

شبه‌سازی تغییرات دمای اعماق مختلف خاک و بررسی برخی عامل‌های جوی تأثیرگذار بر آن (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک یزد)

علی محمد قائمی نیا^۱، حمیدرضا عظیم‌زاده^{۲*} و محمدحسین مبین^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۲- نویسنده مسئول، استادیار خاک‌شناسی دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی و محقق پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد،

پست الکترونیک: hazimzadeh@yazduni.ac.ir

۳- استادیار هوا و اقلیم‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۱۹

چکیده

دمای خاک یکی از عوامل مؤثر در استقرار پوشش گیاهی در مناطق خشک است. با توجه به آن که دمای خاک تحت تأثیر پارامترهای هواشناسی متعددی قرار دارد، بررسی اثرهای تغییر دمای هوا، ساعت آفتابی و بارش می‌تواند در درک چگونگی تغییرات دمای خاک مفید باشد. با شناخت تغییرات دمای خاک و سرعت انتقال دما در پروفیل سطحی می‌توان میزان تبخیر از خاک، نیاز آبی گیاهان، سرعت تجزیه مواد، فعالیت‌های بیولوژیکی و زمان کاشت بذرها را ارزیابی نمود. هدف از انجام این تحقیق بررسی نقش عوامل جوی در تعیین دمای خاک می‌باشد. بدین منظور با جمع‌آوری داده‌های روزانه دمای خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری موجود در ایستگاه سینوپتیک یزد در سال ۱۳۸۵، اقدام به بررسی عامل‌های هواشناسی تأثیرگذار و تجزیه و تحلیل آنها شد و با استفاده از الگوی تغییرات سینوسی، دمای خاک این ایستگاه در طی سال شبه‌سازی گردید. نتیجه اولیه نشان داد که بین عامل‌های جوی بارش، درجه حرارت هوا و ساعت آفتابی رابطه معنی‌دار وجود دارد. به طوری که مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیشگویی مدل روی دستگاه مختصات نشان داد که مدل سینوسی با افزایش عمق، مقادیر را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌نماید. در نهایت با استفاده از مدل‌های بدست‌آمده، منحنی تغییرات دمای خاک در هر عمق ترسیم و مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین نتایج بدست‌آمده از محاسبه ضریب کارایی مدل ناش‌سانت‌کلیف در اعماق مورد بررسی نشان داد که مقادیر خروجی از مدل در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری به ترتیب دارای ضریب کارایی (R_{NS}^2) ۰/۹۲، ۰/۹۱، ۰/۹۳، ۰/۹۲، ۰/۹۴ و ۰/۹۶ نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. از آنجا که دامنه تغییرات (R_{NS}^2) در محدوده ۰-۱ تا یک تغییر می‌کند و در مقدار یک حداکثر کارایی است، بدین ترتیب معادلات سینوسی قابلیت و بازدهی مناسب در پیشگویی تغییرات دمایی اعماق مختلف خاک را دارد.

واژه‌های کلیدی: بارش، ساعت آفتابی، دمای خاک، دمای هوا، معادلات سینوسی شبه‌سازی شده، یزد.

مقدمه

خاک بستر حیات است و از جهات گوناگون بر سایر سامانه‌های محیطی تأثیر می‌گذارد. یکی از ویژگی‌های عمده خاک رژیم حرارتی حاکم بر آن می‌باشد که روی بسیاری از جنبه‌های زیستی به‌ویژه پراکنش گیاهان و جانوران، فعالیت‌های بیولوژیکی و حرکت آب در خاک اثرگذار است (Berry & Radke, Allmaras et al., 1964; Sharrat et al., Post & Dreibelbis, 1942; 1995). اگرچه دمای خاک در مناطق سرد و پرباران اغلب بر روی عمق و مدت یخ‌زدگی خاک به منظور پیش‌بینی وقوع سیل و یا زمان و عمق مناسب برای کاشت بذر گیاهان زراعی اهمیت قابل‌توجهی دارد، اما آنچه در مناطق خشک حائز اهمیت است فراهم کردن محیطی مناسب برای استقرار پوشش گیاهی در اراضی حساس به فرسایش بادی به منظور جلوگیری از بیابان‌زایی در این مناطق می‌باشد. افزایش بیش از حد دمای خاک در مناطق خشک با کاستن از میزان رطوبت و مواد آلی خاک و در پی آن کاهش نیروی چسبندگی بین ذرات خاک، منجر به ایجاد سطحی ناپایدار در مقابل وزش بادهای شدید و مداوم منطقه شده و وقوع فرسایش بادی را شدت می‌بخشد. همچنین کاهش بیش از حد دمای خاک نه تنها موجب کاهش رشد ریشه، سرمازدگی و صدمه به گیاهان می‌شود، بلکه انجماد آب در خاک سبب کاهش قابل‌توجهی در نفوذپذیری خاک شده و ضریب رواناب را افزایش می‌دهد (Zuzel & Todhunter, 2001; Pierce et al., 1958). دمای اعماق خاک اکثراً توسط میزان مبادله گرما بین عمق خاک و سطح آن یعنی شدت جریان گرمای خاک^۱ تعیین می‌گردد (Oliver, 1978). از سوی

دیگر، شدت جریان گرمای خاک تحت تأثیر عوامل بسیار مختلف درونی مانند ظرفیت گرمایی^۲، جنس و نوع کانی‌های موجود در خاک، تخلخل و میزان رطوبت خاک می‌باشد. به‌علاوه اینکه رطوبت خاک موجب تغییر ظرفیت گرمای نهان و هدایت حرارتی خاک می‌گردد. بنابراین عوامل بیرونی که شدت جریان گرما را تغییر می‌دهند، شامل دمای هوا و وجود اجسام عایق در مرز بین هوا و خاک مانند پوشش گیاهی، برف و برگ‌های ریخته شده از درختان می‌باشد (Schaeztl & Follmer, 1996). روشهای سری فوریه، رگرسیون چند متغیره خطی، شبکه‌های عصبی، معادلات موازنه انرژی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در زمره روشهای مناسب جهت بررسی رژیم دمایی سطح و اعماق مختلف خاک می‌باشند. در بیشتر این روشها، دمای هوا و رطوبت خاک عامل‌های پایه تلقی می‌شوند. در مطالعه‌ای که در سطح شهرستان‌های استان خراسان رضوی انجام شد، یک معادله درجه دوم به‌ازای اعماق مختلف خاک و درجه حرارت هوا بدست آمد. نتایج نشان داد که این رابطه برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک غیرقابل‌قبول، اما برای اعماق سطحی‌تر مناسب و قابل قبول می‌باشد (نجفی‌مود و همکاران، ۱۳۸۷). به‌طوری‌که روابط ساعتی، روزانه و ماهانه دمای اعماق خاک با دمای هوای اندازه‌گیری شده در جعبه اسکرین^۳ و رطوبت خاک نیز تعیین شده است. این کار با استفاده از رگرسیون چند متغیره و مدل آماری jump انجام گردید (عباسی، ۱۳۸۵). با استفاده از معادلات ریاضی و قوانین فیزیکی نیز روابط میان رطوبت و ویژگی‌های خاک مناطق خشک با دمای آنها تا عمق ۱۰ سانتی‌متری بدست آمد و

2- Heat capacity
3- Shelter

1- Heat flux

پیچیده‌اند و نیاز به بررسی بیشتر (خصوصیات متعددی از خاک) دارند که اغلب در دسترس نیستند. در این پژوهش سعی شده با استفاده از عامل‌های جوی که به طور معمول در ایستگاه سینوپتیک یزد اندازه‌گیری می‌شود، دمای خاک را شبیه‌سازی و در اعماق مختلف تخمین زد. همچنین تلاش شده با استفاده از آمار موجود از دمای خاک در اعماق مختلف، معادلات حاکم بر آنها بدست‌آید تا بتوان دمای خاک در اعماق مختلف را در روز معینی از سال بدست آورد.

مواد و روشها

ایستگاه سینوپتیک یزد تقریباً در مرکز حوزه دشت یزد- اردکان واقع شده و با توجه به شرایط توپوگرافیک این حوزه، شرایط پدافیکی آن می‌تواند تا حد بسیار زیادی بیانگر وضعیت منطقه دشتی حوزه باشد. این ایستگاه در عرض جغرافیایی $31^{\circ} 54'$ شمالی و طول جغرافیایی $17^{\circ} 54'$ شرقی و در ارتفاع $1237/2$ متری از سطح دریا قرار گرفته است. از نظر تقسیمات اقلیمی، براساس روش آمبرژه در اقلیم خشک سرد و براساس روش دومارتن اصلاح شده (دکتر خلیلی) در اقلیم فراخشک سرد قرار می‌گیرد (احمدی، ۱۳۸۷). نوسانهای سالانه دمای هوا و رطوبت آن زیاد می‌باشد. به طوری که سردترین ماه سال دی با میانگین دمای هوای $6/8^{\circ}\text{C}$ ، گرم‌ترین ماه سال تیر با میانگین دمای هوای $33/1^{\circ}\text{C}$ و میانگین سالانه بارش $65/8$ میلی‌متر است. براساس محاسبه‌های انجام شده در این پژوهش میانگین درجه حرارت سالانه خاک در عمق 50 سانتی‌متری $24/8^{\circ}\text{C}$ ، اختلاف میانگین درجه حرارت تابستانه و زمستانه $20/6^{\circ}\text{C}$ و رژیم حرارتی خاک هایپرترمیک است.

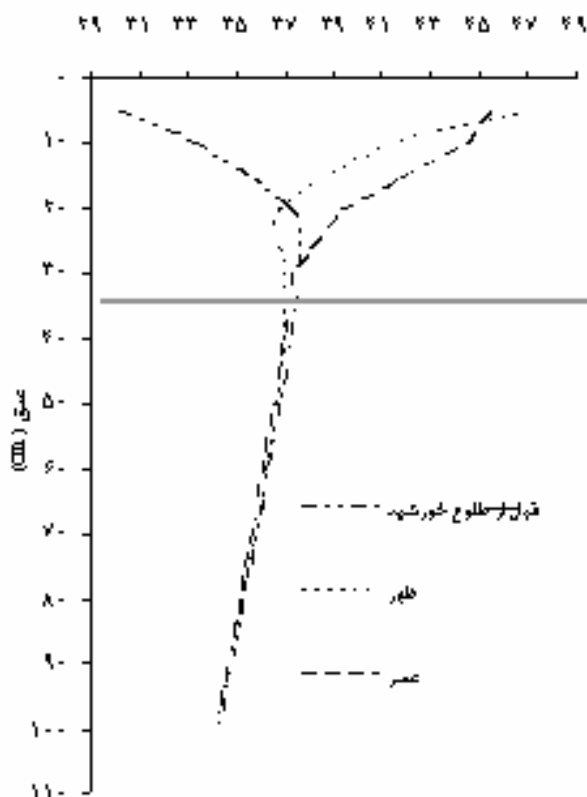
پخشیدگی^۱ گرما در خاک شنی و چگالی جریان آب^۲ برای چهار لایه از خاک برآورد شد (Gao et al., 2007). بدین ترتیب در مطالعه‌ای دو روش بیان انرژی و شبکه عصب مصنوعی به منظور برآورد دمای خاک سطحی مقایسه شد. نتایج نشان داد که تکنیک هوش مصنوعی پیشنهاد شده قادر است برآورد دقیق‌تری از توزیع دمای سطحی خاک بدست آورد. به طور کلی عامل‌هایی که به مدل شبکه عصبی وارد شد، شامل دمای هوا، رطوبت نسبی هوا و میزان تابش سیاره‌ای خورشید^۳ و خروجی آن مقادیر دمای سطح خاک بدون پوشش در مقیاس ساعتی بود (Mihalakakau, 2001).

نوسانهای روزانه دمای خاک در کلاس‌های مختلف فرسایش در منطقه ملینگانو تانزانیا (با اقلیم نیمه‌خشک) بدست‌آمد. نتایج نشان داد که فرسایش خاک، خاک زیرسطحی را بدون محافظ قرار داده و مواد آلی و رطوبت خاک را کاهش می‌دهد که در شرایط خاک خشک ظرفیت گرمایی برای فرسایش شدید $0/26 \text{ cal cm}^{-3}\text{C}$ و برای فرسایش کند $0/23 \text{ cal cm}^{-3}\text{C}$ بدست آمد (Tenge et al., 1998). یکی از دلایل کمبود تحقیقات در مورد چگونگی اثرپذیری فرسایش خاک از دمای خاک ممکن است به علت مشکلات اندازه‌گیری دمای خاک باشد، زیرا دما به طور مدام با زمان، مکان، عمق و شرایط سطحی تغییر می‌کند. بنابراین پیش‌بینی دمای خاک گزینه با اهمیتی است که باید مورد توجه قرار گیرد. از این رو در روشهای محاسباتی و تجربی موجود، از شرایط مرزی و خصوصیات حرارتی خاک به‌عنوان روشی برای پیش‌بینی دمای خاک استفاده می‌شود، اگرچه این روش‌ها هنوز

1- Diffusion
2- Water flux density
3- Global solar radiation

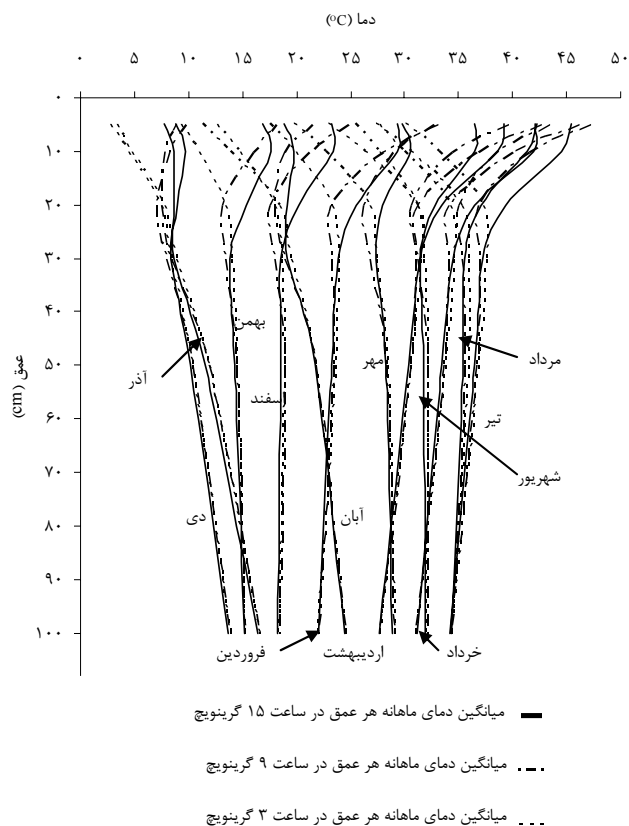
برای انجام این پژوهش، آمار اندازه‌گیریهای روزانه هواشناسی (دمای هوا، ساعت آفتابی و بارش) به‌ویژه دمای خاک در شش عمق مختلف ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در ساعات ۳، ۹ و ۱۵ گرینویچ در طی سال ۱۳۸۵ تهیه گردید و با انتقال داده‌ها به نرم‌افزارهای محاسباتی آماری متداول و انجام تصحیحات مورد نیاز، میانگین روزانه این عامل‌ها بدست‌آمد. ارتباط بین عامل‌های مختلف محیطی نظیر دمای هوا، بارش،

ساعت آفتابی و دمای اعماق خاک بررسی شد. با تعیین زمان دقیق آغاز روند افزایشی دمای خاک نسبت به میانگین سالانه، زمان شروع تابع سینوسی بدست‌آمد و با توجه به اختلاف کمینه و بیشینه دمای سالانه خاک در هر عمق، دامنه نوسان موج سینوسی آشکار گردید. در نهایت به‌منظور محاسبه کارایی مدل سینوسی شبیه‌سازی شده از ضریب کارایی مدل ناش ساتکلیف^۱ استفاده شد (Morgan, 2005).



شکل ۱- میانگین دمای خاک در سه موقع از روز در تیرماه

1- Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient



شکل ۲- تغییرات ماهانه دمای خاک در اعماق مختلف (۱۳۸۵)

نتایج

همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد تغییرات دمای خاک در لایه‌های سطحی در سه موقع از شبانه‌روز از نوسان خاصی تبعیت می‌کند، به‌طوری‌که در تیرماه در زمان نزدیک به طلوع خورشید دمای عمق ۵ سانتی‌متری $30/1^{\circ}\text{C}$ و با نزدیک شدن به موقع ظهر، در وسط روز به $47/1^{\circ}\text{C}$ می‌رسد، اما دامنه این تغییرات دمایی در لایه سطحی خاک در حداکثر بوده و با افزایش عمق آن،

کاهش می‌یابد. بررسیهای بیشتر بیانگر آن است که تفاوت بیشینه و کمینه دمای خاک در سه اندازه‌گیری روزانه مذکور در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، به‌ترتیب برابر با $17/07$ ، $11/24$ ، $2/06$ ، $0/55$ ، $0/22$ و $0/02$ درجه سانتی‌گراد است. علاوه بر این، تغییرات قابل توجه میانگین دمای ماهانه خاک در ساعات ۳، ۹ و ۱۵ گرینویچ^۲ حداکثر تا عمق ۳۵ سانتی‌متری دارای نوسان می‌باشد (شکل ۲).

2- GMT (Greenwich Mean Time)

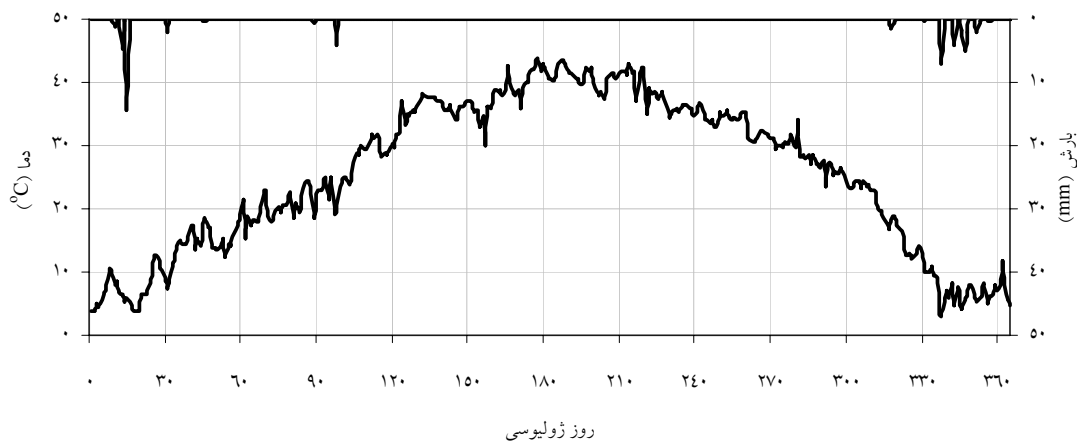
جدول ۱- میانگین دمای خاک در عمق ۵ سانتی متری در روزهای با بارش بیش از ۱ میلی متر (۱۳۸۵)

ماه					روز
آذر	آبان	فروردین	دی		
۹/۳	۲۴/۲	۲۲/۸	۳/۹		۱
۹/۰	۲۳/۲	۲۲/۹	۳/۸		۲
۷ mm : ۴/۲	۲۴/۳	۲۴/۱	۵/۰		۳
۳/۰	۲۳/۶	۲۴/۹	۴/۲		۴
۵/۹	۲۳/۹	۲۱/۴	۵/۵		۵
۷/۱	۲۳/۰	۲۴/۸	۶/۴		۶
۵/۹	۲۲/۸	۴ mm : ۱۹/۲	۷/۱		۷
۴ mm / ۸/۳	۲۲/۲	۱۹/۵	۱۰/۴		۸
۴/۷	۱۹/۸	۲۲/۰	* ۱/۲ mm : ۱۰/۲		۹
۷/۶	۱۹/۶	۲۴/۶	۷/۸		۱۰
۱/۸ mm : ۵/۹	۱۸/۶	۲۵/۰	۸/۴		۱۱
۵/۱ mm : ۴/۰	۱۷/۵	۲۵/۰	۴/۷ mm : ۶/۸		۱۲
۲ mm : ۶/۰	۱/۴ mm : ۱۶/۸	۲۳/۷	۶/۴		۱۳
۶/۲	۱۸/۲	۲۵/۶	۱۴ mm : ۵/۲		۱۴
۸/۰	۱۸/۸	۲۷/۳	۵/۹		۱۵
۷/۳	۱۷/۵	۲۸/۸	۵/۳		۱۶
۲ mm : ۶/۴	۱۷/۱	۲۸/۴	۴/۷		۱۷
۵/۲	۱۶/۴	۲۹/۹	۳/۹		۱۸
۵/۹	۱۴/۴	۲۹/۴	۳/۸		۱۹
۶/۵	۱۲/۷	۲۹/۴	۴/۱		۲۰
۸/۱	۱۲/۹	۳۰/۵	۶/۵		۲۱
۴/۹	۱۲/۰	۳۱/۸	۶/۴		۲۲
۶/۰	۱۲/۲	۳۱/۰	۶/۶		۲۳
۶/۴	۱۲/۸	۳۱/۸	۸/۸		۲۴
۷/۹	۱۴/۰	۳۰/۲	۱۰/۱		۲۵
۷/۰	۱۳/۰	۲۸/۲	۱۲/۵		۲۶
۷/۸	۱۰/۰	۲۸/۷	۱۲/۲		۲۷
۱۱/۶	۱۰/۰	۲۸/۴	۱۰/۹		۲۸
۸/۰	۱۰/۰	۲۹/۱	۱۰/۴		۲۹
۵/۶	۱۱/۰	۳۰/۲	۲ mm : ۹/۰		۳۰
۴/۶	۱۱/۰	۳۰/۴			۳۱

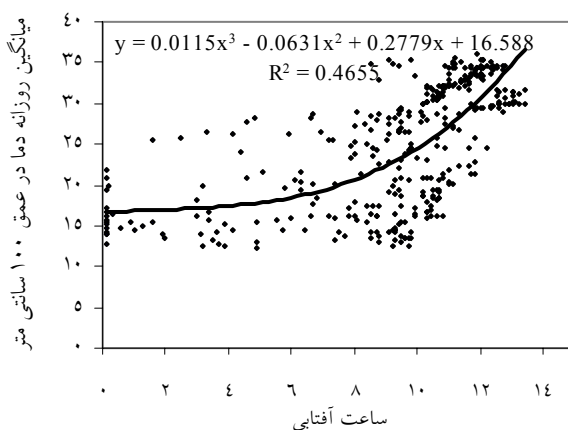
* اعداد با زمینه تیره زمان وقوع و مقدار بارندگی را نشان می دهد.

بارش در این ماه‌ها و افزایش هدایت گرمایی خاک، انتقال جبهه هوای سرد بالایی سریعتر انجام شده و موجب کاهش بیشتر دمای خاک در لایه‌های عمقی‌تر می‌شود.

از سوی دیگر با توجه به توزیع فصلی بارش ایستگاه، یعنی تمرکز بارش در ماه‌های سرد سال، منحنی بارش ماهانه آن دارای توزیع تک‌نمایی^۱ است (شکل ۳). بنابراین در نتیجه افزایش رطوبت خاک ناشی از وقوع



شکل ۳- اثر کاهشی بارش روی دمای خاک در عمق ۵ سانتی متری (۱۳۸۵)



شکل ۴- روابط بین تغییرات روزانه ساعت آفتابی با دمای اعماق مختلف خاک (۱۳۸۵)

(به ترتیب ۰/۵۴، ۰/۵۱ و ۰/۴۶) چندان تغییری نمی‌کند (شکل ۴). بنابراین روابط بین میانگین ماهانه دمای اعماق مورد بررسی و میانگین ماهانه ساعت آفتابی، نشان می‌دهد که این روابط تا عمق ۵۰ سانتی‌متر قابل قبول، اما برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متر قابل قبول نیست (جدول ۲).

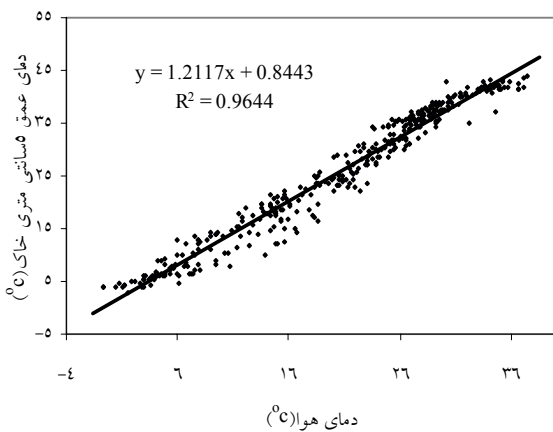
نتیجه دیگر اینکه با توجه به بررسی روابط بین مقادیر ساعت آفتابی و دمای اعماق مختلف خاک، معادله‌های ریاضی بدست‌آمده از روابط دمای اعماق ۵، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری و ساعت آفتابی روزانه نشان می‌دهد که با افزایش عمق خاک، ضرایب تعیین معادلات درجه سوم بدست‌آمده مربوط به اعماق فوق

جدول ۲- معادله‌های تعیین‌کننده رابطه ساعت آفتابی ماهانه با دمای اعماق مختلف خاک (۱۳۸۵)

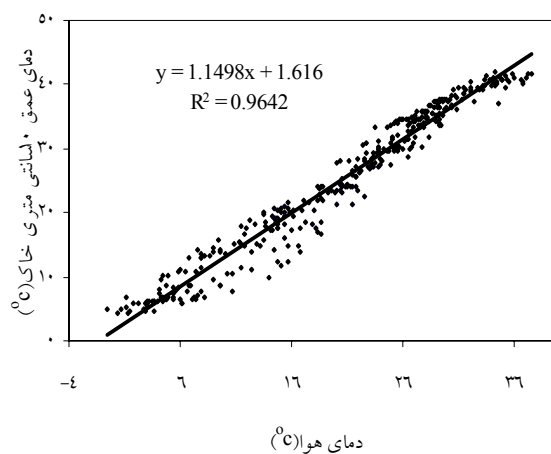
عمق (cm)	معادله	ضریب تعیین (R^2)
۵	$y=0/3319 x - 22/224$	۰/۹۷
۱۰	$y=4/9203 x - 20/389$	۰/۹۴
۲۰	$y=4/5139 x - 17/529$	۰/۹۴
۳۰	$y=4/3532 x - 16/108$	۰/۹۳
۵۰	$y=3/8621 x - 10/911$	۰/۹۰
۱۰۰	$y=2/9961 x - 2/558$	۰/۷۵

همان‌گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد، رابطه بین دمای اعماق مختلف خاک و دمای هوای سطحی دارای ضریب تعیین بالا و از همبستگی بسیار مناسبی برخوردارند ($\alpha = 0.01$). گرچه میزان این ضریب از سطح به عمق خاک کاهش می‌یابد. اما در صورتی که برازش منحنی در شکل (۵- و) از مبدأ مختصات بگذرد میانگین دما در عمق ۵۰ سانتی‌متری برابر ۱/۱۵ دمای هوا خواهد بود.

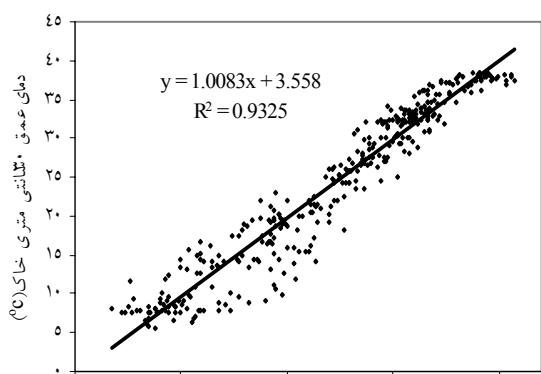
همان‌گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد، رابطه بین دمای اعماق مختلف خاک و دمای هوای سطحی دارای ضریب تعیین بالا و از همبستگی بسیار مناسبی برخوردارند ($\alpha = 0.01$). گرچه میزان این ضریب از



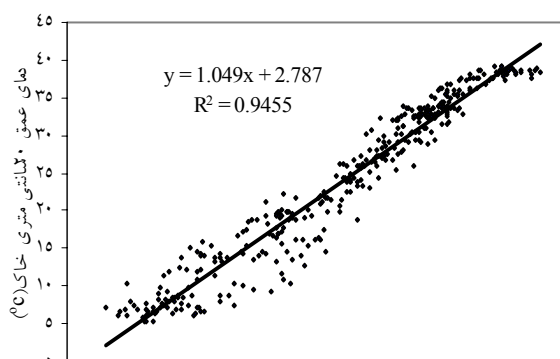
()



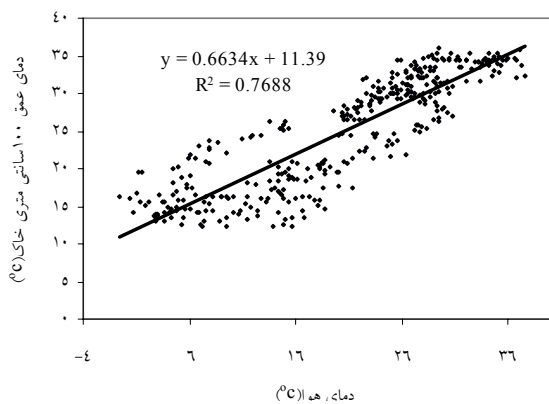
()



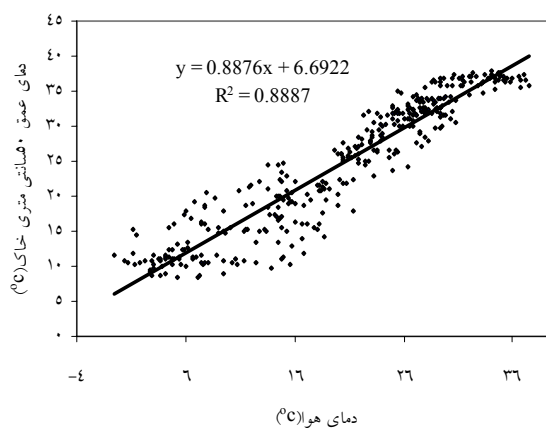
()



()



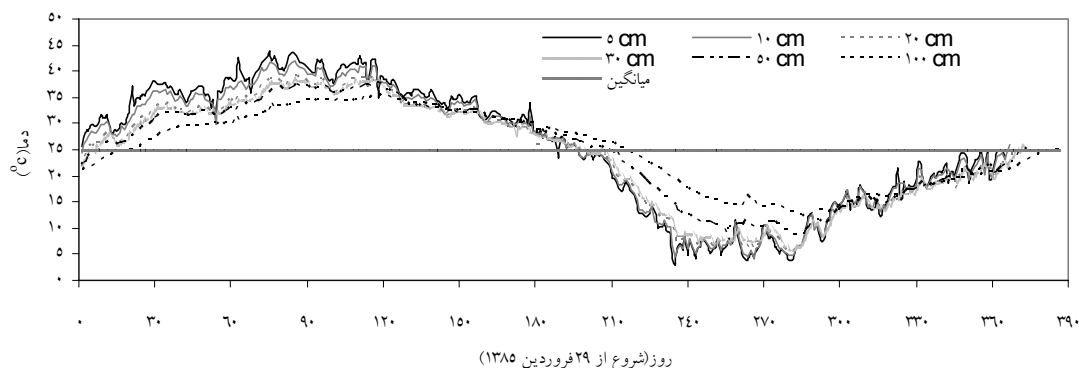
()



()

شکل ۵- روابط بین دمای روزانه اعماق مختلف خاک و دمای روزانه هوا (در جعبه اسکرین، در سال ۱۳۸۵)

شبیه‌سازی تغییرات دمایی خاک در اعماق مختلف



شکل ۶- تغییرات میانگین روزانه دمای خاک در طول سال در اعماق مختلف بر حسب درجه سانتی گراد

افزایش عمق تغییرات دمای خاک کاهش پیدا می‌کند. جدول ۳ توابع سینوسی شبیه‌سازی شده‌ی دمای خاک را در اعماق مختلف در طی سال ۱۳۸۵ نشان می‌دهد. به‌منظور استفاده از این معادله‌ها لازم است شماره روز ژولیوسی (J) (از اول ژانویه) را از رابطه ۱ بدست آورد (علی‌زاده، ۱۳۸۴).

$$J = \text{integer} ((275M/9) - 30 + D) - 2 \quad (1)$$

که در آن:

J شماره روز ژولیوسی از ابتدای سال میلادی، M شماره ماه میلادی سال، D شماره روز از ماه و integer تابع تبدیل به مقدار صحیح می‌باشد.

اندازه‌گیری دمای خاک در اعماق مختلف در طی یک سال بخش زیادی از اطلاعات چگونگی جریان گرما در خاک را فراهم می‌کند. شکل ۶ تغییرات دمای خاک در ایستگاه هواشناسی یزد را در اعماق کمتر از یک متر نشان می‌دهد. بنابراین نمودار زیر براساس میانگین روزانه دمای خاک در طی سال ۱۳۸۵ می‌باشد و تنها روند سالانه تغییر میانگین دمای خاک روزانه را نشان می‌دهد.

تغییرات دمایی سالانه هر عمق را می‌توان با یک تابع سینوسی در دوره زمانی یک ساله پیشگویی نمود. همان‌گونه که در شکل ۶ مشخص است، دامنه‌ی نوسان موج سینوسی، یعنی اختلاف بین دمای حداکثر و حداقل در عمق‌های نزدیک به سطح خاک افزایش می‌یابد و با

جدول ۳- توابع سینوسی شبیه‌سازی شده تغییرات میانگین روزانه دمای خاک در اعماق مختلف در طول سال

عمق (cm)	تابع سینوسی شبیه‌سازی شده	عمق (cm)	تابع سینوسی شبیه‌سازی شده
۵	$y = 23/90 + 17/10 \times \sin((2\pi \times J)/365)$	۳۰	$y = 22/55 + 14/45 \times \sin((2\pi \times J)/365)$
۱۰	$y = 23/05 + 15/95 \times \sin((2\pi \times J)/365)$	۵۰	$y = 23/35 + 12/85 \times \sin((2\pi \times J)/365)$
۲۰	$y = 22/60 + 14/80 \times \sin((2\pi \times J)/365)$	۱۰۰	$y = 24/15 + 10/35 \times \sin((2\pi \times J)/365)$

مثال: دمای عمق ۵ سانتی‌متری در روز ۶ بهمن = ۲۶ ژانویه

$$J = \text{integer}(((275 \times 1)/9) - 30 + D) - 2$$

$$24 + 263 = 287$$

$$y = 23/90 + 17/10 \times \sin((2\pi \times 287)/365)$$

بدست‌آمده در تابع سینوسی شبیه‌سازی شده، دمای خاک در عمق و روز معین بدست‌می‌آید.

اما چون شروع موج سینوسی از روز اول ژانویه نمی‌باشد باید با اعمال اعداد جدول ۴، شماره روز را برای رابطه ۱ بدست آورد. بدین ترتیب با قراردادی اعداد

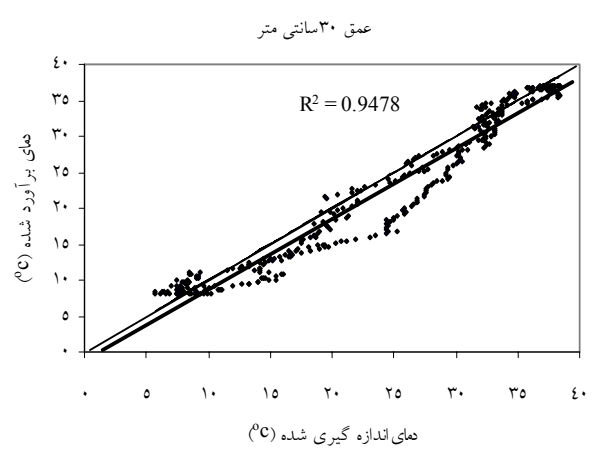
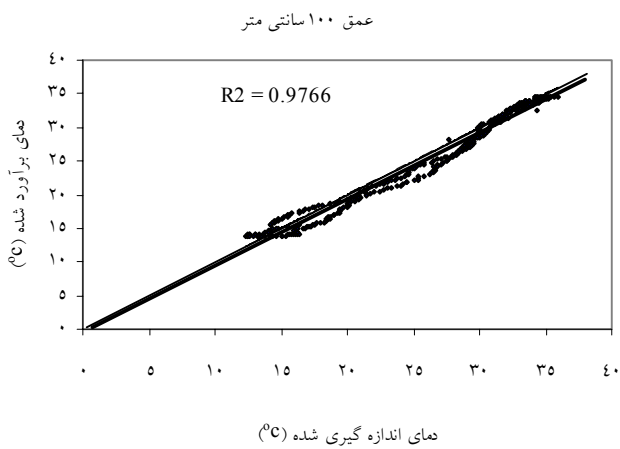
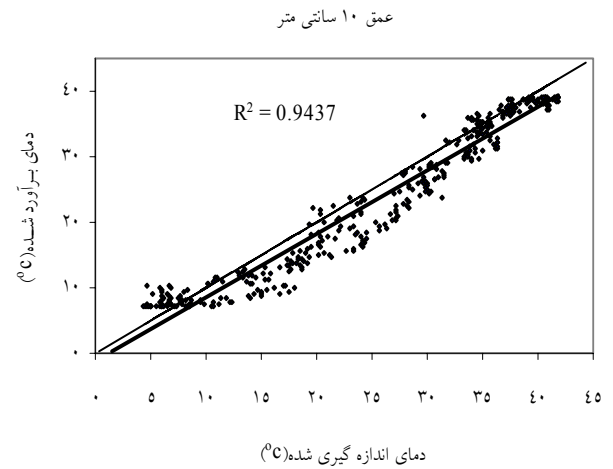
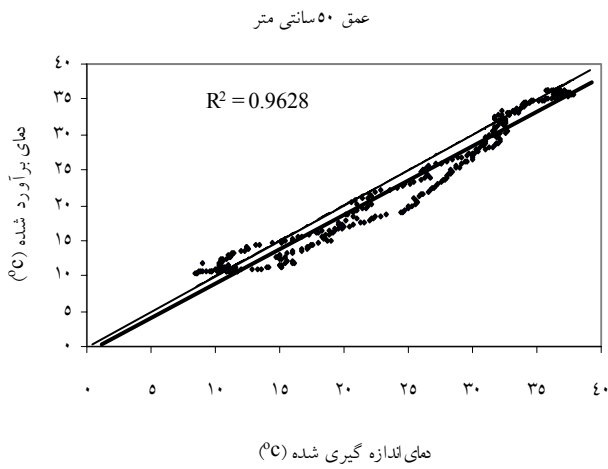
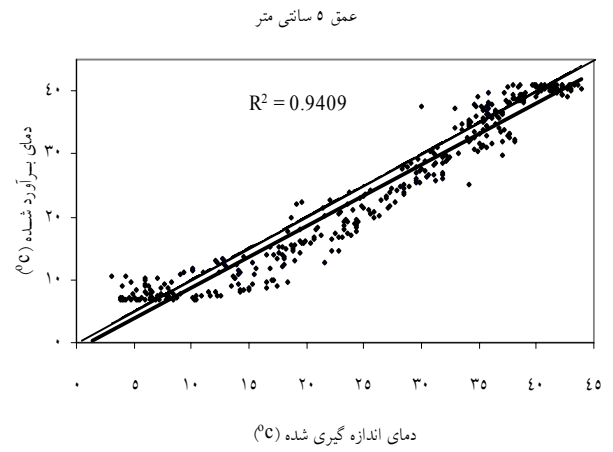
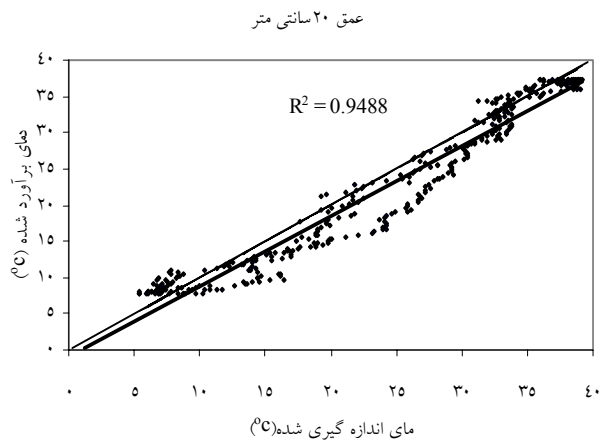
جدول ۴- اعداد تصحیح رابطه ۱

عمق (cm)	بازه زمانی	عدد تصحیح	بازه زمانی	عدد تصحیح
۵	از ۱ ژانویه (۱۱ دی) تا ۱۳ آوریل (۲۴ فروردین)	+۲۶۳	از ۱۴ آوریل (۲۵ فروردین) تا ۳۱ دسامبر (۱۰ دی)	-۱۰۳
۱۰	از ۱ ژانویه (۱۱ دی) تا ۱۵ آوریل (۲۶ فروردین)	+۲۶۱	از ۱۶ آوریل (۲۷ فروردین) تا ۳۱ دسامبر (۱۰ دی)	-۱۰۵
۲۰	از ۱ ژانویه (۱۱ دی) تا ۱۸ آوریل (۲۹ فروردین)	+۲۵۸	از ۱۹ آوریل (۳۰ فروردین) تا ۳۱ دسامبر (۱۰ دی)	-۱۰۸
۳۰	از ۱ ژانویه (۱۱ دی) تا ۲۱ آوریل (۱ اردیبهشت)	+۲۵۵	از ۲۲ آوریل (۲ اردیبهشت) تا ۳۱ دسامبر (۱۰ دی)	-۱۱۱
۵۰	از ۱ ژانویه (۱۱ دی) تا ۲۲ آوریل (۲ اردیبهشت)	+۲۵۴	از ۲۳ آوریل (۳ اردیبهشت) تا ۳۱ دسامبر (۱۰ دی)	-۱۱۲
۱۰۰	از ۱ ژانویه (۱۱ دی) تا ۵ می (۱۵ اردیبهشت)	+۲۴۱	از ۶ می (۱۶ اردیبهشت) تا ۳۱ دسامبر (۱۰ دی)	-۱۲۵

همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، به‌منظور آزمون کارایی مدل، نتایج حاصل از مدل و داده‌های اندازه‌گیری مستقیم هر عمق در سال ۱۳۸۵ در یک دستگاه مختصات وارد و بعد میزان همبستگی آنها بدست‌آمد. واضح است که اگر خروجی‌های مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده کاملاً برابر باشد، شیب خط ۴۵ درجه و ضریب تعیین مربوطه (R^2) برابر یک خواهد بود و در این صورت مدل می‌تواند عین پدیده را شبیه‌سازی کند. یکی از ضرایبی که برای تعیین کارایی مدل به طور وسیع استفاده می‌شود، ضریب کارایی ناش ساتکلیف است که در رابطه ۲ نشان داده شده است.

$$R_{NS}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{avg})^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

O_i مقدار مشاهده شده، P_i مقدار برآورد شده، O_{avg} میانگین مقدار مشاهده شده، i تعداد مشاهده است. R_{NS}^2 از $-\infty$ تا ۱ متغیر است. بنابراین هرچه به یک نزدیکتر باشد مدل‌سازی با کارایی (بازدهی) بیشتری انجام شده است.



شکل ۷- مقایسه مقادیر برآورد و اندازه‌گیری شده دما در اعماق مختلف

جدول ۵- مقادیر کارایی مدل‌های شبیه‌سازی شده

برای اعماق مختلف خاک

عمق (cm)	R_{NS}^2
۵	۰/۹۲۰۷
۱۰	۰/۹۱۱۹
۲۰	۰/۹۲۵۴
۳۰	۰/۹۲۲۶
۵۰	۰/۹۳۷۶
۱۰۰	۰/۹۶۵۵

همان‌گونه که در جدول ۵ مشخص است ضریب کارایی ناش‌ساتکلیف برای اعماق خاک تا ۵۰ سانتی‌متری تقریباً برابر است، اما در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از سایر اعماق کارایی مدل شبیه‌سازی بیشتر گردیده است. این موضوع را می‌توان به نوسانهای کمتر درجه حرارت در عمق‌های پایین‌تر نسبت داد. همچنین تأثیر عوامل مؤثر در درجه حرارت در افق‌های سطحی بسیار بیشتر از افق‌های عمقی است. بدین ترتیب در مجموع پیشگویی مدل‌های شبیه‌سازی در کل لایه‌ها بالا و مطلوب محاسبه شده است و استفاده از مدل بر استفاده از میانگین اعداد دمای اندازه‌گیری شده ارجحیت دارد.

بحث

با توجه به نتایج بدست‌آمده از بررسی عامل‌های تأثیرگذار بر روی دمای خاک ایستگاه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۵، مشخص شد که بارش اغلب دمای خاک را کاهش و در موارد اندکی دمای خاک را افزایش می‌دهد که با مطالعات (Schaeztl & Follmer, 1996) مطابقت دارد. آنها بیان کردند که تغییرات دمای خاک در اثر بارش با توجه به دمای بارش می‌تواند به صورت افزایشی و یا

کاهش باشد، همچنین اثرهای حاصل از وقوع بارندگی بر روی دمای اعماق مختلف خاک، با میزان بارش و نیز دمای خاک ارتباط دارد. به دلیل تمرکز بارش ایستگاه در ماه‌های سرد سال (شکل ۳)، رطوبت خاک ناشی از وقوع بارش و هدایت گرمایی خاک افزایش یافته، به‌نحوی که انتقال جبهه هوای سرد بالایی سریعتر صورت می‌گیرد و موجب کاهش بیشتر دمای خاک در لایه‌های عمقی‌تر می‌شود. همچنین به دلیل افزایش رطوبت در دسترس، تبخیر از سطح خاک زیاد شده و بخشی از گرمای خاک صرف گرمای نهان تبخیر گردیده و دمای خاک کاهش می‌یابد. افزایش دمای خاک را می‌توان به سبب ظرفیت گرمایی بالای آب و همچنین افزایش جذب انرژی خورشیدی در خاک مرطوب نسبت به خاک خشک دانست.

بنابراین بخش بسیار مهم در معادله دمایی خاک مقدار تابش نور خورشید و امواج با طول موج بلند رسیده به سطح خاک می‌باشد که با توجه به خصوصیات خاک، میزان جذب و انعکاس آن تعیین می‌شود. کسری از انرژی تابشی منعکس شده توسط سطح که به آلبدو^۱ معروف است نه تنها به زاویه برخورد تابش به سطح زمین، بلکه به زاویه و جهت شیب زمین، پوشش سطحی، رنگ خاک و رطوبت خاک وابسته است. پوشش برف، هم سطح خاک را عایق می‌سازد و هم بیش از ۷۵ درصد از انرژی را به اتمسفر باز می‌گرداند. رنگ روشن ماسه آلبدو را به میزان زیادی افزایش می‌دهد. به طوری که برخلاف آلبدوی بالای برف، آب کمتر از ۱۰ درصد تابش را منعکس می‌کند و جذب‌کننده خوب انرژی خورشیدی است (Schaeztl & Anderson, 2005).

به طور کلی نقش ساعت آفتابی در تغییر دمای روزانه خاک در طی سال را می‌توان با تابع درجه سه مطابقت داد (شکل ۴). برخلاف همبستگی نه چندان زیاد ساعت آفتابی با دمای خاک در طی سال، همبستگی این دو عامل در طی هر ماه زیاد بوده و تا عمق ۵۰ سانتی‌متر قابل قبول و برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متر به نسبت پایین است (جدول ۲). که دلیل آن را می‌توان تغییر در پوشش سطحی (پوشش گیاهی، برف)، رنگ خاک در اثر تغییر رطوبت و تغییر در زاویه تابش نور خورشید در ماه‌های مختلف سال بیان کرد. باتوجه به اینکه لایه‌های زیرین سطح خاک به طور مستقیم در معرض تابش نور خورشید نمی‌باشند و گرمای سطحی جذب شده از نور خورشید را از طریق روش‌های انتقال گرما گرفته و تحت تأثیر ویژگیهای خاک می‌باشند، بنابراین بدست آوردن روابط تابش و دمای اعماق مختلف خاک باید با در نظر گرفتن تمام عامل‌های دخیل انجام شود.

بررسی ارتباط دمای هوا و دمای خاک در اعماق مختلف نشان داد که تغییرات دما در سطح ۵ سانتی‌متری خاک دارای بیشترین ضریب تعیین است (شکل ۵). این در حالیست که به تدریج با افزایش عمق همبستگی دمای هوا و خاک کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر هماهنگی تغییرات دمایی هوا با خاک سطحی بیشتر از عمق است. دلیل این امر را می‌توان در دخیل شدن ویژگیهای فیزیکی خاک نظیر وزن مخصوص ظاهری، رطوبت، مواد آلی و نوع کانی‌ها بر ظرفیت گرمایی ویژه و هدایت گرمایی خاک دانست که در نهایت بر ضریب پخشیدگی حرارتی خاک مؤثرند. بنابراین با افزایش عمق، ضریب پخشیدگی حرارتی در خاک کاهش می‌یابد. این عامل سبب کاهش تغییرات دمایی و افت زمانی تغییر می‌شود. به‌طوری‌که

سطح خاک در ارتباط نزدیک‌تر با منابع حرارتی مانند تابش و دمای هوا قرار داشته و گرما با تأخیر زمانی^۱ کمتری نسبت به سطوح پایین‌تر به لایه‌های سطحی منتقل می‌شود. از این رو با افزایش عمق جبهه حرارتی مجبور به تغییر دمای حجم بیشتری از خاک شده و از گرمای آن هرچه بیشتر کاسته شده، در نتیجه شیب حرارتی کم شده و جبهه حرارتی با سرعت و گرمای کمتری منتقل می‌شود. روابط خطی بدست‌آمده بین درجه حرارت هوا و درجه حرارت خاک در تعیین رژیم حرارتی خاک^۲ بسیار مهم است، زیرا در تعریف رژیم حرارتی خاک از میانگین درجه حرارت سالانه در عمق ۵۰ سانتی‌متری استفاده می‌شود؛ چون معمولاً در مناطق مختلف دمای خاک موجود نیست، بنابراین می‌توان از روابط بین درجه حرارت هوا و خاک برای تعیین آن استفاده کرد. هدف از شبیه‌سازی دمای خاک شناخت و ارزیابی الگوهای رفتاری حاکم بر آن است. بنابراین پیش‌بینی دمای خاک در آینده و همچنین تخمین آن بدون اندازه‌گیری مستقیم، می‌تواند از مزایای بهره‌گیری از یک مدل شبیه‌سازی‌کننده واقعی این پدیده طبیعی باشد. با توجه به اینکه تراکم ریشه اغلب بوته‌ها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک است، بنابراین معادله‌های حاصل از شبیه‌سازی می‌توانند در رابطه با تعیین تاریخ دقیق بذر پاشی، تنش‌های آبی و دمایی (سرما-گرما) وارده به نهال‌ها و میزان نیاز آبی آنها جنبه کاربردی بالایی داشته باشند.

1- Lag Time

2- Soil temperature regime

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولان محترم سازمان هواشناسی کل کشور به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز برای انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Ghuman, B.S. and Lal, R., 1981. Predicting diurnal temperature regimes of the central Appalachians, *Soil Science*, 132: 247-252.
- Mihalakakau, G., 2001. On estimating soil surface temperature profiles, *Energy and Buildings*, 34: 251-259.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil erosion and conservation*, Blackwell publishing, 304 p.
- Oliver, C.D., 1978. Subsurface geologic formations and site variation in upper sand hills of South Carolina, *Journal of Forestry*, 76: 352-354.
- Pierce, R.S., Lull, H.W. and Storey, H.C., 1958. Influence of land use and forest condition on soil freezing and snow depth, *Forestry Science*, 4: 246-263.
- Post, F.A. and Dreibelbis, H.C., 1942. Some influence of frost penetration and microclimate on the water relationships of woodland, pasture and cultivated soil, *Soil Science Society of American Processing*, 7: 95-104.
- Schaetzl, R. and Anderson, V., 2005. *Soil genesis and geomorphology*, Cambridge University Press, 350 p.
- Schaetzl, R.J. and Follmer, L.R., 1996. Regional-Scale relationship: between climate and strength of podzolization in the Great Lakes Region, *North America*, 28: 47-69.
- Sharratt, B.S., Saxton, K.E. and Radke, J.K., 1995. Freezing and thawing of agricultural soils: implications for soil, water and air quality, *Minnesota Academic science*, 59: 1-5.
- Tenge, A.J., Kaihura, F.B.S., Lal, R. and Singh, B.R., 1998. Diurnal soil temperature fluctuations for different erosion classes of an oxisol at Mlingano, Tanzania, *Soil and Tillage Research*, 49: 211-217.
- Todhunter, P.E., 2001. A hydroclimatological analysis of the Red River of the North snowmelt flood catastrophe of 1997, *American Water Resources*, 37: 1263-1278.
- Zuzel, J.R. and Pikul, J.L., 1987. Infiltration into a Seasonally Frozen Agricultural Soil, *Soil Water Conservation*. 42: 447-450.
- احمدی، ح.، ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۲ (بیابان- فرسایش بادی). انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۷۰۶ صفحه.
- بای بوردی، م.، ۱۳۷۲. فیزیک خاک، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۶۷۱ صفحه.
- عباسی، ا.، ۱۳۸۵. بررسی روابط بین رژیم دمایی اعماق خاک با دمای هوا (اسکرین) و تعیین عمق یخبندان در استان کردستان، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- علی‌زاده، ا.، ۱۳۸۴. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد، ۴۷۲ صفحه.
- نجفی مود، م.ح.، 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.
- Allmaras, R.R., Burrows, W.C. and Larson, W.E., 1964. Early growth of corn as affected by soil temperature, *Soil Science Society of American Processing*, 28: 271-275.
- Berry, E.C. and Radke, J.K., 1995. Biological Processes: relationships between earthworms and soil temperatures, *Journal Minnesota Academic science*, 59:6-8.
- Gao, Z., Bian, L., Wang, L. and Fan, J., 2007. Determination of soil temperature in an arid region, *Journal of Arid Environments*, 71: 157-168.

Simulating temperature variations of soil different depths and study of some effective atmospheric parameters (case study-Yazd synoptic station)

Ghaemina, A.M.¹, Azimzadeh, H.R.^{2*} and Mobin, M.H.³

1- M.Sc. Student of Desert Management, Natural Resources and Desert Studies Faculty, Yazd University, Yazd, Iran.

2*- Corresponding Author, Assistant Professor in Natural Resources and Desert Studies Faculty, Yazd University.

Email: hazimzadeh@yazduni.ac.ir

3- Assistant Professor in Natural Resources and Desert Studies Faculty, Yazd University, Iran.

Received: 08.02.2010

Accepted: 07.06.2010

Abstract

Soil temperature is one of the most important and effective factors influencing the establishment of vegetation in arid regions. Soil temperature is affected by several meteorological parameters. The study of air temperature, rainfall and sunshine hours can be useful to understand the variation of soil temperature. Soil temperature changes and rate of heat transport in soil profile are helpful for evaluating the amount of evaporation, plants water requirements, decomposition rate of materials, biological activities and the time of seed planting. The aim of this study is to evaluate the role of atmospheric factors in determination of the soil temperature. For this purpose, after collecting daily temperatures data of different soil depths (5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm) in Yazd synoptic station for 2006, firstly, the effective meteorological parameters were analyzed and then soil temperature at this station was simulated by using sinusoidal changes pattern during the year. Finally, soil temperature variation curve at any depth was plotted and evaluated using the models obtained. Primary results showed that there was a significant relationship between precipitation, air temperature and sunshine hours. Measured and predicted values were evaluated in a coordinate system. The results showed that with increasing depth, the sinusoidal model predicted values underestimate. The results of calculating coefficients of Nash-Sutcliffe model efficiency (RNS2) showed that the estimated values by model for the different depths (5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm), compared to the measured ones had efficiency coefficients as 0.92, 0.91, 0.93, 0.92, 0.94 and 0.96, respectively. Since (RNS2) value varies between $-\infty$ to 1, and when its value is equal to 1, the model has maximum efficiency, so, sinusoidal equations have good capability for predicting temperature variations in soil different depths.

Key words: precipitation, sunshine hours, soil temperature, air temperature, simulated sinusoidal equations, Yazd