

شناسایی و تحلیل الگوهای همدید موجد کولاک فراگیر برف در شمال غرب ایران

جواد خوشحال دستجردی

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

اصغر کامیار*

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۸

چکیده

کولاک برف مخاطره‌ای جوی است که اختلال در شبکه حمل‌ونقل و خسارت به شبکه انتقال انرژی از پیامدهای آن هستند. هدف از این پژوهش شناسایی الگوهای همدید و بررسی کمیت‌های بویایی و گرما بویایی مؤثر در رخداد کولاک فراگیر برف در شمال غرب ایران است. روز نمونه با کولاک فراگیر روزی در نظر گرفته شد که در آن بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌های همدید منطقه کد هوای حاضر ۳۶ تا ۳۹ را ثبت کرده باشند. جهت تحلیل همدید این پدیده داده‌های ۴ بار در روز فشار، دما، أمگا، رطوبت ویژه، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری در تراز دریا، ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه‌های NCEP/NCAR دریافت و نقشه‌های آن با نرم‌افزار Grads ترسیم شد. نتایج بررسی چشمی ۱۱ مورد کولاک فراگیر دو الگوی متفاوت را نشان داد که در ترازهای زیرین شیو فشار بین پرفشار شمال اروپا و کم‌فشار مدیترانه سبب ایجاد ناپایداری می‌شد و در ترازهای میانی جو نیز گسترش ناوه شمال روسیه شرایط واگرایی بالایی را فراهم می‌کرد. همچنین شاخص‌های ناپایداری در سه ایستگاه جو بالای ایروان، تبریز و کرمانشاه بررسی شد که در نهایت شاخص TT شرایط ناپایداری را بهتر از سایر شاخص‌ها آشکار ساخت.

واژگان کلیدی: کولاک، همدید، کمیت‌های بویایی، شاخص‌های ناپایداری، شمال غرب ایران.

مقدمه

آب‌وهوا مهم‌ترین عاملی است که حیات انسان را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد بنابراین شناخت اجزاء و ویژگی‌های آن در هر منطقه به‌منظور برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه از محیط طبیعی ضرورتی انکارناپذیر است. کولاک از جمله رخدادهای فرین آب‌وهوایی است که با وزش باد شدید به هنگام ریزش برف یا با جابه‌جایی برف مانده کاهش دید افقی را موجب می‌گردد (واژه‌نامه انجمن هواشناسی آمریکا^۱). کولاک بر کشاورزی، زیرساخت‌های حمل‌ونقل

E-mail: asgharkhuzani@gmail.com

* نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۲۶۰۵۴۹۶

^۱ - Glossary of American Meteorology Society

و تأسیسات شهری، تجارت، تعویق برنامه کاری اداره و مدارس، تخریب بناهای غیر مستحکم و تهدید سلامت انسان را در پی داشته و می‌تواند سبب خسارت‌های سنگین به جوامع بشری شود. بررسی مکانی-زمانی کولاک فراگیر در ایالات متحده طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۵۹ نشان داد که طی این دوره ۷۱۱ نفر کشته و ۲۰۴۴ نفر بر اثر رخداد این پدیده مجروح شده‌اند (کلمن و اسکوارتز^۱، ۲۰۱۷). از خسارت‌های ناشی از این پدیده در ایران آمار دقیقی در دسترس نیست. این پدیده در شمال غرب کشور طی فصل سرد سال به سبب هماهنگی بین سامانه‌های همیدی ترازهای میانی جو با کم‌فشارهای سطح زمین هر سال یا هر چند سال با توجه به شرایط خاص منطقه (توپوگرافی و الگوهای آب‌وهوایی) رخ می‌دهد (ملازاده و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعه همیدی این پدیده می‌تواند کمک شایانی در پیش‌آگاهی از رخداد آن نموده و کاهش خسارت‌های مالی و جانی را در پی داشته باشد. پژوهش‌هایی در ارتباط با کولاک برف و پدیده‌های مرتبط با آن صورت گرفته که در ادامه به نمونه‌ای از آن‌ها اشاره می‌گردد. پژوهشی در ایالت کلرادوی آمریکا نشان داد ساختار همید و میان مقیاس جبهه کولاک با گسترش رود باد مانع در امتداد کوه‌های راکی از عوامل مهم رخداد کولاک در این منطقه است (مارویتز و توث^۲، ۱۹۹۳). بررسی کولاک برف در دره رودخانه اوهایو در ماه دسامبر ۲۰۰۴ بیانگر این بود که علت ایجاد این پدیده شیو فشاری شدید بین جبهه سرد کانادا و توده گرم و مرطوب واقع در جنوب منطقه است (چنگنون^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). بررسی ریزش شدید برف، کولاک و سوز باد شدید در حوزه رودخانه مکنزی^۴ کانادا نشان داد که واپرخندها و چرخندهای بادپناهی نقش بسیار مهمی در وقوع این پدیده دارند (استفان^۵ و همکاران، ۱۹۹۹). شرایط همید تشکیل بارش‌های شدید در یونان توسط هوسون و لولیس (۲۰۰۸) بررسی شد. نتایج این پژوهش ۹ الگوی گردشی مختلف را نشان داد، که موقعیت و شدت سامانه‌های همید جو بالا بیشترین تأثیر را در وقوع آن داشتند. در پژوهشی روبرت^۶ (۱۹۸۰)، به بررسی همیدی بارش‌های سنگین در ایالات غربی آمریکا پرداخت و به این نتیجه رسیده که حرکت کند امواج کوتاه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شرایط همیدی مناسبی برای رخداد این نوع بارش‌ها فراهم می‌کند. جنسا و همکاران^۷ (۲۰۰۱) با یک رویکرد آماری، تأثیر چرخندهای غرب مدیترانه را بر روی ۹۴۸ بارش سنگین بیش از ۶۰ میلی‌متر و ۲۵۶ بارش ابرسنگین بیش از ۱۰۰ میلی‌متر که در طی ۵ سال، از ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶ در غرب مدیترانه ثبت شده بود را مطالعه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در ۹۰ درصد موارد، مراکز چرخندی در مجاورت و همسایگی محل وقوع بارش‌های سنگین غرب مدیترانه واقع شده‌اند. ویلیام و همکاران^۸ (۲۰۰۴)، به واکاوی بارش‌های سنگین انگلستان پرداختند و آن را به سه گروه جبهه‌ای، همرفتی و کوهساری طبقه‌بندی کردند. لانا^۹ و همکاران (۲۰۰۷)، الگوهای جوی

¹ - Coleman & Schwartz

² -Marwiz & Toth

³ -Changnon

⁴ -Mackenzie River

⁵ -Stephen

⁶ - Robert

⁷ - Jansa & et al

⁸ - William & et al

⁹ - Lana

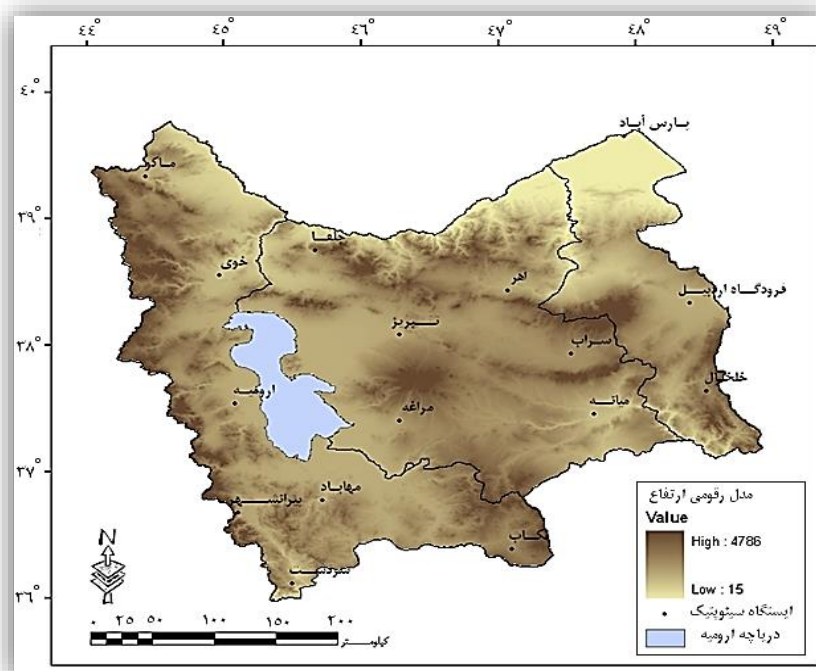
رویداد بارش‌های سنگین در جزایر بارلیک را بررسی کردند و این نوع بارش‌ها را در ارتباط با سامانه‌های چرخندی شمالی دانسته‌اند.

در تحلیل همدیدی کولاک برف در استان آذربایجان غربی دو الگوی گردشی شامل الگوی کم‌فشار دریای خزر-اروپای شرقی و الگوی کم‌فشار شمال دریای سیاه به دست آمد (ملازاده و همکاران، ۱۳۹۳). بررسی این پدیده در استان کردستان نشان داد که شیو فشار بین کم‌فشار دریای خزر و پرفشار شرق اروپا در وهله اول و در مرتبه بعد شیو فشار بین کم‌فشار دریای سیاه و پرفشار شرق اروپا بیشترین تأثیر را در رخداد کولاک برف در این منطقه دارند (اصغری، ۱۳۹۰). تحلیل فضایی توفان‌های تندری بهاره نشان داد این پدیده در شمال غرب و غرب بیش از دیگر مناطق کشور به وقوع پیوسته است (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعه همدید سوز بادهای فراگیر شمال غرب کشور نیز بیانگر این بود که دو الگوی پشته بندالی و پشته گذرا در تراز میانی جو و استقرار کم‌فشار روی غرب و شرق اروپا یا دریای بارتز شرایط ایجاد سوز باد را فراهم کرده است (روستا، ۱۳۸۹). همچنین نتایج ناحیه بندی سوز باد در شمال غرب کشور نشان داد که در چنین مطالعاتی باید بیشتر به وجه شیب، ارتفاع، محل استقرار جریان‌های سرد و ویژگی‌های مورفولوژیکی توجه کرد (حیدری و سعیدآبادی، ۱۳۸۶). پروین (۱۳۸۹)، به بررسی ارتباط بین تغییرات تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و رخداد بارش‌های سنگین در حوضه دریاچه ارومیه پرداخت. نتایج پژوهش وی نشان داد به هنگام رخداد این نوع بارش‌ها در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پنج کانون دارای بیشترین بی‌هنجارهای ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هستند که این پنج کانون عبارتند از: ۱- منطقه بین دریای سرخ تا جنوب غربی ایران؛ ۲- منطقه بین مرکز دریای مدیترانه و دریای سیاه؛ ۳- منطقه شمال دریای خزر؛ ۴- شرق ایران؛ ۵- منطقه شمال اروپا می‌باشند. طی سالیان گذشته بیشتر بارش‌های سنگین در شمال غرب ایران طی فصل‌های بهار و پاییز رخ داده و عوامل تأثیرگذار بر این نوع بارش‌ها توپوگرافی و ورود سامانه‌های جوی مانند کم‌فشارهای گرمایی، پرفشارهای اروپا، کم‌فشارهای مدیترانه و پرفشار سبیری بیان شده است (اشجعی، ۱۳۷۹). مطالعه بارش‌های مخاطره‌آمیز در جنوب و جنوب غرب ایران (لشکری، ۱۳۸۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۱)، استان یزد (امیدوار، ۱۳۸۷)، استان کرمان (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۹) و کل کشور (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴؛ محمدی و مسعودیان، ۱۳۸۹) به تأثیر کم‌فشار سودانی در رخداد این نوع بارش‌ها اشاره کرده‌اند. کاویانی (۱۳۸۷) و حلییان (۱۳۸۹)، در بررسی بارش‌های روزانه ایران رفتار مکانی و زمانی پرفشار جنب حاره را مطالعه کردند و نشان دادند که عمده بارش‌های روزانه ایران تحت تأثیر این سامانه دینامیکی قرار دارد.

اهداف این پژوهش شناسایی الگوهای همدیدی کولاک فراگیر برف و بررسی کمیت‌های دینامیک و شاخص‌های ناپایداری در شمال غرب ایران می‌باشد

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شمال غرب ایران شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی می‌باشد که در محدوده عرض جغرافیایی $35^{\circ}57'$ تا $39^{\circ}46'$ شمالی و طول جغرافیایی $44^{\circ}13'$ تا $48^{\circ}55'$ شرقی واقع شده است (شکل ۱).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش به همراه ایستگاه‌های همید

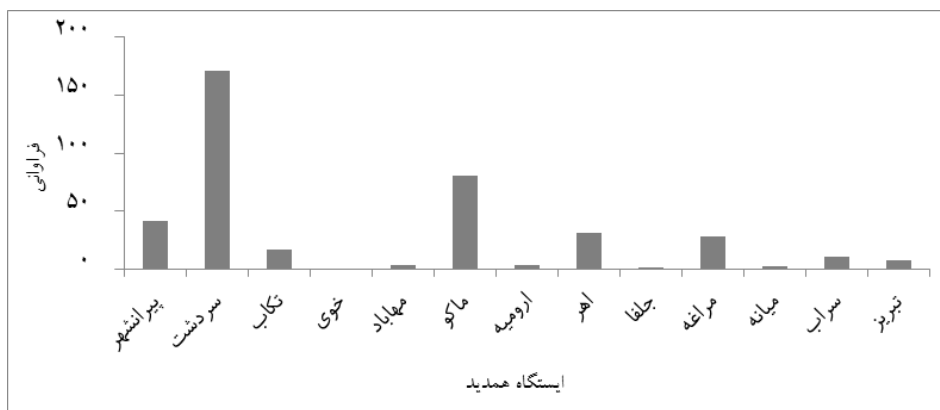
داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های کد هوای حاضر (WW) کولاک (۳۶ تا ۳۹) با فاصله زمانی ۳ ساعته در طولانی‌ترین دوره آماری مشترک (۲۰۰۹-۱۹۸۷) برای ۱۶ ایستگاه همید منطقه از سازمان هواشناسی کشور دریافت و برای بررسی این پدیده استفاده شد. جهت واکاوی همید سازوکار رخداد کولاک فراگیر (رخداد این پدیده در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌های منطقه)، ۱۱ رخداد طی دوره آماری شناسایی شد. داده‌های بازکاوی شده شامل فشار، جهت و جریان باد در تراز سطح دریا؛ امگا، ارتفاع ژئو پتانسیلی و دما در تراز سطح زمین؛ نم ویژه، ارتفاع ژئو پتانسیلی، جهت و جریان باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (hp)؛ (تاوه پیراقطبی (به‌عنوان سنجه ناپایداری شدید)، امگا و ارتفاع ژئو پتانسیلی در تراز ۵۰۰ hp از دو روز قبل با فاصله زمانی ۶ ساعته از پایگاه داده سازمان‌های NCEP/NCAR دریافت و مورد واکاوی همید قرار گرفتند. همچنین شاخص‌های ناپایداری SWAT، TT، KI و SI برای سه ایستگاه تبریز، کرمانشاه و ایروان با دریافت داده‌های جو بالا از وبسایت دانشگاه ویومینگ از دو روز قبل از وقوع کولاک مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش برای ترسیم نقشه‌های همید و نمایش کمیت‌های دینامیک از نرم‌افزار GRADS و جهت استخراج شاخص‌های ناپایداری از نرم‌افزار RAOB استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

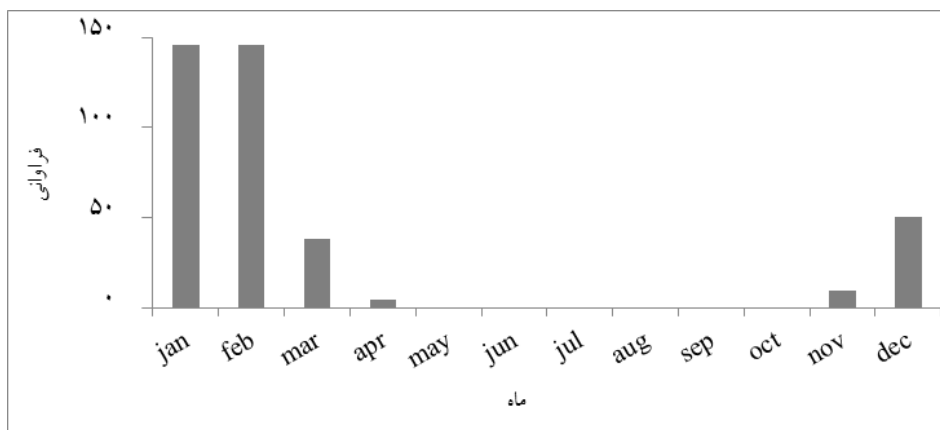
فراوانی رخداد کولاک برف در منطقه

کولاک برف در ایستگاه‌های سردشت و ماکو به لحاظ مکانی و در ماه‌های ژانویه و فوریه از لحاظ زمانی بیشترین فراوانی را در شمال غرب کشور داشته‌اند (شکل‌های ۲ و ۳). همچنین بیشترین فراوانی رخداد کد هوای حاضر مربوط به کد ۳۶ (کولاک خفیف یا متوسط برف در سطح زمین) و ۳۷ (کولاک شدید برف در سطح زمین) می‌باشد (شکل ۴).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: فراوانی کولاک برف در ایستگاه‌های همدید شمال غرب ایران طی دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۹.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: فراوانی ماهانه کولاک برف در شمال غرب ایران طی دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۹.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: فراوانی کد هوای حاضر مرتبط با کولاک برف در شمال غرب ایران طی دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۹.

واکاوی همدید کولاک فراگیر برف در منطقه

روز با کولاک فراگیر روزی تعریف گردید که در ۵۰ درصد یا بیشتر در ایستگاه‌های همدید منطقه گزارش این پدیده ثبت شده باشد. با بررسی دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۰۹)، ۱۱ مورد وقوع این پدیده شناسایی شد. بررسی نقشه‌های سطح میانی و سطح دریا در این ۱۱ مورد کولاک فراگیر دو الگوی متفاوت را در منطقه شمال غرب نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱: روزهای رخداد کولاک فراگیر برف در شمال غرب ایران در دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۹.

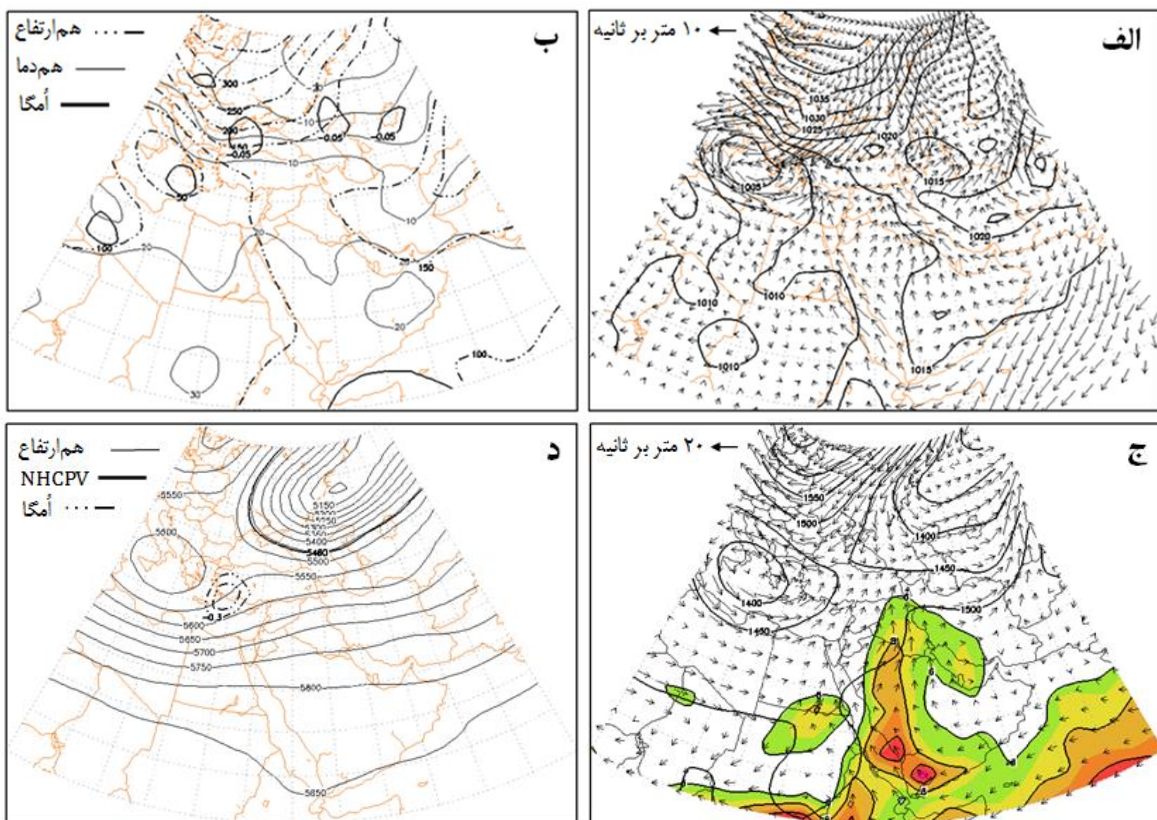
ردیف	روز رخداد	نوع الگو	ردیف	روز رخداد	نوع الگو
۱	۳ ژانویه ۱۹۸۹	بندال اُمگایی	۷	۱۶ ژانویه ۱۹۸۸	بندال اُمگایی
۲	۳ ژانویه ۱۹۹۳	کم ارتفاع شمالی- مدیترانه‌ای	۸	۱۹ ژانویه ۲۰۰۰	کم ارتفاع شمالی- مدیترانه‌ای
۳	۳ ژانویه ۱۹۹۲	کم ارتفاع شمالی- مدیترانه‌ای	۹	۲۳ دسامبر ۱۹۹۰	کم ارتفاع شمالی- مدیترانه‌ای
۴	۴ ژانویه ۱۹۹۰	بندال اُمگایی	۱۰	۲۴ ژانویه ۲۰۰۱	بندال اُمگایی
۵	۶ فوریه ۲۰۰۵	کم ارتفاع شمالی- مدیترانه‌ای	۱۱	۱۰ دسامبر ۲۰۰۲	کم ارتفاع شمالی- مدیترانه‌ای
۶	۹ ژانویه ۱۹۹۶	بندال اُمگایی			

مأخذ: نگارندگان

الگوی اول: کم ارتفاع ادغامی شمالی - مدیترانه‌ای

الف - ۸ دسامبر ۲۰۰۲ (دو روز قبل از کولاک برف): بررسی نقشه سطح دریا ۴۸ ساعت قبل از رخداد کولاک برف یک سامانه پرفشاری را در شمال اروپا نشان می‌دهد که زبانه‌هایش تا شمال دریای مازندران گسترش یافته است. همچنین سامانه کم‌فشاری روی دریای مدیترانه تشکیل شده که شیو فشاری بین این دو سامانه جریان باد شدیدی را از سمت پرفشار اروپایی به سمت کم‌فشار مدیترانه‌ای به همراه داشته است (شکل ۵-الف). در تراز زمین شرایط شیو فشاری مانند تراز دریا برقرار است و صعود عمودی نسبتاً ضعیفی را روی منطقه مدیترانه فراهم کرده که تقاطع منحنی‌های هم‌ارتفاع با هم‌دما گواه این شرایط است (شکل ۵-ب). بررسی نقشه سطح ۸۵۰hp در این روز کم ارتفاع ادغامی

مدیترانه-سودان را نشان می‌دهد که با حرکت چرخندی و با جریان باد نسبتاً شدید، تزریق رطوبت و نهایتاً افزایش نم ویژه در قسمت‌های جنوبی منطقه مطالعاتی به همراه داشته است (شکل ۵-ج). در تراز ۵۰۰hp عمق شدن ناوه شمال روسیه در شمال و ناوه مدیترانه‌ای در غرب منطقه سبب ایجاد شرایط کم ارتفاع روی مدیترانه و شمال دریای مازندران شده‌اند و شرایط صعود عمودی مناسب را با اُمگای ۰/۳۵- پاسکال بر ثانیه (Pa/s) روی این منطقه ایجاد کرده‌اند. تاوه پیراقطبی^۱ که به‌عنوان سنجه شرایط ناپایداری از آن نام‌برده شده (منحنی ۵۴۶۰ در ماه دسامبر) فرونفلد و داویس^۲، ۲۰۰۳ به نقل از ورونا^۳، (۲۰۰۵)) طی این روز از شرق در نیمه شمالی دریای مازندران و از سمت غرب تا دریای سیاه گسترش یافته است (شکل ۵-د).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نقشه‌های روز ۸ دسامبر ۲۰۰۲؛ الف) هم‌فشار سطح دریا و سرعت باد؛ ب) هم‌ارتفاع هم‌دما و اُمگا در تراز زمین؛ ج) هم‌ارتفاع، جریان باد و نم ویژه در تراز ۸۵۰hp؛ د) هم‌ارتفاع، تاوه پیراقطبی و اُمگا در تراز ۵۰۰hp.

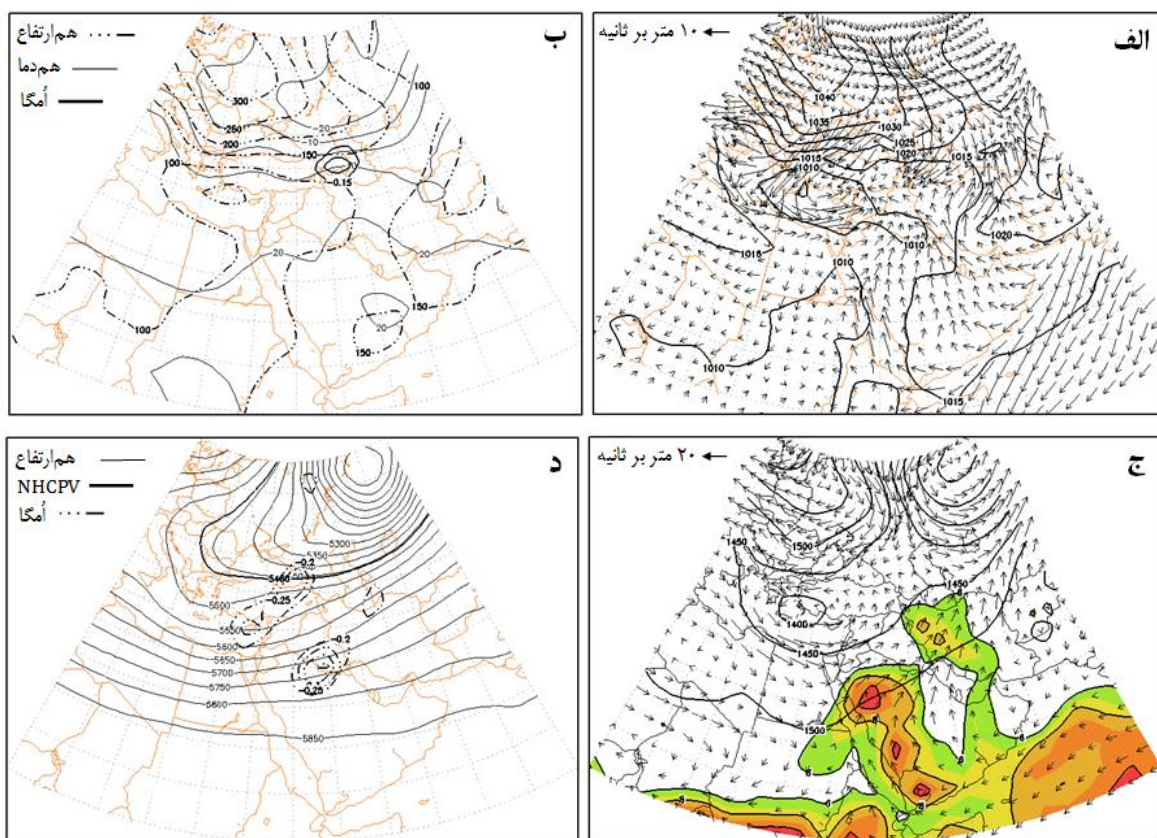
ب- ۹ دسامبر ۲۰۰۲ (روز قبل از کولاک): طی این روز در تراز دریا شاهد حرکت شرق سوی سامانه پرفشاری شمال اروپا و گسترش زبانه‌های آن روی دریای مازندران هستیم که با کم‌فشاری که در جنوب آن قرار دارد شیو فشاری

^۱ - Northern Hemisphere Circumpolar Vortex (NHCPV)

^۲ -Frauenfeld & Davis

^۳ -Wrona

شدیدی ایجاد کرده و موجب وزش شدید باد در غرب ترکیه شده است (شکل ۶- الف). در تراز زمین نیز استقرار این کم ارتفاع و پر ارتفاع مانند تراز دریا وزش باد شدیدی را ایجاد کرده و با اُمگای -0.15 Pa/s در منطقه شرایط صعودی عمودی را ایجاد کرده است (شکل ۶- ب). در تراز 850 hp با گسترش شرق سوی سامانه کم ارتفاع مدیترانه‌ای و قرار گرفتن منطقه در شرق ناوه، رطوبت از دریای سرخ به سمت شمال غرب جریان یافته و مقدار نم ویژه را با وزش باد نسبتاً شدید افزایش داده است (شکل ۶- ج). در تراز 500 hp با گسترش جنوبی کم ارتفاع روسیه و ادغام آن با ناوه مدیترانه‌ای و با قرارگیری غرب ترکیه و شرق مدیترانه در قسمت جلوی ناوه شرایط واگرایی بالایی با اُمگای شدید (-0.3 Pa/s) فراهم شده است. تاوه پیراقطبی در این روز نسبت به روز قبل با حرکت جنوب غرب تا شمال ترکیه گسترش یافته و با نزدیک شدن به منطقه شرایط ناپایداری شدید را طی ساعات آینده نوید می‌دهد (شکل ۶- د).

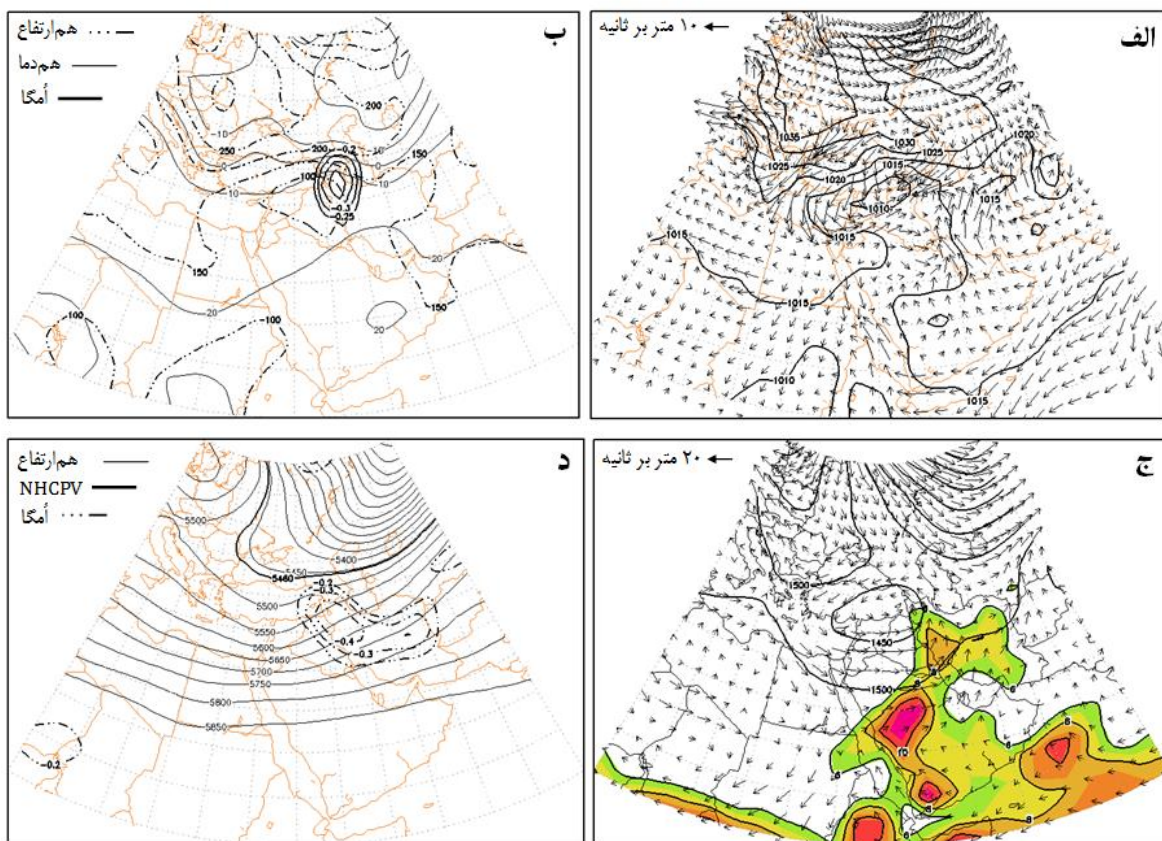


مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: نقشه‌های روز ۹ دسامبر ۲۰۰۲: (الف) هم‌فشار سطح دریا و سرعت باد؛ (ب) هم‌ارتفاع، هم‌دما و اُمگا در تراز زمین؛ (ج) هم‌ارتفاع، جریان باد و نم ویژه در تراز 850 hp ؛ (د) هم‌ارتفاع، تاوه پیراقطبی و اُمگا در تراز 500 hp .

ج- ۱۰ دسامبر ۲۰۰۲ (روز رخداد کولاک): در تراز دریا پرفشار شمال اروپا قوی‌تر شده و با گسترش زبانه‌هایش روی شمال ترکیه و دریای مازندران با کم‌فشار مدیترانه‌ای که با حرکت شرق سو تا شمال غرب کشور گسترش یافته شیو

شدید فشاری و در نتیجه آن جریان باد شدیدی را ایجاد کرده است (شکل ۷-الف). در تراز زمین نیز شرایط شیو شدید فشاری روی شمال غرب به وجود آورده و صعود عمودی شدید با اُمگای 0.3 Pa/s در لایه‌های زیرین فراهم کرده است (شکل ۷-ب). در تراز 850 hp تداوم شرایط کم ارتفاعی روی منطقه جریان رطوبتی را از منطقه بیشینه رطوبت (دریای سرخ و غرب اقیانوس هند) به سمت منطقه مورد مطالعه به همراه داشته و شرایطی مناسب جهت ایجاد بارش در شمال غرب ایران فراهم کرده است (شکل ۷-ج). در تراز 500 hp با حرکت شرق سوی ناه شمالی-مدیترانه‌ای و قرارگیری منطقه مورد مطالعه در قسمت جلوی ناه شرایط واگرایی شدید بالایی با اُمگای 0.4 Pa/s را در منطقه ایجاد کرده است. تاوه پیراقطبی در این روز تغییر قابل توجهی نسبت به روز قبل نداشته و با نزدیک شدن به منطقه پژوهش شرایط ناپایداری شدید را به وجود آورده است (شکل ۷-د).



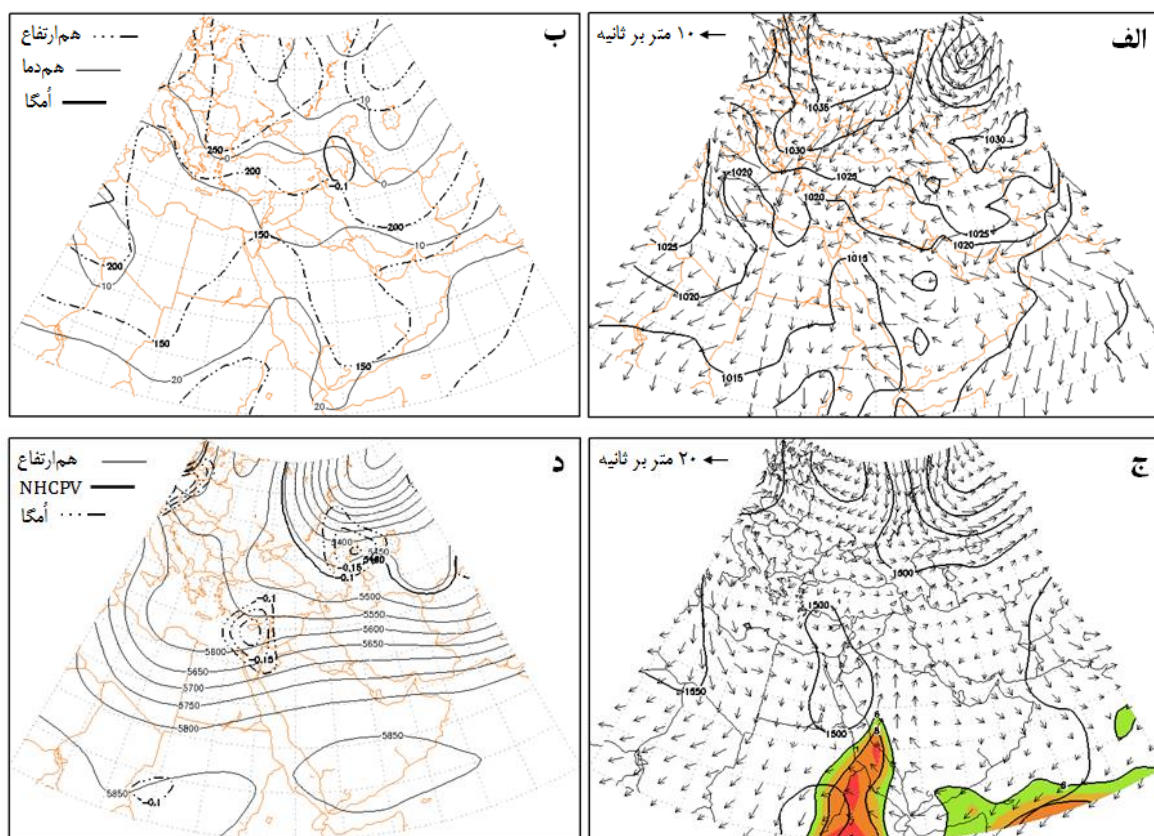
مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نقشه‌های روز ۱۰ دسامبر ۲۰۰۲؛ الف) هم‌فشار سطح دریا و سرعت باد؛ ب) هم‌ارتفاع، هم‌دما و اُمگا در تراز زمین؛ ج) هم‌ارتفاع، جریان باد و نم ویژه در تراز 850 hp ؛ د) هم‌ارتفاع، تاوه پیراقطبی و اُمگا در تراز 500 hp .

الگوی دوم: سامانه بندالی

الف- ۲۲ ژانویه ۲۰۰۱ (دو روز قبل از کولاک برف): در این روز در تراز دریا سامانه‌ای کم‌فشار در جنوب منطقه مورد مطالعه و پرفشار در حال گسترشی روی اروپا استقرار دارد که این شرایط وزش باد شدیدی را در غرب منطقه

مطالعاتی به همراه داشته است (شکل ۸- الف). در تراز زمین با گسترش زبانه‌های پر ارتفاع شمالی به سمت عرض‌های پایین دمای زیر صفر در نزدیک شمال غرب ایران و روی دریای سیاه استیلا یافته است. همچنین بیشینه اُمگا روی شمال منطقه به -0.1 Pa/s رسیده که با گسترش زبانه‌های پرفشار اروپایی، شدت صعود عمودی در بسته‌های هوا افزایش پیدا خواهد کرد (شکل ۸- ب). در تراز 850 hp حرکت چرخندی سلول کم ارتفاع روی دریای مدیترانه و شمال دریای سرخ جریان‌های با سوی نصف‌النهاری به وجود آورده و سبب افزایش نم ویژه در منطقه بین‌النهرین شده است (شکل ۸- ج). در تراز 500 hp با گسترش یال شرقی بن‌دال از شمال روسیه به عرض‌های پایین کم ارتفاعی را در شمال منطقه مطالعاتی و نیز ناوه مدیترانه‌ای در غرب منطقه عمیق شده و تا دریای سرخ کشیده شده است. با نزدیک شدن تاوه پیراقطبی شرایط ناپایداری شدید و ایجاد واگرایی بالایی را در منطقه فراهم کرده و بیشینه اُمگا را در این منطقه به آستانه بحرانی -0.2 Pa/s رسانده است (شکل ۸- د).

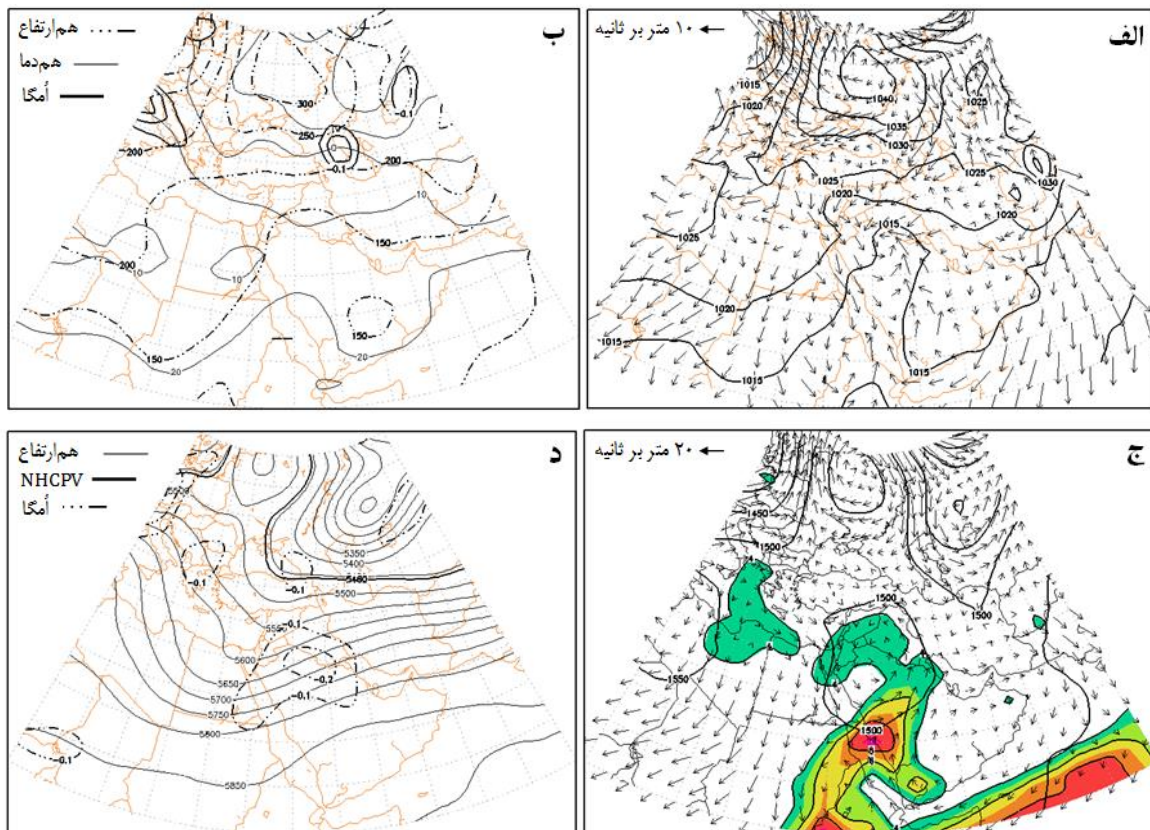


مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه‌های ۲۲ ژانویه ۲۰۰۱؛ (الف) هم‌فشار سطح دریا و سرعت باد؛ (ب) هم‌ارتفاع، هم‌دما و اُمگا در تراز زمین؛ (ج) هم‌ارتفاع، جریان باد و نم ویژه در تراز 850 hp ؛ (د) هم‌ارتفاع، تاوه پیراقطبی و اُمگا در تراز 500 hp .

ب- روز ۲۳ ژانویه ۲۰۰۱ (یک روز قبل از کولاک برف): در تراز سطح دریا با تقویت پرفشار اروپا این پرفشار عمیق شده و با حرکت و اچرخندی جریان باد شدیدی را با گذر از روی دریای مازندران به شمال منطقه گسیل می‌کند

(شکل ۹-الف) که این شرایط صعود عمودی مناسبی را (با اُمگای $-0/15 \text{ Pa/s}$) در شمال منطقه در تراز زمین سبب شده است (شکل ۹-ب). در تراز 850 hp با حرکت شرق سوی سلول کم ارتفاع جریان رطوبت از دریای مدیترانه و دریای سرخ به سمت ایران گسترش یافته و می توان انتظار داشت طی ساعات آینده بهبود شرایط نم ویژه را در منطقه به همراه داشته باشد (شکل ۹-ج). در تراز 500 hp با توجه به بندالی بودن سامانه حرکت قابل توجهی را در محل استقرار ناوه شرقی بنادال به سمت شرق شاهد نیستیم به جز این که محور این سامانه که سوی شمال شرقی- جنوب غربی داشت، با افزایش مؤلفه نصف النهاری سوی شمال- جنوبی گرفته و با ناوه مدیترانه ای ادغام شده است. همچنین وضعیت صعود عمودی به حد بحرانی با اُمگا $-0/2 \text{ Pa/s}$ در این روز رسیده است. تاوه پیراقطبی نسبت به روز گذشته با حرکت جنوب غربی، در نیمه جنوبی دریای مازندران قرار گرفته و شرایط ناپایداری شدید را در شمال منطقه فراهم کرده است (شکل ۹-د).

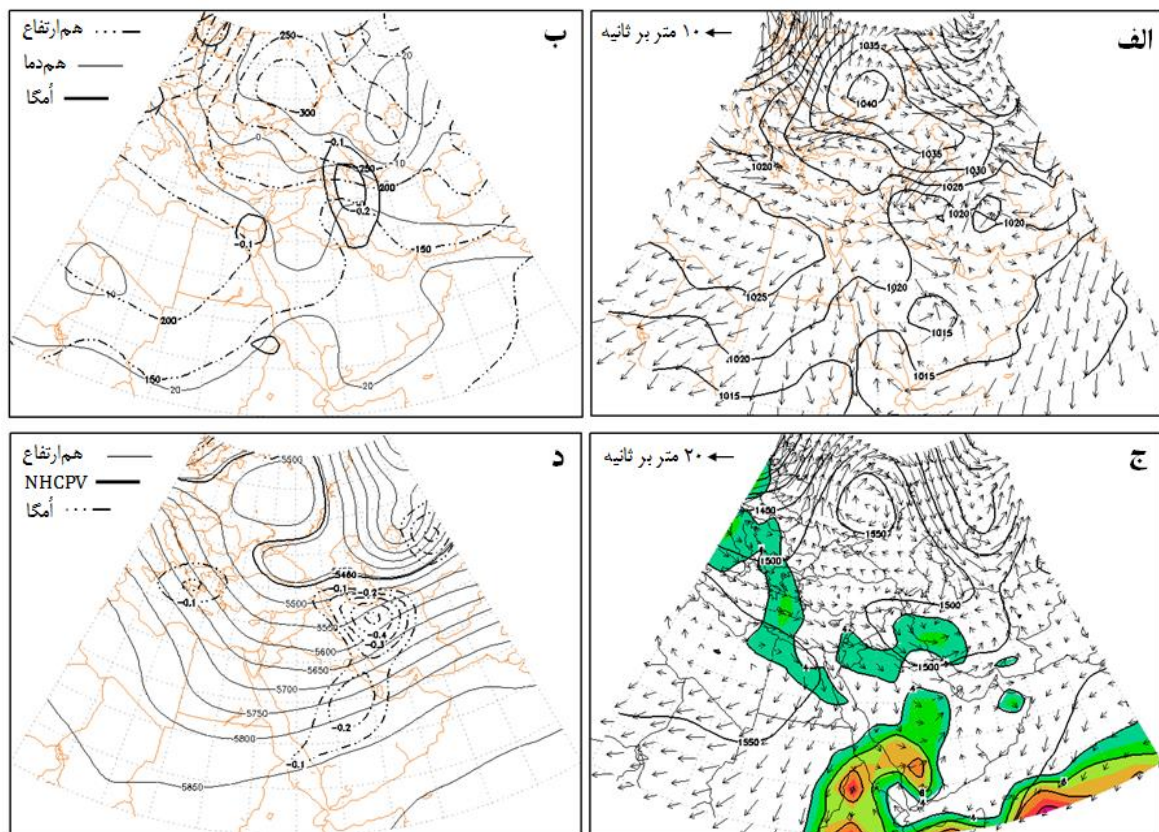


مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه های ۲۳ ژانویه ۲۰۰۱؛ (الف) هم فشار سطح دریا و سرعت باد؛ (ب) هم ارتفاع، هم دما و اُمگا در تراز زمین؛ (ج) هم ارتفاع، جریان باد و نم ویژه در تراز 850 hp ؛ (د) هم ارتفاع، تاوه پیراقطبی و اُمگا در تراز 500 hp .

ج- روز ۲۴ ژانویه ۲۰۰۱ (روز رخداد کولاک برف): در تراز دریا با گسترش زبانه های پرفشار اروپا به سمت جنوب زبانه های این پرفشار به شمال غرب ایران رسیده و جریان بادی با سرعت حدود 20 متر بر ثانیه را به سمت این

منطقه گسیل داشته است. در تراز زمین با ریزش هوای سرد به عرض‌های پایین توسط کم ارتفاع اروپا، شیو دمایی بسیار شدیدی روی منطقه پژوهشی به وجود آمده و با تشکیل جبهه صعود بسیار شدید هوا با اُمگای $0/25 \text{ Pa/s}$ را در منطقه فراهم کرده است که این شرایط نشان‌دهنده ناپایداری بسیار شدید در ترازهای زیرین جو طی این روز است (شکل ۱۰-۱-الف، ب). در تراز 850 hp با حرکت شرق سوی کم ارتفاع واقع در غرب ایران جریان رطوبت را به سمت منطقه مطالعاتی گسیل کرده و سبب افزایش نم ویژه شده است (شکل ۱۰-۱-ج). در تراز 500 hp با قرارگیری شمال غرب ایران در جناح شرقی بندال یعنی ناوه ادغامی شمالی-مدیترانه‌ای، شرایط واگرایی بالایی در منطقه فراهم کرده است. اُمگا نیز شدتی تا $0/4 \text{ Pa/s}$ داشته که نشانگر صعود بسیار شدید بسته‌های هوا در منطقه پژوهشی است. تاوه پیراقطبی در این روز نسبت به روز قبل به لحاظ موقعیت مکانی تغییر نکرده و همچنان شرایط ناپایداری شدید را در منطقه حفظ کرده است (شکل ۱۰-۱-د).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: نقشه‌های ۲۴ ژانویه ۲۰۰۱؛ (الف) هم فشار سطح دریا و سرعت باد؛ (ب) هم ارتفاع، هم دما و اُمگا در تراز زمین؛ (ج) هم ارتفاع، جریان باد و نم ویژه در تراز 850 hp ؛ (د) هم ارتفاع، تاوه پیراقطبی و اُمگا در تراز 500 hp .

شاخص‌های ناپایداری

چهار شاخص ناپایداری KI، SWEAT، TT و SI در سه ایستگاه جو بالای منطقه شامل ایستگاه‌های همدید ایروان در شمال، تبریز در مرکز و کرمانشاه در جنوب بررسی شد. نتایج بررسی این شاخص‌ها برای الگوی کم ارتفاع شمالی (۸ تا ۱۰ دسامبر ۲۰۰۲) بیانگر این بود که شاخص TT، نسبت به شاخص‌های دیگر بهتر شرایط ناپایداری را از دو روز قبل از رخداد کولاک برف در منطقه نشان داده و در هر سه ایستگاه عدد این شاخص احتمال رخداد توفان را در منطقه بیان می‌کردند (جدول‌های ۲، ۳ و ۴). بعد از شاخص TT شاخص‌های KI و SWEAT به ترتیب با احتمال کمتر نشانگر شرایط ناپایداری بودند. شاخص SI در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها شرایط ناپایداری را نشان نداد که این مطلب کارایی کم این شاخص را در پیش‌بینی رخداد کولاک برف نشان می‌دهد. به دلیل محدودیت صفحات مقاله شاخص‌های ناپایداری برای یک الگوی همدید ذکر گردید.

جدول ۲: شرایط شاخص‌های ناپایداری از ۴۸ ساعت قبل از کولاک در شمال غرب ایران؛ ایستگاه همدید تبریز.

SI	KI	TT	SWAT	شاخص ناپایداری روز
عدم ناپایداری	پتانسیل کم	احتمال توفان	ناپایداری ضعیف	ساعت ۸-۰۰Z دسامبر ۲۰۰۲
عدم ناپایداری	پتانسیل کم	احتمال توفان	ناپایداری ضعیف	ساعت ۹-۰۰Z دسامبر ۲۰۰۲
عدم ناپایداری	پتانسیل کم	احتمال توفان	ناپایداری ضعیف	ساعت ۱۰-۰۰Z دسامبر ۲۰۰۲

مأخذ: نگارندگان

جدول ۳: شرایط شاخص‌های ناپایداری از ۴۸ ساعت قبل از کولاک در شمال غرب ایران؛ ایستگاه همدید کرمانشاه.

SI	KI	TT	SWAT	شاخص ناپایداری روز
ناپایداری ضعیف	پتانسیل متوسط	توفان شدید	ناپایداری متوسط	ساعت ۸-۱۲Z دسامبر ۲۰۰۲
ناپایداری متوسط	پتانسیل متوسط	توفان گسترده	ناپایداری ضعیف	ساعت ۹-۱۲Z دسامبر ۲۰۰۲
ناپایداری ضعیف	پتانسیل متوسط	توفان شدید	ناپایداری ضعیف	ساعت ۱۰-۱۲Z دسامبر ۲۰۰۲

مأخذ: نگارندگان

جدول ۴: شرایط شاخص‌های ناپایداری از ۴۸ ساعت قبل از کولاک در شمال غرب ایران؛ ایستگاه همدید ایروان.

SI	KI	TT	SWEAT	شاخص ناپایداری روز
عدم ناپایداری	پتانسیل کم	احتمال توفان	ناپایداری ضعیف	ساعت ۸-۰۰Z دسامبر ۲۰۰۲
عدم ناپایداری	پتانسیل کم	احتمال توفان	ناپایداری ضعیف	ساعت ۹-۰۰Z دسامبر ۲۰۰۲
عدم ناپایداری	پتانسیل کم	احتمال کم	ناپایداری ضعیف	ساعت ۱۰-۰۰Z دسامبر ۲۰۰۲

مأخذ: نگارندگان

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی آماری پدیده کولاک فراگیر در شمال غرب ایران نشان داد که طی ساعات روز احتمال رخداد این پدیده بیشتر است که دلیل آن را می‌توان به وجود انرژی تابشی بیشتر در این موقع ارتباط دارد که سبب ایجاد مناطق دارای کمبود و

بالابود انرژی شده و انتقال انرژی از منطقه بالابود به کمبود انرژی سبب ایجاد باد و به دنبال آن جابه‌جایی برف می‌شود. بررسی وقوع کولاک در ایستگاه‌های همدید منطقه نشان داد که ایستگاه‌های سردشت و ماکو دارای بیشترین رخداد این پدیده هستند. دلیل این امر را می‌توان به شرایط توپوگرافی این مناطق نسبت داد که بین دو دامنه رو به آفتاب و پشت به آفتاب قرار دارند و این وجه شیب متفاوت اختلاف انرژی رسیده به این دو دامنه را به دنبال داشته و سبب ایجاد باد و نهایتاً افزایش فراوانی محلی کولاک در این مناطق شده است. بررسی ماهانه این پدیده بیانگر این بود که با شروع فصل زمستان و آغاز ریزش برف از دسامبر تا مارس احتمال وقوع این پدیده در منطقه بیشتر است که دلیل آن را می‌توان به موقعیت تاوه قطبی در این فصل از سال نسبت داد که با گسترش به عرض‌های جغرافیایی پایین شرایط آسوبمند را در این مناطق گسترش می‌دهند. تحلیل همدید کولاک فراگیر در شمال غرب در سطوح پایین جو وجود شیو شدید فشاری بین پرفشارهای شمالی و کم‌فشارهای جنوبی منطقه را نشان می‌دهد که سبب ایجاد بادهای پرسرعت در سطح زمین شده است. در ترازهای بالا در هر دو الگوی فشاری کم ارتفاع با منشأ شرق اروپا، روسیه در ادغام با ناوه مدیترانه‌ای سبب ایجاد ناپایداری به صورت کولاک برف در منطقه شده است. همچنین بررسی نقشه‌های نم و یژه در منطقه نشان دارد که از دو روز قبل از شروع بارش با قرارگیری سامانه‌های کم ارتفاع روی دریای سرخ و غرب اقیانوس هند رطوبت از این مناطق به سمت منطقه مورد مطالعه گسیل پیدا می‌کند. همچنین بررسی کمیت دینامیک امگا در ترازهای بالا و پایین از دو روز قبل از شروع پدیده کولاک با شدت و ضعف متفاوت مقادیر منفی این کمیت که نشانگر صعود بسته‌هوا است را روی منطقه پژوهشی نشان داده که این بیانگر وجود انطباق مناسب لایه‌های زیرین و بالایی و وجود همگرایی در سطح پایین و واگرایی در سطح بالای اتمسفر در منطقه مطالعاتی بوده است.

همان‌طور که بیان شد کولاک فراگیر برف دو الگوی متفاوت در منطقه دارد که در ترازهای پایین جو وجود شیو فشار بین کم‌فشار مدیترانه‌ای و پرفشار اروپایی سبب ناپایداری شده است. در ترازهای میانی جو نیز گسترش جنوب سوی کم ارتفاع شمالی در ادغام با ناوه مدیترانه و رسیدن این کم ارتفاع به شمال غرب شرایط مناسب برای صعود در منطقه فراهم شده است که با نتایج پژوهش اصغری (۱۳۹۰) در استان کردستان همخوانی دارد. بررسی کمیت‌های دینامیکی در ارتباط با صعود قائم هوا در ترازهای پایین جو از دو روز قبل از کولاک امگای منفی خفیف و با نزدیک شدن به روز بارش امگای منفی شدیدتری را در شرق منطقه و در روز بارش در منطقه پژوهشی با شدت -0.3 Pa/s نشان می‌دهد. در ترازهای میانی امگا با توجه به مکان‌گزینی شرق ناوه روسیه با بیشترین شدت (-0.4 Pa/s) طی سه روز مورد بررسی در روز بارش واگرایی شدید بالایی را در منطقه به همراه داشته است. تفاوتی که در این پژوهش با مطالعه افتادگان خوزانی (۱۳۹۱) مشاهده شد این بود که در ریزش برف سنگین در شمال غرب ایران تمرکز شدت شاخص‌های دینامیکی در ترازهای میانی جو بود ولی در این پژوهش شاهد هستیم که در پدیده کولاک برف بیشترین شدت این شاخص‌ها در لایه‌های زیرین جو رخ داده است. در ارتباط با کمیت ترمودینامیکی نم و یژه با گذر جریانات از روی منطقه بیشینه رطوبتی در دریای سرخ سبب افزایش رطوبت ویژه را تا ۸ گرم بر کیلوگرم در منطقه موجب شده است. در پژوهش‌های مشابه

(محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ حلبیان و شبانکاری، ۱۳۸۹) در تحلیل دینامیک و همدید رخداد بارش‌های سنگین در ایران بیان کرده‌اند که همراهی جریان باد با هسته‌های بیشینه نم ویژه مستقر در دریای سرخ رطوبت لازم برای بارش‌های را فراهم می‌کند. همان‌گونه که در پژوهش خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۱) بیان شده رطوبت بارش‌های فراگیر در شمال غرب نیز می‌تواند از مناطق بیشینه رطوبت واقع در دریای سرخ تأمین گردد. بررسی شاخص‌های ناپایداری در سه ایستگاه جو بالای ایروان، تبریز و کرمانشاه بیانگر این بود که شاخص TT شرایط ناپایداری به صورت کولاک برف را بهتر از سایر شاخص‌های نشان می‌دهد که با نتایج پژوهش خوشحال دستجردی و علیزاده (۱۳۸۹) همخوانی دارد.

منابع

- ۱- اشجعی، محمد. (۱۳۷۹): بررسی و ارائه مدل‌های سینوپتیکی بارش‌های سنگین در شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- اصغری، آزاد. (۱۳۹۰): تحلیل سینوپتیکی کولاک برف در استان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: بهلول علیجانی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه خوارزمی.
- ۳- افتادگان خوزانی، اصغر (۱۳۹۱): واکاوی همدید بارش‌های مخاطره‌آمیز فراگیر در شمال غرب ایران. استاد راهنما: فرامرز خوش‌اخلاق. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تهران.
- ۴- امیدوار، کمال. (۱۳۸۷): بررسی سیلاب‌ها بر اساس موقعیت سیستم‌های سینوپتیکی در استان یزد، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۸.
- ۵- حلبیان، امیرحسین و شبانکاری، مهران. (۱۳۸۹): تحلیل همدید ارتباط پرفشار جنب حاره در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال با بارش روزانه در ایران. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۹۷. صص ۴۶-۲۸.
- ۶- حیدری، حسن؛ و سعیدآبادی، رشید. (۱۳۸۶): ناحیه بندی سوز باد در غرب و شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیایی. دوره ۳۹. شماره ۶۲. صص ۱۰۷-۹۳.
- ۷- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ محمدی، حسین؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ و افتادگان خوزانی، اصغر. (۱۳۹۱): واکاوی همدید بارش تگرگ فراگیر در شمال غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۲. صص ۶۹-۵۵.
- ۸- خوشحال دستجردی، جواد؛ و علیزاده تیمور. (۱۳۸۹): بررسی همیدی و ترمودینامیک رگبار موجد سیلاب ۸۸/۶/۲۴ در استان خراسان رضوی. فصل‌نامه مدرس علوم انسانی. دوره چهاردهم. شماره ۴. صص ۱۱۰-۸۷.
- ۹- رحیمی، داریوش؛ خوشحال، جواد و علیزاده تیمور. (۱۳۸۹): تحلیل آماری-همیدی بارش‌های سنگین مناطق خشک (مطالعه موردی: استان کرمان)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۴، صص ۶۹-۵۱.
- ۱۰- روستا، ایمان. (۱۳۸۹): تحلیل آماری و سینوپتیکی سوز بادهای فراگیر در شمال غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: قاسم عزیزی دانشکده جغرافیا. دانشگاه تهران.
- ۱۱- عابدی، قاسم. (۱۳۷۷): بررسی بلایای طبیعی و نقش آن در توسعه پایدار با تأکید بر ایران. نشریه سپهر. شماره ۲۸. صص ۶۴-۵۲.
- ۱۲- قوبدل رحیمی، یوسف؛ باغبانان، پرستو؛ و فرج زاده اصل، منوچهر. (۱۳۹۳): تحلیل فضایی مخاطره طوفان تندری بهاره ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۳. صص ۷۰-۵۹.
- ۱۳- کاویانی، محمدرضا؛ مسعودیان، سید ابوالفضل و حلبیان، امیرحسین. (۱۳۸۷): بررسی تأثیر سامانه پرفشار آزر بر بارش ایران زمین، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۸، صص ۵۰-۲۵.

- ۱۴- لشکری، حسن. (۱۳۸۲): مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴۶، ص ۱۸-۱.
- ۱۵- محمدی، حسین؛ فتاحی، ابراهیم؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ و اکبری، مهری. (۱۳۹۱): تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره اول. شماره ۲. صص ۲۴-۷.
- ۱۶- محمدی، بختیار و مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۹): تحلیل همید بارش‌های سنگین ایران مطالعه موردی: آبان ماه ۱۳۷۳، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، ص ۷۰-۴۷.
- ۱۷- مفیدی، عباس و زرین، آذر. (۱۳۸۴): بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل زا در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۷.
- ۱۸- ملازاده، بهرام؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی بهلول و ناصر زاده، محمدحسین. (۱۳۹۳): تحلیل آماری و سینوپتیکی کولاک برف در استان آذربایجان غربی. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۴. صص ۹۰-۷۵.

- 19- Changnon, D.; Merinsky, C. and Lawson, Michael, (2008): Climatology of Surface Cyclone Tracks Associated with Large Central and Eastern U.S. Snowstorms, 0550-8000. Notes and Correspondence, Monthly Weathers Review, 631: 3053-3808.
- 20- Coleman, J. S. M. and R. M. Schwartz (2017): An Updated Blizzard Climatology of The Contiguous United States (1959-2014): An Examination of Spatiotemporal Trends, Journal of Applied Meteorology and Climatology 56(1): 173-187.
- 21- Frauenfeld, O.W. and Davis, R.E., (2003): Northern Hemisphere Circumpolar Vortex Trends and Climate Change Implications, Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 108:7-1 – 7-13.
- 22- Jansa, A., A. Genoves, M. Angeles, J. Campins, R. Riosalido & O. Carretero, (2001): Western Mediterranean Cyclones and Heavy Rain. Part 2: Statistical Approach, Meteorol. Appl. 8, 43-56.
- 23- Hossos, E.; C. Jlolis, and A. Batzakis. (2008): Atmospheric circulation patterns associated with extremes. Precipitation in the U.S Nat Hazards, 641: 000- 003.
- 24- Jansa, A., A. Genoves, M. Angeles, J. Campins, R. Riosalido & O. Carretero, (2001): Western Mediterranean Cyclones and Heavy Rain. Part 2: Statistical Approach, Meteorol. Appl., No. 8, p. 43-56.
- 25- Lana, A., J. Campins, A. Genoves and A. Jansa, (2007): Atmospheric Patterns for Heavy Rain Events in the Balearic Islands, Geosci. 12, 27-32.
- 26- Marwitz, John, James Toth, (1999): The Front Range Blizzard of 1990. Part I: Synoptic and Mesoscale Structure, Mon. Wea. Rev., 121, 402-415.
- 27- Siedlecki, Mariusz, (2009): Selected Instability Indices in Europe, Theoretical Applied Climatology, Vol. 96, pp. 85-94.
- 28- Robert, A., C. Maddox & L. Ray, (1980): Meteorological Characteristics of Flash Flood Events over the Western United State, Monthly Weather Review, Vol. 10.
- 29- Stephen J., Déry M., K. Yau, (2012): A Climatology of Adverse Winter-type Weather Events, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 104, Issue D14, pp. 16657-16672.
- 30- Wrona, Kalyn M., (2007): Long-Term Changes and Variability in Northern Hemisphere Circumpolar Vortex, Master's Thesis in the Department of Geography and anthropology, Louisiana State University.
- 31- William H., I. Neil, G. Christopher, (2004): A Study of Twentieth Century Extreme Rainfall Events in the United Kingdom with Implications for Forecasting, Meteorol. Appl, No. 11, p. 15-31.
- 32- WWW.Glossary.ametsoc.org
- 33- WWW.Weather.uwyo.edu
- 34- WWW.Esrl.noaa.gov