روابط ناوه تراز میانی جو با رخداد شدیدترین یخبندان‌های ایران

غلامرضا براتی[۱]، بهلول علیجانی[۲]، علیمحمد مرادیان[۳]

چکیده

هر ساله رخداد یخبندان‌های شدید اعم از پاییزه، زمستانه و بهاره ، باعث بروز زیان‌های فراوان در بخش کشاورزی، دامداری، صنعت و ترابری ایران می‌شود. در این تحقیق، با تهیه آمار میانگین دمای روزانه‌ی صفر و زیر صفر از ۵۰ ایستگاه داده سنجی جوی از نوع همدید در سراسر ایران، ۷۵ موج یخبندان طی دهه اخیر یعنی از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۳ شناسایی شد. بر پایه سنجه‌های کمی تعریف شده شامل فراوانی موج‌های یخبندان، تاریخ‌های آغاز و پایان هر موج، شدت و تداوم زمانی آن‌ها، ۳۱ موج شاخص برگزیده شد و ویژگی‌های همدید آن‌ها بررسی گردید. نتایج تحقیق نشان داد همه ساله شدیدترین یخبندان‌ها در سطح سرزمین ایران طی زمستان رخ داده‌اند بجز سال ۱۳۷۳ که در پاییز بوده است. در میان ماه‌های سال، ماه بهمن رتبه‌ی پریخبندان‌ترین و ماه دی رتبه‌ی سردترین ماه را کسب کردند. در حالیکه از پیش نیز انتظار می‌رفت، خسارت‌باری یخبندان‌های بهاره بیشتر باشد؛ نتایج نشان داد در عوض فراوانی یخبندان‌های پاییزه بیشتر بوده است. در این حال بر پایه الگو های همدید تهیه شده، محل بیشینه ناوه‌های غربی در ایران ۱۰ درجه جغرافیایی پایین‌تر از محل بیشینه آن‌ها در نیمکره جنوبی مشاهده شد و شدت یخبندان‌ها تا ۵۸ درصد با عمق ناوه‌های غربی رابطه معنی‌دار داشت. الگوی طراحی شده برای محورهای ناوه طی روزهای اوج، جاگیری عموم محورها را در نیمه‌ی خاوری ایران با امتداد شمال شرقی – جنوب غربی نشان داد. این جاگیری به تسهیل شارش جریان‌های بسیار سرد از عرض‌های بالای جغرافیایی تا جنوبی‌ترین مناطق ایران انجامید. ناوه‌های مهاجر عرض‌های بالاتر یخبندان‌های شدیدتر و ناوه‌های مهاجر عرض‌های پایین‌تر یخبندان‌های فراگیرتر در پی داشتند. در این راستا راهکار بنیادین برای کاهش زیان‌های کشاورزان بویژه باغداران در مناطق پرآسیب، تغییر الگوی کشت به لحاظ مکانی و استفاده از بذرها و گونه های مقاوم و دیربازده به لحاظ زمانی است.

کلید واژه‌ها: بررسی همدید، یخبندان‌های شدید، ناوه‌های مهاجر ، ایران.

۱- استادیار دانشگاه شهید بهشتی G_barati@sbu.ac.ir
۲- استاد دانشگاه تربیت معلم تهران
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آب وهواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی

مقدمه

وجود اختلافات مکانی و زمانی در ترازنامه انرژی تابشی (زمین‌تاب)، عامل پیدایش جریان‌های بالارونده، پایین رونده هوا و باد به عنوان جریانی افقی در جو است. جریان هوا خود باعث تعدیل نابرابری‌های حرارتی و رطوبتی در آب‌وهوای یک سرزمین می‌شود. در بخشی از کتاب «معلم کبیر» از قول امام صادق علیه‌السلام چنین آمده است *(عمادزاده؛ ۱۳۶۲: ۳۶۳)*:

... زندگی همه‌ی موجودات وابسته به باد است..... باد است که حرارت و برودت را تعدیل می‌کند.

از آنجا که تغییرات فشار در سطوح بالای جو به عنوان عامل اصلی پیدایش و تغییر اوضاع جوی یک منطقه بحساب می‌آید *(علیجانی و کاویانی؛ ۱۳۷۱: ۲۵)*، از طریق شناسایی الگوها فشار اولا آگاهی ما از فرایندها و قانونمندی‌های اقلیمی یک سرزمین افزایش می‌یابد و ثانیا به صورت درست‌تر و آسان‌تر می‌توانیم تغییرات اقلیمی *(علیجانی؛ ۱۳۸۱: ۶۴-الف)* جوی را پیش‌بینی و امور خود را برنامه‌ریزی کنیم. از جمله این تغییرات، رخداد امواج سرما و یخبندان است. بنا به قول *(یی‌یو؛ ۲۰۱۱: ۲)* موج سرما جریان هوایی است که در ترازهای بالای جوی نمودی آشکار داشته؛ طی روزهای یورش یک سرمای شدید، الگویی قوی از پشته- ناوه را شکل می‌دهد.

بجز کمربندی از منطقه استوایی که به دلیل تابش عموما عمود آفتاب و نیز مناطق قطبی و بلندی‌های رفیع که عموما زیر یخ و برف‌اند؛ در سرزمین‌های دیگر جهان؛ امواج یخبندان متناسب با شدت، دوام، تناوب و زمان وقوع به بخش‌های اجتماعی، اقتصادی و کشاورزی *(سیموند و رشید؛ ۲۰۰۱: ۵۰)* زیان می‌رسانند. برای نمونه می‌توان از ورود هر از گاهی امواج یخبندان و سرما به کشور جنب حاره‌ای مکزیک و خسارت به کشتزارهای قهوه *(گارسیا؛ ۱۹۹۶: ۹)* و حتی بنگلادش در پشت دیوار سترگ هیمالیا، همراه با مه غلیظ طی زمستان ۲۰۱۱ و متأسفانه مرگ ۵۰ کودک و سالمند بنگلادشی *(آی. اف. آر. سی؛ ۲۰۱۱: ۱)* نام برد. همچنین از جمله درباره زیان‌های امواج یخبندان در تحقیقات آمده است با تغییر شرایط جوی و خالی شدن آسمان از ابرهای جبهه‌ای و کاهش نم نسبی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد و حاکمیت هوای سرد و خشک، تراکم گاز ازن از ۷ تا ۸ به ۴۳ تا ۴۵ بخش در بیلیون می‌رسد *(چکینا و همکاران ؛ ۲۰۰۴: ۴)*.

محققان طیفی از سامانه‌های فشار شامل دو فراز اصلی نیمکره شمالی شامل فراز روی آلاسکا و فراز غرب انگلستان *(یی‌یو؛ ۲۰۱۱: ۱۲۴)*، پرفشارهای باختری در پامپای نمناک *(گابریلا و همکاران؛ ۲۰۰۳: ۲۳)*، پرفشار سیبری *(کهل؛ ۲۰۰۹: ۶۳)*، فراز واژگون در امریکای مرکزی (*ویسمن و همکاران؛ ۲۰۰۲: ۱۷)*، فرارفت سنگین هوای جنوبگانی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال *(سیموندز و همکاران؛ ۲۰۰۱: ۵۰)* و در ایران، قرار گرفتن سرزمین زیر یال غربی ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال *(ویسی و همکاران؛ ۱۳۸۷: چ)*، بریده شدن فراز *(لشکری؛ ۱۳۸۷: ۶۶)* و بنا به تعبیر عزیزی و همکاران (۱۳۸۸: ۷۰) تبدیل آن به سامانه بندالی را از عوامل امواج یخبندان در مناطق مختلف نیمکره شمالی ذکر کرده‌اند.

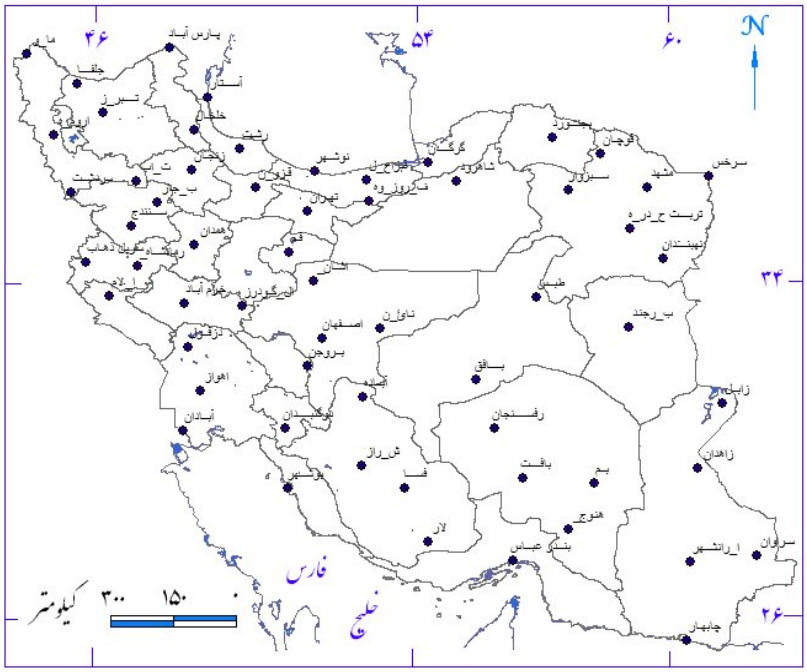
روی سطوح خشک سرزمین ایران طی تابستان، دمای هوا در مناطق مرکزی و روی بلندی‌ها تا حد افراط افزایش و طی زمستان تا حد تفریط کاهش می‌یابد. تحقیق رحیمی و همکاران (۲۰۰۷: ۲۷) گویای رخداد کوتاه‌ترین و بلندترین دوره آزاد از یخبندان به ترتیب در بلندی‌ها و سرزمین‌های پست در البرز مرکزی است. البته کاهش دما طی دوره سرد سال در ایران، همیشه تدریجی و قابل پیش‌بینی نیست و به تبع تأثیرپذیری از تغییر موقعیت و عمق ناوه مدیترانه *(علیجانی؛ ۱۳۸۱: ۴۵-الف)* متغیر خواهد بود. بنا به نظر *(ساندرس؛ ۱۹۸۸: ۱۱۶)* در سطح نیمکره شمالی سمت

خاور رشته‌کوه راکی و بامه (فلات)های بلند آسیای مرکزی دو قلمرو اصلی پیدایش و پایش ناوه‌ها هستند. به دیگر سخن، با ورود یک توده هوای سرد در پس یک موج هوای غربی روی بامه ایران و در شرایط جوی پایدار و عموما خشک، دمای هوا می‌تواند طی روزهای پیاپی به زیر صفر سقوط کند. مانند آنچه که طی دی ماه سال ۱۳۷۴ رخ داد و میانگین روزانه‌ی دما را در شهرهایی چون بروجن و اصفهان به ترتیب تا منفی۱۷/۲ و منفی ۱۳/۱درجه سلسیوس کشاند.

در بررسی حاضر با در نظر گرفتن یک دوره آماری ده‌ساله (۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳)، برای داده‌های دمای روزانه صفر و زیر صفر ۵۰ ایستگاه همدید و هواشناسی در گستره ایران و با استفاده از روش‌های آماری و همدید شامل بررسی نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تأثیر امتداد، موقعیت و عمق ناوه مهاجر غربی در پیدایش و تقویت یخبندان‌های شدید ایران مطالعه شد.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌های این تحقیق در مرحله نخست از بخش آمار اداره خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. ایستگاه های برگزیده اعم از همدید و هواشناسی با توجه به فاصله دست کم ۱ درجه‌ای (نزدیک به ۱۰۰ کیلومتر) از ایستگاه های جنبی به عنوان نماینده محدوده، تعیین شدند به گونه‌ای که سراسر کشور زیر پوشش قرار گیرد (شکل ۱).



شکل۱: موقعیت شهرهای برگزیده در گستره ایران

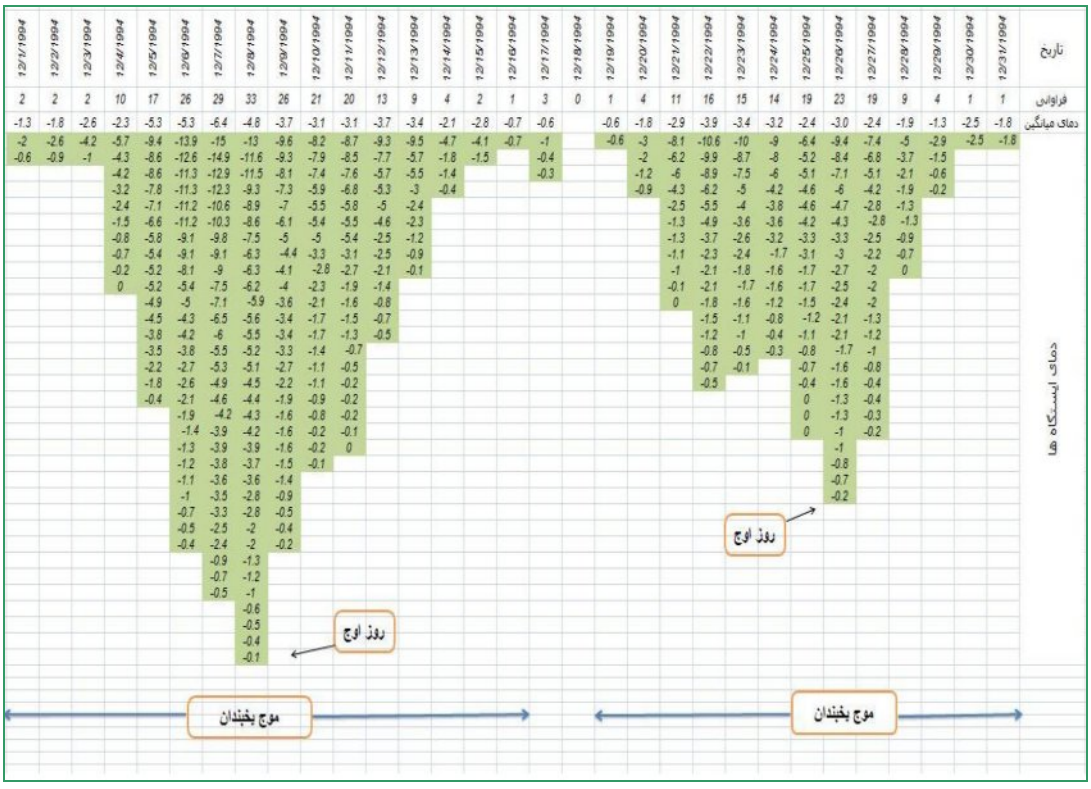
نخستین داده‌ها در محیط اکسل از دماهای بالای صفر پالایش شد و سپس موج‌های یخبندان بر پایه سنجه‌های زیر تعیین گردید:

۱). رخداد دمای صفر و زیر صفر درجه دست کم در دو ایستگاه.

۲). رخداد دمای صفر و زیر صفر درجه دست کم در دو روز پیاپی.

۳). فاصله دست کم یک درجه میان دو ایستگاه درگیر یخبندان.

این سنجه‌ها برای این انتخاب شدند که در فاصله‌های زمانی و مکانی کمتر، احتمال یخبندان‌های تابشی بیشتر از نوع همدید است. پس از تعیین ۷۵ موج یخبندان، بر پایه سنجه‌های کمی شامل فراوانی موج‌ها، تاریخ‌های آغاز و پایان، شدت و تداوم زمانی (نمونه شکل ۲)، تعداد ۳۱ موج برگزیده شد. در هر موج یخبندان، روزی که در آن بیشترین فراوانی ایستگاه‌های دارای دمای صفر و زیرصفر درجه سلسیوس مشاهده شد، به عنوان روز اوج یخبندان تعریف شد. در مواردی که اوج یخبندان بیش از یک روز طول کشید، از معیار دوم یعنی میانگین روزانه پایین‌ترین دمای آن‌ها استفاده شد. به عبارت دیگر روزی که دمای میانگین مجموعه ادی‌ها کمتر بود، به عنوان روز اوج یخبندان انتخاب شد. شکل (۲)، دو پراسنج یاد شده را طی ماه دسامبر ۱۹۹۴ برای تعیین موج‌های یخبندان نمایش می‌دهد.



شکل ۲: نمونه‌ای از پراکنش روزانه دمای صفر و زیر صفر درجه ایستگاه‌ها، فراوانی و میانگین دمای روزانه

در دومین مرحله تحقیق، نقشه‌های روزانه هوا، برای یخبندان‌های سی‌ویک‌گانه؛ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تهیه گردید. این تراز چنانکه کاویانی و همکاران (۱۳۸۶: ۲۴) تصریح دارند، نقش مهمی در ایجاد و هدایت سامانه‌های تأثیرگذار بر آب‌وهوای کشور دارد و از جمله به عنوان نماینده جو میانی *(عزیزی و همکاران؛ ۱۳۹۰: ۴۱)* و به عنوان یک تراز بااهمیت *(علیجانی؛ ۱۳۸۱: ۴۰-پ)* است که می‌توان آرایش توپوگرافی پشته‌ها و ناوه‌ها را از الگوهای آن بازشناخت *(علیجانی؛ ۱۳۸۱: ۶۴-الف)*.این نقشه‌ها از تارنمای مرکز واکاوی آب‌وهوا(Climate Diagnostics Center-CDC) مربوط به سازمان هواشناسی و اقیانوس‌شناسی آمریکا (NOAA) به آدرس/http://www.cdc.noaa.gov دریافت گردید. به منظور تشخیص صحیح سامانه‌های ورودی به ایران در جریان شدیدترین یخبندان‌های زمستانه ، طول نقشه از ۲۰ درجه غربی تا ۹۰ درجه شرقی و نیز عرض آن از ۱۰ تا۷۰ درجه شمالی انتخاب گردید.

در نقشه‌های یاد شده، نزدیک‌ترین و عمیق‌ترین محور ناوه به حدود جغرافیایی ایران طی روز اوج به عنوان ناوه عامل یخبندان در نظر گرفته شد. برای تعیین کمیت عمق ناوه طی روز اوج هر موج یخبندان، به عنوان نخستین پراسنج همدید مورد بررسی، سنجه‌های زیر لحاظ شد. خطوط و منحنی‌های مورد اشاره مربوط به نمونه ۲۶ دسامبر ۱۹۹۴ (شکل ۳) است:

۱). تعیین نزدیک‌ترین ناوه به ایران و اتصال نقاط عطف پربندهای آن برای رسم محور ناوه (منحنی AB). شایان ذکر است شیوه‌ای که پیش از این *(علیجانی؛ ۱۳۸۱: ۷۵-پ)* با سنجه «وصل جنوبی ترنی نقاط پربندهای یک موج» ارایه شده است؛ فقط برای ناوه‌های عمودی کارایی دارد. از این رو در این مقاله در مواردی که ناوه‌ها مایل یا نزدیک به خوابیده بودند؛ ضرورتا بجای جنوبی‌ترین نقاط، نقاط عطف آن‌ها بهم وصل شد.

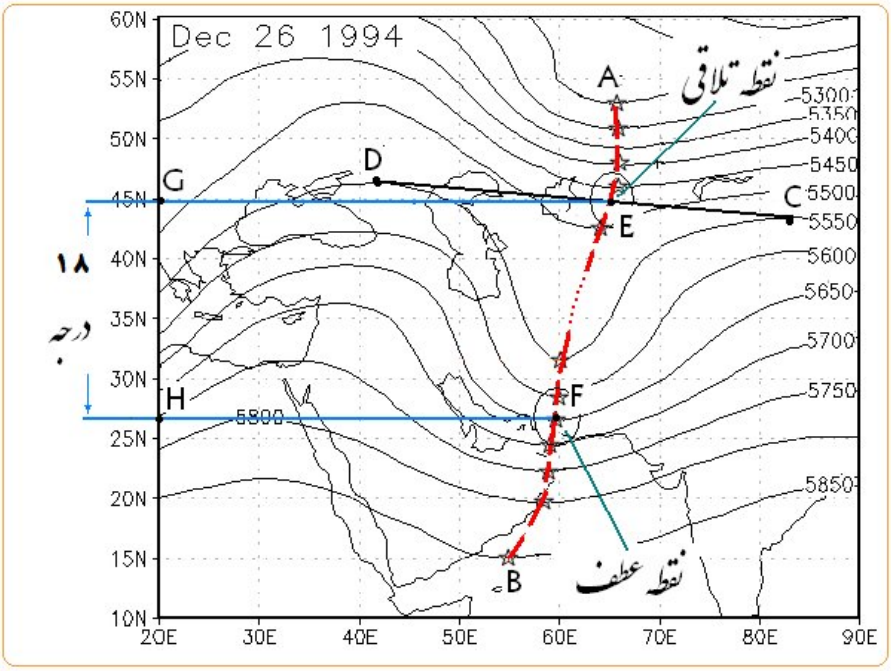
۲). یافتن پربندی از ناوه که از شمالی‌ترین نقطه ایران می‌گذرد (پربند ۵۵۰ دکامتر) و اتصال نقاط عطف دو فراز سمت غرب و شرق آن به هم (خط CD). این تدبیر از آن جهت بکار رفت که در موارد متعدد دیده می‌شد ابتدای محور ناوه از مرکز کم‌ارتفاعی آغاز می‌شود که روی سیبری مرکزی است در این حال لحاظ طول محوری که بخش‌هایی از آن خارج از ایران بود نمی‌توانست نماینده دماهای ثبت شده‌ی شهرهای داخل ایران باشد.

۳). یافتن نقطه تلاقی محور ناوه وخط اتصال دو فراز و رسم خطی موازی عرض جغرافیایی تا لبه نقشه(خط EG).

۴). یافتن پربندی از ناوه که از جنوبی‌ترین نقطه ایران می‌گذرد (پربند ۵۶۰ دکامتر) و اتصال نقطه تلاقی آن با محور ناوه بوسیله خطی موازی عرض جغرافیایی تا لبه نقشه (خط FH). توضیح یاد شده در سنجه دوم برای امتدادهای ناوه در خارج از مرزهای ایران به سمت جنوب نیز صادق است. بدین معنا که گاه بیرونی‌ترین پربند ناوه از روی ایران بصورت مایل تا جنوب سرزمین حجاز کشیده شده است.

۵). تعیین اختلاف عرض جغرافیایی نقاط تلاقی و عطف روی محور چپ الگو به عنوان عمق ناوه بر حسب درجه (خط GH).

چنانکه در شکل نمونه (۳) مشاهده می‌شود مدار جغرافیایی ۴۵ درجه شمالی به عنوان ابتدا و مدار ۲۷ درجه به عنوان انتهای ناوه روی ایران منظور شده، عدد ۱۸ به عنوان نتیجه یعنی عمق ناوه تعیین شده است.

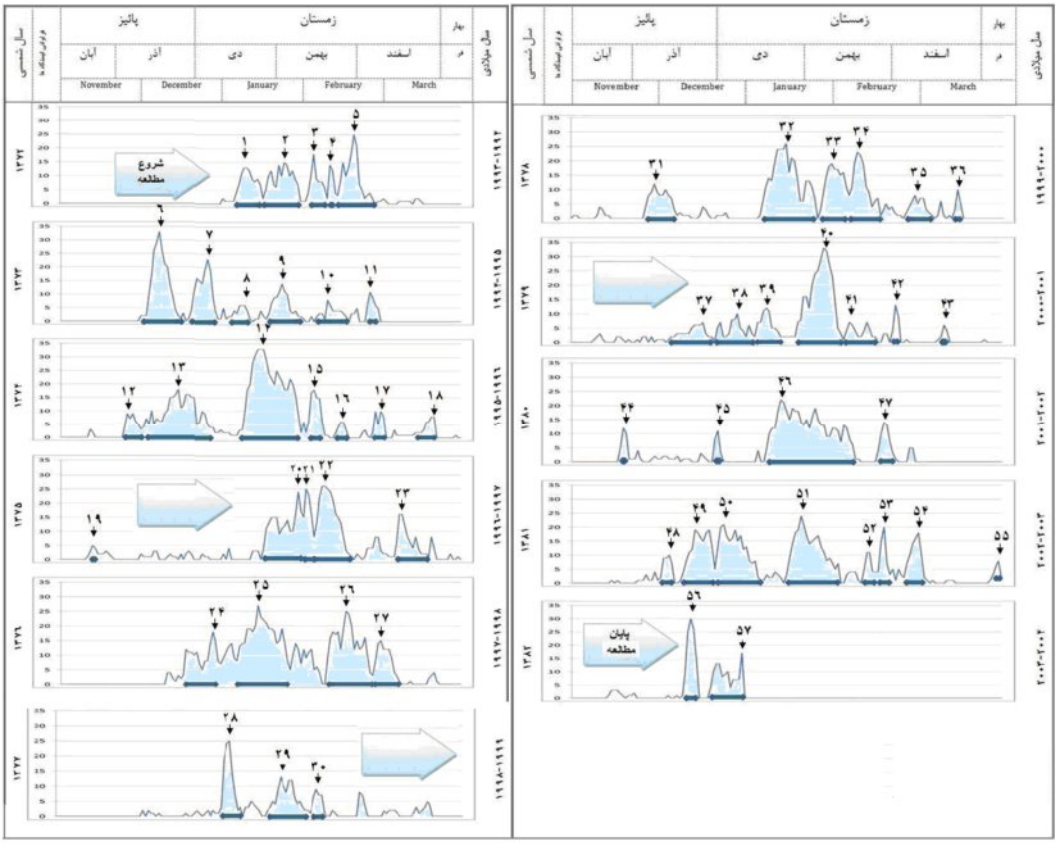


شکل ۳: شیوه محاسبه عمق ناوه بر پایه آرایش پربندها و عرض جغرافیایی معادل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در آخرین مرحله برای آزمون فرضیه تحقیق مبنی بر "رابطه معنی‌دار عمق ناوه و شدت یخبندان‌های شدید ایران"، داده‌های میانگین دمای روز اوج ادی‌ها بر حسب درجه سلسیوس و فراوانی ادی‌ها، هر یک بصورت جداگانه به عنوان متغیر وابسته و داده‌های عمق ناوه بر حسب واحد درجه عرض جغرافیایی به عنوان متغیر مستقل در معادلات وایازی چندگانه قرار داده شد.

نتایج و بحث

آنچه شکل (۴) به تصویر می‌کشد، شماتیک شدت، دوام و فراوانی موج‌های یخبندان در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ و در گستره ایران است. بر پایه اطلاعات این شکل، عموما شدیدترین یخبندان‌های سال را باید طی فصل زمستان انتظار داشت ولی در مواردی از جمله سال ۱۳۷۳ شدیدترین یخبندان سال در فصل پاییز رخ داده است.



شکل ۴: نمودار توالی زمانی امواج یخبندان در دوره سرد سال طی ۲۰۰۳-۱۹۹۴ در ایران

اگر بخواهیم فراوانی موج‌های یخبندان ایران را به تفکیک ماه نشان دهیم، چنانکه انتظار می‌رود بهمن‌ماه (فوریه) در رتبه‌ی پریخبندان‌ترین ماه نمایان می‌شود. در مجموع به نظر می‌رسد بامه‌ی خشک و نیمه‌خشک ایران به دلیل گنجایش گرمایی پایینی که دارد؛ چنانکه طی بهار با بازگشت خورشید به نیمکره شمالی، زود گرم می‌شود؛ طی پاییز نیز با ورود موج‌های هوای سرد، زودتر گرمای خود را از دست می‌دهد و دچار یخبندان می‌شود. بویژه اینکه سرزمین ما از سمت تاوه قطبی و از عموما از دو گذرگاه قفقاز *(عزیزی؛ ۱۳۸۳: ۱)* و بیابان ترکستان مورد تاخت و تاز امواج سرمای شدید قرار می‌گیرد.

از این رو هر چند احتمال زیانباری یخبندان‌های بهاره یا دیررس مانند آنچه برای گونه‌ی Picea sltchensis در اسکاتلند *(کانل و همکاران؛ ۱۹۸۵: ۵۸)* و گونه کاج کرسیکان در منطقه تتفرد *(لاو و گریک؛ ۱۹۷۳: ۴۶)* ذکر شده است، بیش از یخبندان‌های پاییزه یا زودرس است ولی نتایج نشان داد فراوانی رخداد یخبندان‌های پاییزه بیش از بهاره بوده است.

پس از ماه بهمن (فوریه) به ترتیب دی‌ماه (ژانویه)، آذر (دسامبر)، اسفند (مارس) و آبان (نوامبر) بیشترین امواج یخبندان را در خود جای داده‌اند.از لحاظ میانگین دمایی روز اوج،دی‌ماه (ژانویه)سردتر از ماه‌های دیگر است(شکل ۵).



شکل ۵: نمودار فراوانی و میانگین دمای امواج یخبندان رخ داده در هر ماه

بررسی همدید موج‌های یخبندان

از جمله مسایل مهم در تحلیل‌های همدید پدیده‌های جوی، بخصوص پدیده یخبندان‌های شدید، بررسی پیوند الگوهای فشار تراز پایین جو با الگوهای فشار ترازهای میانی روی نقشه‌های روزانه هوا است. هماهنگ با یافته‌های *(پی‌یو؛ ۲۰۱۱: ۱۲۴)* در مقیاس نیمکره شمالی، مطالعه نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شدیدترین یخبندان‌های ایران نشان داد که پیوند تنگاتنگی میان جابجایی پشته‌ها و ناوه‌های و این تراز و افت‌وخیزهای روزانه دما در عموم شهرهای مورد بررسی وجود دارد.

پیش از این طی تحقیقاتی متعدد، جابجایی ناوه‌ها و تغییرات عمق و دامنه آن‌ها در منطقه برون حاره *(لای و بوسارت؛ ۱۹۸۸: ۱۱۶)*، ریزش هوای سرد قطبی و شمال‌گانی در زیر یال غربی ناوه از سمت فرابار کانادایی به سرزمین‌های شرق راکی *(ویسمن و همکاران؛ ۲۰۰۲: ۱۷)* و حتی تا مناطق خاوری و شمال خاوری کشور مکزیک *(گارسیا؛ ۱۹۹۶: ۹)* مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به امکان تقسیم ناوه‌ها به دو نوع ساکن یا کواسی و مهاجر یا موبایل *(ساندرس؛ ۱۹۸۸: ۱۱۶)* و نیز موقعیت جغرافیایی گذر ناوه‌ها *(پیوا و همکاران؛ ۲۰۰۸: ۱۳۶)* مشخص می‌شود که نفوذ موج‌های سرما و یخبندان به سرزمین ایران با ورود ناوه‌های مهاجر از سمت عمومی غرب، وابستگی مستقیم دارد.

در مطالعات دیگر، ریزش هوای سرد در پشت سر یک ناوه و تأثیرپذیری آشکار یخبندان‌ها از ناوه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و پرفشارهای مهاجر *(هژبرپور و علیجانی؛ ۱۳۸۶: ۱۰)* و به تعبیرهای دیگر پرفشارهای سرد *(گابریل و همکاران؛ ۲۰۰۳: ۲۳)* و یا پرفشارهای اروپایی *(فتاحی و صالحی‌پاک؛ ۱۳۸۸: ۱۳)*، نیز احراز شد. در این راستا منتظری و مسعودیان (۱۳۸۹: ۷۴)، برای سال‌های سرد ایران از جمله از فرارفت غربی نام برده‌اند و بادهای غربی را خاستگاه آن

معرفی کرده‌اند. به دیگر سخن از جمله شرایط مناسب برای تشکیل پرفشارها، علاوه بر تشعشع زمین و از دست دادن دما در فصل سرد، پایداری جوی و قرار گرفتن زیر منطقه عقب یک ناوه مهاجر نیز هست.

از دیدگاه سیستمی، بررسی الگوهای تراز دریا بدون توجه به عامل اصلی یعنی ناوه‌های غربی و روابط حاکم میان آن‌ها با الگوهای تراز دریا و با هدف کسب آگاهی از علل یخبندان‌های شدید ایران، کاری بی‌نتیجه خواهد بود *(براتی ؛ ۱۳۷۸ :۵۵)*. از این رو در این تحقیق، شاخص‌های مهم ناوه مانند موقعیت، امتداد و عمق بررسی شدند.

موقعیت ناوه طی روز اوج یخبندان‌های شدید

اولین مؤلفه در بررسی ناوه‌های موثر در یخبندان‌های شدید ایران، موقعیت محور ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است. طبق بررسی انجام گرفته *(علیجانی؛ ۱۳۸۱: ۱۱-پ)*؛ در آرایش متوسط این تراز، در اکثر ماه‌های سال، یک ناوه کاملا مشخص وجود دارد که محور آن در امتداد ۳۰ درجه شرقی قرار گرفته، ارتفاع آن در پایین‌ترین نقطه محور ناوه در ماه‌های دی و بهمن (ژانویه و فوریه) ۷۵ متر است. در ماه‌های سرد سال آذر تا بهمن (دسامبر تا فوریه) ناوه کم‌عمق دیگری روی ۶۰ درجه شرقی مشاهده می‌شود.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد به لحاظ عرض جغرافیایی، ناوه‌های عامل شدیدترین یخبندان‌های دهه اخیر ایران بطور میانگین، در موقعیت ۲۵ درجه تا ۵۰ درجه شمالی بوده؛ بیشترین فراوانی محورهای ناوه بین مدار ۳۱ تا ۴۰ درجه شمالی واقع گردیدند. در این حال در تحقیقی که برای ناوه‌های مهاجر نیمکره جنوبی انجام شده است *(پیوا و همکاران؛ ۲۰۰۸: ۱۳۶)*، مشخص گردید که ناوه‌ها از عرض ۴۰ تا ۶۰ درجه و بیشینه آن‌ها در عرض۵۰ درجه جغرافیایی دیده می‌شود. این تفاوت می‌تواند متأثر از ماهیت خشک‌تر بودن نیمکره شمالی و اقیانوسی‌تر بودن بیشتر نیمکره شمالی باشد. در این حال ناوه‌های عرض‌های بالاتر در ایران، یخبندان‌های شدیدتری ایجاد نموده، ناوه‌های عرض‌های پایین‌تر یخبندان‌های فراگیرتری را موجب شدند (جدول ۱).

جدول ۱ : مشخصات محورهای ناوه بر اساس عرض جغرافیایی

ردیف	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	تعداد امواج	متوسط برودت امواج یخبندان	متوسط فراگیری امواج یخبندان
۱	۲۱-۳۰	۶	-۳.۶	۲۳
۲	۳۱-۴۰	۲۰	-۴.۵	۲۲
۳	۴۱-۵۰	۵	-۵	۱۹

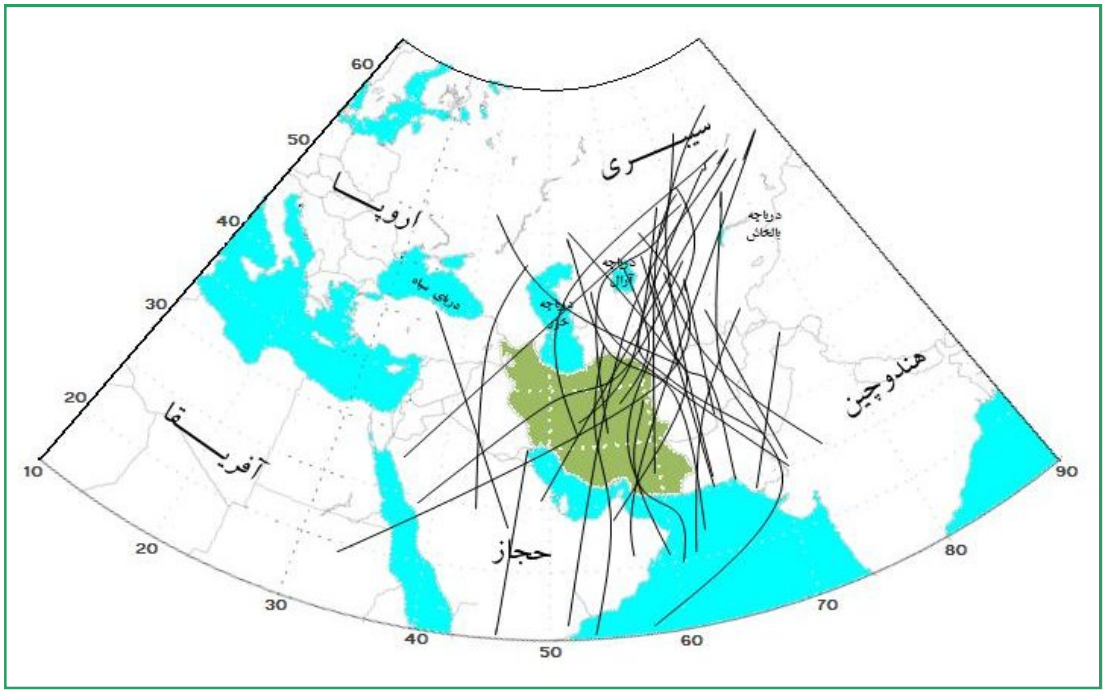
به لحاظ طول جغرافیایی نیز بیشترین فراوانی ناوه‌های عامل یخبندان (۶۵ درصد) در شرق ایران مشاهده گردید. این موقعیت برای محور ناوه عامل برای موج یخبندان فروردین ۱۳۸۸ نیز محرز شد *(عزیزی و همکاران؛ ۱۳۹۰: ۴۱)*. به

سخن دیگر در بهترین حالت، محورهایی باعث یخبندان‌های شدید و فراگیر شدند که در شرق ایران دیده شدند (جدول ۲).

جدول ۲: فراوانی محور ناوه بر اساس طول جغرافیایی

نیمروز (درجه شرقی)	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰
تعداد محور ناوه	۳	۱۰	۱۰	۳	۳	۰	۲

در این وضعیت، چنانکه الگوی موقعیت محورهای ناوه در روز اوج یخبندان‌های شدید نشان می‌دهد (شکل۶)، بخش زیادی از بدنه عموم محورها، خارج از مرزهای ایران دیده می‌شود.

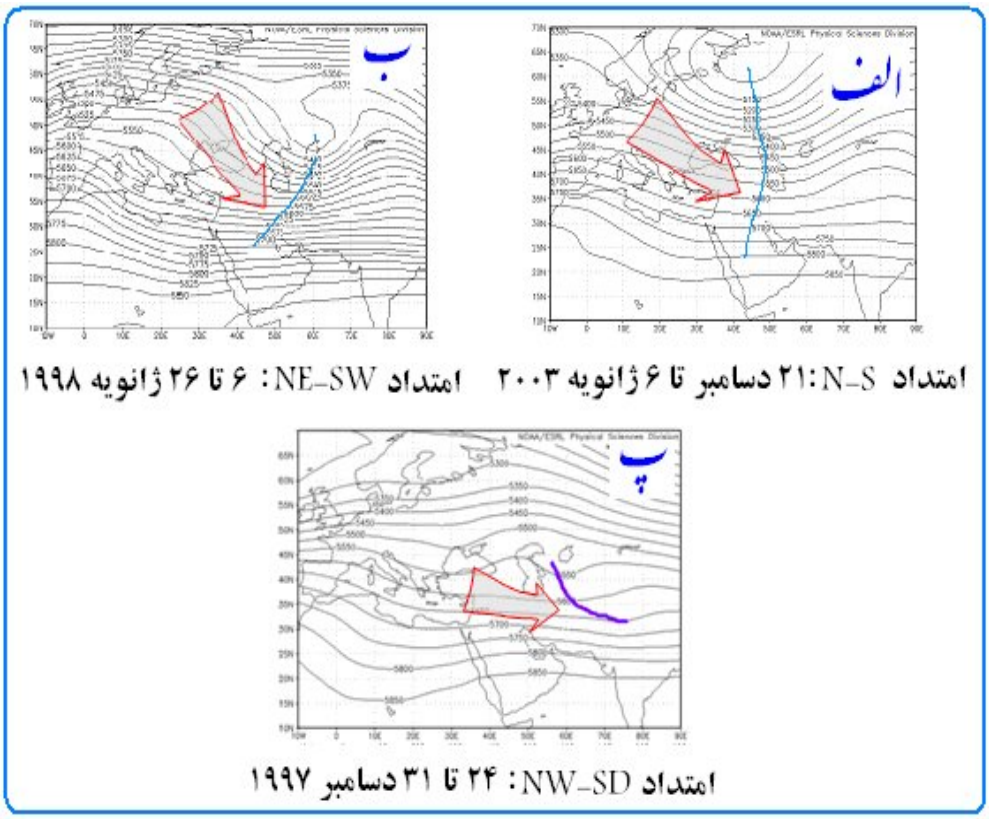


شکل۶ : موقعیت محورهای ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در زمان اوج یخبندان‌های شدید ایران

امتداد محور ناوه طی روز اوج یخبندان‌های شدید

علاوه بر موقعیت محور ناوه، بررسی امتداد محور ناوه در ایجاد و تشدید یخبندان‌های ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. در این تحقیق محورهای ناوه با توجه به آرایش پربندهای امواج، اغلب امتدادهایی جنوب شرقی – شمال غربی، جنوبی – شمالی و جنوب غربی – شمال شرقی داشتند که تعیین کننده جهت جریان هوا در ترازهای بالای جو بوده، نقش هدایت توده‌های هوا را عهده‌دار بودند.

بر پایه برآورد انجام گرفته در این تحقیق، بیش از ۷۰ درصد از محورهای ناوه، جهتی شمالی- جنوبی داشته (شکل نمونه ۷-الف)، دیگر محورها دارای جهاتی شمال شرقی- جنوب غربی (شکل نمونه۷– ب) و شمال غربی- جنوب شرقی (شکل نمونه۷– پ) بودند. برای مثال زمانی که ناوه عامل یخبندان‌های شدید در شرق بامه‌ی ایران واقع شود، جریان‌های هوا در نیمه غربی ناوه، عموما دارای سمت شمالی یا شمال غربی هستند. این وضعیت در نیمه غربی این ناوه‌ها می‌تواند منجر به یخبندان‌های شدید گردد.



شکل۷: الگوهای ترکیبی از نقش امتداد محور ناوه در سمت غالب جریان هوای سرد طی روز اوج یخبندان

تأثیر عمق ناوه بر ویژگی‌های یخبندان‌های شدید

به علت پایین آمدن دمای جو در ماه‌های سرد سال، ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال کاهش یافته؛ بطوریکه در پایین‌ترین ارتفاع در ماه آبان (نوامبر) به ۵۵۰۰ متر و در ماه دی (ژانویه)، حتی به ۵۳۵۰ متر نیز می‌رسد. در این دوره، فاصله پربندها کمتر و فشرده‌تر شده، نشان‌دهنده تفاوت زیاد دما و شدت بادهای غربی است *(علیجانی؛ ۱۳۸۱: ۱۸-پ)*. نتایج پژوهش حاضر نشان داد عمق ناوه‌ها طی روزهای اوج یخبندان در ایران بر حسب واحد عرض جغرافیایی از ۵ تا ۲۷ درجه در نوسان بوده است.

محاسبات نهایی برای آزمون فرض تحقیق مبنی بر "رابطه معنی‌دار عمق ناوه و شدت یخبندان های شدید ایران" نشان داد به نحوی معنی‌دار، افزایش عمق ناوه با افزایش شدت موج یخبندان همراه بوده است (جدول ۳).

جدول ۳: ضریب تعیین رابطه دمای متوسط روز اوج ادی ها و عمق ناوه

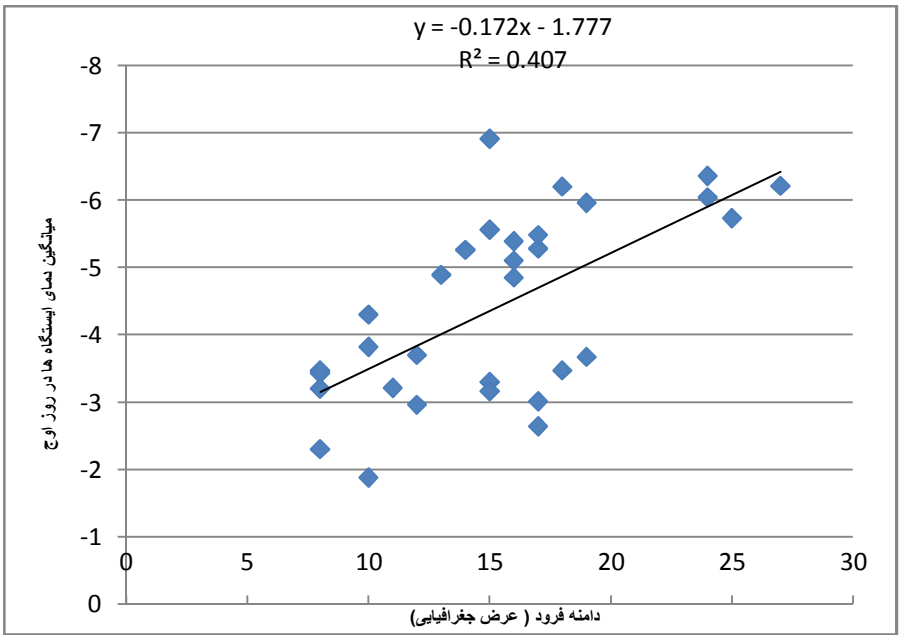
Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
1.079	.387	.407	.638(a)	1
a Predictors: (Constant), slope دمای متوسط روز اوج ادی‌ها (وابسته) و عمق ناوه(ثابت)				

همچنین عمق ناوه بر فراوانی ادی‌ها که معیاری برای گسترش مکانی موج یخبندان است، به نحوی معنی‌دار اثری مستقیم داشت (جدول ۴).

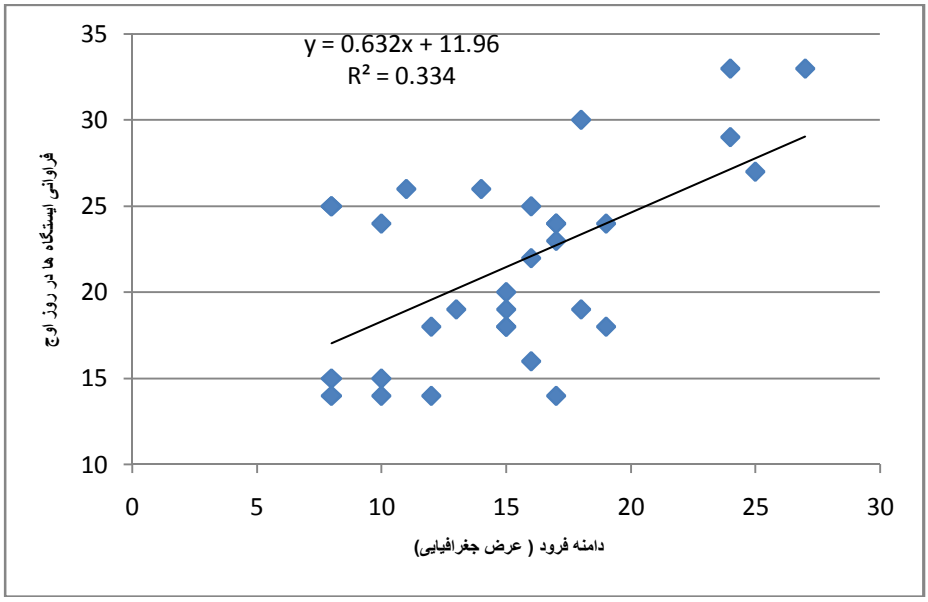
جدول ۴: ضریب تعیین رابطه فراوانی ادی‌ها روز اوج و عمق ناوه

Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
4.63746	.312	.334	.578(a)	1
a Predictors: (Constant), slope فراوانی ادی‌ها در روز اوج (وابسته) و عمق ناوه (ثابت)				

شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب تأثیرپذیری ۴۰ درصدی میانگین دمای ادی‌ها و تأثیرپذیری ۳۳ درصدی فراوانی ادی‌ها را از عامل عمق ناوه نشان دادند.



شکل۸: رابطه میانگین دمای ایستگاه‌ها در روز اوج و عمق ناوه



شکل۹: نمودار همبستگی میان فراوانی ادی ها در روز اوج و عمق ناوه در یخبندان‌های شدید ایران

نتیجه گیری

زمستان عموما فصل رخداد پایین‌ترین دماها در گستره ایران است. هر چند در این تحقیق عموما از زیان‌های یخبندان و سرما سخن رفت ولی در حقیقت این امواج جوی در جای خود جزیی جدایی ناپذیر و حکیمانه از آفرینش آفریدگار هستی و به تبع سامانه فوق‌العاده پیچیده کره زمین هستند. نبود این امواج نیز در سرزمین‌های فرارو خسارت‌بار است. یکی از تفاوت‌ها مربوط به این است که خسارت‌باری عدم وقوع امواج سرما و یخبندان، عموما دیرتر خسارت‌های وقوع آن‌ها آشکار می‌شود. برخی از کشاورزان مناطق مرکزی ایران از جمله سودمندی‌های یخبندان کشنده و فراگیر زمستان ۱۳۸۶ ایران را افزایش باردهی درختان انجیر و انار و بویژه سالم‌تر و درشت‌تر شدن محصول ذکر کردند که اثر خود را حدودا ۳ سال بعد از به بار نشستن پاجوش ها نشان داده است.

در هر حال به نظر می‌رسد آنچه بر اهمیت رخداد امواج یخبندان بویژه به لحاظ شدت می‌افزاید، شناخت چرایی یا عوامل بیرونی آن‌هاست. تعیین سهم ۵۸ درصدی عمق ناوه مهاجر غربی بر شدت یخبندان‌های مهم دهه اخیر در ایران، موضوعی است که در برهه‌ی رسانه‌ای شدن روزافزون موضوع تغییرات آب‌وهوا و بلایای جوی؛ برنامه‌ریزان را بیش از جبران خسارات زیان دیدگان، متوجه راهکارهای پیشگیرانه می‌کند. این راهکارها عموما ریشه در عزم و رویه نهادهای اجرایی مانند وزارت جهاد کشاورزی دارند تا نهادهای اطلاع رسان مانند سازمان هواشناسی.

این راهکارها در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران، ویژگی‌های خود را دارد. برای نمونه می‌توان از جمله این راهکارها در بخش کشاورزی برای مناطق آسیب‌پذیر، تغییر الگوی کشت در درجه نخست و استفاده از بذرها و گونه‌های مقاوم و دیربازده در درجه دوم یاد کرد.

پیشنهاد

یکی از زمینه‌های جدیدی که بر پایه موضوع تحقیق کنونی مجال پرداختن به آن نبود، ولی نتایج تحقیق کنونی و برخی تحقیقات مورد اشاره در متن راهنمای آن شد این است که به محققان عرصه آب و هواشناسی همدید ایران پیشنهاد می‌شود آثار همدید شدیدترین یخبندان‌های ایران را در ترازهای پایین‌تر مانند ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا نیز بررسی کنند تا گمان تسلط پرفشار سیبری بر غالب فرارفت های شرقی یا شمال شرقی و اثر غالب پرفشارهای مهاجر در فرارفت های غربی طی روزهای بحرانی سرد آزمون و بلکه کمی شود.

منابع

۱. براتی، غلامرضا؛ ۱۳۷۸. روابط سیستمی پرفشارهای مهاجر و یخبندان های بهاره‌ی ایران. مجله تحقیقات جغرافیایی؛ ۵۵ : ۱۳۲- ۱۵۰.

۲. عزیزی، قاسم؛ حنفی، علی؛ سلطانی، محسنی؛ آقا جانی، موسی؛ ۱۳۹۰. تحلیل سینوپتیک یخبندان شدید، دیرهنگام و فراگیر فروردین ماه سال یکهزار و سیصد و شصت. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی۴۱: ۱-۱۴.

۳. عزیزی، قاسم؛ ۱۳۸۳. ارزیابی سینوپتیک یخبندان‌های فراگیر بهاری در نیمه غرب ایران. مدرس؛ ۱: ۹۹-۱۱۵.

۴. ، قاسم؛ اکبری، طیبه؛ داوودی، محمود؛ اکبری، مهری؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدید موج سرمای شدید دیماه ۱۳۸۶ ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی؛ ۷۰: ۱-۱۹.

۵. علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۱. بررسی سینوپتیک الگوهای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه در دوره ۹۰-۱۹۶۱. مجله نیوار، ۴۴ و ۴۵ : ۷-۲۹ (الف).

۶. علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۱. شناسایی تیپ‌های هوایی باران‌آور تهران بر اساس چرخندگی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی؛ شماره های ۶۳ و ۶۴: ۱۱۴- ۱۳۲ (ب).

۷. علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۱. اقلیم‌شناسی سینوپتیک؛ تهران؛ نشر سمت (پ).

۸. علیجانی بهلول، محمدرضا، کاویانی، ۱۳۷۱؛ مبانی آب و هواشناسی؛ تهران؛ نشر سمت.

۹. عمادزاده، حسین ؛ ۱۳۶۲. زندگانی معلم کبیر حضرت امام جعفر صادق علیه‌السلام. چاپ دوم؛ تهران؛ نشر گنجینه.

۱۰. فتاحی، ابراهیم؛ تهمینه، صالحی پاک؛ ۱۳۸۸. تحلیل الگوهای سینوپتیک یخبندان‌های زمستانی ایران. مجله جغرافیا و توسعه، ۱۳: ۱۲۷-۱۳۶.

۱۱. کاویانی، محمدرضا؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ نجف‌پور، بهرام؛ ۱۳۸۶؛ بررسی رابطه الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با بارش‌های حوضه مند؛ مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)؛ ۲۴: ۱-۱۲.

۱۲ لشکری، حسن؛ ۱۳۸۷. تحلیل سینوپتیک موج سرمای فراگیر ۱۳۸۲ در ایران. پژوهش‌های جغرافیایی؛ ۶۶: ۱- ۱۸.

۱۳ منتظری، مجید؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۹. شناسایی الگوهای فرارفت دمایی ایران در سال‌های سرد؛ پژوهش‌های جغرافیایی؛ ۷۴: ۷۹- ۹۴.

۱۴. ویسی، محمد؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم؛ ۱۳۸۷؛ تحلیل سینوپتیک دوره های یخبندان در استان کردستان؛ پایان نامه کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران.

۱۵. هژبرپور، قاسم؛ بهلول علیجانی؛ ۱۳۸۶. تحلیل همدید یخبندان‌های استان اردبیل. مجله جغرافیا و توسعه؛ ۱۰: ۸۰-۱۰۶.

16. Cannell, M. G. R. Sheppard, L. J. Smith, R. L. Murray, M. B. 1985. Autumn frost damage on young Picea thesis 2-Shoot frost hardening, and the probability of frost damage in Scotland. Journal of Forestry, 58(2): 145-166. doi: 10.1093/58.2.145.
17. Chakina, N. P. Ivanova, A. R. Kuznetsova, I. N. 2004. Cold air outbreaks and their signature in the ozonometric data at the mountain station near Kislovodsk, Russia. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 4: 267–297.
18. I.F.R.C. 2011. Bangladesh: Cold Wave- DREF operation final Report. MDRBD008.
19. Gabriela, V. M. Rosa, C. Mario, N. N. Alejandra, S. 2003. Surface circulation associated with frost in the wet pampas. International Journal of Climatology, 23: 943–961.

20. Garcia, I. P. 1996. Major cold air outbreaks affecting coffee and citrus plantation in the eastern and northern Mexico. Atmosphera. 9: 47-68.
21. Kehl, M. 2009. Quaternary climate change in Iran – The state of knowledge, Erdekunde, Vol. 63, No. 1: 1-17.
22. Lai, Cg. Ch. Bosart, L. F. 1988. A case study of trough merger in split westerly flow. Monthly Weather Review, Vol. 116: 1838-1856.
23. Low, D. J. Greig, B. G. 1973. Spring frosts affecting the establishment of second-rotation crops in Thetford Chase. Journal of Forestry, 46(2): 139-155. Doi: 10. 1093/46.2.139.
24. Piva, E. D. Gan, M. A. Rao, V. B. 2008. An objective study of 500-hPa moving troughs in the southern hemisphere. Monthly Weather Review, Vol. 136: 2186-2200.
25. Rahimi, M. Hajjam, S. Khalili, A. Kamali, G. A. Stigter, C. J. 2008. Risk analysis of first and last frost occurrences in the Central Alborz region-Iran. International Journal of Climatology, 27: 349–356.
26. Sanders, F. 1988. Life history of mobile troughs in upper westerlies, Monthly Weather Review, Vol. 116: 2629-2648.
27. Simmonds, I. Rashid, H.A. 2001. An investigation of a dramatic cold outbreak over Southeast Australia. .Aust. Met. Mag. 50: 249-261.
28. Yi, U. J. 2011. Cold waves. E.S.S. 124: 1-10.
29. Weisman, R. A. Mcgregor, K. G. Novak, D. R. Selzler, J. L. Spinar, M. L. Thomas, B. C. Schumacher, P. N. 2002. Precipitation regimes during cold-season Central U.S. inverted trough cases. Part I: Synoptic climatology and composite study. Weather and Forecasting. Vol. 17: 1173-1193.