

## پیش‌بینی وقوع یخبندان‌های تابشی با استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی

حسین انصاری<sup>\*۱</sup> - منصوره کوهی<sup>۲</sup> - نسرین صالح‌نیا<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۵

### چکیده

در بخش کشاورزی از میان انواع یخبندان‌ها یخبندان تابشی، به لحاظ فراوانی وقوع و امکان حفاظت مؤثر توسط روش‌های فعال، از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین پیش‌بینی دقیق دمای حداقل، با استفاده از یک مدل پیش‌بینی تجربی با امکان کالیبره شدن برای شرایط محلی و کاربری آسان و همچنین برآورد ساعتی میزان تغییرات دما (روند) طی شب‌هایی با رخداد یخبندان تابشی، جهت تعیین زمان شروع و پایان روش‌های حفاظت فعال ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، هدف این تحقیق پیش‌بینی دمای حداقل با استفاده از یک مدل ساده رگرسیونی و برآورد روند تغییرات دما طی چنین شب‌هایی است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ساعتی ایستگاه سینوپتیک مشهد در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۹، ضمن تفکیک یخبندان‌های تابشی از فرارفتی، با استفاده از دمای نقطه شبنم، دمای خشک دو ساعت بعد از غروب خورشید و دمای حداقل روز بعد، مدل پیش‌بینی دمای حداقل ارایه گردید. سپس روند تغییرات ساعتی دما طی این شب‌ها پیش‌بینی شد. مقدار ضریب همبستگی مربوط به داده‌های دمای حداقل مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل (۰/۹۳)، حاکی از اطمینان معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد می‌باشد. همچنین مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل ارایه شده، ۱/۶۳ درجه سانتی‌گراد و میزان پیش‌بینی مجاز این مدل ۷۶ درصد به‌دست آمد. در بررسی پیش‌بینی روند دما طی یخبندان‌های تابشی سال ۲۰۱۰، مقدار RMSE به‌طور متوسط ۰/۷ درجه سانتی‌گراد و ضریب همبستگی نیز در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده است.

واژه‌های کلیدی: یخبندان تابشی، دمای حداقل، مدل، پیش‌بینی، مشهد

### مقدمه

شهرستان‌های خراسان، موجب بروز خسارات مالی و جانی در بخش دام و اراضی کشاورزی شده است (۱). در سرمازدگی فروردین سال ۱۳۸۴ نیز حدود ۱۰ هزار هکتار از باغ‌های سیب این استان (به ارزش ۱۷۰ میلیارد تومان) آسیب دید (۷).

تعیین نوع وقوع یخبندان برای مقاصد برنامه‌ریزی کشاورزی، مناسب‌تر از تاریخ متوسط وقوع دمای حداقل است؛ زیرا اگرچه یخبندان فرارفتی برای محصولات باغی خسارت‌بارتر است اما درحالت یخبندان‌های فرارفتی، به‌علت شرایط بادی و عدم وجود وارونگی دما، هیچ‌کدام از روش‌های حفاظتی مؤثر واقع نمی‌گردند (۱۱). در مقابل، یخبندان تابشی هم به لحاظ فراوانی وقوع و هم به لحاظ این‌که به خوبی توسط روش‌های حفاظت فعال (روش‌هایی مستلزم مصرف انرژی و اعمال شده در زمان رخداد یخبندان تابشی) مهار می‌گردد از اهمیت بیشتری برخوردار است (۱۰). در واقع، در یخبندان تابشی با پیش‌بینی به‌موقع دمای حداقل می‌توان برای کشاورزان فرصت آمادگی در برابر آن را فراهم آورد. تعیین زمان شروع و پایان کاربرد روش‌های حفاظتی در یک دمای مناسب نیز بسیار مهم است؛ زیرا این امر از خسارات ناشی از شروع خیلی دیر جلوگیری کرده (با تعیین به

یخبندان و سرمازدگی بر روی تولیدات گیاهی و محصولات زراعی اثر مستقیم و غیر قابل انکار داشته و علاوه بر از بین بردن محصول یک ساله کشاورزی طی یک شب، از طریق اثرگذار بر فعالیت‌های حیاتی و بیولوژیک گیاه، ممکن است محصول سال‌های بعد وی را نیز تحت تأثیر قرار داده و یا حتی در مواردی (یخبندان‌های شدید) به کلی سرمایه کشاورز را از دستش خارج سازد (۱۰). مانند بسیاری از نقاط جهان، خسارت‌های یخبندان در مناطق مختلف ایران قابل ملاحظه است. به‌عنوان مثال، خسارت‌های یخبندان به بخش کشاورزی استان خوزستان در اسفند ماه ۱۳۷۵ بالغ بر ۳۰ میلیارد تومان بوده است (۶). در استان خراسان وقوع یخبندان از مشکلات عمده زارعین و باغ‌داران محسوب می‌شود. به‌طور نمونه، طی دوره ۱۰ ساله ۱۳۶۹-۱۳۷۸ وقوع ۱۰۱ مورد سرمازدگی و یخبندان در سطح

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
\* - نویسنده مسئول: (Email: ansari\_hos@yahoo.com)

موقع زمان شروع) و با تعیین زمان مناسب برای خاتمه روش‌های مختلف حفاظت فعال و کاهش زمان عمل آنها، منجر به ذخیره انرژی می‌شود (۲۲) که این هدف نیز از طریق پیش‌بینی روند تغییر دما، طی یک شب یخبندان تابشی حاصل می‌آید.

روش‌های پیش‌بینی دمای حداقل (برای یک فاصله زمانی حداکثر ۲۴ ساعته)، برحسب نوع داده اولیه و روش بکار رفته، به دو دسته تقسیم می‌شوند: روش‌های هم‌دیدگی که فقط توسط مراکز پیش‌بینی هوا بکار می‌روند و روش‌های محلی (آماری - تجربی) که بیشتر شامل قواعدی می‌باشند که می‌توان به‌وسیله آنها تغییرات آینده بعضی از عوامل جوی را بر اساس مقادیری که ۱۲ تا ۲۴ ساعت قبل به‌دست آمده و با توجه به ویژگی‌های ناحیه مورد پیش‌بینی، برآورد کرد. از آنجایی که عوامل محلی نقش اساسی در مقدار دمای حداقل شبانه روزی دارند و این عوامل در روش‌های هم‌دیدگی (به علت مقیاس نقشه‌ها) قابل رؤیت نمی‌باشند، بسیاری از محققین سعی نموده‌اند تا با گزینش برخی از پارامترهای دیدبانی شده هواشناسی و با کمک روش‌های آماری، اثر این عوامل را روی تغییر دمای یک محل منظور نمایند. بیشتر روش‌های آماری که برای پیش‌بینی دمای حداقل بکار می‌رود دارای شرایط محدود کننده‌ای مانند آسمان صاف، باد ملایم و صفر یا تغییرات کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد دما به علت جریان افقی هوا هستند. کالما و همکاران (۱۸) یک مدل خردمقیاس پیش‌بینی دما توسط محاسبه توازن انرژی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دمای هوا تنها با در نظر گرفتن توازن انرژی سطح زمین قابل پیش‌بینی نیست؛ مگر اینکه تفاوت بین دمای هوا و دمای سطح زمین به‌طور دقیق مشخص شود که این تفاوت به علت مشکل بودن اندازه‌گیری شار تلاطم گرمای محسوس، محاسبه فرارفت و تغییرات مکانی در انتشار تابش سطحی طی شب‌های یخبندان، امکان‌پذیر نبوده است. لومی و همکاران (۱۹) یک مدل با مکانیسمی ساده را توسعه دادند که ورودی‌های آن داده‌های هواشناسی ثبت شده در زمان غروب خورشید و خروجی‌های آن دمای حداقل گیاه و سطح خاک بود که این خروجی‌ها با داده‌های آزمایشی جمع‌آوری شده از مزرعه خودفرنگی در نزدیک پاریس در زمستان مقایسه شد. نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی بستگی زیادی به تخمین درست تابش شبانه جو از داده‌های آب و هوایی مشاهده شده در زمان غروب خورشید دارد. مدل تحت شرایط آسمان صاف به نسبت شرایط ابری دارای عملکرد بهتری بود. دیمری (۱۵) معادلاتی را برای پیش‌بینی دمای حداقل بر مبنای PPM<sup>۱</sup> توسعه داد. با تعیین نوع دمای روز بعد، مدل پیش‌بینی دما برای نوع دما تهیه شد. مدل‌های دینامیکی آماری برای فصل زمستان (DJFM)، با استفاده از تحلیل رگرسیونی چند متغیره با داده‌های ۹۶-۱۹۸۴ ایستگاه مورد مطالعه (مانالی) توسعه و با داده‌های

مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد دمای حداقل در این ایستگاه در ۵۰ تا ۸۰ درصد موارد با  $\pm 2$  به‌خوبی پیش‌بینی می‌شود. امانوئل (۱۶) چهار روش متفاوت پیش‌بینی دمای حداقل را برای ایستگاه‌های واقع در دامنه وسیعی از عرض جغرافیایی در کشور یونان (با شرایط اقلیمی متفاوت) ارائه و سه تابع چندجمله‌ای (از درجه دو، سه و چهار) و یک تابع نامی و همچنین یک روش پس‌پردازش بر مبنای فیلترهای کالمن را پیشنهاد نمود. نتایج نشان داد که تابع چندمتغیره درجه چهار دارای قابلیت بالایی در پیش‌بینی دمای حداقل می‌باشد. کالا و همکاران (۱۷) یک مدل مقاومتی ایستا را که دارای دو سطح مشخص اطلاعاتی بود، ارائه دادند. این مدل سپس با داده‌های روزانه هواشناسی دوره‌ی آماری ۲۰۰۶-۲۰۰۰، در کمربند کاشت گندم در غرب استرالیا مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل اصلاح شده به ترتیب دارای دامنه‌ی RMSE و تورش از ۲/۴ تا ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و ۰/۲- تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با داده‌های دمای حداقل شبانه بود. مدل تقریباً در ۵۵ درصد زمان‌ها قادر به پیش‌بینی درست یخبندان بود و نشان داد که صدمه یخبندان به شاخ و برگ گیاه، زمانی که دمای جعبه اسکرین به کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، روی می‌دهد. در ایران، پیش‌بینی دمای حداقل (روش‌های حرارتی) در اصفهان، رامسر، مشهد و تنکابن صورت پذیرفته که بهترین نتیجه‌ی به‌دست آمده مربوط به طرق مشهد، با ضریب همبستگی ۰/۸۲ می‌باشد (۱۰). مجرد قره‌باغ (۹) با استفاده از تئوری تقاطع، خصوصیات آماری متغیرهای تصادفی را در بالا و پایین آستانه‌های بحرانی بررسی کرده و ضمن تحلیل ۱۶ شاخص یخبندان در منطقه آذربایجان، سعی در ارائه مدل پیش‌بینی آماری یخبندان کرده است. مهدویان (۱۰) نشان داد که روش همبستگی چندگانه نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی (رابطه وزنی دما، روش میخایلوفسکی، روش اسمیت، روش هواشناسی هلند و شبکه عصبی مصنوعی) از پتانسیل بالاتری برخوردار بوده؛ به‌طوری‌که دمای حداقل شبانه روزی کرج را طی هشت ماه، از اردیبهشت سال ۱۳۷۷، تا ۸/۸ درصد موارد در دامنه خطای مجاز پیش‌بینی نموده است. مالکی‌فرد و بیدختی (۸) نیز با استفاده از دو مدل برون‌ت و گروین دمای حداقل را برای ایستگاه‌های بیرجند، قائن و گناباد، در شب‌هایی که آسمان صاف و وزش باد ناچیز است، پیش‌بینی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که نتایج مدل گروین بسیار دقیق‌تر از مدل برون‌ت است؛ اما این مدل در رطوبت‌های بالا جواب‌گو نمی‌باشد. غضنفری و همکاران (۴) به منظور بررسی دینامیکی میزان کاهش دما در دره‌ها و مناطق کوهستانی و کمی کردن مقدار افت دما و همچنین پیش‌بینی دمای حداقل برای ترسیم نقشه‌های هم‌دمای حداقل، مدل MTPM را تدوین نمودند که نتایج حاصل از این مدل و مقایسه آن با داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده در منطقه ارتفاعات دربند، واقع در شمال تهران، روند گرادیان دمای حداقل را به‌خوبی نشان داد. سیاری و

می‌رسد (۲۲). یخبندان تابشی با آسمان صاف، باد آرام، وارونگی دما و پایین بودن نقطه شبنم همراه است که حتی در طول روز، ممکن است دما بالای صفر درجه سانتی‌گراد نیز باشد. علت اصلی این نوع یخبندان، منفی شدن تابش خالص در سطح زمین است (جدول ۱). روزنبرگ و مایرز (۲۰) یخبندان تابشی را دارای منشأ آنتی‌سیکلونی و وقوع آن را در داخل توده‌های وسیع و متجانس با هوای صاف و آرام همراه با وارونگی دمایی می‌دانند. در شکل ۱ نیمرخ دمایی در ساعات متفاوت، طی یک شب یخبندان تابشی (از ساعت ۱۶ بعدازظهر تا ۸ صبح روز بعد) نشان داده شده است (۲۱).

آن (۱۳) رابطه ۱ را برای محافظت در مقابل یخبندان ارایه داد (۱۳).

$$T_m = T_w - \frac{1}{4} (T_d + 16) \quad (۱)$$

که در آن  $T_m$  دمای حداقل محتمل بر حسب درجه فارنهایت،  $T_w$  درجه حرارت دماسنج تر بر حسب درجه فارنهایت در ساعت ۴:۴۵ بعد از ظهر و  $T_d$  دمای نقطه شبنم بر حسب درجه فارنهایت در ساعت ۴:۴۵ بعد از ظهر است. آن از به کار بردن فرمول خود، در مورد شب‌های صاف زمستان و بهار، نتایج کاملاً مثبتی به دست آورد. بر این مبنای هدف کاربردی نمودن پیش‌بینی دمای حداقل در مقیاس خرد (محلی)، اشنایدر (۲۲) اقدام به ارایه مدل ساده تجربی پیش‌بینی نموده است که در شرایط محلی به آسانی واسنجی می‌شود. در مدل مورد نظر از داده‌های آماری دمای هوا و نقطه شبنم دو ساعت بعد از غروب خورشید و دمای حداقل مشاهده شده طی شب‌های یخبندان آرام و با آسمان صاف، برای توسعه ضرایب رگرسیون در پیش‌بینی دقیق دمای حداقل موردنیاز طی دوره خاصی از سال استفاده می‌شود. دو ساعت بعد از غروب خورشید، زمان شروع ( $T_0$ ) برای مدل است. این زمان با زمانی که تابش خالص به بیشترین مقدار منفی خود رسیده است ارتباط دارد (۲۲).

همکاران (۳) پیش‌گویی حداقل دمای روز در دشت مشهد را با استفاده از دو روش توابع تریگونومتریک و تشخیص الگوها با انتخاب چندین سناریو مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که برای پیش‌گویی حداقل دمای شبانه روز، هر چه فاصله زمانی تا روز موردنظر برای پیش‌بینی کمتر باشد دقت پیش‌گویی روش تشخیص الگوها بالاتر است.

با وجود پژوهش‌های فراوان، در حال حاضر یک مدل کاربردی با متغیرهای ورودی سهل‌الوصول در دسترس نمی‌باشد؛ لذا همانطوری که اشنایدر عنوان داشته، بگ دانز، جورج و جابر در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد کردند که یک مدل پیش‌بینی که عوامل هواشناسی محلی و داده‌های اقلیمی خاص محل را به کار می‌برد، احتمالاً بهترین نتایج را ارایه می‌نماید (۲۲). با توجه به مطالعات قبلی و عدم ارایه یک روش ساده و قابل اعتماد برای پیش‌بینی دمای حداقل و با توجه به پیشنهاد اشنایدر (۲۱)، هدف مشخص از ارایه این مطالعه، توسعه یک مدل ساده و کاربردی برای پیش‌بینی دمای حداقل و متعاقب آن پیش‌بینی ساعتی دما طی شب‌هایی با رخداد یخبندان تابشی می‌باشد.

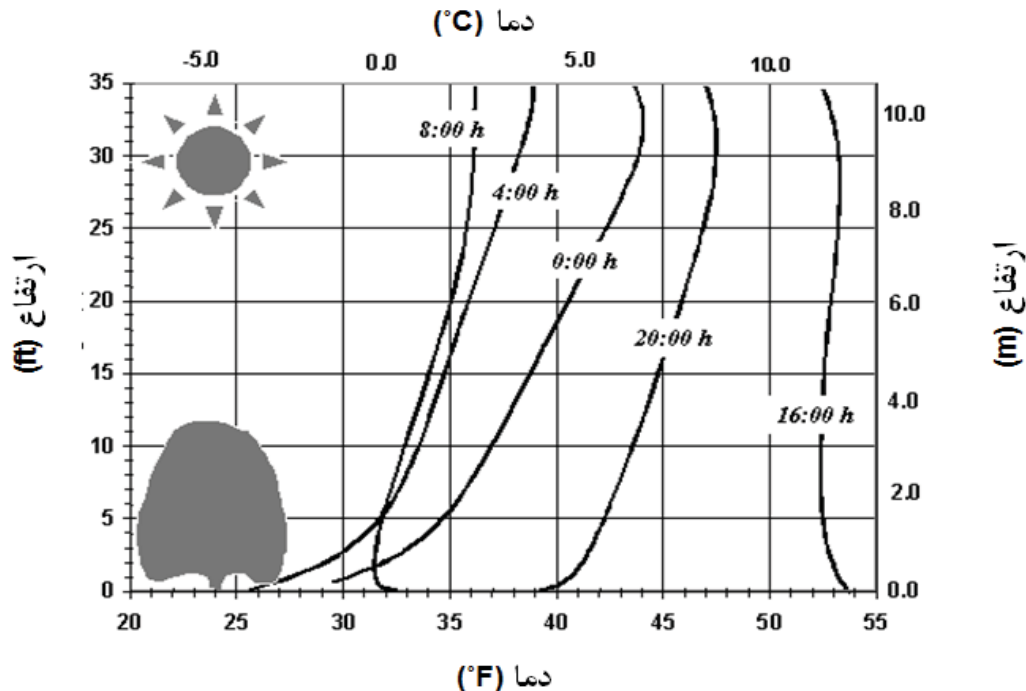
## مواد و روش‌ها

### معرفی مدل‌های مورد استفاده

به‌طور کلی یخبندان به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن دمای هوا در ارتفاع یک تا دو متری از سطح زمین به صفر یا زیر صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد. از دیدگاه هواشناسی کشاورزی، یخبندان یا سرمازدگی عبارت است از وقوع درجه حرارت‌های پایین، در حدی که منجر به خسارت به بافت‌های گیاهی (بسته به درجات حرارت بحرانی گیاه) شود (۲). یخبندان بر اساس وضعیت جوی و عوامل به‌وجود آورنده آن، به انواع فرارفتی و تابشی تقسیم می‌گردد. یخبندان فرارفتی در نتیجه ورود یک توده هوای سرد به یک منطقه است که جانشین هوای گرم حاکم در منطقه می‌شود و در شرایطی به‌وقوع می‌پیوندد که سرعت وزش باد متوسط تا شدید است، رطوبت پایین می‌باشد، وارونگی وجود ندارد و دما در روز نیز به زیر نقطه انجماد

جدول ۱- میانگین شارش‌های انرژی طی یک شب یخبندان تابشی (اشنایدر، ۲۰۰۱)

انتقال انرژی	چگالی شار (بر حسب وات بر متر مربع)
رسانش (از خاک)	+۲۸
همرفت (از هوا)	+۳۹
تابش رو به پایین (از آسمان)	+۲۳۰
تابش رو به بالا (از باغ)	-۳۱۵
اتلاف انرژی خالص از محصول	-۱۸



شکل ۱- تغییرات نیمرخ دمایی، طی یک شب با یخبندان تابشی (اشنايدر، ۲۰۰۱)

استفاده کرد. با فرض این‌که دمای حداقل پیش‌بینی شده ( $T_p$ ) صحیح است و این دما در زمان طلوع خورشید رخ می‌دهد، روند ساعتی میانگین دما طی شب، از دو ساعت بعد از غروب خورشید تا ساعت طلوع خورشید، توسط رابطه ۵ و ۶ تخمین زده می‌شود. لازم به ذکر است که می‌توان دمای حداقل مورد نیاز معادله زیر را هم از مراکز پیش‌بینی آب و هوایی و هم از مدل توسعه یافته فوق به‌دست آورد.

$$T_i = T_0 + b\sqrt{i-2} \quad (5)$$

که در آن  $i=0$  برای ساعت غروب خورشید،  $T_0$  میانگین ساعتی دما طی دومین ساعت بعد از غروب خورشید،  $i=n$  برای ساعت طلوع خورشید روز بعد و  $T_i$  میانگین دمای هوا برای  $i$  امین ساعت می‌باشد.

$$b = \frac{T_p - T_0}{\sqrt{n-2}} \quad (6)$$

از معادله ۶ برای به‌دست آوردن ضریب  $b$  استفاده می‌شود که در این رابطه،  $T_p$  دمای حداقل پیش‌بینی شده،  $T_0$  میانگین ساعتی دما طی دومین ساعت بعد از غروب خورشید و  $n$  تعداد ساعات تا طلوع خورشید در روز بعد می‌باشد. با شروع از ساعت  $i=2$  (دو ساعت بعد از غروب خورشید)، میانگین دمای ساعتی هوا برای هر ساعت تا ساعت طلوع خورشید صبح روز بعد پیش‌بینی می‌شود. با دانستن دمای بحرانی محصول مورد نظر، می‌توان شروع روش‌های حفاظت فعال را یک ساعت قبل از دمای پیش‌بینی شده (برابر با دمای بحرانی) طی

برای تعیین رابطه رگرسیون خطی، دمای حداقل مشاهده شده ( $T_n$ ) در مقابل دمای هوا در دو ساعت بعد از غروب خورشید ( $T_0$ ) محاسبه و نتایج با  $T'_p$  نشان داده می‌شود. معادله خروجی به‌صورت زیر خواهد بود (رابطه ۲):

$$T'_p = b_1 T_0 + a_1 \quad (2)$$

بعد از محاسبه  $T'_p$ ، باقیمانده‌های ( $R_1 = T_n - T'_p$ ) محاسبه می‌شود. سپس رگرسیون خطی  $R_1$  در مقابل دمای نقطه شبینم ( $T_d$ ) محاسبه و مقدار باقیمانده پیش‌بینی شده ( $R'_1$ ) بدست می‌آید.

با  $T'_p = b_1 \times T_0 + a_1$  و  $R'_1 = b_2 \times T_d + a_2$ ، دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط رابطه ۳ نشان داده می‌شود. معادله خروجی به صورت زیر (رابطه ۴) در خواهد آمد که در این رابطه  $a_3 = a_1 + a_2$  می‌باشد:

$$T_p = T'_p + R_1 = b_1 T_0 + b_2 T_d + (a_1 + a_2) \quad (3)$$

$$T_p = b_1 T_0 + b_2 T_d + a_3 \quad (4)$$

علاوه بر پیش‌بینی دمای حداقل، داشتن روند دما طی شب‌های یخبندان تابشی، برای کمک به تعیین زمان شروع و پایان روش‌های حفاظت مفید می‌باشد. از آنجایی که خسارت به یک گیاه به مقدار کاهش دما و مدت زمانی که هوا در درجه حرارت حداقل باقی می‌ماند بستگی دارد، از این روش می‌توان برای کمک به تعیین دمای هوا برای شروع به کار یا توقف آب‌پاش‌ها، به دنبال یک شب یخبندان

شب آغاز نمود.

بر اساس تفاضل بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده، ارزیابی می‌کند. RMSE به صورت زیر (رابطه ۷) تعریف می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (7)$$

در این معادله، N تعداد مشاهدات،  $P_i$  مقدار پیش‌بینی شده و  $O_i$  مقدار مشاهده شده می‌باشد. هرچه مقدار RMSE کوچک‌تر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار است. همچنین در این مطالعه، ضریب هم-بستگی پیرسون نیز به شرح معادله ۸ محاسبه گردیده است. این ضریب، رابطه بین دو متغیر پیوسته را در نظر می‌گیرد. در حقیقت رابطه دو و یا چند متغیر تابع را با هم بررسی می‌نماید (۵).

$$\rho = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{(\text{var } x)(\text{var } y)}} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (8)$$

که x و y متغیرهای تصادفی،  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  انحراف معیار متغیرهای مورد نظر و  $\rho$  ضریب همبستگی است.

می‌توان تفاوت میان مقادیر برآوردی توسط مدل و مقادیر واقعی را محاسبه و از طریق این تفاوت، علاوه بر تشخیص شکل توزیع اشتباهات، حداکثر، حداقل و دامنه نوسانات اشتباهات ممکن، شانس موفقیت در پیش‌بینی دقیق<sup>۳</sup> و پیش‌بینی با انحراف مجاز<sup>۴</sup> را نیز به دست آورد. اشتباه مدل از طریق رابطه ۹ زیر به دست می‌آید:

$$E = (P_i - O_i) \quad (9)$$

که در آن E مقدار اشتباه،  $P_i$  مقدار پیش‌بینی، و  $O_i$  مقدار مشاهده شده می‌باشد.

## نتایج و بحث

### ارایه معادله پیش‌بینی دمای حداقل

در این پژوهش با استفاده از داده‌های ساعتی دمای خشک و دمای نقطه شبنم دو ساعت بعد از غروب خورشید و دمای حداقل مشاهده شده‌ی روز بعد مربوط به شب‌های با رخداد یخبندان تابشی طی ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در ایستگاه سینوپتیک مشهد (دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۹) و با برآورد ضرایب رگرسیون، معادله‌ای برای پیش‌بینی دمای حداقل، بر اساس تنها دمای خشک دو ساعت بعد از غروب خورشید و دمای حداقل مشاهده شده در روز بعد (رابطه ۱۰) و همچنین معادله‌ای بر مبنای دمای خشک و دمای نقطه شبنم دو ساعت بعد از غروب خورشید و دمای حداقل مشاهده شده روز بعد (رابطه ۱۱) به دست آمده است.

## داده‌ها و منطقه‌ی مورد مطالعه

ایستگاه سینوپتیک مشهد با مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول و ۳۶ درجه و ۱۶ درجه عرض جغرافیایی در ارتفاع ۹۹۹/۲ متری از سطح دریا واقع شده است. از آنجایی که این ایستگاه یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاهی است، گزارش‌های مترا<sup>۱</sup> در این ایستگاه تهیه و در بازه زمانی یک ساعت و کمتر گزارش می‌گردد. دمای هوا نیز در ارتفاع دو متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود.

با توجه به نیاز این پژوهش به داده‌های ساعتی، از آمار ۱۲ ساله موجود ایستگاه مشهد برای ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۹ استفاده شده است. برای این کار در ابتدا تعداد روزهای با دمای حداقل صفر و کمتر از صفر در هر سال، برای ایستگاه مشهد طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۹ تعیین شد و سپس تعداد روزهای با دمای حداقل صفر و کمتر از صفر برای سه ماه مورد نظر استخراج گردید (شکل ۲). در شب‌هایی با دمای حداقل زیر صفر، برای تشخیص نوع یخبندان (تابشی یا فرارفتی)، از پارامترهای سرعت باد و پوشش ابر و مه طی شب مورد نظر استفاده گردیده است. شب‌های با یخبندان تابشی، با بررسی بیش از ۱۰۰۰ شب در دوره آماری انتخاب گردیده است. به این صورت که در ابتدا با بررسی دمای حداقل، شرایط وقوع یخبندان مشخص و سپس از شب‌های با سرعت باد بیش از ۲ متر بر ثانیه و یا شب‌های دارای پوشش ابر و مه، به دلیل عدم وقوع یخبندان تابشی، چشم‌پوشی شد. همچنین بر اساس نظر اشنایدر، برای تعیین معادله پیش‌بینی برای هر دوره خاص یا ماه مورد نظر، نیاز به بیش از ۵۰ شب با یخبندان تابشی می‌باشد که با توجه به دوره کوتاه آماری مورد استفاده و عدم دسترسی به سال‌های آماری بیشتر، دوره زمانی مشتمل بر ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس برای ارزیابی این مدل در ایستگاه مشهد انتخاب گردید. پارامترهای دمای خشک و دمای نقطه شبنم دو ساعت بعد از غروب خورشید و دمای حداقل مشاهده شده روز بعد مربوط به دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۹۹)، برای توسعه ضرایب رگرسیون معادله‌ی پیش‌بینی دمای حداقل به کار رفته است.

### معیارهای ارزیابی مدل‌ها

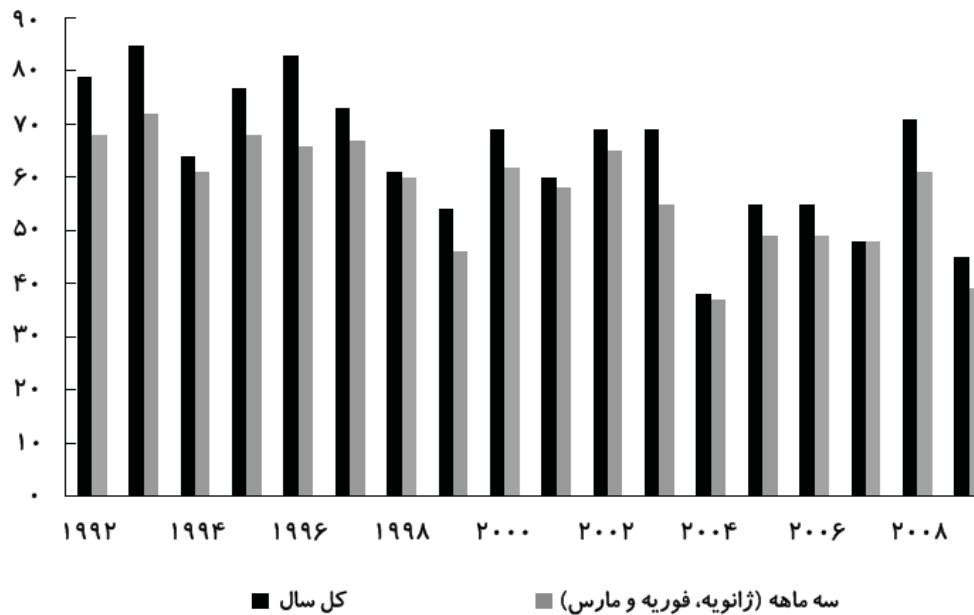
شاخص کمی که می‌توان در برآورد میزان دقت مدل استفاده نمود، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۲</sup> است که دقت مدل را

۱- نام گزارش جوی روزمره برای مقاصد هواپیمایی که هر یک ساعت یا نیم ساعت یک بار بسته به اهمیت فرودگاه تهیه می‌شود.

2-Root Mean Square Errors

۳- منظور از پیش‌بینی دقیق، پیش‌بینی با اشتباه صفر است.

۴- منظور از پیش‌بینی صحیح، پیش‌بینی با اشتباه مجاز می‌باشد. اشتباه مجاز در پیش‌بینی دمای حداقل شبانه روزی توسط اکثر محققین  $\pm 2$  درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است (مهدویان، ۱۳۷۸).



شکل ۲- تعداد روزهای با دمای حداقل صفر و کمتر از صفر در ایستگاه مشهد، طی دوره ۱۹۹۹-۲۰۰۹

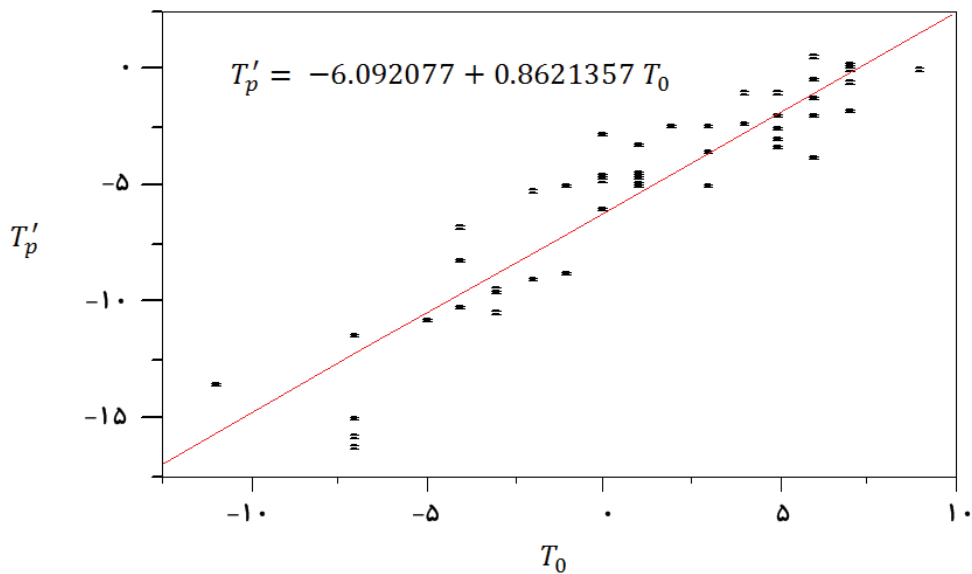
ایستگاه مشهد برای سه ماه ژانویه، فوریه و مارس، بر حسب دمای خشک و دمای نقطه شبنم به دست آمد (رابطه ۱۱):

$$T_p = 0.859T_0 + 0.095T_d + (-5.556) \quad (11)$$

معادله پیش‌بینی دمای حداقل تنها با استفاده از دمای خشک در شب‌هایی با رخداد یخبندان تابشی (۵۰ شب) عبارت است از (شکل ۳):

$$T'_p = 0.862T_0 + (-6.092) \quad (10)$$

با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴، رابطه پیش‌بینی دمای حداقل در



شکل ۳- خط رگرسیونی برازش داده شده و معادله مربوط به پیش‌بینی دمای حداقل (رابطه ۱۰)

### اعتبارسنجی مدل

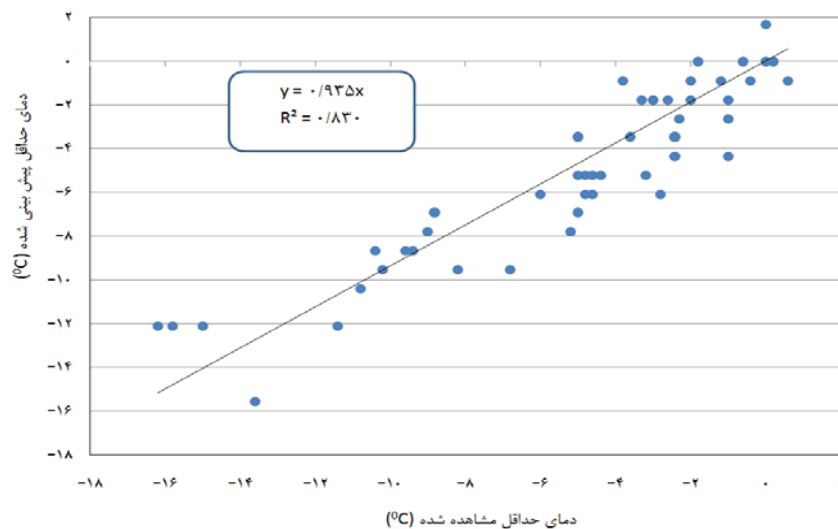
جهت بررسی معنی‌دار بودن رگرسیون خطی بالا، در نرم‌افزار JMP4، جدول تجزیه واریانس محاسبه گردید (جدول ۲). چون مقدار F محاسبه شده از مقدار F جدول بزرگتر است، لذا رگرسیون در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. همچنین معنی‌داری ضریب رگرسیون در سطح ۰/۰۱ نیز به دست آمد. علاوه بر این، ضریب تبیین ۰/۸۳ برای معادله ۱۰ محاسبه شد که نشان می‌دهد ۰/۸۳ تغییرات در دمای حداقل متأثر از متغیر مستقل دمای خشک است (شکل ۵).

جهت ارزیابی دقت مدل، RMSE روابط فوق نیز محاسبه گردید که برای رابطه ۱۰، مقدار این معیار عملکردی ۱/۶۹ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. این امر نشان می‌دهد که انحراف در حدود خط ۱:۱ تقریباً معادل ۱/۶۹ درجه سانتی‌گراد است. برای رابطه ۱۱ نیز RMSE دماهای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش-بینی شده، به میزان ۱/۶۳ درجه سانتی‌گراد بود که در این مجموعه خاص داده‌ها، مقادیر RMSE برای هر دو معادله پیش‌بینی، تفاوت زیادی ندارد.

برای ارزیابی دقیق‌تر روابط ۱۰ و ۱۱، مقادیر حداقل دمای پیش-بینی شده با این روابط در مقابل دمای حداقل مشاهده شده، در شکل‌های ۴ و ۵ ارایه شده است. همان‌طور که در اشکال مذکور قابل مشاهده است، روابط ارایه شده به خوبی توانسته‌اند مقادیر دمای حداقل را پیش‌بینی نمایند. بر اساس نمودارهای ارایه شده در شکل‌های ۴ و ۵ و با توجه به دامنه اشتباهات مدل، که از ۳/۳- تا ۳/۷+ می‌باشد، میزان پیش‌بینی مجاز مدل ارایه شده ۷۶ درصد (دامنه اشتباه مجاز ۲+ و ۲- درجه سانتی‌گراد) به دست آمد. همچنین مقدار ضریب همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۹۹ درصد، برای معادله ۱۰ معادل ۰/۹۲ و برای معادله ۱۱ معادل ۰/۹۳ محاسبه گردید. با هدف صحت‌سنجی پیش‌بینی دمای حداقل حاصل از مدل و مقایسه با دمای پیش‌بینی شده توسط مرکز پیش‌بینی خراسان رضوی، تعداد ۱۳ شب (که در برازش رگرسیونی استفاده نشده بود) انتخاب گردید (جدول ۳).

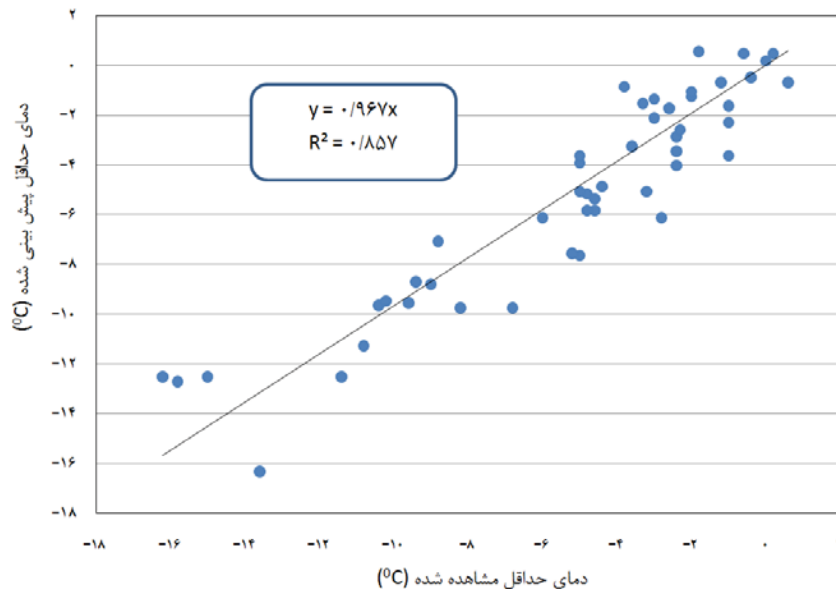
جدول ۲- تجزیه واریانس رابطه ۱۰

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	متوسط مربعات	نسبت آماره F
مدل	۱	۷۸۵/۴۴	۷۸۵/۴۴	۲۶۴/۵۳
خطا	۴۸	۱۴۲/۵۲	۲/۹۷	Prob> F
کل تغییرات	۴۹	۹۲۷/۹۶		<۰/۰۰۰۱



شکل ۴- دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش‌بینی شده با استفاده از دمای خشک (رابطه ۱۰)





شکل ۵- دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش‌بینی شده با استفاده از دمای خشک و دمای نقطه شبنم (رابطه ۱۱)

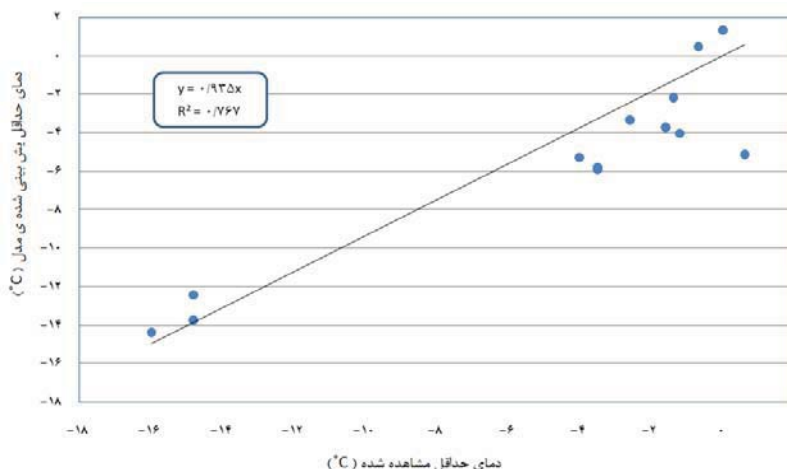
مشاهده شده و دمای پیش‌بینی شده مدل و ۰/۹۶ بین دمای مشاهده شده و دمای پیش‌بینی شده در مرکز بود. مقایسه ضرایب همبستگی به‌دست آمده نشان دهنده قابل اطمینان بودن مدل در پیش‌بینی دمای حداقل، در برابر تنها مرجع پیش‌بینی (مراکز پیش‌بینی ادارات کل هواشناسی کشور) می‌باشد.

ریشه میانگین مربعات خطا برای هر دو مقایسه به‌دست آمد که مقدار آن برای دمای حداقل مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل برابر ۲/۴ و برای دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط مرکز برابر ۱/۸ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (شکل ۶ و ۷). ضرایب همبستگی محاسبه شده در دو حالت فوق نشان دهنده‌ی اطمینان معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد، با ضریب همبستگی ۰/۹۳ بین دمای

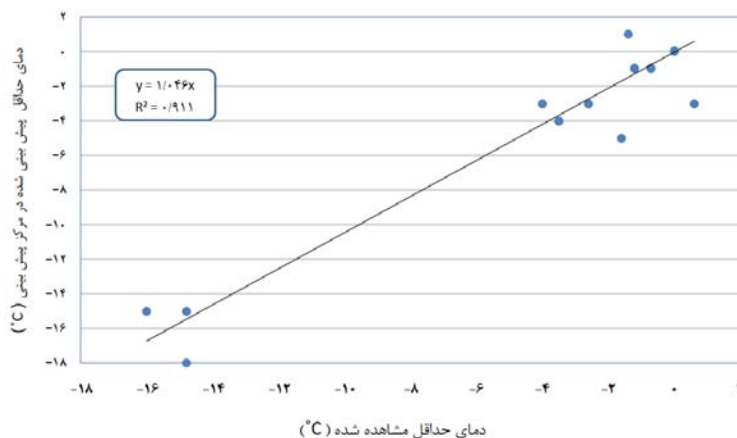
جدول ۳- دمای حداقل مشاهده شده و پیش‌بینی شده بر مبنای مدل و در مرکز پیش‌بینی

شماره	تاریخ			دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط مرکز پیش‌بینی Tp(°C)	دمای حداقل پیش‌بینی شده بر اساس رابطه ۱۱ Tp(°C)	دمای حداقل مشاهده شده Tn(°C)	دمای نقطه شبنم Td(°C)	دمای خشک To(°C)
	روز	ماه	سال					
۱	۷	۱	۲۰۰۹	۱	-۲/۲	-۱/۴	-۱	۴
۲	۱۴	۱	۲۰۰۹	-۴	-۵/۹	-۳/۵	-۴	۰
۳	۱۵	۱	۲۰۰۹	-۳	-۵/۳	-۴	-۶	۱
۴	۱۳	۲	۲۰۰۹	-۱	۰/۵	-۰/۷	۰	۷
۵	۱۳	۱	۲۰۰۹	-۴	-۵/۸	-۳/۵	-۳	۰
۶	۱۶	۱	۲۰۰۹	-۱	-۴	-۱/۲	-۲	۲
۷	۱	۱	۲۰۰۸	-۳	-۳/۴	-۲/۶	-۴	۳
۸	۲۲	۱	۲۰۰۸	-۱۸	-۱۲/۸	-۱۴/۸	-۱۴	-۸
۹	۲۴	۱	۲۰۰۸	-۱۵	-۱۲/۴	-۱۴/۸	-۹	-۷
۱۰	۲۵	۱	۲۰۰۸	-۱۵	-۱۴/۴	-۱۶	-۱۲	-۹
۱۱	۱۶	۲	۲۰۰۸	-۵	-۳/۷	-۱/۶	۱	۲
۱۲	۹	۲	۲۰۱۰	-۳	-۵/۲	۰/۶	-۵	۱
۱۳	۳۰	۱	۲۰۱۰	۰	۱/۳	۰	۰	۸





شکل ۶- دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط مدل



شکل ۷- دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش‌بینی شده در مرکز پیش‌بینی اداره کل هواشناسی خراسان رضوی

۸:۲۰ تا ۷:۲۰ دمای بین ساعت ۲۰:۰۷ تا ۲۰:۰۷ (شکل ۹)، دمای بین ساعت ۲۰:۲۰ تا ۲۰:۲۰ دقیقه،  $-4/5$  درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌شود. مقدار RMSE برای پیش‌بینی ۱۳ ساعت طی شب ۴ ژانویه ۲۰۰۷ و ۳۰ ژانویه ۲۰۱۰ به ترتیب  $0/6$  و  $0/8$  درجه سانتی‌گراد و ضریب همبستگی به ترتیب  $0/93$  و  $0/96$  می‌باشد که هر دو در سطح  $0/01$  معنی‌دار هستند.

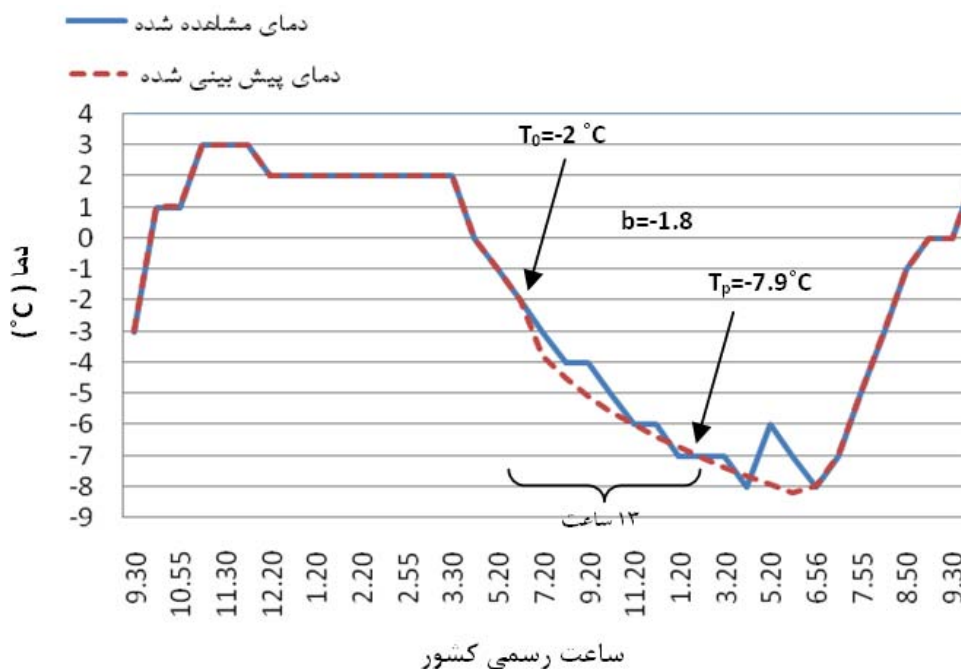
### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

همان‌طور که قبلاً عنوان شد، یخبندان و سرمازدگی خسارت زیادی را در بخش کشاورزی به همراه دارد که عمده این خسارت به جهت تأثیر مستقیم این پدیده بر روی تولیدات گیاهی و محصولات زراعی است. خسارت این پدیده نه‌تنها در سال بروز آن، بلکه در برخی از مواقع برای سال‌ها در بخش کشاورزی باقی می‌ماند؛ بنابراین پیش‌بینی یخبندان، حتی با مدل‌های با دقت کم، می‌تواند بسیار ثمر بخش باشد.

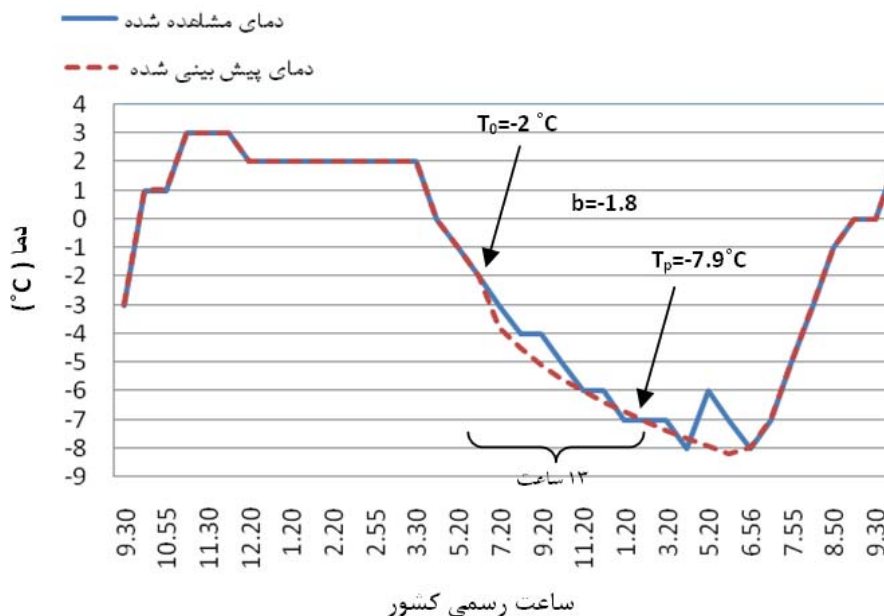
### پیش‌بینی روند دما

جهت پیش‌بینی ساعتی دما طی شب‌های یخبندان تابشی، ۳۰ ژانویه ۲۰۱۰ و ۴ ژانویه ۲۰۰۷ در ایستگاه مشهد به‌عنوان شب‌هایی با رخداد یخبندان تابشی (آسمان صاف طی شب، سرعت باد کمتر از ۲ متر بر ثانیه و دمای نقطه شبنم پایین)، انتخاب شد. با استفاده از رابطه ۱۰ دمای حداقل برای هر دو شب پیش‌بینی گردید (به ترتیب  $1/3$  و  $-7/9$  درجه سانتی‌گراد). سپس با استفاده از روابط ۵ و ۶ دمای ساعتی در طول شب پیش‌بینی شد که نمودارهای مربوطه در شکل‌های ۸ و ۹ ارایه شده است.

در هر زمان مشخصی از شب با یخبندان تابشی، دمای هر ساعت از دمای میانگین ساعتی پیش‌بینی شده برای ساعت قبلی قابل محاسبه است؛ بنابراین زمان بحرانی برای شروع هر نوع روش حفاظت فعال یخبندان، یک ساعت قبل از دمای با خسارت بحرانی خواهد بود. برای مثال با استفاده از دمای پیش‌بینی شده برای ساعت



شکل ۸- دمای میانگین ساعتی مشاهده شده و پیش‌بینی شده طی یخبندان تابشی ۳۰ ژانویه ۲۰۱۰ در ایستگاه سینوپتیک مشهد



شکل ۹- دمای میانگین ساعتی مشاهده شده و پیش‌بینی شده طی یخبندان تابشی ۴ ژانویه ۲۰۰۷ در ایستگاه سینوپتیک مشهد

تابشی، با ضریب اطمینان نسبتاً بالا پیش‌بینی کرد. این بررسی نشان داد که در صورت استفاده از دمای خشک دو ساعت بعد از غروب آفتاب برای پیش‌بینی حداقل دما، ضریب همبستگی پیرسون در سطح

نتایج حاصل از تحقیق مذکور نشان داد که به کمک داده‌های ساعتی دمای خشک و دمای نقطه شبنم دو ساعت بعد از غروب خورشید می‌توان حداقل دما را در طی شب‌های با رخداد یخبندان

برخی موارد پایین‌تر از مقدار مشاهده شده خواهد بود. از این مدل می‌توان به عنوان یک راهنما برای اعلام زمانی که دما به طور تقریبی به مقدار بحرانی می‌رسد استفاده کرد. جهت چنین هدفی ضروری است که دمای هوا طی شب برای تعیین زمان شروع حفاظت یخبندان به‌دقت پایش شود.

لازم به توضیح است که با توجه به کافی بودن داده‌های مورد نیاز، مدل ارائه شده برای این تحقیق در دوره زمانی ژانویه، فوریه و مارس، واسنجی گردیده است؛ اما با توجه به نصب بیش از ۴۴ ایستگاه دارای دستگاه ثبت هم‌زمان داده در سطح استان و در دسترس بودن داده‌های دما، با فاصله زمانی ساعتی و کمتر از آن در مقیاس محلی، به‌نظر می‌رسد که امکان برآزش این‌گونه معادلات رگرسیونی و به‌دست آوردن روابط مناسب و کاربردی برای پیش‌بینی دمای حداقل در چنین مقیاسی و در بازه‌های زمانی مناسب، در آینده مهیا خواهد شد.

معنی دار ۹۹ درصد، معادل ۰/۹۲ و برای زمانی که از اثر ترکیبی دمای خشک و دمای نقطه شبنم استفاده می‌شود، معادل ۰/۹۳ خواهد بود. ضمناً مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با حداقل دمای پیش‌بینی شده در اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، نشان دهنده قابل اطمینان بودن مدل در پیش‌بینی دمای حداقل می‌باشد.

بررسی نتایج پیش‌بینی دما در طی شب‌های یخبندان تابشی برای شروع فعالیت‌های حفاظتی، نیز نشان داد که به کمک مدل ارائه شده می‌توان با اطمینان بالا (ضریب همبستگی بالای ۹۰ درصد) زمان شروع فعالیت‌های حفاظتی را یک ساعت قبل از بروز خسارت تعیین نمود. از آنجایی که هدف از این پیش‌بینی، صدور هشدار جهت آسادی و تعیین ساعت تقریبی شروع روش‌های حفاظت فعال می‌باشد، به‌نظر می‌رسد که به کمک این روش می‌توان فعالیت‌های حفاظتی سودمندی را انجام و از بروز خسارت زیاد جلوگیری کرد. واضح است که در بعضی زمان‌ها دمای پیش‌بینی شده بالاتر و در

## منابع

- ۱- اقتداری م. ۱۳۸۶. بررسی و تعیین نوع یخبندان در استان خراسان رضوی. پایان نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی موسوی، م.، کمالی، غ.، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- بهیار م. ۱۳۸۰. پیش بینی حداقل خاک و روش های مبارزه با یخبندان و سرمازدگی در استان چهارمحال و بختیاری. طرح پژوهشی. پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.
- ۳- سیاری ن.، بنایان م.، علیزاده ا. و بهیار م. ۱۳۸۹. بررسی امکان پیش بینی زمان وقوع یخبندان با استفاده از روش تشخیص الگوها. نشریه آب و خاک ۲۴ (۱): ۱۱۷-۱۰۷.
- ۴- غضنفری م.، موسوی بایگی م. و ثنایی نژاد ح. ۱۳۸۷. طراحی و اجرای یک مدل ترمودینامیکی به منظور پیش‌بینی دمای حداقل ناشی از تجمع هوای سرد در مناطق کوهستانی (مطالعه موردی در ارتفاعات دربند تهران)، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲ (۲): ۱۷۳-۱۶۵.
- ۵- فارسی م. ۱۳۸۷. آمار کاربردی در کشاورزی و علوم زیستی. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد.
- ۶- کریمی م. و برزی م.ت. ۱۳۷۸. بررسی اثرات سرما و یخبندان در گیاهان زراعی و باغی و روش‌های مقابله با آن. دومین همایش سرما و یخزدگی گیاهان باغی و زراعی کشور. وزارت جهاد کشاورزی.
- ۷- کمالی غ.، رحیمی م.، محمدیان ن. و مهدویان ع. ۱۳۸۶. پیش‌بینی زمان گلدهی سیب رقم گلدن براساس نیازهای تجمعی سرمای جهت جلوگیری از خسارت یخبندان در منطقه گل‌مکان خراسان. مجله علوم انسانی، جلد ۲۲ (۱): ۱۸۲-۱۷۱.
- ۸- مالکی فرد ف. و بیدختی ع. ۱۳۸۳. اثر انتشار امواج فروسرخ در سرمایش شبانه لایه سطحی و پیش‌بینی دمای حداقل در منطقه کویری جنوب خراسان. بیابان ۹ (۲): ۳۴۴-۳۳۱.
- ۹- مجرد قره باغ ف. ۱۳۷۷. تحلیل و پیش بینی یخبندان در آذربایجان. رساله دکتری اقلیم شناسی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۰- مهدویان ع. ۱۳۷۸. پیش‌بینی محلی دمای حداقل شبانه روزی در منطقه کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد. هواشناسی کشاورزی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۱۱- نوحی ک.، پدرام م.، صحرائیان م. و کمالی غ. ۱۳۸۶. بررسی و تحلیل آغاز و خاتمه یخبندان های تابشی - فرارفتی و فرارفتی در استان های آذربایجان شرقی و غربی. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۷۵: ۷۹-۸۵.
- ۱۲- هژبرپور ق. و علیجانی ب. ۱۳۸۶. تحلیل هم‌دید یخبندان‌های استان اردبیل، جغرافیا و توسعه ۵ (۱۰): ۱۰۶-۸۹.
- 13- Allen C.C. 1957. A simplified equation for minimum temperature prediction. Monthly Weather Review, 85: 119-120.
- 14- Cellier P. 1993. An operational model for predicting minimum temperatures near the soil surface under clear sky conditions. Journal of Applied Meteorology, 32(5): 871-883.

- 15- Dimri A.P., Mohanty U.C., and Rathore L.S. 2005. Minimum Temperature Forecast at Manali, India. *Current Science*, 88 (6): 927-934.
- 16- Emmanouil G., Galanis G., and Kallos G. 2006. Statistical methods for the prediction of night-time cooling and minimum temperature. *Meteorol. Appl*, 13 (2): 169-178.
- 17- Kala J., Lyons T.J., Foster I.J., and Nair U.S. 2009. Validation of a Simple Steady-State Forecast of Minimum Nocturnal Temperatures. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48 (3): 624-633.
- 18- Kalma J.D., Laughlin G.P., Caprio J.M., and Hamer P.J.C. 1992. *Advances in Bioclimatology*, 2. The Bioclimatology of Frost. Berlin: Springer-Verlag. 144p.
- 19- Lhomme J.P., and Guilioni L. 2004. A simple model for minimum crop temperature forecasting during nocturnal cooling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123 (1-2): 55-68.
- 20- Rosenberg N., and Myers R.E. 1962. The Nature of Growing Season Frosts in and Along the Platte Valley of Nebraska. *Monthly Weather Review*, 90(1): 471-476.
- 21- Snyder R.L. 2001. Principles of Frost Protection, FP005 Quick Answer, Extension Biometeorologist University of California Davis, Atmospheric Science, CA 95616, U.S.A. <http://biomet.ucdavis.edu/frostprotection/Principles%20of%20Frost%20Protection/FP005.html>.
- 22- Snyder R.L., and Paulo de Melo-Abreu J. 2005. *Frost Protection: fundamental, practice and Economics*, Vol. 1, FAO.

## Forecasting Occurrence of Radiation Frost with the Minimum Weather Data

H. Ansari<sup>1\*</sup> - M. Kohi<sup>2</sup> - N. Salehnia<sup>3</sup>

Received: 26-2-2011

Accepted: 15-1-2012

### Abstract

Amongst different kinds of frosts, radiation frost is very important; because of frequency occurrence and is controllable well with active protection methods in agricultural sector. Along with radiation frost monitoring, Precise forecasting of the minimum temperature and hourly estimation of its variations (trend) during the nights with frost event for starting and ending time determination of the active protection methods is satisfied. Therefore, using an experimental forecasting model, which can calibrate to meet local conditions and have a simple application, it seems essential. Thereafter, this study aimed at predicting the minimum temperature using a simple regression model and estimating the temperature trend during these kinds of nights. In this paper, using hourly synoptic data of Mashhad station for January, February and March during 1999-2010, meanwhile separating radiation frost from advection frost, dew point temperature and dry temperature two hours after sunset embedded for developing the prediction model of minimum temperature. Then, according to the predicted minimum temperature, the temperature trend during the night hours with radiation frost event was incident prediction. In the significant confidence level of 99 percent, Pearson correlation coefficient value between observed and predicted minimum temperatures based on developed model was 0.93. The amount of root mean square error (RMSE) for the developed model is 1.63 °C and the amount allowed this model predicted 76 percent. In forecasting the occurrence of temperatures during the nights with radiation frost event in 2010, the amount of RMSE is 0.7 °C and correlation coefficient is more than 0.90 (significant at 0.01) respectively.

**Keywords:** Radiation Frost, Minimum Temperature, Model, Forecasting, Mashhad

---

1,2,3- Associate Professor, MSc Student and Former MSc Student of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively  
(\* - Corresponding Author Email: ansari\_hos@yahoo.com)