

## ارزیابی مدل‌های خطی و درجه دو برای برآورد دمای سطحی خاک با

### استفاده از دمای هوا در چهار اقلیم ایران

علی محمد قائمی نیا<sup>1\*</sup> و حمیدرضا عظیم‌زاده

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه یزد، مرکز ملی تحقیقات شوری؛ a.ghaemini@yahoo.com

استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد؛ hazimzadeh@yazd.ac.ir

#### چکیده

دمای خاک یکی از پارامترهای با اهمیت خاک بوده که فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش به ارتباط بین دمای هوا در ارتفاع 2 متری (متغیر مستقل) و دمای خاک در عمق 5 سانتی‌متر (متغیر وابسته) از طریق مدل‌سازی مدل‌های خطی و درجه دو پرداخته شده است. چهار ایستگاه بندرعباس، شهرکرد، رشت و یزد به عنوان ایستگاه‌های معرف اقلیم‌های عمده ایران، انتخاب شد. داده‌های روزانه دمای هوا و خاک به مدت 10 سال (1377-1386) به تفکیک ماهیانه پردازش شد. روابط خطی و درجه دو بر داده‌ها برازش و مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای اریبی (MBE) محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که روابط میان دمای خاک و هوا در ماه‌ها و در اقلیم‌های مختلف، متفاوت است. مقایسه فراوانی ضرایب تعیین معادلات خطی نشان داد در مدل خطی به ترتیب  $6/2$ ،  $31/3$ ،  $50$  و  $12/5$  درصد ضرایب ضعیف، متوسط، قوی و بسیار قوی است. در حالی که در مدل درجه دو  $6/3$ ،  $20$ ،  $57/0$  و  $16/7$  درصد ضرایب ضعیف، متوسط، قوی و بسیار قوی است. بدین ترتیب مدل درجه دوم دارای دقت بیشتری در برآورد دمای خاک است. مقایسه مقادیر RMSE نیز نشان می‌دهد مدل درجه دو دارای دقت بیشتری در برآورد دمای خاک (5 سانتی‌متر) از دمای هوا است. در نتیجه این بررسی، نمودارهایی کاربردی برای تعیین ضرایب معادلات خطی و درجه دو ارائه گردید که در ماه‌های مختلف امکان برآورد سریع دمای خاک با استفاده از داده‌های دمای هوا را فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، رابطه خطی، رگرسیون، تابع درجه دو

#### مقدمه

همچنین پخش مواد مغذی خاک، جذبشان توسط گیاه و سرعت تجزیه مواد آلی که خود منجر به تغییر در ساختمان خاک و حرکت آب در خاک می‌شوند را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ون‌وامبک، 1992). دمای فوق‌العاده زیاد خاک مانند آنچه در اقلیم‌های گرمسیری و حاره دیده می‌شود، ممکن است منجر به مرگ جوانه‌ها، کاهش استقرار نهال‌ها، افزایش نیاز آبی و شیوع آفات و تشدید بیماری‌های گیاهی شود (هاریسون - مورای و لال،

دما یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی خاک است. نوع و سرعت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی خاک توسط دما کنترل می‌شود. جوانه‌زنی بذر، رشد و نمو نهال‌ها و گیاهان هنگامی که دمای خاک تا حد بهینه افزایش یابد، سریع‌تر خواهد بود. عملکردهای مرتبط به ریشه گیاهان مانند جذب و انتقال آب نیز به دمای خاک وابسته‌اند (ادجپونگ و گوپتا-افریبی، 1977). دما

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: یزد، انتهای بلوار آزادگان (فرودگاه)، خیابان نهالستان، مرکز ملی تحقیقات شوری

\* دریافت: 90/12/15 و پذیرش: 91/8/30

و 20 سانتی‌متری خاک را توسط دمای هوا در ارتفاع 1/8 متری از سطح زمین در منطقه ساری تخمین زدند. آنها همچنین به منظور بهبود نتایج پیش‌بینی شده از روابط رگرسیونی، از روش رفع اختلاف فاز و تجزیه منحنی استفاده کردند که این دو روش به ترتیب سبب 5 تا 10 درصد و 8 تا 12 درصد بهبود در ضریب همبستگی شد. آنها همچنین بیان داشتند که ارتباط بین دمای هوا و ژرفای خاک در سطح احتمال 95 درصد معنی‌دار است. طبق مطالعات نجفی مود و همکاران (1387) که به تعیین معادله بهترین خط برازش داده شده از تعداد 4380 نقطه دمای خاک در عمق 5 سانتی‌متر و دمای هوا پرداختند به این نتیجه دست یافتند که دمای خاک در عمق 5 سانتی-متر با معادله درجه دو با ضریب تعیین 0/69 در ارتباط است. سبزی پرور و همکاران (1389) با استفاده از داده‌های یک دوره 10 ساله دمای هوا، تابش خورشیدی، بارندگی، رطوبت نسبی هوا، فشار بخار آب، سرعت باد و فشار هوا در هشت ایستگاه منتخب هواشناسی کشور، روابط تجربی جهت تخمین دمای روزانه خاک در اعماق 5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی‌متر برای چهار اقلیم متفاوت پیشنهاد کردند. نتایج تحقیق نشان داد که روابط پیشنهادی در سطح معنی‌داری جهت تخمین دمای خاک در عمق‌ها و اقلیم‌های مورد نظر قابل اعتماد می‌باشد. مطابق این تحقیق، لایه‌های سطحی خاک دارای  $R^2$  بیشتر از 0/94 و لایه‌های عمیق خاک دارای تابعیت کمتر از دمای هوا با  $R^2$  بیشتر از 0/69 بدست آمد. از بین متغیرهای مورد مطالعه، میانگین روزانه دمای هوا در هر چهار اقلیم، بیشترین همبستگی معنی‌دار را با دمای خاک نشان داد. هدف اصلی این پژوهش ارائه و ارزیابی مدل‌های خطی و درجه دوم در برآورد دمای خاک با استفاده از دمای هوا در اقلیم عمده ایران است. برای این منظور از داده‌های دمای خاک چهار ایستگاه هواشناسی کشور با اقلیم متفاوت استفاده شد و سپس با روش‌های ضریب تعیین ( $R^2$ ) میانگین خطای اریبی (MBE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این پژوهش ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی بندرعباس، رشت، شهرکرد و یزد به عنوان ایستگاه‌های معرف اقلیم‌های عمده موجود در ایران انتخاب شدند. جدول 1 موقعیت و برخی از خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

(1979). با آگاهی از تغییرات دمایی اعماق خاک می‌توان راهکارهایی مناسب به منظور کاهش شدت خسارت‌های وارده به محصولات کشاورزی و تأسیسات زیربنایی (خطوط انتقال آب و زهکش) اتخاذ نمود. دمای هوا به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای جوی در تأمین انرژی مورد نیاز گیاهان در مراحل مختلف فنولوژی نقش بسزایی دارد. ماکلین و آیرس (1985) با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره ارتباط بین دمای خاک با پارامترهای هواشناسی را تعیین و با ارائه مدل به برآورد دمای خاک در اعماق 1، 2، 5 و 100 سانتی‌متر پرداختند. متغیرهای مورد استفاده شامل دمای هوا و ابرناکی در روز برآورد، دمای هوا در دو روز قبل، نسبت ساعت‌های آفتابی و روز فصل بود. تندلم (1990) به وسیله مدل‌سازی عددی و با استفاده از دو پارامتر دمای هوا و توازن انرژی سطح خاک به مقایسه مقادیر دمای خاک اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده در ناحیه سوئد شمالی پرداخت. تامسزاک و شاتزل (2001) روابط دمای هوا و دمای خاک را طی فصل زمستان در ایالت میشیگان آمریکا بررسی نمودند. در این آزمایش دمای خاک در عمق 5 و 20 سانتی‌متری مناطق جنگلی و زراعی و دمای هوا در ارتفاع 1/5 متری، اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی نشان داد که به دلیل عایق‌بندی عمق خاک توسط لایه‌های بالایی، دمای خاک کمتر متأثر از نوسانات دمای هوا می‌باشد و پاسخ آنها به تغییر دمای هوا بسیار کند است، در صورتی که این پاسخ در سطح خاک از سرعت چشم‌گیری برخوردار است. مهدویان (1383) به بررسی رابطه و مدل همبستگی بین دمای حداقل خاک و حداقل هوا پرداخت و به این نتیجه رسید که بین این دو متغیر ضریب همبستگی کاملاً قوی است و مدل همبستگی از پتانسیل خوبی برای تعیین دمای حداقل زمین با استفاده از دمای هوا برخوردار است. جامع و همکاران (1384) به منظور تعیین معادلات همبستگی بین دمای حداقل هوا و حداقل سطح زمین، دمای اعماق خاک ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه را مورد مطالعه قرار دادند و چنین نتایجی را بدست آوردند: در ماه‌های سرد سال (ژانویه، فوریه، اکتبر، نوامبر و دسامبر) با افزایش عمق خاک دما افزایش می‌یابد. کمترین اختلاف بین دمای اعماق در اوایل ماه مارس و اواسط سپتامبر مشاهده و ثبت شده است. بیشترین اختلاف بین دمای اعماق خاک در ماه‌های ژوئن و ژولای می‌باشد و در ماه‌های آوریل تا اواسط سپتامبر (ماه‌های گرم سال) دمای اعماق خاک با افزایش عمق آن کاهش می‌یابد. جعفری گلستان و همکاران (1386) با استفاده از تجزیه منحنی و همبستگی‌های رگرسیونی، دمای اعماق 7

## اطلاعات خاک‌شناسی ایستگاه‌ها

با توجه به اینکه خاک‌های مختلف در برابر تغییرات دما، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهد شناخت ویژگی‌های خاک‌شناسی هر ایستگاه ضروری است. جدول 2 از راهنمای نقشه منابع و استعداد خاک-های ایران (بنائی، 1380) اقتباس شده است.

## پردازش داده‌ها

داده‌های روزانه دمای خاک در عمق 5 سانتی-متر و هوا در ارتفاع 2 متری ایستگاه‌های منتخب، در پایه زمانی ده ساله (1377-1386) از سازمان هواشناسی کل کشور گرفته شد. سازمان‌دهی داده‌ها در 960 فایل (زوج) داده‌های دمای خاک و هوا برای 12 ماه به مدت 10 سال در چهار ایستگاه) دسته‌بندی گردید. پس از آن به منظور تعیین همبستگی دمای خاک و هوای هر ماه در دو ستون جداگانه به تعداد روزهای ماه قرار داده شد. از داده‌های دمای خاک ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در اوقات صبح (03:00GMT)، ظهر (09:00GMT) و عصر (15:00GMT) استفاده شد. همان‌طور که شکل 1 تغییرات دمای هوا در ارتفاع 2 متری و دمای خاک در عمق 5 سانتی‌متری در طی 10 سال برای ایستگاه یزد را نشان می‌دهد در مقیاس زمانی ماهانه اختلاف فازی در نوسان‌های این دو دما دیده نمی‌شود. بنابراین از محاسبه اختلاف فاز بین این دو دما صرف نظر شد.

## تجزیه و تحلیل آماری مدل

از نتیجه‌های آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای اریبی (MBE) برای مقایسه و ارزیابی نتایج استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (2)$$

که در آن:

$P_i$ :  $i$  آمین مقدار محاسبه شده توسط مدل،  $O_i$ :  $i$  آمین مقدار اندازه‌گیری شده،  $O_{avg}$ : میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و  $n$ : تعداد کل مشاهدات می‌باشد. هرچه مقدار  $RMSE$  و  $|MBE|$  (قدر مطلق  $MBE$ ) کمتر باشد، دقت مدل بالاتر است. مقادیر مثبت  $MBE$  نشان دهنده آن است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، بیشتر از مقادیر واقعی و مقادیر منفی آن، نشان دهنده آن است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل کمتر از مقادیر واقعی می‌باشد.

## نتایج و بحث

## طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌ها

در اولین قدم می‌بایست تفاوت‌های اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص گردد. نتایج حاصل از تقسیم‌بندی‌های اقلیمی به روش‌های دومارتن، کوپن، سلیانوف، آمبرژه، ایوانف و گوسن در جدول 3 ارائه شده است. همان‌گونه که از جدول 3 مشخص است اقلیم ایستگاه‌های انتخاب شده دارای اختلاف اقلیمی است. روش‌های آمبرژه و گوسن تفاوت‌های اقلیمی را به خوبی نشان می‌دهد. در حالی که سایر روش‌ها در تفکیک اقلیم چهار ایستگاه نتایج موفق‌تری نشان نداده است. به این ترتیب روش‌های ایوانف و دومارتن در مرتبه بعد کوپن و سلیانوف دارای قابلیت کمتری از نظر تفکیک اقلیم است. دلیل این نتیجه را می‌توان به شاخص‌های هواشناسی ربط داد که در طبقه‌بندی مدل‌ها به کار رفته است.

## بررسی معادلات خطی

نتایج حاصل از بررسی روابط خطی میان دمای خاک و هوا در ماه‌های مختلف سال برای ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که روابط خطی با شیب و عرض از مبدا متفاوتی بر آن حاکم می‌باشد. همچنین این روابط دارای ضرایب تعیین مختلفی در هریک از ماه‌های سال است (شکل 2). مقایسه فراوانی ضرایب تعیین معادلات خطی نشان داد در مدل خطی به ترتیب 6/2، 31/3، 50 و 12/5 درصد ضرایب ضعیف، متوسط، قوی و بسیار قوی است. به منظور تعیین دمای خاک از رابطه خطی می‌توان از نمودارهای استخراج شده از این روابط استفاده نمود (شکل 3). مطابق شکل 3 که در آن ایستگاه بندرعباس در ماه ژولای انتخاب شده است، ابتدا از نمودار بالا سمت چپ شروع می‌شود. با برخورد نقطه چین به منحنی ایستگاه بندرعباس، مقدار ضریب  $a$  به دست آمده ( $a = 0.34$ ) و سپس از محل برخورد، به نمودار سمت راست خط چین را ادامه داده، که از این مرحله نیز مقدار ثابت  $b$  به دست می‌آید ( $b = 26.99$ ). با جاگذاری مقادیر به دست آمده در معادله خطی، دمای خاک برآورد می‌شود ( $T_s = 0.34x + 26.99$ ). برای محاسبه ضریب تعیین، همان‌طور که در شکل نشان داده شده است نقطه چین را به سمت پایین ادامه داده و  $R^2$  نیز به دست می‌آید ( $R^2 = 0.15$ ).  $RMSE$  نیز به همین طریق و به روش ترسیمی قابل تعیین است ( $RMSE = 0.80$ ). به دلیل استفاده از نرم‌افزار در استخراج معادلات برازش خطی نقاط، مقادیر  $MBE$  به دست آمده بسیار ناچیز و نزدیک به صفر بود، بنابراین این پارامتر در مقایسه معادلات خطی مورد توجه قرار نگرفت.

## بررسی معادلات درجه دو

ارتباط دمای خاک و هوا در قالب معادلات درجه دو بررسی شد. ضرایب تعیین مدل‌های درجه دو 6/3، 20/0، 57/0، 16/7 درصد ضرایب ضعیف، متوسط، قوی و بسیار قوی است. بدین ترتیب مقایسه توزیع ضریب تعیین مدل درجه دوم با خطی نشان می‌دهد مدل درجه دوم دارای دقت بیشتری در برآورد دمای خاک است (شکل 4). بررسی مقادیر RMSE درجه دو با خطی نیز بیانگر دقت بالاتر معادلات درجه دو می‌باشد.

برای تعیین دمای خاک با استفاده از دمای هوا در ماه‌های مختلف نمودار 5 ارائه شده است. مطابق شکل 5 دمای خاک را می‌توان به طور مثال در ماه سپتامبر در ایستگاه بندرعباس با داده دمای هوا تعیین نمود. رسم خط ابتدا از نمودار بالا سمت چپ شروع می‌شود. با برخورد نقطه چین به منحنی ایستگاه بندرعباس، ضریب  $a$  به دست می‌آید ( $a = -0.07$ ). سپس از محل برخورد، به نمودار سمت راست خط چین ادامه داده می‌شود تا مقدار ضریب  $b$  بدست آید ( $b = 5.14$ ). به منظور استخراج عدد ثابت  $c$ ، از محل برخورد خط چین با منحنی، خط نقطه چین به طور عمود و به سمت پایین ادامه می‌یابد و ضریب  $c$  نیز قابل برآورد است ( $c = -55.19$ ). در این مرحله با جاگذاری مقادیر بدست آمده در معادله درجه دو، دمای خاک در عمق پنج سانتی‌متری تخمین زده می‌شود.

$$(T_s = -0.07T_a^2 + 5.14T_a - 55.19)$$

دقت روابط به کار رفته را می‌توان با ادامه روش ترسیمی و تعیین ضریب تعیین، مطابق شکل برآورد نمود. لذا خط نقطه چین به سمت چپ تا جایی که در مقابل ماه مورد نظر (در این مثال سپتامبر) برسد، امتداد می‌یابد. پس از آن به طور عمود به سمت پایین ترسیم شده تا منحنی ایستگاه مورد نظر (در این مثال بندرعباس) را قطع نماید ( $R^2 = 0.33$ ). محاسبه RMSE و MBE نیز به همین طریق امکان‌پذیر است ( $RMSE = 0.84$  و  $MBE = -0.04$ ).

عمدتاً در ماه‌های گرم سال تابعیت دمای خاک (متغیر وابسته) از دمای هوا (متغیر مستقل)، ضرایب تعیین کمتری دارد. دلیل این امر را می‌توان در فقدان رطوبت در هوا و خاک دانست که سبب تغییرات زیاد دما در شب و روز می‌شود. به دنبال آن تابعیت دما کاهش می‌یابد.

## نتیجه‌گیری

بررسی ارتباط دمای هوا و عمق 5 سانتی‌متری خاک نشان از اختلاف در تابعیت دمای خاک از هوا در ایستگاه‌های چهارگانه دارد. این اختلاف در ماه‌های

مختلف در یک ایستگاه نیز وجود دارد. بدین ترتیب در بین چهار ایستگاه مورد مطالعه ایستگاه بندرعباس دارای ضریب تعیین کمتر از 0/6 در هفت ماه از سال (مارس تا اکتبر) است. در این میان در حدود 2/5 ماه از سال (اواسط آوریل تا اوت) ضریب از 0/3 کمتر است. در ایستگاه شهرکرد 6/5 ماه از سال (ماه‌های مارس تا اواخر اوت) ضریب تعیین در محدوده 0/4-0/6 متغیر است و در مابقی سال تابعیت دمای خاک از هوا قوی است. بنابراین بر خلاف نتایج سبزی پرور و همکاران (1389) که با بررسی در هشت ایستگاه منتخب هواشناسی کشور به این نتیجه رسیدند که تابعیت دمای لایه‌های سطحی خاک از دمای هوا دارای  $R^2$  بیشتر از 0/94 است، در این بررسی مشخص شد که این تابعیت در ماه‌های مختلف و ایستگاه‌های مختلف یکسان نیست. همچنین همان طور که جدول 4 نشان می‌دهد ضریب تعیین معادله درجه دو نیز در ماه‌های مختلف و همچنین در ایستگاه‌های مختلف، متفاوت است. به طوری که این معادله در ایستگاه رشت در ماه ژولای دارای ضریب تعیین 0/23 و در ایستگاه شهرکرد در ماه دسامبر به 0/83 می‌رسد که متفاوت با نتایج نجفی مود و همکاران (1387) در ارائه یک ضریب تعیین مشخص (0/69) می‌باشد. مهدویان (1383) نیز که به بررسی رابطه و مدل همبستگی بین دمای حداقل خاک و حداقل هوا پرداخته بود، ضریب همبستگی کاملاً قوی را بین این دو متغیر گزارش کرد، در حالی که در این پژوهش که به بررسی میانگین دمای روزانه خاک و هوا در هر ماه پرداخت، مشخص شد که این ضریب برای ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف متفاوت است.

شیب معادلات خط یزد دارای دامنه 0/9-0/6، شهرکرد 0/55-1/1، رشت 0/55-1/15 و بندرعباس دارای محدوده 0/3-0/9 می‌باشد. عرض از مبدا معادلات خط بیانگر مقداری است که به صورت ثابت باید به دمای هوا اضافه شود تا به درجه حرارت خاک دست یافت. مقایسه عرض از مبدا ایستگاه‌ها نشان دهنده آن است که مناطق خشک دارای عرض از مبدا بیشتری در نسبت به مناطق مرطوب می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بندرعباس و یزد دارای بیشترین عرض از مبدا و رشت دارای کمترین است. این در حالی است که شهرکرد با اقلیم مدیترانه‌ای (زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک) در ماه‌های گرم سال دارای مقادیر بیشتری از عرض از مبدا نسبت به ماه‌های سرد است.

مقادیر RMSE معادلات درجه دو دارای مقادیر حداقل کمتری نسبت به معادلات خطی است. این در حالی است که در کل ایستگاه‌ها، ایستگاه رشت دارای

گردید. در پژوهش‌های آتی به منظور تعیین روابط بین این دو پارامتر در مقیاس زمانی روزانه لازم است با استفاده از دماسنج‌های دقیق‌تر مانند دماسنج دیجیتال به جمع‌آوری داده‌های روزانه پرداخته و سپس با تعیین فاصله زمانی بین بیشینه یا کمینه دمای خاک و هوا و محاسبه اختلاف فاز، روابط بین آن دو تعیین گردد.

حداکثر کمتری نیز می‌باشد. مقادیر MBE در شش ماهه اول سال (ژانویه تا ژوئن) در تمامی ایستگاه‌ها دارای نوسانات کمتری نسبت به شش ماهه دوم سال (جولای تا دسامبر) دارد.

در این پژوهش روابط دمای خاک در عمق 5 سانتی‌متر و دمای هوا در ارتفاع 2 متری با استفاده از روابط خطی و درجه دو در مقیاس زمانی ماهانه استخراج

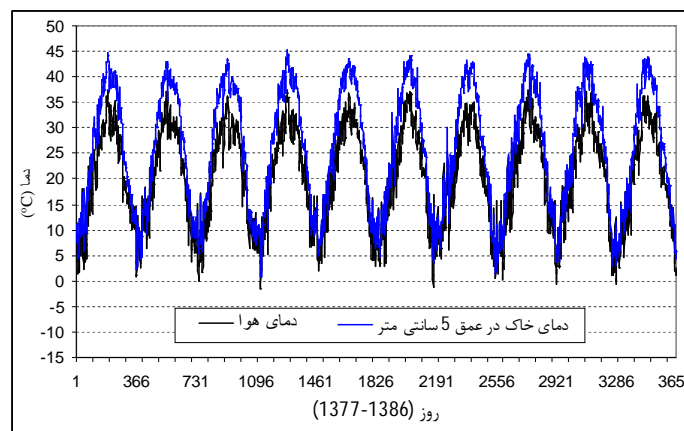
جدول 1- موقعیت و برخی از خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین سالانه دمای هوا (°C)	میانگین سالانه دمای عمق 50 سانتی‌متر* (°C)
بندرعباس	27° 13' N	56° 22' E	9/8	27/39	30/71
رشت	37° 19' N	49° 37' E	-8/6	16/69	18/15
شهرکرد	32° 17' N	50° 51' E	2048/9	11/59	15/62
یزد	31° 54' N	54° 17' E	1237/2	20/44	24/68

\* از نظر خاک‌شناسان، دمای عمق 50 سانتی‌متری خاک ملاک طبقه‌بندی رژیم حرارتی خاک است

جدول 2- منابع و استعداد خاک در منطقه ایستگاه‌های مورد مطالعه

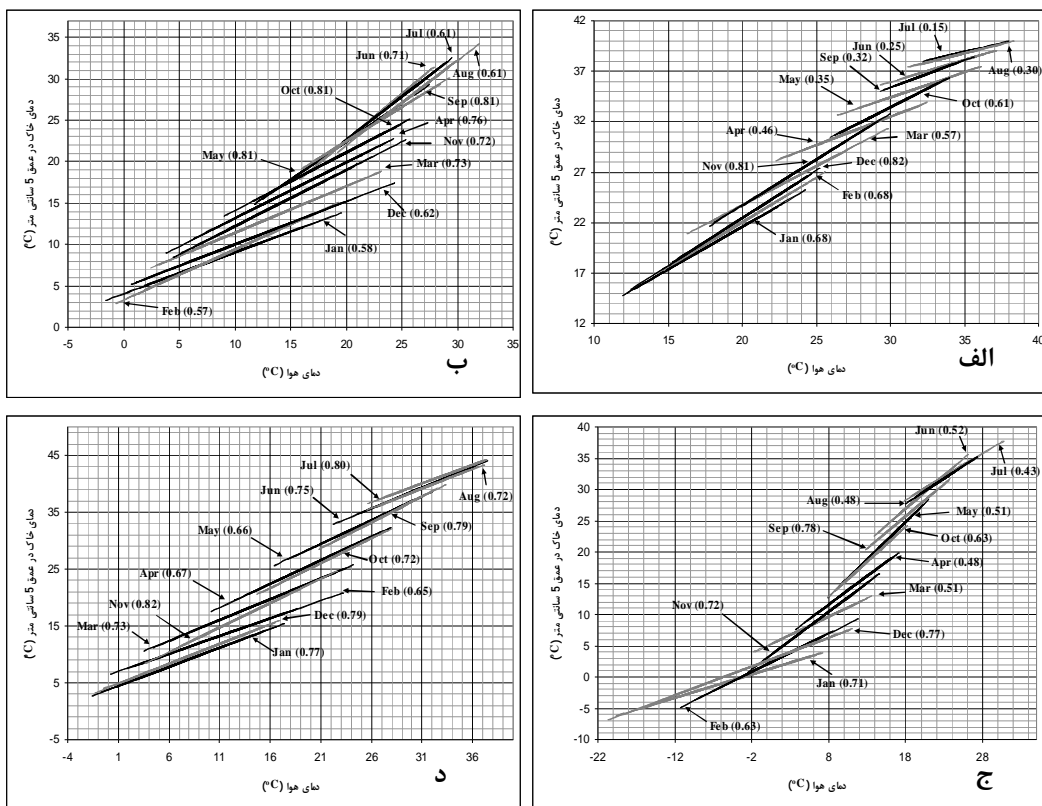
ایستگاه				ویژگی
یزد	شهرکرد	رشت	بندرعباس	
Typic Torrifluvents	Typic Calcixerepts	Mollic Endoaqualfs	Ustic Torrifluvents	اجزای اصلی تشکیل دهنده
Typic Haplosalids	Typic Haploxerepts	Typic Endoaquepts	Typic Aquisalids	اجزای فرعی تشکیل دهنده
Typic Torriorthents	Typic Xerofluvents	Typic Endoaquolls	Typic Haplosalids	واحد نقشه خاک
مسطح	دارای پستی و بلندی	مسطح	مسطح	شیب غالب
اردیک بسیار خشک	زریک خشک	تمپویدیک خشک	اردیک حد واسط	رژیم رطوبتی



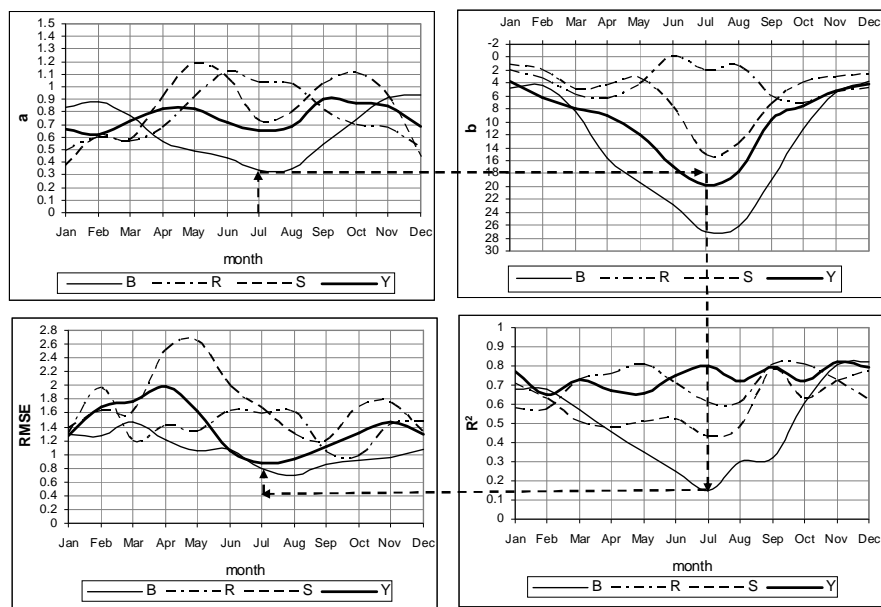
شکل 1- تغییرات دمای خاک در عمق 5 سانتی‌متر و دمای هوا در ایستگاه یزد (1377-1386)

جدول 3- طبقه‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس روش‌های مختلف (مسعودیان و کاویانی، 1387)

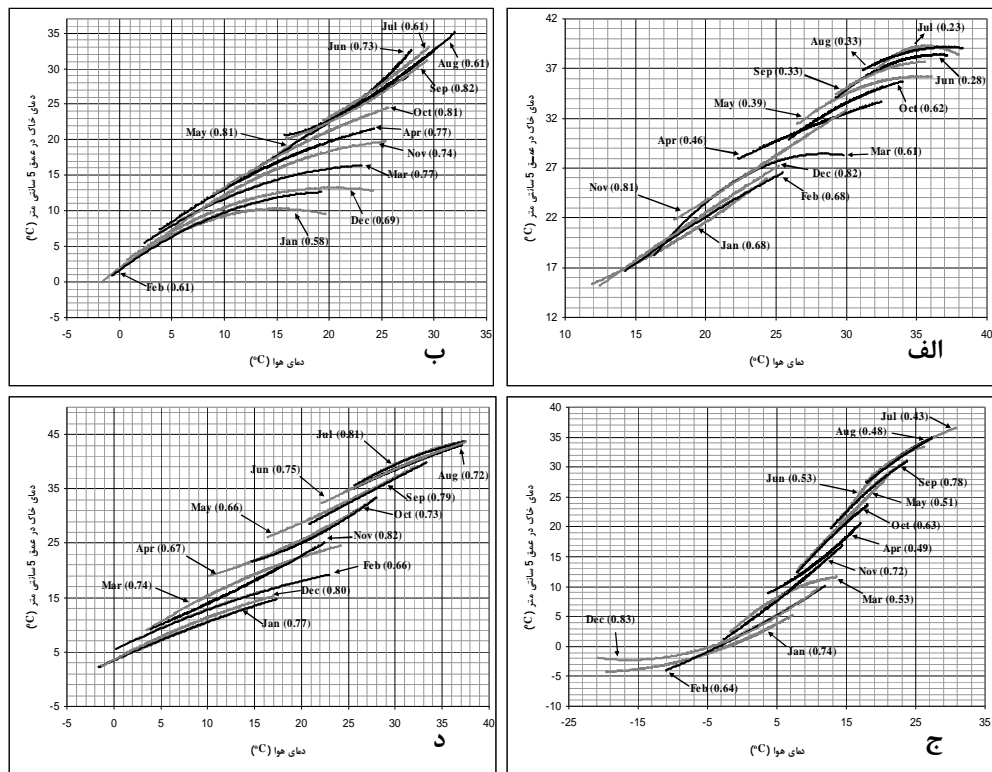
ایستگاه				
روش	بندرعباس	رشت	شهرکرد	یزد
دومارتن	خشک	بسیار مرطوب	نیمه خشک	خشک
کوپن	گرم و خشک	مرطوب جنب حاره	مرطوب جنب حاره	گرم و خشک
سلیانوف	(بیابانی عرض پایین)	(مدیترانه‌ای گرم)	(مدیترانه‌ای گرم)	(بیابانی عرض پایین)
آمبرژه	بیابانی گرم شدید	استپ جنگلی	استپ جنگلی	بیابانی
ایوانف	صحرائی	خیلی مرطوب	نیمه خشک سرد	خشک سرد
گوسن	نیمه بیابانی شدید	مرطوب جنگلی	بیابانی	صحرائی
		نیمه مدیترانه‌ای	استپی سرد	بیابانی



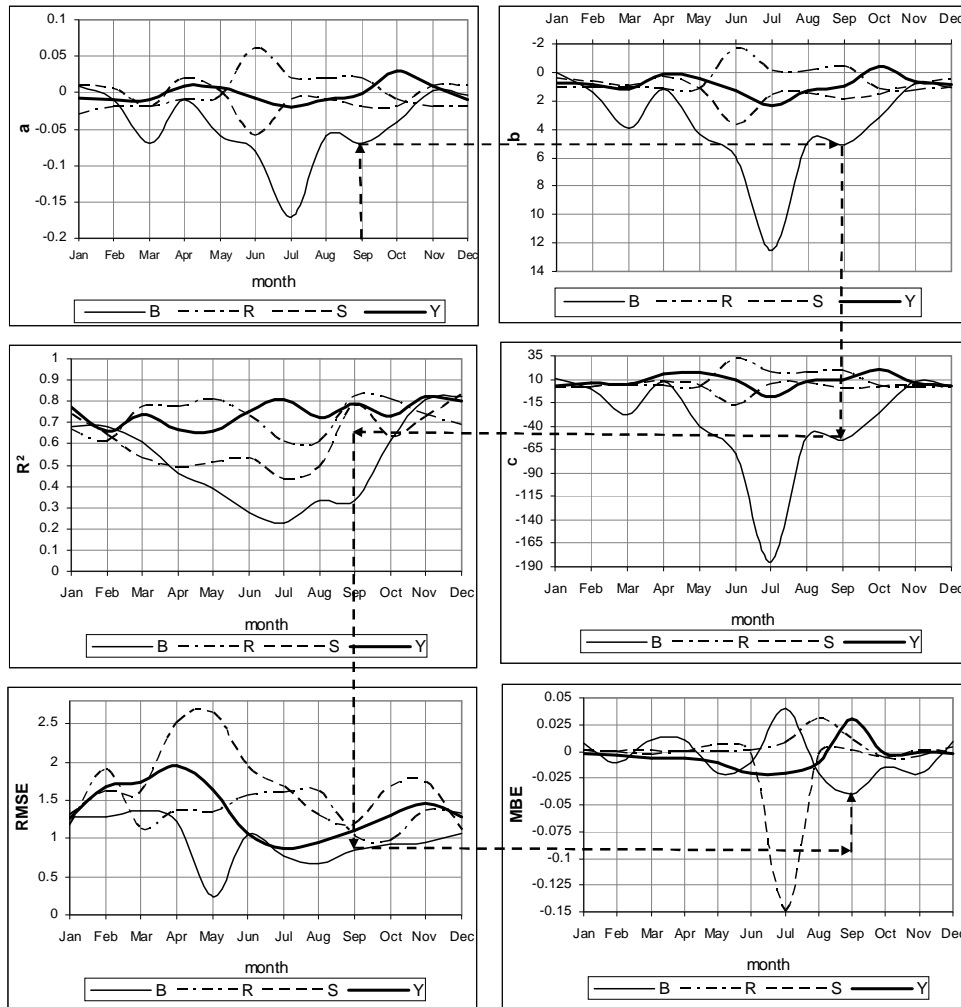
شکل 2- ارتباط خطی دمای خاک (عمق 5 سانتی‌متر) و هوا، ضریب تعیین هر خط داخل پرانتز (الف: بندرعباس، ب: رشت، ج: شهرکرد، د: یزد)



شکل 3- نمودار تعیین دمای خاک (عمق 5cm) با دمای هوا در ماه‌های مختلف بر پایه معادلات خطی ( $T_s = aT_a \pm b$ ) (B: بندرعباس، R: رشت، S: شهرکرد و Y: یزد)



شکل 4- ارتباط دمای خاک (عمق 5cm) و دمای هوا بر پایه معادلات درجه دو، ضریب تعیین داخل پراکنش (الف: بندرعباس، ب: رشت، ج: شهرکرد، د: یزد)



شکل 5- نمودار تعیین دمای خاک در ماه‌های مختلف به وسیله دمای هوا در عمق 5 سانتی‌متر بر پایه رابطه درجه دو

$$(T_s = aT_a^2 \pm bT_a \pm c) \text{ (B: بندرعباس، R: رشت، S: شهرکرد و Y: یزد)}$$

جدول 4- روابط خطی و درجه دو دمای خاک در عمق 5 سانتی‌متر (متغیر وابسته) و دمای هوا (متغیر مستقل) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	ماه	R <sup>2</sup>	درجه دو	R <sup>2</sup>	خطی
شهرکرد	Jan	0/68	$T_s = 0.0196T_a^2 + .01454T_a + 10.83$	0/68	$T_s = 0.8432T_a + 4.7115$
	Feb	0/68	$T_s = -0.012T_a^2 + 1.3837T_a - 0.4966$	0/68	$T_s = 0.8834T_a + 4.3849$
	Mar	0/61	$T_s = -0.07T_a^2 + 3.9747T_a - 27.986$	0/57	$T_s = 0.7708T_a + 8.3214$
	Apr	0/46	$T_s = -0.0115T_a^2 + 1.1973T_a + 6.925$	0/46	$T_s = 0.5633T_a + 15.602$
	May	0/39	$T_s = -0.061T_a^2 + 4.3581T_a - 40.775$	0/35	$T_s = 0.4968T_a + 19.498$
	Jun	0/28	$T_s = -0.081T_a^2 + 5.9321T_a - 70.105$	0/25	$T_s = 0.4364T_a + 22.849$
	Jul	0/23	$T_s = -0.175T_a^2 + 12.517T_a - 184.59$	0/15	$T_s = 0.3406T_a + 26.994$
	Aug	0/33	$T_s = -0.062T_a^2 + 4.8734T_a - 51.365$	0/30	$T_s = 0.3565T_a + 26.293$
	Sep	0/33	$T_s = -0.071T_a^2 + 5.147T_a - 55.19$	0/32	$T_s = 0.5434T_a + 19.079$
	Oct	0/62	$T_s = -0.041T_a^2 + 3.2306T_a - 25.694$	0/61	$T_s = 0.7408T_a + 11.206$



$T_s = 0.9115T_a + 5.464$	0/81	$T_s = 0.003T_a^2 + 0.759T_a + 7.3031$	0/81	Nov	بستان
$T_s = 0.9393T_a + 3.66.3$	0/82	$T_s = -0.004T_a^2 + 1.1048T_a + 2.0658$	0/82	Dec	
$T_s = 0.499T_a + 2.0525$	0/58	$T_s = -0.0364T_a^2 + 1.1036T_a + 1.925$	0/58	Jan	
$T_s = 0.6088T_a + 3.2973$	0/57	$T_s = -0.0257T_a^2 + 1.0655T_a + 1.649$	0/61	Feb	
$T_s = 0.5631T_a + 5.7829$	0/73	$T_s = -0.021T_a^2 + 1.0763T_a + 3.059$	0/77	Mar	
$T_s = 0.6743T_a + 6.4144$	0/76	$T_s = -0.016T_a^2 + 1.159T_a + 3.0645$	0/77	Apr	
$T_s = 0.9166T_a + 4.0914$	0/81	$T_s = -0.006T_a^2 + 1.1643T_a + 1.7916$	0/81	May	
$T_s = 1.1295T_a - 0.0561$	0/71	$T_s = 0.061T_a^2 - 1.7041T_a + 32.086$	0/73	Jun	
$T_s = 1.0357T_a + 1.9736$	0/61	$T_s = 0.0247T_a^2 - 0.1863T_a + 16.98$	0/61	Jul	
$T_s = 1.0257T_a + 1.4729$	0/61	$T_s = 0.022T_a^2 - 0.1475T_a + 16.556$	0/61	Aug	
$T_s = 0.8234T_a + 5.9922$	0/81	$T_s = 0.026T_a^2 - 0.3658T_a + 19.265$	0/82	Sep	بستان
$T_s = 0.7006T_a + 7.0966$	0/81	$T_s = -0.012T_a^2 + 1.1617T_a + 2.9811$	0/81	Oct	
$T_s = 0.6789T_a + 5.419$	0/72	$T_s = -0.023T_a^2 + 1.3228T_a + 1.2577$	0/74	Nov	
$T_s = 0.5181T_a + 4.833$	0/62	$T_s = -0.026T_a^2 + 1.0743T_a + 2.313$	0/69	Dec	
$T_s = 0.377T_a + 1.176$	0/71	$T_s = 0.011T_a^2 + 0.4925T_a + 0.996$	0/74	Jan	
$T_s = 0.6114T_a + 2.0666$	0/63	$T_s = 0.005T_a^2 + 0.6074T_a + 1.9843$	0/64	Feb	
$T_s = 0.5848T_a + 4.9451$	0/51	$T_s = -0.028T_a^2 + 0.9338T_a + 4.089$	0/53	Mar	
$T_s = 0.9141T_a + 4.2801$	0/48	$T_s = 0.025T_a^2 + 0.3564T_a + 7.2087$	0/49	Apr	
$T_s = 1.1904T_a + 3.3593$	0/51	$T_s = 0.0007T_a^2 + 1.17T_a + 3.5059$	0/51	May	
$T_s = 1.0631T_a + 7.8181$	0/52	$T_s = -0.065T_a^2 + 3.6865T_a - 18.123$	0/53	Jun	
$T_s = 0.7341T_a + 15.186$	0/43	$T_s = -0.019T_a^2 + 1.6334T_a + 4.738$	0/43	Jul	بستان
$T_s = 0.7965T_a + 13.44$	0/48	$T_s = -0.016T_a^2 + 1.5172T_a + 5.3615$	0/48	Aug	
$T_s = 1.0249T_a + 7.2856$	0/78	$T_s = -0.024T_a^2 + 1.9185T_a - 0.7755$	0/78	Sep	
$T_s = 1.1109T_a + 4.0045$	0/63	$T_s = -0.020T_a^2 + 1.6386T_a + 0.651$	0/63	Oct	
$T_s = 0.9205T_a + 3.0769$	0/72	$T_s = 0.008T_a^2 + 0.8184T_a + 3.3186$	0/72	Nov	
$T_s = 0.4591T_a + 2.6061$	0/77	$T_s = 0.016T_a^2 + 0.5241T_a + 1.9689$	0/83	Dec	
$T_s = 0.6689T_a + 3.7856$	0/77	$T_s = -0.007T_a^2 + 0.7775T_a + 3.470$	0/77	Jan	
$T_s = 0.622T_a + 6.3723$	0/65	$T_s = -0.010T_a^2 + 0.8433T_a + 5.338$	0/66	Feb	
$T_s = 0.732T_a + 7.9857$	0/73	$T_s = -0.014T_a^2 + 1.1589T_a + 5.137$	0/74	Mar	
$T_s = 0.8343T_a + 9.0428$	0/67	$T_s = 0.016T_a^2 + 0.1668T_a + 15.584$	0/67	Apr	
$T_s = 0.8344T_a + 11.907$	0/66	$T_s = 0.007T_a^2 + 0.4409T_a + 16.793$	0/66	May	بستان
$T_s = 0.7248T_a + 16.846$	0/75	$T_s = -0.008T_a^2 + 1.2677T_a + 8.603$	0/75	Jun	
$T_s = 0.6537T_a + 19.784$	0/80	$T_s = -0.026T_a^2 + 2.3863T_a - 7.924$	0/81	Jul	
$T_s = 0.6918T_a + 17.694$	0/72	$T_s = -0.010T_a^2 + 1.3211T_a + 7.927$	0/72	Aug	
$T_s = 0.9071T_a + 9.6387$	0/79	$T_s = -0.001T_a^2 + 0.9843T_a + 8.616$	0/79	Sep	
$T_s = 0.8792T_a + 7.5828$	0/72	$T_s = 0.030T_a^2 - 0.4108T_a + 21.08$	0/73	Oct	

$T_s = 0.858T_a + 5.275$	0/82	$T_s = 0.008T_a^2 + 0.6342T_a + 6.667$	0/82	Nov
$T_s = 0.6909T_a + 4.2235$	0/79	$T_s = -0.011T_a^2 + 0.8882T_a + 3.569$	0/80	Dec

### فهرست منابع:

1. بنائی، م. ح. 1380. نقشه منابع و استعداد خاک‌های ایران. وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
2. جامع، ع. و همکاران، 1384. بررسی دمای اعماق خاک ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه و تعیین معادلات همبستگی بین دمای حداقل هوا و حداقل سطح زمین. اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه.
3. جعفری گلستان، م.، م. رائینی سرجاز و م. ضیاء تباراحمدی. 1386. برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و همبستگی‌های رگرسیونی برای شهر ساری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات، 14(5): 112-123.
4. سبزی پرور، ع. ا. ح. طبری، و ع. آیینی، 1389. برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی. فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 52(2): 125-130.
5. مسعودیان، ا. و م. ر. کاویانی، 1387. اقلیم‌شناسی ایران. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، 179 ص.
6. مهدویان، ع. 1383. بررسی رابطه بین دمای حداقل زمین و حداقل هوا. سازمان هواشناسی کشور.
7. نجفی مود، م. ح.، ا. علی‌زاده، آ. محمدیان و ج. موسوی. 1387. 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)، 22(2): 456-466.
8. Adjepong, S.K., Gupta-Afriyi, K., 1977. Analysis and time series of soil temperature as recorded at different depths at three locations in Ghana. In: Greenland, D.J., Lal, R. (Eds.), Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. Wiley, New York.
9. Harrison-Murray, R., Lal, R., 1979. High soil temperatures and the response of maize to mulching in the lowland humid tropics. In: Greenland, D.J., Lal, R. (Eds.), Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. Wiley, New York.
10. Maclean Jr S. F. Ayres M. P. 1985. Estimation of soil temperature from climatic variables at Barrow, Alaska, USA. Arctic and Alpine Research. 17: 425-432.
11. Thundholm, B., 1990. A comparison of measured and simulated soil temperatures using air temperature and soil surface energy balance as boundary conditions. Agric, forest meteorol. vol 53, pp 59-72.
12. Tomczak, D. M., and Schaetzl, R. J. 2001. Wintertime temperature in the fine textured soils of the Saginaw valley, Michigan. The Great Lakes Geographer. 8: 87-98.
13. Van Wambeke, A., 1992. Soils of the Tropics, Properties and Appraisal. Donnelley and Sons, Mexico.