

## رویکردی نوین در شناسایی و تحلیل امواج سرمایی مطالعه موردی: شمال شرق ایران

مهدی عالی جهان<sup>۱</sup>، برومند صلاحی<sup>۲\*</sup>، یوسف قویدل رحیمی<sup>۳</sup>، منوچهر فرج‌زاده اصل<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری رشته آب و هواشناسی سینوپتیک دانشگاه محقق اردبیلی

۲. استاد گروه جغرافیای دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت مدرس تهران

۴. استاد گروه جغرافیای دانشگاه تربیت مدرس تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۸

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۵/۶

### چکیده

پدیده تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مسائلی است که جوامع بشری با آن روبرو هستند. افزایش فراوانی و شدت رخداد رویدادهای فرین اقلیمی هم‌چون دماهای فرین و بارش‌های شدی از جمله اثرات تغییرات اقلیمی به شمار می‌روند. تحقیق پیش‌رو با رویکردی نوین به شناسایی، بررسی و تحلیل سینوپتیک امواج سرمایی با دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و سردتر در شمال شرق ایران می‌پردازد. این پژوهش با استفاده از داده‌های قرن بیستم سازمان ناسا، در بازه زمانی ۱۴۲ ساله (۲۰۱۲ - ۱۸۷۱ میلادی) به انجام رسیده است. ابتدا امواج رخ‌داده در طول بازه زمانی مورد مطالعه شناسایی، بررسی و نهایتاً سردترین روز موج شناسایی شده از ماه‌های رخ‌داده انتخاب و مورد تحلیل سینوپتیک قرار گرفت. نتایج حاصل شده از تحلیل‌های سینوپتیک روزهای انتخابی حاکی از تسلط سیستم پرفشار در سطح زمین و رخداد بلوکینگ و به دنبال آن ناوه و پشته در سطوح فوقانی جو دارد. در اکثر روزهای مورد مطالعه، سیستم پرفشار ادغامی (پرفشار سیبری - پرفشار مهاجر غربی) در سطح زمین جریان داشته که بر شدت سرمای سطح زمین به شدت افزوده است. جریان نصف‌النهاری شکل گرفته توسط بلوکینگ‌های رخ‌داده منجر به وزش هوای بسیار سرد عرض‌های شمالی به شمال شرق ایران شده و از طرفی دیگر بر مدت زمان استقرار این امواج سرد افزوده است.

**کلید واژگان:** امواج سرمایی، داده‌های قرن بیستم ناسا، دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد، شمال شرق ایران

## مقدمه

تانپیل (۱۹۲۸) هواشناس معروف، عامل اصلی موج سرماهای شدید سواحل تگزاس را وزش هوای سرد از عرض‌های بالا و سردتر به سواحل تگزاس می‌داند. سیموندز و ریچر (۲۰۰۰) معتقد هستند رایج‌ترین سیستم سینوپتیک که منجر به رویدادهای سرد زمستانه و تابستانه ملبورن و پرت می‌شود عبور جبهه سرد از روی شهر و حمل و انتقال هوای جنب قطب جنوب به این منطقه می‌باشد. دومانگوز و همکاران (۲۰۰۳)، با بررسی تغییرات رخداد‌های دمایی در جنوب و مرکز اروپا طی قرن ۲۰ بادهای شمالی، بادهای شرقی و از طرفی دیگر موقعیت‌های نصف‌النهاری و آنتی سیکلونی را در وقوع این رویدادها دخیل می‌دانند. به عقیده گیلیسکو (۲۰۰۶)، پرفشار اقیانوس آرام و رودبادها عوامل اصلی شدت و ضعف امواج سرد ناحیه‌ی مرکزی و شرقی ایالات متحده آمریکا هستند. کانی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی عوامل اصلی منجر به امواج سرد اروپا پرداختند. آن‌ها آنتی سیکلون نسبتاً ضعیف اقیانوس اطلس و شمال اروپا، کم‌فشارهای متوالی در غرب و مرکز اروپا، بادهای غربی، شرایط بارومتریکی در ناحیه مدیترانه و کم‌فشارهای لیتوانی و استونی که شرایط سرما به مرکز اروپا تحمیل می‌کنند را از جمله عوامل اصلی رخداد امواج سرد در اروپا می‌دانند. آنکاشویچ و توشچ (۲۰۱۴) علت سرماهای شدید صربستان را جریانات سردی دانستند که از شمال و شمال شرق اروپا وارد این منطقه می‌شود. در کشور ایران هم مطالعه دماهای فرین پایین و امواج سرمایای نظر محققان را به خود جلب کرده است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰، ۱۳۹۰؛ احمدی و قویدل رحیمی، ۱۳۹۰؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵). علیجانی و هوشیار (۱۳۸۷) الگوهای پرفشار غربی، کم‌فشار اورال، الگوی مداری و پرفشار آرازات را در بروز سرماهای شدید منطقه شمال غرب ایران دخیل می‌دانند. لشکری (۱۳۸۷)، انطباق و هماهنگی سامانه‌ها در ترازهای پایین و میانی جو و نفوذ زبانه‌های پرفشار سیبری را عوامل اصلی افت شدید دما و تولید موج سرد در ایران می‌داند. قویدل رحیمی (۱۳۸۸) معتقد است زمانی دماهای فرین حداقل زمینه وقوع پیدا می‌کنند که بر روی سطح زمین، الگوی پرفشار و در سطوح فوقانی جو، ناهه شکل گرفته

یکی از مهم‌ترین مسائلی که جوامع بشری در حال حاضر با آن روبرو است و نظر بسیاری از محققان را در گوشه و کنار دنیا به خود جلب کرده پدیده تغییر اقلیم می‌باشد. از جمله اثرات تغییرات اقلیمی می‌توان به افزایش فراوانی و شدت رخداد رویدادهای فرین اقلیمی هم‌چون دماهای فرین و بارش‌های شدید اشاره کرد (Brown & Katz, 1995; Kharin&Zwiers, 2000; Meehl et al., 2000; Houghton et al., 2001; Bell & Sloan, 2006; Watts, 2007; Jahansen, 2008; Greene et al., 2001; Chu et al., 2010; Dulière et al., 2011; Peterson et al., 2012; Black & Weisel, 2012; Min et al., 2013; Freychet et al., 2015; Jankovic&Schultz, 2017). امواج سرمایای نیز از جمله مخاطرات جوی و رویدادهای فرین آب و هوایی محسوب می‌شود (Kirch et al., 2005; Pine, 2008) که در سال‌های اخیر تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی تغییرات امواج سرمایای (Parey& Hoang, 2015; Ceccherini et al., 2016; Ghavidelrahimi et al., 2015) همچنین تأثیر امواج سرمایای بر ابعاد مختلف جوامع بشری همواره مد نظر محققان مختلف در اکثر نقاط دنیا بوده است (Coville, 1920; Meehl et al., 2000; Huynen et al., 2001; Kirck et al., 2005; Gaskin et al., 2008; Montero et al., 2010; Datla&Shama, 2010; Medvigy et al., 2013; Parry et al., 2012). تعاریف متعددی از امواج سرمایای ارائه شده است. در حالت کلی، دانشمندان امواج سرمایای را روزهای بسیار سرد یا تداوم روزهای یخبندان با دمای حداقل زیر صفر درجه سانتی‌گراد برای حداقل ۲ روز و بیشتر می‌دانند (Smith, 2006; Diaz & Muranane, 2008; Barnett et al., 2014). در مجموع می‌توان ویژگی‌های موج سرد را در ۳ ویژگی خلاصه کرد: ۱. شدت و سرعت افت دما ۲. مقدار عددی افت یا انحراف در مقدار دمای روزانه ۳. طول دوره‌ی تداوم (استمرار زمانی) موج سرد (Markgraf, 2001). پژوهشگران بسیاری امواج سرمایای و ریشه‌های جوی رخداد این پدیده را مورد مطالعه قرار دادند (Vera et al., 2002; Prieto et al., 2004; Cassano et al., 2005; Ashcroft et al., 2009; Metz et al., 2013; Luo et al., 2014; Park et al., 2014; Piotrowicz et al., 2016).

پژوهش پیش رو از داده‌های سطوح فوقانی جو و داده‌های باز تحلیل شده قرن بیستم استفاده شد. داده‌های ذکر شده از

وب سایت

[https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC\\_ReanV2.html](https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV2.html)

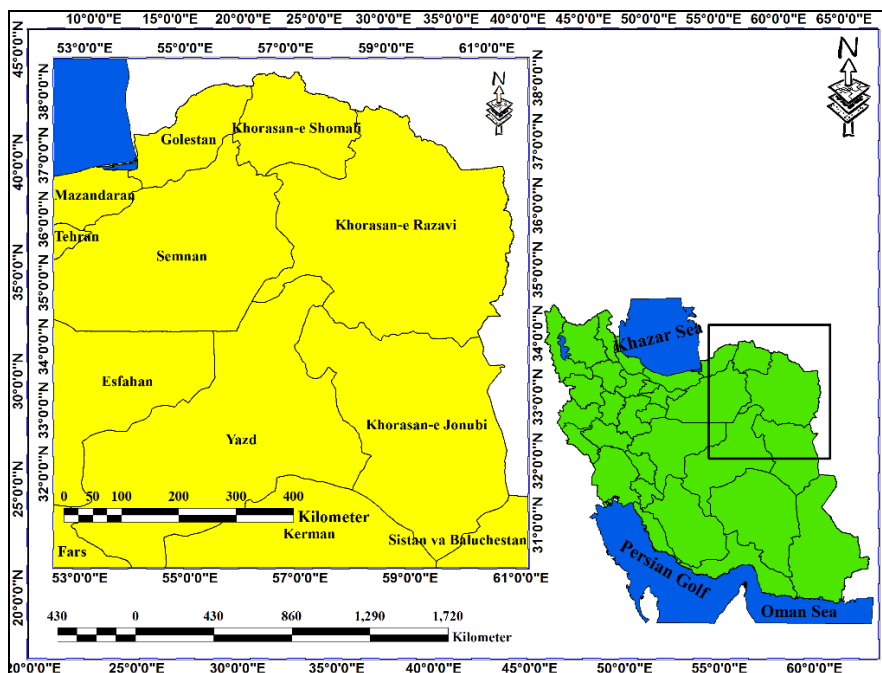
اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های قرن بیستم سازمان ناسا نسبت به داده‌های عادی از قدرت تفکیک زمانی - مکانی خوبی برخوردار بوده و از این نظر نسبت به آن‌ها دارای دقت بهتر و قابل قبول‌تری است. داده‌های مربوط به سطوح فوقانی جو که در این پژوهش مدنظر هستند شامل داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسل متر)، فشار سطح دریا (هکتوپاسکال)، باد مداری و نصف‌النهاری (متر بر ثانیه)، داده دمای دو متری سطح زمین (درجه سانتی‌گراد) و داده دمای سطوح فوقانی جو (درجه سانتی‌گراد) می‌باشند. لازم به ذکر است داده‌های استفاده شده دارای بازه زمانی ۱۴۲ ساله از سال ۱۸۷۱ تا سال ۲۰۱۲ میلادی می‌باشند. داده‌ها ۶ ساعته و ۴ مشاهده‌ای روزانه (۰، ۶، ۱۲ و ۱۸ زولو) بوده دارای قدرت تفکیک فضایی ۲ درجه طول جغرافیایی در ۲ درجه عرض جغرافیایی و از ۲۴ تراز فشاری از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰ هکتوپاسکال تشکیل شده‌اند. در این پژوهش به دلیل اینکه بازه زمانی مورد مطالعه ۱۴۲ ساله بوده و در ایران به هیچ عنوان ایستگاه‌های سینوپتیک وجود ندارند که این بازه زمانی را تحت پوشش قرار بدهد از این رو از داده‌های ایستگاه‌های زمینی به هیچ‌وجه استفاده نشده و فقط از داده‌های ۲ متری حداقل دمای سطح زمین و سطوح فوقانی جو جهت آشکارسازی، شناسایی، طبقه‌بندی و استخراج امواج سرد با حداقل دمای ثبت شده ۱۵- درجه سانتی‌گراد ایران استفاده به عمل آمد.

باشد. از طرفی دیگر مسعودیان و دارند (۱۳۹۰) سرماهای فرین ایران را حاصل ۵ الگوی گردشی می‌دانند: ۱- الگوی پرفشار سیبری - اروپا ۲ - الگوی پرفشار سیبری - کم فشار ایسلند ۳- الگوی پرفشار سیبری ۴- الگوی پرفشار شمال خزر - سیبری ۵- پرفشار شمال خزر. پژوهش‌های به انجام رسیده به نحوی نقش آنتی سیکلون‌های جوی، تبدیل جریان باد مداری به جریان نصف‌النهاری و وزش جریانات شمالی از عرض‌های بالای جغرافیایی را عامل اصلی رخداد دماهای فرین پایین و امواج سرمایی می‌دانند.

منطقه شمال شرق ایران همواره با وقوع دماهای فرین پایین مواجه بوده و خسارات فراوانی را از این نظر به خود دیده است لذا مطالعه این بلیه طبیعی در این منطقه بسیار حائز اهمیت است. این پژوهش در صدد شناسایی امواج سرمایی با حداقل دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و کمتر ۱۴۲ ساله منطقه شمال شرق ایران و بررسی و تحلیل سینوپتیک منجر به این پدیده با استفاده از داده‌هایی با قدرت تفکیک فضایی ۲ در ۲ درجه قرن بیستم می‌باشد. به علت عدم وجود داده‌های ایستگاهی در سری زمانی طولانی‌مدت، تاکنون پژوهشی به این صورت وسیع از نظر زمانی برای کشور ایران صورت نگرفته است. از این نظر، پژوهش پیش‌رو می‌تواند دید جامع و وسیعی از رفتار و فراز و فرودهای دماهای فرین پایین و امواج سرمایی در طول ۱۴۲ سال آماری در اختیار محققین قرار دهد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در حد فاصل بین ۳۴ تا ۳۸/۲ درجه عرض شمالی و ۵۴ تا ۶۱ درجه طول شرقی در گوشه شمال شرق کشور ایران قرار گرفته است (شکل ۱). جهت انجام



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

هکتوپاسکال و نقشه حداقل دمای دو متری سطح زمین استفاده گردید.

### نتایج و بحث

داده‌های قرن بیستم دمای حداقل دو متری سطح زمین به وسیله اسکریپت نوشته شده ران شده و امواج سرماییه با شدت سرماییه حداقل ۱۵- درجه سانتی‌گراد و سردتر با حداقل استمرار زمانی ۲ روزه جهت تحلیل امواج سرماییه ۱۴۲ ساله شمال شرق کشور استخراج گردید. نتایج حاصل شده در شکل ۲ و جدول ۱ نمایش داده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده در طول ۱۴۲ سال بازه زمانی مورد مطالعه ۴۴ موج با دمای حداقل ۱۵- و سردتر مورد شناسایی قرار گرفت که شمال شرق را تحت تأثیر خود قرار دادند.

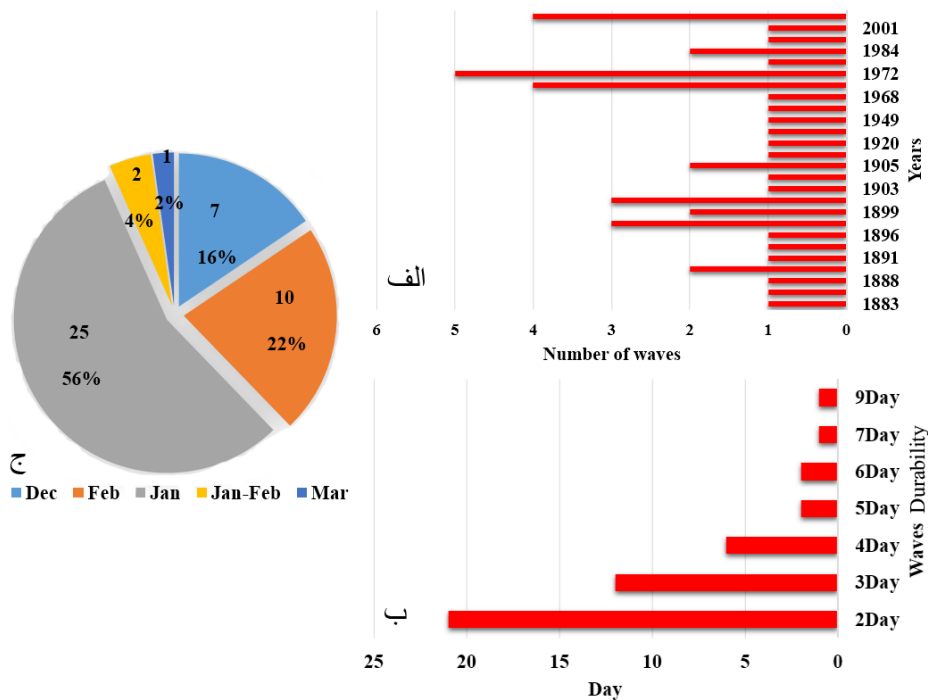
جهت انجام پژوهش حاضر ابتدا امواج سرماییه با حداقل دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و استمرار زمانی حداقل ۲ روز طی ۱۴۲ سال آماری توسط اسکریپت نوشته شده از داده‌های دمای حداقل دو متری سطح زمین استخراج گردید. سپس داده‌های مربوطه از نظر فراوانی، شدت، مدت و وسعت مکانی طبقه‌بندی شدند. جهت اعتبارسنجی داده‌های استخراجی تا جایی که از نظر زمانی با ایستگاه‌های زمینی همخوانی داشتند کنترل شده و از صحت داده‌های به دست آمده اطمینان حاصل گردید. جهت تحلیل سینوپتیک از سردترین امواج رخ داده در هر کدام از ماه‌ها استفاده به عمل آمد. جهت این امر از نقشه‌های ترکیبی فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ضخامت جو (۱۰۰۰ - ۵۰۰ هکتوپاسکال)، نقشه وزش دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه تاوایی تراز ۸۵۰

جدول ۱- مشخصات امواج سرمای

ردیف	سردترین روز			سردترین دما T(C°)	استمرار (روز)	ردیف	سردترین روز			سردترین دما T(C°)	استمرار (روز)
	سال	ماه	روز				سال	ماه	روز		
۱	۱۸۸۳	ژانویه	۲۱	-۱۹/۵	۴	۲۳	۱۹۴۸	دسامبر	۲۰ - ۲۱	-۱۵	۲
۲	۱۸۸۵	ژانویه	۹	-۱۹/۵	۲	۲۴	۱۹۴۹	ژانویه	۸	-۱۶/۵	۲
۳	۱۸۸۸	دسامبر	۲۸ - ۲۹	-۱۶/۵	۳	۲۵	۱۹۵۱	فوریه	۱۰	-۱۸	۲
۴	۱۸۸۹	ژانویه	۲۲ - ۲۳	-۱۸	۲	۲۶	۱۹۶۸	فوریه	۷	-۱۶/۵	۲
۵	۱۸۸۹	ژانویه	۱۷	-۲۲/۵	۵	۲۷	۱۹۶۹	ژانویه - فوریه	۳۱	-۱۹/۵	۲
۶	۱۸۹۱	دسامبر	۳۰	-۲۱	۳	۲۸	۱۹۶۹	ژانویه	۲۶	-۲۸/۵	۴
۷	۱۸۹۲	ژانویه	۲۶	-۱۶/۵	۲	۲۹	۱۹۶۹	ژانویه	۹	-۲۲/۵	۴
۸	۱۸۹۶	ژانویه	۳۱	-۱۹/۵	۲	۳۰	۱۹۶۹	فوریه	۱۱ - ۱۲	-۱۵	۵
۹	۱۸۹۸	مارس	۱	-۲۷	۲	۳۱	۱۹۷۲	ژانویه - فوریه	۱،۲،۳،۴ فوریه	-۲۲/۵	۷
۱۰	۱۸۹۸	ژانویه	۴	-۱۸	۲	۳۲	۱۹۷۲	ژانویه	۲۱	-۱۹/۵	۲
۱۱	۱۸۹۸	ژانویه	۲۰	-۱۶/۵	۲	۳۳	۱۹۷۲	فوریه	۱۱،۱۲،۱۳	-۲۱	۴
۱۲	۱۸۹۸	دسامبر	۳۱	-۱۹/۵	۳	۳۴	۱۹۷۲	فوریه	۲۵	-۱۸	۶
۱۳	۱۸۹۸	دسامبر	۲۳	-۱۸	۲	۳۵	۱۹۷۲	دسامبر	۲۷	-۱۸	۳
۱۴	۱۹۰۰	ژانویه	۱	-۲۷	۲	۳۶	۱۹۷۹	ژانویه	۲۹	-۲۱	۳
۱۵	۱۹۰۰	ژانویه	۲۲ - ۲۳	-۲۱	۲	۳۷	۱۹۸۴	فوریه	۳ - ۴	-۱۶/۵	۲
۱۶	۱۹۰۰	فوریه	۳	-۱۹/۵	۴	۳۸	۱۹۸۴	فوریه	۶ - ۷	-۲۱	۲
۱۷	۱۹۰۳	ژانویه	۲۳	-۱۹/۵	۳	۳۹	۱۹۹۰	دسامبر	۲۷ - ۲۸	-۱۸	۳
۱۸	۱۹۰۴	ژانویه	۱۱	-۱۶/۵	۲	۴۰	۲۰۰۱	ژانویه	۳۰	-۲۱	۳
۱۹	۱۹۰۵	ژانویه	۲۲	-۱۸	۳	۴۱	۲۰۰۸	ژانویه	۲۰	-۲۸/۵	۹
۲۰	۱۹۰۵	ژانویه	۳۰	-۱۸	۳	۴۲	۲۰۰۸	ژانویه	۱۶	-۲۱	۲
۲۱	۱۹۰۷	ژانویه	۲۶	-۲۴	۶	۴۳	۲۰۰۸	ژانویه	۸ - ۹	-۲۵/۵	۵
۲۲	۱۹۲۰	فوریه	۵	-۱۸	۳	۴۴	۲۰۰۸	فوریه	۶	-۱۸	۳

۴ ماه دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس هستند؛ که از بین آن‌ها ماه ژانویه با تعداد ۲۵ موج در رده اول و ماه مارس با ۱ موج در رده آخر قرار دارند. همچنین از نظر استمرار زمانی، موج‌ها بین ۲ تا ۹ روز متغیر می‌باشند که امواج ۲ روزه ۲۱ بار و موج ۹ روزه به مدت ۱ بار در طول ۱۴۲ سال در منطقه شمال شرق کشور حادث شده است.

از نظر تعداد امواج ثبت شده سالانه، سال ۱۹۷۲ با ۵ موج ثبت شده در بین سال‌های مورد مطالعه رده اول را به خود اختصاص می‌دهد. شدت سرمای ثبت شده طی وقوع موج سرد در منطقه بین -۱۵ تا -۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که حداقل دمای ثبت شده -۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد ۲ بار در طول بازه زمانی مورد مطالعه در شمال شرق کشور به وقوع پیوسته است. از نظر فراوانی ماهانه، امواج رخ داده متعلق به



شکل ۲- الف: تعداد امواج سرمایی رخ داده در سال ب: تعداد دفعات رخداد امواج سرمایی با مدت زمان استقرار ۲ تا ۹ روز ج: تعداد و درصد رخداد امواج سرمایی در فصل‌های مورد بررسی

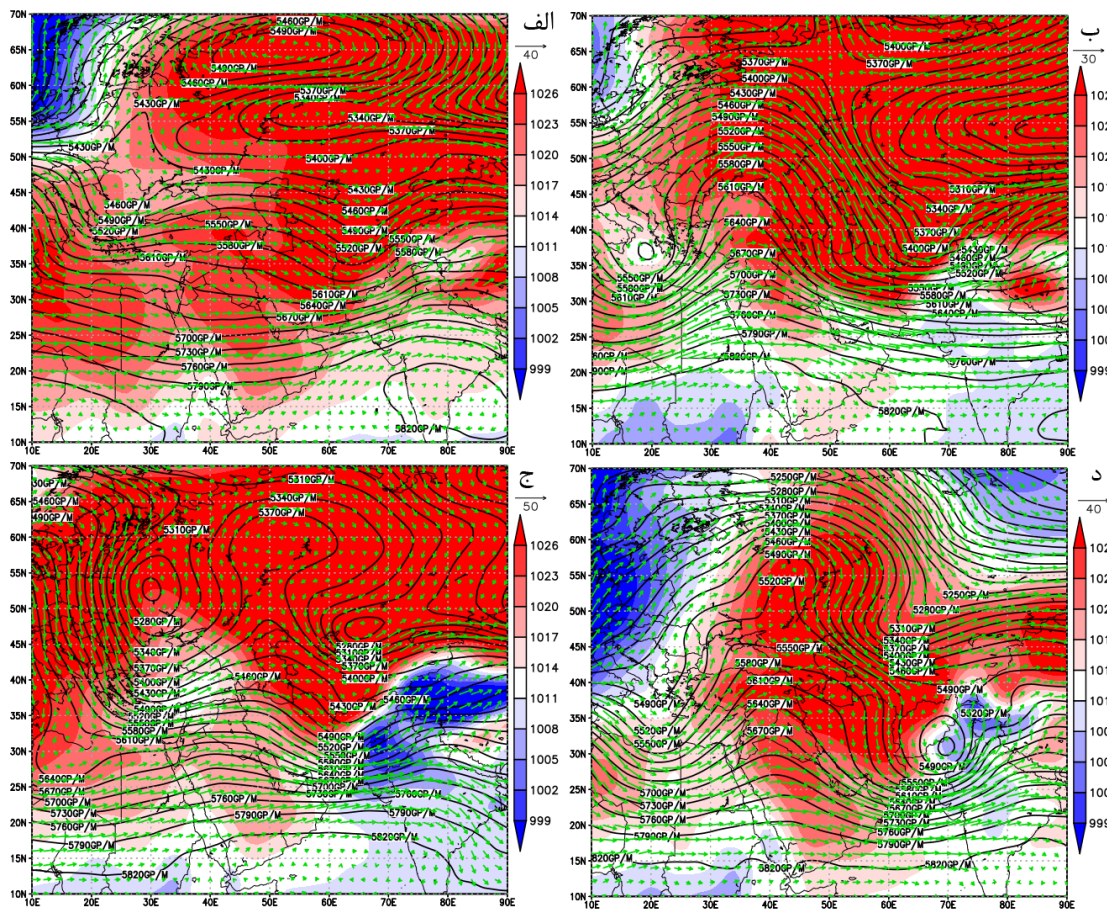
است. وجود پرفشار شدید در سطح زمین منجر به دو شاخه شدن جریان باد مداری (تشکیل بلوکی‌نگ) بر فراز دریای سیاه شده و جریان نصف‌النهاری به موج‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بخشیده است. این شرایط منجر به تشکیل پشته با محوریت مستقر بر شمال غرب ایران شده و در نهایت هدایت هوای بسیار سرد عرض‌های بالا به منطقه شمال شرق که در شرق پشته ذکر شده مستقر می‌باشد، شده است. شرایط جوی در ماه ژانویه نیز همانند ماه دسامبر می‌باشد با این تفاوت که علیرغم ادغام دو سامانه پرفشار سیبری و پرفشار مهاجر غربی، در منطقه چین، افغانستان، پاکستان و هندوستان شاهد تشکیل سیستم سیکلونی با فشار حداقل ۱۰۰۰ هکتوپاسکال هستیم. سامانه مستقر منجر به مکش هوای پرفشار مستقر بر نواحی شمالی خود شده و بر شدت ناپایداری‌ها و انتقال هوای سرد عرض‌های شمالی بر منطقه شمال شرق ایران به شدت افزوده است. شکل‌گیری پرفشار شدید در سطح زمین به‌مانند مانعی در مقابل بادهای غربی ترازهای فوقانی عمل کرده و باعث شکل‌گیری بلوکی‌نگ جوی در اروپای شرقی و سیبری شده است.

جهت تحلیل سینوپتیک امواج سرمایی منطقه شمال شرق کشور به دلیل کثرت و فراوانی وقوع امواج سرمایی از سردترین روز موج به وقوع پیوسته در هر کدام از ماه‌های ۴ گانه استفاده به عمل آمد. از این رو برای ماه دسامبر از روز ۳۰ سال ۱۸۹۱، برای ماه ژانویه از روز ۲۶ سال ۱۹۶۹، برای ماه فوریه از روز ۱۲ سال ۱۹۷۲ و نهایتاً برای ماه مارس از روز ۱ سال ۱۸۹۸ جهت تحلیل و بررسی سینوپتیک استفاده به عمل آمد.

### نقشه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و

#### جریان باد تراز ۵۰۰

تحلیل نقشه‌های ترکیبی فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همراه با جریان وزش باد تراز ۵۰۰ حاکی از تسلط سامانه پرفشار در سطح زمین، وجود و رخداد بلوکی‌نگ جوی در برخورد با مانع پرفشار سطحی و خارج شدن و تغییر جریان مداری باد و تبدیل آن به جریان نصف‌النهاری دارد (شکل ۳). در ماه دسامبر در سطح زمین پرفشار سیبری با پرفشار مهاجر غربی ادغام شده و بر شدت سیستم پرفشار حاکم بر منطقه شمال شرق ایران افزوده



شکل ۳- نقشه ترکیبی فشار سطح زمین (رنگی)، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف: دامبر ب: مارس ج: ژانویه د: فوریه

آن شده است. سیستم بسیار پرفشاری شمال شرق کشور را تحت تأثیر قرار داده است. وجود سیستم کم‌فشار در نواحی جنوبی ایران منجر به شدت یافتن شیو فشاری بین پرفشار شمال و کم‌فشار جنوبی شده و بر انتقال جریان هوای سرد شمالی به شمال شرق کشور افزوده است. از طرفی در سطوح فوقانی جو بلوکینگ بریده کم‌فشار شکل گرفته بر مدیترانه منجر به دو شاخه شدن جریان باد غربی و هم‌زمان با آن تشکیل پشته از اروپای شرقی تا مرکز دریای سرخ شده است. شرایط ذکر شده منجر به هدایت و انتقال هوای بسیار سرد عرض‌های ۶۰ درجه به شمال شرق کشور که در شرق ناوه مذکور قرار گرفته شده است. مجموعه عوامل اشاره شده تحمیل هوای بسیار سرد و افت شدید دما و استقرار چند روزه آن در منطقه را سبب شده است.

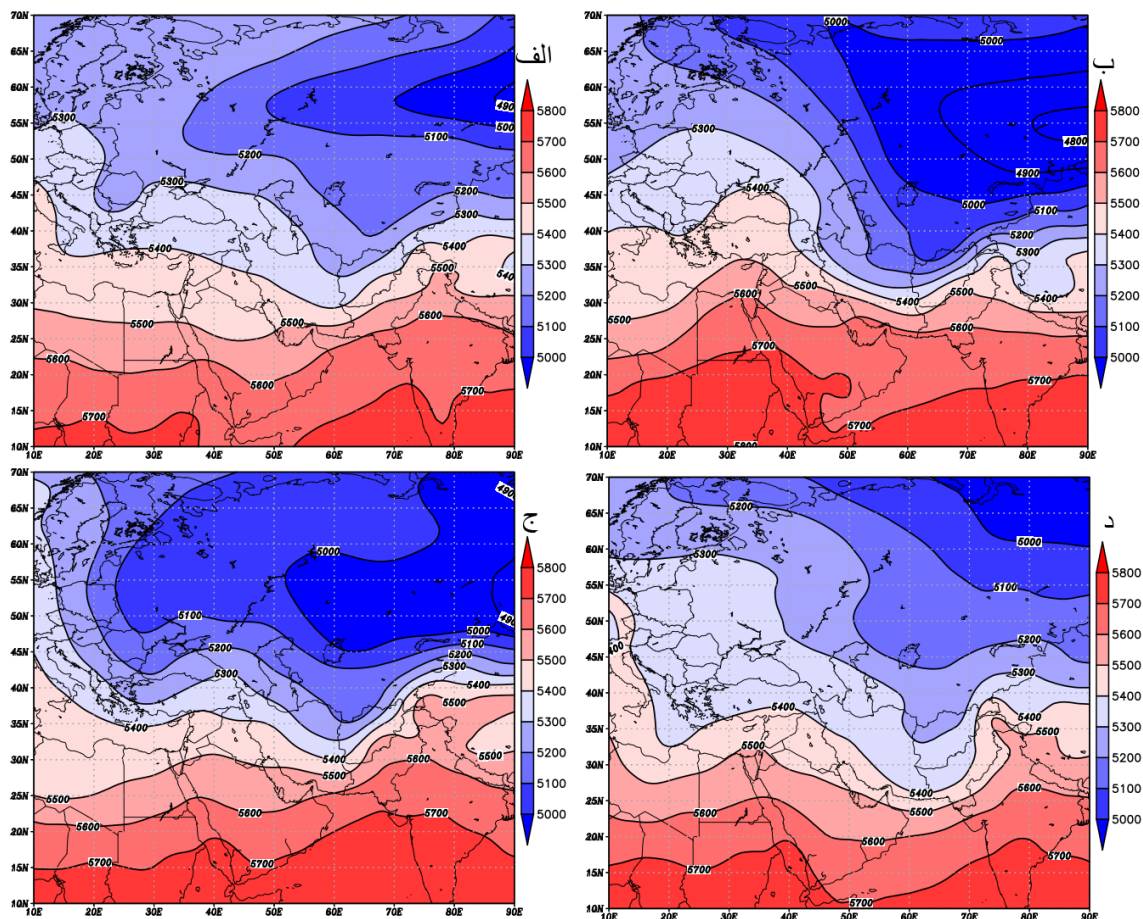
**نقشه ضخامت جو (۱۰۰۰ - ۵۰۰ هکتوپاسکال)**

شرایط مذکور جریان نصف‌النهاری به موج بادهای غربی بخشیده و منجر به هدایت هوای بسیار سرد شمالگان به منطقه شمال شرق کشور شده است. در ماه فوریه جریان متفاوتی بر منطقه حاکم می‌باشد. پرفشار مهاجر غربی در منطقه فعالیت نداشته و منطقه تحت تسلط پرفشار سیبری می‌باشد. موج بادهای غربی در برخورد با این پرفشار قوی تشکیل بلوکینگ بر فراز منطقه سیبری داده است. همچنین پشته عمیقی از دریای سیاه تا جنوب عربستان شکل گرفته است. منطقه شمال شرق ایران در این روز در شرق پشته مذکور و شرق بلوکینگ نامبرده استقرار دارد. تبدیل جریان مداری باد به نصف‌النهاری منجر به هدایت هوای بسیار سرد عرض‌های شمالی به شمال شرق کشور شده است که در نقشه روز مذکور به وضوح قابل درک می‌باشد. در ماه مارس منطقه تحت تسلط سیستم پرفشار سیبری بوده و پرفشار مهاجر غربی هم منجر به شدت یافتن و قوی‌تر شدن



به ثبت رسیده است؛ که در روزهای مورد مطالعه منطقه بین منحنی‌های ۵۲۰۰-۵۳۰۰ ژئوپتانسیل متر بوده، فواصل منحنی‌ها از هم بازتر و از طرفی منشاء سرماهای ریزش پیدا کرده به منطقه از عرض‌های جغرافیایی ۵۵ و ۵۸ درجه می‌باشد؛ که این روند در ماه‌های ژانویه و مارس که درجه حرارت‌های ۲۸/۵- و ۲۷- درجه سانتی‌گراد را تجربه کردند متفاوت می‌باشد. در ماه‌های ذکر شده منطقه در حد فاصل بین منحنی‌های ۵۱۰۰-۵۲۰۰ می‌باشد و منحنی‌ها به هم فشرده بوده و منشاء توده هوای سرد مهاجر از عرض‌های جغرافیایی بالای ۷۰ درجه و ۶۰ درجه می‌باشد که سرماهای شدیدتری را وارد منطقه مورد مطالعه کرده است.

اولین پدیده‌ای که در نقشه‌های ضخامت روزهای مورد مطالعه (شکل ۴) دیده می‌شود کم بودن ضخامت جو بر فراز منطقه شمال شرق کشور، قرارگیری آن بین منحنی‌های ۵۲۰۰-۵۳۰۰ و ۵۱۰۰-۵۲۰۰ و نصف‌النهاری شدن منحنی‌های ضخامت جو می‌باشد که به دنبال آن ریزش هوای سرد عرض‌های جغرافیایی شمالی را در پی داشته است. کم بودن ضخامت جو نشان از استقرار توده هوای سر بر فراز منطقه دارد. با نگاهی به نقشه‌های ضخامت می‌توان گفت شدت سرماهای ثبت شده در روزهای مورد مطالعه ارتباط تنگاتنگی با منشاء برخواست هوای سرد دارد. در ماه‌های دسامبر و فوریه دمای ۲۱- درجه سانتی‌گراد در شمال شرق



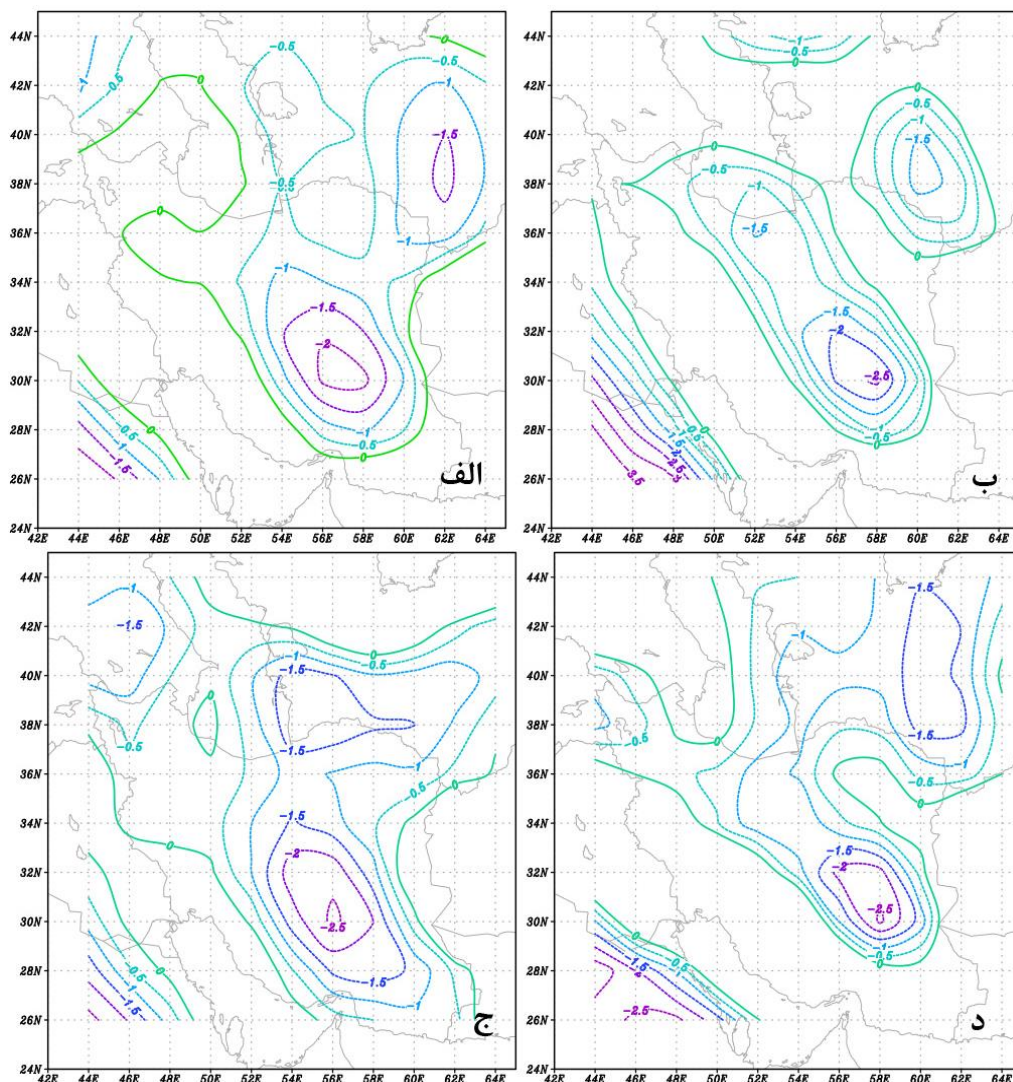
شکل ۴- نقشه ضخامت جو الف: دسامبر ب: مارس ج: ژانویه د: فوریه



### نقشه تاوایی (چرخندگی)

ژانویه و مارس دامنه گسترش مکانی شرایط آنتی سیکلونی به نسبت کمتر بوده که این امر بیشتر در روز شاخص ماه ژانویه به چشم می‌خورد. شرایط اشاره شده منجر به سوبسیدانس هوای بسیار سرد ترازهای فوقانی بر سطح منطقه شمال شرق کشور شده و با استیلای شرایط پایداری مانع حرکت و جابه‌جایی هوا گشته و استقرار هوای سرد را بر منطقه به دنبال داشته است. شرایط چرخندگی اشاره شده تاییدی بر رخداد و استیلای هوای سرد بر منطقه شمال شرق کشور دارد (شکل ۵).

وضعیت تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روزهای شاخص هر چهار ماه حاکی از منفی بودن آن بر فراز جو منطقه مورد مطالعه است. منفی بودن تاوایی بیانگر استیلای شرایط آنتی سیکلونی بر فراز جو منطقه بوده و نشان دهنده تسلط و یورش هوای سرد به منطقه شمال شرق کشور می‌باشد. در روزهای شاخص ماه‌های فوریه و دسامبر با توجه به نقشه چرخندگی روزهای مذکور شدت و گسترش مکانی بسیار بیشتر بوده به نحوی که کل نیمه شرقی کشور را سیستم پرفشار تحت تسلط خود دارد. در روزهای شاخص ماه

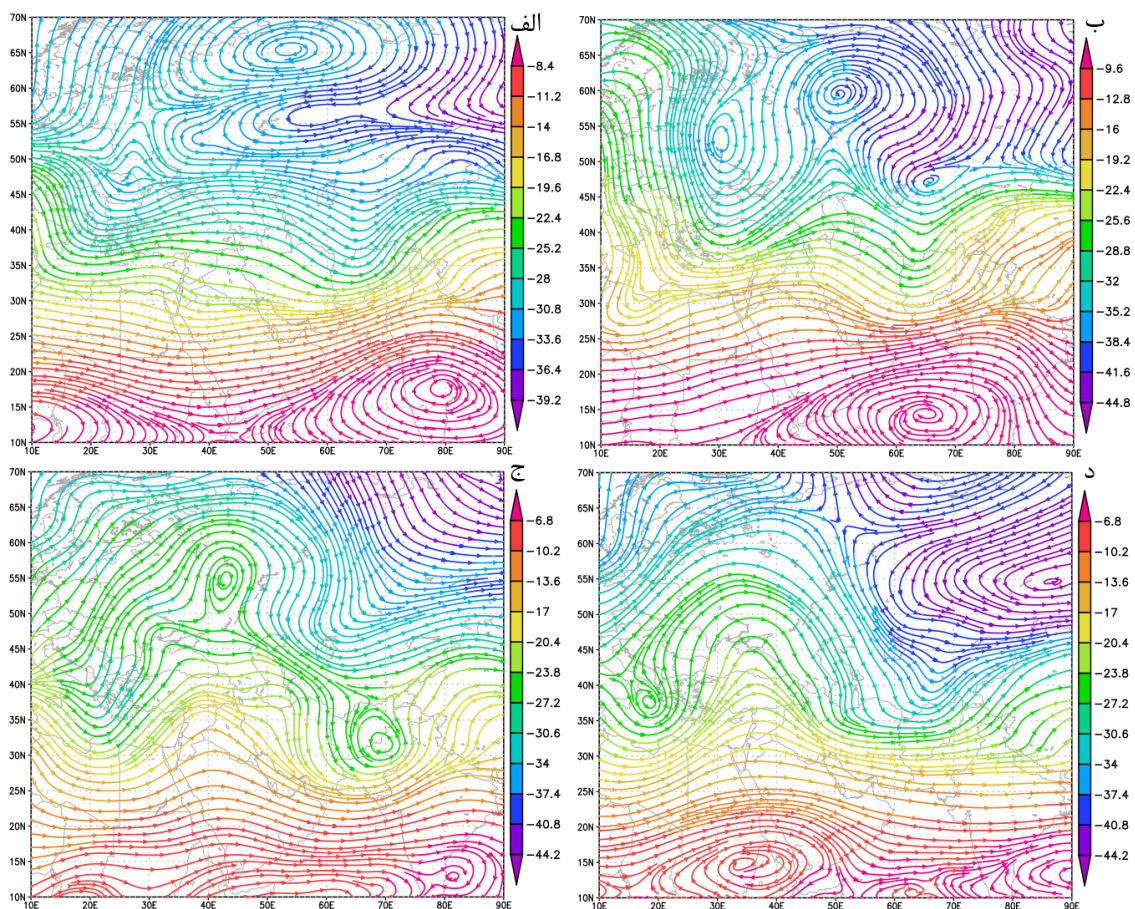


شکل ۵- نقشه تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال الف: دسامبر ب: ژانویه ج: فوریه د: مارس

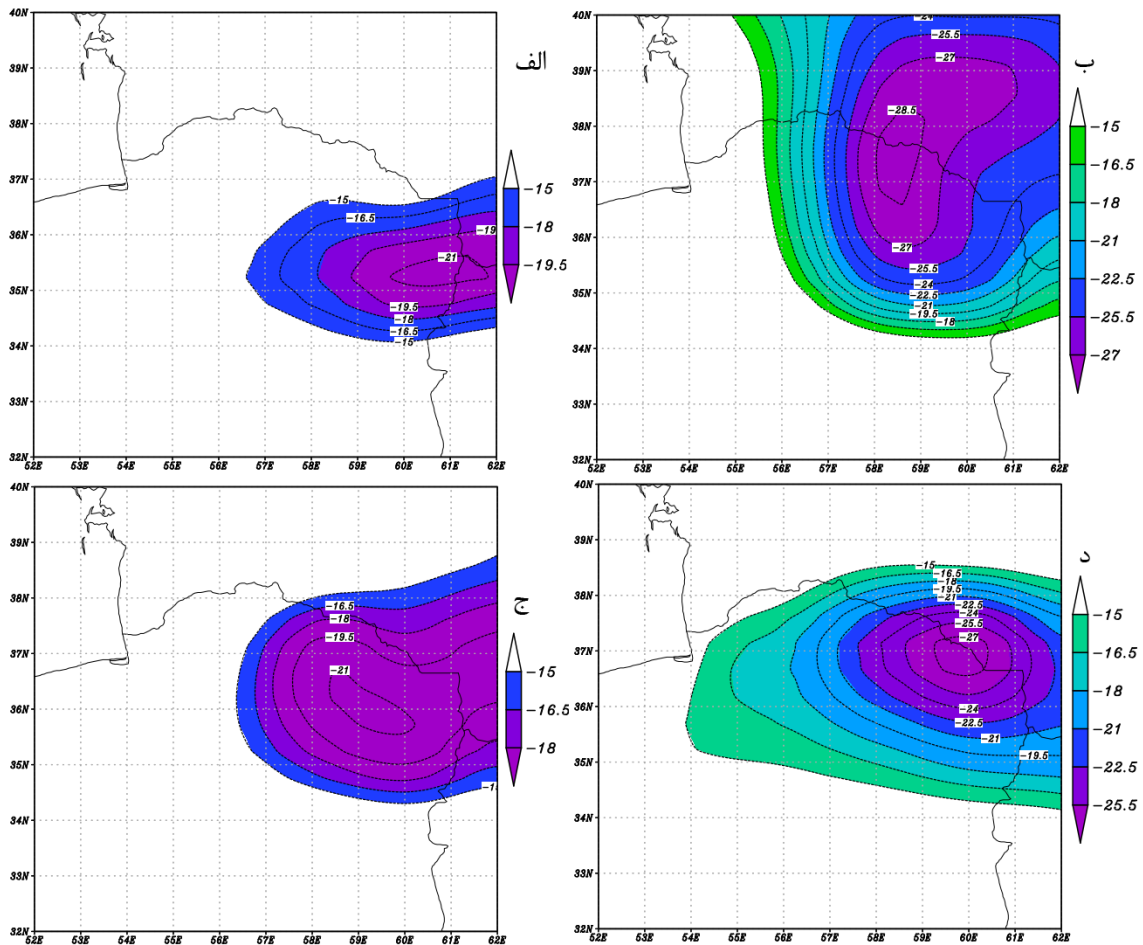
## نقشه وزش دمایی

نقشه وزش دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای مورد مطالعه (شکل ۶) نشانگر ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی با جهت وزش شمالی و شمال غربی به منطقه شمال شرق ایران است. جریان مداری بادهای غربی در این روزها تبدیل به جریان نصف‌النهاری شده که در ۴ روز مطالعاتی به روشنی دیده می‌شود. منشاء وزش دمایی ماه دسامبر عرض ۵۰ درجه، ماه ژانویه عرض‌های بالاتر از ۷۰ درجه،

ماه فوریه عرض ۶۰ درجه و ماه مارس عرض‌های بالای ۶۰ درجه می‌باشد. با توجه به منشاء جریان‌های هوای سرد می‌توان گفت با بالا رفتن عرض جغرافیایی بر شدت سرمای ثبت شده در منطقه شمال شرق هم افزوده شده است. نقشه‌های حداقل دمای دو متری سطح زمین (شکل ۷) با حداقل منحنی ۱۵- درجه سانتی‌گراد گواهی بر شرایط جوی حاکم بر منطقه شمال شرق کشور در زمان رخداد سرماهای شدید می‌باشد.



شکل ۶- نقشه وزش دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف: دسامبر ب: ژانویه ج: فوریه د: مارس



شکل ۷- نقشه دمای حداقل دو متری سطح زمین الف: مارس ب: فوریه ج: ژانویه د: دسامبر

## نتیجه‌گیری

مداری باد غربی را به جریان نصف‌النهاری تبدیل کند؛ که فرآیند ذکر شده منجر به شکل‌گیری پشته بر فراز اروپای شرقی تا اواسط دریای سرخ و تشکیل ناوه بر فراز مدیترانه و ترکیه می‌شود؛ که مورد توضیح داده شده منجر به ریزش هوای بسیار سرد عرض‌های شمالی به منطقه شمال شرق ایران می‌شود. همچنین نازک بودن ضخامت جو بر فراز اتمسفر شمال شرق ایران که در نتیجه جریان بسیار سرد نصف‌النهاری شکل گرفته؛ هوای بسیار سرد عرض‌های شمالی را به مدت چند روز بر منطقه مسلط کرده است. دماهای بسیار سرد زمانی مشاهده می‌شود که منشاء وزش هوای سرد از عرض‌های بالای ۶۰ درجه باشد. بررسی نقشه‌های وزش دمایی نشانگر تسلط وزش شمالی و شمال غربی بوده، همچنین دلالت بر افزایش شدت سرمای امواج رخ داده با افزایش عرض جغرافیایی منشاء وزش آن دارد.

با توجه به نتایج حاصل شده در بازه زمانی مورد بررسی ۴۴ موج سرد با دمای -۱۵ درجه سانتی‌گراد و سردتر در منطقه شمال شرق کشور شناسایی شدند. امواج رخ داده عمدتاً منوط به ماه ژانویه، فوریه و دسامبر می‌باشد؛ که به خوبی تأثیر و تسلط پرفشار سرد سیبری در رخداد اینگونه امواج را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه کاهش رخداد این امواج از سال ۱۹۰۷ به بعد می‌باشد. فراوانی رخداد این امواج طی سال‌های مورد بررسی کمتر شده اما بر شدت و مدت زمان استقرار آن افزوده شده است. رخداد این امواج سرد در بیشتر موارد زمانی شکل می‌گیرد که در سطح زمین پرفشار سیبری با پرفشار مهاجر غربی ادغام شده باشد. از طرفی در سطوح فوقانی جو به دلیل شدت پرفشار سطحی بادهای غربی در برخورد با موانع تشکیل بلوکینگ داده و جریان



## منابع

1. Ahmadi M, Ghavidel-Rahimi Y., 2011, Identification and analysis of low temperatures in the northwestern region of Iran using NTD method. *Journal of earth science research*, 2(6), pp. 77-94.
2. Alijani B, Houshyar M., 2008, Identification of Synoptic Patterns of Severe colds in the Northwest of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*. 65, pp. 1-16.
3. Barnett, A.G., Hajat, S., Gasparrini, A., Rocklöv, J., 2014, Cold and heat waves in the United States. *Environmental Research*, 112, pp. 218-224.
4. Brown, B. G., Katz, R. W., 1995, Regional analysis of temperature extremes: Spatial analog for climate change?. *Journal of Climate*, 8(1), pp.108-119.
5. Black, B. C., Weisel, G. J., 2012, Global Warming. Historical Guides to Controversial Issues in America.
6. Bell, J. L., Sloan, L. C., 2006, CO2 sensitivity of extreme climate events in the western United States. *Earth Interactions*, 10(15), pp.1-17.
7. Ceccherini, G., Russo, S., Ametztoy, 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, pp.7379-7409.
8. Coville, F. V., 1920, The influence of cold in stimulating the growth of plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 6(7), pp. 434-435.
9. Cassano, E. N., Lynch, A. H., Cassano, J. J., Koslow, M. R. 2005, Classification of synoptic patterns in the western Arctic associated with extreme events at Barrow, Alaska, USA. *Climate Research*, 30(2), 83.
10. Cony, M., Hernández, E., Del Teso, T. 2008, Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe. *Atmósfera*, 21(4), pp.389-401.
11. Chu, P. S., Chen, Y. R., Schroeder, T. A., 2010, Changes in precipitation extremes in the Hawaiian Islands in a warming climate. *Journal of Climate*, 23(18), pp. 4881-4900.
12. Dulière, V., Zhang, Y., Salathé Jr, E. P., 2011, Extreme precipitation and temperature over the US Pacific Northwest: A comparison between observations, reanalysis data, and regional models. *Journal of Climate*, 24(7), pp.1950-1964.
13. Diaz, H., Muranane, M., 2008, *Climate extremes to society*. Cambridge University Press.
14. Datla, S., Sharma, S., 2010, Variation of impact of cold temperature and snowfall and their interaction on traffic volume. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2169), pp.107-115.
15. Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., Likso, T., 2003, Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 23(9), pp.987-1010.
16. Freychet, N., Hsu, H. H., Chou, C., Wu, C. H., 2015, Asian summer monsoon in CMIP5 projections: a link between the change in extreme precipitation and monsoon dynamics. *Journal of Climate*, 28(4), pp.1477-1493.
17. Greene, S., Kalkstein, L. S., Mills, D. M., Samenow, J., 2011, An examination of climate change on extreme heat events and climate-mortality relationships in large US cities. *Weather, Climate, and Society*, 3(4), pp. 281-292.
18. Gibilisco, S. 2006, *Meteorological demystified*, McGraw Hill Book Co.
19. Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C., Bibens, B., 2008, Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans. Asabe*, 51(6), pp. 2061-2069.
20. Ghavidel-Rahimi Y., 2009, Synoptic analysis of extreme temperatures in the northwest of Iran during the cold season, PhD thesis, Faculty of Literature and Humanities, Physical Geography Department, Isfahan University, Iran.
21. Ghavidel-Rahimi Y., 2011, Determination of statistically threshold and synoptic analysis of super cold temperature of Maraghe, *Journal of applied researches in geographical sciences*, 19(22), pp. 45-62.
22. Ghavidel-Rahimi Y., 2011, The relationship of Azerbaijan cold season pervasive extreme cold temperature with circulation patterns of 500hPa level, *Journal of geographic space* 11(35), pp. 155-183
23. Ghavidel-Rahimi, Y., Farajzadeh-Asl M, Motallbeizadeh, S., 2016, Statistical and synoptic analysis of cold waves in the northwest region of Iran, *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 16(40), pp. 29-46.

24. Houghton, J. T., Ding, Y. D. J. G., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Johnson, C. A., 2001, Climate change 2001: the scientific basis. The Press Syndicate of the University of Cambridge.
25. Huynen, M. M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P., Kunst, A. E., 2001, The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental health perspectives*, 109(5), 463.
26. Johansen, B. E., 2008, Global warming 101. Greenwood Publishing Group.
27. Janković, V., Schultz, D. M., 2017, Atmosfear: Communicating the Effects of Climate Change on Extreme Weather. *Weather, Climate, and Society*, 9(1), pp. 27-37.
28. Kirch, W., Menne, B., Bertollini, R., 2005, Extreme weather events and public health responses.
29. Kharin, V. V., Zwiers, F. W., 2000, Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *Journal of Climate*, 13(21), pp.3760-3788.
30. Karimi S, Negaresh H, Tavousi T, Alijani B., 2012, Synoptic analysis of waves in Iran's subterranean regions. Case: Cold Drought, February-February 2004 Chaharmahal va Bakhtiari province. *Geography and Development*, 10(29), pp. 55-76.
31. Luo, D., Yao, Y., Feldstein, S. B., 2014, Regime transition of the North Atlantic Oscillation and the extreme cold event over Europe in January-February 2012. *Monthly Weather Review*, 142(12), pp. 4735-4757.
32. Lashkari, H., 2008, Synoptic analysis of cold wave 2003 in Iran *Geographical Research* 40(66), pp.1-18.
33. Masoudian A, Darand, M., 2011, Synoptic analysis of extreme temperatures in Iran, *Geography and Development*, 22, pp. 165-185.
34. Montero, J.C, I.J Mirón, J.J Criado-Álvarez, c Linares, Díaz. J., 2010, Mortality from Cold Waves in Castile -La Mancha, Spain. *Science of the Total Environment*. 408, pp. 5768-5774.
35. Metz, N. D., Archambault, H. M., Srock, A. F., Galarneau Jr, T. J., Bosart, L. F., 2013, A comparison of South American and African preferential pathways for extreme cold events. *Monthly Weather Review*, 141(6), pp. 2066-2086.
36. Medvigy, D., Walko, R. L., Avissar, R., 2012, Simulated links between deforestation and extreme cold events in South America. *Journal of Climate*, 25(11), pp. 3851-3866.
37. Meehl, G. A., Zwiers, F., Evans, J., Knutson, T., Mearns, L., Whetton, P., 2000, Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), pp. 427-436.
38. Min, S. K., Zhang, X., Zwiers, F., Shiogama, H., Tung, Y. S., Wehner, M., 2013, Multimodel detection and attribution of extreme temperature changes. *Journal of Climate*, 26(19), pp. 7430-7451.
39. Markgraf, V. (Ed), 2001, Interhemispheric climate linkages. Academic Press.
40. Peterson, T. C., Stott, P. A., Herring, S. (2012). Explaining extreme events of 2011 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(7), pp.1041-1067.
41. Pine, J., 2008, Natural hazards analysis: reducing the impact of disasters. CRC Press.
42. Prieto, L., Herrera, R. G., Díaz, J., Hernández, E., delTeso, T., 2004, Minimum extreme temperatures over Peninsular Spain. *Global and Planetary Change*, 44(1), pp. 59-71.
43. Parry, M. L., Carter, T. R., Konijn, N. T. (Eds), 2013, the Impact of Climatic Variations on Agriculture: Volume 1: Assessment in Cool Temperate and Cold Regions. Springer Science & Business Media.
44. Parey, S Hoang, T.T.H., 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.
45. Park, T. W., Ho, C. H., Deng, Y., 2014, A synoptic and dynamical characterization of wave-train and blocking cold surge over East Asia. *Climate dynamics*, 43(3-4), pp.753-770.
46. Piotrowicz, K; Bielec-Bakowska, Z; Domonkos, P., 2016, High atmospheric pressure and accompanying cold season weather types in Poland (1951-2010). *Climate Research*, 67, pp. 165-177.
47. Simmonds, I., Richter, T., 2000, Synoptic comparison of cold events in winter and summer in Melbourne and Perth. *Theoretical and applied climatology*, 67(1-2), pp.19-32.

48. Smith, J, 2006, Dictionary of weather and Climate, the Facts on File publications, Market House Books Ltd, New York.
49. Tannehill, I, R., 1928, Severe cold waves on the Texas coast, *Monthly Weather Review*, 56(2): pp.41-47.
50. Unkašević, M., Tošić, I., 2015, Seasonal analysis of cold and heat waves in Serbia during the period 1949-2012. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(1-2), pp. 29-40.
51. Vera, C. S., Vigliarolo, P. K., Berbery, E. H., 2002, Cold season synoptic-scale waves over subtropical South America. *Monthly Weather Review*, 130(3), pp.684-699.
52. Watts, R. G., 2007, Global Warming and the Future of the Earth. Synthesis lectures on energy and the environment: technology, science, and society, 1(1), pp. 1-114.