

## تحلیل آماری و سینوپتیک امواج سرمایی منطقه شمال غرب ایران

دریافت مقاله: ۹۴/۴/۸

پذیرش نهایی: ۹۵/۳/۶

صفحات: ۲۹-۴۶

یوسف قویدل رحیمی: استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران<sup>۱</sup>

Email: ghavidel@modares.ac.ir

منوچهر فرج زاده اصل: استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

Email: farjazam@modares.ac.ir

سلماز مطلبی زاد: کارشناس ارشد مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

Email: solmaz.motalebizad68@gmail.com

### چکیده

این تحقیق به شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک امواج سرمایی منطقه شمال غرب ایران پرداخته است. با استفاده از شاخص نمرات استاندارد شده دمای حداقل در طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۱ امواج سرمایی طبقه بندی شده و بر اساس شدت وقوع طبقه بندی گردیده اند. از بین امواج سرد وقوع یافته در منطقه شمال غرب ایران، سردترین موج شناسایی شده از هر طبقه برای تحلیل سینوپتیک انتخاب گردید و نتایج تحلیل سینوپتیک امواج سرد منتخب نشان داد که الگوی فشار حاکم در طول ایام حاکمیت امواج یاد شده، وضعیت پرفشار در سطح زمین و ناوه عمیق در سطوح فوقانی می‌باشد. از نظر استمرار سرما نقش تغییر وضعیت باد مداری به نصف‌النهاری که نشانی از بلوکینگ است، بسیار مؤثر می‌باشد. بلوکینگ موجب کاهش سرعت حرکت توده هوای سردی که از طریق وزش سرمایی از عرض‌های بالاتر به شمال غرب سرازیر شده، می‌شود و انواع مختلف امواج سرمایی ایجاد می‌شود. هر چه هوا از عرض‌های بالاتری ریزش کند و سرعت جریان کندتر باشد، موج سرمایی شدیدتر و مستمرتری ایجاد می‌کند.

کلید واژگان: مخاطره آب و هوایی، موج سرد، طبقه‌بندی امواج سرد، موج ابرسرد، شمال غرب ایران

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول: تهران، پل گیشا، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیای طبیعی

## مقدمه

مخاطره موج سرما از انواع مخاطرات اقلیمی ناشی از عنصر دما است که اغلب در زمستان خسارت بار و در تابستان خصوصاً در مناطق گرمسیر خوش آیند و مطبوع است. تغییر اقلیم سال های اخیر از فراوانی، شدت، وسعت و دوام امواج سرماییه در اغلب نقاط دنیا کاسته است (سسچرینی و همکاران، ۲۰۱۵: ۷۳۷۹). آمار نشان می دهد که از کل ممالک دنیا ۸۲ کشور با مخاطره امواج گرمایی و ۷۰ کشور به طور مداوم با امواج سرماییه مواجهه بوده و در سال های مختلف از مخاطرات دمایی یاد شده متأثر شده اند (بانک جهانی، ۲۰۱۰: ۸۵). رخداد سرماهای شدید همیشه سبب خسارات فراوان در منطقه شمال غرب شده اند (علیجانی، ۱۳۸۷: ۲). واضح است که آب و هوای فرین (جاری شدن سیل، طوفان گرمسیری، موج گرما و سرمای شدید) اثرات شدیدی می توانند در جوامع انسانی و زیرساخت های آن و همچنین در اکوسیستم داشته باشند (میبل<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰: ۴۲۷). هجوم سرما و گرمای شدید می تواند اثرات جدی اجتماعی، کشاورزی، اقتصادی و زیست محیطی در پی داشته باشد (پترسون<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲: ۱). استمرار زمانی دماهای فرین در بازه روزانه، هفتگی و حتی ماهانه حسب مورد موجب وقوع امواج سرماییه (دماهای فرین پایین) و امواج گرمایی (دماهای فرین بالا) می شود (قویدل، ۱۳۹۱: ۱۴۲). دیاز و مورانه<sup>۳</sup>، (۲۰۰۸: ۸۱) موج سرما را روزهای بی نهایت سرد یا توالی روزهای یخبندان که در آن دمای حداقل به زیر صفر درجه سانتی گراد نزول می کند، تعریف کرده اند. بر مبنای کار کانی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۳۸۹) آنتی سیکلون اقیانوس اطلس و شمال اروپا، کم فشارهای متوالی در غرب و مرکز اروپا، بادهای غربی، شرایط بارومتریک در ناحیه مدیترانه و کم فشارهای لیتوانی و استونی که شرایط سرما را به مرکز اروپا مستقر می سازند، عوامل اصلی وقوع امواج سرد در اروپا هستند. کایسلی<sup>۵</sup> (۲۰۰۸: ۱۴۷)، تأثیر ماندگاری الگوهای گردشی در ناهنجاری های دماهای گرم و سرد در اروپا را در قرن ۲۰، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. مطالعه مونتررو و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۰: ۵۷۶۸) نشان داده اند که میزان مرگو میر کاستیا-لامانچا در طی وقوع امواج سرد افزایش می یابد. در بررسی بارنت و

1. Meehl et al

2. Peterson et al

3. Diaz and Muranane

4. Cony et al

5. Kyselý

6. Montero et al

همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۲: ۲۱۸) مشخص شده که به طور کلی افزایش مرگ و میر ناشی از امواج سرمایی ناچیز بوده اما خطر مرگ ناشی از امواج گرمایی افزایش یافته است. مطالعات انجام شده قابل توجهی در خصوص امواج سرمایی ایران انجام نشده و اندک مطالعات انجام شده نیز بیشتر معطوف به تحلیل سینوپتیک روزهای یخبندان یا دماهای سرد فرین بوده اند. در این زمینه علیجانی و هوشیار (۱۳۸۷: ۱) معتقدند که وجود یک ناوه عمیق بر روی شمال ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نیز وجود یک پشته بسیار قوی بر روی اروپا در همان سطح و وجود پرفشار در سطح عوامل بروز سرماهای شدید شمال غرب ایران هستند. قویدل رحیمی (۱۳۹۰: ۴۵)، معلوم کرده که دماهای ابرسرد مراغه همگی جنبه وزشی داشته و بر اثر استقرار ناوه عمیق در تراز های ۷۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و وقوع بلوکینگ به وجود می آیند. به عقیده قویدل رحیمی (۱۳۹۰: ۱۵۵) سرماهای فرین منطقه آذربایجان همگی از نوع انتقالی بوده و بلوکینگ های مختلف به شکل ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دینامیک آن نقش مهمی در شارش هوای سرد عرض های بالاتر از ۶۰ درجه شمالی به منطقه آذربایجان دارند. در پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۱: ۵۵) عامل وقوع موج سرمای دی و بهمن ماه ۱۳۸۳ در استان چهارمحال و بختیاری الگوی پرفشار سیبری معرفی شده است.

مطلبی زاد (۱۳۹۴: ۵۹) ارتباط بین فراوانی وقوع امواج سرمایی منطقه شمال غرب ایران را با الگوهای پیوند از دور مورد بررسی قرار داده و الگوی نوسان شمالگان را عامل اصلی وقوع امواج سرمایی منطقه شمال غرب ایران قلمداد کرده است.

این مطالعه با هدف شناسایی آستانه عددی شروع و طبقه بندی شدت امواج سرمایی و تحلیل سینوپتیک موج های سرمایی رخ داده در منطقه شمال غرب ایران انجام شده است.

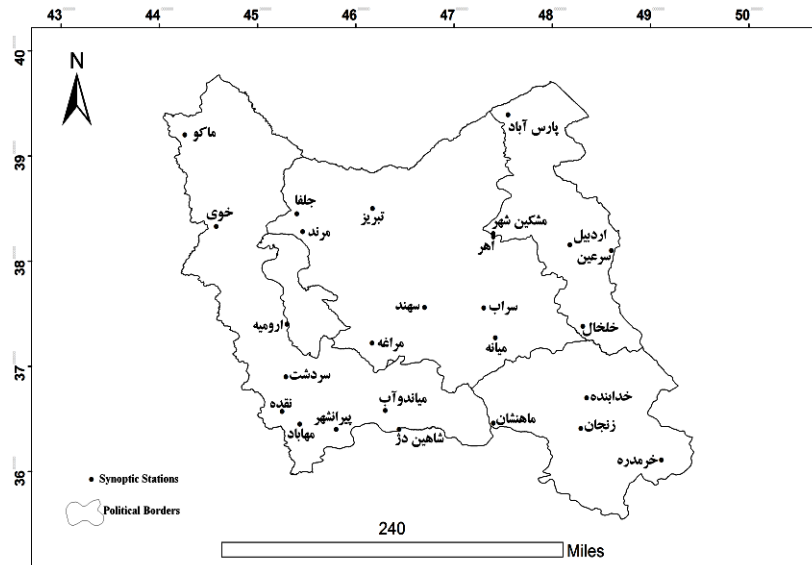
### داده ها و روش ها

منطقه شمال غرب ایران در محدوده ۳۴-۴۰ درجه ی عرض شمالی و ۴۴-۵۰ درجه ی طول شرقی واقع شده است. پراکندگی ایستگاه های سینوپتیک مورد مطالعه برای شناسایی امواج سرمایی منطقه شمال در شکل شماره ۱ و در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جهت شناسایی امواج سرمایی، از داده های حداقل دمای روزانه ۲۸ ایستگاه سینوپتیک منتخب منطقه شمال غرب ایران در بازه ی زمانی ۱۹۵۱-۲۰۱۰ مأخوذ از سازمان هواشناسی کشور استفاده گردیده است. داده های سطوح فوقانی جو که در این مطالعه مورد استفاده قرار داده شده اند، عبارت از: داده های فشار سطح دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT)، باد

<sup>۱</sup>. Barnett et al

مداری (Uwnd) و نصف‌النهاری (Vwnd)، دماهای کمینه روزانه ۲ متری سطح زمین و سطوح فوقانی جو (Air) هستند.



شکل (۱). موقع و پراکنش فضایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه شمال غرب ایران

داده‌های جوی یاد شده دارای توان تفکیک فضایی ۲/۵ در ۲/۵ درجه ای بوده و از پایگاه داده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) وابسته به ناسا اخذ شده‌اند. زمان انجام تحلیل‌های سینوپتیک مقارن با ساعت ۳/۳۰ به وقت محلی (۰ زولو به وقت گرینویچ) که مقارن با سردترین موقع روز است، انتخاب شده است.

هیچ تعریف یکسانی برای امواج سرمایی وجود ندارد که مقبولیت عمومی داشته باشد؛ زیرا دماهای یکسان می‌توانند در مناطق و زمان‌های مختلف اثرات و پیامدهای ناهمسانی بر جوامع بگذارند. اکثر تعاریف ارائه شده یا تک بعدی مثلاً زیست اقلیمی هستند و یا منطقه ای و بر اساس ویژگی‌های آماری دماهای کمینه مثل میانگین و انحراف معیار استوار بوده و آستانه‌های مطلق هستند و یا بر صدک اول توزیع احتمال که ده درصد پائینی توزیع احتمال دمای کمینه را شامل می‌شود و شاخصی نسبی است، تأکید دارند (رادینویچ و کوریچ، ۲۰۱۲: ۵۰۵). در این زمینه طرح پایگاه‌های اطلاعاتی و ارزیابی تغییرات آب و هوایی اتحادیه اروپا<sup>۱</sup> (ECAD) موج سرما یا دوره گرمایی را یک دوره متوالی حداقل ۶ روزه ای که کمینه دمای

<sup>۱</sup>. European Climate Assessment and Dataset (ECAD) project

هوای روزانه در دوره مذکور حداقل به صدک ۱۰ دوره بلند مدت ۱۹۹۱-۱۹۶۰ رسیده یا از آن پائین تر رود، اطلاق می کند (ECAD, ۲۰۱۰: ۲۳). در جنوب شرق آسیا خصوصاً در شبه جزیره کره به افت ناگهانی دما در فصل زمستان بر اثر توده هوای سرد بری که پهنه وسیعی را هم دربرگیرد، موج سرما می گویند. موج سرما یکی از مهم ترین پدیده های جوئی مربوط به موسمی های جنوب شرق آسیا در مقیاس سینوپتیک است (رایو و همکاران، ۲۰۰۵: ۵۵). شاخص دوام دوره سرما نیز که توسط هیأت بین الدول تغییرات آب و هوایی (IPCC) توصیه شده است، از شاخص های پرکاربرد در زمینه تحلیل امواج سرماییه است. براساس شاخص مذکور اگر دمای کمینه روزانه، حداقل ۵ درجه سانتی گراد از میانگین بلند مدت روزانه دما در دوره آماری پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ کمتر باشد و این وضعیت برای ۵ روز یا بیشتر دوام داشته باشد، موج سرما به وقوع پیوسته است (IPCC, ۲۰۱۳, ۷۵). این تعریف نیز بر دو عامل انحراف از میانگین بلند مدت پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ یا ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و استمرار زمانی حداقل ۵ روز موج سرما تأکید دارد. در هر حال چون امواج سرماییه به لحاظ احتمال وقوع و توزیع زمانی جزو پدیده های نادر هستند و در سال های اخیر کاهش فراوانی آن ها ویژگی کمیایی آنها را تشدید نموده است، در محدوده مطالعه فرین ها قرار گرفته اند. بر این اساس پریئو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۲: ۲۰۸۰) توصیه کرده اند که برای مطالعه دماهای غیر معمول و روزهای سرد شدید، باید برای تعریف آستانه عددی، مقداری فراتر از آن رویداد به عنوان شدید یا فرین طبقه بندی گردد.

در این مطالعه برای تفکیک و طبقه بندی امواج سرماییه از روش نمرات استاندارد شده به شرح معادله زیر استفاده شده است:

$$T_{\min} = (T_{\min_i} - \overline{T_{\min}}) / SD \quad (1)$$

که در آن:  $T_{\min}$ ، دمای حداقل استاندارد شده،  $T_{\min_i}$ ، دمای حداقل روزانه هر یک از ماه های سرد سال برحسب درجه سانتی گراد،  $\overline{T_{\min}}$ ، میانگین بلندمدت دماهای حداقل روزانه در منطقه در دوره ی ۶۰ ساله برحسب درجه سانتی گراد و  $SD$ ، انحراف معیار بلند مدت داده ها می باشند.

بر اساس ارقام دمایی صفر و زیر صفر درجه سانتی گراد حداقل دمای ایستگاه ها، میانگین حداقل دماهای منطقه شمال غرب با استفاده از شاخص Z استاندارد گردید. بر اساس جدول ۲

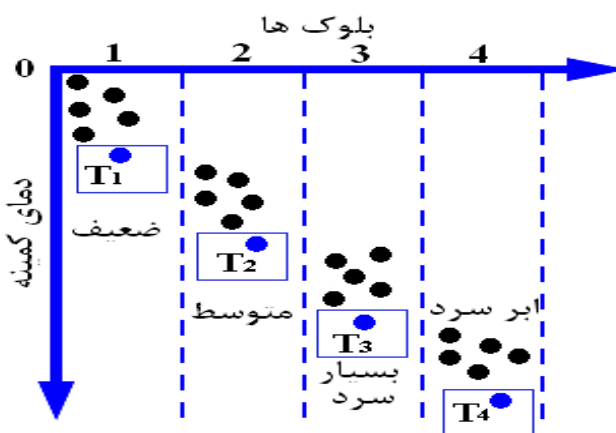
<sup>۱</sup>. Prieto et al

نمره استاندارد Z معادل  $0/5-$  مبنای تعریف موج سرد بوده است. بر این اساس برای شناسایی امواج سرما آستانه عددی  $0/5-$  (معادل  $7-$  درجه سانتی گراد) به عنوان شدت آستانه شروع موج سرد و آستانه تکرار برابر یا بیش از دو روز به عنوان آستانه زمانی وقوع امواج سرمایایی در منطقه شمال غرب ایران در نظر گرفته شده و بر مبنای شدت وقوع و فراوانی روزهای هر موج، طبقه بندی امواج سرمایایی انجام گرفته است. برای طبقه بندی شدت امواج سرمایایی از جدول ۱ استفاده شده است.

جدول (۱). طبقات امواج سرمایایی بر مبنای شاخص نمرات استاندارد شده دمای حداقل

ردیف	طبقه بندی موج سرمایایی	شدت بر اساس شاخص Z
۱	سرد ضعیف	$0/5-$ تا $0/99-$
۲	سرد متوسط	$1-$ تا $1/99-$
۳	بسیار سرد	$2-$ تا $2/99-$
۴	ابرسرد	کم تر از $3-$

انتخاب موج های سرد برای تحلیل سینوپتیک بر اساس روش حداقل بلوک ها انجام شده است. روش حداقل بلوک از روش های تحلیل مقادیر فرین می باشد که در آن پائین ترین مقدار هر بلوک برای تحلیل انتخاب می شود. در این مطالعه بلوک های تحقیق، هر یک از طبقات و فراوانی های امواج مختلف سرمایایی هستند. در شکل ۲ سردترین طبقات هر موج با نقطه های آبی و T مشخص شده اند. شرط مهم به کارگیری روش حداقل بلوک ها همبستگی بالا بین اعضای هر بلوک است.



شکل (۲). روش حداقل بلوک ها برای طبقه بندی و تحلیل امواج سرمایایی

## نتایج

پس از تنظیم سری داده‌های متوسط حداقل دمای منطقه شمال غرب و حذف مقادیر بیش از صفر درجه، داده‌های مذکور استاندارد شده و با توجه به جدول ۱ و شرط استمرار حداقل دو روزه روزهای سرد، مشخصات عمومی امواج قرار گرفته در هر طبقه به شرح جداول ۲ تا ۵ شناسایی گردید.

جدول (۲). مشخصات امواج سرمایی سرد ضعیف منطقه شمال غرب ایران

طبقات	شماره موج	سردترین روز			دمای سردترین روز (سانتی گراد)	دوام موج (روز)	میانگین دما در طول موج (سانتی گراد)
		سال	روز	ماه			
سرد ضعیف	۱	۱۹۶۳	۱۲	۱۲	-۱۱/۹	۳	-۹/۵
	۲	۲۰۰۲	۱	۲۵	-۹/۳	۴	-۸/۹
	۳	۱۹۸۶	۱۲	۵	-۱۰/۸	۵	-۸/۷
	۴	۲۰۰۷	۱۲	۲۱	-۹/۵	۶	-۸/۷
	۵	۱۹۵۱	۱	۱۳	-۱۱/۳	۷	-۸/۷
	۶	۱۹۹۷	۱	۲۱	-۸/۶	۸	-۷/۵
	۷	۱۹۷۳	۱۲	۲۴	-۹/۷	۱۰	-۸/۳
	۸	۱۹۷۵	۱	۲۶	-۹/۳	۱۲	-۷/۲

جدول (۳). مشخصات امواج سرمایی امواج سرمایی سرد متوسط منطقه شمال غرب ایران

طبقات	شماره موج	سردترین روز			دمای سردترین روز (سانتی گراد)	دوام موج (روز)	میانگین دما در طول موج (سانتی گراد)
		سال	ماه	روز			
سرد متوسط	۱	۱۹۶۲	۱	۶	-۱۲/۸	۲	-۱۲/۶
	۲	۱۹۶۹	۲	۱۵	-۱۳/۶	۳	-۱۲/۵
	۳	۱۹۹۰	۱	۸	-۱۴/۵	۴	-۱۲/۷
	۴	۱۹۵۸	۲	۱۱	-۱۵/۵	۵	-۱۱/۹
	۵	۱۹۷۴	۱	۳	-۱۲/۶	۶	-۱۱/۵
	۶	۱۹۸۲	۲	۱۰	-۱۳/۳	۷	-۱۱/۵
	۷	۱۹۸۶	۱	۲۴	-۱۳	۸	-۱۰/۶
	۸	۱۹۸۳	۱	۱۱	-۱۵	۹	-۱۳
	۹	۱۹۵۷	۱	۲۲	-۱۳/۵	۱۱	-۱۱/۲
	۱۰	۱۹۸۲	۱۲	۱۲	-۱۳/۲	۱۳	-۱۰/۶

جدول (۴). مشخصات امواج سرمایی امواج سرمایی بسیار سرد منطقه شمال غرب ایران

طبقات	شماره موج	سردترین روز			دمای سردترین روز (سانتی گراد)	دوام موج (روز)	میانگین دما در طول موج (سانتی گراد)
		روز	ماه	سال			
بسیار سرد	۱	۱۱	۲	۱۹۵۹	-۱۵/۵	۲	-۱۴/۵
	۲	۱	۱۲	۱۹۵۹	-۱۷/۵	۳	-۱۴/۶
	۳	۱۶	۲	۱۹۸۹	-۱۶/۹	۴	-۱۵/۷
	۴	۱۰	۱	۱۹۵۷	-۱۷/۳	۵	-۱۵/۵
	۵	۵	۲	۱۹۸۹	-۱۶/۸	۶	-۱۵/۸
	۶	۷	۱	۱۹۸۹	-۱۷	۷	-۱۵/۸
	۷	۱۶	۱	۱۹۷۷	-۱۸	۸	-۱۵/۱
	۸	۶	۱	۱۹۷۳	-۱۷	۱۰	-۱۴/۷
	۹	۱۶	۱	۲۰۰۸	-۱۶/۷	۱۲	-۱۴/۲
	۱۰	۲	۲	۱۹۷۴	-۱۶/۹	۱۵	-۱۴/۵

جدول (۵). مشخصات امواج سرمایی امواج سرمایی ابرسرد منطقه شمال غرب ایران

طبقات	شماره موج	سردترین روز			دمای سردترین روز (سانتی گراد)	دوام موج (روز)	میانگین دما در طول موج (سانتی گراد)
		روز	ماه	سال			
ابرسرد	۱	۲	۱	۱۹۷۳	-۱۹/۲	۲	-۱۸/۹
	۲	۲۷	۱	۱۹۸۳	-۲۰/۶	۳	-۱۹/۴
	۳	۲۴	۱	۱۹۷۲	-۲۰/۹	۴	-۱۸
	۴	۱۹	۱	۱۹۷۳	-۱۸/۸	۵	-۱۶/۴
	۵	۱۱	۲	۱۹۷۲	-۲۱/۳	۶	-۱۷/۸
	۶	۳	۲	۱۹۷۲	-۲۰/۲	۷	-۱۸
	۷	۲۵	۱۲	۱۹۷۲	-۱۸/۵	۹	-۱۵/۷
	۸	۲۰	۱	۱۹۶۴	-۲۴/۸	۱۴	-۱۹/۸
	۹	۱۲	۱	۱۹۶۴	-۲۰/۶	۱۵	-۱۸/۲

با توجه به جدول ۲ تغییرات امواج سرمایی سرد ضعیف از نظر شدت افت دما بین ۷/۲- و ۹/۵- درجه سانتی گراد و از نظر دوام از ۳ روزه تا ۱۲ روزه در نوسان بوده‌اند و هرچه بر طول روزهای موج افزوده شده از شدت سرمای موج کاسته شده است.

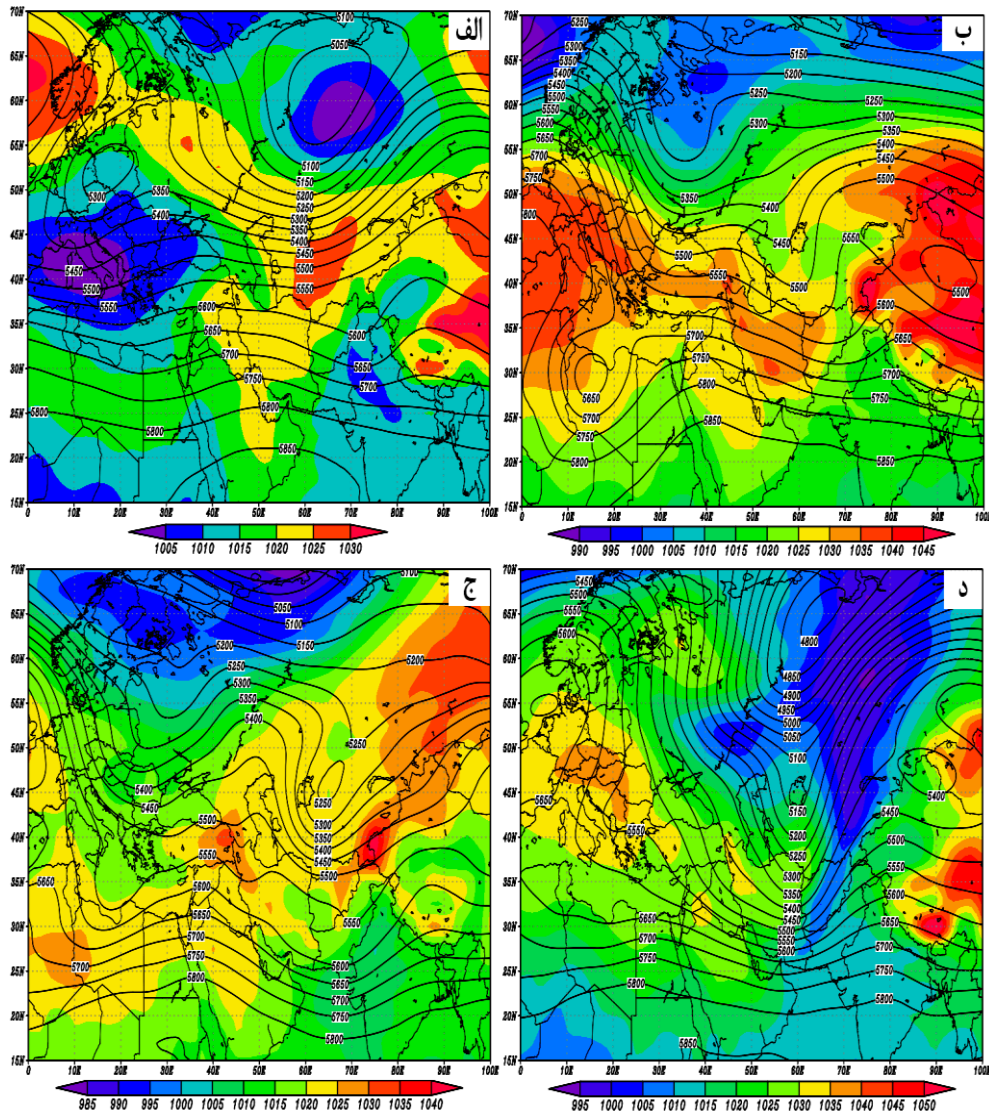
بر اساس جدول ۳ تغییرات امواج سرمایی سرد متوسط از نظر شدت افت دما بین ۱۰/۶- و ۱۳- درجه سانتی گراد و از نظر استمرار زمانی از ۲ روزه تا ۱۳ روزه در نوسان بوده‌اند. با توجه به محتویات جدول ۴ تغییرات امواج سرمایی بسیار سرد از نظر شدت افت دما بین ۱۴/۲- و ۱۵/۸- درجه سانتی گراد و از نظر استمرار زمانی از ۲ روزه تا ۱۵ روزه در نوسان بوده‌اند.

بر مبنای مندرجات جدول ۵ تغییرات امواج سرمایی به طبقه ابر سرد از نظر شدت افت دما بین ۱۵/۷- و ۱۹/۸- درجه سانتی گراد و از نظر استمرار زمانی از ۲ روزه تا ۱۵ روزه در نوسان بوده‌اند. نکته جالب توجه در خصوص این طبقه عدم وقوع این نوع امواج سرمایی از سال ۱۹۸۳ به بعد است. به عبارت دیگر بیش از دو دهه است که در منطقه شمال غرب ایران امواج ابر سرد به وقوع نپیوسته‌اند و از این لحاظ وقوع این نوع امواج سرمایی نادر شده است.

با توجه به جداول ۲ تا ۵، ۳۷ موج سرمایی در منطقه شمال غرب ایران مورد شناسایی قرار گرفت که از این میان فراوانی وقوع امواج سرمایی ضعیف و ابر سرد به ترتیب با ۸ و ۹ بار فراوانی وقوع کم‌ترین و فراوانی وقوع امواج سرمایی متوسط و بسیار سرد با فراوانی یکسان ۱۰ موج بیشترین مقدار در طول دوره آماری می‌باشند.

به منظور تحلیل سینوپتیک امواج سرمایی حادث شده در منطقه شمال غرب ایران، با توجه به کثرت تعداد امواج رخ داده و با استفاده از روش حداقل بلوک‌ها، از بین امواج سرمایی ۳۷ گانه از هر طبقه، سردترین روز موج وقوع یافته به عنوان نماینده آن طبقه برای مطالعه انتخاب گردید.

بر این اساس روز ۱۲ دسامبر ۱۹۶۳ به عنوان روز نماینده طبقه امواج سرمایی ضعیف، روز ۱۱ ژانویه ۱۹۸۳ به عنوان نماینده روز طبقه موج‌های سرد متوسط، روز ۷ ژانویه ۱۹۸۹ به عنوان نماینده روز طبقه امواج سرمایی بسیار شدید و روز ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴ به عنوان نماینده روز طبقه موج‌های ابر سرد برای تحلیل سینوپتیک انتخاب شدند. تحلیل ترکیبی و همزمان نقشه‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند، نشان می‌دهد که در هر چهار نمونه موج سرمایی در سطح زمین پرفشار بر منطقه شمال غرب استقرار یافته است. منتهی در امواج طبقه سرد ضعیف دو الگوی فشار سیبری و مهاجر غربی به صورت ترکیبی تأثیر گذار بوده و زبانه فشار ناشی از الگوهای مذکور با منحنی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال منطقه را تحت تسلط خود درآورده‌اند.

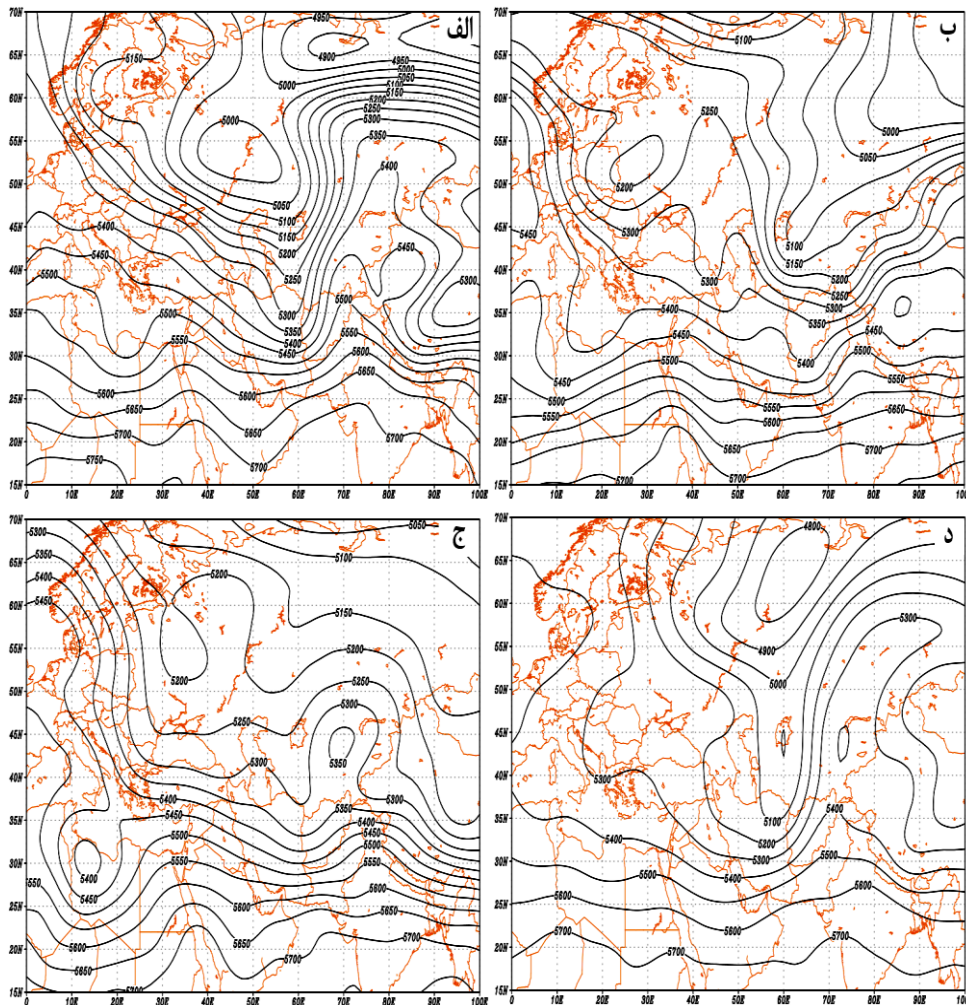


شکل (۳). نقشه ترکیبی فشار سطح دریا (نقشه رنگی) و آرایش توپوگرافی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف) روز ۱۲ دسامبر ۱۹۶۳ (طبقه امواج سرد ضعیف)، (ب) روز ۱۱ ژانویه ۱۹۸۳ (طبقه امواج سرد متوسط)، (ج) روز ۷ ژانویه ۱۹۸۹ (طبقه امواج سرد بسیار شدید)، (د) روز ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴ (طبقه امواج سرد).

همچنین در تراز ۵۰۰ یک پشته ضعیف مستقر است که منطقه شمال غرب در شرق محور پشته مذکور قرار داشته و طبیعتاً دارای وضعیت جریان نزولی و سرد است (شکل ۳ الف). در

روز نماینده طبقه موج متوسط، در تراز سطح دریا حاکمیت با پرفشار مهاجر غربی بوده و نسبت به طبقه موج سرد ضعیف پرفشار سطح دریا ۱۵ تا ۲۰ هکتوپاسکال قوی تر است. همانند الگوی موج سرد ضعیف، در موج سرد متوسط نیز منطقه شمال غرب در شرق محور پشته ای که از روی ترکیه، عراق و سوریه عبور کرده، واقع شده و دارای جریان هوای سرد و نزولی می باشد (شکل ۳ ب). در الگوی فشار سطح دریای طبقه موج سرد بسیار شدید، زبانه ای از پرفشار سیبری به سمت شرق کشیده شده و پربند پرفشار بسته ۱۰۳۰ هکتوپاسکال تفکیک شده از پرفشار سیبری بر بخش وسیعی از شمال غرب ایران و شرق آسیای صغیر مستقر شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همانند دو طبقه قبلی منطقه شمال غرب در شرق محور پشته ای که از دریای سیاه تا دریای سرخ امتداد یافته، واقع شده و دارای جریان هوای آنتی سیکلونی بسیار سردی است (شکل ۳ ج). همچنین در تراز میانی جو منطقه شمال غرب بین دو منحنی ۵۵۰۰ و ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر قرار گرفته که در مقایسه با دو طبقه قبلی ۵۰ ژئوپتانسیل متر کاهش ارتفاع داشته و طبیعتاً هوای خیلی سردتری به منطقه تحمیل کرده است. در نقشه فشار سطح دریای روز نماینده امواج ابر سرد مشخص است که زبانه ای از الگوی پرفشار مهاجر غربی که هسته مرکزی آن در اروپای مرکزی واقع شده به سمت شرق کشیده شده و تقریباً کل ایران را تحت نفوذ خود درآورده است (شکل ۳ د). نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ در طبقه امواج ابر سرد به وضوح متفاوت تر از طبقات موج های قبلی بوده و نسبت به موج های قبلی بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ ژئوپتانسیل متر کمتر و طبیعتاً سردتر است.

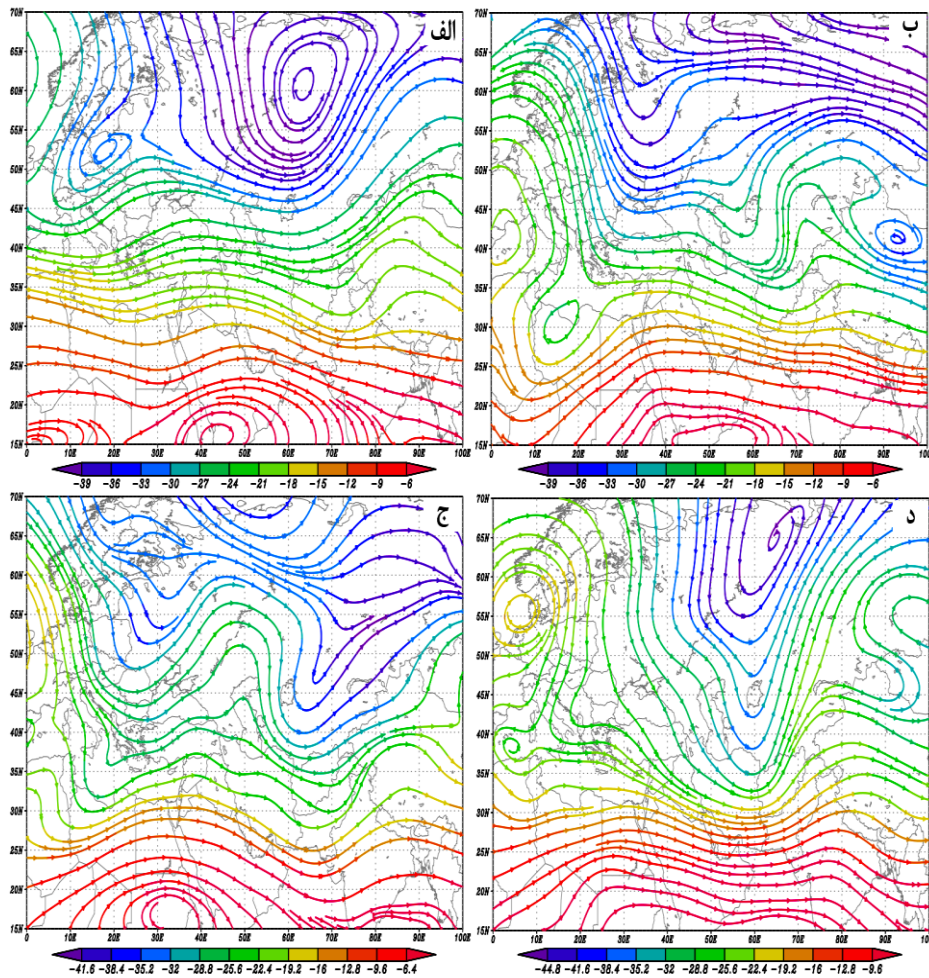
ترسیم نقشه های ضخامت جو در ترازهای بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای منتخب هر یک از امواج که در شکل ۴، نشان داد که در روز ۱۲ دسامبر و در امواج سرمای ضعیف ریزش هوای سرد از محدوده عرض های شمالی ۴۵ تا ۶۰ درجه بین دو منحنی ۵۳۵۰ و ۵۳۰۰ ژئوپتانسیل متر موجب وقوع سرما است (شکل ۴ الف). دو منحنی میزان یاد شده در روز نماینده موج سرد متوسط، در روز ۱۱ ژانویه ۱۹۸۳ به محدوده عرض شمالی ۶۲/۵ تا ۶۴ درجه شمالی صعود کرده و سرماهای به نسبت شدیدتری به منطقه وارد کرده است (شکل ۴ ب). در موج سرد بسیار شدید روز ۷ ژانویه ۱۹۸۹ عامل سرما انتقال هوای سرد محدوده عرض شمالی ۶۲/۵ تا ۶۷/۵ درجه شمالی از طریق همان دو منحنی میزان قبلی می باشد (شکل ۴ ج). در امواج ابر سرد (مورد ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴) هم سرما از عرض شمالی ۹۰ درجه شمال به منطقه منتقل شده و هم ضخامت جو بسیار نازک تر (بین دو منحنی ۵۲۰۰ و ۵۱۰۰ ژئوپتانسیل متر) است (شکل ۴ د).



شکل (۴). نقشه ضخامت جو در ۵۰۰-۱۰۰۰ ژئوپتانسیل (متر) الف) روز ۱۲ دسامبر ۱۹۶۳ (طبقه امواج سرد ضعیف)، ب) روز ۱۱ ژانویه ۱۹۸۳ (طبقه امواج سرد متوسط)، ج) روز ۷ ژانویه ۱۹۸۹ (طبقه امواج سرد بسیار شدید)، د) روز ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴ (طبقه امواج ابر سرد).

ترسیم و تحلیل نقشه میدان بادهای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهند که بادهای غربی در ترازهای مذکور از جریان مداری به نصف‌النهاری تغییر یافته‌اند و جهت شمالی بادهای مذکور حاکی از انتقال هوای سرد از عرض‌های شمالی به منطقه شمال غرب ایران دارند (شکل ۵). بر اساس نقشه‌های وزش دمايي، هر چه دما از مناطق شمالی تر و سردتری به سمت

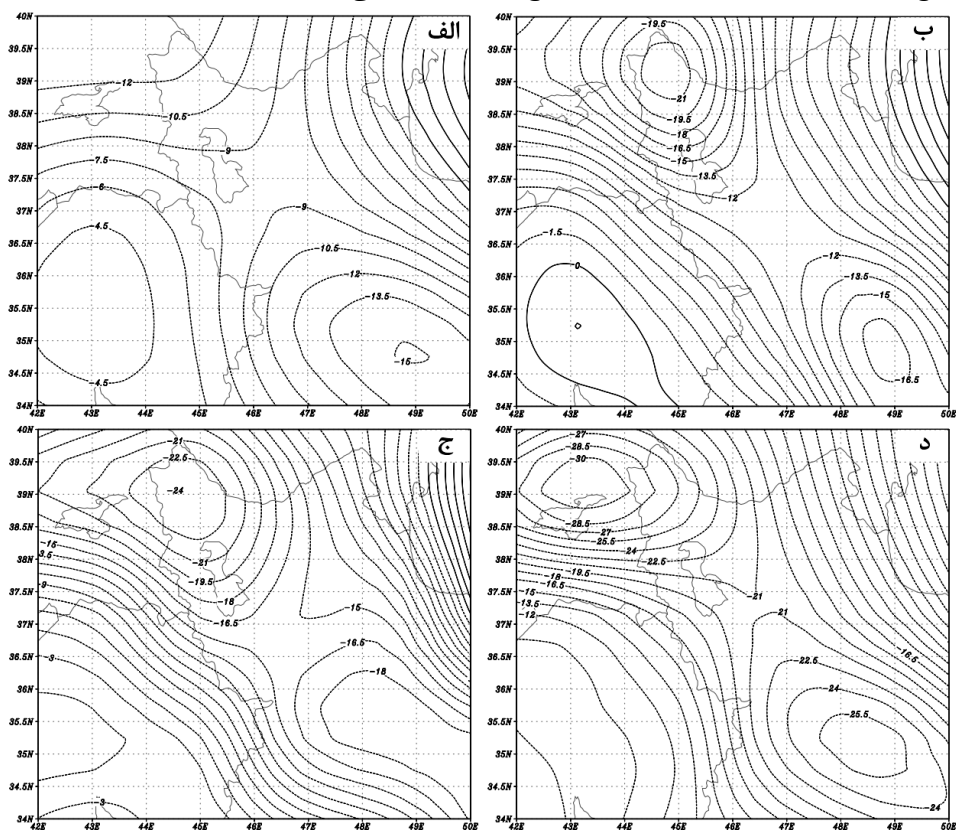
منطقه شمال غرب وزش یافته باشد، موج سرمایي شدیدتری ایجاد کرده است. همان گونه که از شکل ۵ د برمی آید وزش دمایی صورت گرفته در روز ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴ از عرض های ۷۰ درجه شمالی به سمت منطقه شمال غرب سرازیر شده و به همین خاطر ایجاد موج ابر سرد کرده است.



شکل (۵). نقشه های وزش دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف) روز ۱۲ دسامبر ۱۹۶۳ (طبقه امواج سرد ضعیف)، (ب) روز ۱۱ ژانویه ۱۹۶۴ (طبقه امواج سرد متوسط)، (ج) روز ۷ ژانویه ۱۹۶۴ (طبقه امواج سرد بسیار شدید)، (د) روز ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴ (طبقه امواج ابر سرد).

شکل ۶ توزیع فضایی حداقل دمای ۲ متری سطح زمین (درجه سانتی گراد) را در منطقه شمال غرب کشور برای هر یک از طبقات موج های سرمایي در روزهای منتخب را نشان می

دهد. نقشه مذکور در ارتباط کامل با نقشه های فشار و وزش دمایی سطوح میانی جو بوده و در واقع اثر علت ها بر معلول (دما در شکل امواج سرد) را نشان می دهد.



شکل (۶). حداقل دمای ۲ متری سطح زمین برای الف) روز ۱۲ دسامبر ۱۹۶۳ (طبقه امواج سرد ضعیف)، ب) روز ۱۱ ژانویه ۱۹۸۳ (طبقه امواج سرد متوسط)، ج) روز ۷ ژانویه ۱۹۸۹ (طبقه امواج سرد بسیار شدید)، د) روز ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴ (طبقه امواج ابر سرد). در شکل دما به درجه سانتی گراد بیان شده است.

### نتیجه گیری

نتایج تحلیل ها نشان داد که از نظر شدت انواع امواج سرماییه در منطقه شمال غرب رخ داده اند و فراوانی وقوع آنها در طول دوره مطالعه با وجود اختلاف در استمرار زمانی امواج، تقریباً یکسان بوده اند. روند نزولی فراوانی و شدت وقوع انواع امواج سرماییه منطقه شمال غرب در دوره مورد مطالعه که می تواند نشانه ای از تغییر اقلیم و تاثیر گرمایش جهانی محسوب شود با

نتایج کارهای انجام شده در سایر نقاط دنیا خصوصاً تحقیقات پاری و هوانگ (۲۰۱۵: ۱) و سسچرینی و همکاران (۲۰۱۵: ۷۳۷۹) همخوانی و مطابقت دارد.

دو طبقه موج های سرد ضعیف و متوسط با الگوی پرفشار در سطح دریا و واقع شدن منطقه شمال غرب در شرق و مجاور محور ناوه به وقوع می پیوندند؛ ولی طبقات موج های سرد شدید و ابر سرد با الگوی پرفشار سطح زمین و واقع شدن در غرب ناوه به وقوع می پیوندند که در امواج نوع ابر سرد ناوه ایجاد شده نسبت به امواج نوع سرد شدید بسیار عمیق تر است. نکته جالب توجه در خصوص امواج ابر سرد، عدم وقوع این نوع از سال ۱۹۸۳ به بعد است. به عبارت دیگر بیش از دو دهه است که در منطقه شمال غرب ایران امواج ابر سردی به وقوع نپیوسته و از این لحاظ وقوع این نوع امواج سرمایی نادر شده است. همانند مطالعاتی که در پیشینه تحقیق در خصوص روزهای فرین سرد منطقه شمال غرب ایران مورد بررسی قرار گرفته، این مطالعه نیز نشان داد که وقوع امواج سرمایی در سطح زمین با الگوهای پرفشار سیبری و مهاجر غربی و در سطوح فوقانی با استقرار یک ناوه غالباً عمیق که منطقه شمال غرب در غرب آن واقع می شود، همراه است. استقرار چنین وضعیتی در جو باعث می شود که جریان آنتی سیکلونی غرب ناوه ها هوای بسیار سرد عرض های بالای جغرافیایی به شمال غرب ایران وزش یافته و روزهای بسیار سردی در منطقه حادث شوند. وضعیت نصف النهاری جریان بادهای غربی که با وزش هوای سرد عرض های قطبی و کاهش سرعت توده هواهای قطبی سرد در سطح منطقه همراه است، موجب استمرار زمانی روزهای سرد شده و انواع امواج سرمایی را به وجود می آورد که این یافته با یافته های دیگر محققین مثل علیجانی و هوشیار (۱۳۸۷: ۱)، عزیزی و خلیلی (۱۳۹۰: ۳۹۹)، بذرافشان و رحیمی (۱۳۹۳: ۶۷) و خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۳: ۱) مطابقت دارد. بررسی نقشه های ضخامت نشان داد که هر قدر سرما از عرض های بالاتری به سمت منطقه شمال غرب منتقل شود، به همان اندازه ضخامت جو نازکتر بوده و بالتبع موج سرمای ایجاد شده نیز شدیدتر خواهد بود.

شدت افت دما در انواع مختلف امواج سرمایی نشان می دهد که به مرور زمان از فراوانی و شدت و استمرار زمانی امواج سرمایی خصوصاً امواج سرمایی طبقات بسیار سرد و ابر سرد کاسته شده است. پیوتروویچ و همکاران (۲۰۱۶: ۱۶۵) معتقدند که این امر در لهستان به خاطر کاهش فراوانی الگوهای پرفشار قوی با هسته فشار بیش از ۱۰۳۵ هکتوپاسکال است؛ لذا پیشنهاد می شود که مسأله فوق در خصوص کاهش فراوانی امواج سرمایی ایران مورد تحقیق قرار داده شود.

## منابع و ماخذ

۱. بذرافشان، جواد، رحیمی، جابر. (۱۳۹۳) تحلیل و پهنه‌بندی ریسک وقوع یخبندان و سرماهای تشعشعی، جبهه‌ای و مختلط در گستره ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی شماره ۱: صص ۶۷-۷۹.
۲. خوش‌اخلاق، فرامرز، داودی، محمود، روستا، ایمان، حقیقی، اسماعیل. (۱۳۹۰) تحلیل هم‌مدیدی سرماهای شدید خراسان. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی شماره ۹: صص ۱-۱۲.
۳. علیجانی، بهلول، هوشیار، محمود. (۱۳۸۷) شناسایی الگوهای سینوپتیک سرماهای شدید شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی شماره ۶۵: صص ۱-۱۶.
۴. عزیززی، قاسم، خلیلی، مائده. (۱۳۹۰) نقش بلوکینگ در رخداد سرماهای فرین ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی شماره ۷۷: صص ۳۹-۵۵.
۵. قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۰) تعیین آستانه آماری و تحلیل سینوپتیک دماهای ابر سرد مراغه. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی شماره ۲۲: صص ۴۵-۶۲.
۶. قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۰) رابطه دماهای فرین پائین فراگیر دوره‌ی سرد آذربایجان با الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. فصلنامه علمی و پژوهشی فضای جغرافیایی شماره ۳۵: صص ۱۵۵-۱۸۴.
۷. قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۱) مدل‌های زمانی تحلیل و پیش‌بینی دماهای فرین پایین تهران. فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی شماره ۳۷: صص ۱۴۲-۱۵۹.
۸. کریمی، صادق، نگارش، حسین، طاووسی، تقی، علیجانی، بهلول. (۱۳۹۱) تحلیل هم‌مدید امواج سرماهای فراگیر ایران (نمونه موردی: موج سرمای دی و بهمن ۱۳۸۳ استان چهارمحال و بختیاری). جغرافیا و توسعه شماره ۲۹: صص ۵۵-۷۶.
۹. مطلبی زاد، سلماز. (۱۳۹۴) شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک امواج سرمای منطقه شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هوایی، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس تهران.

Barnett, A.G., Hajat, S., Gasparrini, A., & Rocklov, J. (2014). *Cold and heat waves in the United States*. Environmental Research, 112, 218-224.

Ceccherini, G., Russo, S., Ameztoy, I., Romero cp & Carmona-Moreno, c. (2015). *Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 3, 7379-7409.

Cony, M.E and T Del Teso Hernandez. (2008). *Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe*. Atmosfera, 21, 389-401.

Diaz, H and M Muranane (2008). *Climate extremes to society*. Cambridge University Press.

European Climate Assessment & Dataset (ECAD). (2010). *European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) project - Indices dictionary*, <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php#2> (accessed 6 October 2010).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2013). *Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press.

Kysely, Jan. (2008). *Influence of the Persistence of Circulation Patterns on Warm and Cold Temperature Anomalies in Europe. Analysis over the 20th Century*. Global and Planetary Change, 62, 147–163.

Meehl, Gerald A, and Coauthors. (2000). *An introduction to trends in extreme weather and climate events Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections*. Bulletin of the American Meteorological Society, 81, 427-436

Montero, J.C, I.J Mirón, J.J Criado-Álvarez, c Linares, and J Díaz. (2010). *Mortality from Cold Waves in Castile -La Mancha, Spain*. Science of the Total Environment. 408, 5768–5774.

Parey, S & Hoang, TTH. (2015). *Changes in the distribution of cold waves in France in the middle and end of the 21st century with IPSL - CM5 and CNRM - CM5 models*, Climate Dynamic, DOI 10.1007/s00382-015-2877-6.

Peterson, Thomas C and et al. (2013). *Monitoring and Understanding Changes in Heat Waves, Cold Waves, Floods and Droughts in the United States*. Bulletin of the American Meteorological Society. 821-834.

Piotrowicz, K; Bielec-Bakowska, Z; Domonkos, P, (2016). *High atmospheric pressure and accompanying cold season weather types in Poland (1951–2010)*. Climate Research, 67, 165–177.

Prieto, L, R Garcia, J Diaz, E Hernandez, and T Del Teso. (2002). *NAO Influence on the Extreme Winter Temperature in Madrid (Spain)*. Annals Geophysical, 20, 2077–2085.

Radinović, D & Ćurić M. (2012). *Criteria for heat and cold wave duration indexes*. Theor Appl Climatol, 107, 505–510.

Ryoo, SB., Kwon, KB & Jhun, JG. (2005). *Surface and Upper-Level Features Associated with Wintertime Cold Surge Outbreaks in South Korea*. Advances in Atmospheric Sciences, 22, 509–524.

World Bank. (2010). *Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention*, The World Bank Publications, Washington, DC.