

بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران

مجتبی محمدی^۱، معصومه فروزان فرد^۲

۱- عضو هیات علمی گروه احیاء مناطق خشک و بیابانی، مجتمع آموزش عالی سراوان

۲- کارشناس ارشد مرتعداری، مجتمع آموزش عالی سراوان

چکیده

روند درجه حرارت خاک یکی از مهمترین نشانگرهای تغییر اقلیم می‌باشد که به ندرت به آن پرداخته شده است. لذا در این مطالعه با توجه به اهمیت تغییر اقلیم و تغییرات درجه حرارت خاک مرتبط با گرمایش جهانی از یک سو و نقش و جایگاه درجه حرارت خاک از سویی دیگر، به بررسی روند تغییرات درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) در طول دوره آماری (۲۰۰۸-۱۹۹۴) در سطح ایران پرداخته شد. جهت آشکارسازی و تعیین روند از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده گردید. نتایج بررسی نشان می‌دهد که با افزایش عمق، درجه حرارت سالانه خاک، تا عمق ۲۰ سانتی متری همراه با شیب بیشتر و از این عمق به بعد با شیب ملایمی کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات سالانه درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که درجه حرارت در عمق‌های مختلف خاک و در مکان‌های مختلف دارای روند یکسانی نمی‌باشد. روند تغییرات درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در فصل تابستان و زمستان نشان داد که لایه‌های سطحی و عمقی خاک رفتار متناقضی را نشان می‌دهند، بطوری‌که درجه حرارت در عمق‌های سطحی (۵ تا ۳۰ سانتی‌متری) روند نزولی، و عمق‌های پایین‌تر (۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) روند صعودی دارند. بررسی روند فصل پاییز و بهار نیز نشان داد بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند صعودی می‌باشند. بر اساس نتایج این مطالعه، وجود روند نزولی یا صعودی درجه حرارت در لایه سطحی خاک (۵ سانتی‌متری) را شاید نتوان با قطعیت بیان داشت، اما می‌توان با قطعیت بیان داشت که درجه حرارت سالانه و فصلی در لایه عمیق خاک (۱۰۰ سانتی‌متری) روند صعودی مشهودی داشته است. در ادامه جهت بررسی این موضوع که آیا تغییرات دمای خاک با تغییرات دمای متوسط هوا ارتباط دارد یا نه، به بررسی روند تغییرات درجه حرارت متوسط ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شد. همانطور که انتظار می‌رفت درجه حرارت متوسط ماهانه هوا در دوره آماری مورد مطالعه در مقیاس سالانه و فصلی روند صعودی داشته است. نتایج بررسی سالانه نشان داد که درجه حرارت خاک و درجه حرارت هوا در دو لایه سطحی و عمقی روند مشابهی پیروی نمی‌کنند.

واژگان کلیدی: درجه حرارت خاک، روند، تغییر اقلیم، ایران

مقدمه

و روند درجه حرارت خاک در مناطق مختلف یک امر ضروری می‌باشد.

درجه حرارت خاک به دلیل اینکه همانند دیگر متغیرهای اقلیمی همچون درجه حرارت و بارش در هر مکانی در دسترس و قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد، کمتر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. ژانگ و همکاران (Zhang et al, 2001)، درجه حرارت خاک را در یک دوره آماری طولانی مدت (۱۹۹۰-۱۸۹۰) در Irkutsk روسیه تجزیه و تحلیل نمودند. و دریافتند که درجه حرارت خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متری ۹ درجه سانتی‌گراد در زمستان افزایش یافته است، در حالی که درجه حرارت هوا در حدود ۶-۴ درجه افزایش یافته است. آنها بیان داشتند که ریزش برف در اوایل زمستان (October و November) و ذوب برف در اوایل بهار به دلیل ایجاد عایق و تغییر آلبدو، نقش مهمی در افزایش درجه حرارت خاک داشته است. گراسیا و بوتلر (García-Suárez and Butle, 2006)، نشان دادند که درجه حرارت خاک در سه ایستگاه در ایرلند به میزان ۰٫۲۵-۰٫۴ درجه در دهه در قرن گذشته افزایش یافته است. دو و همکاران (Du et al, 2007) افزایش ۰٫۶۶-۰٫۴ درجه در دهه در میانگین فصلی درجه حرارت خاک در لایه سطحی (تا ۴۰ سانتی‌متری) را در تبت، چین در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ خصوصاً در بهار مشاهده نمودند. آنها همچنین بیان داشتند که روند افزایش درجه حرارت خاک قوی‌تر از درجه حرارت هوا می‌باشد.

با توجه به اهمیت درجه حرارت خاک در عمق‌های سطحی به عنوان منبع تغییرات درجه حرارت عمق‌های عمیق، هیو و فنگ (Hu, and Feng, 2005) چگونگی تأثیر درجه حرارت هوا و بارش بر روی درجه حرارت خاک را در اوروآسیا بر اساس داده‌های ۱۵۳ ایستگاه در روسیه، مغولستان و چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که برخلاف آنچه که انتظار می‌رفت، بین درجه حرارت هوا و خاک در بعضی ایستگاه‌ها ارتباط مستقیمی وجود نداشت. وودبوری و همکاران (Woodbury et al, 2009)، تغییرات دراز مدت درجه حرارت خاک و هوای ۸ ایستگاه را از سال ۱۹۶۰ در غرب کانادا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که یک روند مشهودی در درجه حرارت خاک

دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان و مکان یکی از مهمترین عواملی است که نه تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه میزان و جهت کلیه فرایندهای فیزیکی خاک بطور مستقیم وابسته به دما است (مزیدی و فلاح‌زاده، ۱۳۹۰). علاوه بر آن تبخیر و تعرق، جوانه زنی، تولید و تجزیه مواد مغذی، تهویه خاک، رشد گیاه، فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌های خاک، تابع دمای آن هستند (علوی پناه، ۱۳۸۵; Adrie et al, 2011). همچنین درجه حرارت خاک یکی از فاکتورهای مهم و تأثیر گذار فرایندهای اکولوژیکی و بیوشیمیایی می‌باشد که بر شروع رشد فصلی، تجزیه کربن آلی خاک، و قابلیت استفاده نیتروژن برای گیاهان تأثیر دارد (Oechel et al, 1993; Trumbore et al, 1996; Woodbury et al, 1987). علاوه بر آن، رفتار رژیم درجه حرارت خاک نقش مهم و ویژه‌ایی در انتخاب واریته‌های محصولات زراعی و مدیریت مزرعه دارد (Ping et al, 1987).

از طرف دیگر، تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های جامعه امروزی می‌باشد. بیشتر گزارش‌های روند گرمایشی بر پایه افزایش روند درجه حرارت استوار می‌باشند (Tretkoff et al, 2011). و همچنین بیشتر داده‌های اقلیمی ثبت شده و سناریوهای تغییر اقلیم مدل‌های اقلیمی همچون GCMs برای شرایط اتمسفری می‌باشند (Zhang and Chen, 2005). اما باید توجه داشت که روند درجه حرارت خاک یکی از مهمترین نشانگرهای تغییر اقلیم می‌باشد که به ندرت به آن پرداخته شده است (Qian et al, 2011). تغییرات در درجه حرارت خاک مرتبط با گرمایش اقلیمی ممکن است منجر به ذوب شدن سطوح یخ زده، تغییر در شرایط و رفتار هیدرولوژیکی سیستم، تغییر میزان پراکنش و رشد گیاهان، افزایش میزان تجزیه کربن آلی خاک و افزایش انتشار CO₂ از خاک به اتمسفر گردد (Trumbore et al, 1996; Oechel et al, 1993; Nelson et al, 2001; Goulden et al, 1998; Nelson, 2003). این اثرات پیامدهای مهم منطقه‌ایی و جهانی خواهند داشت. بنابراین داشتن درک درستی از رفتار

ماهانه دمای خاک نسبت به زمان، موجی شکل است و هرچه عمق خاک بیشتر می‌شود دامنه تغییرات دما به طور نمایی کاهش می‌یابد.

نجفی‌مود و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی رابطه دمای هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) و برآورد عمق یخبندان در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان خراسان رضوی در سال ۱۳۸۶ پرداختند. نتایج مطالعه آنها منجر به ارائه یک معادله درجه دوم به ازای هر عمق خاک گردید. نتایج ضرایب همبستگی مطالعه ایشان نشان داد که این معادله برای عمق ۱۰۰ سانتی-متری خاک غیرقابل قبول، اما برای سایر عمق‌ها مناسب و قابل قبول می‌باشد.

سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۸۹) به برآورد میانگین روزانه دمای خاک در هشت ایستگاه منتخب هواشناسی (ساری، رشت، تبریز، ارومیه، اصفهان، شیراز، زاهدان و یزد) با استفاده از داده‌های هواشناسی در یک دوره ده ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۶) پرداختند و روابط تجربی جهت تخمین دمای روزانه خاک در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری را برای چهار اقلیم متفاوت ارائه نمودند.

قائم‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) به شبیه‌سازی تغییرات دمای عمق‌های مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) و بررسی عامل‌های جوی تاثیرگذار بر آن در ایستگاه سینوپتیک یزد در سال ۱۳۸۵ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بین عامل‌های جوی بارش، درجه حرارت هوا و ساعات آفتابی رابطه معنی‌دار وجود دارد. همچنین بیان داشتند که معادلات سینوسی قابلیت و بازدهی مناسب در پیشگویی تغییرات دمایی عمق‌های مختلف خاک را دارد.

مزیدی و فلاح زاده (۱۳۹۰) به بررسی روند دمای عمق‌های خاک در ایستگاه یزد پرداختند. بدین منظور داده‌های روزانه دمای خاک ایستگاه سینوپتیک یزد در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح زمین در ساعات ۰۳، ۰۹ و ۱۵ گرینویچ در یک دوره آماری ۵ ساله (۱۳۸۴-۱۳۸۰) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین دامنه نوسان روزانه‌ی دما در لایه‌های نزدیک سطح زمین (عمق ۵ سانتی‌متری) در ساعت ۶/۵ صبح و در فروردین ماه می‌باشد.

وجود ندارد، هرچند که درجه حرارت هوا در همه ایستگاه‌ها روند صعودی معنی‌داری داشته است. آنها بیان داشتند که روند افزایشی درجه حرارت هوا بوسیله ذوب شدگی برف و گرمای نهان در زمستان و بهار تعدیل شده است. کوئین و همکاران (Qian et al, 2011) به بررسی روند تغییرات درجه حرارت خاک در ارتباط با تغییر اقلیم در کانادا پرداختند. آنها یک روند صعودی معنی‌دار برای درجه حرارت خاک در فصل‌های بهار و تابستان مشاهده نمودند. یسیلمارک (Yesilirmark, 2014) به بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در حوزه بویوک مندرس ترکیه در مقیاس‌های فصلی و سالانه پرداخت. نتایج نشان داد که درجه حرارت خاک در همه عمق‌های مورد مطالعه و در همه فصول افزایش داشته است. بطوری که بیشتر افزایش در فصل تابستان و خصوصاً در لایه‌های سطحی (۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) مشاهده گردیده است. اسویلیچ و وچتیک (Svilicic and Vucetic, 2015) به بررسی تغییرات فصلی و سالانه درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در کرواسی با استفاده از آزمون من‌کنندال و آزمون سنس پرداختند. نتایج نشان داد که در نواحی شرقی و ساحلی درجه حرارت لایه سطحی بویژه در فصول بهار و تابستان افزایش یافته است.

در ایران مطالعات بررسی روند تغییر اقلیم بر روی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی بصورت جداگانه در سطح منطقه‌ای و ملی صورت گرفته است. اما کمتر به بررسی روند تغییرات درجه حرارت آنها در عمق‌های مختلف خاک پرداخته شده است. در این رابطه تنها می‌توان به مطالعه مزیدی و فلاح زاده (۱۳۹۰) که به بررسی روند دمای عمق‌های خاک در ایستگاه یزد پرداخته‌اند اشاره نمود. و تاکنون مطالعه‌ای در سطح کشور صورت نگرفته است. اما پیرامون بحث درجه حرارت خاک مطالعاتی اندک در سال‌های اخیر صورت گرفته است که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

بهیار و همکاران (۱۳۸۰) در پژوهشی به منظور پیش-بینی دمای حداقل خاک و روش‌های مبارزه با یخبندان در استان چهارمحال و بختیاری اقدام به بررسی دمای عمق‌های خاک در این استان نمودند. نتایج نشان داد که تغییرات

درجه شمالی قرار گرفته است. حدود ۹۴/۸ درصد از سطح آن، در مناطق خشک و نیمه خشک با بارش‌های جوی کم و تبخیر و تعرق زیاد قرار دارد. میانگین بارش سالانه ایران در حدود ۲۴۱ میلی‌متر می‌باشد و فقط ۸ درصد از مساحت ایران بارشی بیش از ۵۰۰ میلی‌متر در سال دریافت می‌نماید. بیش از نیمی از بارش سالانه نیز در فصل زمستان رخ می‌دهد. ضریب تغییرات بارش ایران از ۱۸ درصد در شمال تا ۷۵ درصد در جنوب متغیر است (دین‌پژوه و همکاران، ۲۰۰۴).

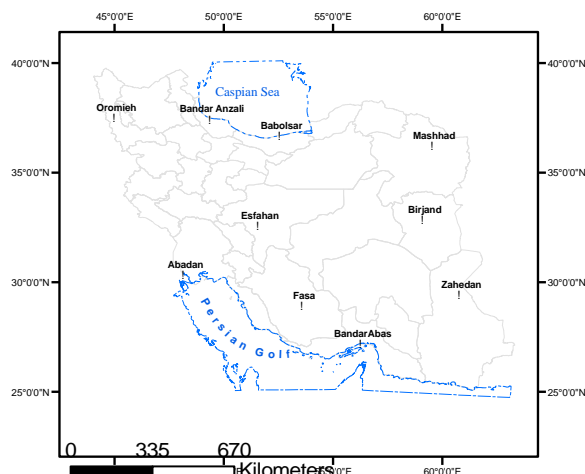
در این مطالعه جهت بررسی روند تغییرات درجه حرارت خاک، تعداد ۱۰ ایستگاه در اقلیم‌ها و خصوصیات توپوگرافی مختلف با ۱۵ سال داده در طول دوره آماری (۱۹۹۴-۲۰۰۸) و عمق‌های مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری) از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌ها و جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

از بررسی و مرور تحقیقات انجام شده در زمینه درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در ایران مشخص می‌گردد که تحقیقات اندکی در زمینه روند تغییرات دمای عمق‌های مختلف خاک در ایران پرداخته شده است. که باتوجه به اهمیت تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و نقش و جایگاه درجه حرارت خاک، در این مطالعه به بررسی روند تغییرات درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) در طول دوره آماری (۲۰۰۸-۱۹۹۴) در سطح ایران پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران با وسعتی حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع و متوسط بارش سالانه ۲۴۱ میلی‌متر در نیم‌کره شمالی، در قاره آسیا و در قسمت غربی فلات ایران واقع شده است. این کشور بین دو نصف‌النهار ۲۴ و ۶۴ درجه شرقی و دو مدار ۲۵ و ۴۰



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در ایران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

سرعت باد (متر بر ثانیه)	رطوبت سالانه (درصد)	دمای سالانه (درجه سانتی گراد)	Elevation (m)	Longitude (E)	Latitude (N)	ایستگاه
۱/۴	۸۲/۴	۱۷	-۲۱	۵۲/۶۵	۳۶/۷۲	نابلس
۲	۸۴/۵	۱۶/۱	-۲۶/۲	۴۹/۴۷	۳۷/۴۷	بندر انزلی
۲/۹	۶۵/۹	۲۶/۸	۱۰	۵۶/۳۷	۲۷/۲۲	بندرعباس
۳/۳	۴۶	۲۵/۴	۶/۶	۴۸/۲۵	۳۰/۳۷	آبادان
۳/۳۴	۳۳	۱۸/۴	۱۳۷۰	۶۰/۸۸	۲۹/۴۷	زاهدان
۱/۵	۳۹/۵	۲۰/۲	۱۲۸۸/۳	۵۳/۶۸	۲۸/۹۷	فسا
۲/۵	۳۵/۵	۱۶/۲	۱۴۹۱	۵۹/۲۰	۳۲/۸۷	بیرجند
۱/۹	۵۵/۲	۱۴/۲	۹۹۹/۲	۵۹/۶۳	۳۶/۲۷	مشهد
۱/۶	۶۰/۷	۱۰/۹	۱۳۱۵/۹	۴۵/۰۸	۳۷/۵۳	ارومیه
۱/۷	۳۸/۲	۱۶/۴	۱۵۵۰/۴	۵۱/۶۷	۳۲/۶۲	اصفهان

آزمون من - کندال Mann - Kendall

آزمون من - کندال یکی از بهترین روش‌های آشکارسازی و تعیین روند داده‌هاست که محققین زیادی از این روش برای تشخیص روند پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی استفاده نموده‌اند. در حقیقت این روش برای اولین بار توسط من در سال ۱۹۴۵ استفاده شد (Mann, 1945) و کندال (Kendall, 1975) توزیع آماری این آزمون را بدست آورد.

آزمون ناپارامتریک من-کندال بر خلاف آزمون‌های پارامتریک همچون t-test، تابع توزیع مشخصی را برای سری داده‌ها فرض نمی‌کند این درحالی است که قدرت تشخیص آن نیز به اندازه آزمون‌های پارامتریک است (Sokolov and Chapman, 1974). به همین دلیل سازمان هواشناسی جهانی آزمون من-کندال را برای بررسی و تشخیص روند در سری‌های زمانی اکیداً توصیه می‌کند (Mimikou et al, 2000).

در این روش داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده با تمام داده‌های بعد از خود مقایسه می‌شود. مراحل انجام این آزمون به ترتیب زیر است:

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j)$$

$$\text{sign}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases}$$

برای متغیرهای تصادفی مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون گره (دو یا چند داده با مقادیر عددی مساوی که در یک سری مرتب شده به دنبال هم قرار می‌گیرند) میانگین و واریانس S به صورت زیر است:

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} = \sigma^2$$

اگر در سری داده‌ها گره وجود داشته باشد، مقدار واریانس از رابطه‌ی زیر محاسبه خواهد شد:

$$S = \frac{n(n-1)(2n-5) \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i-5)}{18}$$

به گونه‌ای که t_i تعداد گره با ظرفیت i را نشان می‌دهد. برای مثال اگر در یک سری داده، فقط دو عدد با مقادیر مساوی وجود داشته باشد، یک گره با ظرفیت دو ($t_2=1$) خواهیم داشت.

اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد، S از توزیع نرمال تبعیت خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (Z) بصورت زیر خواهد بود:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۸})$$

بنابراین در یک آزمون دوطرفه برای تشخیص روند در سطح اعتماد α فرض صفر رد خواهد شد، اگر مقدار ZS بزرگتر یا مساوی Z جدول باشد.

برای بررسی روند سری‌ها، چنانچه مقادیر مطلق Z به دست آمده از آزمون من-کندال از عدد ۱/۹۶ بزرگتر باشد، آنگاه روند سری‌ها در سطح ۹۵ درصد معنی دار خواهد بود و چنانچه از عدد ۲/۵۶ بزرگتر باشد، آنگاه در سطح ۹۹ درصد معنی دار خواهد بود.

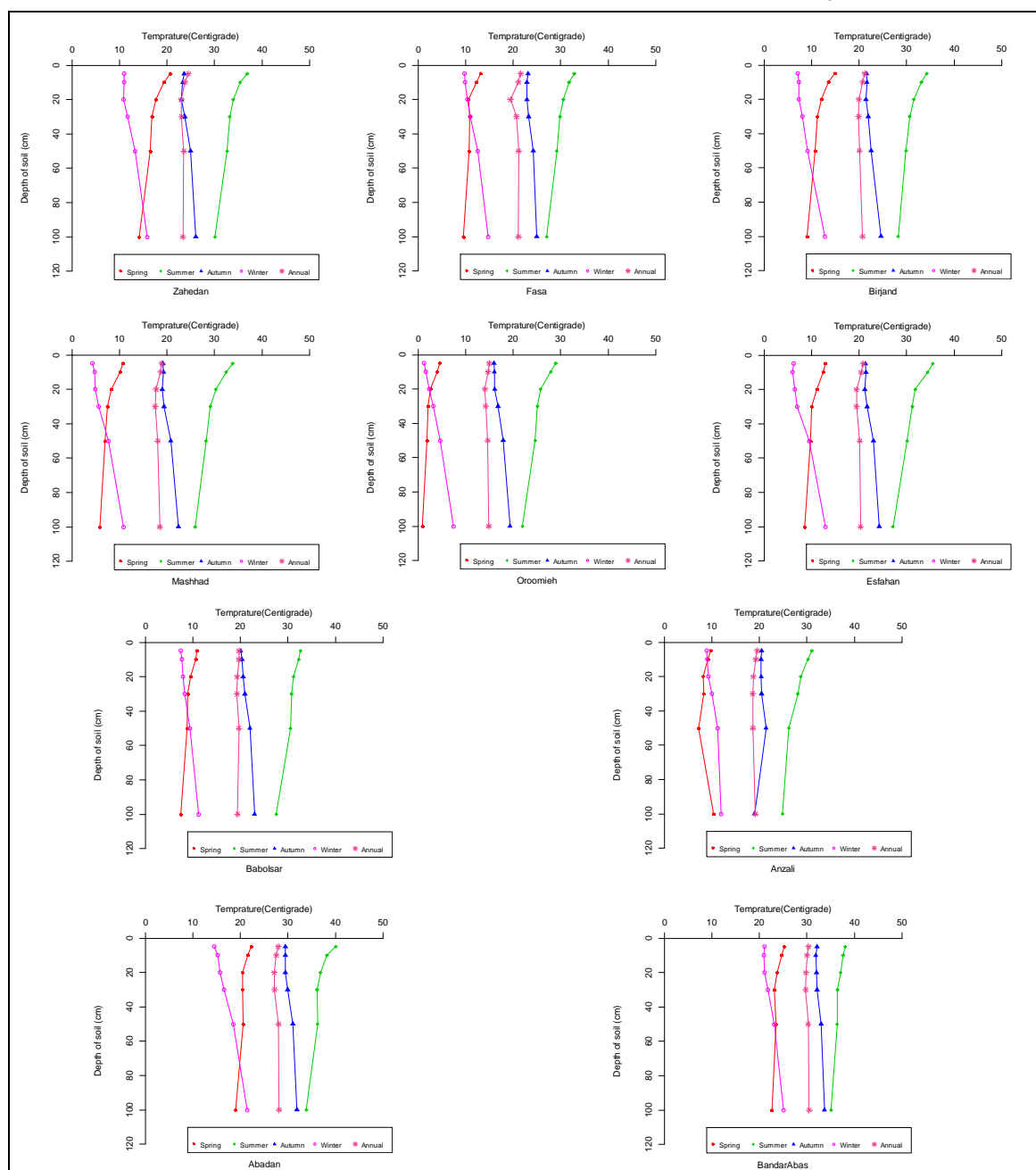
لازم بذکر است که تمامی تجزیه تحلیل‌های آماری و ترسیم گراف‌ها در این مطالعه در محیط آماری و برنامه نویسی R انجام گرفته است.

نتایج

انتقال گرما و اقلیم حرارتی خاک توسط چهار عامل حرارتی کنترل می‌شود که شامل قابلیت هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی، قابلیت انتشار و پذیرش حرارتی می‌باشد (کاویانی، ۱۳۸۰). با گرم شدن سطح زمین، موج گرمایی پس از مدت زمانی نسبتاً زیاد به قشرهای عمیق‌تر سطح زمین نفوذ می‌کند. معمولاً تغییرات دما در خاک به صورت تصاعد هندسی است. مثلاً در عمق ۱۲ سانتیمتری دما به نصف و در عمق ۲۴ سانتیمتری به یک چهارم می‌رسد (مزیدی و فلاح‌زاده، ۱۳۹۰). برای بررسی این امر در ایستگاه‌های مورد مطالعه نمودارهای تغییرات سالانه، و فصلی دما در عمق‌های مختلف (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) خاک تهیه و مورد پردازش قرار گرفت (شکل ۲). نتایج بررسی نشان می‌دهد که با افزایش عمق،

افزایش عمق، تا عمق ۲۰ سانتی متری همراه با شیب بیشتر و از این عمق به بعد با شیب ملایمی کاهش می‌یابد. نکته قابل تامل آن است که در تمامی ایستگاه‌ها با افزایش عمق دمای زمستان افزایش یافته است. این افزایش در ایستگاه‌های حاشیه دریای خزر (انزلی، بابلسر) دارای شیب ملایم‌تری نسبت به ایستگاه‌های دیگر می‌باشد.

درجه حرارت سالانه و فصول بهار و تابستان خاک کاهش یافته است. بطوری که این کاهش در مناطق مختلف با شدت‌های متفاوتی می‌باشد، در فصل بهار فقط در ایستگاه انزلی از عمق ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی متری افزایش دما مشاهده می‌شود. کاهش درجه حرارت سالانه خاک با افزایش عمق در ایستگاه‌های حاشیه دریای خزر (انزلی، بابلسر) و خلیج فارس (بندرعباس، آبادان) با شیب ملایم‌تری می‌باشد. در بقیه ایستگاه‌ها نیز کاهش درجه حرارت سالانه خاک با



شکل ۲- نمودارهای تغییرات سالانه و فصلی دما در عمق‌های مختلف (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری) خاک

بابلسر دارای روند صعودی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، و در بقیه ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد. ایستگاه‌های مختلف دارای روند یکسانی در عمق ۲۰ سانتی متری خاک نمی‌باشند، هرچند که روند مشاهده شده در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. در عمق ۳۰ سانتی متری خاک، ایستگاه بابلسر دارای روند صعودی و آبادان دارای روند نزولی در سطح ۹۵ درصد می‌باشند. بیشتر ایستگاه‌ها در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری خاک دارای روند صعودی می‌باشند، بطوری‌که ایستگاه‌های بندرانزلی، آبادان و بیرجند دارای روند صعودی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد می‌باشند (جدول ۲).

نتایج بررسی روند سالانه و فصلی درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات سالانه درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که درجه حرارت در عمق‌های مختلف خاک و در مکان‌های مختلف دارای روند یکسانی نمی‌باشند. درجه حرارت در عمق ۵ سانتی متری خاک در ایستگاه بابلسر دارای روند صعودی و در ایستگاه بندرانزلی دارای روند نزولی به ترتیب در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد می‌باشد، و در بقیه ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد. روند درجه حرارت در عمق ۱۰ سانتی متری خاک نیز در ایستگاه

جدول ۲- مقادیر پارامتر Z سالانه و فصلی درجه حرارت خاک در عمق‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه

۱۰۰ cm	۵۰ cm	۳۰ cm	۲۰ cm	۱۰ cm	۵ cm	سالانه
۲/۰۳*	۲/۱۳*	-۱/۲۹	-۱/۴۴	-۱/۴۸	-۲/۲۸*	بندرانزلی
-۱/۶۰	-۱/۴۸	۲/۰۸*	۱/۴۸	۱/۹۸*	۲/۷۷**	بابلسر
۱/۲۹	۱/۲۹	۱/۱۹	۰/۷۹	۰/۸۹	۰/۹۴	بندرعباس
۲/۱۸*	۲/۲۸*	-۲/۰۳	-۱/۳۹	۰/۷۹	-۰/۱۵	آبادان
۱/۱۴	۱/۱۴	-۰/۶۹	-۰/۷۴	-۱/۲۹	-۱/۲۹	زاهدان
۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۹۹	فسا
۲/۰۹*	۲/۱۹*	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۶۹	بیرجند
۱/۴۷	۱/۵۸	۱/۱۹	۱/۲۹	۰/۳	۰/۲	مشهد
-۱/۰۷	-۰/۹۹	-۱/۱۹	-۱/۰۹	-۱/۵۸	۰/۳	ارومیه
-۱/۸	-۱/۵۸	-۰/۳۸	-۰/۴۹	۰/۰	-۰/۶	اصفهان
						بهار
-۲/۲۸*	-۰/۷۹	-۱/۰۴	-۰/۷۹	-۰/۹۴	-۱/۳۴	بندرانزلی
۰/۷۴	۰/۶۹	۱/۸۸	۰/۸۴	۱/۶۸	۱/۷۸	بابلسر
۱/۲۹	۱/۷۸	۱/۸۸	۱/۶۴	۰/۹۴	۱/۲۹	بندرعباس
۲/۴۷*	۰/۵۹	-۲/۰۳*	-۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۶۹	آبادان
۰/۶۹	۰/۰۵	۱/۵۴	۰/۸۹	۰/۴۹	۰/۳۰	زاهدان
۲/۶۳**	۱/۸۱	۱/۴۲	۱/۱۶	۲/۰۸*	۱/۶۴	فسا
۰/۹۹	۰/۶۹	۱/۳۳	۱/۴۸	۱/۵۸	۲/۰۸*	بیرجند
۲/۰۸*	۲/۴۷**	۲/۵۸**	۱/۴۴	۱/۳۹	۱/۱۹	مشهد
۰/۰	۱/۰۹	۰/۹۹	۰/۵۹	-۰/۱۰	۱/۶۸	ارومیه
۰/۳۸	۰/۶۹	-۰/۲۷	-۰/۳۷	۰/۴۴	-۰/۶۹	اصفهان
						تابستان
-۳/۰۷**	-۱/۵۸	-۲/۲۵*	-۱/۲۴	-۰/۷۹	-۲/۳۳*	بندرانزلی
۱/۰۹	-۱/۴۸	۲/۲۸*	۲/۱۸*	۲/۰۳*	۲/۳۸*	بابلسر
۱/۲۴	۱/۷۸	۰/۳۵	-۰/۸۹	-۱/۳۹	-۰/۹۴	بندرعباس
۲/۶۳**	۰/۸۵	-۱/۹۳	-۱/۵۸	۰/۵۵	-۱/۴۸	آبادان
-۲/۶۳**	-۲/۴۷*	-۲/۳۸*	-۳/۶۶**	-۳/۴۶**	-۳/۳۲**	زاهدان
۲/۴۱*	-۰/۳۸	-۱/۰۹	-۱/۵۸	-۰/۲۷	-۰/۴۹	فسا
۰/۸۴	-۱/۴۸	۰/۲۰	۰/۰	-۰/۶۹	-۰/۲۵	بیرجند
۱/۷۹	۱/۲۹	-۰/۱۰	-۰/۸۹	-۰/۷۹	-۱/۳۹	مشهد
۰/۰	۱/۱۹	۱/۱۹	۰/۸۹	-۰/۴۹	۱/۴۸	ارومیه
۰/۷۸	-۱/۴۸	-۱/۲۶	-۰/۸۲	۰/۴۴	-۲/۳۶*	اصفهان
						پاییز
۱/۰۴	-۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۲	-۰/۴۲	-۰/۳۰	بندرانزلی
۳/۲۱**	۰/۹۵	۲/۰۳*	۱/۷۸	۱/۱۵*	۲/۲۸*	بابلسر

بندرعباس	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۹	۰/۲	۰/۸۹	۰/۴
آبادان	۰/۹۴	۰/۸۲	۱/۴۸	۰/۴۹	۱/۳۹	۳/۴۶**
زاهدان	-۱/۰۹	-۱/۲۱	-۰/۳۰	-۱/۲۴	-۰/۴	-۱/۴۸
فسا	۰/۱۱	-۰/۰۱	-۰/۴۸	۰/۱۱	۱/۷۵	۱/۷۵
بیرجند	۰/۴	۰/۲۷	-۰/۴۵	-۰/۱	۰/۹۴	۰/۶۹
مشهد	۱/۲۹	۱/۱۶	۱/۸۸	۰/۷۴	-۰/۵	۰/۵۹
ارومیه	۰/۱	-۰/۰۲	-۰/۹۹	-۱/۱۴	-۰/۴	-۰/۹۹
اصفهان	-۰/۳۸	-۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۹۴	۱/۵۴
زمستان						
بندر انزلی	-۰/۵۹	-۱/۴۸	-۱/۴۴	-۱/۲۹	-۱/۴۸	-۱/۴۸
بابلسر	-۰/۳۰	۱/۹۸*	۱/۴۸	۲/۰۸*	۲/۲۸*	۲/۲۸*
بندرعباس	۰/۳۰	۰/۳	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۱۰	-۰/۲۰
آبادان	-۲/۲۳	-۰/۷۹	-۱/۳۹	-۲/۰۳*	۲/۱۳*	۲/۱۳*
زاهدان	-۱/۱۹	-۱/۲۹	-۰/۷۴	-۰/۶۹	-۱/۵۸	-۱/۵۸
فسا	-۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۳۳	۰/۳۳	۲/۱۹*	۲/۱۹*
بیرجند	-۱/۰۹	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۲۰	۱/۱۴	۱/۱۴
مشهد	-۰/۴۰	۰/۳۰	۱/۲۹	۱/۱۹	۱/۵۸	۱/۵۸
ارومیه	-۳/۲۷**	-۱/۵۸	-۱/۰۹	-۱/۱۹	-۰/۹۹	-۰/۹۹
اصفهان	-۱/۰۴	۰/۰۰	-۰/۴۹	-۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸

* سطح احتمال ۹۵ درصد ** سطح احتمال ۹۹ درصد

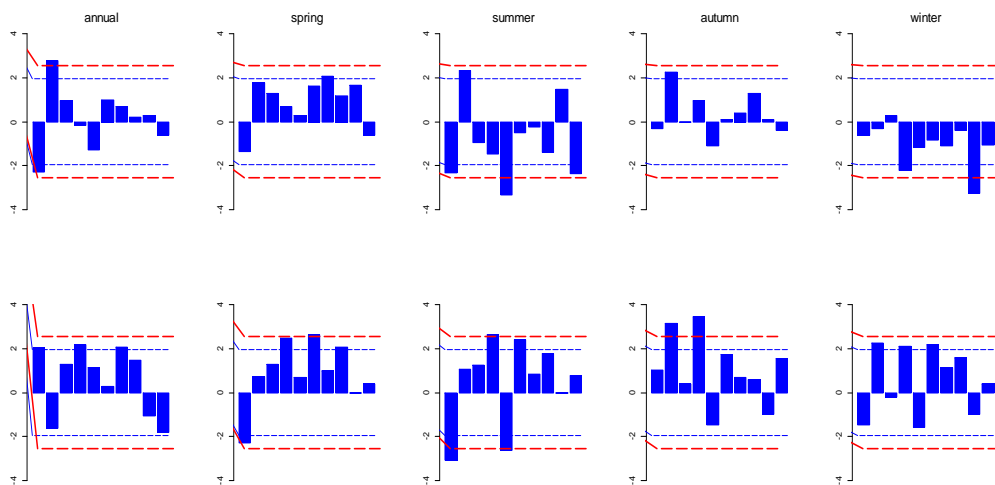
زاهدان با روند نزولی در سطح ۹۹ درصد دارای روند صعودی در سطوح معنی داری مختلف می‌باشند (جدول ۲). بررسی روند فصل پاییز نیز نشان داد که بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند صعودی می‌باشند، هرچند که این روند در بیشتر ایستگاه‌ها در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار نمی‌باشند. ایستگاه بابلسر در تمامی عمق‌های خاک دارای روند صعودی می‌باشد، بطوری که در عمق‌های ۵، ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری در سطح ۹۵ درصد و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در سطح ۹۹ درصد می‌باشند. ایستگاه زاهدان در تمامی عمق‌های خاک دارای روند نزولی می‌باشد. ایستگاه آبادان نیز در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک دارای روند صعودی در سطح ۹۹ درصد می‌باشد (جدول ۲). در فصل زمستان در تمامی ایستگاه‌ها به جزء بندرعباس روند مشاهده شده درجه حرارت خاک در عمق ۵ سانتی‌متری خاک، نزولی می‌باشند. در مقابل، در عمق‌های پایین‌تر (۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) روند مشاهده شده در بیشتر ایستگاه‌ها صعودی می‌باشد. بطوری که ایستگاه‌های بابلسر، آبادان و فسا دارای روند صعودی در سطح ۹۵ درصد می‌باشند. ایستگاه‌های بندر انزلی، زاهدان و ارومیه در تمامی عمق‌های مختلف خاک دارای روند نزولی می‌باشند (جدول ۲).

بررسی روند فصل بهار درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه‌ها نشان داد که بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند صعودی می‌باشند. تنها ایستگاه بندرانزلی در تمامی عمق‌های خاک روند نزولی را نشان می‌دهد، بطوری که در لایه ۱۰۰ سانتی‌متری دارای روند نزولی در سطح ۹۵ درصد می‌باشد. در لایه ۵ سانتی‌متری خاک ایستگاه بیرجند و در لایه ۱۰ سانتی‌متری، ایستگاه فسا روند صعودی در سطح ۹۵ درصد مشاهده شد. در لایه ۲۰ سانتی‌متری خاک در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها روند معنی داری مشاهده نگردید. در عمق ۳۰ سانتی‌متری، ایستگاه آبادان روند نزولی در سطح ۹۵ درصد و ایستگاه مشهد روند صعودی در سطح ۹۹ درصد را نشان می‌دهد. در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک تمامی ایستگاه‌ها به جزء بندرانزلی (روند نزولی در سطح ۹۵ درصد) دارای روند صعودی می‌باشند (جدول ۲).

بررسی روند تغییرات درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در فصل تابستان نشان داد که درجه حرارت عمق‌های سطحی (۵ تا ۳۰ سانتی‌متری) در بیشتر ایستگاه‌ها (به‌جز بابلسر با روند صعودی در سطح ۹۵ درصد)، روند نزولی در سطوح معنی داری مختلف داشته‌اند. بطوری که ایستگاه زاهدان روند نزولی در سطح ۹۹ درصد دارد. اما عمق‌های پایین‌تر (۱۰۰ سانتی‌متر) رفتاری متفاوت و برعکس را نشان می‌دهند بطوری که تمامی ایستگاه‌ها (به‌جز بندرانزلی و

دارای روند نزولی و لایه عمقی دارای روند صعودی می‌باشند. بنابراین با توجه به شکل (۳) هرچند روند نزولی درجه حرارت در لایه سطحی خاک (۵ سانتی‌متری) را نمی‌توان با قطعیت بیان نمود، اما می‌توان بیان داشت که درجه حرارت سالانه و فصلی خاک در لایه عمیق خاک (۱۰۰ سانتی‌متری) روند صعودی داشته است. به عبارت دیگر می‌توان بیان داشت که در طول دوره زمانی انباشتگی انرژی گرمایی در لایه‌های عمیق‌تر خاک اتفاق افتاده است.

نتایج بررسی روند درجه حرارت فصلی و سالانه خاک در دو عمق ۵ سانتی‌متری به عنوان لایه سطحی و عمق ۱۰۰ سانتی‌متری به عنوان لایه عمیق نشان داد که این دو لایه رفتار متفاوتی نسبت به تغییرات روند سالانه و فصلی نشان می‌دهند. بطوری‌که لایه عمیق خاک (۱۰۰ سانتی‌متر) دارای روند صعودی نسبت به لایه سطحی خاک (۵ سانتی‌متری) است. این تفاوت در فصل زمستان مشهودتر می‌باشد، بطوری‌که در این فصل لایه سطحی در بیشتر ایستگاه‌ها



شکل ۳- نمودار مقادیر پارامتر Z سالانه و فصلی لایه سطحی (ردیف بالایی) و لایه عمقی (ردیف پایینی)

سطح ۹۵ درصد می‌باشند. نکته قابل توجه آن هست که بیشتر ایستگاه‌ها در فصل زمستان دارای روند نزولی درجه حرارت می‌باشند. تنها ایستگاه زاهدان روند صعودی مشهودی را نشان می‌دهد. همچنین ایستگاه ارومیه در بین ایستگاه‌ها دارای روند نزولی در سطح ۹۵ درصد می‌باشد (جدول ۳).

در ادامه جهت بررسی و آشکارسازی ارتباط روند تغییرات درجه حرارت خاک با درجه حرارت هوا به بررسی روند این پارامتر اقلیمی در مقیاس سالانه و فصلی در دوره آماری مورد مطالعه پرداخته شد. همانطور که انتظار می‌رفت درجه حرارت هوا در دوره آماری مورد مطالعه در مقیاس سالانه و فصلی (به‌جز زمستان) دارای روند صعودی می‌باشد. بیشتر ایستگاه‌ها در فصل بهار دارای روند صعودی در

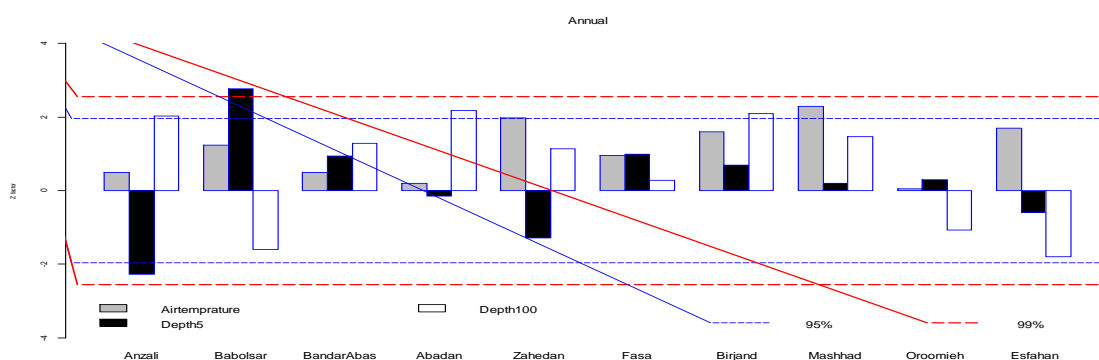
جدول ۳- مقادیر پارامتر Z فصل زمستان، دمای متوسط هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه

زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالانه	
-۰/۱۰	۲/۲۴*	۰/۷۴	۰/۱	۰/۵	بندر انزلی
۰/۰۰	-۲/۸۷**	۰/۷۴	۰/۹۰	۱/۲۴	بابلسر
-۰/۰۵	۱/۵۹	-۰/۰۵	-۲/۱۳*	۰/۵۰	بندرعباس
-۱/۰۴	۰/۸۹	۱/۰۰	۲/۰۸*	۰/۲۰	آبادان
۱/۲۴	۱/۷۹	۱/۲۴	۲/۷۸**	۱/۹۸*	زاهدان
-۱/۱۴	۱/۸۹	۱/۱۴	۲/۲۸*	۰/۹۵	فسا

بیرجند	۱/۵۹	۲/۰۸*	۰/۰۰	۱/۴۹	-۰/۲۵
مشهد	۲/۲۹*	۲/۰۳*	۰/۶۵	۱/۱۹	۰/۰۰
ارومیه	۰/۰۵	۱/۲۴	۱/۴۴	۰/۵۹	-۲/۳۸**
اصفهان	۱/۷۰	۱/۳۹	۱/۱۹	۱/۱۴	۰/۰۰

هوای و درجه حرارت عمق‌های خاک روند مشابهی را نشان نمی‌دهند بطوری که در بعضی ایستگاه‌ها حتی دارای روند متضادی می‌باشند. تنها می‌توان بیان داشت که در ایستگاه فسا بین درجه حرارت هوا و درجه حرارت لایه سطحی خاک ارتباط قابل مشهودی وجود دارد (شکل ۴).

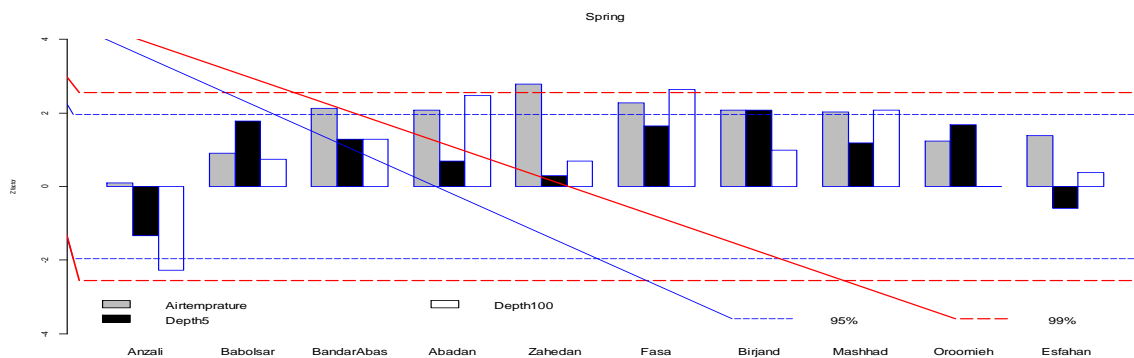
در ادامه عمق ۵ سانتی متری به عنوان لایه سطحی و عمق ۱۰۰ سانتی متری به عنوان لایه عمقی انتخاب گردید و سپس به بررسی ارتباط درجه حرارت هوا با درجه حرارت خاک دو لایه سطحی و عمقی در مقیاس سالانه و فصلی پرداخته شد. نتایج بررسی سالانه نشان داد که درجه حرارت



شکل ۴- نمودار مقادیر پارامتر Z سالانه حرارت هوا لایه‌های سطحی و عمقی خاک

می‌باشند. بهر حال آنچه از شکل (۴) می‌توان برداشت نمود نشان دهنده آن است که در بیشتر مناطق در فصل بهار درجه حرارت عمق‌های خاک تابع درجه حرارت هوا می‌باشد. هرچند که در بیشتر ایستگاه‌ها لایه عمقی همبستگی بیشتر با دمای هوا نسبت به لایه سطحی دارد.

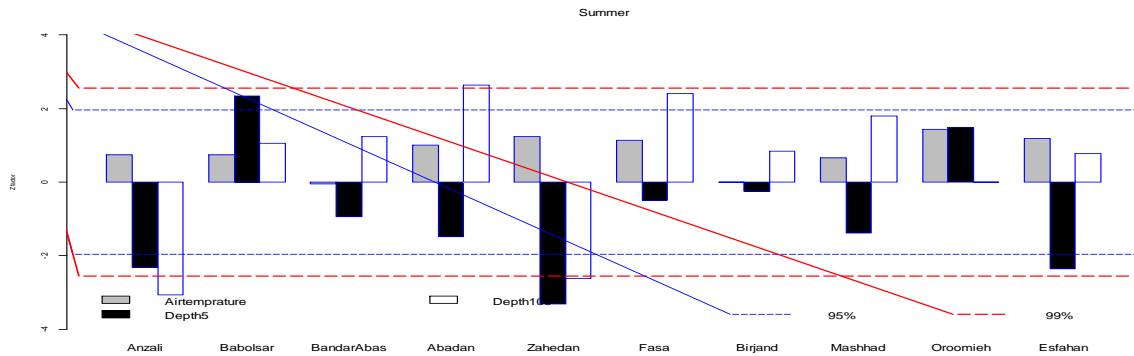
بررسی نتایج فصل بهار نشان داد که در این فصل در بیشتر ایستگاه‌ها درجه حرارت هوا و درجه حرارت عمق-های خاک دارای روند مشابهی می‌باشند. هرچند در ایستگاه بندر انزلی روند درجه حرارت با درجه حرارت خاک در هر دو عمق، و در ایستگاه اصفهان در عمق سطحی کاملاً متضاد



شکل ۴- نمودار مقادیر پارامتر Z فصل بهار حرارت هوا لایه‌های سطحی و عمقی خاک

تنها در ایستگاه بندر انزلی و زاهدان رابطه متضادی بین دمای هوا و درجه حرارت لایه عمقی خاک وجود دارد و در بقیه ایستگاه‌ها از روند مشابهی پیروی می‌کنند. هرچند که این همسویی در بعضی ایستگاه‌ها قوی و در بعضی ایستگاه‌ها ضعیف می‌باشد (شکل ۵).

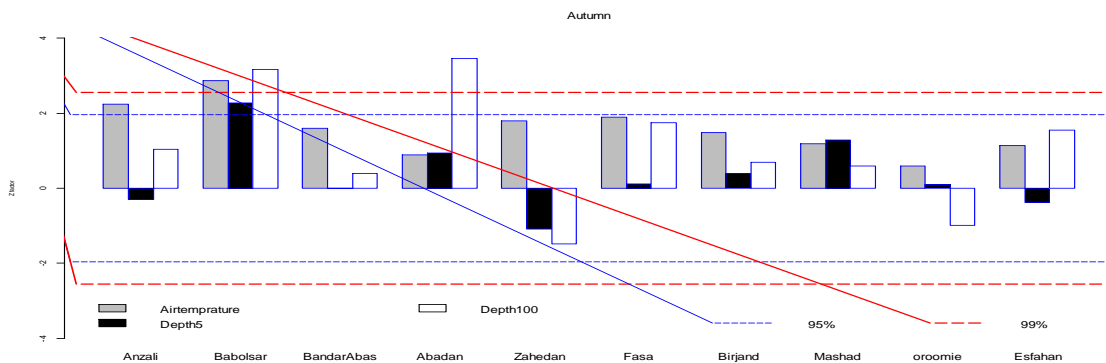
نتایج بررسی فصل تابستان نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها لایه سطحی رفتار کاملاً متناقضی را نسبت به دمای هوا نشان می‌دهد. تنها در ایستگاه‌های ارومیه و بابلسر هم راستای دمای هوا می‌باشد و در بقیه ایستگاه‌ها روند متضادی نسبت به دمای هوا دارد. در ارتباط با لایه عمقی



شکل ۵- نمودار مقادیر پارامتر Z فصل تابستان حرارت هوا لایه‌های سطحی و عمقی خاک

اصفهان و بندرانزلی در لایه سطحی و همچنین ایستگاه زاهدان در هر دو لایه رفتار متضادی نسبت به دمای هوا نشان می‌دهند. در این فصل همبستگی مشهودی بین دمای هوا با درجه حرارت لایه سطحی در ایستگاه‌های بابلسر، آبادان و مشهد وجود دارد (شکل ۶).

نتایج بررسی فصل پاییز نیز نشان داد که تغییرات درجه حرارت لایه‌های سطحی و عمقی خاک نسبتاً از روند مشابهی با دمای هوا پیروی می‌نمایند. هرچند که در این فصل نیز لایه عمقی خاک همبستگی بیشتری با دمای هوا دارد. ایستگاه‌های ارومیه در لایه سطحی و ایستگاه‌های

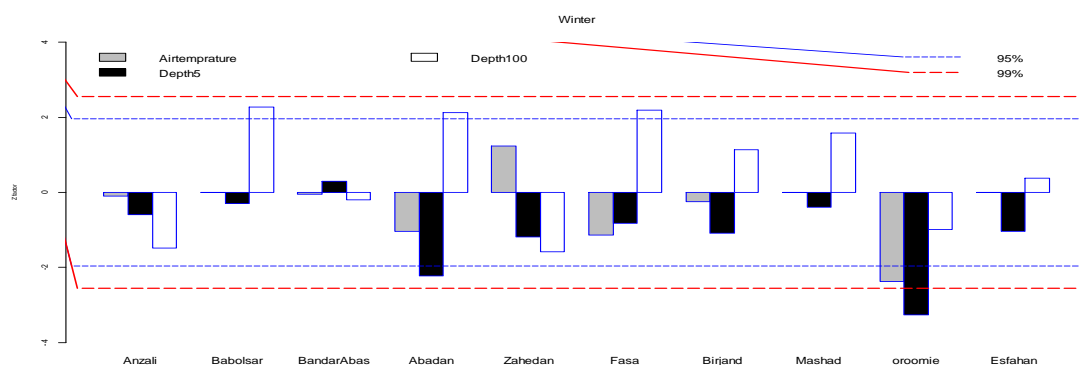


شکل ۱۶- نمودار مقادیر پارامتر Z فصل پاییز حرارت هوا لایه‌های سطحی و عمقی خاک

ایستگاه‌ها دمای هوا روند نزولی را نشان می‌دهد. جالب آن است که در ایستگاه زاهدان که لایه عمقی روند نزولی را نشان می‌دهد در مقابل آن دمای هوا روند صعودی دارد. بنابراین می‌توان بیان داشت که روند نزولی درجه حرارت

نتایج بررسی فصل زمستان نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها لایه عمقی خاک رفتار کاملاً متضادی را با دمای هوا نشان می‌دهد بطوری که لایه عمقی خاک در بیشتر ایستگاه‌ها داری روند صعودی، در حالی که در همین

لایه سطحی خاک در فصل زمستان، تابع روند نزولی دمای هوا می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷- نمودار مقادیر پارامتر Z فصل زمستان درجه حرارت هوا، لایه سطحی و عمقی خاک

نشان داد که درجه حرارت خاک و درجه حرارت هوا در دو لایه سطحی و عمقی روند مشابه‌ای را نشان نمی‌دهند. در فصل بهار درجه حرارت عمق‌های خاک تابع درجه حرارت هوا می‌باشند بطوری که لایه عمقی همبستگی بیشتری با دمای هوا دارد. در فصل تابستان لایه سطحی رفتار متضاد، و لایه عمقی روند مشابهی با دمای هوا دارند. برعکس در فصل زمستان لایه عمقی رفتار متضاد، اما لایه سطحی روند مشابهی را با دمای هوا دارند. بطوری که می‌توان بیان داشت که روند نزولی درجه حرارت لایه سطحی خاک تابع دمای هوا می‌باشد. در فصل پاییز هر دو لایه روند مشابهی نسبت به دمای هوا دارند.

این انتظار می‌رفت که ارتباط مشخص و روشنی بین درجه حرارت خاک و متغیرهای اقلیمی خصوصاً دمای متوسط وجود داشته باشد. اما باید توجه داشت که فاکتورهای زیادی وجود دارد که در یک مکان یا مقیاس خاک بر روی درجه حرارت خاک تاثیر می‌گذارند. در یک مطالعه بزرگ مقیاس همچون این مطالعه، شناخت و جداسازی فاکتورهای موثر و تعیین وجود یا عدم وجود ارتباط بین آنها، کاری مشکل و پیچیده می‌باشد. برای نمونه ویژگی‌های پروفیل خاک همچون لایه مواد آلی سطحی (همچون لاشبرگ و مواد گیاهی)، سطح سفره‌های آب، یخ و یا لایه شن می‌توانند به عنوان یک عایق برای خاک در مقابل گرمای تابستان عمل کنند. و در نتیجه باعث کاهش درجه حرارت خاک شوند. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات سالانه درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که درجه حرارت در عمق‌های مختلف خاک و در مکان‌های مختلف دارای روند یکسانی نمی‌باشند. بیشتر ایستگاه‌ها در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری خاک دارای روند صعودی می‌باشند. نتایج بررسی روند درجه حرارت فصلی و سالانه خاک در دو عمق ۵ سانتی متری به عنوان لایه سطحی و عمق ۱۰۰ سانتی متری به عنوان لایه عمیق نشان داد که این دو لایه رفتار متفاوتی نسبت به تغییرات روند سالانه و فصلی نشان می‌دهند. این ناهمسویی در فصل‌های زمستان و تابستان مشهودتر می‌باشد. بطوری که در این فصول لایه سطحی در بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند نزولی و لایه عمقی دارای روند صعودی می‌باشند. بنابراین با توجه به نتایج این مطالعه، وجود روند نزولی یا صعودی درجه حرارت خاک در لایه سطحی خاک (۵ سانتی متری) را شاید نتوان با قطعیت بیان داشت، اما می‌توان با قطعیت بیان داشت که درجه حرارت سالانه و فصلی در لایه عمیق خاک (۱۰۰ سانتی متری) روند صعودی مشهودی داشته است.

در ادامه جهت بررسی این موضوع که آیا تغییرات دمای خاک با تغییرات دمای متوسط هوا ارتباط دارد یا نه، به بررسی روند تغییرات درجه حرارت متوسط ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شد. نتایج بررسی سالانه

- Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 774-780.
2. Alavipanah, A.A, 2008, Thermal remote sensing and its application in earth sciences, University of Tehran press,
 3. Behyar, M., G. Kamali, 2007, Relationship between air temperature and surface and depth temperature, *Geographical Research*, V. 23, N. 3 (86), Pp. 81-102.
 4. Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Moghadam, M., Jahanbakhsh, S., Mirnia, M. K., 2004. Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology*. 297: 109-123.
 5. Du, J., C. Li, J. Liao, L. Pa, H. Lu. 2007. Responses of climatic change on soil temperature at shallow layers in Lhasa from 1961 to 2005 (in Chinese). *Meteorol. Mon.* 33(10): 61-67.
 6. García-Suárez, A. M., C. J. Butler. 2006. Soil temperatures at armagh observatory, northern Ireland, from 1904 to 2002. *Int. J. Climatol.* 26:1075-1089
 7. Gholami, P., J. Ghorbani, M. Shokri, 2012, Changes in diversity, richness and functional groups of vegetation under different grazing intensities (Case Study: Mahoor, Mamasani Rangelands, Fars province), *Iranian Journal of Range and Desert Research*, V. 18, N. 4, Pp. 662-675
 8. Goulden, M. L., S. C. Wofsy., J. W. Harden., S. E. Trumbore., P. M. Crill., S. T. Gower., T. Fries., B. C. Daube., S. M. Fan., D. J. Sutton., A. Bazzaz., J. W. Munger. 1998. Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. *Science*. 279: 214-217.
 9. Hu, Q., S. Feng. 2005. How have soil temperatures been affected by the surface temperature and precipitation in the Eurasian continent?, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L14711
 10. IPCC. 2001. The glossaries published in the IPCC, Third Assessment Report. Annex B. Glossary of Terms
 11. Jacobs, A. F. G., B. G. Heusinkveld., A. A. M. Holtslag. 2011. Long-term record and analysis of soil temperatures and soil heat fluxes in grassland area, The Netherlands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 774-780.
 12. Kendall, M. G. 1975. Rank correlation methods, (4th edn) Charles Griffin: London.
 13. Long, S. P., F. I. Woodward. 1988. Plants and temperature. Univ. of Cambridge. Cambridge. U. K 415 pp.
- در فصل تابستان لایه سطحی رفتار متضادی نسبت به دما نشان می‌دهد بطوری که علاوه بر افزایش دمای هوا در این فصل، درجه حرارت لایه سطحی خاک در بیشتر ایستگاه‌ها روند نزولی و کاهش دما داشته است. بر خلاف آن لایه عمقی روند صعودی مشابه با دمای هوا در بیشتر ایستگاه‌ها دارد. در این ارتباط اسمیت (Smith, 1975)، سردشدگی لایه‌های خاک زیر مواد آلی را با خاک‌های بدون لایه مواد آلی مقایسه کرد و بیان داشت که لایه‌های آلی می‌توانند به عنوان یک محافظ، لایه زیرین را از اثرات تغییرات اقلیمی اتمسفر محافظت نمایند. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که در فصل زمستان که بیشتر مناطق ایران فاقد لایه مواد آلی (لاشبرگ و مواد گیاهی) می‌باشند، درجه حرارت لایه سطحی خاک تابع درجه حرارت هوا می‌باشد.
- نکته دیگر آن است که در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس سالانه و فصلی، روند درجه حرارت لایه عمقی چه صعودی و چه نزولی، بیشتر از لایه‌های سطحی و حتی دمای هوا می‌باشد. دلیل آن شاید این باشد که تغییرپذیری کمتری در لایه‌های عمق خاک نسبت به لایه‌های سطحی وجود دارد. با توجه به اینکه لایه‌های زیرین خاک به طور مستقیم در معرض تابش خورشید نمی‌باشند و گرمای سطحی جذب شده از نور خورشید را از طریق روش‌های انتقال گرما دریافت می‌نمایند، بنابراین تحت تاثیر ویژگی‌های خاک بوده و کمتر تحت تاثیر متغیرهای اتمسفری قرار می‌گیرند. لذا این لایه تغییرپذیری کمتری نسبت به لایه سطحی دارد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در مطالعات پیرامون تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و همچنین شناخت و تمایز دو پدیده تغییر اقلیم^۲ و نوسانات اقلیمی^۳ در یک منطقه در کنار استفاده از داده‌های اتمسفری، از درجه حرارت لایه عمقی خاک نیز استفاده گردد.

منابع

1. Adrie, f. G., G. heusinkveld., A. m. Holtslag. 2011. Long-term record and analysis of soil temperatures and soil heat fluxes in a grassland area, The Netherlands.

2 Climate Change

3 Climate Variability

14. Mann, H. B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrical*. 33: 245–259.
15. Mazidi, A., F. Fallah zadeh, 2011, Study the process of annual soil temperature in Yazd station, *Geography and Development*, V. 9, n. 24, Pp. 39-50
16. Mimikou, M. A., Baltas, E., Varanou, E., Pantazis, K. 2000. Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *Journal of Hydrology*. 234: 95-109.
17. Najafi-mood, M. H., A. Alizadeh, A. Mohamadian, J. mousavi, 2008, Investigation of relationship between air and soil temperature at different depths and estimation of the freezing depth (Case study: Khorasan Razavi), *journal of water and soil*, V. 22, N. 2, Pp.456-466
18. Nelson, F. E. 2003. (Un) frozen in time. *Science*. 299: 1673–1675.
19. Nelson, F. E., O. A. Anisimov., N. I. Shiklomanov. 2001. Subsidence risk from thawing permafrost. *Nature*. 410: 889–890. Doi: 10.1038/35073746.
20. Oechel, W. C., S. J. Hastings., G. Vourlitis., M. Jenkins., G. Riechers., N. Grulke. 1993. Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. *Nature*. 361: 520–523.
21. Ping, C. L., 1987. Soil temperature profiles in two Alaskan soils. *Soil Science Society of America*. 51: 1010–1018.
22. Qian, B., E. G. Gregorich., S. Gameda., D. W. Hopkins., X. L. Wang. 2011. Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. *Journal of Geophysical Research*. 116. (D02106). Doi: 10.1029/2010JD015012.
23. Sabziparvar, A.A., H. Tabari, A. Aeni, 2010, Estimation of Mean Daily Soil Temperature by Means of Meteorological Data in Some Selected Climates of Iran, *Journal of Water and Soil Science*. V.14, N. 52, Pp, 125-137
24. Sokolov, A., A. Chapman. 1974. Methods for water balance computations. The Unesco Press, Paris.
25. Svilicic. P., and V. Vucetic. 2015. Spatial and Seasonal Variability of Extreme Soil Temperature in Croatia. *Geophysical Research*. 17: 26-36.
26. Tretkoff, E. 2011. Soil temperature trends in Canada. *Journal of Geophysical Research*. 92 (17). Doi: 10.1029/2011EO170012.
27. Trumbore, S. E., O. A. Chadwick., R. Amundson. 1996. Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. *Science*. 272: 393–395.
28. Woodbury, A. D., A. K. M. H. Bhuiyan, J. Hanesiak., O. O. Akinremi. 2009. Observations of northern latitude ground-surface and surface-air temperatures, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07703.
29. Yesilirmak. E. 2014. Soil temperature trends in B' uy' uk Menderes Basin, Turkey. *Meteorol. Appl.* 21: 859–866.
30. Zhang, T., R. G. Barry, D. Gilichinsky, S. S. Bykhovets, V. A. Sorokovikov., J. Ye .2001. An amplified signal of climatic change in soil tempera-tures during the last century at Irkutsk, Russia. *Clim. Change*. 49: 41–76.
31. Zhang. Y., W, Chen. 2005. Soil temperature in Canada during the twentieth century: Complex responses to atmospheric climate change. *Journal of Geophysical Research*. 110. (D03112). Doi: 10.1029/2004JD004910.