



## بررسی ارتباط نوسانات چرخندگی تغییرات اقلیمی بارش‌های شمال غرب ایران (مطالعه موردی: ایستگاه سردشت)

بتول زینالی<sup>۱\*</sup>، برومند صلاحی<sup>۲</sup>، هاجر نوروز پرست<sup>۳</sup>، سمیرا مینائی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup>استاد آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۳</sup>کارشناسی‌ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۴</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۸

### چکیده

تغییرات اقلیمی از دیدگاه بسیاری از دانشمندان پدیده طبیعی است که در مدت‌زمان طولانی رخ می‌دهد. تأثیر فعالیت‌های بشر نیز باعث تشدید اثرات پدیده تغییرات اقلیمی، شدت روند این تغییرات و تغییر زمانی این پدیده نظیر بارش می‌گردد. در بررسی تغییر اقلیمی می‌توان از پارامترهای مختلف هواشناسی استفاده کرد از جمله این پارامترها می‌توان به چرخندگی اشاره کرد. چرخندگی مثبت و منفی در موج‌بادهای غربی باعث ایجاد تغییراتی در نوع ریزش بارش می‌گردد. هدف این پژوهش بررسی ارتباط نوسانات چرخندگی بر بارش منطقه سردشت می‌باشد. ابتدا داده‌های بارش روزانه از ایستگاه سینوپتیک سردشت اخذ و پس از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار گرس نقشه‌های سینوپتیک امگا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی بار، فشار سطح دریا و چرخندگی برای روزهای نماینده استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از ایجاد جبهه در سطح زمین در کلیه نقشه‌های فشار سطح دریا در ایستگاه سردشت می‌باشد. همچنین در نقشه ژئوپتانسیل، منطقه مورد مطالعه در بخش وزش افقی چرخندگی مثبت فرود بادهای غربی واقع شده که باعث ایجاد شرایط ناپایدار در تراز ۵۰۰ میلی بار شده و موجبات صعود رطوبت را فراهم کرده است. در سطح زمین، مهم‌ترین منابع رطوبتی که باعث تقویت جبهه و بارش در ایستگاه مورد بررسی شدند دریای سیاه، مدیترانه و خزر بود. جهت وزش باد در سطح زمین به صورت شمال شرقی- جنوب غربی و در سطح بالا غربی، جنوب غربی و شمال غربی بود. در اغلب روزها شاهد سلطه یک سامانه سیکلونی در منطقه می‌باشیم که با ایجاد شرایط ناپایدار توسط جبهه، بارش رخ داده است. در نقشه امگا، کلیه روزها ناپایدار بوده و هسته‌های امگای منفی در ایستگاه سردشت شکل گرفته است. نقشه چرخندگی نشان از تأثیرگذاری چرخندگی مثبت در این ایستگاه می‌باشد که موجب ریزش بارش بخصوص بارش مایع در منطقه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** شهرستان سردشت، شمال غرب ایران، نوسانات چرخندگی، بارش.

### مقدمه

اکثر مؤلفه‌های سینوپتیک سطوح بالا نظیر واگرایی، همگرایی، حرکات قائم و بسط و توسعه چرخنده‌ای عرض‌های میانی همگی به چرخندگی بستگی دارد (امیری و همکاران، ۱۳۹۶) با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران که در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده، بارش از اهمیت زیادی برخوردار است. تغییرات در میزان و رژیم بارندگی از جمله مظاهر

تغییرپذیری اقلیم به عبارتی شامل هرگونه تغییر در اقلیم است که طولانی‌تر از رخداد‌های منفرد آب‌وهوای است و در دوره زمانی طولانی رخ می‌دهد و توسط حرکات جوی کنترل می‌گردد از سوی دیگر

\* نویسنده مسئول: zeynali.b@uma.ac.ir

ارتفاع ژئوتانسیل و همگرایی رطوبت، به بررسی متغیرهای هواشناسی به‌عنوان شاخص‌های تعیین کنند رخداد بارش‌های سنگین در جمهوری چک در دوره ۴۴ ساله پرداختند. کاسپر و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۹) به بررسی چرخندزایی ۱۸ تا ۲۱ ژولای ۲۰۰۱ با فرض ارتباط بارش‌های سنگین ناشی از سامانه‌های همدید منطقه مدیترانه با هنجارهای همدید-دینامیک مورد مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد که در طول چرخندزایی، جفت شدن قائم بین منطقه جبهه پائینی و چرخندگی حداکثر بالائی وجود داشته است. تاگراک و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۴) در بررسی تغییرات بارش سالانه و فصلی در رودخانه وینگانگا به اثرات چرخندگی اشاره داشتند. عبدل باست و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۵) با استفاده از الگوهای جوی به تحلیل و بررسی سینوپتیکی عوامل جوی مؤثر بر رخداد بارش‌ها در ۲۵ نوامبر در عربستان پرداختند. نتایج نشان از گسترش ناوه مدیترانه و تقویت سیستم کم‌فشار دینامیکی موجود در منطقه بود. مرابتن و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۶) نشان دادند که تغییرات زمانی بارش طولانی‌مدت طی بازه ۲۰۱۴-۱۹۳۴ در شهر شارجه امارت از ۳ میلی‌متر تا ۹/۴ در هر دهه کاهش داشته است.

علیجانی (۱۳۸۰) به شناسایی تیپ‌های هوایی باران‌زا در استان تهران بر اساس محاسبه چرخندگی پرداخت. مطالعات وی نمایانگر این مسئله می‌باشد که محاسبات چرخندگی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ایران بسیار دقیق و آسان‌تر از روش‌های دیگر می‌باشد. علیجانی (۱۳۸۹) در مطالعات خود رابطه بارش شدید ۶ ژانویه ۲۰۰۸ جنوب شرقی با تخلیه رطوبتی شدید خلیج فارس و ناهنجاری‌های منفی شدید تراز میانی جو و استقرار رود باد جنب‌حاره‌ای در غرب منطقه را نشان داد. لشکری (۱۳۸۲) به بررسی کم‌فشار سودانی و نقش آن در بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران پرداخت. نتایج نشان داد که سامانه سودانی، نحوه آرایش سامانه سیبری، واچرخند شمال آفریقا و

قابل توجه تغییرات اقلیمی است که بر بسیاری از پدیده‌های اقلیمی و فعالیت‌های انسانی اثر می‌گذارد (گندم‌کار، ۱۳۸۷). عوامل مختلفی در ایجاد بارش مؤثرند که چرخندگی از جمله این عوامل است (شبرنگ، ۱۳۸۷). چرخندگی با ایجاد شرایط لازم جهت صعود رطوبت امکانات ریزش باران را فراهم می‌کند و خود به دو صورت مثبت و منفی رخ می‌دهد. بروکز و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۰) به‌منظور بررسی کلیماتولوژی بارش‌های سنگین در ایالات متحده آمریکا، مطالعاتی در خصوص بارش‌های سنگین و سیل‌آسا (حدود ۱ اینچ در ساعت) داشتند. محمد فاضل و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی پدیده بارش سنگین باران که در منطقه شمال پاکستان طی فاصله ۴ تا ۹ جولای سال ۲۰۰۸ رخ داده بود پرداختند و نشان دادند که جبهه‌های زمینی و چرخندگی سطوح بالا در این بارش نقش داشته است. بارتزوکاس (۲۰۰۳)<sup>۲</sup> به بررسی رابطه بین گردش‌های جوی فراز اروپا و بارندگی یونان پرداخت. نتایج پژوهش وی نشان داد که وجود مراکز چرخندگی نسبی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در رخداد این بارش‌ها اثرگذار بوده است. آلپرت (۱۹۹۰)<sup>۳</sup> به بررسی توزیع افقی و عمودی چرخندگی نسبی ناحیه مدیترانه و تحلیل سیکلون-های مدیترانه طی دوره آماری ۵ ساله پرداخت.

وانگ (۲۰۰۷)<sup>۴</sup> چرخندگی نسبی بادهای اقیانوسی و تأثیر آن را در تکوین سیکلون‌های حاره‌ای در دریای چین جنوبی بررسی کرد. آن‌ها یک رابطه بین توزیع میانگین ۷ ساله چرخندگی نسبی بادهای سطحی با محل پیدایش سیکلون‌های حاره‌ای یافتند. وینسنت (۲۰۰۷)<sup>۵</sup> توسعه سیکلون‌های حاره‌ای اقیانوس آرام جنوبی را با استفاده از چرخندگی مطالعه نمود. مولر و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص‌های دینامیکی و ترمودینامیکی منتخب نظیر شار نصف‌النهار و مداری رطوبت، چرخندگی پتانسیلی و

1. Brooks
2. Bartzokas
3. Alpert
4. Wang
5. Vincent
6. Müller et al

7. Kaspar et al

8. Taxak et al

9. Abdel Basset et al

10. Merabtene et al

دریای خزر مشخص کردند که عامل اصلی وقوع بارش‌های تابستانه در منطقه مورد مطالعه، نفوذ سامانه پرفشار و در پی آن شکل‌گیری جریانات خنک و مرطوب شمالی و همچنین وقوع همرفت گسترده در منطقه است. در نتیجه این سه عامل، تعداد روزهای بارش و شدت آن در منطقه سواحل جنوبی دریای خزر افزایش می‌یابد. جلالی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از پارامترهای دینامیکی و همدیدی نظیر شار رطوبتی و چرخندگی، به سازوکارهای بارش فراگیر زمستانه ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ایران تحت تأثیر الگوی ترکیبی جو نظیر کم‌فشار مدیترانه، کم‌فشار دو هسته‌ای خلیج فارس و کم‌فشار بسته ایران مرکزی قرار دارد. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۹) به واکاوی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلا کینگ‌های مؤثر بر رخداد بارش‌های مدوم و سنگین تبریز طی دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۳ پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که استقرار سردچال و سه الگوی اصلی فشار در رخداد این پدیده مؤثر بوده است. جهانبخش و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی تغییرات دهه‌ای سامانه‌های باران‌زای مؤثر بر حوضه آبریز رود زرد به این نتیجه دست یافتند که وسعت منطقه و مجموع بارش ناشی از کنش‌های چرخنده‌ای سالانه روند کاهشی را داشته‌اند. نتایج مطالعات محققان حاکی از تأثیرگذاری چرخندگی به‌عنوان مهم‌ترین پدیده اقلیمی بر تغییرات اقلیمی از جمله بارش در نقاط مختلف جهان بخصوص در ایران است. هم‌جواری شمال غرب ایران با منابع رطوبتی (دریای خزر، سیاه و مدیترانه) و عوامل همدید از جمله چرخندگی باعث صعود هوا و ورود رطوبت به این منطقه همواره باعث ایجاد بارش می‌شوند. در این تحقیق، ارتباط نوسانات چرخندگی بر بارش ایستگاه سردشت به‌عنوان نماینده‌ای از شمال غرب ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### داده‌ها و روش تحقیق

شهرستان سردشت در جنوب استان آذربایجان غربی و در امتداد جنوبی ارومیه قرار گرفته است و با

شبه‌جزیره عربستان و ناوه شمال آفریقا و کم‌فشار سودان در سطح زیرین و میانی جو، منجر به رخداد بارش‌های سنگین در جنوب و جنوب غرب ایران می‌شوند.

مفیدی (۱۳۸۴) با استفاده از الگوهای گردشی در ۴ تراز جو نشان داد که در رابطه با تشکیل و گسترش کم‌فشار سودانی اگرچه همچون سایر مطالعات بر مقادیر پایین شاخص چرخه و استقرار پشته‌ای در تراز میانی وردسپهر بر روی مدیترانه غربی و ناوه عمیقی بر منتهی علیه شرق مدیترانه دلالت دارد، اما نقش اصلی را به کشیده شدن تاوه قطبی در تراز ۵۰۰ به‌عنوان منبع اصلی چرخندگی برای پیدایش الگوی گردش ناهنجاری و تقویت سلول هدلی و جت جنب‌حاره‌ای بر روی مدیترانه و شمال آفریقا می‌دهد. محمدی (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های هواشناسی و آماری به تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران پرداخت. نتایج نمایانگر وجود دو مرکز بیشینه چرخندگی نسبی تراز میانی در شرق دریای مدیترانه و در غرب دریای سرخ می‌باشد که زبانه غرب دریای سرخ به‌صورت نواری با پیشروی شرق ناوه به سمت ایران کشیده شده است و مقدار آن نیز به‌تدریج در جنوب غرب ایران افزایش می‌یابد. لشکری و خزائی (۱۳۹۳) به مطالعه وقوع بارش‌های سنگین سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج نشان داد که این پدیده با کم‌فشار دریای عرب، خلیج بنگال، و اچرخند ایران، ناوه بادهای غربی در سطوح میانی جو و منابع آبی دریای عمان و عرب در جنوب آسیا در ارتباط بوده است. علیجانی و رضایی (۱۳۹۳) به بررسی توزیع زمانی و مکانی چرخندگی نسبی در ایران با تأکید بر بارش پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که در فصل زمستان، در اکثر مناطق ایران به‌جز سواحل دریای عمان و بوشهر، چرخندگی نسبی، مثبت و در اواخر فصل بهار، منفی است که از سمت جنوب، گسترش‌یافته و تمام کشور را در برمی‌گیرد.

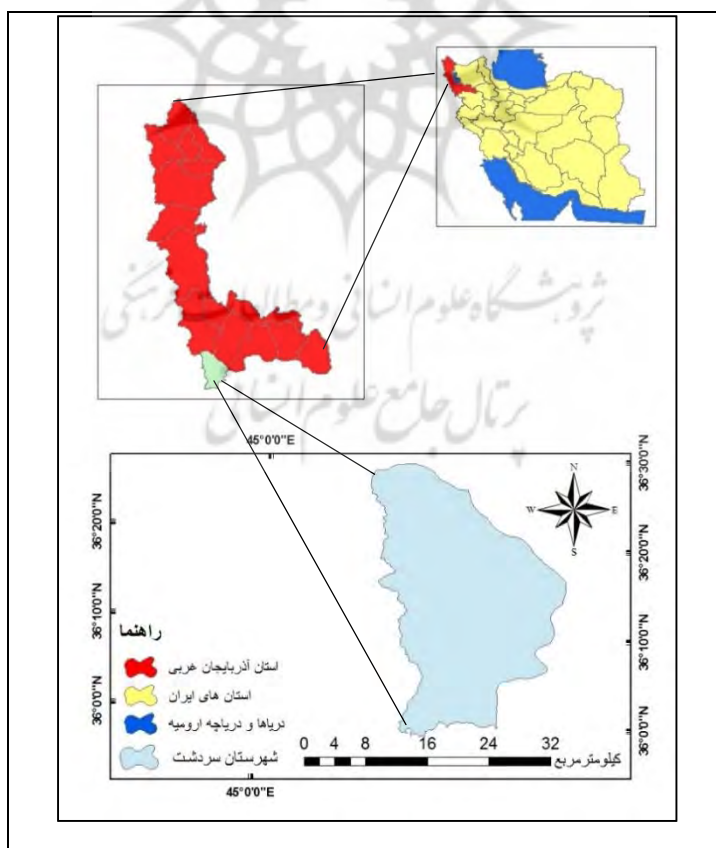
جلالی و همکاران (۱۳۹۶) با شناسایی الگوهای همدید بارش‌های شدید تابستانه در سواحل جنوبی

روزهائی که دارای بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر بودند انتخاب گردیدند. پس از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Gareds نقشه‌های Slp, Hjt, Omega و چرخندگی برای روزهای نماینده استخراج و مورد بررسی همدیدی قرار گرفتند. در این بخش پس از انتخاب ۲۶ داده بارش از کل داده‌های بارش در طی ۳۰ سال، روزهائی که دارای بارش تگرگ و برف بودند در ایستگاه سردشت حذف و فقط روزهائی دارای بارش مایع بالا (۱۸ روز) در خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). در فرایند خوشه‌بندی، از متد وارد و مقیاس فاصله اقلیدسی استفاده شده است.

شمال استان سلیمانیه در کردستان عراق همسایگی دارد. طول جغرافیایی آن ۴۵/۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی آن ۳۶/۲۵ درجه شمالی و ارتفاع آن بالغ بر ۱۴۸۰ متر از سطح دریاهای آزاد است. این منطقه در دامنه کوه گرده سور گسترده شده و همچنین کوهستان قندیل نیز در شمال غربی سردشت قرار دارد. همسایگان آن پیرانشهر، مهاباد، بوکان و بانه می‌باشند. استان آذربایجان غربی به لحاظ توپوگرافی متنوع بود و این باعث تنوع اقلیمی در این استان گردیده است. در این پژوهش داده‌های بارش روزانه ۳۰ ساله از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ از ایستگاه هواشناسی سردشت اخذ و

جدول ۱: روزهائی دارای بارش در ایستگاه سردشت

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
روز	۱۹۹۱/۴/۱۱	۱۹۹۳/۱/۱۱	۱۹۹۳/۳/۱۱	۱۹۹۳/۴/۱۸	۱۹۹۴/۶/۱۱	۱۹۹۵/۴/۱۱	۱۹۹۵/۴/۱۹	۱۹۹۶/۴/۱۲	۱۹۹۸/۳/۱۷	۱۹۹۹/۳/۱۸	۲۰۰۱/۱۲/۲۹	۲۰۰۲/۲/۱۲	۲۰۰۳/۱۱/۱۱	۲۰۰۶/۳/۲۳	۲۰۰۹/۳/۱۴	۲۰۱۰/۵/۲	۲۰۱۴/۱/۳۸	۲۰۱۴/۱۱/۲۲
بارش	۷۹	۶۸	۶۶	۹۱	۷۴	۸۷	۹۴	۶۵	۱۳۲	۸۲	۶۸	۶۳	۱۰۰	۱۸۵	۶۹	۷۳	۷۶	۶۵

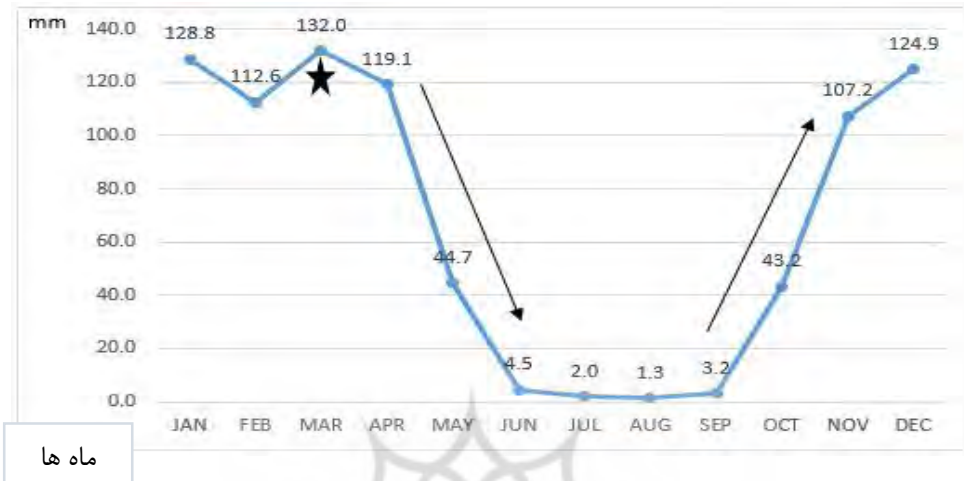


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان سردشت

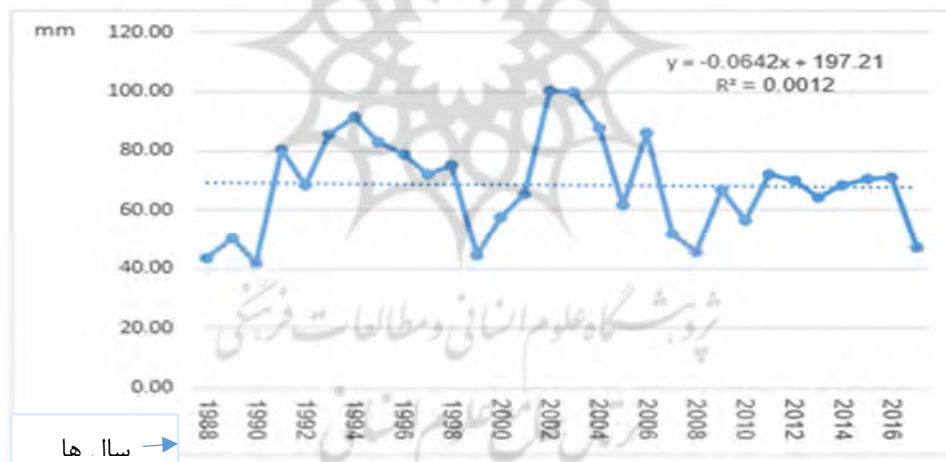
## یافته‌های تحقیق

شکل ۲ میانگین بارش ماهانه ایستگاه سردشت را نشان می‌دهد. پرباران‌ترین ماه در سردشت ماه اسفند بوده که حدود ۱۳۲ میلی‌متر بارش داشته است. با توجه به شکل ۳، بالاترین میزان بارش در سال ۲۰۰۲

حدود ۱۰۰/۱۸ میلی‌متر و کمترین آن مربوط به سال ۱۹۹۰ با حدود ۴۴/۴۸ میلی‌متر بوده است. روند تغییرات سالانه بارش در ایستگاه سردشت نشان می‌دهد که روند خاصی در سری زمانی داده‌ها دیده نمی‌شود.



شکل ۲: رژیم بارش ماهانه ایستگاه سردشت



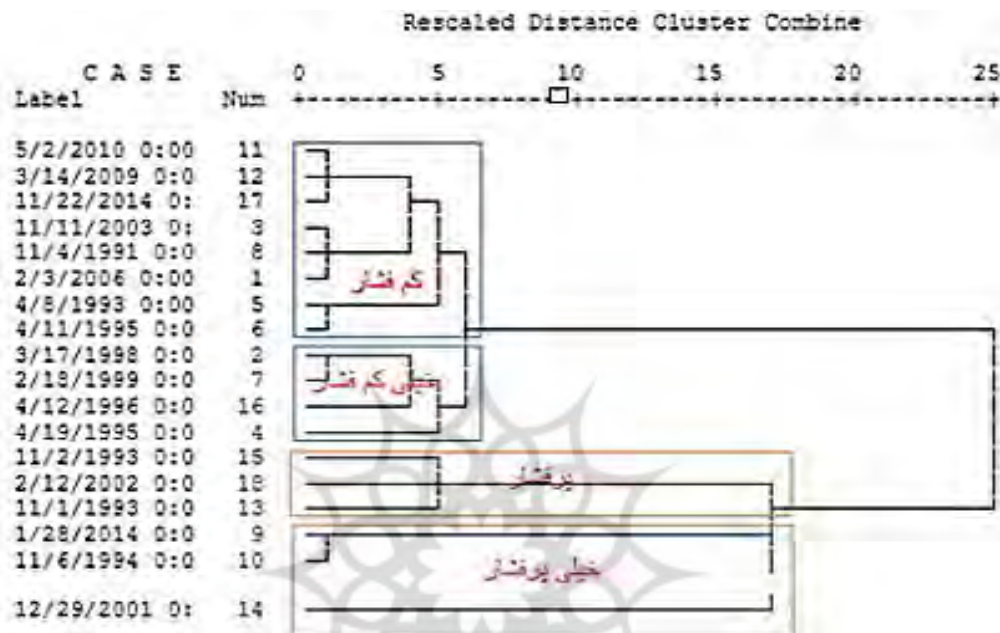
شکل ۳: سری زمانی بارش سالانه ایستگاه سردشت در طول دوره آماری مورد مطالعه

را نشان می‌دهد. در نهایت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسه‌های زوجی را باهم تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آیند (قدسی‌پور، ۱۳۸۴). شکل ۴ خوشه‌بندی بارش ایستگاه سردشت بر مبنای فشار سطح دریا را نشان می‌دهد. با توجه به خوشه‌های مشاهده شده در این شکل، روز نماینده برای خوشه کم‌فشار ۲۰۱۴/۱۱/۲۲ با میانگین ۱۰۰۷/۹۳، برای خوشه خیلی کم‌فشار

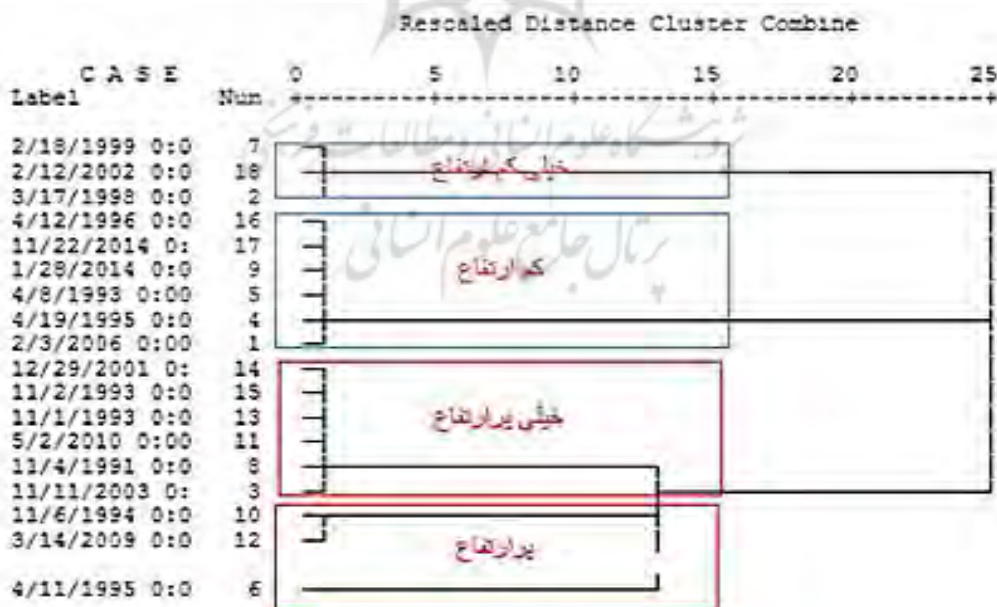
فرآیند خوشه‌بندی سلسله مراتبی را هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌توان استفاده کرد. معیارها می‌تواند کمی و کیفی باشند و اساس تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری را آغاز می‌کند. سپس یک سری مقایسه‌های زوجی انجام می‌گیرد و این مقایسه‌ها وزن هر یک از برگ خریدها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم

هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. برای خوشه‌ی ۱، روز ۲۰۰۲/۲/۱۲ (میانگین ۵۵۵۰ متر)، برای خوشه ۲ (کم ارتفاع) روز ۲۰۱۴/۱۱/۲۲ با میانگین ۵۶۰۰ متر، برای خوشه خیلی پر ارتفاع روز ۲۰۱۰/۵/۲ (متر) و برای خوشه بعدی روز ۲۰۰۹/۳/۱۴ با میانگین ۵۶۵۸/۳۳ متر به‌عنوان روز نماینده انتخاب شدند.

۱۹۹۹/۲/۱۸ با میانگین ۹۹۹/۸۷، برای خوشه سوم (پرفشار) روز نماینده ۱۹۹۳/۲/۱۱ با میانگین ۱۰۲۷/۵ میلی بار و برای خوشه خیلی پرفشار با میانگین ۱۰۴۳/۳۳ روز ۲۰۱۴/۱/۲۸ به‌عنوان روز نماینده انتخاب شدند. شکل ۵ خوشه‌بندی بارش ایستگاه سردشت بر مبنای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰



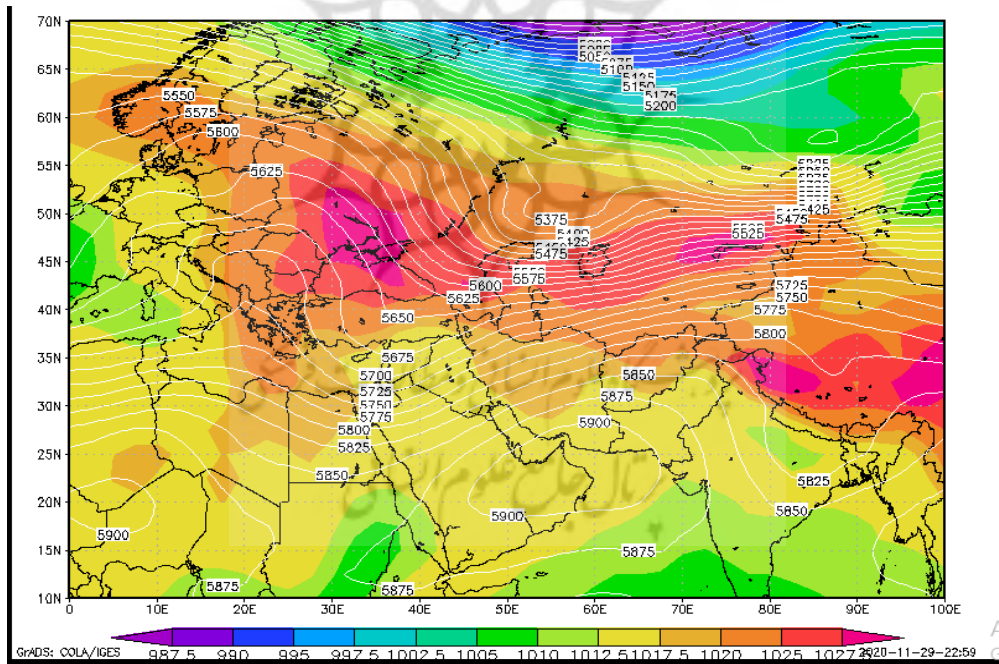
شکل ۴: دندروگرام SLP ایستگاه سردشت



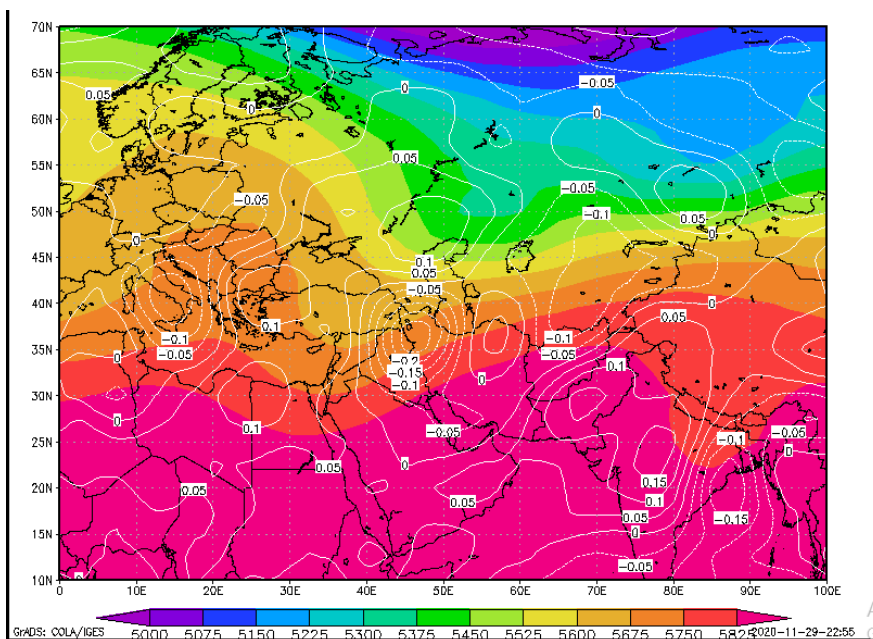
شکل ۵: دندروگرام Hjt ایستگاه سردشت

PVA) واقع شده که ایجاد شرایط ناپایدار و وزش افقی چرخندگی مثبت از ویژگی‌های آن می‌باشد موجب صعود هوا و درنهایت رویداد بارش می‌گردد. از طرفی بلوکینگ حلقه آتش با مرکزیت ۵۹۰۰ متر در جنوب شرق ایران شکل گرفته است. منحنی ۵۶۷۵ میلی بار از سردشت عبور کرده و در این تراز، رطوبت دریای سیاه وارد ایستگاه سردشت شده است. شکل ۷ نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی بار را نشان می‌دهد که حاکی از وجود ناپایداری در این تراز با مقدار  $0/25$ - پاسکال بر ثانیه است. این ناپایداری فقط نیمه غربی ایران را در بر گرفته و سایر مناطق ایران شرایط پایداری را تجربه می‌کنند شکل ۸ نیز نشان‌دهنده چرخندگی مثبت در روز مورد مطالعه در ایستگاه سردشت می‌باشد که قاعدتاً به دلیل قرارگیری منطقه مورد مطالعه در منطقه‌ی وزش افقی چرخندگی مثبت در جلوی ناوهی مشاهده شده در تراز ۵۰۰ میلی بار است.

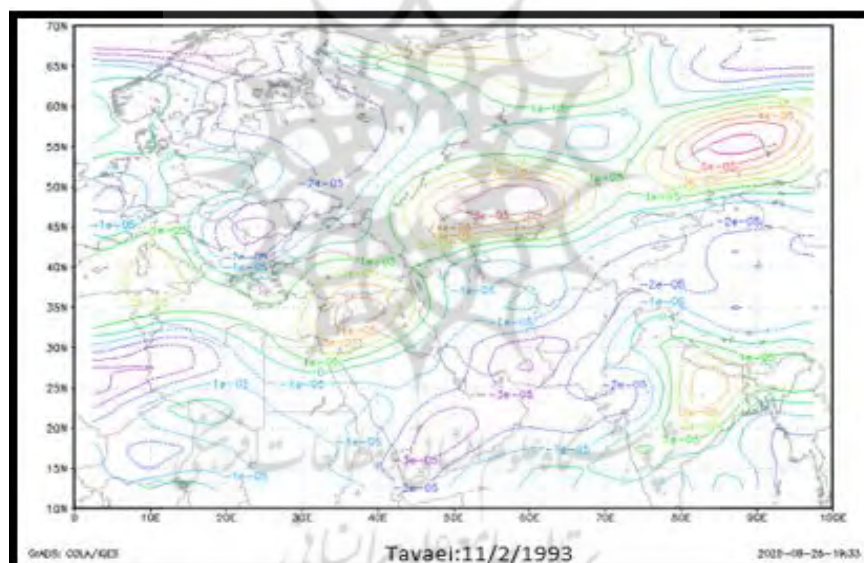
تحلیل نقشه‌های روزهای نماینده منتخب در ایستگاه سردشت: در شکل ۶ (نقشه Slp) شاهد برخورد ۲ سامانه پرفشار و کم‌فشار و در نتیجه تشکیل جبهه در منطقه هستید. سامانه پرفشار با هسته مرکزی ۱۰۲۷/۵ میلی بار بر روی اوکراین شکل گرفته و منحنی‌های آن تا مدار ۴۰ درجه پیشروی کرده است. ۱ سامانه قدرتمندی که به سمت شرق در حال پیشروی است و همچنین سامانه کم‌فشار سودانی با هسته مرکزی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال تا مدار ۳۵ درجه پیشروی کرده است. مقدار بارش گزارش شده در ایستگاه سردشت ۶۶ میلی متر بوده است. جهت وزش باد در منطقه به صورت شمال شرقی است که شرایطی ناپایدار در سطح زمین ایجاد می‌کند. دریای خزر و دریای سرخ از منابع تأمین‌کننده‌ی رطوبت در این روز هستند. نقشه Hjt تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان‌دهنده آن است که منطقه مورد مطالعه در جلو فرود (منطقه



شکل ۶: نقشه Slp و Hjt تراز ۵۰۰ میلی بار روز ۲ نوامبر ۱۹۹۳ ایستگاه سردشت



شکل ۷: نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی بار برای روز ۲ نوامبر ۱۹۹۳ ایستگاه سردشت



شکل ۸: نقشه چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی بار روز ۲ نوامبر ۱۹۹۳ ایستگاه سردشت

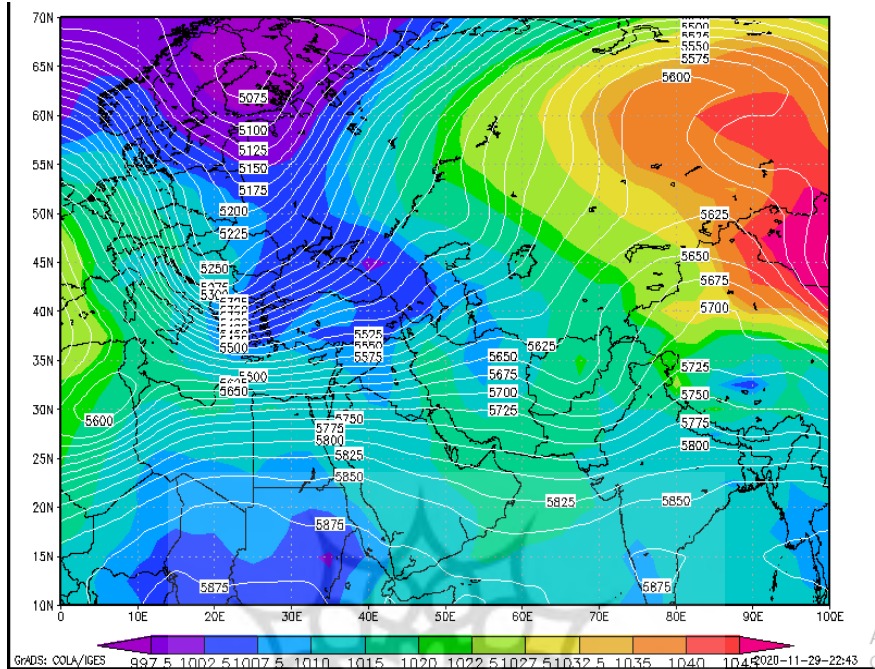
دریای سیاه و مدیترانه وارد منطقه شده است. در این روز در تراز ۵۰۰ میلی بار شاهد فرودی عمیق از شمال اروپا تا جنوب دریای مدیترانه هستیم. منطقه سردشت در جلو فرود قرار گرفته است که چرخندگی مثبت ایجاد شده با اعمال واگرایی بالایی و همگرایی پایینی شرایط لازم برای صعود عمودی هوا و ریزش بارش را ایجاد نموده است. در شکل ۱۰ هسته امگای منفی قوی در نوار مرزی ایران، ترکیه و عراق شکل گرفته است که با توجه به منفی بودن آن، مبین

شکل ۹ نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سامانه کم فشار اروپا قرار داشته که با حرکت جنوب سوی خود وارد منطقه شده است. هسته دیگری از آن نیز در آذربایجان شکل گرفته که باعث ایجاد شرایط ناپایدار در منطقه شده است. فشار هسته مرکزی این سامانه مؤثر بر منطقه ۹۹۵ هکتوپاسکال است که باعث ایجاد بارش ۸۲ میلی متری در ایستگاه سردشت شده است. جهت وزش شمال غربی بوده و رطوبت این بارش از سمت

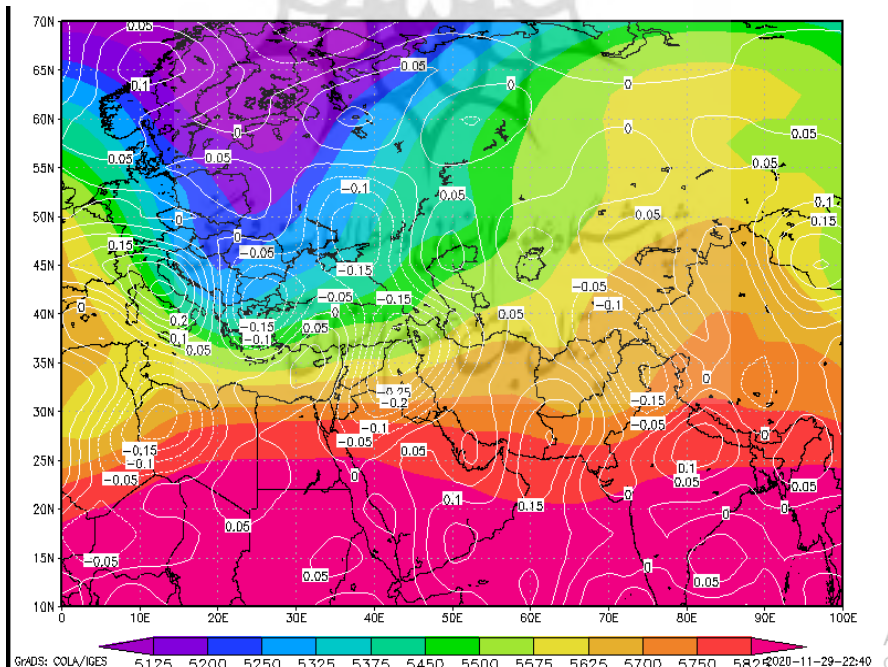


منجر به ناپایداری و بارش ۸۲ میلی‌متری در ایستگاه سردشت شده است.

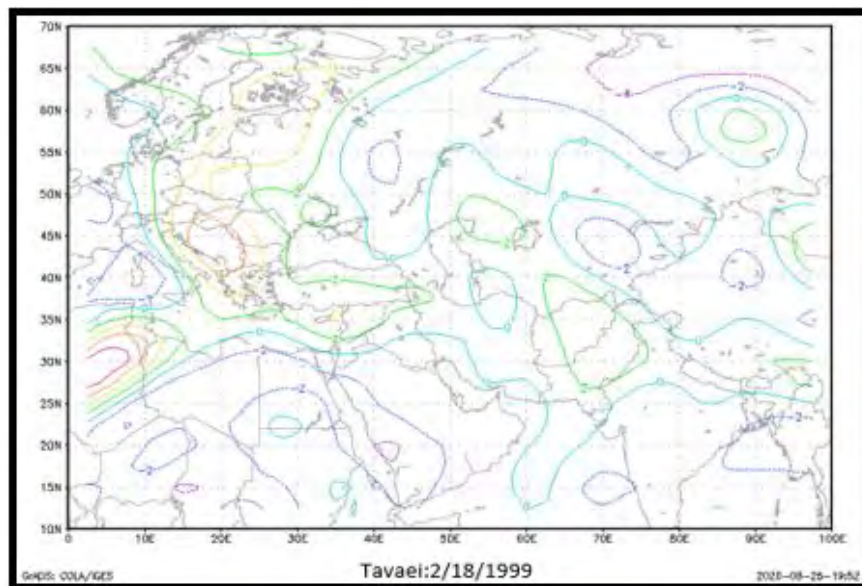
ناپایداری در تراز ۵۰۰ میلی‌بار است. شکل ۱۱ نشان‌دهنده چرخندگی مثبت در روز مورد مطالعه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد که مجموع این شرایط



شکل ۹: نقشه Slp و Hgt تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۱۸ فوریه ۱۹۹۹ ایستگاه سردشت.



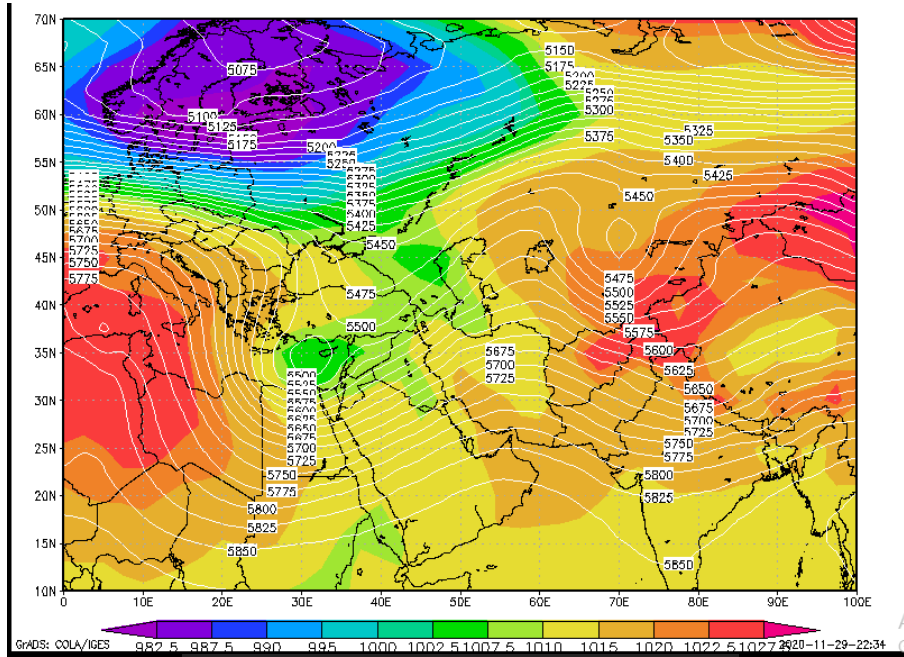
شکل ۱۰: نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار برای روز ۱۸ فوریه ۱۹۹۹ ایستگاه سردشت



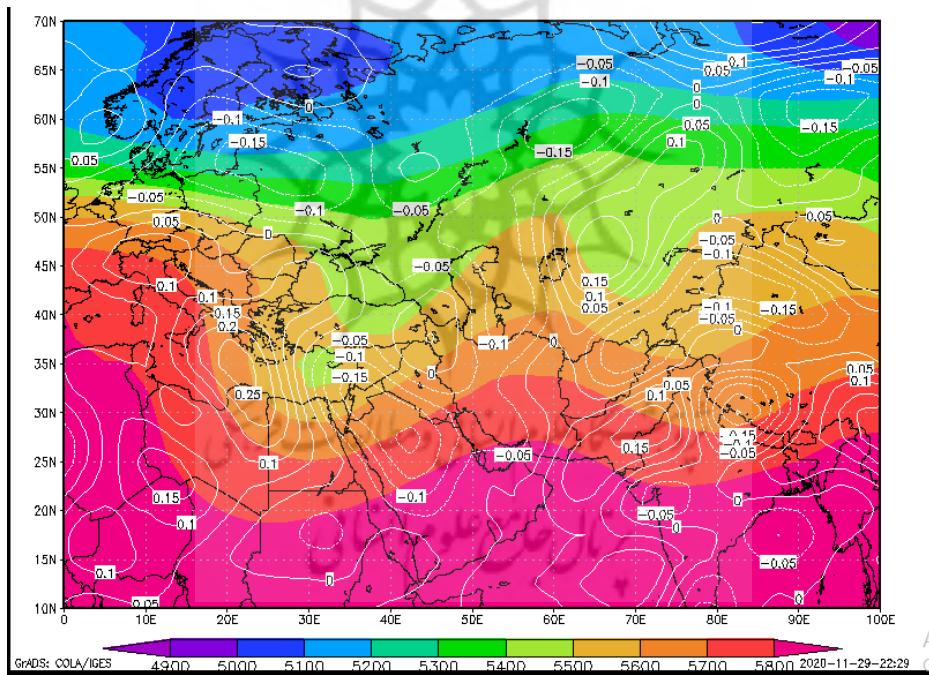
شکل ۱۱: نقشه چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۱۸ فوریه ۱۹۹۹ ایستگاه سردشت

است. واقع شدن منطقه مورد مطالعه در جلو فرود، شکل‌گیری بلوکینگ سردچال در شرق دریای مدیترانه با ارتفاع مرکزی ۵۵۰۰ متر (که باعث تجمع هوای سرد لایه‌های بالا در منطقه شده)، ورود رطوبت دریای سیاه و مدیترانه به منطقه در تراز ۵۰۰ میلی‌بار و مهم‌تر از آن وجود چرخندگی مثبت (به‌طوری‌که نیمه غربی ایران تحت تأثیر PVA و نیمه شرقی تحت تأثیر NVA) می‌باشد سبب وجود ناپایداری و فراهم شدن شرایط برای ایجاد بارش ۶۳ میلی‌متری در ایستگاه سردشت شده است. وجود امگای منفی (شکل ۱۳) و چرخندگی مثبت (شکل ۱۴) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر فراز ایستگاه سردشت نیز مؤید وجود شرایط لازم برای وقوع بارش در این روز می‌باشد.

در روز ۱۲ ماه فوریه سال ۲۰۰۲ شاهد بارش ۶۳ میلی‌متری در ایستگاه سردشت می‌باشید. در این روز منطقه تحت تأثیر کم‌فشار اروپا با مرکزیت ۹۸۰ هکتوپاسکال است (شکل ۱۲). یک هسته کم‌فشار با مرکزیت ۱۰۰۷/۵ هکتوپاسکال در شمال دریای خزر شکل گرفته که برگرفته از کم‌فشار اروپاست. از طرفی سامانه پرفشار در چین با مرکزیت ۱۰۲۵ هکتوپاسکال بیشتر مناطق ایران را در بر گرفته و در تقابل با این سامانه اروپایی باعث ایجاد شرایط ناپایدار در منطقه شده است. منحنی ۱۰۱۲ میلی‌بار این دو سیستم فشار را از هم جدا می‌کند. دریای مدیترانه و سیاه منابع رطوبتی بارش این روز را تأمین کرده است. در تراز ۵۰۰ میلی‌بار فرودی نسبتاً قوی شکل گرفته است که از شمال دریای سیاه تا جنوب لیبی امتداد یافته



شکل ۱۲: نقشه Slp و Hgt تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۱۲ فوریه ۲۰۰۲ ایستگاه سردشت



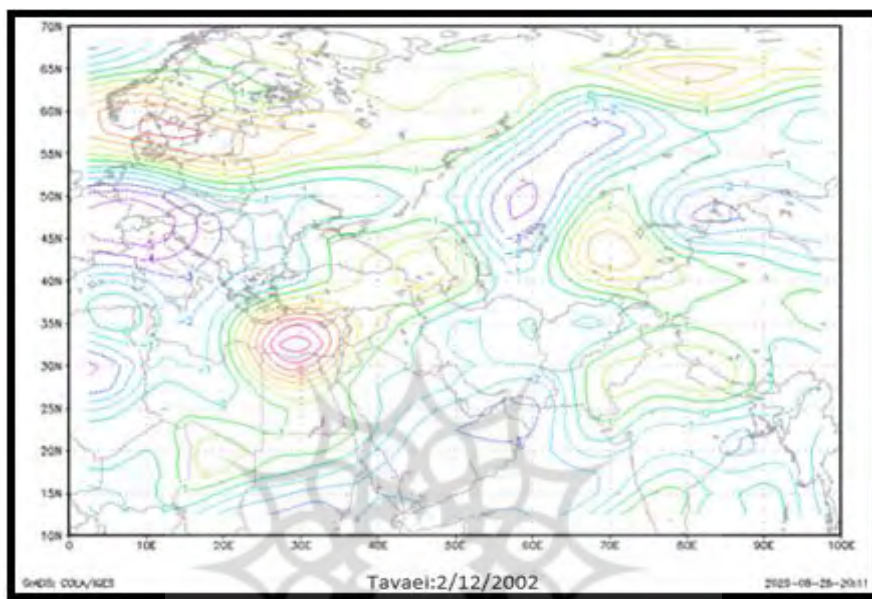
شکل ۱۳: نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار برای روز ۱۲ فوریه ۲۰۰۲ ایستگاه سردشت

رقم‌زده است. در تراز ۵۰۰ میلی‌بار فرودی قوی شکل گرفته است که از شمال شرق دریای سیاه و رومانی تا جنوب مصر امتداد یافته است. واقع شدن منطقه مورد مطالعه در جلو فرود، شکل‌گیری بلوکی‌نگ سردچال در شمال شرق دریای سیاه و رومانی با ارتفاع مرکزی ۵۳۷۵ متر و شکل‌گیری بلوکی‌نگ امگایی

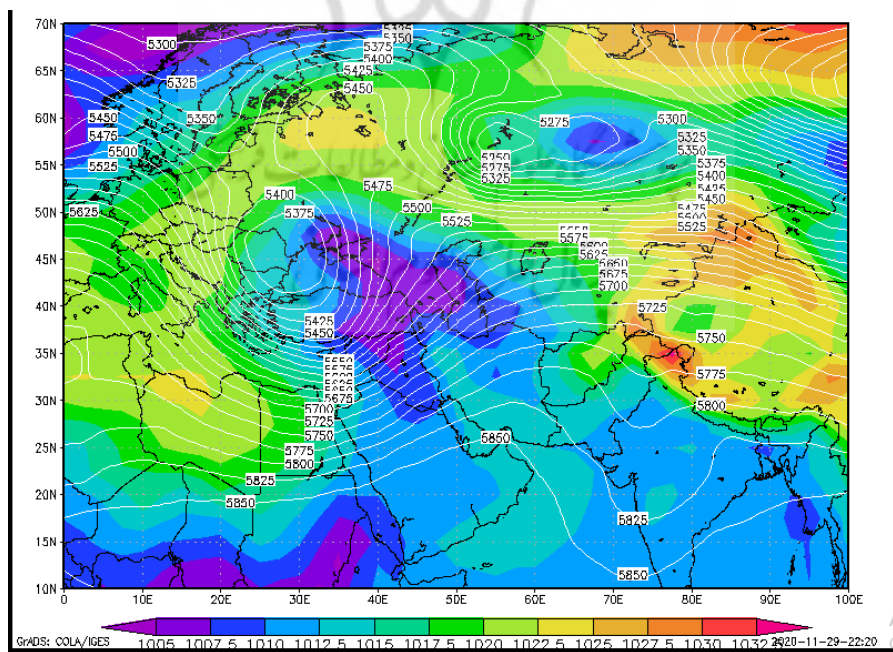
در شکل ۱۵ شاهد وجود مرکز پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۰۷/۵ هکتوپاسکال در نواحی آذربایجان، ترکیه و دریای سیاه هستیم. حرکت پادساعت‌گرد این سامانه سبب انتقال رطوبت دریای مدیترانه، دریای خزر و حتی دریای سیاه به منطقه شده و با ایجاد شرایط ناپایداری، بارش ۶۹ میلی‌متری در سردشت را

هکتوپاسکال در ثانیه باعث ایجاد شرایط ناپایدار در تراز ۵۰۰ در ایستگاه سردشت شده است. شکل ۱۷ نشان می‌دهد که در ایستگاه سردشت در تراز ۵۰۰ میلی بار شاهد وجود چرخندگی مثبت هستیم که مسبب بارش در منطقه بوده است.

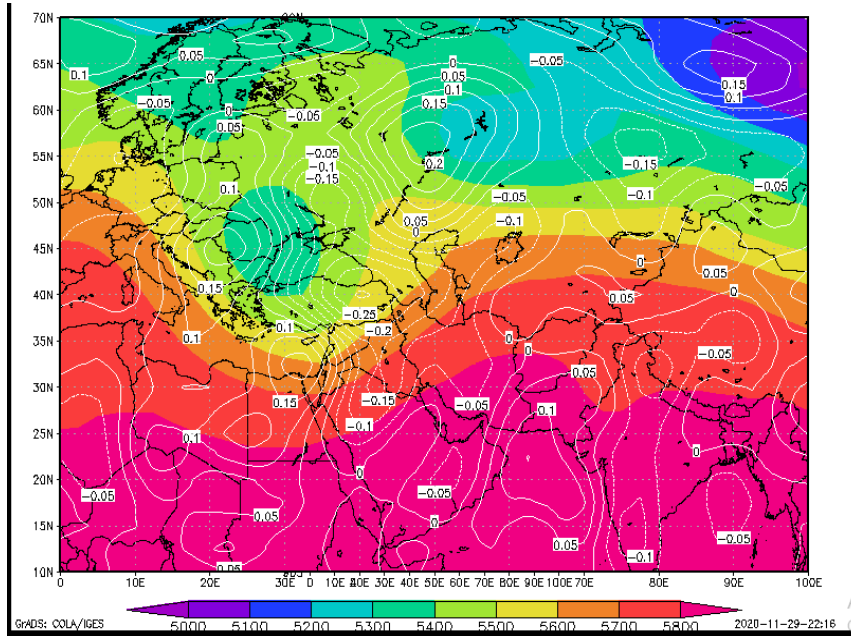
شکل در روسیه و استقرار محدوده موردبررسی در جلو فرود (منطقه PVA) و به تبع آن ایجاد چرخندگی مثبت سبب وجود ناپایداری و فراهم شدن شرایط برای ایجاد بارش ۶۹ میلی‌متری در ایستگاه سردشت شده است. شکل ۱۶ نشان‌دهنده‌ی هسته امگای منفی شکل‌گرفته در جنوب شرق ترکیه با مرکزیت ۰/۳-



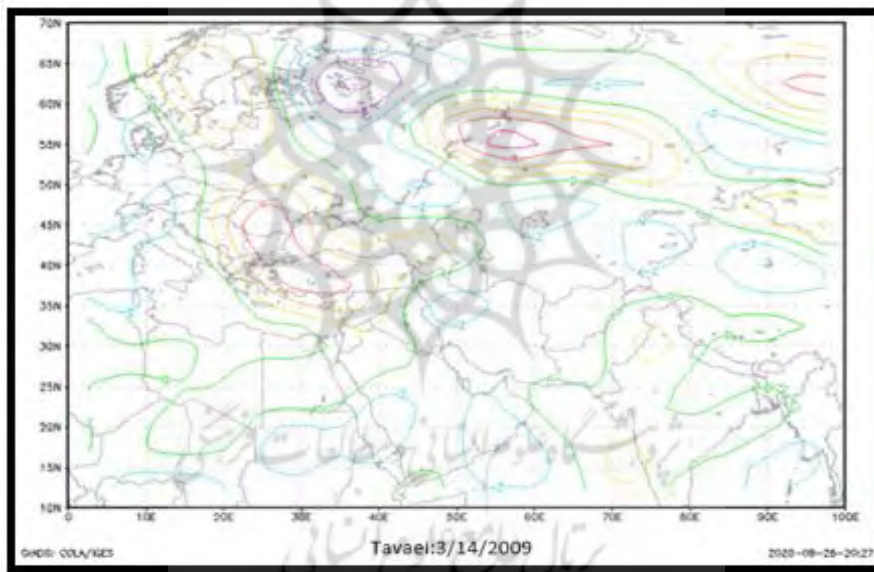
شکل ۱۴: نقشه تاوایی ۲۰۰۲/۱/۲



شکل ۱۵: نقشه Hgt و Slp تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۱۴ مارس ۲۰۰۹ ایستگاه سردشت



شکل ۱۶: نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار برای روز ۱۴ مارس ۲۰۰۹ ایستگاه سردشت



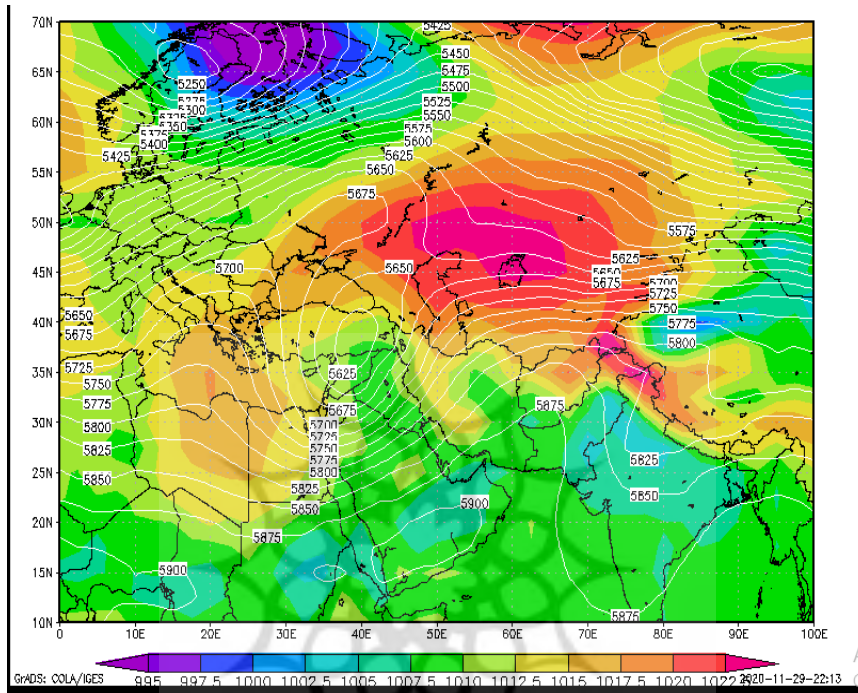
شکل ۱۷: نقشه چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی‌بار برای روز ۱۴ مارس ۲۰۰۹ ایستگاه سردشت

صعود هوا باعث شکل‌گیری بارش ۷۳ میلی‌متری در ایستگاه سردشت شده است. منحنی ۱۰۱۵ هکتوپاسکال، این دو سیستم سیکلونی و آنتی‌سیکلونی را از هم جدا می‌کند. در تراز ۵۰۰ میلی‌بار فرودی قوی شکل‌گرفته که از شمال دریای خزر تا شمال سودان امتداد یافته است. سردچال مستقر در شرق ترکیه منطقه سردشت را تحت تأثیر خود قرار داده و هوای سرد ارتفاعات بالا را به چرخش پادساعتگرد وارد

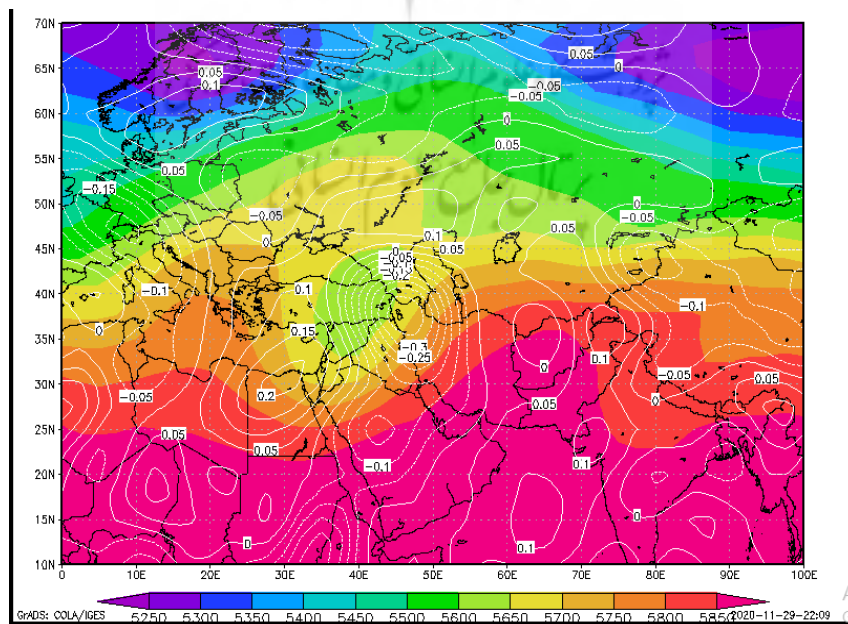
در شکل ۱۸ در روز ۲ می ۲۰۱۰ سامانه پرفشار با مرکزیت ۱۰۲۲/۵ هکتوپاسکال در شمال دریای خزر در روسیه شکل‌گرفته و منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. منبع رطوبتی دریای خزر نقش مهمی در بارش این روز دارد. منحنی‌های سامانه کم‌فشار سودانی تا مدار ۳۷ درجه پیشروی کرده و بخشی از ایران را در بر گرفته و با ایجاد جبهه در تقابل با سامانه پرفشار مستقر در شمال دریای خزر و دریاچه آرال و

شکل گرفته و منحنی ۰/۳۵- آن از منطقه مورد بررسی عبور کرده است. شکل ۲۰ نیز حاکی از وجود چرخندگی مثبت در منطقه است که خود از شرایط لازم برای ایجاد بارش ۷۳ میلی‌متری ایستگاه سردشت به شمار می‌رود.

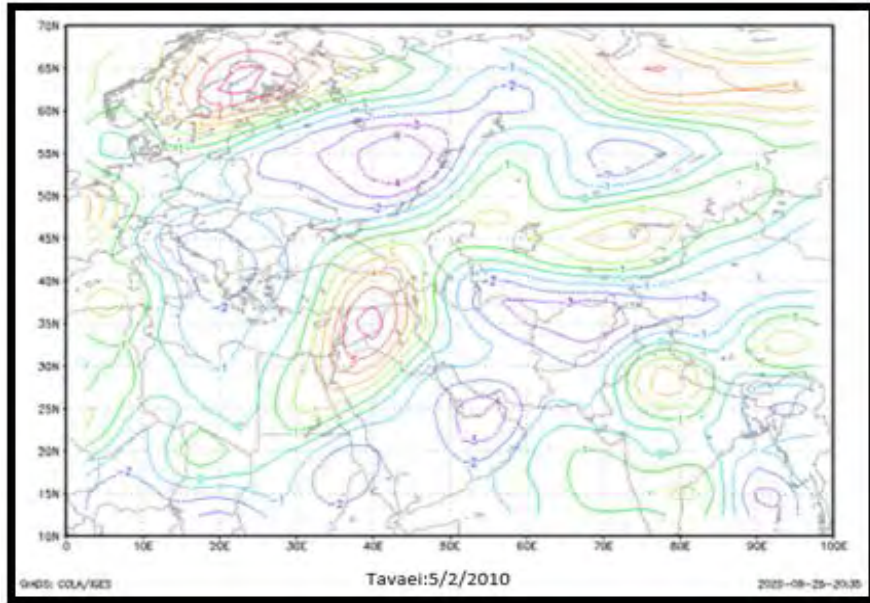
منطقه کرده است. این بلوگینک جریان غربی را دوشاخه کرده به طوری که شاخه‌ی جنوبی آن رطوبت دریای مدیترانه را وارد منطقه می‌کند. قرارگیری منطقه در جلو فرود سبب شده این منطقه به ۱ منطقه‌ای ناپایدار در تراز ۵۰۰ میلی بار تبدیل شود. در شکل ۱۹ هسته امگای منفی در شمال غرب ایران



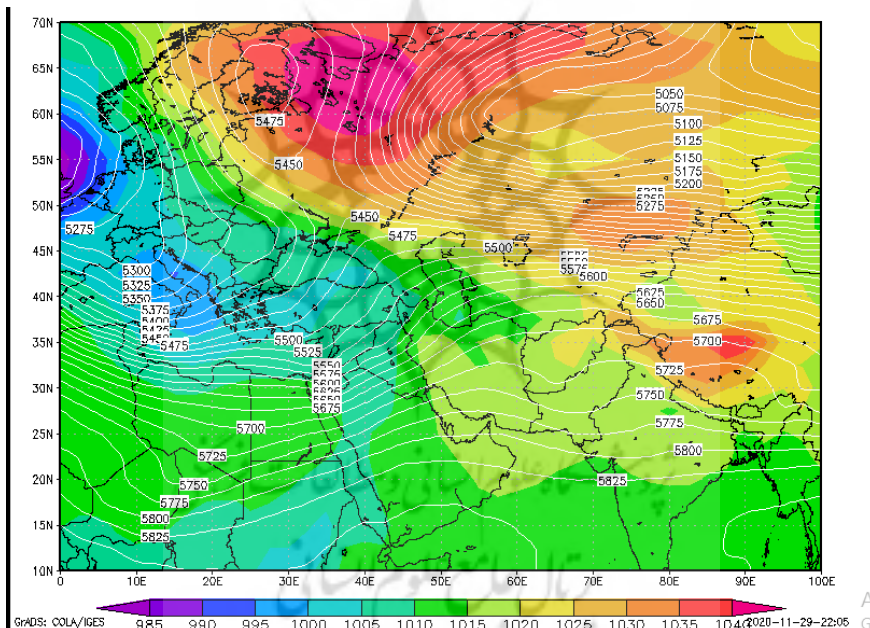
شکل ۱۸: نقشه SLP و Hjt تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۲ می ۲۰۱۰ ایستگاه سردشت



شکل ۱۹: نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار برای روز ۲ می ۲۰۱۰ ایستگاه سردشت



شکل ۲۰: نقشه چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۲ می ۲۰۱۰ ایستگاه سردشت



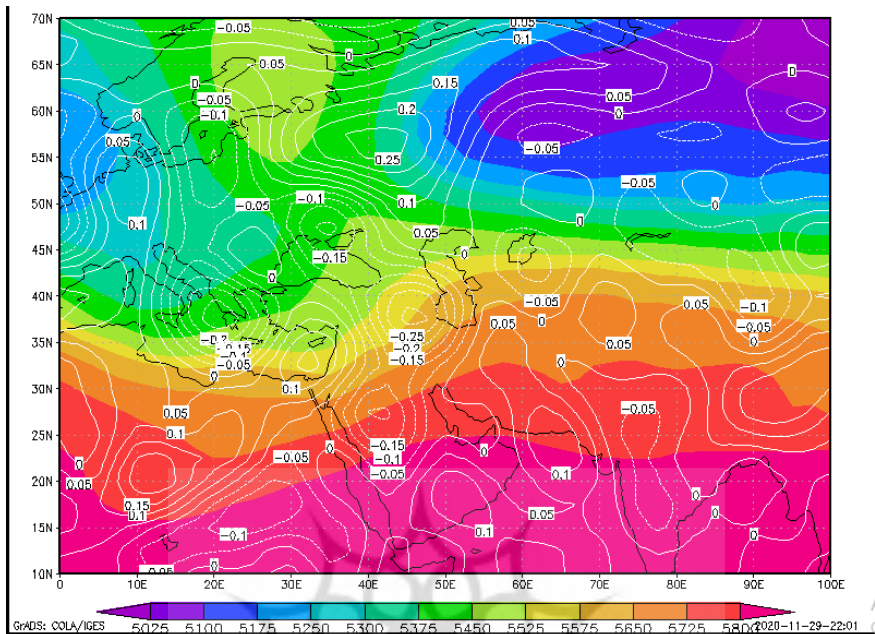
شکل ۲۱: نقشه Hgt و Slp تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۲۸ ژانویه ۲۰۱۴ ایستگاه سردشت

اقلیمی را از یکدیگر جدا نموده است. در تراز ۵۰۰ میلی‌بار فرودی مورب شکل گرفته که از شرق اروپا تا حوالی شبه‌جزیره سینا امتداد یافته است. منطقه وزش چرخندگی مثبت فرود مذکور ایستگاه سردشت را در بر گرفته و شرایط ناپایداری را ایجاد کرده است. رطوبت دریای مدیترانه در تراز ۵۰۰ میلی‌بار به منطقه نفوذ کرده است. در شکل ۲۲ در تاریخ فوق شاهد هسته امگای منفی در ایستگاه سردشت می‌باشیم که

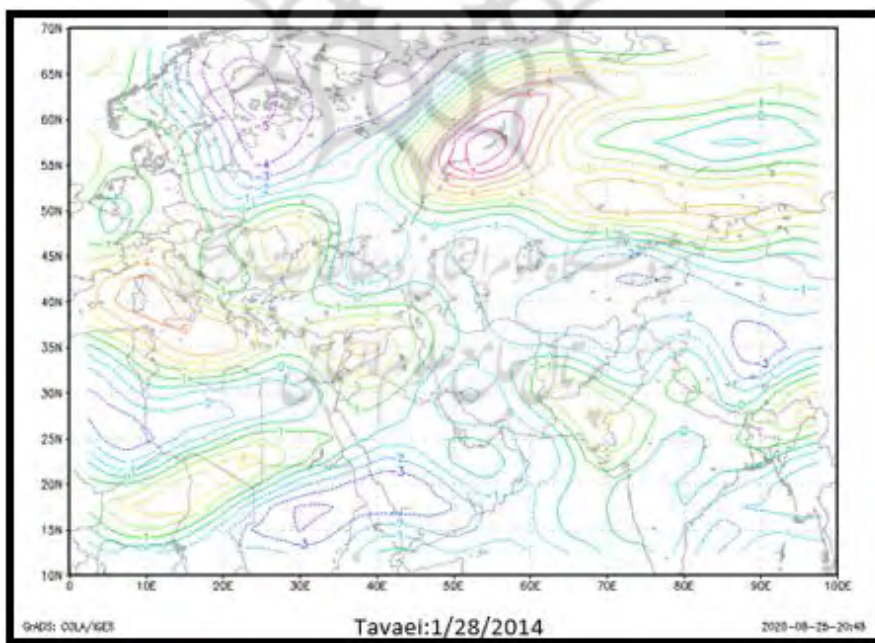
شکل ۲۱ نشان می‌دهد که در روز ۲۸ ژانویه ۲۰۱۴ در اثر برخورد دو سامانه کم‌فشار شمال شرق اروپا و پرفشار سیبری جبهه قوی ایجاد شده و منجر به بارش ۷۶ میلی‌متری در ایستگاه سردشت شده است. زبانه ۱۰۱۲/۵ میلی‌بار کم‌فشار شمال شرق اروپا تا منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. منابع رطوبتی بارش این روز دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای خزر می‌باشد. منحنی ۱۰۱۵ این دو سامانه

در ایستگاه سردشت است که به ناپایداری و صعود هوا و نهایتاً بارش انجامیده است.

مقدار آن در تراز ۵۰۰ میلی‌بار ۰/۳- هکتوپاسکال در ثانیه است و حاکی از شرایط ناپایدار در منطقه می‌باشد. شکل ۲۳ نیز مؤید وجود چرخندگی مثبت



شکل ۲۲: نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار برای روز ۲۸ ژانویه ۲۰۱۴ ایستگاه سردشت



شکل ۲۳: نقشه چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۲۸ ژانویه ۲۰۱۴ ایستگاه سردشت

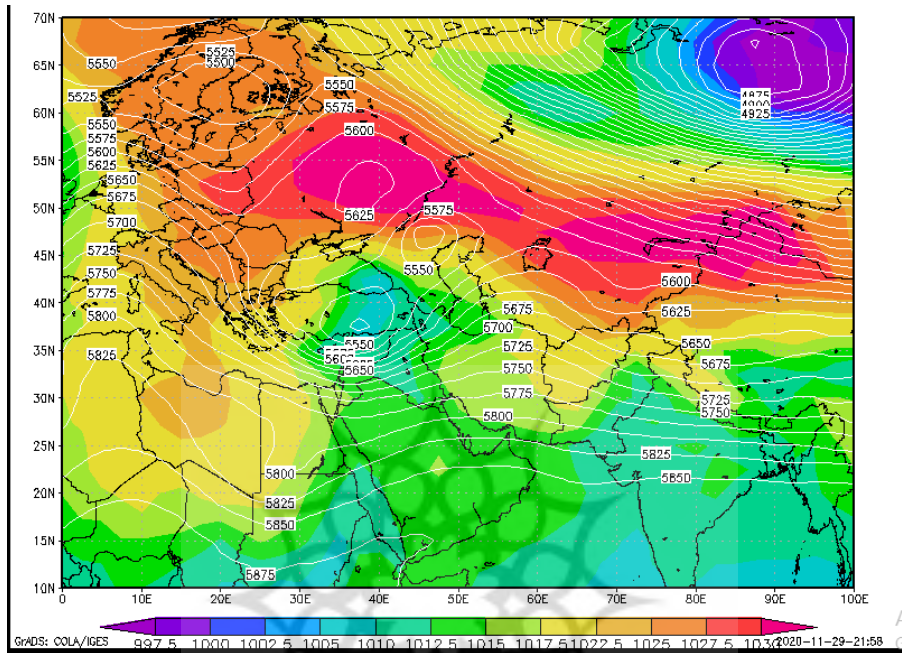
منطقه سردشت را در بر گرفته است به نحوی که یک هسته جدا از آن در ترکیه و دریای سیاه با مرکزیت ۱۰۱۰ هکتوپاسکال شکل گرفته است. سامانه پرفشار

در نقشه فشار سطح دریا (شکل ۲۴) یک جبهه بارشی مشاهده می‌گردد که در ایستگاه مورد مطالعه بارش را به دنبال داشته است. سامانه کم‌فشار سودانی

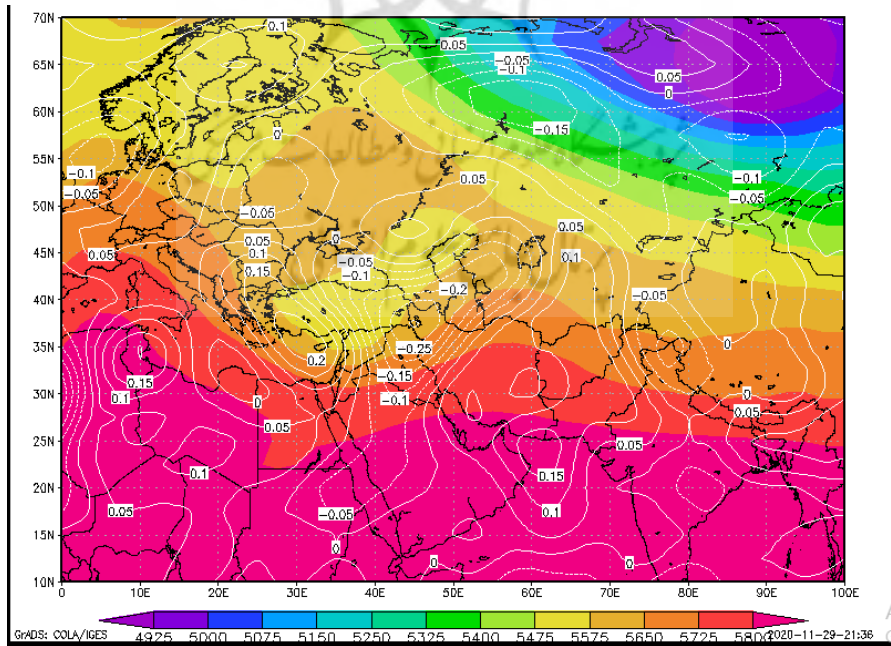


ایستگاه سردشت در تاریخ ذکرشده شاهد بارش در سطح زمین بود که دلیل این امر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل‌گیری بلوکی‌نگ دوقطبی در ترکیه و شمال دریای سیاه است. چرخندگی مثبت ایجاد شده در جلوی فرود واقع در غرب کشور ایران (شکل ۲۶).

شمال دریای سیاه و فراز دریاچه بایکال دارای دو هسته مرکزی ۱۰۳۲/۵ هکتوپاسکالی است که با سامانه کم‌فشار جبهه را ایجاد کرده و شرایط ناپایداری را به دنبال داشته است. منابع رطوبتی بارش در روز ۲۲ نوامبر ۲۰۱۴ دریای سیاه، مدیترانه و خزر است.



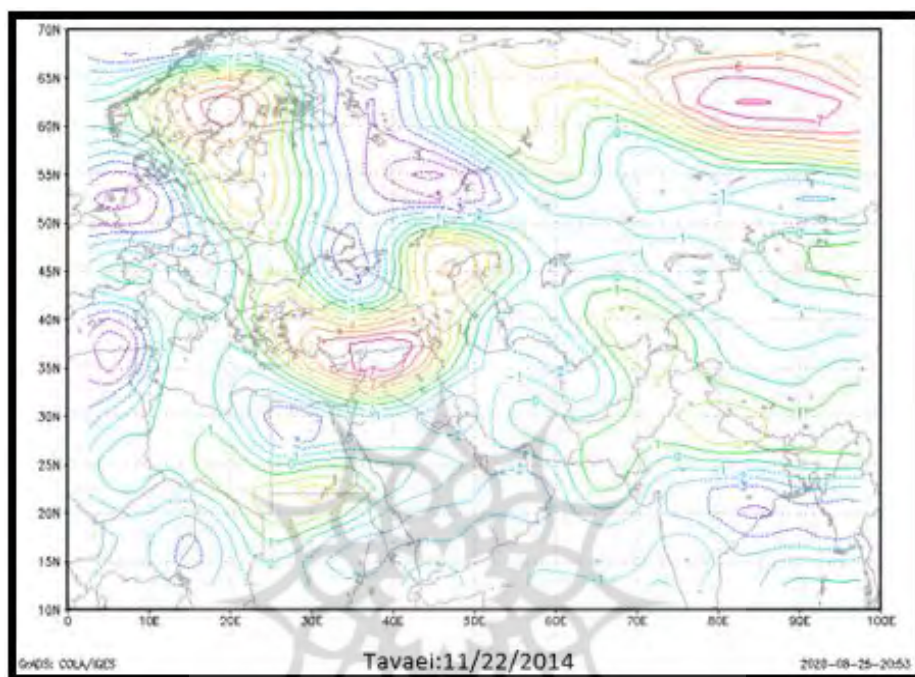
شکل ۲۴: نقشه Slp و Hjt تراز ۵۰۰ میلی‌بار روز ۲۲ نوامبر ۲۰۱۴ ایستگاه سردشت



شکل ۲۵: نقشه امگای تراز ۵۰۰ میلی‌بار برای روز ۱۴ نوامبر ۲۰۱۴ ایستگاه سردشت

میلی بار دارد که ایستگاه مورد مطالعه (سردشت) را نیز در بر گرفته است. این هسته امگایی از سمت سودان وارد منطقه شده و فقط بخش شمال غرب ایران را شامل می‌شود.

منجر به صعود هوا و بارش در منطقه مورد بررسی شده است. در شکل ۲۵ هسته امگای منفی شکل گرفته با مرکزیت ۰/۳- هکتوپاسکال در ثانیه در مناطقی از شمال غرب ایران، جنوب شرق ترکیه و شمال شرق عراق نشان از شرایط ناپایدار در تراز ۵۰۰



شکل ۲۶: نقشه چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی بار روز ۲۲ نوامبر ۲۰۱۴ ایستگاه سردشت

مورد بررسی، چرخندگی مثبت حاکمیت داشته و توجیه کننده وقوع بارش‌های شدید در ایستگاه سردشت شده است.

جدول ۲ مقدار چرخندگی تراز ۵۰۰ میلی بار در روزهای نماینده مورد بررسی را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که در آخرین روزهای

جدول ۲: مقدار و نوع چرخندگی روزهای نماینده

نوع چرخندگی	روز بارش	مقدار چرخندگی	ردیف
چرخندگی مثبت	۱۹۹۳/۲/۱۱	۱	۱
چرخندگی مثبت	۱۹۹۹/۲/۱۸	۲	۲
چرخندگی مثبت	۲۰۰۲/۲/۱۲	۲	۳
چرخندگی مثبت	۲۰۰۹/۳/۱۴	۰	۴
چرخندگی مثبت	۲۰۱۰/۲/۵	۳	۵
چرخندگی مثبت	۲۰۱۴/۱/۲۸	۱	۶
چرخندگی مثبت	۲۰۱۴/۱۱/۲۲	۵	۷

## نتیجه‌گیری

محور فرود در اکثر نقشه‌ها نزدیک به ایستگاه مدنظر بود. در تراز ۵۰۰ میلی بار، دریای سیاه و دریای مدیترانه منابع رطوبتی مهم بارش‌ها به شمار رفتند. نقشه‌های امگا نشان دادند که در همه روزها منطقه موردبررسی دارای هسته‌های منفی بود که شرایط ناپایدار را در تراز ۵۰۰ به همراه داشته است. نقشه چرخندگی در کلیه روزها نشان از چرخندگی مثبت در منطقه می‌باشد. نتایج این تحقیق با کار افرادی از جمله گندم‌کار (۱۳۸۷) که عوامل مختلفی را علل ایجاد بارش بخصوص چرخندگی دخیل می‌داند و نیز بامطالع‌های شبرنگ (۱۳۸۷) که معتقد است چرخندگی با ایجاد شرایط صعود امکان ریزش بارش را فراهم می‌کند مطابقت دارد. همچنین با نتایج مطالعات علیجانی و رضایی (۱۳۹۳) که چرخندگی مثبت را علت بیشتر بارش‌ها در مناطق مختلف ایران بخصوص در فصل زمستان می‌دانند و کار جلالی و همکاران (۱۳۹۷) که به رابطه بین چرخندگی و بارش زمستانه ایران تأکید کرده است همخوانی دارد.

نتایج نشان می‌دهد که در نقشه‌های Slp روزهای نماینده، بیشتر روزها شاهد تشکیل جبهه در اثر برخورد دو توده‌هوا آنتی سیکلونی و سیکلونی در نزدیکی ایستگاه سردشت می‌باشید. در سطح زمین، مهم‌ترین منابع رطوبتی که باعث تقویت جبهه و بارش در ایستگاه موردبررسی شدند دریای سیاه، مدیترانه و خزر بود. جهت وزش باد در سطح زمین به صورت شمال شرقی - جنوب غربی و در سطح بالا غربی، جنوب غربی و شمال غربی بود. در اغلب روزها شاهد سلطه یک سامانه سیکلونی در منطقه می‌باشیم که با ایجاد شرایط ناپایدار توسط جبهه، بارش رخ داده است. نتایج حاصل از نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال گواه بر این امر است که در تمامی روزهای موردبررسی، منطقه مدنظر در جلو فرود منطقه PVA واقع شده بود که از ویژگی‌های این منطقه می‌توان به ناپایداری، وزش افقی چرخندگی مثبت، صعود هوا، همگرایی پایینی و واگرایی بالایی، وجود عوامل رطوبتی قوی و امکان بارش اشاره کرد.

## منابع

۱. امیری، آریتا، علیجانی، بهلول، بیگم حجازی زاده، زهرا، فتاحی، ابراهیم، آزادی، مجید، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات دورن سالی تاوایی نسبی در خاورمیانه و مدیترانه شرقی، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال هشتم، بهار ۱۳۹۶، شماره ۲۹-۳۰، صص ۵۵-۷۱
۲. شجعی باشکند، محمد، ۱۳۷۹. بررسی و ارائه مدل‌های سینوپتیکی بارش‌های سنگین در شمال غرب ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمد خیراندیش، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه هواشناسی.
۳. جهانبخش، سعید، اشرفی، سعیده، عساکره، حسین، ۱۴۰۰. بررسی تغییرات دهه‌ای سامانه‌های باران‌زای موثر بر حوضه آبریز رود زرد، نشریه علمی و پژوهشی جغرافیای و برنامه‌ریزی، سال بیست و پنجم، بهار ۱۴۰۰، شماره ۷۵، صص ۱۰۱-۱۱۷.
۴. جلالی، مسعود، دوستکامیان، مهدی، شیرینی کریم وندی، امین، ۱۳۹۸. بررسی و تحلیل همبندی دینامیکی سازوکارهای بارش فراگیر زمستانه ایران، فصلنامه پژوهش‌های کاربردی علوم انسانی و اجتماعی، دوره ۵۵، ص ۱.
۵. جلالی، مسعود، شاهبایی، علی، کمریان، وهاب، ۱۳۹۶. شناسایی الگوهای همدید بارش‌های شدید تابستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره بیست و یکم، ش ۲-۵۹، ص ۱.
۶. رضایی بنفشه، مجید، جعفری شندی، فاطمه، حسین علیپور جزی، فرشته، ۱۳۹۷. واکاو سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ‌های موثر بر رخداد بارش‌های مداوم و سنگین تبریز (طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳)، نشریه علمی جغرافیای و برنامه‌ریزی، سال بیست و چهارم، بهار ۱۳۹۹، شماره ۷۱، صص ۱۲۳-۱۰۵.
۷. زرگری، مطهره، مفیدی، عباس، زرین، آذر، ۱۳۹۴. بررسی بارش‌های سنگین به‌منظور پیش‌بینی سیلاب‌های شهری در استان تهران، کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دوره یکم، صص ۱-۵.
۸. علیجانی، بهلول، خسروی، محمود، اسماعیل نژاد، مرتضی، ۱۳۸۹. تحلیل همدید بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرقی ایران، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره یکم، شماره ۳-۴، صص ۱۴.

20. Bartzokas A., Lolis C., and Metaxas D. (2003). The 850 HPA relative vorticity centres of action for winter precipitation in the greek area. *International Journal of Climatology*;
21. Dayton G., Vincent, (2007). Cyclone development in the south pacific convergence zone during fgge 10-17 January 1979. *Royal Meteorological Society*;
22. Harold E. Brooks, and David J. Stensrud, (2000). *Climatology of Heavy Rain Events in the United States from Hourly Precipitation Observations*, NOAA/National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma
23. Kaspar, M., et al. (2009). Cyclogenesis in the Mediterranean basin: a diagnosis using synoptic-dynamic anomalies, *Natural Hazards and earth system sciences* 9 (2009), 957-965.
24. L.Wang, K.H. Lau, C.H., and Fung, J.P. (2007), The relative vorticity of ocean surface winds from the QuikSCAT satellite and its effects on the geneses of tropical cyclones in the south China sea, *Tellus*.
25. Merabtene T., Siddique M., and Abdallah, SH. (2016) Assessment of Seasonal and Annual Rainfall Trends and Variability in Sharjah City, UAE, *Advances in Meteorology*, vol. Article ID 6206238, 13 p.
26. Muhammad Afzal, Qamar-ul-Zaman, (2008). Case Study: Heavy Rainfall Event over Lai Nullah Catchment Area, *Pakistan Meteorological Department*.
27. Muller, M., et al. (2009). Extremeness of meteorological variables as an indicator of extreme precipitation events, *Atmospheric Research* 92 (2009), 308-317.
28. Muller, M., et al. (2009). Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951 to 2002, *Natural Hazards and earth system sciences* 9 (2009), 441-450
29. Taxak A.K. Murumkar A.R. and Arya, D.S. (2014) Long term spatial and temporal and homogeneity analysis in Wainganga basin, *Weather and Climate Extremes*, 4: 50-61.
۹. علیجانی، بهلول ، رضایی، غلامحسین، ۱۳۹۳. توزیع زمانی- مکانی تاوایی نسبی در ایران با تأکید بر بارش، *جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)*، سال دوازدهم، ش ۴۲، صص ۹۰-۹۴.
۱۰. علیجانی، بهلول، ۱۳۸۰، شناسایی تیپ‌های هوایی باران آور تهران بر اساس محاسبه چرخندگی، *دانشگاه تربیت‌معلم تهران*، ش ۵۳۰، صص ۱۱۴-۱۱۸.
۱۱. قدسی پور، حسن، ۱۳۸۴. فرآیند تحلیل سلسه‌مراتبی (AHP)، *انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر*، صص ۱۰-۵.
۱۲. گرامی، محمدصالح، مفیدی، عباس، زرین، آذر، ۱۳۹۴. تحلیل فضایی ارتباط بین وقوع بارش‌های بهار در شمال غرب ایران و مؤلفه‌های مقیاس منطقه‌ای گردش جو، صص ۱-۵.
۱۳. گندم‌کار، امیر، ۱۳۸۷، بررسی روند تغییرات بارش در زابل، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب (دانشگاه زابل)، دوره دوم، ش ۶، صص ۶۵-۶۸.
۱۴. لشکری، حسن، ۱۳۷۵. الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس. ایران.
۱۵. لشکری، حسین، خزائی، مهدی، ۱۳۹۳. تحلیل سینوپتیکی بارش‌های سنگین استان سیستان و بلوچستان، اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، سال بیست و سوم، ش ۱-۹۰، تهران، صص ۸ الی ۱۰.
۱۶. محمدی، حسین ، فتاحی، ابراهیم ، شمس‌پور، علی اکبر ، اکبری، مه‌ری، ۱۳۹۱. تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیای، سال دوازدهم*، ش ۲۴، صص ۱۲-۸.
۱۷. مفیدی، عباس، زرین، آذر، ۱۳۸۴. بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل زا در ایران، *گروه جغرافیا و موسسه آموزش عالی طبرستان (فصلنامه تحقیقات جغرافیایی)*، ش ۷۷، صص ۱۱۳-۱۱۷.
18. Abdel-Basset, H. AL-Khalaf, A.K. and Albar, A. 2015. Diabatic Processes and the Generation of the Low-Level Potential Vorticity Anomaly of a Rainstorm in Saudi Arabia. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(3), 275
19. Alpert, P., Neelman, B.U., and Shay-El Y. (1990). Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data, *Tellus* 42A:65-77; 7.