

برآورد دمای ژرفای خاک با بهره گیری از روش تجزیه منحنی و همبستگی های رگرسیونی برای شهرستان ساری

محسن جعفری گلستان^۱، * محمود رائینی سرجاز^۲ و میر خالق ضیاءتبار احمدی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، مجتمع علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشگاه مازندران،

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، مجتمع علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشگاه مازندران،

^۳ استاد گروه مهندسی آب، مجتمع علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت: ۸۶/۱/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۰/۱۹

چکیده

یکی از پارامترهای مهم که در ایستگاه های هواشناسی بطور مداوم اندازه گیری می شود، دمای هوای درون پناهگاه است، در حالی که دمای سطح و ژرفای خاک بصورت پیوسته اندازه گیری نمی شوند. بنابراین، از لحاظ داده های دمای خاک با کمبود آماری رو به رو هستیم. از آنجا که رژیم دمایی خاک، تأثیر مستقیمی بر رشد گیاهان، گوناگونی آن ها و فعالیت های زیست شناختی خاک دارند، بازسازی این کمبود آماری از اهمیت بالایی در بررسی های زیست اقلیمی و کشاورزی برخوردار است. هدف این مطالعه، برقراری و بررسی روابط رگرسیونی بین داده های دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری (پناهگاه هواشناسی) و خاک در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری می باشد. برای این منظور از داده های دمای هوای پناهگاه و دمای اعماق یاد شده ایستگاه هواشناسی مجتمع علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری استفاده گردید. بافت خاک این ایستگاه طبق رده بندی خاک در سیستم یونیفاید و آزمایش به عمل آمده در آزمایشگاه خاکشناسی، از نوع شنی-رسی (SC) می باشد. این بررسی در دو رژیم سالانه و شبانه روزی به صورت جداگانه، با بهره گیری از ضرایب همبستگی پیرسون، انجام شد. نخست در رژیم سالانه بین دماهای بیشینه، کمینه و میانگین دمای هوای پناهگاه، با متغیرهای همسان (بیشینه، کمینه و میانگین دما) در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک همبستگی معنی دار ($P < 0/01$) و بسیار بالایی ($r = 0/97$ تا $0/90$) وجود داشت. در چرخه شبانه روزی بین میانگین دمای هوای هر ساعت از شبانه روز در ارتفاع ۱/۸ متری و ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک در هر یک از فصل های سال همبستگی های معنی دار ($P < 0/01$) و بالای ($r = 0/84$ تا $0/99$) دیده شد. برای بهبود نتایج پیش بینی شده از روابط رگرسیونی، از روش های رفع اختلاف فاز و تجزیه منحنی نیز استفاده گردید. این دو روش به ترتیب سبب ۵ تا ۱۰ درصد و ۸ تا ۱۲ درصد بهبود در ضریب همبستگی شدند. بنابراین روش تجزیه منحنی برای برآورد دمای خاک پیشنهاد می شود.

واژه های کلیدی: دمای هوا و خاک، پسماند، تجزیه منحنی، اختلاف فاز، رگرسیون، ساری

مقدمه

از گذشته‌های دور فهم رابطه دمای هوا و خاک از راه کاربرد آن‌ها در کشاورزی برانگیخته شد (گیگر، ۱۹۶۵؛ دوریز، ۱۹۷۵؛ شرت و همکاران، ۱۹۹۲؛ هینکل و اوتکلت، ۱۹۹۳). تابش دریافتی خورشیدی به سطح خاک و پیرو آن، گرم شدن سطح خاک، عامل اصلی رسانایی و ترابری پائین سو (در خاک) و بالاسوی (هوا) گرما، و به وجود آورندهٔ گرادیان دمایی دو سویه در لایهٔ زیست‌سپهر هست. تغییرات دمای ژرفاهای بسیار پایین خاک (۲۰۰-۱۰ متری) نمایشگر تغییر اقلیم می‌باشد (فرگوسن و بلترامی، ۲۰۰۶)، در حالی که دماهای ژرفای سطحی خاک نشان‌دهنده تغییرات کوتاه مقیاس است. رسانندگی گرمایی خاک توسط عوامل عادی هواشناسی و محیطی، مانند برف، پوشش گیاهی و گرمای نهان تبخیر مهار می‌شود (پولاک و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین، رسانایی‌های گرمایی خاک و هوا به‌خاطر عوامل هواشناسی و ویژگی‌های فیزیکی خاک تغییر می‌کند (هیرایوا و کاسوبوچی، ۲۰۰۰). از آنجا که ضریب رسانایی گرمایی هوا و خاک یکسان نیست، نرخ و مقدار ترابری گرما در هوا و خاک نیز متفاوت است. این جابجایی گرمایی بر پایهٔ قانون فیک^۱ (روزنبرگ، ۱۹۷۴) بوده و به صورت معادله ۱ بیان می‌شود:

$$F = K \frac{dT}{dz} \quad (1)$$

که در آن F : شار گرمایی، K : ضریب رسانایی گرمایی و dT/dz : گرادیان دما (هوا یا خاک) می‌باشد.

ارزیابی دما در ژرفاهای مختلف خاک و هوا نیازمند دانستن ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها است. در صورتی که پارامترهای مورد نیاز این معادله فراهم نباشد، دستیابی به پراکنش قائم دما در نیمرخ خاک و هوا ناممکن است و نیاز به روش‌های ساده‌تری می‌باشد. ساده‌ترین و کارآمدترین روش برای برآورد چنین داده‌هایی بهره‌گیری از مدل‌های آماری، به‌ویژه معادلات رگرسیونی است.

مطالعات پرشماری در زمینهٔ برهم‌کنش دمای هوا و خاک انجام شده است. رایت و کرو (۲۰۰۰) اثر دمای هوای محیط، رطوبت و وضع محل را روی دمای خاک در کناره و درون جنگل بررسی کردند. برای این کار از دمای ماه‌های ژانویه، فوریه، ژوئن، ژوئیه، اوت و دسامبر استفاده نمودند. آنان دریافتند که میان میانگین دمای سالانهٔ هوا و خاک همبستگی خوبی وجود دارد. در بررسی دیگری، بلترامی (۲۰۰۱) به این نتیجه دست یافت که دمای خاک در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز که خاک یخ نزده است، با یک پسماند زمانی (تأخیر فاز) از دمای هوای سطح خاک پیروی می‌کند. اما در فصل زمستان، به‌دلیل پوشش برف و گرمای نهان تبخیر رها شده، این انتقال گرما رخ نمی‌دهد، به‌زبانی دیگر، چنین همبستگی در فصل زمستان دیده نشده است. تامسزاک و شاتزل (۲۰۰۱) روابط دمای هوا و خاک را طی فصل زمستان در ایالت میشیگان آمریکا بررسی نمودند. در این آزمایش دمای خاک در ژرفای ۵ و ۲۰ سانتی‌متری مناطق جنگلی و زراعی و دمای هوا در ارتفاع ۱/۵ متری، اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی نشان داد که به‌دلیل عایق‌بندی ژرفای خاک توسط لایه‌های بالایی، دمای عمق خاک کمتر متأثر از افتخیزهای^۲ دمای هوا می‌باشد، به بیانی دیگر، پاسخ آنها به تغییر دمای هوا بسیار کند است، در صورتی که این پاسخ در سطح خاک از سرعت چشم‌گیری برخوردار است.

مونت و هرناندز (۲۰۰۱) تغییرات دمای خاک را در مکان‌های بایر و جنگلی نیویورک بررسی و مقایسه نمودند. اندازه‌گیری‌ها پنج بار در روز، و در ژرفای ۵۰ سانتی‌متری و ارتفاع ۱ متری (بخش جنگلی) و در ژرفاهای ۲۰، ۳۸ و ۵۰ سانتی‌متری (بخش بایر) انجام شد. نتایج نمایشگر آن بود که میانگین دمای سالانهٔ خاک و تفاوت میانگین دمای ماهانه بین زمستان و تابستان در زمین بایر بیشتر از جنگل است (میانگین دمای سالانهٔ خاک در محیط بایر ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد گرمتر از محیط جنگلی بود). همچنین، دیده شد که میانگین سالانهٔ

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی پیوسته شبانه-روزی دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری و دمای خاک در ژرفاهای ۷ و ۲۰ سانتی‌متری برای دوره‌ی یکساله ۲۰۰۵ میلادی، در ایستگاه هواشناسی مجتمع علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استان مازندران استفاده شد.

این ایستگاه در طول جغرافیایی $59^{\circ} 53'$ خاوری و عرض جغرافیایی $39^{\circ} 36'$ شمالی قرار گرفته است. ارتفاع آن ۱۵ متر زیر سطح دریای آزاد می‌باشد. بافت خاک این ایستگاه طبق رده‌بندی خاک در سیستم یونیفاید^۱ و آزمایش به‌عمل آمده در آزمایشگاه خاکشناسی، از نوع ماسه-رسی (SC) می‌باشد. پوشش گیاهی چیره سطح خاک این ایستگاه، همانند پوشش گیاهی منطقه، مرغ می-باشد که مرتباً کوتاه می‌شود.

داده‌های مورد استفاده در این آزمایش به‌دلیل دارا بودن استاندارد نسبی از لحاظ رعایت حریم مورد نیاز ایستگاه هواشناسی و نیز مقایسه‌های انجام‌شده با داده‌های ایستگاه اداره هواشناسی ساری و ایستگاه دشت‌ناز ساری، نمایه‌ای روشن از اقلیم شهرستان ساری می‌باشد. دمانگار مورد استفاده برای ثبت دمای هوا در پناهگاه هواشناسی، از نوع دوفلزی (بی‌متال) و برای ثبت دمای خاک از نوع جیوه در فلز می‌باشد. برای اندازه‌گیری دما، نخست واسنجی دستگاه‌های نگارنده با استفاده از ابزارهای دقیق و شناسه انجام گرفت. سپس، دستگاه‌های واسنجی‌شده، بنا بر هدف مطالعه، در سه سطح شامل ارتفاع ۱/۸ متری (درون پناهگاه) و ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی‌متری خاک نصب و درستی کارکرد آن‌ها با ابزارهای معیار دما (شامل دماسنج‌های لحظه‌ای، کمینه و بیشینه جیوه در شیشه) کنترل گردید.

نگاره‌های دما، در بامداد روزهای دوشنبه هر هفته تعویض و دیدبانی دماسنج‌ها نیز در سه نوبت از روز، در ساعات ۳، ۹ و ۱۵ به وقت گرینویچ انجام گرفت. در پایان دوره‌ی اندازه‌گیری، دمای ساعتی هوا و خاک از روی نگاره‌های دستگاه‌های نگارنده استخراج گردید. پردازش و

دمای هوا در زمین‌های بایر بیشتر از نواحی جنگلی است. چاکو و رنوکا (۲۰۰۲) ویژگی‌های دمایی هوا و خاک را در یک دوره‌ی یکساله برای سطح و ژرفای ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک و ۱۲۲، ۵۰ و ۲۰۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که دامنه تغییرات دمای خاک در سطح، ۹/۵ درجه سانتی‌گراد، در عمق ۲۰ سانتی‌متری، ۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد و در عمق ۵۰ سانتی‌متری، ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین این اندازه در ارتفاعات ۵۰، ۱۲۲ و ۲۰۰ سانتی‌متر به ترتیب ۹، ۹ و ۸/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بلترامی و کلمن (۲۰۰۳) با بهره‌گیری از تئوری انتقال گرمای «زمین - هوا»، صرفاً به‌صورت رسانائی به بررسی روابط طولانی مدت و کوتاه مدت میان دمای زمین و هوا در زمین‌های کشاورزی و جنگلی کانادا پرداختند. بررسی‌های آنان نشان داد که در کوتاه مدت این مدل‌ها پاسخ‌پذیرفتنی ارایه نمی‌دهند، اما بر طبق آزمایش‌های انجام‌شده، با مقیاس زمانی ۳۰ ساله (درازمدت) مشخص شد که می‌توان برای برآورد دمای هوا و خاک از یک مدل انتقال گرمای بسیار دقیق استفاده نمود.

در ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های دمای خاک به صورت مقطعی و داده‌های دمای هوای درون پناهگاه بطور پیوسته اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. از آنجا که دمای هوا متأثر از دمای سطح خاک است، بنابراین می‌توان با روش‌های رگرسیونی روابطی منطقی میان دمای هوا و دمای ژرفای خاک به‌دست آورد (واتسون، ۱۹۸۰)، و کمبود آماری موجود در داده‌های دمای خاک را بازسازی نمود (پراون و همکاران، ۲۰۰۰). بیشتر ایستگاه‌های اقلیم-شناسی شهرستان ساری در گذشته، و برخی هنوز، دمای خاک را بطور پیوسته اندازه نمی‌گیرند. بنابراین، بازسازی آمار دمای خاک گذشته و پیش‌بینی دمای خاک به‌طور کلی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و اقلیمی سودمند باشد. بنابراین، هدف این پژوهش ارائه مدل‌های آماری برای برآورد دمای خاک با بهره‌گیری از دمای هوا است.

تصحیح داده‌های استخراج شده، با برقراری یک رابطه رگرسیونی بین داده‌های بدست آمده از دمانگاه‌ها و دماهای همسان خوانده شده از دماسنج‌ها در ساعت‌های دیدبانی، انجام پذیرفت. سپس دو دسته سری زمانی بصورت زیر تعریف و استخراج گردید:

الف) سری‌های زمانی رژیم شبانه‌روزی دمای هوا و خاک که شامل میانگین‌های ساعتی دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری (زیر پناهگاه)، عمق ۷ و ۲۰ سانتی‌متری خاک در طول شبانه روز می‌باشد. این سری‌های زمانی برای هر یک از فصل‌های سال بصورت جداگانه تعریف شدند (۴ سری زمانی در هر استقرار به ازای چهار فصل سال و مجموعاً ۱۲ سری زمانی).

ب) سری زمانی رژیم سالانه دمای هوا و خاک برای میانگین، بیشینه و کمینه روزانه دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری (درون پناهگاه)، عمق ۷ و ۲۰ سانتی‌متری خاک می‌باشد (۱ سری زمانی سالانه در هر استقرار و جمعاً سه سری زمانی در هر حالت).

در مرحله بعدی، برای بررسی رابطه موجود میان دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری و اعماق یادشده از خاک، از رابطه رگرسیون خطی شماره ۲ استفاده گردید:

$$Y = a + bX \quad (2)$$

که در آن، X : دمای هوای درون پناهگاه (ارتفاع ۱/۸ متر) به درجه سانتی‌گراد، Y : دمای ژرفای ۷ یا ۲۰ سانتی‌متری خاک، به درجه سانتی‌گراد و a و b ثابت‌های معادله می‌باشند. سپس، برای بررسی دقت نتایج پیش‌بینی شده، مقایسه‌ای بین نتایج پیش‌بینی و داده‌های اندازه‌گیری شده در پیرامون خط نیمساز ($y = x$) صورت گرفت که نزدیکی نقاط به خط نیمساز نمایشگر دقت بالای نتایج پیش‌بینی شده است.

در این پژوهش از دو شیوه آرایش داده‌ها برای افزایش دقت اندازه‌های برآوردی استفاده می‌شود. در روش نخست با رفع اختلاف فاز رخداد دماهای بیشینه و کمینه هوا و خاک همزمان می‌گردد و سپس میان این داده‌های تنظیم شده همبستگی‌های رگرسیونی برقرار می‌گردد.

در شیوه دوم که تجزیه منحنی نامیده می‌شود، منحنی‌هایی که در آن‌ها پدیده پسماند دیده می‌شود به دو

شاخه فرودی و فرازشی تقسیم می‌گردند. شاخه فرودی، از داده‌های زمان رخداد بیشترین دمای پناهگاه تا رخداد کمترین دمای آن (Max-Min)، و شاخه فرازشی، از داده‌های زمان رخداد کمترین دما تا بیشترین دمای روزانه (Min-Max) تشکیل می‌شود. سپس برای هر بخش از شکل بدست آمده معادلات رگرسیونی جداگانه درجه دومی محاسبه می‌شود.

از نرم‌افزارهای SAS برای یافتن رابطه‌های رگرسیون خطی و چندگانه، ضریب‌های همبستگی و مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده با دیدبانی شده بهره‌گیری می‌شود. برای ترسیم و آنالیز آماری برخی از روابط، از نرم‌افزار Equation Grapher with Regression Analyzer نیز استفاده می‌گردد.

نتایج

در این پژوهش برای برآورد دمای اعماق ۷ و ۲۰ سانتی‌متری خاک از روی دمای هوا، دو رژیم دمایی سالانه و شبانه‌روزی در نظر گرفته شد که گزارش چگونگی رفتار آن‌ها به صورت جداگانه آورده می‌شود.

رژیم سالانه دما: در رژیم سالانه برای بررسی دما در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی‌متری از خاک، سه حالت زیر مورد بررسی قرار گرفت: الف) دمای بیشینه روزانه، ب) دمای کمینه روزانه، ج) میانگین دمای روزانه

پس از استخراج پارامترهای الف، ب و ج از روی نگاره‌های دما، برای هر استقرار (ارتفاع ۱/۸ متری و ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی‌متری)، ۳۶۵ داده بدست آورده شد. سپس میان داده‌های دمای هوا و ژرفاهای یاد شده خاک، روابط رگرسیونی مطابق جدول ۱- برقرار گردید. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در مقیاس سالانه، میان بیشینه دمای هوا و ژرفاهای ۷ و ۲۰ سانتی‌متری خاک، همبستگی مثبت بالایی ($r=0/90$) وجود دارد که بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$). رابطه رگرسیونی میان دمای هوا و ژرفای خاک، برای ۷ و ۲۰ سانتی‌متری، خطی و شیب خط بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$). شیب خط در ژرفای ۷ سانتی‌متری تندتر از شیب خط برای ژرفای ۲۰ سانتی‌متری بود (به ترتیب $0/94$ و $0/89$).

روند همسانی نیز برای دمای کمینه روزانه در رژیم سالانه برای دمای هوا و دمای خاک در ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک دیده شد. برای این سری از داده‌ها نیز همبستگی‌های بالا و معنی‌داری میان دمای کمینه هوا و دمای خاک در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری (به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۶) دیده شد. شیب خط رگرسیون باز برای ژرفای ۷ سانتی متری تندتر از شیب ژرفای ۲۰ سانتی متری بود (به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۷) (جدول ۱).

روابط همبستگی و رگرسیونی میان میانگین دمای روزانه در رژیم سالانه نیز همانند دماهای کمینه و بیشینه بسیار معنی‌دار و خطی بودند (جدول ۱). شکل ۱ خط رگرسیون برازش داده‌شده بر داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده برای میانگین دمای خاک را در ژرفای ۲۰ سانتی متری نشان می‌دهد.

رژیم روزانه دما: برقراری رابطه بین دمای هوا و دمای اعماق ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک بصورت مستقیم: در این بخش سعی شد تا میان داده‌های دمای هوا و خاک مدلی ایجاد شود، بنابراین همانند رژیم سالانه از روابط رگرسیون خطی استفاده گردید. برای افزایش دقت در معادله‌های ایجاد شده، و افزایش دقت برآورد دما، داده‌های اندازه‌گیری شده به چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان تقسیم شدند، و به ازای هر ساعت از شبانه‌روز، در هر فصل، میانگین ساعتی آن محاسبه شد. بنابراین، برای هر فصل، در هر استقرار (ارتفاع ۱/۸ متری و عمق ۷ سانتی متری و ۲۰ سانتی متری) ۲۴ داده بدست آمد و سپس روابط روزانه موجود در هر فصل و هر عمق، بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. رابطه‌های بدست آمده و ضریب‌های همبستگی آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

افتاخیز دمای شبانه‌روزی در ارتفاع ۱/۸ متری و ژرفای خاک از الگوی یکسانی پیروی می‌کند، ولی به دلیل پدیده پسماند^۱ اختلاف فازی میان آن‌ها دیده می‌شود (شکل ۳، جدول ۳). این پدیده در محاسبه روابط مربوط به عمق ۲۰ سانتی متری فصل‌های بهار، تابستان و پاییز به

چشم می‌خورد. تغییرات رفت و برگشتی یک عامل، نسبت به عامل دیگر را پسماند گویند. به دیگر زبان می‌توان گفت که به ازای یک مقدار از متغیر مستقل (X) در رابطه رگرسیونی (دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری)، دو مقدار برای متغیر وابسته (دما در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری) بدست آمده است. این پدیده در درجه نخست نشان‌دهنده وجود رابطه میان متغیر مستقل و وابسته است و در درجه دوم بیانگر این مطلب است که برای تعیین متغیر وابسته، به غیر از متغیر مستقل، پارامترهای دیگری نیز دست اندر کار هستند. همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود، همبستگی بالایی (۰/۸۸ تا ۰/۹۹؛ $t=0/001$) برای روابط بدست آمده میان دمای هوا و ژرفاهای مورد نظر محاسبه شد.

افتاخیز دمای روزانه در ارتفاع ۱/۸ متری و ژرفاهای ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک از الگوی همانندی پیروی می‌کند. پسماند زمانی میان رخداد دمای بیشینه روزانه هوا و خاک در عمق ۷ سانتی متری برای فصل‌های بهار، تابستان و پاییز صفر یا ناچیز، در حالی که برای ژرفای ۲۰ سانتی متری نزدیک به یک ساعت بود (جدول ۳). پسماند زمانی دمای هوا و خاک برای فصل زمستان بسیار متفاوت بود. در این فصل هیچگونه پسماند زمانی میان دمای بیشینه در عمق‌های ۷ و ۲۰ سانتی متری دیده نشد، در حالی که هر دوی این ژرفاها با دمای بیشینه هوا در ارتفاع ۱/۸ متری نزدیک به ۲ ساعت اختلاف زمانی داشتند (جدول ۳).

برای بهبود روابط رگرسیونی میان دمای هوا و خاک و افزایش دقت برآورد دمای خاک می‌توان راهکارهایی را به صورت زیر به کار بست:

الف) برطرف‌سازی اختلاف فاز میان دمای هوا و دمای ژرفای خاک: در هنگام رسم منحنی‌های دمای روزانه، اختلاف فازهایی میان شکل‌های دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری و اعماق ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک دیده می‌شود (شکل ۳). همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، بیشینه دمای هوا و خاک همزمان رخ نداده است. دلیل این ناهمزمانی تفاوت در رسانایی

جدول ۱- روابط رگرسیونی و ضرایب همبستگی (r) بین دمای هوا (x) و دمای خاک در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری (y) در رژیم سالانه دما.

متغیرهای رژیم سالانه	رابطه رگرسیونی در عمق ۷ سانتی متری (y)	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیونی در عمق ۲۰ سانتی متری (y)	ضریب همبستگی (r)
دمای بیشینه	$y = 0.9434x + 7.5342$	۰/۹۰	$y = 0.8959x - 2.3186$	۰/۹۰
دمای کمینه	$y = 0.9263x + 4.5382$	۰/۹۴	$y = 0.8677x + 1.3832$	۰/۹۶
دمای میانگین	$y = 0.9314x + 5.0494$	۰/۹۶	$y = 0.8779x + 0.6258$	۰/۹۷

جدول ۲- روابط رگرسیونی و ضرایب همبستگی بین دمای هوا (x) و دمای ژرفای خاک (y) در رژیم شبانه روزی دما.

فصل	رابطه رگرسیونی در عمق ۷ سانتی متری	ضریب همبستگی*	رابطه رگرسیونی در عمق ۲۰ سانتی متری	ضریب همبستگی*
بهار	$y = 1.110x - 0.833$	۰/۹۷۸	$y = 0.617x + 4.34$	۰/۹۲۶
تابستان	$y = 1.354x - 4.255$	۰/۹۸۴	$y = 0.551x + 8.868$	۰/۹۳۶
پائیز	$y = 1.125x - 1.928$	۰/۹۵۷	$y = 0.208x + 11.107$	۰/۸۸۱
زمستان	$y = 1.212x - 0.736$	۰/۸۴۱	$y = 0.367x + 2.062$	۰/۹۹۲

* ضرایب همبستگی در سطح ادرصد معنی دار بودند.

(تقدم و تأخر) کمانه‌های دمای خاک نسبت به دمای هوا برای چهار فصل سال در جدول ۳ آمده است.

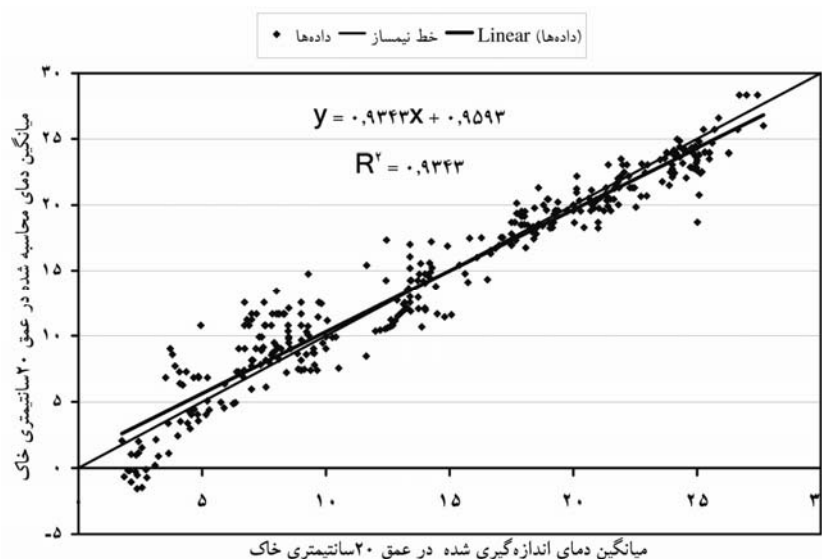
شکل (۲-ب) نمایشگر داده‌های دمای هوا و خاک پس از همزمان کردن داده‌های این دو نقطه است. همانطور که دیده می‌شود پراکندگی نقاط در پیرامون خط رگرسیون بسیار کمتر شده است، بنابراین با این روش می‌توان برآورد دقیق‌تری از داده‌های دمای خاک بدست آورد. با بهره‌گیری از این تصحیح فاز روابط نوینی میان دمای هوا و ژرفای خاک برقرار شد. برای ژرفای ۲۰ سانتی متری که یک ساعت اختلاف فاز با دمای هوا داشت، این تصحیح سبب بهبود ضریب همبستگی گردید. همین طور برای ژرفای ۷ سانتی متری خاک در فصل زمستان که اختلاف فازی یک ساعته داشت، ضریب همبستگی به اندازه ۰/۱۳ بهبود یافت و از ۰/۸۴ به ۰/۹۷ افزایش یافت.

(ب) تجزیه منحنی: نمونه‌ای از تفکیک این کمانه‌ها به رابطه‌های رگرسیونی جداگانه برای دو بخش جدا شده فرآزشی و فرودی در شکل (۲-ج) آورده شده است. جدول ۴ روابط رگرسیونی و ضرایب همبستگی دمای خاک و هوا را برای روش تجزیه منحنی نشان می‌دهد.

گرمایی خاک و هوا می‌باشد. انتقال گرما از سطح زمین، دریافت کننده انرژی خورشیدی، به ارتفاع دو متری به کندی و طی فرآیندهای رسانایی ملکولی و جابجایی هوا رخ می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، میانگین زمان رخداد این بیشینه در حدود ساعت ۱۴ می‌باشد. از آنجا که در این شکل دمای هر ساعت دست‌کم میانگین ۹۰ داده روزانه است، ستیغ شکل دقیقاً در ساعت ۱۴ نمی‌باشد. دمای هوا در همه ساعت‌ها کمتر از دمای ۷ سانتی متری خاک در ساعت‌های متناظر است. بیشترین اختلاف فاز در ژرفای ۲۰ سانتی متری خاک و در حدود ساعت ۱۵ رخ می‌دهد. بنابراین، در این بررسی اختلاف فاز میان کمانه‌های سینوسی دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری و ژرفای خاک حذف شد، به طوری که نقاط کمینه و بیشینه شکل‌ها رو به روی هم قرار گرفتند و بعد از آن از روی دمای هوا، دمای ژرفاهای مورد نظر خاک با استفاده از روابط رگرسیونی برآورد شدند و پس از به دست آوردن روابط مورد نظر و دستیابی به نتایج مطلوب، اختلاف فاز اعمال گردیده به نتایج حاصل شده، بازگردانده شد. چکیده‌ای از وضعیت پیشگام و پسماند

مقایسه با دو شیوه‌ی پیشین بهبود چشمگیری نشان می‌دهد ($R=0/99$) (جدول‌های ۲، ۳ و ۴).

روابط دمای خاک با دمای هوا درجه دوم و بسیار معنی‌دار بودند. در این روش ضرایب همبستگی در



شکل ۱- رگرسیون خطی میان داده‌های دمای اندازه‌گیری شده در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک (درجه‌سانتی‌گراد) برای ژرفای ۲۰ سانتی‌متری خاک.

جدول ۳- نتایج رگرسیونی بدست آمده پس از برطرف‌سازی اختلاف فازهای نشان داده شده. نشانه‌های (+) و (-) به ترتیب نشانگر پیشگام و پسماند (ساعت) دمای هوا نسبت به دمای ژرفای خاک می‌باشند.

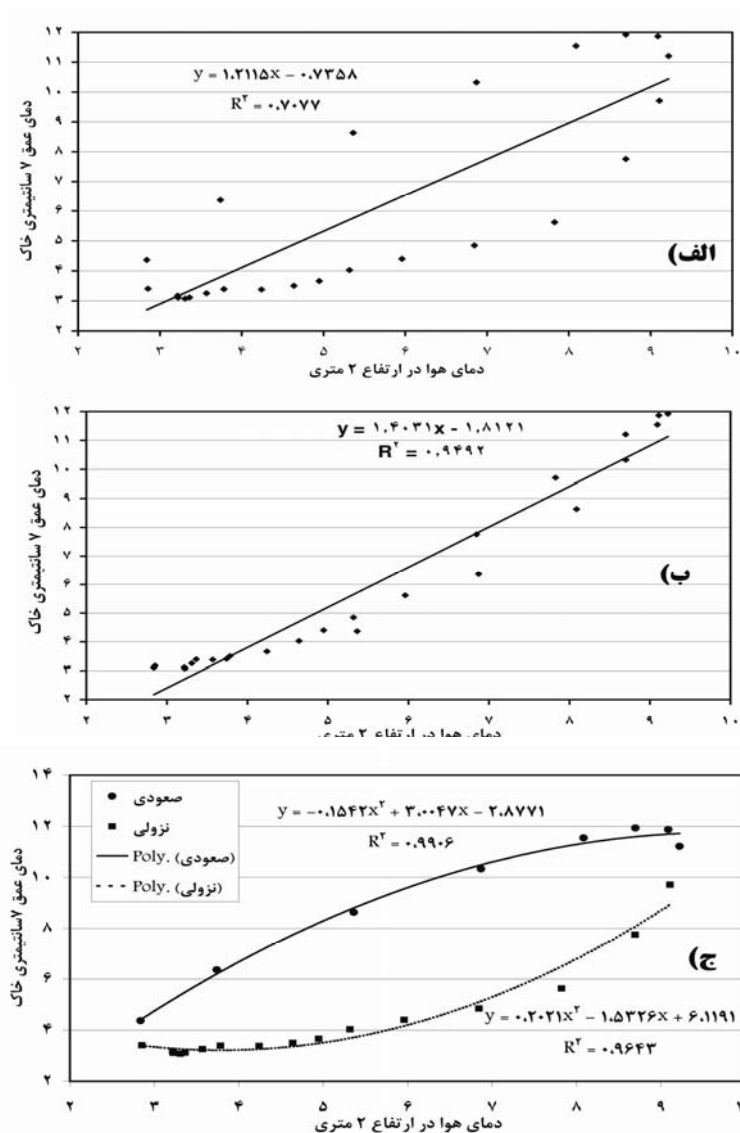
فصل	اختلاف فاز (ساعت)	رابطه رگرسیونی در عمق ۷ سانتی‌متری (y)	ضریب همبستگی	اختلاف فاز (ساعت)	رابطه رگرسیونی در عمق ۲۰ سانتی‌متری (y)	ضریب همبستگی
بهار	۰	-----**	.....	+۱	$y = 0/649x + 3/732$	۰/۹۸
تابستان	۰	.....	.....	+۱	$y = 0/584x + 7/999$	۰/۹۹
پائیز	۰	.....	.....	+۱	$y = 0/229x + 10/756$	۰/۹۷
زمستان	-۲	$y = 0/403x + 1/812$	۰/۹۷	.....	.....	.....

**چون اختلاف فازی وجود نداشت، همان روابط جدول ۲ پذیرفته می‌شوند.

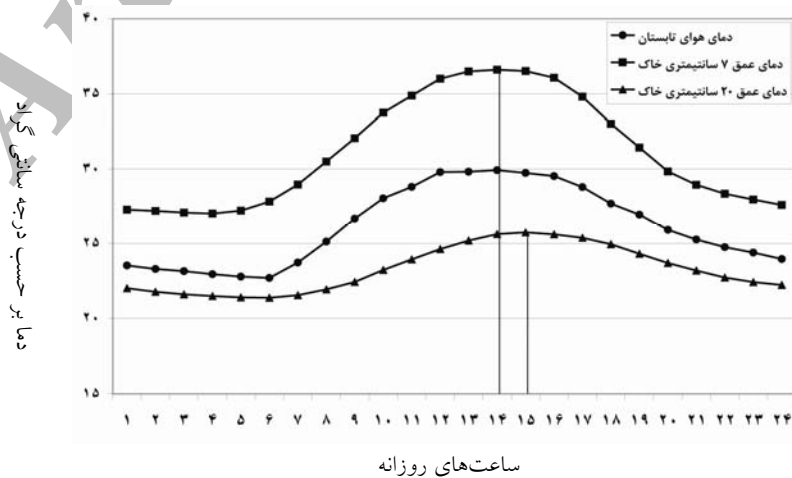
بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش ارائه مدلی ساده برای برآورد دمای خاک با بهره‌گیری از مدل‌های آماری بود. ویژگی‌های گرمایی خاک وابسته به ساختمان و بافت آن و عوامل موثر بر تراز تابشی خورشید در نزدیکی زمین است. بنابراین، پوشش خاک، تغییرات رطوبتی خاک، تبادلات گرمای نهان تبخیر و تابش خورشیدی در نزدیکی سطح زمین، همگی، می‌توانند بر تراز انرژی خاک، و در نتیجه بر دمای ژرفای آن اثر بگذارند (بلترامی، ۱۹۹۶).

برپایه مدل‌هایی که بتواند همه عوامل اثرگذار را در بر گیرد، اغلب به دلیل نبود آمار، عملی نیست. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های ساده هم توانایی برآورد دمای خاک را با دقت بالایی دارند. برای هر دو رژیم سالانه و شبانه‌روزی همبستگی‌های بسیار معنی‌داری بین دمای هوا و ژرفای خاک به‌دست آمد. از چنین مدل‌های ساده‌ای برای پیش‌بینی رخداد یخبندان هم استفاده شده است، نتایج این مدل‌ها بسیار امیدوار کننده بوده است (نورا و همکاران، ۲۰۰۵).



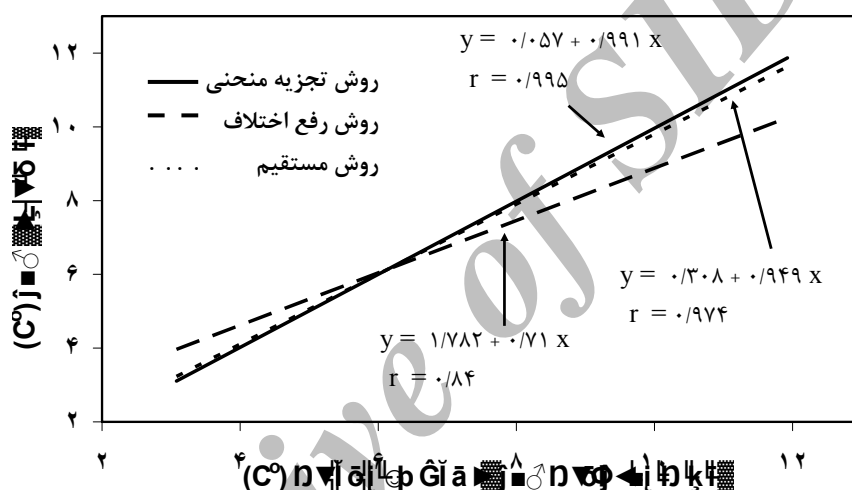
شکل ۲- روابط میان دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری و دمای خاک در ژرفای ۷ سانتی متری برای فصل زمستان. الف) همبستگی خطی مستقیم، ب) همبستگی خطی پس از رفع اختلاف فاز، ج) رگرسیون ناخطی و روش تجزیه منحنی.



شکل ۳- میانگین ساعتی دمای هوا در ارتفاع ۱/۸ متری و ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک در فصل تابستان. خط‌های عمودی پسماند زمانی یک ساعته رخداد دمای بیشینه در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری خاک در فصل تابستان را نشان می‌دهد.

جدول ۴- روابط فصلی میان دمای هوا (متغیر مستقل x) و دمای خاک در ژرفای ۷ و ۲۰ سانتی متری (y) در روش تجزیه منحنی.

رابطه رگرسیونی برای ژرفای ۷ سانتی متری خاک			
فصل سال	فرازشی	r	فرودی
بهار	$y = 0.108x^2 - 3.07x + 38.9$	0.99	$y = 0.114x^2 - 3.08x + 37.2$
تابستان	$y = 0.05x^2 - 1.50x + 36.3$	0.99	$y = 0.14x^2 - 5.72x + 2.87$
پائیز	$y = -0.045x^2 - 3.76x + 13.8$	0.99	$y = 0.08x^2 - 1.72x + 21.5$
زمستان	$y = -0.16x^2 + 3.01x - 2.9$	0.99	$y = 0.20x^2 - 1.53x + 6.12$
رابطه رگرسیونی برای ژرفای ۲۰ سانتی متری خاک			
بهار	$y = 0.09x^2 - 2.99x + 38.3$	0.99	$y = 0.33x^2 - 0.41x + 12.9$
تابستان	$y = 0.1x^2 - 4.75x + 78.5$	0.99	$y = -0.33x^2 + 1.9x + 9.6$
پائیز	$y = -0.04x^2 - 1.01x + 20.7$	0.99	$y = -0.33x^2 + 1.34x + 1.84$
زمستان	$y = 0.04x^2 - 0.23x + 3.8$	0.99	$y = -0.1x^2 - 0.46x + 1.8$



شکل ۴- مقایسه روش های برآورد دما (درجه سانتی گراد) در عمق ۷ سانتی متری خاک برای فصل زمستان.

تابستان و پائیز بالا و معنی دار بود، در حالی که این رابطه برای فصل زمستان گرچه معنی دار بود، ولی ضریب همبستگی آن کمتر از سه فصل دیگر است. بلترامی و کلمان (۲۰۰۳) در بررسی خودپذیری دمای هوا- خاک، این گونه رفتار متفاوت را به انتقال رژیم گرمایی نسبت دادند. در زمستان بخش کلانی از گرمای انتقالی بین نیوار^۲ پائینی و خاک صرف گرمای نهان تبخیر می شود، در حالی که در فصل های دیگر پاسخ گرمایی زمین توسط تابش گرمایی مستقیم خورشید تعیین می شود.

ویژگی های فیزیکی خاک، به دلیل تغییر رطوبت خاک، پوشش سطحی خاک، و انرژی دریافتی از خورشید ممکن است در درازای سال تغییر کند. به همین دلیل برپایی مدلی بر پایه کل داده های سالانه سبب افت دقت برآورد داده ها می شود. بنابراین، در این پژوهش داده ها بر حسب فصل تنظیم و تجزیه شدند. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می دهد که رفتار دمای ژرفای خاک، هم افتاخیز آن و هم پدیده پسماند، در فصل زمستان متفاوت از فصل های دیگر بوده است. این پیش آمد می تواند به دلیل تغییر ویژگی های فیزیکی خاک مانند رطوبت بالا، تغییر پوشش سطح خاک و انرژی دریافتی از خورشید بوده باشد. همبستگی میان دمای خاک و هوا در فصل های بهار،

1- Coupling
2- Atmosphere

روش به دلیل بهره‌گیری از معادله‌های درجه دوم دقت آزمایش بالاتر رفت.

در نهایت مقایسه‌ای بین مقادیر بدست آمده از طریق روش مستقیم، روش رفع اختلاف فاز و روش تجزیه منحنی، با داده‌های اندازه‌گیری شده دمای خاک در عمق ۷ و ۲۰ سانتی متری فصل زمستان نشان داد که دقت برآورد دمای خاک به ترتیب افزایش می‌یابد (شکل ۴) و در هر سه روش برآورد دمای خاک نسبتاً از دقت بالایی برخوردار است، ولی به دلیل تغییر ویژگی‌های گرمایی و فیزیکی خاک، برای برآورد دمای خاک روش تجزیه منحنی پیشنهاد می‌شود. روش تجزیه منحنی بسیار ساده بوده و پیچیدگی و ناپایداری احتمالی اختلاف فازها که در فصول و سال‌های مختلف رخ می‌دهد را نیز در بر ندارد.

سپاسگزاری

از آقای مهندس مرتضی خلیلی که در دیدبانی و گردآوری داده‌های هواشناسی ما را یاری نمودند سپاسگزاری می‌شود. از آقای مهندس قاسم آقاجانی که در تهیه امکانات ایستگاه هواشناسی و بازخوانی دست‌نوشته این مقاله کمک کردند نیز قدردانی می‌شود. این پژوهش از محل اعتبار پژوهشی دانشگاه مازندان به اجرا در آمد.

از نتایج به‌دست آمده در این پژوهش و منابع علمی دیگر (گیگر، ۱۹۶۵؛ اسمیت و ریزبروخ، ۱۹۸۳) روشن است که با افزایش ژرفای خاک دامنه نوسان دما کاهش، در حالی که زمان پسماند افزایش می‌یابد. به‌همین دلیل رخداد دماهای کمینه و بیشینه هوا و خاک همزمان نیستند. بنابراین، برقرای همبستگی میان داده‌های همزمان دمای خاک و هوا سبب افت دقت اندازه‌گیری می‌شود. برای افزایش دقت برآورد دمای خاک در این آزمایش، با حذف پدیده پسماند، رخداد دماهای بیشینه خاک و هوا همزمان گردید و همبستگی میان سری داده‌های نوین سنجیده شد. این شیوه‌ی تنظیم داده‌ها، در برخی روابط، سبب نزدیک به ۷ درصد بهبود برآورد دمای خاک گردید.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تقسیم داده‌ها به دو سری فزایشی (Min-Max) و فرودی (Max-Min) و برقرای مدل‌های آماری میان هر سری به‌طور جداگانه سبب بهبود برآورد دمای خاک می‌شود. روش تجزیه منحنی دقت برآورد داده‌های هوا را بسیار بالا می‌برد ($R^2=0.98$). از آنجایی که در سال‌های مختلف ممکن است وضعیت رطوبتی خاک و هوا و تابناکی تغییر کند، و روش اختلاف فاز برآورد کم‌دقت‌تری ارائه کند، بنابراین روش تجزیه منحنی می‌تواند سودمندتر باشد. در این

منابع

1. Beltrami, H. 1996. Active layer distortion of annual air/soil thermal orbits. *Permafrost. Periglacial Process*. 7: 101-110.
2. Beltrami, H. 2001. On the relationship between ground temperature histories and meteorological records. *Global and planetary change*. 29: 327-348.
3. Beltrami, H., and Kellman, L. 2003. An examination of short and long-term air ground temperature coupling. *Global and planetary change*. 38: 291-303.
4. Brown, E., Pregitzer, S., Reed, D., and Burton, J. 2000. Predicting daily mean soil temperature from daily mean air temperature in four Northern Hardwood Forest Stands. *For. Sci.* 46: 297-301.
5. Chacko, T.P., and Renuka, G. 2002. Temperature mapping, thermal diffusivity and subsoil heat flux at Kariavattom of Kerala. *Proc. Indian Acad. Sci.* 111: 79-85.
6. De Vries, D.A. 1975. Heat Transfer in Soils. In: *Heat and Mass Transfer in the Biosphere, I. Transfer processes in plant environments*. D.A. de Vries and N.H Afgan (editors). John Wiley & Sons, pp 594.
7. Ferguson G., and Beltrami H. 2006. Transient lateral heat flow due to land-use changes. *Earth and Planetary Science Letters*, 242:217-222
8. Geiger, R. 1965. *The climate near the ground*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 611p.

9. Hinkel, K.M., and Outcalt, S.I. 1993. Detection of nonconductive heat transport in soils using spectral analysis. *Water Res. Res.* 29: 1017-1023.
10. Hiraiwa, Y., and Kasubuchi, T. 2000. Temperature dependence of thermal conductivity of soil over a wide range of temperature (5–75°C). *European Journal of Soil Science*. 51: 211-218.
11. Mount, H., and Hernandez, L. 2001. Soil temperature and anthropogenic soils. Soil temperature study for New York City. Staten Island. New York City. NSSC – USDA, NRCS, pp 16.
12. Nora, S.D., de Franceschi, M., and Zardi, D. 2005. Setup and test of a simple model for prediction of late frost events over complex terrain. The 28th International Conference on Alpine Meteorology (ICAM) and the Annual Scientific Meeting of the Mesoscale Alpine Programme (MAP). Pp: 410-413.
13. Pollack, H.N., Smerdon, J.E., and van Keken, P.E. 2005. Variable seasonal coupling between air and ground temperatures: A simple representation in terms of subsurface thermal diffusivity. *Geophysical Research Letters*. 32: L15405.
14. Rosenberg, N. 1974. *Microclimate: the biological environment*. John Wiley and Sons, New York, 315 pp.
15. Sharrat, B.S., Baker, D.G., Wall, D.B., Skaggs, R.H. and Ruschy, D.L. 1992. Snow depth requirements for near steady-state soil temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*. 57: 243-251.
16. Smith, M.W., and Riseborough, D.W. 1983. Permafrost sensitivity to climate change. In, *Proceedings, Permafrost, Fourth International Conference*. National Academy Press, Washington, D.C. Pp: 1178-1183.
17. 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.
18. Watson C.L. 1980. Seasonal soil temperature regimes in south-eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 18: 325 – 331.
19. Wright, L., and Crew, J.T. 2000. Temperature and soil moisture regimes in and adjacent to the Fernow experimental forest. USDA. Research Paper. 713: 1- 4.

Archive of SID

Estimation of soil depth temperatures using curve analysis and regression models for City of Sari (Iran)

M. Jaffari Golestan¹, *M. Raeini-Sarjaz² and M.Z. Ahmadi³

¹M.Sc. Student, Dept. of Irrigation University of Agricultural and Natural Resources of Sari, Iran, ²Assistant Prof. Dept. of Irrigation University of Agricultural and Natural Resources of Sari, Iran, ³Prof. Dept. of Irrigation, University of Agricultural and Natural Resources of Sari, Iran

Abstract

One of the important parameters measured continuously in meteorological stations is air temperature under the shelter. As the temperature at soil surface and underground surface are not measured continuously, the lack of soil temperature data is encountered. Since the soil temperature regime has direct effect on plant growth, plant diversity and soil nutrients and biological activities, data reconstruction is important in bioclimatic and agricultural studies. The aim of this study is estimating soil shallow depths temperatures by construction regression correlation between air temperature at 1.8 m height (meteorological shelter) and soil temperatures at 7 and 20 cm soil depths. For this purpose, temperature data of Sari Meteorological Station (Faculty of Agriculture, Mazandaran University) were employed. The soil texture is sandy clay (SC). This investigation was carried out in both annual and daily basis, separately, using Pearson product-moment correlation coefficients. The accepted level of significance was $P < 0.05$. Then relationships of the maximum, minimum and mean temperatures of shelter air with corresponding soil temperatures of 7 and 20 cm depths for annual regime were found highly significant ($r = 0.9$ to 0.97). Daily analysis was also conducted for the above points. For each season, daily analysis was done on the average hourly temperature data. For these analyses, the correlation coefficients were also highly significant (from $r = 0.84$ to 0.99). To improve the predicted results obtained from regression relationships, lag time and curve analysis were performed. These two approaches improved the estimated values by 5-10 percent and 8-12 percent, respectively. In conclusion, curve analysis showed to be more reliable for predicting soil depth temperatures.

Keywords: Soil and air temperatures; Hysteresis; Curve analysis; Phase lag; Regression; Sari¹

*- Corresponding Author; Email: m.raeini@umz.ac.ir