

## الگوهای گردشی موثر بر وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره استان کردستان

طی ۱۳۸۴-۱۳۴۴

### چکیده

هدف از این تحقیق، شناسایی الگوهای همدید تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره استان کردستان طی دوره ۱۳۸۴-۱۳۴۴ است. پس از تعیین شاخص زمانی- مکانی یخبندان، ابتدا ۲۲ روز یخبندان فراگیر سطح منطقه استخراج گردید. سپس داده‌های ارتفاعی تراز ۵۰۰ hp واقع در محدوده بین ۲۵-۵۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۳۰-۶۰ درجه طول شرقی به صورت یک ماتریس S-mode برای روزهای یخبندان تنظیم شد. در ادامه، با استفاده از تکنیک آماری تحلیل عاملی و خوشه‌بندی به روش وارد الگوهای همدید خوشه‌بندی شدند و نهایتاً نقشه مرکب تراز بالا و میانی جو مربوط به هر خوشه تهیه و تحلیل همدید شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که، هفت الگوی همدید در قالب سه گروه عمده: سردچال جو بالایی، فرود موج کوتاه و فراز موج کوتاه حاکم بوده است؛ به طوری که حرکات نزولی و صعودی سمت عقب و جلوی این سامانه‌های همدید باعث پمپاژ و هدایت توده هواهای سرد و نسبتاً خشک عرض‌های جغرافیایی بالا از سمت شمال و شمال غربی ایران به سمت استان کردستان شده و افت محیطی دما و یخبندان را به وجود آورده است.

واژه‌های کلیدی: یخبندان؛ تحلیل عاملی؛ الگوی همدید؛ تراز ۵۰۰ hp؛ کردستان

## مقدمه

بر همگان روشن است که، هر الگوی گردش اتمسفری شرایط خاص آب و هوایی را برای منطقه تحت سیطره ایجاد می‌کند. گاهی شرایط اقلیمی به گونه‌ای است که، این الگوها خساراتی به صورت طوفان، تگرگ، سیل، برف سنگین و بویژه یخبندان به بار می‌آورند که به نوبه خود غالب فعالیت‌های انسانی، به ویژه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات حمل و نقل و انرژی و مسایل عمرانی، زیست محیطی، بروز انواع بیماری‌ها، راه‌بندان، تصادفات جاده‌ای و فعالیت‌های زیستی جانداران را مختل می‌کنند.

از آنجایی که یخبندان‌های دیررس بهاره بعضی اوقات در استان کردستان اتفاق می‌افتند و بر خلاف انتظار، همانند حوادث غیرمترقبه ساکنان منطقه را غافلگیر نموده است و می‌طلبد که مطالعه ای از دیدگاه همدیدی در این زمینه انجام گیرد تا با مدیریت صحیح و برنامه ریزی‌های دقیقتر از خطرهای زیان‌های احتمالی جلوگیری شود و یا میزان خسارت-ها کاهش پذیرد.

هدف از این تحقیق، بررسی و شناسایی الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وقوع یخبندان‌های فراگیر دیررس بهاره سطح استان کردستان است که با رویکرد محیطی به گردشی به کمک روش آماری تحلیل عاملی و خوشه‌بندی، طبقه بندی و شناسایی انجام می‌گردد. امید است با بررسی فراوانی‌ها و ویژگی‌ها و نقش مهم آنها بتوان گام مثبتی در بهبود و توسعه پیش بینی هوا و تبیین پدیده‌های محیطی برداشته شود.

بر اساس نتایج مطالعات هایلاک و نیکولز<sup>۱</sup> (۲۰۰۰، ۱۵۳۳) و سالینجر و گریفیتس<sup>۲</sup> (۲۰۰۱، ۱۴۳۷) روند وقوع بلایای طبیعی در نیمکره شمالی همواره رو به رشد است. در مقام مقایسه، کشور ایران به سبب داشتن تنوع محیطی تاکنون از ۴۰ نوع بلایای طبیعی، ۳۱ مورد آن را تجربه کرده (میرزاخانی، ۱۳۷۸، ۸) و بر پایه گزارش فائو<sup>۳</sup>، از

1 - Haylock and Nicholls  
2 - Salinger and Griffiths

نظر استعداد و توان خیزی بلایای طبیعی رتبه دهم را در جهان دارد (شن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۳: ۱۱). بنابراین، وقوع یخبندان‌ها و برخی بلایای متعاقب آن می‌تواند امری معمول باشد. تاکنون در مطالعات فراوانی وضعیت کمی و کیفی استقرار سامانه‌های همدید سطوح بالا و پایین اتمسفر چند روز قبل و بعد از وقوع پدیده‌های جوی بررسی و تحلیل شده است. از آنجمله، کارهای روزنبرگ و مایرز<sup>۵</sup> (۱۹۶۲)، یوما و بوسارت<sup>۶</sup> (۱۹۸۷)، چانگنان<sup>۷</sup> (۱۹۹۹)، آندروود و اسچولتز<sup>۸</sup> (۲۰۰۴)، لیمن و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۵) و... قابل ذکر است. چنین مطالعاتی می‌تواند مقدمه‌ای برای آغاز مطالعات اقلیمی (بلندمدت) مخاطرات محیطی با به- کارگیری رایانه و روش‌های کمی و مدل‌های پیچیده ریاضی و آماری باشد. شناسایی الگوهای فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ایالات متحده و نیمکره شمالی (کاولکانتی و کایانو<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۵، ۱۸۹)، طبقه بندی و شناسایی هشت نوع توده هوای زمستانی و بررسی رابطه آنها با شیوع بیماری آنفازکتوس میوکارد در فلورانس ایتالیا (مورابیتو و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۶، ۵۸) و کشف وجود رابطه‌ای قوی بین آنومالی‌های دمایی بر روی کانادا و الگوهای فشار در منطقه منشأ شکل‌گیری سامانه‌های سبیریایی (لینگیس و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۷)، شناسایی چهار نوع توده هوا و مسیریابی سیکلون‌های مولد بارش‌های سنگین منطقه استونیا (ماتلیک و پست<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۸، ۲۰۶) - نمونه‌هایی از مطالعات بلندمدت و کاربرد فراوان روش تحلیل عاملی و خوشه‌بندی در پژوهش‌های اقلیم‌شناسی دارد.

---

4 - Shen

5 - Rosenberg and Myers

6 - Yu Ma and Bosart

7 - Changnon

8 - Underwood and Schultz

9 - Lyman and et al

10 - Cavalcanti and Kayano

11 - Morabito and et al

12 - Lingis and et al

13 - Matlik and Post

در ایران، اولین مطالعه یخبندان‌های غرب و شمال غرب مه صرفاً توصیفی بود که از سوی دمرگان، اسکارمن و جیمز ریچ در اوایل قرون ۱۹ و ۲۰ صورت گرفت (سلیمی، ۱۳۸۱، ۹). از بین مطالعات پژوهشی اخیر در ارتباط با سرما و یخبندان‌ها کارهای ارزشمند علیجانی (۱۳۶۹)، علیجانی (۱۳۸۱)، عزیززی و یوسفی (۱۳۸۲)، مرادی (۱۳۸۳)، هوشیار (۱۳۸۴)، هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶)، فتاحی و صالحی پاک (۱۳۸۸) و... قابل ذکر است.

بر اساس مطالعه فتاحی و رحیم زاده (۱۳۸۸، ۴۳)، در خصوص شناسایی الگوهای گردش جوی زمستانه ایران و ارتباط آن با فازهای گرم، سرد و خنثی شاخص نوسان‌های جنوبی (انسو) چنین نتیجه گیری شد که الگوهای جوی کم فشار مدیترانه، کم فشار جنب قطبی، پرفشار شرقی، پرفشار شمالی، پرفشار اروپای شرقی و سامانه تلفیقی پرفشار سیریبایی- اروپایی در فاز النینو فراوانی بیشتری دارند؛ اما الگوهای پرفشار سیریبی و پرفشار مرکزی در دوره‌های لانینا بیشتر ظاهر شده اند.

آنچه مسلم است، تحقیقات گذشته تاکنون به استثنای چند مورد محدود، عمدتاً جزو مطالعات آماری و موردی یخبندان بوده و در منطقه غرب کشور بویژه سطح استان کردستان به روش بلندمدت آماری- سینوپتیکی، تاکنون مطالعه جامعی صورت نگرفته است.

## داده‌ها و روش‌ها

استان کردستان منطقه‌ای کوهستانی با وسعتی برابر با ۲۸۲۳۵ کیلومتر مربع و ۱۴۴۱۸۴۳ نفر جمعیت (سال ۱۳۸۵) در غرب ایران قرار دارد. اقلیم آن متأثر از توده‌های هوای مرطوب مدیترانه‌ای با تابستان خشکی و زمستان سرد است. میانگین سالانه دما در ارتفاعات استان، حدود ۸ درجه سانتیگراد و در محدوده‌های پست جنوب و جنوب شرقی استان ۱۳ درجه سانتیگراد است (شکل ۱).



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، ابتدا داده‌های پایین‌ترین متوسط دمای حداقل روزانه مربوط به فصل بهار (اول فروردین تا ۳۱ خرداد) طی دوره ۱۳۸۴-۱۳۴۴ ایستگاه‌های هواشناسی سطح استان (سنندج، سقز، مریوان و بیجار) و سه ایستگاه هواشناسی مجاور شامل: کرمانشاه، همدان و زنجان از سایت سازمان هواشناسی کشور تهیه و تنظیم گردید. انتخاب ایستگاه‌ها به گونه‌ای بود که دارای آمار نسبتاً بلندمدت بودند و کل سطح منطقه را پوشش می‌دادند.

روزهای یخبندان مورد نظر با برقراری شرط اینکه، حداقل ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها همزمان با هم، متوسط دمای حداقل روزانه پایین‌تر از صفر درجه را ثبت کرده باشند، انتخاب گردید (جدول ۱). سپس، داده‌های ساعت صفر گرینویچ ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال واقع در محدوده بین ۲۵-۵۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۳۰-۶۰ درجه طول جغرافیایی شرقی همان روزها از سایت اینترنتی (NCEP<sup>۱۴</sup>/NCAR<sup>۱۵</sup>) اخذ شد. داده‌های ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای یخبندان شامل ۱۶۹ تلاقی (۱۳\*۱۳=۱۶۹) به صورت یک ماتریس ۱۳ ردیف در ۱۳ ستون در حالت S-mode که برای طبقه بندی الگوهای نقشه‌های پراکندگی فشار کاربرد فراوان دارد، تنظیم شد.

14 - National Center Environmental Prediction (مرکز ملی پیش‌بینی محیطی)

15 - National Center Atmospheric Research (مرکز ملی تحقیقات هواشناسی)

سپس کل داده‌ها ماتریس هر روز یخبندان به صورت ستونی مرتب شد و در نتیجه، ماتریس جدیدی به ابعاد ۲۲ ردیف در ۱۶۹ ستون به دست آمد تا روش آماری تحلیل عاملی<sup>۱۶</sup> در محیط نرم افزار SPSS برای پردازش داده‌ها استفاده شود. یکی از اهداف اصلی تکنیک مذکور، کاهش ابعاد داده‌هاست. قبل از شروع انجام تحلیل عاملی، اعتبارسنجی آن از طریق محاسبه دترمینان ضرایب همبستگی بین متغیرها و محاسبه معیار کایزر-میر-آلکاین<sup>۱۷</sup> (KMO) آزمون گردید. آماره KMO شاخصی برای مقایسه مقادیر ضرایب همبستگی ساده و جزئی بر روی کلیه متغیرهاست و میزان استقلال متغیرها را می‌سنجد و هرچه مقدار این آماره به یک نزدیکتر باشد و از طرفی، هرچه مقدار آماره محاسبه دترمینان هم به صفر نزدیکتر باشد، انجام تجزیه به عامل‌ها معتبرتر خواهد بود. سپس ماتریس بارگویه‌ها و ماتریس نمره‌های عاملی محاسبه شد. با استفاده از روش متعامد<sup>۱۸</sup> که متضمن حفظ استقلال میان عامل‌هاست، محور عامل‌ها چرخش داده شد تا بدون تغییرات میزان واریانس مشترک هر متغیر، عامل‌ها به سادگی تعبیر شوند (گونگ و ریچمن<sup>۱۹</sup>، ۱۹۹۵، ۹۰۱، استبان و همکاران<sup>۲۰</sup>، ۲۰۰۵، ۳۲۲)

جدول (۱) تاریخ روزهای وقوع یخبندان دیررس بهاره سطح استان کردستان

۱۳۸۴/۰۲/۱۸	۱۳۸۳/۰۲/۱۶	۱۳۸۰/۰۲/۲۶	۱۳۷۴/۰۱/۱۲	۱۳۶۹/۰۲/۰۱	۱۳۶۳/۰۳/۱۲	۱۳۵۶/۰۲/۲۷	۱۳۴۴/۰۲/۱۵
	۱۳۸۳/۰۲/۱۷	۱۳۸۱/۰۲/۱۱	۱۳۷۴/۰۲/۱۶	۱۳۷۱/۰۲/۱۳	۱۳۶۷/۰۲/۱۶	۱۳۶۰/۰۲/۱۲	۱۳۴۵/۰۲/۱۱
	۱۳۸۴/۰۲/۰۶	۱۳۸۲/۰۲/۱۲	۱۳۷۶/۰۲/۲۱	۱۳۷۲/۰۲/۰۳	۱۳۶۸/۰۲/۱۳	۱۳۶۲/۰۲/۱۲	۱۳۵۲/۰۲/۱۶

در این مطالعه، فرمول تحلیل عاملی که ۱۶۹ متغیر را به ۸ عامل تبدیل کرد، به صورت

زیر نوشته می‌شود:

16 - Factor analysis  
 17 - Ksiser-Meyer-Olkin  
 18 - Varimax  
 19 - Gong and Richman  
 20 - Esteban and et al

(۱)

$$Y_i = \mu_i + \lambda_{i1}F_1 + \lambda_{i2}F_2 + \dots + \lambda_{i8}F_8 + e_i \quad i = 1, 2, \dots, 169$$

که در آن فرض می‌شود  $e_i \approx N(0, \sigma_i^2)$  هستند؛  $Y_i$  اندازه ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال متغیر (تلاقی)  $i$  ام،  $\mu_i$  متوسط ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تلاقی  $i$  ام برای ۲۲ روز یخبندان است؛  $\lambda_{ij}$  ضریب ارتباط تلاقی  $i$  ام با عامل  $j$  ام،  $F_j$  عامل‌های مؤثر بر متغیرها (تلاقی‌ها) هستند.  $e_i$  هم جملات خطا هستند که فرض می‌شود از یکدیگر و از عامل‌های موجود مستقل‌اند (شرکت آمار پردازان، ۱۳۷۷، ۴۱۸). پس از این مرحله، روزهای یخبندان بر اساس نمره‌های عاملی به کمک فرمول فاصله اقلیدوسی و با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی سلسله مراتبی به روش ادغام وارد و به صورت نمودار درختی خوشه‌بندی شدند.

(۲)

$$e_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2}$$

که در آن  $e_{jk}$  فاصله بین مشاهده  $j$  ام و  $k$  ام در مجموعه‌ای از مشاهدات است. مقدار ضریب فاصله اقلیدوسی بین صفر و بینهایت متغیر است.  $x_{ij}$  مقدار متغیر  $i$  ام روی عضو

$j$  ام و  $x_{ik}$  مقدار متغیر  $i$  ام روی عضو  $k$  ام و  $n$  هم تعداد متغیرهای هر عضو است (شرکت آمار پردازان، ۱۳۷۷، ۳۸۰). فرمول ترکیب خوشه‌ها به روش حداقل واریانس وارد نیز به صورت ذیل است:

(۳)

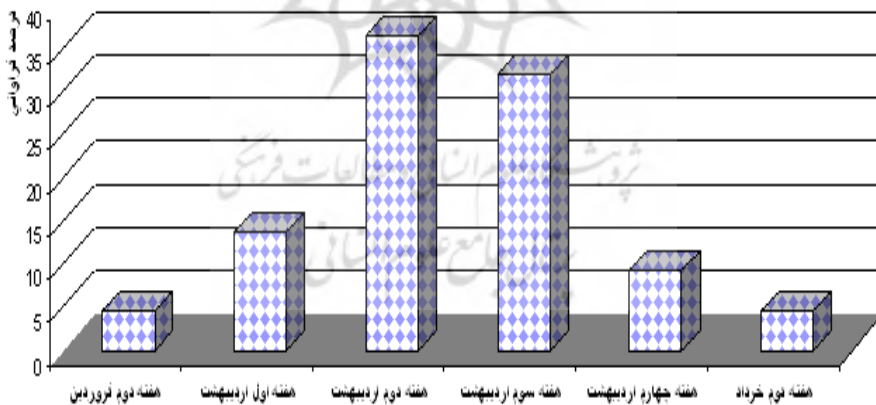
$$W_{km} = \frac{N_k N_m}{N_k + N_m} (\bar{x}_k - \bar{x}_m)^t (\bar{x}_k - \bar{x}_m)$$

که در آن  $m$  و  $k$  خوشه‌ها هستند و  $\bar{x}_k$  مرکز خوشه است (شرکت آمار پردازان، ۱۳۷۷، ۳۲۵).

در نهایت، نقشه‌های مرکب تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به روزهای یخبندان واقع در هر خوشه در محیط یکی از نرم افزارهای GIS (Surfer.7) تهیه شد و نقشه‌های مرکب سطح زمین هم از طریق نرم افزار GIS تحت وب سایت<sup>۲۱</sup> داده‌های مورد استفاده ترسیم گردید و از نظر همدید تفسیر و تحلیل شدند.

### بحث

بررسی توزیع زمانی یخبندان‌های دیررس بهاره سطح استان کردستان نشان می‌دهد که، در ۸۶٪ موارد پدیده مذکور در اواسط بهار (اردیبهشت ماه) اتفاق افتاده اند. در این میان، حدود ۵۸٪ وقوع یخبندان‌ها به نیمه اول اردیبهشت اختصاص می‌یابند (جدول ۱).



شکل ۲ نمودار توزیع زمانی فراوانی وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره در فروردین ماه



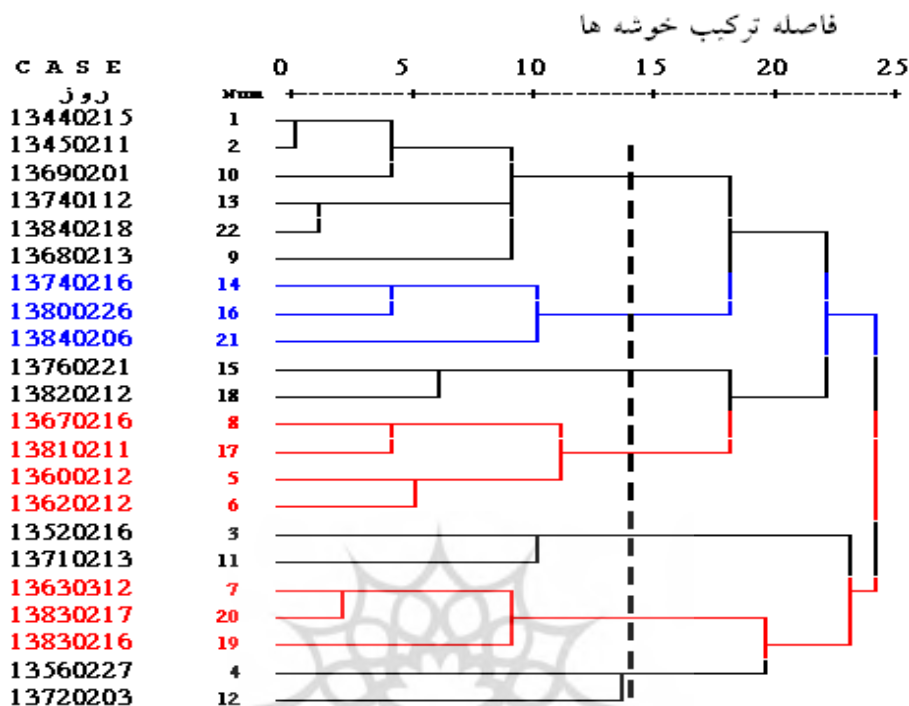
پس از تنظیم ماتریس داده‌های ارتفاعی تراز ۵۰۰hp روزهای وقوع یخبندان، از آنجا که سطح معنی داری (sign) مقدار آماره  $KMO \geq 0.9$  شد، استقلال متغیرهای مورد استفاده تأیید شد و چون خروجی محاسبه دترمینان ماتریس ضرایب همبستگی نیز برابر صفر بود، انجام تحلیل عاملی بسیار مناسب تشخیص داده شد. با اعمال تکنیک تحلیل عاملی بر روی ماتریس داده‌های ارتفاعی روزهای یخبندان و چرخش عامل‌ها، هشت عامل که در مجموع، ۹۷/۱٪ از کل واریانس داده‌ها را تبیین می‌کردند، استخراج شدند (جدول ۲). در این میان، با توجه به اینکه عامل اول توانست به تنهایی ۴۰٪ کل واریانس داده‌ها را تبیین کند و عامل‌های استخراج شده همبستگی معنی داری با هم نداشته و از استقلال کامل برخوردار بودند، مدل مذکور پذیرفته شد. برای سهولت در تعبیر و تفسیر عامل‌ها تکنیک تحلیل خوشه‌ای بر اساس چرخش محور عامل‌های بدست آمده انجام شد و در نتیجه آن، هفت خوشه تشخیص داده شد (شکل ۳)، نهایتاً، نقشه‌های مرکب روزهای مربوطه به هر خوشه ترسیم گردید.

جدول ۲ مقادیر کل واریانس تبیین شده توسط عامل‌ها قبل و بعد از چرخش عامل‌ها

عامل	ارزش ویژه اولیه		ارزش ویژه اولیه بعد از دوران عاملها	
	کل واریانس	% واریانس	کل واریانس	% واریانس
اول	۶۷/۹	۴۰/۲	۳۱/۸	۱۸/۹
دوم	۳۷/۲	۱۸/۴	۳۷/۵	۱۸/۶
سوم	۲۲/۷	۱۳/۵	۲۵/۲	۱۴/۹
چهارم	۱۸/۲	۱۰/۸	۲۰/۷	۱۲/۲
پنجم	۱۰/۷	۶/۳	۱۸/۷	۱۱/۱
ششم	۶/۹	۴/۱	۱۷/۷	۱۰/۴
هفتم	۴/۴	۲/۶	۱۴/۷	۸/۷
هشتم	۲/۳	۱/۴	۲/۴	۱/۴

پس از بررسی و تهیه نقشه‌های مرکب مربوط به هر خوشه، چنین نتیجه گیری شد که در تراز میانی جو در مجموع، هفت الگو گردش جوی در قالب سه گروه عمده شامل: الگوی سردچال جو بالایی، الگوی فراز موج کوتاه و الگوی فرود موج کوتاه باعث وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره سطح استان کردستان شده است (شکل ۳).

بررسی اجمالی توزیع فراوانی الگوهای مذکور نشان داد که، در ۵۸٪ موارد به دلیل تشدید وزش نصف النهاری بادهای غربی، در تراز میانی جو یک سلول کم ارتفاع به صورت یک سامانه‌های همدید سردچال جو بالایی مملو از هوای سرد و نسبتاً خشک در اطراف دریای خزر، بویژه در شرق آن تشکیل شده است. حاکمیت نزول هوا در قسمت عقب سردچال جوی، باعث هدایت و گسترش هوای سرد عرض‌های بالاتر به سطح استان کردستان شده و نهایتاً افت محیطی دما و پدیده یخبندان را به وجود آورده است. در ۲۸٪ روزهای وقوع یخبندان یکی از الگوهای همدید چهارگانه فراز موج کوتاه بر روی ایران حاکم بوده است؛ به طوری که از نظر موقعیت قرارگیری استان کردستان در زیر قسمت عقب این فرودها قرار گرفته است و در نتیجه این شرایط همدید، از عرض‌های جغرافیایی بالا هوای سرد و نسبتاً خشک به سمت استان جریان پیدا کرده و باعث افت محیطی دما شده است. در ۱۴٪ روزهای دیگر الگوی گردش جوی فرود موج کوتاه ظاهر شده است. در اینجا به دلیل تشابه برخی از الگوهای به دست آمده، به تحلیل نقشه مرکب چند خوشه با هم بسنده می‌شود.



شکل ۳) خوشه‌بندی روزهای یخبندان دیررس بهاره سطح استان کردستان

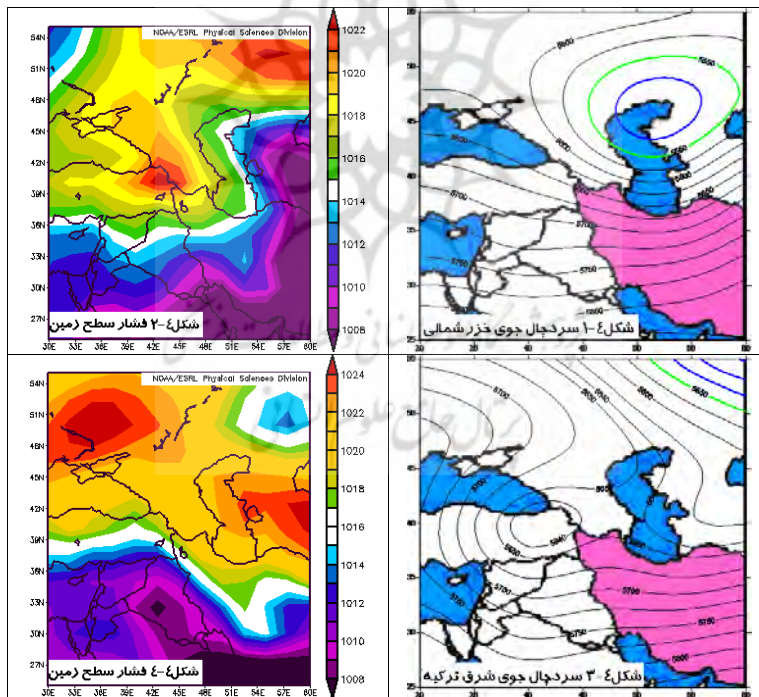
الگوی سردچال جوی خزر شمالی - همچنانکه از شکل ۴-۱ پیداست، به دلیل شدت وزش نصف النهاری بادهای غربی، چگونگی آرایش خطوط ارتفاعی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال به گونه ای است که، در نتیجه عمیق تر شدن و تقویت فرودی با دامنه حدود ۱۵ درجه عرض جغرافیایی بر بالای سرزمین‌های شمال دریای خزر، یک بسته کم ارتفاع با ارتفاع مرکزی کمتر از ۵۵۵۰ متر از مسیر اصلی بادهای غربی جدا شده و بر روی سرزمین‌های حذفاصل غرب دریاچه آرال تا غرب دریای خزر استقرار یافته است. شرایط همدید حاکم در این الگو به گونه ای است که، این گودال مملو از هوای سرد و نسبتاً خشک در سطوح میانی جو با گردش سیکلونی خود، باعث ایجاد جریان‌های نزولی از عرض‌های بالا به پایین در بخش عقب خود می‌شود. از نظر موقعیت قرارگیری، استان

کردستان در زیر منطقه تحت تاثیر بخش غربی سردچال جوی؛ یعنی زیر منطقه همگرایی بالایی قرار گرفته است. وضعیت همگرایی تراز میانی جو، باعث ایجاد واگرایی در سطح زمین و تشکیل واچرخند شده است. ظهور چنین الگوی همدید در منطقه اغلب در اوایل فصل بهار و پاییز اتفاق می افتد.

بررسی اجمالی نقشه مرکب پراکندگی فشار سطح دریاهاى آزاد (شکل ۴-۲) نیز نشان از ظهور یک واچرخند مهاجر نسبتاً قوی با فشار مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال در شمال غربی ایران دارد که هوای کردستان را نیز تحت تاثیر قرار داده است. ادغام زبانه فرابار سیبری از سمت شمال شرقی با واچرخند مهاجر باعث شده که سرتاسر ایران تا سواحل جنوب کشور تحت سیطره سامانه پرفشار قرار گیرد و افت محیطی دما و وقوع یخبندان را برای منطقه مورد مطالعه به ارمغان بیاورد. بررسی نقشه مرکب آرایش خطوط هم ضخامت بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که الگوی همدید فرود حرارتی هم‌سند<sup>۲۲</sup> بر روی منطقه شکل گرفته و استان کردستان در زیر سمت چپ نیمه ورودی هسته رودباد قطبی واقع بر بالای مرکز خلیج فارس قرار گرفته است که حاکمیت واچرخند مهاجر نسبتاً قوی بر روی استان کردستان را تایید می کند.

**الگوی سردچال جوی شرق ترکیه:** در این الگو نحوه آرایش خطوط ارتفاعی تراز میانی جو به گونه ای است که، بر اثر شدت وزش نصف النهاری بادهای غربی و ایجاد فرود عمیقی با دامنه حدود ۲۰ درجه عرض جغرافیایی بر بالای سرزمین‌های بین سواحل شرق دریای مدیترانه تا غرب دریای خزر، یک سامانه سردچال جو بالایی به شکل بیضی کشیده شده، تشکیل شده است (شکل ۴-۳)؛ با این تفاوت که در این الگو از نظر موقعیت قرارگیری، استان کردستان در زیر منطقه تحت تاثیر بخش جنوبی سردچال جوی؛ یعنی زیر منطقه مرز بین همگرایی و واگرایی جو بالایی قرار گرفته است. این وضعیت باعث ایجاد جبهه سرد قوی در سطح زمین شده است.

بررسی نقشه‌های مرکب بارش و پراکندگی مراکز فشار در این الگو نشان از وجود چند هسته بارش بر روی البرز مرکزی و شمال عراق دارد؛ به طوری که موقعیت مکانی مرکز کم فشار روی جنوب ایران و مرکز پرفشار قوی روی شمال دریای سیاه باعث شده است که استان کردستان در محل وقوع جبهه سرد چرخند قرار گیرد و در نتیجه، حاکمیت حرکات شدید صعودی جبهه سرد دمای محیط به شدت افت پیدا کرده، یخبندان به وجود آید. در این الگو رودباد جبهه قطبی در امتداد مدار ۳۲ درجه کل محدوده نقشه مرکب را تحت سیطره خود درآورده است. از آنجا که استان کردستان در زیر سمت چپ نیمه ورودی هسته رودباد قطبی واقع شده، در سطح زمین حاکمیت با حرکات همگرایی و شکل‌گیری جبهه سرد نسبتاً قوی چرخند مهاجر بر روی استان مورد انتظار است (شکل ۴-۴).



شکل ۴) نقشه مرکب الگوهای تراز ۵۰۰ hp (راست) و سطح زمین (چپ)

**الگوی فراز موج کوتاه شمال غربی دریای خزر:** از آنجا که نقشه‌های مرکب این الگوی همدید وجه تشابه ظاهری زیادی با سه الگوی دیگر (الگوی فراز موج کوتاه شمال دریای خزر، الگوی فراز موج کوتاه شرق ترکیه و الگوی فراز موج کوتاه شرق دریای سیاه) داشته و با اندک تفاوتی در امتداد محور فراز، شرایط همدید وقوع یخبندان یکی است، هر چهار خوشه یکجا تحلیل همدید می‌گردد.

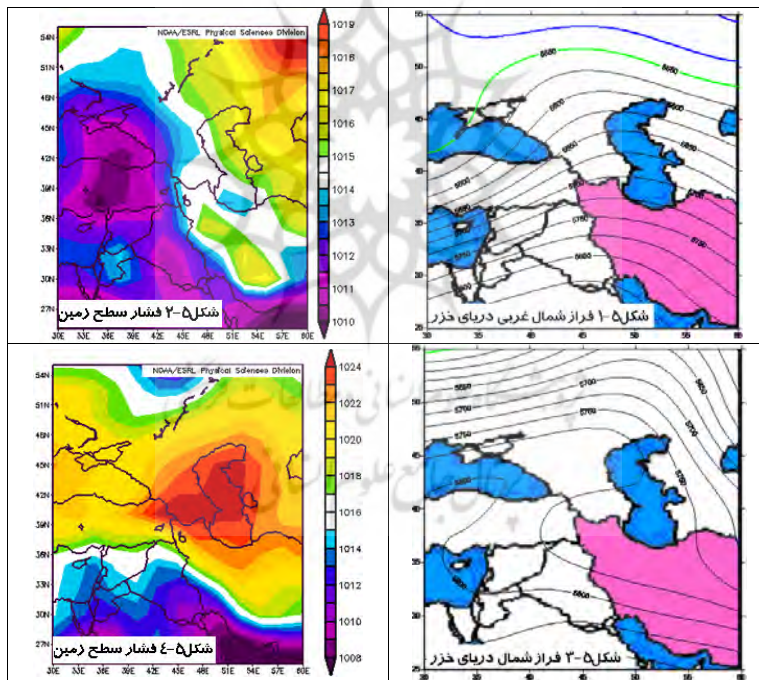
به طور کلی، بررسی نقشه‌های مرکب تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که الگوهای گردشی فراز موج کوتاه بر روی بخشی از محدوده بین دریای خزر و دریای سیاه ظاهر شده‌اند. نحوه آرایش خاص خطوط ارتفاعی تراز میانی جو هم به گونه‌ای است که به ترتیب، محور فرودها در امتداد شمال (شکل ۵-۱ و ۵-۷) و شمال شرقی (شکل ۵-۳ و ۵-۵) از دشت‌های پست سبیری (بین کوه‌های آرال تا ارتفاعات مرکزی روسیه در شمال دریای خزر) تا شمال شبه جزیره عربستان ادامه دارد. متوسط گستره جغرافیایی این الگوها حدود ۳۰ درجه عرض جغرافیایی است.

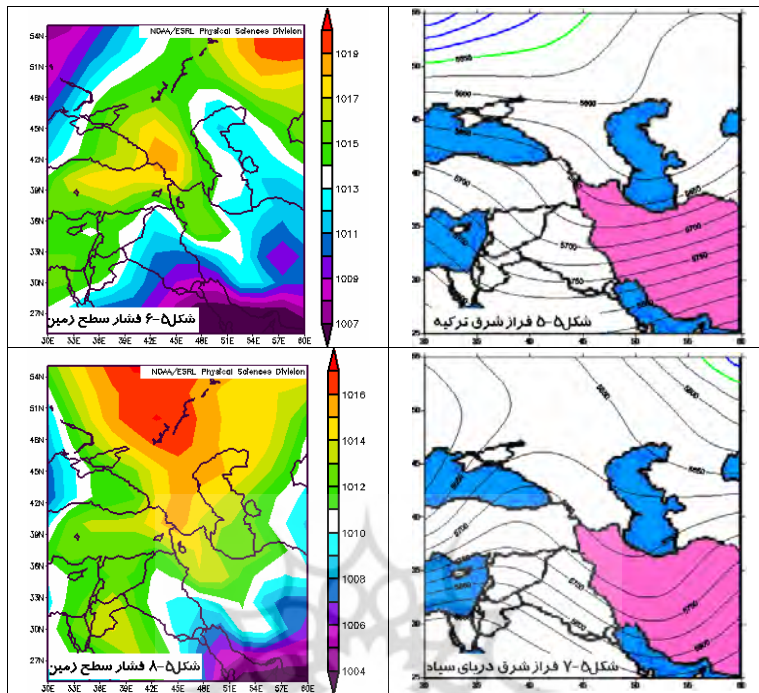
شرایط همدید به گونه‌ای بوده است که، استان کردستان در زیر قسمت جلوی فراز موج کوتاه قرار دارد؛ یعنی جایی که وضعیت همگرایی در سطوح میانی جو با شدت و ضعف‌های متفاوت باعث ایجاد حرکات واگرایی و فرونشینی هوا در سطح زمین شده است. در نتیجه استقرار چنین شرایطی، هوای سرد و نسبتاً خشک از عرض‌های جغرافیایی بالا به سمت منطقه مورد مطالعه هدایت و پمپاژ و باعث افت محیطی دما و نهایتاً بروز یخبندان شده است.

بررسی نقشه‌های مرکب گسترش تاوه قطبی نیز نشان داد که، سیطره بادهای غربی تا عرض‌های ۳۵ درجه جغرافیایی بوده و هسته‌های رودباد تراز میانی جو موثر بر ایجاد شرایط بروز یخبندان هم در امتداد مدار ۲۸ درجه عمدتاً بر روی شمال خلیج فارس استقرار دارند. از بررسی اجمالی نقشه‌های مرکب توزیع دمای سطح زمین چنین بر می‌آید که، زبانه‌هایی از هوای سرد تا حد ۵- درجه از منطقه شمال و عمدتاً شمال غربی ایران در

امتداد نصف النهار ۴۶ درجه از عرض‌های جغرافیایی بالا به سمت استان کردستان کشیده شده است.

نقشه‌های مرکب پراکندگی سامانه‌های فشار تراز دریا هم حاکی از استقرار یک سامانه پر فشار مهاجر قوی با فشار هسته مرکزی بیش از ۱۰۲۴ میلیار بر روی دریای خزر و شرق آن قرار گرفته و نیمه شمالی و غربی ایران را به طور کامل پوشش داده است (شکل ۴-۵ و ۵-۵). از طرفی، در دو الگوی دیگر (شکل ۲-۵ و ۸-۵) زبانه ای از پر فشار نه چندان قوی سیبریایی و پرفشار شمال روسیه با فشار هسته مرکزی حدود ۱۰۲۰ هکتوپاسکال در راستای نصف النهارات ۴۵-۵۵ درجه از عرض‌های جغرافیایی بالا تا نواحی جنوب ایران را دربر گرفته است.





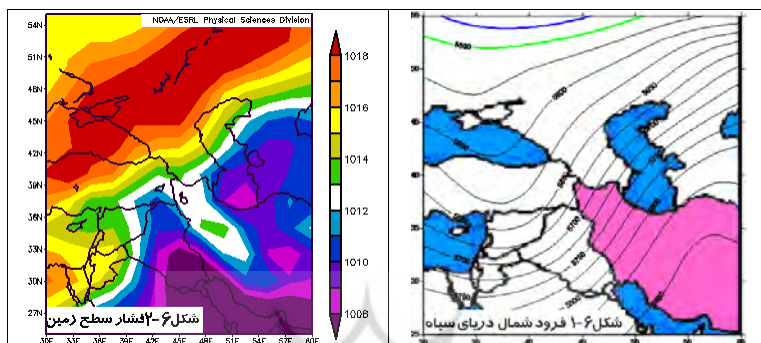
شکل ۵) نقشه مرکب الگوهای تراز ۵۰۰ hp (راست) و سطح زمین (چپ)

الگوی فرود شمال دریای سیاه: همچنان که از شکل ۷-۱ پیداست، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک گردشی فرود موج کوتاه با دامنه ۲۰ درجه عرض جغرافیایی از شمال دریای سیاه تا شمال شبه جزیره عربستان را دربر گرفته است. نحوه آرایش خطوط ارتفاعی به گونه ای است که، محور فرود موج از ارتفاعات مرکزی روسیه در امتداد نصف- النهار ۳۵ درجه تا شمال شبه جزیره عربستان ادامه دارد. اگر چه به ظاهر استان کردستان در زیر قسمت جلوی فرود موج کوتاه و اطراف خط هم ارتفاع ۵۷۰۰ متر قرار گرفته است؛ یعنی جایی که وضعیت واگرایی در سطوح میانی جو باعث ایجاد حرکات همگرایی و صعود هوا در سطح زمین مورد انتظار است، اما از بررسی نقشه مرکب پراکندگی فشار سطح دریاهاى آزاد چنین برمی آید که، زبانه ای از پر فشار سرزمینهای شمال سبیری در امتداد کوههای زاگرس بر روی استان کردستان کشیده شده



الگوهای گردشی موثر بر وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره استان کردستان ... / ۲۳۵

است (شکل ۶-۲). در نتیجه استقرار چنین شرایطی، زبانه ای از هوای سرد تا حد منفی ۲ درجه از منطقه شمال غربی ایران در امتداد نصف النهار ۴۵ درجه از عرض‌های جغرافیایی بالا به سمت استان کشیده شده و باعث افت محیطی دما و بروز یخبندان شده است.



شکل ۶) نقشه مرکب الگوهای تراز ۵۰۰ hp (راست) و سطح زمین (چپ)

## نتیجه گیری

به طور کلی، در راستای رسیدن به اهداف تحقیق و به منظور شناسایی الگوهای گردشی موثر بر وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره استان کردستان طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۴۴، پس از جمع آوری و تنظیم داده‌ها چنین نتیجه گیری شد که، از نظر توزیع زمانی بیش از نیمی از یخبندان‌های دیررس بهاره سطح استان کردستان در نیمه اول اردیبهشت ماه اتفاق می‌افتد و در مجموع ۸۶٪ آنها به اواسط فصل بهار اختصاص می‌یابند. از طرفی، داده‌های ارتفاع سطح ۵۰۰hp روزهای وقوع یخبندان با استفاده از روش تحلیل عاملی پردازش آماری شد و ابعاد و تعداد متغیرها کاهش یافت و به منظور گروه‌بندی الگوهای هم‌دید روزهای یخبندان تکنیک خوشه‌بندی سلسله مراتبی به روش ادغام وارد اعمال شد. در مجموع، نتایج حاکی از آن بود که، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال عمدتاً استقرار سه نوع الگوی هم‌دید شامل: الگوی سردچال جو بالایی، الگوی فراز موج کوتاه و الگوی فرود موج کوتاه باعث ایجاد یخبندان‌های دیررس بهاره سطح استان کردستان شده است؛ به

طوری که در فصل بهار بویژه اوایل فرودین ماه به دلیل ناهنجاری‌های جا به جایی تاوه قطبی و تشدید وزش نصف النهاری بادهای غربی، موقعیت رودبادها و باندهای طوفانی مربوط به آنها به عرض‌های جغرافیایی پایین تر از حد معمول تغییر مکان داده و انتقال انرژی بیشتری صورت گرفته است. در نتیجه این امر، محور فرودها و فرازها عمیق تر شده و حاکمیت جریانات نزولی در بخش غربی این الگوهای باعث هدایت توده هواهای نسبتاً سرد و خشک عرض‌های بالا از شمال و عمدتاً شمال غربی ایران در امتداد نصف النهارات ۴۵-۵۰ درجه به سمت سطح استان کردستان شده است و افت محیطی دما و یخبندان را به- وجود آورده است. در این میان، نقش مؤثر توپوگرافی محلی نیز غیر قابل انکار است.

### پیشنهادها

با توجه به شناسایی الگوهای همدید وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره سطح استان کردستان، در راستای مدیریت و کاهش خسارت ناشی از این پدیده پیشنهاد می‌گردد که، متخصصان مرتبط بر اساس الگوهای همدید شناسایی شده، سامانه هشداردهی مناسبی را با توجه به تغییرات داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سطح منطقه طراحی کنند تا به موقع پیش بینی، اطلاع رسانی و اقدامات پیش گیرانه صورت گیرد.

### منابع

۱. سلیمی، هاشم. (۱۳۸۱). زمستان در فرهنگ مردم کرد استان‌های کرمانشاه و مناطق کردنشین آذربایجان غربی، ایلام، همدان و لرستان، تهران: سروش، ۲۶۱ صفحه.
۲. شرکت آمار پردازان. (۱۳۷۷). راهنمای کاربران **SPSS 6.0 for Windose**، ج دوم، تهران: مرکز فرهنگی انتشاراتی حامی، ۵۳۳ صفحه.
۳. عزیزی، قاسم و یوسفی، حسن. (۱۳۸۴). "زمانیابی ورود پرفشار سیبری به سواحل جنوبی دریای خزر"، فصلنامه علمی پژوهشی مدرس، ۴: ۸۱-۱۰۰.

الگوهای گردشی موثر بر وقوع یخبندانهای دیررس بهاره استان کردستان ... / ۲۳۷

۴. علیجانی، بهلول. (۱۳۶۹). "چگونگی تشکیل فرابار سیبری و اثر آن بر اقلیم شرق ایران"، **فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، ۱۷: ۲۴۱-۲۵۱.

۵. علیجانی، بهلول. (۱۳۸۱). "بررسی سینوپتیکی الگوهای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱"، **نیوار**، پیاپی ۴۵ و ۴۶: ۷-۲۹.

۶. ----- (۱۳۸۱). "اقلیم شناسی سینوپتیک"، تهران: سازمان سمت، ۲۵۷ صفحه.

۷. فتاحی، ابراهیم و صالحی پاک، تهمنه. (۱۳۸۸). "تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندانهای زمستانه ایران"، **فصلنامه جغرافیا و توسعه**، ۱۳: ۱۲۷-۱۳۶.

۸. فتاحی، ابراهیم و رحیم زاده، فاطمه. (۱۳۸۸). "ارتباط انسو با الگوهای گردش جوی زمستانه ایران"، **فصلنامه جغرافیا و توسعه**، ۱۵: ۲۱-۴۴.

۹. مرادی، حمیدرضا. (۱۳۸۳). "پیش بینی سیلابها بر اساس موقعیت‌های سامانه‌های همدیدی در شمال شرقی ایران"، **فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، ۷۵: ۷۰-۷۰.

۱۰. میرزاخانی، آتوسا. (۱۳۷۸). "تجزیه و تحلیل ریسک سیل و آثار زیانبار آن در ایران"، **فصلنامه بیمه**، ۱۳: ۸-۱۵.

۱۱. هژبرپور، قاسم و علیجانی، بهلول. (۱۳۸۶). "تحلیل همدید یخبندانهای استان اردبیل"، **فصلنامه جغرافیا و توسعه**، ۱۰: ۸۹-۱۰۶.

۱۲. هوشیار، محمود؛ ارائه مدل مناسب جهت تحلیل سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غربی ایران". (۱۳۸۴). علیجانی، بهلول، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، گروه جغرافیا.

13. Cavalcanti F.A. and Kayano M.T., (2005), "High-frequency patterns of the atmospheric circulation over the southern hemisphere and south America", *Meteorology and Atmospheric Physics*, 69: 179-193.
14. Changnon S.A., (1999), "Record flood-producing rainstorms of 17-18 July 1996 in the Chicago metropolitan area. Part III: Impacts and responses to the flash flooding", *Journal of Applied Meteorology*, 38: 273-280.
15. <http://www.esrl.noaa.gov/>
16. Esteban P. Jones F.D. Martin-Vide J. Mases M., (2005), "Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andora, Pyrenees", *International Journal of Climatology*, 25: 319-329.
17. Gong X. and Richman M.B., (1995), "On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North American east of the Rockies", *Journal of Climate*, 8: 897-931.
18. Haylock M. and Nicholls N., (2000) "Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998", *International Journal of Climatology*, 20: 1533-1541.
19. Lingis P. Thompson R. and Michaelides S., (2007), "Relationship between the Siberian High and rainfall over Cyprus", *Geophysical research Abstracts*, vol. 9, 04992, 2007. Eropcan.
20. Lyman R.E. Schroeder T.A. and Barnes G.M., (2005), "The heavy rain event of 29 October 2000 in Hana, Maui", *Weather and Forecasting*, 20: 394-414.
21. Matlik O. and Post P., (2008), "Synoptic weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961-2005/Sunoptilised iltatuubid, mis pohjustasid ekstreemsademeid Eestis aastatel 1961-2005.", *Estonian Journal of Engineering*, 14: 195 - 208.

22. Morabito M. Crisci A. Grifoni D. Orlandini S. Cecchi L. Bacci L. Modesti P.A. Gensini G.F. and Maracchi G., (2006), "winter air-mass-based synoptic climatologically approach and hospital admissions for myocardial infarction in Florence, Italy", Environmental Research, 102: 52 -60.
23. Rosenberg N.J. and Myers R.E., (1962), "The nature of growing season frost in Nebraska", Monthly Weather Review, 90: 471-479.
24. Salinger M.J. and Griffiths G.M., (2001), "Trends in New Zealand daily Temperature and rainfall extremes", International Journal of Climatology, 21: 1437-1452.
25. Shen S., (2003), "Global warming science and policy: progress 2002-2003", Proceeding of 14th Global warming International conference and expo (24-30 may, Boston. USA), 7-18.
26. Underwood J. and Schultz M.D., (2004), "Patterns of cloud to-ground lightning and convective rainfall associated with post wild fire flash floods and debris flows in complex terrain of the western United States", Journal of hydrometeorology, 5: 989-1003.
27. Yu Ma K. and Bosart L.F., (1987), "A synoptic overview of a heavy rain even in southern China", Weather and Forecasting, 2: 89-112.

