

## نقش آفرینی بندال‌ها در رخداد مخاطرات ژئومورفودینامیکی (مطالعه موردی زمین لغزش‌های فروردین ۱۳۷۷ غرب چهارمحال و بختیاری)

نسرین نیکاندیش: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران\*  
مجتبی هدایی: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، مدرس دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۶/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۲، صص ۱۹۲-۱۷۱

### چکیده

رویاری با مخاطرات بخش جدایی ناپذیر جوامع انسانی به شمار می‌رود. عوامل متعددی در ظهور این مخاطرات نقش دارند. عوامل اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در رخداد مخاطرات محیطی به شمار می‌آیند. بندالی شدن یکی از پدیده‌های مهمی است که سایر پارامترهای اقلیمی را به شکل محسوسی تحت تأثیر قرار می‌دهد. زمین لغزش‌ها از جمله مخاطرات مهم مورفوکلیماتیک ایران بشمار می‌آیند که سالانه خسارات فراوانی را به عرصه‌های مختلف وارد می‌سازند. در فروردین ۱۳۷۷ پس از یک دوره بارشی ۱۹ روزه در شمال غرب و غرب استان چهارمحال و بختیاری زمین لغزش‌هایی رخ دادند که مهم‌ترین آن‌ها بهمن سنگی آبیکار لید بود. رخداد این بلیه باعث نابودی روستای لید و مرگ تمام ساکنین آن گردید. بنابراین به منظور کاهش خسارات وارده به جوامع انسانی، شناسایی، ارزیابی و پیش‌بینی زمان آستانه‌ی تغییر و رسیدن به مرحله‌ی بحرانی لازم و ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش بررسی نقش عوامل اقلیمی به ویژه الگوهای هم‌دید و بندال‌ها در وقوع مخاطرات ژئومورفودینامیکی به عنوان راهنمایی برای پیش‌بینی‌های کاربردی می‌باشد. روش کلی مبتنی بر تحلیل‌های سینوپتیکی با استناد بر خروجی‌های حاصل از نرم‌افزار گردس و تطبیق آن با داده‌های ثبت شده‌ی زمینی به روش تحلیلی-کمی با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای آماری و زمین‌آماری جی‌آی‌اس و اکسل می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد که مهم‌ترین نقش آفرینی الگوهای هم‌دید و بندال‌ها در وقوع پدیده ژئومورفودینامیکی در چگونگی نزول و نوع بارش می‌باشد. عملکرد سامانه‌های فشار، موقعیت منطقه نسبت به جبهه‌های سرد و گرم چرخندها و نوع و مکان بندال‌ها نقش تعیین‌کننده در وقوع مخاطره داشته‌اند.

واژگان کلیدی: مخاطرات ژئومورفودینامیکی، بندال، هم‌دید، گردس، آبیکار لید

### مقدمه

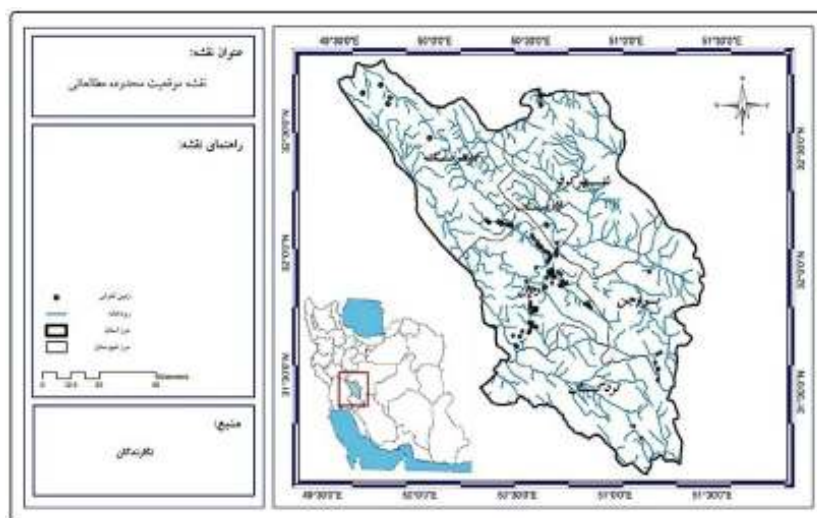
ناپایداری (آیالا، ۲۰۰۲) و ناسازگاری سیستم‌های طبیعی و انسانی است (اسمیت و پتلی، ۲۰۰۹: ۱۱). زمین لغزش‌ها از جمله مهم‌ترین پدیده‌هایی محیطی است که در ایران به عاملی مخاطره‌زا تبدیل شده است (مقیم و دیگران، ۱۳۹۲: ۱۱۸). این پدیده یکی

درجهان ۴۰ نوع مخاطره شناسایی شده که امکان وقوع ۳۱ نوع آن در ایران وجود دارد که بیش از ۹۰٪ آن دارای منشأ اقلیمی هستند (عابدی، ۱۳۷۷: ۵۲). پدیده مخاطرات در سیستم‌های محیطی، اساساً در ارتباط با

از فرآیندهای ژئومورفودینامیک تأثیرگذار بر تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی (روترینگ و دیگران، ۲۰۰۵: ۶۵۴) و نوع خاصی از فرآیندهای دامنه‌ای است که زاینده شرایط اقلیمی، ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸: ۱۱۰) که در صورت وقوع عدم تعادل در فرآیندهای ژئومورفیک آنها، محدودیت‌ها و خسارت‌های متعددی را فرا راه برنامه‌ریزان محیطی در مناطق کوهستانی ایجاد می‌کند. در ایران بدلیل تعدد توپوگرافی کوهستانی، فعالیت‌های دوره‌ای زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، تنوع اقلیمی و زمین‌شناختی، افزایش جمعیت و فشار بی‌رویه بر منابع طبیعی و تغییرات کاربری در دهه‌های اخیر، شرایطی طبیعی برای بروز طیف گسترده‌ای از خطرات زمین لغزش‌ها را در ایران فراهم کرده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۵). در این راستا عوامل و عناصر اقلیمی نقش قاطع و تعیین‌کننده در رخداد زمین لغزش‌ها دارند. بسیاری از دامنه‌ها زمانی تحریک می‌شوند که متغیرهای اقلیمی بیش از مقادیر نرمال و عادی حادث شوند. افزایش بارش تجمعی، روند توزیع بارش در طول سال، نزول بارش فراوان در مدت کوتاه، افزایش و کاهش ناگهانی دما و انباشت و ذوب برف از جمله مواردی می‌باشند که غالباً وقوع زمین لغزش‌ها را با تأخیر پس از سیل بدنال دارند. این عوامل که بعنوان عوامل تحریک کننده‌ی زمین لغزه‌ها مطرح می‌شوند خود معلول آرایش خطوط هم

فشار در سطوح مختلف هواسپهر می‌باشد. در ریشه‌یابی و روندیابی اثرگذاری متغیرهای هواشناسی در نظر گرفتن یکپارچگی هوا سپهر علیرغم داشتن لایه‌های متنوع اجتناب ناپذیر است. یکی از ویژگی‌های مهم هوا سپهر بندالی شدن سامانه‌های جوی می‌باشد. بندالی شدن سامانه‌های جوی یک پدیده‌ی شگفت‌انگیز در هواشناسی است که در زمان وقوع آن سامانه‌های کم فشاری که در حالت طبیعی از غرب به شرق در حال حرکت هستند در برخورد با آنها از مسیر اصلی خود به سمت شمال یا جنوب بنادال تغییر مسیر داده و اقلیم مناطقی را که می‌بایست از روی آنها عبور می‌کردند را تحت تأثیر قرار می‌دهند. البته، برای مناطق واقع در ناحیه‌ی پشته، خشکی و گرما و برای مناطق واقع در ناحیه‌ی ناوه، ناپایداری، سرما و بارش به ارمغان می‌آورد (شویرز و همکاران ۲۰۰۴: ۴).

استان چهارمحال و بختیاری در گستره‌ی زاگرس میانی قرار گرفته است. این استان به دلایل مختلف زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی مستعد وقوع زمین لغزش‌ها می‌باشد (شکل ۱). در فروردین ۱۳۷۷ بدنال چند روز بارش دومین بهمن سنگی ایران تحت عنوان بهمن سنگی آبیکارلبد در استان رخ داد که باعث مدفون شدن روستای آبیکارلبد و مرگ ۵۵ نفر از ساکنین آن شده و ۴۰ هکتار از اراضی روستا نیز در زیر انبوهی از سنگ و خاک مدفون شد (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت استان چهارمحال و بختیاری و پراکنش زمین لغزش‌های استان



شکل ۲- نمایی از دره روستای لبد پس از رخداد بهمن سنگی

مختلف و مقیاس‌های مکانی متنوع به آسانی امکان‌پذیر می‌باشد. بنابراین پایش روند تغییرات متغیرهای اقلیمی و الگوهای همدید منجر به حادثه می‌تواند سبب افزایش توانمندی در پیش‌بینی احتمال رخداد چنین پدیده‌هایی شوند. این پژوهش برآن است تا نقش عوامل اقلیمی بطور عام و نقش آفرینی بندال‌ها

از آنجایی که گذشته کلید حال و آینده می‌باشد، بررسی رویدادهای گذشته می‌تواند در جهت شناخت و مدیریت این پدیده مؤثر باشد. این رخدادها معمولاً بدنبال یک رویداد آب‌وهوایی استثنایی اتفاق می‌افتند. امروزه دستیابی به بایگانی داده‌های هواشناسی از طریق سایت‌های مختلف اینترنتی در بازه‌های زمانی

پشت به باد کوه‌های آلپ و در زمانی که حرکت ناوه توسط کوه‌ها مسدود می‌شود در روی دریاهاى اژه و سیاه رخ می‌دهد (تریگو ۲۰۰۲: ۵۶۸).

بررسی‌های پریزرکاس و همکاران<sup>۱</sup> در یونان نشان می‌دهد که اگر سامانه‌ی بندالی روی اقیانوس اطلس تشکیل شود و چرخندزایی‌های آن در غرب اقیانوس اطلس و غرب دریای مدیترانه باشد در این حالت پشتی اصلی این سامانه بندالی در شرق اقیانوس اطلس و پشتی ثانوی در غرب آسیا دیده می‌شود و چرخندهایی که در غرب دریای مدیترانه شکل گرفته بدون اینکه وارد آسیا گردند از مسیر اروپا به عرض‌های بالا حرکت می‌نمایند. این حالت گرما و خشکی شدید برای ایران در پی دارد. ولی چنانچه پشتی اصلی روی غرب دریای مدیترانه قرار گیرد پدیده چرخندزایی در شرق دریای مدیترانه رخ داده و درگذر از روی ایران بارش‌های خوبی را برای ایران و کشورهای همجوار به ارمغان می‌آورد (پریزرکاس و همکاران ۱۹۹۷: ۱۱۹).

در ایران حبیبی، ضمن بررسی سامانه‌های بندالی که در اقیانوس اطلس و بویژه در منطقه دریای مدیترانه تشکیل شده‌اند به چرخندزایی در شرق مدیترانه و پیامدهای آن‌ها بر ایران توجه نموده است (حبیبی ۱۳۸۵: ۸۹).

احمدی گیوی و همکاران دینامیک سامانه‌های چرخندی روی ایران را از دیدگاه تاوایی پتانسیلی برای ماه آذر ۱۳۸۲ مطالعه نموده‌اند (احمدی گیوی و همکاران ۱۳۸۵: ۱۳).

عزیزی با تحلیل همدیدی موج سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶ ایران و بررسی نقشه‌های تراز میانی جو نتیجه گرفته‌اند که در سراسر ژانویه ۲۰۰۸ به طور

و الگوهای همدید را بطور خاص در وقوع زمین لغزش‌های نوار غربی استان چهارمحال و بختیاری در فروردین ۱۳۷۷ تبیین نماید.

از جمله معدود پژوهش‌هایی که در مورد الگوهای همدید مرتبط با زمین لغزش‌ها صورت گرفته است می‌توان به پژوهش سلوچی و همکاران<sup>۱</sup> اشاره کرد. این محققین الگوی سینوپتیک بارش‌های شدید منجر به زمین لغزش را در سواحل کوهستانی جنوب شرقی برزیل بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که زمین لغزش‌های منطقه مطالعاتی غالباً به عبور جبهه‌ی سرد و منطقه هم‌گرایی اطلس جنوبی مرتبط می‌باشند (سلوچی ۲۰۰۹: ۷۷).

جی ال ززاز و همکاران<sup>۲</sup> در مورد الگوی همدید بارش‌های محرک زمین لغزش‌ها و ارتباط آن‌ها با نوسان اطلس شمالی در لیسبون پرتغال تحقیقاتی را انجام داده‌اند. این محققین نشان دادند که زمین لغزش‌های ماه مارس با بریده کم فشار، و زمین لغزش‌های اکتبر و نوامبر با سامانه‌ی کم فشار اطلس مرتبط هستند (جی ال ززاز ۲۰۰۸: ۴۹۹).

کریستف ام فوهرمان و همکاران<sup>۳</sup> در تحقیقی پیرامون ویژگی‌های بارش منجر به زمین لغزش در غرب کارولینای شمالی به این نتیجه رسیدند که نیمی از زمین لغزش‌ها با بارش‌های شدید ناشی از چرخندهای حاره‌ای مرتبط‌اند (کریستف ام فوهرمان ۲۰۰۸: ۳۰۴).

بررسی‌های تریگو و همکاران<sup>۴</sup> نشان می‌دهد که ناوه‌های تراز فوقانی جو و حالت کزفشاری<sup>۵</sup> حاکم در تراز پایین وردسپهر که به واسطه‌ی پستی و بلندی‌های سواحل شمالی دریای مدیترانه ایجاد می‌شود در زمستان قوی بوده و پدیده‌ی چرخندزایی در ناحیه‌ی

<sup>1</sup> - Seluchi et al

<sup>2</sup> - J. L. Z'ezere et al

<sup>3</sup> - Christopher et al

<sup>4</sup> - Trigo et al

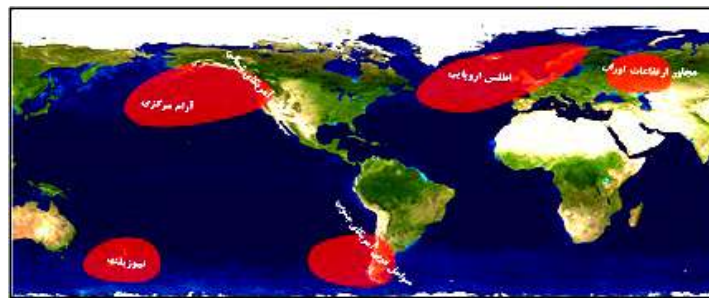
<sup>5</sup> - Aarocline

<sup>6</sup> - Prezerakos

آماري ۲۰ ساله که از سازمان هواشناسی ایران اخذ شده است. با استفاده از نرم‌افزار گردس الگوهای بارش، فشار، دما و باد در سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم و تحلیل گردیدند. تغییرات بارش، روندها و نوسان‌های دما و چگونگی ذوب برف منجر به زمین لغزش‌ها و بهمن سنگی با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک کوه‌رنگ بررسی گردیده است.

۲- یافته‌های تحقیق:

بطور کلی در نیمکره‌ی شمالی چهار منطقه وجود دارد که بیشتر بندال‌ها در آنجا شکل می‌گیرند. منطقه اقیانوس اطلس اروپایی، محدوده ارتفاعات اورال در آسیا، اقیانوس آرام مرکزی و سواحل غربی آمریکای شمالی مناطق ظهور بندال‌ها می‌باشد. در نیمکره‌ی جنوبی سواحل غربی آمریکای جنوبی و نیوزیلند مناطق ظهور بندال می‌باشند (ناسا ۲۰۰۹). کشور ایران از بندال‌های تشکیل شده در مجاورت ارتفاعات اورال و اقیانوس اطلس اروپایی تأثیر می‌پذیرد (شکل ۳).



شکل ۳- موقعیت مناطق تشکیل بندال‌ها در جهان (NASA/the COMET program 2009)

مراعات، جنگل‌ها و مناطق مسکونی وارد شده است (امامی، ۱۳۷۸، ۱۱۲). در دوازدهم فروردین ۱۳۷۷ پس از چند روز بارش زمین لغزش‌هایی در نوار غربی استان رخ داد که مهم‌ترین آن‌ها بهمن سنگی آبیکار لبد بود. بهمن سنگی آبیکار لبد با مختصات "۲۳ ۳۵° تا ۴۹° تا "۲۰ ۳۶°۴۹ طول شرقی و "۲۰ ۳۷ ۳۲° تا "۳۷ ۵۳ ۳۲° عرض شمالی در شمال غربی استان

مداوم سامانه بندالی حاکمیت داشته است (عزیزی ۱۳۸۸: ۱۹).

روش کلی در این پژوهش مبتنی بر تحلیل هم‌دید نقشه‌های بارش، باد، دما و فشار سطح زمین، و نقشه‌های باد و ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و تطبیق آن با داده‌های ثبت شده‌ی زمینی بروش تحلیلی است. در این راستا سعی شده با نگرش علت و معلولی، چگونگی ایجاد بندال‌ها و اثرات آن‌ها در دو دوره‌ی بارش و یک دوره‌ی بین بارش که در فروردین ۱۳۷۷ منجر به وقوع پدیده ژئودینامیکی زمین لغزش‌ها در غرب استان چهارمحال و بختیاری گردیده مورد بررسی قرار گیرد. جهت شناسایی تأثیر متغیرهای اقلیمی در وقوع زمین لغزش‌های فروردین ۱۳۷۷ از دو دسته داده استفاده شده است. نخست داده‌های جوی؛ که از پایگاه داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی محیطی- مرکز ملی پژوهش‌های جوی استخراج گردیده‌اند دوم داده‌های دما، بارش و برف در دوره‌ی

استان چهارمحال و بختیاری به دلایل مختلف زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی مستعد وقوع زمین لغزش‌ها می‌باشد. عوامل انسانی و اقلیمی از عوامل مهم محرک زمین لغزش‌های استان می‌باشند. با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی ۴۰۰ مورد زمین لغزش در سطح استان بیش از پانزده میلیارد ریال خسارت مستقیم به اراضی کشاورزی، پل، جاده،

چهارمحال و بختیاری رخ داد و طی آن قسمتی از دامنه شمال شرقی کوه کینو از پیکرکوه جدا و به دره‌ی رودخانه‌ی لبد سقوط کرد که پس از عبور از دره، روستای آبیکار را مدفون ساخت. در نوار غربی استان چهارمحال و بختیاری از ۲۳ اسفند ۱۳۷۶ تا ۱۲ فروردین ۱۳۷۷ (۱۴ مارس تا ۱ آوریل ۱۹۸۸) بارشی نازل شد که منجر به وقوع زمین لغزش‌ها و بهمن سنگی آبیکار گردید. این بارش در دو دوره با وقفه‌ای سه روزه نازل شده است. در این پژوهش تأثیر هماهنگی و همراهی شرایط سطح زمین و تراز میانی جو به ویژه اثرات بندها در وقوع، نوع و چگونگی نزول بارش در دوره‌های مذکور بطور جداگانه بررسی شده‌اند.

#### ۱-۲- بازه بارش اول:

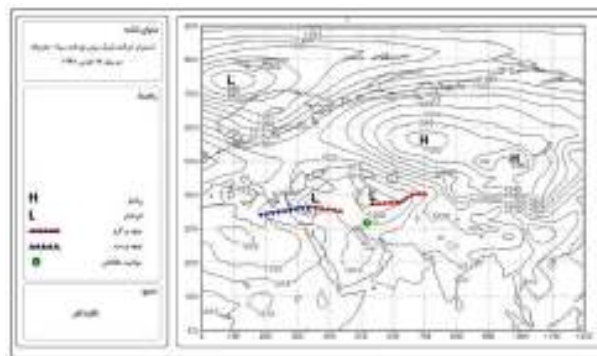
بارش اول از ۱۴ تا ۱۸ مارس ۱۹۹۸ ادامه داشته است. اوج بارش در روزهای ۱۷ و ۱۸ مارس نازل شده است. الگوهای فشار سطح زمین نشان می‌دهد شرایط هوا تحت سیطره‌ی فعالیت دو سامانه‌ی اصلی؛ سامانه‌ی پرفشار سیبری و کم فشار دریای سیاه-مدیترانه-سودانی بوده است. سامانه‌ی پرفشار سیبری ابتدا با فشار مرکزی ۱۰۴۰ میلیبار تا ۴۵ درجه‌ی عرض جغرافیایی گسترده شده است. در روزهای بعد فشار مرکزی آن تا ۱۰۵۵ میلیبار تقویت گردیده و با گسترش غرب سوی خود سبب هدایت و تمرکز سامانه‌ی کم فشار سیاه-مدیترانه-سودانی گردیده است. این سامانه در حرکت و اچرخندی خود هم سبب ریزش هوای سرد و هم سبب تقویت جبهه‌ی سرد چرخندهایی می‌گردد که ایران و منطقه مطالعاتی

را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. سامانه‌ی کم فشار سیاه-مدیترانه-سودانی سبب ایجاد چرخندهایی گردیده‌اند. در روز ۱۵ مارس چرخندی در شمال شرقی ایران تشکیل شده است. نوار شمالی و مرکزی ایران که استان چهارمحال و بختیاری را نیز در بر می‌گیرد در قطع گرم این چرخند قرار گرفته‌اند. بنابراین با نزدیک شدن جبهه‌ی سرد دما از روز قبل کاهش یافته و تا روز ۱۶ مارس با عبور جبهه‌ی سرد افت دما همچنان ادامه یافته است. بنابراین بیشتر بارش دریافتی در این روزها بصورت جامد بوده و ارتفاع برف افزایش یافته است. در روزهای ۱۷ و ۱۸ مارس ایران و منطقه مطالعاتی تحت تأثیر جبهه‌ی گرم چرخندی است که در روز ۱۴ مارس حیات خود را با دو چرخند جداگانه بر غرب اروپا و شمال آفریقا آغاز نموده و در روز ۱۶ مارس بر روی دریای مدیترانه با هم ادغام شده‌اند. هوای سرد سیبری پس از عبور از دریای خزر، اژه، سیاه و مدیترانه جبهه‌ی سرد و هوای گرم جنوب پس از عبور از دریای عرب، اقیانوس هند جبهه گرم این چرخند را تقویت می‌کند. این چرخند با حرکت شرق سو و کند خود روزهای ۱۷ و ۱۸ مارس بر ایران مسلط بوده (شکل ۳) و با افزایش دما و نزول بارش گرم (شکل ۴) سبب افزایش جریان‌های آبی گردیده است.

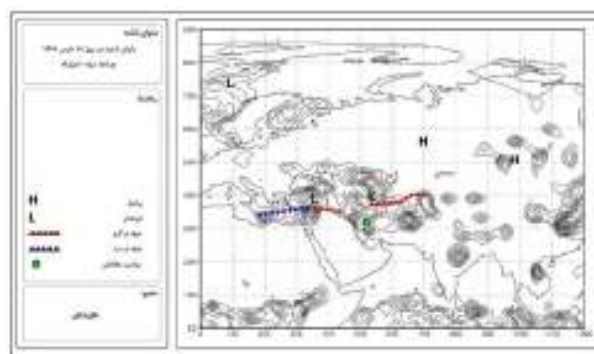
پرفشار سیبری با گسترش و قدرت خود نه تنها الگوهای سطح زمین را متأثر ساخته بلکه در مسیر بادهای غربی در تراز میانی جو در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال حالت بندالی ایجاد نموده است. بندال‌های ایجاد شده در این دوره از نوع امگا، شارش شکافته

دارد. زیرا از یک طرف با عمیق شدن این کم ارتفاع هوای سرد عرض‌های ۶۰ درجه به عرض‌های جنوبی سرازیر و هوای گرم عرض‌های پایین ۲۵ درجه را به عرض‌های بالا هدایت نموده و سبب تشدید شیب حرارتی چرخندهای ایجاد شده می‌گردد. از طرف دیگر این کم ارتفاع با گسترش خود بروی دریای سیاه و مدیترانه رطوبت لازم برای فعالیت بیشتر چرخندها را فراهم می‌نماید. این کم ارتفاع از روز ۱۶ مارس شمال غرب ایران و در روزهای بعد، منطقه‌ی مطالعاتی و کل ایران را در بر گرفته و سامانه‌های سطح زمین را هدایت می‌نماید. با تعمیق بیشتر این کم ارتفاع قسمت‌هایی از آن بریده شده و بصورت بریده کم ارتفاع یا سردچال که نوعی دیگر از بندال می‌باشد در می‌آیند. این بریده کم ارتفاع، هوای سرد را به عرض‌های پایین منتقل می‌نماید که ضمن تقویت جبهه‌ی سرد چرخندها عمر و فعالیت آن‌ها را نیز افزایش می‌دهد (شکل ۶).

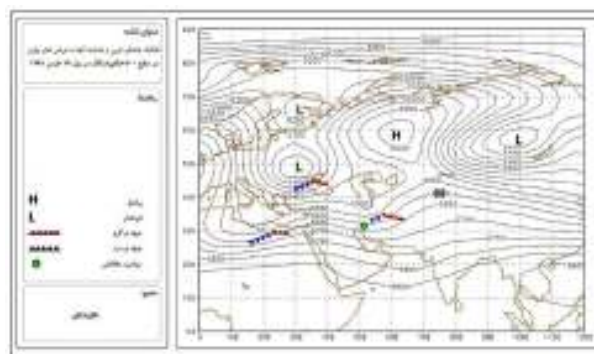
و بریده‌ی کم ارتفاع هستند. بندال شارش شکافته که یک مرکز پراارتفاع بر روی مرکز کم ارتفاع قرار گرفته و در روز ۱۴ مارس مشهود است در دل پشته‌ی پراارتفاع امگا شکل گرفته است. این بندال باعث تفکیک بادهای غربی و هدایت آن‌ها به عرض‌های پایین یعنی ایران می‌شود. این ویژگی سرمایه‌ی ناشی از گسترش پرفشار سیبری در سطح زمین را به مدت سه روز تثبیت می‌کند (شکل ۵). مرکز پشته‌ی (پراارتفاع) امگا با ارتفاع ۵۵۵۰ متر که روی ارتفاعات اورال واقع است. در روز ۱۸ مارس یعنی اوج بارش ارتفاع آن به ۶۵۵۰ متر رسیده و تغییر مکانی اندکی به سمت شرق داشته است. مرکز کم ارتفاع شرقی امگا بروی سیبری قرار گرفته که بر بارش‌های ایران بی‌تأثیر است. مرکز کم ارتفاع غربی امگا با ارتفاع ۵۲۰۰ متر بر اروپای شمالی مستقر می‌باشد. در روز ۱۸ مارس این ارتفاع به ۵۴۰۰ متر و موقعیت مکانی آن بر دریای سیاه - مدیترانه تغییر می‌کند. این کم ارتفاع در تمام دوره نقش بسیار مهمی در ایجاد بارش‌های منطقه



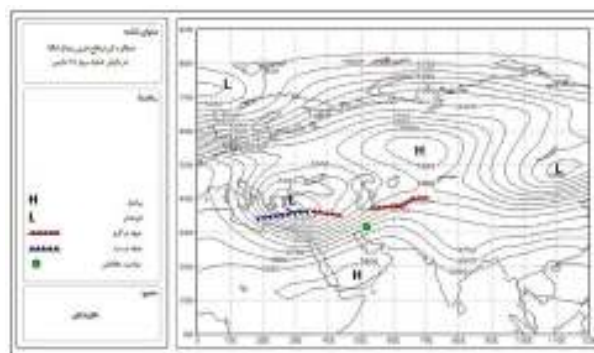
شکل ۳- استمرار حرکت شرق سوی چرخند سیاه- مدیترانه در روز ۱۸ مارس ۱۹۹۸



شکل ۴- بارش شدید در روز ۱۸ مارس ۱۹۹۸ چرخند سیاه- مدیترانه



شکل ۵- تفکیک بادهای غربی و هدایت آن‌ها به عرض‌های پایین در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۵ مارس ۱۹۹۸



شکل ۶- عملکرد کم ارتفاع غربی بن‌دال امگا در بارش شدید روز ۱۸ مارس ۱۹۹۸

تشکیل شده است. زبانه‌های این سامانه انگستان، شمال اروپا، دریای سیاه و مدیترانه، شمال آفریقا و نیمه‌ی غربی ایران (منطقه‌ی مطالعاتی) را در بر گرفته است. این سامانه در حرکت و اچرخندی خود هوای سرد را از عرض‌های جغرافیایی بالا (۷۰ درجه شمالی) به عرض‌های پایین هدایت می‌کند و در سازوکار خود مبنی بر پر کردن چرخند شرق دریای

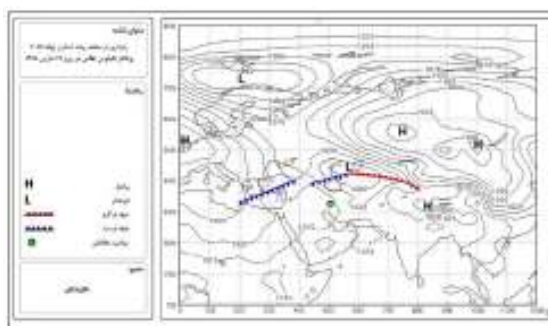
۲-۲- بازه‌ی بین دو بارش:

بازه‌ی بین دو بارش که از ۱۹ تا ۲۳ مارس ۱۹۹۸ استمرار داشته است. الگوهای فشار سطح زمین نشان می‌دهد شرایط هوا تحت سیطره‌ی فعالیت دو سامانه‌ی اصلی، سامانه‌ی پرفشار اطلس و سامانه‌ی پرفشارهای محلی می‌باشد. در روزهای ۱۹ و ۲۰ مارس پرفشار قوی با فشار مرکزی ۱۰۴۰ میلیبار بر اقیانوس اطلس

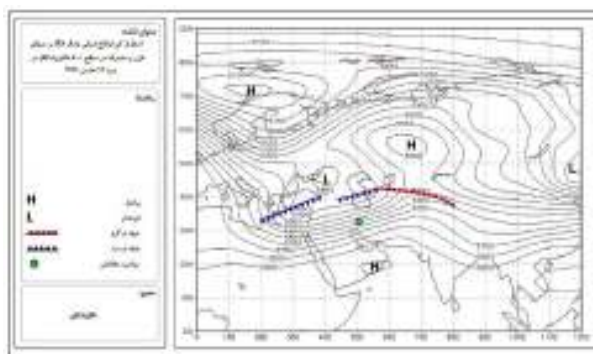


زمین بر اقیانوس اطلس سبب ایجاد بندال امگای دیگری گردیده است که مرکز پشته‌ی آن با ارتفاع ۵۸۰۰ متر بر ایرلند مستقر شده است. کم ارتفاع شرقی این بندال با ارتفاع ۵۲۵۰ متر بر اروپای شمالی قرار گرفته است و با کم ارتفاع در حال زوال بندال امگای سیبری مجاور شده است. مابین این دو کم ارتفاع پشته‌ایی تشکیل شده که ایران و منطقه را تحت استیلای خود قرار داده است (شکل ۹). در روز ۲۲ مارس با گسترش پرفشار اقیانوس اطلس مرکز کم ارتفاع شرقی بندال امگای اقیانوس اطلس و کم ارتفاع غربی امگای سیبری با هم تلفیق شده و بندال شارش شکافته جایگزین بندال امگا می‌شود. این بندال با تقسیم بادهای غربی به جریان‌های شمالی و جنوبی سبب استقرار جریان‌های مداری بر ایران و تضعیف چرخندزایی گردیده است (شکل ۱۰). در روز ۲۳ مارس بندال رکس شکل گرفته است. پراارتفاع این بندال با ارتفاع مرکزی ۵۶۰۰ هکتوپاسکال بر اروپای شمالی و کم ارتفاع آن با ارتفاع مرکزی ۵۴۰۰ هکتوپاسکال بروی دریای سیاه واقع شده است. ناوهای این کم ارتفاع روی دریای سیاه و مدیترانه و پشته‌ی آن بر ایران مستقر است که سبب استمرار پایداری شده است. از روز ۲۰ مارس بر دریای عرب و اقیانوس هند بندال پراارتفاع بریده شکل گرفته که به علت عدم وجود جریان‌های نصف‌النهاری، این بندال غیرفعال می‌باشد (شکل ۱۱).

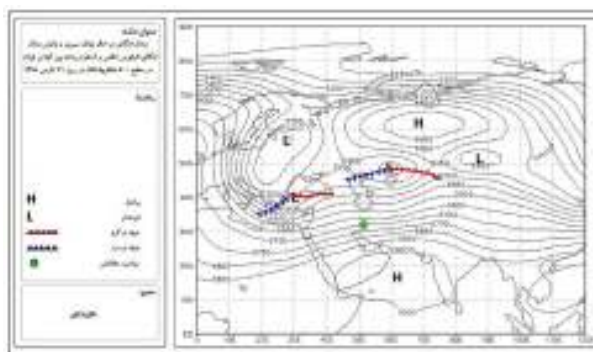
خزر سبب فرارفت هوای سرد و وقوع دماهای زیر صفر درجه در منطقه گردیده است. در روزهای دیگر این دوره سامانه‌ی پرفشار اطلس به سمت شمال حرکت کرده و امکان چرخند زایی بروی دریای مدیترانه و سیاه فراهم می‌شود. اما استقرار پرفشارهای محلی مانع از ورود چرخند های مزبور می‌شود. پایداری، واگرایی و کاهش دما در منطقه از پیامدهای استقرار چنین سامان‌های می‌باشد (شکل ۷). بندالی شدن بادهای غربی، پایداری‌ها را شدت بخشیده‌اند. بندال‌های ایجاد شده در این دوره از نوع امگا، شارش شکافته و پراارتفاع بریده می‌باشند. بندال امگای سیبری در روز ۱۹ و ۲۰ مارس به سمت شرق جابجا شده است. کم ارتفاع غربی آن که سبب بارش‌های دوره‌ی اول بود با آرایش جدید خود در این روزها سبب پایداری شده است. مرکز این کم ارتفاع بر شرق دریای سیاه مستقر شده است و دارای دو ناوه می‌باشد. ناوه‌ی شرقی بر شرق دریای خزر و روی دریای بایکال مستقر شده است و تأثیری بر ایران ندارد. ناوه دوم بر غرب دریای مدیترانه مستقر است. در فضای بین این دو ناوه ترکیه، لبنان و ایران قرار دارند. آرایش بادهای غربی بصورت امواج بلند مداری می‌باشد (شکل ۸). این کم ارتفاع علاوه بر پایداری هوا در منطقه‌ی مطالعاتی، به سبب انتقال هوای سرد عرض‌های بالا به عرض‌های پایین، کاهش ناگهانی دمای هوا را بدنبال دارد. در روز ۲۱ مارس پرفشار سطح



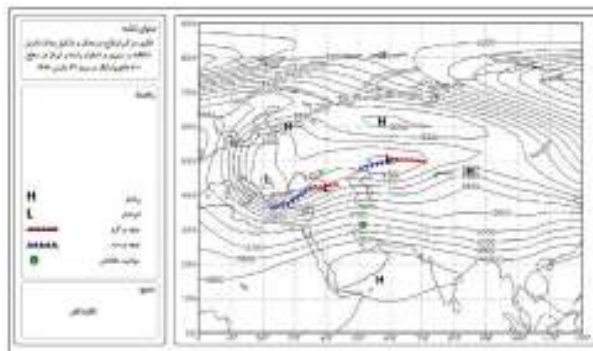
شکل ۷- پایداری در منطقه، پیامد استقرار زبانه‌ی ۱۰۱۵ پرفشار اقیانوس اطلس در روز ۱۹ مارس ۱۹۹۸



شکل ۸- استقرار کم ارتفاع شرقی بندال امگا دریای خزر و مدیترانه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۹ مارس ۱۹۹۸

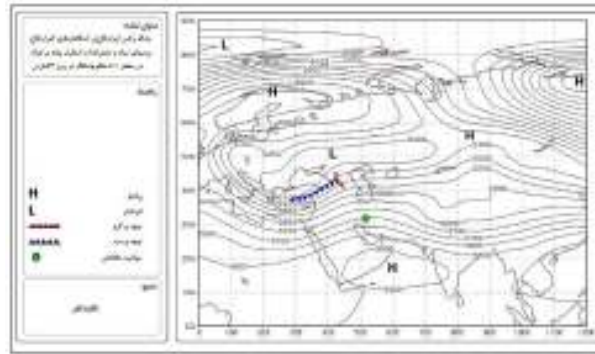


شکل ۹- بندال امگای در حال زوال سیبری و زایش بندال امگای اقیانوس اطلس در روز ۲۱ مارس ۱۹۹۸



شکل ۱۰- تلفیق دو کم ارتفاع دو بندال و تشکیل بندال شارش شکافته بر سیبری و استقرار پشته بر ایران در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در

روز ۲۲ مارس ۱۹۹۸



شکل ۱۱- بندال رکس (پرارفتاع بر اسکاندیناوی کم ارتفاع روی دریای سیاه و مدیترانه) و استقرار پشته بر ایران در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۳ مارس ۱۹۹۸

### ۳-۲- دوره‌ی بارش دوم:

بازه‌ی بارش دوم از ۲۴ تا ۳۰ مارس ۱۹۹۸ استمرار داشته است. الگوهای فشار سطح زمین نشان می‌دهد شرایط هوا تحت سیطره‌ی فعالیت سامانه‌ی پرفشار اروپا-آسیا و سامانه‌های کم فشار دریای سیاه، مدیترانه، خزر و سودان می‌باشد. در روز ۲۴ مارس پرفشار اقیانوس اطلس با حرکت شمالی و شرقی خود نه تنها اروپا بلکه آسیا را نیز در بر گرفته و امکان چرخندزایی بروی دریای مدیترانه، سیاه و خزر فراهم شده است. پرفشار اروپا-آسیا در حرکت و اچرخندی خود جبهه‌ی سرد چرخندها را تقویت می‌کند. فشار مرکزی چرخند دریای خزر که در وضعیت بارش ایران مؤثر می‌باشد ۱۰۱۰ میلی بار است. جریان‌های گرم و مرطوب جنوبی که از دریای عرب، عمان و خلیج فارس تغذیه می‌شوند، جبهه گرم این سامانه را تقویت می‌کنند (شکل ۱۲). منطقه‌ی مطالعاتی در قطاع گرم سامانه‌ی مزبور قرار گرفته است، لذا افزایش دما و بارش مورد انتظار می‌باشد (شکل ۱۳). به علت استمرار سامانه‌ی پرفشار اروپا-آسیا در روز ۲۵ مارس سامانه‌ی کم فشار خزر به سمت شرق جابجا شده و فعالیت آن بر شرق و نوار شمالی ایران متمرکز می‌شود و سهم منطقه از بارش‌های این سامانه محدود می‌گردد. در روز ۲۶ مارس سامانه پرفشار اروپا-آسیا

نسبت به روز گذشته تغییراتی کرده است که در وضعیت جوی ایران تأثیر گذاشته است. این پرفشار به سمت شرق و شمال شرق جابجا شده است و به دو سامانه‌ی پرفشار تقسیم شده است. مرکز یکی از سامانه‌ها بروی سیبری و مرکز سامانه‌ی دیگر بروی اروپای مرکزی قرار گرفته و زبانه‌های آن اروپای مرکزی، شمال دریای سیاه، دریای خزر و نیمه‌ی شمالی ایران را در بر دارد. در دو طرف این سامانه‌ی پرفشار دو سامانه‌ی کم فشار قرار دارد. سامانه‌ی کم فشار شرق آن بروی دریای بایکال قرار دارد که تأثیری بر بارش ایران ندارد. مرکز سامانه‌ی کم فشار دیگر با فشار ۱۰۰۰ میلی بار بر دریای مدیترانه قرار گرفته است. جریان سرد سامانه‌ی پرفشار اروپای مرکزی در حرکت و اچرخندی خود به سمت این چرخند هوای سرد را پس از گذشتن از دریای خزر به سمت ایران و منطقه‌ی مطالعاتی سرازیر کرده و سبب افزایش رطوبت و کاهش دما و نزول بارش سرد می‌گردد. در ۲۷ مارس پرفشار اروپای مرکزی با حرکت به سمت آسیا، حرکت چرخند مدیترانه را به سمت شرق تنظیم می‌کند. زبانه‌های چرخند مدیترانه جنوب اروپا، دریای سیاه و ایران را در بر گرفته است. نوار غربی و مرکزی ایران در این روز در جلو جبهه‌ی گرم این چرخند قرار دارد. جریان‌های گرم و مرطوب

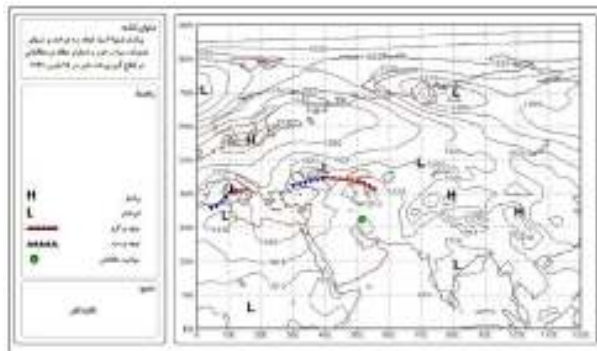
جبهه ی گرم این چرخند را تقویت می‌کنند. سامانه‌ی پرفشار اروپا-آسیا در ۲۸ مارس از اروپا خارج و بر سیبری مستقر می‌شود. با این حرکت امکان نفوذ زبانه کم فشار ایسلند به سمت دریای سیاه و مدیترانه فراهم شده و چرخندزایی بر این کانون ها تقویت می‌شود. کم فشارهای سیاه، مدیترانه، ایران و سودان ادغام شده و با گسترش عرضی خود به سمت شرق جابجا می‌شود. در این روز منطقه‌ی مطالعاتی در جلو جبهه‌ی گرم قرار داشته و افزایش دما محسوس می‌باشد. جبهه گرم این چرخند در روز ۲۹ مارس از سمت غرب وارد کشور شده و منطقه‌ی مطالعاتی در معرض آن قرار می‌گیرد. جریان سیبری پس از گذشتن از دریای خزر، سیاه و مدیترانه جبهه‌ی سرد و جریان های گرم جنوبی یعنی دریای عرب، خلیج فارس و احمر جبهه‌ی گرم این چرخند را تقویت می‌کنند (شکل ۱۴). در این روز منطقه‌ی مطالعاتی حداکثر بارش نازل شده را دریافت می‌کند (شکل ۱۵). در روز ۳۰ مارس پرفشار سیبری تضعیف شده و از حریم ایران خارج می‌شود و سبب حرکت سریع رو به شرق و شمال این چرخند گردیده است. در نتیجه منطقه‌ی مطالعاتی در قطاع گرم آن قرار می‌گیرد.

بندال امگا، رکس، شارش شکافته، بریده‌ی کم ارتفاع و پراارتفاع بریده، بندال‌هایی هستند که در این بازه‌ی زمانی نقش‌آفرینی نموده‌اند. با وجود پرفشار قوی اروپا-آسیا در سطح زمین در روز ۲۴ و ۲۵ مارس در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بندال رکس شکل گرفته است. پشته‌ی پر ارتفاع آن با ارتفاع ۵۵۵۰ متر روی فنلاند و کم ارتفاع آن با ارتفاع ۵۳۵۰ متر بروی شمال دریای سیاه واقع می‌باشد. ناوه‌ی این کم ارتفاع با محور شمال شرقی- جنوب غربی سه چرخند سطح زمین را کنترل می‌کند. دریای مدیترانه، شمال آفریقا، عراق، سوریه، ترکیه و ایران در بخش تاوایی مثبت

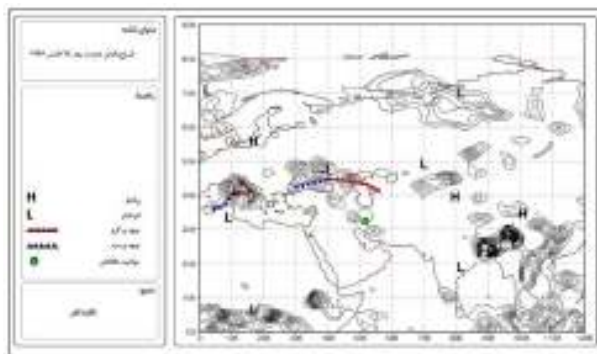
این ناوه قرار دارند. بندال بریده‌ی پراارتفاع، بندال دیگری است که به علت هدایت و تزریق رطوبت به سامانه، نقش مهمی در بارش‌های این دوره ایفا نموده است. این بندال بر روی دریای عرب و اقیانوس هند تشکیل شده و تا آخر دوره استمرار داشته است (شکل ۱۶). با تضعیف پرفشار اروپا-آسیا در سطح زمین در ۲۶ و ۲۷ مارس پشته‌ی بندال رکس با ارتفاع ۵۵۰۰ متر بروی جنوب کشورهای اسکاندیناوی و کم ارتفاع آن با ارتفاع ۵۴۰۰ متر بروی دریای خزر قرار گرفته است. در این روز بندال شارش شکافته بروی آسیا (ارتفاعات اورال) شکل گرفته که باعث تفکیک بادهای غربی، تشکیل یک مرکز بسته‌ی فعال در شرق مدیترانه و افزایش چرخند زایی شده و چرخند مدیترانه را به سمت شرق و ایران هدایت می‌کند (شکل ۱۷). در روز ۲۸ مارس بندال بریده‌ی کم ارتفاع بروی دریای مدیترانه شکل گرفته است همچنین ناوه‌ی مستقر بر دریای مدیترانه عمیق‌تر شده و سبب تقویت چرخند مدیترانه گردیده است. کانون بارش در این روز بر ترکیه، سوریه و عربستان مستقر می‌باشد و منطقه‌ی مطالعاتی جلوی جبهه گرم قرار گرفته است (شکل ۱۸). در روز ۲۹ مارس که اوج بارش در منطقه‌ی مطالعاتی می‌باشد، بندال رکس شکل گرفته است. پراارتفاع این بندال بروی کشورهای اسکاندیناوی و کم ارتفاع آن بر غرب دریای سیاه مستقر می‌باشد. به واسطه‌ی این بندال، ناوه‌ی سیاه-مدیترانه ضمن حرکت به سمت شرق، عمیق‌تر شده و با هدایت هوای سرد عرض‌های بالا به عرض‌های پایین چرخند سطح زمین فعال‌تر گردیده است. با عمیق‌تر شدن ناوه‌ی مدیترانه، بندال بریده‌ی پرفشار نقش مؤثرتری را ایفا نموده و با تزریق رطوبت اقیانوس هند، دریای عرب، عمان، خلیج فارس و احمر جبهه‌ی گرم چرخند را مرطوب‌تر و فعال‌تر

شده بصورت مایل از غرب دریای خزر، شرق دریای سیاه و شمال دریای مدیترانه می‌گذرد. در نتیجه با مداری شدن بادهای غربی، بارش در روز ۳۰ مارس کاهش و در روز ۳۱ مارس متوقف می‌شود.

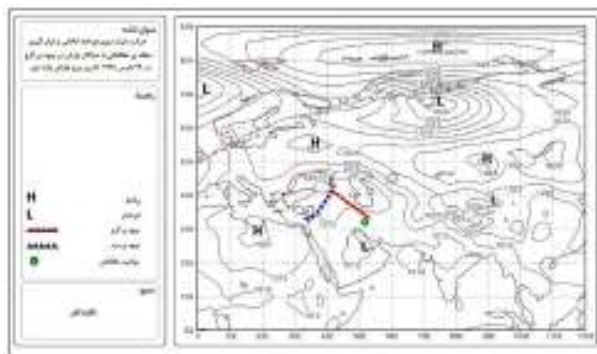
ساخته است (شکل ۱۹). در روز ۳۰ و ۳۱ مارس بندال امگا تشکیل شده است. پراارتفاع این بندال روی کشورهای اسکاندیناوی و کم ارتفاع شرقی آن روی دریای خزر قرار گرفته است. محور ناوهی تشکیل



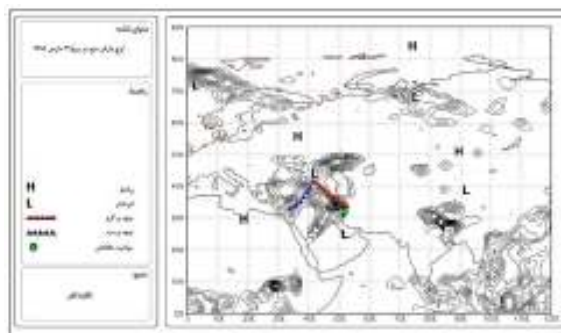
شکل ۱۲- پرفشار اروپا-آسیا، ایجاد سه چرخند بر دریای مدیترانه، سیاه و خزر و استقرار منطقه‌ی مطالعاتی در قطاع گرم چرخند خزر در ۲۴ مارس ۱۹۹۸



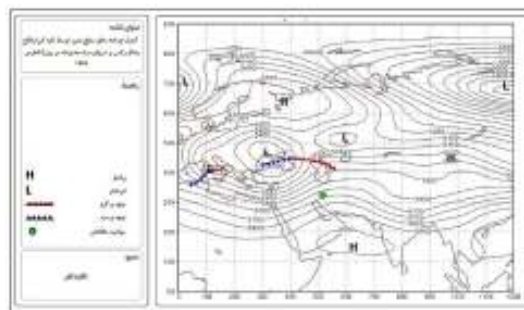
شکل ۱۳- شروع بارش دوم در روز ۲۴ مارس ۱۹۹۸



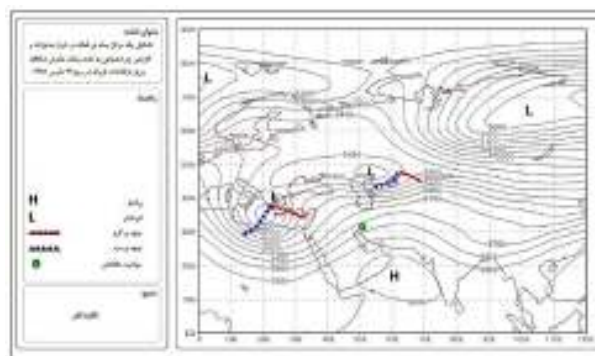
شکل ۱۴- حرکت شرق سوی چرخند ادغامی و قرار گیری منطقه‌ی مطالعاتی با حداکثر بارش در جبهه‌ی گرم در ۲۹ مارس ۱۹۹۸ آخرین روز بارانی بازه‌ی دوم



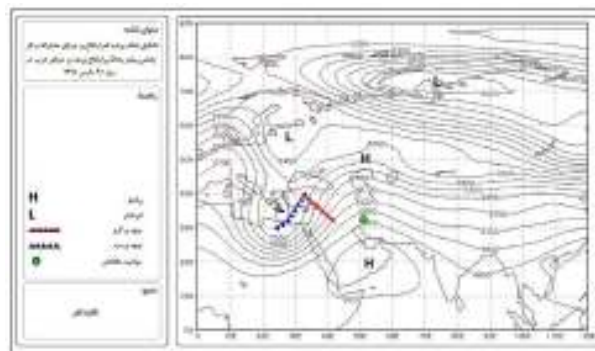
شکل ۱۵- اوج بارش دوم در روز ۲۹ مارس ۱۹۹۸



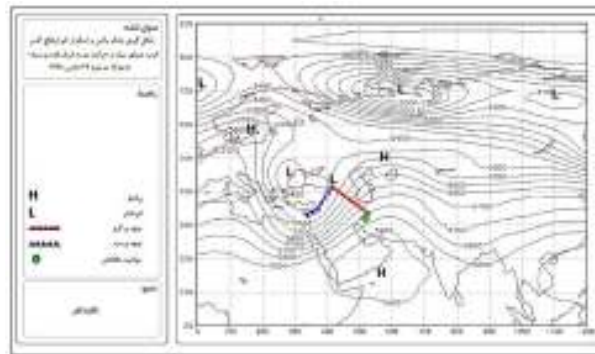
شکل ۱۶- کنترل چرخندهای سطح زمین توسط ناوهی کم ارتفاع بندال رگس بر دریای سیاه-مدیترانه در روز ۲۴ مارس ۱۹۹۸



شکل ۱۷- تشکیل یک مرکز بسته‌ی فعال در شرق مدیترانه و افزایش چرخندزایی به علت بندال در روز ۲۶ مارس ۱۹۹۸



شکل ۱۸- تشکیل بندال بریده کم ارتفاع بر دریای مدیترانه و اثر بخشی بیشتر بندال پراارتفاع بریده بر دریای عرب در روز ۲۸ مارس ۱۹۹۸



شکل ۱۹- شکل گیری بندها رکس و استقرار کم ارتفاع آن بر غرب دریای سیاه در روز ۲۹ مارس ۱۹۹۸

کوه‌رنگ که به بهمن سنگی آبیکار لبد نزدیک‌ترین ایستگاه می‌باشد استفاده شده است (جدول ۱). این ایستگاه با ارتفاع ۲۸۵ متر در مختصات  $50^{\circ}07'$  طول شرقی و  $36^{\circ}32'$  عرض شمالی قرار دارد.

#### ۲-۴- واکاوی متغیرهای اقلیمی

برای تحلیل متغیرهای اقلیمی از داده‌های میزان بارش روزانه، دما و ارتفاع برف در ایستگاه سینوپتیک

جدول ۱- متغیرهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک کوه‌رنگ در مقطع زمانی ۲۳ اسفند ۱۳۷۶ تا ۱۲ فروردین ۱۳۷۷

ارتفاع برف (سانتیمتر)	بارش (میلیمتر)	دما (سانتیگراد)				زمان	
		نوسان	میانگین	حداقل	حداکثر	مارس	اسفند- فروردین
۱۱۰	۴/۹	۷/۲	۴	۰/۴	۷/۶	۱۴	۲۳
۱۱۳	۷/۸	۶/۴	۲/۴	-۰/۸	۵/۶	۱۵	۲۴
۱۱۴	۰/۱	۱۱/۶	۰/۸	-۵	۶/۶	۱۶	۲۵
۱۰۵	۱۰۴/۵	۸/۸	۴/۸	۰/۴	۹/۲	۱۷	۲۶
۹۰	۱۰۴/۸	۶/۶	۶/۹	۳/۶	۱۰/۲	۱۸	۲۷
۸۰	۰	۵/۸	۱/۱	-۱/۸	۴	۱۹	۲۸
۷۵	۲/۱	۱۰/۶	-۲/۱	-۷/۴	۳/۲	۲۰	۲۹
۸۰	۰	۶/۲	۰/۹	-۲/۲	۴	۲۱	۱
۷۵	۰	۱۵/۸	-۱/۷	-۹/۶	۶/۲	۲۲	۲
۷۰	۱/۶	۱۴/۶	۱/۷	-۵/۶	۹	۲۳	۳
۶۰	۲۸/۲	۸/۴	۵	۰/۸	۹/۲	۲۴	۴
۵۵	۲/۷	۵/۶	۵/۴	۲/۶	۸/۲	۲۵	۵
۵۵	۱۰	۱۰/۲	۳/۳	-۱/۸	۸/۴	۲۶	۶
۴۰	۳/۶	۱۰/۴	۵/۸	۰/۶	۱۱	۲۷	۷
۳۳	۷/۸	۷/۴	۸/۹	۵/۲	۱۲/۶	۲۸	۸
۲۰	۱۴۶/۹	۹/۸	۸/۷	۳/۸	۱۳/۶	۲۹	۹
۱۰	۳۴/۹	۶/۶	۴/۹	۱/۶	۸/۲	۳۰	۱۰
۹	۰	۶/۴	۴/۸	۱/۶	۸	۳۱	۱۱
۵	۰/۵	۷/۲	۵/۴	۱/۸	۹	۱	۱۲

#### - تحلیل بارش :

دوره‌ی بازگشت آن ۵ سال می‌باشد. از سال ۱۳۷۴ تا سال حادثه یعنی به مدت چهار سال ترسالی بر منطقه حاکم بوده است. بارش پیشین روز حادثه از اول مهر ۱۳۷۶ تا ۱۲ فروردین ۱۳۷۷ به میزان ۱۵۳۰ میلیمتر

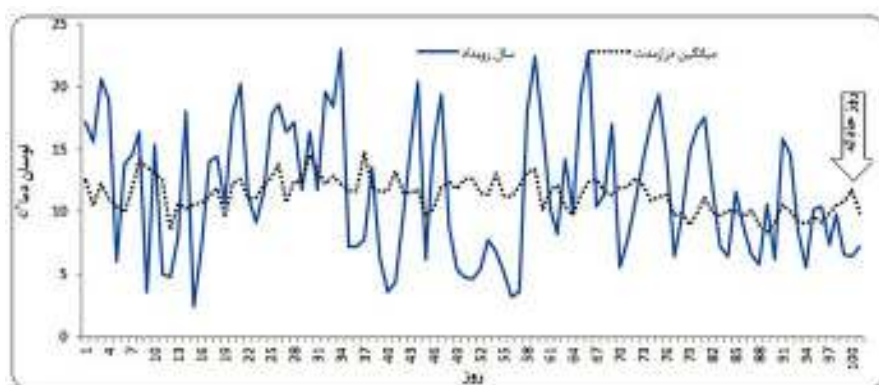
بارش نازل شده در سال حادثه  $1660/5$  میلیمتر بوده است که ۱۳۵ درصد بیش از میانگین بوده است. احتمال وقوع این بارش یا بیشتر از آن ۲۰ درصد و

نوسان حرارتی شبانه روزی سبب ایجاد پدیده انجماد و ذوب می‌شود. این فرآیند سستی رسوبات دامنه را بدنبال دارد. برای بررسی تأثیر نوسان دما، اختلاف دمای حداقل و حداکثر روزانه از اول دی ۱۳۷۶ تا روز حادثه بررسی گردید و با میانگین دراز مدت ۲۰ ساله مقایسه شد. شکل ۲۰ نشان می‌دهد که زمان رویداد با تغییرات شدید حرارتی روزانه و نوسان فصلی به واسطه گذر از فصل زمستان به فصل بهار انطباق دارد. بررسی دمای حداقل و حداکثر روزانه، نشان دهنده‌ی نوسان شدید حتی تا ۲۳ درجه در یک روز می‌باشد. این بدان معنی است که در مدت ۱۰۱ روز تا وقوع رویداد، نوسان دما بطور فعالی ایفای نقش نموده است. انبساط و انقباض سنگ‌ها که ناشی از نوسان دما می‌باشد ضمن هوازگی فیزیکی، سبب ایجاد درزه در رسوبات تشکیل دهنده‌ی دامنه شده که هم نفوذ آب و هم نفوذ هوا را تسریع ساخته و هم حرکت آن‌ها را سرعت بخشیده است.

بوده است، یعنی ۹۲ درصد بارش سال تا قبل از حادثه نازل شده بود. بارش منجر به وقوع زمین لغزش‌ها و بهمین سنگی در یک دوره ۱۹ روزه به مقدار ۴۶۰ میلیمتر یعنی ۲۸ درصد بارش سال وقوع نازل شده است. این بارش در دو دوره‌ی با وقفه‌ای سه روزه و به میزان تقریباً برابر اما با شدت متفاوت از ۲۳ اسفند ۱۳۷۶ تا ۱۲ فروردین ۱۳۷۷ نازل شده است. دوره‌ی اول پنج روز از ۲۳ تا ۲۷ اسفند ( ۱۴ تا ۱۸ مارس ۱۹۹۸) و بیشترین بارش این دوره در دو روز متوالی ۲۶ و ۲۷ اسفند و هر روز ۱۰۴ میلیمتر نازل شده است. پس از چند روز بدون بارش، بارش دوره‌ی دوم با هشت روز از سوم تا دهم فروردین ۱۳۷۷ ( ۲۳ تا ۳۰ مارس ۱۹۹۸) با حداکثر ۱۴۶/۹ میلیمتر در روز ۹ فروردین ۱۳۷۷ (۲۹ مارس ۱۹۹۸) نازل شده است

- تحلیل دما:

برای تحلیل نقش دما، نوسان شبانه روزی و روند افزایش یا کاهش دما مورد بررسی قرار گرفته‌اند.



شکل ۲۰- اختلاف دمای حداقل و حداکثر روزانه میانگین دراز مدت

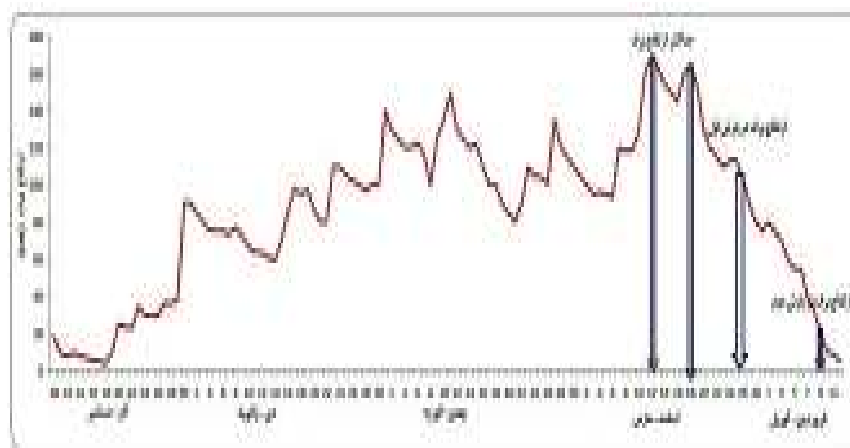


می‌توانند حرکت‌های توده‌ای عظیمی، مانند رویداد بهمن سنگی آبیکار را تحریک نمایند.

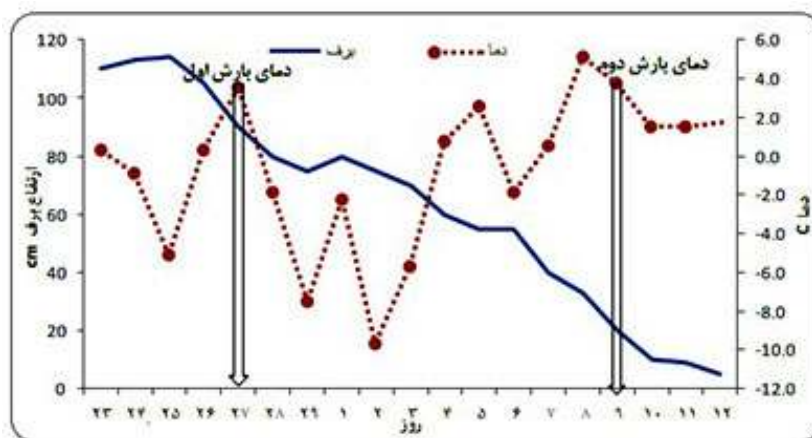
- پایش ارتفاع برف:

پایش برف از دهم آذر ۱۳۷۶ (زمان شروع بارش اولین برف) تا دوازدهم فروردین ۱۳۷۷ مورد بررسی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع برف به میزان ۱۷۰ سانتیمتر در ایستگاه کوه‌رنگ در تاریخ ۱۲ اسفند ۱۳۷۶ ثبت شده است. برف ذخیره شده‌ی فوق در مدت یک ماه تا وقوع حادثه ذوب شده و به جریان‌های آبی پیوسته است (شکل ۲۱). هر دو بارش با افزایش دما همراه و به اصطلاح بارش گرم بوده‌اند. قبل از نزول بارش اول ارتفاع برف افزایش یافته است که نشان دهنده‌ی ریزش توأم باران و برف قبل از بارش گرم بوده است. پس از وقوع بارش، ارتفاع برف بطور محسوسی کاهش یافته است. افزایش دما از یک سو سبب آزاد شدن قشر سطحی زمین از یخ‌زدگی شده و از سوی دیگر فرآیند ذوب و نفوذ را تسریع و آسان ساخته است (شکل ۲۲).

روند افزایش دما به ویژه اگر با بارش گرم همراه باشد، روند ذوب برف را سرعت می‌بخشد. با گرمایش سطح زمین و از بین رفتن لایه‌ی یخ زده فرآیند نفوذ نیز تسریع می‌شود. فرآیندهای مذکور ضمن افزایش فشار آب درون منافذ رسوبات دامنه آستانه‌های بارش بعدی را برای حرکت توده‌ای مواد دامنه کاهش می‌دهند. بررسی دمای حداقل، حداکثر و میانگین از اول دی ۱۳۷۶ تا روز حادثه نشان می‌دهد با وجود نوسان‌های موجود، دما دارای روند افزایش تدریجی می‌باشد. در این روند افزایشی، دمای حداقل بارش اول و بارش دوم منجر به رویداد با  $3/4$  و  $5/6$  درجه سانتیگراد در اوج قرار دارند. لازم به ذکر است تنها در ۱۵ درصد دوره، دمای حداقل در بالای صفر درجه قرار گرفته است که بیشتر آن در مقطع زمانی ۱۹ روزه‌ی منجر به وقوع بهمن سنگی، رخ داده است. دمای حداکثر و میانگین نیز همین روند افزایشی را نشان می‌دهند. این روند چنانچه با بارش‌های برف زمستانی و بارش باران گرم بهاری همراه شوند



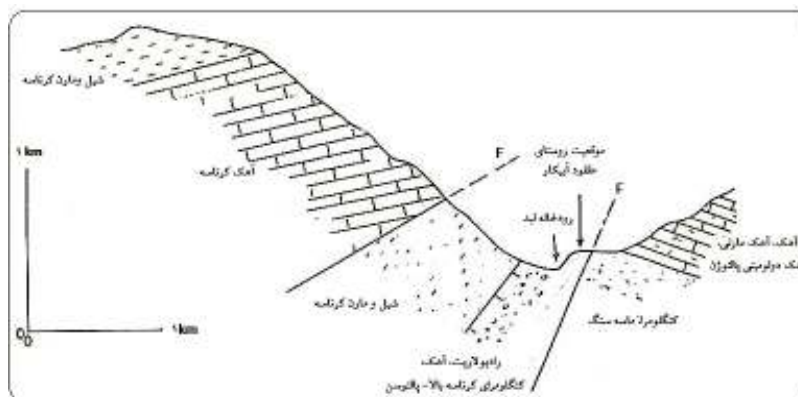
شکل ۲۱- تغییرات ارتفاع برف در سال منجر به حادثه



شکل ۲۲- تغییرات دمای حداقل و ارتفاع برف در دوره ۱۹ روزه منجر به حادثه

این ناحیه برش آن بوسیله گسل‌های فشاری است بطوریکه تمامی این بخش در راستای این گسله‌ها به سوی جنوب باختری رانده شده است. از دیدگاه لیتولوژی، واحدهای موجود شامل سنگ آهک، سنگ آهک مارنی، شیل، مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا، دولومیت، رادیولاریت و واحدهای تبخیری می‌باشد (شکل ۲۳).

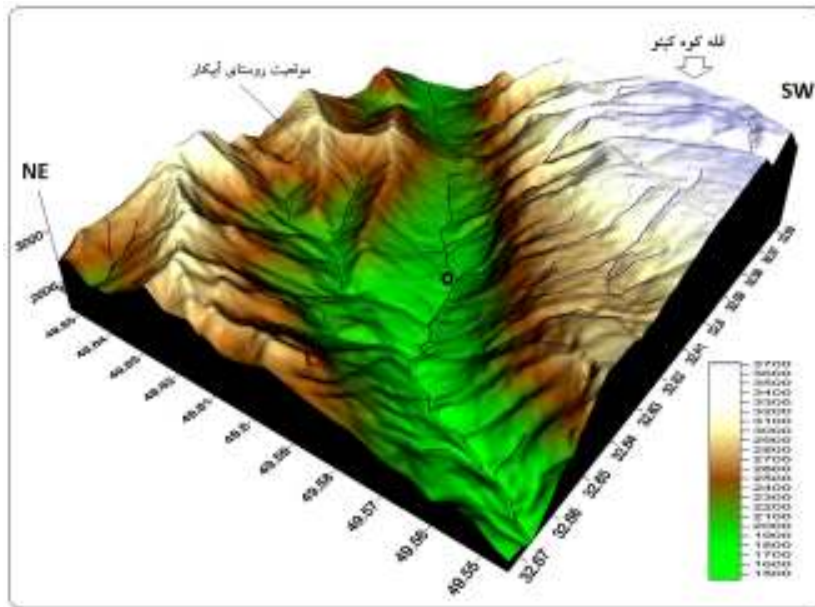
۲-۵- مطالعه وضعیت ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی محدوده وقوع منطقه یاد شده در زاگرس مرتفع جای دارد و باتوجه به ویژگی‌های زمین‌ساختی و زمین‌شناسی، شدت خرد شده می‌باشد. چنین ویژگی عملکرد سایر عوامل زمین‌ریخت‌شناسی و آب و هوایی را شدت می‌بخشد. از ویژگی‌های



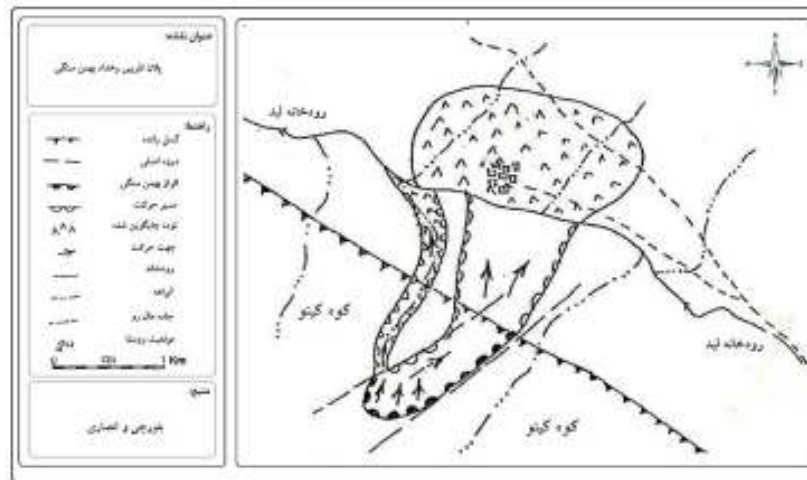
شکل ۲۳- نیمرخ زمین‌شناسی محل واقعه (منبع بلورچی و انصاری ۱۳۸۷)

بارندگی فراوان پیش از رویداد و پدیده مکرر ذوب و انجماد که ناشی از نوسان دما در آن بازه زمانی می‌باشند از جمله عوامل مؤثر آب و هوایی در وقوع بهمین سنگی آبیکار می‌باشد (شکل ۲۵).

اختلاف ارتفاع زیاد بین قله کینو با ارتفاع ۲۲۳۴ متر و دره ی رودخانه لید با ارتفاع ۱۸۸۶ متر، (شکل ۲۴) تخلخل فراوان و کارستی بودن آهک‌های کرتاسه که تشکیل دهنده بهمین سنگی می‌باشند از عوامل زمین‌ریخت‌شناسی و



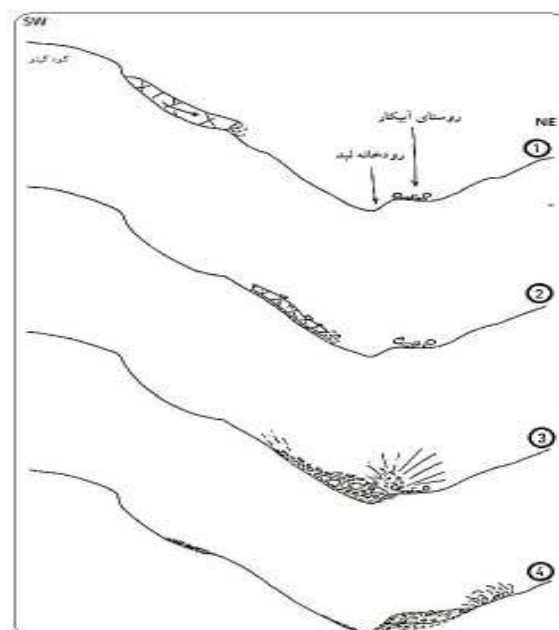
شکل ۲۴- وضعیت توپوگرافی



شکل ۲۵- پلان تقریبی رویداد (منبع بلورچی و انصاری ۱۳۸۷)

از برخورد با دیواره مقابل به سمت بالا حرکت نموده و روستا را مدفون ساخته است (بلورچی و انصاری ۱۳۷۸: ۵).

طی این پدیده (شکل ۲۶) قسمتی از واحد صخره ساز آهکی کرتاسه در یال شمال خاوری کوه کینو از آن جدا گشته و پس از سقوط به کف دره رودخانه لید و با ایجاد بالشتکی از هوای فشرده در زیر، از دره عبور کرده و پس



شکل ۲۶- مراحل تقریبی وقوع بهمن سنگی آبیکارلبد (منبع بلورچی و انصاری ۱۳۸۷)

### ۳- نتیجه گیری:

اگرچه در وقوع این مخاطره عوامل زیادی موثر است اما عامل محرک دامنه بارش بوده لذا مهم‌ترین نقش‌آفرینی الگوهای همدید و بندال‌ها در وقوع پدیده‌ی ژئومورفودینامیکی بهمن سنگی آبیکار و زمین لغزش‌های فروردین ۱۳۷۷ غرب چهارمحال و بختیاری در چگونگی نزول و نوع بارش می‌باشد. عملکرد سامانه‌های فشار، موقعیت منطقه نسبت به جبهه‌های سرد و گرم چرخندها و نوع و مکان بندال‌ها در هر سه بازه یعنی بازه‌ی بارش اول، بازه‌ی بین دو بارش و بازه‌ی بارش دوم نقش تعیین کننده داشته‌اند.

در بارش اول پرفشار سیبری با گسترش غرب سوی خود چند پیامد مهم را بدنبال داشته است. نخست اینکه از حرکت رو به شمال چرخندهای دریای سیاه - مدیترانه و سودان جلوگیری نموده و آن‌ها را به سمت شرق و ایران هدایت نموده است. همچنین در حرکت و اچرخندی خود هم سبب ریزش هوای سرد

و سرمایش هوا و هم سبب تقویت جبهه‌ی سرد چرخندهایی که ایران و منطقه‌ی مطالعاتی را تحت تأثیر قرار داده‌اند شده. با افزایش شیب حرارتی، چرخندها فعالیت بیشتری خواهند داشت. پرفشار سیبری با انحراف بادهای غربی در تراز میانی جو سبب ایجاد حالت بندالی شده که عمده‌ترین آن بندال امگا می‌باشد. استقرار کم ارتفاع این بندال روی دریای سیاه و شرق مدیترانه سبب هدایت سرما و رطوبت به عرض‌های جغرافیایی پایین گردیده است. موقعیت منطقه نسبت به جبهه‌ها در میزان و نوع بارش مؤثر می‌باشد. نزدیک شدن و عبور جبهه‌ی سرد چرخند مستقر بروی شمال شرق ایران در سه روز اول این بازه، سبب بارش برف و باران سرد و ذخیره‌ی آب در منطقه گردیده است. در روزهای بعد تحت تأثیر جبهه‌ی گرم چرخند مدیترانه، بارش گرم نازل شده است. همراهی بارش گرم و ذوب برف سبب افزایش حجم آب‌های سطحی و سطح آب‌های زیر زمینی گردیده است. بازه‌ی بین دو بارش با کاهش محسوس

می‌باشد. در روز ۲۶ مارس (۶ فروردین) منطقه در مسیر جریان‌های واچرخندی اروپای مرکزی که از دریای خزر عبور می‌کنند، افت دما، افزایش رطوبت و بارش سرد را تجربه کرده است. در ۲۷ و ۲۸ مارس (۷ و ۸ فروردین) با استقرار منطقه در جلو جبهه‌ی گرم، افزایش دما و شروع بارش مشهود می‌باشد. در ۲۹ مارس (۹ فروردین) با گذر جبهه‌ی گرم پربارانترین، مرطوب‌ترین و گرم‌ترین روز در این بازه اتفاق می‌افتد. منطقه در روز ۳۰ مارس (۱۰ فروردین) در قطاع گرم قرار می‌گیرد و نسبت به روز گذشته دما و رطوبت کاهش یافته است. در این بازه، نقش آفرینی بندال پرارتفاع بریده قابل توجه می‌باشد. واکاوی داده‌های اقلیمی ایستگاه کوه‌رنگ می‌تواند رفتار هیدروکلیمایی و ژئوهیدروکلیمایی بارش نازل شده را توجیه نماید. با توجه به داده‌های مربوط به دما، بارش و ارتفاع برف مشخص می‌گردد در بازه‌ی بارش اول برف و باران سرد و بارش گرم بطور متناوب نازل شده است. این روند در ابتدا سبب کاهش تبخیر و ماندگاری برف می‌شود. سپس با نزول بارش گرم با افزایش تبخیر میزان نفوذ و جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد. در بازه‌ی بین دو بارش هوای سرد حاکم شده و حداقل دما به زیر صفر می‌رسد و دوباره سبب کاهش تبخیر و افزایش ذخیره آب می‌شود. در بازه‌ی بارش دوم با نزول ۸ روز بارش گرم و تشدید فرآیند ذوب برف، سطح آب‌های زیرزمینی بالا آمده و فعالیت آب‌های سطحی افزایش می‌یابد.

#### منابع:

عابدی، قدرت الله ۱۳۷۷، بررسی بلاای طبیعی و نقش آن در توسعه پایدار، نشریه‌ی سپهر، دوره‌ی هفتم، شماره‌ی ۲۸، صص ۵۲-۶۴.

دما و توقف بارش و پایداری هوا مشخص شده است. استقرار زبانه‌ی پرفشار اقیانوس اطلس و پرفشارهای محلی بر ایران مانع ورود چرخند مدیترانه شده‌اند. در ابتدای این بازه آرایش ناوه‌ی کم ارتفاع غربی بندال امگای حاصل از پرفشار سیبری سبب مداری شدن بادهای غربی بر ایران گردیده است. در روزهای بعد بندال امگای دیگری تحت تأثیر پرفشار اقیانوس اطلس شکل می‌گیرد. مجاورت این دو بندال و تلفیق کم ارتفاع آن‌ها به نحوی است که سبب استقرار پشته بر ایران شده است. پیامد این شرایط که می‌تواند در وقوع ناپایداری دامنه‌ها مؤثر باشد کاهش تبخیر، افزایش ذخیره آب زیر زمینی و یخ زدگی سطح زمین می‌باشد. در بارش دوم در سطح زمین حرکت پرفشار اقیانوس اطلس به سمت شمال و شرق چندین پیامد مهم را بدنبال داشته است. نخست اینکه با گسترش خود به پرفشار اروپایی-آسیایی تبدیل شده است. و امکان چرخندزایی را بر دریای مدیترانه، سیاه و خزر فراهم نموده است. در مرحله‌ی بعد هوای سرد در حرکت واچرخندی این سامانه، پس از عبور از دریای خزر، سیاه و مدیترانه سبب تقویت جبهه‌ی سرد چرخندهایی گردیده‌اند که جبهه‌های گرم آن‌ها توسط جریان‌های گرم جنوبی تقویت شده‌اند. در روزهای اوج بارش این سامانه از اروپا خارج شده است. خروج و تضعیف آن نیز مانند ورود و گسترش آن پیامدهای بارشی مهمی بدنبال داشته که از یک سو سبب نفوذ زبانه‌ی کم فشار ایسلند شده که چرخند زایی در دریای سیاه و مدیترانه را تقویت می‌نماید و از سوی دیگر امکان ادغام کم فشارهای دریای سیاه-مدیترانه و سودانی و حرکت آن‌ها را به سمت ایران فراهم نموده است. موقعیت منطقه نسبت به مؤلفه‌های چرخندها و واچرخندهای تشکیل شده دارای اهمیت

- آن روی منطقه ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۳، صص ۶۹-۸۹
- عزیزی قاسم، اکبری طیبه، داودی محمود، اکبری مهربی، ۱۳۸۸، تحلیل هم‌دیدگی موج سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶ ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، زمستان ۸۹، صص ۱-۱۹
- Atmospheric Blocking, Geophysical Research Letters, Vol. 31, PP. 1-4.
- Christopher M. Fuhrmann, Charles E. Konrad II, and Lawrence E. Band, (2008), Climatological perspectives on the rainfall characteristics associated with landslides in western north Carolina, Physical Geography, pp. 289-305.
- Gutierrez, M., Sese, M. V. H., (2001), Multiple Talus Flatirons, Variations of Scarp Retreat Rates and the Evolution of Slopes in Almazan Basin (Semi- Arid Central Spain). Geomorphology, No38, pp. 19-29.
- J. L. Zêzere, R. M. Trigo, M. Fragoso, S. C. Oliveira, and R. A. C. Garcia, (2008), Rainfall-triggered landslides occurred in the Lisbon region over 2006, Natural Hazards and Earth, 483-499
- NASA, 2009, the COMET® Program, University Corporation of Atmospheric Research, <http://Comet.ucar.edu/>
- Phillips, J. D. (2006). Evolutionary Geomorphology: Thresholds and Nonlinearity in Landform Response to Environmental Change, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, No, 3, pp, 365-394.
- Prezerakos N. G., Piraeus & Flocas, H. A., (1997), The role of a developing upper diffluent trough in surface cyclogenesis over central Mediterranean. Meteorol Zeitschrift, No 6, 108-119
- Schwierz, C., Croci-Maspoli, M. and Davies, H. C., (2004), Perspicacious Indicators of
- Seluchi Marcelo E., Sin Chan Chou. (2009) Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 98:1-2, 67-77
- Trigo, I. F., G. R. Bigg and T. D. Davies, (2002); Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, Mon. Wea. Rev., Vol. 130, No. 3, 549-569.
- مقیمی، ابراهیم، یمانی، مجتبی، رحیمی هرآبادی، سعید ۱۳۹۲، ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از قرآیند تحلیل شبکه، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، بهار ۱۳۹۲، شماره ۴- صص ۱۰۳-۱۱۸.
- یمانی، مجتبی، احمدآبادی، علی، زارع، غلامرضا، ۱۳۹۱، بکارگیری الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار در پهنه بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه)، مجله مخاطرات محیطی، پائیز ۱۳۹۱، شماره ۳- صص ۱۲۵-۱۴۲.
- احمدی‌گیوی، فرهنگ، محب‌الحجه، علیرضا، قریلو، مریم، ۱۳۸۵، مطالعه دینامیک سامانه‌های چرخندی روی ایران از دیدگاه تاوایی پتانسیلی: مطالعه موردی برای آذر ماه ۱۳۸۲، ۱، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۱- صص ۱-۱۳
- امامی، سیدنعیم، ۱۳۷۷، بررسی و اولویت‌بندی علل حرکات توده‌ای در استان چهارمحال و بختیاری، مجموعه مقالات دومین همایش ملی رانش زمین و راه‌های مقابله با خطرات آن، تیرماه ۱۳۷۷، صص ۱۱۱-۱۲۸
- بلورچی، محمد جواد، انصاری فرهاد، ۱۳۷۸، بهمن سنگی روستای آبیکار کارکن علیا استان چهارمحال و بختیاری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران (جلد اول). تهران، مهرماه ۱۳۷۸ صص ۷۵ تا ۷۸
- بیاتی خطیبی، مریم ۱۳۸۶، مفهوم زمان، طیف‌ها و مقیاس‌های آن در پژوهش‌های ژئومورفولوژی (با نگاهی تحلیلی بر مفهوم زمان در سیستم‌های طبیعی)، رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و دوم، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۶، صص ۳-۱۰
- حیبی فریده، ۱۳۸۵، تحلیل هم‌دیدگی و دینامیکی سامانه‌های بندالی: روش تشخیص سامانه بندالی و تأثیر