برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی

علی اکبر سبزی‌پرور*، حسین طبری و علی آیینی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۱/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۲)

چکیده

دمای خاک یکی از متغیرهای مهم در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم‌شناسی می‌باشد. با توجه به این که دمای خاک فقط در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور اندازه‌گیری می‌گردد، کمبود آن در نقاط فاقد ایستگاه یکی از چالش‌های بزرگ در بسیاری از مطالعات مرتبط با علوم کشاورزی است. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۶) دمای هوا، تابش خورشیدی، بارندگی، رطوبت نسبی هوا، فشار بخار آب، سرعت باد و فشار هوا در هشت ایستگاه منتخب هواشناسی (ساری، رشت، تبریز، ارومیه، اصفهان، شیراز، زاهدان و یزد)، روابطی تجربی جهت تخمین دمای روزانه خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری برای چهار اقلیم متفاوت، پیشنهاد شده است. روابط تجربی با استفاده از رگرسیون‌های چند متغیره بین دمای خاک به‌عنوان متغیر وابسته و بقیه متغیرهای روزانه هواشناسی (به‌عنوان متغیرهای مستقل) استخراج و بر حسب معیارهای آماری دسته‌بندی شدند. نتایج تحقیق نشان داد که روابط پیشنهادی در سطح معنی‌داری جهت تحمین دمای خاک در عمق‌ها و اقلیم‌های مورد نظر قابل اعتماد می‌باشند (برای لایه‌های سطحی خاک با $R^2 > ۰/۹۴$ و برای لایه های عمیق با $R^2 > ۰/۶۹$). هم‌چنین نشان داده شد که اهمیت تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف، یکسان نمی‌باشد. از بین متغیرهای مورد مطالعه، میانگین روزانه دمای هوا در هر چهار اقلیم، بیشترین هم‌بستگی معنی‌دار را با دمای خاک نشان داد (به طور متوسط با $R^2 > ۰/۹۱$ برای اقلیم گرم نیمه خشک، الی $R^2 > ۰/۸۵$ برای اقلیم مرطوب). نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش عمق خاک، ضرایب تعیین به طور قابل ملاحظه (تا حد ۳۶ درصد) کاهش می‌یابند. در این تحقیق رفتار آماره‌های اعتبار سنجی روابط پیشنهادی در عمق‌های مختلف و در هر یک از اقلیم‌های مورد مطالعه نیز بحث می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: دمای خاک، متغیرهای هواشناسی، هم‌بستگی‌های خطی چند متغیره

مقدمه

دمای خاک یکی از متغیرهای مهم در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم‌شناسی می‌باشد (۱۰). از سوی دیگر، رفتار حرارت در خاک بر فعالیت میکرو ارگانیسم‌ها در خاک، جذب عناصر مهم مانند فسفر و پتاسیم و دیگر فعالیت‌های بیولوژیکی درون خاک تأثیر بسزایی دارد (۱۴). دمای خاک در عمق‌های مختلف، دارای رفتار زمانی و مکانی متفاوتی می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، جریان

۱. به ترتیب دانشیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: swsabzi@basu.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

حرارتی درون خاک متأثر از متغیرهای مختلفی نظیر: دمای هوا، تابش خورشیدی، سرعت باد، فصل و خصوصیات فیزیکی خاک است. به‌همین دلیل، برآورد دمای خاک به ویژه در نزدیکی سطح زمین که نوسانات آن بیشتر است، تا حدودی مشکل می‌باشد (۱۵).

اندازه‌گیری دمای خاک در ایستگاه‌های سینوپتیک با انواع مختلف حسگر (Sensor) و یا دماسنج‌های معمولی صورت می‌گیرد. اندازه‌گیری دمای خاک با حسگر هزینه‌بر بوده و به نیروی انسانی و ماهر و پایش مداوم نیاز دارد. برای تعیین تغییرات مکانی دمای خاک در اعماق مختلف، چندین حسگر و یا دماسنج مختلف مورد نیاز است. بنابراین، ارائه روش‌های آماری و تجربی که قادر به ارائه نتایج قابل قبول در برآورد دمای خاک باشد، می‌تواند راه‌حل مناسبی برای برآورد این متغیر در نقاط فاقد اندازه‌گیری باشد (۱۶).

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه برآورد دمای خاک صورت گرفته است. گومان و لال (۱۱) دمای خاک منطقه استوا را با استفاده از تحلیل فوریه (Fourier analysis) مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن را با دمای مشاهده‌ای مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از دقت بالای آنالیز فوریه در این زمینه می‌باشد. ژنگ و همکاران (۱۹) با استفاده از دمای هوا و بکارگیری رگرسیون خطی، دمای خاک را در عمق ۱۰ سانتی‌متری در ۶ نمونه اقلیمی در آمریکا برآورد نمودند. اوزوویچ و والزاک (۱۷) یک مدل ریاضی جریان حرارتی در خاک را برای پیش‌بینی دمای خاک ارائه دادند. این مدل شامل معادله و مدل فیزیکی-آماری برای ارزیابی خصوصیات گرمایی به‌عنوان تابعی از رطوبت و چگالی حجمی بود، که از مدل تفاضل‌های محدود (Finite differences) برای حل معادله انتقال حرارت استفاده می‌نمود. نتایج آنها نشان داد که مقادیر برآورد شده دمای خاک توسط مدل ارائه شده، از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. هیوزینکولد و همکاران (۱۳) با استفاده از آنالیز هارمونیک و بررسی هدایت گرمایی خاک، دمای خاک را در یک خاک شنی در منطقه‌ای بیابانی در شمال اسرائیل برآورد نمودند. جورج (۱۲) در یک منطقه نیمه‌خشک در هند، جهت برآورد دمای خاک از شبکه عصبی مصنوعی (Artificial neural network: ANN) استفاده نمود. او در تحقیق خود دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد را به‌عنوان متغیرهای ورودی و دمای خاک در صبح و بعد از ظهر را به عنوان متغیرهای خروجی به کار برد. پلابوگ (۱۶) مطالعه‌ای را جهت ارائه روابط ساده و تجربی برای برآورد دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری در دانمارک انجام داد. میهالاکاکو (۱۵) در آتن و دوبلین، برای برآورد تغییرات دمای خاک از تابع تشخیص (Deterministic function) و شبکه عصبی مصنوعی با دمای هوا، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی به‌عنوان متغیرهای ورودی استفاده نمود. ورونز و همکاران (۱۸) در یک منطقه شهری در برزیل، با استفاده از طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع و به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی دمای سطحی خاک (Soil surface temperature: SST) را برآورد نمودند.

متأسفانه، علی‌رغم اهمیت دسترسی به داده های دمای خاک، تاکنون مطالعات اندکی در خصوص برآورد دمای خاک در کشور صورت گرفته است. ابراهیمی (۱) با استفاده از روش‌های آماری به مطالعه دمای خاک در اعماق مختلف در تهران و همدان پرداخت. مهدویان (۸) جهت پیش‌بینی دمای خاک در منطقه کرج از شبکه عصبی مصنوعی و روابط تجربی برانت استفاده نمود. دانش کار آراسته و همکاران (۵) نیز با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA، اقدام به تخمین دمای سطح خاک در سیستان نمودند. در تحقیق دیگری، رحیمی خوب و همکاران (۶) با به کارگیری تصاویر ماهواره NOAA، دمای سطح خاک را در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برآورد نمودند. جعفری گلستانی و همکاران (۳) با استفاده از روابط رگرسیونی، معادلات تجربی را جهت تخمین دمای خاک شهر ساری در عمق‌های ۷ و ۲۰ سانتی متری پیشنهاد نمودند. بهیار و کمالی (۲) رابطه دمای هوا و دمای خاک را در اعماق مختلف در منطقه بروجن مورد ارزیابی قرار دادند. نجفی مود و همکاران (۹) به‌منظور برآورد عمق یخبندان خاک و ارایه یک رابطه ساده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

بین درجه حرارت هوا و دمای خاک و اعماق مختلف آن، مطالعه‌ای را در شهرستان‌های استان خراسان رضوی انجام دادند. در تحقیق دیگری، چایچی و همکاران (۴) با بکارگیری تصاویر ماهواره NOAA، دمای سطح خاک را در مقیاس ماهانه در استان تهران برآورد نمودند.

با توجه به این که دمای خاک فقط در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور اندازه‌گیری می‌گردد و در پاره ای از موارد نیز دارای خلأهای آماری است، تعیین آن در نقاط فاقد ایستگاه در بسیاری از مطالعات از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق، بر اساس داده‌های روزانه موجود در ایستگاه‌های ساری، رشت، تبریز، ارومیه، اصفهان، شیراز، زاهدان و یزد (۷)، در یک دوره ده ساله، (۲۰۰۵-۱۹۹۶)، روابط تجربی جهت برآورد دمای روزانه خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری برای چهار اقلیم گرم و خشک (Warm Arid : WA)، گرم و نیمه‌خشک (Warm Semi-Arid : WSA)، سرد نیمه‌خشک (Cold Semi-Arid : CSA) و مرطوب (Humid : H) در هشت ایستگاه کشور ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

در تحقیق حاضر، دمای خاک در چهار اقلیم متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. بدین صورت که دو ایستگاه سینوپتیک تبریز و ارومیه به‌عنوان نماینده اقلیم سرد نیمه‌خشک، ایستگاه‌های اصفهان و شیراز به‌عنوان اقلیم گرم و نیمه‌خشک، ایستگاه‌های یزد و زاهدان به‌عنوان اقلیم گرم و خشک و ایستگاه‌های ساری و رشت تحت اقلیم مرطوب (با استفاده از طبقه‌بندی اقلیمی کوپن)، مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱). موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. در این تحقیق، داده‌های روزانه دمای هوا (T_{avg})، رطوبت نسبی (RH)، فشار هوا (P)، فشار بخارآب (e_a)، تابش خورشیدی (R_S)، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (U_{10}) و بارندگی (R) به عنوان متغیرهای مستقل، و دمای خاک (T_{soil}) به عنوان متغیر وابسته در دوره اقلیمی ده ساله ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ میلادی که از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است، مورد تحلیل قرار گرفتند. داده‌های دمای خاک در ۶ عمق (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) و در سه زمان در طول روز (ساعت۳۰ :۶ صبح ،۳۰ : ۱۲ بعدازظهر و۳۰ :۱۸ بعدازظهر به وقت استاندارد ایران) در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌گردد که میانگین این سه مقدار به عنوان میانگین روزانه مورد استفاده قرار گرفت. لازم به‌ذکر است که تعداد کل روزهای مورد مطالعه در دوره اقلیمی مذکور جهت ارزیابی داده‌های هواشناسی و دمای خاک جمعاً ۳۶۵۳ روز (تعداد روزهای ۱۰ سال) می باشد. در جدول ۲، میانگین دمای خاک اندازه گیری شده در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و۱۰۰ سانتی‌متری در ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

روش تحقیق

با توجه به این که متغیرهای هواشناسی بسیاری بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف، تأثیر گذارند، در این تحقیق، ابتدا هم‌بستگی بین متغیرهای هواشناسی و دمای خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری بر اساس ضریب تعیین (رابطه ۱) در چهار اقلیم مورد مطالعه تعیین شد. سپس با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره تحت نرم افزار SPSS روابط تجربی برای هر اقلیم و هم‌چنین هر عمق به صورت جداگانه ارائه شد. جهت تعیین هم‌بستگی بین دمای خاک و دیگر متغیرهای هواشناسی، معادله هم‌بستگی خطی چند متغیره زیر بین متغیر وابسته (Y) ومتغیرهای مستقل جوی (X) در نظر گرفته شد:

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \cdots\cdots + a_nx_n \qquad [1]$$

که در آن Y متغیر پیش‌بینی شونده، x_1 ,x_2 ,x_3 ,x_1 ,x_n متغیرهای پیش‌بینی کننده و a_1، a_2، a_3 و a_4 ضرایب ثابت هم‌بستگی‌اند.

برای ارزیابی دقت روابط تجربی ارائه شده، مقادیر میانگین روزانه دمای خاک برآورد شده با هر یک از روابط با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. اعتبار سنجی روابط تجربی

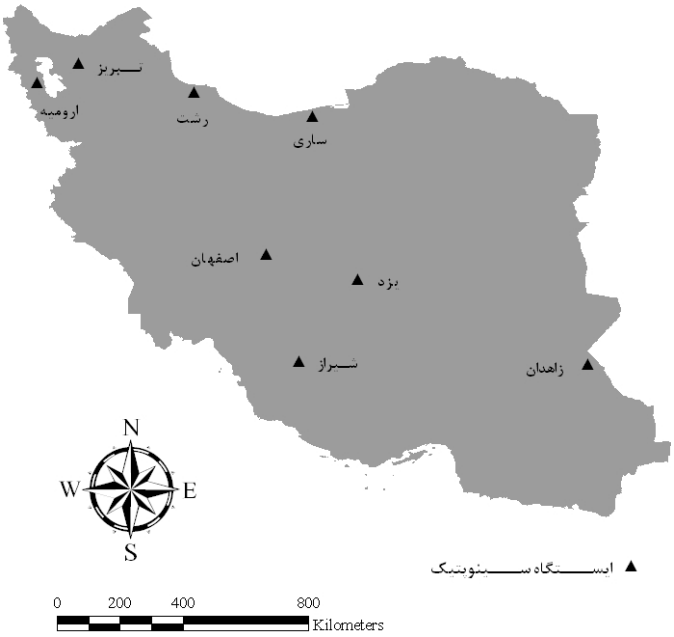
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و میانگین‌های سالانه اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	U_{10} ($m.s^{-1}$)	e_a (kpa)	P (kpa)	RH (%)	R ($mm\ year^{-1}$)	R_S (Mjm^{-2})	T (°C)	ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	نوع اقلیم (Köppen)
ساری	۱/۹۲	۱/۶	۱۰۱/۴	۷۸	۷۹۳/۱	۱۶/۲۳	۱۷/۹	۲۳	۳۶–۳۳	۵۳- ۰۰	مرطوب
رشت	۱/۰۹	۱/۶	۱۰۱/۴	۸۳	۱۳۱۸/۲	۱۶/۶۲	۱۶/۶	۳۷	۳۷–۱۲	۳۹- ۴۹	مرطوب
تبریز	۳/۴۵	۰/۷۴	۸۶/۴	۵۰	۲۸۸/۹	۱۲/۶۸	۱۳/۷	۱۳۶۱	۳۸–۰۵	۴۶ –۱۷	سرد نیمه‌خشک
ارومیه	۲/۰۱	۰/۸	۸۶/۷	۵۸	۲۴۹/۶	۱۳/۳۴	۱۲	۱۳۱۶	۳۷–۳۲	۴۵- ۰۵	سرد نیمه‌خشک
اصفهان	۱/۵۶	۰/۶	۸۴/۴	۳۶	۱۲۲/۸	۱۶/۸۰	۱۶/۸	۱۵۵۰	۳۲–۳۷	۵۱–۴۰	گرم نیمه‌خشک
شیراز	۲/۱۷	۰/۷۲	۸۵/۱۱	۳۸	۳۴۶/۱	۱۸/۲۶	۱۸/۹	۱۴۸۴	۲۹–۳۲	۵۲–۴۶	گرم نیمه‌خشک
یزد	۲/۹۲	۰/۵۶	۸۷/۷۰	۲۸	۶۰/۸	۲۲/۱۶	۲۰/۲	۱۲۳۷	۳۱–۵۴	۵۴–۱۷	گرم خشک
زاهدان	۳/۳۴	۰/۵۵	۸۶/۲۲	۲۸	۹۰/۶	۲۱/۰۳	۱۹/۲	۱۳۷۰	۲۹–۲۸	۶۰–۵۴	گرم خشک

T: دمای هوا، R_S: تابش خورشیدی، R: بارندگی، RH: رطوبت نسبی، P: فشار هوا، e_a: فشار بخار هوا و U_{10}: سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

به‌دست آمده، با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین انحراف خطا (MBE) انجام گرفت (روابط ۲ الی ۵).

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})(Y_i-\overline{Y})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\overline{Y})^2} \quad [2]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-Y_i)^2}{n}} \quad [3]$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i-Y_i|}{n} \quad [4]$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-Y_i)}{n} \quad [5]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

جدول ۲. میانگین روزانه دمای اعماق خاک (°C) در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۶

	عمق خاک (سانتی متر)					
	۵	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۱۰۰
ساری	۲۰/۰۶	۲۰/۰۳	۱۹/۷۴	۲۰	۲۰/۱۶	۲۰/۳۷
رشت	۱۷/۷۱	۱۸/۰۶	۱۷/۵۴	۱۷	۱۷/۹۵	۱۸/۱۷
تبریز	۱۶/۰۲	۱۵/۶۹	۱۵/۲۰	۱۵	۱۵/۴۹	۱۶/۵۲
ارومیه	۱۵/۱۱	۱۴/۹۳	۱۴/۵۱	۱۴	۱۵/۰۶	۱۵/۲۲
اصفهان	۲۰/۵۱	۲۰/۳۲	۱۹/۷۱	۲۰	۲۰/۷۱	۲۱/۰۹
شیراز	۲۱/۳۹	۲۱/۳۷	۲۱/۱۱	۲۱	۲۲/۴۷	۲۳/۲۳
یزد	۲۴/۵۱	۲۴/۵۱	۲۴/۰۴	۲۴	۲۵/۰۳	۲۵/۵۱
زاهدان	۲۳/۴۰	۲۳/۷۲	۲۳/۲۴	۲۳	۲۴/۰۳	۲۴/۷۲

در این روابط، X_i و Y_i به‌ترتیب i امین داده واقعی (اندازه‌گیری شده) و برآورد شده، $\overline{X}$ و $\overline{Y}$ میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در کل جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های ارزیابی شده می‌باشند.

نتایج و بحث

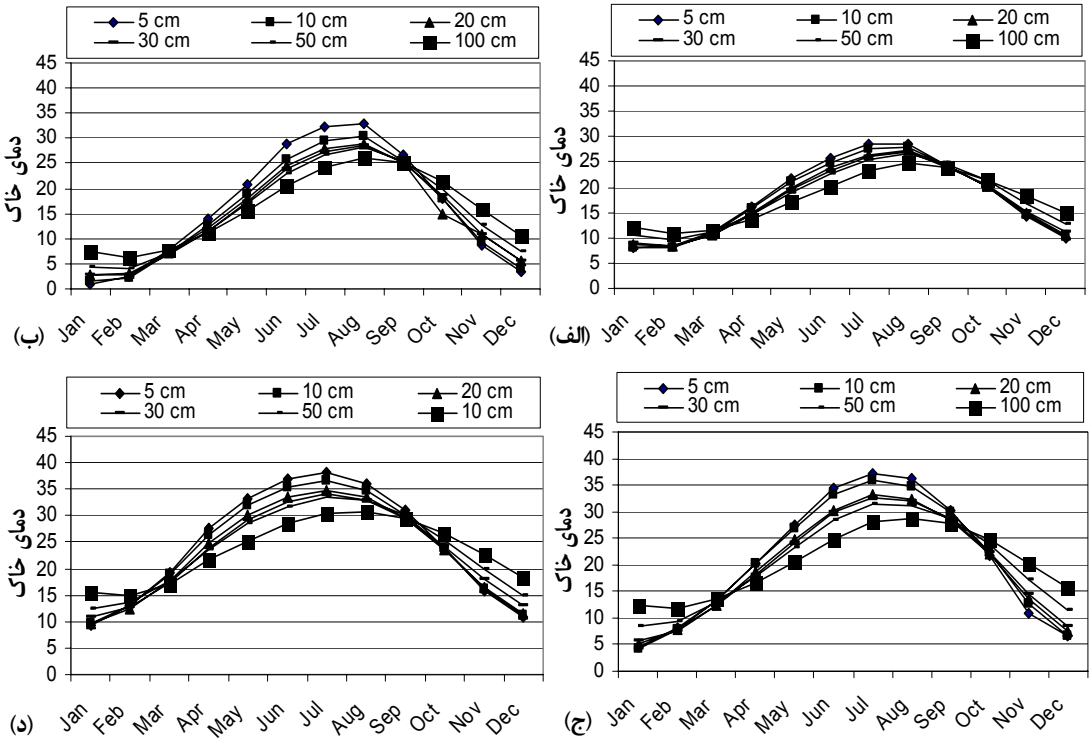
آنالیز مقادیر ماهانه و سالانه دمای خاک

شکل ۲ تغییرات میانگین ماهانه دمای واقعی خاک در کل دوره آماری در چهار اقلیم مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در اقلیم مرطوب حداکثر مقدار دمای ماهانه خاک در همه اعماق در ماه اگوست (مرداد) اتفاق افتاده است. حداقل مقدار آن در اعماق کم (۵ و ۱۰ سانتی‌متری) در ماه ژانویه (دی) و در بقیه اعماق در ماه فوریه (بهمن) می‌باشد. در اقلیم سرد نیمه‌خشک نیز، حداکثر مقدار دمای ماهانه خاک در همه اعماق در ماه اگوست (مرداد) رخ داده است. حداقل مقدار دمای خاک نیز در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری در ماه ژانویه (دی) و در بقیه اعماق در ماه فوریه (بهمن) می‌باشد. در اقلیم گرم نیمه‌خشک، حداکثر مقدار دمای ماهانه خاک در همه اعماق یک ماه زودتر یعنی در ماه جولای (تیر) و حداقل مقدار آن در ماه ژانویه (دی) اتفاق افتاده است. به‌طور مشابه، علت تأخیر یک ماهه بین زمان وقوع بیشینه دمای خاک در اقلیم خشک و اقلیم مرطوب را می‌توان به رطوبت بیشتر موجود در جو و در خاک در اقلیم مرطوب نسبت داد. حضور بخار آب بیشتر، سرعت انتقال و توزیع انرژی حرارتی را در خاک کند می‌نماید. بیشینه دمای خاک در تحقیق بهیار و کمالی (۲) در منطقه بروجن، در نیمه دوم مرداد به دست آمد. در اقلیم گرم و خشک، حداکثر مقدار دمای ماهانه خاک در همه اعماق به‌غیر از عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در ماه جولای (تیر) به‌وقوع پیوسته است. حداقل مقدار دمای ماهانه خاک در این اقلیم در همه اعماق به‌غیر از عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در ماه ژانویه (دی) و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری با یک ماه تأخیر در ماه فوریه (بهمن) می‌باشد. بهیار و کمالی (۲) در تحقیق خود نتیجه گرفتند که دمای بیشینه در اعماق پایین‌تر با تأخیر زمانی رخ می‌دهد. مقایسه مقادیر ماهانه دمای خاک در چهار اقلیم مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر دمای خاک به‌ترتیب در اقلیم‌های گرم و خشک، گرم و نیمه‌خشک و کمترین مقدار به‌ترتیب در اقلیم‌های سرد نیمه‌خشک و مرطوب می‌باشد.

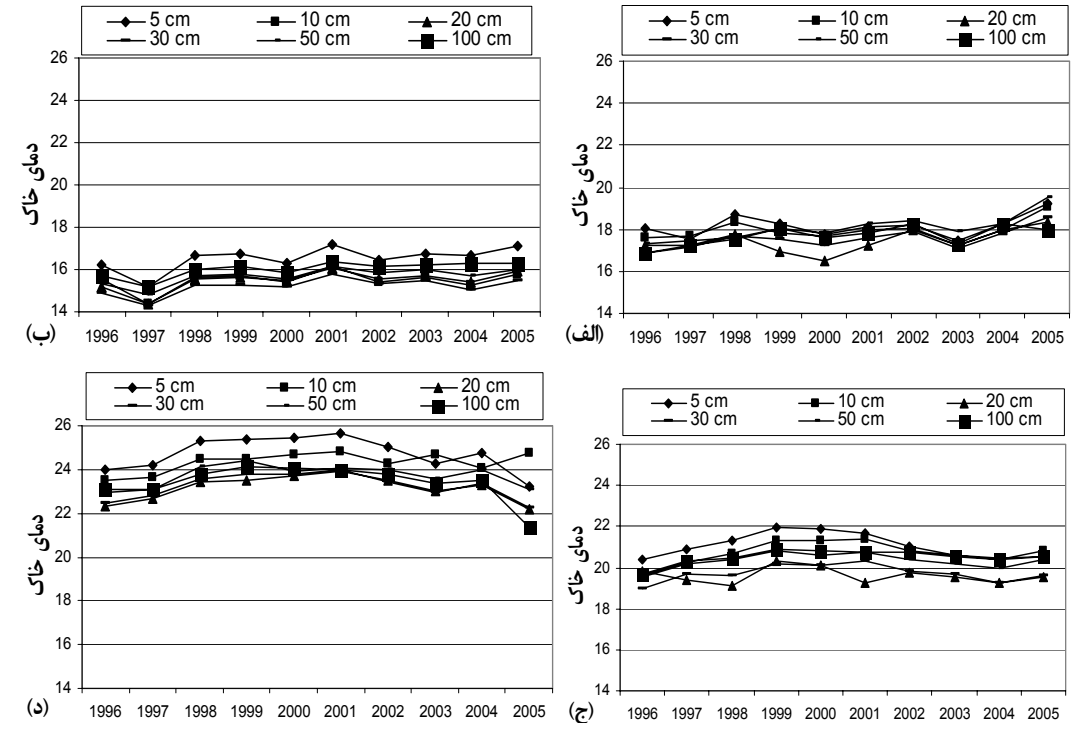
در شکل ۳، تغییرات سالانه دمای خاک در کل دوره آماری در چهار اقلیم مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود، مقادیر میانگین سالانه دمای خاک در طول دوره

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]



شکل ۲. تغییرات ماهانه دمای خاک (بر حسب سانتی‌گراد) در کل دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۹۶) در اقلیم‌های مورد مطالعه: الف) اقلیم مرطوب، ب) اقلیم سرد نیمه‌خشک، ج) اقلیم گرم و نیمه‌خشک، د) اقلیم گرم و خشک



شکل ۳. تغییرات سالانه دمای خاک (بر حسب سانتی‌گراد) در کل دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۹۶) در اقلیم‌های مورد مطالعه: الف) اقلیم مرطوب، ب) اقلیم سرد نیمه‌خشک، ج) اقلیم گرم و نیمه‌خشک، د) اقلیم گرم و خشک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

مورد مطالعه دارای نوساناتی است که این امر ناشی از تأثیر دیگر متغیرهای جوی مانند: تابش خورشیدی، ابرناکی، ساعات آفتابی، رطوبت هوا، بارش و ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد.

روش بررسی هم‌بستگی متغیرهای هواشناسی با دمای خاک

در جدول ۳، ضرایب تعیین بین متغیرهای هواشناسی و دمای خاک در اعماق مختلف برای چهار اقلیم مورد مطالعه در دوره آماری ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، با افزایش عمق، میزان تأثیرگذاری متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در هر چهار اقلیم مورد مطالعه کاهش می‌یابد. کاهش میزان تأثیرگذاری متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک با افزایش عمق آن، یکسان نمی‌باشد. به طور مثال در اقلیم مرطوب، بیشترین کاهش تأثیرگذاری در متغیرهای بارش و رطوبت نسبی و کمترین آن در متغیرهای سرعت باد و فشار بخار هوا مشاهده شده است. هم‌چنین، میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف، یکسان نمی‌باشد. از بین عوامل بکار رفته، میانگین روزانه دمای هوای بیشترین هم‌بستگی را با دمای خاک نشان می‌دهد (جدول ۳).

نتایج تحقیق جعفری گلستانی و همکاران (۳) در منطقه ساری نیز نشان‌دهنده هم‌بستگی نسبتاً بالای دمای هوا و خاک می‌باشد. در تحقیق دیگری، ژنگ و همکاران (۱۹) به ضرایب تعیینی بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۶ بین دمای هوا و خاک دست یافتند. میانگین روزانه بارش و سرعت باد در همه اقلیم‌ها رابطه معنی‌داری با دمای خاک نشان نمی‌دهد. نتایج نیز نشان می‌دهند که در همه اقلیم‌های مورد مطالعه، به‌غیر از اقلیم مرطوب، میانگین روزانه رطوبت نسبی هوا دارای هم‌بستگی بالایی با دمای خاک می‌باشد. این امر ناشی از وابستگی شدید رطوبت نسبی هوا به دمای هوا در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. با خشک شدن اقلیم، میزان هم‌بستگی بین فشار بخار آب و دمای خاک به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، در اقلیم مرطوب و اقلیم گرم و خشک، فشار بخار آب با دمای خاک به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین هم‌بستگی آماری می‌باشند. نتایج جدول ۳ نیز نشان می‌دهد که هم‌بستگی بین میانگین تابش خورشیدی و دمای خاک در اقلیم سرد نیمه‌خشک بیشترین مقدار را داراست. این در حالی است که دمای خاک با فشار هوا در همه اقلیم‌ها و در همه اعماق هم‌بستگی معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

تحلیل روابط تجربی

با توجه به نتایج هم‌بستگی به دست آمده بین متغیرهای هواشناسی و دمای خاک در اعماق مختلف در دوره آماری مورد مطالعه (جدول ۳)، با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره، روابط تجربی در اعماق مختلف و برای اقلیم‌های مورد مطالعه به صورت مجزا ارائه گردید.

لازم به‌ذکر است که با توجه به تأثیر نوع اقلیم بر هم‌بستگی هر یک از متغیرها، پارامترهای ورودی متفاوتی در روابط هم‌بستگی به کار برده شد.

روابط هم‌بستگی در اقلیم مرطوب

با به کارگیری داده‌های روزانه ذکر شده در جدول ۳، روابط هم‌بستگی خطی چند متغیره در ایستگاه‌های اقلیم مرطوب بطور مجزا در عمق‌های مورد مطالعه استخراج گردید (روابط ۶ الی ۱۱).

$$T_{5-H} = 0/732T_{avg} + 4/183e_a + 0/614P - 62/938 \quad [6]$$

$$T_{10-H} = 0/626T_{avg} + 4/822e_a + 0/833P - 84/771 \quad [7]$$

$$T_{20-H} = 0/498T_{avg} + 5/529e_a + 1/026P - 103/802 \quad [8]$$

$$T_{30-H} = 0/461T_{avg} + 5/652e_a + 1/029P - 121/948 \quad [9]$$

$$T_{50-H} = 0/383T_{avg} + 5/584e_a + 1/587P - 158/322 \quad [10]$$

$$T_{100-H} = 0/226T_{avg} + 5/269e_a + 1/679P + 164/879 \quad [11]$$

در این روابط، T_{5-H}، T_{10-H}، T_{20-H}، T_{30-H}، T_{50-H} و T_{100-H} به‌ترتیب میانگین روزانه برآورد شده دمای خاک ($^{\circ}C$) در اقلیم مرطوب در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، T_{avg} میانگین دمای هوا ($^{\circ}C$)، e_a فشار بخار آب (kPa) و P فشار هوا

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

جدول ۳. ضرایب تعیین (R^2) رابطه بین دمای خاک و دیگر متغیرهای هواشناسی در چهار اقلیم مورد مطالعه در دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۶)

نوع اقلیم	عمق خاک (**cm**)	T_{avg}	R_S	U_2	RH	R	P	e_a
مرطوب	۵	۰/۹۳۶۷	۰/۱۲۶۴	۰/۰۳۲۶	۰/۰۵۲۴	۰/۰۲۲۸	۰/۳۸۱۴	۰/۹۰۸۲
	۱۰	۰/۹۲۸۳	۰/۱۰۷۸	۰/۰۳۱۵	۰/۰۳۶۲	۰/۰۱۴۳	۰/۳۶۰۳	۰/۹۲۰۹
	۲۰	۰/۹۰۱۱	۰/۰۹۵۸	۰/۰۳۲۵	۰/۰۴۹۳	۰/۰۰۶۲	۰/۳۲۶۶	۰/۹۲۱۸
	۳۰	۰/۸۸۸۴	۰/۰۸۵۲	۰/۰۳۱۰	۰/۰۱۷۰	۰/۰۰۴۲	۰/۳۰۸۴	۰/۹۱۹۳
	۵۰	۰/۸۳۳۲	۰/۰۶۳۵	۰/۰۲۹۰	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۲۴	۰/۲۵۵۱	۰/۸۸۲۶
	۱۰۰	۰/۷۰۸۳	۰/۰۳۹۶	۰/۰۳۰۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۱۷۶۳	۰/۷۸۸۵
میانگین همه عمق‌ها	R^2	۰/۸۶۶۰	۰/۰۸۶۴	۰/۰۳۱۲	۰/۰۲۲۹	۰/۰۰۸۳	۰/۳۰۱۴	۰/۸۹۰۲
سرد نیمه‌خشک	۵	۰/۹۵۹۴	۰/۴۵۰۲	۰/۱۴۵۳	۰/۵۸۹۳	۰/۰۱۵۰	۰/۱۳۵۸	۰/۶۷۷۲
	۱۰	۰/۹۵۳۴	۰/۴۲۶۵	۰/۱۳۹۶	۰/۵۷۳۲	۰/۰۱۱۷	۰/۱۲۰۶	۰/۶۸۱۴
	۲۰	۰/۹۳۲۳	۰/۳۹۷۸	۰/۱۲۹۸	۰/۵۵۰۲	۰/۰۱۰۳	۰/۱۰۵۰	۰/۶۷۶۰
	۳۰	۰/۹۲۲۱	۰/۳۸۳۳	۰/۱۲۵۵	۰/۵۳۹۸	۰/۰۱۰۱	۰/۰۹۹۷	۰/۶۷۱۷
	۵۰	۰/۸۸۵۶	۰/۳۴۸۶	۰/۱۰۷۸	۰/۵۱۴۴	۰/۰۱۰۷	۰/۰۷۹۳	۰/۶۴۹۲
	۱۰۰	۰/۷۷۱۳	۰/۲۵۴۴	۰/۰۶۳۰	۰/۴۳۴۱	۰/۰۱۳۵	۰/۰۳۵۵	۰/۵۷۱۳
میانگین همه عمق‌ها	R^2	۰/۹۰۴۰	۰/۳۷۶۸	۰/۱۱۸۵	۰/۵۳۳۵	۰/۰۱۱۹	۰/۰۹۶	۰/۶۵۴۵
گرم نیمه‌خشک	۵	۰/۹۶۶۰	۰/۳۳۰۷	۰/۰۱۲۳	۰/۵۴۸۵	۰/۰۲۸۳	۰/۲۵۳۶	۰/۳۶۳۸
	۱۰	۰/۹۷۱۵	۰/۳۲۵۵	۰/۰۱۲۴	۰/۵۵۰۷	۰/۰۲۷۱	۰/۲۴۵۸	۰/۳۶۱۳
	۲۰	۰/۹۵۹۸	۰/۳۰۰۲	۰/۰۰۶۶	۰/۵۱۱۷	۰/۰۲۳۱	۰/۲۲۶۲	۰/۳۷۶۰
	۳۰	۰/۹۴۴۶	۰/۲۸۸۷	۰/۰۰۴۹	۰/۵۰۰۳	۰/۰۲۳۶	۰/۲۰۷۴	۰/۳۸۴۹
	۵۰	۰/۹۰۰۵	۰/۲۵۳۳	۰/۰۰۰۴	۰/۴۵۵۴	۰/۰۲۴۸	۰/۱۶۷۵	۰/۳۸۶۵
	۱۰۰	۰/۷۴۶۵	۰/۱۶۵۲	۰/۰۰۷۳	۰/۳۳۹۸	۰/۰۲۶۱	۰/۰۸۴۳	۰/۳۴۸۷
میانگین همه عمق‌ها	R^2	۰/۹۱۴۸	۰/۲۷۷۳	۰/۰۰۷۳	۰/۴۸۴۴	۰/۰۲۵۵	۰/۱۹۷۵	۰/۳۷۰۲
گرم و خشک	۵	۰/۹۳۶۹	۰/۱۰۸۱	۰/۰۰۵۳	۰/۴۶۵۹	۰/۰۲۰۱	۰/۵۵۴۱	۰/۰۷۸۲
	۱۰	۰/۹۳۶۲	۰/۱۰۹۱	۰/۰۰۴۸	۰/۴۶۱۹	۰/۰۱۸۶	۰/۵۴۸۲	۰/۰۸۰۴
	۲۰	۰/۹۲۲۴	۰/۱۰۴۳	۰/۰۰۳۱	۰/۴۶۳۷	۰/۰۱۷۲	۰/۵۲۹۲	۰/۰۷۵۳
	۳۰	۰/۸۹۰۵	۰/۱۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۴۷۰۱	۰/۰۱۶۶	۰/۴۹۹۷	۰/۰۶۲۷
	۵۰	۰/۸۴۴۴	۰/۰۹۵۳	۰/۰۰۰۳	۰/۴۷۸۳	۰/۰۱۶۸	۰/۴۵۷۶	۰/۰۴۶۷
	۱۰۰	۰/۶۶۸۵	۰/۰۸۱۵	۰/۰۰۰۱	۰/۴۳۵۰	۰/۰۱۸۷	۰/۳۱۲۴	۰/۰۲۰۲
میانگین همه عمق‌ها	R^2	۰/۸۶۶۵	۰/۰۹۹۸	۰/۰۰۲۴	۰/۴۶۲۵	۰/۰۱۸۰	۰/۴۸۳۵	۰/۰۶۰۶

T_{avg}: دمای هوا، R_S: تابش خورشیدی، U_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، R: بارندگی، RH: رطوبت نسبی، P: فشار هوا و e_a: فشار بخار هوا

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

(kPa) می‌باشند.

نتایج آماری اعتبار سنجی روابط تجربی ارائه شده برای اقلیم مرطوب در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، روابط تجربی در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری به‌ترتیب دارای بیشترین ضریب تعیین و کمترین خطا می‌باشند. روابط به دست آمده نشان می‌دهند که با افزایش عمق خاک هم‌بستگی‌ها ضعیف‌تر شده به‌طوری‌که برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری دارای کمترین ضریب تعیین و بیشترین خطا می‌باشد. بالا بودن دقت روابط در لایه‌های سطحی خاک به‌واسطه تأثیرپذیری بیشتر دمای خاک از عوامل جوی و تأخیر زمانی (Time lag) کمتر جهت انتقال حرارت از سطح به لایه‌های ۵ و ۱۰ سانتی‌متری است.

مقادیر منفی خطای MBE در جدول ۴ (اقلیم مرطوب) در اغلب عمق‌ها، حاکی از فرو برآورد (Underestimation) دمای خاک توسط روابط اقلیم مرطوب می‌باشد.

اقلیم سرد نیمه‌خشک

در این اقلیم با توجه به ضرایب هم‌بستگی نسبتاً قابل قبول متغیرهای رطوبت نسبی و تابش نسبت به سایر متغیرهای هواشناسی (با ضرایب تعیینی به‌ترتیب برابر با ۰/۵۳ و ۰/۳۸)، علاوه بر دمای هوا و فشار بخار آب، این متغیرها نیز در روابط هم‌بستگی چند متغیره تأثیر داده شد. همانطور که در روابط ۱۲ الی ۱۷ ملاحظه می‌گردد، در مقایسه با اقلیم مرطوب، در این اقلیم متغیرهای تابش و رطوبت نسبی هوا تأثیر بیشتری بر دمای خاک دارند.

$$T_{5-CSA} = 0/806T_{avg} + 6/881e_a - 9/489RH + 0/090R_S + 3/952 \quad [12]$$

$$T_{10-CSA} = 0/768T_{avg} + 5/741e_a - 6/973RH + 0/049R_S + 3/501 \quad [13]$$

$$T_{20-CSA} = 0/716T_{avg} + 5/373e_a - 5/501RH + 0/019R_S + 4/247 \quad [14]$$

$$T_{30-CSA} = 0/715T_{avg} + 5/295e_a - 5/054RH + 0/005R_S + 3/982 \quad [15]$$

$$T_{50-CSA} = 0/639T_{avg} + 5/430e_a - 5/50RH - 0/017R_S + 5/957 \quad [16]$$

$$T_{100-CSA} = 0/497T_{avg} + 5/136e_a - 4/241RH - 0/076R_S + 8/639 \quad [17]$$

در روابط فوق، T_{5-CSA}، T_{10-CSA}، T_{20-CSA}، T_{30-CSA}، T_{50-CSA} و $T_{100-CSA}$ میانگین روزانه دمای خاک (°C) در اقلیم سرد نیمه‌خشک به‌ترتیب در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، T_{avg} میانگین دمای هوا (°C)، e_a فشار بخار آب (kPa)، R_S تابش خورشیدی ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$) و RH رطوبت نسبی هوا (درصد) می‌باشند.

در جدول ۵، آماره‌های خطاسنجی روابط تجربی برای ایستگاه‌های موجود در اقلیم سرد نیمه‌خشک نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مشابه اقلیم مرطوب، در این اقلیم نیز روابط تجربی در اعماق ۱۰ و ۵ سانتی‌متری به‌ترتیب دارای بیشترین ضریب تعیین و کمترین خطا و برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری دارای ضعیف‌ترین هم‌بستگی و بیشترین خطا می‌باشند. لذا در این اقلیم نیز تأثیر پذیری لایه‌های سطحی خاک از متغیرهای برون جوی بیشتر از لایه‌های عمیق است.

مقایسه نتایج جدول ۴ و ۵ نشان می دهد که بر خلاف اقلیم مرطوب، در اقلیم سرد نیمه‌خشک مقدار دمای خاک بیش از مقدار واقعی (Overestimation) تخمین زده می‌شود. هم‌چنین، مقادیر خطاهای MAE و RMSE نیز بیش از اقلیم مرطوب است.

اقلیم گرم و نیمه‌خشک

همان‌طورکه در جدول ۳ ملاحظه می شود، در اقلیم گرم نیمه‌خشک، تأثیر رطوبت نسبی بیش از فشار بخار آب می‌باشد. لذا در روابط استخراج شده دراین اقلیم، بعد از دمای هوا به ترتیب رطوبت نسبی و سپس فشار بخار آب تأثیر بیشتری بر دمای خاک در عمق‌های مختلف دارند. معادلات هم‌بستگی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

دمای خاک در اقلیم گرم و نیمه‌خشک در روابط ۱۸ الی ۲۳ نشان داده شده است.

جدول ۴. آماره‌های واسنجی روابط تجربی برای اقلیم مرطوب

رابطه	R^2	RMSE	MAE	MBE	n
$T_{5\text{-}H}$	۰/۹۵۹	۱/۳۱۷	۰/۹۷۰	۰/۰۴۳	۳۶۱۹
$T_{10\text{-}H}$	۰/۹۶۱	۱/۲۲۶	۰/۸۹۴	−۰/۰۰۱	۳۶۳۴
$T_{20\text{-}H}$	۰/۹۵۱	۲/۱۳۰	۱/۰۸۹	−۰/۱۴۷	۳۶۰۹
$T_{30\text{-}H}$	۰/۹۴۶	۱/۲۵۷	۰/۹۸	۰/۰۳۴	۳۶۳۴
$T_{50\text{-}H}$	۰/۹۱۱	۱/۵۱۵	۱/۱۸۶	−۰/۰۴۶	۳۶۲۳
$T_{100\text{-}H}$	۰/۸۲۰	۲/۰۶۹	۱/۴۳۷	−۰/۰۷۵	۳۶۱۹

n: تعداد داده‌ها

جدول ۵. آماره های واسنجی روابط تجربی برای اقلیم سرد نیمه‌خشک

رابطه	R^2	RMSE	MAE	MBE	n
$T_{5\text{-}H}$	۰/۹۵۹	۱/۷۳۸	۲/۵۰۱	۰/۰۲۴	۳۴۶۴
$T_{10\text{-}H}$	۰/۹۵۹	۴/۸۰۲	۲/۲۶۵	۱/۲۵۷	۳۴۶۴
$T_{20\text{-}H}$	۰/۹۴۳	۴/۸۲۷	۲/۴۵۵	۱/۲۵۹	۳۴۶۴
$T_{30\text{-}H}$	۰/۹۳۶	۴/۸۵۸	۲/۵۳۲	۱/۲۷۲	۳۴۶۴
$T_{50\text{-}H}$	۰/۹۰۹	۴/۹۹۸	۳/۰۷۰	۱/۲۸۶	۳۴۶۴
$T_{100\text{-}H}$	۰/۷۹۸	۵/۳۵۹	۳/۴۶۳	۱/۴۱۴	۳۴۶۴

n: تعداد داده‌ها

$$T_{5-WSA} = ۱/۱۲۷T_{avg} - ۱/۴۶۰RH - ۱/۵۷۰e_a + ۰/۰۳۶R_S + ۲/۰۲۰ \quad [۱۸]$$

$$T_{10-WSA} = ۱/۰۹۵T_{avg} - ۲/۵۶۳RH - ۰/۰۸۴e_a + ۰/۰۲۶R_S + ۲/۱۴۱ \quad [۱۹]$$

$$T_{20-WSA} = ۰/۹۷۱T_{avg} - ۱/۴۹۶RH + ۰/۸۹۱e_a + ۰/۰۰۸R_S + ۲/۶۳۶ \quad [۲۰]$$

$$T_{30-WSA} = ۰/۹۵۷T_{avg} + ۰/۳۲۸RH + ۰/۳۵۱e_a + ۰/۰۰۱R_S + ۲/۸۰۸ \quad [۲۱]$$

$$T_{50-WSA} = ۰/۸۴۹T_{avg} + ۲/۶۵۹RH - ۰/۳۵۴e_a - ۰/۰۲۳R_S + ۵/۳۲۱ \quad [۲۲]$$

$$T_{100-WSA} = ۰/۶۶۱T_{avg} + ۵/۵۵۰RH - ۱/۲۸۷e_a - ۰/۰۵۳R_S + ۸/۹۶۶ \quad [۲۳]$$

در این روابط، $T_{5\text{-}WSA}$، $T_{10\text{-}WSA}$، $T_{20\text{-}WSA}$، $T_{30\text{-}WSA}$، $T_{50\text{-}WSA}$ و $T_{100\text{-}WSA}$ میانگین روزانه دمای خاک (°C) در اقلیم گرم و نیمه‌خشک به‌ترتیب در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، T_{avg} میانگین دمای هوا (°C)، e_a فشار بخار آب (kPa)، R_S تابش کل خورشیدی ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$) و RH رطوبت نسبی (درصد) می‌باشند.

نتایج آماری روابط تجربی ارائه شده برای اقلیم گرم و نیمه‌خشک در جدول ۶ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در این اقلیم نیز روابط تجربی در اعماق ۱۰ و ۵ سانتی‌متری به‌ترتیب دارای بیشترین ضریب تعیین و کمترین معیارهای خطا هستند و رابطه تجربی ارائه شده برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری دارای کمترین ضریب تعیین و بیشترین خطاست.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

معیارهای ارزیابی روابط تجربی ارائه شده برای اقلیم گرم و خشک در جدول ۷ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از ارزیابی روابط تجربی ارائـه شـده در ایـن

جدول ۶. آماره‌های واسنجی روابط تجربی برای اقلیم گرم و نیمه‌خشک

رابطه	R^2	RMSE	MAE	MBE	n
$T_{5\text{-}H}$	۰/۹۳۹	۱/۷۷۴	۲/۰۶۲	۰/۰۶۱	۳۵۱۶
$T_{10\text{-}H}$	۰/۹۴۱	۱/۵۳۲	۱/۲۱۸	۰/۴۲۱	۳۵۱۶
$T_{20\text{-}H}$	۰/۹۳۷	۱/۶۳۴	۳/۱۶۶	۰/۳۰۰	۳۴۱۶
$T_{30\text{-}H}$	۰/۹۰۸	۱/۸۳۰	۲/۱۱۴	۰/۲۴۶	۳۵۱۶
$T_{50\text{-}H}$	۰/۸۶۶	۲/۱۱۰	۲/۳۸۲	۰/۲۳۵	۳۵۱۶
$T_{100\text{-}H}$	۰/۷۳۳	۲/۴۴۶	۲/۷۵۲	۰/۱۱۱	۳۵۱۶

n: تعداد داده‌ها

جدول ۷. آماره‌های واسنجی روابط تجربی برای اقلیم گرم و خشک

رابطه	R^2	RMSE	MAE	MBE	n
$T_{5\text{-}H}$	۰/۹۴۴	۲/۰۱۶	۱/۵۸۷	-۰/۰۳۳	۳۶۵۳
$T_{10\text{-}H}$	۰/۹۴۲	۱/۹۰۹	۱/۴۹۹	-۰/۰۱۹	۳۶۵۳
$T_{20\text{-}H}$	۰/۹۲۹	۱/۹۷۴	۱/۵۳۴	-۰/۰۱۶	۳۶۵۳
$T_{30\text{-}H}$	۰/۸۹۹	۲/۱۴۶	۱/۶۷۱	-۰/۰۲۴	۳۶۵۳
$T_{50\text{-}H}$	۰/۸۵۹	۲/۳۰۳	۱/۸۰۸	-۰/۰۲۲	۳۶۵۳
$T_{100\text{-}H}$	۰/۶۹۸	۲/۸۳۳	۲/۱۵۸	-۰/۰۵۴	۳۶۵۳

n: تعداد داده‌ها

اقلیم مشابه اقلیم مرطوب نشان می‌دهد که روابط تجربی تمایـل به برآورد کمتر (MBE های منفی) از واقعیت دارند.

روابط تجربی ارائه شده در تمـامی اعمـاق خـاک در اقلـیم مرطوب بهترین نتایج را ارائه داده‌اند. این در حالی است که این روابط در بیشتر اعماق (خصوصاً اعمـاق کمتـر) در اقلـیم گـرم نیمه‌خشک دارای بیشترین خطا و کمترین ضریب تعیین بوده‌اند. در اقلیم‌های مورد بررسی، روابط تجربی ارائه شده در عمق ۱۰ سانتی‌متری نسبت بـه بقیـه اعمـاق بیـشترین ضـریب تعیـین و کمترین خطا را داشـته اسـت. نجفـی مـود و همکـاران (۹) بـر اسـاس رابطـه درجـه حـرارت هـوا و دمـای خـاک در اعمـاق مختلف، روابطی تجربی را ارائه نمودند. بر اساس روابـط ارائـه شده توسط آنها، بیشترین ضریب تعیین در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک به دست آمده است که بـا نتـایج ایـن تحقیـق همخـوانی مطلوبی دارد. به طور کلی در تمـامی اقلـیم‌هـای مطالعـاتی، بـا افزایش عمق و کاهش تأثیر متغیرهای هواشناسی، میزان خطـای روابط تجربی ارائه شده افزایش می‌یابد. این بخش از نتایج نیـز با نتایج به دست آمده توسط نجفی مود و همکاران (۹) مطابقت دارد.

لازم به ذکر است که در ایستگاه‌های کشور دمـای خـاک در طول شب که انرژی خورشید حذف می‌شود، اندازه گیری نمـی گردد. لذا به نظر می‌رسد که میانگین واقعی روزانه دمـای خـاک کمتر از مقدار به کار رفتـه در ایـن تحقیـق باشـد. ایـن امـر تـا

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

حدودی دقت روابط هم‌بستگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. توسعه شبکه ایستگاه‌های اتوماتیک (Data Loggers) در آینده می‌تواند این نقصان را بر طرف نماید.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، دمای خاک در چهار اقلیم گرم و خشک، گرم و نیمه‌خشک، سرد نیمه‌خشک و مرطوب مورد بررسی قرار گرفت و پس از تعیین متغیرهای مؤثر بر آن، در هر چهار اقلیم مورد مطالعه، روابط تجربی برای برآورد دمای خاک با استفاده از متغیرهای هواشناسی ارائه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین مقادیر دمای خاک به‌ترتیب مربوط به اقلیم‌های گرم و خشک و گرم و نیمه‌خشک و کمترین مقدار به‌ترتیب مربوط به اقلیم‌های سرد نیمه‌خشک و مرطوب می‌باشند. تغییرات سالانه دمای خاک روند مشخصی نشان نداد و مقادیر بیشینه و کمینه دمای سالانه خاک در دوره آماری مورد مطالعه در اعماق مختلف، متفاوت بود. همچنین میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف مقادیر کاملاً متفاوتی را نشان دادند. از بین عوامل به کار رفته، در همه اقلیم ها، میانگین دمای هوای روزانه دارای بیشترین هم‌بستگی و بارش روزانه و سرعت باد کمترین هم‌بستگی را با دمای خاک در اقلیم‌های مورد مطالعه نشان داد. بررسی آماره‌های واسنجی نشان داد که با افزایش عمق، میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در هر چهار اقلیم مورد مطالعه کاهش می‌یابد. روابط تجربی ارائه شده در اعماق ۱۰ و ۵ سانتی‌متری بیشترین هم‌بستگی و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری کمترین هم‌بستگی را با متغیرهای هواشناسی ارائه نمودند.

نتایج تحقیق نشان داد که دامنه حساسیت دمای خاک به هر یک از متغیرهای هواشناسی تابع اقلیم منطقه است، به طوری که روابط هم‌بستگی چندگانه به دست آمده این موضوع را تأیید می‌کند.

در این تحقیق، انتظار می‌رفت که برخی از متغیرهای مؤثر بر دمای خاک مانند بارندگی در اقلیم مرطوب تفاوت قابل ملاحظه‌ای را با متغیرهای متناظر در اقلیم های گرم نیمه‌خشک و خشک نشان دهند. ولی نتایج حاصل از هم‌بستگی‌های چندگانه این موضوع را تأیید نکرد. این مورد ممکن است به دلیل عدم تشابه بافت خاک در اقلیم‌های مورد بحث باشد. با توجه به این که ویژگی‌های فیزیکی بافت خاک‌ها در چهار اقلیم مورد نظر یکسان نمی باشد، ضروری است، روابط هم‌بستگی نیز با خاک‌های مشابه ولی در اقلیم‌های متفاوت، در تحقیق مجزایی مورد ارزیابی قرار گیرند. گرچه در پژوهش انجام شده، اثر عواملی نظیر: فصل، عرض جغرافیایی، آلبیدوی سطحی و تعداد روزهای بارش در سال بر دمای خاک بررسی نگردید، ارزیابی تأثیر متغیرهای فوق الذکر در روابط پیش‌بینی دمای خاک ممکن است دقت روابط پیش‌بینی را افزایش دهد. لازم بذکر است که در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور دمای خاک در زمین بدون پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌گردد. لذا روابط استخراج شده برای پیش‌بینی دمای خاک‌های بدون پوشش گیاهی (لخت) معتبر می‌باشند. به همین دلیل استخراج روابط مشابه برای سایر پوشش‌ها و سایر اقلیم‌ها در ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمی، ا. ۱۳۷۴. مطالعه دمای اعماق مختلف خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

۲. بهیار، م.ب. و غ.ع. کمالی. ۱۳۸۶. رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک. تحقیقات جغرافیایی، ۲۳(۳): ۱۰۲-۸۱.

۳. جعفری گلستانی، م.، م. رائینی سر جاز و م. ضیاء تبار احمدی. ۱۳۸۶. برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و هم‌بستگی های رگرسیونی برای شهرستان ساری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی (ویژه نامه زراعت و اصلاح

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]

نباتات) ۱(۵): ۱۲۳-۱۱۲.

۴. چایچی، م.، م. کوچک زاده، م. شهابی‌فر. ۱۳۸۷. مقایسه الگوریتم‌های روزانه مجزا در برآورد دمای سطح با استفاده از تصاویر ماهواره نوآ. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز.

۵. دانش‌کار آراسته، پ.، م. تجریشی و م. ثقفیان. ۱۳۸۴. تعیین دمای سطح با استفاده از فنآوری سنجش از دور در منطقه سیستان. نشریه علمی- پژوهشی آب و آبخیز ۲: ۳۰-۲۰.

۶. رحیمی خوب، ع.، م. کوچک زاده، ج. م. ولی سامانی و ف. شریفی. ۱۳۸۴. ارزیابی چند روش بر آورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش و سازندگی ۶۸: ۸۴-۹۰.

۷. سازمان هواشناسی کشور ۱۳۸۷. داده‌های هواشناسی دوره اقلیمی ۱۹۹۶ الی ۲۰۰۵. مرکز اطلاعات و آمار، تهران.

۸. مهدویان، م. ۱۳۷۸. پیش‌بینی محلی دمای حداقل شبانه‌روزی در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۹. نجفی مود، م.ح.، ا. علیزاده، ا. محمدیان و ج. موسوی. ۱۳۸۷. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲(۲): ۴۶۶-۴۵۶.

10. Béhaegel, M. Sailhac, P. and G. Marquis. 2007. On the use of surface and ground temperature data to recover soil water content information. J. Appl. Geophys. 62: 234–243.
11. Ghuman, B. S., Lal, R. 1982. Temperature regime of a tropical soil in relation to surface condition and air temperature and its Fourier analysis. Soil Sci. 134: 133-140.
12. George, R. K. 2001. Prediction of Soil Temperature by using Artificial Neural Networks Algorithms. Nonlin. Anal. 47: 1737-1748.
13. Heusinkveld, B. G. Jacobs, A.F.G. Holtslag, A. A. M. and S.M. Berkowicz. 2004. Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. Agric. and Forest Meteorol. 122: 21–31.
14. Keryn, I. P. Polglase, P.J. and P.J. Smethurst. 2004. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. Agric. and Forest Meteorol. 121: 167–182.
15. Mihalakakou, G. 2002. On estimating soil surface temperature profiles. Energy and Buil. 34: 251-259.
16. Plauborg, F. 2002. Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. Eur. J. Agron. 17: 173–179.
17. Usowicz, B. and R. Walczak. 1994. Soil temperature prediction by numerical model. Polish J. Soil Sci. 28(2): 87-94.
18. Veronez, M. R., A. B. Thum, A. S. Luz and A. R. Da Silva 2006. Artificial neural networks applied in the determination of soil surface temperature – SST, 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences.
19. Zheng, D. Raymond Hunt Jr. E. and S.W. Running. 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. Clim. Res. 2: 183-191.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.52.10.5]