

تحلیل هم‌دید و شناسایی شار رطوبت روزهای همراه با تگرگ در غرب ایران (مطالعه موردی: حوضه آبریز زاب، آذربایجان غربی)

محمدرضا سلیمی سبحان - عضو هیئت‌علمی پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی
زهرا حجازی‌زاده* - استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران
فریبا صیادی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری دانشگاه خوارزمی، تهران
فاطمه قادری - دانش‌آموخته دکتری اقلیم‌شناسی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲

چکیده

هدف از این پژوهش طبقه‌بندی مناسب الگوهای جوی مرتبط با وقایع تگرگ و ویژگی‌های اقلیم‌شناختی مسبب آن‌ها در حوضه زاب است. بنابراین، از داده‌های ایستگاهی (کدهای ۲۷-۸۷-۹۶ الی ۹۹ از ۱۰۰ کد مربوط به هوای حاضر) بارش تگرگ سه ایستگاه هم‌دید حوضه زاب طی دوره ۲۴ ساله (۲۰۱۶-۱۹۹۲) استفاده شد. همچنین، با استفاده از داده‌های پایگاه NCEP/NCAR، به واکاوی الگوهای گردشی مقارن با این رخدادها اقدام شد. با تحلیل خوشه‌ای داده‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل (۵۰۰ هکتوپاسکال)، سه الگوی گردشی مرتبط با بارش تگرگ شناسایی شد؛ از جمله ۱. تقویت سامانه کم‌فشار سودان؛ ۲. تقویت پرفشارهای اروپایی و سیبری؛ ۳. قرارگیری منطقه بر روی شرق ناوه مدیترانه. سپس، با اجرای همبستگی درون‌گروهی بین هر خوشه روزی که بیشترین همبستگی را با سایر روزها داشت روز نماینده الگوی گردشی آن خوشه انتخاب شد و مبنای واکاوی پژوهش واقع گردید.

واژگان کلیدی: بارش تگرگ، پرفشارهای شمالی، تحلیل هم‌دید، حوضه زاب، ناوه مدیترانه.

مقدمه

تگرگ، به‌عنوان یکی از پیامدهای توفان تندی، از مهم‌ترین مخاطرات جوی به‌شمار می‌آید که همه‌ساله خسارات زیادی بر محیط زیست وارد می‌کند (خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی، ۱۳۹۲: ۱۰۳). رخداد تگرگ معمولاً از ابرهای کومولونیمبوس انجام می‌پذیرد و غالباً به شکل رگبار و عموماً همراه رعد و برق به‌ویژه در فصل بهار است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۵: ۳۵۷). به‌طورکلی، تگرگ محصول همرفت شدید هواست که در یک توفان تندی یافت می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۸: ۲۶). برای تحلیل و پیش‌بینی سازوکارهای هر پدیده اقلیمی، به شناخت دقیق مؤلفه‌های اصلی سامانه‌های اقلیمی آن پدیده نیاز است (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۷۹).

کشور ایران، در مقایسه با سایر کشورهای جهان، به‌سبب داشتن تنوع محیطی رتبه بالایی در بروز بحران ناشی از سوانح طبیعی داراست؛ به‌طوری‌که از ۴۰ نوع بالای طبیعی جهان، ۳۱ مورد آن در ایران رخ داده است (میرزاخانی، ۱۳۷۸: ۹). بر پایه گزارش فائو (سازمان خواروبار جهانی)، ایران از نظر استعداد و پتانسیل خیزی بالایی طبیعی رتبه دهم را در جهان به خود اختصاص می‌دهد (شن، ۲۰۰۳: ۱۵). با توجه به تنوع شرایط آب و هوایی در ایران، وقوع بارش‌های تگرگ

امری معمول است؛ به طوری که رخداد پدیده تگرگ مخرب و شدید به عنوان یکی از انواع بلایای طبیعی در نقاط متعددی از این کشور پهناور گزارش شده است که خسارت‌های ناشی از آن در ابعاد مختلف اقتصادی، کشاورزی، حمل و نقل، امور زیربنایی، و غیره قابل توجه و تأمل است. زبان‌های ناشی از تگرگ گاهی اوقات از زبان‌های ناشی از گردبادها و توفان‌ها نیز بیشتر است (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۶). همچنین، براساس بهترین مدل‌های پیش‌بینی، آسیب سالانه بارش‌های تگرگ به کشاورزی در فضای باز ممکن است به ۲۵ تا ۵۰ درصد در آینده افزایش یابد و تحت سناریوی گرمایش جهانی حتی ممکن است این بارش‌های مخرب با فراوانی بیشتر و شدت بیشتری اتفاق بیفتند. بنابراین، شناسایی الگوهای آتمسفری بارش‌های تگرگ با هدف پیش‌بینی آن‌ها و به کارگیری روش‌های مقابله و جلوگیری از آن به منظور کاستن خسارت‌ها و زیان‌های ناشی از آن در منطقه مورد مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل اهمیت رخداد تگرگ، مطالعاتی در زمینه تشکیل و رشد آن در کشورهای مختلف جهت پیش‌بینی آن‌ها انجام شده که می‌توان به کار پوکاکال و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد. آن‌ها با استفاده از توزیع‌های پواسون و دوجمله‌ای منفی به بررسی تگرگ در منطقه حفاظت‌شده در غرب کروواسی پرداختند. مارتینز و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود با بررسی الگوهای جوی حاکم بر رویدادهای شدید تگرگ در مدیترانه (فرانسه-اسپانیا) را به هشت الگوی جوی مرتبط دانستند. چنگون (۲۰۰۹) مطالعه‌ای بر روی اقلیم‌شناسی تگرگ ایالت متحده آمریکا انجام داد و نتیجه گرفت که توپوگرافی کنترل قابل توجهی در الگوهای وقوع تگرگ دارد. آرن و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی الگوهای چرخش آتمسفری مرتبط با وقایع تگرگ در دشت لیدا در اسپانیا نتیجه گرفتند که ۲۴ واقعه تگرگ با ۹ الگوی هم‌دیدگی در منطقه مورد مطالعه حاکمیت دارد. پانگ و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی توزیع زمانی-مکانی رخدادهای تگرگ در اروپا نتیجه گرفتند که جنوب و مرکز اروپا (به‌ویژه مناطق کوهستانی) مناطقی با احتمال تگرگ بالا یا در معرض خطر تگرگ هستند. لوسیا و همکاران (۲۰۱۵) بارش‌های روزانه تگرگ را طی دوره ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۰ در جنوب غربی فرانسه مطالعه کردند و نتیجه گرفتند روند افزایش قابل توجهی در تعداد و شدت بارش تگرگ وجود دارد. هان و همکاران (۲۰۱۶) کلیماتولوژی تگرگ را در کره جنوبی طی دوره ۱۹۷۲-۲۰۱۳ بررسی کردند. نتایج نشان داد که رخدادهای تگرگ روند کاهشی در هر سال دارد و اوج بارش تگرگ در ماه‌های آوریل و نوامبر است و حداقل رخداد آن در اگوست رخ می‌دهد.

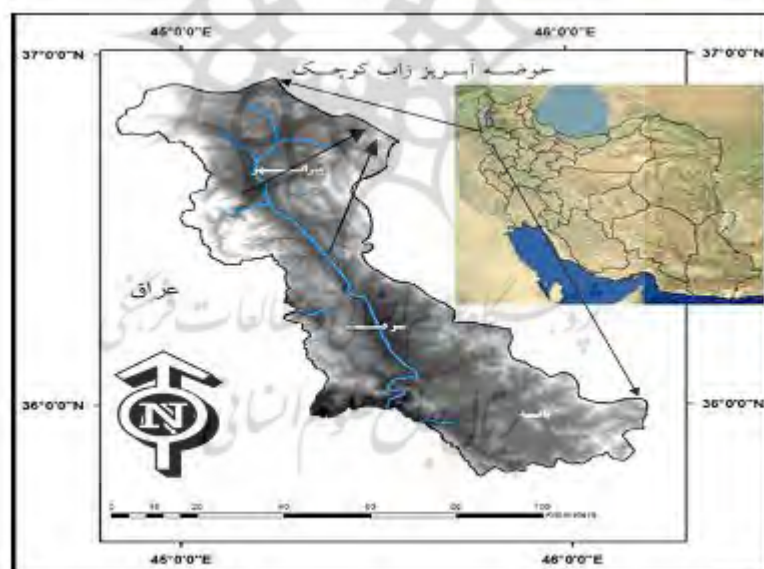
در ایران نیز مطالعاتی درباره تگرگ و توفان‌های تندری انجام شده است. عسکری و محبی (۱۳۸۹) به مطالعه آماری-همدید رخدادهای تگرگ در استان خوزستان برای دوره ۲۰۰۱-۲۰۰۶ پرداختند و نتیجه گرفتند که این توفان‌ها ماهیت جبهه‌ای داشته و همراه فرارفت هوای گرم در نیمه پایین جو و عمدتاً همراه مراکز کم‌ارتفاع بسته در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده‌اند. لشکری و امینی (۱۳۸۹) به تحلیل همدید بارش تگرگ در استان خراسان طی دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۵ پرداختند و نتیجه گرفتند ایستگاه‌های نیشابور و مشهد به ترتیب حداقل و حداکثر فراوانی رخداد تگرگ را دارند. کیانی و همکاران (۱۳۹۲)، با تحلیل زمانی-مکانی احتمال وقوع بارش تگرگ در استان کرمانشاه، نتیجه گرفتند که ایستگاه کنگاور، با ۶۶ درصد احتمال، بالاترین درصد احتمال وقوع تگرگ را دارد. امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) برای مقابله با کاهش خسارت‌های ناشی از تگرگ با بررسی همدید و دینامیکی سه رخداد تگرگ شدید در استان فارس نتیجه گرفتند که در دوره‌های سه‌گانه انتخابی ریزش تگرگ در استان در فروردین ماه و در اثر تشکیل و تقویت سردچال در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ایجاد ناپایداری در سطح دریا است.

درگاهیان و همکاران (۱۳۹۳) تحلیل آماری، ترمودینامیکی، و هم‌دیدگی پدیده تگرگ را در استان لرستان بررسی

کردند. در این مطالعه تأثیر برخی شاخص‌های ترمودینامیکی در ایجاد این پدیده بیان شد و در رویکرد همدیدی تگرگ به دو رخداد گرم و سرد تفکیک شد و پژوهشگران ویژگی‌های همدید هریک از این دو دوره را بیان کردند. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) به واکاوی رفتار بارش‌های حدی در ارتباط با عوامل مؤثر بر بارش در غرب و شمال غرب ایران در هشت ایستگاه همدیدی در یک دوره پنجاه‌ساله (۱۹۶۱-۲۰۱۰) پرداختند و نتیجه گرفتند بارش‌های حدی این منطقه در طی پنجاه سال گذشته دارای روند کاهشی بوده که این روند کاهشی در ارتباط با رفتار نمایه‌های دور پیوندی، ENSO، NAO، AO، و همچنین مراکز فشار تأثیرگذار بر بارش منطقه، اعم از پرفشار سیبری، کم‌فشار سودانی، و کم‌فشار مدیترانه است و سبب کاهش بارش‌ها در غرب و شمال غرب کشور می‌شوند. با توجه به اینکه هرساله تگرگ در حوضه زاب خسارات قابل توجهی به‌ویژه در بخش کشاورزی و دامداری به‌بار می‌آورد، هدف از این پژوهش بررسی و تحلیل الگوهای همدیدی موجد بارش تگرگ در حوضه زاب به‌منظور کاهش اثرهای مخرب این پدیده اقلیمی بر بخش‌های مختلف است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز زاب کوچک در جنوب استان آذربایجان غربی و شمال غرب استان کردستان شامل شهرستان‌های پیرانشهر، سردشت، و بانه است و حدود ۳۵۲۷ کیلومتر مربع وسعت دارد. موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در پژوهش

مواد و روش‌ها

دو رویکرد عمده مطالعات هواشناسی همدیدی عبارت‌اند از: رویکردهای گردشی به محیطی و محیطی به گردشی (یارنال، ۱۳۸۵). در این پژوهش به‌منظور شناسایی الگوهای گردشی جو روزهای همراه با بارش تگرگ در غرب کشور از رویکرد محیطی به گردشی استفاده شده است. در این مطالعه نخست کد روزهای همراه تگرگ ایستگاه‌های همدیدی

سردشت، پیرانشهر، و بانه (دارای بیشترین طول دوره آماری در بین ایستگاه‌های استان) از بدو تأسیس (۱۹۹۲-۲۰۱۶) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس، بر حسب کد، شدت روزهای همراه رخداد تگرگ در طول دوره مطالعاتی شناسایی شد. برای شناسایی الگوهای همدیدی بزرگ‌مقیاس روزهای رخداد پدیده تگرگ داده‌های ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا از داده‌های باز تحلیل NCEP/NCAR در روزهای رخداد به صورت ساعتی در محدوده ۰ تا ۱۲۰ درجه طول شرقی و صفر تا ۹۰ درجه عرض شمالی تهیه شد. همچنین، برای شناسایی شار رطوبت روزهای رخداد تگرگ از معادله شار رطوبتی شولز و بناکوس^۱ رابطه^۱ استفاده شد.

$$MFC = -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (1) \quad \text{(جمله همگرایی و جمله وزش)}$$

رابطه^۱ بیانگر همگرایی شار رطوبت است که بر حسب $s^{-1} \cdot kg^{-1} \cdot 10^{-4}$ بیان می‌شود. این رابطه شامل جمله وزش است که بیانگر وزش افقی رطوبت ویژه است و همچنین جمله همگرایی به معنی اثر رطوبت ویژه است و همگرایی افقی توده هوا را دارد (بناکوس و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۳۶). در این معادله u باد مداری و v مؤلفه باد نصف‌النهاری و q نم ویژه است که مشتق جزئی آن‌ها روی طول و عرض جغرافیایی محاسبه می‌شود. برای تحلیل همدیدی و شناسایی شار رطوبت از تکنیک انتخاب روز نماینده برون سو^۲ استفاده شد؛ به طوری که بر حسب کد شدت رویدادها، تاریخ روزهای رخداد بر حسب سه طبقه ضعیف، متوسط، و شدید مشخص شد و سپس همبستگی درون گروهی این سه طبقه جداگانه محاسبه شد و روزی که در این طبقات با سایر روزها بیشترین همبستگی را داشت به عنوان روز نماینده واکاوی شد. در این پژوهش، برای مطالعه الگوهای موجد بارش تگرگ، الگوهای تراز دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال با فاصله اقلیدسی و روش ادغام وارد چهار مرحله خوشه‌بندی شده‌اند. به طوری که در مرحله اول تاریخ روزهای دارای بارش تگرگ شناسایی شده‌اند و در مرحله دوم الگوهای روزانه ساعت ۰۶ و ۱۲ (ساعات رخداد تگرگ روزهای نماینده طبقات) گزینویچ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این تاریخ‌ها خوشه‌بندی شدند. در مرحله سوم همبستگی درون گروهی خوشه‌ها محاسبه شد و در مرحله چهارم روزهایی که در هر خوشه بیشترین همبستگی درون گروهی را با بقیه روزهای آن خوشه داشتند به عنوان روز نماینده انتخاب شدند و الگوهای بارش تگرگ منطقه مورد مطالعه را تشکیل دادند. همبستگی درون گروهی روزهای رخداد در سه طبقه در تراز دریا همگی دارای همبستگی کمتر از ۰/۵۰ بوده؛ به همین دلیل این همبستگی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام شد و در این تراز همبستگی بیشتر روزها از ۰/۵۰ بیشتر بود و انتخاب این روزها مبنای مطالعه قرار گرفت (جدول ۱).

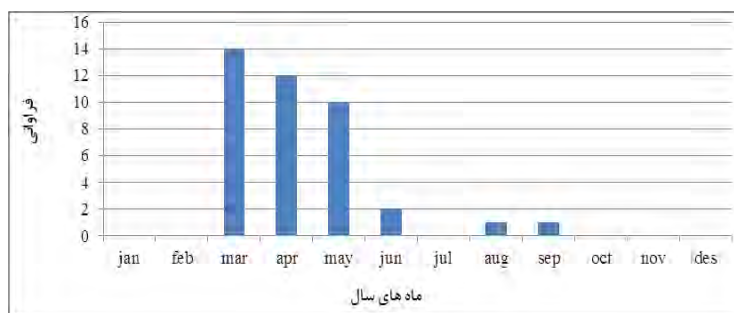
بر حسب کد شدت رخداد روزهای تگرگ، ۴۰ روز در طول زمان و مکان مورد مطالعه شناسایی شد. در این میان ۱۲ روز کد شدت ضعیف، ۲۵ روز کد شدت متوسط، و ۳ روز کد شدت قوی داشته‌اند (جدول ۱).

جدول ۱. روزهای نماینده رخداد تگرگ

طبقه	تعداد رخداد	درصد رخداد	روز نماینده	ساعت رخداد	همبستگی روز نماینده
۱	۱۲	۴۰	۲۰۰۳/۳/۲۰	۰۶	۰/۹۳
۲	۲۵	۶۲/۵	۲۰۰۹/۴/۱۷	۱۲	۰/۹۱
۳	۳	۷/۵	۲۰۰۶/۵/۳	۱۲	۰/۹۲

1. Schultz and Banacos

2. Objective



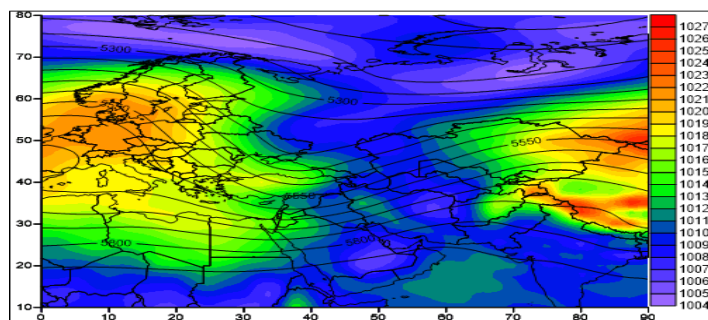
شکل ۲. فراوانی رخداد ماهانه روزهای همراه تگرگ

یافته‌های تحقیق

میانگین الگوهای همید تراز دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال

الگوی یک

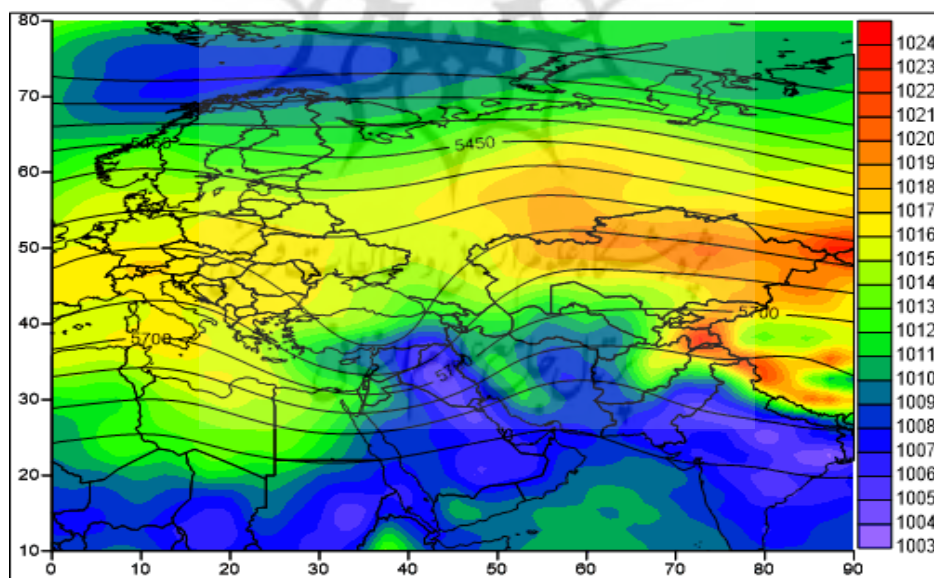
همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، این خوشه شامل ۱۲ رخداد (دومین خوشه به لحاظ تعداد فراوانی و ۴۰ درصد کل رخدادها) است. در این الگو (شکل ۳) مرکز کم‌فشاری بر روی جنوب عربستان و خلیج فارس با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال قرار دارد که زبانه‌های آن در راستای جنوبی-شمالی تا منطقه غرب ایران امتداد یافته است (زبانه ۱۰۱۰ هکتوپاسکالی روی منطقه). در نتیجه، غرب ایران تحت تأثیر این زبانه کم‌فشار قرار دارد و فرارفت هوای گرم و مرطوب دریاهای جنوبی از طریق این کم‌فشار بر روی منطقه مورد مطالعه انجام می‌گیرد. زبانه پُرفشار نسبتاً قوی با فشار مرکزی ۱۰۲۱ هکتوپاسکال بر روی مرکز و شمال غرب اروپا قرار دارد که زبانه‌های آن تا شمال غرب ایران گسترش یافته و با حرکت و اچرخندی سبب فرارفت هوای سرد بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه عمیقی در راستای شمالی-جنوبی از شمال دریای سیاه تا شمال دریای سرخ را دربر گرفته است؛ به طوری که منطقه مورد مطالعه در جلوی ناوه قرار گرفته است. تقابل هوای سرد شمالی با هوای گرم و مرطوب جنوبی همراه فراهم‌بودن شرایط صعود در ترازهای بالای جو شرایط را برای ناپایداری و در نتیجه بارش تگرگ فراهم کرده است. در این الگو در تراز دریا شاهد تقابل زبانه‌های گرم و مرطوب سامانه کم‌فشار سودان و زبانه‌های سرد پُرفشار اروپایی بر روی منطقه مورد مطالعه بودیم. تقابل هوای سرد شمالی با هوای گرم و مرطوب جنوبی و قرارگیری منطقه در جلوی ناوه مدیترانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شرایط و ناپایداری را برای بارش تگرگ فراهم کرده است. در الگوی شار رطوبت، منبع رطوبت در تراز دریا از دریای سیاه، مدیترانه، عرب، سرخ، و خلیج فارس و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از دریای مدیترانه و سرخ تأمین شده است.



شکل ۳. میانگین الگوهای تراز دریا (الگوهای رنگی) و الگوی پربندی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهایی با تگرگ ضعیف

الگوی دو

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، این خوشه شامل ۲۵ رخداد (اولین خوشه به لحاظ تعدا فراوانی و ۶۲/۵ درصد کل رخدادها) است. در این الگو (شکل ۴) مرکز کم‌فشاری بر روی مرکز عراق با فشار مرکزی ۱۰۰۳ هکتوپاسکال دقیقاً در غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارد؛ به‌طوری‌که زبانه ۱۰۰۸ هکتوپاسکالی آن بر روی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. در واقع، منطقه تحت سیطره یک مرکز کم‌فشار قرار گرفته است و فرارفت هوای گرم و مرطوب دریاهای جنوبی از طریق این کم‌فشار بر روی منطقه مورد مطالعه انجام می‌گیرد. در این الگو پُرفشار سیبری تقویت شده و زبانه‌های آن تا روی دریای خزر و شرق اروپا گسترش یافته است؛ به‌طوری‌که با زبانه‌های پُرفشار روی اروپا ادغام شده و کمربند پُرفشار گسترده‌ای در نوار شمالی منطقه مورد مطالعه ایجاد کرده است و فرارفت هوای سرد بر روی منطقه مورد مطالعه از طریق زبانه‌های پُرفشار سیبری و اروپایی انجام می‌گیرد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جلوی ناوه مدیترانه شرایط را برای صعود هوا، ناپایداری، و در نتیجه بارش تگرگ فراهم کرده است. در این الگو در تراز دریا با شکل‌گیری یک مرکز کم‌فشار قوی بر روی عراق تقویت این کم‌فشار با فرارفت هوای گرم و مرطوب از طریق سامانه سودانی و شکل‌گیری کمربند پُرفشاری در سراسر نوار شمالی ایران، که با حرکت و اچرخندی خود سبب ریزش هوای سرد بر روی منطقه مورد مطالعه شده است، شرایط را برای جبهه‌زایی بر روی منطقه فراهم کرده است. همچنین، قرارگیری منطقه در جلوی ناوه مدیترانه و انطباق هسته امگای منفی با جلوی ناوه مدیترانه بر روی غرب ایران زمینه را برای تشدید واگرایی بالایی و ایجاد ناپایداری شدید بر روی منطقه مورد مطالعه فراهم کرده است. در الگوی شار رطوبت در این الگو، منبع رطوبت در تراز دریا از دریای سیاه، مدیترانه، خزر، عرب، سرخ، و خلیج فارس و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از دریای سیاه، مدیترانه، و سرخ تأمین شده است.

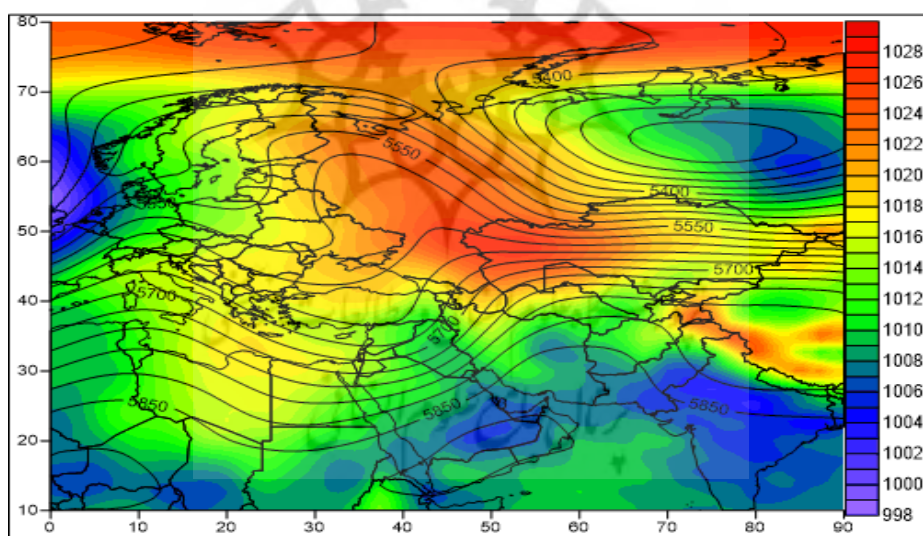


شکل ۴. میانگین الگوهای تراز دریا (الگوهای رنگی) و الگوی پربندی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای با تگرگ متوسط

الگوی سه

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، این خوشه شامل سه رخداد (سومین خوشه به لحاظ تعدا فراوانی و ۷/۵ درصد کل رخدادها) است. در این الگو (شکل ۵) مرکز کم‌فشاری قوی به‌صورت کمربندی بر روی جنوب عربستان و خلیج فارس دریای سرخ و سودان با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال شکل گرفته؛ به‌طوری‌که زبانه‌های آن در راستای جنوبی-شمالی

تا منطقه غرب و شمال غرب ایران امتداد یافته است. فرارفت هوای گرم و مرطوب دریاهای جنوبی از طریق این کم‌فشار بر روی منطقه مورد مطالعه انجام می‌گیرد. اما در این الگو پُرفشار سبیری قوی‌تر شده؛ به طوری که ضمن حرکت به سمت شرق هسته آن با فشار مرکزی ۱۰۳۰ هکتوپاسکال بر روی شرق دریای خزر قرار گرفته و زبانه‌های آن در همه جهت گسترش یافته و با ریزش هوای بسیار سرد بر روی دریای سرخ سبب دینامیکی شدن کم‌فشار سودانی و تقویت مرکز همگرایی دریای سرخ شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جریان بادهای غربی به دو شاخه تقسیم شده و شاخه جنوبی آن سبب استقرار ناوه عمیقی بر روی غرب ایران و منطقه مورد مطالعه شده است؛ به طوری که این منطقه دقیقاً در جلوی ناوه قرار گرفته است و شرایط صعود در ترازهای بالای جو زمینه را برای ناپایداری و در نتیجه بارش تگرگ فراهم کرده است. در این الگو در تراز دریا کم‌فشار سودان قوی‌تر شده؛ به طوری که زبانه‌های آن تا نیمه غربی و شمال غربی ایران کشیده شده و سبب تزریق هوای گرم و مرطوب و ایجاد شرایط همگرایی بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. همچنین، پُرفشار سبیری بر روی شمال ایران در اوج فعالیت خود است و زبانه‌های آن با حرکت و اچرخندی خود سبب ریزش هوای بسیار سرد بر روی منطقه مورد مطالعه شده و در این شرایط تقابل هوای بسیار سرد شمالی و گرم و مرطوب جنوبی شرایط را برای جبهه‌زایی و ناپایداری منطقه فراهم کرده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری منطقه در شرق ناوه مدیترانه و انطباق هسته امگای منفی با جلوی ناوه مدیترانه بر روی غرب ایران باعث تشدید واگرایی بالایی و حرکات قائم شدید شده است و زمینه را برای ایجاد ناپایداری شدید بر روی منطقه مورد مطالعه فراهم کرده است. در الگوی شار رطوبت، منبع رطوبت در تراز دریا از دریای سیاه، مدیترانه، عرب، سرخ، و خلیج فارس و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از دریای سرخ و مدیترانه تأمین شده است.



شکل ۵. میانگین الگوهای تراز دریا (الگوهای رنگی) و الگوی پربندی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهایی با تگرگ شدید

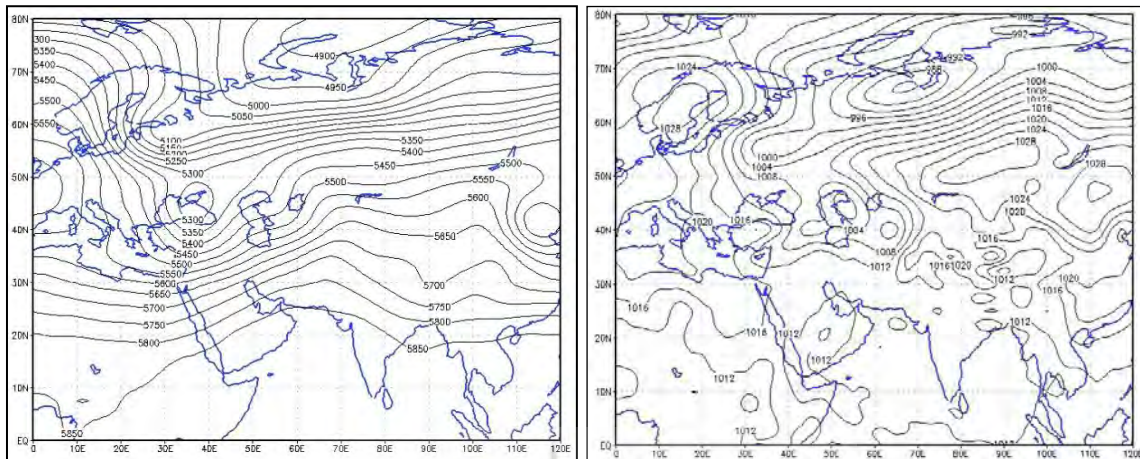
الگوهای همدید رخداد روز نماینده الگوی اول ۲۰۰۳/۳/۲۰

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در نقشه تراز دریا مرکز پُرفشار سبیری با فشار مرکزی ۱۰۲۸ هکتوپاسکال بر روی ۵۲ درجه شمالی و ۸۵ درجه شرقی قرار گرفته و زبانه‌های آن تا شمال شرق دریای خزر کشیده شده است. همچنین، مرکز کم‌فشاری بر روی دریای خزر با فشار مرکزی ۱۰۰۲ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که زبانه‌های آن بر روی شمال غرب و غرب ایران نفوذ کرده است. مرکز پُرفشاری بر روی اسکانداوناوی با فشار مرکزی ۱۰۲۸ هکتوپاسکال در محدوده ۶۲ درجه

شمالی و ۱۵ درجه شرقی بسته شده است که زبانه‌های آن در راستای شمالی- جنوبی تا جنوب دریای سیاه و مدیترانه کشیده شده است. فرارگیری منطقه مورد مطالعه در بین دو مرکز پُرفشار نسبتاً قوی سبب شکل‌گیری یک منطقه همگرایی بر روی شمال غرب و غرب ایران شده است. این مراکز پُرفشار با حرکت و اچرخندی خود سبب فرارفت هوای سرد از عرض‌های شمالی و شیو شدید دما بر روی نیمه غربی و شمال غربی ایران شده است. همچنین، مرکز کم‌فشاری با فشار مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال بر روی عربستان، خلیج فارس، دریای سرخ، و دریای عرب شکل گرفته است که با حرکت چرخندی خود سبب فرارفت هوای گرم و مرطوب در راستای جنوبی- شمالی بر روی منطقه می‌شود. شرایط فوق باعث تقابل هوای سرد شمالی و هوای گرم و مرطوب جنوبی بر روی منطقه مورد مطالعه شده و باعث گرادبان شدید دما و جبهه‌زایی در این ناحیه شده است. بنابراین، در این خوشه (شکل ۴) شکل‌گیری مرکز همگرایی بر روی منطقه مورد مطالعه ناشی از فرارگیری در بین دو مرکز پُرفشار سیبری و اسکاندیناوی و فرارفت هوای گرم و مرطوب جنوبی به سمت شمال و منطقه مورد مطالعه اصلی‌ترین عامل بارش تگرگ در منطقه مورد نظر بوده است. در نقشه امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰) هسته‌ای با امگای مثبت قوی بر روی جنوب دریای خزر و شمال غرب و غرب ایران شکل گرفته است که نشان‌دهنده همگرایی هوا و دریافت هوای گرم و مرطوب در این تراز بر روی منطقه مورد مطالعه است. در نقشه شار رطوبت (شکل ۸) وجود حرکت و اچرخندی ناشی از استقرار زبانه‌های پُرفشار بر روی دریای سیاه و مدیترانه سبب تزریق رطوبت این منابع آبی بر روی شمال غرب و غرب ایران و ناپایداری همرفتی شدید در این مناطق شده است. همچنین، وجود مرکز کم‌فشار بر روی خلیج فارس و دریای سرخ سبب حرکت چرخندی و تزریق رطوبت این منابع آبی، که حجم زیادی از رطوبت را دارا می‌باشند (۱۲ گرم بر کیلوگرم)، به سمت عرض‌های شمالی و نیمه غربی ایران شده است و زمینه را برای ناپایداری بیشتر فراهم کرده است.

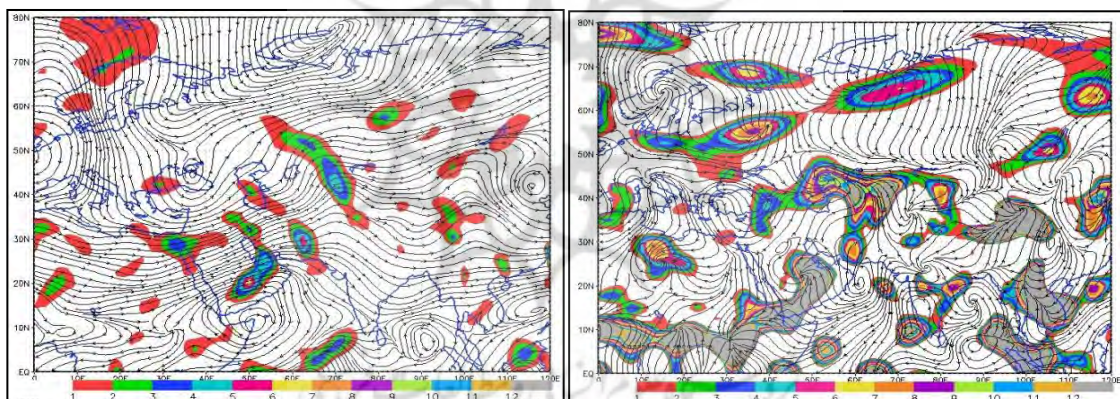
بررسی الگوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی این خوشه نشان می‌دهد (شکل ۷) ناوه مدیترانه با هسته مرکزی ۵۳۰۰ ژئوپتانسیل متر از شمال دریای سیاه تا جنوب دریای سرخ در مدار ۱۸ درجه شمالی کشیده شده و زبانه ۵۸۰۰ ژئوپتانسیل متر آن تا جنوب دریای سرخ کشیده شده است و گرادبان ارتفاعی ۵۰۰ ژئوپتانسیل متری را ایجاد کرده است و منطقه مورد مطالعه درست در قسمت جلوی ناوه بلند مدیترانه قرار گرفته است و منطقه تاوایی مثبت جلوی ناوه زمینه را برای صعود هوا فراهم کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مرکز پُرفشاری بر روی شمال اسکاندیناوی قرار دارد که باعث ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به روی غرب ناوه و منطقه مورد مطالعه شده است. همچنین، در امتداد قرارگرفتن ناوه مدیترانه با کم‌فشار قطبی سبب تقویت ریزش هوای سرد از لایه‌های میانی جو به داخل ناوه و گرادبان شدید ارتفاع شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، امواج غربی به‌طور کامل ایران را دربر گرفته‌اند. شرایط فوق یعنی جریانات صعودی قوی در تراز بالایی جو همراه شکل‌گیری جبهه در سطح زمین ناشی از تقابل توده هوای گرم و مرطوب جنوبی و هوای سرد شمالی شرایط را برای صعود شدید هوا و در نتیجه ابرناکی و بارش تگرگ وجود آورده است. در نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل ۱۰ هسته‌ای با امگای منفی قوی در راستای شمالی- جنوبی سراسر نیمه غربی کشور و کشور عربستان تا غرب دریای سرخ را دربر گرفته است. بیشینه امگای منفی بر روی شمال غرب و غرب کشور به ۰/۲- پاسکال بر ثانیه می‌رسد؛ به‌طوری‌که همگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با واگرایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سبب شکل‌گیری جریانات صعودی قوی بر روی منطقه مورد مطالعه شده و زمینه را برای ایجاد ناپایداری شدید فراهم کرده است. در نقشه شار رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی (شکل ۹)، وجود و اچرخندی بر روی دریای عرب باعث تزریق رطوبت از طریق چرخش ساعت گرد به داخل سامانه سودانی شده و فرارفت رطوبت از طریق جریانات جنوب غربی ناوه مدیترانه در راستای جنوب غربی- شمال شرقی تا نواحی غرب و شمال غرب ایران انجام گرفته است.

همچنین، هسته رطوبتی دیگری بر روی شمال دریای سرخ و جنوب غربی دریای مدیترانه وجود دارد که از طریق ناوه مدیترانه تا روی عراق و غرب ایران کشیده شده است. به نظر می‌رسد همراهی رطوبت دریای عرب و سرخ و ساحل شمالی خلیج فارس با دریای مدیترانه در این تراز مهم‌ترین منابع رطوبتی بارش تگرگ بوده است.



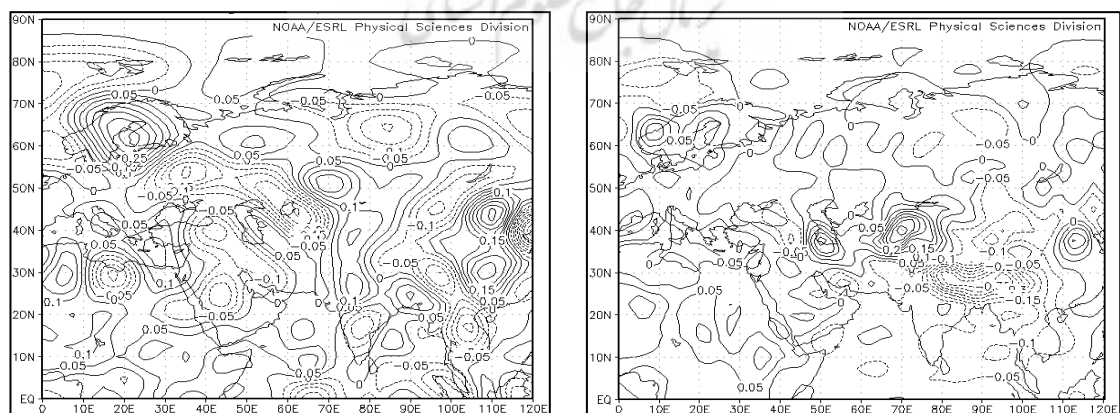
شکل ۶. الگوی فشار تراز دریا ساعت ۰۶ زلو

شکل ۷. الگوی پربندی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۰۶ زلو



شکل ۸. الگوی شار رطوبت تراز دریا ساعت ۰۶ زلو

شکل ۹. الگوی شار رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۰۶ زلو



شکل ۱۰. الگوی امگا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۰۶ زلو

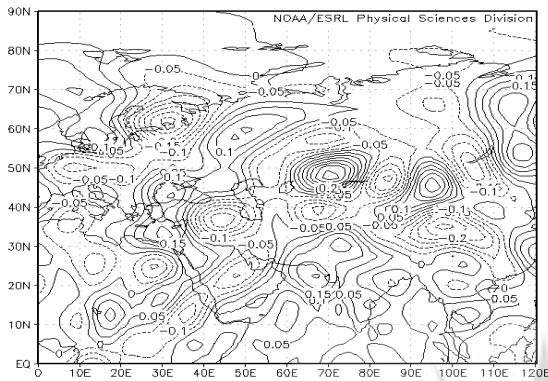
شکل ۱۱. الگوی امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۰۶ زلو

الگوهای هم‌دید رخداد روز نماینده الگوی دوم ۲۰۰۹/۴/۱۷

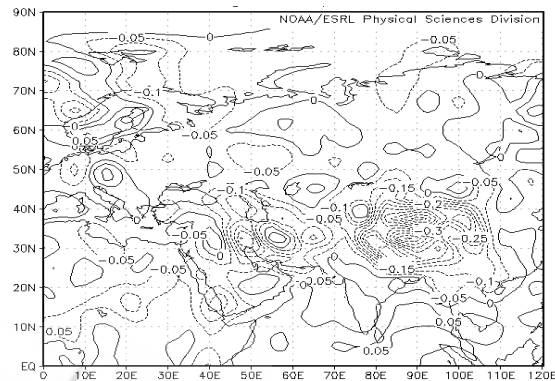
همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، در نقشه تراز دریا مرکز پُرفشار سیبری با دو سلول بسته ۱۰۲۰ هکتوپاسکالی بر روی شمال دریاچه آرال و روسیه مشاهده می‌شود که زبانه‌های آن بر روی شمال ایران کشیده شده است و با حرکت و اچرخندی خود سبب فرارفت هوای سرد از عرض‌های شمالی و شیو شدید دما بر روی نوار شمالی ایران شده است. دو سلول کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال به ترتیب بر روی شمال شرق و شمال غرب ایران شکل گرفته است و باعث شکل‌گیری یک ناحیه همگرایی در نیمه شمالی ایران شده است. شیو شدید فشار بین کمربند کم‌فشار شمال ایران و پُرفشار شمالی فشار را بر روی ایران افزایش داده است. همچنین، مرکز کم‌فشاری بر روی شمال اروپا با فشار مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در محدوده ۵۲ درجه شمالی و ۱۵ درجه شرقی بسته شده است. چندین سلول کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال بر روی عربستان، خلیج فارس، دریای سرخ، دریای عرب، و سودان شکل گرفته است که با حرکت چرخندی خود سبب فرارفت هوای گرم و مرطوب این ناحیه در راستای جنوبی-شمالی بر روی غرب ایران می‌شود و زمینه را برای افزایش ناپایداری فراهم می‌آورد. در نقشه امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۶) هسته‌ای با امگای مثبت قوی بر روی غرب ایران، عراق، سوریه، و شمال دریای سرخ شکل گرفته است که نشان‌دهنده همگرایی هوا و دریافت هوای گرم و مرطوب در این تراز بر روی منطقه مورد مطالعه است. در نقشه شار رطوبت (شکل ۱۴) وجود حرکت و اچرخندی ناشی از استقرار زبانه‌های پُرفشار بر روی دریای خزر سبب تزریق رطوبت این منبع آبی بر روی شمال غرب و غرب ایران شده است. وجود مرکز کم‌فشار بر روی شمال غرب کشور سبب حرکت چرخندی و تزریق رطوبت از طریق دریای سیاه و مدیترانه شده است. این منابع آبی سبب فرارفت حجم زیادی از رطوبت (۱۲ گرم بر کیلوگرم) به نیمه غربی و شمال غربی ایران شده و زمینه را برای ناپایداری شدید همرفتی فراهم کرده است. همچنین، وجود مرکز کم‌فشار بر روی خلیج فارس و دریای سرخ و دریای عرب سبب حرکت چرخندی و فرارفت و تزریق رطوبت این منابع آبی به سمت عرض‌های شمالی و نیمه غربی و شمال غربی ایران شده و زمینه را برای ناپایداری بیشتر فراهم کرده است. بررسی الگوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی این خوشه نشان می‌دهد (شکل ۱۳) یک سردچال با ارتفاع مرکزی ۵۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب دریای سیاه مستقر شده است. گرادیان ارتفاع ناوه یادشده ۳۵۰ متر است و پربند ۸۵۰ ژئوپتانسیل متر آن تا جنوب دریای سرخ یعنی مدار ۲۰ درجه شمالی امتداد یافته است. منطقه مورد مطالعه درست در قسمت جلوی ناوه یادشده قرار گرفته و منطقه تاوایی مثبت جلوی ناوه زمینه را برای صعود هوا فراهم کرده است. همچنین، در امتداد قرارگرفتن ناوه مدیترانه با کم‌فشار قطبی، که به سمت عرض‌های پایین گسترش یافته است، سبب تقویت ریزش هوای سرد به داخل ناوه و گرادیان شدید ارتفاع و عمیق‌ترشدن آن و کشیده‌شدن آن به عرض‌های جنوبی‌تر شده است. تداوم ریزش هوای سرد از طریق ناوه مدیترانه بر روی مرکز همگرایی دریای سرخ سبب دینامیکی‌شدن کم‌فشار سودان شده و کم‌فشار یادشده را ناپایدار کرده و باعث حرکت این کم‌فشار به سمت شمال شده و متعاقب آن شمال شرق را تحت تأثیر نیروی کوریولیس و شیو فشار کرده است. حرکت مرکز همگرایی دریای سرخ به سمت شمال شرق باعث گرادیان شدید فشار در غرب ایران شده است. جریانات صعودی قوی در تراز بالایی جو همراه شکل‌گیری جبهه در سطح زمین ناشی از تقابل توده هوای گرم و مرطوب جنوبی و هوای سرد شمالی، شرایط را برای صعود شدید هوا و در نتیجه ابرناکی و بارش تگرگ به‌وجود آورده است.

در نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۷) هسته‌ای با امگای منفی قوی بر روی غرب، شمال غرب، دریای خزر، عراق، سوریه، و ترکیه شکل گرفته است. بیشینه امگای منفی بر روی شمال غرب و غرب کشور به ۰/۳- پاسکال بر ثانیه

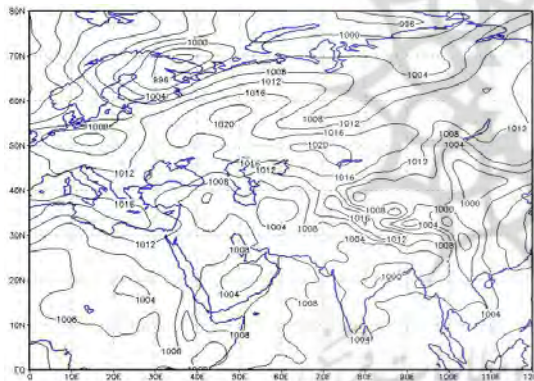
می‌رسد. منطقه مورد مطالعه در مرکز هسته منفی امگا قرار گرفته است. همچنین، همگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با واگرایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و انطباق هسته امگای منفی با شرق ناوه مدیترانه باعث تشدید واگرایی بالایی و حرکات قائم شدید بر روی منطقه شده و باعث ایجاد ناپایداری شدید گردیده است. در نقشه شار رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی (شکل ۱۵)، مهم‌ترین منبع تأمین رطوبت در این تراز از طریق دریای سیاه و مدیترانه و دریای سرخ تأمین شده است که از طریق ناوه مدیترانه بر روی غرب ایران و منطقه مورد مطالعه کشیده شده است و زمینه ایجاد ناپایداری شدید را فراهم کرده است.



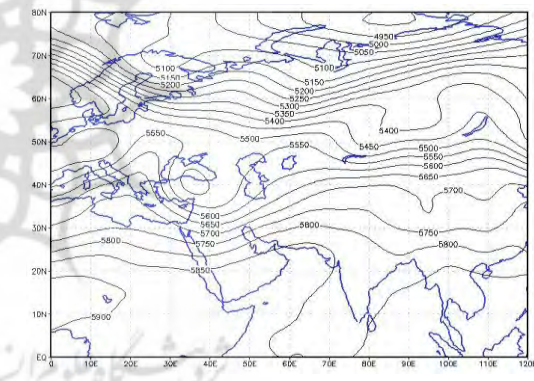
شکل ۱۳. الگوی پربندی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ زلو



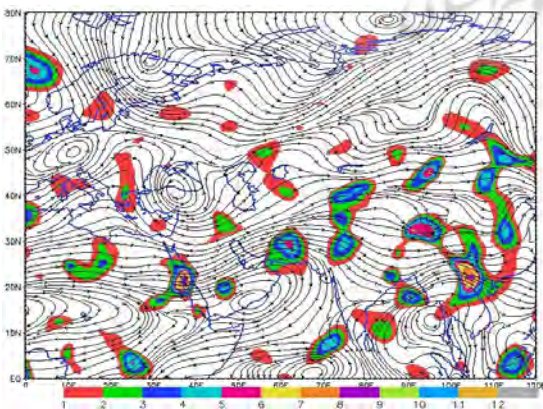
شکل ۱۴. الگوی فشار تراز دریا ساعت ۱۲ زلو



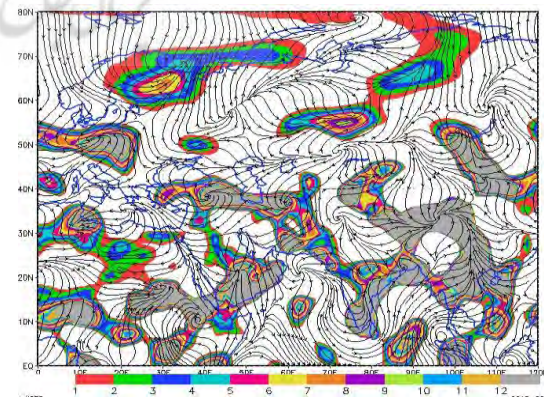
شکل ۱۵. الگوی شار رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ زلو



شکل ۱۶. الگوی شار رطوبت تراز دریا ساعت ۱۲ زلو



شکل ۱۷. الگوی امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ زلو



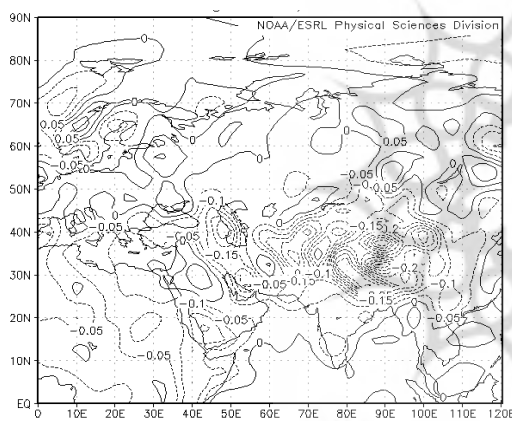
شکل ۱۸. الگوی امگا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ زلو

الگوهای هم‌دید رخداد روز نماینده الگوی سوم ۲۰۰۶/۵/۳

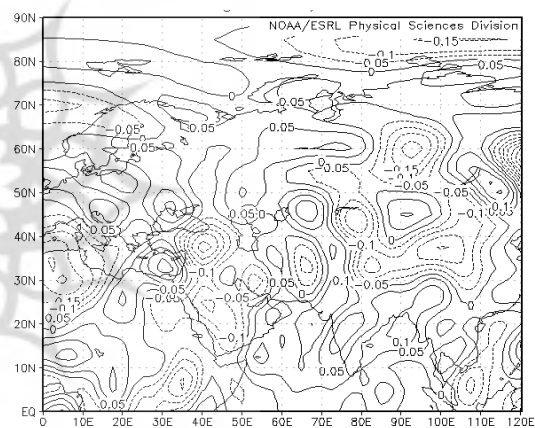
همان‌طور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، در این روز در نقشه تراز دریا مرکز پُرفشار سیبری با هسته مرکزی ۱۰۳۶ هکتوپاسکال بر روی شمال روسیه مشاهده می‌شود که زبانه‌های آن بر روی سراسر شمال ایران کشیده شده؛ به طوری که زبانه ۱۰۲۰ هکتوپاسکالی آن تا جنوب دریای خزر و دریای سیاه و مدیترانه نفوذ کرده و با حرکت واچرخندی عظیم خود سبب فرارفت هوای بسیار سرد از عرض‌های شمالی و شیو شدید دما بر روی نوار شمالی ایران شده است. سلول کم‌فشاری با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال بر روی شرق دریای سرخ (کم‌فشار سودان) شکل گرفته و زبانه‌های آن تا نیمه غربی و شمال غربی ایران کشیده شده است که با حرکت واچرخندی خود سبب فرارفت هوای گرم و مرطوب این ناحیه در راستای جنوبی-شمالی بر روی غرب ایران می‌شود و زمینه را برای تقابل دو توده هوای بسیار متضاد به لحاظ دمایی فراهم می‌آورد. در این شرایط با ورود زبانه‌های پُرفشار در شمال غرب و ریزش هوای سرد بر روی دریای سرخ و مرکز کم‌فشار سودان کم‌فشار مذکور را ناپایدار کرده و باعث حرکت شمال سوی کم‌فشار تحت تأثیر نیروی کوریولیس و شیو فشار شده است. حرکت مرکز همگرایی دریای سرخ به سمت شمال در تقابل با زبانه‌های پُرفشاری که باعث ریزش هوای سرد به منطقه مورد نظر شده باعث جبهه‌زایی در این منطقه شده است. به نظر می‌رسد در این الگو تقابل هوای سرد شمالی ناشی از نفوذ زبانه‌های پُرفشار سیبری به این منطقه و مرکز همگرایی دریای سرخ گرادیان فشار شدیدی به وجود آورده است که اصلی‌ترین عامل رخداد تگرگ در منطقه مورد مطالعه بوده است. در نقشه امگای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۲۲)، هسته‌ای با امگای منفی قوی بر روی غرب دریای خزر شکل گرفته و لبه جنوبی هسته تا روی نیمه غربی ایران کشیده شده است. همچنین، بر روی شمال عربستان، عراق، و جنوب غرب ایران هسته‌ای با امگای مثبت شکل گرفته که لبه شمالی آن تا نیمه غربی ایران کشیده شده و سبب همگرایی هوای گرم و مرطوب در این تراز بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. در نقشه شار رطوبت (شکل ۲۰)، همان‌طور که در نقشه تراز دریا مشخص است، تقریباً از همه منابع آبی موجود در منطقه مطالعاتی به سمت منطقه مورد نظر تزریق رطوبت انجام شده است. وجود حرکت چرخندی ناشی از شکل‌گیری مرکز همگرایی بر روی شمال غرب کشور سبب تزریق رطوبت از طریق دریای سیاه و مدیترانه شده است. همچنین، پُرفشار سیبری با حرکت واچرخندی خود بر روی دریای خزر سبب تزریق رطوبت این منبع آبی بر روی شمال غرب و غرب ایران شده است. کم‌فشار سودان با حرکت چرخندی خود سبب فرارفت و تزریق حجم زیاد رطوبت از دریاها، عرب، سرخ، و خلیج فارس به سمت عرض‌های شمالی و نیمه غربی و شمال غربی ایران شده است و زمینه را برای ناپایداری شدید همرفتی فراهم کرده است.

بررسی الگوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی این خوشه (شکل ۱۹) دو سردچال را به صورت زوجی نشان می‌دهد که اولی بر روی شمال شرق اروپا و دومی بر روی دریای سیاه مستقر شده است. این سردچال‌ها به صورت مانعی در برابر امواج غربی عمل کرده و این امواج را به دو شاخه شمالی و جنوبی تقسیم نموده است. شاخه جنوبی باعث ایجاد ناوهای بر روی شرق مدیترانه و دریای سرخ شده است. گرادیان ارتفاع ناوه یادشده ۲۰۰ متر است و پربند جنوبی آن تا مرکز دریای سرخ کشیده شده است. کم‌ارتفاع بریده مرکز ناوه با ارتفاع مرکزی ۵۶۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای سیاه و مدیترانه مستقر شده است و هوای سرد عرض‌های بالا را به عرض‌های پایین منتقل می‌کند و در سمت غرب خود هوای سرد و پایدار و در سمت شرق خود ناپایداری ایجاد می‌کند. همچنین، شکل‌گیری یک سلول پُراارتفاع بسته بر روی جنوب ایران و عربستان و اقیانوس هند با فشار ۵۹۵۰ هکتوپاسکال به صورت مانعی در برابر امواج بادهای غربی عمل کرده و باعث افزایش گرادیان کنتوری بر روی نیمه غربی ایران شده است؛ به طوری که منطقه مورد مطالعه درست در قسمت جلوی ناوه یادشده قرار گرفته است و تاوایی مثبت جلوی ناوه زمینه را برای صعود هوا فراهم کرده است. ریزش هوای سرد از طریق ناوه مدیترانه بر روی مرکز همگرایی دریای سرخ سبب

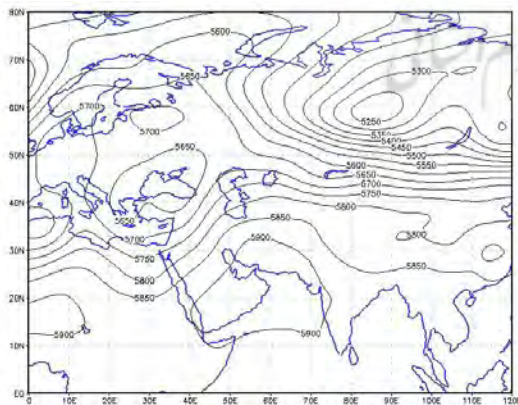
افزایش تاوایی پتانسیل و دینامیکی شدن کم‌فشار سودان و حرکت آن به سمت شمال و متعاقب آن شمال شرق تحت تأثیر شیو فشار شده است. حرکت مرکز همگرایی دریای سرخ به سمت شمال شرق باعث گرادیان شدید فشار در غرب ایران شده است. جریانات صعودی قوی در تراز بالایی جو همراه شکل‌گیری جبهه در سطح زمین ناشی از تقابل توده هوای گرم و مرطوب جنوبی و هوای سرد شمالی، شرایط را برای صعود شدید هوا و در نتیجه ابرناکی و بارش تگرگ فراهم کرده است. همچنین، امواج غربی با عبور از روی دریای سیاه و مدیترانه و دریای سرخ و کسب رطوبت از این منابع آبی باعث ایجاد ناپایداری و بارش تگرگ در منطقه مورد مطالعه شده است. در نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۲۳)، هسته‌ای با امگای منفی قوی بر روی غرب، شمال غرب، شمال عراق، و ترکیه شکل گرفته است. بیشینه امگای منفی بر روی شمال غرب و غرب کشور به ۰/۳- پاسکال بر ثانیه می‌رسد. منطقه مورد مطالعه در مرکز هسته منفی امگا قرار گرفته است. انطباق هسته امگای منفی با جلوی ناوه مدیترانه بر روی غرب ایران باعث تشدید واگرایی بالایی و حرکات قائم شدید شده است و زمینه را برای ایجاد ناپایداری شدید بر روی منطقه مورد مطالعه فراهم کرده است. در نقشه شار رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۲۱)، عمده‌ترین منبع رطوبت در این تراز از طریق دریای سرخ و مدیترانه تأمین شده است که از طریق ناوه مدیترانه بر روی نیمه غربی ایران کشیده شده و زمینه ایجاد ناپایداری شدید را فراهم کرده است.



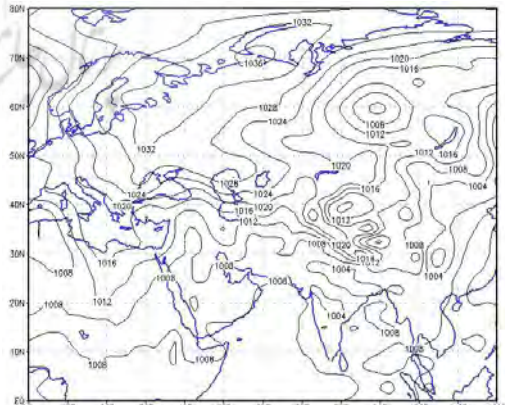
شکل ۱۹. الگوی پربندی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ زلو



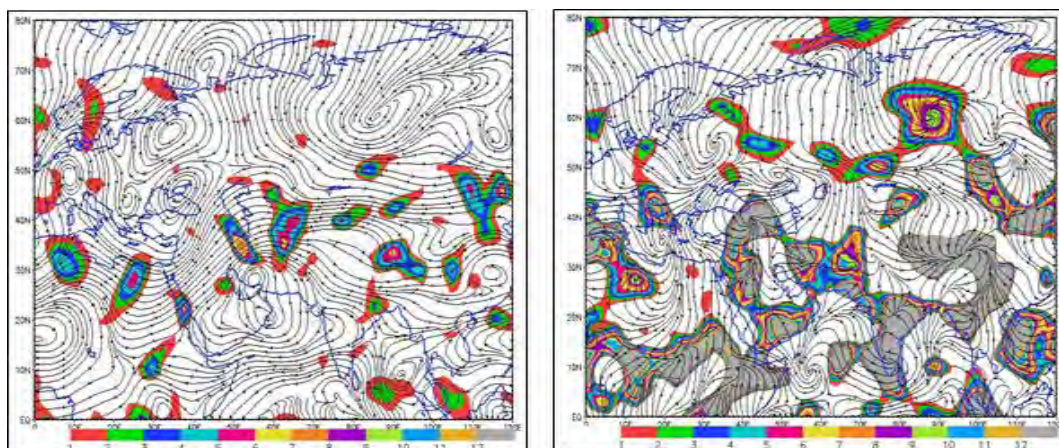
شکل ۱۸. الگوی فشار تراز دریا ساعت ۱۲ زلو



شکل ۲۱. الگوی شار رطوبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ زلو



شکل ۲۰. الگوی شار رطوبت تراز دریا ساعت ۱۲ زلو



شکل ۲۲. الگوی امگا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ زلو

شکل ۲۳. الگوی امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۲ زلو

نتیجه گیری

هدف از این پژوهش ایجاد یک طبقه‌بندی مناسب از الگوهای اتمسفری در ارتباط با وقایع تگرگ و ویژگی‌های اقلیم‌شناختی مسبب آن‌ها در حوضه زاب است. برای دسترسی به اهداف فوق، از داده‌های ایستگاهی (کدهای مربوط به رخداد تگرگ (۸۷-۸۸-۸۹-۹۰ الی ۹۹ از ۱۰۰ کد مربوط به هوای حاضر) بارش تگرگ سه ایستگاه همید حوضه زاب در یک دوره آماری ۲۴ ساله (۲۰۱۶-۱۹۹۲) استفاده شده است. همچنین، با استفاده از داده‌های مرکز NCEP/NCAR، به واکاوی همیدی و شناسایی الگوهای گردشی مقارن با این رخدادها اقدام شده است. با تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل سه الگوی گردشی ضعیف، متوسط، و شدید در ارتباط با بارش تگرگ شناسایی شد. در نهایت، برای شناسایی مهم‌ترین سامانه‌ها، همبستگی درون‌گروهی بین هر خوشه به عمل آمد و روزی که بیشترین همبستگی را با سایر روزها در یک خوشه داشت به‌عنوان روز نماینده الگوی گردشی آن خوشه انتخاب شد و مبنای واکاوی این پژوهش واقع گردید. در بررسی الگوهای همیدی بارش تگرگ، با توجه به یافته‌های به‌دست‌آمده، سه الگو به بهترین نحو بارش‌های تگرگ در حوضه زاب را توجیه کردند. در الگوی اول، که بارش‌های تگرگ ضعیف را شامل می‌شود، در تراز دریا شاهد تقابل زبانه‌های گرم و مرطوب سامانه کم‌فشار سودان و زبانه‌های سرد پرفشار اروپایی بر روی منطقه مورد مطالعه بودیم. تقابل هوای سرد شمالی با هوای گرم و مرطوب جنوبی و قرارگیری منطقه در جلوی ناوه مدیترانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شرایط و ناپایداری را برای بارش تگرگ فراهم کرده است. در الگوی شار رطوبت، منبع رطوبت در تراز دریا از دریای سیاه، مدیترانه، عرب، سرخ، و خلیج فارس و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از دریای مدیترانه و سرخ تأمین شده است. در الگوی دوم در تراز دریا با شکل‌گیری یک مرکز کم‌فشار قوی بر روی عراق تقویت این کم‌فشار با فرارفت هوای گرم و مرطوب از طریق سامانه سودانی و شکل‌گیری کمربند پرفشاری در سراسر نوار شمالی ایران- که با حرکت واچرخندی خود سبب ریزش هوای سرد بر روی منطقه مورد مطالعه شده است- شرایطی برای جبهه‌زایی بر روی منطقه فراهم کرده است. همچنین، قرارگیری منطقه در جلوی ناوه مدیترانه و انطباق هسته امگای منفی با جلوی ناوه مدیترانه بر روی غرب ایران زمینه را برای تشدید واگرایی بالایی و ایجاد ناپایداری شدید بر روی منطقه مورد مطالعه فراهم کرده است. در الگوی شار رطوبت در این الگو، منبع رطوبت در تراز دریا از دریای سیاه، مدیترانه، خزر، عرب، سرخ، و خلیج فارس و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از دریای سیاه، مدیترانه، و سرخ تأمین شده است.

در الگوی سوم در تراز دریا کم‌فشار سودان قوی‌تر شده؛ به طوری که زبانه‌های آن تا نیمه غربی و شمال غربی ایران کشیده شده و سبب تزریق هوای گرم و مرطوب و ایجاد شرایط همگرایی بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. همچنین، پُرفشار سیبری بر روی شمال ایران در اوج فعالیت خود است و زبانه‌های آن با حرکت واچرخندی خود سبب ریزش هوای بسیار سرد بر روی منطقه مورد مطالعه شده و در این شرایط تقابل هوای بسیار سرد شمالی و گرم و مرطوب جنوبی شرایط را برای جبهه‌زایی و ناپایداری منطقه فراهم کرده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری منطقه در شرق ناوه مدیترانه و انطباق هسته امگای منفی با جلوی ناوه مدیترانه بر روی غرب ایران باعث تشدید واگرایی بالایی و حرکات قائم شدید شده است و زمینه را برای ایجاد ناپایداری شدید بر روی منطقه مورد مطالعه فراهم کرده است. در الگوی شار رطوبت، منبع رطوبت در تراز دریا از دریای سیاه، مدیترانه، عرب، سرخ، و خلیج فارس و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از دریای سرخ و مدیترانه تأمین شده است. در پژوهش‌های قبلی انجام‌گرفته در ارتباط با بارش تگرگ، فقط نقش پُرفشارهای شمالی و کم‌فشار سودان در رخداد بارش تگرگ بررسی شده‌اند؛ درحالی‌که در این پژوهش مشخص شد بارش تگرگ در غرب ایران مستلزم تقابل توده‌های هوای سرد شمالی با هوای گرم و مرطوب جنوبی است و شدیدترین بارش‌های تگرگ هنگامی رخ داده که این توده‌های هوا در اوج فعالیت خود بر روی منطقه مورد مطالعه نفوذ می‌کنند و شرایط را برای جبهه‌زایی و ناپایداری با کمک جریانات سطح بالا ایجاد می‌کنند و سبب حرکات قائم شدید در جو و در نتیجه بارش تگرگ می‌شوند.

منابع

- امیدوار، ک؛ صفریور، ف. و زنگنه اینالو، الف. (۱۳۹۲). بررسی و تحلیل همید سه رخداد تگرگ شدید در استان فارس، نشریه جغرافیا و توسعه، ۳۰: ۱۷۸-۱۵۷.
- بارش‌های حدی در ارتباط با عوامل مؤثر بر بارش در غرب و شمال غرب، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۹: ۱۵۳-۱۳۳.
- بداق جمالی، ج؛ جوانمرد، س. و فاتح، ش. (۱۳۸۹). بررسی پدیده تگرگ در ایران و روش‌های مقابله با آن، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ۲۳-۲۱ اردیبهشت، مؤسسه ژئوفیزیک، مقالات شفاهی، فیزیک فضا، ص ۴۷-۴۴.
- خوشحال دستجردی، ج. و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۹۲). شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی توفان‌های تندری در تبریز)، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه جغرافیا، ص ۱۱۵-۱۰۱.
- درگاهیان، ف؛ علیجانی، ب؛ رضایی، غ.ج. و پرنو، ر. (۱۳۹۳). تحلیل آماری، ترمودینامیکی، و همیدی پدیده تگرگ در استان لرستان، فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۸: ۱۱۷-۱۳۰.
- رضایی بنفشه، م؛ نجفی، م.س؛ نقی‌زاده، ح. و آب خرابات، ش. (۱۳۹۴). واکاوی رفتار علیجانی، ب. (۱۳۸۸). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چ ۳، تهران: سمت.
- عسگری، احمد و فرشته محبی (۱۳۸۹)، مطالعه آماری - همیدی توفان‌های تندری در استان خوزستان، چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، تهران، سازمان هواشناسی کشور.
- علیجانی، ب. و کاویانی، م. (۱۳۸۵). میانی اقلیم‌شناسی، چ ۲، تهران: سمت.
- کیانی، حدیث، سید حسین میرموسوی و مسعود جلالی (۱۳۹۲)، "تحلیل زمانی - مکانی وقوع بارش تگرگ در استان کرمانشاه" فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۴۳، صص ۹۸-۸۳.
- لشکری، ح. و امینی، م. (۱۳۸۹). تحلیل همید و پهنه‌بندی بارش تگرگ در استان خراسان، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۵: ۱۰۸-۵۱.
- مفیدی، ع. و زرین، آ. (۱۳۸۴). بررسی همیدی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۶: ۱۱۳-۷۷.
- میرزاخانی، آ. (۱۳۷۸). تجزیه و تحلیل ریسک سیل و آثار زیان‌بار آن در ایران، فصل‌نامه بیمه، ۷: ۱۵-۸.
- یارنال، ب. (۱۳۸۵). اقلیم‌شناسی همید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، ترجمه سید ابوالفضل مسعودیان، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- Aarn, A, J.C PENA, M. Tora, (2011), Atmospheric circulation patterns associated with hail events in Lleida (Catalonia), Atmospheric Research 100 428-438.
- Asgari, A; Mohebbi, F (2011), Statistical-Synoptic Study of Thunderstorms in Khuzestan Province, Fourth Regional Climate Change Conference, Tehran, Iran Meteorological Organization
- Alijani, B. (2009). Synoptic Climate, Third Edition, saamt Publishing, Tehran.
- Alijani, B. and Kaviani, M. (2006). Climatology Basics, Second Edition, saamt. Publishing, Tehran.

- Banacos, P.; David, C. and Schultz, M. (2004). The Use of Moisture Flux Convergence in Forecasting Convective Initiation: Historical and Operational Perspectives, *Weather and Forecasting*, Vol 20 June 2005.
- Berthet, C.; Wesolek, E.; Dessens, J. and Sanchez, J.L. (2012). Extreme hail day climatology in South western France, *Atmospheric Research*, 123(1): 139-150.
- Bodagh Jamali, J.; Javanmard, S. and Fateh, Sh. (2010). Investigating the phenomenon of hail in Iran and its methods of coping with it, *14th Iranian Geophysical Conference*, Tehran, May 23-21, Geophysics Institute, Oral History, Space Physics, pp. 47-44.
- Changnon Stanley, A. (2009). Increasing major losses in the U.S., *Climatic Change*, No. 14.
- Dessens, J. (1986). Hail in Southwestern France, hail fall characteristics and hailstorm environment, *J. Climate Appl, Meteorol*, 25: 35-47.
- Eccel, E.; Cau, P.; Riemann-Campe, K. and Biasioli, F. (2011). Quantitative hail monitoring in an alpine area: 35-year climatology and links with atmospheric variables, *International journal of climatology*, 32(4): 503-517.
- Good Dastjerdi, J. and Ghavidel Rahimi, Y. (2014). Identifying the Environmental Disaster Characteristics of the Northwest Region of Iran (A Case Study of Thunder Storm in Tabriz), *Quarterly Journal of Humanities*, Special Issue of Geography, pp. 101-115.
- Han-Gyul, J.; Hyunho, L.; Jambajamts, L. and Jong-Jin, B. (2016). A Hail Climatology in South Korea, *Atmospheric research*, 38-54.
- Kiani, H, Mirmosavi, S. H; Jalali, M (2014), "Temporal-Spatial Analysis of Hail Precipitation in Kermanshah Province" Scientific - Geographical Research Quarterly, Vol. 43, pp. 83-98.
- Lashkari, H. and Amini, M. (2010). Analysis and observation of hail precipitation in Khorasan province, *Journal of Geography and Planning*, 15: 108-51. Mofidi, A. and Zarrin, A. (2005). A Survey on the Impact of Sudan Low Pressure Systems on Flood Precipitation Events in Iran, *Geographical Research Quarterly*, 36: 113-77.
- Lucia, H.; Laura, L.; Merino, A.; Berthet, C.; García-Ortega, E.; Sánchez, J. and Dessens, L. (2015). Hailfall in southwest France: Relationship with precipitation, trends and wavelet analysis, *Atmospheric Research*, 156: 174-188.
- Martinez, C, Campins, j, jensa, a. (2008)" heavy hailstorm events in the western Mediterranean: An Atmospheroc patterns classification", *adv.sci.res.* 2, pp.61-64
- Mirzakhani, A. (1999). *Flood risk analysis and its harmful effects in Iran*, *Quarterly Journal of Insurance*, 7: 8-15.
- Yannal, B. (2006). *Synthesis of Climatology and its Application in Environmental Studies*, Translated by Seyyed Abolfazl Masoodian, Isfahan University Press.
- Omidvar, K.; Safarpour, F. and Zangeneh Inaloo, A. (2014). Surveying and Analyzing the Three Hailing Events in Fars Province, *Geography and Development Magazine*, 30: 178-157.
- Poc akal, D. and Stalec, J. (2007). Statistical analysis of hail characteristics in the hail-protected western part of Croatia using data from hail suppression station, *4th European Conference on Severe Storms 10 - 14 - Trieste*, pp. 1-12.
- Punge, H.J.; Bedka, K.M. and Kunz,M; werner, A. (2014). A new physically based stochastic event catalog for hail in Europe, *Natural Hazards*, DOI 10.1007/s11069-014-1161-0.
- Shen, S. (2003). Global warming science and policy: progress 2002-2003. *Proceeding of 14th Global warming International conference and expo (24-30 may, Boston. USA)*, pp. 7-18.