نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

صفحات ۱۶۷ - ۱۸۶

واکاوی زمانی و مکانی روند دمای بیشینه‌ی عمق خاک در ایران

مسعود مرادی[1]؛ دکترای آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

محمدحسین قلی زاده؛ استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

میثم رحمانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

دریافت مقاله :۱۴۰۱/۰۴/۲۲ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۵/۱۶

چکیده

دمای خاک یکی از پارامترهای مهم در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم‌شناسی است. در این پژوهش تغییرات دمای خاک ایران در عمق‌های ۵ تا ۳۰سانتی‌متری زمین با هدف شناسایی رفتار زمانی و مکانی دما در گستره‌ی ایران بررسی شده است. بدین منظور داده‌های دمای خاک ۱۵۰ ایستگاه هواشناسی ایران استفاده شده است. پس از کنترل کیفی داده‌ها و انجام تحلیل‌های آماری مقدماتی، تغییرات روزانه و ماهانه‌ی دما برای کل ایران بررسی شد. در ادامه روند دمای خاک با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و شیب خط سن بررسی شده است. نتایج نشان داد رابطه‌ی مستقیم میان افزایش و کاهش دمای خاک در طول سال و ضریب تغییرات روزانه‌ی آن دیده می‌شود. روند مثبت دما در دو فصل تابستان و زمستان در گستره‌ی ایران فراگیر بوده است. در فصل تابستان روندهای قوی با اطمینان ۹۹ درصد غالبا در مناطق کوهستانی فراوانی بیشتری دارد در حالی که در فصل زمستان ایستگاه‌های واقع در نیمه‌ی جنوبی ایران بیشترین روند مثبت دمای خاک را در عمق‌های مختلف تجربه کرده‌اند. بررسی مقادیر روند دما گویای این است که روندهای بالاتر از ۱ درجه‌ی سلسیوس غالبا تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک دیده می‌شود. روند افزایشی دمای خاک در فصل زمستان گسترش مکانی بیشتری را نشان می‌دهد که گویای افزایش دماهای کمینه‌ی سالانه است و در حالت کلی روند افزایشی دمای خاک ایران را در بلندمدت نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: دمای خاک، تغییرات زمانی-مکانی، آزمون من-کندال، شیب سن، ایران

[1] نویسنده مسئول: Email: moradimasood@ymail.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

مقدمه

دمای خاک نمایانگر رژیم دمایی زمین در هر منطقه بوده که به دلیل واکنش سریع به تغییرات محیطی از شاخص‌های مهم در بررسی تغییر اقلیم به شمار می‌رود. این پارامتر یکی از متغیرهای مهم در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم‌شناسی می‌باشد که به عوامل گوناگون مانند توپوگرافی، تابش خورشید، دمای هوا، میزان رطوبت خاک، نوع و ویژگی‌های حرارتی خاک (نظیر ظرفیت گرمایی، ضریب هدایت حرارتی و گرمای ویژه) بستگی دارد. تخمین دمای خاک اهمیت زیادی دارد زیرا پارامتری کلیدی است که در بسیاری از زمینه‌های مرتبط استفاده می‌شود (Huang, et al., ۲۰۱٤). برای نمونه ترازمندی انرژی در سطح زمین میان دو مؤلفه‌ی کلیدی دمای هوا و دمای عمق خاک رخ می‌دهد (Shati et al., ۲۰۱۸). تغییرات دمای خاک در وهله‌ی اول از تابش و تبادل گرمای نهان و محسوس در سطح و انتقال گرما در خاک‌های با ویژگی‌های مختلف تأثیر می‌پذیرد. بنابرین دمای خاک و تغییرات آن در عمق‌های مختلف پارامترهای منحصر بفردی هستند که به درک فرایندهای انرژی سطحی، محیط منطقه‌ای و شرایط اقلیمی کمک می‌کند (Hu&Feng, ۲۰۰۳).

مطالعه دمای اعماق خاک از نظر هواشناسی کشاورزی و دیگر فعالیت‌های زیست محیطی اهمیت فراوانی دارد، به طوری که در عمق‌های مختلف، خاک دارای رفتار زمانی و مکانی متفاوتی می‌باشد. از آنجایی که کاشت گیاهان زراعی و باغی در اعماق مختلفی صورت می‌گیرد، لازمه این کار اطلاع از نرخ دما در اعماق مختلف خاک به ویژه در لایه‌های بالایی (تا ۳۰ سانتی‌متری) برحسب نوع گیاه و صفر بیولوژیک آنها است زیرا هر گیاهی (شامل بذر و نهال) زمانی می‌تواند از رشد مطلوب برخوردار گردد که از اصول به‌زراعی بهره‌مند شود. مهم‌ترین اصل در این زمینه دمای اعماق خاک است که بر حسب گونه‌های گیاهی متفاوت است.

اثرات گرم شدن آب و هوا در تمام کره‌ی زمین به اشکال گوناگون نمایان است(Mackay, ۲۰۰۷) و در عرض‌های بالاتر شدیدتر بوده است. علاوه بر این در خشکی‌ها گرمایش شدیدتر از اقیانوس‌ها اتفاق افتاده است (Qian et al. ۲۰۱۱). متاسفانه تغییرات اکوسیستم و انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری در اثر تغییر اقلیم برگشت ناپذیر است (Da silva, ۲۰۰۴). دمای خاک رژیم گرمایی زمین را در یک محل نشان می‌دهد و پاسخ سریع آن می‌تواند شاخصی برای نشان دادن تغییر اقلیم در یک منطقه باشد. آگاهی از روند دمای نیمرخ خاک در یک دوره‌ی زمانی به عنوان دستاورد مناسبی جهت نشان دادن میزان دقیق تغییر اقلیم مد نظر است (Yang et al. ۲۰۱۰a; Yang et al. ۲۰۱۰b). افزایش دمای خاک در اثر گرمایش جهانی می‌تواند در تشدید مخاطراتی همچون خشکسالی از طریق افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی در دوره‌ی رشد گیاه تاثیر منفی داشته باشد (Onwuka&Mang, ۲۰۱۸). همچنین افزایش دمای خاک پیامدهای گوناگونی همچون افزایش تبخیر از سطح خاک و شوری خاک در مناطق مستعد خواهد داشت که می‌تواند منجر به کاهش عملکرد خاک و نارسایی در رشد گیاه شود (Liu et al, ۲۰۲۰).

پژوهش‌های گوناگونی در بررسی دمای خاک انجام شده است که بر حسب داده‌های مورد بررسی و شرایط محیطی منطقه‌ی مطالعاتی به یافته‌های متنوعی نیز رسیده‌اند. شناسایی روند دمای روزانه‌ی خاک در شمال‌شرق ایران از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۶ انجام شده است (Araghi, et al., ۲۰۱۷). در بسیاری از ایستگاه‌های مطالعاتی یک روند منفی جزیی را در نیمه‌ی اول ژانویه و نیمه‌ی دوم دسامبر مشاهده شده است. این روند با افزایش عمق خاک بیشتر شده است. در ماه‌های گرم سال بویژه از آوریل تا آخر آگوست روند دمای خاک مثبت و قابل توجه بوده است. در استرالیا روند دما طی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

دوره‌ی ۵۰ ساله در عمق‌های خاک بیشتر از دمای هوا بوده است (Knight, et al., ۲۰۱۸). پژوهشی در ۱۱۹ ایستگاه از سه کشور روسیه، چین و مغولستان نبود ارتباط مستقیم میان دمای خاک با دمای هوا و بارش را نشان داده است (Hu&Fang, ۲۰۰۵).

ذوب و یخبندان یکی از پدیده‌های آب و هوایی رایج در عرض‌های جغرافیایی بالا است. درک مناسب از رابطه‌ی میان دمای هوا و دمای عمق خاک و اختلاف مقادیر این دو متغیر در عرض‌های بالا می‌تواند در تشخیص دقیق حالت‌های ذوب و یخبندان بسیار سودمند باشد در این زمینه استفاده از دمای لایه‌ی بالایی خاک را به جای دمای هوا در تشخیص حالت‌های ذوب و یخبندان پیشنهاد شده است (Shati et al., ۲۰۱۸). فرایندهای ذوب و یخبندان در هند موضوع تحلیلی است که در آن روند چرخه‌های ذوب-یخبندان خاک بررسی شده است و دمای خاک در عمق‌های مختلف با پارامترهای اقلیمی شامل دمای هوا، بارش برف، پوشش برفی و بارندگی مقایسه شده است (Sinha&Cherkauer, ۲۰۰۸).

پژوهش‌ها در مورد دمای خاک در ایران نیز برای برخی مناطق انجام شده است. بهیار و کمالی (۱۳۸۶) به بررسی رابطه‌ی دمای سطح خاک با ترازهای پایین‌تر خاک در ایستگاه بروجن پرداخته‌اند. نتایج بررسی آن‌ها رفتار دما از نظر سرعت نفوذ و نوسانات آن را از سطح تا عمق یک متری روشن ساخته است. همچنین براورد عمق یخبندان با استفاده از رابطه‌ی دمای هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک در استان خراسان رضوی (نجفی مود و همکاران، ۱۳۸۷) نشان داده است که روش امریکایی در کلیه‌ی ایستگاه‌ها عمق یخبندان را بیشتر از مقدار واقعی براورد کرده است در حالی که روش‌های فنلاندی و نروژی به ترتیب بهترین براورد عمق یخبندان را ارائه نموده‌اند. تخمین دمای خاک با استفاده از پارامترهای اقلیمی دیگر در یک دوره‌ی ۱۵ ساله عملکرد بهتر روش منطق فازی نسبت به رگرسیون را نشان داده است (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۸۹). بررسی دمای خاک در ایستگاه کرمانشاه (مجرد و صادقی، ۱۳۹۱) نیز علاوه بر کاهش نوسان سالانه و شبانه‌روزی به سمت عمق‌های پایین خاک، نشان داده است که دماهای کمینه زودتر از دماهای بیشینه به عمق معینی از خاک می‌رسند. اسعدی اسکویی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی اثر عمق غرقابی بر دمای خاک و آب شالیزار از ۱۵ لایسیمتر شالیزاری استفاده کرده‌اند. نتایج بیانگر آن بوده است که با کاهش عمق آب در خاک دمای خاک سردتر می‌شود و کاهش غرقاب تا عمق ۱۰ سانتی‌متر به طور معنی‌داری در خنک شدن محیط موثر است. نتایج بررسی روند دمای خاک در سه ایستگاه استان کرمانشاه در دوره‌ی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۸ نشان داده است که ایستگاه سرپلذهاب بدون روند معنی‌دار و ایستگاه‌های کرمانشاه و کنگاور روند افزایشی را در غالب عمق‌های خاک تجربه کرده‌اند (همتی و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی پژوهش‌های پیشین روشن ساخت که تاکنون روند دمای خاک با پوشش جامع مکانی در ایران انجام نشده است، بنابراین هدف پژوهش حاضر واکاوی رفتار زمانی مکانی دمای خاک در عمق‌های مختلف تا ۳۰ سانتی-متری زمین و بررسی وجود هر نوع روند گرمایشی یا سرمایشی در بخش‌های مختلف ایران است.

داده‌ها و روش کار

- **داده‌ها**

برای انجام این پژوهش داده‌های ساعتی دمای خاک (عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری) در دوره آماری ۱۳۹۶ - ۱۳۷۷ استفاده شده است. دمای عمق خاک سه بار در روز در ساعت‌های ۶:۳۰ دقیقه‌ی صبح، ۱۲:۳۰ دقیقه‌ی ظهر و ۶:۳۰ دقیقه بعدظهر به وقت محلی (ساعت‌های ۳، ۹ و ۱۵ به وقت جهانی) اندازه‌گیری می‌شود. این داده‌ها برای ۱۵۰

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

ایستگاه‌های سینوپتیک ایران در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است. با افزایش دوره‌ی آماری مورد بررسی از تعداد ایستگاه‌هایی که اندازه‌گیری دمای خاک را به صورت پیوسته و بدون نبودهای آماری قابل توجه اندازه‌گیری کرده‌اند کاسته می‌شود. به همین دلیل دوره‌ی زمانی ۲۰ ساله به منظور پوشش مکانی مناسب (۱۵۰ ایستگاه همدید) در گستره‌ی ایران انتخاب شده است.

- **روش‌شناسی**

پس از مرتب‌سازی داده‌ها جهت تحلیل دمای خاک در گستره‌ی ایران، ضریب تغییرپذیری زمانی دما در عمق‌های ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری محاسبه شده است. برای این منظور میانگین سه برداشت روزانه‌ی دمای خاک محاسبه و سپس ضریب تغییرات از رابطه‌ی (۱) به دست آمده است که در آن CV ضریب تغییرپذیری دمای خاک در سری زمانی روزانه، σ انحراف معیار سری زمانی دمای خاک در هر ایستگاه و μ میانگین است:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

در این پژوهش روند دمای خاک با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال[۱] (Kendall, ۱۹۷۵; Mann, ۱۹٤٥) و شیب خط سن[۲] بررسی شده است.

- **روش محاسبه‌ی آزمون من-کندال**

برای تحلیل روند دمای خاک با آزمون من-کندال پس از محاسبه‌ی میانگین ماهانه‌ی دمای خاک از داده‌های روزانه در ساعت‌های مختلف دیدبانی، مراحل زیر انجام شد:

گام اول محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به صورت زیر:

$$S = \sum_{k=۱}^{n-۱} \sum_{j=k+۱}^{n} sgn(x_j - x_k) \qquad (۲)$$

که n تعداد مشاهدات سری X_i و X_k به‌ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$sgn = \begin{cases} +۱ \text{ if } (x_j - x_k) > ۰ \\ ۰ \text{ if } (x_j - x_k) = ۰ \\ -۱ \text{ if } (x_j - x_k) < ۰ \end{cases} \qquad (۳)$$

گام دوم محاسبه واریانس به کمک یکی از روابط زیر:

$$Var_s = \frac{n(n-۱)(۲n+۵) - \sum_{i=۱}^{n} t_i(t_i-۱)(۲t_i+۵)}{۱۸} \qquad \text{if } n>۱۰ \qquad (۴)$$

$$Var_s = \frac{n(n-۱)(۲n+۵}{۱۸} \qquad \text{if } n<۱۰ \qquad (۵)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نشان‌دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

در گام سوم آماره Z توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

[۱] Man-Kendal
[۲] SENs Slope

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

$$Z=\begin{cases}\frac{S-1}{\sqrt{Var_S}} & \text{if} \quad S>0\\ 0 & \text{if} \quad S=0\\ \frac{S+1}{\sqrt{Var_S}} & \text{if} \quad S<0\end{cases} \qquad (۶)$$

گام چهارم آزمون فرض است. فرض صفر بر عدم وجود روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد. به بیانی دیگر Z به لحاظ آماری معنی‌دار نیست(سری زمانی نمایه‌ی مورد نظر از خود روندی نشان نمی‌دهد). زمانی این فرض تأیید می‌شود که $-Z_{\alpha/2} \prec |Z| \prec Z_{\alpha/2}$ باشد. مقادیر $Z_{\alpha/2}$ انحراف نرمال استاندارد(Z جدول) است وα سطح معنی‌داری است که برای آزمون درنظر گرفته می‌شود. فرض مقابل یا فرض یک بر وجود روند دلالت دارد و بدین معنی است که Z به لحاظ آماری معنی‌دار است. زمانی این فرض تأیید می‌شود که $Z \prec -Z_{\alpha/2}$ یا $Z \succ Z_{\alpha/2}$ باشد(گن[۱]، ۱۹۹۸). اگر Z کوچکتر از صفر باشد، روند منفی سری زمانی نمایه‌ی مورد نظر را تأیید می‌کنیم و در صورتی که Z بزرگتر از صفر باشد، روند مثبت سری زمانی را رد نمی‌کنیم.

فرض اصلی استفاده از روش ناپارمتریک من‌کندال جهت واکاوی تغییرات سری زمانی و روند، آن است که در مشاهدات خودهمبستگی معناداری وجود نداشته باشد. اگر سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال اینکه آزمون من کندال وجود روند را در سری نشان دهد، افزایش می‌یابد. ممکن است سری در واقعیت بدون روند باشد. جهت حذف خودهمبستگی لازم است که اجزاء خودهمبستگی، از قبیل فرایند خودهمبستگی مرتبه اول قبل از انجام آزمون من کندال از سری زمانی داده‌ها حذف شود، این فرایند را پیش‌سفیدکردن[۲] نامگذاری می‌کنند(میرعباسی نجف‌آبادی و دین‌پژوه، ۱۳۸۹). برای نیل به این هدف از آزمون من-کندال اصلاح شده بهره گرفته شد. این آزمون توسط حامد و رائو در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. گام اول محاسبه‌ی آزمون ضریب خود همبستگی مرتبه Kام (rk) بر اساس رابطه زیر است:

$$r_k=\frac{\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}(x_i-\bar{x})(x_{i+k}-\bar{x})}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \qquad (۷)$$

که در آن $k=1,2,\ldots,\frac{n}{4}$ می‌باشد. اگر $\frac{-1-1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \le r_k \le \frac{1+1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k}$ باشد آنگاه داده‌ها در سطح ۵ درصد مستقل فرض می‌شوند و واکاوی روند به کمک روش من-کندال شناسایی می‌شود اما اگر ضریب خود همبستگی مرتبه kام غیر مستقل و معنی‌دار فرض شود ابتدا واریانس اصلاح شده (V(S)*) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Var(s)^* = Var(s)\frac{n}{n^*} \qquad (۸)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)}\sum_{i=1}^{n-1}(n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \qquad (۹)$$

که در آن ri ضرایب همبستگی با تأخیر i می‌باشد که از رابطه ۷ محاسبه می‌شود و برای محاسبه‌ی Z از Var(S)* استفاده می‌شود.

[۱] Gan
[۲] Pre-Whitening

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

- **روش برآورد شیب سن**

تخمین گر شیب سن یک روش ساده ناپارامتریک است که توسط سن در سال ۱۹۶۸ ارائه شد. اگر مدل خطی $f(t)$ به صورت زیر باشد:

$$f(t) = Qt + \qquad (۱۰)$$

که Q شیب و B ثابت و عرض از مبدأ است. جهت محاسبه‌ی شیب Q، شیب همه‌ی جفت داده‌ها به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j-k}. i = ۱.۲.\cdots\cdots\cdots. N. j > k \qquad (۱۱)$$

اگر سری زمانی x دارای n مقدار باشد، تعداد شیب‌های محاسبه شده Q برابر با $N = n(n-1)/2$ خواهد بود. تخمین‌گر شیب سن برابر با میانه‌یN مقدار Q_i است. مقادیر Q_i از کوچک به بزرگ مرتب می‌شود و شیب سن به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = \begin{Bmatrix} Q_{\frac{N+۱}{۲}} \\ \frac{۱}{۲}(Q_{\frac{N}{۲}} + Q_{\frac{N+۲}{۲}}) \end{Bmatrix} \qquad (۱۲)$$

اگرN فرد باشد از رابطه‌ی اول و اگر زوج باشد از رابطه‌ی دوم استفاده می‌شود. فاصله‌ی اطمینان آزمون دو طرفه‌ی روش ناپارامتریک شیب سن برپایه‌ی توزیع نرمال بدست می‌آید. گام بعد محاسبه‌ی C_a در سطوح اطمینان مورد نظر است که به کمک رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$C_a = Z_{۱-\frac{\propto}{۲}} * \sqrt{Var(S)} \qquad (۱۳)$$

که در آن Z آماره توزیع نرمال استاندارد است که برای سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با ۱/۶۴، ۱/۹۶ و ۲/۵۸ خواهد بود. گام بعد محاسبه‌ی حدود اعتماد بالا و پایین(M۱ و M۲) است که برپایه‌ی روابط زیر بدست خواهد آمد.

$$\begin{Bmatrix} M_۱ = \frac{N' + C_a}{۲} \\ M_۲ = \frac{N' - C_a}{۲} \end{Bmatrix} \qquad (۱۴)$$

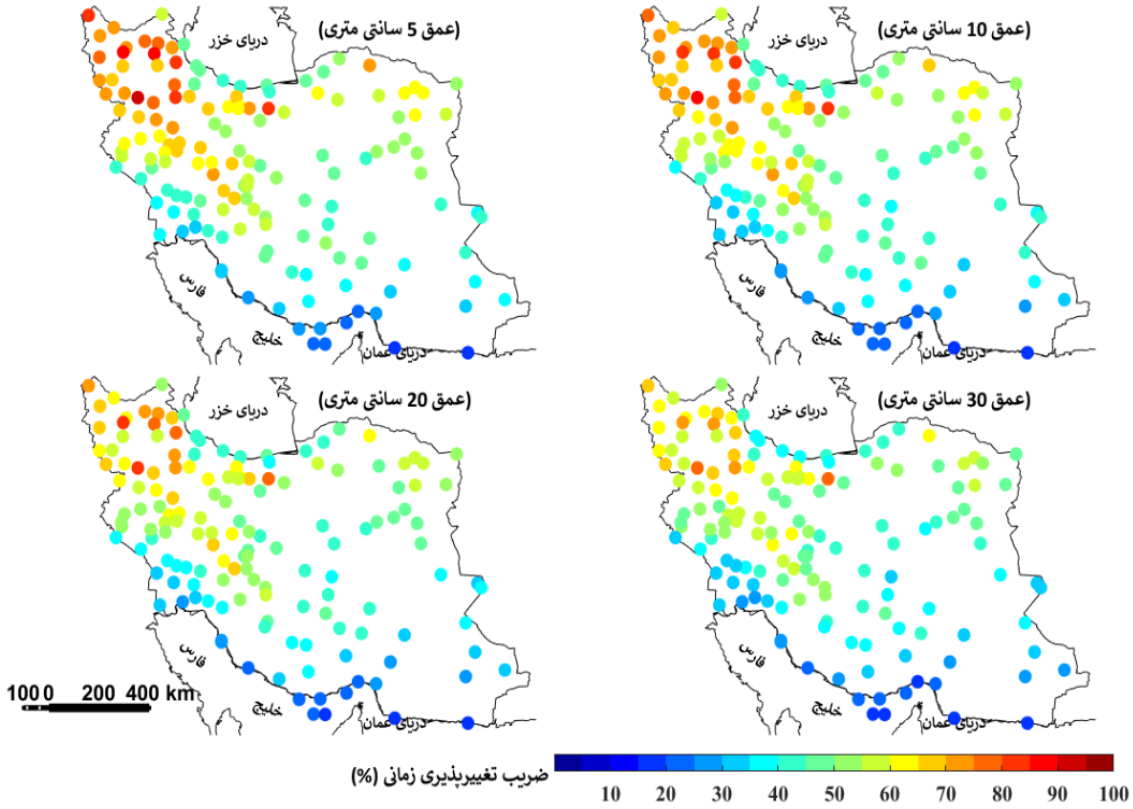
کهN' تعداد شیب‌های محاسبه شده در گام‌های نخستین است. گام نهایی آزمون فرض است که بر پایه‌ی شیب‌های محاسبه شده $M_۱$ امین و $M_۲ + ۱$ امین شیب‌ها استخراج می‌شود. اگر عدد صفر بین دو شیب استخراج شده قرار گیرد فرض صفر تأیید می‌شود و سری زمانی داده‌ها بدون روند است. در صورتی که عدد صفر بین دو شیب محاسبه شده قرار نگیرد سری زمانی مورد نظر در سطح اطمینان مورد نظر روند معناداری از خود نشان می‌دهد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

شرح و تفسیر نتایج

- **ضریب تغییرپذیری زمانی دمای خاک**

ضریب تغییرپذیری زمانی دما در عمق‌های ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در مقیاس زمانی روزانه در شکل ۱ نشان داده شده است. ایستگاه‌های مورد بررسی در گستره‌ی ایران رفتار مکانی نمایانی را در تغییرپذیری زمانی دمای خاک نشان می‌دهند.



شکل ۱ ضریب تغییرپذیری زمانی دما (درصد) در عمق‌های ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در ایران

در هر چهار عمق مورد بررسی از ۵ تا ۳۰ ساتی‌متری بخش‌های شمال‌غربی ایران، و بخش‌هایی از مناطق کوهستانی زاگرس و البرز تغییرپذیری زمانی بالایی (تا ۹۰٪) دارند. ایستگاه‌های واقع در کرانه‌ها و جزایر جنوب ایران نیز کمترین تغییرپذیری را با کمتر از ۲۰٪ داشته‌اند. پس از آن جلگه‌ی خوزستان، جنوب شرق ایران و کرانه‌های دریای خزر در شمال ایستگاه‌های با تغییرپذیری زمانی کمتر از ۵۰٪ هستند. این رفتار مکانی در هر چهار عمق خاک مورد بررسی نمایان است. تفاوتی که میان عمق‌های مختلف وجود دارد، کاهش تغییرپذیری زمای دمای خاک با افزایش عمق آن است. به گونه‌ای که در عمق ۵ سانتی‌متری اغلب ایستگاه‌های با تغییرپذیری بالای ۷۰٪ واقع در مناطق کوهستانی شمال غرب، زاگرس و البرز به کمتر از ۶۰٪ در عمق ۳۰ سانتی‌متری رسیده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

- **روند فصلی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری**

دمای خاک در دیده‌بانی‌های ۶:۳۰ صبح که پیش از طلوع آفتاب اندازه‌گیری می‌شود نزدیک به دماهای کمینه‌ی شبانه‌روز است و بررسی روند دمای خاک در این ساعت می‌تواند نشانگر روند دماهای کمینه باشد. همچنین دیده‌بانی دمای خاک در ساعت ۱۲:۳۰ ظهر و ۱۸:۳۰ عصر انجام می‌شود. برداشت‌های ۱۸:۳۰ عصر نیز نزدیک‌ترین برداشت به دماهای بیشینه‌ی خاک در عمق‌های مختلف خواهد بود.

روند فصلی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در شکل (۲) آمده است. پراکنش مکانی روند در ساعت‌های دیده‌بانی مختلف تغییر می‌کند. در فصل بهار بخش‌هایی از کرانه‌های غربی دریای خزر، زاگرس مرکزی و ایستگاه‌های ساحلی جلگه‌ی خوزستان روند معنی‌دار مثبت دارند که در میان آن‌ها دو ایستگاه ساحلی آبادان و بندر امام روند مثبت قوی‌تری را نشان می‌دهند. برای ساعت ۱۲:۳۰ ظهر در فصل بهار ایستگاه‌های جنوب شرقی ایران روند معنی‌دار منفی دارند و در ساعت ۱۸:۳۰ این روند منفی در نیمه‌ی جنوبی و شرقی کشور گسترش می‌یابد. در فصل تابستان روندهای مثبت و منفی در گستره‌ی ایران پراکنده شده است. تعداد روندهای معنی‌دار (هم مثبت و هم منفی) در فصل تابستان نسبت به بهار افزایش یافته است. در فصل پاییز معنی‌داری روندهای منفی دما در عمق ۵ سانتی‌متری به ویژه در ساعت ۱۲:۳۰ ظهر چشمگیرتر است و فراوانی بیشتری در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. برخلاف پاییز در فصل زمستان روند دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری غالبا مثبت است. در هر سه دیدبانی روزانه، این روندهای مثبت دما در بخش‌های جنوب غربی ایران بیشترین معنی‌داری را نشان می‌دهند (۲).

مقایر روند دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری برگرفته از شیب خط سن در شکل (۲) تنظیم شده است. بررسی روند دما در ساعت ۶:۳۰ صبح در فصل‌های مختلف سال، نشان می‌دهد که ایستگاه‌هایی که روند مثبت را تجربه کرده‌اند در فصل‌های مختلف غالبا یکسان است، با این حال، در ساعت‌های دیدبانی مختلف روز میزان روند در یک ایستگاه مشخص تغییر می‌کند. این بدین معنی است که ایستگاه‌های با روند معنی‌دار و بیش از ۰/۵ درجه‌ی سلسیوس بیشتر تابع ساعت دیدبانی در روز هستند و نوسان دمای خاک در چرخه‌ی روزانه اثرگذار بوده است.

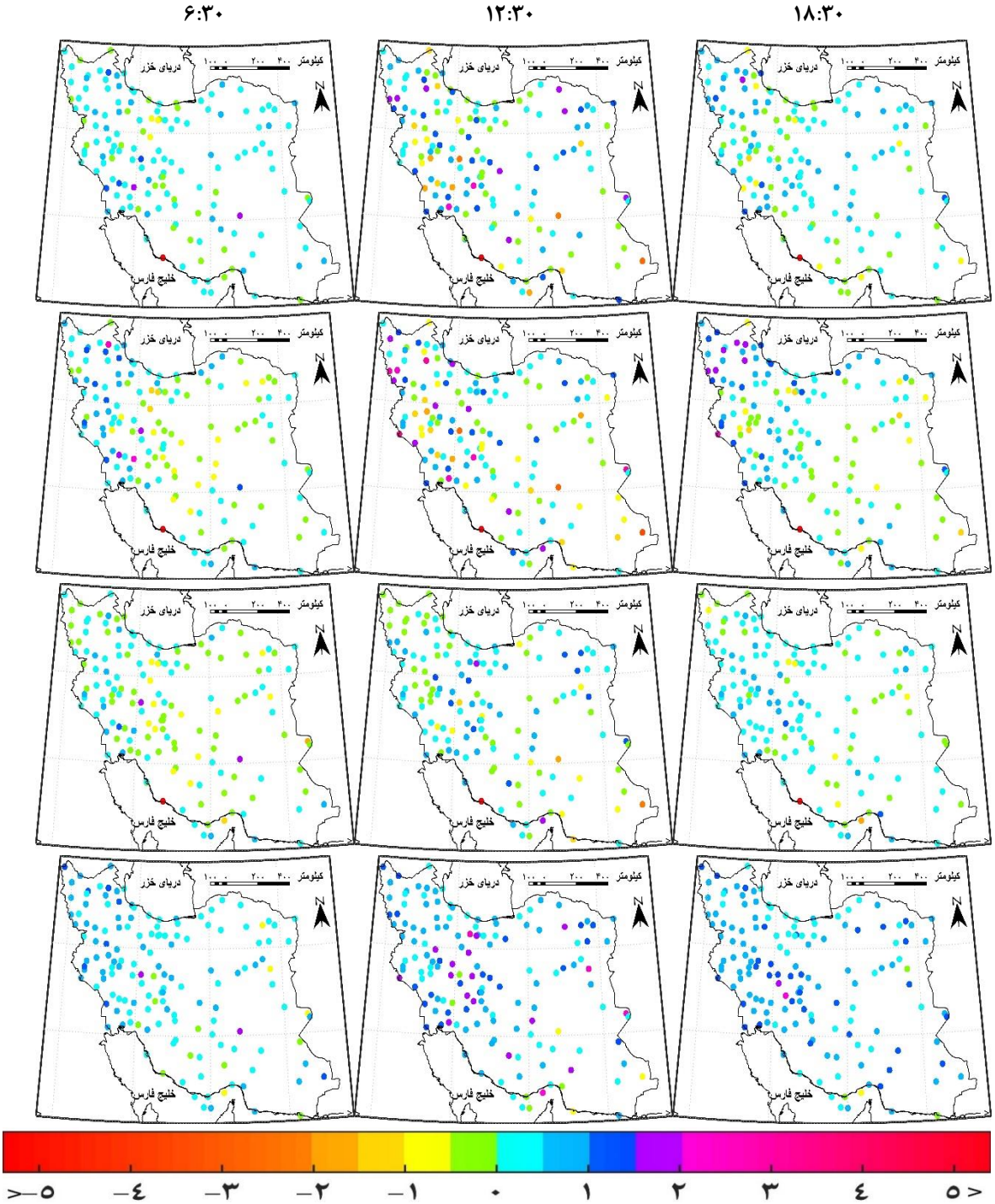
در ساعت ۱۲:۳۰ و در فصل بهار فراوانی ایستگاه‌های با روند مثبت ۱/۵ تا ۲ درجه سلسیوس افزایش یافته است. این افزایش نسبت به زمان‌های اندازه‌گیری صبح و عصر قابل توجه است و در کل در این ساعت غلبه با شیب مثبت دمایی است. این شرایط در فصل تابستان بیشتر در نیمه‌ی غربی و نوار شمالی کشور مشاهده می‌شود و در ساعت ۱۸:۳۰ عصر بیشتر از دو زمان دیگر روز است. در این فصل بخش‌هایی از البرز مرکزی و ایران مرکزی شیب‌های منفی را تجربه کرده‌اند که عمدتا مقدار آن کمتر از ۰/۵ درجه بوده است.

در فصل پاییز روندهای بیش از ۰/۵ درجه سلسیوس در دیده‌بانی‌های ساعت ۱۲:۳۰ به صورت پراکنده در امتداد رشته کوه زاگرس دامنه‌های جنوبی البرز و شمال شرقی ایران رخ داده است. در هر سه ساعت دیدبانی فصل پاییز تعداد ایستگاه‌های با روند بیش از ۰/۵ درجه (مثبت یا منفی) نسبت به فصل‌های دیگر سال کاهش داشته است. همچنین تعداد روندهای مثبت در دیده‌بانی‌های ظهر و عصر نسبت به صبح افزایش یافته است.

در یک نگاه کلی و اولیه به وضعیت روند دما در فصل زمستان، دیده می‌شود که روندهای مثبت در غالب ایستگاه‌ها حاکمیت دارد. فراوانی ایستگاه‌های با روند مثبت بیش از ۰/۵ درجه، در ساعت ۶:۳۰ صبح برای نیمه‌ی غربی بیشتر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

اســت. اگرچه در این ســاعت فراوانی کلی آن نســبت به ســاعت‌های ظهر و عصــر عدد کمتری را نشــان می‌دهد. در ساعت‌های ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ بویژه در نیمروز روندهای بیش از ۰/۵ درجه نسبت به تمام فصل‌های سال بیشتر است. این روندهای مثبت دمایی در برخی ایســتگاه‌ها تا دو درجه‌ی ســلسـیوس افزایش دما را نشــان می‌دهند که عمدتا در بخش‌هایی از زاگرس بویژه زاگرس میانی، دامنه‌های جنوبی البرز و شمال شرق کشور دیده می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲ پراکندگی فصلی مقادیر روند (به ازای هر ده سال) دمای عمق ۵ سانتی‌متری خاک در ایران برای ساعت‌های ۹:۳۰ صبح، ۱۲:۳۰ ظهر و ۱۸:۳۰ عصر (از بالا به پایین بهار تا زمستان)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

- **روند فصلی دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری**

مقادیر روند برای عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در فصل‌های مختلف سال و ساعت‌های دیدبانی روز در شکل ۳ آمده است. روندهای دمایی بیش از ۰/۵ درجه سلسیوس یا کم‌تر از ۰/۵- درجه در فصل بهار بسیار کم دیده می‌شود. این موضوع در هر سه دیدبانی روزانه غالب است اگرچه تعداد ایستگاه‌های با روند منفی ضعیف (کمتر از ۰/۵- درجه)، در ساعت‌های ظهر و عصر افزایش می‌یابد. در این میان برخی ایستگاه‌ها عمدتا در نیمه‌ی جنوبی کشور روندهای مثبت بیش از ۱ درجه را با تفاوت چشمگیر نسبت به سایر ایستگاه‌ها نشان می‌دهند.

در فصل تابستان تعداد ایستگاه‌های با روند بیش از ۰/۵ درجه افزایش می‌یابد که از نظر مکانی شمال غرب و جنوب غرب ایران بیشترین افزایش را نسبت به فصل بهار نشان می‌دهند. برخی از این ایستگاه‌ها بویژه در ساعت ۱۸:۳۰ در شمال غربی ایران روند بیش از ۱/۵ و گاها ۲ درجه را نشان می‌دهند. تعداد ایستگاه‌های با روند منفی در فصل تابستان نیز افزایش نشان می‌دهد اما این افزایش بیشتر در دماهای ۰/۵- تا ۱- درجه‌ی سلسیوس رخ داده است(شکل ۳).

ویژگی بارز روند دمای خاک ۱۰ سانتی‌متری در فصل پاییز وجود دماهای در محدوده‌ی ۰/۵± درجه است که در سراسر ایران گسترش یافته است. از نظر پراکنش مکانی نیز مقادیر مثبت غالبا در نیمه‌ی غربی و مقادیر منفی در سایر مناطق بیشتر دیده می‌شود. تعداد ایستگاه‌های با روند مثبت در دیده‌بانی ساعت ۱۸:۳۰ نسبت به دو دیده‌بانی دیگر روز افزایش یافته است که بیشتر در ایستگاه‌های واقع در زاگرس مرکزی دیده می‌شود (شکل ۳).

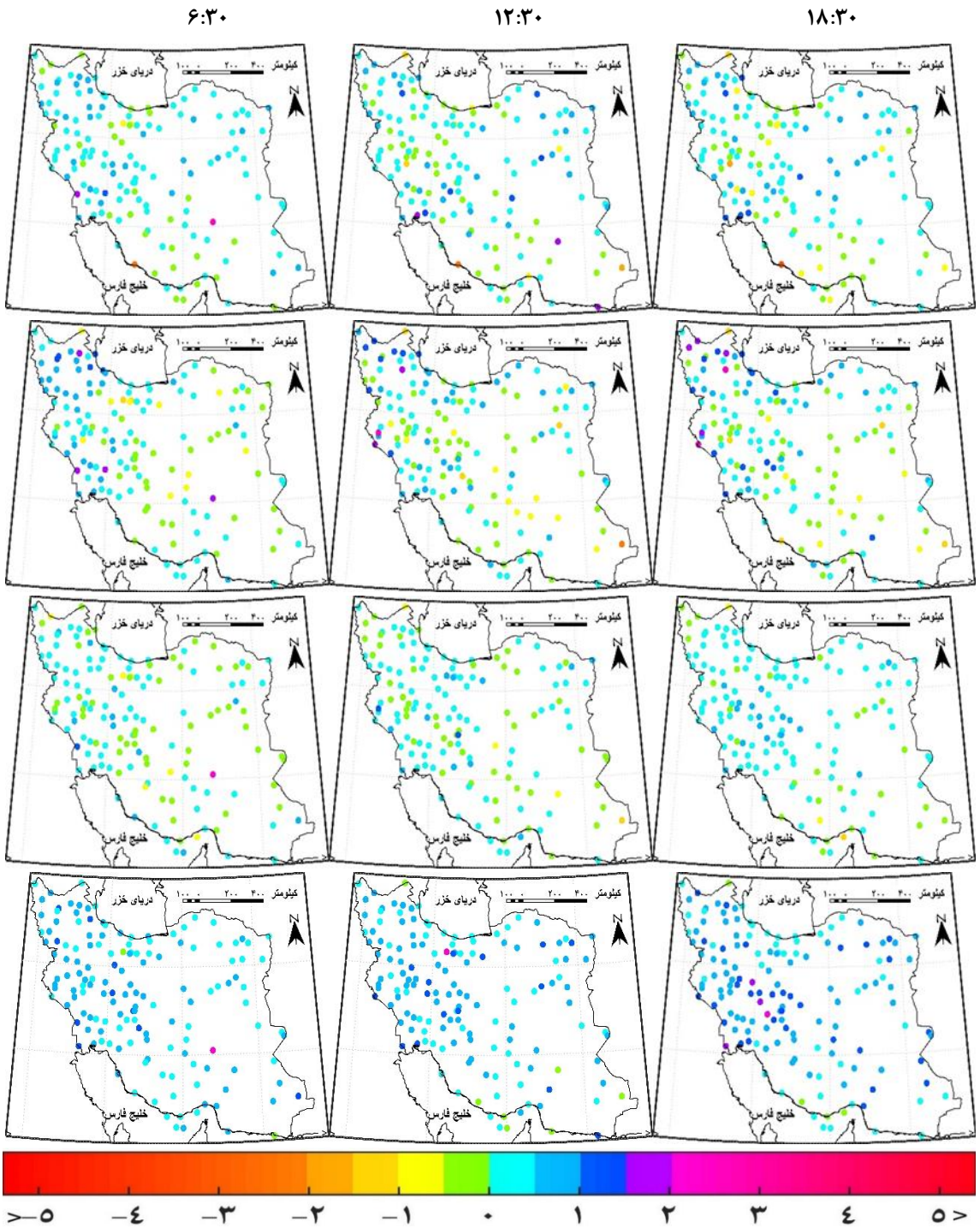
در فصل زمستان تعداد ایستگاه‌های با روند بیش از ۰/۵ درجه نیز افزایش یافته است. این شرایط در دیدبانی‌های ظهر و عصر که نزدیک به مقادیر بیشینه‌ی روزانه است بیشتر دیده می‌شود. این مقادیر از نظر مکانی غالبا در زاگرس مرکزی دیده می‌شود و در برخی ایستگاه‌ها بیش از ۱/۵ درجه‌ی سلسیوس را نشان می‌دهد (شکل ۳).

- **روند فصلی دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری**

در عمق ۲۰ سانتی‌متری یک تفاوت آشکار در روند دما نسبت به ترازهای بالاتر نمایان است. در این عمق میزان روند غالبا در فاصله‌ی ۰/۵± درجه‌ی سلسیوس در نوسان است و ایستگاه‌های با مقادیر بزرگتر به ندرت دیده می‌شود. این ویژگی به ویژه در فصل بهار بسیار مشهود است. در ساعت ۶:۳۰ صبح برای فصل بهار، بخش شرقی کرانه‌های خزر، بخش‌هایی از البرز غربی و زاگرس شمالی و همچنین زاگرس جنوبی روند صفر تا ۰/۵- درجه را تجربه کرده‌اند و در سایر بخش‌ها بین صفر تا ۰/۵ درجه بوده است. این شرایط در دیده‌بانی‌های ظهر و عصر نیز با کمی تغییر برای فصل بهار پابرجا بوده است.

در فصل تابستان در ساعت ۶:۳۰ صبح روندهای دمایی مثبت بیش از ۰/۵ درجه‌ی سلسیوس در شمال غربی ایران رخ داده است. رخداد این مقادیر مثبت در ساعت‌های ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ علاوه بر شمال غربی به ترتیب در جنوب غربی و نوار ساحلی شمال نیز دیده می‌شود. در این فصل نیمه‌ی شرقی کشور غالبا شاهد روند منفی از صفر تا ۰/۵- بوده است که از جنوب رشته کوه البرز تا جنوب کشور را در بر می‌گیرد. با این حال ایستگاه‌های ساحلی جنوب کشور از این قاعده مستثنی بوده و روند مثبت را نشان می‌دهند (شکل ۴).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

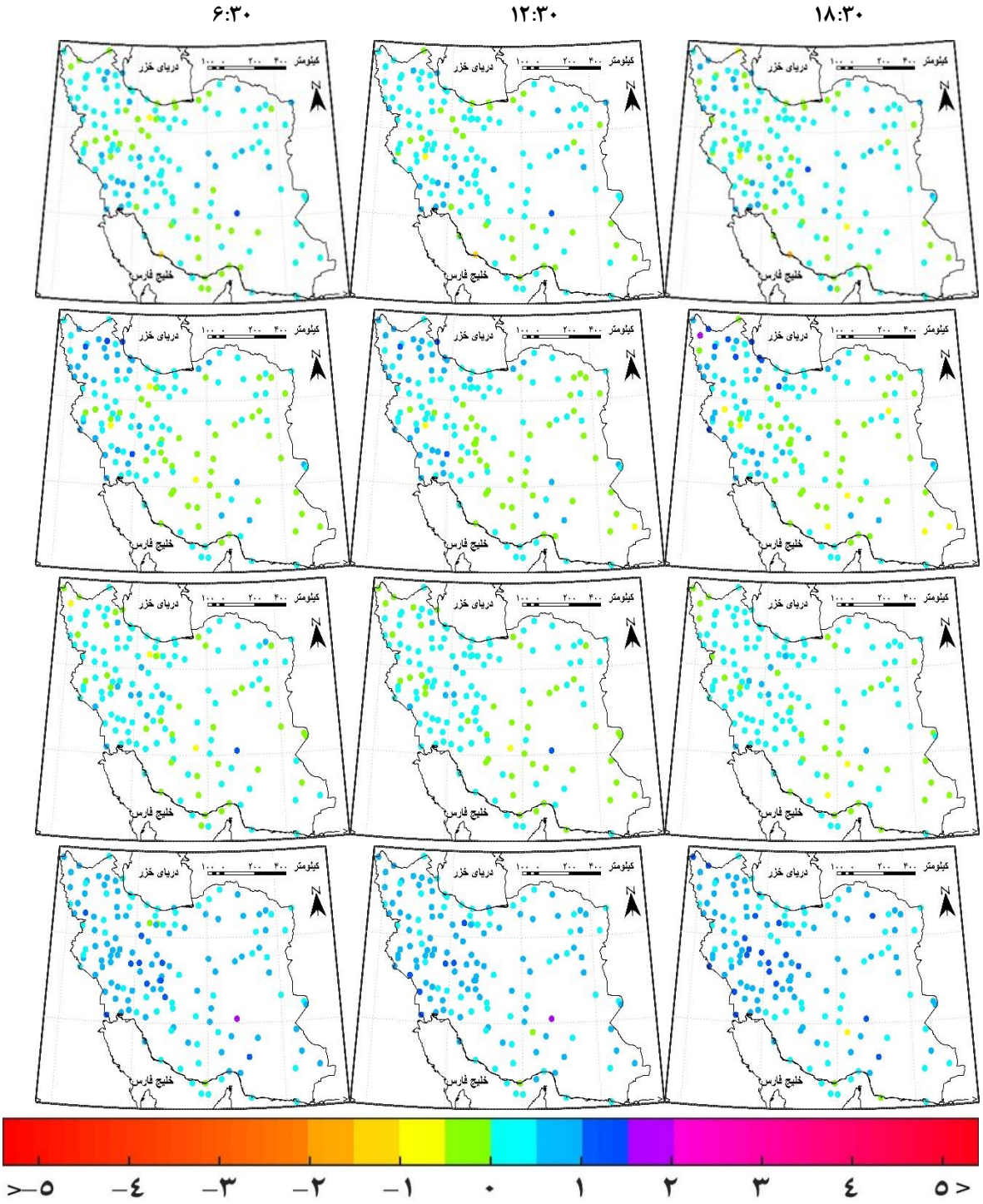


شکل ۳ پراکندگی فصلی روند (به ازای هر ده سال) برای دمای عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در ساعت‌های ۹:۳۰ صبح، ۱۲:۳۰ ظهر و ۱۸:۳۰ عصر در ایران (از بالا به پایین بهار تا زمستان)

در فصل پاییز روند دمای خاک (مثبت و منفی) دوباره کاهش یافته است و همانند فصل بهار مقادیر ۰/۵± بیشتر حاکم است. در این فصل الگوی پراکنش مقادیر روند غالبا به تبعیت از پراکندگی مناطق ارتفاعی کشور در ارتباط با روندهای مثبت و منفی دیده می‌شود. بدین صورت که روندهای مثبت دمایی عمدتا در مناطق مرتفع منطبق بر رشته کوه البرز و زاگرس رخ داده است و روندهای دمایی منفی غالبا در ایران مرکزی و جنوب شرقی کشور دیده می‌شود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

ویژگی بارز روند دما در فصل زمستان حاکمیت سراسری مقادیر مثبت است که در برخی ایستگاه‌ها بیش از ۰/۵ درجه‌ی سلسیوس و بعضا ۱ تا ۱/۵ درجه را نشان می‌دهد. این ایستگاه‌ها عمدتا در جنوب رشته کوه البرز و شرق زاگرس (ایران مرکزی) قرار دارند (شکل ۴).



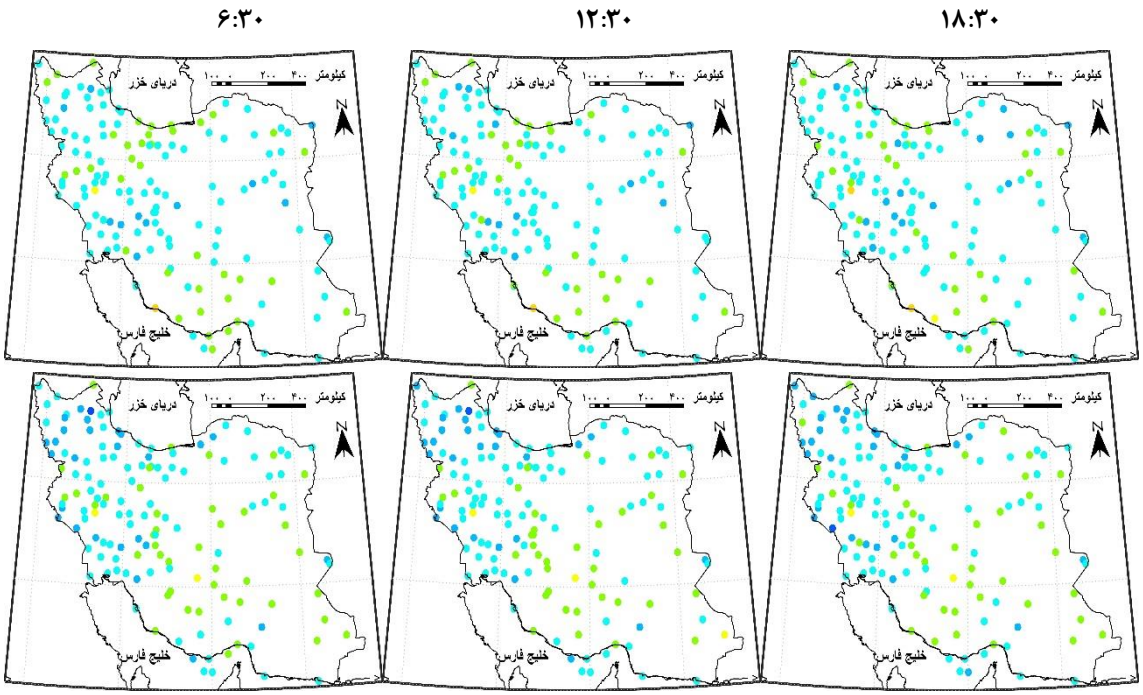
شکل ۴ پراکندگی فصلی روند (به ازای هر ده سال) برای دمای عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در ساعت‌های ۹:۳۰ صبح، ۱۲:۳۰ ظهر و ۱۸:۳۰ عصر در ایران (از بالا به پایین بهار تا زمستان)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

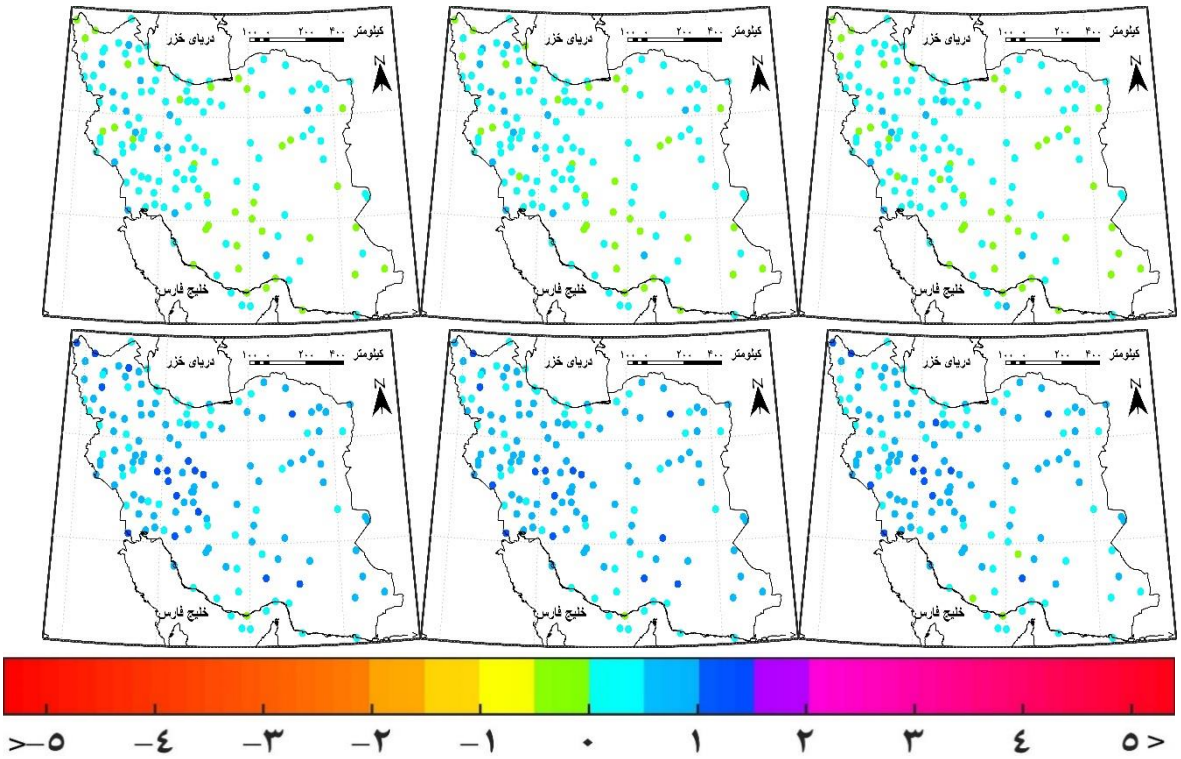
- **روند فصلی دمای خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری**

در فصل بهار روند دمای خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری ایستگاه‌های با شیب مثبت دما فراوانی بیشتری دارند. با این حال غالب این روندها در فاصله‌ی صفر تا ۰/۵ درجه‌ی سلسیوس قرار دارد. زاگرس مرکزی و جنوب غربی کشور روند مثبت بین ۰/۵ تا ۱ درجه‌ی سلسیوس را نشان می‌دهند. پراکندگی مکانی روند در ساعت‌های دیدبانی مختلف فصل بهار تفاوت چندانی با هم ندارد. در تابستان نیز در هر سه ساعت دیدبانی روزانه ایستگاه‌های با روند منفی بین صفر تا ۰/۵- قرار دارد و نسبت به فصل بهار به مناطق جنوبی‌تر ایران جابجا شده است. مقادیر مثبت در نیمه‌ی شمالی و غربی کشور فراوانی بیشتری دارند. در شمال غربی ایران ایستگاه‌های با روند بین ۰/۵ تا ۱ درجه‌ی سلسیوس بیشتر از سایر بخش‌هاست. در هر سه ساعت دیدبانی ایستگاه‌های کرنه‌ها و جزایر جنوبی روند مثبت دمایی صفر تا ۱ را تجربه کرده‌اند (شکل ۵).

در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در فصل پاییز روندهای مثبت دمایی نسبت به فصل تابستان افزایش یافته است و برخی ایستگاه‌های ایران مرکزی و جنوبی نیز از روند منفی به مثبت تغییر کرده است که عمدتا در فاصله‌ی صفر تا ۰/۵ قرار دارد. ایستگاه‌های با روند دمایی بیش از ۰/۵ درجه‌ی سلسیوس بخش‌هایی در امتداد زاگرس را در می‌گیرد. همانند ترازهای بالاتر خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری نیز در فصل زمستان روندهای مثبت فراوانتر است. همچنین ایستگاه‌های با روند بیش از ۰/۵ درجه نیز فراوانتر از دیگر فصل‌ها رخ داده است که از نظر پراکنش مکانی در شرق زاگرس مرکزی بیشتر دیده می‌شود. این روندهای بیش از ۰/۵ درجه در امتداد شمال غرب به جنوب شرقی کشور رخ داده است (شکل ۵).



[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]



شکل ۵ پراکندگی فصلی روند (به ازای هر ده سال) برای دمای عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در ساعت‌های ۹:۳۰ صبح، ۱۲:۳۰ ظهر و ۱۸:۳۰ عصر در ایران (از بالا به پایین بهار تا زمستان)

- **روند سالانه‌ی دمای خاک در عمق ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری**

روند دما در مقیاس سالانه برای عمق‌های ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در شکل (۶) آمده است. روند دمای خاک در مقیاس سالانه نسبت به ماهانه مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. در این شکل ایستگاه‌هایی که با رنگ آبی کم رنگ تا آبی پر رنگ و بنفش دیده می‌شود، روند مثبت دمای خاک را از صفر تا ۵ درجه‌ی سلسیوس نشان می‌دهد. در مقابل روندهای منفی با رنگ‌های سبز، زرد، نارنجی و سرخ از صفر تا ۵- درجه ترسیم شده است.

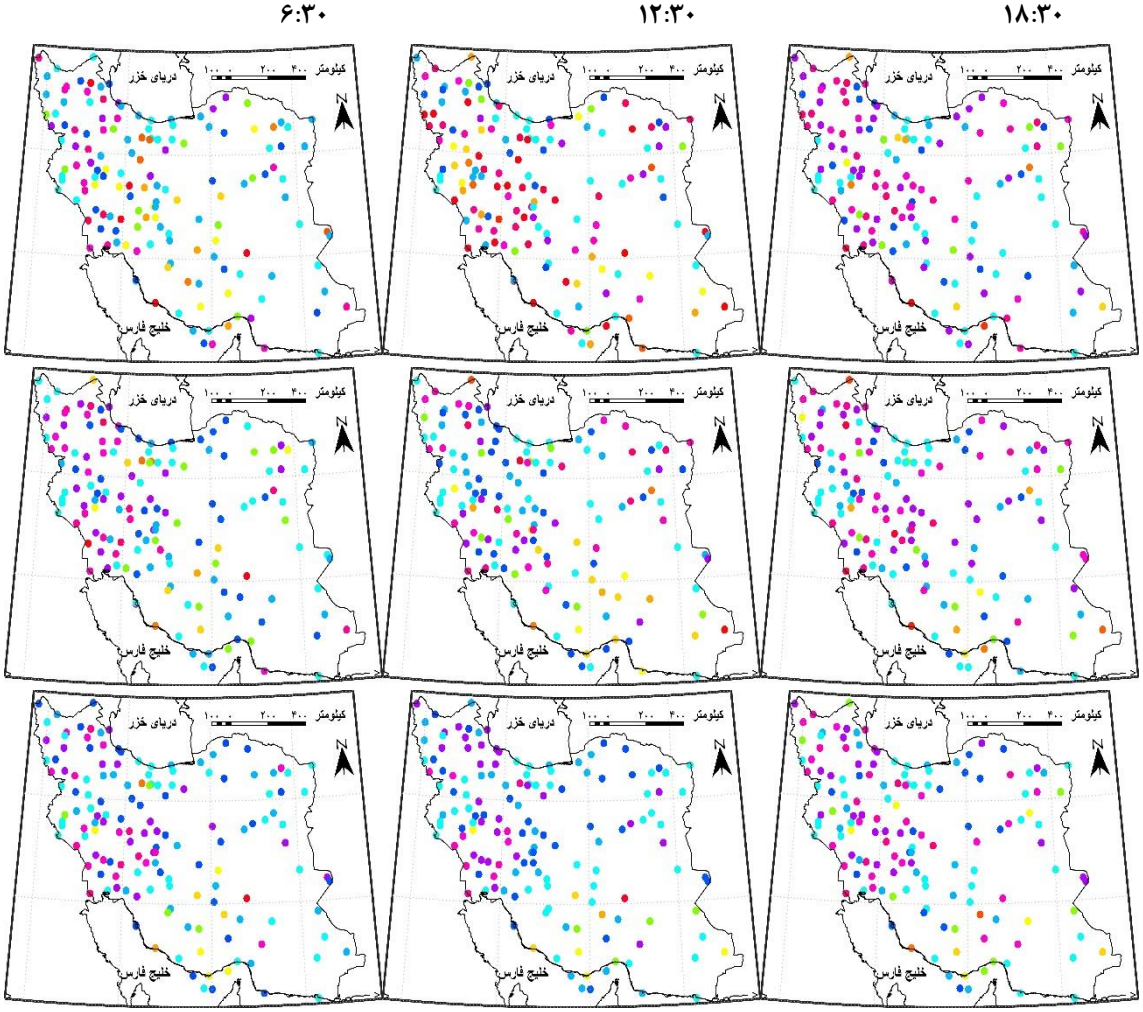
در عمق‌های مختلف خاک روند مثبت دما از مقادیر ۱ تا ۴ درجه‌ی سلسیوس قابل توجه است. در عمق ۵ سانتی‌متری برخی ایستگاه‌ها در امتداد رشته کوه زاگرس شیب منفی ۰/۵- تا ۱- را نشان می‌دهند. تعداد آن‌ها در عمق ۱۰ سانتی‌متری کم‌تر شده است و مکان‌گزینی آن‌ها در بخش جنوبی ایران مرکزی قرار دارد. در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک تعداد این شیب‌های منفی مجددا کاسته شده است و مکان‌گزینی خاصی را در گستره‌ی ایران نشان نمی‌دهند به صورت پراکنده در نیمه‌ی جنوبی ایران مشاهده می‌شوند (شکل ۶).

با افزایش عمق خاک تغییرات مکانی روند دما نیز کاهش یافته و جهت آن نیز به نفع مقادیر مثبت یکنواخت می‌شود. بدین معنی که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند مثبت دمای خاک مشاهده می‌شود. این شرایط حذف اثر نوسانات کوتاه‌مدت روزانه و میان‌مدت فصلی دمای خاک را در روند دمای خاک در مقیاس سالانه و همچنین در عمق‌های پایین‌تر خاک نشان می‌دهد (شکل ۶).

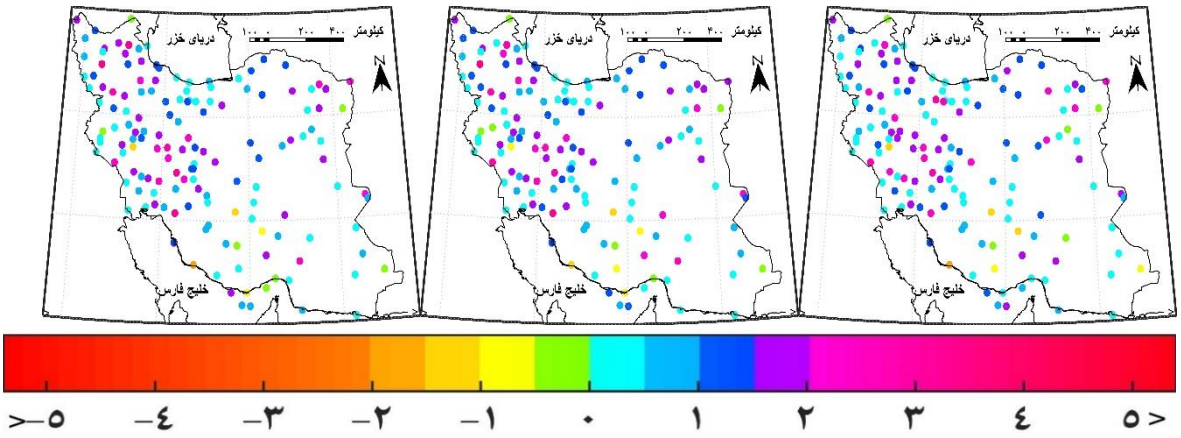
در این تحقیق تغییرات دمای اعماق خاک در گستره‌ی ایران مورد بررسی قرار گرفت. از بررسی روند دمای خاک در عمق‌های مختلف، می‌توان به این نتیجه رسید که روند مثبت دما در دو فصل تابستان و زمستان در گستره‌ی ایران فراگیر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

بوده است. در فصل تابستان روندهای شدید غالبا در مناطق کوهستانی فراوانی بیشتری دارد در حالی که در فصل زمستان ایستگاه‌های واقع در نیمه‌ی جنوبی ایران بیشترین روند مثبت دمای خاک را در عمق‌های مختلف تجربه کرده‌اند. روند منفی دمای خاک نیز در عمق‌های مختلف، ویژگی بارز فصل پاییز است که نسبت به سایر فصل‌های سال به میزان قابل توجهی در ایران فراگیرتر است. می‌توان گفت در فصل‌های تابستان و زمستان که همزمان با رخداد دماهای بیشینه و کمینه است، روند مثبت دمای خاک فراوان‌تر از دو فصل دیگر سال رخ داده است.این یافته با نتایج کار سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۸۹) که به برآورد میانگین روزانه دمای اعماق خاک در هشت ایستگاه منتخب هواشناسی در ایران پرداختند، تفاوت دارد. نتایج پژوهش مزیدی و فلاح زاده (۱۳۹۰) در بررسی روند دمای عمق‌های خاک در ایستگاه یزد، 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 که تاییدی بر یافته‌های تحقیق حاضر است. شناسایی روند دمای روزانه‌ی خاک در شمال‌شرق ایران توسط (Araghi, et al., ۲۰۱۷). نشان داد در ماه‌های گرم سال بویژه از آوریل تا آخر آگوست روند دمای خاک مثبت و قابل توجه بوده است که با نتایج تحقیق حاضر تا حدودی مشابهت دارد.



[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]



شکل ۶ پراکندگی سالانه‌ی روند (به ازای هر ده سال) برای دما در عمق‌های ۵، تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در ساعت‌های ۶:۳۰ صبح، ۱۲:۳۰ ظهر و ۱۸:۳۰ عصر

جدول (۱) فراوانی ایستگاه‌های با روند معنی‌دار را در دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد نشان می‌دهد. این محاسبات برای سه دیدبانی روزانه و عمق‌های صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در مقیاس سالانه انجام شده است. بر اساس این جدول سطوح بالایی خاک تعداد ایستگاه‌های با روند معنی‌دار بیشتری دارند. با این حال فراوانی ایستگاه‌های با روند معنی‌دار در هر دو سطح ۹۵ و ۹۹ درصد در ترازهای بالاتر خاک بالاست و هرچه به عمق پایین‌تر می‌رویم ضریب تغییرات آن کاسته می‌شود. این شرایط برای ساعت‌های دیدبانی مختلف در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد تفاوت خاصی را نشان نمی‌دهد اما در سطح ۹۹ درصد، ضریب تغییرات در ساعت‌های ظهر و عصر بیشتر از دیدبانی صبح است.

جدول ۱ فراوانی روندهای معنی‌دار دمای خاک در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد و ضریب تغییرات فراوانی‌ها در ساعت‌های دیدبانی روز وعمق‌های مختلف خاک

ضریب تغییرات ٪	۳۰	۲۰	۱۰	۵	عمق خاک (سانتی‌متر) / ساعت روز / سطح اطمینان	
۲۷	۲۵	۴۰	۲۶	۲۰	۶:۳۰ صبح	سطح اطمینان ٪۹۵
۲۸	۲۶	۲۳	۳۵	۴۳	۱۲:۳۰ ظهر	
۲۶	۲۷	۳۱	۳۵	۳۸	۱۸:۳۰ عصر	
	۳	**۲۷**	**۱۶**	**۳۶**	**ضریب تغییرات ٪**	
۲۸	۱۰	۱۴	۱۵	۶	۶:۳۰ صبح	سطح اطمینان ٪۹۹
۴۲	۱۳	۱۵	۲۲	۲۵	۱۲:۳۰ ظهر	
۴۷	۱۱	۱۳	۲۰	۲۷	۱۸:۳۰ عصر	
	۱۳	**۱۷**	**۱۹**	**۶۰**	**ضریب تغییرات ٪**	

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر بر مطالعه‌ی تغییرات زمانی و مکانی دمای خاک در گستره‌ی ایران متمرکز شده است. ضریب تغییرات مکانی دمای خاک در ماه‌های مختلف سال بررسی شده است. در مهم‌ترین بخش از بررسی تغییرات دمای خاک با

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن روند دمای خاک در گستره‌ی ایران و در مقیاس زمانی فصلی و سالانه بررسی شده است. از مهم‌ترین نتایج این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در ماه‌های گرم و سرد سال (تابستان و اواخر پاییز تا اواسط زمستان) تغییرات مکانی دمای خاک در عمق‌های مختلف نسبت به دیگر ماه‌ها پایین‌تر است. اما در دوره‌ی گرم سال دمای خاک در عمق‌های مختلف تغییرات مکانی کمتری را تجربه می‌کند. فصل‌های بهار و پاییز به عنوان دوره‌ی گذار از سرد به گرم و گرم به سرد بیشترین تغییرات مکانی دما را در گستره‌ی ایران نشان می‌دهد.

در فصل تابستان روندهای قوی با اطمینان ۹۹ درصد غالبا در مناطق کوهستانی فراوانی بیشتری دارد در حالی که در فصل زمستان ایستگاه‌های واقع در نیمه‌ی جنوبی ایران بیشترین روند مثبت دمای خاک را در عمق‌های مختلف تجربه کرده‌اند. روند منفی دمای خاک نیز در عمق‌های مختلف، ویژگی بارز فصل پاییز است که نسبت به سایر فصل‌های سال به میزان قابل توجهی در ایران فراگیرتر است. می‌توان گفت در فصل‌های تابستان و زمستان که همزمان با رخداد دماهای بیشینه و کمینه است، روند مثبت دمای خاک فراوان‌تر از دو فصل دیگر سال رخ داده و با سطح اطمینان بیشتری نیز دیده می‌شود. با توجه به این‌که در فصل‌های تابستان و زمستان و نیز در مقیاس زمانی سالانه فراوانی روندهای مثبت دمای خاک بالاست بنابراین دمای خاک در گستره‌ی ایران روند مثبت را نشان می‌دهد. این شرایط به‌ویژه در خاک‌های کم‌عمق نمایان‌تر است.

روندهای دمایی بالاتر از ۱ درجه‌ی سلسیوس بیشتر در عمق‌های ۵ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک دیده می‌شود. این شرایط برای فصل زمستان که روندهای معنی‌دار مثبت و مقادیر روند بالا را تجربه می‌کند صادق نیست. در فصل زمستان بیشترین روند دمای خاک در گستره‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران رخ داده است. این شرایط نشان‌دهنده‌ی افزایش دماهای کمینه‌ی سالانه است که در این فصل رخ می‌دهد. از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری روند دما در ساعت‌های دیدبانی مختلف روز تغییر می‌کند. از این ویژگی می‌توان نتیجه گرفت که کاهش و یا ثابت ماندن روند به سمت عمق‌های پایین‌تر در ارتباط با حذف نوسان‌های روزانه‌ی دما در این عمق‌های خاک است که در روند تغییرات دمای خاک نیز منعکس شده است.

از تعداد ایستگاه‌های با روند منفی دمای خاک در مقیاس سالانه نسبت به فصلی کاسته شده است. در مقایسه‌ی مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه از روند دمای خاک می‌توان نتیجه گرفت که افزایش روند مثبت دمای خاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس سالانه تمایل بیشتر دمای خاک ایران به سمت افزایش را در بلندمدت نشان می‌دهد.

با افزایش عمق خاک تغییرات مکانی روند دما نیز کاهش یافته و جهت روند نیز به نفع مقادیر مثبت در ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران همسان می‌شود. بدین معنی که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند مثبت دمای خاک مشاهده می‌شود. این شرایط حذف اثر نوسانات کوتاه‌مدت روزانه و میان‌مدت فصلی دمای خاک را در روند و شیب دمای خاک در مقیاس سالانه و همچنین در عمق‌های پایین‌تر خاک نشان می‌دهد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

منابع

اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ محمد موسوی بایگی، محمدرضا یزدانی، امین علیزاده، محمدجواد زهد قدسی. ۱۳۹۶. اثر عمق غرقابی بر دمای آب و خاک در شالیزار (مطالعه موردی: رشت). نشریه هواشناسی کشاورزی، **۵ (۱)**: ۵۶-۴۸.

بهیار، محمدباقر؛ غلامعلی کمالی. ۱۳۸۶. رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک. تحقیقات جغرافیایی، **۸۶**: ۸۱-۱۰۲.

ثنایی نژاد، حسین؛ محمدادیب عباسی، محمد موسوی بایگی، محمدطالب حیدری گندمان. ۱۳۸۷. بررسی رژیم دمایی هوا و اعماق خاک و تعیین توابع نوسانات ادواری آن‌ها در ایستگاه‌های استان کردستان. مجله‌ی علوم و صنایع کشاورزی ویژه آب و خاک، **۲۲(۱)**: ۳۳-۲۵.

علی‌اکبر، سبزی‌پرور؛ حمید زارع ابیانه، مریم بیات ورکشی. ۱۳۸۹. مقایسه یافته‌های مدل شبکه استنتاج تطبیقی عصبی-فازی با مدلهای رگرسیونی به منظور برآورد دمای خاک در سه اقلیم متفاوت. علوم آب و خاک، **۲۴(۲)**: ۲۸۵-۲۷۴.

مجرد، فیروز؛ حدیث صادقی. ۱۳۹۱. بررسی رابطه‌ی دمای سطح زمین با اعماق خاک (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه کرمانشاه). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، **۴۵(۱)**: ۱۱۸-۱۰۱.

مزیدی، احمد، فاطمه فلاح زاده. ۱۳۹۰. تحلیل روند دمای سالانه‌ی خاک در ایستگاه یزد. فصلنامه جغرافیا و توسعه، **۹(۲۴)**: ۵۶-۳۹.

رسول، میرعباسی نجف آبادی؛ یعقوب دین پژوه. ۱۳۸۹. تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک، **۲۴(۴)**: ۷۶۸-۷۵۷.

نجفی مود، محمدحسین؛ امین علیزاده، آزاده محمدیان، جواد موسوی. ۱۳۸۷. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان. علوم و صنایع کشاورزی، **۲۲(۲)**: ۴۵۶-۴۶۶.

همتی، شهرام؛ بهروز نصیری، مصطفی کرمپور. ۱۳۹۹. تعیین روند تغییر دمای خاک در اقلیمهای مختلف استان کرمانشاه. تحقیقات آب و خاک ایران، **۵۱(۱۰)**: ۲۶۴۲-۲۶۵۰.

Araghi, A.; M. Mousavi-Baygi, and J. Adamowski. ۲۰۱۷. Detecting soil temperature trends in Northeast Iran from ۱۹۹۳ to ۲۰۱۶. Soil & Tillage Research, **۱۷٤**: ۱۷۷–۱۹۲.

Da silva, V.P.R. ۲۰۰٤. On climate variability in northeast of Brazil. Journal of Arid Environment **۵۸(٤)**: ۵۷۵–۵۹٦.

Gan, T.Y. ۱۹۸۸. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies, water resources research, **۳٤(۱۱)**: ۳۰۰۹-۳۰۱۵.

Hu, Q.; and S. Feng. ۲۰۰۳. A Daily Soil Temperature Dataset and Soil Temperature Climatology of the Contiguous United States. Journal of Applied Meteorology, **٤۲**: ۱۱۳۹-۱۱۵٦.

Huang, F.; W. Zhan, W. Ju, and Z. Wang. ۲۰۱٤. Improved reconstruction of soil thermal field using two-depth measurements of soil temperature. Journal of Hydrology, **۵۱۹**: ۷۱۱–۷۱۹.

Kendall, M. ۱۹۷۵. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.

Knight, J.H.; B. Minasny, A.B. McBratney, T.B. Koen, and B.W. Murphy. ۲۰۱۸. Soil temperature increase in eastern Australia for the past ۵۰ years. Geoderma, **۳۱۳**: ۲٤۱–۲٤۹.

Liu, P.; Y. Xia, and M. Shang. ۲۰۲۰. A bench-scale assessment of the effect of soil temperature on bare soil evaporation in winter. Hydrology Research. **۵۱(٦)**: ۱۳٤۹-۱۳۵۷.

Mackay, A. ۲۰۰۸. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (۲۰۰۷) Climate change ۲۰۰۷: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Journal of Environmental Quality, **۳۷(٦)**: ۲٤۰۷

Mann, H. ۱۹٤۵. Nonparametric tests against trend. Econometrica ۱۳: ۲٤۵–۲۵۹.

Onwuka, B.; and B. Mang. ۲۰۱۸. Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. Advances in Plants & Agriculture Research, ۸: ۳٤-۳۷.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

Qian, B.; E.G. Gregorich, S. Gameda, D.W. Hopkins, and X.L. Wang. ۲۰۱۱. Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. Journal of Geophysical Research. ۱۱٦. ۱-۱٦.

Shati, F.; S. Prakash, H. Norouzi, and R. Blake. ۲۰۱۸. Assessment of differences between near-surface air and soil temperatures for reliable detection of high-latitude freeze and thaw states. Cold Regions Science and Technology, ۱٤٥: ۸٦–۹۲.

Sinha, T.; and K.A. Cherkauer. ۲۰۰۸. Time Series Analysis of Soil Freeze and Thaw Processes in Indiana. Journal of Hydrometeorology, ۹: ۹۳٦-۹٥۰.

Yang M.; F.E. Nelson. N.I. Shiklomanov, D. Guo, and G. Wan. ۲۰۱۰. Permafrost degradation and its environmental effects on the Tibetan Plateau: a review of recent research. Earth Science Review, ۱۰۳: ۳۱–٤٤.

Yang, Z.; O. YH, X. Xu, L. Zhao, M. Song, and C. Zhou. ۲۰۱۰. Effects of permafrost degradation on ecosystems. Acta Ecologica Sinica **۳۰(۱)**: ۳۳–۳۹.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.10.5]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.167]