

پیش‌بینی دمای لایه‌های خاک با استفاده از مدل‌های سری زمانی

بهناز ختار و امید بهمنی¹

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ khatar_behnaz@yahoo.com

استادیار دانشگاه بوعلی سینا؛ omid.bahmani@basu.ac.ir

دریافت: 92/2/4 و پذیرش: 93/9/19

چکیده

رژیم دمایی خاک تأثیر مستقیمی بر رشد گیاهان، گوناگونی آن‌ها و فعالیت‌های زیستی در خاک دارد. به علت کمبود داده‌های اندازه‌گیری شده دمای خاک، تخمین یا بازسازی آنها از اهمیت بالایی در بررسی‌های زیست اقلیمی و کشاورزی برخوردار است. دمای خاک در عمق‌های مختلف، دارای رفتار زمانی و مکانی متفاوتی می‌باشد. در این تحقیق سعی شد با استفاده از سری‌های زمانی دمای خاک در عمق 5 تا 30 سانتیمتر در ایستگاه فرودگاه همدان بین سال‌های آماری 1996 تا 2008 به صورت ماهانه پیش‌بینی شود. نتایج نشان داد که دمای خاک از مدل فصلی SARIMA پیروی می‌کند. در مدل بهینه، مقدار R^2 و RMSE به ترتیب برای عمق 5 سانتیمتر برابر SARIMA(2,0,0)(2,0,0) و 0/96، 1/63 سانتی گراد، عمق 20 سانتیمتر برابر SARIMA(1,0,0)(1,0,0) و 0/98 و 1/49 سانتی گراد و عمق 30 سانتیمتر برابر SARIMA(1,1,0)(1,1,1) ، 0/97 و 1/56 سانتی گراد به دست آمد. با توجه به تخمین مناسب مدل، دمای خاک برای سال‌های 2009-2013 پیش‌بینی گردید که نشانگر تغییرات جزئی در روند دمای خاک در این دوره می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دمای خاک، مدل SARIMA

¹ نویسنده مسئول، آدرس: همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب

مقدمه

یکی از پارامترهای مهم که در ایستگاه‌های هواشناسی بطور مداوم اندازه‌گیری می‌شود، دمای هوای درون پناهگاه است، درحالی که دمای سطح و ژرفای خاک بصورت پیوسته اندازه‌گیری نمی‌شوند بنابراین، از لحاظ داده‌های دمای خاک با کمبود آماری رو به رو هستیم. از آنجا که رژیم دمایی خاک، تأثیر مستقیمی بر رشد گیاهان، گوناگونی آن‌ها و فعالیت‌های زیستی خاک دارند، بازسازی این کمبود آماری از اهمیت بالایی در بررسی‌های زیست اقلیمی و کشاورزی برخوردار است (جعفری گلستان و همکاران، 1386)

تابش خورشیدی رسیده به سطح خاک و پیرو آن گرم شدن سطح خاک، عامل اصلی رسانایی و هدایت¹ (پائین سو² و بالا سو³) در گرمای هوای خاک و به وجود آورنده گرادیان دمایی در لایه اتمسفر زمین می‌باشد. تغییرات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک 10-200 متری نمایشگر تغییر اقلیم می‌باشد (فرگوسن و بلترامی، 2006). در حالی که دماهای عمقی سطحی خاک نشان دهنده تغییرات کوتاه مقیاس است. هدایت گرمای خاک توسط عوامل عادی هواشناسی و محیطی، مانند برف، پوشش گیاهی و گرمای نهان تبخیر کنترل می‌شود (پولاک و همکاران، 2005) بنابراین، رسانایی‌های گرمای خاک و هوا با توجه به عوامل هواشناسی و ویژگی‌های فیزیکی خاک تغییر می‌کند (هیرایوا و کاسوبوچی، 2000) بعلاوه در مناطق خشک و نیمه خشک گرم شدن سطح خاک قابل توجه بوده و شیب حرارتی زیادی به وجود می‌آید که در اثر آن حرکت آب شدیدتر می‌شود.

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. دمای خاک در عمق‌های مختلف، دارای رفتار زمانی و مکانی متفاوتی می‌باشد. در سال‌های اخیر روند افزایشی دما از مباحث تغییر اقلیم به صورت نقطه‌ای و در سطح حوضه‌های آبریز نیز مورد توجه محققین بوده است. بنابراین دمای خاک یکی از متغیرهای مهم در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم شناسی می‌باشد. برآورد دمای خاک به ویژه در نزدیکی سطح زمین که نوسانات آن بیشتر است، تا حدودی مشکل می‌باشد (سبزی پرور و همکاران، 1388)

اگرچه دمای خاک در مناطق سرد و پر باران به منظور پیش‌بینی وقوع سیل و یا زمان و عمق مناسب برای کاشت بذر گیاهان زراعی اهمیت قابل توجهی 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 قابل توجهی در نفوذپذیری خاک شده و ضریب رواناب را افزایش می‌دهد (قائم‌نیا و همکاران، 1390). در مطالعه -ای که در سطح شهرستان‌های استان خراسان رضوی انجام شد (نجفی مود و همکاران، 1387)، یک معادله درجه دوم به ازای اعماق مختلف خاک و درجه حرارت هوا بدست آمد. نتایج نشان داد که این رابطه برای عمق 100 سانتی متری خاک غیرقابل قبول، اما برای اعماق سطحی‌تر مناسب و قابل قبول می‌باشد (با استفاده از معادلات ریاضی و قوانین فیزیکی نیز روابط میان ویژگی‌های خاک در مناطق خشک با دمای آنها تا عمق 10 سانتی متری بدست آمد و پخشیدگی گرما در خاک شنی و چگالی جریان آب برای چهار لایه از خاک برآورد شد (ژئو و همکاران، 2007)

بلترامی (2001) گزارش داد که دمای خاک در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز که خاک یخ زده است، با یک پسماند زمانی (تأخیر فاز) از دمای هوای سطح خاک پیروی می‌کند. اما در فصل زمستان، به دلیل پوشش برف و گرمای نهان تبخیر رها شده، این انتقال گرما رخ نمی‌دهد، به عبارت دیگر، چنین همبستگی در فصل زمستان دیده نشده است.

هیوزینکولد و همکاران (2004) گزارش دادند که استفاده از آنالیز هارمونیک و بررسی هدایت گرمایی خاک، در برآورد دمای خاک در یک خاک شنی در منطقه‌ای بیابانی در شمال فلسطین برآورد نمودند. جورج (2001) گزارش داد در یک منطقه نیمه خشک در هند، جهت برآورد دمای خاک از شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمود. او در تحقیق خود دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد را به عنوان متغیرهای ورودی و دمای خاک در صبح و بعد از ظهر را به عنوان متغیرهای خروجی به کار برد. پلابوگ

1. Conductivity

2. Downward

3. Upward

روش باکس و جنکینز تهیه کرد. و مدل ARIMA (0,1,1) ضربدر (1,0,0) به عنوان بهترین مدل انتخاب نمود. باتوجه به دقت مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی، در این تحقیق برای نخستین بار در ایران توانایی سری‌های زمانی، در پیش‌بینی و مدل سازی دمای خاک مورد بررسی قرار گرفت و به همین منظور مطالعه دمای خاک در سه عمق 5، 20 و 30 سانتیمتر در ایستگاه فرودگاه همدان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

به منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی دمای خاک، از اطلاعات ماهانه دمای خاک در عمق‌های 5 تا 30 سانتی-متری ایستگاه فرودگاه همدان بین سال‌های 1996 تا 2008 استفاده گردید. جهت پیش‌بینی دمای خاک از اطلاعات دمای خاک در سه سری زمانی متفاوت در عمق‌های 5، 20 و 30 سانتی‌متری استفاده گردید. در جدول (1) برخی از مشخصه‌های آماری دمای خاک ایستگاه فرودگاه همدان آورده شده است.

روش تخمین یا نظری روش تخمین

مدل سری زمانی غیرفصلی (ARIMA) و فصلی (SARIMA)

مدلسازی تصادفی که به مدل‌های سری زمانی مشهورند به طور گسترده‌ای در علوم از جمله مهندسی و اقتصاد کاربرد دارند. روش‌های مدلسازی سری‌های زمانی، روش‌های تجربی هستند که برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار نامعلوم سیستم‌های هیدرولوژیکی به کار می‌روند. سری زمانی به مجموعه‌ای از مشاهدات و یا مقادیر ثبت شده از یک متغیر گفته می‌شود که برحسب زمان مرتب شده باشد. مدل‌های سری زمانی علاوه بر قابلیت پیش‌بینی، اطلاعات مهمی را در رابطه با تغییرات وابسته به زمان نشان می‌دهد و این مدل‌ها یک الگوریتم منظم جستجو (تشخیص الگو، تخمین پارامترها و بررسی درستی الگو) برای انتخاب مدل مناسب دارد (شفیعی و همکاران، 1390) مدل عمومی غیرفصلی ARIMA را می‌توان به صورت زیر نوشت:

(1)

$$\phi(B)\nabla_z^d = \theta(B)a_t$$

در این رابطه که $\theta(B)$ و $\phi(B)$ چند جمله‌ای‌های درجه q و p هستند، به ازای ∇_z^d مشاهده متوالی سری زمانی و a_t فرایند تصادفی محض می‌باشد. مدل‌های عمومی فصلی SARIMA توسط باکس و همکاران (1994) ارائه شده‌اند. این نوع مدل‌های سری زمانی شامل

(2002) گزارش داد جهت برآورد دمای خاک در عمق 10 سانتی متری در دانمارک روابط ساده و تجربی ارائه داد، نتایج نشان داد مدل تجربی با ضریب همبستگی 0/98 قادر به پیش‌بینی دمای خاک می‌باشد.

ماکلین و آیرس (1985) گزارش دادند 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 مختلف پرداختند. متغیرهای مورد استفاده شامل، دمای هوا و ابرناکی در روز برآورد، دمای هوا در دو روز قبل، نسبت ساعات آفتابی و روز فصل بود. دانش کار آراسته و همکاران (1384) گزارش دادند نیز با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA اقدام به تخمین دمای سطح، خاک در سیستان نمودند. سبزی‌پرور و همکاران (1388) گزارش دادند با مقایسه مدل‌های شبکه عصبی-فازی و مدل‌های رگرسیونی دمای خاک را در سه اقلیم مختلف برآورد نمودند، نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک ضریب همبستگی کاهش می‌یابد.

فهیم احمد و رسول (2008) گزارش دادند با استفاده از دمای هوا، دمای خاک را در پاکستان پیش‌بینی نمودند، نتایج آن‌ها نشان داد که بیشینه ضریب تبیین مدل در فصل بهار با 0/86 و کمینه آن در فصل زمستان با 0/36 به دست آمد.

جعفری گلستانی و همکاران (1386) گزارش دادند با استفاده از روابط رگرسیونی معادلات تجربی را جهت تخمین دمای خاک شهر ساری در عمق‌های 7 و 20 سانتی متری پیشنهاد نمودند.

نوروز ولاشدی و همکاران (1391) گزارش دادند رطوبت و دمای خاک با پوشش ذرت و خاک بدون پوشش با استفاده از مدل شبیه‌سازی COUP برآورد نمودند، یافته‌های این مطالعه، قابلیت کاربرد مدل را در پیش‌بینی دمای خاک نشان داد.

تحقیقات مختلف نشان داده است که روش‌های سری زمانی در مدلسازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی از عملکرد مناسبی برخوردار است. شریفان و قهرمان (1386) گزارش دادند طی یک مدلسازی که برای چهار ایستگاه فاضل‌آباد، گرگان، مراوه‌تپه و ترشکلی در استان گلستان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه استان گلستان SARIMA مدل مناسبی می‌باشد. کمالی و همکاران، (1385) گزارش دادند از طریق مدلسازی سری‌های زمانی به روش مدل باکس و جنکینز، جریان ماهانه ورودی به سد شهید عباسپور را پیش‌بینی کردند. مدرس (1382) گزارش داد مدل سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه قلعه شاهرخ را با استفاده از

مطالعه پیش‌بینی گردید و با استفاده از معیار SBC و AIC بهترین مدل انتخاب گردید با توجه به معیارهای مورد نظر بهترین مدل، مدلی است که دارای کمترین مقدار SBC و AIC باشد. در نهایت برای ارزیابی خطا مدل‌های پیش‌بینی دمای خاک از نمایه‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا¹ (RMSE)، (فاکس، 1981) استفاده شد. این نمایه به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

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

که، O و S به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تخییر هستند و n تعداد داده‌ها است. کوچک بودن نمایه RMSE نشانه نزدیک بودن داده‌های شبیه‌سازی شده به داده‌های مشاهده شده و در نتیجه خوب بودن عملکرد مدل است. نمایه RMSE حساسیت زیادی به وجود مقادیر حدی در سری داده‌ها نشان می‌دهد زیرا به صورت توان دوم اختلافات بیان می‌شود.

نتایج و بحث

گام ابتدایی تشخیص مدل مناسب است. بدین منظور رسم نمودار در مدل‌سازی یک سری زمانی جهت شناسایی ایستایی یا نایستایی در واریانس، فصلی بودن یا نبودن و شناسایی داده‌های پرت حائز اهمیت است. نتایج بررسی ایستایی در واریانس با استفاده از روش کاکس-باکس²، حاکی از ایستایی بودن داده‌ها در واریانس می‌باشد. پس از بررسی نمودارهای سری زمانی ایستگاه‌مورد مطالعه، این نتیجه حاصل شد که سری‌های زمانی مورد بررسی ایستا می‌باشند و از یک روند معنی‌داری پیروی می‌کنند. بنابراین سری زمانی 13 ساله دمای خاک هر سه عمق رسم گردید در شکل 1 تا 3 نمودار سری زمانی ایستگاه فرودگاه همدان که ایستا در میانگین و واریانس می‌باشد آمده است.

روش مهم در تشخیص مدل، رسم نمودارهای خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) می‌باشد. با بررسی نمودارهای سری زمانی کلیه عمق‌های خاک ایستگاه و رسم ACF و PACF آن‌ها، این نتیجه حاصل شد که روند داده‌های دمای خاک در کلیه اعماق ایستگاه مورد مطالعه فصلی است، به همین دلیل از مدل SARIMA استفاده شد شکل 4 تا 6 نمودارهای PACF و ACF مربوط به سری زمانی ایستگاه فرودگاه می‌باشد.

یک مؤلفه فصلی دوره‌ای هستند که هر s مشاهده را تکرار می‌کنند و آنها را به‌طور مختصر می‌توان به صورت $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ نوشت که (p,d,q) بخش غیرفصلی مدل و (P,D,Q) مؤلفه فصلی مدل است که به صورت ذیل نوشته می‌شود:

$$\Phi(B)\Phi_p(B^s)\nabla^d\nabla_s^d Z_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)a_t$$

p درجه خودهمبستگی غیرفصلی، d درجه تفاضل‌گیری، q درجه میانگین متحرک غیر فصلی، P درجه خودهمبستگی فصلی، D درجه تفاضل‌گیری فصلی، Q درجه میانگین متحرک فصلی، s طول فصل، Φ پارامتر فصلی با مرتبه p، Θ پارامتر MA فصلی با مرتبه Q می‌باشد.

مرحله شناسایی الگو

در این مرحله با رسم نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و آزمون بارتلت-تون ایستایی میانگین و واریانس داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله دوم ساختار همبستگی زمانی داده‌های تبدیل شده، بوسیله آزمون توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تعیین گردید. با توجه به تعداد گام‌های معنی‌دار در هر یک از نمودارهای PACF و ACF می‌توان محدوده تغییرات مرتبه مدل‌ها را بدست آورد و در نهایت با ترکیب آن به مدل‌های داوطلب دست یافت. مدلی که حداقل AIC را داشته باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. روابط ریاضی مربوط به AIC و SBC به صورت روابط 3 و 4 می‌باشند (12).

$$AIC = n \times \ln(MSE) + 2 \times m \quad (4)$$

$$SBC = n \times \ln(MSE) + 2 \times m \times \ln(MSE)$$

که در آنها n تعداد مشاهدات، $m = (p+q+P+Q)$ یعنی تعداد پارامترهای برآورد شده مدل است و MSE مجموع مربعات خطای مدل مورد نظر می‌باشد.

تشخیص درستی الگو

جهت بررسی درستی مدل، نمودار باقیمانده‌ها از نظر نرمال بودن و ایستایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

پیش‌بینی

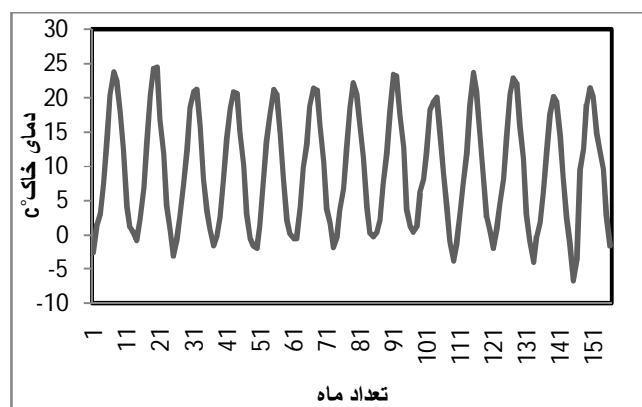
جهت مدل دمای خاک ایستگاه فرودگاه همدان از نرم‌افزار MINITAB 14 استفاده گردید. و با استفاده از نمودارهای PACF و ACF مدل‌های مختلف سری زمانی دمای خاک به منظور تخمین این پارامتر هواشناسی تهیه گردید و با استفاده از این مدل‌ها بارندگی در منطقه مورد

¹ Root mean squared error

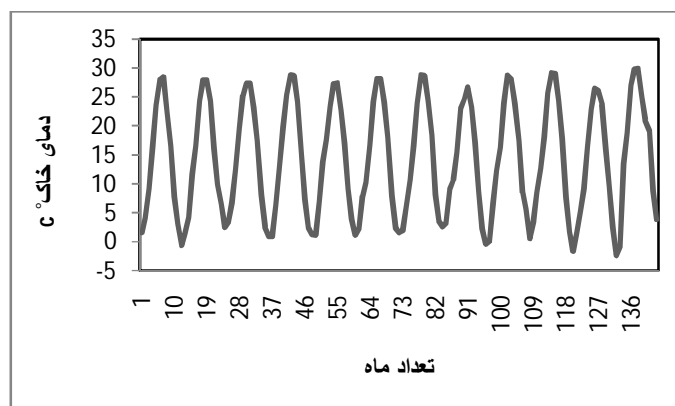
² Cox-Box

جدول 1- مشخصه آماری دمای خاک ایستگاه فرودگاه همدان (2008-1996)

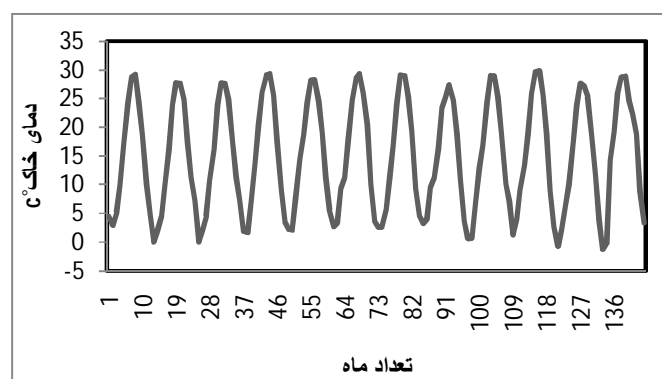
| عمق خاک cm | میانگین °C | انحراف معیار °C | بیشینه دمای خاک °C | کمینه دمای خاک °C |
|------------|------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| 5 | 9/43 | 8/46 | 24/5 | -6/7 |
| 20 | 14/28 | 9/86 | 29/9 | -2/4 |
| 30 | 15/11 | 9/7 | 29/8 | -1/3 |



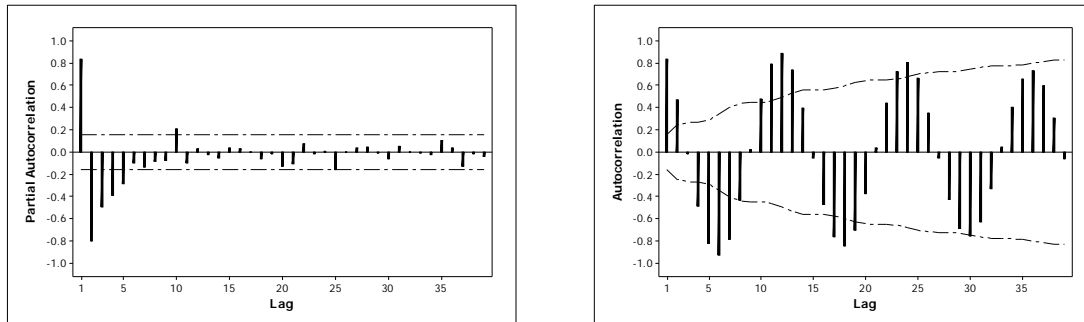
شکل 1- نمودار سری زمانی دمای خاک در عمق 5 سانتیمتر اندازه‌گیری شده ایستگاه فرودگاه همدان 2008-1996



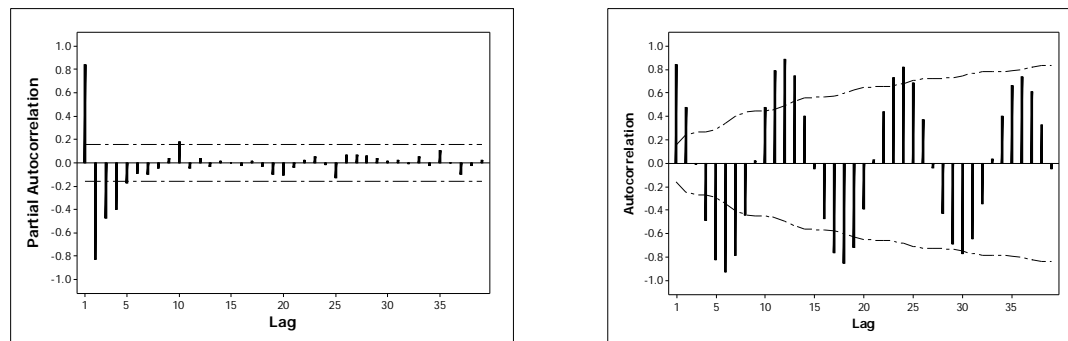
شکل 2- نمودار سری زمانی دمای خاک در عمق 20 سانتیمتر اندازه‌گیری شده ایستگاه فرودگاه همدان 2008-1996



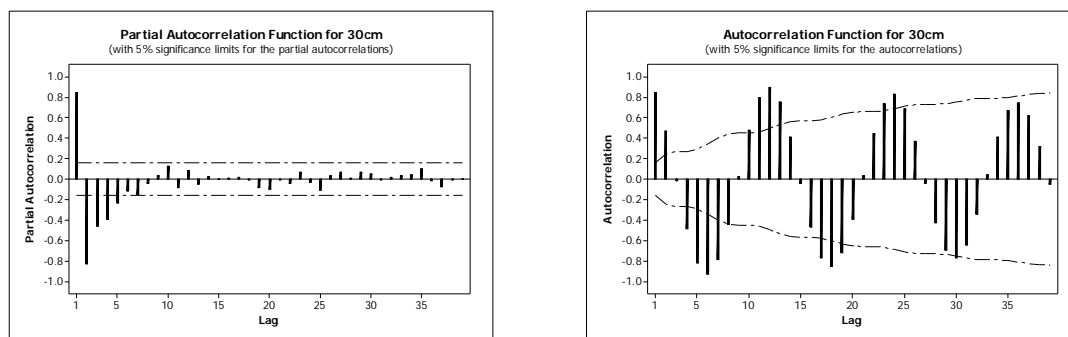
شکل 3- نمودار سری زمانی دمای خاک در عمق 30 سانتیمتر اندازه‌گیری شده ایستگاه فرودگاه همدان 2008-1996



شکل 4- نمودار خود همبستگی ACF و خودهمبستگی جزئی PACF در سطح اطمینان 95 درصد سری زمانی دمای خاک در عمق 5 سانتی متری فرودگاه همدان



شکل 5- نمودار خود همبستگی ACF و خودهمبستگی جزئی PACF در سطح اطمینان 95 درصد سری زمانی دمای خاک در عمق 20 سانتی متری فرودگاه همدان



شکل 6- نمودار خود همبستگی ACF و خودهمبستگی جزئی PACF در سطح اطمینان 95 درصد سری زمانی دمای خاک در عمق 30 سانتی متری فرودگاه همدان

باقیمانده‌های مدل برازش شده می‌باشد و معیار SBC بهترین مدل برازش داده شده از بین تمامی مدل‌ها برای هریک از ایستگاه‌ها انتخاب شد. با توجه به معیارهای مورد

گام بعد انتخاب الگوی برتر می‌باشد. بدین منظور از معیارهای متفاوتی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر با استفاده از معیار آکائیک AIC که بر مبنای

می‌باشند. نتایج مدل‌های مختلف سری‌های زمانی SARIMA و معیارهای SBC و AIC در جدول 2 برای عمق 30 سانتیمتر به عنوان نمونه آمده است.

نظر بهترین مدل، مدلی است که دارای کمترین مقدار SBC و AIC باشد. با بررسی نتایج این معیارها مشخص شد. مدل‌های SARIMA دارای کمترین مقدار SBC و AIC

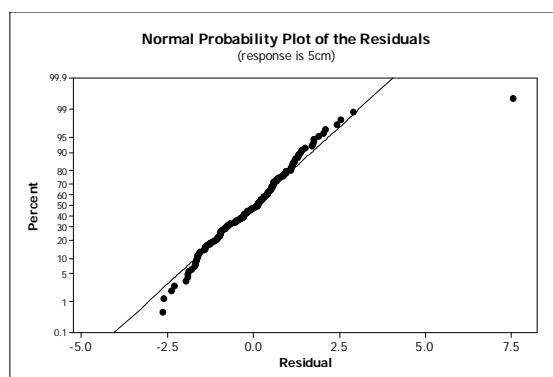
جدول 2- مدل‌های مختلف SARIMA برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق 30 سانتیمتر فرودگاه همدان

| پارامترهای مدل | | | | | | | معیارهای ارزیابی مدل | | |
|----------------|---|---|---|---|---|-----|----------------------|--------|--------|
| p | d | q | P | D | Q | n | MSE | AIC | SBC |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 156 | 13213 | 1488/7 | 1500/4 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 156 | 13296 | 1485/2 | 1491/5 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 156 | 13096 | 1482/8 | 1488/1 |
| 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 156 | 13152 | 1485/6 | 1504/8 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 156 | 13130 | 1489/2 | 1504/5 |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 156 | 13153 | 1487/5 | 1499/7 |

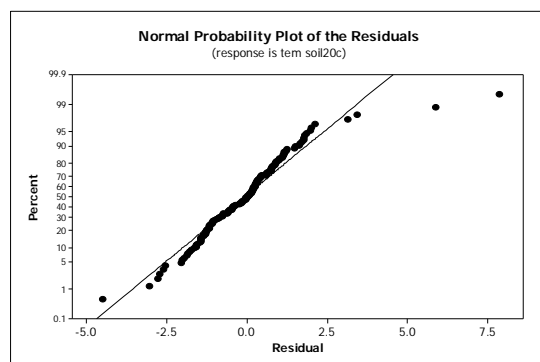
برابر 0/97 به دست آمد. مقدار RMSE در عمق 5 سانتیمتر برابر 1.63، عمق 20 سانتیمتر برابر 1/49 و عمق 30 سانتیمتر برابر با 1/56 به دست آمد.

جهت بررسی مناسب بودن مدل باید به گونه‌ای عمل شود که مدل گام بعدی بررسی مناسب بودن مدل است. میزان این بررسی باید به گونه‌ای باشد که نسبت به انحرافات که احتمالاً رخ خواهند داد، حساس باشد. به همین منظور از روش تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل برآزش شده که به کمک نمودارهای مربوط به باقیمانده‌ها انجام می‌شود استفاده گردید. و نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها رسم شدند. شکل‌های 10 الی 12، مانده‌های حاصل از مدل در وضعیت نرمال و بهینه می‌باشد.

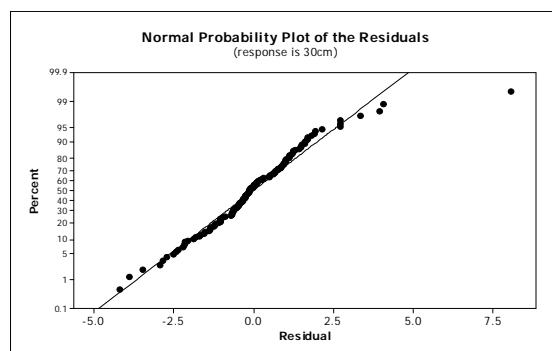
با توجه به معیارهای SBC و AIC برای دمای خاک فرودگاه همدان به ترتیب برای عمق‌های 5 سانتیمتر مدل SARIMA(2,0,0)(2,0,0) برای عمق 20 سانتیمتر مدل SARIMA(1,0,0)(1,0,0) و برای عمق 30 سانتیمتر مدل SARIMA(1,1,0)(1,1,1) به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید و مقدار تخمین زده شده توسط این مدل با مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های همدان مقایسه شد. در شکل 7 الی 9 همبستگی مقادیر تخمین زده شده توسط مدل‌های بهینه هر عمق آورده شده است. همبستگی مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده دمای خاک در اعماق 5 تا 30 سانتیمتر ایستگاه‌های فرودگاه همدان نیز ترسیم شد، که مقدار R^2 برای عمق 5 سانتیمتر برابر 0/96، برای عمق 20 سانتیمتر 0/98 و برای عمق 30 سانتیمتر



شکل 7- نمودار نرمال باقیمانده‌ها در عمق 5 سانتیمتر فرودگاه همدان



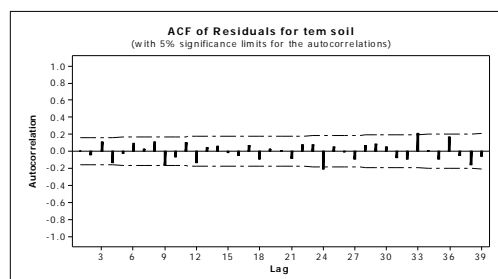
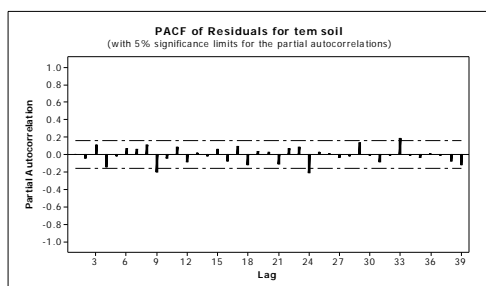
شکل 8- نمودار نرمال باقیمانده‌ها در عمق 20 سانتیمتر فرودگاه همدان



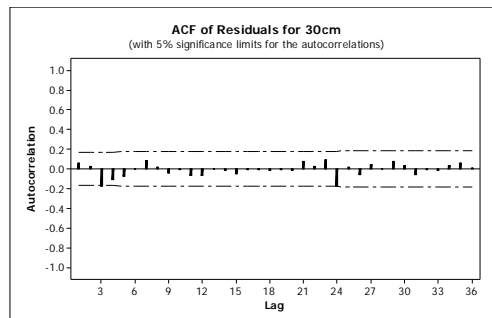
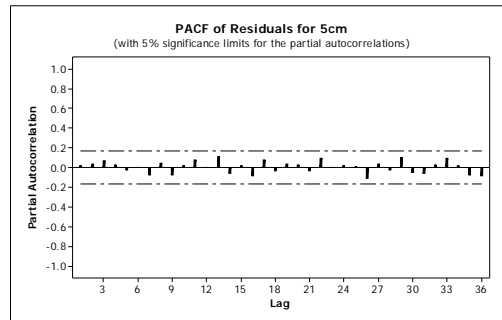
شکل 9- نمودار نرمال باقیمانده‌ها در عمق 30 سانتیمتر فرودگاه همدان

تطبیق مناسب داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان می‌دهد. مقدار P-Value برای تأخیرهای 12، 24، 36 و 48 صفر می‌باشد. که به معنی حضور جمله ثابت و یا به عبارتی وجود روند قطعی در مدل می‌باشد.

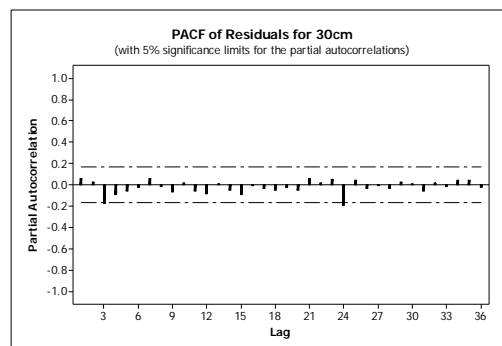
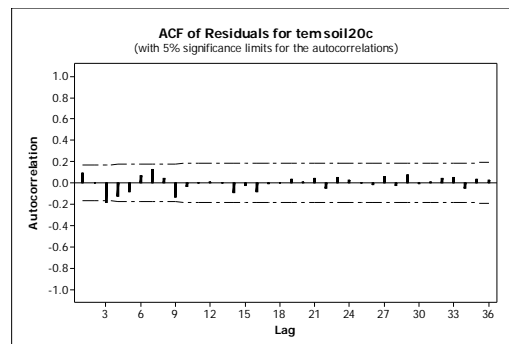
به‌منظور بررسی مدل‌سازی بهینه مدل از آزمون مانده‌ها و پرت-مانتو استفاده شد که بر اساس نتایج آزمون پرت-مانتو، سری مانده‌های حاصل از مدل‌های در نظر گرفته شده برای دمای خاک در عمق‌های مختلف ایستگاه مورد مطالعه از تأخیر 12 ماه به بعد حالت ایستایی به خود گرفت و طبق آزمون مانده‌ها با توجه به شکل (13 تا 15) مقدار مانده‌های سری زمانی دمای خاک ناچیز بوده و



شکل 10- نمودار خود همبستگی ACF و خود همبستگی جزئی PACF مانده‌ها در سطح اطمینان 95 درصد سری زمانی دمای خاک در عمق 5 سانتی متری فرودگاه همدان



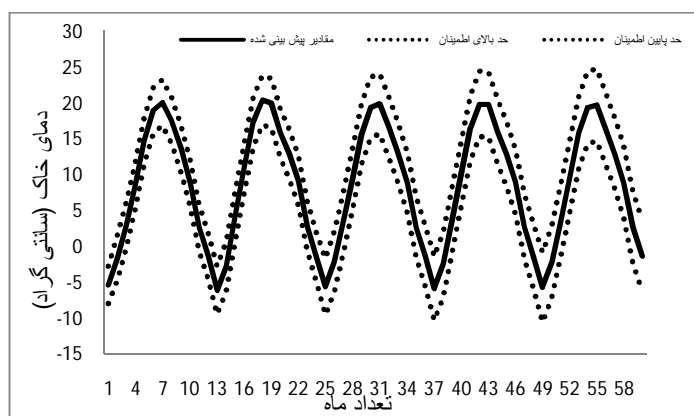
شکل 11- نمودار خود همبستگی ACF و خودهمبستگی جزئی PACF مانده‌ها در سطح اطمینان 95 درصد سری زمانی دمای خاک در عمق 20 سانتی متری فرودگاه همدان



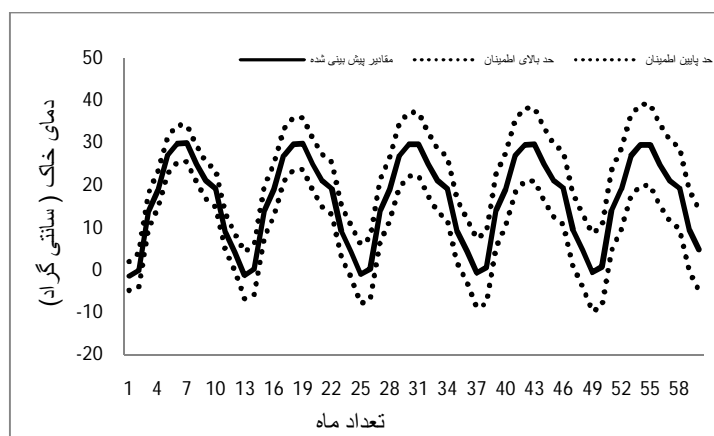
شکل 12- نمودار خود همبستگی ACF و خودهمبستگی جزئی PACF مانده‌ها در سطح اطمینان 95 درصد سری زمانی دمای خاک در عمق 30 سانتی متری فرودگاه همدان

2008 ایستگاه فرودگاه همدان داشته است و ناچیز بودن میزان نمایه‌های خطا سنجی، دمای خاک در سه عمق 5، 20 و 30 سانتی‌متر در سال‌های 2009-2013 در ایستگاه مورد مطالعه پیش‌بینی گردید. شکل 16 الی 18 به ترتیب نمودارهای سری زمانی پیش‌بینی شده مدل SARIMA را در سال‌های 2004-2008 و 2009-2013 نشان می‌دهد. نتایج، نشان دهنده روند یکسانی در سه عمق مورد مطالعه نشان می‌دهد و دمای خاک در تمامی عمق‌ها دارای نوسانات کم می‌باشد و از حد اطمینان 0/95 درصد تجاوز نمی‌کند و نشان دهنده تغییرات ناچیز و ثابت ماندن دما در روند دمای خاک در سه عمق پیش‌بینی شده در سال‌های 2009-2013 می‌باشد.

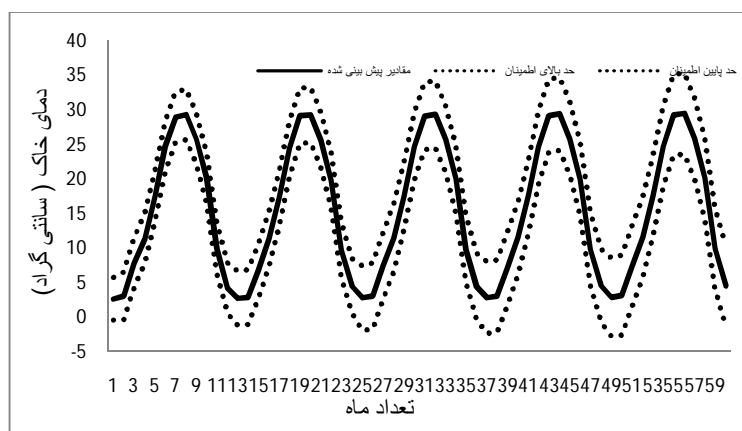
نتایج به دست آمده از این پژوهش و منابع علمی دیگر بیان می‌کند که با افزایش ژرفای خاک دامنه نوسان دما کاهش یافته، در حالی که زمان پسماند افزایش می‌یابد. به همین دلیل رخداد دماهای کمینه و بیشینه هوا و خاک همزمان نیستند، (جعفری گلستان و همکاران، 1386) و با افزایش عمق نوسانات دمایی در عمق خاک کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق عملکرد مناسب سری زمانی را نشان می‌دهد که مطابقت آماری مناسبی با تحقیق (قائم‌نیا و همکاران، 1390) در شبیه‌سازی تغییرات دمای خاک در ایستگاه یزد را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه پیش‌بینی مدل SARIMA تطابق مناسبی با داده‌های ماهانه اندازه‌گیری شده دمای خاک در بین سال‌های 2004-



شکل 13- نمودار تغییرات مقادیر پیش‌بینی دمای خاک در عمق 5 سانتیمتر فرودگاه همدان 2009-2013



شکل 14- نمودار پیش‌بینی دمای خاک در عمق 20 سانتیمتر فرودگاه همدان 2009-2013



شکل 15- نمودار بیش‌بینی دمای خاک در عمق 30 سانتیمتر فرودگاه همدان 2013-2009

نتیجه‌گیری

است که استفاده از سری‌های زمانی در پیش‌بینی و مدل‌سازی دمای خاک در عمق‌های مختلف عملکرد مناسبی دارد و با در اختیار داشتن دمای خاک در عمق‌های بیشتر و مدل‌سازی آن می‌توان دید مناسبی از وضعیت فیزیکی خاک و اثر افزایش دما و تغییر اقلیم بر روی خاک ارائه نمود.

نظر به اینکه تاکنون مطالعات کمی در رابطه با پیش‌بینی دمای خاک در ایران انجام گرفته است بنابراین در این مطالعه سعی شد که روشی مناسب جهت پیش‌بینی با توجه به سری‌های زمانی ارائه گردد. فضلی بودن داده‌های دمای خاک و پیروی آن‌ها از مدل SARIMA در تمامی عمق‌های مورد مطالعه و پیش‌بینی قابل قبول سری زمانی با توجه به پارامترهای آماری بیانگر این واقعیت

فهرست منابع:

1. جعفری گلستانی، م.، م. رائینی سرجاز و م. تبار احمدی، ض. 1386. برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و هم بستگی ای رگرسیونی برای شهرستان ساری، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات(5)1:112-123
2. دانشکار آراسته، پ.، م. تجریشی و م. ثقفیان. 1384. تعیین دمای سطح با استفاده از فناوری سنسور از دور در منطقه سیستان. نشریه علمی پژوهشی آب و آبخیز: 20-30
3. سبزی پرور، ع. زارع ابیانه، ح. بیات ورکشی، م. 1388. مقایسه یافته‌های مدل شبکه استنتاج تطبیقی عصبی-فازی با مدل‌های رگرسیونی به منظور برآورد دمای خاک در سه اقلیم متفاوت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 24(2):274-285
4. سبزی پرور، ع. طبری، ح و آئینی، ع. 1388. برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. 4(52)
5. شریفان، ح. و قهرمان، ب. 1386. ارزیابی پیش‌بینی باران با بکارگیری تکنیک SARIMA در استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی 3:14
6. قائمی نیا، ع. عظیم زاده، ح و مبین، م. 1390. شبیه‌سازی تغییرات دمای اعماق مختلف خاک و بررسی برخی عوامل‌های جوی تأثیرگذار بر آن (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک یزد). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. 18(1):42-57

7. کمالی ج. محمودیان شوشتری. الف. 1385. پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد شهید هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه Box-Jenkins. عباسپور با استفاده از مدل‌های سری زمانی
8. مدرس ر. 1382. مدل سازی باکس-جنکینز سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه قلعه شاهرخ. همایش پیش‌بینی وضع هوا
9. نجفی مود، م. ح.، ا. علیزاده، ا. محمدیان و ج. موسوی. 1387. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمقیخندان) مطالعه موردی استان خراسان رضوی. (مجله آب و خاک) علوم و صنایع کشاورزی (2)22: 456-466
10. نوروز ولاشادی، ر. قهرمان، ن. ایران نژاد، پ. 1391، ارزیابی مدل شبیه سازی (COUP) جهت برآورد رطوبت و دمای خاک با پوشش گیاهی ذرت و خاک بدون پوشش. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). (1)26.
11. Beltrami, H. 2001. On the relationship between ground temperature histories and meteorological records. *Global and planetary change*. 29: 327-348
12. Fahim ahmad., m. rasul,g. 2008. PREDICTION OF SOIL TEMPERATURE BY AIR TEMPERATURE; A CASE STUDY FOR FAISALABAD. *Pakistan Journal of Meteorology*.5(9).
13. Fox, D.G. 1981. Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on dispersion models performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 62: 599-609.
14. Ferguson G., and Beltrami H. 2006. Transient lateral heat flow due to land-use changes. *Earth and Planetary Science Letters*, 242:217– 222
15. 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
16. George, R. K. 2001. Prediction of Soil Temperature by using Artificial Neural Networks Algorithms. *Nonlin. Anal.* 47: 1737-1748
17. 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
18. 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.
19. Maclean Jr S.F., Ayres M.P. 1985. Estimation of soil temperature from climatic variables at Barrow, Alaska, USA. *Arctic & Alpine Research*. 17: 425-432.
20. Plauborg, F. 2002. Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. *Eur. J. Agron.* 17: 173–179.
21. 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