تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران

کیوان نوحی*، فاطمه صحرائیان، مژده پدرام و عبدا... صداقت کردار[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۱۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۲/۵)

چکیده

تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان بر مبنای دمای کمینه دیدبانی شده در پناهگاه هواشناسی (دماهای کمینه کمتر یا مساوی صفر درجه سلسیوس) برای ۳ ایستگاه همدید(سینوپتیک) زنجان، قزوین و تهران در دوره مشترک ۳۹ ساله تعیین و یخبندان‌های فرارفتی با بررسی مقادیر فراسنج‌های جوی در ساعات دیدبانی و با کمک نقشه‌های همدیدی از یخبندان‌های تابشی تفکیک شده‌اند. هم‌چنین نشان داده شده است که سری‌های زمانی تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان‌های فرارفتی تصادفی است و از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کنند. طول فصل رشد بالقوه نیز که به‌صورت مدت زمانی بین آخرین یخبندان فرارفتی بهاره و اولین یخبندان فرارفتی پاییزه تعریف می‌شود، محاسبه و نشان داده شده است که در مقایسه با فصل رشدی که با محاسبه فاصله زمانی از آخرین رخداد دمای صفر درجه سلسیوس یا کمتر در بهار تا اولین رخداد دمای صفر یا کمتر در پاییز تعیین می‌شود، در زنجان ۲۹ روز، در قزوین ۲۳ روز و در تهران ۱۰ روز طولانی‌تر است. تعداد یخبندان‌های تابشی در فاصله بین اولین یخبندان تابشی در پاییز یا آخرین یخبندان تابشی در بهار و یخبندان فرارفتی مربوطه مورد شمارش قرار گرفته و نشان داده شده که این فراسنج در ناحیه زنجان بزرگ‌تر از قزوین و تهران است. تعداد روزهای بین دو یخبندان اول در پاییز و دو یخبندان آخر در بهار نیز ارائه و نشان داده شده است که امکان طولانی‌تر کردن فصل رشد بهاره در صورت یک شب محافظت از یخبندان، در صورتی‌که اولین یخبندان در پاییز و آخرین یخبندان در بهار از نوع تابشی باشند، در زنجان و تهران ۴ روز و در قزوین ۶ روز است. به این ترتیب، براورد قابلیت اجرای عملیات محافظت از یخبندان برای محصولات کشاورزی در مناطق مورد مطالعه، امکان‌پذیر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ آغاز یخبندان، تاریخ خاتمه یخبندان، یخبندان فرارفتی، یخبندان تابشی، دوره بدون یخبندان

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل خسارت‌زا در تولیدات کشاورزی، پدیده سرما و یخبندان است. به سبب آسیب‌های ناشی از پدیده یخبندان پتانسیل تولید بسیاری از محصولات کشاورزی و باغی در مناطق آسیب‌پذیر کشور کاهش می‌یابد. به گزارش صندوق بیمه محصولات کشاورزی خسارات ناشی از سرما و یخبندان در استان‌های مورد مطالعه در برخی از سال‌ها قابل توجه و چشمگیر می‌باشد به‌طوری‌که در استان تهران از سال زراعی ۶۹- ۱۳۶۸ تا سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ از کل اراضی بیمه شده محصول گندم ۳۷۲۱ هکتار در اثر سرما و یخبندان خسارت دیده و مبلغ ۳۵۲/۲۴۷/۹۱۰ریال غرامت از سوی این صندوق پرداخت شده است. در استان زنجان از سال۷۱- ۱۳۷۰ تا سال

۱. اعضای هیئت علمی پژوهشکده هواشناسی، تهران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: knoohi@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

زراعی۸۱- ۱۳۸۰ از کل اراضی بیمه شده گندم، ۱۸۸۶ هکتار از سرما خسارت دیده که مبلغ غرامت ۲۲۷/۲۷۸/۳۰۴ ریال بوده است. مقدار غرامت برای خسارت ۶۳۹۶ هکتار از این محصول در استان قزوین ۶/۷۶۴/۰۹۱/۲۰۳ ریال در ۶ سال گزارش شده است.

در ایالات متحده آمریکا خسارت ناشی از عوامل جوی بیشترین ضرر اقتصادی را ایجاد می‌کند. برای نمونه به گفته آتاوای(۵) در دسامبر ۱۹۹۰ در کالیفرنیا یخبندان در حدود ۵۰۰ میلیون دلار به میوه و در حدود ۴۵۰۰۰۰ هکتار به درختان مرکبات خسارت وارد کرده است. در همین منطقه یخبندان در سال ۱۹۹۸ در حدود ۷۰۰ میلیون دلارخسارت وارد کرده است تیه فنبچر و همکاران (۱۰). به‌طور مشابه خسارت‌های زیادی به محصولات باغی حساس دیگری در سراسر دنیا گزارش شده‌است.

میانگین تاریخ‌های اولین دمای صفر درجه سلسیوس در پاییز و آخرین دمای صفر درجه سلسیوس در بهار به‌عنوان یک معیار معقول از رخداد یخبندان و تعریف طول فصل رشد در کشاورزی به‌کار می‌رود. اگر احتمالات یا چگونگی توزیع این تاریخ‌ها در اطراف میانگین تعیین گردد، استفاده از این داده‌ها مفیدتر خواهد شد. چنین جداولی به‌ویژه برای تخمین دوره بدون یخبندان برای محصول معین به‌کار می‌رود (۱۱).

تام و شاو (۹) نشان دادند که سری‌های تاریخ یخبندان که از دماهای کمینه هوا استخراج می‌گردد به‌صورت تصادفی توزیع یافته‌اند و از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. سمیعی و همکاران(۳) با بهره‌گیری از روش‌های آماری و با استفاده از داده‌های روزانه دمای کمینه ایستگاه‌های همدیدی جداول مربوط به تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان‌های پاییزه و بهاره را در سطوح احتمال انتخابی و در ۱۲ آستانه بحرانی دما ارائه نموده‌اند. ترسیم نقشه‌های هم احتمال تاریخ رخداد اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره و طول دوره بدون یخبندان با به‌کارگیری توزیع نرمال در سطوح احتمالی انتخابی در سطح کشور توسط کمالی(۴) انجام شده است.

کالما (۶) یخبندان را در دو گروه تعریف کرده است، "فرارفتی" و "تابشی". یخبندان‌های فرارفتی به هجوم بزرگ مقیاس هوای سرد با اتمسفر بادی و دمایی که حتی در طی روز غالباً زیر صفر است، مربوط می‌شود. یخبندان‌های تابشی به سرد شدن، به‌دلیل از دست دادن انرژی از طریق تبادل تابشی در طی شب‌های صاف، آرام و با وارونگی دمایی، مربوط می‌شود. در برخی از موارد ترکیبی از هردو شرایط فرارفتی و تابشی رخ می‌دهد.

یک مشخصه آشکار از دمای هوا در شب‌های با یخبندان تابشی این است که اکثراً افت دما در چند ساعتی در حوالی غروب خورشید رخ می‌دهد یعنی زمانی که تابش خالص بر روی سطح سریعاً از مثبت به منفی کاهش می‌یابد. این تغییر سریع در تابش خالص به این دلیل است که تابش خورشید از بیشترین مقدارش در وسط روز به مقدار صفر در غروب آفتاب کاهش می یابد. یخبندان‌های فرارفتی زمانی رخ می‌دهند که هوای سرد به منطقه‌ای وزیده شود و جانشین هوای گرم‌تری شود که قبل از این تغییر حضور داشت. این نوع یخبندان با شرایط ابری، باد قوی یا متوسط، نبود وارونگی دمایی و رطوبت کم همراهی می‌شود و غالباً دماها به زیر نقطه ذوب افت می‌کنند. دو مورد از بدترین یخبندان‌های فرارفتی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۸ در لیندکو کالیفرنیا در مناطق عمده کشت مرکبات رخ داد. مسأله قابل توجه در حوادث مذکور این بود که با نزدیک شدن هوای سرد به منطقه دماهای حداکثر در روز به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش نشان می‌داد(۱۰).

معمولاً فرض می‌شود که آخرین یخبندان در بهار و اولین یخبندان در پاییز از نوع تابشی است. روزنبرگ و مایرز(۷) در مطالعه‌ای در نبراسکا دریافتند که ۷ تا ۳۰% از آخرین یخبندان‌های بهاره و ۱۷ تا ۴۲% از اولین یخبندان‌های پاییزه از نوع فرارفتی هستند. روزنبرگ و همکاران(۸) اشاره می‌کنند که به‌طور میانگین یخبندان‌های فرارفتی در بهار زودتر از یخبندان‌های تابشی و در پاییز دیرتر از یخبندان‌های تابشی رخ داده و دوره دوام این نوع یخبندان‌ها طولانی است. از آنجایی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

که این نوع یخبندان‌ها همراه با وزش باد قوی می‌باشد، فنون علمی جهت استفاده علیه آن‌ها محدود بوده و اکثر روش‌های محافظت از یخبندان، برای یخبندان‌های تابشی عملی و مؤثر است. براتی (۱) در بررسی علل اصلی یخبندان‌های بهاره ایران نشان داد که اکثر یخبندان‌های بهاره ایران از نوع فرارفتی بوده و با یک سیستم کم فشار همراه است. در این بررسی نشان داده شد که در غالب یخبندان‌های بهاره شدید و فراگیر امتداد خط ناوه با جهت شمال شرقی جنوب غربی روی آذربایجان قراردارد و این الگو سبب ریزش هوای سرددر پشت ناوه از عرض‌های شمالی‌تر می‌شود.

بررسی‌های همدیدی نشان می‌دهد که در اوایل فصل پاییز به‌دلیل انتقال پرفشارهای سیبری در شمال شرق مناطق مورد مطالعه و پرفشارهای اروپای مرکزی و شمالی به نواحی شمال غربی ایران، دمای هوا در نواحی تحت مطالعه کاهش یافته و معمولاً این کاهش دما به میزانی نیست که دمای کمینه به صفر برسد ولی در برخی از موارد پس از عبور این سامانه‌ها تابش شبانه از زمین سردتر، سبب کاهش دما به صفر و زیر صفر شده و یخبندان تابشی رخ می‌دهد (۲). این نوع یخبندان‌ها طولانی نبوده و معمولاً در طی یک شبانه روز از ۲ تا ۳ ساعت تجاوز نمی‌کند. به‌دلیل انحراف کم دمای کمینه نسبت به صفر درجه سلسیوس و تداوم کوتاه، مبارزه با این نوع یخبندان‌ها آسان‌تر است. در اواسط پاییز با ورود سامانه‌های تشکیل شده در نواحی شمالی، فرارفت هوای سرد سبب کاهش دمای حداکثر شده و در زمان استقرار توده هوای سرد، دمای کمینه به صفر و زیر صفر می‌رسد که به‌دلیل تداوم و دمای کمتر در این نوع یخبندان‌ها مبارزه با آنها مشکل بوده و معمولاً از آن صرف‌نظر می‌شود.

یخبندان‌های بهاره نیز شرایط مشابهی با یخبندان‌های پاییزه دارند، بدین معنی که در این فصل پرفشارهای اروپای شمالی و مرکزی، معمولاً از طریق جمهوری آذربایجان و یا از سوی کرانه‌های دریای خزر و با تقویت پرفشار سیبری، سبب انتقال هوای سرد نسبی به مناطق تحت مطالعه می‌شود. این فرارفت هوای سرد چنانچه از برودت کافی برخوردار نباشد سبب کاهش زیاد دما در زمان استقرار هوای سرد نمی‌شود ولی پس از عبور سامانه، تابش شبانه زمین سبب کاهش دمای کمینه به نقطه یخبندان می‌شود. تداوم روزانه این نوع یخبندان‌ها و تداوم ساعتی روزهای یخبندان بسیار کم است به‌طوری‌که امکان مبارزه با آن وجود دارد ولی چنانچه توده هوای مهاجم از سرمای کافی برخوردار باشد کاهش دمای بیشینه و کمینه در زمان استقرار توده هوای سرد زیاد بوده و دمای کمینه به صفر و زیر صفر رسیده و یخبندان فرارفتی را ایجاد می‌کند.

یخبندان‌های تابشی نباید به‌عنوان یک خطر اجتناب ناپذیر برای کشاورزی پذیرفته شود. در مناطقی که هم فراوانی و هم شدت چنین یخبندان‌هایی محدود است با انجام عملیات مدیریتی مناسب روی خاک وگیاه، ودرشرایط کاملاً سخت این نوع یخبندان‌ها با اعمال روش‌های فعال، امکان حذف و یا به حداقل رساندن خسارت وجود دارد (۱۳). از طرفی چون بسیاری از روش‌های محافظت در حضور وارونگی دمایی بهتر کار می‌کنند، محافظت علیه دماهای زیر صفر در شرایط بادی و بدون وارونگی دمایی مشکل است. از این رو در یخبندان‌های فرارفتی، هیچ‌کدام از روش‌های مبارزه، محافظت مؤثری را ایجاد نمی‌کنند.

روزنبرگ و مایرز (۷) دریافتند که برای مقاصد کشاورزی دانستن نوع یخبندان مفیدتر از دانستن میانگین تاریخ‌های رخداد دمای کمینه ویژه می‌باشد. نام‌بردگان تاریخ‌های رخداد اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره مربوط به دمای آستانه صفر درجه سلسیوس را در دره پلت در ایالت نبراسکا روی آمار ۳۰ ساله مورد مطالعه قرار دادند و پس از تعیین نوع یخبندان مشخص گردید که سری‌های آماری اولین وآخرین یخبندان فرارفتی تصادفی بوده و به‌صورت نرمال توزیع یافته‌اند. در بررسی حاضر ماهیت اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره با به‌کارگیری گزارشات روزانه جوی همراه با تحلیل نقشه‌های همدیدی تشخیص داده شد و با استفاده از اطلاعات حاصله طول فصل رشد بالقوه تعریف گردید. با تعیین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

تاریخ‌های آغاز و خاتمه سرماهای فرارفتی در این بررسی، امکان مبارزه با یخبندان در نواحی مختلف قابل ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی گزارش‌های آماری سه ایستگاه سینوپتیک زنجان، قزوین و تهران(مهرآباد) به‌کار گرفته شد (سازمان هواشناسی کشور) و دوره آماری به‌کار رفته از (۱۹۶۲-۱۹۶۱) تا (۲۰۰۰-۱۹۹۹) بوده است. با استفاده از دمای کمینه روزانه، تاریخ‌های عبور دمای صفر درجه سلسیوس در پاییز و بهار با اجرای یک برنامه کامپیوتری استخراج گردید. برای اجرای فرآیندهای آماری بر روی تاریخ‌های استخراج شده و دست‌یابی به تحلیل‌های دقیق لازم بود که تاریخ‌ها تبدیل به اعداد شوند. از این رو تمامی تاریخ‌ها با انتخاب مبداء اول سپتامبر دارای ارزش کمی شدند. لازم به ذکر است که در هر سال ابتدا تاریخ شروع یخبندان استخراج شده و تاریخ خاتمه یخبندان در سال میلادی بعدی قرار گرفته است. نظر به اهمیت رخداد یخبندان‌های فرارفتی در این نواحی، تعیین تاریخ آغاز یخبندان‌های فرارفتی در پاییز و تاریخ پایان آنها در بهار و به‌طور کلی تفکیک این دو نوع یخبندان از یکدیگر اهمیت ویژه‌ای دارد.

یخبندان‌های فرارفتی و انتقال توده هوا از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر با تغییرات بارز فراسنج‌های جوی به‌ویژه دمای بیشینه و کمینه همراه است به‌طوری‌که در بیشتر موارد تغییری در حدود ۱۰ درجه سلسیوس و گاهی بیشتر ایجاد می‌شود و سبب ریزش هوای سرد با چگالی زیاد شده و در نتیجه پر فشار در روی منطقه تشکیل می‌شود. براین اساس برای تشخیص یخبندان‌هایی که عمدتاً به‌دلیل فرارفت رخ داده‌اند از یخبندان‌هایی که در اثر تابش ایجاد شده‌اند، دفاتر ثبت گزارش‌های همدیدی هر یک از ایستگاه‌ها در اختیار قرار گرفت. در این مرحله هر روزی که دمای حداقل صفر درجه سلسیوس و یا کمتر گزارش گردیده بود، تغییرات کلیه پارامترهای جوی در ساعات دیدبانی، از روزهای قبل و بعد از روزی که یخبندان رخ داده مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص گردد که یخبندان رخداده از نوع فرارفتی است یا تابشی. این بررسی برای هر ایستگاه و در هر سال از اولین روزی که در پاییز دمای صفر درجه سلسیوس مشاهده گردید اجرا شد تا تاریخ اولین یخبندان فرارفتی تعیین گردد. در بهار نیز برای تعیین آخرین یخبندان فرارفتی به همین ترتیب عمل شد. سپس برای اطمینان از فرارفتی بودن یخبندان، نقشه‌های همدیدی مربوط به رخداد فرارفت هوای سرد از روزهای قبل تا بعد از تأثیرگذاری سرمای فرارفتی مورد بررسی قرار گرفت. در این ارتباط نقشه‌های همدیدی سطح زمین و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در هر روز در ساعات UTC 1200 و UTC 0000 بررسی شد و سامانه‌های جوی ایجاد کننده فرارفت و گستردگی ناحیه تحت تأثیر مورد شناسایی قرار گرفت (سازمان هواشناسی کشور). از آن‌جایی‌که ارتفاع متوسط کشور از ۱۰۰۰متر بیشتر است، برای بررسی بیشتر فرارفت هوای سرد و تأثیر آن در روی سطح زمین تحلیل نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مناسب‌تر از ترازهای دیگر است. الگوی جریان در این سطح ترازی در ارتباط با حرکت سامانه‌ها در سطوح پایین‌تر بوده و مقدار دما در ارتباط با دمای سطح زمین است.

به هرحال تقریباً در کلیه موارد فرارفت هوای سرد به منطقه قبل از رخداد یخبندان‌های تابشی بروز می‌کنند. تفکیک این دو نوع یخبندان با تشخیص این‌که فرارفت هوای سرد در دورن خودش قادر به کاهش دما به نقطه انجماد است یا حرکت هوا به‌اندازه‌ای ضعیف است که تشکیل وارونگی و یخبندان تابشی امکان‌پذیر می‌شود، انجام پذیرفت.

در این بررسی از یخبندان‌هایی که سبب کاهش دمای کمینه در پناهگاه هواشناسی به صفر درجه سلسیوس یا کمتر شده است، بدون توجه به نوع آن «یخبندان تابشی – فرارفتی» یاد می‌شود. چنانچه پس از بررسی مشخص شد که یخبندان از نوع فرارفتی بوده، اصطلاح، «یخبندان فرارفتی» به‌کار می‌رود. اولین و آخرین یخبندان‌هایی که به‌دلیل تابش رخ داده‌اند "یخبندان تابشی" نامیده می‌شوند.

محاسبات آماری مربوط به این بررسی با استفاده از نرم افزار SPSS و Excel، تصادفی بودن سری‌های آغاز و خاتمه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

یخبندان‌های فرارفتی با آزمون گردش حول میانه (Run test) و نرمال بودن این سری‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف (KS) انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

۱. درصد رخداد اولین و آخرین یخبندان از انواع تابشی و فرارفتی

درصد رخداد اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره بر حسب نوع یخبندان در جدول۱ ارائه گردیده است. بررسی این جدول نشان می‌دهد که در طول دوره آماری مورد مطالعه در زنجان ۳۱ درصد از یخبندان‌ها در پاییز با فرارفت هوای سرد آغاز می‌شود. در قزوین این رقم ۳۲/۵ درصد و در تهران ۷۱/۸ درصد است. به‌نظر می‌رسد نواحی زنجان و قزوین اکثر اوقات تحت تأثیر یک سامانه جوی قرار می‌گیرند به‌طوری‌که در بررسی سال به سال نشان داده شد که در حدود ۴۴% ازسال‌هایی که یخبندان در زنجان با فرارفت هوای سرد آغاز می‌شود در قزوین نیز هم‌زمان ویا با فاصله حداکثر دو روز یخبندان فرارفتی آغاز گردیده است. این امر بیانگر آن است که ۵۶% از سرماهای فرارفتی تأثیرگذار بر زنجان در اوایل فصل سرد بر قزوین مؤثر نبوده و قادر به کاهش دما به صفر و کمتر در این ناحیه نمی‌باشد گرچه کاهش محسوس دمای بیشینه و کمینه واقع شده باشد. این شباهت در نواحی قزوین و تهران ۳۶% بوده است.

بررسی ارقام مربوط به خاتمه یخبندان‌ها گویای آن است که در زنجان و قزوین به ترتیب ۳۳ درصد و ۳۰ درصد از مواقع یخبندان‌ها با فرارفت هوای سرد خاتمه می‌یابد از این رو در خاتمه یخبندان‌ها نیز تابش نقش اصلی دارد در صورتی‌که در تهران ۶۹/۲ درصد از مواقع خاتمه یخبندان به‌دلیل فرارفت هوای سرد بوده است. بررسی‌های تفضیلی‌تر نشان می‌دهد که در ۳۱% از سال‌ها رخداد آخرین یخبندان در نواحی زنجان و قزوین تحت تأثیر یک سامانه جوی بوده‌اند در حالی‌که در قزوین و تهران در ۴۱% از سال‌ها خاتمه یخبندان تحت تأثیر یک سامانه جوی بوده است.

۲. میانگین تاریخ‌های رخداد انواع مختلف یخبندان

تفکیک یخبندان‌های فرارفتی و تابشی در هر ۳ ایستگاه زنجان، قزوین و تهران در طول دوره آماری صورت پذیرفت و سری‌های تاریخ اولین و آخرین یخبندان فرارفتی به‌دست آمد. برای تشخیص یخبندان‌های فرارفتی گرچه نقشه‌های همدیدی سطح زمین و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعات 1200 UTC و 0000 UTC مورد بررسی قرار گرفته است ولی برای اطلاع از چگونگی وضعیت نقشه‌ها در نمونه‌ای از رخداد یخبندان فرارفتی، به‌دلیل اجتناب از اشغال حجم زیاد، صرفاً به ارائه نقشه‌های همدیدی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شکل‌های ۱ تا ۳ بسنده می‌شود. برای نمونه آغاز یخبندان فرارفتی در تاریخ ۱۰ نوامبر ۱۹۹۶در زنجان رخ داده است. خلاصه‌ای از تحلیل نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به همراه تغییرات کمیت‌های جوی از تاریخ ۹ تا ۱۰ نوامبر ۱۹۹۶ در زنجان برای نمونه آورده می‌شود.

در نقشه روز ۹ نوامبر ساعت 1200 UTC (شکل ۱) مرکز ارتفاع کمی بر روی شرق ایران با کنتور مرکزی ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر و مرکز ارتفاع زیادی با کنتور مرکزی ۱۵۶۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب شرق مدیترانه دیده می‌شود. به‌دلیل وجود گرادیان دمایی قابل ملاحظه و زاویه بین کنتورها و خطوط هم‌دما، گردش هوا به‌طور چرخندی و واچرخندی حول این دو مرکز، هوای سرد را بر روی استان‌های تهران، قزوین و زنجان فراهم کرده است. در این شکل خطوط هم‌دمای ۲۸۶ و ۲۸۴ درجه کلوین به ترتیب از استان‌های قزوین و زنجان عبور کرده است.

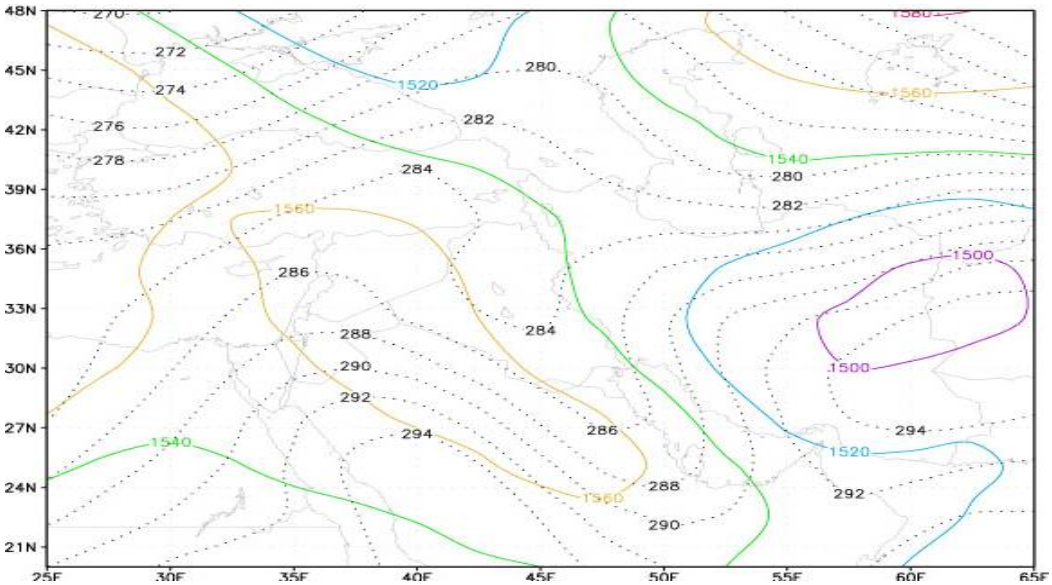
در نقشه روز ۱۰ نوامبر ساعت 0000 UTC (شکل ۲) مرکز ارتفاع کم به ناحیه جنوب شرق ایران کشیده شده و مرکز ارتفاع زیاد ضمن باز شدن در شرق دریای مدیترانه گسترش یافته است. در این شکل خط هم‌دمای ۲۷۸ درجه کلوین ضمن عبور از استان‌های تهران، قزوین و زنجان در شرق زاگرس بسته شده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

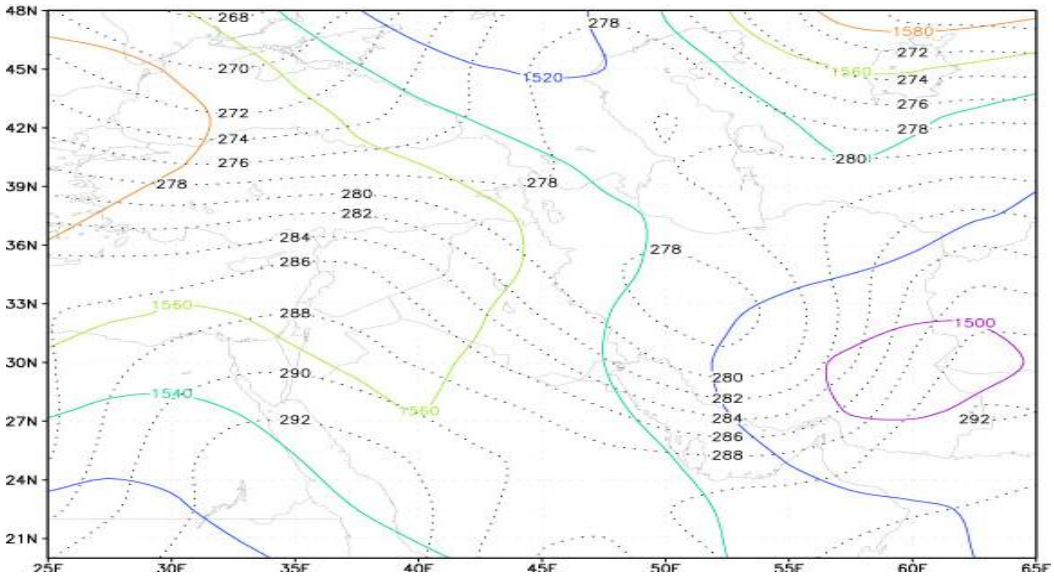
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

جدول۱. درصد توزیع انواع یخبندان‌های پاییزه و بهاره

نام ایستگاه	آغاز یخبندان		خاتمه یخبندان	
	تابشی (%)	فرارفتی (%)	تابشی (%)	فرافتی (%)
زنجان	۶۹	۳۱	۶۷	۳۳
قزوین	۶۷/۵	۳۲/۵	۷۰	۳۰
تهران	۲۸/۲	۷۱/۸	۳۰/۸	۶۹/۲



شکل۱. نقشه همدیدی روز ۹ نوامبر ۱۹۹۶ ساعت1200 UTC در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال



شکل۲. نقشه همدیدی روز ۱۰ نوامبر ۱۹۹۶ ساعت0000 UTC در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

است. بررسی این دو شکل نشان می‌دهد که دمای هوا در منطقه مورد مطالعه ۶ تا ۱۰ درجه نسبت به ۱۲ ساعت قبل کاهش یافته است. بررسی ساعتی دما در سطح زمین نیز گویای آن است که دمای بیشینه در روز نهم نسبت به روز قبل ۷ درجه کاهش داشته و از ساعت 1930 UTC روز ۹ نوامبر تا ساعت 0430 UTC روز ۱۰ نوامبر دمای ایستگاه زنجان زیر صفر بوده است. در این مدت باد غالب غربی با سرعت ۵ متر بر ثانیه گزارش شده است.

در نقشه روز ۱۰ نوامبر ساعت 1200 UTC (شکل ۳) خط هم‌دمای ۲۸۶ درجه کلوین از استان‌های تهران، قزوین و زنجان عبور می‌نماید ولی فرارفت هوای سرد به‌دلیل وجود گرادیان ضعیف کنتوری در ناحیه کاملاً کاهش یافته و به نواحی شمال شرق و شرق کشور کشیده شده است. دمای کمینه در ایستگاه زنجان در روزهای ۹ و ۱۰ نوامبر به ترتیب ۱ و ۳,۶- درجه سلسیوس گزارش شده است.

در جدول۲ میانگین تاریخ‌های رخداد اولین دمای صفر درجه یا یخبندان تابشی- فرارفتی، اولین یخبندان تابشی و اولین یخبندان فرارفتی و اطلاعات نظیر برای فصل بهار نشان داده شده است. به‌طوری‌که نشان داده شده، به‌کارگیری معیار هواشناسی" یخبندان فرارفتی" میانگین‌های متفاوتی برای سری جدید یخبندان ارائه نموده است. میانگین تاریخ رخداد آخرین یخبندان تابشی در زنجان ۷ اردیبهشت است که ۱۸ روز بعد از آخرین یخبندان فرارفتی رخ می‌دهد اما با میانگین رخداد یخبندان تابشی- فرارفتی فاصله کمتری دارد. نزدیک بودن این دو میانگین بیانگر این حقیقت است گه در اکثر سال‌ها آخرین یخبندان در این ناحیه از نوع تابشی است. آخرین یخبندان تابشی در قزوین ۱۱ روز بعد از آخرین یخبندان فرارفتی رخ می‌دهد. این مقدار در مورد تهران ۹ روز محاسبه گردیده است. آخرین یخبندان تابشی- فرارفتی در بهار در زنجان اول اردیبهشت، در قزوین ۱۵ فروردین و در تهران در ۲۷ اسفند رخ می‌دهد.

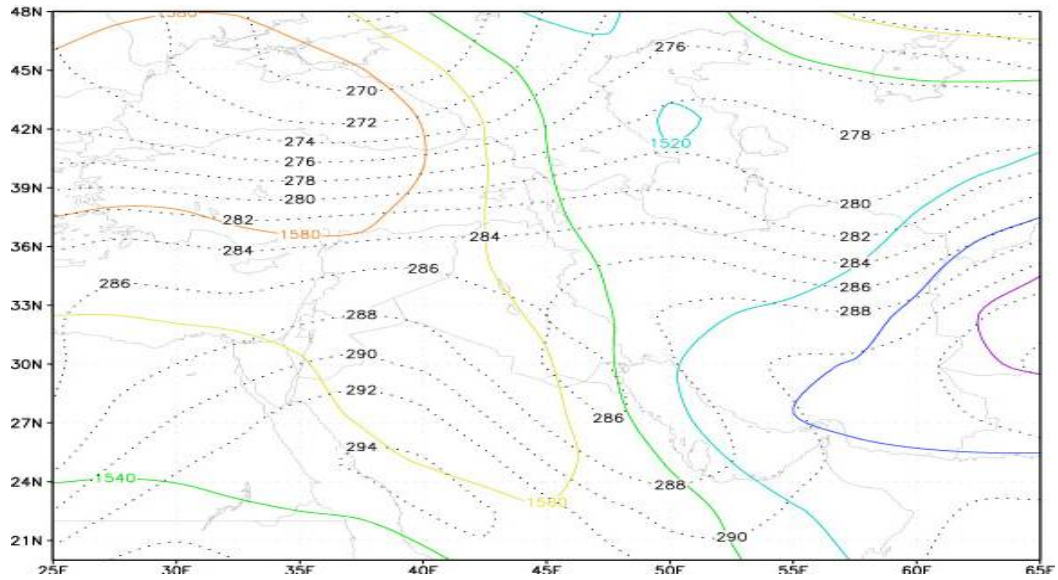
نتایج نشان می‌دهد که در زنجان میانگین تاریخ آغاز یخبندان تابشی- فرارفتی و فرارفتی به ترتیب اول آبان و ۱۶ آبان است. تاریخ‌های مشابه در قزوین به ترتیب ۱۸ آبان و اول آذر بوده است. در حالی‌که در تهران این مقادیر به ترتیب ۱۵ آذر و ۱۸آذر محاسبه گردیده‌اند. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که در زنجان به‌طور میانگین ۱۵ روز قبل از رسیدن اولین یخبندان فرارفتی، یخبندان‌های تابشی به دفعات رخ می‌دهد. چنانچه امکان مبارزه با این یخبندان‌ها که بسیار ضعیف‌تراز یخبندان فرارفتی است میسر باشد می‌توان برداشت پاییزه را در زنجان ۱۵روز و در قزوین ۱۳ روز به تعویق انداخت. در صورتی‌که در تهران اکثراً در پاییز یخبندان‌ها با فرارفت هوای سرد آغاز گشته و به‌طور میانگین افزایش فصل رشد پاییزه فقط ۳ روز امکان‌پذیر است. بررسی تاریخ میانگین رخداد خاتمه یخبندان در زنجان بیانگر آن است که یخبندان‌های فرارفتی در این ناحیه در ۲۰ فروردین خاتمه می‌یابد در حالی‌که یخبندان‌های تابشی– فرارفتی تا اول اردیبهشت ادامه دارند. در قزوین خاتمه یخبندان‌های تابشی – فرافتی در ۱۵ فروردین و خاتمه یخبندان‌های فرارفتی در تاریخ ۲۶ مارس ۶ فروردین رخ می‌دهد. تاریخ مشابه در تهران به ترتیب در ۲۷ اسفند و ۲۲ اسفند است. تفاضل تاریخ رخداد آخرین یخبندان فرارفتی از یخبندان تابشی– فرارفتی طولانی شدن فصل رشد در بهار را نشان می‌دهد. یعنی در صورت مبارزه با یخبندان‌های تابشی می‌توان کشت بهاره را در زنجان ۱۳ روز، در قزوین ۹ روز و در تهران ۵ روز زودتر آغاز کرد.

۳. میانگین طول دوره رویش

طول دوره بدون یخبندان به فاصله بین آخرین رخداد دمای صفر درجه در بهار و اولین رخداد دمای صفر درجه در پاییز گفته می‌شود. در این تعریف نوع یخبندان مورد نظر نبوده از این رو به‌صورت طول دوره رویش (تابشی – فرارفتی) تعریف می‌شود. از طرفی فاصله بین آخرین یخبندان فرارفتی در بهار و اولین یخبندان فرارفتی در پاییز را طول دوره رویش بالقوه می‌نامیم زیرا چنانچه بتوان با یخبندان‌های تابشی که بعد از

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]



شکل۳. نقشه همدیدی روز ۱۰ نوامبر ۱۹۹۶ ساعتUTC 1200 در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

جدول۲. میانگین تاریخ‌های آغاز و خاتمه انواع مختلف یخبندان پاییزه و بهاره

نام محل	انواع یخبندان‌های پاییزه						انواع یخبندان‌های بهاره					
	تابشی فرارفتی		تابشی		فرارفتی		تابشی فرارفتی		تابشی		فرارفتی	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
زنجان	۵۲/۵		۴۹/۹		۶۸/۴		۲۳۴/۱		۲۳۹/۴		۲۲۰/۵	
	۲۳ اکتبر	۱۳/۸	۲۰ اکتبر	۱۳/۸	۷ نوامبر	۱۳/۴	۲۱ آوریل	۱۴/۱	۲۷ آوریل	۱۲	۹ آوریل	۱۱/۹
	اول آبان		۲۸ مهر		۱۶ آبان		اول اردیبهشت		۷ اردیبهشت		۲۰ فروردین	
قزوین	۶۹/۷		۶۷/۲		۸۳/۳		۲۱۶		۲۱۸/۱		۲۰۶/۵	
	۹ نوامبر	۱۵/۲	۶ نوامبر	۱۷/۶	۲۲ نوامبر	۱۳/۷	۴ آوریل	۱۱/۵	۶ آوریل	۱۱/۶	۲۶ مارس	۱۰/۷
	۱۸ آبان		۱۵ آبان		اول آذر		۱۵ فروردین		۱۷ فروردین		۶ فروردین	
تهران	۹۶/۹		۸۹/۷		۱۰۰,۵		۱۹۸/۷		۲۰۲/۵		۱۹۳/۸	
	۶ دسامبر	۱۹	۲۹ نوامبر	۱۹/۴	۹ دسامبر	۱۶,۵	۱۸ مارس	۱۴/۷	۲۲ مارس	۱۸/۱	۱۳ مارس	۱۴/۸
	۱۵ آذر		۸ آذر		۱۸ آذر		۲۷ اسفند		۲ فروردین		۲۲ اسفند	

آخرین یخبندان فرارفتی در بهار و یا قبل از اولین یخبندان فرارفتی در پاییز رخ می‌دهد مبارزه کرد، طول دوره رویش به حد بالقوه می‌رسد. در جدول ۳ میانگین‌ها و انحراف معیار حاصل از این محاسبات نشان داده شده است. میانگین تعداد روزهای افزوده شده به طول دوره رشد در زنجان ۲۹ روز در قزوین ۲۳ روز و در تهران ۱۰ روز محاسبه گردیده است.

۴. تعداد یخبندان‌های پاییزه و بهاره

استفاده کاربردی از اطلاعات ارائه گردیده، به تعداد یخبندان‌های تابشی که در خلال دوره بین آخرین یخبندان تابشی بهاره تا آخرین یخبندان فرارفتی و اولین یخبندان تابشی پاییزه تا اولین یخبندان فرارفتی پاییزه رخ می‌دهد بستگی دارد. تعداد این یخبندان‌ها و دامنه تغییرات آنها در جدول ۴ ارائه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

جدول۳. میانگین تعداد روزهای بین آخرین یخبندان در بهار و اولین یخبندان در پاییز از انواع مختلف یخبندان

نام محل	طول دوره رویش (روز)					
	تابشی فرارفتی		فرارفتی		تفاوت	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
زنجان	۱۸۴/۱	۱۹/۴	۲۱۳/۰	۱۷/۳	۲۸/۹	۱۸/۱
قزوین	۲۱۸/۳	۱۸/۶	۲۴۱/۶	۱۰/۶	۲۳/۲	۱۹/۱
تهران	۲۶۱/۵	۲۱/۸	۲۷۱/۳	۲۱/۲	۹/۸	۱۴/۶

جدول۴. تعداد روزهای یخبندان در فاصله بین اولین یخبندان تابشی در پاییز یا آخرین یخبندان تابشی در بهار و یخبندان فرارفتی فصل مربوط

نام محل	اولین یخبندان تابشی در پاییز تا اولین یخبندان فرارفتی			آخرین یخبندان تابشی در بهار تا آخرین یخبندان فرارفتی		
	میانگین	دامنه تغییرات	مد	میانگین	دامنه تغییرات	مد
زنجان	۳	۰-۱۱	۱	۲/۴	۰-۱۰	۱
قزوین	۱/۷	۰-۱۳	۱	۱/۳	۰-۵	۱
تهران	۰/۷	۰-۴	۲	۰/۶	۰-۴	۱

گردیده است. رقم مربوط به مد این یخبندان‌ها، به استثنای سال‌هایی که آخرین یخبندان بهاره یا اولین یخبندان پاییزه از نوع فرارفتی بوده است نیز در جدول (۴) ارائه گردیده است. رقم مد یخبندان‌های تابشی بعد از آخرین یخبندان فرارفتی در بهار و قبل از اولین یخبندان فرارفتی در پاییز حتی وقتی که سال‌های صفر (سال‌هایی که اولین یخبندان در پاییز و آخرین یخبندان در بهار به‌دلیل فرارفت باشد) لحاظ نشود، کاملاً پایین است.

به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود رقم میانگین یخبندان‌های تابشی در خلال پاییز و بهار در زنجان بزرگ‌تر و هم‌چنین دامنه تغییرات یخبندان‌های تابشی نیز در این ناحیه بزرگ‌تر است. بالا بودن دامنه تغییرات در قزوین استثنایی بوده که مربوط به فصل پاییز سال ۱۹۶۶ می‌شود که یخبندان‌های تابشی به‌صورت مکرر رخ داده است.

در صورت امکان مبارزه با یخبندان این سئوال مطرح می‌شود که در نواحی تحت بررسی یک شب مبارزه با یخبندان، چه میزان تطویل در فصل رشد را در بهار و پاییز به همراه دارد. برای پاسخ به این سئوال تعداد روزهای بدون یخبندان در فاصله دو یخبندان اول در پاییز و دو یخبندان آخر در بهار در کلیه سال‌ها شمارش شد. برای این منظور اگر اولین یخبندان پاییزه یا آخرین یخبندان بهاره به‌دلیل تابش باشد تعداد روزهای سپری شده تا یخبندان مجاور (از هر نوع که باشد) شمارش شد و در مواردی که اولین یخبندان پاییزه یا آخرین یخبندان بهاره از نوع فرارفتی بود با صفر علامت‌گذاری گردید. نتایج این بررسی در جدول ۵ نشان داده شده است.

در جدول ۵ میانگین (الف) نمایانگر مقدار میانگین در کلیه سال‌ها و میانگین (ب) نشان دهنده مقدار میانگین در سال‌هایی است که اولین یخبندان یا آخرین یخبندان از نوع فرارفتی می‌باشد. امکان طولانی شدن فصل رشد بهاره با یک شب محافظت از یخبندان با روش اول، در زنجان ۴روز و در قزوین ۶ روز است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

جدول۵. پارامترهای آماری سری‌های تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان

نام محل	فصل پاییز		فصل بهار	
	میانگین (الف)	میانگین (ب)	میانگین (الف)	میانگین (ب)
زنجان	۶/۸	۹/۸	۴/۳	۶/۵
قزوین	۶/۴	۱۰/۴	۶/۲	۹/۳
تهران	۱/۹	۶/۵	۳/۷	۱۲/۱

جدول۶. تعداد روزهای بین دو یخبندان اول در پاییز و دو یخبندان آخر در بهار

	تاریخ آغاز یخبندان فرارفتی			تاریخ خاتمه یخبندان فرارفتی		
	زنجان	قزوین	تهران	زنجان	قزوین	تهران
میانگین	۶۸/۴	۸۳/۳	۱۰۰/۵	۲۲۰/۵	۲۰۶/۵	۱۹۳/۸
انحراف معیار	۱۳/۴	۱۳/۷	۱۶/۵	۱۱/۹	۱۰/۷	۱۴/۸
چولگی	۰/۰	۰/۰	۰/۶۳	۰/۳	۰/۲	۰/۶۲
پخی	-۰/۴	-۰/۷	۱/۱۲	-۰/۱	-۰/۳	۰/۱۴
زودترین	۴۱	۵۴	۶۸	۱۹۶	۱۸۲	۱۵۸
دیرترین	۹۴	۱۱۰	۱۵۱	۲۳۷	۲۳۳	۲۱۵

چنان‌که محاسبه میانگین با روش دوم باشد، که تصویر واقعی‌تری از منافع بالقوه در محافظت از سرمازدگی را به‌دست می‌دهد، در زنجان ۷روز و در قزوین ۹ روز است. از آنجایی که در زنجان و قزوین پدیده تابش بیشترین سهم را در آغاز و خاتمه یخبندان‌ها دارد، میانگین‌های نوع (الف) و (ب) فاصله زیادی با یکدیگر ندارند در حالی‌که این تفاوت در تهران که فرارفت سهم اصلی را در آغاز و خاتمه یخبندان‌ها دارد بسیار چشمگیر است. از این رو در ناحیه تهران چنانچه میانگین (الف) را منظور کنیم با یک شب مبارزه ۲ روز و ۴ روز به ترتیب به رشد پاییزه و بهاره افزوده می‌شود. در حالی‌که با مستثنی کردن سال‌های صفر این افزایش در پاییز به ۷ روز و در بهار به ۱۲ روز می‌رسد. در این‌جا ذکر این نکته ضروری است که سرمایه‌گذاری برای اعمال روش‌های مبارزه با یخبندان در مناطقی که فرارفت سهم اصلی را در آغاز و خاتمه یخبندان‌ها دارد باید با احتیاط انجام شود.

۵. تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی در سطوح احتمالی مختلف

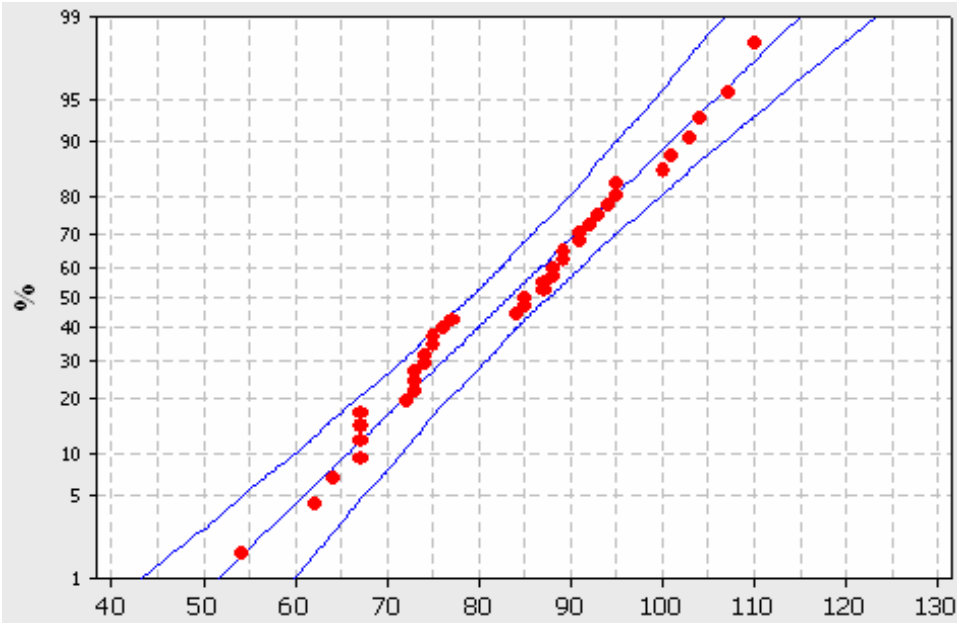
در جدول ۶ آماره‌های مربوط به سری‌های تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی ارائه شده است. علی‌رغم توصیه منابع علمی ازجمله سازمان هواشناسی جهانی (۱۲) که بهترین توزیع فراوانی را برای تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان توزیع نرمال پیشنهاد نموده است و هم‌چنین روزنبرگ (۷) که نشان داد سری‌های تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان‌های فرارفتی تصادفی بوده و با توزیع نرمال برازش خوبی دارند، نیکویی برازش توزیع نرمال به سری‌های تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان‌های فرارفتی با آزمونKS انجام شد و فرض نرمال بودن در سطح معناداری α = ۰/۰۵ پذیرفته شد. برای اطمینان از نیکویی برازش توزیع نرمال به سری داده‌ها از روش ترسیمی کاغذ نرمال نیز استفاده گردید. شکل ۴ برای نمونه، برازش داده‌های سری تاریخ آغاز یخبندان فرارفتی در قزوین را به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

جدول۷. تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی با احتمالات مختلف در ایستگاه‌های همدیدی زنجان، قزوین و تهران در دوره آماری (۲۰۰۰-۱۹۶۱)

احتمالات	تاریخ آغاز یخبندان			تاریخ خاتمه یخبندان		
	٪۲۵	٪۵۰	٪۷۵	٪۲۵	٪۵۰	٪۷۵
زنجان	۷ آبان	۱۵ آبان	۲۵ آبان	۱۲ فروردین	۲۰ فروردین	۲۸ فروردین
قزوین	۲۲ آبان	۱ آذر	۱۱ آذر	۲۷ اسفند	۶ فروردین	۱۳ فروردین
تهران	۶ آذر	۱۶ آذر	۲۹ آذر	۱۱ اسفند	۲۲ اسفند	۳ فروردین



شکل۴.برازش توزیع نرمال به همراه خطوط تراز ۹۵٪ اعتماد برای سری تاریخ آغاز یخبندان فرارفتی در قزوین

توزیع نرمال به همراه تراز ۹۵٪ اعتماد نشان می‌دهد.

در جدول ۷ احتمالات ۲۵، ۵۰ و۷۵ درصد برای تاریخ‌های آغاز وخاتمه یخبندان‌های فرارفتی در دوره آماری (۲۰۰۰-۱۹۶۱) محاسبه شده است. چنانچه بتوان خسارت ناشی از یخبندان‌های تابشی را برطرف و یا از آنها چشم‌پوشی کرد، تاریخ مناسب برای عملیات کشاورزی در پاییز و بهار برای دشت‌هایی که در جوار ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند قابل استخراج است. برای انجام عملیات کشاورزی با قبول ریسک ۲۵ درصد، در پاییز تاریخ‌های منطبق با احتمال ۲۵٪ مناسب است زیرا فقط ۲۵ درصد احتمال دارد که یخبندان‌های فرارفتی قبل از تاریخ منطبق با این احتمال شروع شوند. برای انجام عملیات کشاورزی بهاره تاریخ‌های منطبق با احتمال ۷۵٪ مناسب است زیرا فقط ۲۵ درصد احتمال دارد که یخبندان‌های فرارفتی بعد از تاریخ منطبق با این احتمال خاتمه یابند. برای مثال مناسب‌ترین تاریخ آغاز عملیات کشاورزی در بهار، در زنجان از ۲۸ فروردین، در قزوین ۱۳ فروردین و در تهران از ۳

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]

فروردین است. در این ارتباط مناسب است اجرای عملیات برداشت پاییزه در زنجان تا ۷آبان، در قزوین ۲۲ آبان و در تهران تا ۶ آذر خاتمه یابد.

سپاسگزاری

این مقاله از نتایج یک پروژه تحقیقاتی که در پژوهشکده هواشناسی و با مشاوره استاد محترم جناب آقای دکتر هوشنگ قائمی اجرا گردیده، استخراج شده است. بدین‌وسیله از راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. براتی، غ. ۱۳۷۵. طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره در ایران. رساله دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲. پژوهشکده هواشناسی. ۱۳۸۳. گزارش کاهش ضایعات سرمازدگی بر محصولات کشاورزی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی.

۳. سمیعی، م.، م. عسگری و خ. باستانی. ۱۳۶۷. شروع و خاتمه یخبندان در ایران. سازمان هواشناسی کشور، تهران.

۴. کمالی، غ. ۱۳۸۰. بررسی سرماهای زیانبخش به کشاورزی ایران و تهیه اطلس اقلیمی آن. گزارش نهایی طرح پژوهشی، سازمان هواشناسی کشور، تهران.

5. Attaway, J.A. 1997. A history of Florida Citrus Freezes. Lake Alfred, Florida Science Source Inc., Florida.
6. Kalma, J.D., G.P. Laughlin, J.M. Caprio and P.J.C. Hamer. 1992. Advances in Bioclimatology, 2. The Bio climatology of Frost. Springer-Verlag Pub., Berlin.
7. Rosenberg, N. J. and R. E. Myers. 1962. The nature of growing season frosts in and along the Platte valley of Nebraska, Monthly Weather Rev. 90: 471-476.
8. Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. Microclimate the Biological Environment. John Wily and Sons Pub., New York.
9. Thom, H. C. S. and R. H. Shaw. 1958. Climatological analysis of freeze data for Iowa. Monthly Weather Rev. 86: 251-257.
10. Tiefenbacher, J.P., R.R. Hagelman and R.J. Secora. 2000. California citrus freeze of December 1998: Place, Perception and Choice - Developing a Disaster Reconstruction Model. Boulder, Colorado: Natural Hazards Research and Applications Information Center, University of Colorado. Quick Response Research Report #125. 31p.
11. WMO, 1981. Guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134, Geneva.
12. WMO, 1987. Guide to Climatological Practices. WMO-No.100, Geneva.
13. WMO, 2001. Lecture notes for training agricultural meteorological personnel. WMO- No. 551, Geneva.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.34.3]