

پیش بینی وقوع یخبندان تابشی با استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی مطالعه موردی: شاهرود، استان سمنان

غلامرضا جانباز قبادی*

استادیار گروه جغرافیا، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۸

چکیده

از میان انواع یخبندان‌ها، یخبندان تابشی به لحاظ فراوانی وقوع و امکان حفاظت مؤثر توسط روش‌های فعال، از اهمیت زیادی برخوردار است؛ بنابراین پیش بینی دقیق دمای حداقل، با استفاده از یک مدل پیش بینی 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 از این پژوهش پیش‌بینی دمای حداقل با استفاده از یک مدل چند جمله‌ای می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ساعتی ایستگاه سینوپتیک شاهرود در ماه‌های ژانویه، فوریه طی دوره آماری ۱۹۸۴-۲۰۱۰ واز پارامترهایی مانند دمای خشک در زمان غروب و h ساعت بعداز غروب آفتاب و دمای حداقل روز بعد، مدل پیش بینی دمای حداقل ارائه گردید. مقدار ضریب همبستگی مربوط به داده‌های دمای حداقل مشاهده شده و پیش بینی شده توسط مدل، حاکی از اطمینان بالای معنی داری می‌باشد. همچنین مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل ارائه شده در ماه ژانویه به میزان ۰/۲ درجه سانتیگراد رسیده است.

واژگان کلیدی: پیش بینی دمای حداقل، یخبندان تابشی، مدل، شاهرود.

مقدمه

از دیدگاه هواشناسی کشاورزی، یخبندان، به محض وقوع درجه حرارت‌های پایین، درحدی که به خسارت بافت‌های گیاهی منجر شود اطلاق می‌شود. یخبندان تقریباً هر فعالیتی را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد و وسعت ناشی از وقوع این پدیده، بسیاری از فعالیت‌های انسانی را تحت الشعاع خود قرار می‌دهد و به بخش‌های مختلف از جمله: کشاورزی، آب، تهیه و توزیع سوخت، جهانگردی، حمل و نقل و صنعت آسیب وارد می‌کند که در این میان تأثیر مخرب این پدیده در بخش کشاورزی، به دلیل میزان بالای آسیب وارده بسیار چشمگیر است. وقوع یخبندان که همواره با کاهش دما همراه است در مصرف بیشتر انرژی سهم بسزایی دارد، اکثر کشورهایی که با این پدیده مواجه هستند گاهی

با قطعی و یا کمبود انرژی رو به رو هستند که می‌توانند تبعات منفی اقتصادی، سیاسی و اجتماعی به دنبال داشته باشد (فرج زاده، ۱۳۹۲). امروزه بسیاری از فعالیتهای بشری تحت تأثیر عوامل جوی قرار می‌گیرند. بارندگی و دمای حداقل جزء مهمترین پارامترهایی هستند که در بسیاری از کشورها برای استفاده عموم پیش بینی می‌شوند. پیش بینی دمای حداقل، در بخش‌های صنعت آب و برق، تأمین سوخت مصرفی جهت گرمایش محیط زندگی، راه و ترابری، ساختمان سازی و بسیاری از بخش‌های دیگر کاربرد وسیعی دارد (Sakcali, 2008)؛ مانند بسیاری از نقاط جهان، آسیب یخبندان در مناطق مختلف ایران قابل ملاحظه است. برای مثال آسیب‌های یخبندان به بخش کشاورزی استان خوزستان در اسفند ماه ۱۳۷۵ بالغ بر ۳۰ میلیارد تومان بوده است (کریمی وبرزی، ۱۳۷۸). در استان مازندران وقوع سرمازدگی در آذر ۹۵ سبب آسیب‌ها بیش از ۹ هزار میلیارد ریال به کشاورزان و باغداران و دامپروران شده است (سایت basijnews). شهرستان شاهرود T یکی از بزرگ‌ترین شهرستان‌های کشور به لحاظ مساحت و قرار گیری در موقعیت خاص جغرافیایی و واقع شدن در ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا و دارا بودن بیش از ۹۰ روز یخبندان در سال، دارای محصول‌های مهم زراعی و باغی مانند باغ انگور، سیب درختی، سیب زمینی، زعفران و زردآلو؛ که میزان تولید زردآلو شاهرود ۱۰٪ تولید زردآلو ایران و بیش از ۱٪ تولید زردآلو دنیا می‌باشد. از لحاظ تولیدات کشاورزی، شهرستان شاهرود در سطح استان مقام اول و در کشور جزء ۱۹ قطب کشاورزی است. این شهرستان به طور متوسط سالانه برداشتی در حدود ۲۴۲ هزار تن محصولات زراعی و باغی و ۹۵ هزار تن انگور را دارد. گفتنی است بیش از ۶۰ درصد مساحت سطح زیر کشت این شهرستان مربوط به باغ انگور است. چنانچه این شهرستان با ورود یخبندان زود رس پاییزه و یا بهاره روبرو شود، آسیب‌های جبران ناپذیری به بخش کشاورزی و باغداری و دامپروری وارد خواهد شد. به همین دلیل پیش بینی به موقع وقوع یخبندان و یا دانستن زمان وقوع دمای حداقل جهت جلوگیری از آسیب‌های در امر کشاورزی امری بسیار ضروری است. شاغلین حرفه کشاورزی یکی از مهمترین مصرف کنندگان پیش بینی دمای حداقل می‌باشند. همه ساله بخش عظیمی از منابع اقتصادی کشورها در بخش کشاورزی بعثت آسیب‌های ناشی از سرمابری و یخبندان از بین می‌رود. در تمام فعالیتهای کشاورزی از مرحله کاشت تا برداشت و انبارداری و حمل و نقل محصولات، دمای محیط می‌تواند نقش عمده‌ای را ایفا نماید که با پیش بینی دمای حداقل شبانه روزی می‌توان ضمن جلوگیری از آسیب‌های احتمالی، سایر فعالیتهای این بخش را نیز برنامه ریزی کرد (Verstrate, Brink 2008، رحیمی، ۱۳۷۸).

پیش بینی دمای حداقل، فقط از نقطه نظر حرارت‌های خیلی پائین و یخبندان مطرح نیست بلکه در بسیاری از فعالیتهای شبانه خصوصاً کار و سرگرمی‌های اجتماعی، برنامه‌های دید و بازدید و اجتماع‌های شبانه مورد نیاز می‌باشد (کوانتا، ۱۳۵۴). استفاده کنندگان دیگری نیز وجود دارند و علل نیاز آنها به پیش بینی دمای حداقل، بقدری متنوع می‌باشد که شرح آن به درازا می‌انجامد. بعضی از کاربران احتیاج به پیش بینی دماهای «بحرانی» دارند. آن‌ها نیاز به دانستن این موضوع دارند که چه شبی دما از یک سطح و مبنایی پایین‌تر می‌رود. میزان دقیق دمای حداقل برای این نوع استفاده کنندگان مطرح نمی‌باشد (Emmanouil, Galanis 2006، انصاری، ۱۳۹۱).

به هر حال پیش بینی دقیق دمای حداقل گرچه مشکل تر بوده اما می تواند اساس پیش بینی دمای «بحرانی» نیز می باشد. در برآورد دمای حداقل از پارامترهای هواشناسی متعددی در تجزیه و تحلیل آماری استفاده می شود (Humphreys, 2003).

رویتر^۱ (۱۹۵۱) برای اصلاح معادله برانت و گروئن سعی کرد تا با وارد کردن انتقال گرمای ناشی از باد و حرکت های پیچکی^۲ در تئوری فوق بر این اشکال فائق شود.

در ایران توسط شرکت مهندسی مشاور رومانی (کوانتا) با همکاری سازمان هواشناسی کشور در اصفهان، رامسر و مشهد از مقادیر اندازه گیری شده R_{H} در محله ای فوق الذکر به منظور پیش بینی دمای حداقل استفاده شده که نتیجه چندان رضایت بخشی در بر نداشته است (کوانتا، ۱۳۵۴).

ساندرز^۳ (۱۹۷۵) اثبات کرده است که کاهش دما در شب یکنواخت نیست و بنابراین سرعت افت دما طی شب نیز ثابت نمی ماند. روش برون یابی با توجه به منحنی های تغییرات شبانه روزی دما می تواند نتایج صحیح تری بدست دهد مشروط بر اینکه در سرعت باد طی شب تغییرات وسیع روی ندهد.

هامفریز^۴ (۱۹۹۵) اظهار می نماید که دمای حداقل به طور معنی داری از دمای نقطه شبنم اندازه گیری شده ابتدای شب پایین تر نمی رود. دلیل آن هم آزاد شدن گرمای نهان در موقع رسیدن دما به نقطه شبنم می باشد. قانون وی در شکل ساده اش بیشتر در اقلیم های خیلی مرطوب و یا در دوره های به خصوصی از سال برای تعیین دمای حداقل به کار می رود.

داده ها و روش ها

-معرفی مدل های مورد استفاده

یخبندان تابشی، در اثر تابش شبانه زمین و کاهش دمای سطح زمین رخ می دهد که با آسمان صاف و جو آرام (سرعت باد کمتر از ۸ کیلومتر در ساعت) دمای نقطه شبنم پایین و با وارونگی دما همراه است. در یخبندان تابشی، دما در طول شب زیر صفر درجه می باشد اما در روز بالای صفر درجه می باشد (امیدوار، ۱۳۹۲). در شکل ۱، تغییرات نیمرخ دمایی در ساعات مختلف، طی یک شب یخبندان تابشی (از ساعت ۱۶ بعد از ظهر تا ۸ صبح روز بعد) نشان می دهد (اشنایدر، ۲۰۰۱). اصول حفاظت علیه یخبندان می تواند بهتر از همه در قالب تراز انرژی شبانه مشهود شود. هدف اصلی حفاظت از یخبندان حفظ دما و موقعیت حرارتی حجم خاک، نبات یا هوا از بعضی از دماهای بحرانی است؛ زیرا که دماهایی کمتر از آن می تواند باعث صدمه به گیاهان شود. شرایط ایده آل برای ایجاد یخبندانهای تشعشی مسیر بادهای کاتاباتیک است؛ از این رو پیشنهاد می شود که از انتخاب مناطقی که هوای سرد می تواند در آنجا راکد شود اجتناب گردد. این مناطق شامل

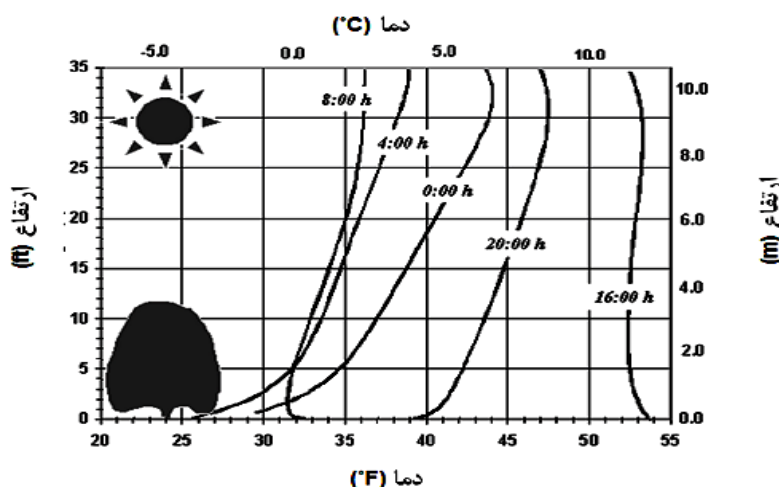
¹-Reuter

²-Eddy

³-Sanders

⁴-Humpherys

نواحی پست، مانند دره‌ها، حوزه‌های فرورفته، چاله‌ها، همچنین بعضی موانع موجود در سرراشایی‌ها، مانند پرچین، ساختمان‌های بلند، پشته‌های خیابانی و خطوط راه آهن و ... است (کاویانی، ۱۳۸۰).



شکل ۱: تغییرات نیمرخ دمایی، طی یک شب با یخبندان تابشی (اشنایدر، ۲۰۰۱)

گان‌دیا^۵ و همکارانش (۱۹۸۵) از یک تکنیک نمایی برای پیش‌بینی دمای حداقل، T_m ، در خلال یک شب صاف با سرعت باد کم در منطقه مورد مطالعه، استفاده کردند. به طور دقیق‌تر T_m بر اساس آگاهی از دمای هوا T_h ساعت پس از غروب آفتاب تا طلوع آفتاب و دمای T_0 ، دمای هوا به هنگام غروب آفتاب، به وسیله فرمول (رابطه ۱) برآورد می‌شود.

$$\ln\left(\frac{T_h - T_m}{T_0 - T_m}\right) = A_1 h + A_0 \quad (1)$$

پارامترهای ثابت A_0 و A_1 به وسیله تنظیم حداقل مربعات با استفاده از پایگاه داده‌های مشاهدات گذشته، بدست می‌آمدند. با وجود این واقعیت که نتایج متناظر نشان داده شده در مقاله آنها بسیار رضایت بخش بود، روش فوق سرمایش شبانه را فقط در حالت‌هایی که دما به طور پیوسته کاهش یابد (بدون هیچ افزایش در فواصل میانی)، به خوبی شبیه سازی می‌کند اگرچه این‌گونه تغییرات در طبیعت بسیار معمول هستند، به خاطر یکنواختی ثابت نمی‌توانند به وسیله توابع نمایی نمایش داده شوند (Karlsson, 2000) در این پژوهش روشی متفاوت برای پیش‌بینی سرمایش پیشنهاد شد تا بر اشکالات مذکور غلبه نماییم. به علاوه از یک روش پس پردازشی برای بهبود خروجی نهایی به وسیله حذف هر خطای استاندارد ممکن، استفاده می‌نماییم. به طور دقیق‌تر، ما ابتدا شکل لگاریتمی (انصاری، کوهی، ۱۳۹۱) را به یک شکل چند جمله‌ای (رابطه ۲) تغییر می‌دهیم:

$$\frac{T_h - T_m}{T_0 - T_m} = A_0 + A_1 h + A_2 h^2 \quad (2)$$

در ابتدا همانند حالت نمایی، با استفاده از داده‌های T_0 ، T_m ، T_h که در گذشته به دفعات دیده‌بانی شده‌اند و به وسیله رگرسیون حداقل مربعات، ضرایب را برآورد می‌کنیم. سرانجام ضرایب بدست آمده برای $i=1,2,3$ A_i ، ضرایب ثابت برای

⁵ -Gandia

پیش بینی T_m به وسیله رابطه (۲) به کار می‌روند؛ که فرض می‌شود T_0 و T_h در زمان فعال سازی مدل یعنی h ساعت پس از طلوع آفتاب معلوم می‌باشند. مقدار دقیق h مناسب با ویژگی‌های فصل، تعیین می‌شود و به زمان غروب آفتاب بستگی دارد. در این مطالعه، h همیشه برابر با ۳ در نظر گرفته می‌شود. باید توجه داشت که استفاده از این تابع مرتبه دوم نه تنها اختیار کردن مقدار حداقل دما را تضمین می‌کند بلکه شبیه سازی هر وارونگی ساده را نیز تضمین می‌نماید. با توجه به این موارد، در گام دیگر، می‌توانیم چند جمله‌ای مرتبه سه را براساس (رابطه ۳) در نظر بگیریم.

$$\frac{T_h - T_m}{T_0 - T_m} = A_0 + A_1 h + A_2 h^2 + A_3 h^3 \quad (3)$$

که می‌تواند علاوه بر وارونگی‌های دما در خلال شب، یک مقدار حداقل دوم ممکن را نیز باز تولید نماید. چنین تغییراتی می‌تواند ناشی از تغییرات موقتی در شرایط هواشناسی محلی بروز کند (برای مثال افزایش سریع سرعت باد، ابری بودن در مقیاس محلی و غیره). در نهایت، حتی یک تابع چند جمله‌ای انعطاف پذیرتر مرتبه چهارم نیز پیشنهاد شده، در مقابل مدل‌های قبلی آزموده می‌شود. همانگونه که در پایان مقاله ثابت می‌شود، روش چند جمله‌ای‌های مرتبه چهارم در شبیه سازی سری زمانی با دو مقدار حداقل و افزایش دما در فواصل میانی، دقیق‌ترین روش نسبت به روش‌های قبلی به شمار می‌آید. از آنجایی که مطالعه ما در مورد سرمایش شبانه‌ی ناشی از تابش گرمایی است، برآورد ضرایب بر معیارهای زیر مبتنی است:

- پوشش کل ابر کمتر از $\frac{3}{8}$ باشد؛
- متوسط سرعت باد کمتر از 3 m/s باشد؛
- هیچ بارشی رخ نداده باشد.

شاخص کمی که می‌توان در برآورد میزان دقت مدل استفاده نمود، ریشه میانگین مربعات خطا $RMSE^6$ است که دقت مدل را براساس تفاضل بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده، ارزیابی می‌کند. طبیعتاً این شاخص هر چقدر به صفر نزدیکتر باشد، نمایانگر اختلاف کمتری بین آنها خواهد بود. $RMSE$ به صورت (رابطه ۴) تعریف می‌شود:

$$RSEM = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (4)$$

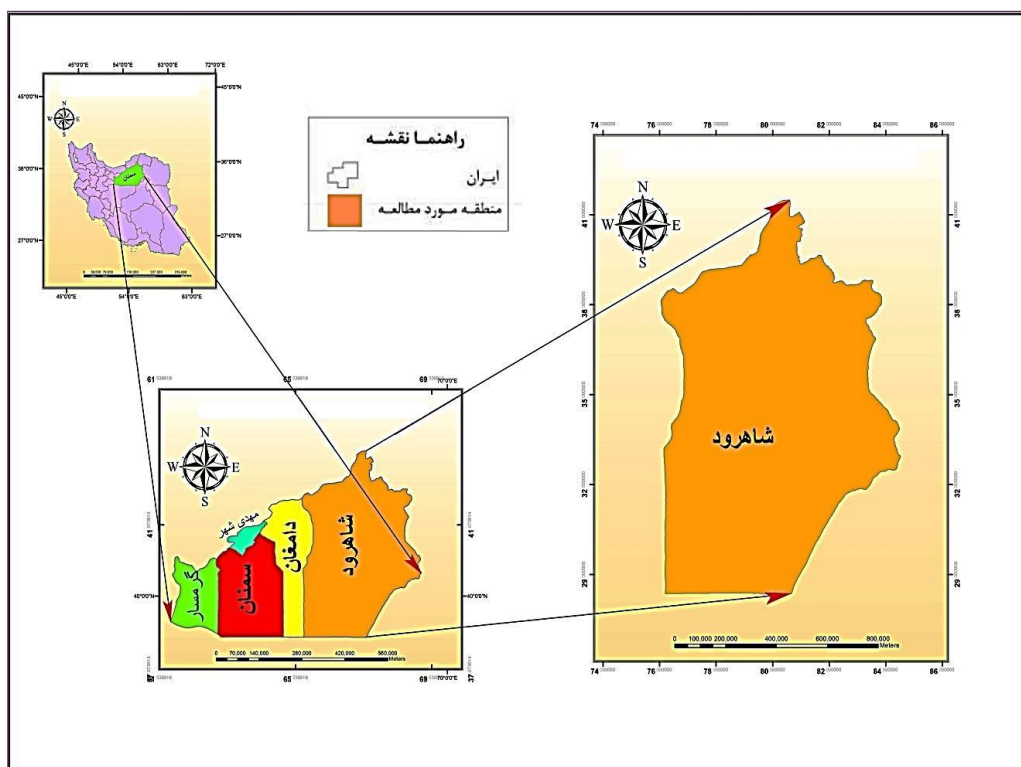
در این رابطه P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر مشاهده شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸).

– منطقه‌ی مورد مطالعه، داده‌ها و روش کار

ایستگاه سینوپتیک شاهرود با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی در ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۲). از آنجایی که این ایستگاه یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک است گزارش هوا در بازه زمانی سه ساعته تهیه و ارسال می‌شود. دمای هوا نیز در ارتفاع دو متری از سطح زمین اندازه گیری می‌شود. برای این کار با استفاده از آمار ۲۷ ساله (دوره آماری ۱۹۸۴-۲۰۱۰)، داده‌های مربوط به دمای

6- Root Mean Square Error

خشک، میزان ابرناکی، سرعت باد، میزان بارندگی تهیه و سپس با برآورد ضرایب رگرسیون، معادله‌ای برای پیش بینی دمای حداقل، براساس دمای خشک در زمان غروب آفتاب و h ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای حداقل مشاهده شده روز بعد به دست آمده است. پس از انجام محاسبه‌ها و برنامه نویسی در محیط اکسل و استفاده از توابع شرطی، برای همراه و به صورت جداگانه معادلات چند جمله‌ای برای همراه از سال بدست آمد، برای اینکار ابتدا برای تشخیص و جداسازی شب‌هایی با یخبندان تابشی یا فرارفتی، از پارامترهای سرعت باد و پوشش ابر و مه طی شب مورد نظر استفاده گردید (Galanis, 2002). سپس بعد از جداسازی شب‌های با یخبندان تابشی یا فرارفتی، پارامترهای دمای حداقل، دمای هوا در زمان غروب آفتاب و h ساعت بعد از غروب آفتاب که به طول روز در منطقه بستگی دارد، معادلات در نهایت از نظر معنی دار بودن ضرایب ثابت، مورد بررسی و تحلیل آماری قرار گرفتند. با هدف صحت سنجی پیش بینی دمای حداقل حاصل از مدل و مقایسه با دمای حداقل واقعی، تعدادی روز از ماه‌های مورد نظر در سال ۲۰۱۴ میلادی انتخاب گردید و ریشه میانگین مربعات خطا برای هر مقایسه مورد نظر بدست آمد که مقدار آن برای دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش بینی شده مدل برابر درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۳ و ۴). همچنین ضرایب همبستگی محاسبه شده در دو حالت فوق نشان دهنده اطمینان معنی داری در سطح پایین‌تر از ۰/۰۵ درصد، با ضرایب همبستگی مختلف بین دمای مشاهده شده و دمای پیش بینی شده توسط مدل بود. ضرایب بدست آمده نشان دهنده قابل اطمینان بودن بعضی از روابط در پیش بینی دمای حداقل توسط مدل‌های بدست آمده می‌باشد



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه منبع: نگارنده

نتایج و بحث

ارائه معادله پیش بینی دمای حداقل

در این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی (دیدۀ بانی سه ساعته) دمای خشک، میزان ابرناکی، سرعت باد، میزان بارندگی در دوره‌های مختلف آماری و با برآورد ضرایب رگرسیون، معادله‌ای برای پیش بینی دمای حداقل، براساس دمای خشک در زمان غروب آفتاب و h ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای حداقل مشاهده شده روز بعد به دست آمده است. بعد از دسته بندی داده‌ها و خروجی محاسباتی آماری، معادلات برای ماههای مختلف سال در ایستگاه‌ها براساس معنی داری ($\alpha = 0.01: 0.05$ و R^2 ضریب تبیین)، جدا سازی و به صورت معادلات چند جمله‌ای مرتب شدند. معادله پیش بینی دمای حداقل در ایستگاه شاهرود برای ماه ژانویه بر حسب دمای خشک در زمان غروب آفتاب و دمای خشک h ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای حداقل مشاهده شده عبارتند از:

$$\frac{T_h - T_m}{T_0 - T_m} = 0.841 - 0.1247h + 0.0079h^2 - 0.0025h^3 \quad (5)$$

همچنین رابطه پیش بینی دمای حداقل در ایستگاه شاهرود برای ماه فوریه نیز به صورت رابطه ۶ بدست آمد:

$$\frac{T_h - T_m}{T_0 - T_m} = 0.438 - 0.09h + 0.0014h^2 \quad (6)$$

- اعتبار سنجی مدل

جهت بررسی معنی دار بودن رگرسیون نمایی فوق، جدول تجزیه واریانس محاسبه شد (جدول ۲ و ۱). چون مقدار F محاسبه شده از مقدار F جدول بزرگتر است، لذا رگرسیون در سطح $0/01$ معنی دار می‌باشد. همچنین معنی داری ضریب رگرسیون در سطح $0/01$ نیز بدست آمد. علاوه بر این ضریب تبیین $0/60$ برای معادله ۵ و ضریب تبیین $0/51$ برای معادله ۶ نشان می‌دهد تغییرات دمای حداقل متأثر از متغیر دمای خشک در زمان غروب و سه ساعت بعد از غروب آفتاب به ترتیب برای ماه ژانویه $0/60$ و برای ماه فوریه $0/51$ می‌باشد. جهت ارزیابی دقت مدل، RMSE روابط فوق محاسبه گردید که برای ماه ژانویه مقدار این معیار $0/18$ و برای ماه فوریه $1/14$ بدست آمد. برای ارزیابی دقیق تر روابط، مقادیر دمای حداقل پیش بینی شده با این روابط در مقابل دمای حداقل مشاهده شده در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. همان طوری که در اشکال مذکور قابل مشاهده است، روابط به خوبی توانسته‌اند مقادیر دمای حداقل را پیش بینی نمایند.

جدول ۱: تجزیه واریانس رابطه ۵

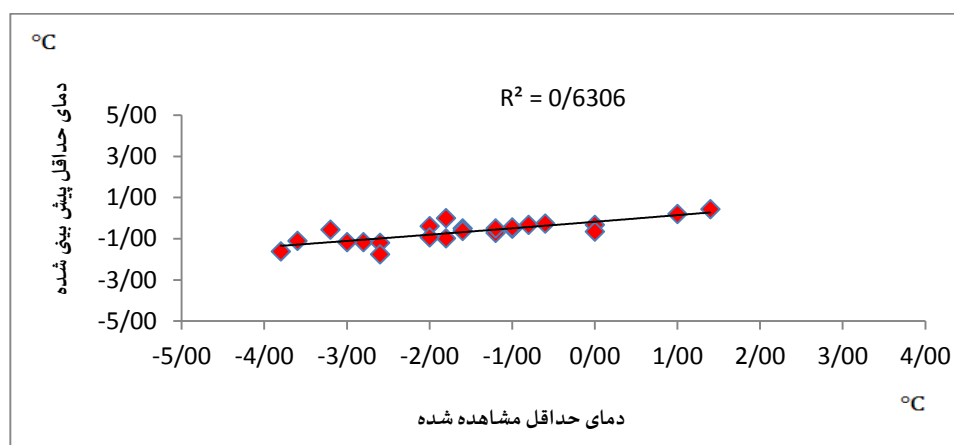
منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	متوسط مربعات	نسبت آماره F
مدل	۱	۲۱/۱۷	۲۱/۱۷	۲۰۳/۸۸
خطا	۴۰۰	۱۳/۸۸	۰/۰۳۵	Prob>F
کل تغییرات	۴۰۱	۳۵/۰۵		<۰/۰۰۰

ماخذ: یافته‌های پژوهش

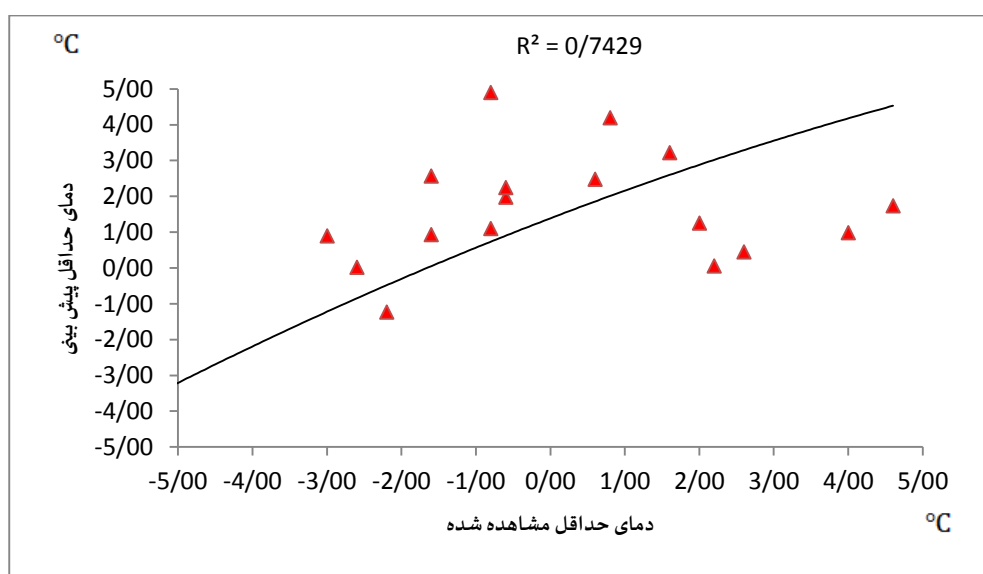
جدول ۲: تجزیه واریانس رابطه ۶

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	متوسط مربعات	نسبت آماره F
مدل	۱	۱۷/۹۴	۱۷/۹۴	۹۹/۹۸
خطا	۲۸۶	۱۷/۱۰	۰/۰۶	Prob>F
کل تغییرات	۲۸۷	۱۹/۰۴		<۰/۰۰۰

ماخذ: یافته‌های پژوهش



شکل ۳: دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش بینی شده در ماه ژانویه ایستگاه شاهرود ماخذ: یافته‌های پژوهش



شکل ۴: دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای حداقل پیش بینی شده در ماه فوریه ایستگاه شاهرود ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳: دمای حداقل مشاهده شده و پیش بینی شده بر مبنای مدل در ماه ژانویه

ردیف	روز	ماه	سال	دمای حداقل پیش بینی شده توسط مدل (p)Tm	دمای مشاهده شده حداقل Tm(o)	دمای هوا سه ساعت بعد از غروب آفتاب Th	دمای هوا در زمان غروب آفتاب To
۱	۱	۱	۲۰۱۴	-۹,۰	-۱,۰	-۰,۵	۲,۱
۲	۲	۱	۲۰۱۴	-۱,۶	-۱,۶	-۰,۷	۰,۳
۳	۳	۱	۲۰۱۴	-۲,۴	-۱,۸	-۰,۵	۱,۶
۴	۴	۱	۲۰۱۴	-۱,۹	-۱,۶	-۰,۹	۰,۲
۵	۵	۱	۲۰۱۴	-۱,۳	-۱,۰	-۰,۵	۰,۴
۶	۶	۱	۲۰۱۴	۲,۱	۱,۴	۲,۱	۲,۱
۷	۷	۱	۲۰۱۴	-۰,۱	۰,۰	۱,۱	۲,۵
۸	۸	۱	۲۰۱۴	۱,۶	۱,۰	۲,۰	۲,۵
۹	۹	۱	۲۰۱۴	-۱,۱	۰,۰	-۰,۸	۲,۹
۱۰	۱۱	۱	۲۰۱۴	-۱,۰	-۲,۰	-۰,۳	۰,۵
۱۱	۱۲	۱	۲۰۱۴	-۳,۱	-۲,۸	-۰,۸	۱,۸
۱۲	۱۳	۱	۲۰۱۴	-۴,۳	-۳,۸	-۱,۳	۲,۱
۱۳	۱۵	۱	۲۰۱۴	-۱,۲	-۳,۲	۰,۰	۱,۴
۱۴	۱۶	۱	۲۰۱۴	-۳,۲	-۲,۶	-۰,۸	۱,۹
۱۵	۱۸	۱	۲۰۱۴	-۲,۶	-۳,۰	۰,۰	۳,۰
۱۶	۲۱	۱	۲۰۱۴	۰,۸	-۰,۸	۲,۹	۵,۳
۱۷	۲۳	۱	۲۰۱۴	-۱,۶	-۲,۰	۱,۰	۳,۹
۱۸	۲۵	۱	۲۰۱۴	-۳,۷	-۲,۶	۰,۵	۵,۲
۱۹	۲۶	۱	۲۰۱۴	-۱,۶	-۳,۶	۱,۷	۵,۴
۲۰	۲۷	۱	۲۰۱۴	۱,۶	-۱,۸	۳,۱	۴,۸
۲۱	۲۸	۱	۲۰۱۴	۱,۱	-۰,۶	۳,۱	۵,۴
۲۲	۲۹	۱	۲۰۱۴	-۰,۶	-۱,۲	۲,۰	۴,۹
۲۳	۳۰	۱	۲۰۱۴	۰,۹	-۱,۲	۳,۸	۷,۱
۲۴	۳۱	۱	۲۰۱۴	-۰,۹	-۱,۰	۰,۵	۲,۱

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴: دمای حداقل مشاهده شده و پیش بینی شده بر مبنای مدل در ماه فوریه

ردیف	روز	ماه	سال	دمای حداقل پیش بینی شده توسط مدل $T_m(p)$	دمای حداقل مشاهده شده $T_m(o)$	دمای هوا سه ساعت بعد از غروب آفتاب T_h	دمای هوا در زمان غروب آفتاب T_o
۱	۶	۲	۲۰۱۴	۲,۰	۲,۲	۴,۶	۷,۵
۲	۷	۲	۲۰۱۴	۰,۰	-۰,۶	۶,۰	۸,۴
۳	۸	۲	۲۰۱۴	۲,۲	-۰,۸	۷,۲	۹,۱
۴	۹	۲	۲۰۱۴	۳,۲	۲,۰	۷,۶	۱۱,۶
۵	۱۱	۲	۲۰۱۴	۱,۲	۳,۸	۱۰,۱	۱۰,۵
۶	۱۲	۲	۲۰۱۴	-۸,۲	-۶,۶	-۳,۵	-۱,۵
۷	۱۳	۲	۲۰۱۴	-۱۳,۸	-۱۳,۴	-۷,۳	-۵,۳
۸	۱۵	۲	۲۰۱۴	-۱۰,۴	-۹,۰	-۵,۳	-۳,۱
۹	۱۶	۲	۲۰۱۴	-۸,۹	-۹,۰	-۵,۴	-۲,۸
۱۰	۱۸	۲	۲۰۱۴	-۹,۶	-۹,۸	-۲,۰	۰,۱
۱۱	۲۱	۲	۲۰۱۴	-۵,۳	-۷,۶	-۰,۳	۲,۰
۱۲	۲۲	۲	۲۰۱۴	-۶,۷	-۵,۲	۱,۲	۴,۶
۱۳	۲۳	۲	۲۰۱۴	-۴,۳	-۵,۲	۲,۹	۵,۳
۱۴	۲۴	۲	۲۰۱۴	-۰,۸	-۲,۶	۴,۰	۶,۵
۱۵	۲۵	۲	۲۰۱۴	۰,۰	-۱,۸	۰,۳	۴,۱
۱۶	۲۶	۲	۲۰۱۴	-۴,۸	-۳,۰	۴,۹	۷,۴
۱۷	۲۷	۲	۲۰۱۴	۰,۹	-۲,۲	۴,۳	۷,۹
۱۸	۲۸	۲	۲۰۱۴	-۱,۲	-۱,۶	۶,۴	۸,۸
۱۹	۲۹	۲	۲۰۱۴	۲,۶	۱,۶	۷,۳	۹,۹
۲۰	۳۰	۲	۲۰۱۴	۱,۲	۰,۶	۳,۴	۳,۹
۲۱	۳۱	۲	۲۰۱۴	۱,۵	-۰,۸	۶,۶	۷,۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

ریشه میانگین مربع‌ها خطا برای هر دو مقایسه بدست آمد، مقدار آن برای دمای حداقل مشاهده شده در مقابل دمای پیش بینی شده مدل، در ماه ژانویه حدود $۰/۲$ درجه سانتی‌گراد و در ماه فوریه $۱/۱۴$ به دست آمد. ضرایب همبستگی محاسبه شده نشان دهنده معنی داری در سطح ۹۹ درصد با ضریب همبستگی $۰/۶۳$ بین دمای مشاهده شده و دمای پیش بینی شده مدل برای ماه ژانویه و $۰/۷۵$ بین دمای مشاهده شده و دمای پیش بینی شده مدل برای ماه فوریه می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از پژوهش مذکور نشان داد که به کمک داده‌های سه ساعته دمای خشک در زمان غروب و سه ساعت بعد از غروب آفتاب، می‌توان حداقل دما را خصوصاً طی شب‌های با رخداد یخبندان تابشی، با ضریب نسبتاً بالا پیش بینی کرد. این بررسی نشان داد که در استفاده از دمای خشک در زمان غروب آفتاب و سه ساعت بعد از غروب آفتاب، برای پیش بینی حداقل دما، ضریب همبستگی پیرسون در سطح معنی داری ۹۹ درصد، معادل $۰/۶۳$ برای ماه ژانویه و $۰/۷۵$ برای ماه فوریه می‌باشد. در ماه ژانویه به دلیل وقوع شب‌های با یخبندان تابشی بیشتر در این منطقه خطای کمتری را ثبت کرده

است که روش چند جمله‌ای مرتبه ۳ با خطای 0.2 درجه سانتی‌گراد در محدوده پیش بینی صحیح است. (منظور از پیش بینی دقیق، پیش بینی با اشتباه صفر است و منظور از پیش بینی صحیح، پیش بینی با اشتباه مجاز می‌باشد، اشتباه مجاز در پیش بینی دمای حداقل شبانه روزی توسط اکثر پژوهشگران ± 2 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است (Veron, Paruelo, 2006 و مهدویان، ۱۳۷۸). برای ماه فوریه نیز روش چند جمله‌ای مرتبه ۲ با خطای $1/14$ درجه سانتی‌گراد در محدوده پیش بینی صحیح است. با توجه به این که وضعیت اقلیمی هر منطقه منحصر به همان منطقه می‌باشد لذا از این معادله‌ها فقط در منطقه شاهرود با اقلیم سرد و خشک جهت پیش بینی دمای حداقل می‌توان استفاده کرد. واضح است که در بعضی از زمان‌ها دمای پیش بینی شده بالاتر و در برخی موارد پایین‌تر از مقدار مشاهده شده خواهد بود. از این مدل‌ها می‌توان 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 به دقت پایش شود.

منابع

- ۱- انصاری، حسین؛ کوهی، منصوره؛ صالح نیا، نسربین (۱۳۹۱): پیش بینی وقوع یخبندان‌های تابشی با استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی، نشریه آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۱.
- ۲- امیدوار، کمال (۱۳۹۲): مخاطرات طبیعی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه یزد.
- ۳- رحیمی، محمد (۱۳۷۸): بررسی احتمال زمانی وقوع یخبندان دیررس بهاره و زود رس پاییزه در البرز مرکزی، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری بخش هواشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۴ سلیمانی، کریم (۱۳۸۷): بررسی تغییرات اقلیمی استان مازندران، طرح پژوهشی، اداره کل هواشناسی و دانشگاه مازندران.
- ۵ فرج زاده، منوچهر (۱۳۹۲)، مخاطرات اقلیمی ایران، چاپ اول، انتشارات سمت.
- ۶ کریمیم 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- کوانتا (۱۳۵۴)، پیش‌بینی دمای حداقل با روش آماری. مهندسی مشاور با همکاری انستیتو هواشناسی و آب‌شناسی رومانی، طرح توسعه و مدرنیزه کردن خدمات هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور.
- ۸- کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۰): میکروکلیماتولوژی، چاپ اول، انتشارات سمت.
- ۹- مهدویان، ع (۱۳۷۸): پیش‌بینی محلی دمای حداقل شبانه‌روزی در منطقه کرج، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

- 10- Humphreys.c.e. Physics of The Air, Second Edition Second Edition. (2003): McGraw-Hill Book Company. Inc.
- 11- Emmanuil, G.; Galanis, G. and Kallos G. (2006): Statistical Methods for The Prediction of Night-Time Cooling and Minimum Temperature. Meteorol, Appl. 13, 1-11.
- 12- Galanis, G and Anadranistakis, M. (2002): A one Dimensional Kalman Filter for The Correction of Near Surface Temperature Forecasts. Meteorol. Appl. 9: 437-441.

- 13- Gandia, S. Melia, J. and Segarra, D. (1985): Application of A Radiative Cooling Model to Daily Minimum Temperature Prediction. *J. Climatol.* 5: 681–686.
- 14- Humphries, S.W. and S.P. Long. (1995): WIMOVAC - A Software Package for Modeling The Dynamics of Plant Leaf and Canopy Photosynthesis. *Comput. Appl. Biosci.* 11:361-371.
- 15- Karlsson, M. (2001): Prediction of Hoar-Frost By Use of a Road Weather Information System. *Meteorol. Appl.* 8(1): 95–105.
- 16- Sakcali, M. (2008): Ecophysiology of *Capparis spinosa* L. a Plant Suitable for Combating Desertification. *Pak. J. of Botany.* 40 (4): 1481- 1486.
- 17- Sanders, C.G. (1975): Climatic Chilling in Georgia. *Georgia Agric. Rec.* 18:19-22.
- 18- 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>.
- 19- Reuter, H.; Zentralanstalt, F and J. Tellus. (1951): Forecasting Minimum Temperatures. 3: 141–147.
- 20- Veron, S.; Paruelo, J. and Oesterheld, M. (2006): Assessing Desertification. *Journal of arid Environments.*
- 21- Verstrate, M.; Brink, A. and Scholles, R. (2008): Climate Change and Desertification. *Global and Planetary Change.* 64.
- 22- [Www.basijnews...ir/fa/news/](http://www.basijnews.ir/fa/news/)