

## بررسی شاخص شدت زمستان در شمال غرب ایران

حسن حیدری<sup>۱</sup> - استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
علیرضا موقری - استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۴/۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲

### چکیده

امروزه مدیریت بحران حوادث اقلیمی به‌ویژه در خصوص نگهداری شریان‌های ارتباطی (جاده‌ها) در فصل زمستان اهمیت زیادی دارد و کشورها هر ساله بودجه‌های فراوانی را به این امر اختصاص می‌دهند. این مطالعه بر مبنای آمار ۱۸ ایستگاه سینوپتیک در شمال غرب کشور در فصل سرد (از اول اکتبر تا آخر مارس) در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ انجام و با توجه به عدم گزارش ارتفاع برف و مقدار تجمعی آن در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، در این پژوهش از مقدار تجمعی درجه روز یخبندان به‌عنوان شاخص استفاده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ایستگاه‌های سراب، ماکو و تکاب مهم‌ترین کانون‌های شدت زمستانی است و در عین حال ایستگاه تکاب شدیدترین فصل زمستان را در دوره مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. همچنین مشخص شد که سال ۱۹۸۸ به‌عنوان سردترین و ۱۹۹۸ به‌عنوان گرم‌ترین زمستان منطقه بوده است. تحلیل سینوپتیک دوره آماری مورد بررسی مشخص نمود که آنومالی منفی ارتفاع ژئو پتانسیل به میزان ۱۰- متر سبب سرمایش شدید در سال ۱۹۸۸ گردیده و نیز آنومالی مثبت آن با بیش از ۳۵+ متر منجر به گرمایش غیرعادی فصل سرد در ۱۹۹۸ شده است.

**کلمات کلیدی:** ایران، شاخص اقلیمی، سینوپتیک، شدت زمستان، شمال غرب.

## ۱-مقدمه

هر فصلی دارای ویژگی‌ها و مشخصات خاص اقلیمی است. بر این اساس فصل زمستان و به‌ویژه وقایع شدید آن همچون طولانی بودن دوره سرما، کولاک، بارش سنگین برف می‌تواند منجر به تأثیرات مخرب اقتصادی و اجتماعی شود (Malcheva et al., 2019) در این میان یکی از بخش‌های مهم آسیب‌پذیر، بخش حمل‌ونقل هست که شدت تحت تأثیر دماها و بارش‌های زمستانی قرار دارد.

در این راستا در کشورهای مختلف دنیا که تحت تأثیر بارش برف، درجه حرارت‌های زیر صفر و یخبندان قرار دارند، برای مدیریت جاده‌ها و شبکه حمل‌ونقل خود، هر ساله با صرف بودجه‌های کلان حفظ و نگهداری و کنترل خاصی را برای این منظور به اجرا می‌گذارند؛ بنابراین با شدت یافتن بارش برف و یخبندان و ایجاد شرایط خاص همچون کولاک و موارد دیگر، می‌بایست با نوعی مدیریت بحران از بروز حوادث و تلفات جلوگیری کرد. چنان‌که مشخص شده است مدیریت بحران می‌تواند بدون افت سطح خدمات موردنیاز سبب کاهش هزینه‌ها شود (Mews et al., 2019). با توجه به اینکه شاخص شدت زمستان<sup>۱</sup> عبارت است از سنجش تأثیر نسبی هوای زمستانی بر عملیات نگهداری جاده و عملیات کنترل ترافیکی، لذا با استفاده از داده‌های سیستم اطلاعات هوای جاده‌ای یا داده‌های طولانی مدت به این هدف می‌توان نائل شد. در واقع شاخص شدت زمستان شاخصی است که از ترکیب اثرات هوایی مختلف در یک مقدار مشخصی تشکیل شده تا سازمان مربوطه را برای کارایی مقایسه و نرمال نمودن جغرافیایی و زمانی هزینه‌ها کمک نماید. بدین سبب در کشورهای مختلف، دولت‌ها برای تعیین میزان قابلیت عملیات نگهداری زمستانی در طول زمان، هزینه‌ها را تابعی از شدت زمستان تلقی می‌کنند. در زمینه‌های دیگری نیز همچون مدیریت بحران، کشاورزی، ترافیک، حیات وحش (McCaffery et al., 2011) و گرمایش منزل، این موضوع نمودهای خاص خود را می‌تواند داشته باشد؛ بنابراین هر چند در بسیاری از کشورها بر اساس آگاهی‌های تجربی میزان بودجه در مناطق مختلف برای حفظ و کنترل و نگهداری شبکه راه‌های مناطق کوهستانی تعیین می‌گردد که در برخی موارد نیز خیلی دقیق نمی‌تواند باشد. اهمیت این موضوع به قدری مهم است که بدانیم در آمریکا سالانه بودجه‌ای معادل ۲/۳ میلیارد دلار (Curtis et al., 2011) و در کانادا بیش از ۴/۵ میلیون تن نمک در سطح جاده‌ها استفاده می‌شود (sugget et al., 2006).

Assel (1980) با استفاده از مقدار ارتفاع برف و تعداد روزهای با بارش برف در دو سطح کمتر و بیشتر از ۶ اینچ و نیز دماهای حداکثر و حداقل، شاخص شدت زمستان را برای پنسیلوانیای آمریکا ارائه کرد. (Knudsen 1994) به کمک متغیرهای دمای سطح جاده و نیز میزان بارش حداقل یک سانتیمتری برف، شاخصی را برای دانمارک ارائه نمود. (Hulme 1982) بر اساس میانگین روزانه دما و نیز تعداد روزهای با پوشش زمینی برف و همچنین تعداد

1 Winter severity index

شب‌های با دمای یخبندان برای انگلستان ارائه کرد، هرچند که بعدها مشخص شد فرمول مذکور از نظر پیش‌بینی دارای ضعف‌هایی است. (Andrey et al. (2001) نیز با استفاده از تعداد روزهای با انباشت برف و تعداد روزهای با میانگین دمای بین ۹- تا ۱- درجه سانتی‌گراد، شاخصی را برای انتاریو کانادا ابداع نمود. او و همکارانش در سال ۲۰۰۳ با تجدیدنظری فرمول دیگری برای اوتاوا کانادا، بر اساس داده‌های اقلیمی بیشتر و نیز تطبیق آن‌ها با تعداد تصادفات ارائه نمود. (Decker et al. (2001) نیز با استفاده از میانگین حداقل روزانه دما و میانگین روزانه بارش برف و نیز دمای روزانه یخبندان، اختلاف میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه را در قالب برنامه پژوهش استراتژیک شاهراه‌ها در آمریکا ارائه کرد. (Assel (1980) با استفاده از میانگین حداقل دمای روزانه (زیر صفر درجه) و جمع تجمعی آن‌ها شاخصی را برای انگلستان معرفی نمود.

Hedjuk et al. (2014) با استفاده از میانگین دمای فصل زمستان و نیز تعداد روزهای یخبندان و روزهای با پوشش برفی، شاخصی را برای لهستان ارائه کردند. درعین حال محققینی همچون (Strong and Shvetov (2006) مدل‌هایی در خصوص ترافیک زمستانی، (Qui (2008) در رابطه با ترافیک و نگهداری زمستانی جاده‌ها، (Boselly and Edward (1993) در رابطه با نگهداری جاده و (Cerruti and Decker (2011) در مورد فعالیت‌های انسانی ابداع نمودند. بعضی از محققین همچون (Matthews et al., 2017) نیز با استفاده از دانش تخصصی و بهینه‌سازی ریاضی که در خصوص نمرات محاسبه‌شده بر اساس ۸ عامل آب و هوایی و یک حد آستانه‌ای گرمایش هوا در دوره‌های ۱۴ روزه انجام دادند، مدل خاصی را برای انتاریوی کانادا ارائه کردند.

تاکنون در ایران تحقیقی بر روی شدت زمستان بر مبنای شاخص‌های آب و هوایی و نیز طبقه‌بندی مربوط به زمستان انجام نشده است و در این خصوص تنها می‌توان به کار قویدل و خوشحال (۱۳۸۹) اشاره کرد که آن نیز باهدف بررسی سینوپتیک شدت زمستان در تبریز می‌باشد.

با توجه به اینکه بخش اعظم شمال غرب ایران کوهستانی بوده ولی وقوع یخبندان و مقدار بارش برف از حیث شدت و مدت به یک اندازه نیست و ضمناً بودجه لازم نیز قابل توزیع به‌صورت یکسان نیست، از این‌رو ضرورت شناخت مبتنی بر واقعیت‌های اقلیمی منطقه می‌تواند در فرآیند تخصیص بودجه لازم جهت حفظ و کنترل و نگهداری شبکه راه‌ها در منطقه شمال غرب گام مهمی در عملکرد مناسب سازمان‌های ذیربط باشد.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه شمال غرب ایران با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی از نوعی وحدت توپوگرافی برخوردار است (طالقانی ۱۳۹۲: ۹۸). این منطقه سرزمین ناهمگنی است که پست‌ترین نقطه آن در دشت مغان با ارتفاع ۲۰ متر و مرتفع‌ترین آن قله سبلان با ارتفاع ۴۸۸۸ متر می‌باشد. این منطقه در شرق به کوه‌های طالش که امتداد رشته البرز بوده و در جنوب به

انتهای شمالی رشته زاگرس ختم می‌شود. رشته‌کوه قره داغ در امتداد کوه‌های قفقاز به طول ۲۲۰ کیلومتر از جبال آرات، سرحد بین ایران و ترکیه و آذربایجان در شمال غرب شروع و تا کوهستان طالش ادامه دارد. رشته‌کوه‌های بزغوش، سبلان، صلوات، خروسلو، کوه‌های شهیدان، کوه‌های تکاب و کوه‌های منفرد سهند و قافلانکوه از دیگر ناهمواری‌های منطقه هستند. علیرغم کوهستانی بودن منطقه زمین‌های هموار و فرورفتگی‌هایی در آن واقع شده است. دشت مغان، جلگه‌های تبریز و ارومیه و سایر جلگه‌های اطراف دریاچه ارومیه و خود چاله دریاچه ارومیه از مشهورترین آنها است. به‌طورکلی منطقه شمال غرب به دلیل موقعیت جغرافیایی و پراکندگی توپوگرافی به‌ویژه در فصل سرد دارای آب‌وهوای سرد و کوهستانی بوده و عمده بارش‌ها در این فصل به‌صورت برف نازل شده و یخبندان نیز یکی از نمودهای بارز اقلیمی این فصل است.

## ۲-۲- داده‌ها و روش‌های تحلیل عددی

بررسی مدل‌های مختلفی که توسط محققین مختلف در خصوص شدت زمستان (۲۰۰۶-۱۹۸۰) ارائه شده حاکی از وجود نکات زیر است:

الف) بعضی مدل‌ها قابلیت انتقال‌پذیری ضعیفی داشته و به‌عبارت‌دیگر برای منطقه جغرافیایی خاصی طراحی شده‌اند.

ب) پاره‌ای از مدل‌ها به جهت آنکه فاقد اطلاعات لازم برای بسط دادن یا بکار بردن بودند، قابلیت خود را از دست داده‌اند.

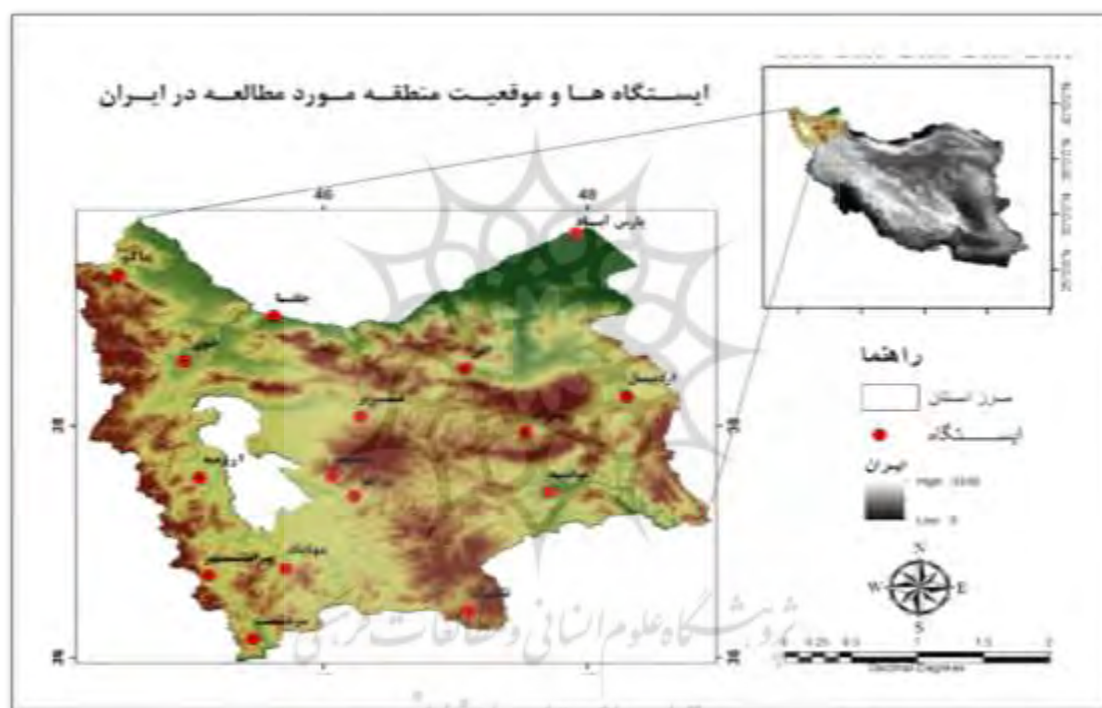
ج) برخی مدل‌ها به لحاظ آنکه به داده‌های زیاد نیاز داشته و در محاسبه شاخص نیز مورد دست‌کاری و تغییر قرار می‌گرفتند نیز قابلیت مناسبی نداشتند (ساجت و همکاران ۲۰۰۶:۲).

همچنین باید به این نکته نیز اشاره کرد که بعضی از مدل‌ها نیاز به داده‌هایی دارند که به‌طور مستقیم از طریق سنجش‌های هواشناسی قابل دسترسی نیستند (مالچیوا و همکاران ۲۰۱۹).

نظر به این‌که در ایستگاه‌های هواشناسی ایران ارتفاع برف و مقدار تجمعی ارتفاع روزانه آن اندازه‌گیری نشده و صرفاً آب معادل برف گزارش می‌شود، از این‌رو عملاً استفاده از مدل‌هایی که نیازمند ارتفاع برف بوده مقدر نیست. از طرف دیگر به جهت آنکه معمولاً کمترین دماهای ثبت‌شده در فصل سرد به وقوع می‌پیوندد که این امر با وجود بارش برف و انباشت آن موجبات افزایش انعکاس تابش و عدم امکان جذب انرژی بر روی زمین می‌شود. می‌توان گفت با در نظر گرفتن میانگین دماهای روزانه زیر صفر به نحوی اثرات حاصل از برف که موجب افت دما و درنهایت ایجاد یخبندان و مشکلات آن را می‌توان پیگیری نمود.

در این مطالعه داده‌های مورد استفاده، میانگین درجه حرارت روزانه ۱۸ ایستگاه سینوپتیک در شمال غرب ایران (شکل ۱) از اول اکتبر تا آخر ماه مارس سال میلادی بعدی در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ است. بر این اساس به

دماهای زیر صفر یک علامت جبری مثبت و به دماهای بالای صفر علامت جبری منفی داده شد. سپس مقدار تجمعی درجه روز یخبندان در طی ماههای فوق محاسبه شد. در این رابطه اگر چنانچه مقدار تجمعی درجه روز یخبندان برای یک دوره مشخص، دمای بالای صفر درجه منفی باشد، مقدار تجمعی صفر و مقدار جمع تجمعی جدید از روز بعد آغاز می‌شود. بررسی نقشه شماره ۱ حاکی از پراکنش مناسب ایستگاه‌ها در سطح منطقه از حیث جغرافیایی و ارتفاعی می‌باشد. در عین حال یکی از مسائل مهم در بررسی شدت زمستان بیان درجه شدت آن است. چراکه هر درجه شدتی در هر منطقه آثار متفاوتی را از خود به جا می‌گذارد. چنانکه قبلاً نیز اشاره شد نزول دمای هوا به زیر صفر درجه و بارش برف و انباشت آن روی زمین، موجب افزایش



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های منتخب مورد استفاده در تحقیق

شدت یخبندان و بروز مشکلات می‌شود. در این رابطه برای آنکه شناخت مناسبی از درجه شدت زمستان به دست آید بر مبنای گروه‌بندی آسل (۱۹۸۰) عمل گردید. بر این اساس تعیین شدت زمستان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در ۵ گروه انجام شد. بر مبنای این گروه‌بندی توزیع فراوانی تجمعی درجه روز یخبندان بیش از ۹۵ درصد به‌عنوان شدیدترین و کمتر از ۵ درصد به‌عنوان ملایم‌ترین گروه‌ها، ۱۵ درصد فاصله بالایی (۸۰ تا ۹۵ درصد) به‌عنوان شدیدتر از نرمال و ۱۵ درصد فاصله پایینی (۵ تا ۲۰ درصد) به‌عنوان ملایم‌تر از نرمال و حداقل بین ۲۰ تا ۸۰ درصد در گروه نرمال انجام گردید. با توجه به اینکه امروزه حدوث وقایع اقلیمی به‌صورت دوره‌ای به اثبات

رسیده و حتی بعضاً به منظور تعیین رفتار دوره‌های مذکور کارهای مختلفی در حیطه تغییرات اقلیمی انجام می‌شود، بدین دلیل در این رابطه اقدام به محاسبه مقادیر تجمعی داده‌های استاندارد شده درجه روز یخبندان سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه گردید تا وضعیت تغییر رژیم شدت زمستان در طول دوره آماری مشخص شود. نظر به اینکه شروع و پایان فصل یخبندان نیز یکی از پارامترهای مهم در مدیریت بحران جاده‌ای و حتی در مقوله‌های مختلفی همچون کارهای عمرانی و کشاورزی است، لذا در این رابطه بر اساس تقویم ژولیوسی از ابتدای اکتبر به‌عنوان اولین روز تقویمی انجام و پس از استخراج نتایج بر مبنای تقویم میلادی دقیقاً شروع و پایان فصل یخبندان استخراج گردید. این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که روابط بین زمستان‌های با شدت بالا از حیث مدت آن نیز مورد بررسی قرار گیرد.

### ۲-۳- روش تحلیل سینوپتیک

همچنین به منظور بررسی افزایش یا کاهش تعداد درجه-روز یخبندان و نیز شناسایی علت سینوپتیک حاکمیت شدید یا ضعیف زمستانی منطقه، اقدام به تهیه نقشه‌های ترکیبی شد. در این رابطه برای اندازه‌گیری تغییرات در گردش عمومی بزرگ مقیاس جو و همچنین مطالعه تأثیر گردش جوی بر شرایط حدی آب و هوایی، داده‌های ترکیبی میانگین گردش<sup>۱</sup> جو کل سال برای دوره آماری ۱۹۸۵-۱۹۶۱ به‌عنوان نماینده اقلیم پیشین و دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ به‌عنوان دوره تظاهر تغییر اقلیم (WMO, 1989) بر اساس داده‌های واکاوی شده NCEP/NCAR دریافت گردید. لازم به توضیح است که نقشه‌های MCC برای مقایسه تغییرات بین دو دوره زمانی به کار می‌روند. سپس نقشه‌های تفاضل<sup>۲</sup> از طریق تفریق دوره آمار جدید از دوره آماری قدیم به‌منظور نمایش تغییرات گردش عمومی جو در این دو دوره با استفاده از نرم‌افزار Grads ترسیم گردید. نقشه‌های ترکیبی با استفاده از متغیرهای زیر ترسیم گردید:

- ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

- امگای سطح زمین

- چرخندگی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

- ضخامت جو

- دمای هوای سطح زمین

سپس به تحلیل نقشه‌ها اقدام گردیده و نتایج آن با خروجی شاخص‌های حدی دما مقایسه گردید تا تأثیر گردش عمومی جو منطقه بر تغییرات دما مشخص گردد.

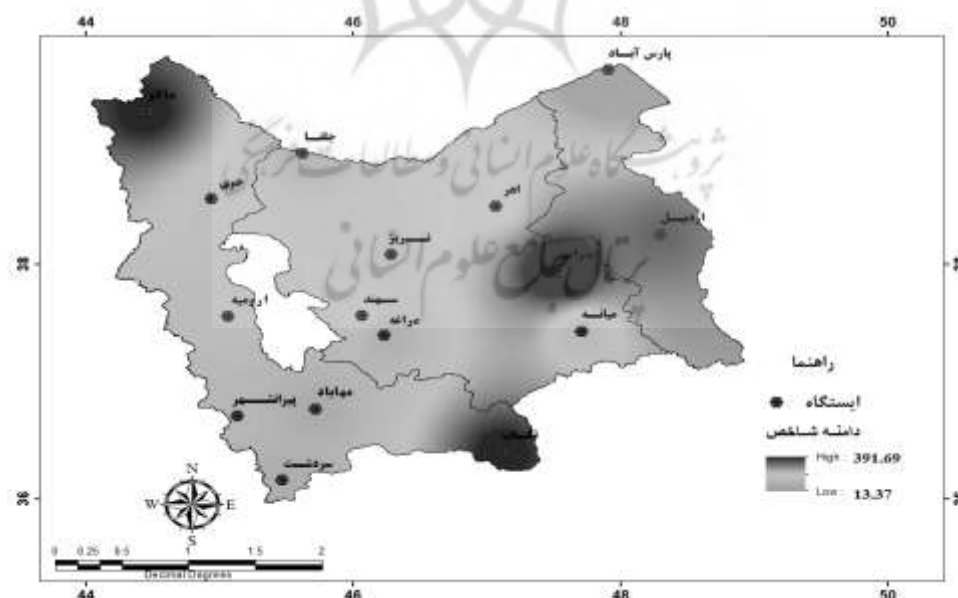
1 Mean Circulation Composites

2 Difference Map

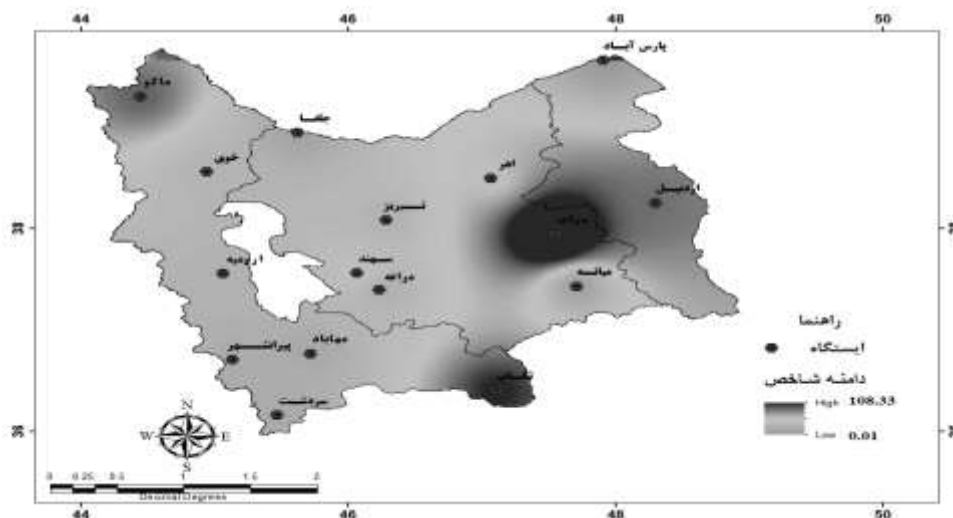
## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- نتایج تحلیل‌های عددی

بررسی نقشه میانگین درجه روز یخبندان منطقه بیانگر تفکیک مناطق از همدیگر است. چنانکه غرب و جنوب و شمال شرق دریاچه ارومیه و نیز منطقه پارس‌آباد اصولاً دارای درجه روز یخبندان کمتری بوده که شاید علت این امر ناشی از اثر تعدیل دریاچه ارومیه، پایین بودن ارتفاع (در جلفا و پارس‌آباد) باشد. احتمالاً با تشدید خشک شدن دریاچه ارومیه در سال‌های آینده گستره و شدت سردی فصل سرد دچار تغییراتی خواهد گردید. به‌رحال بر اساس نقشه فوق ایستگاه سراب با ۳۹۲ درجه روز در شرق و ایستگاه ماکو با ۳۲۲ درجه روز در شمال غرب و تکاب با ۳۲۴ درجه روز در جنوب منطقه مهم‌ترین کانون‌های شدت زمستانی را به خود اختصاص داده‌اند. در صورتی که پارس‌آباد با ۱۳ درجه روز کمترین شدت زمستانی را در طول دوره آماری نشان می‌دهد. اطراف دریاچه ارومیه به‌ویژه در جنوب آن مقادیر بالنسبه کمی را نشان می‌دهند. در عین حال بررسی نقشه حداقل مقادیر درجه روز یخبندان منطقه نشانگر وجود یک کانون در شرق منطقه یعنی در ایستگاه سراب است. به‌عبارت‌دیگر حتی در سال‌هایی که منطقه دارای زمستان معتدلی است، در ایستگاه سراب شدت سرمای زمستانی کم شده ولی با سایر ایستگاه‌ها به‌صورت فاحشی دارای تفاوت است. این در حالی است که ایستگاه‌های پارس‌آباد، جلفا، میانه، مهاباد، سردشت و پیرانشهر به ترتیب دارای درجه روز یخبندان بین صفر تا ۱۰ درجه روز یخبندان در طی اکبر تا آخر مارس یعنی ۶ ماه در سال می‌باشند. ایستگاه‌های مذکور همگی ارتفاع پایین‌تری نسبت با سایر ایستگاه‌ها می‌باشند.

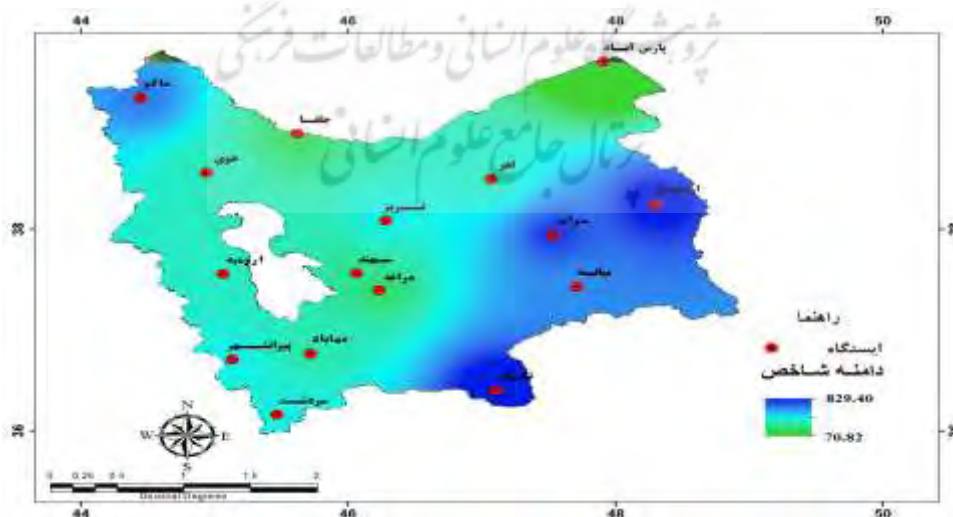


شکل ۲- نقشه میانگین درجه روز یخبندان در منطقه (۱۹۸۶-۲۰۱۵)



شکل ۳- نقشه حداقل درجه روز یخبندان در منطقه (۱۹۸۶-۲۰۱۵)

بررسی نقشه حداکثر درجه روز یخبندان منطقه نیز حاکی از تشدید سرمای زمستانی در شرق (اردبیل با ۷۳ و سراب با ۷۰۹ درجه روز) و جنوب شرق (تکاب با ۸۳۰ درجه روز) و شمال غرب (ماکو با ۶۲۳ درجه روز) است. به عبارت دیگر شدیدترین زمستان منطقه در تکاب و اردبیل رخ می‌دهد. مسلماً ارتفاع بالای ایستگاه‌های مذکور همراه با تراکم ارتفاعات اطراف آن‌ها از یک طرف و از طرف دیگر قرار داشتن در معرض ورود توده‌های سرد شمالی و بعضاً غربی شرایط را در فصل زمستان برای افزایش شدت سرمای زمستان فراهم می‌آورد. در عین حال همان‌گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود ایستگاه پارس‌آباد با داشتن انحراف معیار  $14/9$  درجه روز دارای کمترین نوسانات و ایستگاه سراب با انحراف معیار  $183$  درجه روز بیشترین نوسانات در یخبندان فصل



شکل ۴- نقشه حداکثر درجه روز یخبندان منطقه (۱۹۸۶-۲۰۱۵)



سرد می‌باشند. ضمناً میزان تغییرپذیری شدت یخبندان فصل سرد در ایستگاه‌های مناطق پست زیاد و ایستگاه‌های مناطق مرتفع کم است. بر این اساس در بعضی از سال‌ها که در بخش‌های پست منطقه، یخبندان شدید باشد، می‌تواند معضلات زیادی را در تمام ارکان حمل‌ونقل و سایر بخش‌ها ایجاد کند.

همچنین بررسی تاریخ شروع و پایان فصل سرد نشان می‌دهد که در کانون‌های شدید زمستانی منطقه، فصل سرد از دهه سوم ماه نوامبر شروع و تا دهه سوم ماه مارس طول می‌کشد. ولی در بخش‌هایی همچون پارس‌آباد از دهه اول دسامبر آغاز و در نیمه اول فوریه به اتمام می‌رسد. به عبارت دیگر در ایستگاه‌هایی که فصل سرد زود آغاز می‌شود دیرتر نیز تمام می‌شود؛ اما در حالتی کلی حاکمیت فصل سرد از نیمه اول دسامبر تا نیمه آخر مارس است. بر این اساس می‌توان گفت شروع و پایان فصل سرد در شمال غرب به صورت هماهنگ عمل نموده، هرچند شدت آن برحسب ویژگی‌های منطقه‌ای متفاوت است.

برای آنکه بتوان گروه‌بندی مشخصی را از حیث ایستگاهی ارائه نمود جدول ۲ تهیه شد. تهیه این جدول از این حیث مهم است که امکان گروه‌بندی شدت زمستان را طی دوره آماری موردبررسی میسر نموده و درعین حال می‌توان ایستگاه‌ها را باهم مقایسه نمود. همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود، تکاب با ۷۵۴ درجه-روز به‌عنوان شدیدترین و پارس‌آباد با صفر درجه-روز ملایم‌ترین درجه-روز یخبندان سالانه را در

جدول ۱- مقادیر میانگین، حداقل، حداکثر درجه روز یخبندان و تاریخ شروع و پایان فصل سرد در منطقه

ایستگاه	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرپذیری	شروع فصل سرد	پایان فصل سرد
اهر	۴۷۹	۳۰	۱۹۷	۱۰۵	۰,۵۳	۲۵ نوامبر	۲۲ مارس
جلفا	۳۷۱	۵	۱۳۹	۱۱۸	۰,۸۵	۷ دسامبر	۱۸ فوریه
میانه	۶۲۳	۳	۱۶۴	۱۴۱	۰,۸۶	۱۳ دسامبر	۲۵ فوریه
مراغه	۳۹۴	۱۳	۱۴۰	۹۹	۰,۷۰	۸ دسامبر	۹ مارس
تبریز	۵۱۹	۱۵	۱۶۷	۱۱۱	۰,۶۶	۶ دسامبر	۱۰ مارس
سراب	۷۰۹	۱۰۸	۴۰۱	۱۸۳	۰,۴۶	۲۱ نوامبر	۲۶ مارس
سهند	۴۳۹	۲۷	۲۰۶	۱۱۰	۰,۵۳	۶ دسامبر	۱۸ مارس
ماکو	۶۴۱	۵۷	۳۲۸	۱۵۶	۰,۴۷	۲۷ نوامبر	۱۶ مارس
خوی	۴۷۴	۱۵	۱۹۴	۱۲۸	۰,۶۶	۵ دسامبر	۷ مارس
ارومیه	۴۸۴	۱۴	۱۷۵	۱۱۷	۰,۶۶	۶ دسامبر	۱۷ مارس
پیرانشهر	۵۱۸	۱۰	۱۶۰	۱۲۰	۰,۷۵	۱۰ دسامبر	۶ مارس
سردشت	۵۰۹	۹	۱۴۱	۱۱۲	۰,۷۹	۹ دسامبر	۱۰ مارس

## ادامه جدول ۱

ایستگاه	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرپذیری	شروع فصل سرد	پایان فصل سرد
مهاباد	۴۶۰	۸	۱۳۰	۱۰۳	۰,۷۹	۸ دسامبر	۲ مارس
تکاب	۸۳۰	۶۲	۳۳۰	۱۷۷	۰,۵۴	۲۷ نوامبر	۱۹ مارس
پارس‌آباد	۷۱	۰	۱۴	۱۵	۱,۰۸	۷ دسامبر	۲ فوریه
اردبیل	۷۷۳	۴۷	۲۹۱	۱۷۰	۰,۵۹	۲۱ نوامبر	۲۶ مارس

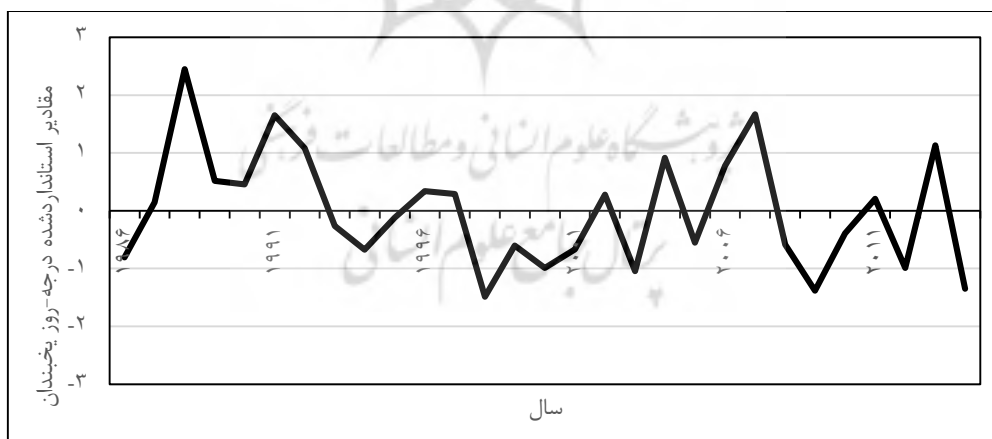
طول دوره آماری به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که سراب با ۵۵۰ درجه-روز یخبندان در گروه شدیدتر از نرمال و ۱۹۱ درجه-روز در حالت نرمال بیشترین میزان درجه-روز یخبندان را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر اصولاً فصل سرد در ایستگاه سراب عمدتاً شدید است و به‌عنوان واقعیت اقلیم فصلی زمستان آن است ولی در تکاب در بعضی از سال‌ها شدت یخبندان به مراتب خیلی شدیدتر از سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده، در واقع ایستگاه شاخص وقوع رکوردهای شدید یخبندان منطقه شمال غرب است. نظر به اینکه غرب منطقه مورد مطالعه اصولاً دارای بارش برف بیشتری در فصل سرد هست لذا در سال‌هایی که میزان نزول برف بیشتر باشد، شدت سرمای زمستانی از شدت و تداوم زمانی بیشتری برخوردار خواهد بود. در عین حال در ایستگاه پارس‌آباد هرچند مقدار درجه-روز یخبندان کمتر است ولی در طی دوره آماری مورد مطالعه تا ۵۴ درجه-روز یخبندان نیز دیده شده که در مقایسه با صفر درجه-روز قابل مقایسه نبوده و این اختلاف زیاد می‌تواند موجبات صدمات زیان‌بار اقتصادی در منطقه پارس‌آباد را فراهم نماید. البته باید گفت که این افزایش شدت زمستانی نمی‌تواند به صورت محلی در پارس‌آباد رخ دهد و بیشتر در ارتباط با حاکمیت سینوپتیک توده‌های سرد در منطقه شمال غرب است. همچنین به منظور تعیین دامنه تغییرات در طی سال‌های آماری و اینکه نوع و نحوه تغییرات در منطقه، صرف نظر از ویژگی‌های ایستگاه‌ها به چه صورتی بوده است، نمودار مقادیر استاندارد شده مجموع درجه-روزهای یخبندان ایستگاه‌های منطقه تهیه گردید (شکل ۵). بررسی این شکل حاکی از روندهای متغیر صعودی و نزولی در طی دوره آماری هست که در این بین سال‌های ۱۹۹۸، ۱۹۹۱، ۲۰۰۷

## جدول ۲- گروه‌بندی درجه-روز یخبندان در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری

ایستگاه	ملایم‌تر از نرمال (۵ درصد)	نرمال (۲۰ درصد)	شدیدتر از نرمال (۸۰ درصد)	شدید (۹۵ درصد)
اهر	۴۳	۹۰	۲۷۷	۴۲۷
جلفا	۶	۲۶	۲۵۸	۳۶۶

ادامه جدول ۲

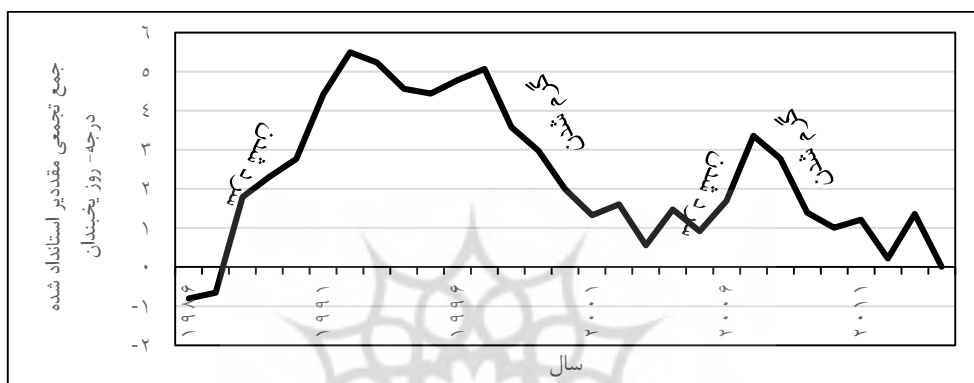
ایستگاه	ملايم تر از نرمال (۵ درصد)	نرمال (۲۰ درصد)	شدیدتر از نرمال (۸۰ درصد)	شدید (۹۵ درصد)
میانه	۸	۴۸	۲۳۹	۵۲۱
مراغه	۱۴	۶۱	۲۰۸	۳۶۷
تبریز	۱۹	۸۳	۲۵۳	۴۳۳
سراب	۱۱۴	۱۹۱	۵۵۰	۷۰۸
سهند	۳۴	۹۷	۳۱۵	۴۲۲
ماکو	۶۵	۱۸۱	۵۰۵	۶۰۲
خوی	۱۷	۸۲	۳۷۳	۴۵۵
ارومیه	۱۸	۸۵	۲۶۳	۴۴۴
پیرانشهر	۱۲	۵۷	۲۵۲	۴۸۳
سردشت	۱۶	۴۶	۲۳۴	۴۲۳
مهاباد	۱۰	۵۶	۱۹۱	۳۸۵
تکاب	۷۵	۱۶۰	۴۴۷	۷۵۴
پارس آباد	۰	۴	۲۳	۵۴
اردبیل	۵۸	۱۲۷	۴۶۵	۶۵۲



شکل ۵- نمودار تغییرات مقادیر استاندارد شده درجه-روز یخبندان منطقه

سال‌های افزایشی و سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ سال‌های کاهش‌ی مقادیر درجه-روز یخبندان می‌باشند. درعین حال به منظور نیل به درک مشخصی از روند دوره‌ای مقادیر کاهش یا افزایش درجه-روز یخبندان (شدت

زمستان) در منطقه بر اساس مقادیر تجمعی استاندارد شده سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه گردید (شکل ۶). همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود دوره آماری مورد مطالعه شامل دو دوره سرد شدن (۱۹۹۲-۱۹۸۶ و ۲۰۰۷-۲۰۰۳) و دوره گرم (۱۹۹۲-۲۰۰۳) و (۲۰۰۷-۲۰۱۴) می‌باشد که البته شدت سرد شدن دوره دوم ضعیف‌تر از دوره اول و در عین حال غلبه دوره گرم نسبت به دوره سرد کاملاً دیده می‌شود. قرار گرفتن خط نموداری در بالای صفر حاکی از حاکمیت کلی فصل سرد در منطقه است هرچند که روندهای سرد یا گرم شدن در مقایسه با شدت فصل سرد متفاوت است.



شکل ۶- نمودار انحراف از میانگین مقادیر تجمعی استاندارد شده

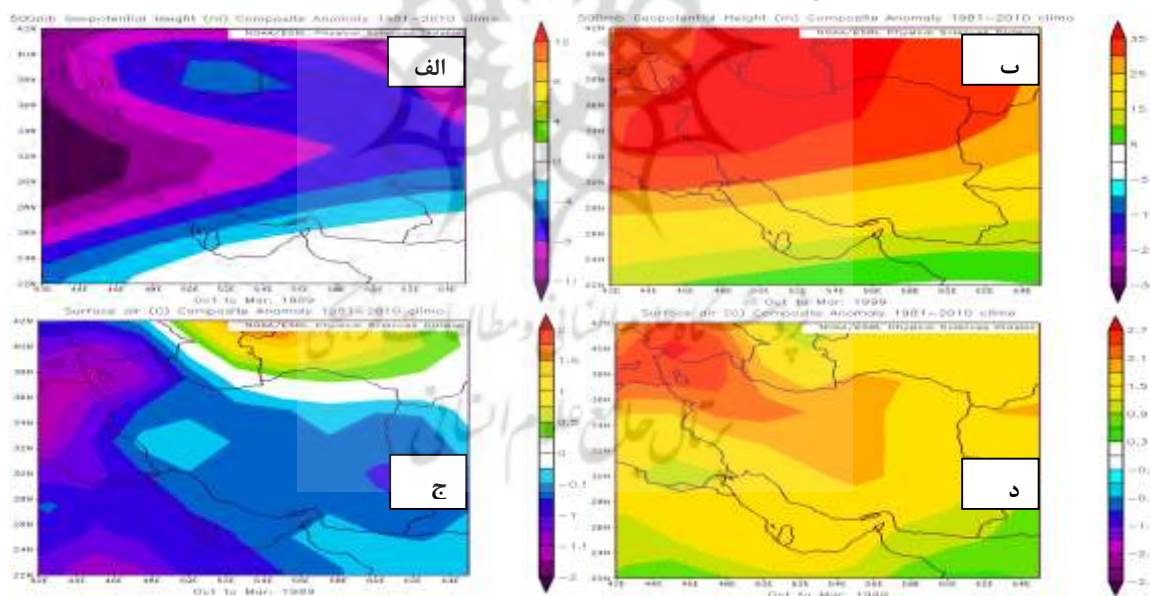
از طرف دیگر بررسی افزایش یا کاهش تعداد درجه-روز یخبندان و یا به عبارت دیگر تعیین حاکمیت شدید یا ضعیف زمستانی منطقه نشانگر آن است که وقوع هر کدام از این حالات به صورت هم‌زمان اتفاق می‌افتد. چنانکه سال ۱۹۸۸ به عنوان سردترین و ۱۹۹۸ به عنوان گرم‌ترین سال در طی سال‌های آماری مورد مطالعه است.



شکل ۷- نمودار وقوع گرم‌ترین و سردترین فصل سرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه

## ۳-۲- نتایج تحلیل‌های سینوپتیک

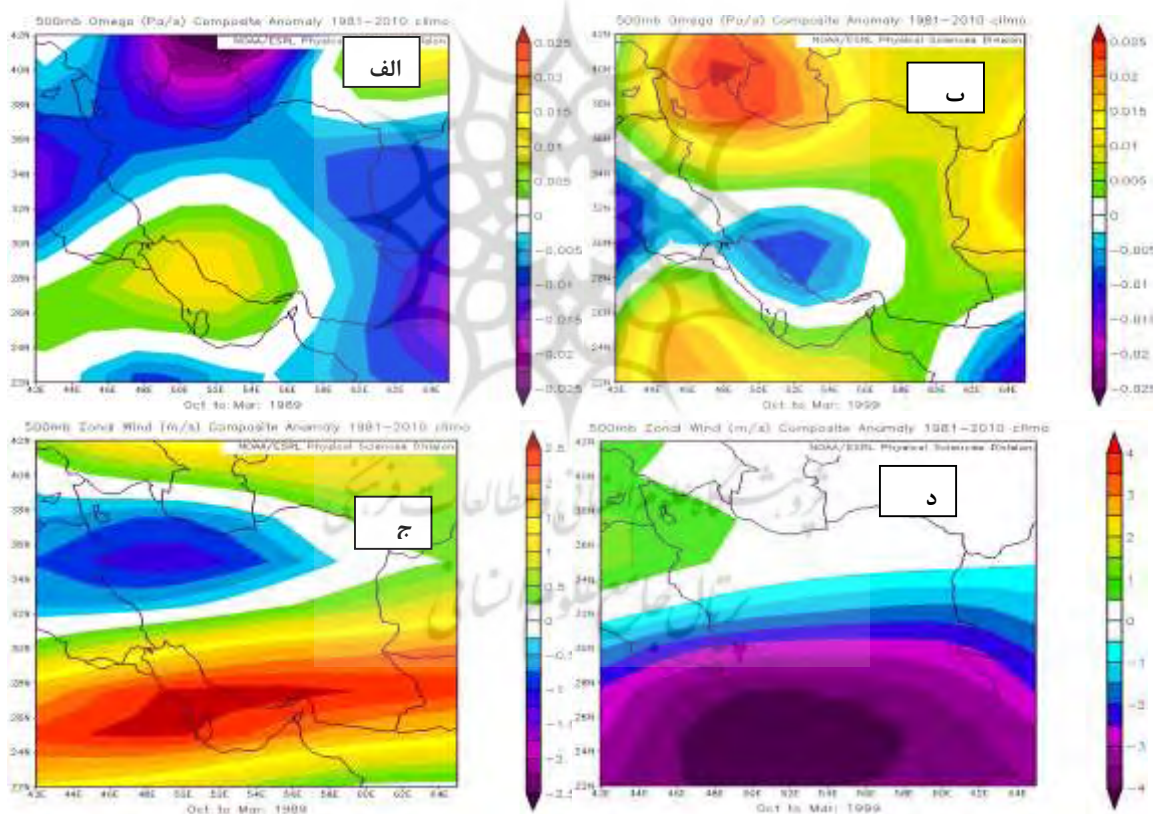
با توجه به اینکه وقوع زمستان‌های گرم و یا سرد قابل توجیه با شرایط ایستگاهی و توپوگرافی منطقه نبوده و تنها می‌توان علل آن را با ویژگی‌های سینوپتیک توضیح داد. لذا بر این اساس شکل ۸-الف نقشه ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال میانگین ماه‌های اکتبر تا مارس (دوره سرد) سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشهود است، منطقه مورد مطالعه (شمال غرب کشور) آنومالی منفی ارتفاع ژئوپتانسیل را حتی به میزان ۱۰- متر نشان می‌دهد که حاکی از کاهش ضخامت جو در این دوره زمانی هست. به بیان دیگر، منطقه مورد مطالعه نسبت به میانگین بلندمدت خود در دوره سرد سال ناپایدارتر گردیده است. نقشه آنومالی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی بار دوره سرد سال ۱۹۹۸ نیز حاکی از افزایش ضخامت جو کل کشور است که برای استان آذربایجان غربی میزان آن به بیش از ۳۵ متر می‌رسد که بیانگر از تشدید پایداری جو منطقه نسبت به میانگین بلندمدت (شکل ۸-ب). شکل ۸-ج نقشه ناهنجاری دمای هوای سطح زمین را برای سال ۱۹۸۸ نسبت به میانگین بلندمدت نشان می‌دهد. نکته جالب توجه، آنومالی منفی دما در شمال و شمال غرب کشور هست که این مقدار در استان آذربایجان غربی به بیش از ۲- درجه می‌رسد که حاکی از پایین و زمستان سردتر از سال‌های دیگر است که کاملاً نتایج شاخص شدت زمستان را تأیید می‌کند.



شکل ۸- نقشه ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال میانگین ماه‌های اکتبر تا مارس سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ (الف)، نقشه ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال میانگین ماه‌های اکتبر تا مارس سال‌های ۱۹۹۸ (ب)، نقشه ناهنجاری دمای هوای سطح زمین دوره سرد سال ۱۹۸۸ (ج)، نقشه ناهنجاری دمای هوای سطح زمین دوره سرد سال ۱۹۹۸ (د)

نقشه آنومالی دمای هوای دوره سرد سال ۱۹۹۸ افزایش دما را در این سال نسبت به میانگین بلندمدت در کل کشور نشان می‌دهد که این میزان برای مناطق شمالی استان آذربایجان غربی حتی به بیش از ۳ درجه سلسیوس نیز می‌رسد که مطابق نتایج حاصل از محاسبه شاخص شدت زمستان است (شکل ۸-د).

شکل ۹-الف نقشه آنومالی حرکت قائم جو تراز ۵۰۰ میلی‌بار را برای ماه‌های اکتبر تا مارس سال ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه (شمال غرب کشور) آنومالی منفی را منعکس می‌کند که مقدار آن حتی به  $-۰,۰۷$  پاسکال بر ثانیه می‌رسد که نشان‌دهنده تشدید ناپایداری جو منطقه نسبت به میانگین بلندمدت (۱۹۸۱-۲۰۱۰) است. نقشه ناهنجاری حرکت قائم جو تراز ۵۰۰ میلی‌بار سال ۱۹۹۸ برخلاف سال قبل (۱۹۸۸) آنومالی مثبت حرکت قائم جو را نسبت به میانگین بلندمدت نشان می‌دهد که نشان‌دهنده تشدید حرکات نزولی و در نتیجه پایدارتر شدن جو منطقه است. ناهنجاری مثبت در برخی مناطق شمال غرب ایران به بیش از  $۰,۲۵$  پاسکال بر ثانیه نیز می‌رسد (۹-ب).



شکل ۹- نقشه ناهنجاری حرکت قائم جو سطح ۵۰۰ میلی‌بار دوره سرد سال ۱۹۸۸ (الف)، نقشه ناهنجاری حرکت قائم جو سطح ۵۰۰ میلی‌بار دوره سرد سال ۱۹۹۸ (ب)، نقشه ناهنجاری باد مؤلفه مداری سطح ۵۰۰ میلی‌بار دوره سرد سال ۱۹۸۸ (ج)، نقشه ناهنجاری باد مؤلفه مداری سطح ۵۰۰ میلی‌بار دوره سرد سال ۱۹۹۸

(د)

شکل ۹-ج نقشه ناهنجاری باد مؤلفه مداری سطح ۵۰۰ میلی بار دوره سرد سال ۱۹۸۸ را نشان می دهد. آنومالی منفی باد مداری در منطقه مورد مطالعه حاکی از تشدید جریانات نصف‌النهاری است که باعث انتقال هوای سرد از عرض‌های بالاتر می شود. برخلاف سال ۱۹۸۸ نقشه ناهنجاری باد مؤلفه مداری سطح ۵۰۰ میلی بار دوره سرد سال ۱۹۹۸ ناهنجاری مثبت باد مؤلفه مداری<sup>۱</sup> را نشان می دهد که حاکی از غلبه جریانات مداری بر جریانات نصف‌النهاری و در نتیجه عدم انتقال هوای سرد عرض‌های بالابروی منطقه است که در گرم شدن این سال را به دنبال دارد (شکل ۹-د).

#### ۴- جمع بندی

امروزه افزایش جمعیت و گسترش نیازهای انسانی از یک طرف و رشد و توسعه انواع وسایل نقلیه از طرف دیگر لزوم توجه بیشتر به موضوع حمل و نقل در کشورهایی با زمستان‌های سرد و پربرف، را به موضوعی مهم بدل ساخته است. بررسی‌های انجام شده در این مقاله در خصوص یکی از مناطق درگیر با این موضوع یعنی شمال غرب ایران بر اساس استفاده از مجموع مقادیر دماهای منفی روزانه حاکی از این نکته است که ایستگاه‌های سراب، ماکو، تکاب به عنوان کانون‌های شدید زمستانی منطقه بوده است. همچنین شدیدترین زمستان‌ها در ایستگاه‌های اردبیل و سراب در شرق و تکاب و ماکو در غرب منطقه به وقوع پیوسته و در این بین ایستگاه تکاب هم با ۸۳۰ درجه روز یخبندان در طی دوره آماری بیشترین رکورد را به خود اختصاص داده است. در عین حال مشخص شد که در کانون‌های شدید زمستانی، فصل سرد زودتر شروع و دیرتر به اتمام می رسد. همچنین مشخص گردید که ایستگاه سراب طی سال‌های مورد بررسی همیشه دارای زمستان‌های شدیدی بوده است. در عین حال معلوم شد که در منطقه دو موج سرمایش شدید (۹۲-۱۹۸۶ و ۲۰۰۷-۲۰۰۳) و گرمایش (۲۰۰۴-۱۹۹۲ و ۲۰۱۴-۲۰۰۷) به وقوع پیوسته که در این میان سال ۱۹۸۸ به عنوان سردترین و ۱۹۹۸ به عنوان گرمترین فصل زمستان می باشد.

با توجه به غیرعادی بودن این دو سال نسبت به حالت میانگین دوره آماری مورد مطالعه، تحلیل سینوپتیک انجام شد. بر مبنای این تحلیل مشخص شد که در سال ۱۹۹۸ کم شدن ضخامت جو موجبات ناپایداری بیشتر و در نتیجه ریزش هوای سرد عرض‌های بالا و افت دمای هوا و نهایتاً افزایش شدت سرمایش فصل زمستان در این سال شده است. در صورتی که در زمستان سال ۱۹۹۸ افزایش ضخامت جو سبب پایداری بیشتر و همچنین تشدید جریانات نزولی که معلول تاخیر در عقب‌نشینی پرفشار جنب حاره (STHP) بوده، منجر به افزایش دمای هوا و تجربه زمستان گرم در این سال گردیده است. با توجه به مطالبی که بیان شد، روش استفاده از جمع تجمعی درجه حرارت‌های منفی فصل سرد به دلیل نبود مقادیر ارتفاع برف و بعضی از پارامترها همچون دمای سطح جاده می تواند مناسب باشد، هر چند که در این بین خطاهایی نیز ممکن است وجود داشته باشد. Curtis et al., (۲۰۱۹) نیز بر این نکته اشاره داشتند

که هرچند شاخص‌های شدت زمستانی ابداع شده در ایالات متحده بر پایه دما بوده ولی باید دانست که درجه حرارت برای بیان این شاخص کافی نبوده است. همچنین Matthews et al., (۲۰۱۷) هم خاطر نشان کردند که تنوع توپوگرافی، اختلافات آب و هوایی، ویژگیهای متفاوت شبکه جاده‌ای، میزان تراکم جمعیت منطقه و حجم ترافیک متفاوت لزوم آن را می‌طلبد که محققین برای هر منطقه شاخص خاصی را طراحی نمایند تا از بروز خطاها جلوگیری شود. بر این اساس به نظر می‌رسد دستگاه‌های ذریبیط حمل و نقل جاده‌ای کشور ضمن تلاش برای استفاده از شاخص‌های شدت زمستان، البته با خطای کمتر در شمال غرب، می‌بایست تمهیدات لازم را در خصوص ایجاد راهدارخانه‌های زمستانی با تجهیزات کامل در حوزه‌های شهرستانی سراب، اردبیل در شرق و تکاب، ماکو در غرب منطقه به عمل آورده و با مدیریت صحیح منابع و هزینه‌ها در عین صرفه‌جویی، بیشترین کارایی را داشته باشند.

#### کتابنامه

- علایی طالقانی، محمود؛ ۱۳۹۲. ژئومورفولوژی ایران. تهران: انتشارات قومس. ۴۰۴ صفحه.
- قویدل رحیمی، یوسف و خوشحال دستجردی، جواد؛ ۱۳۸۹. جستاری پیرامون سختی اقلیم زمستانی تبریز و ارتباط آن با نوسانات شمالگان. فصلنامه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۴ شماره ۱ بهار ۱۳۸۹. صص ۱۹۶-۱۷۹.
- Andrey, J., Li, J., & Mills, B., 2001, January. A winter index for benchmarking winter road maintenance operations on Ontario highways. In 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- Andrey, J., Mills, B., & Vandermolen, J., 2003. A temporal analysis of weather-related collision risk for Ottawa, Canada: 1990-1998. Transportation Research Board, Paper Number TRB2003-3488, Washington, DC.
- Assel, R. A., 1980. Maximum freezing degree-days as a winter severity index for the Great Lakes, 1897-1977. *Monthly Weather Review*, 108(9), 1440-1445.
- Boselly III, S. E., 1993. Road Weather Information Systems: What Are They and What Can They Do for You? *Transportation Research Record*, (1387).
- Cerruti, B. J., & Decker, S. G., 2011. The local winter storm scale: A measure of the intrinsic ability of winter storms to disrupt society. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(6), 721-737.
- Decker, R., Bignell, J. L., Lambertsen, C. M., & Porter, K. L., 2001. Measuring efficiency of winter maintenance practices. *Transportation Research Record*, 1741(1), 167-175.
- Hejduk, A., & Hejduk, L., 2014. Thermal and snow conditions of winters and winter floods on example of Zagożdżonka River. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation*, 46(1), 3-16.
- Hulme, M., 1982. A new winter index and geographical variations in winter weather. *Journal of Meteorology*, 7(3), 294-300.
- Knudsen, Freddy, (1994. A Winter Index Based on Measured and Observed Road Parameters: In Proceedings of the 7th International Road Weather Conference SIRWEC, Seefeld, Austria, March 21-22, pp. 175-185.



- Malcheva, K., Pophristov, V., Marinova, T., & Trifonova, L., 2019, February. Complex approach for classification of winter severity in Bulgaria. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2075, No. 1, p. 120011. AIP Publishing.
- Matthews, L., Andrey, J., Minokhin, I., & Perchanok, M., 2017. Operational Winter Severity Indices in Canada—From Concept to Practice. *Planning*, 53(54), 55.
- McCaffery, R. M., & Maxell, B. A., 2010. Decreased winter severity increases viability of a montane frog population. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 8644-8649.
- Mews, J., 2013. Mapping winter weather severity index: Clear Roads, No. CR10-20, Feb.2013
- Qui, L., 2008. Performance measurement for highway winter operations (Doctoral dissertation): Iowa City: University of Iowa. Retrieved from <http://ir.uiowa.edu/etd/28/>
- Rissel, M. C., & Scott, D. G., 1985. *Staffing of maintenance crews during winter months* (No. 1019).
- Strong, C., & Shvetsov, Y., 2006. Development of roadway weather severity index. *Transportation research record*, 1948(1), 161-169.
- Suggett, J. M., Hadayeghi, A., Mills, B., Andrey, J. C., & Leach, G., 2006. Development of winter severity indicator models for Canadian winter road maintenance. In *Annual Conference & Exhibition of the Transportation Association of Canada, 2006. Congres et exposition annuels de l'Association des transport du Canada, 2006. Transportation Association of Canada.*
- Walker, C. L., Hasanzadeh, S., Esmaili, B., Anderson, M. R., & Dao, B., 2019. Developing a winter severity index: A critical review. *Cold Regions Science and Technology*.
- WMO (World Meteorological Organization) (1989). *The Changing Atmosphere: Implications for Global Security*, Toronto, Canada, 27–30 June 1988, Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization.