

# شناسایی سامانه‌های همدیدی مؤثر

## در رخدادهای یخبندان‌های متوسط و شدید در تهران

مهدی مدیری<sup>۱</sup>

زهرا علی بخشی<sup>۲</sup>

فرامرز خوش اخلاق<sup>۳</sup>

علی حنفی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۱/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۸/۲۳

\*\*\*\*\*

### چکیده

به منظور شناخت سامانه‌های همدیدی مؤثر در ایجاد یخبندان‌های متوسط و شدید شهر تهران و نیز چگونگی تبدیل یخبندان متوسط و شدید به یکدیگر، واکاوی همدیدی یخبندان با استفاده از نقشه‌های سطح متوسط دریا و ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در دوره آماری ۴۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۱) انجام شد. نتایج همدیدی نشان داد که تبدیل یخبندان متوسط به شدید تا فرین به دلیل فرارفت هوای سرد از عرض‌های بالاتر، قرارگیری ناوه روی منطقه یا تابش زمینی می‌باشد. با بررسی نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشخص شد کاهش دمای منطقه پژوهش در نتیجه رخداد فرارفت سرد از سامانه‌های مختلف از شمالغرب تا شمالشرق می‌باشد. در شکل‌گیری یخبندان متوسط و شدید در نقشه سطح متوسط دریا، گسترش زبانه پرفشار سیبری و در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری ناوه در شرق منطقه بیشترین فراوانی و سهم را دارد.

واژه‌های کلیدی: یخبندان، سامانه‌های همدیدی، آستانه‌های متوسط و شدید یخبندان، شهر تهران.

\*\*\*\*\*

<sup>۱</sup> - استادیار برنامه‌ریزی شهری دانشگاه صنعتی مالک اشتر

<sup>۲</sup> - کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه تهران و مدرس دانشگاه پیام نور قزوین - نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: zalibakhshi7@gmail.com

<sup>۳</sup> - استادیار اقلیم شناسی دانشگاه تهران

<sup>۴</sup> - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان

**مقدمه**

یکی از پدیده‌های آب و هوایی که در طی دوره سرد سال از عرض‌های جنب حاره تا قطبی دیده می‌شود، رخداد موج‌های سرد و پدیده یخبندان است. یخبندان در صورت غیرمترقبه یا شدید بودن، همانند دیگر مخاطرات جوی سبب خسارات زیادی می‌شود. همواره سعی بر این بوده تا این پدیده قبل از رخداد پیش‌بینی شود تا بتوان خسارت‌های ناشی از آنرا کاهش داد. میزان خسارت ناشی از یخبندان بعضاً به میلیاردها ریال می‌رسد. اگر یخبندان ناشی از حرکات و جابجایی توده هوا باشد مقابله با آن بواسطه گستردگی و شدت بیشتر، مشکل‌تر است. با توجه به خسارات وارده از یخبندان بر مناطق مختلف کشور و نیز شهر تهران به عنوان پایتخت، مطالعه همه جانبه یخبندان اهمیت خود را نشان می‌دهد. در تهران با توجه به خیابان‌های قدیمی و پیاده‌روهای فعلی، رخداد یخبندان همواره سبب تعطیلی مدارس و برخی سازمانها و مشکلات شدید در عبور و مرور و افزایش مصرف سوخت گردیده است. هرچند جلوگیری از یخبندان بطور کامل امکان پذیر نیست، ولی شناسایی ویژگی‌ها و شرایط ایجاد یخبندان‌ها می‌تواند در ارائه راهکارهای مربوطه کمک شایانی کند. تحقیق حاضر در پی آن است تا دریابد چه الگوهای همدیدی در تهران در ایجاد یخبندان‌های متوسط و شدید و تبدیل آنها به یکدیگر نقش دارد و در طی دوره آماری، در ترازهای مختلف، هرکدام از الگوها چه میزان فراوانی داشته است و از این طریق، اهمیت بعضی سامانه‌های همدیدی در ایجاد آستانه‌های مختلف یخبندان مشخص خواهد شد.

**پیشینه تحقیق**

در زمینه واکاوی همدیدی یخبندان در ایران و جهان تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است: حیدری گندمان (۱۳۷۴) به واکاوی همدیدی یخبندان در غرب ایران پرداخته است. وی با بررسی نقشه‌های همدیدی به این نتیجه رسید که وجود پرفشار در شمال و کم فشار در شرق ایران و زبانه پرفشار بر فراز غرب و شمالغرب کشور می‌تواند گرته‌ای هشداردهنده برای ریزش سرماهای دیررس بهاره باشد. منصورى ترشیزی (۱۳۷۵) در تحقیق خود، با استفاده از داده‌های ۸ ایستگاه هواشناسی در استان‌های گیلان و مازندران و به کمک نقشه‌های همدید (دسامبر ۱۹۹۴) به این نتیجه رسید که رخداد فرارفت سرد در منطقه، تابش شبانه و استقرار پرفشار آزرز به مدت چند روز متوالی در منطقه مذکور از جمله عوامل مهم در بروز و بقای یخبندان در استان‌های شمالی کشور در تاریخ مذکور بوده است. براتی (۱۳۷۵) در تحقیق خود ۶۲ مورد یخبندان بهاره را طی ۲۰ سال (۱۳۴۷ تا ۱۳۶۶) با استفاده از آمار روزانه ۶۰ ایستگاه هواشناسی از لحاظ شدت، تداوم و گسترش مکانی واکاوی کرد، سپس با استفاده از نقشه‌های روزانه سطح دریا، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های ضخامت، منشأ و مسیر سامانه‌های فشار عامل یخبندان را مورد شناسایی قرار داد. نتایج وی نشان داد که همه یخبندان‌ها از نوع انتقالی بوده‌اند.

چوخاچی زاده مقدم (۱۳۷۶) در تحقیقی به بررسی پرفشار سیبری در شمالشرق ایران پرداخت. از طریق شناسایی مکان روزانه پرفشارها و بررسی نقشه منطقه، محل اصلی پرفشار سیبری مشخص گردید. نتایج این تحقیق نشان داد

که هسته مرکزی پرفشار مزبور در ماه‌های اکتبر و نوامبر در اطراف دریاچه بالخاش بصورت ضعیف تشکیل شده و سپس بتدریج بطرف شرق منطقه تغییر مکان می‌دهد.

مجرد قره باغ (۱۳۷۶) در تحقیق خود ضمن ارائه تعریف جدید از یخبندان‌ها، ویژگی‌های یخبندان را به صورت نظام‌دار واکاوی و بر مبنای ۱۶ شاخص یخبندان استخراج کرده است. وی به این نتیجه رسید که وجود همبستگی‌های خطی معتبر و معکوس بین سربهای زمانی آغاز و پایان یخبندان، نشان می‌دهد که هر قدر آغاز یخبندان در منطقه مورد مطالعه زودتر از میانگین کل آغازها رخ دهد، پایان آن نیز در بهار دیرتر از میانگین کل پایان‌ها رخ خواهد داد. مرادی (۱۳۸۰) به واکاوی هم‌دید ناوه قطبی و اثرهای آن بر اقلیم ایران پرداخت. وی به این نتیجه رسید که هرگاه ناوه دارای یک مرکز اصلی باشد و اگر این مرکز در نیمکره غربی و نسبتاً دور از مرکز شمالگان استقرار یابد، دمای هوا در کل کشور بیش از نرمال و اگر این مرکز در نیمکره شرقی قرار گیرد، دمای هوا در کل کشور سردتر از حد نرمال خواهد بود.

خلجی (۱۳۸۰) در تحقیق خود برای پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان زودرس پاییزه در استان چهارمحال و بختیاری، زمان وقوع حداقل مطلق دما و آخرین و اولین دمای زیر صفر نسبت به بهار و پاییز ۵ ایستگاه را جمع‌آوری کرده و سپس توابع توزیع مختلف را بر داده‌های خود مورد برازش قرار داد و با توجه با مناسب‌ترین توزیع آماری، احتمال وقوع دوران سرما و یخبندان را برای نقاط گوناگون استان مشخص نمود.

عزیزی (۱۳۸۳) چهار مورد از یخبندان‌های فراگیر در نیمه غربی ایران را مورد بررسی قرار داده است. در روزهای یخبندان خطوط هم‌دمای ۱۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از روی ایران گذر می‌کردند. در سطح زمین گرتة مؤثر، وجود سامانه کم فشار بر روی دریای خزر به همراه سامانه پرفشار بین شرق خزر و غرب دریای سیاه تشخیص داده شد و گاهی تنها یک سامانه پرفشار در مناطق بالاتر از شمالغرب ایران مشاهده گردید.

قطره سامانی (۱۳۸۳) در تحقیق خود برای واکاوی هم‌دید آغاز و پایان یخبندان در استان چهارمحال و بختیاری از آمار روزانه حداقل دمای ایستگاه‌های شهرکرد، بروجن، کوهرنگ و لردگان استفاده کرد و به این نتیجه رسید که در زمان آغاز یخبندان، با نزدیک شدن زبانه پرفشار از سمت شمالشرق و نیز نفوذ ناوه ژرف شده از عرض‌های بالا به سمت ایران و نیز اثرات نفوذ زبانه کم فشار دریای مدیترانه در تراز سطح دریا و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال موجب ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا و کاهش دما می‌گردد، ولی در پایان این دوره، رخداد یخبندان بصورت منطقه‌ای و از نوع تابشی است.

رجبی (۱۳۸۴) نواحی مستعد به یخبندان در استان اردبیل و اثرات آن بر محصول سیب زمینی را با دو روش آماری و هم‌دید مورد تجزیه واکاوی قرار داد و به این نتیجه رسید که نواحی مرکزی استان (اردبیل) و جنوبی (خلخال) نسبت به سایر نواحی از نظر وقوع یخبندان متوسط و شدید از پتانسیل بالاتری برخوردار است و نیز یخبندان فرارفتی موجب از بین رفتن بیشتر قسمت‌های محصول و یخبندان تابشی باعث از بین رفتن قسمتی از محصول می‌شود.

حاج پنجعلی زاده (۱۳۸۵) در پایان نامه خود برای مشخص نمودن رژیم یخبندان‌های فراگیر شهر اردبیل و روند آن از لحاظ زمانی از آمار ۳۰ ساله هواشناسی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) و به منظور تحلیل همید از نقشه‌های سطح متوسط دریا و ترازهای ۵۰۰، ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال استفاده کرد. در این تحقیق مشخص شد که اکثر یخبندان‌های فراگیر شهر اردبیل از نوع فرارفتی و ترکیبی می‌باشد.

فریدمجتهدی (۱۳۸۵) یخبندان‌های سواحل جنوبی دریای خزر را به دو روش آماری و همیدی مورد تجزیه و واکاوی قرار داد. طبق نتایج این تحقیق، گرته همید روز اوج یخبندان در منطقه، قرارگیری محور ناوه در شرق دریای خزر و محور پشته در شرق اروپا یا شرق دریای سیاه می‌باشد.

نوحی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان بر مبنای دمای حداقل دیدبانی شده در پناهگاه هواشناسی (دمای حداقل کمتر یا مساوی صفر درجه سلسیوس) برای ۱۲ ایستگاه سینوپتیک منطقه آذربایجان در یک دوره مشترک ۱۳ ساله تعیین کرده و یخبندان‌های فرارفتی را تفکیک نمودند. این بررسی نشان می‌دهد که به طور میانگین یخبندان‌های فرارفتی در منطقه از ۶ تا ۴۰ روز دیرتر از یخبندان‌های تابشی- فرارفتی در پائیز آغاز گردیده و ۱ تا ۲۵ روز زودتر در بهار پایان می‌یابد.

هژبرپور (۱۳۸۶) به منظور واکاوی همیدی یخبندان‌های خسارت بار استان اردبیل، آمار روزانه چهار ایستگاه همید اردبیل، پارس آباد، خلخال و مشکین شهر طی دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۹۵ را مورد بررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که بیشتر یخبندان‌های استان اردبیل از نوع انتقالی هستند که در دوره سرد سال از آبان تا فروردین رخ داده و بدین صورت نواحی جنوبی و مرکزی سردتر از نواحی شمالی هستند.

صادق مغالو (۱۳۸۷) به مطالعه ویژگی‌های یخبندان‌های متوسط و شدید اردبیل پرداخته است و از آمار ۲۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) دمای حداقل، حداکثر و متوسط و برای واکاوی همید از نقشه‌های فشار سطح دریا، تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال استفاده کرد. نتایج وی بیانگر این است که گسترش ناوه‌های ژرف از شمال دریای خزر به طرف ایران سبب کاهش دما و ریزش هوای سرد به منطقه می‌شود.

روهیل<sup>۱</sup> و راجرز<sup>۲</sup> (۱۹۹۱) و کریتچفیلد<sup>۳</sup> (۱۹۹۳) در بررسی‌هایی که در منطقه جنوبی آمریکا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که دو وضعیت همید سبب رخداد یخبندان می‌شود؛ حالت اول فرارفت شدید هوای سرد موسوم به طغیان قطبی<sup>۴</sup> و حالت دوم سرمای ناشی از تابش شدید شبانه است. طغیان سرد قطبی معمولاً در منطقه جنوبی بطور پراکنده بین نوامبر تا مارس رخ می‌دهد، اما ممکن است در زودترین زمان در اکتبر و در دیرترین زمان در آوریل نیز رخ دهد.

بوئر<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۳) خصوصیات یخبندان را در منطقه وسیع کشت گندم در استرالیا مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از واکاوی خوشه‌ای منطقه را به ۴ ناحیه تقسیم کردند. نتایج آنها نشان داد که زمان کشت را

<sup>۱</sup> Rohil

<sup>۲</sup> Rogers

<sup>۳</sup> Critchfield

<sup>۴</sup> Arctic outbreaks

<sup>۵</sup> Boer

باید طوری تغییر داد که شکوفه‌دهی بعد از آخرین یخبندان شدید رخ دهد. نتیجه دیگر این بود که اثر ارتفاع نسبت به عرض جغرافیایی در رخداد یخبندان برجسته‌تر است. میل<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۴) طی تحقیق خود، تعداد روزهای یخبندان در قرن ۲۱ را بررسی کردند. طبق مدل سازی آنها، تعداد روزها و شبهایی که دما به زیر نقطه انجماد می‌رسد تا پایان قرن ۲۱ کاهش خواهد یافت. در نیم قرن گذشته خیلی از ایستگاههای هواشناسی در سرتاسر غرب ایالات متحده کاهش ۱۰ روزه یا بیشتر در تعداد کل روزهای یخبندان سالانه گزارش کردند که بدلیل گرمتر شدن فصل بهار است.

### روش‌شناسی تحقیق

سازمان هواشناسی جهانی<sup>۲</sup>، یخبندان‌ها را براساس شدت به چهار گروه ضعیف، ملایم، شدید و نابودکننده (فرین) تقسیم کرده است. در تحقیق حاضر، بررسی یخبندان‌های تهران نیز بر مبنای تقسیم‌بندی هواشناسی جهانی انجام گرفته و از بین آنها آستانه‌های متوسط<sup>۳</sup> و شدید یخبندان مورد نظر می‌باشد. ملاک تقسیم بندی آستانه متوسط، دمای ۲- تا ۳/۹۹- درجه و آستانه شدید، دمای ۴- تا ۵/۹۹- درجه سلسیوس است.

به منظور واکاوی همیدی یخبندان‌های متوسط و شدید تهران، نمودار دمای حداقل، میانگین و حداکثر روزانه برای دوره آماری ۴۵ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و برای ماه‌های نوامبر تا آوریل ترسیم شد و از میان آنها چند نمونه چند روزه از هرماه که آستانه‌های متوسط و شدید یخبندان به هم تبدیل می‌شدند انتخاب و بطور نمونه یک دوره ۴ روزه از ماه مارس سال ۱۹۸۵ که آستانه متوسط به آستانه شدید یخبندان تبدیل شده، در این مقاله ارائه شده است و نتیجه کلی بر مبنای بررسی تمام نمودارهای موجود گرفته خواهد شد. سپس داده‌های هواشناسی مورد نظر برای روزهای منتخب از سایت هواشناسی آمریکا (NOAA) استخراج و توسط نرم افزار Grads، نقشه‌های همیدی آنها برای سطح متوسط دریا، تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال ترسیم و واکاوی گردید. سپس برای بررسی فراوانی سامانه‌های همیدی مؤثر در ایجاد یخبندان‌های متوسط و شدید در تهران، ۱۰۰ مورد یخبندان در این دو آستانه به روش نمونه گیری نسبی انتخاب و نقشه‌های آنها در سطح متوسط دریا و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای سه فصل پاییز، زمستان و بهار از سایت NOAA استخراج و واکاوی گردید که نتایج بدست آمده در پایان ارائه خواهد شد.

### یافته‌های تحقیق

#### تحلیل همیدی یخبندان روزهای دوم تا پنجم مارس ۱۹۸۵

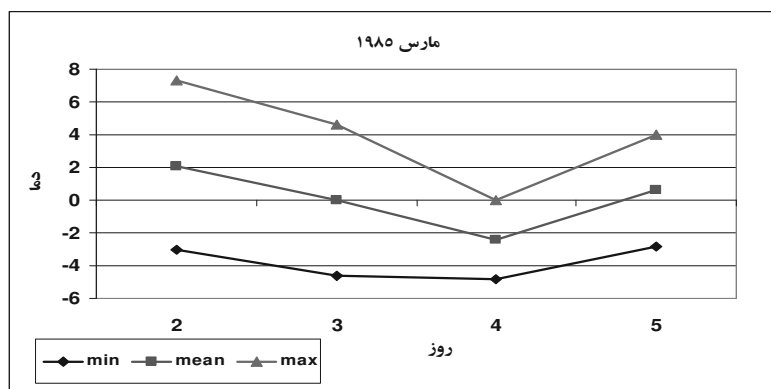
در نگاره (۱) نمودار روند تغییرات روزانه دما و رخداد یخبندان در تهران طی روزهای ۲ تا ۵ مارس ۱۹۸۵ ارائه شده و همانگونه که مشاهده می‌شود، از روز دوم تا سوم مارس یخبندان ترکیبی در تهران رخ داده است. یخبندان

<sup>۱</sup>- Meehl

<sup>۲</sup>- World Meteorological Organization (WMO)

<sup>۳</sup>- به جای عبارت یخبندان ملایم، از عبارت یخبندان متوسط استفاده شده است.

ترکیبی از برهمکنش تابش زمینی و رخداد فرارفت سرد ایجاد می‌شود. در اینجا کاهش در دماهای حداقل و حداکثر همزمان صورت گرفته است که شدت کاهش دمای حداقل به واسطه رطوبت هوا یا ابرناکی احتمالی کمتر از دمای حداکثر است. از روز چهارم به بعد در اثر فرارفت گرم به تدریج دماهای حداقل و حداکثر افزایش می‌یابد. در طی روزهای دوم تا سوم مارس تبدیل یخبندان متوسط به شدید (در دمای کمینه) رخ داده است.

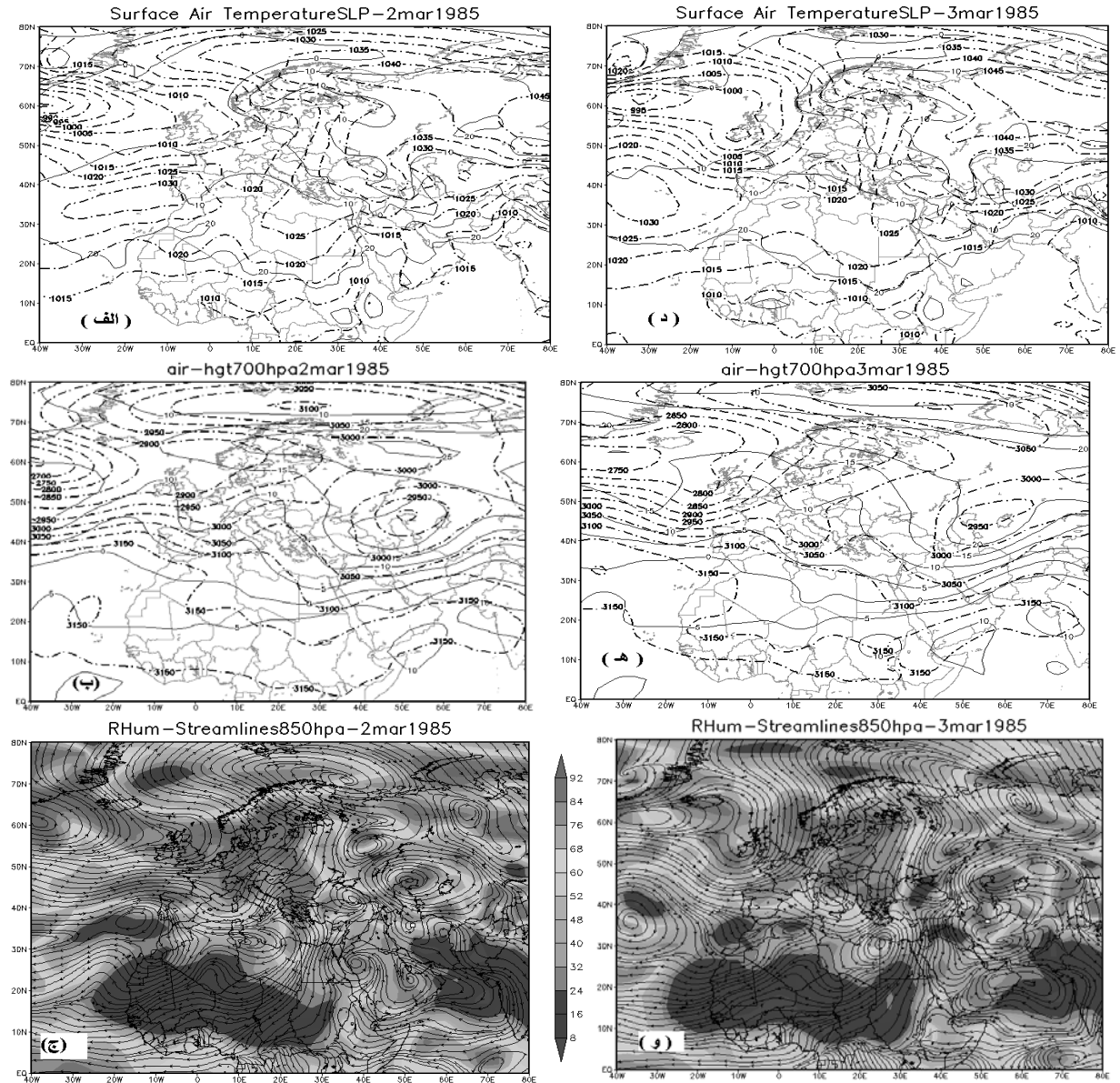


نگاره (۱): روند تغییرات روزانه دما و رخداد یخبندان در تهران از ۲ تا ۵ مارس ۱۹۸۵

**الف) روز دوم مارس:** در این روز حداقل دمای هوا  $-3^{\circ}\text{C}$  درجه و اختلاف روزانه دما حدود  $10^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس بوده است. در نقشه سطح متوسط دریا (نگاره ۲ - الف)، پرفشار سیبری دارای زبانه مداری است که کناره جنوبی آن با شیب فشاری زیاد از روی ایران و خاورمیانه عبور می‌کند. جریان‌های شمالشرقی در ایران دیده می‌شود. در نقشه تراز  $700$  هکتوپاسکال (نگاره ۲ - ب)، کم ارتفاع قوی در شمال دریای خزر با ناوه‌ای به سمت جنوبغرب تا مصر دیده می‌شود. جریان هوا بر روی ایران جنوبغربی تا غربی است. منحنی عبورکننده از روی منطقه پژوهش از ترکیه و بالکان منشأ می‌گیرد و هوای نسبتاً سردی را با خود می‌آورد. یخبندان از نوع ترکیبی است. در نقشه جریانهای تراز  $850$  هکتوپاسکال (نگاره ۲ - ج) بواسطه وجود کم ارتفاع در شمال دریای خزر فرارفت‌های شمالی تا شمالغربی بطرف منطقه دیده می‌شود. در این روز رطوبت نسبی حدوداً  $60\%$  درصد می‌باشد.

**ب) روز سوم مارس:** حداقل دمای هوا در این روز  $-4/6^{\circ}\text{C}$  درجه و اختلاف دما حدود  $9/2^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس می‌باشد. در نقشه سطح متوسط دریا (نگاره ۲ - د)، جریان‌های شرقی تا شمالشرقی با شیب فشاری زیاد از عرض  $55^{\circ}$  و  $60^{\circ}$  درجه شمالی بر روی ایران جریان دارد. نسبت به روز قبل شیب فشاری افزایش نسبی یافته است. در نقشه تراز  $700$  هکتوپاسکال (نگاره ۲ - ه)، کم ارتفاع در شمال خزر - آرال قرار دارد و ناوه آن از شمالشرق تا جنوبغرب کشور و نهایتاً تا مصر و دریای سرخ کشیده می‌شود. جریان‌های جنوبغربی تا غربی در بیشتر قسمت‌های کشور حاکم است. منطقه مورد مطالعه نیز از فرارفت جنوبغربی تا غربی متأثر است. در نقشه جریان‌های تراز  $850$  هکتوپاسکال (نگاره ۲ - و) دیده می‌شود که مرکز کم ارتفاع مستقر بر روی دریای خزر به سمت شرق جابجا شده است و از لحاظ شدت نیز

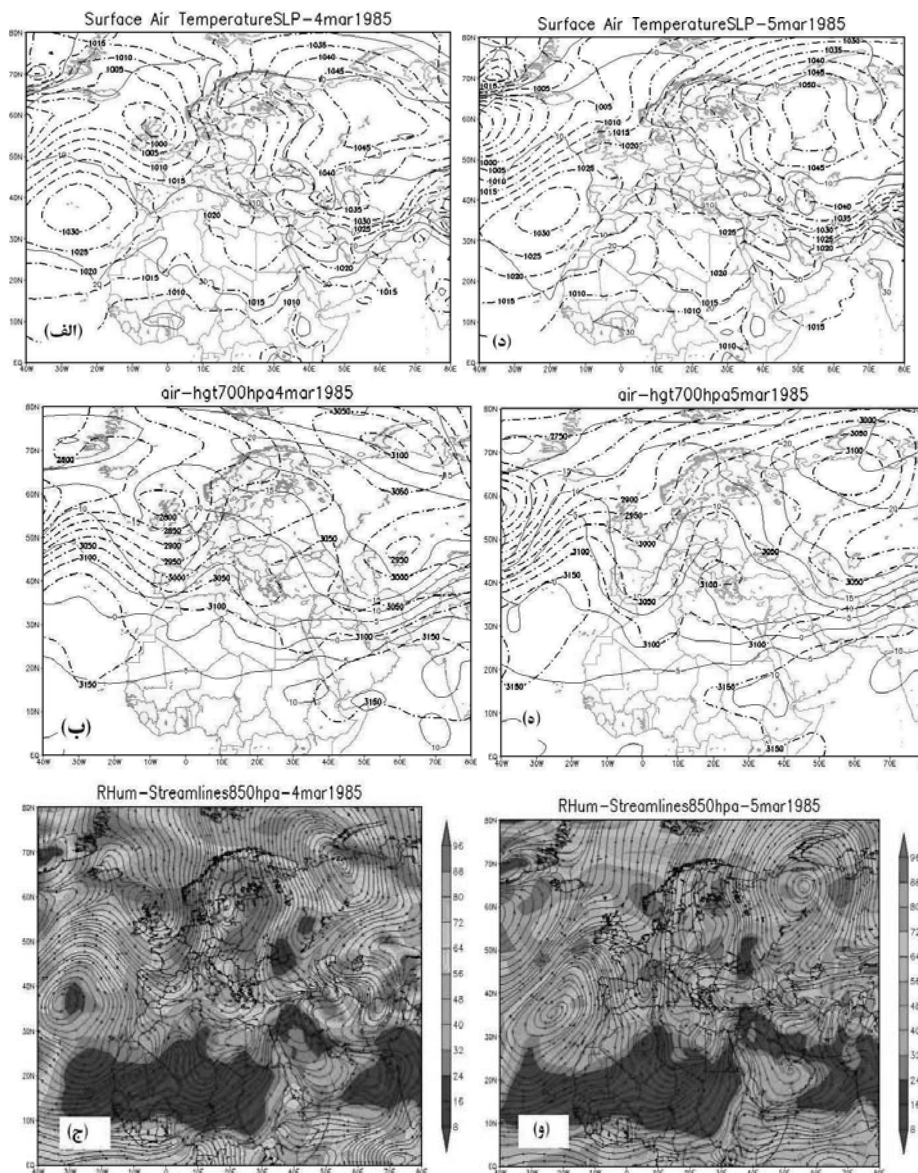
تضعیف شده و فرارفت‌ها از شمال‌غربی به شمالی تا شمال‌شرقی تغییر کرده است. رطوبت نسبی در این روز نسبت به روز قبل افزایش داشته و به حدود ۸۸ درصد رسیده است.



نگاره (۲): نقشه‌های سطح متوسط دریا، تراز ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۲ و ۳ مارس ۱۹۸۵

ج) روز چهارم مارس: در این روز حداقل دمای هوا  $4/8$  - درجه و اختلاف روزانه دما به  $4/8$  درجه سلسیوس می‌رسد. در نقشه سطح متوسط دریا (نگاره ۳- الف)، با افزایش فشار و شیب فشاری از شمال تبت به طرف نواحی شمالی ایران به واسطه وجود کمربند پرفشاری در عرض‌های ۵۵ تا ۶۰ درجه شمالی دماها کاهش بیشتری یافته است، به گونه ای که در کلیه مناطق واقع در نیمه شمالی کشور متوسط دما به زیر صفر رسیده است. در نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (نگاره ۳ -

ب)، پیشروی ناوهٔ مورب به شرق، سبب فرارفت های غربی تا شمالغربی به منطقه شده است. در نقشه جریان‌ات تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (نگاره ۳ - ج) فرارفت از جهات شمال و شمالشرقی هنوز در منطقه دیده می‌شود. با کاهش بیشتر دما در این روز رطوبت نسبی موجود در هوا نیز به حدود ۹۶ درصد رسیده است.



نگاره (۳): نقشه های سطح متوسط دریا، تراز ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۴ و ۵ مارس ۱۹۸۵

د) روز پنجم مارس: در این روز حداقل دمای هوا  $2/8$ -درجه و اختلاف روزانهٔ دما  $6/8$ -درجهٔ سلسیوس است. در نقشهٔ سطح متوسط دریا (نگاره ۳ - د)، زبانهٔ پرفشاری روی ایران با اندکی حرکت به غرب سبب جریان یافتن جریان‌ات شرقی تر نسبت به روز قبل شده است.





در نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (نگاره ۳ - ه)، بواسطه وجود ناوهای در شرق و شمالشرق خزر، جریان‌ها نسبت به روز قبل غربی‌تر (مداری‌تر) شده‌اند. در نقشه جریان‌ات تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (نگاره ۳ - و) فرارفت‌هایی با جهات متفاوت در نیمه شمالی کشور دیده می‌شود که در تهران شرقی تا شمالشرقی است. رطوبت هوا در این روز به دنبال افزایش نسبی دما در مقایسه با روز قبل کاهش داشته و به حدود ۸۸ درصد رسیده است.

### فراوانی الگوها و سامانه‌های مؤثر در رخداد یخبندان در فصل‌های مختلف

برای بررسی فراوانی سامانه‌های همدیدی مؤثر در ایجاد آستانه‌های متوسط و شدید یخبندان در تهران، ۱۰۰ مورد یخبندان بصورت نمونه‌گیری نسبی، با توجه به آستانه و فصل انتخاب و واکاوی گردید. در جداول (۱) و (۲) سامانه‌هایی که در بروز یخبندان در تهران مؤثرند در ستون اول ارائه شده و سپس درصد رخداد انواع یخبندان ناشی از آن سامانه‌ها در آستانه‌های متوسط و شدید در فصل‌های پائیز، زمستان و بهار ارائه شده است.

بر اساس جدول (۱) که مربوط به فراوانی درصدی سامانه‌های سطح متوسط دریا است، در مجموع بیشترین درصد رخداد یخبندان با ۴۷ درصد بر اثر نفوذ زبانه و جریان‌ات ناشی از پرفشار سیبری به منطقه بوده و تأثیر زبانه پرفشار مستقر در شمال دریای خزر یا کوه‌های اورال با ۲۱ درصد در رتبه بعدی قرار دارد. در رخداد یخبندان متوسط نیز زبانه پرفشار سیبری با ۳۰ درصد بیشترین تأثیر را دارد.

در این راستا زبانه پرفشار مستقر در دریای خزر یا کوه‌های اورال با ۱۱ درصد در مرتبه بعدی جای می‌گیرد. در رخداد یخبندان شدید زبانه پرفشار سیبری با ۱۷ درصد بیشترین تأثیر را دارد. پس از آن زبانه پرفشار مستقر در دریای خزر یا کوه‌های اورال با ۱۰ درصد قرار می‌گیرد. در مجموع به لحاظ فصلی، بیشترین درصد وقوع یخبندان در فصل پائیز با ۴ درصد تحت تأثیر نفوذ زبانه پرفشار مستقر در دریای خزر یا کوه‌های اورال، در فصل زمستان با ۴۵ درصد بر اثر نفوذ زبانه پرفشار سیبری روی منطقه و در فصل بهار نیز منطقه تحت تأثیر زبانه پرفشار سیبری، پرفشار مستقر بر دریای خزر یا کوه‌های اورال، پرفشار اسکاندیناوی و یا زبانه پرفشار دریای مدیترانه یا دریای سیاه هرکدام با ۲ درصد فراوانی قرار دارد.

در جدول (۲) که فراوانی سامانه‌های مؤثر در بروز یخبندان در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بررسی شده است، در مجموع بیشترین درصد وقوع یخبندان با ۲۳ درصد مربوط به قرارگیری ناوه در شرق منطقه بوده است. قرارگیری ناوه و نیز استقرار پشته روی منطقه هرکدام با ۱۸ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در ایجاد یخبندان متوسط، قرارگیری ناوه در شرق منطقه با ۱۴ درصد بیشترین نقش را دارد.



جدول (۱): فراوانی سامانه‌های مؤثر در ایجاد آستانه‌های یخبندان در فصول مختلف در سطح متوسط دریا

مجموع	یخبندان شدید	یخبندان متوسط	سامانه‌های مؤثر
%۴	پائیز: %۲	پائیز: %۲	زبانۀ پرفشار دریای خزر یا کوه‌های اورال روی منطقه
%۱۵	زمستان: %۶	زمستان: %۹	
%۲	بهار: %۲	بهار: -	
%۲۱	%۱۰	%۱۱	مجموع
-	پائیز: -	پائیز: -	زبانۀ پرفشار اسکاندیناوی روی منطقه
%۲	زمستان: -	زمستان: %۲	
%۲	بهار: -	بهار: %۲	
%۴	-	%۴	مجموع
-	پائیز: -	پائیز: -	زبانۀ کم فشار مدیترانه روی منطقه
%۲	زمستان: -	زمستان: %۲	
-	بهار: -	بهار: -	
%۲	-	%۲	مجموع
-	پائیز: -	پائیز: -	وجود یک مرکز پرفشار روی منطقه
%۶	زمستان: %۴	زمستان: %۲	
-	بهار: -	بهار: -	
%۶	%۴	%۲	مجموع
-	پائیز: -	پائیز: -	زبانۀ پرفشار سیبری روی منطقه
%۴۵	زمستان: %۱۷	زمستان: %۲۸	
%۲	بهار: -	بهار: %۲	
%۴۷	%۱۷	%۳۰	مجموع
-	پائیز: -	پائیز: -	زبانۀ پرفشار آزرز روی منطقه
%۴	زمستان: %۴	زمستان: -	
-	بهار: -	بهار: -	
%۴	%۴	-	مجموع
-	پائیز: -	پائیز: -	زبانۀ پرفشار شمال دریای سیاه روی منطقه
%۱۰	زمستان: -	زمستان: %۱۰	
-	بهار: -	بهار: -	
%۱۰	-	%۱۰	مجموع
-	پائیز: -	پائیز: -	زبانۀ پرفشار دریای مدیترانه یا دریای سیاه روی منطقه
%۴	زمستان: -	زمستان: %۴	
%۲	بهار: -	بهار: %۲	
%۶	-	%۶	مجموع



جدول (۲): فراوانی سامانه‌های مؤثر در ایجاد آستانه‌های یخبندان در فصول مختلف در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

سامانه های مؤثر	یخبندان متوسط	یخبندان شدید	مجموع
قرار گیری ناوه روی منطقه	پائیز: - زمستان: ۷٪ بهار: ۲٪	پائیز: ۲٪ زمستان: ۷٪ بهار: -	۲٪ ۱۴٪ ۲٪
مجموع	۹٪	۹٪	۱۸٪
قرار گیری ناوه در شرق منطقه	پائیز: ۲٪ زمستان: ۱۰٪ بهار: ۲٪	پائیز: - زمستان: ۹٪ بهار: -	۲٪ ۱۹٪ ۲٪
مجموع	۱۴٪	۹٪	۲۳٪
قرار گیری ناوه در غرب منطقه	پائیز: - زمستان: ۱۱٪ بهار: -	پائیز: - زمستان: ۴٪ بهار: -	- ۱۵٪ -
مجموع	۱۱٪	۴٪	۱۵٪
قرار گیری پشته روی منطقه	پائیز: - زمستان: ۱۱٪ بهار: -	پائیز: - زمستان: ۵٪ بهار: ۲٪	- ۱۶٪ ۲٪
مجموع	۱۱٪	۷٪	۱۸٪
قرار گیری پشته در شرق منطقه	پائیز: - زمستان: ۲٪ بهار: -	پائیز: - زمستان: - بهار: -	- ۲٪ -
مجموع	۲٪	-	۲٪
قرار گیری پشته در غرب منطقه	پائیز: - زمستان: ۸٪ بهار: ۲٪	پائیز: - زمستان: - بهار: -	- ۸٪ ۲٪
مجموع	۱۰٪	-	۱۰٪
فرارفت غربی و مداری روی منطقه	پائیز: - زمستان: ۸٪ بهار: -	پائیز: - زمستان: ۴٪ بهار: -	- ۱۲٪ -
مجموع	۸٪	۴٪	۱۲٪
فرارفت نصف النهاری روی منطقه	پائیز: - زمستان: ۲٪ بهار: -	پائیز: - زمستان: - بهار: -	- ۲٪ -
مجموع	۲٪	-	۲٪

قرارگیری ناوه در غرب و همچنین استقرار پشته روی منطقه با ۱۱ درصد فراوانی در مکان بعدی جای می‌گیرد. قرارگیری ناوه روی منطقه و استقرار ناوه در شرق منطقه هرکدام با ۹ درصد بیشترین فراوانی را در ایجاد یخبندان شدید دارند.

قرارگیری پشته روی منطقه با ۷ درصد در رتبه بعدی جای دارد. از لحاظ فصلی، قرارگیری ناوه در شرق و روی منطقه هرکدام با ۲ درصد بیشترین فراوانی را در رخداد یخبندان در فصل پائیز دارند. در فصل زمستان، قرارگیری ناوه در شرق منطقه با ۱۹ درصد بیشترین سهم را در بروز یخبندان دارد. قرارگیری ناوه در شرق و نیز روی منطقه و استقرار پشته در غرب و همچنین روی منطقه هر کدام با ۲ درصد در رخداد یخبندان در فصل بهار مؤثر می‌باشد.

### خلاصه و نتیجه‌گیری

پس از بررسی نمودارهای تبدیل یخبندان متوسط و شدید به یکدیگر و واکاوی نقشه‌های همدید آن‌ها، مشخص شد که؛ تبدیل یخبندان متوسط به شدید تا خیلی شدید بیشتر به دلیل فرارفت هوای سرد از عرض‌های بالا، قرارگیری ناوه در شرق یا روی منطقه و بندرت تابش زمینی است، ولی هنگامی که یک فرارفت نسبتاً سرد به منطقه وارد و یخبندان تابشی قبلی را به یخبندان فرارفتی تبدیل کند، احتمال دارد که حتی دمای حداقل افزایش یابد و یا فرارفت نسبتاً گرمتر از عرض‌های پائین‌تر به منطقه وارد شود، یخبندان شدید تا خیلی شدید به متوسط تبدیل خواهد شد.

با بررسی نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشخص شد که هرچه دمای محیط در نتیجه فرارفت به منطقه کاهش یابد، یخبندان متوسط تا شدید احتمال رخداد دارند. همچنین در این نقشه‌ها مشخص شد که مقدار رطوبت نسبی موجود در هوا با کاهش دما بیشتر و با کمی افزایش دما کمتر می‌شود که این امر به دلیل نزدیک شدن حجم هوا به حالت اشباع در هوای سردتر و افزایش درصد رطوبت می‌باشد.

پس از واکاوی نقشه‌های همدیدی روزهای یخبندان و بررسی فراوانی الگوها و سامانه‌های مؤثر در رخداد یخبندان در آستانه‌های متوسط و شدید در فصول پائیز، زمستان و بهار نتایج بدین شرح بدست آمد:

در نقشه‌های سطح متوسط دریا در مجموع بیشترین درصد رخداد یخبندان متوسط و شدید بر اثر نفوذ زبانه‌های پرفشار سیبری یا پرفشارهای شرق اورال به منطقه بوده است. به لحاظ فصلی، رخداد یخبندان در فصل پائیز بیشتر تحت تأثیر نفوذ زبانه پرفشار مستقر در شمال دریای خزر یا کوه‌های اورال بر روی منطقه می‌باشد. رخداد یخبندان متوسط و شدید در فصل زمستان بیشتر بر اثر نفوذ زبانه پرفشار سیبری بر روی منطقه و بروز یخبندان در فصل بهار نیز مربوط به ورود متناوب زبانه پرفشارهای سیبری، خزر یا اورال، اسکاندیناوی و پرفشار مهاجر از مدیترانه یا دریای سیاه است.

در الگوی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، قرارگیری ناوه در شرق منطقه نسبت به حالات دیگر مؤثرتر است. در ایجاد یخبندان متوسط، قرارگیری ناوه در شرق منطقه و در ایجاد یخبندان شدید نیز قرارگیری ناوه بر روی منطقه و شرق آن بیشترین تأثیر را دارد. از لحاظ فصلی، قرارگیری ناوه در شرق منطقه و همچنین روی منطقه بیشترین فراوانی را در رخداد یخبندان متوسط و شدید در فصل پائیز منطقه پژوهش دارد. در فصل زمستان، قرارگیری ناوه در شرق منطقه بیشترین سهم را در بروز یخبندان دارد. قرارگیری ناوه روی منطقه و همچنین در شرق آن، استقرار پشته

روی منطقه و نیز در غرب آن در وقوع یخبندان متوسط و شدید در فصل بهار مؤثر می‌باشد. البته آنچه مشخص است ژرفای ناو‌ها در فصل زمستان و عبور منحنی‌های هم‌ارتفاع با ارتفاع ژئوپتانسیل پائین‌تر نسبت به فصل پاییز و بهار در شدت یخبندان‌ها مؤثر خواهد بود.

## منابع و مأخذ

- ۱- براتی، علیرضا (۱۳۷۵)، طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیک یخبندان‌های بهاره ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- چوخاچی زاده مقدم، محمد باقر (۱۳۷۶)، پرفشار سیبری در شمال شرق ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران.
- ۳- حاج پنجعلی زاده، محمد؛ ۱۳۸۵، تحلیل آماری و سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر در شهر اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی اردبیل.
- ۴- حیدری گندمان، محمد طالب (۱۳۷۴)، تحلیل آماری و سینوپتیکی یخبندان در غرب ایران، کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- ۵- خلجی، مهدی (۱۳۸۰)، پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان زودرس پائیزه برای تعدادی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال بختیاری، نشریه نهال و بذر، جلد ۱۷، شماره ۲.
- ۶- رجبی رضا قلی قشلاقی، کاظم (۱۳۸۴)، اثر یخبندان بر محصول سیب‌زمینی در نواحی مختلف استان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۷- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۶)، آمار و داده‌های دمای روزانه تهران.
- ۸- صادق مغانلو، بهنام (۱۳۸۷)، مطالعه ویژگی‌های یخبندان‌های متوسط و شدید در منطقه اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد اردبیل.
- ۹- عزیزی، قاسم (۱۳۸۳)، ارزیابی سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر در نیمه غرب ایران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۸، شماره ۱.
- ۱۰- فرید مجتهدی، نیما (۱۳۸۵)، واکاوی آماری و سینوپتیکی یخبندان‌های کرانه جنوبی دریای خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران.
- ۱۱- قطره سامانی، سعید (۱۳۸۳)، واکاوی سینوپتیکی آغاز و خاتمه یخبندان در استان چهارمحال و بختیاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
- ۱۲- مجرد قره باغ، فیروز (۱۳۷۶)، تحلیل و پیش‌بینی یخبندان در آذربایجان، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۳- مرادی، حمیدرضا (۱۳۸۰)، تحلیل سینوپتیکی تاوه قطبی و اثرهای آن بر اقلیم ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

- ۱۴- منصوری ترشیزی، مجتبی (۱۳۷۵)، بررسی سینوپتیکی یخبندانهای پائیزه استانهای گیلان و مازندران، کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- ۱۵- نوحی و همکاران (۱۳۸۶)، بررسی و تحلیل تاریخ آغاز و خاتمه یخبندانهای تابشی و فرارفتی در استانهای آذربایجان غربی و شرقی، نشریه پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۷۵.
- ۱۶- هژبرپور، قاسم (۱۳۸۶)، تحلیل سینوپتیکی یخبندانهای منطقه آذربایجان با تأکید بر اردبیل، پایاننامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

17- Boer, Rizaldi. Et al. (1993); " characteristics of Frost in major Wheat-growing Region of Australia" ; university of Sydney , N.S.W; Vol.44,1731-43.

18- Meehl , G.A. and et al. (2004); "Changes in frost days in simulations of twenty first century climate "; National Center for Atmospheric Research, PO Box 3000, Boulder, CO 80307, USA.

19- Rohil and Rogers (1991) and Critchfield (1993); " Frost/Freeze Analysis in the Southern climate Region"; Southern Regional Climate Center.

20- <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.pressure.html>