

## بررسی دمای خاک با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال اصلاح شده در مناطق انتخابی استان خوزستان

حسین زادمهر و احمد فرخیان فیروزی<sup>1</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز: h.zadmher72@gmail.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز: a.farrokhian@scu.ac.ir

دریافت: 1400/5/31 و پذیرش: 1400/9/29

### چکیده

افزایش دمای خاک در مقایسه با پارامترهای هواشناسی کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه دمای خاک در عمق‌های 5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی‌متری از سطح خاک در مناطق انتخابی استان خوزستان در یک دوره آماری 25 ساله (1994-2018) بود. بدین منظور، داده‌های ساعتی دمای خاک از 10 ایستگاه سینوپتیک منتخب واقع در استان خوزستان تهیه شد. آزمون ناپارامتری من-کندال اصلاح شده برای بررسی روند تغییرات دمای خاک و روش تخمین گر شیب سن برای تعیین شیب خط روند دما استفاده شد. نتایج بررسی دمای خاک نسبت به عمق نشان داد که در تمامی مناطق، دمای خاک در فصل‌های گرم (بهار و تابستان) با افزایش عمق کاهش یافت اما در فصل‌های سرد (زمستان و پاییز) دمای خاک با افزایش عمق به صورت جزئی افزایش یافته است. نتایج حاصل حاکی است روند دمای سالانه و فصلی خاک در اکثر مناطق افزایش داشته است. همچنین، بیشترین افزایش دمای خاک در زمستان، تابستان و بهار و کمترین افزایش آن در فصل پاییز رخ داده است و دمای سالانه خاک در دوره زمانی مورد بررسی به مقدار  $1/28$  سانتی‌گراد افزایش داشته است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، روند سالانه و فصلی دمای خاک، دمای عمق خاک

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

## مقدمه

امروزه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از واقعیت‌ها و اصلی‌ترین نگرانی‌های جامعه است که حیات بر روی کره زمین را به خطر انداخته است. منظور از گرمایش جهانی افزایش طبیعی یا انسان‌انگیخته<sup>2</sup> متوسط دمای اتمسفر در نزدیکی سطح زمین است (بختیاری و همکاران، 1400؛ فانگ و همکاران، 2019؛ شی و همکاران، 2021). همچنین تغییر اقلیم، معادل تغییرات معنی‌دار آماری متوسط پارامترهای آب‌وهوای یک منطقه طی دوره طولانی‌مدت (چند دهه و بیشتر) است. دمای سطح یا نزدیک سطح زمین تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند مقدار آفتابی که زمین دریافت و یا منعکس می‌کند قرار دارد. تغییرات آب و هوایی یا به بیان بهتر تغییر اقلیم در اثر این افزایش دما به وجود می‌آید. در گذشته تغییرات اقلیمی هم صورت گرفته است و منحصر به عصر حاضر نیست اما دلیلی که تغییرات اقلیمی در عصر حاضر را نسبت به تغییرات گذشته متفاوت کرده است، ماهیت و سرعت آن است، زیرا این تغییرات سرعت بیشتری به خود گرفته و روند آن به گونه‌ای است که میزان آن قابل پیش‌بینی نیست (نصیری محلاتی، 1395). افزایش دمای خاک یکی از مهم‌ترین نشانه‌های تغییر اقلیم است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است (بختیاری و همکاران، 1400؛ گیان و همکاران، 2011؛ شی و همکاران، 2021).

دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان (روزانه، ماهانه و سالانه) و مکان (عمق خاک) یک عامل بسیار مهم است که نه تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه می‌توان گفت میزان و جهت تمامی فرایندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم و غیرمستقیم وابسته به دما است. علاوه بر آن فرایندهایی مانند تبخیر- تعرق، تهویه خاک، جوانه‌زنی، رشد گیاه، توسعه ریشه‌ها، جذب عناصر غذایی و فعالیت‌های میکروبی درون خاک تابع دمای خاک هستند (یوسفی و

همکاران، 2020). تغییر در دمای خاک مرتبط با گرمایش اقلیمی ممکن است منجر به ذوب شدن سطوح یخ‌زده، تغییر در شرایط و رفتار هیدرولوژیکی سیستم، تغییر میزان پراکنش و رشد گیاهان، افزایش میزان تجزیه کربن آلی خاک و افزایش انتشار CO<sub>2</sub> از خاک به اتمسفر گردد (نلسون و همکاران، 2003). تاکنون بررسی‌ها و مطالعاتی متعدد به منظور برآورد دمای خاک با استفاده از داده‌های هواشناسی صورت گرفته است اما کمتر به بررسی روند تغییرات درجه حرارت آن‌هم در عمق‌های مختلف خاک پرداخته شده است. ژانگ و همکاران (2005) طی پژوهشی در کانادا به این نتیجه رسیدند که میانگین دمای خاک سالانه از میانگین دما هوا سالانه متفاوت است و مقدار آن از 2- تا 7 درجه سانتی‌گراد و به طور متوسط 2/5 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و تفاوت زیادی در مقدار دمای خاک در فصل زمستان و بهار مشاهده شد. گارسیا و بولتر (2006) در بررسی‌هایی که در سه ایستگاه در ایرلند انجام دادند، نشان دادند که درجه حرارت خاک در این سه ایستگاه به میزان 0/25 و 0/04 درجه سانتی-گراد در 10 قرن گذشته افزایش یافته است. گیان و همکاران (2011) در کانادا به بررسی روند تغییرات درجه حرارت خاک در ارتباط با تغییر اقلیم پرداختند.

آن‌ها در فصل بهار و تابستان یک روند صعودی معنی‌دار برای درجه حرارت خاک مشاهده کردند. سویلیسیک و وستیک (2015) به بررسی تغییرات فصلی و سالانه درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در کرواسی با استفاده از آزمون من-کندال و آزمون سنس پرداختند، نتایج نشان داد که در نواحی ساحلی و شرقی درجه حرارت لایه سطحی خاک بخصوص در فصل بهار و تابستان افزایش یافته است. مزیدی و فلاح‌زاده (1390) روند دمای عمق‌های مختلف خاک در یک دوره آماری 5 ساله (1380-1384) در ایستگاه سینوپتیک یزد را بررسی کردند و نتایج نشان داد که بیشترین دامنه نوسانات روزانه دما در لایه‌های نزدیک به سطح زمین در ساعت 6/5 صبح

<sup>2</sup> Man-made

برابر دمای هوا است. نتایج آزمون من کندال روند قابل توجهی در دمای خاک در عمق 10 سانتی‌متر در ماه مارس و در عمق‌های 50 و 100 سانتی‌متر برای ماه‌های ژوئن و دسامبر نشان داد.

آگاهی از رژیم حرارتی خاک و نوسانات دمایی آن از خسارات احتمالی به محصولات کشاورزی جلوگیری کرده و موجب افزایش بازدهی آن‌ها می‌گردد (اسدی و همکاران، 1393). همچنین رشد بهینه گیاه بستگی به دمای مطلوب خاک دارد به گونه‌ای که دمای خاک زمان کاشت بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا آگاهی از روند تغییر دمای خاک و تعیین کمی مقدار آن برای اتخاذ مدیریت صحیح و کاهش اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی ضروری است زیرا به انتخاب ارقام زراعی و شیوه‌های کشت سازگار با اقلیم کمک می‌کند. (همتی و همکاران، 1399). با توجه به اهمیت دمای خاک و نقش و جایگاه آن در رشد گیاه و تولید محصولات کشاورزی و از طرفی پدیده گرمایش جهانی و تأثیر آن بر دمای خاک مطالعه دمای خاک و روند تغییرات آن اهمیت شایانی دارد. با این وجود مطالعات اندکی در زمینه روند تغییرات دمای خاک در اعماق مختلف در ایران و به ویژه استان خوزستان که یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور است انجام گرفته است؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی روند تغییرات دمای خاک در عمق‌های 5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی‌متری از سطح خاک در ایستگاه‌های انتخاب شده استان خوزستان در یک دوره 25 ساله (1994-2018) با استفاده از آزمون نا پارامتری من-کندال اصلاح شده بود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود 64236 کیلومتر مربع وسیع‌ترین استان در نیمه غربی کشور است. این استان بین 47 درجه و 41 دقیقه تا 50 درجه و 39 دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و 29 درجه و 58 دقیقه تا 33 درجه و 4 دقیقه عرض شمالی از خط

و در فروردین ماه می‌باشد. اسدی و همکاران (1393) در مطالعه‌ای با استفاده از آزمون من-کندال در ایستگاه سینوپتیک گرگان با دوره آماری 18 ساله به بررسی روند تغییرات دمای اعماق مختلف خاک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در تمام اعماق خاک روند دمای خاک در شش ماه اول سال صعودی می‌باشد ولی هیچ‌گونه روندی در شش ماه دوم مشاهده نشد. گلشن و همکاران (1394) در پژوهشی به بررسی روند معنی‌دار در دمای هوا و دمای خاک با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در عمق‌های 5 و 100 سانتی‌متری خاک در ایستگاه سینوپتیک کرمان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد دمای خاک در ماه‌های ژانویه و آوریل و آگوست در عمق 5 سانتی‌متری خاک روند کاهشی معنی‌دار داشته است و در ماه مارس و ژوئن در عمق 100 سانتی‌متری خاک دارای روند افزایشی معنی‌دار است. کرپور و یارمرادی (2015) روند تغییرات دمای اعماق خاک در ایستگاه خرم‌آباد را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات دمای خاک در لایه‌های سطحی از نوسان خاصی پیروی می‌کند و با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد.

این روند در تمام مؤلفه‌های دمایی قابل مشاهده می‌باشد و نوسانات دمای خاک در بخش‌های سطحی با نوسانات انرژی خورشیدی هماهنگ است. حمادی و ذاکری حسینی (1393) روند تغییرات دمای ماهانه و سالانه خاک اهواز در دو عمق 5 و 30 سانتی‌متری را در طی سال‌های 1957 تا 2014 بررسی کردند؛ نتایج این پژوهش نشان داد که شیب افزایش روند دمای خاک در دو عمق 5 و 30 سانتی‌متر به ترتیب 0/038 و 0/030 بوده است. همچنین شیروانی و همکاران (2018) در پژوهشی روند طولانی مدت دمای هوا و خاک در عمق‌های مختلف در منطقه نیمه‌خشک ایران را با استفاده از رگرسیون خطی ساده و آزمون من-کندال بررسی کردند و مشاهده کردند که بیشترین روند گرم شدن دمای هوا مربوط به ماه‌های فوریه و اکتبر و کمترین روند دمای هوا مربوط به ماه‌های مارس و دسامبر است و نرخ روند گرم شدن خاک 2 تا 3

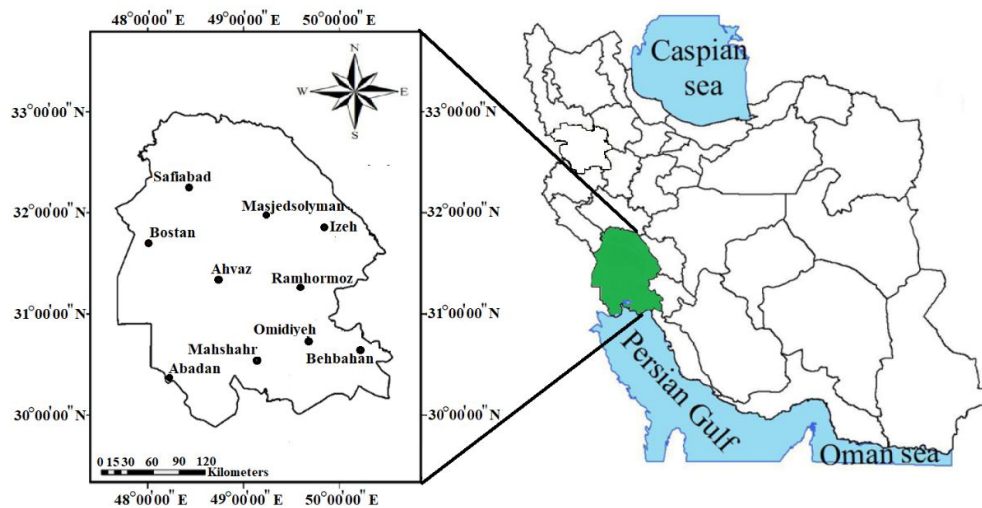
(1994-2018) انتخاب شدند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه در شکل 1 نشان داده شده است.

در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور دمای خاک معمولاً در عمق‌های 5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی‌متری در ساعات 6:30، 12:30 و 18:30 به وقت محلی (3، 9، 15 به وقت گرینویچ) اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین میانگین این سه مقدار در هر عمق مشخص به‌عنوان میانگین دمای خاک در آن روز حساب می‌شود (سبزی‌پرور و همکاران، 1398؛ ارزاقی و همکاران، 2017). در این پژوهش داده‌های ساعتی دمای خاک در برنامه Excel 2013 به صورت فصلی و سالانه میانگین‌گیری شد. به منظور بررسی روند تغییرات دمای خاک به صورت فصلی و سالانه از ویرایش سوم آزمون نا پارامتری من-کندال اصلاح شده (MKK) در نرم‌افزار MATLAB نسخه 2018 استفاده شد.

استوا قرار دارد. مطابق با اطلاعات بلند مدت ایستگاه‌های هواشناسی این استان، متوسط سالیانه دما 25/3 درجه سانتیگراد، میانگین بارندگی سالیانه 284/3 میلیمتر و میانگین سالیانه رطوبت نسبی هوا 42/3 درصد است. بر اساس روش‌های طبقه‌بندی معمول مانند روش‌های طبقه‌بندی کوپن، دومارتن اقلیم‌های موجود در استان خوزستان شامل اقلیم فرا خشک، گرم، اقلیم گرم خشک، اقلیم نیمه‌خشک و اقلیم نیمه مرطوب مدیترانه می‌باشد (بی‌نام، 1397).

#### داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه به منظور بررسی روند تغییرات دمای خاک (عمق‌های 5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی‌متری) از داده‌های مربوط به تعداد 10 ایستگاه در قسمت‌های مختلف استان خوزستان با طول دوره آماری 25 ساله استفاده شد. ایستگاه‌های آبادان، اهواز، ایذه، امیدیه، بهبهان، بستان، بندر ماهشهر، رامهرمز، مسجدسلیمان و صفی‌آباد با طول دوره آماری 25 ساله



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه استان خوزستان، ایران

#### آزمون من-کندال مرسوم (MK)

هواشناسی آزمون من-کندال را برای بررسی و تشخیص روند در سری‌های زمانی توصیه می‌کند (کوندزویچ و

آزمون من-کندال یکی از بهترین روش‌های آشکارسازی و تعیین روند داده‌ها است. سازمان جهانی

آماره آزمون MK استاندارد شده، Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس 1 پیروی می‌کند، فرض صفر به شرطی پذیرفته می‌شود که  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$  قرار گیرد (من، 1945؛ کندل، 1975).

### آزمون من-کندال اصلاح شده با حذف کامل اثر خودهمبستگی<sup>1</sup>(MKK)

آزمون من-کندال اصلاح شده توسط حامد و راثو (1998) ارائه شد. در این آزمون همه ساختار خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی بررسی و حذف می‌شود. در این روش واریانس اصلاح شده  $V(s)^*$  در محاسبه Z من-کندال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### رابطه (6)

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*}$$

#### رابطه (7)

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)ri$$

که در آن،  $r_i$  ضریب خودهمبستگی با تأخیر  $i$  بوده و  $Var(S)$  از رابطه (4) تخمین زده می‌شود. برای محاسبه آماره Z من-کندال اصلاح شده در رابطه (7)،  $Var(S)$  با  $Var(S)^*$  جایگزین می‌گردد. مقدار آماره Z نرمال در سطح معنی‌داری  $\alpha$  مقایسه می‌شود. شایان ذکر است به منظور بررسی روند سری‌ها، در صورتی که مقدار مطلق آماره Z به دست آمده از آزمون ناپارامتری من-کندال بزرگ‌تر مساوی  $1/64$  باشد در این صورت روند سری‌ها در سطح 10 درصد، اگر بزرگ‌تر مساوی  $1/96$  باشد در سطح 5 درصد و در صورتی که بزرگ‌تر مساوی  $2/58$  باشد در سطح 1 درصد معنی‌دار خواهد بود.

رابسون، 2000؛ بهزادی و همکاران، 2020). این روش که فرم کلاسیک آزمون من-کندال است در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. اگر تعداد سری زمانی در دوره مورد مطالعه  $n$  باشد، ابتدا آماره S با رابطه 1 محاسبه می‌شود (من، 1945؛ کندل، 1975):

#### رابطه (1)

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

که در آن  $x_j$  مقدار داده‌های متوالی،  $n$  طول مجموع داده‌ها و  $\sin(\theta)$  تابع علامت بوده و به صورت زیر تعیین می‌شود:

#### رابطه (2)

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

کندال (1975) نشان دادند که وقتی  $n \geq 8$  باشد آماره S تقریباً به طور نرمال توزیع شده و میانگین و انحراف معیار آن به صورت زیر می‌باشد:

#### رابطه (3)

$$E(S) = 0$$

#### رابطه (4)

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

که در آن  $t_i$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$  ام می‌باشند. آماره آزمون استاندارد شده Z به صورت زیر محاسبه می‌شود:

#### رابطه (5)

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

<sup>1</sup> Modified Mann-Kendall test

## شیب سن 1

با افزایش عمق، دمای خاک نسبت به عمق 5 سانتی متری افزایش یافته است ولی در اهواز و امیدیه، رامهرمز و مسجد سلیمان دمای خاک در عمق 10 سانتی متر نسبت به عمق 5 سانتی متری به صورت جزئی کاهش یافته است ولی از این عمق به بعد دمای خاک با شیب ملایمی افزایش یافته است.

دمای خاک متأثر از عوامل متعددی از جمله توپوگرافی، تابش خورشید، دمای هوا، توزیع بارش، میزان رطوبت خاک، نوع و ویژگی گرمایی خاک، همانند ظرفیت گرمایی، ضریب رسانایی گرمایی و گرمای ویژه می باشد (نجفی-مود و همکاران، 2008). انتقال گرما در خاک و دمای خاک در اعماق مختلف که ناشی از این انتقال گرما می باشد به نوع خاک، میزان رطوبت آن، دمای هوا، ساعات آفتابی و جنس سطح خاک بستگی دارد. در نتیجه میزان دمای اعماق مختلف خاک از جایی به جای دیگر تغییر می کند. به طور کلی دمای خاک دارای نوسان روزانه، فصلی و سالانه می باشد. دمای خاک در طی فصول گرم از سطح به عمق کاهش می یابد و در طی فصول سرد از سطح به سمت عمق افزایش پیدا می کند.

شیب سن یک شاخص بسیار مفید در آزمون من-کندال است که بزرگی روند یکنواخت را نشان می دهد مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط سن (1968) با رابطه زیر برآورد می شود:

**رابطه (8)**

$$\beta = \text{median} \left( \frac{x_j - x_l}{j - l} \right)$$

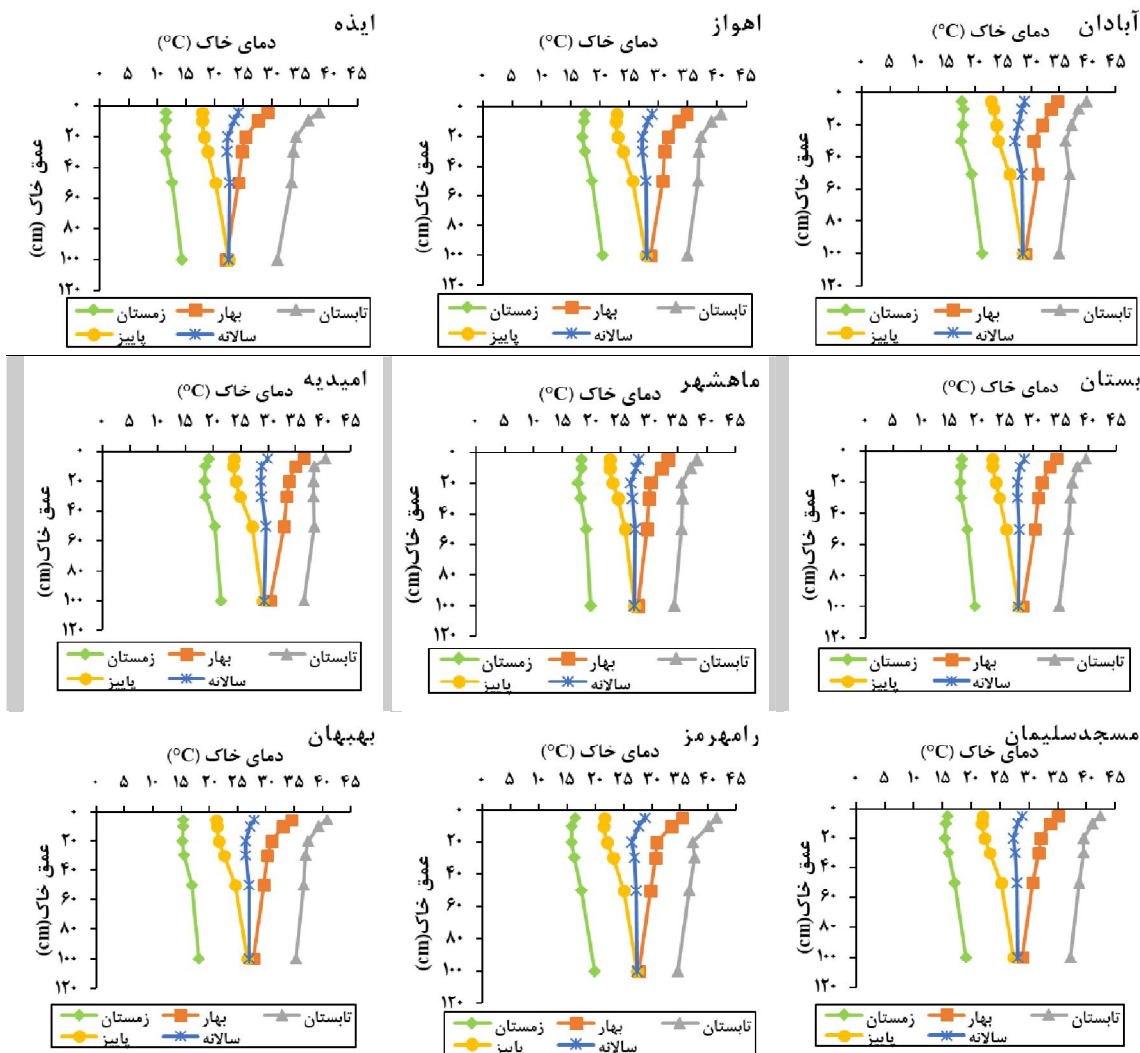
که در آن،  $\beta$  برآوردگر خط روند و  $x_l$  مقدار مشاهده شماره  $l$  ام می باشد و  $z$  یک واحد زمانی بعد از مشاهده  $l$  ام می باشد مقادیر مثبت  $\beta$  نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان دهنده روند کاهشی می باشد.

## نتایج و بحث

## تغییرات سالانه و فصلی دمای خاک با عمق

در شکل 2 نمودار تغییرات سالانه و فصلی دمای خاک نسبت به عمق در برخی مناطق استان خوزستان گزارش شده است. همان طوری که ملاحظه می گردد در تمامی مناطق دمای خاک به صورت سالانه و همچنین در فصل های بهار و تابستان با افزایش عمق کاهش یافته است و شیب کاهش دما در مناطق مختلف متفاوت است. تقریباً در بیشتر مناطق در فصل بهار و تابستان کاهش دما در عمق های 5، 10 و 20 سانتی متری با شیب بیشتری صورت گرفته است در صورتی که در عمق های 30، 50 و 100 سانتی متری شیب کاهش دما کم تر است. شیب کاهش دمای خاک به صورت سالانه در عمق های 5، 10 و 20 سانتی متری نسبت به عمق های 30، 50 و 100 سانتی متری بیشتر است. در بیشتر مناطق در فصل زمستان دمای خاک از عمق 5 تا 20 سانتی متر با شیب بسیار کمی کاهش یافته است اما از عمق 30 تا 100 سانتی متری مقدار دمای خاک افزایش یافته است به گونه ای که مقدار دمای خاک در عمق 50 تا 100 سانتی متری نسبت به عمق 5 سانتی متری بیشتر شده است. در فصل پاییز در اکثر مناطق

<sup>1</sup>. Sens Slope Estimator



شکل 2- تغییرات سالانه و فصلی دمای خاک در عمق‌های 5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی متری

فرخیان فیروزی، 1399؛ نایت و همکاران، 2018).  
 بعکس شکل تغییرات دمای خاک با عمق، بیانگر آن  
 است در طی فصول سردتر (پاییز و زمستان) مقدار دما  
 از سطح به عمق افزایش پیدا می‌کند.

#### روند تغییرات سالانه دمای خاک

نتایج بررسی روند تغییرات سالانه دمای  
 عمق‌های مختلف خاک با استفاده از آزمون من-کندال در  
 جدول 1 نشان‌دهنده تفاوت روند آن در مناطق و  
 عمق‌های مختلف است. در ادامه این نوشته سطح معنی-  
 داری با  $P$  نشان داده شده و اندیس آن نشان دهنده عمق  
 خاک است. همان طوری که ملاحظه می‌گردد دمای خاک

بطور کلی شکل تغییرات دمای خاک با عمق  
 ارائه شده در شکل 2 نشان می‌دهد دمای خاک تقریباً  
 به‌صورت نمایی در طی فصول گرم‌تر (بهار و تابستان) از  
 سطح به عمق کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش عمق خاک،  
 تأثیر پارامترهای هواشناسی مانند تبخیر و سرعت باد بر  
 دمای خاک کاهش می‌یابد. در فصول بهار و تابستان با  
 افزایش مقدار تبخیر از سطح خاک به دلیل اثر خنک  
 کنندگی که تبخیر بر خاک دارد، کاهش دما در لایه سطحی  
 خاک را سبب می‌شود. از سوی دیگر با افزایش عمق  
 خاک، به دلیل تبدلات کمتر گرما لایه‌های زیرین با  
 محیط، مقدار دمای خاک کاهش می‌یابد (زادمهر و

اقلیم است. لذا در این پژوهش میزان افزایش دمای پروفیل خاک مناطق مورد مطالعه استان خوزستان در یک دوره آماری 25 ساله بررسی شد. برای محاسبه مقدار افزایش یا کاهش دما هر منطقه، مقدار شیب سن دمای خاک در طول دوره آماری آن ضرب شد. در جدول 2 میزان افزایش دمای سالانه لایه‌های 5 تا 100 سانتی‌متری خاک در مناطق مختلف استان خوزستان نسبت به دوره آماری 25 سال گذشته گزارش شده است. همان‌طور که نتایج نشان داده است (جدول 2) تقریباً در اکثر مناطق استان خوزستان میزان دمای خاک در لایه‌های مختلف افزایش یافته است و کاهش مقدار دمای خاک به‌ندرت اتفاق افتاده است به‌گونه‌ای که فقط در لایه 5 سانتی‌متری خاک اهواز ( $0/1^{\circ}\text{C}$ ) و ایذه ( $0/2^{\circ}\text{C}$ ) و در لایه 50 و 100 سانتی‌متر در ایذه ( $0/12^{\circ}\text{C}$ ) کاهش داشته است؛ اما در سایر مناطق استان مقدار دمای خاک افزایش پیدا کرده است.

همچنین در تمام مناطق میانگین سالانه دمای پروفیل خاک نیز افزایش یافته است که بیشترین افزایش دمای خاک مربوط به بستان با مقدار  $2/45^{\circ}\text{C}$  و کم‌ترین مقدار افزایش دمای خاک در ایذه با مقدار  $0/12^{\circ}\text{C}$  بوده است. به‌طورکلی میانگین دمای پروفیل خاک در کل استان خوزستان به میزان  $1/28^{\circ}\text{C}$  افزایش داشته است که نشان‌دهنده افزایش دمای خاک در استان خوزستان نسبت به دوره‌های آماری گذشته است. بطور کلی لایه‌های سطحی خاک در مقایسه با لایه‌های زیرین تغییرات و نوسانات بیشتری را نشان می‌دهند زیرا تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی مانند دمای هوا و بارندگی هستند. اما روند افزایشی دمای لایه‌های زیرین خاک نشان دهنده تغییر اقلیم است (نایت و همکاران، 2018؛ همتی و همکاران، 1399). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کل نیمرخ خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش دما را نشان می‌دهند که نشان دهنده تغییر اقلیم در استان خوزستان است. این افزایش دمای خاک می‌تواند اثرات منفی بر رشد گیاهان و عملکرد محصولات کشاورزی داشته باشد.

به‌صورت سالانه در ایستگاه رامهرمز ( $P_{5, 10, 20, 30, 100}$ ) ماهشهر ( $P_{5, 30, 50, 100\text{cm}} < 0.05$ ), صفی‌آباد ( $P_{10\text{cm}} < 0.1, P_{20\text{cm}} < 0.01$ ), آبادان ( $P_{10, 100\text{cm}} < 0.05, P_{5, 20, 50\text{cm}} < 0.1$ ), بستان ( $P_{5, 10, 20, 30, 100\text{cm}} < 0.05$ ), بهبهان ( $P_{5\text{cm}} < 0.05$ ), اهواز ( $P_{10, 30\text{cm}} < 0.1, P_{100\text{cm}} < 0.1$ ) و امیدیه ( $P_{20\text{cm}} < 0.1$ ) در عمق‌های مختلف و در سطوح مختلف معنی‌داری روندی مثبت و افزایشی داشته است ولی در تعداد معدودی از مناطق مانند ایذه، و مسجدسلیمان در تمامی عمق‌های خاک روند تغییرات دما از نظر آماری معنی‌دار نبوده است اما شیب سن عمدتاً مثبت است که نشان‌دهنده روند مثبت افزایش دمای سالانه در این مناطق نیز می‌باشد. به‌طورکلی نتایج بررسی روند تغییرات سالانه لایه سطحی (عمق 5 سانتی‌متری) خاک نشان می‌دهد 6 ایستگاه (60 درصد ایستگاه‌ها) دارای روند افزایشی معنی‌دار دمای سالانه و 2 ایستگاه (20 درصد) دارای روند افزایشی بوده اما این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد و بعکس در 2 ایستگاه (20 درصد) روند تغییرات دمای خاک کاهش یافته است اما این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد. درحالی‌که تغییرات سالانه دما در عمق 100 سانتی‌متری (زیرسطحی) در 6 ایستگاه (60 درصد) افزایشی معنی‌دار، در 3 ایستگاه (30 درصد) روند افزایشی اما معنی‌دار نبوده و در یک ایستگاه روند کاهش یافته اما معنی‌دار نمی‌باشد (10 درصد). به‌طور مشابه با عقیده و همکاران (1396) با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال روند تغییرات دمای اعماق مختلف خاک در شمال غرب ایران را بررسی کردند و مشاهده کردند که در بیشتر ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار برای دمای خاک در اعماق مختلف وجود دارد.

همچنین در پژوهشی دیگر محمدی و فروزان‌فر (1395) روند دمای خاک در 10 ایستگاه در ایران با اقلیم‌های مختلف بررسی کردند، نتایج این پژوهش نشان داد که همه ایستگاه‌های مورد مطالعه (به‌جز بندر انزلی) در عمق‌های 50 و 100 سانتی‌متری خاک دارای روند صعودی بوده‌اند. افزایش دمای خاک یکی از شاخص‌های تغییر



روند تغییرات فصلی دمای خاک

$P_{5, 50, 100\text{cm}} < 0.05, P_{10, 20, 30} < 0.01$  صفی آباد  
 $P_{5, 20, 30} < 0.01$ ، بستان ( $P_{5, 10, 20, 30} < 0.05$ )، بهبهان  
 $P_{5, 10\text{cm}} < 0.1, P_{100\text{cm}} < 0.05$ ، آبادان  
 $P_{5, 10\text{cm}} < 0.1, P_{100\text{cm}} < 0.05$ ، ایزه و امیدیه  
 افزایشی معنی‌دار است در حالی‌که در اهواز، امیدیه و مسجدسلیمان در تمامی اعماق بدون روند است.

در جدول 3 نتایج فصلی تغییرات دمای خاک گزارش شده است همان‌طوری که مشاهده می‌گردد روند دمای خاک در مناطق و عمق‌های مختلف خاک استان خوزستان متفاوت است و در اکثر مناطق روندی افزایشی داشته است. در فصل زمستان دمای خاک در رامهرمز ( $P_{5, 10, 20, 30, 50, 100\text{cm}} < 0.01, P_{20, 5\text{cm}} < 0.1$ ) ماهشهر

جدول 1- نتایج آزمون من‌کنندال اصلاح شده (مقادیر آماره Z) و شیب سن برای درجه حرارت سالانه عمق‌های مختلف خاک ایستگاه‌های انتخابی استان خوزستان

سالانه	5cm	10cm	20cm	30cm	50cm	100cm
شماره	Z	Z	Z	Z	Z	Z
شیب سن	شیب سن	شیب سن	شیب سن	شیب سن	شیب سن	شیب سن
آبادان	1/95*	0/109	2/02**	0/112	1/72*	0/081
اهواز	-0/39	-0/004	0/023	0/001	1/51	0/022
ایزه	-0/39	-0/008	1/09	0/025	0/70	0/018
امیدیه	0/72	0/038	0/68	0/021	1/79*	0/036
بستان	2/25**	0/131	2/02**	0/138	2/42**	0/121
بهبهان	2/03**	0/036	1/80*	0/046	1/51	0/024
رامهرمز	2/14**	0/069	2/17**	0/042	2/10**	0/065
ماهشهر	2/17**	0/072	1/74*	0/083	3/22***	0/083
صفی آباد	2/13**	0/069	2/09**	0/055	2/27**	0/057
مسجدسلیمان	0/46	0/020	0/57	0/029	0/91	0/048

\*، \*\*، \*\*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح (P) 10 درصد، 5 درصد، یک درصد.

جدول 2- میزان تغییرات دمای خاک به صورت سالانه در پروفیل خاک ایستگاه‌های انتخابی استان خوزستان

دمای خاک (°C)	5cm	10cm	20cm	30cm	50cm	100cm	میانگین دمای پروفیل خاک
آبادان	2/5	2/75	2	1	-1/25	1/5	1/41
اهواز	-0/1	0/02	0/5	0/12	0/25	0/5	0/21
ایزه	-0/2	0/62	0/45	0/1	-0/12	-0/12	0/12
امیدیه	0/95	0/52	0/9	8	3/5	0/8	2/44
بستان	3/25	3/45	3	2/5	1/2	1/25	2/45
بهبهان	0/9	1/15	0/6	0/98	0/55	0/67	0/8
رامهرمز	1/72	1/05	1/62	1/47	1/05	1/32	1/37
ماهشهر	1/8	2/07	2/07	1/37	1/47	1/62	1/73
صفی آباد	1/72	1/25	1/42	1/47	1/57	1/52	1/49
مسجدسلیمان	0/5	0/72	1/2	0/82	0/65	0/95	0/8
میانگین کل ایستگاه‌ها	1/30	1/36	1/37	1/78	0/89	1/00	1/28

بوده اما این افزایش معنی دار نبوده است. در حالی که تغییرات دما در عمق 100 سانتی متری (زیر سطحی) در 4 ایستگاه (40 درصد) دارای روند افزایشی معنی دار بوده، 5 ایستگاه (50 درصد) روند افزایشی اما معنی دار نبوده و در 1 ایستگاه (10 درصد) روند کاهش یافته بوده اما این کاهش معنی دار نمی باشد. در فصل بهار تغییرات دما لایه سطحی (عمق 5 سانتی متری) در 5 ایستگاه (50 درصد) دارای روند افزایشی معنی دار، در 3 ایستگاه (30 درصد) روند افزایشی بوده اما معنی دار نمی باشد. در دو ایستگاه دیگر روند تغییرات دما کاهش یافته بوده اما معنی دار نمی باشد. در حالی که تغییرات دما در عمق 100 سانتی متری (زیر سطحی) در 6 ایستگاه (60 درصد) دارای روند افزایشی معنی دار و در 4 ایستگاه (40 درصد) روند افزایشی بوده اما معنی دار نمی باشد.

در فصل تابستان تغییرات دما لایه سطحی خاک (عمق 5 سانتی متری) در 4 ایستگاه (40 درصد) دارای روند افزایشی معنی دار، 5 ایستگاه (50 درصد) دارای روند افزایشی غیر معنی دار و یک ایستگاه (10 درصد) دارای روند کاهش یافته بوده اما این کاهش معنی دار نمی باشد؛ در حالی که تغییرات دمای خاک در عمق 100 سانتی متری در 8 ایستگاه (80 درصد) دارای روند افزایشی معنی دار، و در 2 ایستگاه (20 درصد) روند افزایشی بوده اما این افزایش از نظر آماری معنی دار نمی باشد. در فصل پاییز تغییرات دمای لایه سطحی خاک (عمق 5 سانتی متری) در 3 ایستگاه (30 درصد)، دارای روند افزایشی معنی دار، در 3 ایستگاه (30 درصد) روند افزایشی است اما معنی دار نمی باشد و در 4 ایستگاه (40 درصد) روند کاهش یافته بوده اما معنی دار نمی باشد. در صورتی که در همین فصل تغییرات دمای خاک در عمق 100 سانتی متری در 3 ایستگاه (30 درصد) دارای روند افزایشی معنی دار، در 5 ایستگاه (50 درصد) با این که روند تغییر دما افزایشی بوده اما معنی دار نمی باشد و در 2 ایستگاه دیگر (20 درصد) روند کاهش یافته بوده اما این کاهش دمای خاک معنی دار نمی باشد. به عنوان نمونه نمودار روند دمای خاک مربوط

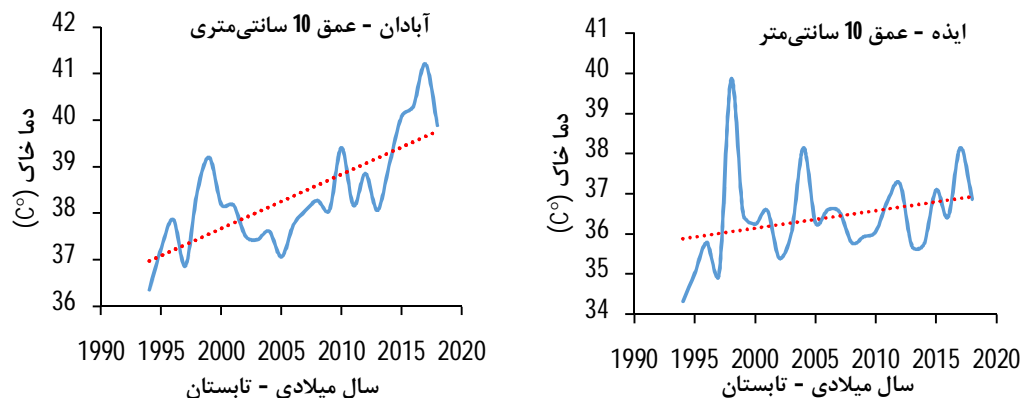
در فصل بهار دمای خاک در بستان در عمق های  $(P_{5, 20, 30, 50, 100\text{cm}} < 0.05, P_{10\text{cm}} < 0.1)$  صفی آباد،  $(P_{5\text{cm}} < 0.1, P_{10, 50, 100\text{cm}} < 0.05, P_{5, 20, 30\text{cm}} < 0.1)$  رامهرمز،  $(P_{20, 30, 50\text{cm}} < 0.05, P_{100\text{cm}} < 0.01, P_{5\text{cm}} < 0.1)$  ماهشهر،  $(P_{5, 10, 100\text{cm}} < 0.05, P_{20, 30, 50\text{cm}} < 0.01)$  آبادان،  $(P_{5\text{cm}} < 0.1, P_{50\text{cm}} < 0.05)$  امیدیه،  $(P_{100\text{cm}} < 0.1, P_{20\text{cm}} < 0.05)$  مسجد سلیمان در سطوح مختلف معنی داری دارای روند افزایشی است؛ در حالی که در سایر عمق های خاک ایستگاه ها و همچنین در اهواز و ایذه در تمام عمق ها تغییر دما بدون روند است.

در فصل تابستان دمای خاک در بستان در عمق های  $(P_{5, 10, 20, 30, 50, 100\text{cm}} < 0.05)$  صفی آباد،  $(P_{30\text{cm}} < 0.1, P_{10, 20, 30\text{cm}} < 0.05, P_{100\text{cm}} < 0.01, P_{10, 20, 50\text{cm}} < 0.05, P_{100\text{cm}} < 0.01)$  آبادان،  $(P_{10\text{cm}} < 0.05, P_{20, 50\text{cm}} < 0.1, P_{5, 20, 30\text{cm}} < 0.05)$  رامهرمز،  $(P_{20, 50, 100\text{cm}} < 0.1, P_{30\text{cm}} < 0.05, P_{100\text{cm}} < 0.01)$  امیدیه،  $(P_{30\text{cm}} < 0.05, P_{100\text{cm}} < 0.1, P_{5\text{cm}} < 0.1)$  بهبهان،  $(P_{30\text{cm}} < 0.05, P_{20\text{cm}} < 0.1)$  ایذه و  $(P_{10\text{cm}} < 0.05, P_{20\text{cm}} < 0.1)$  در سطوح مختلف معنی داری دارای روند افزایشی است؛ اما در سایر عمق ها تغییرات دمای خاک بدون روند است.

در فصل پاییز دمای خاک در آبادان در عمق های  $(P_{10, 20, 100\text{cm}} < 0.01, P_{5, 50\text{cm}} < 0.05)$  بستان،  $(P_{20\text{cm}} < 0.05, P_{30\text{cm}} < 0.01, P_{50\text{cm}} < 0.1, P_{10, 20\text{cm}} < 0.1, P_{100\text{cm}} < 0.01)$  و در صفی آباد،  $(P_{30\text{cm}} < 0.1, P_{100\text{cm}} < 0.01)$  در سطوح مختلف معنی داری است؛ دمای خاک فقط در اهواز  $(P_{30\text{cm}} < 0.1)$  دارای روند کاهش یافته بوده است و در سایر عمق های خاک و مناطق مانند ایذه، امیدیه، بهبهان، رامهرمز و مسجد سلیمان در تمام عمق ها بدون روند بوده است. به طور کلی نتایج بررسی روند تغییرات فصلی لایه سطحی (عمق 5 سانتی متری) خاک نشان می دهد که در فصل زمستان 7 ایستگاه (70 درصد) دارای روند معنی دار افزایشی و 3 ایستگاه (30 درصد) دارای روند افزایشی

فصل تابستان در شکل 3 نشان داده شده است.

به آبادان و ایزه در عمق 10 سانتی متری ( $P_{10cm} < 0.05$ ) در



شکل 3- روند دمای خاک عمق 10 سانتی متر در فصل تابستان

ارتباط با تغییر اقلیم پرداختند. آن‌ها در فصل بهار و تابستان یک روند صعودی معنی‌دار برای درجه حرارت خاک مشاهده کردند. ارزاقی و همکاران (2017) نیز روند تغییرات دمای خاک شمال شرق ایران را در دوره آماری 1996 تا 2016 بررسی کردند آنها دریافتند روند افزایش دما در ماه‌های گرم سال افزایشی و معنی‌دار بوده و این روند افزایش در لایه‌ی زیرسطحی خاک بیشتر بوده است

### نتیجه گیری

نتایج بررسی دمای خاک نسبت به عمق نشان داد که در تمامی مناطق، دمای خاک در فصل‌های گرم (بهار و تابستان) با افزایش عمق کاهش یافته است اما در فصل‌های سرد (زمستان و پاییز) دمای خاک با افزایش عمق به صورت جزئی افزایش یافته است. نتایج حاصل حاکی است روند دمای سالانه و فصلی خاک در اکثر مناطق افزایش داشته است. همچنین، بیشترین افزایش دمای خاک در زمستان، تابستان و بهار و کمترین افزایش آن در فصل پاییز رخ داده است و دمای سالانه خاک در دوره زمانی مورد بررسی به مقدار  $1/28^{\circ}\text{C}$  افزایش داشته است.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از سازمان هواشناسی کشور به سبب در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی کمال تشکر و قدردانی را دارند.

نتایج حاصل از آزمون‌های من-کندال (جدول 3) و تخمین گر شیب سن (جداول 2 و 4) برای هر 10 ایستگاه منتخب استان خوزستان، حاکی از آن است که روند افزایش دما و شیب سن چه در فصول گرم (بهار و تابستان) و چه فصول سرد (پاییز و زمستان) عمدتاً مثبت بوده است. این در حالی است که اسدی و همکاران (1392) در استان گرگان دریافتند در فصول گرم نرخ افزایش دما بیشتر از فصول سرد بوده است. این پژوهشگران با استفاده از آزمون من-کندال در ایستگاه گرگان با دوره آماری 18 ساله به بررسی روند تغییرات دمای اعماق مختلف خاک پرداخت. نتایج نشان داد که در شش ماه اول سال دمای خاک در تمام اعماق روند صعودی دارد، ولی در شش ماه دوم هیچ‌گونه روندی مشاهده نشده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که دما در گرگان در فصول گرم سال در حال گرم شدن است. ووستیک و همکاران (2013) در کرواسی با بررسی روند فصلی دمای خاک نشان داد که بیشترین افزایش و روند معنی‌دار در دمای خاک مربوط به فصل بهار و تابستان است. همچنین مطالعات یشیلرماک (2014) روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در ترکیه در مقیاس فصلی بررسی کردند که نتایج آن‌ها نشان داد که درجه حرارت خاک در همه عمق‌های مورد مطالعه و در همه فصول به‌ویژه فصل بهار و تابستان افزایش یافته است. کوئین و همکاران (2011) در کانادا به بررسی روند تغییرات درجه حرارت خاک در

جدول 3- نتایج آزمون من کندال اصلاح شده (مقادیر آماره Z) برای درجه حرارت فصلی عمق‌های مختلف خاک ایستگاه‌های انتخابی استان خوزستان

شهر	فصل	عمق خاک					
		100cm	50cm	30cm	20cm	10cm	5cm
آبادان	زمستان	2/33**	1/52	-0/651	1/58	1/65*	1/65*
	بهار	2/19**	1/74*	-0/592	1/52	1/98**	2/09**
	تابستان	2/16**	1/84*	-0/042	1/80*	2/07**	1/32
اهواز	پاییز	2/58***	2/31**	0/292	2/59***	2/68***	2/35**
	زمستان	1/14	0/210	-0/023	0/817	0/303	0/163
	بهار	1/14	0/676	0/350	0/210	-0/630	-0/864
ایذه	تابستان	1/79*	1/28	1/37	2/12**	0/256	0/490
	پاییز	-0/256	-1/23	-1/84*	-0/163	-1/19	-0/817
	زمستان	-0/163	0/677	0/817	1/28	1/89*	1/98**
امیدیه	بهار	1/004	0/116	0/817	0/724	0/116	-0/770
	تابستان	1/51	1/51	1/51	1/70*	2/03**	-1/33
	پاییز	0/208	-0/022	0/350	0/864	0/770	0/537
بستان	زمستان	0/640	1/002	0/537	1/14	0/397	1/42
	بهار	0/820	1/141	1/61	1/84*	0/537	0/978
	تابستان	1/75*	1/397	2/45**	1/65*	0/662	1/05
بهبهان	پاییز	1/51	1/419	0/724	0/677	0/770	0/350
	زمستان	1/51	0/799	2/05**	2/21**	2/13**	2/177**
	بهار	2/03**	2/32**	2/54**	2/08**	1/81*	2/178**
رامهرمز	تابستان	2/23**	2/15**	2/07**	2/25**	1/99**	1/98**
	پاییز	1/28	0/679	2/95***	2/40**	2/09**	2/54**
	زمستان	1/23	1/19	2/54**	2/26**	2/63***	2/21**
ماهشهر	بهار	1/75*	1/42	1/28	0/630	1/37	0/677
	تابستان	0/210	1/14	2/31**	1/33	1/54	1/77*
	پاییز	0/163	-0/583	0/397	0/677	-0/350	-0/490
صفی‌آباد	زمستان	3/15***	2/91***	3/05***	1/91*	2/68***	1/90*
	بهار	3/29***	2/03**	2/54**	2/31**	1/37	1/69*
	تابستان	3/05***	0/817	2/06**	2/44**	1/41	2/22**
مسجدسلیمان	پاییز	1/61	0/583	0/443	0/397	0/630	-1/05
	زمستان	3/24***	3/106***	2/82***	3/52***	2/96***	3/01***
	بهار	2/33**	2/60***	2/58***	2/85***	1/52	1/67*
صافی‌آباد	تابستان	2/77***	2/49**	1/70*	2/54**	2/21**	0/957
	پاییز	3/05***	1/37	1/51	1/79*	1/75*	2/03**
	زمستان	2/31**	2/63**	2/59***	3/01***	2/59***	2/03**
مسجدسلیمان	بهار	2/31**	1/97**	1/72*	1/74*	2/03**	1/78*
	تابستان	2/26**	2/38**	2/18**	2/24**	2/10**	1/89*
	پاییز	2/63***	1/89*	1/28	1/56	1/14	1/37
مسجدسلیمان	زمستان	0/910	1/09	1/19	1/28	0/677	0/910
	بهار	1/51	1/56	1/61	2/26**	1/28	1/004
	تابستان	1/94*	1/64*	1/54	1/82*	1/98**	1/30
	پاییز	-0/443	-1/19	-0/341	-0/397	-0/430	-0/474

\*، \*\*، \*\*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح 10، 5 و یک درصد.

جدول 4- نتایج آزمون تخمین گر شیب سن برای درجه حرارت فصلی عمق‌های مختلف خاک ایستگاه‌های انتخابی

شهر	فصل	عمق خاک				
		100cm	50cm	30cm	20cm	10cm
آبادان	زمستان	0/171	0/144	0/116	0/087	0/062
	بهار	0/134	0/137	0/087	0/074	0/055
	تابستان	0/064	0/121	0/082	0/005	0/062
اهواز	پاییز	0/081	0/078	0/070	0/021	0/050
	زمستان	0/007	0/009	0/020	-0/0001	0/002
	بهار	-0/024	-0/016	0/004	0/006	0/017
ایذه	تابستان	0/012	0/004	0/042	0/026	0/024
	پاییز	-0/020	-0/018	-0/003	-0/035	-0/022
	زمستان	0/053	0/059	0/035	0/019	0/012
امیدیه	بهار	-0/037	0/006	0/022	0/028	0/0079
	تابستان	-0/040	0/060	0/043	0/039	0/033
	پاییز	0/013	0/030	0/035	0/005	-0/001
بستان	زمستان	0/044	0/013	0/031	0/016	0/143
	بهار	0/084	0/032	0/057	0/057	0/120
	تابستان	0/031	0/049	0/049	0/062	1/159
بهبهان	پاییز	0/012	0/027	0/017	0/018	0/147
	زمستان	0/108	0/133	0/128	0/118	0/032
	بهار	0/194	0/177	0/154	0/144	0/078
رامهرمز	تابستان	0/178	0/164	0/143	0/141	0/102
	پاییز	0/071	0/080	0/087	0/097	0/025
	زمستان	0/059	0/062	0/052	0/063	0/033
ماهشهر	بهار	0/026	0/062	0/027	0/049	0/035
	تابستان	0/073	0/078	0/033	0/038	0/022
	پاییز	0/013	-0/007	0/016	0/014	-0/008
صفی آباد	زمستان	0/085	0/067	0/085	0/073	0/056
	بهار	0/122	0/051	0/064	0/069	0/041
	تابستان	0/086	0/052	0/093	0/084	0/017
مسجد سلیمان	پاییز	0/0341	0/025	0/018	0/015	0/012
	زمستان	0/139	0/131	0/122	0/081	0/098
	بهار	0/075	0/113	0/112	0/063	0/083
مسجد سلیمان	تابستان	0/020	0/067	0/079	0/050	0/057
	پاییز	0/054	0/043	0/043	0/030	0/025
	زمستان	0/094	0/081	0/071	0/061	0/057
مسجد سلیمان	بهار	0/074	0/044	0/045	0/071	0/078
	تابستان	0/086	0/066	0/074	0/088	0/095
	پاییز	0/028	0/022	0/029	0/019	0/029
مسجد سلیمان	زمستان	0/021	0/015	0/033	0/030	0/029
	بهار	0/036	0/037	0/100	0/064	0/050
	تابستان	0/048	0/091	0/119	0/077	0/052
	پاییز	-0/024	-0/021	-0/011	-0/011	-0/022

،\*،\*\* و \*\*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح 10، 5 و یک درصد.

## فهرست منابع:

1. اسدی، ل.، هزارجریبی، ا.، قربانی، خ.، ذاکری نیا، م. و آقا شریعتمداری، ز. 1393. تخمین دمای خاک با استفاده از روش‌های نوین داده‌کاوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، 8 (1): 145-152.
2. باعقیده، م.، انتظاری، ع. و کردی، ا. 1396. بررسی روند تغییر دمای اعماق مختلف خاک در شمال غرب ایران. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان، صص 6-1.
3. بختیاری، س.، میراحمدی، م.، گلستانی کرمانی، س.، بختیاری، ب. 1400. شناسایی روند تغییرات دمای هوا و خاک با استفاده از آزمونهای پارامتری و ناپارامتری در سه ایستگاه همدیدی جنوب شرق کشور. نیوار، 45 (112-113): 16-27.
4. بی‌نام. 1397. ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی استان خوزستان. اداره کل هواشناسی استان خوزستان، هواشناسی گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی خوزستان. صص. 16.
5. حمادی، ک.، ذاکری حسینی، ف. 1393. تاثیر تغییر اقلیم بر درجه حرارت پروفیل سطحی خاک در اهواز. نشریه پژوهش‌های اقلیمی آب، 4(10): 75-84.
6. زادمهر، ح.، فرخیان فیروزی، ا. 1399. برآورد دمای خاک از داده‌های هواشناسی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین سریع، شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، 51 (4): 895-906.
7. سبزی‌پرور، ع. ا.، طبری، ح.، آیینی، ع. 1398. 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. 14 (52): 125-137.
8. کرم‌پور، م.، یارمادی، ز. 1394. بررسی روند تغییرات دمای اعماق خاک در ایستگاه خرم‌آباد. نشریه علوم و مهندسی محیط‌زیست، 4(7): 13-23.
9. گلشن، س.، رائینی سرجاز، م. و نوروز و لاشدی، ر. 1394. بررسی و آشکارسازی اثر گرمایش جهانی بر تغییرات روند دمای خاک و برآورد آن با روش همبستگی رگرسیونی (مطالعه موردی: کرمان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، 22(4): 121-138.
10. محمدی، م.، فروزان‌فرد، م. 1395. بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، 25 (26): 127-140.
11. مزیدی، ا.، فلاح‌زاده، ف. 1390. تحلیل سالانه روند دمای خاک در ایستگاه یزد. جغرافیا و توسعه، 24: 29-50.
12. نجفی مود، م. ح.، علیزاده، ا.، محمدیان، آ.، موسوی، ج. 1387. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). علوم و صنایع کشاورزی. 22 (2): 456-466.
13. نصیری محلاتی، م. 1395. اگر واکولوژی. تالیف استیون گلیسمن، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، 460 صص.
14. Araghia, A., M. Mousavi-Baygia, M., Adamowskib, J. 2017. Detecting soil temperature trends in Northeast Iran from 1993 to 2016. *Soil & Tillage Research* 174: 177–192.
15. Behzadi, F., Wasti, A., Rahat, S. H., Tracy, J. N., Ray, P. A. 2020. Analysis of the climate change signal in Mexico City given disagreeing data sources and scattered projections. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 27: 1006625.
16. Fang, X., Luo, S., and Lyu, S. 2019. Observed soil temperature trends associated with climate change in the Tibetan Plateau, 1960–2014. *Theoretical and applied climatology*, 135(1-2), 169-181.
17. García-Suárez, A. M., and Butler, C. J. 2006. Soil temperatures at Armagh observatory, Northern Ireland, from 1904 to 2002. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 26(8), 1075-1089.

18. Hamed, K. H., and Rao, A. R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4): 182-196.
19. Kendall, M. G. 1975. Rank correlation measures. Charles Griffin, London, (4th ed). London: Griffin.
20. Knighta, J. H., Minasnya, B., McBratneya, A. B., Koenb, T. B. and Murphyb, B. W. 2018. Soil temperature increase in eastern Australia for the past 50 years. *Geoderma* 313: 241–249.
21. Kundzewicz, Z.W. and Robson, A. (2000) Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data. World Climate Program Data and Monitoring. WMO/TD-No. 1013.
22. Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259.
23. Nelson, F. E. 2003. (Un) frozen in time. *Science*, 299(5613), 1673-1675.
24. Qian, B., Gregorich, E. G., Gameda, S., Hopkins, D. W., and Wang, X. L. 2011. Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D02106): 1-16.
25. Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
26. Shi, X., Wang, G., Chen, T., Li, S., Lu, J. and Hagan, D.F.T. 2021. Long-term changes in layered soil temperature based on ground measurements in Jiangsu Province, China. *International Journal of Climatology*, 41(5): 2996-3009.
27. Shirvani, A., Moradi-Choghamarani, F., Zand-Parsa, S., and Moosavi, A.A. 2018. Analysis of long-term trends in air and soil temperature in a semi-arid region in Iran. *Environmental earth sciences*, 77(5): 1-11.
28. Svilicic, P., and Vucetic, V. 2015. Spatial and Seasonal Variability of Extreme Soil Temperature in Croatia. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 17: EGU2015-3626-1.
29. Vučetić, V., Jakovčić, P., Filić, S., Derežić, D., and Smolić, A. 2013. Impact of climate change on soil temperature in Croatia. In 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference Soil and Crop Management: Adaptation and Mitigation of Climate Change.
30. Yeşilirmak, E. 2014. Soil temperature trends in B üyük M enderes B asin, T urkey. *Meteorological Applications*, 21(4): 859-866.
31. Yusefi, A., Farrokhan Firouzi, A., Aminzadeh, M. B. 2020. The effects of shallow saline groundwater on evaporation, soil moisture, and temperature distribution in the presence of straw mulch. *Hydrology Research*, 51 (4): 720-738.
32. Zahraei A., Poodineh, M.R., Panjekoubi, P. Hosseini, S.A. 2020. Analysis of soil depth temperature changes in Iran according to classification of atmospheric circulation patterns. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6: 865-877.
33. 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. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110 (D03112): 1-15.

## Investigation of Soil Temperature Using the Modified Mann-Kendall Non-Parametric Test in Selected Regions of Khuzestan Province

H. Zadmehr and A. Farrokhan Firouzi<sup>1</sup>

MSc student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: h.zadmher72@gmail.com

Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: a.farrokhan@scu.ac.ir

Received: August, 2021, and Accepted: December, 2021

### Abstract

One of the most important signs of climate change is the increase in soil temperature, but compared to other meteorological parameters, it has received less attention by researchers. The objective of this study was to investigate soil temperature trends at 5, 10, 20, 30, 50, and 100 cm depths in selected regions of Khuzestan Province over 25 years (1994-2018). To this end, hourly soil temperature data were collected from 10 selected synoptic stations located in Khuzestan. The modified Mann-Kendall non-parametric test and Sen's slope estimation method were used to determine soil temperature change trend and the slope of temperature gradient, respectively. The results of soil temperature investigation in all regions showed that with increasing soil depth, soil temperature decreased in warm seasons (spring and summer); while in cold seasons (winter and fall) the soil temperature increased slightly. The results also revealed that soil temperature trend increased annually and seasonally in all profile depths in most regions of Khuzestan Province. Furthermore, the highest annual increase in soil temperature was observed in winter, summer, and spring, respectively, and the lowest increase occurred in the fall season. The results also showed that the annual temperature of soil profile increased by 1.28 °C during the study period.

**Keywords:** Climate change, Annual temperature trend, Seasonal temperature trend, Soil depth temperature

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz