



مجید رضایی بنفشه^۱
سعید جهانبخش^۲
اسماعیل حقیقی^{۳*}

بررسی الگوهای همیدی ریزش برف در کرمانشاه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۴

چکیده

در این پژوهش مهم‌ترین الگوهای همیدی مؤثر بر بارش برف با رویکرد محیطی به گردشی در ایستگاه کرمانشاه در غرب کشور مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور ابتدا داده‌های روزانه ایستگاه برف‌سنجی کرمانشاه از تاریخ ژانویه ۱۹۵۱ تا تاریخ دسامبر ۲۰۰۴ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. همچنین برای شناسایی الگوهای جوی، داده‌های میانگین روزانه فشار و دمای تراز دریا و داده‌های میانگین روزانه فشار و دمای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از سری داده‌های بازکاوی شده‌ی مرکز پیش‌بینی‌های محیطی ایالات متحده آمریکا NCEP/NCAR در همان تاریخ برداشت گردید و با تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار و دما، الگوهای جوی طبقه‌بندی گردیدند. سپس با تحلیل نقشه‌های کل روزها تعداد خوشه‌ها تعیین گردید، به طوری که ۳ خوشه به بهترین نحو الگوهای بارش برف را در منطقه توجیه کرد. در نهایت برای شناسایی مهم‌ترین سامانه‌ها، الگوهای ترکیبی فشار و دمای تراز دریا و ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هر خوشه ترسیم گردید و مبنای واکاوی این پژوهش واقع گردید. نتایج نشان داد که بارش برف در غرب ایران در اثر ورود سامانه‌های مختلف دور و نزدیک به این منطقه شکل می‌گیرد، که عبارتند از؛ ۱- شکل‌گیری و تقویت پرفشار اروپایی در شمال غربی ایران ۲- قرارگیری منطقه در زیر ناوه مدیترانه ۳- گسترش تاوه

۱- عضو هیات علمی دانشگاه تبریز، استاد گروه آب‌وهواشناسی.

۲- عضو هیات علمی دانشگاه تبریز، استاد گروه آب‌وهواشناسی.

۳* - دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول).

قطبی به سمت عرض‌های جنوبی ۴- تقویت و گسترش پرفشار سیبری و تبت به طرف شمال شرق و شرق ایران ۵- گسترش و نفوذ زبان‌های کم‌فشار سودان به سمت نواحی غربی ایران. به طوری که بارش‌های برف ناشی از این الگوها را می‌توان در ۳ خوشه؛ ۱- بارش برف کم ۲- بارش برف متوسط ۳- بارش برف سنگین قرار داد. زمانی که این سامانه‌ها از شدت و گسترش کم‌تری برخوردار هستند شاهد بارش برف کم و پراکنده و زمانی که تقویت می‌شوند شاهد بارش برف متوسط و زمانی که در اوج فعالیت خود باشند بارش‌های برف سنگین در منطقه مورد مطالعه رخ می‌دهد.

کلید واژه‌ها: رویکرد محیطی به گردشی، تحلیل خوشه‌ای، پرفشار اروپایی، ناوه مدیترانه، تاوه قطبی، بارش برف، کرمانشاه.

مقدمه

ایران سرزمین کم آبی است که در عرض‌های جنب حاره و میانی و منطقه گرم و خشک قرار گرفته است و بارش برف به‌ویژه در مناطق کوهستانی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آبی جهت ذخیره آب برای فصول گرم سال محسوب می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده، حدود ۶۰ درصد از آب‌های سطحی و ۵۷ درصد از آب‌های زیرزمینی کشور از ذوب برف تغذیه می‌شود (مشایخی، ۱۳۶۹). در این پژوهش سعی شده است ویژگی‌های الگوهای گردشی جو هنگام ریزش برف در ایستگاه کرمانشاه شناسایی گردد. درباره‌ی مهم‌ترین توده‌ها و الگوهای گردشی جو مؤثر بر بارش برف در جهان به‌طور فراوان مطالعه شده و نتایج گوناگونی درباره‌ی الگوهای گردشی این بارش‌ها توسط پژوهشگران حاصل شده است. روش‌شناسی این پژوهش‌ها نیز به تعداد کارهای انجام گرفته متعدد است. تحقیقاتی که در ایران در زمینه‌ی بارش برف به عمل آمده است بیش‌تر در زمینه‌ی برآورد حجم ذخایر برفی و پهنه‌بندی پوشش برف به‌ویژه با استفاده از سنجش از دور می‌باشد و در مورد تحقیقات همدیدی آن مطالعات کمی صورت گرفته است. تحلیل مؤلفه‌های مینا و خوشه‌بندی از عمده‌ترین آن‌ها می‌باشند. کافمن و همکاران^۴ (۱۹۹۰)، مبان^۵ (۱۶۸) طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. جین و همکاران^۶ (۲۰۰۰) تغییرپذیری غیرفصلی میانگین فشار تراز دریا و بارش اروپا را با استفاده از تحلیل مؤلفه مینا مطالعه نمودند، آن‌ها دریافتند که نوسانات اقیانوس اطلس شمالی نقش مهمی در تغییرپذیری غیرفصلی بارش‌ها داشته ولی این تحلیل مهم‌ترین بسامد تغییرپذیری ریزش بارش‌ها در اروپا نبوده، در واقع مهم‌ترین عامل تغییر فشار تراز دریا تأثیرگذار بر روی بارش‌های اروپا را تغییرپذیری الگوهای دریای شمال دانسته‌اند. استنلی و همکاران^۶ (۲۰۰۵: ۱۱۴۱) در بررسی توزیع زمانی و مکانی بارش برف در ایالات‌متحده به این نتیجه رسیدند که این الگوها نوسانات گسترده‌ای را

4- Kaufman

5- Jean

6- Stanley

داشته‌اند. استبان و همکاران^۷ (۲۰۰۵: ۳۱۹) در مطالعه الگوهای گردشی جو در روزهای ریزش برف سنگین در آندورا دریافتند که هفت الگو وجود دارد که در بیش‌تر آن‌ها مؤلفه باد اقیانوسی (اطلس) با یک همرفت مدیترانه‌ای همراه با هوای سرد قاره‌ای هم‌زمان است که می‌تواند سبب ریزش برف سنگین شود. کیو سان لیم و همکاران^۸ (۲۰۰۵) در پژوهشی در مورد رخداد برف سنگین ایالت هونام^۹ کره جنوبی در دسامبر ۲۰۰۵ دریافتند که سازوکار ایجاد کننده برف سنگین و غیرعادی به واسطه همزمانی دماهای بالای سطح آب دریای زرد با دمای ۴ الی ۶ درجه کلونین بالاتر از میانگین درازمدت و نیز وجود سامانه پرفشار سرد قاره‌ای می‌باشد. جان و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۷) به تجزیه و تحلیل چگونگی انباشت برف در کوه‌های پیرنه فرانسه در ارتباط با الگوهای گردشی بزرگ مقیاس پرداختند و روند منفی قابل توجهی را در ارتباط با انباشت برف در طول نیمه دوم قرن بیستم نشان دادند. همچنین نشان دادند که در فاز مثبت NAO^{۱۱} شاهد کاهش میزان بارش برف در مناطق مذکور می‌باشیم. جان آلبرت لویز^{۱۲} (۲۰۰۸: ۱) روند بارش‌های زمستانی جزیره‌ی ایبری را، برای شناسایی ارتباط الگوهای گردشی با شاخص‌های پیوند از دور داده‌های فشار تراز دریا با استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌ی مبنا به‌کار گرفتند. نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقدار افزایش فشار، شامل پرفشار روی مرکز اروپاست که این پرفشار با فاز مثبت AO^{۱۳} و NAO و با فاز منفی ENSO^{۱۴} همراه بوده است. چانگنون و همکاران^{۱۵} (۲۰۰۸: ۳۱۹۳) در بررسی ۲۴۱ طوفان برف در شرق و شمال‌شرق ایالات متحده در دوره زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ سه مسیر اولیه را برای این طوفان‌ها مورد شناسایی قرار دادند؛ اول از سمت بادپناه شرق و شمال‌شرق کوه‌های راکی به سمت دریاچه‌های پنج‌گانه، دوم از حوضه‌ی پایین رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی به سمت دریاچه‌های پنج‌گانه و سوم نوار ساحلی اقیانوس اطلس، که در بیش‌تر از ۶۷٪ طوفان‌های برف فشار سطح دریا در محدوده‌ی ۹۸۰ تا ۹۹۹ هکتوپاسکال بوده است. جیان کی سان و همکاران^{۱۶} (۲۰۱۰: ۱۱۵) ویژگی‌های فضایی و زمانی حوادث بارش برف شدید در چین و تغییرات آن‌ها را در طول دوره ۱۹۶۲-۲۰۰۰ مورد بررسی قرار داده‌اند. تجزیه و تحلیل روند بارش‌ها نشان می‌دهد که در ۳۹ سال گذشته، یک روند کاهشی بارش در شرق چین و روند روبه‌رشد در سین‌کیانگ در شمال‌غربی چین و فلات تبت شرقی وجود داشته است. همچنین خروجی مدل‌های هواشناسی هم نشان می‌دهد که در قرن ۲۱ یک روند کاهشی را در فراوانی روزهای برفی در نواحی جنوب و در نواحی شمالی ابتدا افزایش و سپس کاهش را مشاهده خواهیم کرد. ریچارد و

7- Esteban

8- Que-san-lim

9- Hu-num

10- John

11- North Atlantic Oscillation

12- John Albert Lopez

13- Arctic Oscillation

14- Elnino-Southern Oscillation

15- David Changnon

16- Jian-ki-sun

همکاران^{۱۷} (۲۰۱۲) به بررسی وقوع بارش زود هنگام برف در شمال شرقی چین پرداخته و عنوان کرده‌اند که عامل این رویداد قرارگیری یک ناوه عمیق با ناهنجاری ۵- ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه مورد مطالعه بوده که باعث نفوذ هوای سرد شمالی بر روی شمال شرقی چین و مغولستان شده است. آندرس مرینو و همکاران^{۱۸} (۲۰۱۴: ۱۴) کاهش در بارش برف منسوب به اثرات گرم شدن کره‌ی زمین را با تجزیه و تحلیل تغییرات الگوهای سینوپتیکی به روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (PCA) و تکنیک‌های خوشه‌ای در شبه جزیره‌ی ایبری (۱۹۶۰-۲۰۱۱) مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که روند منفی در تعداد روزهای برفی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود دارد. علیجانی و حیدری (۱۳۷۸: ۴۷) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای سه رژیم بارش اصلی برای ایران شناسایی کردند که نتایج این بررسی نشان داد که توزیع زمانی بارش در ایران با عرض جغرافیایی ارتباط دارد. مفیدی (۱۳۷۹) در بررسی سینوپتیکی نقش دریای سیاه بر بارش ایران نتیجه گرفت که بیش‌ترین همبستگی بین ناوه در منطقه دریای سیاه، به‌ویژه نیمه شرقی دریا و بارش ایران در غرب تا شمال غرب کشور مشاهده می‌شود. علیجانی (۱۳۸۱: ۲۲۵) با استفاده از روش‌های کمی سعی کرده است الگوهای فشار منطقه خاورمیانه را مطالعه کند و پس از شناسایی آن‌ها، اثر آن‌ها را در توزیع بارش و دمای ایران بررسی نماید. فرید مجتهدی و همکاران (۱۳۸۵: ۱۳۳) به واکاوی هم‌مدیدی رخداد بارش برف سنگین فوریه ۲۰۰۵ استان گیلان پرداختند و نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد که استقرار سامانه پرفشار شبه بندالی در شمال شرق دریای خزر و حرکت غرب سوی آن به اروپای شرقی و همزمان با حرکت شرق سوی انتهای ناوه اسکاندیناوی-شرق مدیترانه و قرارگیری آن به صورت ناوه مورب در شمال ایران سبب رخداد باران‌های زیاد در خزر و در نهایت با تضعیف سامانه شبه بندالی زوجی و حرکت شرق سوی آن سبب نفوذ پربند تاوه پیراقطبی به منطقه و ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر و اسکاندیناوی بر روی خزر به‌ویژه در سواحل جنوب غربی آن در گیلان و در نهایت ریزش سنگین برف گردیده است. شکوهی جم (۱۳۸۵: ۱۵۰) در تحلیل هم‌مدیدی بارش برف‌های سنگین شمال غرب ایران به وجود ناوه ژرف بر پشته منطقه در تراز میانی و ردسپهر اشاره می‌کند که در اثر گسترش سامانه بندالی بر روی کوه‌های اورال، همراه با نفوذ شدید و شمال سوی زبانه کم‌فشار سودانی در تراز زیرین و برقراری شیو شدید پربندها به صورت همگرا ایجاد می‌شود. به نحوی که تقابل هوای بسیار سرد عرض‌های بالا با هوای گرم عرض‌های جنب استوایی سبب ریزش برف می‌گردد. علیزاده و همکاران (۱۳۹۰: ۲۴) طبقه‌بندی الگوهای گردشی مؤثر بر آب‌وهوای ایران در تراز دریا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که مهم‌ترین الگوهای تراز دریا تأثیرگذار بر روی ایران شامل الگوهای سرد بارش مند، سرد کم‌بارش، بسیار سرد پربارش، معتدل بارش مند و گرم بسیار کم‌بارش می‌باشد. رضایی و قبادی (۲۰۱۲: ۴۷۲۲) در تجزیه و تحلیل سینوپتیکی برف در دشت گیلان نشان دادند که نمونه منجر شده به بارش برف در این منطقه تحت تأثیر کم فشار قطبی و تسلط کم‌فشار قطبی که هوای سرد را به این منطقه توسط بادهای غربی وارد کرده و باعث ایجاد آب‌وهوای

17- Richard

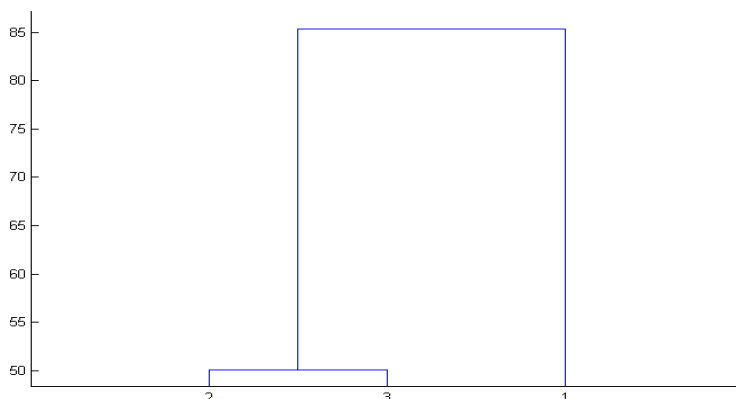
18- Andres Merino

خیلی سرد در یک شکل موجی شده است. تراف حاصل از این سیستم با محور شمالی-جنوبی به مدت ۳ روز در منطقه مستقر بوده و رطوبت نیز عمدتاً از دریای خزر و سپس دریای مدیترانه و سیاه تأمین شده است.

پیش‌بینی به موقع بارش برف و اقدامات مؤثر در این زمینه می‌تواند تا حدود زیادی خطرات ناشی از آن را کاهش دهد. از این رو مسئولان حمل‌ونقل شهری، کشاورزان و ... باید آمادگی لازم را برای پیشگیری از بروز خطر و واکنش سریع در برابر آن داشته باشند. سیلاب‌های حاصل از ذوب برف در بهار که با بارندگی بهاره همراه است باعث فرسایش خاک و ایجاد خساراتی به کشاورزان می‌شود. یخبندان‌های بعد از ریزش برف باعث لغزندگی سطح جاده‌ها و تصادفات جاده‌ای می‌شود که همه ساله جان بسیاری از افراد را می‌گیرد (حیدری، ۱۳۸۴: ۷۷).

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش که با رویکرد محیطی به گردشی انجام پذیرفت، به منظور شناخت و بررسی سامانه‌های همدیدی مؤثر بر بارش برف در منطقه مورد مطالعه ابتدا داده‌های روزانه ایستگاه برف‌سنجی کرمانشاه در منطقه غرب کشور از سازمان هواشناسی کشور در تاریخ ۱۹۵۱/۱/۱ تا تاریخ ۲۰۰۴/۱۲/۳۰ برداشت گردید. از آنجایی که مبنای این پژوهش شناسایی تمامی الگوهای موجد ریزش برف در منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری مورد نظر بوده است، از این رو به منظور شناسایی سامانه‌های همراه با روزهای برفی یک شرط در نظر گرفته شد، این که؛ در طی روزهای برفی، بارش برف در ایستگاه مورد مطالعه، حداقل یک سانتی‌متر باشد. بر این اساس ۱۸۸ روز برفی به دست آمد که در ایستگاه مورد مطالعه دارای شرایط بیان شده بودند. در مرحله دوم، بعد از شناخت روزهای همراه با بارش برف، داده‌های میانگین روزانه فشار و دمای تراز دریا^{۱۹} و ارتفاع و دمای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از سری داده‌های بازکاوی شده NCEP/NCAR در همان روزها در محدوده ۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی و صفر تا ۱۰۰ درجه طول شرقی از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار (Grads) استخراج گردید (از دمای تراز دریا و دمای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال به طور جداگانه به منظور شناسایی خصوصیات دمایی الگوهای موجد ریزش برف در منطقه استفاده شده است). در مرحله سوم، برای شناخت الگوهای گردشی موجد ریزش برف، از تکنیک تحلیل خوشه‌ای با روش ادغام وارد از طریق برنامه‌نویسی در نرم‌افزار (Matlab) بر روی داده‌های فشار و دما استفاده شد. به گونه‌ای که در ابتدا فواصل بین نقطه‌ای داده‌ها از روش اقلیدسی محاسبه شد و سپس داده‌ها گروه‌بندی شدند. همچنین برای محاسبه تعداد خوشه‌ها از روش‌های درون‌سو و برون‌سو استفاده گردید و با تحلیل نقشه‌های کل روزها تعداد ۳ خوشه تعیین گردید (شکل ۱). در نهایت برای شناسایی مهم‌ترین سامانه‌ها، الگوی ترکیبی فشار تراز دریا با دما و همچنین الگوی ترکیبی ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال با دما با استفاده از نرم‌افزار (Surfer) ترسیم گردید و مبنای واکاوی این پژوهش واقع گردید.



شکل ۱: دارنمای خوشه‌های میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

یافته‌ها و بحث

تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها نشان داد که ۳ خوشه می‌تواند به بهترین نحو الگوهای موجد برف در منطقه را شناسایی نماید. ویژگی‌های هر یک از این خوشه‌ها به همراه درصد فراوانی رخداد آن‌ها در (جدول ۱) و همچنین درصد فراوانی رخداد ماهانه هر یک از خوشه‌ها در (جدول ۲) نمایان شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های طبقه‌بندی روزهای برفی

خوشه	تعداد روز	درصد رخداد	میانگین بارش (سانتی‌متر)
۱	۱۶۴	۸۷/۲	۱/۸
۲	۲۱	۱۱/۲	۱۲/۱
۳	۳	۱/۶	۳۷

جدول ۲- درصد فراوانی رخداد ماهانه خوشه‌ها

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
خوشه ۱	۱/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۶	۹/۷	۳۵/۳	۴۰/۲	۱۲/۸
خوشه ۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴/۸	۳۸	۵۷/۲	۰
خوشه ۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۶/۶	۳۳/۳

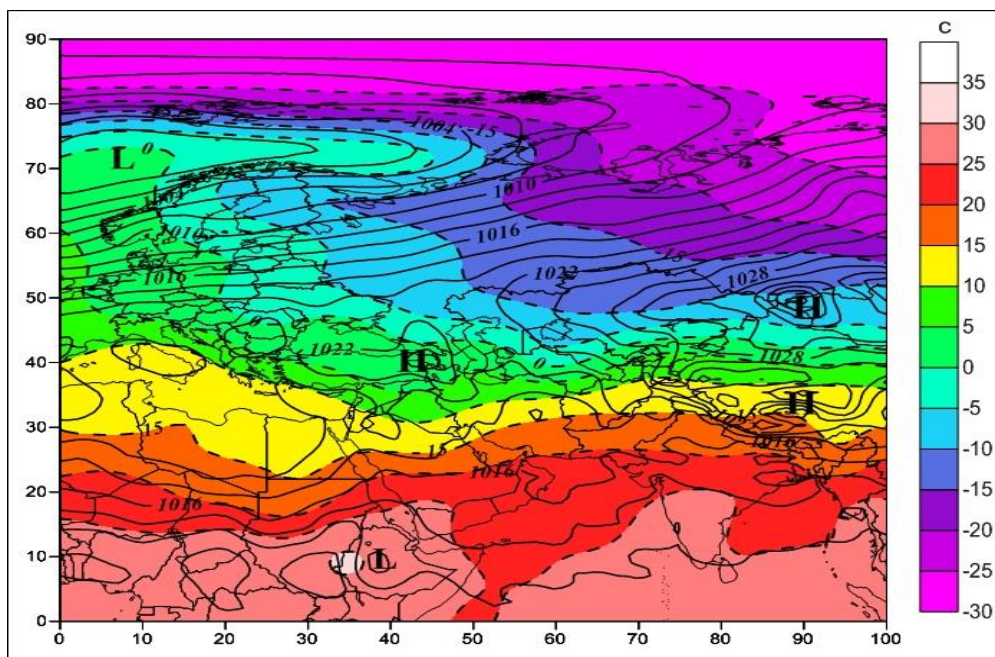
نتیجه گیری

نتایج حاصل از الگوهای ترکیبی خوشه اول

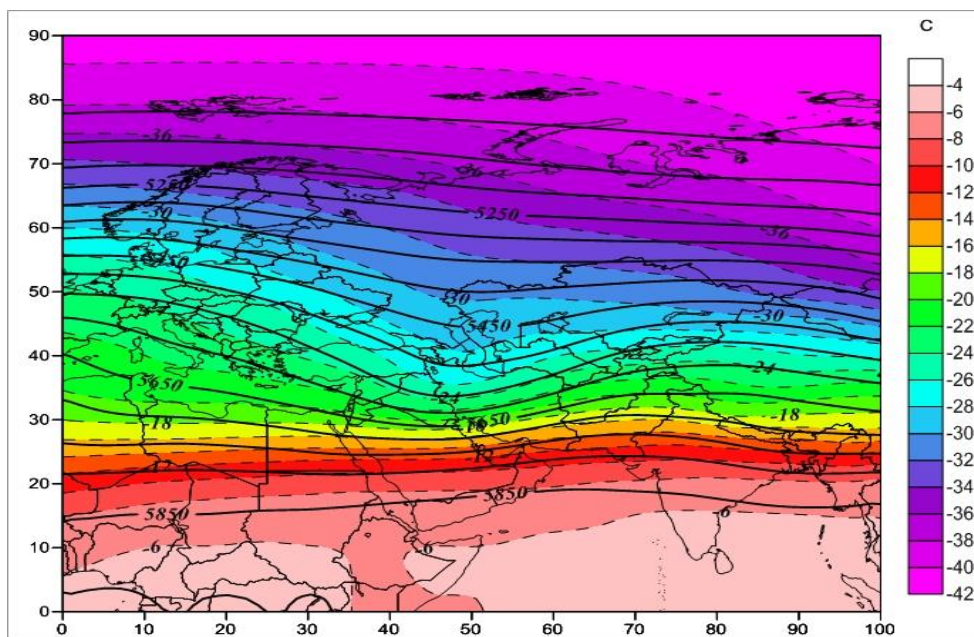
۱- الگوی ترکیبی فشار و دمای تراز دریا؛ همان‌طور که در (جدول ۱) دیده می‌شود این خوشه شامل ۱۶۴ رخداد می‌باشد که در مجموع ۸۷/۲ درصد کل رخدادهای را تشکیل داده است. همچنین این خوشه پررخدادترین خوشه برفی در منطقه بوده است. میانگین بارش برف در این خوشه ۱/۸ سانتی‌متر است که کم‌ترین میزان بارش برف را در میان ۳ خوشه مورد مطالعه دارا می‌باشد. همان‌طور که در (شکل ۲) مشاهده می‌شود، دو الگوی پرفشار در شمال‌شرق و شمال‌غرب ایران مشاهده می‌شود که اولی پرفشار سیبری در عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و طول شرقی ۹۰ درجه با فشار مرکزی ۱۰۳۸ هکتوپاسکال و دومی پرفشار دریای سیاه در عرض ۴۰ درجه و طول ۴۵ درجه شرقی با فشار مرکزی ۱۰۲۴ هکتوپاسکال می‌باشد. خط هم‌فشار ۱۰۲۲ هکتوپاسکالی مرکز پرفشار سیبری تا نواحی شمال شرقی ایران و شرق دریای خزر نفوذ کرده است. همچنین دو منحنی هم‌فشار بسته با فشار مرکزی ۱۰۲۴ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه، ترکیه و شمال‌غرب ایران شکل گرفته است که زبان‌های آن تا غرب ایران نفوذ کرده است و با حرکت و اچرخندی خود هوای سرد را به این منطقه وارد می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود منحنی دمای ۶ درجه سلسیوس بر روی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. همچنین مرکز کم‌فشار سودان بر روی کشور سودان با فشار مرکزی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال قرار گرفته است و زبان‌های آن تا شمال دریای سرخ و جنوب عراق کشیده شده است. در این شرایط با ورود زبان‌های پرفشار در شمال‌شرق و به خصوص شمال‌غرب منجر به شکل‌گیری یک مرکز همگرایی بر روی ایران شده است. از طرف دیگر ریزش هوای سرد بر روی دریای سرخ و مرکز کم‌فشار سودان کم‌فشار مذکور را ناپایدار و باعث حرکت این کم‌فشار به سمت شمال و متعاقب آن شمال‌شرق تحت تأثیر نیروی کوریولیس و شیو فشار کرده است. که حرکت مرکز همگرایی دریای سرخ به سمت شمال شرق در تقابل با زبان‌های پرفشاری که باعث ریزش هوای سرد به منطقه مورد نظر شده است، باعث جبهه‌زایی در این منطقه شده است. به‌نظر می‌رسد که در این الگو تقابل هوای سرد شمالی ناشی از نفوذ زبان‌های پرفشار دریای سیاه و پرفشار سیبری به این منطقه و مرکز همگرایی دریای سرخ گرادیان شدیدی به وجود آورده است که اصلی‌ترین عامل رخداد بارش برف در منطقه‌ی موردنظر بوده است.

۱- الگوی ترکیبی ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ بررسی الگوی ترکیبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی این خوشه نشان می‌دهد (شکل ۳)، که منطقه مورد مطالعه در قسمت جلو ناوه بلند مدیترانه قرار گرفته است و منطقه تاوایی مثبت جلوی ناوه زمینه را برای صعود هوا فراهم کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ناوه مدیترانه تا مدار ۲۵ درجه شمالی کشیده شده است که اختلاف ارتفاع آن ۲۵۰ ژئوپتانسیل متر است (جدول ۳). همچنین مرکز پرارتفاعی بر روی اروپا قرار دارد که باعث ریزش هوای سرد و مرطوب به روی غرب ناوه و منطقه مورد مطالعه شده است و شرایط را برای ابرناکی، بارش‌های جامد و سرما و یخبندان به‌وجود آورده است. به‌طوری که دما را بر

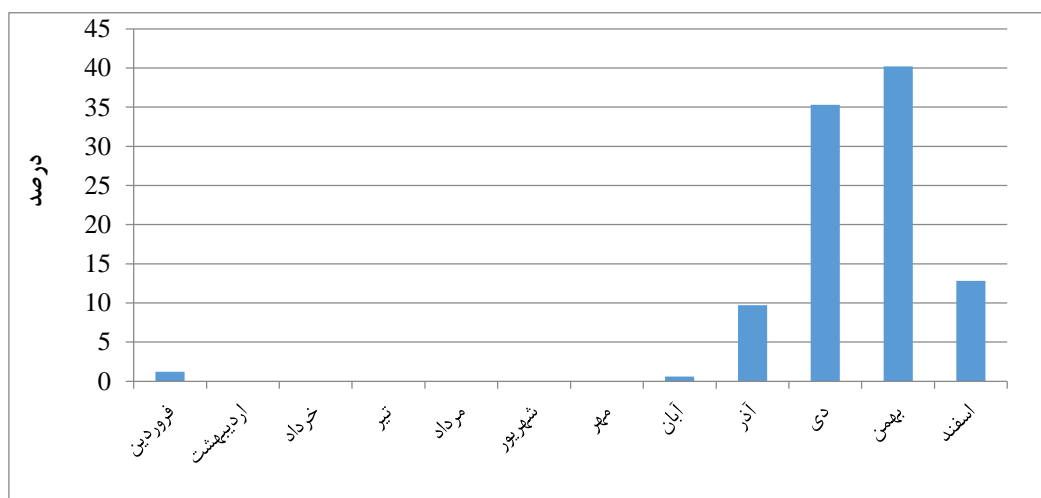
روی منطقه مورد مطالعه تا ۲۲- درجه سلسیوس کاهش داده است. حداکثر بارش برف ایستگاه کرمانشاه هنگام استقرار این الگو ۷ سانتی‌متر بوده است (جدول ۱). همچنین (شکل ۴) درصد فراوانی رخداد ماهانه‌ی این الگو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اوج فعالیت این الگوی گردشی در زمستان و در ماه‌های بهمن و دی می‌باشد.



شکل ۲: الگوی ترکیبی دما و فشار تراز دریا خوشه اول



شکل ۳: الگوی ترکیبی دما و ارتفاع تراز ۵۰۰ خوشه اول



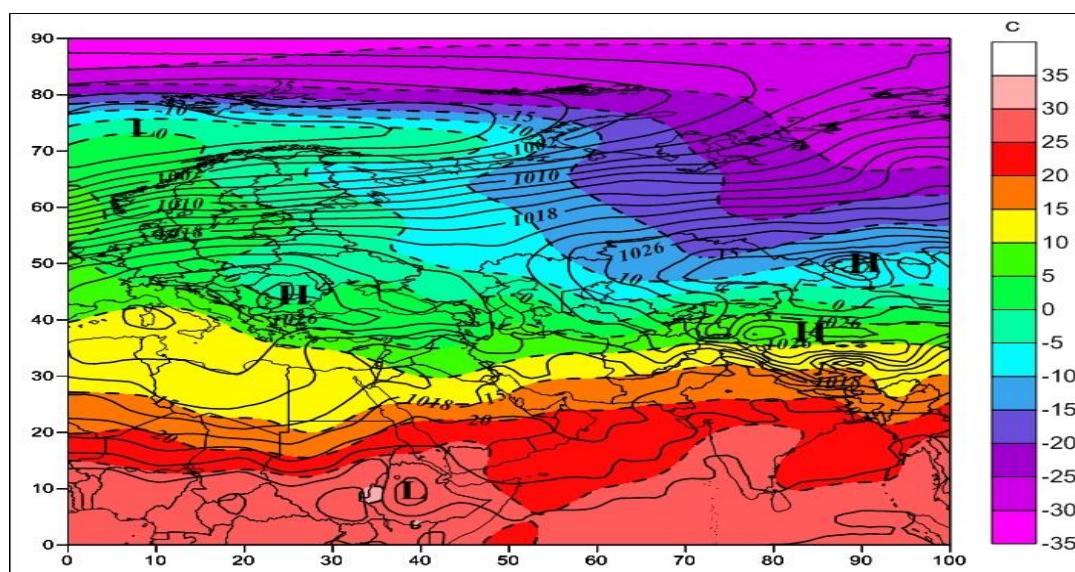
شکل ۴: درصد فراوانی ماهانه رخداد الگوی خوشه اول

- نتایج حاصل از الگوهای ترکیبی خوشه دوم

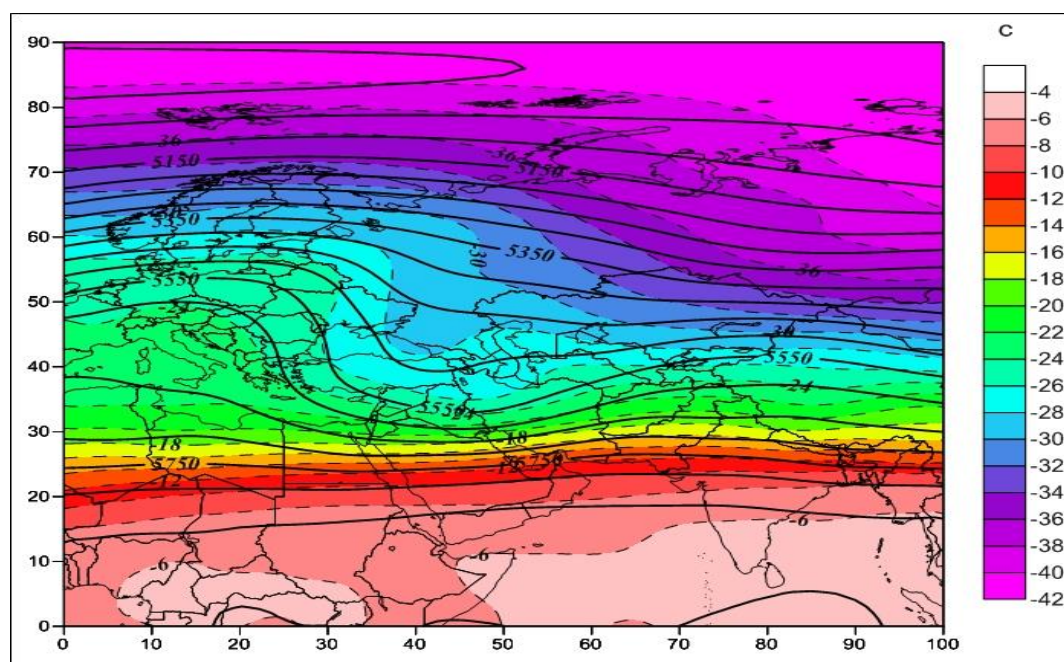
۱- الگوی ترکیبی فشار و دمای تراز دریا؛ این خوشه شامل ۲۱ رخداد می‌باشد که در مجموع ۱۱/۲ درصد کل رخدادهای را تشکیل داده است. میانگین بارش برف در این خوشه ۱۲/۱ سانتی‌متر است. همان‌طور که در (شکل ۵) مشاهده می‌شود در این الگو نیز زبانه‌ی پرفشار سیبری تا شمال‌شرق ایران و شرق دریای خزر نفوذ کرده است و پرفشار دریای سیاه که بر روی شمال‌غرب ایران قرار گرفته قوی‌تر شده و دو سلول هم‌فشار بسته با فشار مرکزی ۱۰۲۸ هکتوپاسکال را بر روی شمال دریای مدیترانه، جنوب اروپا، دریای سیاه و ترکیه تشکیل داده است و زبانه‌های آن نیز با نفوذ به شمال‌غربی ایران تا منطقه غرب و منطقه‌ی مورد مطالعه کشیده شده است و با حرکت و اچرخندی خود باعث ریزش هوای سرد بر روی منطقه مذکور، شمال آفریقا و مرکز همگرایی دریای سرخ شده است. در این زمان کم‌فشار ایسلند در اوج فعالیت خود با کم‌فشار قطبی ادغام شده و هسته ۹۹۶ هکتوپاسکالی آن بر روی مدار ۷۲ درجه شمالی و ۵ درجه طول شرقی قرار گرفته است و ضمن تقویت پرفشارهای مهاجر (پرفشار اروپایی) باعث ریزش هوای سرد به سمت عرض‌های پایین‌تر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود منحنی دمای ۲ درجه سلسیوس بر روی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. بنابراین با تقویت هرچه بیشتر پرفشار اروپایی و ریزش هوای سرد بر روی دریای سیاه، دریای مدیترانه و کم‌فشار سودان و دینامیکی شدن این کم‌فشار و حرکت آن به سمت نواحی شمال و شمال‌شرق باعث افزایش گرادیان فشار و شکل‌گیری میدان جبهه‌زایی و در نهایت ریزش برف بر روی این منطقه شده است.

۲- الگوی ترکیبی ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ آرایش ترکیبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی این خوشه (شکل ۶) نشان‌دهنده عمیق‌تر شدن ناوه شرق مدیترانه نسبت به الگوی اول است عامل ریزش برف نیز همان ناوه شرق مدیترانه می‌باشد که با فرارفت هوای سرد نواحی شمالی اروپا و اسکاندیناوی (عبور منحنی ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر تراز

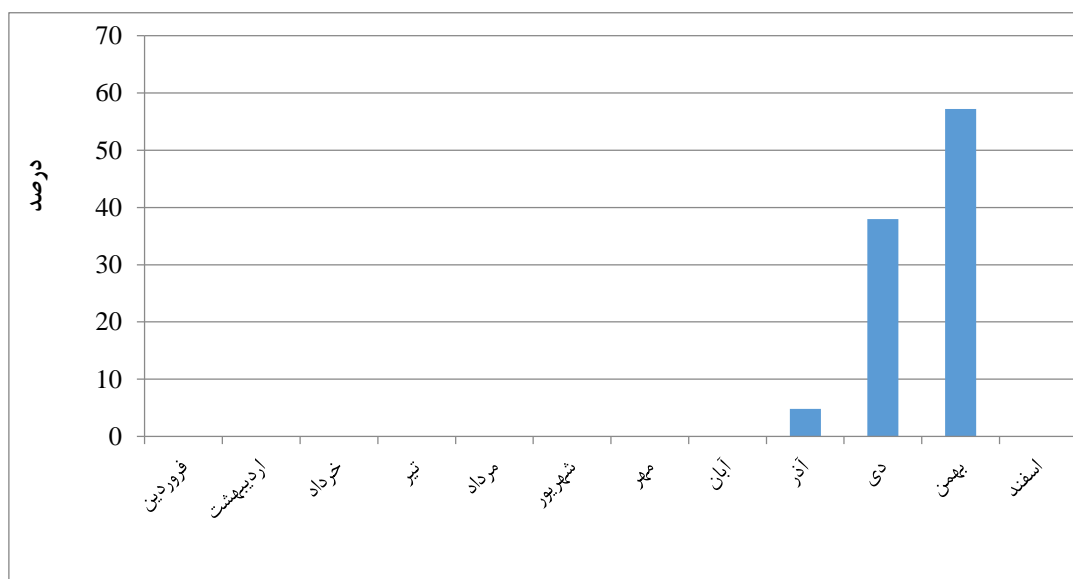
روی نواحی شمالی اروپا و کشیده شدن آن تا روی نواحی غربی ایران و کرمانشاه) و تأمین رطوبت از طریق دریای سیاه و مدیترانه موجب تقویت تاوایی پتانسیل بر روی ناوه شرق مدیترانه شده است. به طوری که دما را تا ۲۶- درجه سلسیوس کاهش داده است. حداکثر بارش برف ایستگاه کرمانشاه هنگام استقرار این الگو ۱۸ سانتی‌متر (جدول ۱) بوده است. (شکل ۷) درصد فراوانی رخداد ماهانه‌ی این الگو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این الگو در ماه آذر شروع شده و در ماه‌های بهمن و دی به اوج خود می‌رسد.



شکل ۵: الگوی ترکیبی دما و فشار تراز دریا خوشه دوم



شکل ۶: الگوی ترکیبی دما و ارتفاع تراز ۵۰۰ خوشه دوم



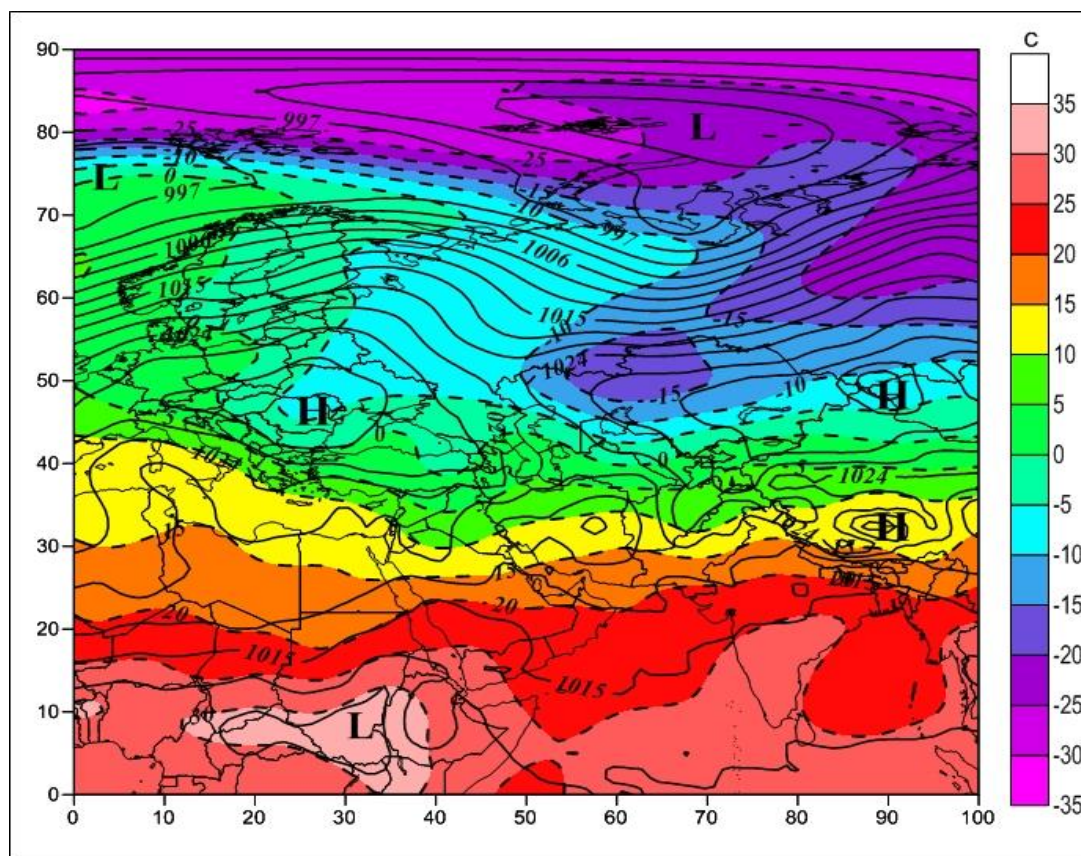
شکل ۷: درصد فراوانی ماهانه رخداد الگوی خوشه دوم

- نتایج حاصل از الگوهای ترکیبی خوشه سوم

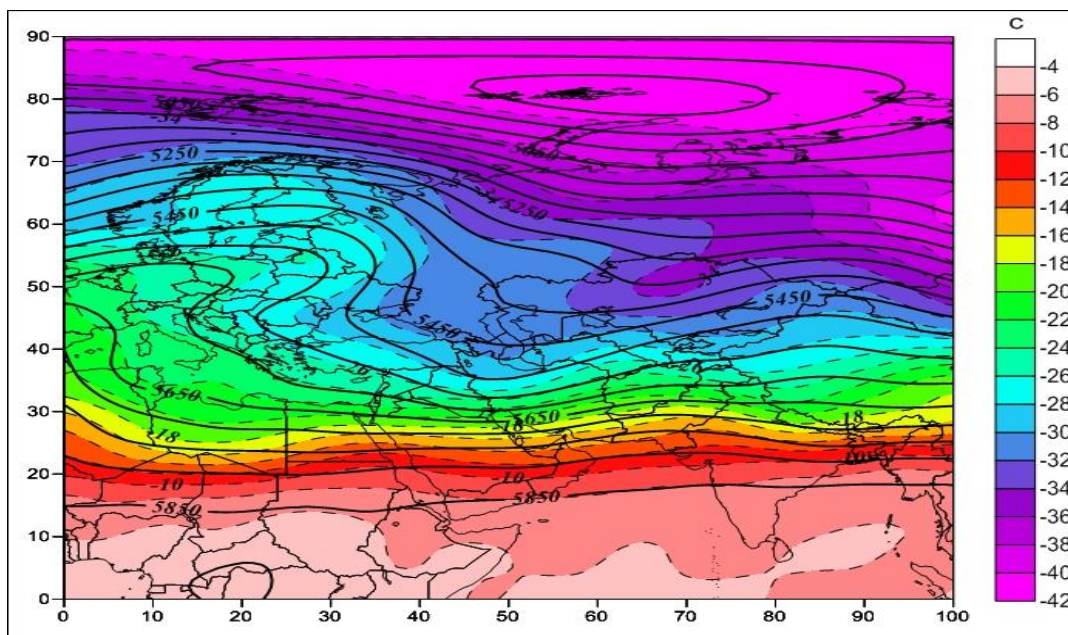
۱- الگوی ترکیبی فشار و دمای تراز دریا؛ این خوشه شامل ۳ رخداد می‌باشد که در مجموع $1/6$ درصد کل رخدادهای را تشکیل داده است به طوری که پربارش‌ترین الگوی ایستگاه موردنظر در دوره مطالعاتی با میانگین بارش برف ۳۷ سانتی‌متر بوده است. همان‌طور که در (شکل ۸) مشاهده می‌شود، در این الگو پرفشار سیبری و پرفشار تبت تقویت شده و زبانه‌های آن‌ها سراسر نواحی شمال‌شرقی و شرق ایران را در بر گرفته است. پرفشار اروپایی ضمن گسترش، به سمت نواحی مرکزی، شمالی و غربی اروپا کشیده شده و ۳ منحنی بسته را بر روی اروپا با فشار مرکزی ۱۰۳۲ هکتوپاسکال شکل داده است و زبانه‌های آن تمام نواحی جنوب اروپا، دریای مدیترانه و شمال آفریقا و همچنین شمال‌غرب و غرب ایران را در بر گرفته است و با حرکت واچرخندی عظیمی که ایجاد کرده، باعث ریزش هوای سرد بر روی شمال‌غربی ایران، دریای مدیترانه شمال آفریقا و دریای سرخ شده است. همچنین تاوه قطبی در موقعیت ۸۴ درجه عرض شمالی و ۷۰ درجه طول شرقی در اوج فعالیت خود قرار دارد، به طوری که فشار هسته مرکزی آن به ۹۹۰ هکتوپاسکال کاهش یافته است و با جهت شمال‌شرقی-جنوب‌غربی باعث ریزش هوای بسیار سرد قطبی به سمت عرض‌های پایین‌تر شده است. در نتیجه ریزش هوای سرد توسط این دو سامانه دمای ایران به شدت افت کرده و همان‌طور که در (شکل ۸) دیده می‌شود، منحنی دمای صفر درجه سلسیوس بر روی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. همچنین مرکز کم‌فشاری با دو سلول بسته در موقعیت ۳۳ درجه عرض شمالی و ۵۸ درجه طول شرقی در نواحی مرکزی ایران شکل گرفته است که دلیل آن قرارگیری ایران بین مراکز پرفشار سیبری و تبت در شمال‌شرق و شرق و پرفشار اروپایی در شمال‌غرب می‌باشد از آنجایی که این مراکز پرفشار با حرکت

واچرخندی خود (آنتی‌سیکلونی) سبب ریزش هوای سرد از دو طرف بر روی ایران می‌شوند از این رو باعث شکل‌گیری مرکز کم‌فشار دینامیکی (همگرایی) بر روی ایران شده است. این مرکز کم‌فشار با حرکت چرخندی خود شرایط را برای ورود سامانه‌های سودانی و مدیترانه‌ای فراهم کرده است. با ورود این سامانه‌ها که رطوبت کافی را با خود به همراه دارند، ضمن تقویت چرخند به دلیل تضاد دمایی باعث افزایش گرادیان فشار و جبهه‌زایی بر روی غرب ایران شده و شرایط را برای وقوع بارش‌های سنگین برف فراهم کرده‌اند.

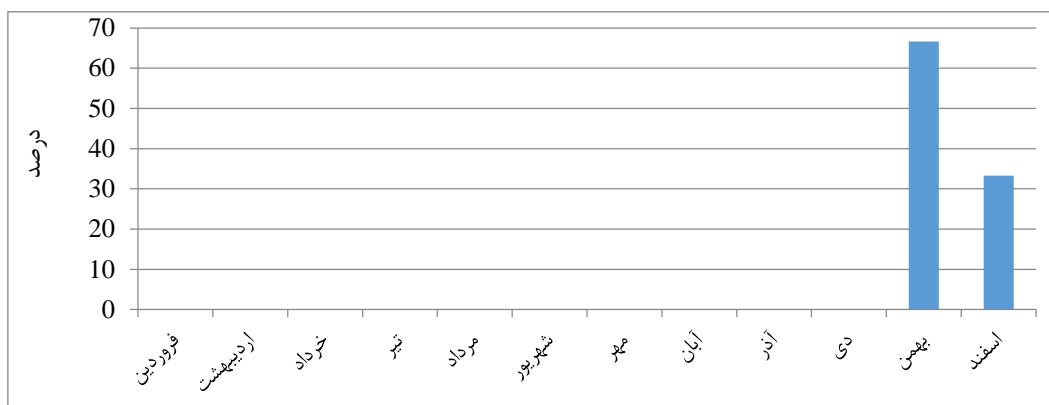
۲- الگوی ترکیبی ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ با مراجعه به الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی این خوشه در شکل ۹ مشخص می‌شود که عامل ریزش برف در این الگو نیز ناوه شرق مدیترانه می‌باشد که به دلیل تقویت تاوه قطبی و کشیده شدن آن به سمت عرض‌های پایین‌تر و در امتداد قرار گرفتن آن با ناوه مدیترانه در جهت شمال‌شرقی-جنوب‌غربی ناوه عمیقی را با اختلاف ارتفاع ۵۰۰ ژئوپتانسیل متر تشکیل داده است (جدول ۳). محور ناوه در ۳۷ درجه عرض جغرافیایی شمالی و درست بر روی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. همچنین پشته روی اروپا نیز تقویت شده و باعث ریزش هوای سرد منطقه اسکاندیناوی به روی غرب ناوه و منطقه مورد مطالعه شده است، به طوری که دما را تا ۲۸- درجه سلسیوس کاهش داده است. حداکثر بارش برف ایستگاه کرمانشاه هنگام استقرار این الگو ۴۵ سانتی‌متر بوده است (جدول ۱). (شکل ۱۰) درصد فراوانی رخداد ماهانه‌ی این الگو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود فراوانی این الگو در فصل زمستان و در ماه‌های بهمن و اسفند قابل مشاهده است.



شکل ۸: الگوی ترکیبی دما و فشار تراز دریا خوشه سوم



شکل ۹: الگوی ترکیبی دما و ارتفاع تراز ۵۰۰ خوشه سوم



شکل ۱۰: درصد فراوانی ماهانه رخداد الگوی خوشه سوم

جدول ۳- مقادیر فشار تراز دریا و ارتفاع سطح ۵۰۰ برای الگوها بر روی منطقه مورد مطالعه

الگوها	فشار تراز دریا بر روی منطقه مورد مطالعه (هکتوپاسکال)	ارتفاع سطح ۵۰۰ بر روی منطقه مورد مطالعه (ژئوپتانسیل متر)	اختلاف ارتفاع یا عمق ناوه در سطح ۵۰۰ (ژئوپتانسیل متر)
الگوی شماره ۱	۱۰۲۰	۵۵۰	۲۵۰
الگوی شماره ۲	۱۰۲۰	۵۵۰	۳۵۰
الگوی شماره ۳	۱۰۱۸	۵۵۰	۵۰۰

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای شناخت و بررسی سامانه‌های همیدی مؤثر بر بارش برف در ایستگاه کرمانشاه از رویکرد محیطی به گردشی استفاده گردید. به طوری که در ابتدا با استفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار فواصل بین نقطه‌ای داده‌ها از روش اقلیدسی محاسبه شد و سپس با روش ادغام وارد داده‌ها گروه‌بندی شدند. همچنین برای محاسبه تعداد خوشه‌ها از روش‌های درون‌سو و برون‌سو استفاده گردید و با تحلیل نقشه‌های کل روزها تعداد خوشه‌ها تعیین گردید. در نهایت برای شناسایی مهم‌ترین سامانه‌ها، الگوهای ترکیبی فشار تراز دریا با دما و ارتفاع تراز ۵۰۰ با دمای هر خوشه ترسیم گردید و مبنای واکاوی این پژوهش واقع گردید. تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار نشان داد که ۳ خوشه می‌تواند به بهترین نحو الگوهای موجد ریزش برف در منطقه را شناسایی نماید. الگوهای ترکیبی فشار تراز دریا با دما و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با دمای خوشه‌ها نشان داد که بارش برف در منطقه مورد مطالعه در اثر ورود سامانه‌های مختلف دور و نزدیک به این منطقه شکل می‌گیرد. به طوری که در بررسی خوشه‌ها می‌توان نتیجه گرفت بارش برف در این منطقه تحت تأثیر سامانه‌های مختلفی است که منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و عبارتند از؛ ۱- شکل‌گیری و تقویت پرفشار اروپایی در شمال‌غربی ایران ۲- قرارگیری منطقه در جلوی ناوه مدیترانه ۳- گسترش تاوه قطبی به سمت عرض‌های جنوبی و قرارگیری منحنی ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه مورد مطالعه ۴- تقویت پرفشار سیبری و تبت در شمال‌شرق و شرق ایران ۵- گسترش و نفوذ زبانه‌های کم‌فشار سودان (با فشار مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال) به سمت نواحی غربی ایران، به طوری که منحنی ۱۰۱۸ هکتوپاسکال این کم‌فشار بر روی منطقه مورد مطالعه قرار بگیرد. آنچه که واضح است در بررسی الگوهای بارش برف در منطقه مورد مطالعه در هر ۳ الگو سامانه‌های مذکور با شدت‌های متفاوت در بارش برف تأثیر داشته‌اند، با این تفاوت که در هر الگو نسبت به الگوی قبل شاهد تقویت و گسترش سامانه‌های مذکور می‌باشیم. که نتیجه آن نیز افزایش بارش برف در هر الگو نسبت به الگوی قبلی خود می‌باشد. به طوری که بارش‌های برف ناشی از این الگوها را می‌توان در ۳ دسته؛ ۱- بارش برف کم ۲- بارش برف متوسط ۳- بارش برف سنگین قرار داد. زمانی که این سامانه‌ها از شدت و گسترش کم‌تری برخوردار هستند، شاهد بارش برف کم و پراکنده و زمانی که تقویت می‌شوند شاهد بارش برف متوسط و زمانی که در اوج فعالیت خود باشند بارش‌های برف سنگینی را در منطقه مورد مطالعه شاهد هستیم. در واقع می‌توان نتیجه گرفت گسترش زبانه‌های کم‌فشار سودانی به سمت شمال سبب شکل‌گیری یک مرکز کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۱۴ هکتوپاسکال بر روی ایران شده است و در صورتی که سامانه‌های پرفشار اروپایی، سیبری و تبت در شرایط حداکثری خود قرار داشته باشند تحت تأثیر حرکت و اچرخندی سامانه‌های مذکور، از هر ۳ طرف هوای سرد وارد ایران می‌شود و باعث شکل‌گیری مرکز همگرایی بر روی ایران می‌شود (شکل ۸)، که باعث ایجاد بارش‌های سنگین برف می‌شود. همچنین سنگین‌ترین بارش‌های برف منطقه مورد نظر زمانی اتفاق افتاده است که پرفشار اروپایی در نهایت شدت و گسترش خود قرار داشته است (جدول ۳) و (شکل ۸) و ناوه مدیترانه در نزدیکی مرزهای ایران یا بر روی منطقه غرب ایران در امتداد تاوه قطبی

قرار می‌گیرد و از نظر طولی امتداد پیدا کرده و ریزش هوای سرد بر روی آن شرایط جو کژفشاری را بر روی منطقه شرق ناوه ایجاد می‌کند به طوری که شدت و مقدار بارش برف دریافتی، تابعی از عمق ناوه (جدول ۳) و چگونگی قرار گرفتن منطقه مورد نظر در ارتباط با ناوه می‌باشد. به طوری که با توجه به (جدول ۳) می‌توان گفت که هرگاه خط هم ارتفاع ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه مورد مطالعه قرار بگیرد شاهد ریزش برف در این منطقه می‌باشیم.

منابع

- جهانبخش، س؛ ذوالفقاری، ح (۱۳۸۱)، «بررسی الگوهای سینوپتیک بارش‌های روزانه در غرب ایران»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۶۳-۶۴، صص ۲۵۸-۲۳۴.
- رشتچی، م (۱۳۷۳)، «معرفی شبکه ایستگاه‌های برف‌سنجی کشور»، *مجموعه مقالات اولین سمینار برف و یخ، گردآورنده داور طالبپور اصل، ارومیه، ناشر تماب، صص ۳۲۸-۳۱۰.*
- شکوهی‌جم، س (۱۳۸۵)، «*تحلیل سینوپتیکی بارش برف سنگین شمال غرب ایران*»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- عادل‌لی، ام (۱۳۸۴)، «*کلیماتولوژی بارش برف در شمال غرب ایران*»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.
- عزیززاده، ت؛ عزیزی، ق؛ روستا، ا (۱۳۹۱)، «واکاوی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو هنگام رخداد بارش‌های فراگیر و غیر فراگیر در ایران»، *فصلنامه علوم انسانی مدرس*، شماره ۴، صص ۲۴-۱.
- علیجانی، ب (۱۳۷۴)، «*آب و هوای ایران*»، تهران، دانشگاه پیام‌نور.
- علیجانی، ب (۱۳۸۱)، «*اقلیم‌شناسی سینوپتیک*»، تهران، انتشارات سمت.
- علیجانی، ب؛ حیدری، ح (۱۳۷۸)، «*طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره*»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۳۷، صص ۵۷-۴۷.
- علیجانی، ب؛ کاویانی، م (۱۳۷۴)، «*مبانی آب و هواشناسی*»، تهران، انتشارات سمت.
- فرید مجتهدی، ن؛ خوش‌اخلاق، ف؛ نیری، م؛ افشارمنش، ح (۱۳۸۵)، «واکاوی همبستگی رخداد بارش برف سنگین فوریه ۲۰۰۵ استان گیلان»، *مجله علوم جغرافیایی*، شماره ۴، صص ۳۰۲-۲۸۱.
- لشکری، ح (۱۳۸۲)، «مکانیزم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۴۶، صص ۱۹-۱.
- محمدی، ب؛ مسعودیان، س (۱۳۸۹)، «*تحلیل همبستگی بارش‌های سنگین در ایران*»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۹، صص ۷۰-۴۷.
- مرادی، ح (۱۳۸۰)، «*تحلیل سینوپتیکی تاوه قطبی و اثرهای آن بر اقلیم ایران*»، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- مسعودیان، س؛ هوشمند، ع (۱۳۸۴)، «*شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای*»، *مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان*، شماره ۱، صص ۱۲-۱.
- موحدانش، ع (۱۳۷۶)، «*مقدمه‌ای بر هیدرولوژی*»، تهران، انتشارات عمیدی.

- Changnon, D., Chad, M., Michael, L., (2008), "Climatology of surface cyclone tracks associated with large central and eastern U.S. Snowstorms", 1950–2000, *Mon. Wea. Rev.*, 136: 3193–3202.
- Esteban, P., (2005), Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra Pyrenees, *Inter. Jour. Climato*, 25: 319-329.
- Harrington, J. A., Jr., R. S., Cervený, d. K., Dewey, F., (1987), "A climatology of mean monthly snowfall for the conterminous United States: Temporal and spatial patterns", *J. Climate Appl. Meteor*, 26: 897–912.
- Jacobeit, J., (2010), "Classifications in climate research", *Physics and Chemistry of the Earth*, 35: 411–421.
- Sun, J Q., Wang, H J., Yuan, W., (2010), "Spatial-temporal features of intense snowfall events in China and their possible change", *Journal of Geophysical*, 115: 115-130.
- Laternser, M., Etchevers, P., (2005), "A snow climatology for the french alps for The Period 1958-2003 ", *Geophysical Research*, 7: 2487-2512.
- López-Moreno, J. I. y., Serrano-Vicente S. M., (2008), "Atmospheric circulation influence on the interannual variability of snowpack in the Spanish Pyrenees during the second half of the twentieth century", *Nordic Hydrology*, 38 (1): 1585-1594.
- Rezaei. P., Janbaz, G., Ghobadi, N., (2012), "The synoptic analysis of snow in Guilan plain", *J. Basic Appl. Sci. Res*, 2 (5): 4722-4732.
- Stanley, A., Changnon, D., Thomas, R. K., (2006), "Temporal and spatial characteristics of snowstorms in the contiguous United States", *J. Appl. Meteor. Climatol*, 45: 1141–1155.
- Merino, A., Fernández, S., Hermida, L., López, L., Sánchez, J. L., Ortega, E. G., Gascon, E., (2014), Snowfall in the Northwest Iberian Peninsula: Synoptic circulation patterns and their influence on snow day trends, *Article ID*, 275: 1-14 .
- Yarnal, B., Frankes., B., (1997), "Using synoptic climatology to define representative discharge events", *Inter.J.of Climatology*, 17: 323-341.