



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گانج

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و نهم، شماره سوم، ۱۳۹۸

۲۳۵-۲۴۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15800.3103

بررسی کارایی مدل دوسینوسی در برآورد ساعتی دما در اقلیم‌های مختلف ایران

* مهدی نادى

استادیار گروه آبیاری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: دستیابی به داده‌های ساعتی دما به دلیل تحلیل جزئی‌تر فرآیندهای رشد گیاه در مدل‌سازی گیاهی و مطالعات یخبندان اهمیت به‌سزایی دارد. همچنین تحلیل دقیق‌تر تأثیر تغییر اقلیم و پدیده‌های زیان‌بار جوی بر رشد و نمو گیاهان نیازمند داده‌های ساعتی است. مدل دوسینوسی روشی دقیق در مدل‌سازی شبانه‌روزی دمای هوا می‌باشد که ضمن در نظرگیری ماهیت سینوسی تغییرات دما دقت بسیار خوبی در تشخیص زمان وقوع دمای کمینه و بیشینه شبانه‌روزی دارد. تاکنون دقت این روش در اقلیم‌های مختلف ایران بررسی نشده است. هدف این پژوهش بررسی دقت و صحت مدل دوسینوسی برای برآورد دماهای ساعتی از روی دمای کمینه و بیشینه روزانه در اقلیم‌های مختلف ایران است.

مواد و روش‌ها: برای بررسی کارایی مدل دوسینوسی سعی شد از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در اقلیم‌های مختلف ایران از آب‌وهوای فراخشک تا بسیار مرطوب استفاده شود. برای این منظور از داده‌های کمینه و بیشینه روزانه و سه‌ساعته ثبت‌شده دما در هشت ایستگاه هواشناسی در اهواز، اردبیل، بوشهر، گرگان، مشهد، رشت، تهران و زهک در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ استفاده شد. در این مدل زمان وقوع دمای کمینه در لحظه طلوع آفتاب و دمای بیشینه پس از سپری شدن دوسوم طول روز فرض شده که این زمان با محاسبات نجومی به‌طور دقیق قابل محاسبه است که همه محاسبات مربوط به مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شد. برای ارزیابی متوسط خطای مدل از شاخص RMSE و از MBE برای بررسی میزان اریب بودن معادله استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مقدار متوسط خطا در ایستگاه‌های فراخشک و خشک بین ۱/۵ تا ۲ درجه و در ایستگاه‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب تا ۳ درجه هم می‌رسد. به نظر می‌رسد تغییرات خطا در این مدل الگوی ماهانه ندارد به عبارتی خطای برآورد دمای ساعتی در ماه‌های گرم و سرد با هم اختلاف چشمگیری ندارند. بررسی خطای اریبی مدل نشان داد که این مدل در ماه‌های گرم مناطق خشک دارای خطای کم‌برآوردی است و در ماه‌های سرد دارای خطای بیش‌برآوردی است. البته مقدار خطای اریبی ناچیز بوده و در بیش‌تر ماه‌ها کم‌تر از ۰/۵ درجه است. بررسی روند

* مسئول مکاتبه: m.nadi@sanru.ac.ir

تغییرات دمای واقعی و برآوردی نشان داد که الگوی نوسانات شبانه‌روزی دما در مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب تبعیت بیش‌تری از تغییرات سینوسی دارد.

نتیجه‌گیری: بررسی رژیم شبانه‌روزی دماهای ساعتی مدل شده نشان داد که این مدل در تشخیص زمان دقیق وقوع کمینه و بیشینه دما در ایستگاه‌های مرطوب کمی دچار مشکل بوده که به‌نظر می‌رسد علت اصلی وقوع خطاهای بالا در این ایستگاه نیز همین مسأله باشد ولی روند سینوسی تغییرات دما را به‌خوبی مدل می‌کند. البته شایان‌ذکر است با توجه به این‌که این مدل مبتنی بر رژیم معمولی شبانه‌روزی دما توسعه یافته است، در روزهای همراه با وقوع پدیده‌های هواشناسی مانند فرارفت هوای گرم و سرد به منطقه یا وقوع بارندگی، دقت مدل در برآورد دماهای ساعتی ممکن است کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: دمای کمینه و بیشینه، مدل دو سینوسی، مدل‌سازی ساعتی دما، نوسانات شبانه‌روزی دما

مقدمه

دما از محرک‌های بسیار مهم سیستم‌های بیولوژیکی بوده و یکی از متغیرهای پایه ورودی مدل‌های گیاهی به‌شمار می‌رود. در بیش‌تر مدل‌های شبیه‌ساز رشد و نمو گیاه از داده‌های روزانه کمینه و بیشینه دما استفاده می‌شود. یکی از معایب استفاده از داده‌های روزانه در مقایسه با داده‌های ساعتی، عدم در نظرگیری رژیم شبانه‌روزی دمای هوا و کاهش پراکنش داده‌هاست. گیاهان در بعضی از مراحل زندگی نسبت به تغییرات ساعتی دما از خود پاسخ نشان می‌دهند به‌عنوان مثال کاهش چندساعتی دما به زیر دماهای بحرانی در مرحله گلدهی درختان میوه باعث سرمازدگی و تغییر شکل محصولات و ریزش گل‌ها و درنهایت از بین رفتن محصولات می‌گردد. همچنین درختان مناطق معتدله چنان‌چه در فصل سرد حداقل ساعات نیاز سرمایی را دریافت نکنند، به سطح مطلوب جوانه‌زنی نمی‌رسند (۳). یکی دیگر از کاربردهای دماهای ساعتی محاسبه دقیق‌تر واحدهای حرارتی-دمایی^۱ است و می‌توان با در دست داشتن دماهای ساعتی به‌جای درجه روزهای رشد از درجه ساعات رشد استفاده نمود که این باعث تشخیص

دقیق‌تر مراحل مختلف فنولوژیکی گیاهان می‌گردد. آلن (۱۹۷۶) برای محاسبه نیاز گرمایی و سرمایی با استفاده از مدل سینوسی در چهار ایالت آمریکا به برآورد دماهای ساعتی پرداخت و نتایج خود را با دماهای به‌دست آمده از دمانگار مقایسه کرد. ایشان دریافت که نتایج مدل کمی اریب بوده و با استفاده از روش رگرسیون خطی اریبی مدل را تصحیح نمود (۱). همچنین رودریگز و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی هشت روش مختلف برآورد ساعتی دما در چهار نقطه در کلمبیا به برآورد درجه روزهای رشد پرداختند. نتایج ایشان نشان داد مدل لجستیک دوگانه کم‌ترین خطا را در بین سایر مدل‌ها دارد (۱۱). دسترسی به داده‌های ساعتی هواشناسی در مطالعات اقلیم‌شناسی انسانی^۲ نیز اهمیت ویژه‌ای دارد چراکه با در دست داشتن داده‌های ساعتی می‌توان به برآورد دقیق‌تری از وضعیت یک منطقه برای زندگی کردن پی برد (۵). همچنین در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، داده‌های ساعتی باعث دقت بیش‌تر مدل‌ها می‌شود. در این راستا واپلر و ویگموستا (۲۰۰۳) از مدل‌های برآوردگر ساده به تخمین ساعتی متغیرهای هواشناسی دما و بارندگی، سرعت باد و رطوبت نسبی از روی متغیرهای روزانه

1- Thermal heat unit

2- Human climatology

پرداختند و دریافتند که دقت تخمین ساعتی سرعت باد از سایر متغیرها کم‌تر است (۱۳). متأسفانه بیش‌تر داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت روزانه در دسترس قرار دارد و داده‌های ساعتی تنها در ایستگاه‌های سینوپتیک خودکار به‌صورت محدود اندازه‌گیری می‌شود. برای دستیابی به داده‌های ساعتی دما از روی دمای روزانه روش‌هایی وجود دارد. توسعه این روش‌ها بر مبنای رژیم شبانه‌روزی دمای هواست به این صورت که با توجه به این که بین لحظه وقوع دمای کمینه در طلوع آفتاب و دمای بیشینه در بعدازظهر دما روند افزایشی را داشته و بین دمای بیشینه یک روز و کمینه دما در روز بعد دما روند کاهشی را دارد، مدل برآوردگر دما با برازش یک تابع ریاضی در هر مقطع افزایش یا کاهش دما، به برآورد آن در بازه‌های ساعتی و حتی دقیقه‌ای مبادرت می‌ورزد که از این داده‌های برآوردی در ارزیابی عملکرد مدل‌های رشد گیاهی استفاده می‌شود (۱۰). پژوهش‌ها نشان می‌دهد مدل‌های رشد گیاهی که از داده‌های ساعتی به‌جای داده‌های روزانه استفاده می‌کنند (حتی در زمانی که سری داده‌های ساعتی مورد استفاده به‌صورت مصنوعی از کمینه و بیشینه روزانه تولیدشده باشد) نتایج دقیق‌تری ارائه می‌کنند. (۹). مدل‌سازی داده‌های روزانه دما و تخمین دمای ساعتی توسط پژوهشگرانی هم‌چون کیمبال و بلامی (۱۹۸۶) انجام شده که ایشان مقدار متوسط خطای برآورد دمای ساعتی را به‌اندازه $0/64$ درجه سانتی‌گراد به‌دست آوردند (۶). همچنین افراش و همکاران (۱۹۹۶) به شبیه‌سازی دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و شدت تابش خورشید در کالیفرنیا، هلند و اسرائیل پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که مدل سینوسی ساده نتایج مطلوبی برای تخمین دما نمی‌دهد و اضافه نمودن پارامتری برای در نظرگیری تأخیر دمای بیشینه نیاز است (۲). وان و همکاران (۱۹۸۵) به

واسنجی و ارزیابی مدل‌های سینوسی - نمایی و دو سینوسی در شبیه‌سازی دمای روزانه از روی دمای کمینه و بیشینه دما در پنج نقطه در کالیفرنیا پرداختند و دریافتند که مدل سینوسی - نمایی دارای خطای کم‌تری است (۱۴). ریکوزی و همکاران (۱۹۸۹) با استفاده از مدل‌های مختلف برآورد داده‌های ساعتی از روی داده‌های کمینه و بیشینه روزانه به این نتیجه رسیدند که تمامی مدل‌های موردبررسی در روزهای صاف نتایج خوبی از خود نشان دادند اما در روزهای ابری کامل موفقیت کم‌تری در تخمین دمای ساعتی دارند همچنین مقدار متوسط خطای مدل‌ها بین $0/5$ تا $9/3$ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند (۱۰). رولتس و همکاران (۱۹۹۹) با مقایسه روش‌های خطی، تک‌سینوسی و دو سینوسی در برآورد دمای ساعتی روش دو سینوسی نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد (۱۲). در ایران خلیلی (۲۰۰۵) برای مدل‌سازی شبانه‌روزی دما و رطوبت هوا مدلی ارائه نمود که نوسانات دما را بر اساس دو معادله سینوسی مجزا شبیه‌سازی می‌کند. ایشان از نتایج داده‌های ساعتی برآورد شده برای کمی‌سازی شاخص آسایش اقلیم‌شناسی انسانی بهره برد (۵). مدل ارائه شده توسط ایشان تخمین منطقی‌تری از زمان وقوع دمای کمینه و بیشینه در مدل دارد و به‌دلیل ماهیت ذاتی سینوسی شکل نوسانات دما به‌نظر می‌رسد این مدل کارایی بسیار خوبی در شبیه‌سازی دما دارد. اما متأسفانه کارایی این مدل در اقلیم‌های مختلف ایران مورد بررسی قرار نگرفته است. البته نادى و پورنبی (۲۰۱۷) کارایی این مدل را در چند ایستگاه محدود در کشور بررسی نمودند و خطای این مدل را بین ۱ تا $2/5$ درجه گزارش نمودند (۷). همچنین جواهری و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از این مدل دماهای ساعتی را برآورد نموده و از نتایج آن برای محاسبه نیاز ساعتی سرمایی و گرمایی چغندر قند استفاده نمودند (۴).

به‌منظور درک میزان دقت آن در تخمین دماهای ساعتی است.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده: در این مطالعه برای بررسی کارایی مدل دو سینوسی در برآورد دمای ساعتی از روی دمای کمینه و بیشینه روزانه در اقلیم‌های مختلف ایران از داده‌های هشت ایستگاه سینوپتیک استفاده شد که اطلاعات و اقلیم هر ایستگاه بر اساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن گسترش‌یافته (۸) در جدول ۱ نشان داده شده است. در انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی سعی شد که از ایستگاه‌های موجود در اقلیم‌های مختلف، از آب‌وهوای فراخشک در زاهدان تا ایستگاه مرطوب در رشت استفاده شود. همچنین سعی شد ایستگاه‌های موجود پراکنش جغرافیایی مناسبی داشته باشند که از مناطق ساحلی شمال و جنوب و همچنین بخش مرکزی و شرق و جنوب‌شرق و غرب و شمال‌غرب استفاده شود.

با توجه به این‌که تبدیل داده‌های روزانه دما به داده‌های ساعتی امکان آنالیز جزئی‌تر فرآیند رشد گیاه را می‌دهد به‌علاوه در مطالعات تغییر اقلیم، به‌منظور تحلیل دقیق‌تر داده‌های دما و تبدیل داده‌های روزانه خروجی از مدل‌های تغییر اقلیم به داده‌های ساعتی در تحلیل تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نمو گیاهان و بررسی تأثیر پدیده‌های زیان‌بار جوی بر محصولات کشاورزی نیاز به انجام مطالعه‌ای برای ارزیابی مدل دو سینوسی در مدل‌سازی شبانه‌روزی دما را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. به‌علاوه این‌که نیاز سرمایی محصولات کشاورزی اغلب به‌صورت درجه-ساعت بیان می‌شود در حالی‌که در بیش‌تر ایستگاه‌های هواشناسی داده‌ها به‌صورت کمینه و بیشینه روزانه گزارش می‌شود. موارد فوق همگی ضرورت توسعه و به‌کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی ساعتی دما را نمایان می‌سازد. هدف از انجام این پژوهش واسنجی و ارزیابی دقت مدل دو سینوسی در شبیه‌سازی شبانه‌روزی دما در اقلیم‌های مختلف ایران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی.

Table 1. Specification of studied meteorological stations.

ایستگاه station	طول جغرافیایی (درجه) Longitude (Deg)	عرض جغرافیایی (درجه) Latitude (Deg)	ارتفاع (متر) Elevation (meter)	بارش نرمال (میلی‌متر) Longterm Prec (mm)	دمای نرمال (سانتی‌گراد) Longterm Temp (C°)	کلاس اقلیمی Climate Class
اهواز Ahwaz	48.67	31.33	22.5	213.4	25.3	خشک گرم Arid Warm
اردبیل Ardebil	48.28	38.25	1332	303.9	9	نیمه‌خشک فراسرد Semi arid Super cold
بوشهر Bushehr	50.83	28.98	19.6	279.1	24.6	خشک گرم Arid Warm
گرگان Gorgan	54.27	36.85	13.3	601	17.8	مدیترانه‌ای معتدل Mediterranean Temperate
مشهد Mashhad	59.63	36.27	999.2	255.2	14.1	نیمه‌خشک سرد Semi arid Cold
رشت Rasht	49.60	37.25	-6.9	1359	15.9	مرطوب معتدل Humid Temperate
تهران Tehran	51.32	35.68	1190.8	232.8	17.3	خشک سرد Arid Cold
زهک Zahak	61.68	30.90	495	53	22.6	فراخشک معتدل Super arid Temperate

در این مدل دامنه نوسان دما در هر دو شاخه صعودی و نزولی بین $-\frac{\pi}{2}$ و $\frac{\pi}{2}$ در نظر گرفته شده است که این باعث می‌شود شیب نوسانات دما در اطراف دماهای بیشینه و کمینه کم‌تر شده و به فرمت واقعی نوسانات دما نزدیک‌تر گردد. معادلات شاخه صعودی و نزولی دما به صورت زیر است که در آن از رابطه ۲ برای شاخه صعودی و از رابطه ۳ برای شاخه نزولی استفاده می‌شود.

$$T(t) = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) + \left(\frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right) \sin \left(-\frac{\pi}{2} + \pi \frac{t - t_{\min}}{\frac{2}{3}L} \right) \quad (2)$$

$$T(t) = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) + \left(\frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right) \sin \left(\frac{\pi}{2} + \pi \frac{t - t_{\max}}{24 - \frac{2}{3}L} \right) \quad (3)$$

در رابطه‌های ۱ تا ۳، T_{\max} و T_{\min} به ترتیب دماهای بیشینه و کمینه روزانه (درجه سانتی‌گراد) و t_{\max} و t_{\min} به ترتیب زمان وقوع دمای بیشینه و کمینه در طول روز (ساعات روز) و L طول روز که به عنوان اختلاف زمانی طلوع و غروب آفتاب در نظر گرفته می‌شود. مقدار دقیق طول روز و زمان وقوع طلوع و غروب خورشید بسته به فصل سال و عرض جغرافیایی تغییر می‌کند و به طور دقیق با محاسبات نجومی برای هر نقطه از زمین قابل تعیین است (۱۵). در این پژوهش زمان دقیق طول و غروب خورشید از داده‌های ارائه شده توسط سازمان ملی اقیانوسی و اتمسفری ایالات متحده^۱ (NOAA) استفاده شد. همه محاسبات مربوط به مدل‌سازی و تخمین ساعتی دما در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

پس از واسنجی مدل، برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی دما از داده‌های سه‌ساعته ثبت شده در ایستگاه‌های مورد بررسی در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ استفاده شد. همچنین از شاخص RSME برای

همچنین به منظور اطمینان بیش‌تر از داده‌های دو سال مختلف ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ استفاده شد. برای مدل‌سازی ساعتی دما، داده‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه به کار گرفته شد و برای برآورد دقت این مدل، از داده‌های ۳ ساعته ثبت شده در این ایستگاه‌ها استفاده شد.

مدل دو سینوسی: در مدل دو سینوسی، برای برآورد دماهای ساعتی از کمینه و بیشینه دمای روزانه استفاده می‌شود. با توجه به این که معمولاً اختلاف زمانی بین وقوع دمای کمینه در یک روز و دمای بیشینه در همان روز (شاخه صعودی رژیم شبانه‌روزی دما) کم‌تر از زمان طی شده بین وقوع دمای بیشینه یک روز و دمای کمینه روز بعد (شاخه نزولی رژیم شبانه‌روزی دما) است و همچنین دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما در هر روز تغییر می‌کند، در این مدل از دو تابع سینوسی برای شبیه‌سازی رژیم شبانه‌روزی دما استفاده می‌شود به این صورت که شاخه صعودی دما با یک رابطه سینوسی و شاخه نزولی دما با یک رابطه سینوسی دیگر شبیه‌سازی می‌گردد که این دو رابطه سینوسی دارای دامنه و دوره تناوب متفاوت هستند و تفاوت آن‌ها در شکل معادله سینوسی است. در این مدل زمان وقوع دمای کمینه در لحظه طلوع آفتاب فرض شده که این زمان با محاسبات نجومی به طور دقیق قابل محاسبه است. اما در مورد دمای بیشینه زمان دقیق آن در هر روز نامشخص بوده و به عوامل زیادی از جمله فصل و موقعیت جغرافیایی و خصوصیات سطح زمین بستگی دارد. اما آنچه مسلم است این زمان بعد از زمان وقوع ظهر خورشیدی است. در این روش زمان وقوع دمای بیشینه به صورت رابطه ۱ فرض شده است:

$$t_{\max} = t_{\min} + \frac{2}{3} \times L \quad (1)$$

1- National Oceanic and Atmospheric Administration

مشهد کم‌تر از ۲ درجه است. اما در ایستگاه‌های اردبیل و گرگان و بعضی از ماه‌های ایستگاه بوشهر حدوداً ۲/۵ درجه است و در ایستگاه رشت مقدار متوسط خطا بین ۲ تا ۴ درجه است. به نظر می‌رسد تغییرات خطا در این مدل الگوی ماهانه ندارد به عبارتی خطای برآورد دمای ساعتی در ماه‌های گرم و سرد با هم اختلاف چشمگیری ندارند.

بررسی میانگین خطای اریب مدل (MBE) در جدول ۳ نشان می‌دهد این مدل در ماه‌های گرم مخصوصاً در ایستگاه‌های خشک کمی دارای خطای کم‌برآوردی است و در مقابل ماه‌های سرد دارای اندکی خطای بیش‌برآوردی است. البته مقدار خطای اریبی ناچیز بوده و در بیش‌تر ماه‌ها کم‌تر از ۰/۵ درجه است و می‌توان گفت مدل دو سینوسی در برآورد ساعتی دما یک مدل ناریب است.

ارزیابی متوسط خطای مدل و از MBE برای بررسی میزان اریب بودن معادله به صورت رابطه ۴ استفاده شد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]^{1/2} \quad (۴)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)$$

نتایج و بحث

با توجه به موجود بودن داده‌های ۳ ساعته در ایستگاه‌های سینوپتیک، برای ارزیابی داده‌های ساعتی مدل‌سازی شده از این داده‌ها استفاده شد. نتایج متوسط خطای مدل مورد بررسی در تمامی روزهای دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ محاسبه شد و متوسط شاخص‌های RMSE و MBE به تفکیک میانگین ماهانه به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج این جداول نشان می‌دهد که متوسط خطای مدل دو سینوسی در ایستگاه‌های تهران، اهواز، زهک و

جدول ۲- ریشه میانگین مربعات خطای مدل دو سینوسی در ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی.

Table 2. Root Mean Square Error (RMSE) of Bisinusoidal model in studied meteorological stations.

ماه Month	تهران Tehran		رشت Rasht		اردبیل Ardebil		گرگان Gorgan		اهواز Ahwaz		بوشهر Bushehr		زهک Zahak		مشهد Mashhad	
	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000
ژانویه Jan	1.37	1.42	3.18	3.79	2.39	2.13	2.04	1.68	1.24	1.29	1.69	1.73	2.50	1.60	2.42	1.69
فوریه Feb	1.54	1.26	2.22	4.08	2.39	1.47	1.85	1.68	1.22	1.18	1.75	1.73	2.56	1.46	2.13	1.64
مارس Mar	1.57	1.55	2.11	4.13	2.56	2.58	1.69	1.96	1.38	1.28	1.95	1.97	2.23	1.63	2.00	1.43
آوریل Apr	1.40	1.54	2.66	4.76	2.26	2.65	2.77	2.12	1.48	1.59	2.18	2.34	2.23	1.74	2.02	1.41
می May	1.41	1.73	1.24	3.13	2.71	2.26	1.98	2.05	1.44	1.76	1.94	2.23	2.01	1.65	2.08	1.95
ژوئن Jun	1.29	1.50	1.38	3.72	2.85	1.91	1.82	2.02	1.38	1.71	1.64	1.83	2.00	1.77	2.36	1.95
ژوئیه Jul	1.27	1.24	1.32	3.15	2.39	2.14	1.71	1.56	1.28	1.49	1.71	1.66	1.14	1.37	2.29	1.83
آگوست Aug	1.23	1.30	1.67	4.13	2.42	2.37	1.76	1.74	1.58	1.44	1.55	1.43	1.66	1.46	2.13	1.88
سپتامبر Sep	1.12	1.37	1.26	3.17	2.63	2.44	1.66	1.69	1.31	1.52	1.65	1.57	2.12	1.83	1.87	1.76
اکتبر Oct	1.45	1.32	1.30	4.03	1.99	2.40	1.65	2.67	1.44	1.63	1.83	1.52	2.33	2.00	1.83	1.83
نوامبر Nov	1.42	1.53	1.41	3.91	2.00	1.89	1.80	2.05	1.27	1.43	1.41	1.66	2.38	2.17	1.63	1.54
دسامبر Dec	1.18	1.62	2.14	3.46	2.18	2.48	1.59	2.35	1.25	1.57	1.57	1.68	2.54	2.69	1.80	1.76

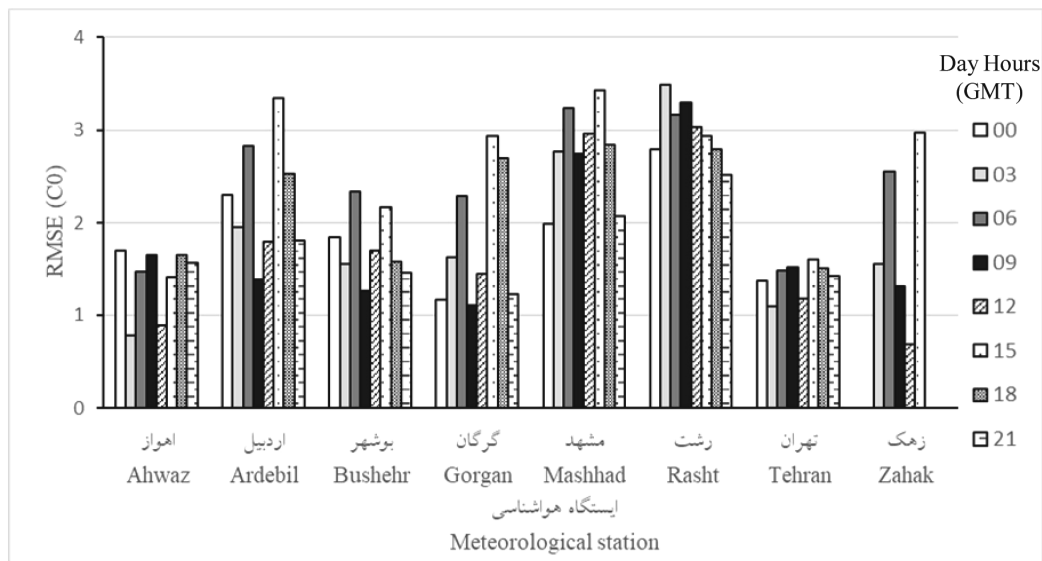
جدول ۳- میانگین خطای اریبی (MBE) مدل دو سینوسی در ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی.

Table 3. Mean Bias Error (MBE) of Bisinusoidal model in studied meteorological stations.

مشهد Mashhad		زهک Zahak		بوشهر Bushehr		اهواز Ahwaz		گرگان Gorgan		اردبیل Ardebil		رشت Rasht		تهران Tehran		ماه Month
2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	
-0.62	-0.62	-0.39	-0.31	0.50	-0.06	-0.25	-0.52	-0.39	-0.24	-0.16	0.11	0.11	-0.21	-0.46	-0.22	ژانویه Jan
-0.50	-0.73	-0.54	-0.07	0.42	0.06	-0.16	-0.28	-0.25	-0.55	-0.34	-0.11	-0.61	-0.62	-0.31	-0.21	فوریه Feb
-0.12	-0.13	-0.28	-0.01	0.20	0.07	0.07	-0.13	-0.46	-0.30	-0.30	0.02	-0.29	-0.40	-0.36	0.16	مارس Mar
0.17	0.03	-0.02	0.35	0.42	-0.48	0.41	-0.25	-0.30	-0.65	-0.17	0.07	-0.03	-0.93	-0.15	-0.01	آوریل Apr
0.23	0.12	-0.02	-0.03	0.47	-0.23	0.63	0.29	-0.35	-0.46	-0.19	-0.15	-0.17	-0.25	-0.16	0.38	می May
0.31	0.41	-0.28	0.04	0.43	0.24	0.40	0.21	-0.47	-0.31	0.05	0.38	-0.16	-0.30	0.41	0.19	ژوئن Jun
0.52	0.45	-0.60	-0.42	-0.03	-0.18	-0.14	-0.14	-0.37	-0.30	0.03	0.71	-0.18	-0.40	0.12	0.15	ژوئیه Jul
0.33	0.35	-0.50	-0.11	-0.24	-0.14	0.09	-0.23	-0.47	-0.60	-0.18	0.01	-0.01	-0.64	0.17	0.11	اوت Aug
0.27	-0.25	-0.50	-0.08	0.13	-0.08	-0.31	-0.21	-0.69	-0.79	-0.52	-0.60	0.27	-0.53	0.33	-0.01	سپتامبر Sep
-0.11	-0.44	-0.39	-0.56	0.08	-0.09	-0.68	-0.52	-0.44	-0.53	-0.67	-0.51	-0.22	-0.42	-0.27	-0.05	اکتبر Oct
-0.50	-0.50	-0.49	-0.49	-0.04	-0.10	-0.62	-0.50	-0.48	-0.53	-0.58	-0.44	0.19	-0.39	-0.60	-0.34	نوامبر Nov
-1.23	-0.52	-0.34	-0.29	2.63	-0.06	-0.74	-0.47	-5.30	-0.22	-4.48	-0.18	-1.39	-0.69	-3.00	-0.31	دسامبر Dec

درجه متفاوت است و به نظر می‌رسد در بین ساعات مختلف شبانه‌روز خطای مدل در ساعات شب و نیمه‌شب کم‌تر از طول روز است و تقریباً بیش‌ترین خطا در بعدازظهر حدود ساعت ۱۵ (به وقت گرینویچ) رخ می‌دهد. همچنین همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است، روند تغییرات خطای شبانه‌روزی مدل در ایستگاه‌های اردبیل، مشهد و رشت و گرگان که دارای اقلیم مرطوب‌تری هستند شباهت بیش‌تری به یکدیگر دارند. همچنین ایستگاه‌های اهواز و تهران و بوشهر نیز شبیه به یکدیگر هستند.

با توجه به این‌که هدف از این پژوهش برآورد ساعتی دما است و احتمالاً دقت مدل دو سینوسی در ساعات مختلف شبانه‌روز ممکن است متفاوت باشد، به این منظور خطای این مدل در طول شبانه‌روز به تفکیک داده‌های سه‌ساعته واقعی برآورد شد که در شکل ۱ تغییرات شاخص RMSE کل دوره در ایستگاه‌های مختلف نشان داده شده است. البته به دلیل عدم اندازه‌گیری دمای ساعتی در ساعات ۱۸، ۲۱ و ۰۰ در ایستگاه زهک، امکان بررسی دقت مدل در ساعات فوق‌امکان‌پذیر نبود. بررسی این شکل نشان می‌دهد که خطای مدل در طول شبانه‌روز بین ۱ تا ۳

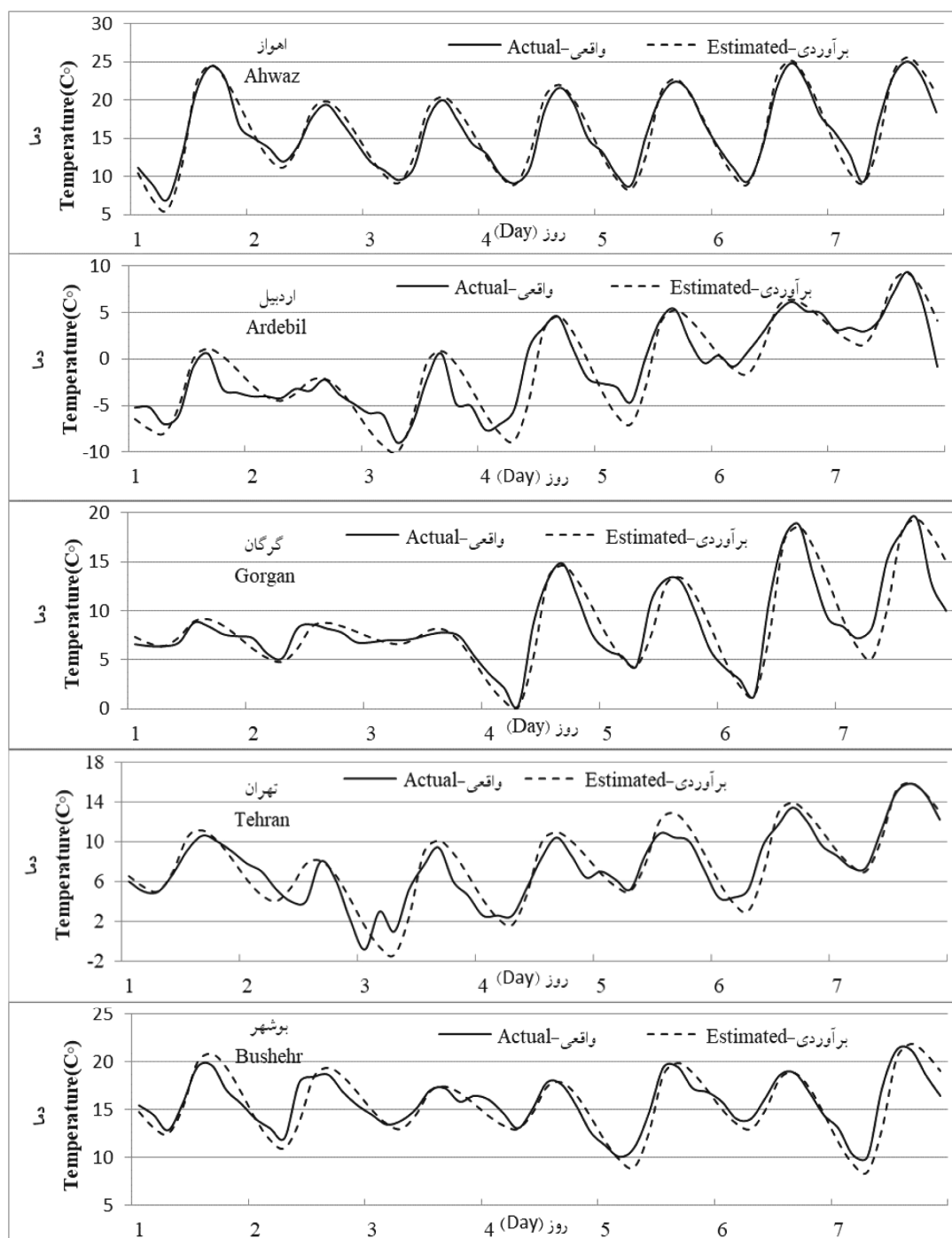


شکل ۱- تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا در ساعات مختلف شبانه‌روز در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Variation of RMSE in different hours of studied meteorological stations.

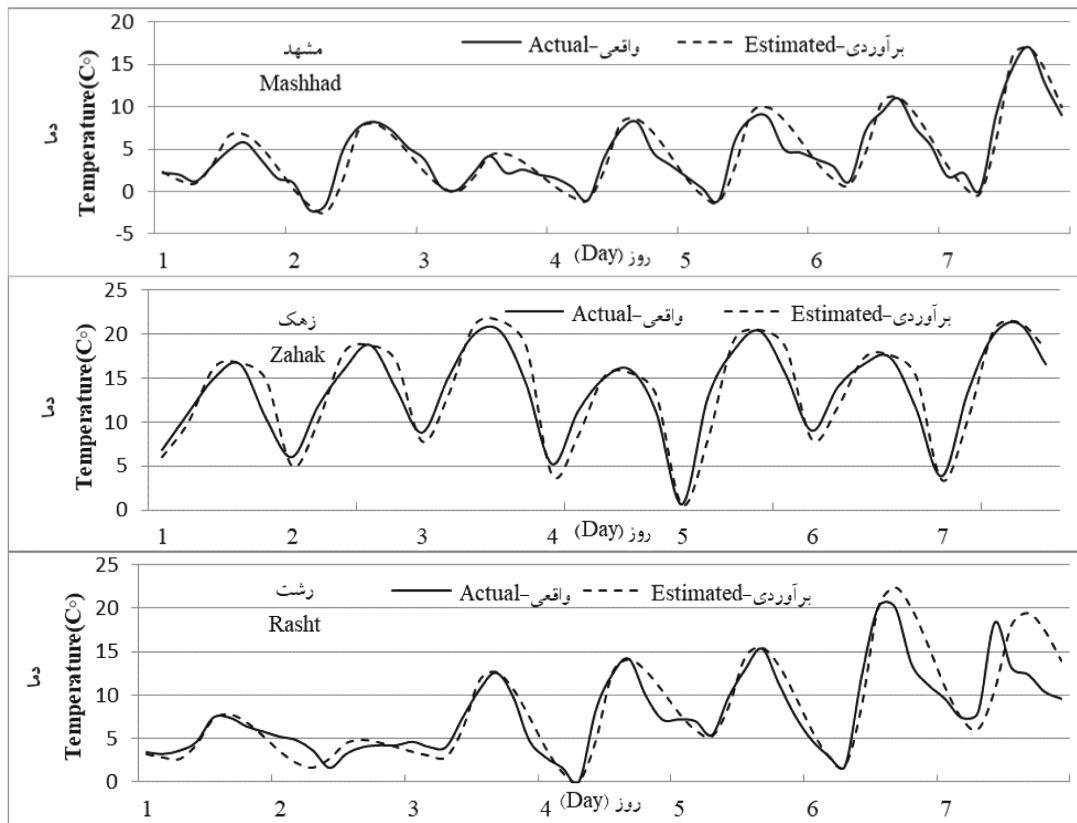
روز سوم ماه مارس در ایستگاه تهران و همچنین اوایل روز هفتم در ایستگاه‌های گرگان و رشت (شکل ۱) این وضعیت را نشان می‌دهد. همچنین یکی دیگر از فرض‌های این مدل در مورد زمان وقوع دمای کمینه و بیشینه می‌باشد که در مورد دمای کمینه زمان آن در موقع طلوع آفتاب فرض می‌شود در حالی‌که در بعضی از موارد مانند صبح روز چهارم مارس در ایستگاه اردبیل و صبح روز سوم در ایستگاه تهران، دمای کمینه قبل از طلوع آفتاب رخ داده است. البته این نکته را نباید فراموش کرد که نمودارهای موجود در شکل ۱ تنها یک هفته از ۲ سال مورد بررسی را نشان می‌دهد لزوماً دربرگیرنده همه نتایج این پژوهش نیست. اما آنچه مسلم است نتایج مدل‌سازی در ایستگاه‌های مناطق خشک و فراخشک رضایت‌بخش‌تر از مناطق مرطوب است. همچنین نتایج شاخص‌های خطا در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ شبیه به یکدیگر بوده و تنها در ایستگاه رشت میزان خطا در سال ۲۰۰۵ به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیش‌تر از سال ۲۰۰۰ است.

علاوه بر محاسبه شاخص‌های خطا به‌منظور بررسی چشمی نتایج مدل، روند تغییرات داده‌های ساعتی دمای واقعی و برآوردی در طول هفت روز اول ماه مارس سال ۲۰۰۰ ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی این شکل‌ها بیانگر تطابق بسیار خوب داده‌های مدل از داده‌های واقعی است. که این همخوانی تغییرات در ایستگاه‌های بوشهر، زهک، اهواز و مشهد که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک هستند، نمایان‌تر است. اما در مورد ایستگاه‌های اردبیل، گرگان و به‌خصوص رشت که دارای آب‌وهوای مرطوب‌تری هستند در بعضی از ساعات روز خطای مدل افزایش یافته است. البته در مورد این مدل باید نکاتی رو در نظر داشت. با توجه به این‌که فرض اساسی این مدل افزایش اکیداً صعودی دما بین دمای کمینه و بیشینه است بنابراین چنان‌چه بنا بر دلایلی مانند فرارفت هوای سرد و یا گرم در اواسط روز یا نیمه‌های شب به منطقه و برهم خوردن روند طبیعی تغییرات شبانه‌روزی دما، مدل‌سازی ساعتی دما با بروز خطای بیش‌تری همراه می‌شود. مانند اوایل



شکل ۲- تغییرات داده‌های واقعی و برآوردی ساعتی دما در ۷ روز اول ماه مارس ۲۰۰۰ در ایستگاه‌های مورد بررسی.

Figure 2. Variation of actual and estimated hourly temperature in first 7 days of March 2000 in meteorological stations.



ادامه شکل ۲-

Continue Figure 2.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش کارایی مدل دو سینوسی در برآورد دمای ساعتی در هشت ایستگاه سینوپتیک دارای اقلیم‌های مختلف در گستره ایران مورد بررسی قرار گرفت. در مدل‌سازی ساعتی دما می‌توان گفت که این مدل به خوبی روند شبانه‌روزی دما را شناسایی و دمای ساعتی را با دقت قابل قبول و خطای کم‌تر از ۲ درجه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تخمین می‌زند اما در مناطق مرطوب خطا ممکن است تا ۳ درجه افزایش یابد. نتایج مشخص نمود که دقت تخمین مدل در طول شبانه‌روز ثابت نبوده و در هنگام شب و نیمه‌شب کم‌تر از ساعات روز است. ولی در هنگام صبح و بعدازظهر خطا افزایش می‌یابد شاید دلیل این امر عدم تشخیص دقیق مدل در وقوع دماهای کمینه و بیشینه باشد که البته اظهار نظر قطعی نیاز به مطالعه در

اقلیم‌های بیش‌تری دارد. به نظر می‌رسد مدل‌سازی ساعتی دما از روی دمای کمینه و بیشینه روزانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک معتبرتر از مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب است که ممکن است دلیل آن ورود بیش‌تر سامانه‌های بارش‌زا به مناطق مرطوب نسبت به مناطق خشک باشد. همچنین احتمالاً چون در مناطق مرطوب حجم بیش‌تری از شبنم صبحگاهی تشکیل می‌شود، در نتیجه وقوع پدیده میعان گرمای نهان بیش‌تری در نیمه‌شب آزاد شده که منجر به برهم خوردن شیب نزولی منظم دما در نیمه‌شب می‌گردد. البته اظهار نظر قطعی در این باره نیازمند پژوهش‌های بیش‌تری است. در مجموع براساس نتایج این پژوهش در اثبات کارایی بسیار خوب مدل دو سینوسی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک و از طرفی با توجه به این‌که بخش عظیمی از ایران دارای

دماهای روزانه حاصل از مدل‌های تغییر اقلیم می‌تواند بسیار دارای اهمیت باشد.

آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، می‌توان مدل دو سینوسی را برای تبدیل دماهای روزانه به ساعتی پیشنهاد نمود که به‌کارگیری این مدل در تبدیل

منابع

- Allen, J.C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. *Environmental Entomology*, 5: 3. 388-396.
- Ephrath, J.E., Goudriaan, J., and Marani, A. 1996. Modelling diurnal patterns of air temperature, radiation wind speed and relative humidity by equations from daily characteristics. *Agricultural Systems*, 51: 4. 377-393.
- Helali, J., and Rasouli, M. 2016. Protection of crop against frost and chilling. Press organization Jahade Daneshgahi. Tehran, Iran, 291p.
- Javaheri, M., Ramroodi, M., Asqaripor, M., Dehmardeh, M., and Ghaemi, A. 2015. Agroclimatic zonation for evaluating autumn sugar beet sowing feasibility in Khorasan Razavi and Khorasan-e-Jonobi Provinces. *Sugar beet*, 31: 1. 17-31.
- Khalili, A. 2005. A new index for quantifying human climate comfort and its three-dimensional analysis for west Zagros region (Iran). 17th international congress of biometeorology ICB. 5-9 September. Garmisch Partenkirchen, Germany. 1: 267-269.
- Kimball, B.A., and Bellamy, L.A. 1986. Generation of diurnal solar radiation, temperature, and humidity patterns. *Energy in Agriculture*, 5: 3. 185-197.
- Nadi, M., and Pournabi, M. 2017. Hourly temperature estimation from daily maxima and minima data. The 4th Environmental Planning & Management. 23-24 May. Tehran, Iran. Pp: 1-7.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M., and Khalili, A. 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 112: 3-4. 409-418.
- Rea, R., and Eccel, E. 2006. Phenological models for blooming of apple in a mountainous region. *Int. J. Biometeorol.* 51: 1. 1-16.
- Reicosky, D.C., Winkelman, L.J., Baker, J.M., and Baker, D.G. 1989. Accuracy of hourly air temperatures calculated from daily minima and maxima. *Agricultural and Forest Meteorology*, 46: 3. 193-209.
- Rodríguez Caicedo, D., Cotes Torres, J.M., and Cure, J.R. 2012. Comparison of eight degree-days estimation methods in four agroecological regions in Colombia. *Bragantia*, 71: 2. 299-307.
- Roltsch, W.J., Zalom, F.G., Strawn, A.J., Strand, J.F., and Pitcairn, M.J. 1999. Evaluation of several degree-day estimation methods in California climates. *Inter. J. Biometeorol.* 42: 169-176.
- Waichler, S.R., and Wigmostad, M. 2003. Development of hourly meteorological values from daily data and significance to hydrological modeling at H. J. Andrews Experimental Forest. *J. Hydrometeorol.* 4: 251-263.
- Wann, M., Yen, D., Harvey, J., and Gold, H.J. 1985. Evaluation and calibration of three models for daily cycle of air temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 34: 2. 121-128.
- Wilks, D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition, Academic Press Is an Imprint of Elsevier, Cornell University, USA.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(3), 2019

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15800.3103

Investigation of Bi-sinusoidal model efficacy in estimation of hourly temperature in different climates of Iran

***M. Nadi**

Assistant Prof., Dept. of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 10.29.2018; Accepted: 03.06.2019

Abstract

Background and Objectives: Access to hourly temperature is of fundamental importance in crop modeling and freezing studies due to the more detailed analysis of plant growth processes. Also, hourly data is needed for more accurate analysis of climate change effect and atmospheric hazard phenomena on the growth and development of plants. The Bi-sinusoidal model is a precise method in daily temperature modeling which, while considering the sinusoidal nature of temperature variations, is very accurate in detecting the time of minimum and maximum temperature of the day. So far, the accuracy of this method has not been studied in different climates of Iran. The objective of this research is to evaluate Bi-Sinusoidal model for estimation of hourly temperatures from maximum and minimum daily temperature in different climates of Iran.

Materials and Methods: For investigation of the efficiency of Bi-sinusoidal model, the data of meteorological stations in different climates from ultra-dry to very humid climates were used. For this purpose, daily and three-hour recorded temperatures at eight stations include: Ahwaz, Ardabil, Bushehr, Gorgan, Mashhad, Rasht, Tehran and Zahak in 2000 and 2005 were used. In this model, sunrise time is considered as the occurrence time of minimum temperature and maximum temperature occurrence is assumed after passing two-thirds of daytime length. These times can be accurately calculated with astronomical calculations. All the modelling calculations were performed in MATLAB software environment. To evaluate the mean error and mean bias of the model, RMSE and MBE indices were used, respectively.

Results: The results showed that in arid and extra-arid stations, RMSE vary between 1.5 to 2 and in humid and sub-humid stations it's close to 3 °C. Also, it seems that the performance of this model is not related to the season, in other words, the hourly temperature error estimation in hot and cold months is not significantly different. The MBE showed that the model underestimate hourly temperature in warm months and overestimate in cold months. However, the bias error is negligible in most of the months and is less than 0.5 degrees. Variation of actual and modelled temperature showed that circadian fluctuation of temperature in dry region is more similar to sinusoidal changes than humid area.

Conclusion: Investigation of circadian temperature fluctuation showed that this model has some trouble in detection of occurrence time of minimum and maximum temperature in humid stations that this is one of the main sources of this model error. However, this model simulates the sinus trend of temperature variations properly. According to development of this model based on ordinary circadian temperature fluctuation, in days with the meteorological phenomena such as warm and cold advection to the region, or in rainy days, the model accuracy in estimating hourly temperatures maybe reduced.

Keywords: Bi-Sinusoidal model, Circadian temperature fluctuation, Hourly temperature modeling, Maximum and Minimum Temperature

* Corresponding Author; Email: m.nadi@sanru.ac.ir