

واکاوی همدید موج‌های سرمای بهاره‌ی استان آذربایجان غربی در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴

حسن لشکری^۱، دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.

فرشاد پژوه، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی سینوپتیک دانشگاه خوارزمی.

محمد بیتار، کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی سینوپتیک دانشگاه شهید بهشتی.

فرزانه جعفری، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی سینوپتیک دانشگاه شهید بهشتی.

پذیرش نهایی: ۹۳/۱۲/۱۶

دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۸

چکیده

موج‌های سرما و یخبندان از جمله پدیده‌های جوی هستند که هر سال خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر بخش‌های گوناگون وارد می‌سازند. رخداد یخبندان‌های ناگهانی و دیرهنگام در فصل بهار مشکلات فراوانی در بخش کشاورزی و حمل و نقل جاده‌ای به همراه دارد. فروردین ماه سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ موج سرما و یخبندانی به مدت دو روز متوالی منطقه‌ی شمال غرب ایران فرا گرفت. در این تحقیق، به منظور تحلیل همدید این دوره‌ها، نقشه‌های فشار تراز دریا، نقشه‌های ترکیبی ارتفاع زئوپتانسیل و تاوانی و وزش دمایی در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از داده‌های سایت NECP/NCAR و با استفاده از نرم‌افزار GRADS ترسیم و واکاوی شد. آرایش همدیدی این موج سرما نشان می‌دهد که چنین سرمایی از نوع فرارفتی است و در هر دو موج سرمای مورد واکاوی عامل اصلی وقوع سرما در منطقه قرار گیری منطقه‌ی شمال غرب در الگوی پرفشار مهاجر نیمه‌ی شرقی اروپا است. این پرفشار هسته‌ی سرد با استقرار در شرق و شمال دریای سیاه و گسترش آن از شمال غرب ایران، موج‌های سرمای مخاطره‌آمیز را بر استان آذربایجان غربی تحمیل می‌کند. بررسی نقشه‌های ارتفاع زئوپتانسیل در سطوح ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز نشان می‌دهد بسته شدن پر اتفاقی در شمال شرق دریای سیاه و شمال غرب کشور هوای سرد عرض‌های بالا را به سمت استان آذربایجان غربی هدایت می‌کند. همچنین، در سطوح ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال قرار گیری پشت ناوه‌ی عمیق شمال دریاچه‌ی آرال با راستای شمال غرب به جنوب شرق بر روی پرفشار سرد سطوح زیرین سبب هدایت هوای سرد به استان از عرض‌های بالا است. واکاوی نقشه‌های وزش دمایی نیز منطبق بر ارتفاع زئوپتانسیل است، به‌نحوی که همه‌ی ترازهای مورد بررسی از شمالی و شمال غرب بودن وزش‌های سرد از سمت نیمه‌ی شرقی اروپا و شمال غرب روسیه حکایت دارد که سبب افت دما و وقوع یخبندان در منطقه‌ی شمال غرب ایران می‌شود.

وازگان کلیدی: موج سرما، تحلیل همدید، یخبندان، فرارفت هوای سرد، استان آذربایجان غربی.

^۱. نویسنده مسئول

مقدمه

یخیندان یکی از زیان آورترین بلایای طبیعی است که معمولاً با خسارت‌های فراوان مالی و حتی جانی همراه است. از بین عوامل اقلیمی، پدیده‌ی یخیندان نه تنها حیات تمامی موجودات زنده را با خطر مواجه می‌سازد بلکه نقش مهم و تعیین‌کننده‌ی ای در مسائل اقتصادی، زیست محیطی و عمرانی مانند جاده سازی، سد سازی و پل سازی دارد. یخیندان به عنوان یکی از مخاطرات اقلیمی، هر ساله بیشتر نقاط کشور و در بعضی از سال‌ها حتی قسمت‌های جنوبی کشور را در بر گرفته و خسارات زیادی را به بار می‌آورد (براتی، ۱۳۷۵). به خصوص وقوع ناگهانی آن در ابتدا و انتهای فصل سرما، می‌تواند برای بخش کشاورزی خطر آفرین باشد. بنابراین برای مدیریت کاهش اثرات این پدیده اقلیمی بر بخش کشاورزی توجه جدی به مطالعه دقیق این پدیده ضروری می‌باشد. دما، شاخصی از شدت گرما، یکی از عناصر اساسی شناخت هواست و نظر به دریافت نامنظم انرژی خورشید زمین دستخوش تغییرات بسیار است که خود سبب تغییرات گسترده دیگری در سایر عناصر هواشناسی می‌شود (کمالی، ۱۳۸۱). از نظر جوشناسی و اقلیم‌شناسی، برودت‌هوا یا کاهش دما را سرما می‌نامند و یخیندان حالتی است که دمای‌هوا پایین‌تر از 0° برسد (جوادی، ۱۳۵۰). با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور، بهار فصلی است که گیاهان بعد از پشت سرنهادن دوره‌ای توقف در رشد، دوباره حیات تازه‌ای را شروع می‌کنند. در شروع چنین دوره‌ای، بروز سرمایی ناگهانی سبب ریزش شکوفه‌ها (در صورت بازشدن) یا تأخیر در شروع دوره‌ی رشد گیاهان می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳). اخیراً، با وقوع آشفتگی‌های اقلیمی، یکی از مهم‌ترین بلایای اقلیمی (تهدید‌کننده‌ی جوامع بشری و خصوصاً مناطق گوناگون کشورمان) امواج سرما و یخیندان‌های شدید است که در برخی سال‌ها مناطق وسیعی از کشور را دربرمی‌گیرد. این یخیندان‌ها عموماً با توده‌هواهای دارای دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد به مناطق حادث می‌شود. یخیندان‌ها امواج سرمای نسبتاً پایدار و چندروزه‌ای را با خود به همراه دارند که ممکن است آثار زیان باری در پی داشته باشند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). اولین مطالعه در مورد یخیندان در جهان به حدود ۱۵۰ سال قبل برمی‌گردد (Rozenberg, et.al., ۱۹۸۳; Rechnagle, ۱۹۶۳; WMO, ۱۹۶۳). روزنبرگ (Rozenberg, et.al., ۱۹۸۳) در بررسی که انجام داد دریافت که به‌طور میانگین یخیندان‌های فرارفتی در بهار زودتر از یخیندان‌های تابشی و در پاییز دیرتر از آن رخداده و دوره دوام این نوع یخیندان‌ها طولانی‌تر است. تام و شاو (Thom and Show, ۱۹۵۸) نشان دادند که تاریخ وقوع اولین یخیندان در پائیز و آخرین یخیندان در بهار از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. میکالاسکا (Michalska, ۱۹۸۶) با مطالعه احتمال زمانی وقوع یخیندان‌های دیررس بهاره در هلند، تاریخ کاشت ذرت در بهاره موردنبررسی قرارداد و در این مطالعه، تأثیر دمای خاک را نیز در تعیین کاشت ذرت در نظر گرفت. واتکینز (Vatkins, ۱۹۹۱) با تحلیل دماهای رزانه، شروع و خاتمه یخیندان‌ها در انگلستان، به بررسی تغییرات بلند مدت طول مدت فصل یخیندان در این منطقه پرداخت. وایلین (Waylen, ۱۹۸۸) با تحلیل احتمالی ویژگی‌های یخیندان، تاریخ آغاز و خاتمه یخیندان، سردترین دما و ریسک وقوع دوره‌های سرد را در فلوریدای مرکزی بررسی کرد. از نظر او خطر وقوع یخیندان در یک محل با چهار عامل میانگین تعداد یخیندان‌های سالانه، شدت متوسط آنها، میانگین واریانس های تاریخ های وقوع قابل شناسایی است. گابرلا و همکاران (Gabriela, et.al., ۲۰۰۳) در مقاله‌ای تحت عنوان ارتباط گردش جریانات سطحی با یخیندان‌های منطقه پامپاس غربی، به بررسی و تحلیل یخیندان در این منطقه پرداخته‌اند. مطالعات بعدی با بررسی های وسیع تر، گردش انتشار موجی یخیندان از عرض‌های جغرافیایی بالا به سمت عرض‌های پایین (مناطق حاره‌ای) را به اثبات رساند (Gabriela and Tercio, ۲۰۰۷). از منطقه دریاچه بایکال-مغولستان به عنوان مهم‌ترین محل پرشمار سرد یاد می‌شود (Takahashi, ۱۹۹۰). هنگامی که از این

منطقه، پرفشار سرد و قوی به سمت جنوب گسترش و نفوذ پیدا می‌کند، عامل یورش و سرمای شدید می‌شود و در این یورش، دما بهشت افت پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد مطالعه (هاشمی، ۱۳۴۸)، قدیمی‌ترین کار در زمینه سرما و یخندان در ایران باشد. هاشمی با انتخاب ۴ آستانه دمایی احتمال وقوع یخندان را برای تهران تعیین کرده است. (براتی، ۱۳۷۵)، ویژگی‌ها و پیش‌بینی یخندان‌های بهاره ایران را به روش همدیدی (سینوپتیکی) مورد بررسی قرارداد و به این نتیجه رسید که غالباً جابه‌جایی دستگاه‌های فشار از عرض‌های بالاتر در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت به سوی ایران منجر به یخندان شدید و فراگیر می‌شود. (حیدری، ۱۳۷۵)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به بررسی آماری و سینوپتیکی وضعیت یخندان در غرب کشور پرداخته و مطالعاتی در زمینه رابطه بین دما، فشار و یخندان انجام داده است. (مجرد قره باغ، ۱۳۷۶)، یخندان‌های آذربایجان را بررسی و مطالعه کرده و مدل‌هایی را برای پیش‌بینی یخندان از طریق روش‌های آماری ارائه نمود، نتایج این تحقیق نشان داد که تئوری تقاطع، ویژگی‌های یخندان را بر مبنای آستانه‌های بحرانی و محدودیت‌های دمایی زیستی به صورت مطلوب توجیه می‌کند. (عزیزی، ۱۳۸۳)، با ارزیابی سینوپتیکی یخندان‌های فراگیر بهاری در نیمه غربی ایران به این نتیجه رسید تقریباً تمامی موارد یخندان فراگیر مورد بررسی، همزمان با وجود سامانه کم ارتفاع روی مناطق شمالی ایران بوده است. (صرحائیان و کمالی، ۱۳۸۴)، با استفاده از آمار ۲۶ ساله ایستگاه سینوپتیکی، اقلیمی و تبخر سنجی تاریخ‌های آغاز و خاتمه نخستین یخندان‌های پاییزه و آخرین یخندان‌های بهاره در منطقه آذربایجان شرقی و غربی را تعیین و بررسی کرده‌اند. نتایج به دست‌آمده نشان می‌دهد که در مناطق منتهایی غرب و جنوب غربی آذربایجان شرقی در مجاورت کوه سهند، یخندان‌ها زودتر آغاز و دیرتر خاتمه می‌یابند و طول دوره یخندان نیز بیشتر است. (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸) به بررسی و تحلیل سرمای غیر معمول دی ماه ۱۳۸۶ در مقایسه با میانگین درازمدت دمای حداقل ژانویه کشور پرداختند. آن‌ها با بررسی شاخص استاندارد دمای حداقل ژانویه ۲۰۰۸ مشاهده کردند که به جز ۶ ایستگاه (اهواز، بوشهر، بندرعباس، شیراز، کرمان و ایرانشهر) در نیمه جنوبی کشور در سایر ایستگاه‌ها ناهمجارتی بیش از ۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره آماری ۳۰ ساله برخوردار بوده است. یخندان‌های شمال‌های شمال غرب ایران در دوره‌ی سرد سال بیشتر از نوع یخندان‌های وزشی بوده که از آبان ماه تا فروردین اتفاق می‌افتد. استقرار یک پرفشار در سطح دریا و یک ناوه‌ی عمیق در تراز ۵۰۰ هکتوباسکال، عامل ایجاد این یخندان‌های شمال غرب فراگیر است (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶). (موتمن، ۱۳۸۵)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، یخندان‌های شمال غرب آذربایجان را تحلیل کرده و دریافت، یخندان‌های دیررس بهاره در منطقه موردمطالعه از نوع انتقالی بوده که به یخندان‌های تشعشعی ختم می‌شوند و فراگیر هستند. (نوحی و همکاران، ۱۳۸۶)، تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخندان بر مبنای دمای حداقل را برای ۱۲ ایستگاه سینوپتیک منطقه آذربایجان در یک دوره مشترک ۱۳ ساله تعیین و یخندان‌های فرا رفتی را با کمک نقشه‌های سینوپتیک و بررسی ساعتی پارامترهای جوی از یخندان‌های تابشی فرارفتی تفکیک کردند. (لشکری، ۱۳۸۷)، در بررسی علل سینوپتیکی موج سرمای فراگیر آذرماه ۱۳۸۲ در کشور، هماهنگی و انطباق سامانه‌ها در تراز‌های زیرین و میانی جو را علت سرمای فراگیر در بخش اعظم کشور می‌داند و عامل اصلی افت نفوذ زبانه‌هایی از پرفشار سیبری در سطح زمین است که در اطراف دریاچه بایکالی شکل‌گرفته است. (علیجانی و هوشیار، ۱۳۸۷)، با بررسی سرماهای شدید منطقه شمال غرب کشور دریافتند در ۷۰ درصد از موارد سرماهای شدید در شمال غرب ایران، اکثرًا با استقرار ناوه‌ای عمیق بر روی شمال ایران و قرار گرفتن منطقه موردمطالعه در قسمت عقب آن و همچنین وجود یک پرفشار در سطح زمین رخ می‌دهند. (امیدوار و ابراهیمی، ۱۳۹۱) در واکاوی همدید موج سرمای دی ماه ۱۳۸۶ در ایران مرکزی نشان دادند که این موج سرما از نوع فرارفتی

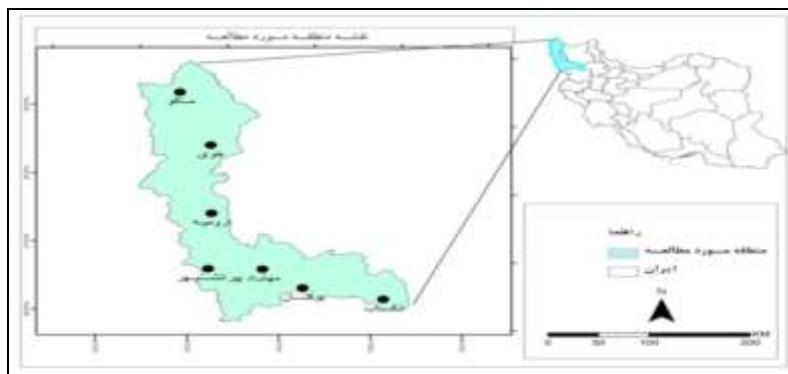
بوده و با قرار گیری پرسنل در شمال دریای خزر و گسترش ناوه عمیق از شرق مدیترانه موجب رخداد سرمای شدید شده است. هدف از این تحقیق بررسی و تحلیل موج سرمای شدید روزهای ۵ تا ۶ فروردین ماه ۱۳۸۲ و ۹ تا ۱۰ فروردین ۱۳۸۴ در شمال غرب ایران است. ضمن تحلیل آماری این دوره‌ی سرما، سعی شده است عوامل سینوپتیکی ایجادکننده این سرمای شدید بررسی شود. سرما و یخندان طی این دوره تمامی استان آذربایجان غربی تحت تأثیر قرار داده و با توجه به این که تحقیق قابل ذکری در مورد اثر این دوره‌های سرما بهخصوص در آذربایجان غربی صورت نگرفته، در این مقاله سعی شده است به علل بروز چگونگی شیوع سرمای فرا رفتی به منطقه شمال غرب ایران پرداخته شود و نتایج این تحقیق می‌تواند مثمر ثمر باشد.

داده‌ها و روش کار

هدف از مطالعات همدید تبیین اندرکنش‌های مهم میان جو و محیط سطحی هست (Yarnal, ۱۹۹۳, ۲۵). ازین‌رو، برای انجام این تحقیق همانند تمامی مطالعات همدید، دو نوع داده استفاده شد: یکی داده‌های سطحی و دیگری داده‌های جو بالا. داده‌های سطح زمین شامل دمای حداقل روزانه‌ی روزهای ۵ تا ۶ فروردین ۱۳۸۲ و ۹ تا ۱۰ فروردین ماه ۱۳۸۴ در نه ایستگاه سینوپتیکی هواشناسی در منطقه‌ی شمال غرب ایران به شرح جدول شماره‌ی ۱ از سازمان هواشناسی گردآوری شد. در محیط در نرم‌افزار اکسل، داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مرتب شد و با تعریف آستانه‌ی دمای صفر درجه‌ی سانتی‌گراد پایه برای وقوع یخندان و روزهای موج سرما در بازه‌ی زمانی ذکر شده تحلیل و واکاوی شد. همچنین، به منظور تحلیل الگوی همدید دوره‌های زمانی مذکور با استفاده از داده‌های مرکز پیش‌بینی‌های محیطی در کلرادو امریکا، نقشه‌های فشار تراز دریا، ترکیب ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی و وزش دمایی در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از نرم‌افزار Grads ترسیم و واکاوی گردید.

جدول ۱: ایستگاه‌های مورد مطالعه و موقعیت آن‌ها در استان آذربایجان غربی

ارتفاع	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		نام ایستگاه	ردیف
	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		
۱۳۲۸	۴۵	۳	۳۷	۴۰	ارومیه	۱
۱۳۸۶.۱	۳۶	۳۲	۴۶	۱۳	بوکان	۲
۱۱۰۳	۳۶	۴۲	۴۵	۹	پیرانشهر	۳
۱۸۱۷.۲	۳۶	۲۴	۴۷	۶	تکاب	۴
۱۱۰۳	۳۸	۳۳	۴۴	۵۸	خوی	۵
۱۴۱۱.۳	۳۹	۲۰	۴۴	۲۶	ماکو	۶
۱۳۵۱.۸	۳۶	۴۵	۴۵	۴۳	مهاباد	۷



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی محدوده‌ی مطالعه در استان آذربایجان غربی.

شرح و تفسیر نتایج

الف) تحلیل آماری موج‌های سرما

با بررسی آماری یخندهان روزهای ۹ تا ۱۰ فروردین ماه ۱۳۸۲ و ۵ تا ۶ فروردین ماه ۱۳۸۴، مشخص شد این سرما و یخندهان در نوع خود از نظر سرمادگی و ثبت دمایی حداقل مطلق کمتر از صفر درجه‌ی سلسیوس بوده و تا کل منطقه‌ی شمال غرب و مناطق مرکزی و جنوبی کشور ایران پیش روی کرده است. در بررسی دمایی کمینه فصل بهار معلوم گردید که از نظر شدت کمترین مقادیر دما طی ۱۷ سال گذشته در استان آذربایجان غربی بوده است؛ و موجب آسیب به بیش از ۶۰ درصد اراضی کشاورزی استان و میزان خسارات وارد شده ۱۵۰۰ میلیارد ریال اعلام گردیده است (جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، ۱۳۸۴). به منظور بررسی شدت سرما در این دو دوره یخندهان بهاری، آمار دمای حداقل مطلق هوا طی روزهای مذکور برای هفت ایستگاه استان آذربایجان غربی به ترتیب در جدول‌های شماره‌ی ۲ و ۳ آورده شده است.

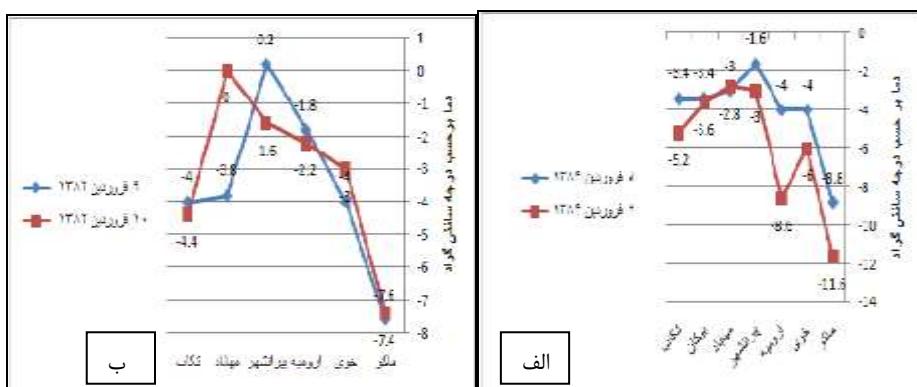
جدول ۲: حداقل دمای ثبت شده هر یک از ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی (دوره‌ی آماری ۲۰۰۳)

ردیف	ایستگاه	دما (°C)	روز	دما (°C)	روز	ماه	سال
۱	ارومیه	-۱.۸	۹	-۲.۲	۱۰	فروردین	۱۳۸۲
۲	تکاب	-۴	۹	-۴.۴	۱۰	فروردین	۱۳۸۲
۳	خوی	-۴	۹	-۳	۱۰	فروردین	۱۳۸۲
۴	مهاباد	-۳.۸	۹	۰	۱۰	فروردین	۱۳۸۲
۵	ماکو	-۷.۶	۹	-۷.۴	۱۰	فروردین	۱۳۸۲

جدول ۳: حداقل دمای ثبت شده هر یک از ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی (دوره‌ی آماری ۲۰۰۵)

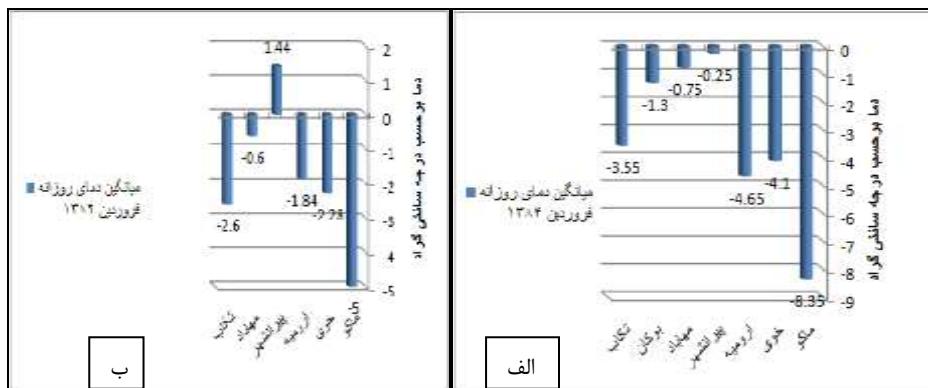
ردیف	ایستگاه	دما (°C)	روز	دما (°C)	روز	ماه	سال
۱	ارومیه	-۴	۵	-۸.۶	۶	فروردین	۱۳۸۴
۲	بوکان	-۳.۴	۵	-۳.۶	۶	فروردین	۱۳۸۴
۳	پیرانشهر	-۱.۶	۵	-۳	۶	فروردین	۱۳۸۴
۴	تکاب	-۳.۴	۵	-۵.۲	۶	فروردین	۱۳۸۴
۵	خوی	-۴	۵	-۶	۶	فروردین	۱۳۸۴
۶	مهاباد	-۳	۵	-۲.۸	۶	فروردین	۱۳۸۴
۷	ماکو	-۸.۸	۵	-۱۱.۶	۶	فروردین	۱۳۸۴

همان‌گونه که از جدول‌ها مشخص است، طی روزهای یخبندان، دما در اکثر ایستگاه‌های شمال غرب به کمتر از صفر درجه‌ی سلسیوس رسید، از جمله می‌توان به دمای ۱۱/۶ درجه‌ی سلسیوس برای ایستگاه ماکو در روز ۶ فروردین ماه ۸۴ اشاره کرد. شروع هر کاهش دما نشانه‌ی ورود یک موج یخبندان و شروع هر افزایش دما نشانه‌ی خروج یا اض محلال آن موج یخبندان به منطقه‌ی شمال غرب است. در میان روزهای اوج سرمای بهاره‌ی هر سال، روزی اوج سرماست که بیشتر از همه‌ی روزها ایستگاه‌های زیر صفر درجه‌ی سلسیوس داشته باشد و مساحت بیشتری را از شمال غرب کشور دربر بگیرد. مطابق شکل شماره‌ی ۲ (الف و ب) روزهای ۹ و ۱۰ فروردین ۱۳۸۲ و ۵ و ۶ فروردین ۱۳۸۴ حداقل دمای «ایستگاه‌های هواشناسی» به کمترین میزان خود رسید و تعداد «ایستگاه‌های دارای دمای زیر صفر درجه» نیز در این روزها بیشترین تعداد خود را داشتند که نشانه‌ی توازن و نظم مکانی‌زمانی موج‌های سرمای مذکور است.



شکل ۲ (الف و ب): نمودار روند تغییرات دما طی دوره‌ی یخبندان در دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۲۰۰۳.

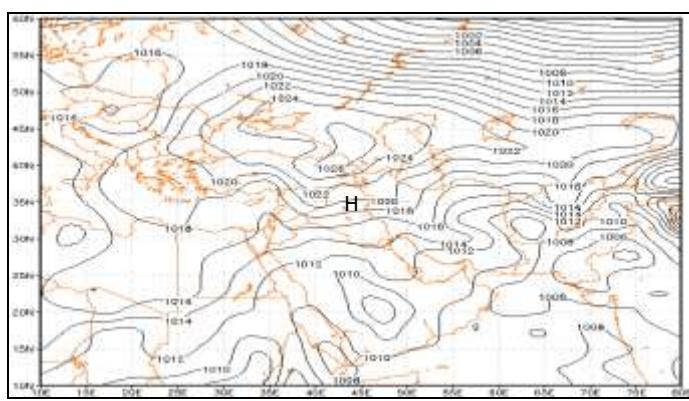
با توجه به تعداد زیاد جدول‌ها و شکل‌ها در این مقاله، آمار دمای برخی از ایستگاه‌ها و نقشه‌ی برخی از روزها آمده است، درواقع برطبق با موج سرمای دوره‌ی اول از ۷ تا ۱۱ فروردین ۱۳۸۲ و موج سرمای دوره‌ی دوم از ۴ تا ۷ فروردین ۱۳۸۴ در منطقه‌ی شمال غرب کشور. مطابق شکل شماره‌ی ۲ (الف و ب) میانگین دمای روزانه‌ی ۷ تا ۱۱ فروردین ۱۳۸۲ و ۴ تا ۷ فروردین ۱۳۸۴ در این دو دوره‌ی موج سرما نشان می‌دهد که در هر دو دوره موج سرما ماکو کمترین میانگین دمای روزانه و پیرانشهر بیشترین میانگین دمای روزانه را دارد. همچنین، بیشترین تغییرات دمای روزانه‌ی ۷ تا ۱۱ فروردین ۱۳۸۲ مربوط به مهاباد با واریانس ۱۳۸۷ و کمترین تغییرات دمای روزانه مربوط به خوی با واریانس ۳/۰۵ است. درین‌باره، بیشترین تغییرات دمای روزانه‌ی ۴ تا ۷ فروردین ۱۳۸۴ مربوط به ماکو با واریانس ۶/۶ و کمترین تغییرات دمای روزانه مربوط به خوی با واریانس ۱/۸ است.



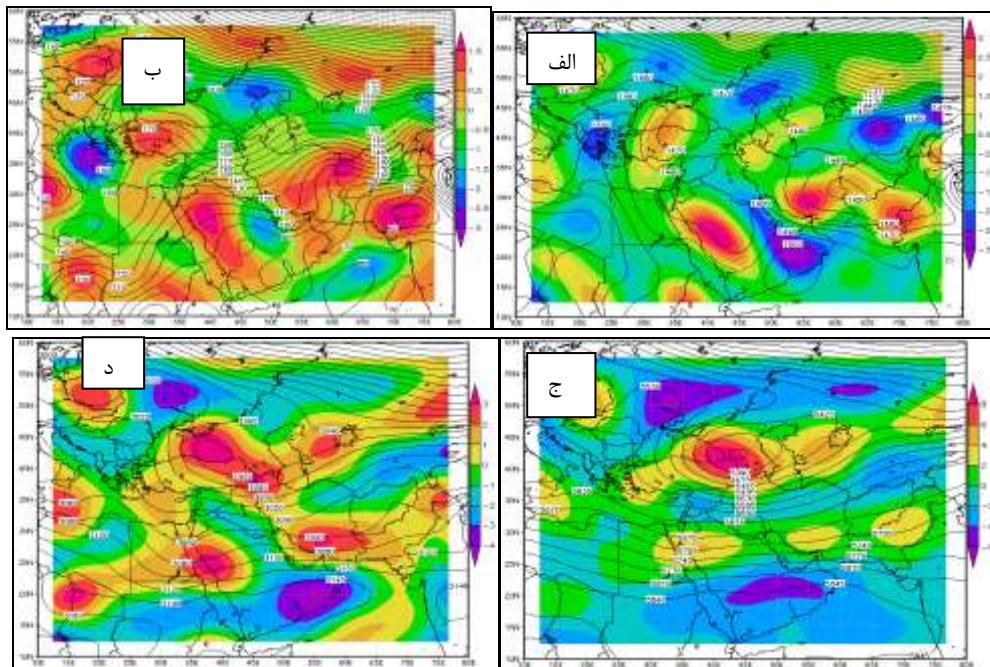
شکل ۳: (الف و ب): نمودار میانگین دمای روزانه طی یخبندان در دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۲۰۰۳.

ب) تحلیل همدید موج سرمای بهاره‌ی ۱۳۸۲

شکل شماره‌ی ۴ نقشه‌ی فشار تراز دریای ۲۹ مارس ۲۰۰۳ برابر با ۹ فروردین ۱۳۸۲ را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، پرفشار هسته‌ی سردی با ۱۰۲۶ هکتوپاسکال در شرق و شمال شرق دریای سیاه بسته می‌شود و زبانه‌های سردی با راستای شمال غرب - جنوب شرق از سمت شمال غرب بر ایران نفوذ و تا جنوب شرق ایران امتداد پیدا می‌کند. این فرآیند سبب افت شدید دما در بخش عظیمی از ایران و به خصوص استان آذربایجان غربی می‌شود.

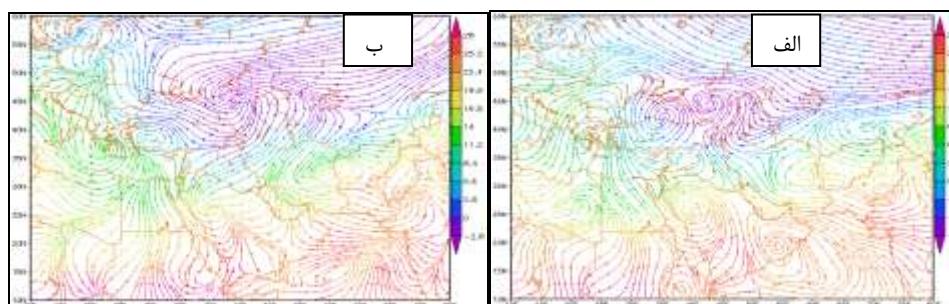


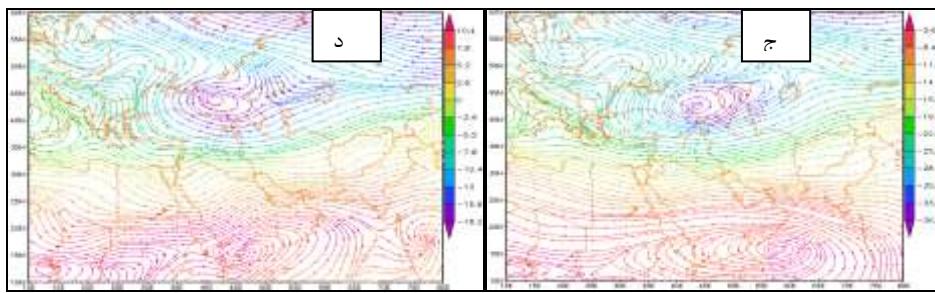
بر روی شمال دریای سیاه قرار می‌گیرد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کم ارتفاع واقع در شرق دریای سیاه با پربند مرکزی ۵۳۵۵ ژئوپتانسیل متر بسته می‌شود که، با مداری بودن کامل آن بر روی نیمه‌ی شمالی ایران، هوای سرد عرض‌های بالا را منتقل می‌کند.



شکل ۵: نقشه‌ی ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوانی در ترازهای الف: ۱۰۰۰؛ ب: ۸۵۰؛ ج: ۷۰۰؛ د: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۹ مارس ۲۰۰۳.

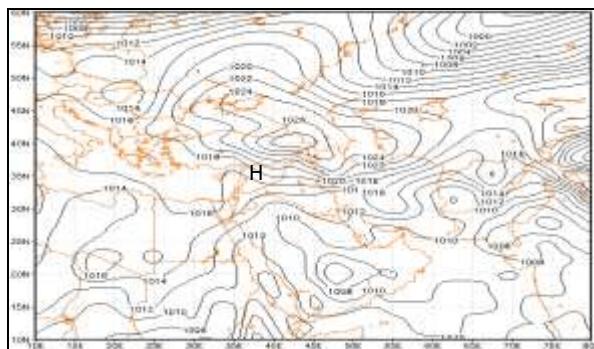
شکل شماره‌ی ۶ نقشه‌های فرارفت دمایی را در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۹ مارس ۲۰۰۳ نشان می‌دهد. طبق نقشه‌ی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شکل عالف جریان دمایی کاملاً شمالی است و منطبق بر نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل گردش ساعت‌گرد عظیمی را در شرق دریای سیاه انجام می‌دهد و هوای سرد عرض‌های بالا را از سمت روسیه و نیمه شرقی اروپا فرارفت می‌کند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، کشیده شدن جریان حاصل از ناوه‌ی شمال روسیه بر روی شمال غرب ایران و در غرب این ناوه واقع در شرق دریای سیاه با گردش ساعت‌گرد واچرخندی سبب تشدید وزش‌های سرد شمالی بر روی استان آذربایجان غربی می‌شود. در نقشه‌ی ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال فرارفت سرد شدیدتر می‌شود و کانون آن در شرق دریای سیاه قرار می‌گیرد و منطبق بر نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل می‌شود. در این سطوح وزش‌های سرد مداری و غربی حاکم می‌گردد.





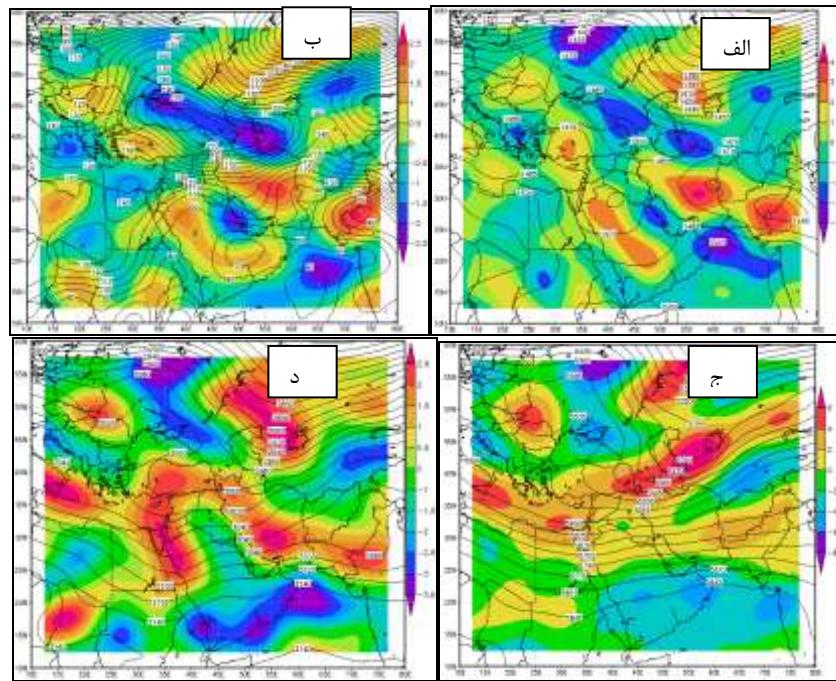
شکل ۶: نقشه‌های وزش دمایی در ترازهای الف: ۱۰۰۰؛ ب: ۷۰۰؛ ج: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۹ مارس ۲۰۰۳.

شکل شماره ۷ نقشه‌ی فشار تراز دریا را در روز ۳۰ مارس ۲۰۰۳ نشان می‌دهد. در این روز، پرفشار هسته‌ی سرد روز قبل قوی‌تر می‌شود و میزان فشار مرکزی به ۱۰۲۸ هکتوپاسکال می‌رسد، ضمن گسترش آن تا مناطق جنوبی ایران، روند آن نیز بر روی استان آذربایجان غربی شمالی-جنوبی می‌شود. کم‌فارشاری با راستای شمال شرق به جنوب غرب بر روی شمال شرق روسیه بسته می‌شود که با گردش پادساعت‌گرد هوای سرد را نیز به درون پرفشار مهاجر واقع در شمال غرب ایران منتقل می‌کند.



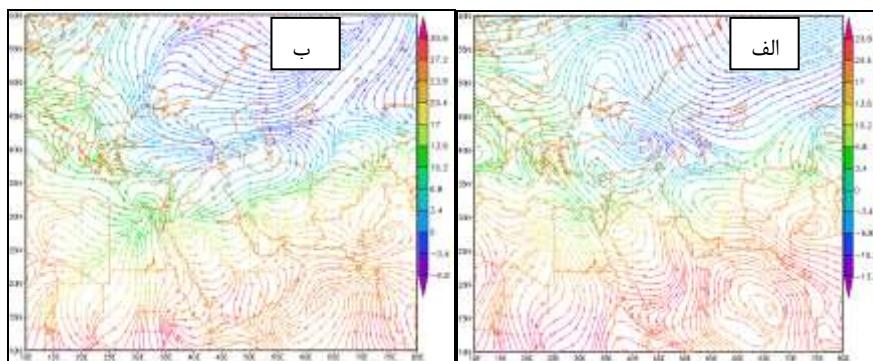
شکل ۷: نقشه‌ی فشار تراز دریا ۳۰ مارس ۲۰۰۳.

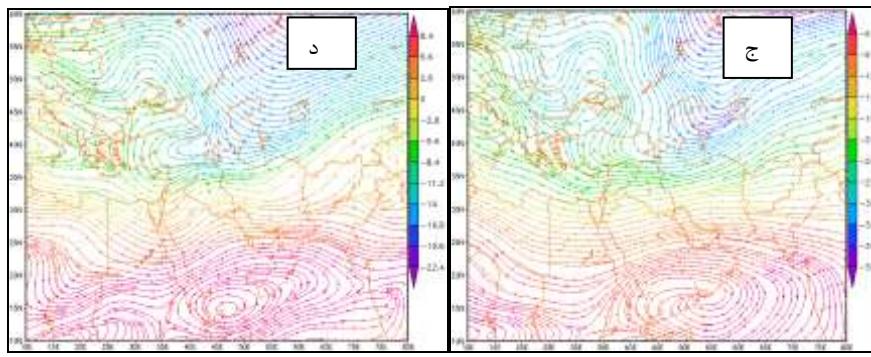
شکل شماره ۸ نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی را در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در روز ۳۰ مارس پرارتفاع واقع در شمال غرب ایران و شرق دریای سیاه با حرکت شرق و جنوب‌سوی خود بیشتر ایران را دربر می‌گیرد و با افزایش ارتفاع محسوس سبب افت شدید دما در مناطق شمال غرب و بهویژه استان آذربایجان غربی می‌شود. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شکل ۸-الف پرارتفاع واقع در مرکز دریای مدیترانه در روز ۲۹ مارس و در روز ۳۰ مارس با راستایی شمال غرب به جنوب شرق در شرق دریای سیاه با پریند مرکزی ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بسته می‌شود. در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز، با شرق‌سوبودن نواحی شمالی رویی، عقب ناوه (که راستایی کاملاً شمالی-جنوبی را در آسیای مرکزی نشان می‌دهد) بر روی استان آذربایجان غربی قرار می‌گیرد و هوای سرد عرض‌های شمالی رویی و شرقی اروپا را بر روی منطقه‌ی شمال غرب کشور فرارفت می‌کند.



شکل ۸: نقشه‌ی ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوانی در ترازهای (الف: ۱۰۰۰؛ ب: ۸۵۰؛ ج: ۷۰۰؛ د: ۵۰۰) هکتوپاسکال در روز ۳۰ مارس ۲۰۰۳.

نقشه‌های وزش دمایی روز ۳۰ مارس ۲۰۰۳ در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال منطبق بر نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل است (شکل ۹: الف و ب)، به صورتی که با استقرار سامانه‌ی پراارتفاع هسته‌ی سرد قوی در شرق دریای سیاه جهت وزش دمای سرد شمالی و شمال شرق و ساعت‌گرد بر روی استان آذربایجان غربی منتقل می‌شود. اما در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹: ج و د) ضمن تشدید فرارفت‌های سرد انتقالی بر روی شمال غرب کشور تا نیمه‌ی شرقی ترکیه و مدیترانه نصف‌النهاری و شمالی است و از آن جا به صورت غربی و مداری منطقه‌ی مطالعه را فرامی‌گیرد. جهت وزش جریان‌های سرد با جابه‌جایی‌های شرق‌سویی کم ارتفاع سرد شمال روسیه با راستای شمال شرق به جنوب غرب تا مناطق مرکزی دریای سیاه و ترکیه منطبق و هماهنگ است.

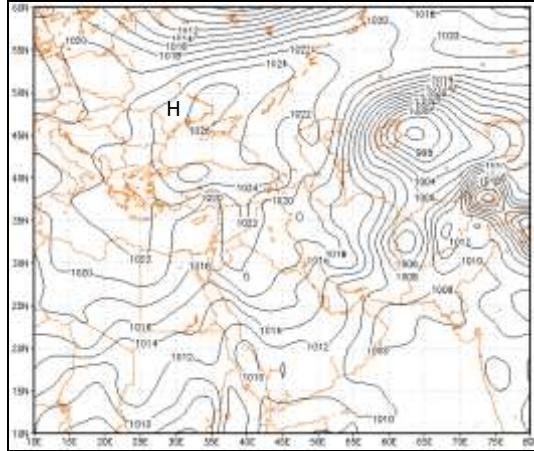




شکل ۹: نقشه‌های وزش دمایی در ترازهای الف: ۱۰۰۰؛ ب: ۸۵۰؛ ج: ۷۰۰؛ د: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۳۰ مارس ۲۰۰۳.

ج) تحلیل همدید موج سرمای بهاره‌ی ۱۳۸۴

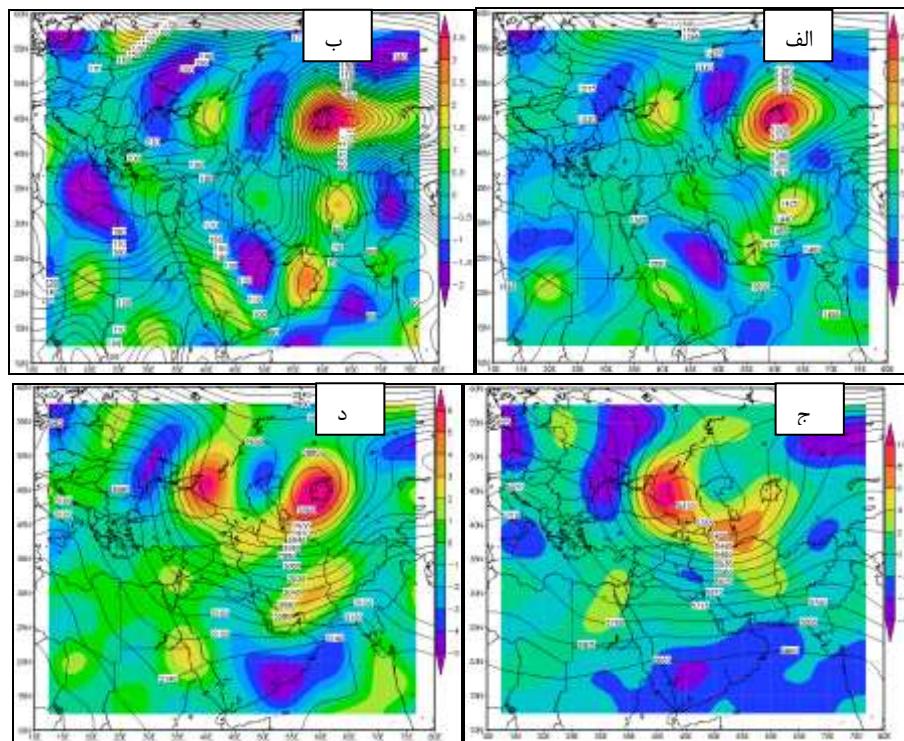
شکل شماره‌ی ۱۰ نقشه‌ی فشار تراز دریا را در روز ۲۵ مارس ۲۰۰۵ برایر با ۵ فروردین ۱۳۸۴ نشان می‌دهد. با توجه به نقشه‌ی سطح زمین در این روز، پرفشار مهاجر هسته‌ی سرد دو هسته‌ای با فشار مرکزی ۱۰۲۶ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه و ترکیه بسته می‌شود و با راستایی شمال غرب به جنوب شرق نیمه‌ی غربی و مرکزی ایران را نیز پوشش می‌دهد. بر روی استان آذربایجان غربی نیز، مرکز پرفشاری با ۱۰۲۰ هکتوپاسکال بسته می‌شود که با انتقال هوای سرد عرض‌های بالا افت شدید دما را به همراه دارد.



شکل ۱۰: نقشه‌ی فشار تراز دریا روز ۲۵ مارس ۲۰۰۵.

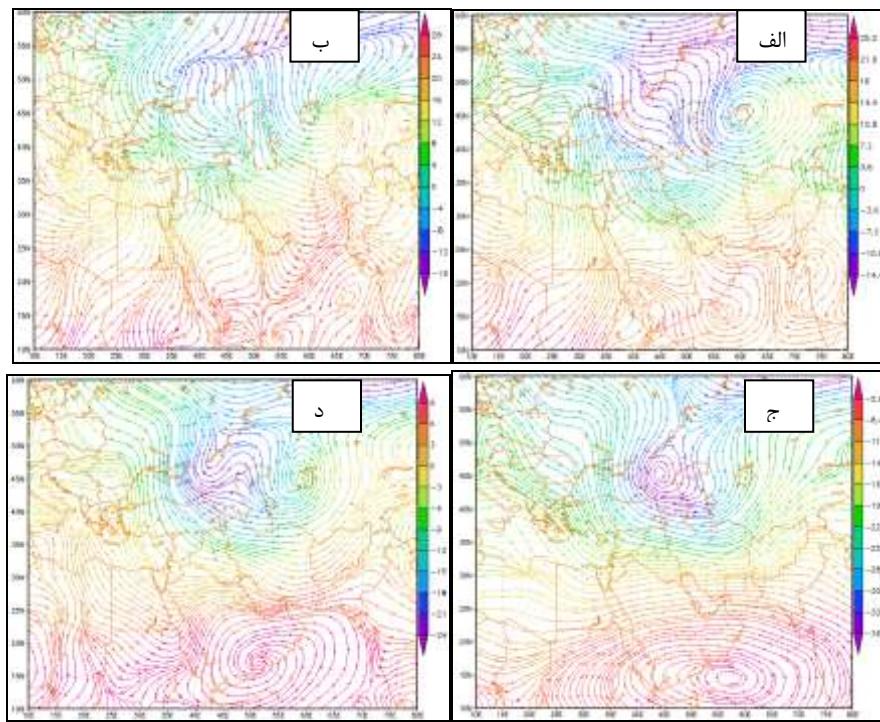
شکل شماره‌ی ۱۱ نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی را در روز ۲۵ مارس ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مرکز پرارتفاعی با پربند مرکزی ۲۱۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای سیاه بسته می‌شود و منطقه‌ی شمال غرب کشور در نیمه‌ی شرقی این واچرخند عظیم قرار می‌گیرد که گسترشی کاملاً نصف‌النهاری و شمالی دارد. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز، واچرخند بزرگی با ۱۵۴۵ ژئوپتانسیل متر در شمال کشور لیبی بسته و با روندی جنوب غرب به شمال شرق تا نیمه‌ی شرقی اروپا کشیده می‌شود. استقرار کم ارتفاعی با پربند مرکزی ۱۳۲۰ ژئوپتانسیل متر در شرق خزر با

نفوذ بر روی شمال غرب کشور و قرارگیری منطقه‌ی مطالعه بین این دو سامانه پرارتفاع غربی و کمارتفاع شرقی سبب انتقال هوای سرد عرض‌های شمالی روسیه و شرقی اروپا بر روی ایران می‌شود. در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، با شکل‌گیری کمارتفاعی در شرق دریای سیاه و قرارگرفتن شمال غرب کشور در جنوب آن، هوای سرد عرض‌های بالا از عقب ناوه با جهتی مداری و غربی منتقل می‌شود.



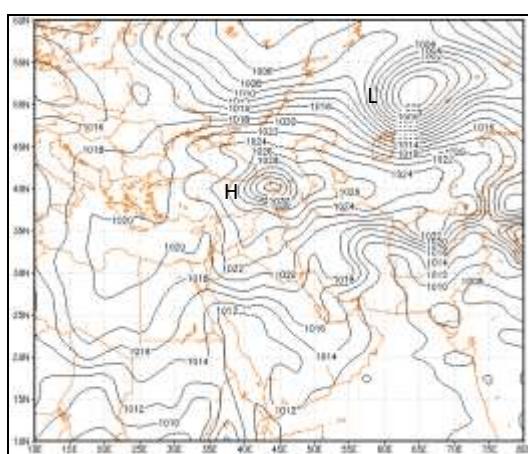
شکل ۱۱: نقشه‌ی ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی در ترازهای الف: ۱۰۰۰؛ ب: ۸۵۰؛ ج: ۷۰۰؛ د: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۵ مارس ۲۰۰۵.

شکل شماره‌ی ۱۲ نقشه‌های فرارفت دمایی را در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۵ مارس ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. در این روز، در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال جریان‌های وزش دما، منطبق بر گردش واچرخندی در نقشه‌های ارتفاع، شمالی است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز، جریان واچرخندی بر روی مرکز مدیترانه و چرخندی در شرق خزر به تشديد وزش‌های سرد بر روی استان آذربایجان غربی می‌انجامد. در ترازهای بالایی نیز، عمیق‌شدن ناوه‌ی واقع بر روی خزر و شرق دریای سیاه و قرارگیری منطقه‌ی شمال غرب کشور در جنوب ناوه و نزدیک به پشت ناوه سبب فرارفتهای بسیار سرد شمالی از شمال شرق اروپا (با عبور از روی دریای سیاه) می‌شود و نیمه شمالی ایران را دربر می‌گیرد.



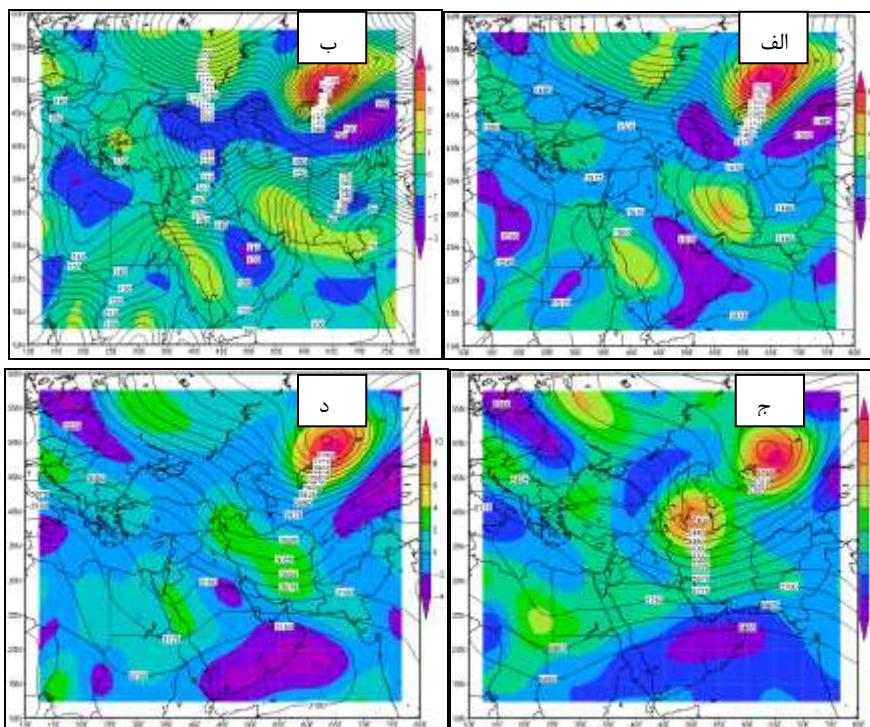
شکل ۱۲: نقشه‌های وزش دمایی در ترازهای الف: ۱۰۰۰؛ ب: ۸۵۰؛ ج: ۷۰۰؛ د: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۵ مارس ۲۰۰۵.

با توجه به نقشه‌ی فشار تراز دریا در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۵ (شکل ۱۳)، پرفشار واقع در شمال دریای سیاه در این روز با افزایش فشار و حرکت جنوب‌سوی خود با ۱۰۳۶ هکتوپاسکال در شمال استان آذربایجان غربی بسته می‌شود که با روندی شمال غرب به جنوب شرق بیشتر ایران را نیز دربر می‌گیرد. در شمال دریاچه‌ی بایکال و بالخاش نیز، کم‌فشاری با ۹۹۶ هکتوپاسکال جریان‌های شمالی را بر روی منطقه‌ی شمال غرب تقویت می‌کند.



شکل ۱۳: نقشه‌ی فشار تراز دریا روز ۲۶ مارس ۲۰۰۵.

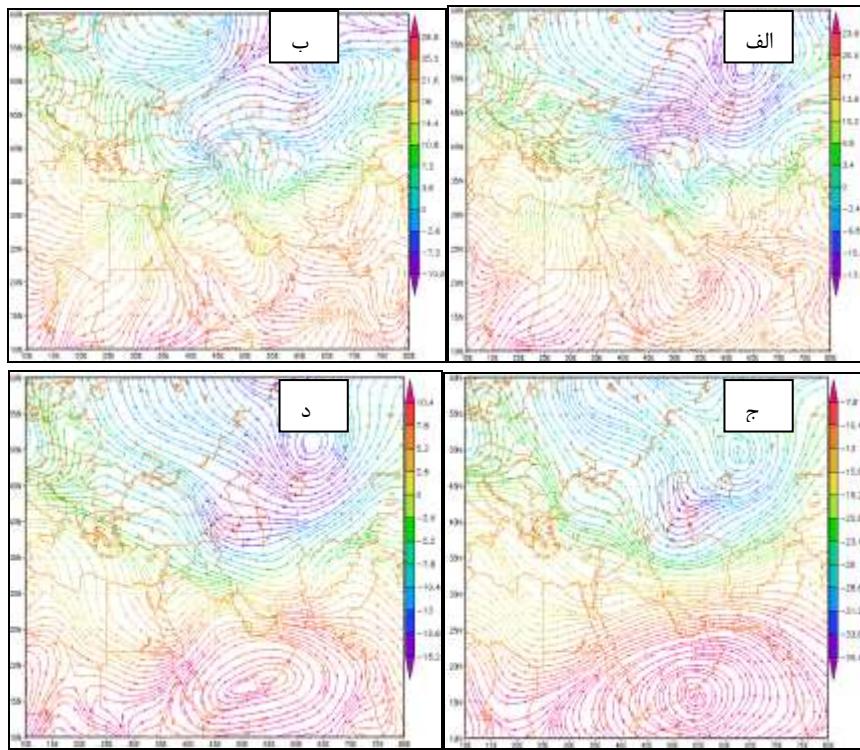
شکل شماره‌ی ۱۴ نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوانی را در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، واچرخند واقع در شمال دریای سیاه مطابق با مرکز پرفشار سطح زمین با حرکت جنوب‌سوی خود و افزایش ارتفاع ۳۰ ژئوپتانسیل متری با پربند مرکزی ۲۴۰ ژئوپتانسیل متر در گوشی شمال غرب ایران قرار می‌گیرد که، با هسته‌ی بیشینه‌ی تاوانی منفی در مرکز آن، شدت گردش آنتی‌سیکلونی را بر روی منطقه‌ی مطالعه نشان می‌دهد. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز با حرکت شرق‌سوی پراتفاع واقع در شمال کشور لیبی و کم ارتفاع جنوب روسیه، شمال غرب کشور کاملاً در پشت ناوه قرار می‌گیرد که با جهتی شمال غرب از سمت غرب روسیه و شمال شرق اروپا جریان‌های سرد را بر روی منطقه‌ی مطالعه فرارفت می‌کند. در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز، به ترتیب مرکز کم ارتفاع هسته‌ی سردی با ۲۷۲۵ و ۵۶۲۰ ژئوپتانسیل متر بر روی شمال کشور قراقستان بسته می‌شود و منطقه‌ی مطالعه در شمال غرب کشور کاملاً در پشت ناوه قرار می‌گیرد. در مجموع، استقرار پرفشار در سطح زمین در شمال غرب ایران و قرارگیری پشت ناوه‌ی شمالی بر روی این پرفشار هسته‌ی سرد افت شدید دماها و رخداد موج‌فرین سرد را در روز ۶ فروردین ۱۳۸۴ برابر با ۲۶ مارس ۲۰۰۵ به همراه داشت.



شکل ۱۴: نقشه‌ی ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوانی در ترازهای (الف): ۱۰۰۰؛ (ب): ۵۰۰؛ (ج): ۸۵۰؛ (د): ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۵.

شکل شماره‌ی ۱۵ نقشه‌های فرارفت دمایی را در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکل در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. در نقشه‌ی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، بر روی منطقه‌ی مطالعه گردش واچرخندی تشدید شده که جهت وزش دماهای سرد نیز شمالی است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۵: ب) نیز، گردش واچرخندی بر روی مدیترانه و چرخندی در آسیای مرکزی سبب ایجاد جریان‌های شمالی و شمال غرب و افت شدید دماها در استان آذربایجان غربی می‌شود. در نقشه‌های وزش

دماهی، در ترازهای بالاتر نیز، سمت فرارفت‌های سرد شمالی کاملاً هماهنگ با سامانه‌ی کم ارتفاع شمالی است، بهنحوی که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وزش دما منطبق بر پشت ناوه‌ی فوکانی شمالی است. همان‌طور که مشخص است، مسیر انتقال جریان‌های سرد از شمال غرب روسیه و نیمه‌ی شرقی اروپا بر روی شمال غرب ایران فرارفت می‌شود.



شکل ۱۵. نقشه‌های وزش دمایی در ترازهای الف: ۱۰۰۰؛ ب: ۸۵۰؛ ج: ۷۰۰؛ د: ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۶ مارس ۲۰۰۵.

نتیجه‌گیری

طی دوره‌ی زمانی، ۹ تا ۱۰ فروردین ماه ۱۳۸۴ و ۵ تا ۶ فروردین ماه ۱۳۸۴، دو سامانه‌ی سرمایی بر روی منطقه‌ی شمال غرب ایران مستقر شدند. بهمنظور تبیین و تحلیل الگوی سینوپتیکی دوره‌های زمانی مذکور، دماهای حداقل مطلق کمتر از صفر درجه‌ی سلسیوس ایستگاه‌های محدوده‌ی استان آذربایجان غربی برای نمونه انتخاب شد و نقشه‌های فشار تراز دریا، نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی و نقشه‌های فرارفت دمایی در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در نرم‌افزار (Grads) ترسیم و واکاوی گردید. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در زمان رخداد موج سرمای مخاطره‌آمیز (با واکاوی نقشه‌های سطح زمین در روز اول موج سرما) گسترش پرفشار هسته‌ی سردی بیشتر مناطق ایران را از سمت اروپای شرقی و استقرار آن در شمال و شمال شرق دریای سیاه و نفوذ آن از گوشه‌ی شمال غرب کشور دربر می‌گیرد. در واکاوی نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی در تراز ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، در روز اول رخداد سرما، عموماً گسترش واچرخندی عظیم بر روی دریای سیاه و شمال غرب کشور مشاهده می‌شد. اما در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، منطقه‌ی مطالعه در جنوب ناوه‌ی حاصل از کم ارتفاع هسته‌ی سرد واقع در آسیای مرکزی است. با این‌همه، در روز اوج سرما، مرکز پرفشار مهاجر دقیقاً بر روی منطقه‌ی مطالعه قرار می‌گیرد و در ترازهای بالایی جو نیز با استقرار پشت ناوه‌ی انشسته از هوای سرد عرضه‌ای فوکانی بر روی مرکز پرفشار سطح زمین، ضمن

تقویت جریان‌های واچرخندی سطوح زیرین، سبب شدت یافتن سرما و یخندهان در استان آذربایجان غربی می‌شود. هسته‌های بیشینه‌ی تاوانی منفی و مثبت به ترتیب در مراکز واچرخند و چرخند نیز شدت جریان‌های گردشی سرد را بر روی نیمه‌ی شمالی ایران تأیید می‌کند. در تحلیل نقشه‌های وزش دمایی در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز جهت و شدت دمایها دقیقاً از نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل پیروی می‌کند به صورتی که در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (در هر دو موج سرمای واکاوی شده) گردش دمای سرد واچرخندی و شمالی بر روی شمال غرب ایران قرار گرفته است. در نقشه‌های وزش دمایی ۹ و ۱۰ فروردین ۱۳۸۲ در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بر روی استان آذربایجان غربی گردش واچرخندی منطبق بر پرفشار سرد سطح زمین است، اما در موج سرمای دوم (یعنی ۵ و ۶ فروردین ۱۳۸۴) منطبق شمال غرب بین دو گردش واچرخندی روی مدیترانه و چرخندی واقع در جنوب روسیه است که جهت جریان‌های سرد دمایی در این تراز هم کاملاً شمالی است. در نقشه‌های وزش دمایی ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، استان آذربایجان در زیر یال غربی ناوه‌ی آسیای مرکزی یا جنوب روسیه است. جهت جریان‌ها در این سطوح نیز شمال و شمال غرب است که از سمت شمال غرب روسیه و نیمه‌ی شرقی اروپا هوای بسیار سرد را فرارفت می‌کند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با مطالعه‌ی حرکت سامانه‌های جوی و شناخت سامانه‌های همدیدی (که جریان‌های سرد را ایجاد می‌کنند) می‌توان با پیش‌بینی به موقع این‌گونه وضعیت‌های جوی از بروز تأثیر مخرب موج‌های سرمای دیرهنگام بهاری بر روی محصولات کشاورزی، مصرف انرژی، سرمادگی و مخاطرات جاده‌ای جلوگیری کرد.

منابع

- اداره‌ی اطلاعات و خدمات ماشینی. ۱۳۸۴-۱۳۸۲. آمار حداقل‌های دمای صفر و زیر صفر درجه‌ی روزانه‌ی بهاره، سازمان هواشناسی کشور.
- امیدوار، کمال و عاطفه ابراهیمی. ۱۳۹۱. تحلیل همدیدی موج سرمای شدید ۱۶ تا ۲۵ دی‌ماه ۱۳۸۶ در ایران مرکزی (استان‌های اصفهان، کرمان و یزد). *فصلنامه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*, ۴۵(۱): ۹۸-۸۱.
- براتی، غلامرضا. ۱۳۷۵. طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیک یخندهان های بهاره ایران، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- براتی، غلامرضا. ۱۳۸۷. روابط سیستمی مهاجر و یخندهان‌های بهاره‌ی ایران. *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*, ۵۳-۵۲: ۱۵۰-۱۳۲.
- جوادی، شهرام. ۱۳۵۰. هوشناسی کشاورزی و اثرات سرما و گرما بر روی گیاهان. انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.
- حیدری، مصطفی. ۱۳۷۵. بررسی سیستم‌های مؤثر بر آب و هوای شمال غرب ایران. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد هوشناسی، دانشکده‌ی ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- صحراشیان، فاطمه و غلامعلی کمالی. ۱۳۸۴. بررسی آماری وقوع سرما و یخندهان‌های بهاره و پاییزه در استان آذربایجان شرقی. *مجله‌ی دانش کشاورزی*, ۴: ۲۰۹-۱۹۸.
- علیجانی، بهلول و غلامرضا براتی. ۱۳۷۵. تحلیل سینوپتیک یخندهان فروردین ۱۳۶۶. *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*, ۴۰: ۱۳۵-۱۲۱.
- علیجانی، بهلول و محمود هوشیار. ۱۳۸۷. شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران. *فصلنامه‌ی پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی ایران*, ۶۵: ۱۶-۱۱.

- عزیزی، قاسم. ۱۳۸۳. ارزیابی سینوپتیکی یخندهان‌های فراگیر بهاری در نیمه‌ی غرب ایران. *فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، شماره ۱: ۱۱۶-۹۹.*
- عزیزی، قاسم؛ طبیه‌ی اکبری؛ محمود دادوی و مهری اکبری. ۱۳۸۸. تحلیل همدیدی موج سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶ ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۱۹: ۷۰-۱.*
- کریمی، صادق؛ حسین نگارش؛ تقی طاووسی و بهلول علیجانی. ۱۳۹۱. تحلیل همدید امواج سرماهای فراگیر ایران. *محله‌ی جغرافیا و توسعه، ۲۹: ۷۶-۵۵.*
- کمالی، غلامعلی. ۱۳۸۱. سرماهای زیان‌بخش به بخش کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالی. *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، ۶۳-۶۴: ۴۴-۳۰.*
- لشکری، حسن. ۱۳۸۷. تحلیل سینوپتیکی موج سرمای فراگیر ۱۳۸۲ در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۶: ۱۸-۱.*
- مجرد قره‌باغ، فیروز. ۱۳۷۶. تحلیل و پیش‌بینی یخندهان در آذربایجان غربی. *رساله‌ی دکتری، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.*
- مؤمن، قادر. ۱۳۸۵. تحلیل یخندهان‌های شمال غرب آذربایجان و تأثیر سرمای بهاره بر سردرختی‌های منطقه‌ی خوی. *پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.*
- نوحی، کیوان؛ مژده پدرام؛ فاطمه صحرائیان و غلامعلی کمالی. ۱۳۸۶. بررسی و تحلیل تاریخ آغاز و خاتمه‌ی یخندهان تابشی-فرارفتی در استان آذربایجان غربی و شرقی، پژوهش و سازندگی در زراعت و باخانی، ۷۵: ۸۵-۷۸.
- هزبرپور، قاسم و بهلول علیجانی. ۱۳۸۶. تحلیل همدید یخندهان‌های استان اردبیل. *فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، ۱۰: ۱۰۶-۸۹.*
- هاشمی، فریدون. ۱۳۴۸. تجزیه و تحلیل استاتیستیکی از سرمای تهران. *انتشارات تحقیقات و بررسی علمی هواشناسی کشور، تهران.*
- یارنال، برنت. ۱۹۹۳. *اقلیم‌شناسی همدید و کاربردهای آن در مطالعات محیطی.* ترجمه‌ی سید ابوالفضل مسعودیان، انتشارات دانشگاه اصفهان.

- Gabriela, M. and Tercio, A. ۲۰۰۷. Dynamics of Wave Propagation Leading to Frost in the Extrropical Latitude Versus Tropical Latitude, Departement of de Ciencias Atmospherics, University of Sao Paulo, ۶۷: ۸۶-۹۸.
- Gabriela, V. M.; Compagnucci, R. Maro, N. Nunez and Alejandra S. ۲۰۰۲. Surface Cirulation Associated with Frost in the West PAMPAS, International Journal of Climatology, International Journal Climatol. ۲۳: ۹۴۱-۹۶۱.
- Michalska, B. ۱۹۸۶. Suggested terms of Corn sowing in the main yield in Poland dependet on soil temperature and frosts. *Agrotechniczna (Poland), ۱۰۶: ۹۷-۱۰۲.*
- Rosenberg, N.J; Blade, B.L. and Verma, S.B. ۱۹۸۳. *Microclimate the Biological Environment* Wily, Academic Press, New York.
- Takahashi, H. ۱۹۹۰. Migration of the cold air mass related to rain belt formation of the Chinese continent and atmospheric circulation system during the baiu season (in Japanese), geographic review of Japan, series A, ۶۴ (۱۰): ۹۶-۱۰۶.
- Thom, H.C. and Shaw, R. H. ۱۹۵۸. *Climatological analysis of freeze data for Iowa.* Monthly Weather Review. ۸۶: ۲۵۱-۲۵۷.
- Vatkins, S.C. ۱۹۹۱. The annual period of freezing temperatures in Centurial England, ۱۸۰۰-۱۹۵۹. International Journal Climatol, ۱۱(۸): ۸۸۹-۸۹۶.
www.esrl.noaa.gov/psd/data.ncep.reanalysis.
www.waaj.ir
- Waylen, P.R. ۱۹۸۸. Statistical analysis of freezing temperatures in Central and Southern Florida. *Journal International Journal Climatol. ۸(۶): ۶۰۷-۶۲۸.*

