



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی و آشکارسازی اثر گرمایش جهانی بر تغییرات روند دمای خاک و برآورد آن با روش همبستگی رگرسیونی

سحر گلشن^۱، *محمود رائینی سرجاز^۲ و رضا نوروز ولاشدی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار گروه مهندسی آب،
^۲دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۳دانشجوی دکتری گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: گرمایش جهانی، به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در نیوار زمین، از آغاز سده بیستم سبب افزایش ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در میانگین دمای هوا شده است. انباشت بلندمدت انرژی گرمایی هم در نیوار زمین هم در ژرفای خاک بر فرآیندهای فیزیکی و زیستی اثر می‌گذارد. آشکارسازی چنین تغییراتی از نظر آماری فرایندی است برای نمایان‌سازی تغییرات اقلیمی معنی‌دار که نتوان آن‌ها را به تغییرات طبیعی ربط داد. انباشت بلندمدت انرژی گرمایی در ژرفای خاک می‌تواند در آشکارسازی تغییرات اقلیمی نیز نقش مهمی بازی کند. از این‌رو، هدف این پژوهش بر کردن شکاف داده‌ها، توسعه یک مجموعه از داده‌های دمای خاک از داده‌های هوا و بررسی اقلیمی تغییرات روند دمای خاک و تأثیر گرمایش جهانی بر آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ایستگاه همدیدی شهر کرمان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی با ۱۷۵۴ متر ارتفاع از سطح دریا، یکی از ایستگاه‌های اصلی کشور است. در بازه آمارسنجی این ایستگاه (۱۹۵۱-۲۰۰۹) میانگین بلندمدت دمای سالانه هوا ۱۵/۸ و میانگین بلندمدت بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری برای بازه سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۰۹ میلادی و دمای روزانه خاک در عمق‌های مختلف (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) برای ساعت‌های ۳، ۹ و ۱۵ به وقت گرینویچ، دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۹ میلادی، استفاده شد. برای بررسی روند دماها از روش‌های پارامتری پیرسون و تحلیل رگرسیونی و روش‌های ناپارامتری اسپیرمن و من-کندال استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که روش ناپارامتری من-کندال نسبت به دیگر روش‌ها از دقت بیش‌تری برخوردار است. روند میانگین دمای هوای سالانه و روند میانگین دمای فصل‌های بهار، تابستان و پاییز افزایشی و بسیار معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود. همچنین میانگین‌های دمای سالانه و فصل‌های تابستان و پاییز ژرفای خاک دارای روندی افزایشی و بسیار معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود. این یافته‌ها همچنین گویای روندی کاهشی و معنی‌دار ($P \leq 0/05$) در ابرناکی و بارندگی ایستگاه همدیدی کرمان می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: raeini@yahoo.com

نتیجه‌گیری: از یافته‌های این پژوهش نتیجه گرفته می‌شود که روند گرمایی ایستگاه همدیدی کرمان از روند گرمایش جهانی پیروی می‌کند و دمای خاک نیز می‌تواند چنین روندی را آشکار سازد.

واژه‌های کلیدی: آزمون پارامتری و ناپارامتری، تغییر اقلیم، من - کندال، کرمان

مقدمه

تغییر اقلیم^۱، معادل تغییرات معنی‌دار آماری برای متوسط وضع آب و هوا در یک دوره طولانی (چند دهه و بیش‌تر) است. این تغییرات می‌تواند در میانگین دما، بارندگی، الگوهای آب و هوایی، باد، تابش و دیگر متغیرهای اقلیمی باشد. اقلیم می‌تواند گرم‌تر و یا سردتر شود و مقادیر سالانه بارندگی یا برف می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد. تغییرات اقلیمی در عصر حاضر یکی از مسائل چالش‌برانگیز مرتبط با مسائل زیست‌محیطی است. درک ما از تأثیرات بشر روی محیط، به‌ویژه آن‌هایی که در ارتباط با گرمایش ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، نشان می‌دهد که تعدادی از پارامترها به احتمال زیاد در تغییر هستند، که تعیین این تغییرات می‌تواند مشکل باشد (25).

گرمایش کره زمین واقعیتی است که طی قرن گذشته با آن مواجه بوده‌ایم اما به دلیل کوتاه بودن طول دوره سنجش و اندازه‌گیری مستقیم عناصر اقلیمی نمی‌توان این واقعیت را وضعیتی قطعی و پایدار دانست. دمای سطح زمین در ۱۰۰ سال گذشته ۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است که علت آن افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر می‌باشد (19). افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر تمام جنبه‌های اقلیم را تحت‌تأثیر قرار داده است (23). از جمله مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی که در جو زمین تحت‌تأثیر گازهای گلخانه‌ای هستند دمای هواست. دمای خاک نیز به نوبه خود یکی از پارامترهای آب و هوایی حساس و مهم در نظر گرفته شده است.

دانشمندان از داده‌های دمای خاک در پژوهش‌هایی در زمینه‌های مختلف از جمله تغییرات آب و هوایی استفاده می‌نمایند (21). دمای خاک فرآیندهای بیولوژیکی و زیست‌محیطی را از طریق محدودیت بر رشد گیاه کنترل می‌کند (15). تنفس خاک، دارای اثر قابل‌توجهی در چرخه کربن نیوار و نسبت به دگرگونی دمای خاک حساس است (4). دمای خاک از دمای هوا متفاوت است و بررسی روند دمای خاک و دمای هوا می‌تواند درک ما را از گرم شدن کره زمین و اثرات زیستی و بیوشیمیایی آن بهبود بخشد.

دمای خاک ترکیبی از تبادل جرم و انرژی بین نیوار و سطح زمین است و نقش مهمی را در تمام فرآیندهای فیزیکی، زیست‌شناختی و میکروبی‌شناسی که در خاک اتفاق می‌افتد دارد. نوسانات دمای خاک به‌طور مستقیم بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال اگر خاک در فصل بهار، سرد باشد رشد ذرت به تأخیر می‌افتد و از سوی دیگر در فصل بهار، اگر دمای خاک زیاد و گرم باشد منجر به افزایش عملکرد ذرت می‌شود (3). رشد بهینه گیاه بستگی به دمای مطلوب خاک دارد، به‌گونه‌ای که اندازه دمای خاک، زمان کاشت بذر را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. دمای خاک متأثر از عوامل متعددی از جمله توپوگرافی، تابش خورشید، پراکنش بارش، میزان رطوبت خاک، نوع و ویژگی گرمایی خاک، همانند ظرفیت گرمایی، ضریب رسانایی گرمایی و گرمای ویژه است. دمای خاک در فرآیندهای تبخیر و تعرق، تهویه خاک، جوانه‌زنی بذر،

خاک می‌باشند (1). گومان و لال (1982)، دمای خاک منطقه استوا را با استفاده از سری فوریه مورد ارزیابی قرار دادند و یافته‌های آنان نمایشگر دقت بالای سری فوریه در برآورد دمای خاک بود (8). ژنگ و همکاران (1993)، با استفاده از دمای هوا و به‌کارگیری رگرسیون خطی، دمای خاک را در عمق ۱۰ سانتی‌متری در ۶ نمونه اقلیمی در آمریکا برآورد کردند (28). جعفری‌گلستانی و همکاران (2008)، با استفاده از روابط رگرسیونی، معادلات تجربی را برای برآورد دمای خاک ایستگاه هواشناسی دانشگاه علوم کشاورزی ساری برای عمق‌های ۷ و ۲۰ سانتی‌متری پیشنهاد کردند (12). با توجه به اهمیت داده‌های دمای خاک در مطالعات خاک‌شناسی و هواشناسی و با توجه به این‌که یکی از پارامترهای مهم که در ایستگاه‌های هواشناسی به‌طور مداوم اندازه‌گیری می‌شود، دمای هوای درون پناهگاه است، در حالی‌که دمای سطح و ژرفای خاک به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری نمی‌شوند؛ بنابراین، از لحاظ داده‌های دمای خاک کمبود آماری وجود دارد. تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی آب‌شناختی مانند سری‌های مشاهداتی دما، بارش و جریان رودخانه در نقاط مختلف جهان استفاده شده است (16). اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر رخداد تغییر اقلیم در یک منطقه باشد، بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌کند. در میان پارامترهای هواشناسی در مقایسه با دما و بارش، پژوهش‌های اندکی در زمینه بررسی روند تغییرات زمانی دمای خاک انجام شده است. پژوهش‌ها و مطالعات زیادی در جهان و ایران در مورد روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره‌های گذشته انجام گرفته است؛ که

رشد گیاه، توسعه ریشه‌ها و فعالیت ریزاندامک‌های خاک نقش به‌سزایی دارد (17). درک شرایط گرمایی خاک و رابطه آن با شرایط محیطی مدت طولانی است که دغدغه ذهنی بسیاری از دانشمندان شده است و این علاقه عمدتاً به‌دلیل استفاده از برنامه‌های کاربردی در کشاورزی است (5). یافته‌های پژوهشی تأییدی بر گرمایش جهانی در مقایسه با دوران پیش از صنعتی شدن است (11). با وجود اهمیت دمای خاک، در کنترل بیوژئوشیمی آب و هیدرولوژی، داده‌های دمای خاک، بر خلاف دمای نیوار، کم‌تر در مدل‌سازی محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته است، در حالی‌که دمای هوا و بارندگی از پارامترهای مهم تغییرات جهانی آب و هوا هستند، ولی دمای خاک هم تأثیر بسیار زیادی در فرایند گرمایش جهانی خواهد داشت (9). تغییرات دمایی ژرفاهای بسیار پایین خاک (۲۰۰-۱۰۰ متری) نمایشگر تغییر اقلیم است. پژوهش‌های اخیر در مناطق شمالی کانادا نشان داده است که دمای خاک ممکن است از دمای هوا بسیار پیچیده و متفاوت‌تر باشد (29). اهمیت دمای خاک در علوم کشاورزی و آب‌شناختی از یک‌سو و وجود مشکلات فراوان در ثبت این پارامتر، پژوهشگران را بر آن داشته است تا به دنبال یافتن رابطه‌ای میان دمای خاک و دیگر متغیرهای هواشناختی باشند تا بتوانند دمای خاک را با دقت مطلوب برآورد کنند. ارائه روش‌های آماری و تجربی که بتواند نتایج قابل‌قبولی در برآورد دمای خاک فراهم کند، می‌تواند راه حل مناسبی برای برآورد این متغیر باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه برآورد دمای خاک صورت گرفته است. روش‌های سری فوریه، رگرسیون چندمتغیره خطی، شبکه‌های عصبی، معادلات موازنه انرژی و سامانه اطلاعات جغرافیایی از جمله روش‌های بررسی رژیم دمایی سطح و ژرفای

گام دوم بررسی اثر گرمایش جهانی بر روند دمای هوا و دمای خاک در ژرفاهای مختلف خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: در این پژوهش از داده‌های ایستگاه همدیدی شهر کرمان که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد، استفاده شد و این ایستگاه در سال ۱۳۲۸ تأسیس شد که در ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۷۵۴ متر است. استان کرمان با در بر گرفتن نزدیک به ۱۱ درصد از مساحت کشور، بخش گسترده‌ای از پهنه جنوب‌شرقی پشته (فلات) مرکزی ایران را در بر می‌گیرد. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن گسترش یافته، ۵۸ درصد از سطح استان کرمان دارای اقلیم فراخشک فراسرد تا فراخشک گرم می‌باشد. استان کرمان با وجود منابع آبی اندک، یکی از قطب‌های مهم تولید محصولات کشاورزی ایران است.

تأسیس شبکه ایستگاه‌های هواشناسی در ایران از سال ۱۹۵۱ آغاز شد. این دوره آماری ۴۲ ساله برای بررسی روند تغییر اقلیم نسبتاً کوتاه است. در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۵۱ و دمای خاک روزانه عمق‌های مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) برای ساعت‌های ۳، ۹ و ۱۵ روز به وقت گرینویچ برای دوره آماری سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۹ میلادی استفاده شد. ثبت دمای خاک در ایستگاه‌های هواشناسی کشور از سال ۱۹۹۲ آغاز شد. برای تعیین معادله برآورد دمای خاک در ژرفاهای مختلف خاک نخست از داده‌های دمای کمینه و بیشینه روزانه هوا و همچنین داده‌های به‌دست آمده از سه نوبت اندازه‌گیری دمای خاک روزانه، میانگین‌گیری در نرم‌افزار صفحه گسترده EXCEL انجام شد. در

بیش‌تر این پژوهش‌ها به‌طور معمول بر تغییرپذیری بارندگی و دمای هوا تمرکز دارند. تاکنون روند بلندمدت دمای خاک در تعداد اندکی از ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی جهان گزارش شده است (6). در حالی که دمای خاک به‌دلیل تأثیر مستقیم بر رشد و نمو گیاه اهمیت ویژه‌ای دارد. ژانگ و همکاران (2005)، طی پژوهشی، دمای خاک در کانادا را در قرن بیستم بررسی کردند و نشان دادند میانگین دمای خاک سالانه از میانگین دمای هوا سالانه متفاوت است و از ۲- تا ۷ درجه سانتی‌گراد و به‌طور متوسط ۲/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و تفاوت قابل‌توجهی در فصول زمستان و بهار مشاهده شد.

گفتمان گرمایش جهانی و افزایش دمای هوا نیز در ایران مورد بررسی و کوشش پژوهشگران مختلف بوده است. در این زمینه می‌توان به پژوهش‌هایی که روندیابی دمای هوا را از سری‌های زمانی در تبریز (18)، اهواز (10) و جاسک (14) برآورد کردند نام برد.

بررسی منابع در این زمینه نمایانگر آن است که کار اندکی بر روی روند دمای خاک در ایران انجام شده است. مرور منابع در زمینه تغییر اقلیم نشان می‌دهد که اثرات تغییر اقلیم بر دمای خاک کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. با بررسی و مطالعه بسیاری از منابع داخلی و خارجی که به برخی از آن‌ها در بالا اشاره شد، دیده شد که هنوز مطالعه جامع و کاملی که روند تغییرات اقلیمی، به‌خصوص روند تغییرات میانگین دمای خاک را، با استفاده از روش‌های ناپارامتری و پارامتری بررسی کند وجود ندارد. بنابراین هدف این پژوهش در مرحله نخست برقراری روابط رگرسیون میان دمای هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک، در ایستگاه همدیدی کرمان، برای بازسازی داده‌های دمای خاک است و هدف بعدی در

مرحله بعدی برای بررسی رابطه موجود میان دمای هوا در ارتفاع ۲ متری و ژرفای خاک از رابطه رگرسیون خطی زیر استفاده شد.

$$Y=a+bX$$

که در آن، Y : دمای ژرفای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری خاک، X : دمای هوا به درجه سانتی گراد، a و b ثابت‌های معادله می‌باشند. پس از گردآوری، ارتباط و ساماندهی داده‌ها، محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری با به‌کارگیری نرم‌افزار *MINITAB* انجام شد. سپس با استفاده از معادله‌های به‌دست آمده دمای خاک روزانه از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۲ برآورد و محاسبه شد. برای سنجش نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگراف اسمیرنوف استفاده شد و سپس برای مقایسه میانگین بین داده‌های دمای خاک مشاهده‌شده و برآورد شده در همه عمق‌ها آزمون t انجام شد. برای مقایسه میانگین دو نمونه مستقل از داده‌های کمی، از آزمون دو نمونه‌ای مستقل t استفاده می‌شود. در این گونه آزمون‌ها فرصه‌های صفر و یک به‌صورت زیر مطرح می‌شود:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

اگر μ_1 و μ_2 را میانگین‌های هر یک از دو جامعه در نظر بگیریم، فرضیه صفر بیان می‌کند که بین میانگین‌های دو جامعه هیچ تفاوتی وجود ندارد و فرضیه مقابل آن، حکم به داشتن اختلاف بین میانگین‌های دو جامعه می‌دهد. سپس برای تعیین نوسانات و بررسی روند دمای هوا و دمای خاک میانگین دمای ماهانه و همچنین میانگین دمای سالانه برای دمای هوا و دمای خاک برای هر عمق از ابتدای سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۹ محاسبه شد.

مرحله بعدی، به‌منظور بررسی روند و آشکارسازی تغییرات اقلیمی از دیدگاه آماری، روش‌های مختلفی به‌کار گرفته می‌شود. روش‌های تعیین روند به دو دسته تقسیم می‌شوند: روش پارامتری و ناپارامتری. روش‌های مورد استفاده در این پژوهش روش‌های پارامتری پیرسون و تحلیل رگرسیون و روش‌های ناپارامتری اسپیرمن و من-کندال می‌باشد. برای آزمون‌های آماری از نرم‌افزار *xlstat* استفاده شده است. این نرم‌افزار تجزیه و تحلیل کامل آماری در اکسل را، که از سال ۱۹۹۳ توسعه‌یافته است، ممکن می‌سازد و به‌عنوان پلاگین به اکسل اضافه‌شده که اجازه می‌دهد برای تولید آمار کامل و حرفه‌ای گرافیک از داده‌ها در صفحه گسترده به‌صورت دویعدی و سه‌بعدی داشته باشد. این نرم‌افزار توانایی انجام تجزیه و تحلیل آماری، پارامتری، غیرپارامتری، سری‌های زمانی، رگرسیون و غیره را دارد و مورد پسند کاربر و بسیار کارآمد است. **آزمون من-کندال**^۱: این آزمون ابتدا توسط من (1945) ارائه و سپس توسط کندال (1975) گسترش یافت. این آزمون که از آزمون‌های ناپارامتری می‌باشد، به‌وسیله سازمان جهانی هواشناسی (*WMO*)^۲ در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد. این روش که به‌طور گسترده در بررسی‌های هواشناسی و اقلیم‌شناسی کاربرد دارد، یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی شمرده می‌شود. فرض صفر این آزمون مبنی بر ناگهانی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلیل بر وجود روند در سری داده‌ها است. برتری این آزمون نسبت به دیگر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها است که به‌دلیل وجود این ویژگی می‌توان از این

1- Mann-Kendall

2- World Meteorological Organization

در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ استفاده شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها افزایشی و در صورت منفی بودن آن روند کاهشی در نظر گرفته می‌شود (26).

ضریب همبستگی اسپیرمن^۱: این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن پیشنهاد شد. ضریب همبستگی اسپیرمن که آن را با p نمایش می‌دهند همواره بین +۱ و -۱ در نوسان است و از جمله شرایط استفاده از این ضریب، این است که دو متغیر باید سطح‌های زیادی داشته باشند تا رتبه‌بندی افراد، مفهوم پیدا کند و چنانچه تعداد سطح‌ها کم باشد، به دلیل این که تعداد زیادی از پارامترها در یک رتبه قرار می‌گیرند، محاسبه ضریب امکان‌پذیر نیست (27).

$$P = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)}$$

که در آن، p : ضریب همبستگی اسپیرمن، n : تعداد مشاهده‌ها و $\sum d_i^2$: مجموع مجذور تفاوت دو رتبه می‌باشد. برای آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن از رابطه زیر آماره t محاسبه می‌شود که بعد از مقایسه آن با t جدول با درجه آزادی $n-2$ تصمیم‌گیری می‌شود (۲).

$$t = \frac{p\sqrt{n-2}}{1-p^2}$$

تحلیل رگرسیون: این روش، یک آزمون پارامتری است که فرض نرمال بودن داده‌ها باید برای آن وجود داشته باشد. داده‌های هواشناسی در تحلیل رگرسیون به‌وسیله استفاده از روش میانگین متحرک، خطی می‌شوند. یک رابطه رگرسیون خطی ساده برای به‌دست آوردن روند درازمدت داده‌ها انتخاب می‌شود. در این روش، رابطه بین متغیرهای به‌صورت تابعی از

آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و داده‌ها نباید در قالب توزیع خاصی درآیند (21).

$$Z = \begin{cases} x = \frac{s-1}{\text{var}(s)} & \text{if } s > 0 \\ x = \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

که در آن، S نشانه تفاوت مقادیر با یکدیگر و $\text{var}(s)$ پراش S است.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

که در آن، n : تعداد مشاهدات سری، x_k و x_j به‌ترتیب داده‌های J ام و K ام سری، (مرتب شده به‌ترتیب وقوع)، $\text{sgn}(\cdot)$ در رابطه زیر تابع علامت است.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

β در رابطه زیر عاملی مربوط به تصحیح پراش در صورتی که داده‌های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد، می‌باشد. t تعداد داده‌های مشاهده‌شده و m معرف تعداد سری‌هائی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.

$$\beta = \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t-5)$$

در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2}$$

که در آن، α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد

خطی بین دو پارامتر را نمایان می‌سازد و بین +1 و -1 تغییر می‌کند (27) و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

که در آن، Y : متغیر جوی، \bar{Y} : میانگین متغیر جوی، x_i : زمان، \bar{x} : میانگین زمان و n : تعداد سری‌های زمانی است. با مشخص شدن مقدار r با استفاده از جدول ضریب همبستگی پیرسون معنی‌داری آن در سطح اطمینان مورد نظر بررسی می‌شود. در آخر برای تشخیص و انتخاب بهترین آزمون در تعیین روند در این ایستگاه، از درصد توان آزمون استفاده شد. توان آزمون، نسبت تعداد موارد معنی‌دار به تعداد کل موارد آزمون می‌باشد (22).

نتایج و بحث

در بخش نخست بهترین همبستگی خطی بین پارامترهای هواشناسی میانگین روزانه دمای هوا (T_a) و دمای ژرفای خاک (T_s)، (۲۰۰۹-۱۹۹۲) برقرار و معادله خط مورد نظر به دست آمد. این معادلات در جدول ۱ نمایان شده است. شکل ۱ نمودار پراکنش بین این دو متغیر را در عمق ۵ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج جدول ۱ مشخص شد که میانگین روزانه دمای هوا با دمای خاک ژرفاهای مختلف دارای همبستگی بالا و معنی‌داری ($P \leq 0.01$) می‌باشند، که با افزایش عمق خاک از میزان همبستگی (۰/۹۵ تا ۰/۶۸) کاسته می‌شود و دمای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری دارای کم‌ترین همبستگی با دمای هوا است. این کاهش همبستگی با ژرفا می‌تواند به دلیل کندی انتقال شار گرمایی پایین‌سو و پسماندی زمانی رخداد دما با افزایش عمق باشد (12). همچنین نتایج

متغیر وابسته^۱ که تغییرات متغیرهای مستقل^۲ را پیش‌بینی می‌کنند، مشخص می‌شود (27).

رابطه رگرسیون خطی ساده برای به‌دست آوردن روند درازمدت داده‌ها انتخاب می‌شود؛ که به‌صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$Y = a + bX$$

که در آن، Y : متغیر جوی، X : زمان و a و b : ضرایب رگرسیونی هستند که با استفاده از روش کم‌ترین مربعات^۳ محاسبه می‌شوند. با به‌دست آوردن مقدار T با درجه آزادی $n-2$ با استفاده از رابطه زیر معنی‌داری شیب رگرسیون آزمون می‌شود:

$$T = \frac{b}{\sqrt{\frac{MSE}{SS_x}}}$$

که در آن، MSE : میانگین مربعات خطا و SS_x به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SS_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

که در آن، x_i : متغیر مورد نظر و \bar{x} : میانگین متغیر مورد نظر می‌باشد. اگر $|T| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$ شود شیب رگرسیون معنی‌دار نمی‌شود (پذیرش فرض H_0 : شیب b برابر صفر می‌باشد) و شیب b به‌طور معنی‌داری مخالف صفر، نشان‌دهنده وجود روند است (7).

ضریب همبستگی پیرسون^۴: از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های فاصله‌ای و نسبی می‌باشد که دارای توزیع نرمال نیز هست. این ضریب با علامت r نمایش داده می‌شود و شاخص عددی است که شدت و جهت هر نوع همبستگی

- 1- Dependent Variable
- 2- Independent Variable
- 3- Least Squares
- 4- Pearson correlation

مدل رگرسیون خطی با دقت کافی و مورد قبولی داده‌های دمای خاک را در ایستگاه کرمان برآورد می‌کند (جدول ۱). برای بررسی روند ماهانه، سالانه و فصلی تغییرات دو پارامتر دمای هوا و دمای خاک، مقدار آماره‌های چهار روش من-کنندال، ضریب همبستگی اسپیرمن، تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون در دوره آماری ۵۸ ساله در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است، که در زیر بررسی می‌شوند.

بررسی تغییرات میانگین دمای هوا و دمای خاک در مقیاس‌های فصلی و سالانه: بر پایه یافته‌های جدول ۲ دمای هوا در سری زمانی سالانه و همچنین در فصل‌های تابستان و پاییز با استفاده از روش من-کنندال، دارای روندی افزایشی و معنی‌دار ($P \leq 0/01$) است، ولی برای فصل‌های بهار و زمستان روند معنی‌داری خاصی دیده نشد. روش‌های ضریب همبستگی اسپیرمن و پیرسون در تمام فصول سال برای دمای هوا دارای نتایج یکسانی می‌باشند.

نشان داد که در بین عمق‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک اختلاف بسیار کمی از نظر این ضریب وجود دارد و همبستگی بالایی بین دمای هوا و ژرفاهای سطحی خاک وجود دارد، که نشان‌دهنده وابستگی بیش‌تر بین دمای هوا با دمای خاک در عمق‌های سطحی خاک است. روند کاهشی ضریب همبستگی در اعماق پایین‌تر با یافته‌های نجفی‌مود و همکاران (2008) و سبزی‌پرور و همکاران (2011) همخوانی دارد. بررسی معادله‌های رگرسیون خطی نشان داد که کارایی این معادلات رگرسیونی در ژرفاهای سطحی بهبود یافته و به دلیل کندی انتقال شار گرما از لایه‌های بالایی به پایین، دمای ژرفای خاک کم‌تر متأثر از افتاخیز دمای هوا می‌باشد، به بیانی دیگر، پاسخ آن‌ها به تغییر دمای هوا بسیار کند است، در صورتی‌که این پاسخ در سطح خاک از سرعت چشم‌گیری برخوردار است (12).

همچنین با انجام آزمون مقایسه میانگین‌ها بین میانگین داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی در تمام عمق‌ها (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری)، تفاوت معنی‌دار دیده نشد. این نتایج نشان می‌دهد که

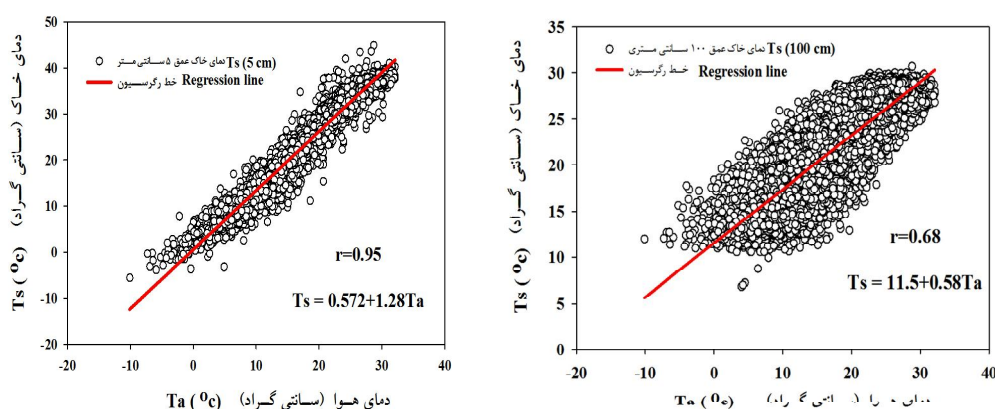
جدول ۱- ضرایب همبستگی و معادلات برآورد رابطه میانگین روزانه دمای هوا با میانگین روزانه دمای ژرفاهای مختلف خاک در ایستگاه همدیدی کرمان.

Table 1. Correlation Coefficients and equations of the relations between mean daily air and soil depth temperatures in Kerman synoptic station.

ضریب همبستگی (r)	احتمال معنی‌دار بودن (p)	معادله	ژرفا (سانتی‌متر)
Correlation coefficient	Significant probability (p)	Equation	Depth (cm)
0.95**	<0.001	$T_s = 0.572 + 1.28T_a$	5
0.94**	<0.001	$T_s = 1.85 + 1.19T_a$	10
0.92**	<0.001	$T_s = 3.28 + 1.04T_a$	20
0.89**	<0.001	$T_s = 4.54 + 0.973T_a$	30
0.83**	<0.001	$T_s = 7.69 + 0.817T_a$	50
0.68**	<0.001	$T_s = 11.5 + 0.584T_a$	100

** نمایشگر بسیار معنی‌دار بودن ضریب همبستگی ($P \leq 0/001$) است.

** Indicates correlation coefficients that are highly significant ($P \leq 0.001$).



شکل ۱- خط رگرسیون و رابطه بین دمای هوا (T_a) و دمای خاک (T_s) ژرفای ۵ و ۱۰۰ سانتی متری.

Figure 1. Regression line and relationship between air (T_a) and soil (T_s) temperatures at 5 and 100 cm soil depths.

خاک در همه عمق‌ها دارای روندی افزایشی و معنی‌دار ($P \leq 0.05$) می‌باشد و این یافته‌ها نشان‌دهنده افزایش دمای خاک در این فصل‌ها است. روند قابل توجه افزایش دمای خاک در فصل تابستان شاید به دلیل این باشد که انباشت گرما در لایه‌های سطحی خاک در طی روز و در تابستان بیش‌تر می‌شوند. برای فصل زمستان نتایج بررسی روند در همه روش‌ها یکسان است و دمای خاک در عمق‌های ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ دارای روندی کاهشی و معنی‌دار ($P \leq 0.01$) می‌باشد (جدول ۲). همچنین در فصل بهار، تنها در آزمون من- کندال، عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری خاک روندی کاهشی، و عمق ۵ سانتی متری روندی افزایشی و معنی‌دار ($P \leq 0.05$) داشتند، ولی در دیگر عمق‌ها روندی دیده نشد (جدول ۲). با توجه به یافته‌های به دست آمده می‌توان چنین انگاشت که روند کاهشی دمای خاک در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری خاک در بهار به دلیل این است که در فصل زمستان انباشت گرمای خاک کاهش می‌یابد و این کاهش سبب افزایش شار بالاسوی گرما و افت دمای خاک در ژرفا در بهار می‌شود. و پاییز مشابه می‌باشد (جدول ۲) و دمای خاک در همه عمق‌ها دارای روندی افزایشی و معنی‌دار ($P \leq 0.05$) می‌باشد و این

روش تحلیل رگرسیون نشان داد دمای هوا در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان بدون روند و در فصل پاییز دارای روندی افزایشی و معنی‌دار ($P \leq 0.01$) است. برای فصل‌های بهار، تابستان و پاییز با استفاده از روش‌های ضریب اسپیرمن و تحلیل رگرسیون برای دمای هوا روند معنی‌داری دیده نشد (جدول ۲). برای فصل‌های بهار، تابستان و پاییز با استفاده از روش‌های ضریب اسپیرمن و تحلیل رگرسیون برای دمای هوا روند معنی‌داری دیده نشد (جدول ۲).

دمای خاک سالانه در همه ژرفاهای خاک با استفاده از روش من- کندال دارای روندی افزایشی و معنی‌دار ($P \leq 0.01$) می‌باشد. یافته‌های حمادی و پدیدیان (2011)، برای ایستگاه همدیدی اهواز، با استفاده باهم رابطه روند افزایشی دمای هوا با روابط دمای خاک- محیط منجر به توسعه رابطه‌ای شد که روند افزایشی دمای خاک را براساس دمای محیط بیان می‌دارد. دمای خاک در عمق ۵ و ۳۰ سانتی متری به ترتیب ۲ و ۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به محیط بیش‌تر است. یافته‌های بررسی فصلی دمای خاک نشان داد، بررسی روند دمای خاک طی فصل‌های تابستان و پاییز مشابه می‌باشد (جدول ۲) و دمای

و روند معنی‌دار در دمای خاک مربوط به فصل بهار و تابستان می‌باشد و در عمق‌های پایین‌تر روندی کاهشی در پاییز و زمستان دیده شد. جانگویس (2013)، در مناطقی از سوئد طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۶ به این نتایج دست یافت که دمای خاک در فصل زمستان دارای روند افزایشی می‌باشد و ژانگ و همکاران (2001)، در روسیه تغییرات دمای هوا از سال ۱۸۹۰ تا ۱۹۹۰ بیش‌تر در فصل زمستان و کاهش دمای خاک در حدود ۴ درجه سانتی‌گراد در فصل تابستان به‌دست آوردند (30). در فصل زمستان دمای هوا حدود ۴ تا ۶ درجه و دمای خاک ۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. وجود برف و ذوب آن در این مناطق می‌تواند نقش مهمی در افزایش دمای خاک منطقه از طریق اثرات عایق برف و همچنین پایای رسانایی گرمایی نسبتاً بالای آن داشته باشد. یوژانگ و همکاران (2005) طی پژوهشی، دمای خاک در کانادا را در قرن بیستم نشان دادند که تغییر در میانگین دمای سالانه حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد بوده است و روند افزایشی در فصل‌های بهار و زمستان مشاهده می‌شود و دلیل متفاوت بودن یافته‌ها در هر منطقه با نتایج این پژوهش می‌تواند تفاوت‌های اقلیمی هر ناحیه و یا طول دوره زمانی هر یک از پژوهش‌ها باشد (29). نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری این چهار آزمون نشان داد که در روند سالانه و فصلی، مقادیر توان آزمون من- کندال ۲۵/۹ درصد است که نسبت به دیگر آزمون‌ها بیش‌تر است. شکل ۲ وجود روند را در نمودار دمای هوای سالانه و دمای خاک سالانه در ژرفاهای متفاوت نشان می‌دهد.

بررسی تغییرات میانگین دمای هوا و دمای خاک در مقیاس ماهانه: نتایج به‌دست آمده از انجام آزمون‌ها برای تعیین روند ماهانه مطابق جدول ۳ نشان می‌دهد که نتایج ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس مشابه بوده

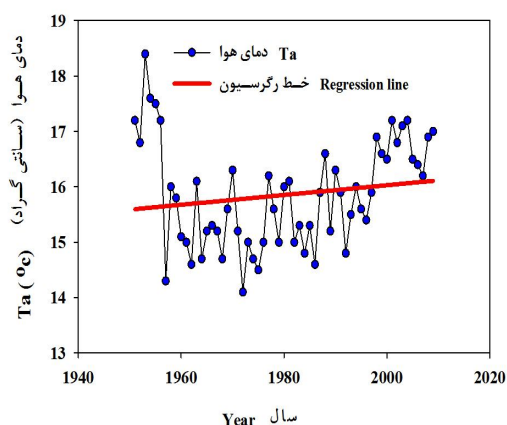
یافته‌ها نشان‌دهنده افزایش دمای خاک در این فصل‌ها است. روند قابل‌توجه افزایش دمای خاک در فصل تابستان شاید به‌دلیل این باشد که انباشت گرما در لایه‌های سطحی خاک در طی روز و در تابستان بیش‌تر می‌شوند. برای فصل زمستان نتایج بررسی روند در همه روش‌ها یکسان است و دمای خاک در عمق‌های ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ دارای روندی کاهشی و معنی‌دار ($P \leq 0/01$) می‌باشد (جدول ۲). همچنین در فصل بهار، تنها در آزمون من- کندال، عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک روندی کاهشی، و عمق ۵ سانتی‌متری روندی افزایشی و معنی‌دار ($P \leq 0/05$) داشتند، ولی در دیگر عمق‌ها روندی دیده نشد (جدول ۲). با توجه به یافته‌های به‌دست آمده می‌توان چنین انگاشت که روند کاهشی دمای خاک در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در بهار به‌دلیل این است که در فصل زمستان انباشت گرمای خاک کاهش می‌یابد و این کاهش سبب افزایش شار بالاسوی گرما و افت دمای خاک در ژرفا در بهار می‌شود.

قهرمان و قره‌خانی (2010)، به‌منظور تعیین روند دمای سطح خاک در مناطقی از ایران و از آن جمله کرمان، طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶ با استفاده از چهار روش من- کندال، ضریب همبستگی اسپیرمن، تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون به این نتایج دست یافتند که روند افزایشی در هیچ‌یک از ایستگاه‌های کشور از جمله کرمان مشاهده نشد. آنان نشان دادند که به‌طورکلی دمای خاک در طول ۳ دهه گذشته تغییر معنی‌داری نداشته است. یافته‌های این پژوهشگران با دیگر یافته‌های انجام شده در ایران در رابطه با تغییر اقلیم همخوانی ندارد (10, 14). وستیک و همکاران (2013)، در منطقه کرواسی با بررسی روند فصلی دمای خاک نشان داد که بیش‌ترین افزایش

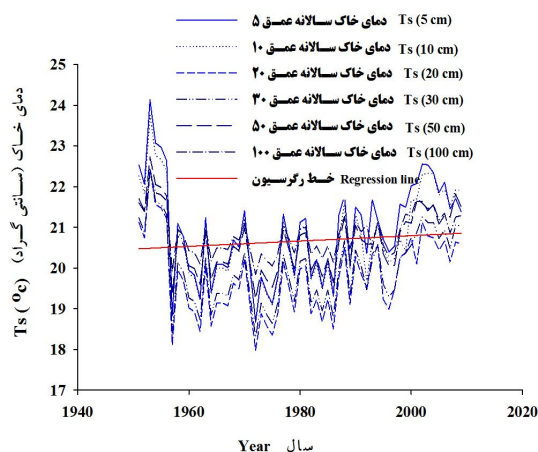
همچنین با توجه به مقادیر محاسبه شده توان آزمون‌های من-کندال، اسپیرمن، تحلیل رگرسیون و پیرسون در بین این روش‌ها، روش ناپارامتری من-کندال بیش‌ترین توان و روش‌های تحلیل رگرسیون و اسپیرمن مشابه می‌باشند، بنابراین روش من-کندال برای بررسی روند سری زمانی ماهانه مناسب و دقیق‌تر است. همچنین برای تحلیل سالانه روند بارندگی و ابرناکی از آزمون من-کندال استفاده شد که نتایج بیانگر روندی کاهشی معنی‌دار برای ابرناکی سالانه ($r = -0/43$ و $P < 0/0001$) و همچنین میانگین بارندگی سالانه هم دارای روند کاهشی معنی‌دار ($r = -0/21$ و $P < 0/02$) می‌باشند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که با کاهش روند ابرناکی و بارندگی میزان تابش دریافتی زمین افزایش پیدا کرده و این موجب افزایش دمای خاک و دمای هوا در این منطقه شده است و می‌توان نتیجه گرفت که روندهای مشاهده شده می‌توانند ناشی از وقوع پدیده تغییر اقلیم در این ناحیه باشند.

ولی با این تفاوت که در ماه فوریه دمای هوا، با انجام روش‌های ضریب اسپیرمن و پیرسون دارای روند افزایشی است که در ماه‌های ژانویه و مارس این روند کاهشی است.

درصد زیادی از نتایج دمای خاک دارای روندی کاهشی می‌باشند که این روند در اعماق ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری معنی‌دار است ($P \leq 0/01$). در ماه‌های بعد نتایج مشابه بوده و در بیش‌تر ماه‌ها روندی افزایشی معنی‌داری وجود دارد، جز ماه‌های آوریل، می و ژوئن که دمای عمق‌های پایینی خاک دارای روندی کاهشی است. با توجه به نتایج به دست آمده بیش‌تر نتایج سری ماهانه دارای روند افزایشی بوده‌اند اگرچه در بعضی زمان‌ها و روش‌های مورد آزمایش این روندها معنی‌دار نبودند ولی می‌توان گفت سری ماهانه دمای هوا در ۸۰ درصد ماه‌ها دارای روند افزایشی بوده و دمای خاک هم تحت‌تأثیر دمای هوا بوده و در بیش‌تر ماه‌ها دارای روند افزایشی بوده که در اعماق پایین‌تر این روندها معنی‌دار می‌باشند.



(ب)



(الف)

شکل ۲- روند تغییرات میانگین دمای سالانه در عمق‌های مختلف خاک (الف) و روند تغییرات میانگین دمای سالانه هوا برای بازه سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۵۱، ایستگاه همدیدی کرمان.

Figure 2. Trends of annual mean soil temperature depths (a), and annual mean air temperatures for 1951-2009 interval, Kerman synoptic station.

جدول ۲- نتایج سالانه و فصلی روندهای دما در آزمون من- کندال، ضریب اسپیرمن، تحلیل رگرسیون و ضریب پیرسون برای دما هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه همدیدی کرمان برای بازه سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۰۹.

Table 2. Annual and seasonal temperature trends in the Mann-Kendall test, Spearman coefficient, regression analysis and Pearson coefficient for air and soil depths temperatures during 1951-2009 interval in Kerman synoptic station.

نشانه‌های روند دوره‌ها						
Symbols of periods trend						
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالانه	آزمون آماری	پارامتر
Winter	Fall	Summer	Spring	Yearly	Test	Parameter
C	A**	A**	C	A**	Man- Kendall	من - کندال
C	C	C	C	C	Spearman	اسپیرمن
C	A**	C	C	C	Regression	رگرسیون
C	C	C	C	C	Pearson	پیرسون
C	A**	A**	A*	A**	Man- Kendall	من - کندال
C	A*	A**	C	C	Spearman	اسپیرمن
C	A*	A*	C	C	Regression	رگرسیون
C	A	A*	C	C	Pearson	پیرسون
C	A**	A**	C	A*	Man- Kendall	من - کندال
C	A*	A**	C	C	Spearman	اسپیرمن
B*	A*	A*	C	C	Regression	رگرسیون
B*	C	A*	C	C	Pearson	پیرسون
B**	A**	A**	C	A**	Man- Kendall	من - کندال
B**	A**	A**	C	C	Spearman	اسپیرمن
B**	A**	A**	C	C	Regression	رگرسیون
B**	A**	A**	C	C	Pearson	پیرسون
B**	A**	A**	C	A**	Man- Kendall	من - کندال
B**	A**	A**	C	C	Spearman	اسپیرمن
B**	A**	A**	C	C	Regression	رگرسیون
B**	A**	A**	C	C	Pearson	پیرسون
B**	A**	A**	B**	A**	Man- Kendall	من - کندال
B**	A**	A**	B**	C	Spearman	اسپیرمن
B**	A**	A**	B**	C	Regression	رگرسیون
B**	A**	A**	B**	C	Pearson	پیرسون
B**	A**	A**	B**	A**	Man- Kendall	من - کندال
B**	A**	A**	B**	C	Spearman	اسپیرمن
B**	A**	A**	B**	C	Regression	رگرسیون
B**	A**	A**	B**	C	Pearson	پیرسون

** و * به ترتیب نمایشگر معنی‌دار بودن در سطح $P \leq 0.001$ و $P \leq 0.05$ است. A: روند مثبت؛ B: روند منفی؛ C: بی‌روند.

** and * indicate statistics significance at $P \leq 0.001$ and $P \leq 0.05$ levels, respectively. A: positive trend; B: negative trend; C: no trend.

جدول ۳- نتایج ماهانه روندهای دما در آزمون من- کندال، ضریب اسپیرمن، تحلیل رگرسیون و ضریب پیرسون برای دما هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه همدیدی کرمان برای بازه سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۵۱.

Table 3. Monthly temperature trends in the Mann-Kendall test, Spearman coefficient, regression analysis and Pearson coefficient for air and soil depths temperatures during 1951-2009 interval in Kerman synoptic station.

ماه	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مهر	مرداد	شهریور	مهر	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مهر	مرداد	شهریور	مهر	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مهر	مرداد	شهریور	نشانه روند دوره‌ها	Symbol of periods trend	دما و زرفای خاک		
																												من - کندال	اسپیرمن
December	A*	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	من - کندال	Man- Kendall	من - کندال	
November	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	اسپیرمن	Spearman	دمای هوا T _a
October	A*	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	رگرسیون	Regression	رگرسیون
September	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	پیرسون	Pearson	پیرسون
August	A*	A**	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	من - کندال	Man- Kendall	من - کندال
July	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	اسپیرمن	Spearman	دمای خاک (۵ سانتی‌متر) T _s (5 cm)
June	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	رگرسیون	Regression	رگرسیون
May	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	پیرسون	Pearson	پیرسون
April	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	A*	من - کندال	Man- Kendall	من - کندال
March	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	اسپیرمن	Spearman	دمای خاک (۱۰ سانتی‌متر) T _s (10 cm)
February	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	رگرسیون	Regression	رگرسیون
January	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	پیرسون	Pearson	پیرسون
December	C	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	من - کندال	Man- Kendall	من - کندال
November	C	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	اسپیرمن	Spearman	دمای خاک (۲۰ سانتی‌متر) T _s (20 cm)
October	C	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	رگرسیون	Regression	رگرسیون
September	C	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	A**	پیرسون	Pearson	پیرسون

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

دسامبر December	نوامبر November	اکتوبر October	سپتامبر September	اوت August	ژوئیه July	ژوئن June	مئی May	آوریل April	مارس March	فوریه February	ژانویه January	نشانه روند دوره‌ها Symbol of periods trend	دما و ژرفای خاک Temperature and soil depths	
													من - کندال Man- Kendall	اسپیر من Spearman
C	A**	A**	A**	A**	A*	C	C	B*	B**	B**	B*	من - کندال Man- Kendall	دمای خاک (۳۰ سانتی‌متر) T _s (30 cm)	
C	A**	A**	A**	A**	A*	C	C	B*	B**	B**	B**	اسپیر من Spearman	دمای خاک (۳۰ سانتی‌متر) T _s (30 cm)	
A*	A**	A**	A**	A**	A*	C	C	B*	B**	B**	C	رگرسیون Regression	دمای خاک (۳۰ سانتی‌متر) T _s (30 cm)	
A	A**	A**	A**	A**	A	C	C	B*	B**	B**	C	پیرسون Pearson	دمای خاک (۳۰ سانتی‌متر) T _s (30 cm)	
A**	A**	A**	A**	A**	A**	C	C	B**	B**	B**	B**	من - کندال Man- Kendall	دمای خاک (۵۰ سانتی‌متر) T _s (50 cm)	
A*	A**	A**	A**	A**	A**	C	C	B**	B**	B**	B**	اسپیر من Spearman	دمای خاک (۵۰ سانتی‌متر) T _s (50 cm)	
A**	A**	A**	A**	A**	A*	C	C	B**	B**	B**	B*	رگرسیون Regression	دمای خاک (۵۰ سانتی‌متر) T _s (50 cm)	
A**	A**	A**	A**	A**	A**	C	C	B**	B**	B**	B*	پیرسون Pearson	دمای خاک (۵۰ سانتی‌متر) T _s (50 cm)	
A**	A**	A**	A**	A**	A**	B**	B**	B**	B**	B**	B**	من - کندال Man- Kendall	دمای خاک (۱۰۰ سانتی‌متر) T _s (100 cm)	
A**	A**	A**	A**	A**	A**	B**	B**	B**	B**	B**	B**	اسپیر من Spearman	دمای خاک (۱۰۰ سانتی‌متر) T _s (100 cm)	
A**	A**	A**	A**	A**	A*	B**	B**	B**	B**	B**	B*	رگرسیون Regression	دمای خاک (۱۰۰ سانتی‌متر) T _s (100 cm)	
A**	A**	A**	A**	A**	A**	B**	B**	B**	B**	B**	B**	پیرسون Pearson	دمای خاک (۱۰۰ سانتی‌متر) T _s (100 cm)	

** و * indicate statistics significance at $P \leq 0.001$ and $P \leq 0.05$ levels, respectively. A: positive trend; B: negative trend; C: no trend.

*** و ** به ترتیب نمایشگر معنی دار بودن در سطح $P \leq 0.001$ و $P \leq 0.05$ است. A: روند مثبت؛ B: روند منفی؛ C: بی‌روند.

نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های ارائه شده توسط این پژوهش، می‌توان چنین انگاشت که استفاده هم‌زمان و با هم آزمون‌های آماری پارامتری و ناپارامتری باعث می‌شود که هر گونه تغییرات در هر بخشی از سری زمانی مشخص شود و این آزمون‌های آماری و تعیین روند در کنار هم روش‌های مطمئنی برای بررسی تغییرات موجود در یک سری زمانی هستند. بررسی توان این آزمون‌ها مشخص کرد که روش ناپارامتری من-کندال در بین آزمون‌ها دقیق‌تر و مناسب‌تر است. بررسی روندها نشان داد که دمای هوای سالانه و همچنین دمای هوای فصول بهار، تابستان و پاییز دارای روند افزایشی می‌باشند و دمای خاک سالانه و در فصل‌های تابستان و پاییز دارای روند افزایشی می‌باشند در حالی که میانگین بارندگی و ابرناکی دارای روند کاهشی می‌باشند. در مقیاس ماهانه ۷۰ درصد نتایج سری ماهانه دارای روند افزایشی بوده‌اند، اگرچه در بعضی زمان‌ها و روش‌های مورد آزمایش این روندها معنی‌دار نبودند؛ بنابراین با توجه به نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک که نمایشگر تغییر اقلیم است و دمای ژرفای سطحی خاک که نشان‌دهنده

تغییرات کوتاه مقیاس است پس می‌توان نوسانات معنی‌دار در اعماق خاک را نشانه‌های اثر تغییر اقلیم در این منطقه دانست. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده تحول آب و هوا در کرمان است که به‌عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود و شهر کرمان هم‌چون دیگر شهرهای کشور تحت تأثیر این پدیده جهانی قرار گرفته است و این پدیده بر روی دمای خاک منطقه تأثیر چشمگیری داشته است. گرم شدن دمای خاک نیز می‌تواند اثرات منفی بر بخش کشاورزی داشته باشد. افزایش دمای خاک در فصل زمستان برای زنده ماندن حشرات از سرمای زمستان مناسب است و در نهایت موجب بزرگ شدن جمعیت حشرات در فصل رشد خواهد بود. علاوه بر این، دمای خاک و افزایش دمای هوا در زمستان و بهار موجب ذوب شدن برف‌ها در فصل زمستان می‌شود و از این‌رو جریان آب و منابع آب در فصل رشد کاهش پیدا می‌کند؛ بنابراین با مطالعه و تجزیه و تحلیل اثرات متفاوت دمای خاک در کشاورزی می‌توان به توسعه روش‌های متفاوت برای حفظ و بهبود عملکرد محصولات کشاورزی گام برداشت.

منابع

1. Abbasi, A. 2006. Temperature regime, soil depth study of the relationship between air temperature (screen) and the depth of frost in Kurdistan. Master thesis Irrigation and Drainage. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad.
2. Bihamta, M., and Zare Chahooki, M. 2011. Principles of Statistics in Natural Resources, Tehran University Publications. 300p.
3. Bollero, G.A., Bullock, D.G., and Hollinger, S.E. 1996. Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area and plant development. *Agron. J.* 88: 385-390.
4. Bond-Lamberty, B., and Thomson, A. 2010. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature.* 464: 7288. 579-582.
5. De Vries, D.A. 1963. Thermal Properties of Soils, P 5-28. In: Van Wijk, W.R. (ed.), *Physics of Plant Environment*, North-Holland, Amsterdam.
6. Garc'ya-Su'arez, A., and Butler, C. 2006. Soil temperatures at Armagh Observatory, Northern Ireland, from 1904 to 2002. *Inter. J. Climatol.* 26: 8. 1075-1089.
7. Ghahreman, N., and Gharekhani, A. 2010. Trend analysis of mean wind speed in different climatic regions of Iran. *Iran. J. Irrig. Drain.* 1: 4. 31-43.

8. Ghuman, B.S., and Lal, R. 1982. Temperature regime of a tropical soil in relation to surface condition and air temperature and its Fourier analysis. *Soil Sci.* 134: 133-140.
9. Haei, M., Öquist, M.G., Kreyling, J., Ilstedt, U., and Laudon, H. 2013. Winter climate controls soil carbon dynamics during summer in boreal forests. *Environmental Research Letters.* 8: 2.
10. Hemadi, K., and Padidian, P. 2011. Effects of Climate Change on Soil Temperature Profile. Second National Conference on Integrated Water Resources Management. Kerman.
11. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessments Report of Intergovernmental Panel on Climate Change [Core writing team, Pachuari, R.K and Reisinger, A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104p.
12. Jaffari Golestan, M., Raeini Sarjaz, M., and Ahmadi, M.Z. 2008. Estimation of soil depth temperatures using curve analysis and regression models for City of Sari (Iran). *J. Agric. Sci. Natur. Resour. Special issue, Agronomy and plant Breeding* 14: 5. 112-123.
13. Jungqvist, G. 2013. Effect of climate change on soil temperature and snow dynamics in Swedish boreal forests. The master's thesis Swedish university of agriculture sciences. 52p.
14. Kheradmand-Nia, M., and Asakereh, H. 2001. Patterning of ARIMA for annual average temperature in Jask (Iran). 3th Conference of Stochastic Process. Isfahan University. (In Persian)
15. Körner, C., and Paulsen, J. 2004. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Global Change Biology.* 31: 713-732.
16. Modaresi, F., Araghinejad, Sh., and Kholghi, M. 2010. Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin. *J. Water Soil.* 24: 3. 476-489.
17. Najafi Mood, M.H., Alizadeh, A., Mohamadian, M., and Mousavi, J. 2008. Investigation of relationship between air and soil temperature at different depths and estimation of the freezing depth (Case study: Khorasan Razavi), *J. Soil Water (Agricultural Sciences and Technology).* 22: 2. 456-466.
18. Rasuli, A.A. 2002. Modeling of climate parameters in north-west country. Forecasting monthly temperature of Tabriz city (Iran) by ARIMA model. *J. Sociol. Sci.* 8p.
19. Pittock, B. 2003. Climate Change: An Australian Guide to the Science and Potential Impacts. Australian Greenhouse Office, Commonwealth of Australia.
20. Sabziparvar, A., and Shadmani, M. 2011. Trends Analysis of Reference Evapotranspiration Rates by Using the Mann-Kendall and Spearman Tests in Arid Regions of Iran, *J. Water Soil.* 25: 4. 823-834.
21. Sharratt, B.S. 1992. Growing Season Trends in the Alaskan Climate Record, Arctic 45: 124-127. Year Book, 2005-2006, Ministry of Food, Agriculture and Live Stock, Pakistan.
22. Turgay, P., and Ercan, K. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological processes published online in Wiley interscience.
23. Ugalde, D., Brungs, A., Kaebernick, M., McGregor, A., and Slattery, B. 2007. Implications of climate change for tillage practice in Australia. *Soil and Till. Res.* 97: 2. 318-330.
24. Vucetic, V., Jakovic, P., Filic, S., and Derezić, D. 2013. Impact of climate change on soil temperature in Croatia, 2nd International Scientific Conference Soil and Crop Management: Adaptation and Mitigation of Climate Change. Osijek.
25. Weatherhead, E.C., Stevermer, A.J., and Schwartz, B.E. 2002. Detecting environmental changes and trends. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* 27: 6-8. 399-403.
26. World Climate Program. 1988. Analyzing Long Time Series of Hydrological Data with Respect of climate Variability and Change. Weap-3 WMO/TD no.224.
27. Zaree, M. 2011. Data analysis in natural resources research using spss software. Jihad Tehran University Press, 310p.
28. Zheng, D., Raymond Hunt, E., and Running, S.W. 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Clim. Res.* 2: 183-191.

29. Zhang, Y., Chen, W., Smith, S.L., Riseborough, D.W., and Cihlar, J. 2005. Soil temperature in Canada during the twentieth century: Complex responses to atmospheric climate change. *J. Geophys. Res.* 110: D03112. DOI: 10.1029/2004JD004910.
30. Zhang, T., Barry, R.G., Gilichinsky, D., Bykhovets, S.S., Sorokovikov V.A., and Jingping, Y. 2001. An Amplified Signal of Climatic Change in Soil Temperatures during the Last Century at Irkutsk, Russia. *Climatic Change.* 49: 41-76.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(4), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Investigation and detection effects of global warming on soil temperature trends and its estimated regression correlation

S. Golshan¹, *M. Raeini Sarjaz² and R. Norooz Valashedi³

¹M.Sc. Student, Dept. of Agrometeorology, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of

Sari, ²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural

Resources of Sari, ³Ph.D. Student, Dept. of Agrometeorology, Bu-Ali Sina University, Hamedan

Received: 02/01/2014; Accepted: 06/03/2014

Abstract

Background and Objectives: Global warming, due to greenhouse gas increase in the earth atmosphere, caused an increase of about 0.8 °C in global mean air temperature since the early 20th century. The long-term heat energy deposition, both in atmosphere and in soil depths, affect physical and biological processes. Climate change detection statistically is a process which could reveal significant changes that might not be related to natural variations. Long-term thermal energy deposition in soil depths could play an important role in detecting climate change. Thus, the aims of this study were to fill the gaps in soil temperature data and determination of the effect of global warming on long term soil temperature trend.

Materials and Methods: Kerman synoptic station was chosen to collect data for 1951-2009 interval. This station is located at 30° 15' north latitude and 56°58' east longitude with 1754 m above Sea level. The long-term annual mean temperature and mean annual total precipitation are 15.8 °C and 150 mm, respectively. For detection of climate change the long-term annual rainfall and cloudiness, daily air temperatures for 1951-2009 interval and daily soil temperatures at 3, 9 and 15 GMT at different depths (5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm) for 1992-2009 interval were collected. The parametric methods of Pearson and regression techniques, along with nonparametric techniques of Spearman and Mann-Kendall were employed to detect temperature trends.

Results: The results of these study indicated that Mann-Kendall test could reveal soil and air temperature trends more accurately. The mean annual, spring and summer air temperature trends significantly increased ($P \leq 0.01$). The mean annual, summer and autumn soil temperatures also had increasing and significant trends ($P \leq 0.01$). These findings also show significant negative trends in both cloudiness and rainfall ($P \leq 0.05$).

Conclusion: It is concluded that there is a pronounced similarity in Kerman air and soil temperature trends with global temperature trend and soil temperature could be used to detect climate change.

Keywords: Non-Parametric and Parametric Tests, Climate change, Mann-Kendall, Kerman

* Corresponding Author; Email: raeini@yahoo.com