب، شرق و جنوب شرق منطقه مشاهده می‌شود. همان‌طور که اشاره شد مراکز بیشینه توفان تندری عمدتاً در بخش‌های مرتفع استان (ارتفاعات طارم و سلطانیه) واقع‌شده است، این در حالی است که با نزدیک شدن به فصل تابستان، تأثیر عوامل بزرگ‌مقیاس به‌ویژه پرفشار جنب حاره در اواخر فصل بهار تعداد روزهای همراه با توفان تندری کاهش می‌یابد. بااین‌وجود با آغاز فصل تابستان با حاکمیت پرفشار جنب حاره و استقرار آن بر روی ایران (علیجانی،۱۳۷۴: ۲۸)، تأثیر این پرفشار در شمال غرب و استان زنجان نیز خودنمایی می‌کند. این پرفشار به دلیل دارا بودن ویژگی‌های دینامیکی، شرایط بری را در طی این فصل بر پهنه حاکم می‌سازد و به‌صورت سدی در برابر ورود عوامل باران‌زا کلان یا عملکرد عوامل باران‌زای محلی عمل کرده و باعث کاهش چشمگیر بارش دریافتی نسبت به بهار می‌گردد. به‌طورکلی از فصول سرد به سمت فصول گرم سال، درصد پوشش و فراوانی تندرها با تغییر در جهت کاهش یا افزایش همراه می‌شود و نیز بیشینه رخداد توفان‌های تندری در فصل بهار و ماه‌های اردیبهشت و خرداد متمرکز می‌گردد در تیرماه مرکز و جنوب شرق استان، دارای بیشترین میانگین بارش تندری می‌باشد و بیشترین ضریب تغییرات (۱۰۰ تا ۱۲۰ درصد) در نواحی مرکزی، جنوب و جنوب شرق استان است.



شکل (۱): میانگین بارش تندری ماهانه و ضریب تغییرپذیری آن در استان زنجان (فصول بهار و تابستان)

کم‌ترین ضریب تغییرات نیز در غرب، شمال و شمال شرق استان می‌باشد که مقدار آن (۶۰ تا ۸۰) درصداست، تیرماه با ۱۰ درصد توفان تندری بیشترین فراوانی بارش تندری را در ماه‌های تابستان را دارد. در مرداد میانگین فراوانی بارش تندری نسبت به تیر اندکی کم‌تر می‌باشد، در این فصل همانند فصل بهار بیش‌ترین میانگین، در نواحی مرتفع استان و کم‌ترین بارش هم در غرب و جنوب غرب استان قرار دارد و همچنین این نواحی دارای کم‌ترین ضریب تغییرات نیز (بین ۱۵ تا ۶۰ درصد) است.



شکل (۲): میانگین بارش تندری ماهانه و ضریب تغییرپذیری آن در استان زنجان (فصول پاییز و زمستان)

فصل تابستان ۲۶ درصد از بارش تندری سالانه استان را دریافت می‌کند و بعد از بهار بیشترین سهم را دارا می‌باشد. در ماه‌های آخر تابستان تأثیر ارتفاعات در وقوع بارش تندری کم‌تر می‌شود و به سمت پهنه شمال شرقی استان میانگین بارش تندری افزایش می‌یابد. در مواردی رطوبت ناشی از دریای خزر با عبور از ارتفاعات شمالی وارد منطقه شده و وجود گرمای حرارتی بر روی زمین، زمینه را برای ایجاد بارش تندری فراهم می‌کند. بااین‌وجود موج‌های کوتاه ضعیف در تابستان از حاشیه استوایی بادهای شمال و شمال غربی ایران می‌گذرند و وضعیت باروکلینک به اتمسفر منطقه می‌دهند؛ بنابراین صعود همرفتی به‌تنهایی ناپایداری کافی در سطح زمین ایجاد نمی‌کند و باید در قشرهای بالای اتمسفر هم شرایط مساعد باشد؛ یعنی عامل چرخندگی هم دخالت می‌کند (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۶: ۲۴۵). در مرداد و

شهریور ماه با استقرار مرکز پرفشار از ورود بادهای غربی به منطقه کاسته می‌شود و به همین دلیل از وقوع توفان تندری در سطح منطقه نیز کاهش می‌شود. فصل پاییز، زمان آغاز نفوذ بادهای غربی به ایران و فصل انتقالی در منطقه شمال غرب محسوب می‌شود (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۶). با توجه به شکل (۲)، در مهرماه میانگین بارش تندری و ضریب تغییرات آن نسبت به ماه قبل افزایش‌یافته است. بیشترین میانگین بارش تندری در شمال، شمال شرق و جنوب شرق استان دیده می‌شود و بیشترین ضریب تغییرات (بین ۸۵ تا ۱۱۵ درصد) در همین نواحی می‌باشد. در ماه آبان، بیشینه بارش در قسمتی از مرکز و جنوب استان دیده می‌شود و بالاترین ضریب تغییرات نیز (بین ۶۰ تا ۸۰ درصد) در این نواحی مشاهده می‌شود، کم‌ترین بارش و ضریب تغییرات (بین ۰ تا ۴۰ درصد) به‌صورت چند کانون جداگانه در شمال شرق، شمال و غرب متمرکزشده‌اند. ضریب تغییرات این ماه نسبت به ۲ ماه دیگر این فصل ضمن تنوع مکانی به‌طور چشمگیری کاهش‌یافته است که خود نشانگر یکنواختی عوامل ایجاد بارش در این ماه می‌باشد. درمجموع می‌توان گفت فصل پاییز ۱۳ درصد از بارش‌های تندری را دریافت می‌کند.

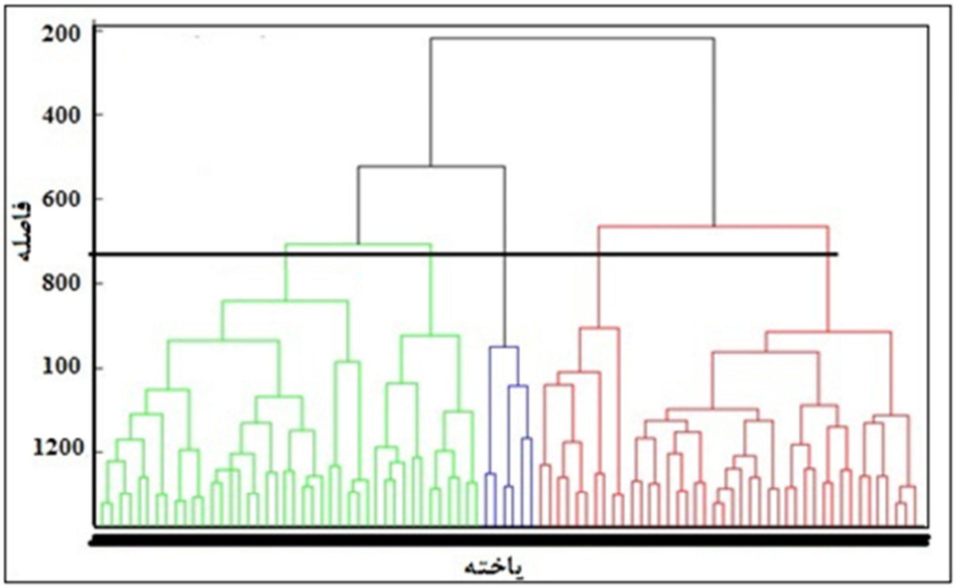
در فصول سرد سال اغتشاشات سطح بالا به‌وسیله‌ی بادهای غربی که عمدتاً از شمال ایران می‌گذرند (علیجانی، ۱۳۸۷: ۱۰۶) شرایط را برای ناپایداری جو، مهیا نموده و به همین دلیل بیشترین رخداد توفان تندری در ارتفاعات و نواحی کوهستانی مشاهده می‌گردد. فصل زمستان ۵ درصد از بارش تندری استان را دریافت می‌کند و ازلحاظ فراوانی بارش تندری دریافتی در رتبه‌ی آخر قرار دارد. با توجه به شکل (۲)، میانگین فراوانی بارش تندری و ضریب تغییرات آن در دی‌ماه نسبت به آذرماه روند افزایشی داشته است. در این ماه بیشترین میانگین فراوانی بارش تندری در قسمت‌هایی از شمال شرق، جنوب و جنوب شرق استان می‌باشد. بیش‌ترین ضریب تغییرات (بین ۳۰ تا ۵۰ درصد) در این نواحی دیده می‌شود. کم‌ترین میانگین توفان در مرکز، جنوب غرب و غرب استان قرار دارد که دارای کم‌ترین ضریب تغییرات (بین تا ۰ تا ۱۰ درصد) نیز می‌باشد. در بهمن‌ماه میانگین فراوانی بارش تندری نسبت به دی‌ماه تغییر خیلی کمی داشته است و بیش‌ترین مقدار در قسمت‌هایی از مرکز و شمال شرق استان دیده می‌شود این مناطق نیز داری بیشترین ضریب تغییرات (بین ۴۰ تا ۵۰ درصد) می‌باشند. کمینه فراوانی توفان تندری نیز به‌صورت دو هسته جداگانه تقریباً در نواحی غربی و مرکزی استان قرار داردکه همین نواحی دارای کم‌ترین ضریب تغییرات بین (۰ تا ۱۰ درصد) نیز می‌باشند. در آخرین ماه زمستان میانگین فراوانی بارش تندری و ضریب تغییرات آن نسبت به دی و بهمن روند افزایشی داشته که درواقع بیانگر این است که با تغییر فصل از زمستان به بهار، میزان تغییرات بارش تندری در منطقه رو به افزایش می‌گذارد. بارش در سطح استان تقریباً یکنواخت می‌باشد و بیشینه بارش تندری نیز به شمال شرق، شرق و جنوب شرق استان و کم‌ترین بارش تندری نیز مانند فصول گذشته در نواحی غربی استان قرار دارد.

به‌طورکلی می‌توان گفت که توزیع مکانی در درجه اول از سامانه‌های سینوپتیک که ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مانند توده‌هوا مدیترانه که یکی از منابع رطوبتی کشور می‌باشد، هم‌چنین ورود هوای سرد و خشک سیبری از قسمت‌های شمالی و شمال غرب کشور که باعث سرد شدن هوای سرد و خشک سیبری از قسمت‌های شمالی، شمال غرب و شمال شرق کشور که باعث سرد شدن هوا می‌شود و شرایط را برای انجماد بیشتر رطوبت موجود در هوا فراهم می‌کند، تأثیر پذیرفته و در درجه دوم، این شرایط را به‌وسیله عوامل محلی، ازجمله وجود منابع رطوبتی داخلی مانند دریای خزر و دریاچه ارومیه و همچنین توپوگرافی محلی تشدید می‌شود. ازلحاظ توزیع زمانی می‌توان گفت که فراوانی رخداد آن بیشتر در فصل بهار می‌باشد، چون در این فصل مؤثرترین عامل صعود در کشور، همرفت دامنه‌ای است. با توجه به اینکه در این فصل سامانه‌های سینوپتیک خارجی که در دوره سرد وارد کشور شده‌اند، کم‌کم از کشور خارج و به

قسمت‌های شمال غرب و غرب کشور و به تبعه آن منطقه مورد مطالعه به علت کوهستانی بودن منطقه شرایط لازم را برای همرفت دامنه‌ای موجود می‌باشد؛ بنابراین در فصل بهار ناپایداری شدید برای توده‌های هوا وجود داشته و این ناپایداری باعث افزایش رخداد توفان تندری می‌شود (منوچهر فرج زاده،۱۳۹۲:۲۸۲).

تحلیل الگوی گردشی به محیطی بارش‌های تندری

برای پهنه‌بندی و طبقه‌بندی اقلیمی از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. در این مرحله با استفاده از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و به کمک روش وارد یک تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس ۱۵×۹۰ در منطقه زنجان انجام گرفت. فاصله میان هریک از روزها با روزهای دیگر از طریق فاصله اقلیدسی مشخص گردیده است. سپس با تکیه بر نمودار درختی ناحیه‌بندی سالانه مشخص گردیده است. به‌منظور بررسی و ارزیابی طبقه‌بندی حاصل از تحلیل خوشه‌ای از آزمون اختلاف میانگین برابری استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای در شکل (۴) آورده شده است. در این شکل خط مشکی‌رنگ ضخیم تعداد ناحیه یا گروه‌ها را مشخص می کند.



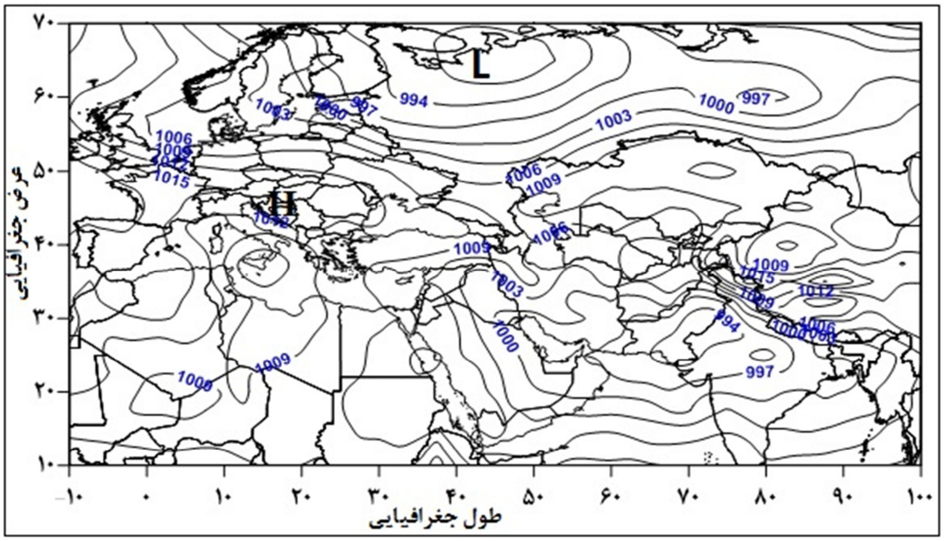
شکل (۳): دار نمای داده‌های مربوط به توفان تندری استان زنجان

جدول (۱): شماره روزهای نماینده گروه‌های پنج گانه توفان‌های تندری

گروه‌ها	فراوانی	روز نماینده	
گروه اول: کم‌فشار قطبی، پرفشار اروپایی	۳۰	۱۳۸۳/۳/۲۸	۲۰۰۴/۶/۱۷
گروه دوم: کم‌فشار خاورمیانه، کم‌فشار گنگ	۶	۱۳۸۳/۴/۲۰	۲۰۰۴/۷/۱۱
گروه سوم: کم‌فشار قطبی، پرفشار سیبری	۳۲	۱۳۸۶/۱/۲۰	۲۰۰۶/۴/۷
گروه چهارم: پرفشار اروپایی، کم‌فشار سودانی	۱۰	۱۳۷۴/۳/۱۳	۱۹۹۵/۶/۳
گروه پنجم: پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان	۱۲	۱۳۸۲/۷/۱۱	۲۰۰۳/۱۰/۳

تحلیل همدید نماینده گروه اول: کم‌فشار قطبی، پرفشار اروپایی (۲۸ خرداد ۱۳۸۳)

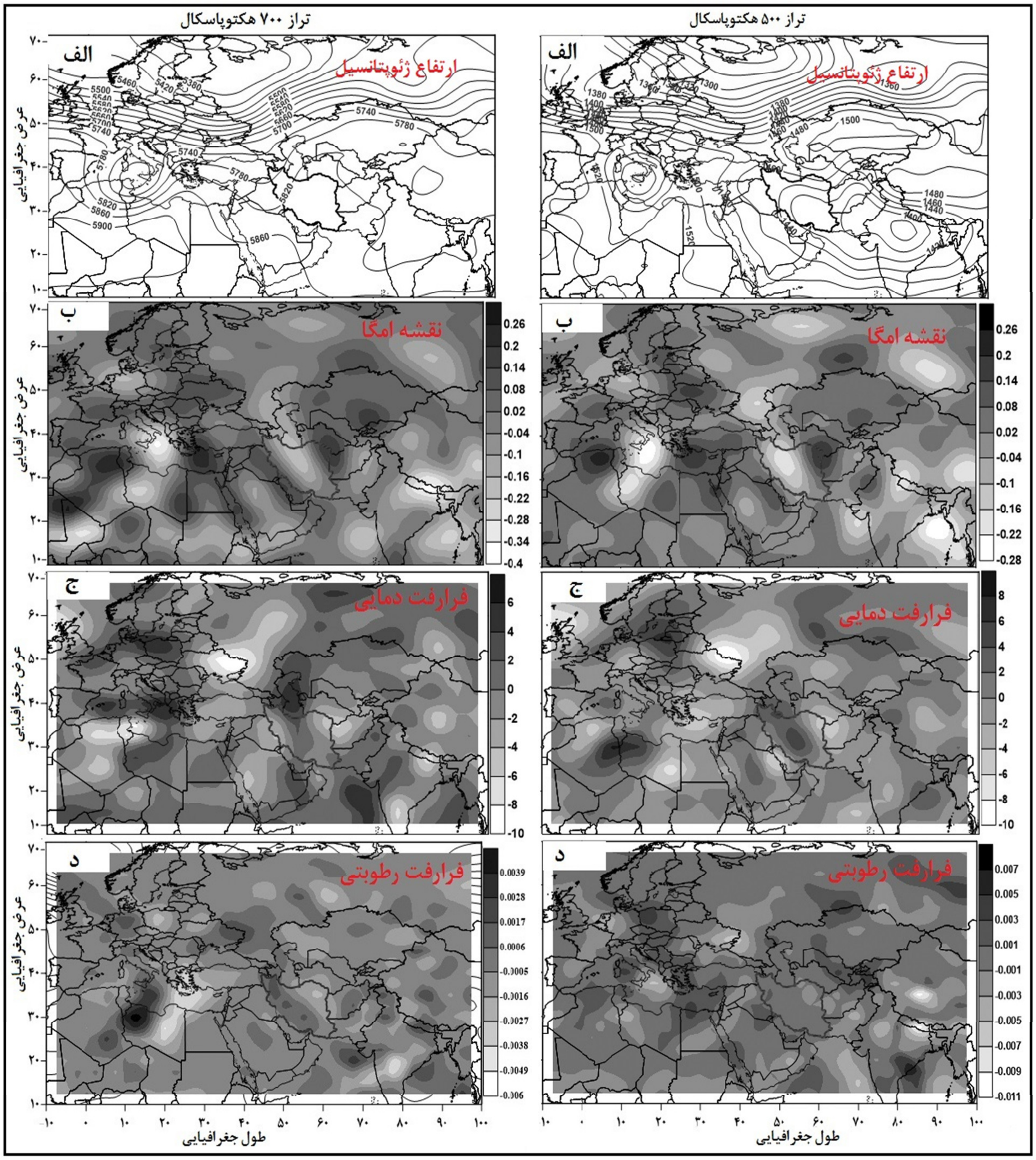
برای تحلیل بهتر شرایط سینوپتیکی توفان‌های تندری در هر پنج الگو، در گام اول اقدام به ترسیم نقشه‌های فشار تراز دریا شد. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در نقشه‌ی فشار تراز دریا در روز ۲۸ خرداد مرکز کم‌فشار دو هسته‌ای قطبی با فشار مرکزی ۹۹۰ و ۹۹۹ هکتوپاسکال با محوری تقریباً شمال شرق تا جنوب غرب تا شرق اروپا کشیده شده است و قسمت وسیعی از دشت سیبری (شمال روسیه) را در برگرفته است و پرفشار آزور با فشار مرکزی ۱۰۱۴ هکتوپاسکال بر روی اروپا و دریای سیاه در عرض ۵۰ درجه شمالی و ۵ درجه شرقی آن دیده می‌شود. قرار گرفتن این دو مرکز فشار در روبروی یکدیگر باعث افزایش گرادیان فشار شده و درنتیجه، مرکز پرفشار قرارگرفته بر روی اروپا با بهره‌گیری از رطوبت دریای مدیترانه و سیاه، زبانه‌های خود را به منطقه‌ی موردمطالعه می‌فرستد.



شکل (۴): نقشه روز نماینده فشار تراز دریا روز ۲۰۰۴/۶/۱۷(۲۸ خرداد ۱۳۸۳)

افزایش گرادیان فشار موجب افزایش سرعت باد گردیده و از سوی دیگر وجود رطوبت، موجب ایجاد ناپایداری نسبتاً شدید بر روی منطقه‌ی شمال غرب ایران و به تبعه آن استان زنجان در روز ۲۸ خرداد ۱۳۸۳ گردیده است... هم‌چنین پرفشار سیبری با فشار مرکزی ۱۰۱۱ هکتوپاسکال در شمال شرق دریاچه بایکال شکل‌گرفته است، کم‌فشار گنگ نیز با فشار مرکزی ۹۹۰ هکتوپاسکال به عرض ۲۵ درجه شمالی و ۷۵ درجه شرقی دیده می‌شود و زبانه‌ی ۹۹۹ و ۱۰۱۲ هکتوپاسکال آن پس از عبور از روی دریای عمان و خلیج‌فارس با محوری شرقی غربی از جنوب کوه‌های هیمالیا و ارتفاعات هندوکش وارد کشور شده و تا جنوب الجزایر گسترش داشته است. حضور این وضعیت در این موقع از سال حاصل فزونی دما و درنتیجه گنجایش رطوبتی هوا است. سلول کم‌فشاری هم بر روی عراق شکل‌گرفته که زبانه آن نیمه‌ی غربی و شمال خلیج‌فارس را در برگرفته است. تحلیل نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح جو بالا بیانگر یک مرکز کم ارتفاع با فشار مرکزی ۵۳۶۰ ژئوپتانسیل متر است که تقریباً در شمال اسکاندیناوی شکل‌گرفته است. جریانات جنوبی این کم ارتفاع به شکل یک ناوه تا شمال دریای سیاه گسترده شده است؛ به‌گونه‌ای که در اروپای مرکزی جریانات

شمال غرب – جنوب شرق می‌باشند و در مرکز دشت بزرگ سیبری جریانات حاصل از این ناوه با محوری جنوب غرب – شمال شرق در حال گسترش می‌باشند. از طرفی ناوه مربوط به کم‌فشار ایسلند (ناوه مدیترانه) بر روی مدیترانه شکل‌گرفته است؛ نحوه قرارگیری ناوه سبب ریزش هوای سرد عرض‌های بالا و عمیق شدن ناوه مذکور شده به‌گونه‌ای که به‌صورت یک مرکز سرد چال درآمده است؛ محور این سرد چال شمال شرق- جنوب شرق می‌باشد. پهنه‌ی شمال غرب و به تبعه آن منطقه‌ی موردمطالعه در جلوی محور ناوه قرارگرفته است و این موقعیت سبب همگرایی پایینی و واگرایی بالایی در این منطقه گردیده است که این حالت موجب ناپایداری و اغتشاش هوا می‌گردد. انتقال رطوبت از دریای مدیترانه با حرکتی واچرخندی و همچنین وجود شرایط ناپایداری جو در این مناطق از عوامل وقوع بارندگی می‌باشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال علاوه بر ناوه‌ی مدیترانه که بر شمال غرب حاکم است، کم‌فشار گنگ که کل هند پاکستان و افغانستان را در برگرفته است، پس از عبور از روی دریای عمان و شرق خلیج‌فارس وارد شرق و جنوب شرق ایران می‌شود و هوا گرم و رطوبت را وارد ایران می‌کند و چون هوای سرد از عرض‌های بالا به منطقه موردمطالعه تزریق‌شده، بارش به صورت تندر اتفاق افتاده است. در نقشه‌های امگا مقادیر منفی سرعت قائم دلالت بر صعود هوا (سرعت قائم بالاسو) و تقویت همرفت دارد، درحالی‌که مقادیر مثبت سرعت قائم نشان‌دهنده نزولی بودن هوا (سرعت قائم پایین‌سو) داشته و واگرایی را تقویت می‌کند. شاخص امگا در تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال بر روی شمال غرب کشور منفی است (۰.۰۵- و ۰.۰۱-) و کانون آن منطقه را گرفته است که نشان‌دهنده ناپایداری صعود هوا است. این مقادیر منفی امگا، باعث صعود دینامیکی هوا در این ترازهای جوی شده و تقویت جریان‌های همرفتی منجر به بارش را به دنبال داشته است. در روز بعد از روز نماینده کانون منفی شاخص امگا به سمت شرق منطقه جابه‌جاشده و شاخص امگا با مقادیر مثبت، در حال ورود به منطقه می‌باشند که نشان‌دهنده سرعت قائم پایین‌سو و پایداری هوا است. نقشه‌های وزش دمایی در نقشه (۵)، ملاحظه می‌شود، درزمان مذکور بر روی نقشه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، وزش دمای گرم یا مثبت بر روی شمال و شمال غرب و نواحی داخلی ایران حاکم است که بیشینه این دمای گرم بر روی دریای خزر با نرخ تقریباً سه درجه سانتی‌گراد قرار دارد که موجب ریزش دمای گرم به این مناطق شده است. همچنین جریانات مداری باد پس از عبور از مدیترانه و سوریه و عراق وارد شمال غرب کشور می‌شوند و شروع به وزیدن می‌کنند. وزش دمایی سردی نیز در بخش کوچکی از شمال شرق مشاهده می‌شود؛ اما نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، پیش روی هسته‌های دمایی منفی (سرد) تشکیل‌شده بر روی دریای سیاه و مدیترانه بعد از رسیدن به ترکیه باهم ادغام می‌شوند و پس از عبور از روی ترکیه باعث تشکیل هسته‌ی دمایی منفی بر روی عراق و شمال غرب و غرب کشور می‌شوند نقش ویژه تغذیه‌ی رطوبتی بارش در این روز، توسط دریای مدیترانه و سیاه در نقشه وزش رطوبتی دیده می‌شود. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. رطوبت حمل شده از روی دریای مدیترانه پس از عبور از روی دریای سیاه وارد شمال غرب ایران می‌شود. جهت وزش باد تائید کننده این مطلب می‌باشد.



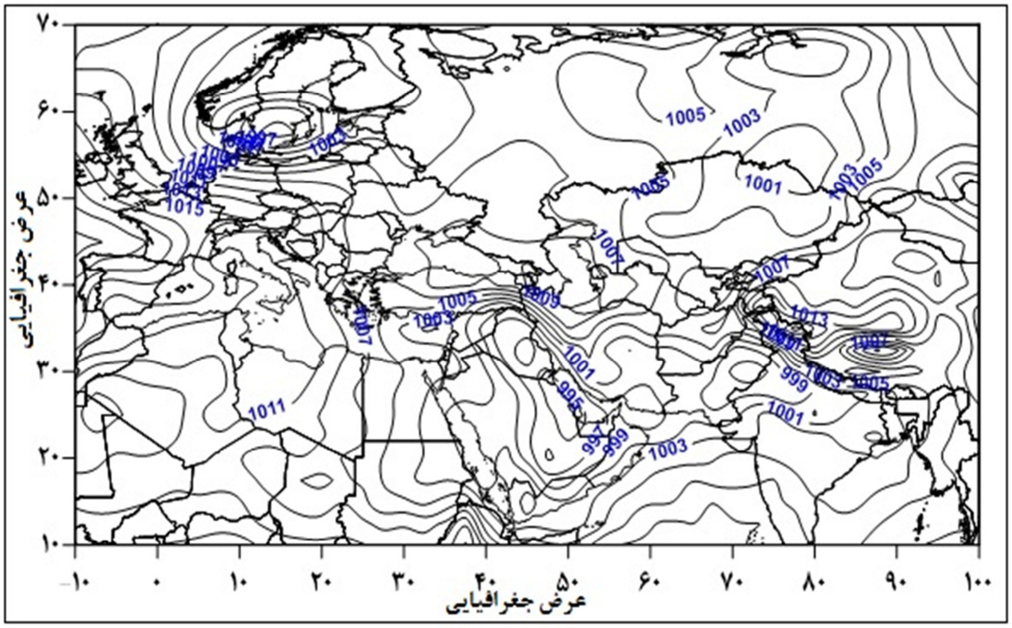
شکل (۵): (الف)نقشه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ب)، نقشه امگا تراز ۵۰۰ ، نقشه امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ج)نقشه فرارفت دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ، نقشه فرارفت دمایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (د) نقشه فرارفت رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال،و نقشه فرارفت رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال۱۳۸۳/۳/۲۸

هم‌چنین رطوبت موجود بر روی خلیج عدن به شمال خلیج‌فارس رسیده و وارد جنوب غرب شده و وزش باد، رطوبت دریای عمان را از طریق تنگه هرمز به نواحی داخل ایران منتقل می‌کند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت موجود بر روی دریای مدیترانه به مقدار بیشتری با رطوبت دریای سیاه ترکیب‌شده با عبور از روی عراق وارد شمال غرب و غرب کشور (ارتفاعات زاگرس) می‌شود و محدوده‌ی بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هوای مرطوب در شمال

غرب کشور تحت تأثیر صعود دینامیکی در جبهه زمینی و ناپایداری موج‌های کوتاه جو بالا، هم‌چنین صعود مکانیکی کوه‌های زاگرس اشباع‌شده و در محدوده استان زنجان بارش تندری ایجاد کرده است. شکل (۵).

تحلیل همدید نماینده (گروه دوم): کم‌فشار خاورمیانه، کم‌فشار گنگ (۲۰ تیر ۱۳۸۳)

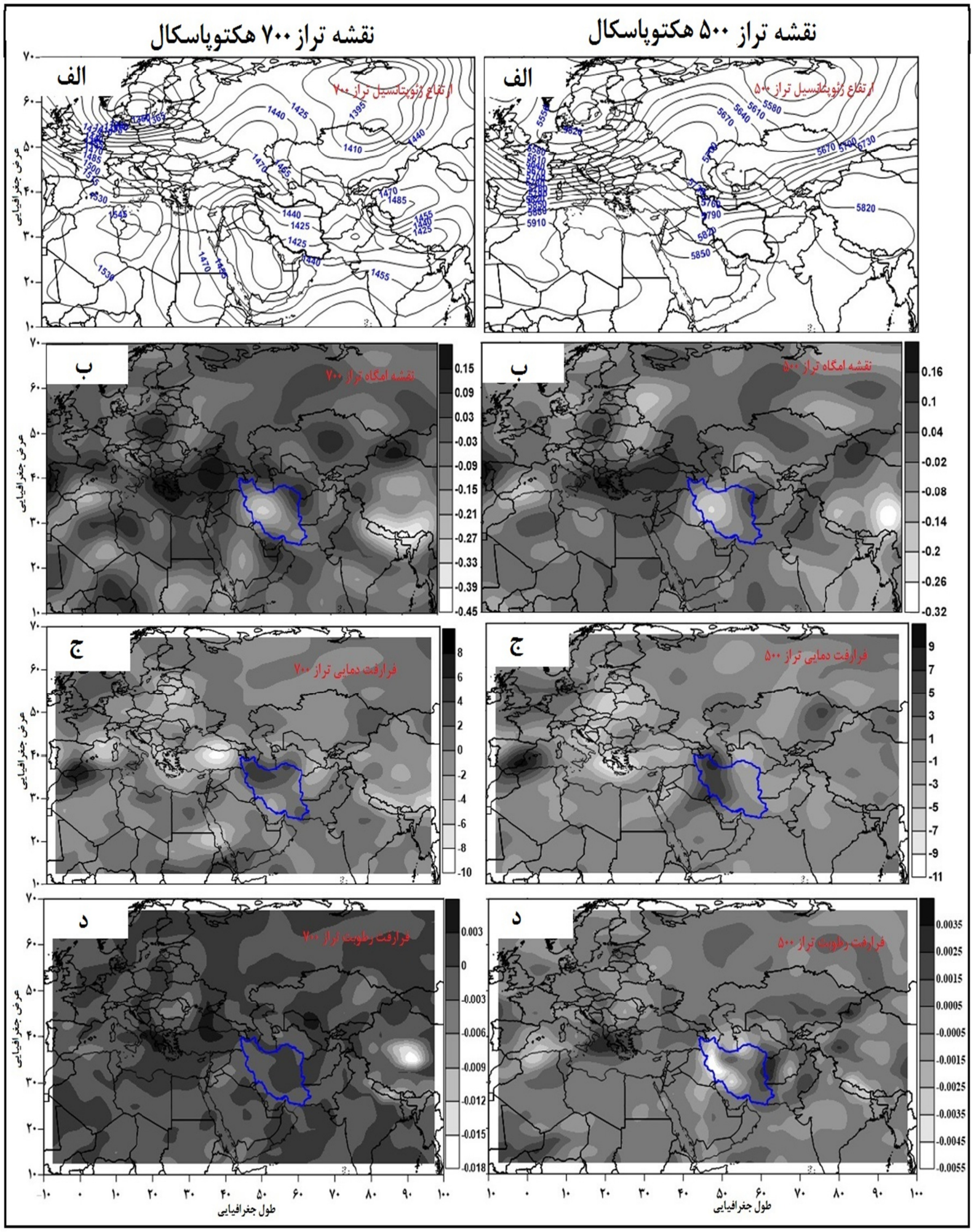
در این روز، سیستم غالب بر روی نقشه، کم‌فشارها می‌باشند، این کم‌فشارها بر روی روسیه، اسکاندیناوی، مدیترانه و آسیای مستقرشده‌اند. هم‌چنین کم‌فشار دو هسته‌ای بر روی منطقه خاورمیانه و پاکستان شکل‌گرفته است. لازم به ذکر است کم‌فشار اخیر منشأ گرفته از کم‌فشارهای سودانی و گنگ می‌باشد. کم‌فشار خاورمیانه با فشار مرکزی ۹۹۸ هکتوپاسکال تشکیل شده که ایران و به تبعه از آن منطقه‌ی مورد مطالعه تحت تأثیر این سامانه قرارگرفته است. این سامانه از سمت غرب تا اقیانوس هند امتداد دارد. زبانه کم‌فشار ۱۰۰۲ هکتوپاسکالی از روی منطقه موردمطالعه عبور کرده است که سبب گردش وزش هوای شمال غربی-جنوب شرقی شده است. تحت تأثیر این سامانه، هوای سرد از عرض‌های بالا به منطقه وارد شده است و سبب تلاقی هوای گرم و سرد در این منطقه شده است که این امر شرایط را برای بارش توفان تندری فراهم کرده است. هم‌چنین پرفشار آزور نیز تا مدیترانه و شمال آفریقا پیشروی داشته و پرفشار سیبری کاملاً عقب‌نشینی کرده است شکل (۶).



شکل (۶): فشار سطح دریا برای روز ۲۰۰۴/۷/۱۱ (۲۰ تیر ۱۳۸۳)

در نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روز، یک سامانه‌ی کم ارتفاع چندهسته‌ای بر روی اروپا و مرکز روسیه کشیده شده است. همچنین هسته‌ی پرفشار آزور نیز زبانه‌های خود را به‌طرف شرق ارسال کرده است. کشور ایران و منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر این دو سامانه قرارگرفته است؛ به طوری‌که منطقه‌ی موردمطالعه در جلوی ناوه‌ای که بر روی عراق جریان یافته، قرارگرفته که همین امر هوای گرم و مرطوب را به منطقه به ارمغان آورده است؛ بنابراین این هوا همراه با شرایط سینوپتیکی سطح زمین، امکان بارش تندری را فراهم کرده است. در نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، همانند شرایطی که در سطح هکتوپاسکال ۵۰۰ دیده می‌شود، سامانه‌ی چندهسته‌ای بر روی شمال نقشه قرارگرفته است و ناوه‌ای که تحت تأثیر

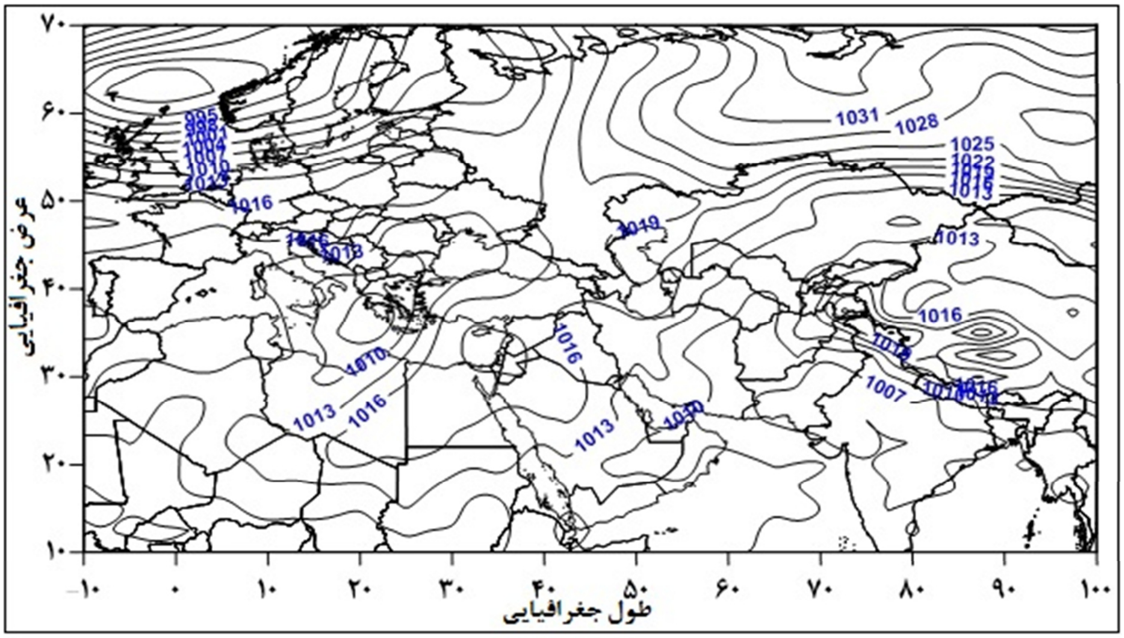
این سامانه است بر روی منطقه موردمطالعه جریان دارد. زبانه پر ارتفاع جداشده از آزور بر روی خلیج‌فارس و جنوب ایران بسته‌شده که مانع عمیق شدن ناوه شده است. این مرکز در حال تشکیل سبب تلاقی هوای گرم و سرد (خنک) شده و درنتیجه شرایط را برای بارش تندری فراهم کرده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، شاخص منفی امگا با یک هسته قوی و بزرگ در مرکز ایران شکل‌گرفته که این شاخص تمام نقاط ایران خصوصاً نیمه غربی را تحت تأثیر خود قرارداد است. این امر نشانه صعود هوا در این روز در شمال غرب و به‌تبع آن منطقه موردمطالعه می‌باشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز همین شاخص به‌وضوح دیده می‌شود، با این تفاوت که با شدت کمتر و محدوده تحت پوشش کمتر. هم‌چنین چهار هسته امگا مثبت در اطراف این شاخص شکل‌گرفته است که به ترتیب بر روی مدیترانه، ترکیه، شرق دریای خزر و عربستان کشیده شده‌اند که سبب شده است این مناطق یک نزول گسترده را در ترازهای زیرین جو تجربه کنند؛ بنابراین مقادیر منفی امگا، باعث صعود دینامیکی هوا در این ترازهای جوی شده و به‌تبع آن تقویت جریان همرفتی منجر به بارش را به دنبال داشته است. به دنبال این فرآیند، بر میزان ناپایداری‌ها افزوده‌شده و شرایط کژفشاری تقویت‌شده است که نتیجه آن، ایجاد هوای منقلب بر روی منطقه موردمطالعه و رخداد بارش تندری در این ناحیه شده است. با توجه به اینکه در هر دو تراز مورد مطالعه سرعت قائم منفی بوده در این روز ناپایداری شدیدی بر جو محدوده موردمطالعه واقع‌شده است. نقشه‌های وزش دمایی نشان می‌دهند که دو کانون دمایی سرد بر روی مدیترانه و مرکز اروپا قرارگرفته است و یک کانون هوای گرم نیز بروی شمال غرب کشور متمرکز گردیده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به سمت شمال غرب و منطقه مورد مطالعه کشیده شده است؛ در سطوح بالاتر تمام منطقه شمال و شمال غرب تا غرب تحت سیطره این توده‌هوایی قرارگرفته است. منابع تأمین گرمای این وزش‌ها دریای مدیترانه و دریای سیاه می‌باشد. جهت بادهای شمال شرقی که در حال ریزش هوای سرد عرض‌های بالای اروپا به عرض‌های پایین می‌باشد، با بادهایی که از سمت جنوب غربی نشأت‌گرفته از عرض‌های پایین، سبب تداخل دو توده‌هوای گرم و سرد شده است که همین امر نشان از وجود وزش گرم و عامل صعود در منطقه موردمطالعه و نهایتاً، ناپایداری جوی در روز موردنظر گردیده است نقشه وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نشان‌دهنده نقش ویژه تغذیه رطوبتی این بارش توسط دریای سیاه و دریای مدیترانه می‌باشد. در درجه اول دریای سیاه و سپس دریای مدیترانه تأمین‌کننده رطوبت این بارش می‌باشند؛ بدین‌صورت که رطوبت نشأت‌گرفته از اقیانوس اطلس پس از عبور از روی دریای مدیترانه بر روی اروپای شرقی تغییر مسیر داده و از روی دریای خزر وارد ایران و منطقه موردمطالعه می‌شود. در ترازهای ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز وضعیت بدین منوال می‌باشد، با این تفاوت که نقش تغذیه رطوبتی دریای سیاه بیشتر شده و رطوبت بیشتری از این طریق وارد منطقه موردمطالعه می گردد. ترکیب رطوبت منابع رطوبتی که در بارش تندری سهیم بوده‌اند افزایش پیدا می‌کند؛ به‌طوری‌که رطوبت موجود بر روی دریای مدیترانه پس از دوشاخه شدن بادهای غربی در غالب این بادها، به مقدار بیشتری با رطوبت دریای خزر و دریای سیاه ترکیب‌شده و وارد ایران می‌گردد. این مسئله، سبب تغذیه رطوبتی دوچندان این بارش شده است شکل (۷).



شکل (۷): (الف)نقشه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ب)، نقشه امگا تراز ۵۰۰ ، نقشه امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ج)نقشه فرارفت دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ، نقشه فرارفت دمایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (د) نقشه فرارفت رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه فرارفت رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۰۰۴/۷/۱۱

تحلیل همدید نماینده گروه سوم: کم‌فشار قطبی، پرفشار سیبری (۱۳۸۶/۱/۲۰)

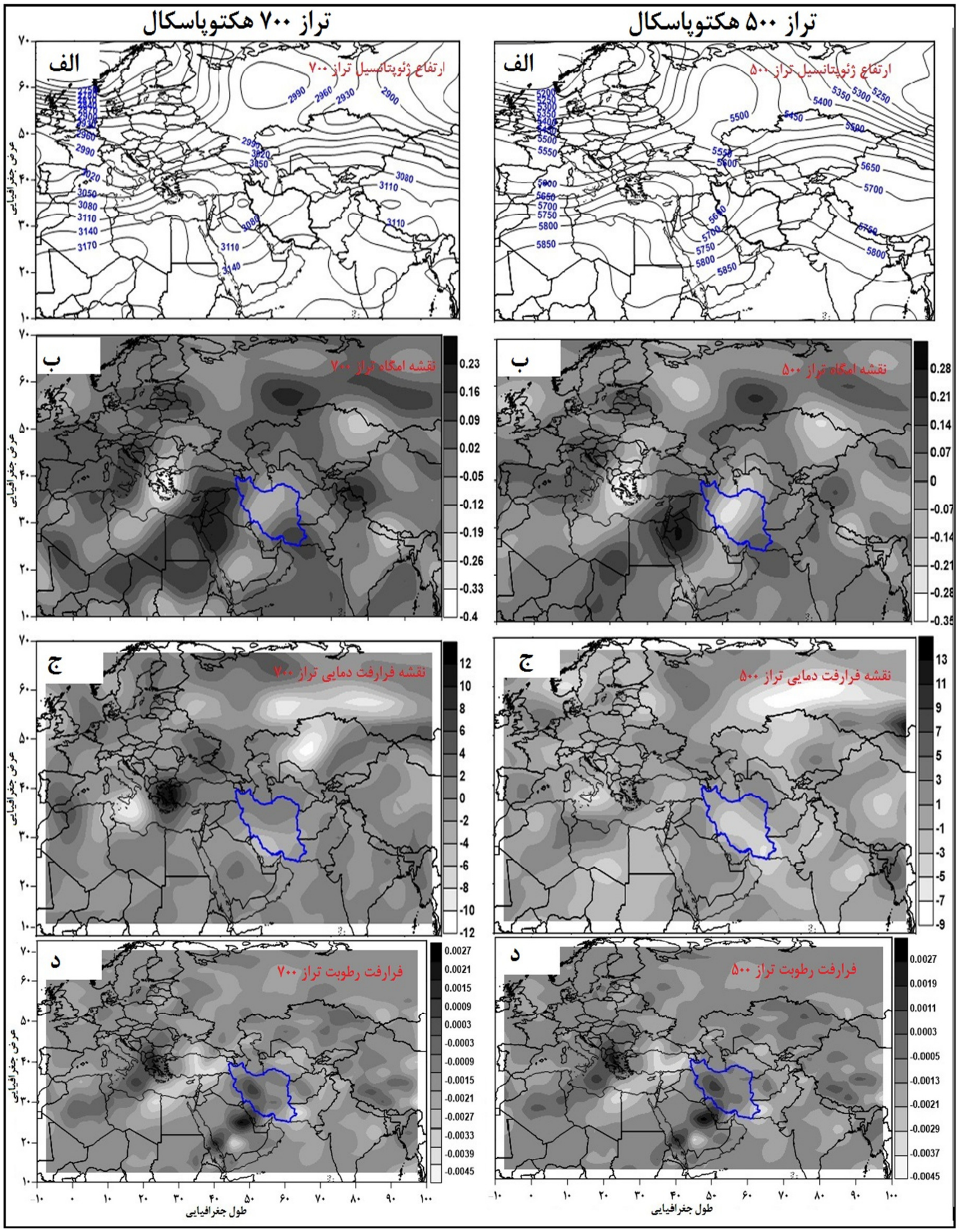
در شکل (۹) توزیع فشار سطح دریا را در روز ۲۰ فروردین ۱۳۸۶ نشان می‌دهد. پرفشار آزور با حرکت آنتی سیکلونی خود به سمت عرض‌های بالاتر سبب رانده شدن کم‌فشار ایسلند به سمت شرق و در پی آن ادغام این کم‌فشار با کم‌فشار قطبی شده است و تقابل دو کم‌فشار مذکور به گسترش آن‌ها منجر شده است. در محل برهم‌کنش این کم‌فشارها با پرفشار سیبری جبهه ایجاد شود و ناپایداری هوا را در پی داشته باشد. کم‌فشار بریده‌شده از سودان و دریای سرخ نیز بر روی شمال خلیج‌فارس، عربستان و عراق شکل‌گرفته که سبب انتقال هوای گرم در امتداد زبانه‌ی این مرکز بر روی شمال غرب ایران شده است. در این روز، شمال غرب ایران هنوز تحت تأثیر هوای سرد عرض‌های شمالی قرار دارد. هم‌چنین یک مرکز کم‌فشار جدا از کم‌فشار گنگ با فشار مرکزی ۱۰۰۵ هکتوپاسکال در شرق ایران نیز شکل‌گرفته است که این سامانه همراه با سامانه همتای خود بر روی خاورمیانه، منطقه مورد مطالعه را تحت‌تأثیر قرارداد به‌طوری که استان زنجان بین دوزبانه کم‌فشار ۱۰۱۰ و ۱۰۱۵ هکتوپاسکال محصورشده است.



شکل (۹): نقشه فشار تراز دریا در روز ۲۰۰۷/۴/۹ (۲۰ فروردین ۱۳۸۶)

در نقشه‌ی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، کانون کم ارتفاع ۵۲۰۰ متر در منطقه سیبری مشاهده می‌گردد که دامنه این کانون به‌صورت ناوه ای کل منطقه موجود در نقشه را در برگرفته است. زبانه‌های مربوط به کم‌فشار قطبی بر روی دریای سیاه، ترکیه شرق مدیترانه یک ناوه ی عمیق ایجاد کرده و ریزش هوای سرد عرض‌های بالا موجب عمیق شدن این ناوه شده به‌طوری که در محور ناوه حداکثر چرخندگی یا تاوایی متمرکز است. منطقه شمال غرب در جلوی ناوه نشأت‌گرفته از قسمت‌های شمالی اروپا قرارگرفته که سبب ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به عرض پایین می‌شود. در نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ناوه عمیق‌تر شده و به دریای سرخ رسیده است و جابجایی مرکز ناوه به سمت نواحی شمال غرب ایران قابل‌مشاهده است، تقریباً تمامی قسمت‌های منطقه موردمطالعه تحت استیلای موج غربی قرار دارد. قرارگیری

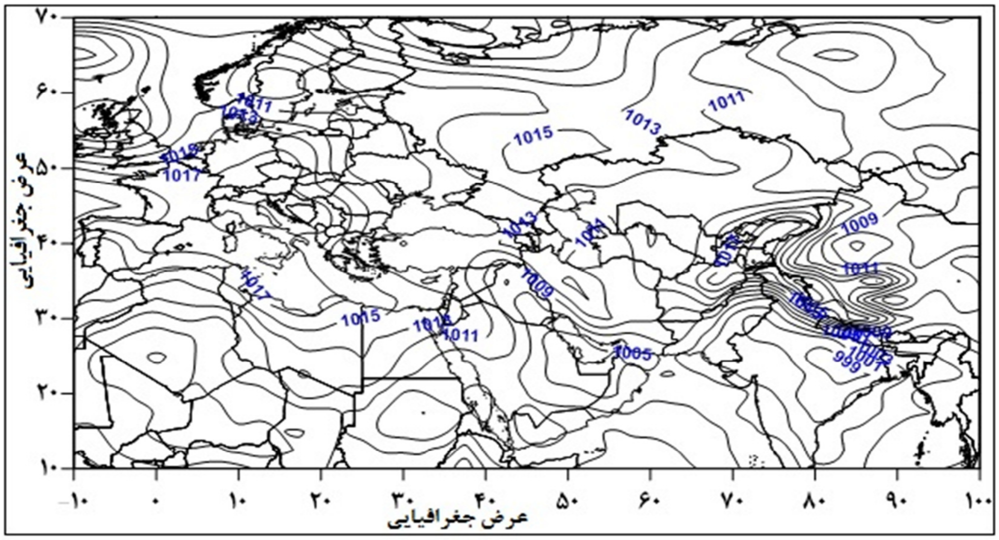
منطقه موردمطالعه در جلوی ناوه باعث حاکمیت جریانات غربی و جنوب غربی شده که این جریانات سبب ناپایداری تراز میانی و نیز انتقال رطوبت دریای مدیترانه و دریای سیاه شده است. شاخص امگا منفی سه هسته‌ای بر روی دریای سرخ و عربستان، دریای خزر و شمال غرب ایران و قزاقستان و جنوب روسیه دیده می‌شود. کانون شاخص امگایی که بر روی شمال و شمال غرب کشور متمرکز می‌باشد، منفی است و کمربندی از آن بر روی غرب و نواحی مرکزی ایران دیده می‌شود؛ بنابراین شدت صعود هوابر روی شمال غرب و استان زنجان قوی می‌باشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال علاوه بر شرایط فوق هسته‌ی منفی امگا کاملاً بر روی شمال غرب و استان زنجان قرارگرفته است بنابراین فرا رفت هوای سرد و مرطوب در این مناطق حاکم است، علاوه بر این هسته‌ی منفی، بر روی غرب و جنوب غرب کشور یک کانون شاخص مثبت نیز دیده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی نزول هوا و پایداری در این منطقه می‌باشد با توجه به مقایسه‌ای که بین نقشه امگا با نقشه‌های تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل صورت گرفت، وجود ناپایداری در این روز در منطقه کاملاً محرز می‌باشد. سه کانون دمایی سرد و گرم بر روی نقشه وزش دمایی مشاهده می‌شود؛ یک کانون وزشی سرد بر روی شمال دریای سیاه و اوکراین قرارگرفته، کانون دمایی سردی نیز بر روی دریای مدیترانه و دریای سرخ دیده می‌شود فلش‌های بادها، جریان‌های وزشی را به سمت منطقه موردمطالعه به‌خوبی نشان می‌دهند؛ که یک کانون هوایی گرم بر شمال غرب و منطقه موردمطالعه متمرکز گردیده است. جهت بادهای غربی نیز که در حال ریزش هوای سرد عرض‌های بالای اروپا به سمت عرض‌های پایین به‌صورت شمال غربی- جنوب‌شرقی می‌باشند، در نزدیکی محل یادشده به‌یک‌باره تغییر کرده و جهت را به سمت شمال شرق تغییر می‌دهند. این امر نشان از وجود وزش گرم و عامل صعود در منطقه موردمطالعه می‌باشد که باعث ناپایداری جوی در استان زنجان شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال هسته سرد تشکیل‌شده بر روی دریای سیاه به سمت عرض‌های بالاتر جابه‌جاشده و هسته گرم، کل ایران و دریای خزر را در برگرفته است. هم‌چنین وزش دمایی گرم دریای سرخ که پس از عبور از عراق وارد غرب کشور می‌شود، به‌وضوح نمایان است. در ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال وزش باد عامل انتقال یا وزش رطوبت از دریای مدیترانه و سیاه به سمت شمال غرب ایران بوده، جهت وزش بادهای غربی از سمت شمال اروپا می‌باشد که با خود هوای سرد و مرطوبی که در عرض‌های بالا وجود دارد را به عرض‌های پایین منتقل می‌کند. سامانه مانع شکل‌گرفته بر روی اروپا، سبب دوشاخه شدن بادهای غربی حامل رطوبت شده است؛ به‌گونه‌ای که در نزدیکی شمال غرب کشور جهت باد تغییر کرده و به سمت عرض‌های بالاتر صعود می‌کند. این امر سبب تغذیه رطوبتی بادها از طریق دریای سرخ و خلیج‌فارس به کشور ایران می‌شود. بر روی نوار شمال شرقی- جنوب غربی ایران یک منبع رطوبتی بزرگ دیده می‌شود. علاوه بر این، بر روی منطقه موردمطالعه نیز یک کانون رطوبتی ضعیفی قرارگرفته است که همین رطوبت اندک با همراهی شرایط سینوپتیکی سطح بالا و توپوگرافی سطح زمین توانسته است مقدمات را برای بارش فراهم کند. بنابراین قرارگیری زنجان در شرق ناوه شکل‌گرفته نشان می‌دهد هوای سرد سطح بالا به کوه‌های شمال غربی برخورد کرده و صعود می‌کند و وجود کم‌فشار موجود در شمال غرب ایران موجب افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل شده، ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به شمال غرب و وجود هوای گرم و در پی آن وزش گرم در این منطقه در سطح زمین موجب شکل‌گیری جبهه‌هایی در شمال غرب در سطح زمین شده که موجب بارش تندری در این مناطق شده است.



شکل (۱۰): (الف)نقشه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ب)، نقشه امگا تراز ۵۰۰ ، نقشه امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ج)نقشه فرارفت دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ، نقشه فرارفت دمایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (د) نقشه فرارفت رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه فرارفت رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۰۰۷/۴/۹

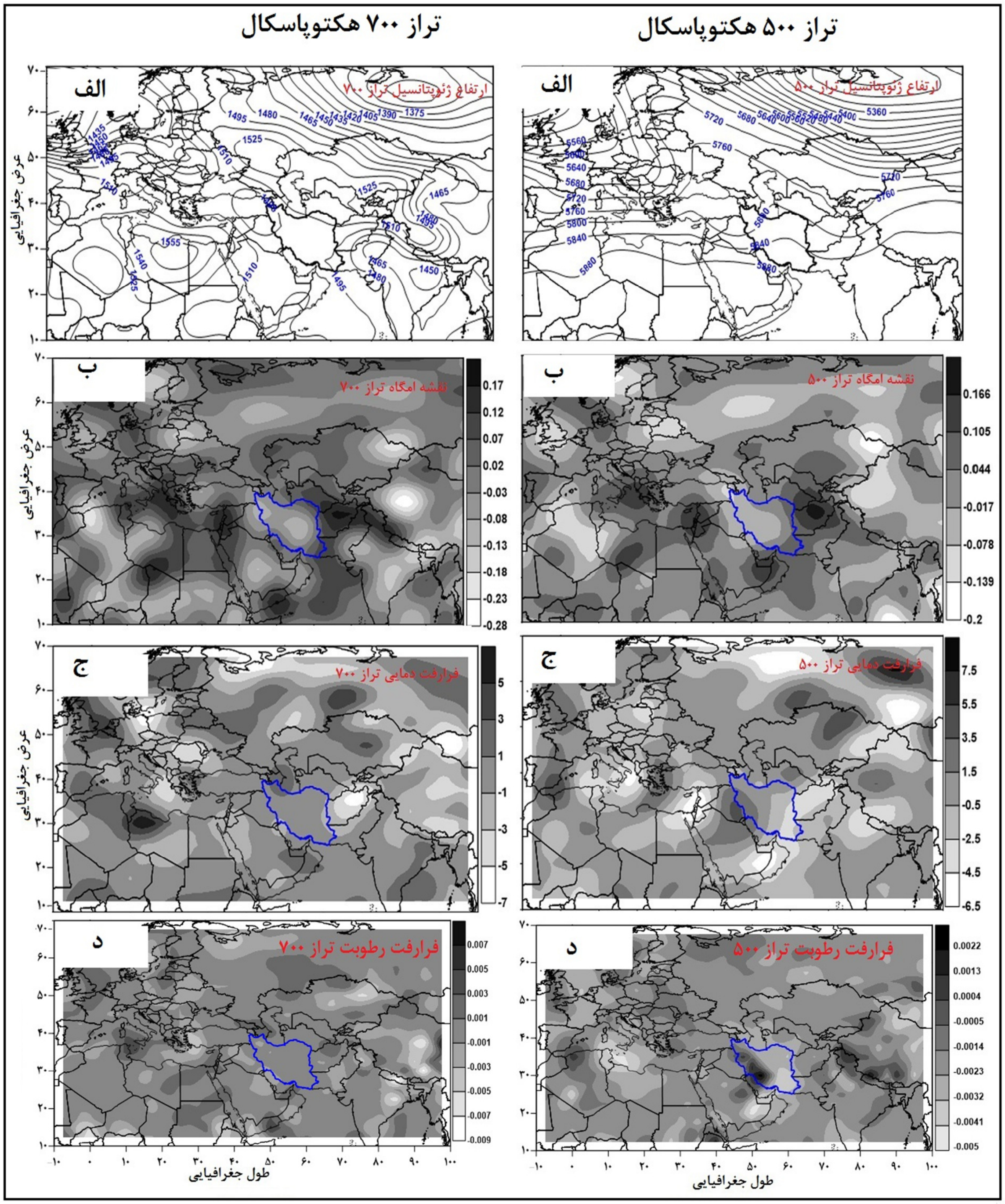
تحلیل همدید نماینده گروه چهارم: پرفشار اروپایی، کم‌فشار سودانی (۱۳ خرداد ۱۳۷٤)

نقشه‌ی فشار سطح زمین، نشان می‌دهد که الگوی غالب فشار در این روز بارشی، استقرار پرفشارهای حرارتی بر روی اروپا و شمال دریای مدیترانه، تبت و شمال روسیه (سیبری) و کم-فشارهای حرارتی بر روی جنوب شرق هند، هسته‌ی کم‌فشار جداشده سودان بر روی عربستان و خلیج‌فارس و کم‌فشار آسیایی می‌باشد. درنتیجه این الگو، یک شیب فشار بین پرفشارهای حرارتی مستقر بر روی چین و پاکستان و سیبری و پرفشار اروپایی و زبانه‌های کشیده شده از آن‌ها به داخل ایران (شمال غرب) با کم‌فشارهای مستقر بر روی سودان و خلیج‌فارس کم‌فشار آسیایی و جنوب شرق هند و زبانه‌های آن‌ها (که تا دریای عمان و خلیج‌فارس کشیده شده) به وجود آمده است. در این روز، یک سامانه‌ی کم‌فشار ضعیف با منشأ کم‌فشار سودانی بر روی منطقه موردمطالعه در حال شکل‌گیری می‌باشد که به‌نوبه خود سهم مهمی در ایجاد بارش تندری خواهد داشت. زبانه‌ی ۱۰۱۱ هکتوپاسکالی از شمال غرب وارد کشور شده و در امتداد کوه‌های زاگرس گسترش‌یافته و به علت استقرار کم‌فشار در جنوب ایران، به پرفشار اجازه پیش روی بیشتر داده نداده است. منطقه شمال غرب، تحت استیلای دو مرکز کم‌فشار و پرفشار قرارگرفته است که باعث ایجاد جو متلاطم یا باروکلینک در منطقه شمال غرب و استان زنجان شده است و شرایط برای بارش تندری در استان زنجان فراهم شده است.



شکل (۱۱): نقشه فشار تراز دریا روز ۱۹۹۵/۶/۳(۱۳ خرداد ۱۳۷۴)

در نقشه‌ی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. ناوه عمیقی با محوری شمال غرب جنوب شرق که از غرب اروپا شروع شده و تا غرب دریای سیاه و ترکیه کشیده شده است، قابل‌تشخیص می‌باشد. جریانات جنوبی این ناوه که بر روی مدیترانه به صورت خطوطی تقریباً موازی دیده می‌شود، طی حرکتی شرق سو به شکل یک ناوه بر روی عراق قرارگرفته است. نیمه‌ی غربی ایران جلوی بازوی بالارونده‌ی ناوه مذکور قرار می‌گیرد که تقریباً تمامی قسمت‌های منطقه‌ی موردمطالعه تحت استیلای بادهای غربی قرار دارد؛ بنابراین، در پهنه‌ی شمال غرب کشور ناپایداری جو رخ‌داده و رطوبت و گرمای حاصل از مدیترانه طی حرکتی پادساعت‌گرد درجلوی محور ناوه تخلیه شود.



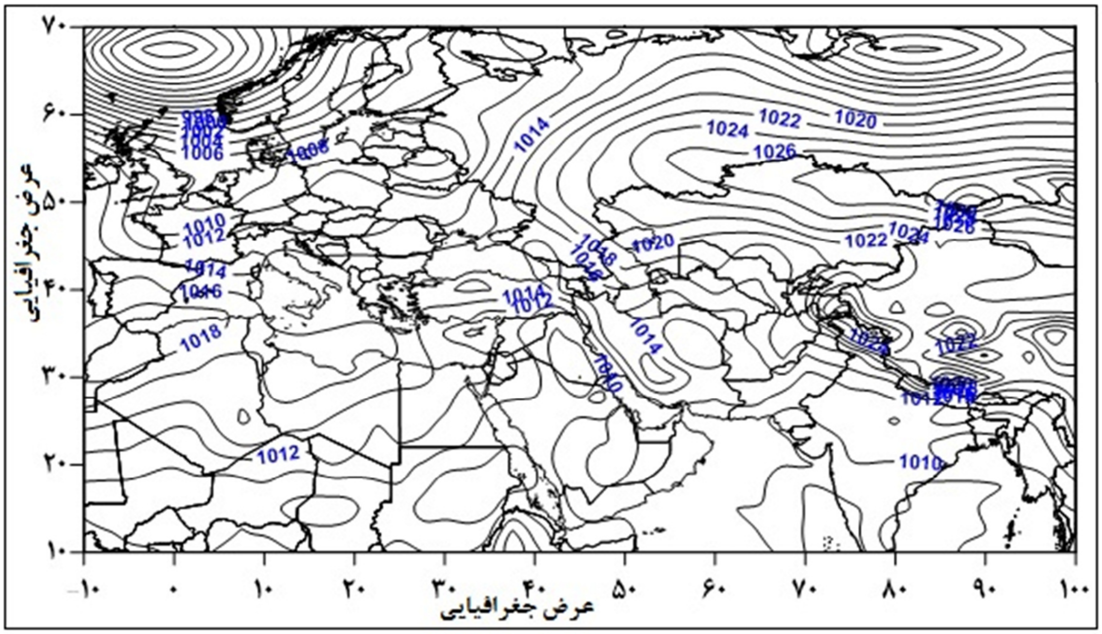
شکل (۱۲): (الف)نقشه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ب)، نقشه امگا تراز ۵۰۰، نقشه امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ج)نقشه فرارفت دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ، نقشه فرارفت دمایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (د) نقشه فرارفت رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه فرارفت رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۹۹۵/۶/۳

در تراز ۷۰۰ تغییر چندانی نسبت به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی دیده نمی‌شود فقط ناوه عمیق‌تر شده و قسمت‌هایی از مرکز ایران را نیز در برگرفته است. کمربندی از شاخص منفی امگا با چند هسته از جنوب غرب روسیه تا قزاقستان، دریای خزر و ایران کشیده شده است، به‌وضوح می‌توان مشاهده نمود کانون نسبتاً بزرگ و قدرتمندی از شاخص منفی امگا با بیشینه ۰.۰۱-

در شمال غرب و منطقه موردمطالعه وجود دارد که تمام منطقه را پوشش داده است. این هسته ارتباط مستقیم با هسته امگای منفی قوی موجود بر روی روسیه دارد. این وضعیت، موجب صعود و ناپایداری هوا را در این روز در شمال غرب فراهم کرده است. هم‌چنین سه هسته‌ی امگای مثبت بر روی دریای مدیترانه، سرخ و خلیج‌فارس تشکیل‌شده است که این مناطق یک نزول گسترده را در ترازهای زیرین جو تجربه می‌کنند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، هسته‌ی منفی امگا بر روی ایران قوی‌تر به نظر می‌رسد. این هسته با هسته همتای خود بر روی جنوب عربستان، هسته امگای مثبت موجود بر روی جنوب خلیج‌فارس را احاطه کرده‌اند. بیشینه امگای منفی بر روی ایران به ۰.۳- رسیده است. این هسته، کل کشور ایران را در برگرفته است. با توجه به اینکه در هر دو تراز موردمطالعه سرعت قائم هوا منفی بوده، در این روز ناپایداری شدیدی در جو منطقه موردمطالعه وجود دارد. نقشه وزش دمایی ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای روز موردنظر را نشان می‌دهد که یک کانون دمایی سرد بر شمال دریای سرخ قرارگرفته و یک کانون هوای گرم نیز بروی غرب و شمال غرب کشور متمرکز گردیده است. جهت بادها نیز که در حال ریزش هوای سرد عرض‌های بالای اروپا به عرض‌های پایین می‌باشد به‌یک‌باره به سمت شمال شرقی تغییر کرده است. جهت وزش بادهایی که وارد کشور ایران شده‌اند، تحت تأثیر کانون‌های دمایی، دوشاخه شده و در جهت شمال و جنوب شروع به وزیدن کرده‌اند. منابع تأمین گرمای این وزش‌ها، دریای مدیترانه، سرخ و سیاه می‌باشد. منطقه موردمطالعه نیز، تحت تأثیر کانون دمایی گرم در غرب کشور قرارگرفته که نشان از وجود وزش گرم و عامل صعود در منطقه موردمطالعه می‌باشد. در این روز، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کانون وزش رطوبتی ضعیفی در نوار غربی- شمالی و شرقی کشور ایران دیده می‌شود جهت وزش رطوبت در این تراز به شکل سینوسی می‌باشد. در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز، یک هسته‌ی رطوبتی بر روی عراق و غرب و شمال غرب ایران نیز شکل گرفته است که نسبت به سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال قوی‌تر می‌باشد. جهت حرکت بادهای مداری و نصف‌النهاری، انتقال رطوبت از دریای با دنبال کردن مسیر بردارهایی که نشان‌دهنده‌ی سمت و سرعت باد هستند مشاهده می‌شود که در ترازهای فوق، نقش منبع رطوبتی دریای سرخ و مدیترانه در تأمین رطوبت برای بارش تندری واضح‌تر است؛ بنابراین توده‌هوای گرم و مرطوبی به سمت غرب و شمال غرب ایران هدایت می‌شود همگرایی رطوبت در منطقه ایجادشده است که زمینه‌هایی از بارش تندری این زمان را در استان زنجان ایجاد نماید.

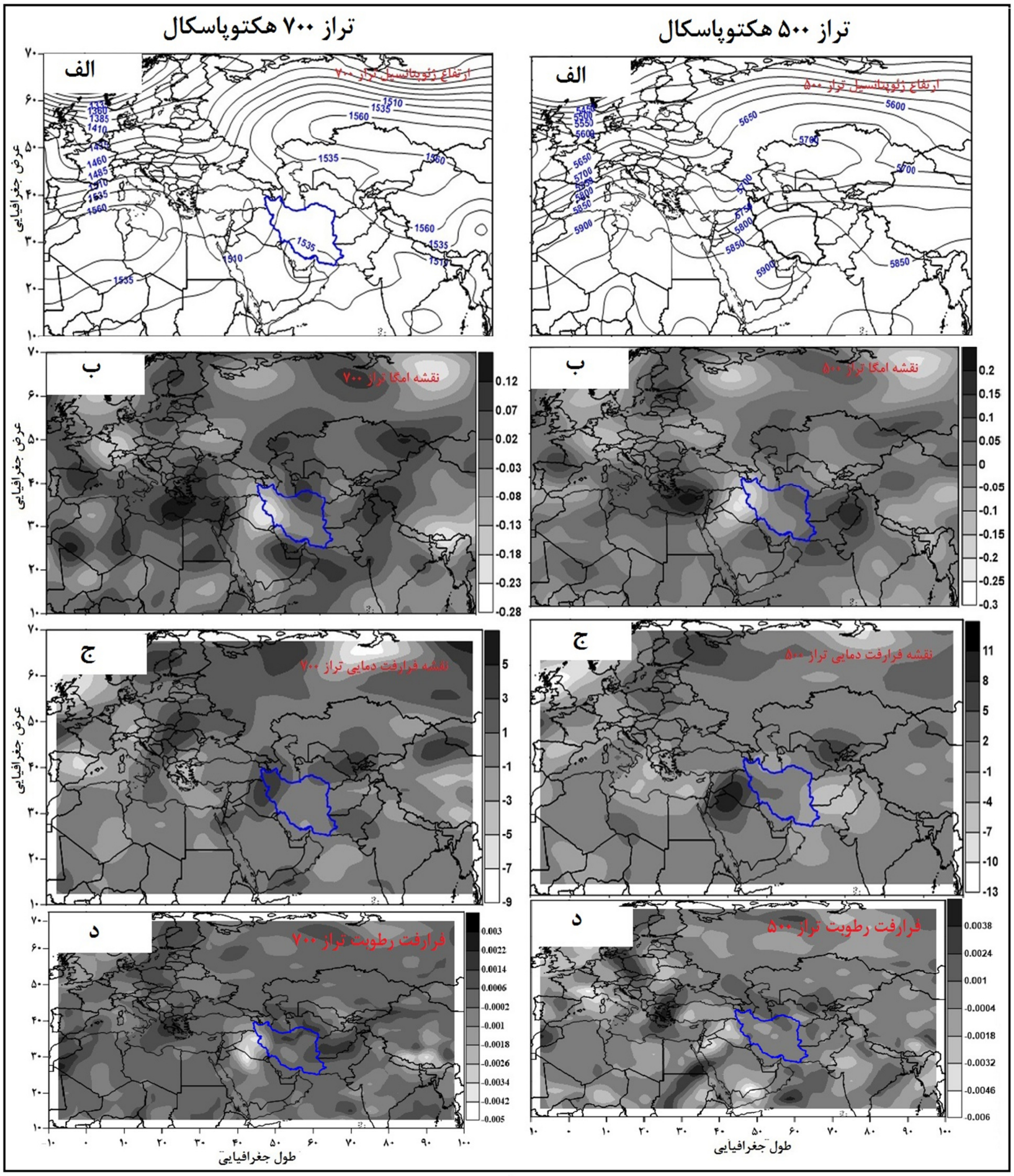
تحلیل همدید روز نماینده گروه پنجم: پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان (۱۱ مهر ۱۳۸۲)

نقشه تراز سطح دریا نشان می‌دهد که الگوی غالب فشار در این روز بارشی، استقرار پرفشارهای حرارتی بر روی مرکز و غرب چین، شمال شرق پاکستان و سیبری می‌باشد. درنتیجه این الگو، یک شیب فشار عمودی بین پرفشارهای حرارتی باکم فشارهای مستقر بر روی سودان و جنوب شرق هند و زبانه‌های آنها به وجود آمده است. این گرادیان شدید فشاریِ ایجادشده، باعث شدت یافتن سرعت باد درد فاصل بین مراکز چرخنده‌ها و واچرخندها و تقویت جریان همگرایی بین گردش چرخنده‌ها و واچرخندها شده است. وجود جریان‌های همگرایی شدید در ناحیه کم‌فشارها باعث تقویت حرکات واگرایی سطوح فوقانی وردسپهر شده و با تقویت صعودهای دینامیکی، بر شدت ناپایداری‌ها افزوده است. از طرفی، شیب فشاری تقریباً مداریِ ایجادشده بین کم‌فشار واقع بر روی ایسلند با پرفشارهای مستقر بر روی چین و شمال پاکستان، باعث شدت یافتن جریان همگرایی مابین چرخند و واچرخندها شده که این امر، با ایجاد جریان‌های شمال غربی- جنوب شرقی و انتقال رطوبت از منابع رطوبتی غربی و شمال غربی به داخل ایران، صعود شدید هوا و درنتیجه ریزش بارش تندری ایستگاه موردنظر را به همراه داشته است.



شکل (۱۳): نقشه فشار تراز دریا روز ۲۰۰۳/۱۰/۳ (۱۱ مهر ۱۳۸۲)

تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان‌دهنده وجود یک پشته بر روی مرکز اروپا که تا شمال آفریقا کشیده شده است می‌باشد، بر روی دریای سیاه نیز یک ناوه مستقرشده است. جریانات جنوبی این ناوه با همراهی بادهای غربی تا شمال دریای سرخ با محوری تقریباً شمال شرق- جنوب غرب گسترده شده‌اند. ریزش هوای سرد عرض‌های بالا در دل این فرود و برخورد آن با هوای گرم شمال شرق آفریقا، شیو دمای شدیدی را موجب شده که شرایط دگرفشار را بر منطقه حاکم کرده است و باعث عمیق شدن ناوه مذکور شده است؛ بنابراین استقرار محور ناوه بر روی دریای مدیترانه و دریای سرخ، باعث مکش رطوبتی، ادغام و جذب و حمل آن به سمت شرق ناوه شده و با گسترش شرایط واگرایی شدید و صعود دینامیکی هوا در وردسپهر، بارش تندری را به دنبال داشته است. بررسی نقشه‌های شاخص امگای ترازهای سطح بالا، شرایط را به لحاظ دینامیکی برای صعود هوا و ایجاد بارش فراهم آورده است. جریان منفی امگا بر روی منطقه موردمطالعه و شمال غرب کشور می‌باشد که باعث تشدید جریان واگرایی در وردسپهر شده و با حرکت سوبسیدانسی خود، سبب صعود هوای جو بالا و ایجاد هوایی ناپایدار در سطح زمین شده است. مرکز امگایی منفی شکل‌گرفته در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، بر روی نواحی شمال غرب و غرب ایران مانند کمربندی از دریای سرخ و عربستان، تا دریای سیاه و شمال اروپا ادامه داشته، هسته‌ی اصلی آن نیز با ۰/۲۵- بر روی شمال غرب ایران قرار دارد، در اطراف این جریان منفی امگا، هسته‌های امگای مثبتی بر روی ترکیه، خلیج‌فارس و شمال شرق ایران نیز شکل‌گرفته‌اند.



شکل (۱۴): نقشه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ب)، نقشه امگا تراز ۵۰۰ ، نقشه امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ج)نقشه فرارفت دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ، نقشه فرارفت دمایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (د) نقشه فرارفت رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه فرارفت رطوبت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۰۰۳/۱۰/۳

در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کمربند امگایی منفی که در تراز ۵۰۰ به‌صورت کمربندی بر روی نقشه دیده می‌شد به‌صورت ۴ هسته‌ی جداگانه درآمده‌اند، می‌توان گفت مراکز امگایی مثبت باعث قطع این کمربند امگایی منفی در نواحی ذکرشده هستند. در این تراز امگای منفی با مرکزیت شمال غرب، تقریباً کل ایران را درگرفته است. وزش دمایی، در تراز ۵۰۰

هکتوپاسکال، نشان‌دهنده‌ی تشکیل یک کانون وزشی خیلی گرم بر روی کشور عراق است که منطقه غرب و شمال غرب ایران را تحت سیطره خود قرارداد است در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال بادهایی که از روی دریای سرخ عبور کرده‌اند، طی مسیری نیمه شمالی ایران را تحت تأثیر وزش گرم خود قراردادند و وارد کشور روسیه شده‌اند، به‌طوری‌که سه کانون گرم متصل‌به‌هم را تشکیل داده‌اند. جهت وزش بادهای غربی که رطوبت خود را از دریای مدیترانه گرفته‌اند، شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد که پس از عبور از روی دریای سیاه و دریای سرخ، تغییر مسیر داده و با جهت جنوب غربی- شمال شرقی وارد کشور ایران شده و گرما و رطوبت لازم را برای بارش فراهم کرده است. این امر نشان از وجود وزش هوای گرم و همچنین عامل صعود و ناپایداری در منطقه موردمطالعه می‌باشد که این وضعیت، سبب اغتشاش جوی در روز موردنظر در شمال غرب و به‌تبع از آن استان زنجان شده است. همچنان مشاهده می‌شود در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کمربندی از همگرایی رطوبت بر روی خلیج‌فارس شکل‌گرفته که کل نیمه جنوبی و مرکز ایران را در برگرفته و تا نزدیکی منطقه موردمطالعه نیز گسترش‌یافته است و در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال شمال غرب نیز تحت پوشش این رطوبت قرارگرفته است، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک کانون رطوبتی قوی بر روی مدیترانه شکل‌گرفته، فلش‌های باد جهت و سرعت وزش رطوبتی از مدیترانه را به سمت شمال غرب ایران را به‌خوبی نشان می‌دهند اما در تراز بالاتر، نقش رطوبت خلیج‌فارس و عدن بر روی ایران نسبت به مدیترانه چشمگیرترمی‌باشد. بنابراین خلیج‌فارس و دریای عمان، دریای مدیترانه و سیاه منبع تأمین‌کننده رطوبت این روز می‌باشند. توده‌هوای مرطوب پس از گذر مناطق کوهستانی شمال غرب و رسیدن به منطقه موردنظر با ایجاد شرایط بارشی می‌تواند بارش‌هایی را به شکل تندر تولید کند.

نتیجه‌گیری

مشخصات مکانی میانگین ماهانه توفان‌های تندری و ضریب تغییرات آن نشان داد که بیشترین میانگین فراوانی تندر مربوط به قسمت‌های شمال شرقی، مرکزی و جنوب و جنوب شرقی استان بوده است و بیشترین ضریب تغییرات نیز منطبق بر این نواحی می‌باشند. بزرگی ضریب نشان‌دهنده‌ی این امر است که تغییرات بارش‌های تندری نسبت به میانگین آن طی دوره آماری موردمطالعه زیاد می‌باشد. قسمت‌های غربی و شرقی استان کم‌ترین میانگین تندر را داشته‌اند و پایین‌ترین ضریب تغییرات را نیز دارا می‌باشند. نتایج حاصل از تحلیل الگوی سینوپتیک بیانگر این بوده است که:

الف): نتایج بررسی‌های سینوپتیکی نشان می‌دهد که در زمان رخداد بارش تندری زنجان، کم‌فشارهایی بر روی ایسلند، مدیترانه، سودان، گنگ، پاکستان و عراق استقرار داشته‌اند.

ب): زبانه کم‌فشار سودانی فعال بوده و با جهت شمال شرقی یا شمالی به نیمه غرب و شمال غربی کشور گسترش می‌یابد و زبانه قوی در ایران شکل می‌دهد و موجب پسروی زبانه پرفشار از ایران می‌شود. شمال غرب و غرب ایران محل تلاقی زبانه‌های کم‌فشار و پرفشار به عبارتی تداخل هوای گرم و سرد می‌شود.

پ): مرکز پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای مدیترانه و فلات تبت تقویت می‌شود و با جابجایی به عرض‌های بالاتر به ایجاد پشته‌های قوی با محور شمالی- جنوبی در شمال اروپا و آسیا کمک می‌کند. ایجاد این پشته‌ها و کم ارتفاع در ایران یا منطقه بین‌النهرین باعث تقویت ناوه شرق مدیترانه می‌شود و در راستای محور شمالی- جنوبی به عرض‌های پایین کشیده می‌شود و موجب فرارفت سرد در منطقه موردمطالعه می‌شود.

ت): نقشه‌های سطوح بالای جو بیانگر این مطلب است که ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا و برخورد آن با هوای گرم و مرطوب نفوذی از عرض‌های پایین به‌ویژه از شمال آفریقا بر روی ایران منطقه کژفشاری شدیدی را ایجاد نموده که در

وقوع توفان‌های تندری در منطقه موردبحث نقش مهمی را ایفا می کند.

ج): تحلیل نقشه‌های رطوبت نشان از وجود هسته‌ی بیشینه‌ای از انباشت رطوبت در شمال غرب و غرب ایران که منطقه مطالعاتی را نیز دربرمی گیرد دارد. دریای مدیترانه و دریای سیاه منبع تأمین رطوبت بارش تندری می‌باشند اما دریای سرخ، دریای عمان خلیج‌فارس نیز در تأمین بارش تندری به‌عنوان تغذیه رطوبت و گرما در فصل زمستان می‌تواند نقش داشته باشند. درنتیجه می‌توان گفت که محل ورود سامانه‌های به منطقه از شمال غرب و غرب ایران بوده است. در روز توفان تندری در ترازهای مختلف جو زبانه‌هایی از چرخندهایی با هسته‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای و سودانی که دریای مدیترانه، دریای سیاه و سرخ در تقویت آن نقش داشته‌اند به سمت شمال غرب کشور و استان زنجان گسترش‌یافته‌اند. قرارگیری محورهای فرود بادهای غربی همراه با بریده‌های کم‌فشار (سرد چال) در این مناطق عامل اصلی ناپایداری‌های شدید و توفان تندری در استان زنجان بوده است. بدین‌صورت که با فرارفت هوای گرم و مرطوب در سطح زمین و هوای سرد سطوح فوقانی همراه با وزش دمایی سرد منجر به اختلاف دمای شدید بین سطح زمین و ترازهای بالای جو شده که صعود توده‌هوای سطح زمین و ناپایداری را به دنبال داشته است. علت بارش تندری، ناپایداری شدید در ابرهای کومولونیمبوس و ریزش هوای سرد از لایه‌های میانی جو بوده است. بامطالعه دوره‌ها به این نتیجه می‌رسیم که بیشتر توفان‌های تندری استان زنجان در فصل بهار رخ می‌دهند، سامانه‌هایی که باعث ایجاد تندر در استان زنجان می‌شوند از طرف، شمال غرب، غرب و جنوب غرب وارد کشور شده و رطوبت خود را از دریای مدیترانه، سیاه، سرخ، خلیج‌فارس می‌گیرند و با ایجاد حرکات صعودی و ناپایداری شدید و اختلاف شدید دما در لایه‌های میانی و بالایی جو، باعث رخداد توفان تندری می‌شوند.

منابع

۱. امیدوار، کمال، صفر پور، فرشاد، زنگنه، اسماعیل (۱۳۹۲) بررسی و تحلیل همدیدی سه رخداد تگرگ شدید در استان فارس جغرافیا و توسعه، شماره ۳۰، صص ۱۷۸-۱۵۷.

۲. جعفرپور، ابراهیم، (۱۳۸۵)، اقلیم شناسی»، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

۳. خوش‌اخلاق، فرامرز، حیدری، محمدامین، غیاث الحسینی، مرضیه، کریمی، صدیقه، (۱۳۹۲)، واکاوی آماری و همدید بارش‌های تندری منطقه خزر"دومین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست

۴. صلاحی برومند،(۱۳۸۹)، بررسی ویژه گی‌های آماری همدیدی توفان‌های تندری استان اردبیل،پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲،تابستان ۱۳۸۹،صص ۱۴۲.

۵. موسوی، سیدحسین، حیدری منفرد،زهرا(۱۳۹۲)، تحلیل اماری و سینوپتیکی بارش تگرگ در منطقه شمال غرب، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته ی جغرافیای طبیعی ، دانشگاه زنجان

۶. میراحمدی، اکبر، (۱۳۹۱)، بررسی ویژگی‌های آماری توفان‌های تندری در کوهرنگ بختیاری، همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای. شهرکرد ۶-۱.

۷. علیجانی، بهلول (۱۳۷۹)، آب و هوای ایران ، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور.

۸. علیزاده، امین، غلامعلی، موسوی، فرهاد و موسوس بایگی، محمد (۱۳۸۴) هوا و اقلیم شناسی: چاپ هشتم، مشهد، نشر دانشگاه رضا (ع)،۳۸۱-۱.

۹. عساکره، حسین (۱۳۸۶) تغییرات زمانی و مکانی بارش ایران زمین طی دهه‌های اخیر» جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، ۱۶۴-۱۴۵.

۱۰. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹)، نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم افزار گردس، چاپ اول، سها دانش، تهران

۱۱. کاویانی، محمدرضا و علیجانی، بهلول،(۱۳۸۶)، مبانی آب و هواشناسی، چاپ سیزدهم، تهران، سمت،

13. Bryant, E.A. (1991):"Natural hazards". Cambridge University Press.UK

14. Changnon, Stanly A, 2001" Thunderstorm Rainfall in the Conterminous United States" Vol. 82, No. 9,pp.1924-1940

15. Dayan, U. Margaret. Z.B. Sharon, M.E. (2001), “Averse Autumn Storm over the Middle, est: Synoptic and Mesoscale Convection Analysis”, Theoretical and Applied Climatology, No.69, pp.103.122.

16. kallo,A.and pascual, R.Diagnosis and modeling of a summer condition storm Mediterranean pyrencs.(2005).

17. Loginov, V. F, Volchek, A. A, Shpoka, I. N, (2010)” Estimation of the Role of Various Factors in the Thunderstorm Formation on the Territory of Belarus” Russian Meteorology and Hydrology, Vol. 35, No. 3, pp. 175–181

18. Olafasson,H.Arason,P.Jonsonal ,T.(2004) Seasonal and internal variability of thunderstorm in Island and the origin of air masses in theatric(2004)

19. Mohee. Faizul M, Miller. Craig. (2010). Climatology of thunderstorm for North Dakota, 2002–2006, Metrology and climatology. 49: 1881-18

20. Speer, M.S. and Geert’s, B. (1994): “A synoptic/rnesoalpha-scale climatology of flash floods in the Sydney Metropolitan area. Australian Meteorological Magazine, 43.87-103.

21. Wallace, M.J. (1995), "Diurnal Variations in Precipitation and Thunderstorm Frequency over the Conterminous United States", MonthlyWeatherReview103,406 -419.