

## بررسی ارتباط دمای خاک با پارامترهای آب و هوایی

در شمال غرب ایران (۲۰۱۵-۱۹۹۲)

محمد باعقیده (دانشیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، نویسنده

مسئول)

[mbaaghideh2005@yahoo.com](mailto:mbaaghideh2005@yahoo.com)

علیرضا انتظاری (دانشیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)

[entezari2005@gmail.com](mailto:entezari2005@gmail.com)

آزیتا کردی (دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)

[kordi.azita@gmail.com](mailto:kordi.azita@gmail.com)

صص ۳۰۷ - ۲۷۹

### چکیده

**اهداف:** دسترسی به داده‌های درجه حرارت در اعماق مختلف خاک برای اهداف زیست محیطی، کشاورزی، مدیریت شهری و ساختمان دارای اهمیت است. با توجه به این که دمای خاک فقط در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور اندازه گیری می‌شود و در پاره‌ای از موارد نیز دارای خلأهای آماری است، کمبود آن در نقاط فاقد ایستگاه یکی از چالش‌های بزرگ است. تحقیق حاضر با رویکردی توصیفی - تحلیلی با هدف بررسی روند دمای خاک و سنجش رابطه بین پارامترهای هواشناسی و دمای خاک در منطقه شمال غرب ایران طی دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵ واکاوی شد.

**روش:** متغیرهای مورد استفاده شامل میانگین دما، کمینه و بیشینه دما، بارش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، فشار ایستگاه، سرعت باد و دمای اعماق خاک (۵، ۲۰، ۱۰۰ سانتی‌متر) بودند. روند تغییرات دمای خاک در عمق‌های منتخب با استفاده از روش ناپارامتری منکندال بررسی شد و با استفاده از رگرسیون‌های هم-زمان، دمای خاک در سه عمق مختلف برآورد شد. جهت اعتبارسنجی روابط پیشنهادی از آماره‌های MAE، MBE، RMSE، R2 استفاده شد.

**یافته ها/ نتایج:** نتایج تحقیق نشان داد، متغیرهای میانگین دمای هوا و حداکثر دما بیشترین تأثیر را بر دمای خاک داشتند و در ایستگاه‌های مطالعه‌شده بیشترین ضریب تعیین در عمق ۵ و ۲۰ سانتی متری مشاهده شد. اکثر ایستگاه‌ها در اعماق مختلف خاک با پدیده روند افزایشی دما مواجه بوده‌اند که این روند برای بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی بیشتر بوده است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک که نمایشگر تغییر اقلیم است و دمای سطحی خاک که نشان‌دهنده تغییرات کوتاه‌مدت است، می‌توان دریافت که پدیده تغییر اقلیم در حال رخ دادن است و روی پارامتر دمای خاک هم تأثیر چشم‌گیری داشته است.

**کلیدواژه‌ها:** دمای خاک، پارامترهای آب و هوایی، رگرسیون چندگانه، شمال غرب ایران.

#### ۱. مقدمه

اطلاع داشتن از دمای خاک به‌عنوان یک پارامتر مهم هواشناسی، در تحقیقات مختلف علمی از اهمیت ضروری برخوردار است. به‌طور کلی خاک دارای ظرفیت ذخیره‌سازی حرارت بالا و نرخ انتشار حرارتی پایین است و روند تغییرات درجه حرارت آن آهسته است. با توجه به انتشار حرارتی کم، خاک قادر به انتشار گرما به جو در طول دوره سرد سال است (فرگوسن و بلترامی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶، ص. ۲۱۹). در مقابل در سراسر دوره گرم و یا در طول فصل تابستان خاک از جو گرما جذب می‌کند که می‌تواند در فصل زمستان مؤثر باشد. این چرخه که بین خاک و جو در طول سال اتفاق می‌افتد نشان می‌دهد که خاک منبع خوبی از پتانسیل انرژی حرارتی است. در دوره سرد خاک گرم‌تر از هوا و محیط اطراف است و در دوره گرم، عکس این حالت اتفاق می‌افتد. بنابراین، دمای خاک به‌عنوان یک پارامتر هواشناسی مهم برای انواع برنامه‌های کاربردی به کار می‌رود (بیلگیلی، ساهین و سانگان<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳، ص. ۳۰۶). روابط غیرخطی پیچیده بین پاسخ‌های درجه حرارت هوا و خاک به تغییرات آب و هوایی

1. Ferguson and Beltrami  
2. Bilgili, Sahin and Sangun

وجود دارد (جانگویست، کانی، توتچین، مارتین و فوترا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴، ص. ۲). بررسی روند تغییرات دمای خاک در طول زمان می‌تواند به‌عنوان نشانه‌ای برای تغییر اقلیم مدنظر قرار گرفته شود؛ اما به ندرت به‌عنوان شاخص این نوع تغییرات گزارش شده است. دمای خاک و نوسانات آن منجر به تغییر در درجه حرارت هوا و بارش می‌شود که هر دو به طور قابل توجهی با تغییرات آب و هوا در ارتباط است (بای، اسکات و مین<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴، ص. ۳۵۰). درجه حرارت خاک و رطوبت آن از عوامل مهمی است که تجزیه مواد آلی، چرخه آب و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌خصوص میکروارگانیسم‌های لایه‌های سطحی خاک تأثیرپذیری بالایی از تغییرات دما نشان می‌دهند (رانکین، کارونن و باترفیلد<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴، ص. ۷۰۷). بنابراین، دمای خاک و تغییرات آن نمی‌تواند در مطالعات تغییرات آب و هوایی و اثرات آن بر اکوسیستم و فعالیت‌های انسان نادیده گرفته شود.

## ۲. پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه برآورد دمای خاک صورت گرفته است. روش‌های سری فوریه، رگرسیون چندمتغیره خطی، شبکه‌های عصبی، معادلات موازنه انرژی و سامانه اطلاعات جغرافیایی از جمله روش‌های بررسی رژیم دمایی سطح و ژرفای خاک است. احمد و رسول<sup>۴</sup> (۲۰۰۸)، در پاکستان با استفاده از داده‌های میانگین دمای هوا و مدل رگرسیونی به پیش‌بینی دمای خاک پرداختند. آن‌ها گزارش دادند بالاترین مقدار ضریب تعیین مدل (۰/۸۶) در فصل بهار و در عمق ۱۰ سانتی‌متر و کمترین آن در فصل زمستان به مقدار ۰/۳۲ برآورد شد. کارتر و آندرن<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) جهت تخمین دمای خاک اطلاعات مربوط به دمای هوا و درجه حرارت خاک در شش عمق مختلف را از ایستگاه‌های هواشناسی سوئد جمع‌آوری کردند. نتایج نشان داد در تمام اعماق برای ۹۵ درصد از ایستگاه‌ها مقادیر شبیه‌سازی دمای خاک کمتر از ۲/۸ درجه سانتی‌گراد با مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف داشت. جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر

1. Jungqvist, K.oni, Teutschbein, Martyn and Futter.
2. Bai, Scott abd Min
3. Rankinen, Karvonen, Butterfield
4. Ahmad, Rasul
5. Katterer & Andren

روند دمای خاک متغیرهای هواشناسی دمای هوا، بارش، درجه حرارت خاک و عمق برف بر روی زمین از ۳۰ ایستگاه طی دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۵۸ در کانادا جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد دمای خاک در فصل بهار و تابستان دارای روند افزایشی و معنادار است، افزایش در دمای خاک همراه با روند افزایشی در دمای هوا و کاهش عمق برف همراه خواهد بود (کوئین، گرگوریچ، گامدا، هپکینز و وانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱، ص. ۱۲). چو، لانگ، مک و لی<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) ارتباط بین درجه حرارت خاک و پارامترهای هواشناسی را در هنگ کنگ بررسی کردند. نتایج مدل رگرسیون چندمتغیره نشان داد درجه حرارت خاک به شدت به دمای هوا وابسته است درحالی که ارتباط آن با رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد بسیار کم است. طبری، حسین‌زاده و ویلمز<sup>۳</sup> (۲۰۱۵) جهت پیش‌بینی درجه حرارت خاک در دو ایستگاه هواشناسی مرطوب و خشک (ساری و زاهدان) از داده‌های دمای هوا و دمای خاک به‌عنوان ورودی برای مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند، نتایج نشان داد مدل‌های استفاده‌شده از اعتبار لازم برخوردار هستند. جعفری گلستانی، سرجاز و احمدی (۱۳۸۶) با استفاده از روابط رگرسیونی، معادلات تجربی را جهت تخمین دمای خاک شهر ساری در عمق‌های ۷ و ۲۰ سانتی‌متر پیشنهاد کردند. نجفی مود، علیزاده، محمدیان و موسوی (۱۳۸۷) به منظور برآورد عمق یخبندان خاک و ارائه یک رابطه ساده و منطقی بین درجه حرارت هوا و اعماق مختلف خاک از ایستگاه‌های هواشناسی خراسان پژوهشی انجام دادند، نتایج آن‌ها منجر به ارائه یک معادله درجه دوم به ازای هر عمق خاک شد. سبزی پرور، زارع ایبانه و بیات ورکشی (۱۳۸۹) به برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چهار نمونه آب و هوای ایران با روش همبستگی خطی چندمتغیره پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که اهمیت تاثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در آب و هوای مختلف یکسان نیست. جهت بررسی روند دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد داده‌های روزانه دمای اعماق خاک در ساعات ۰۳، ۰۹ و ۱۵ گرینوچ تجزیه و تحلیل شد. نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین دامنه نوسان روزانه دما در عمق ۵ سانتی‌متری و در فروردین ماه است (مزیدی و فلاح زاده، ۱۳۹۰، ص. ۳۹). گلشن، سرجاز و ولاشیدی (۱۳۹۲) به بررسی روند

1. Qian, Gregorich, Gameda, Hopkins, and Wang

2. Chow, Long, Mok and Li.

3. Tabari, Hosseinzadeh Talae and Willems

معنی دار در دمای هوا و دمای خاک با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کنندال در ژرفای ۵ و ۱۰۰ سانتی متری خاک در ایستگاه سینوپتیک کرمان پرداختند یافته‌های این پژوهش نشان داد دمای خاک در ماه‌های ژانویه، آوریل و آگوست در ژرفای ۵ سانتی متری خاک روند کاهشی معنی دار و در ماه مارس و ژوئن در ژرفای ۱۰۰ سانتی متری خاک روند افزایشی معنی دار دارد و نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک نمایشگر تغییر اقلیم و دمای سطحی خاک نشان‌دهنده تغییرات کوتاه مقیاس است. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد در هیچ یک از پژوهش‌های منطقه مطالعه شده (شمال غرب) به صورت جامع مطالعه نشده است. در برخی مطالعات انجام شده در میان عناصر آب و هوایی تنها دمای خاک مد نظر قرار گرفته است و مطالعات در سطح محدود به یک یا چند ایستگاه، یا نهایتاً محدود به یک استان بوده است که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات صورت گرفته در بررسی رژیم دمای هوا و اعماق خاک و تعیین نوسانات آن در کردستان که ثنائی نژاد، عباسی، موسوی بایگی و حیدری گندمان (۱۳۸۷) انجام داده‌اند و پژوهش خلیلی اقدم، جدیدی و نعیمی (۱۳۹۲) درباره مطالعه تغییرات دمای هوا و اعماق خاک به منظور برآورد عمق نفوذ یخبندان در ارومیه و تحقیق افشارزاده (۱۳۸۹) درباره ارتباط نوسانات دمای هوا با دمای اعماق خاک در آذربایجان شرقی، اشاره کرد. در این پژوهش بررسی تغییرات در روند دمای خاک و به موازات آن بررسی رابطه دمای خاک و پارامترهای آب و هوایی مد نظر بوده تا با شناسایی مؤثرترین پارامترها معادلات پیش‌بینی‌گر برای کل گستره جغرافیایی شمال غرب ایران تدوین شود.

### ۳. روش‌شناسی تحقیق

#### ۳.۱. روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف بررسی روند دمای خاک و سنجش رابطه بین پارامترهای آب و هوایی و دمای خاک در منطقه شمال غرب ایران طی دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵ انجام می‌گیرد. داده‌های استفاده شده در این پژوهش شامل میانگین دما، کمینه و بیشینه مطلق دما، بارش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار ایستگاه و دمای اعماق خاک (۵، ۲۰، ۱۰۰) سانتی متر است که آمار این پارامترها برای ۳۱ ایستگاه سینوپتیک به صورت روزانه طی دوره آماری

(۱۹۹۲-۲۰۱۵) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. دمای خاک ثبت شده در ایستگاه‌ها در ساعات ۶:۳۰ و ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ به وقت محلی کشور بود که با میانگین‌گیری آن‌ها در سه نوبت متوسط دمای روزانه در اعماق مختلف خاک به دست آمد. با توجه به گستردگی منطقه مطالعه شده جهت بررسی تأثیرپذیری دمای اعماق مختلف خاک از پارامترهای آب و هوایی، در گام اول تلاش شد ابتدا خرده‌نواحی آب و هوایی محدوده مطالعه شده شناسایی شود تا روابط دمای خاک با عناصر آب و هوایی در این نواحی بررسی شود. در این راستا ابتدا از روش تحلیل عاملی و سپس از متد خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش ادغام وارد استفاده شد و ایستگاه‌ها براساس نمرات عاملی گروه‌بندی شدند. به منظور شناسایی پارامترهای آب و هوایی مؤثر بر دمای خاک از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. محققان بسیاری از کاربرد مدل رگرسیونی برای برآورد پارامترهای مختلف استفاده کرده‌اند. از آن جایی که این روش به خوبی می‌تواند تأثیر چند متغیر مستقل را بر متغیر وابسته نشان دهد سعی شد قابلیت مدل رگرسیون چندمتغیره نیز در پیش‌بینی دمای خاک به صورت معادله رگرسیونی بررسی شود (رابطه ۱).

با اجرای مدل رگرسیون هم‌زمان مناسب‌ترین مدل رگرسیون چندمتغیره در برآورد دمای خاک در اعماق مختلف به دست آمد. به دلیل جلوگیری از افزایش حجم مقاله نتایج مربوط به اعماق (۵،۲۰،۱۰۰) سانتی‌متری ذکر شده است و از درج نتایج کلیه معادلات رگرسیونی ایستگاه‌ها در این پژوهش خودداری شد.

$$Y = ab_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad \text{رابطه (۱)}$$

به منظور بررسی روند و آشکارسازی تغییرات اقلیمی از دیدگاه آماری، روش‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود. روش‌های تعیین روند به دو دسته تقسیم می‌شوند: روش پارامتری و ناپارامتری. روش مورد استفاده در این پژوهش روش ناپارامتری من-کندال<sup>۱</sup> است. ابتدا من (۱۹۴۵) روش من-کندال را ارائه کرد و سپس کندال (۱۹۷۰) آن را بسط و توسعه داد. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است.

1. Man- Kendall

معمولا از ابزار اعتبارسنجی جهت انتخاب مدل مناسب استفاده می‌شود. سپس خطای پیش بینی را می‌توان از اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر اصلی بررسی و مدل‌های آماری مورد نظر را به وسیله این خطا ارزیابی کرد.

در این پژوهش به منظور ارزیابی معادلات رگرسیونی مذکور در برآورد دمای اعماق خاک از آماره‌های  $R^2$ ، RMSE<sup>۱</sup>، MAE<sup>۲</sup>، MBE<sup>۳</sup> استفاده شد که روابط آن به شرح زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

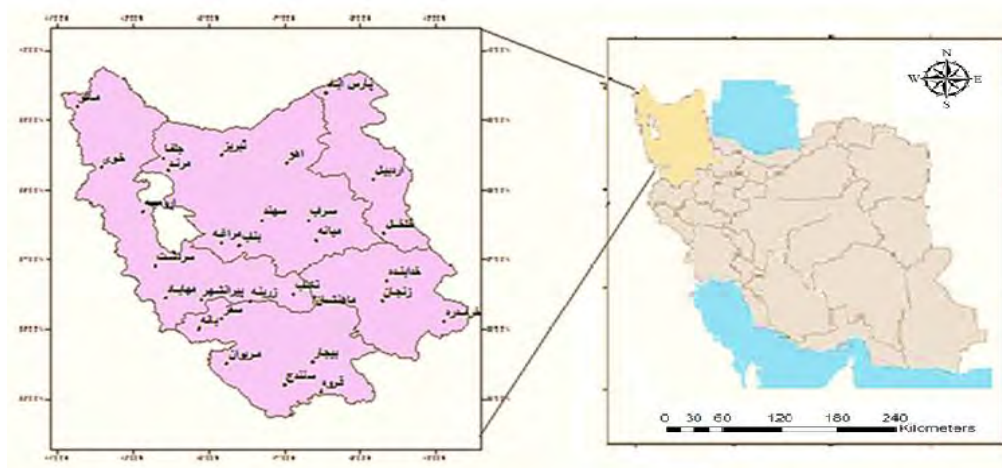
$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

### ۲.۳. منطقه مطالعه شده

در این نوشتار منطقه شمال غرب کشور، پهنه‌ای است که استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، زنجان و کردستان را در برمی‌گیرد. این بخش از کشور ۷/۲ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. از مهم‌ترین عناصر توپوگرافی شمال غرب می‌توان رشته‌کوه‌های ارسباران، بزغوش، دیواره‌ی زاگرس، توده‌های سهند و سبلان، چاله دریاچه ارومیه و جلگه مغان را نام برد. شکل (۱) موقعیت شمال غرب در کشور و موقعیت ایستگاه‌های مطالعه شده را نشان می‌دهد.

1. Root Mean Square Error
2. Mean Absolute Error
3. Mean Bias Error



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه شمال غرب ایران

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

#### ۴. مبانی نظری تحقیق

آب و هوا، برآمد شرایط جوی یک محل طی بازه زمانی معین (معمولاً چند دهه) است. به عبارت دیگر، رویدادهای پربسامد جوی طی سالیان متمادی را آب و هوا گویند. بنابراین، در یک جمع‌بندی و طبق تعریف ارائه شده، آب و هوا را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد: هوای غالب یک محل در دراز مدت را آب و هوا (اقلیم) گویند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱، ص. ۳). عناصر اقلیمی، پارامترهای مستقلی چون، دما، رطوبت، فشار و تابش خورشید هر کدام یک عنصر اقلیمی تلقی می‌شوند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱، ص. ۲۴).

دمای خاک، یکی از پارامترهای فیزیکی عمده خاک بوده، رشد و نمو گیاهان و تکوین فرآیندهای خاکسازی در گرو تغییرات آن است. مطالعه دمای خاک در اعماق مختلف از نظر هواشناسی، به‌خصوص در خرد مقیاس، اقلیم‌شناسی، کشاورزی و صنعت حائز اهمیت بوده، تغییرات آن نیز تابعی از دمای هوای مستقر در سطح خاک است (بهیار، ۱۳۸۶، ص. ۲). درجه حرارت خاک و ارتباط آن با دمای محیط هر دو توسط تعادل انرژی گرمایی در روابط جو و زمین اداره می‌شود، با این حال روابط بین آن‌ها پیچیده است؛ چراکه هوا و خاک ظرفیت گرمایی و انتقال حرارتی مشخص و متفاوتی دارند. تعادل انرژی سطحی ممکن است بیشتر



توسط پوشش گیاهی، پوشش برف، توپوگرافی و خواص خاک انجام شود. تغییر در دمای هوا می تواند منجر به تغییر دمای خاک از طریق مکانیسم های انتقال حرارت شود. برای درک چگونگی پاسخ اکوسیستم های زمینی به تغییرات جهانی آب و هوا بررسی تغییرات درجه حرارت خاک ضروری است. بنابراین، برآورد دمای خاک نیازمند آگاهی از ویژگی های فیزیکی و برهم کنش بین عوامل جوی و سطح آن با خاک است (قهرمان، ایران نژاد و ولاشدی، ۱۳۹۳، ص. ۲۴۵).

##### ۵. یافته های تحقیق

نتایج حاصل از انجام مراحل ذکر شده در مبحث مواد و روش ها در جداول ۱ تا ۴ آورده شده اند. تحلیل عاملی نشان می دهد آب و هوای منطقه حاصل تعامل دو عامل اصلی است. عواملی که در این راستا استخراج شدند عبارتند از: ۱- عامل دما ۲- عامل رطوبت- بارش. با گروه بندی ایستگاه ها بر این اساس، پنج ناحیه آب و هوایی متمایز حاصل شد. قبل از انجام محاسبات و تعیین معادلات رگرسیون چندمتغیره به منظور نشان دادن میزان همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و دمای اعماق مختلف خاک در نواحی مختلف آب و هوایی، ضریب همبستگی پیرسون در ایستگاه ها محاسبه شد.

ناحیه یک: شامل ایستگاه های سهند، کلپیر، خرم دره، خوی، زنجان، ارومیه، اهر، ماکو، خداآبنده، بیجار، سقز، قروه (میانگین دما ۱۱/۷۱، بارش ۳۳۱/۴).

ناحیه دو: ایستگاه های زرینه، تکاب، خلخال، سراب، اردبیل (میانگین دما ۸/۹۵، بارش ۳۲۹/۸).

ناحیه سه: ایستگاه های پارس آباد، جلفا، میانه، بناب، ماه نشان (میانگین دما ۱۴/۹۸، بارش ۲۶۹/۹).

ناحیه چهار: ایستگاه های مراغه، مهاباد، تبریز، مرند، سنندج (میانگین دما ۱۳/۳۳، بارش ۳۵۷/۱).

ناحیه پنج: ایستگاه های مریوان، سردشت، بانه و پیرانشهر (میانگین دما ۱۳/۲۷، بارش ۷۸۳/۵).

نتایج ارتباط اولیه میان پارامترهای آب و هوایی و دمای عمق خاک (۵،۲۰،۱۰۰) سانتی‌متری براساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که در بین نواحی آب و هوایی منطقه مطالعه شده بیشترین ارتباط در نواحی ۳ و ۴ و کمترین ارتباطها در نواحی ۱، ۲ و ۵ وجود دارد. نتایج نشان داد که در تمامی نواحی در ایستگاه‌های هواشناسی در بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵، پارامترهای آب و هوایی دما و ساعات آفتابی بالاترین ارتباط به صورت مستقیم را با دمای عمق خاک دارند که در این میان دمای بیشینه و میانگین دما بالاترین ارتباط را نشان داده‌اند. بین پارامتر رطوبت نسبی و دمای خاک ارتباط معکوس (منفی) مشاهده شد. برای پارامتر سرعت باد و فشار ایستگاه و بارش ارتباط معنی داری مشاهده نشد. بنابراین، پارامترهای دمایی تعیین‌کننده وضعیت دمای عمق خاک بوده و با افزایش عمق خاک به تدریج ارتباط دمای خاک با پارامترهای دمایی کاهش می‌یابد. در واقع وقوع دماهای کمینه و بیشینه در اعماق خاک نسبت به افزایش عمق با تأخیر بیشتری همراه خواهد بود. جدول (۲) مدل‌های رگرسیونی برگزیده را همراه با ضریب تعیین مربوطه نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین ضریب همبستگی بین دمای اعماق خاک و پارامترهای هواشناسی در نواحی آب و

هوایی پنجگانه طی دوره آماری (۱۹۹۲-۲۰۱۵)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

ناحیه	عمق خاک (cm)	Wind (m/s)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>avg</sub> (°C)	RH (%)	sunshn (h)	Rain (mm)	QFE (hpa)
۱	۵	۰/۱۱۱	۰/۹۳۴	۰/۹۶۰	۰/۹۶۵	-۰/۶۴۵	۰/۶۸۷	-۰/۱۱۸	-۰/۲۴۰
	۲۰	۰/۰۹۸	۰/۹۲۹	۰/۹۴۶	۰/۹۵۴	-۰/۶۱۵	۰/۵۸۵	-۰/۰۹۷	-۰/۲۰۹
	۱۰۰	۰/۰۰۸	۰/۸۱۴	۰/۸۳۰	۰/۸۳۵	-۰/۵۱۵	۰/۴۹۴	-۰/۰۹۹	-۰/۰۴۴
میانگین		۰/۰۷۲	**۰/۸۹۲	**۰/۹۱۲	**۰/۹۱۸	*-۰/۵۹۱	*۰/۵۸۸	-۰/۱۰۴	-۰/۱۶۴
۲	۵	۰/۱۳۸	۰/۸۹۵	۰/۹۴۳	۰/۹۵۴	-۰/۵۹۰	۰/۶۲۴	-۰/۱۲۵	-۰/۰۵۶
	۲۰	۰/۱۳۵	۰/۸۹۳	۰/۹۳۰	۰/۹۴۳	-۰/۵۶۴	۰/۵۹۵	-۰/۱۰۳	-۰/۰۲۴
	۱۰۰	۰/۰۶۷	۰/۷۸۶	۰/۸۳۰	۰/۸۳۴	-۰/۴۸۷	۰/۵۱۷	-۰/۱۱۳	۰/۱۰۹
میانگین		۰/۱۱۳	**۰/۸۵۸	**۰/۹۰۱	**۰/۹۱۰	-۰/۵۴۷*	*۰/۵۷۸	-۰/۱۱۳	۰/۰۰۹

ادامه جدول ۱

ناحیه	عمق خاک (cm)	Wind (m/s)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>avg</sub> (°C)	RH (%)	sunshn (h)	Rain (mm)	QFE (hpa)
۳	۵	۰/۲۹۹	۰/۹۵۳	۰/۹۶۲	۰/۹۷۶	-۰/۷۳۰	۰/۶۵۵	-۰/۱۰۶	-۰/۵۶۸
	۲۰	۰/۲۹۴	۰/۹۵۱	۰/۹۵۰	۰/۹۶۷	-۰/۷۰۸	۰/۶۲۹	-۰/۰۸۵	-۰/۵۳۷
	۱۰۰	۰/۱۷۸	۰/۸۲۶	۰/۸۱۶	۰/۸۳۱	-۰/۵۷۱	۰/۵۲۴	-۰/۰۸۲	-۰/۳۴۲
میانگین		۰/۲۵۷	**۰/۹۱	**۰/۹۰۹	**۰/۹۲۴	**۰/۶۶۹	۰/۶۰۲**	-۰/۰۹۱	-۰/۴۸۲
۴	۵	۰/۲۳۱	۰/۹۴۵	۰/۹۶۷	۰/۹۷۳	-۰/۷۷۱	۰/۶۷۶	-۰/۱۵۷	-۰/۳۴۹
	۲۰	۰/۲۲۳	۰/۹۴۰	۰/۹۵۸	۰/۹۶۳	-۰/۷۴۹	۰/۶۴۹	-۰/۱۳۸	-۰/۳۱۳
	۱۰۰	۰/۱۲۹	۰/۸۳۰	۰/۸۴۹	۰/۸۵۰	-۰/۶۴۹	۰/۵۶۲	-۰/۱۳۷	-۰/۱۶۲
میانگین		۰/۱۹۴	**۰/۹۰۵	**۰/۹۲۴	**۰/۹۲۸	-۰/۷۲۳**	**۰/۶۲۹	-۰/۱۴۴	-۰/۲۷۴
۵	۵	-۰/۰۱۴	۰/۸۶۱	۰/۹۰۰	۰/۹۶۴	-۰/۷۶۵	۰/۶۱۰	-۰/۲۱۸	-۰/۲۲۷
	۲۰	۰/۰۵۶	۰/۸۹۰	۰/۹۲۵	۰/۹۶۱	-۰/۷۸۲	۰/۶۳۵	-۰/۲۳۵	-۰/۲۴۴
	۱۰۰	۰/۰۱۴	۰/۷۸۴	۰/۸۲۲	۰/۸۷۴	-۰/۷۲۱	۰/۵۴۲	-۰/۲۱۷	-۰/۱۲۱
میانگین		۰/۰۱۸	**۰/۸۴۵	**۰/۸۸۲	**۰/۹۳۳	-۰/۷۵۶**	**۰/۵۹۵	-۰/۲۲۳	-۰/۱۹۷

\*\* معنادار در سطح ۰/۰۱ \* معنادار در سطح ۰/۰۵

نتایج مدل رگرسیون چندمتغیره به روش جبری برای تعیین نوع رابطه و تعیین میزان ارتباط مؤثر هر کدام از پارامترهای آب و هوایی با دمای هر عمق خاک در جدول ۳ مشخص شده است. در این راستا ابتدا روش‌های پیش‌نیاز آزمون شد و عدم وجود هم‌خطی چندگانه بررسی شد. با توجه به این شرایط و ارزیابی این پیش‌فرض‌ها شرایط رگرسیون چندمتغیره در داده‌ها برقرار بوده و امکان استفاده از این تکنیک وجود دارد. معادلات رگرسیون چندگانه برای هر یک از اعماق خاک به تفکیک هر ایستگاه هم‌دید در منطقه شمال غرب براساس مدل Enter بررسی شد. در این روش کلیه متغیرهای مستقل به طور هم‌زمان وارد مدل می‌شوند تا تأثیر کلیه متغیرهای مهم و غیر مهم بر متغیر وابسته مشخص شود. به عبارتی، تمام متغیرها در یک مرحله به ترتیب حداقل تولرانس وارد تحلیل می‌شوند. در این روابط Y5، Y20

Y100، به ترتیب مقادیر روزانه برآورد شده دمای ژرفای خاک برای اعماق ۵،۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در ایستگاه‌های مطالعه شده مشخص شده است. ورودی‌ها در این رابطه برای هر عمق به تفکیک هر ایستگاه هم‌دید شامل کمینه دما، بیشینه دما، میانگین دما، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی است. همان‌گونه که می‌دانیم مقدار ضریب هر متغیر در مدل رگرسیونی گویای درجه اهمیت آن متغیر در مدل مربوطه است. ضریب تعیین بیش از ۰/۸۵ نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات دمای خاک در عمق ۵ و ۲۰ سانتی‌متری ناشی از پارامترهای آب و هوایی به-خصوص پارامترهای دمایی (دمای کمینه، بیشینه، میانگین دما و ساعات آفتابی) است. با افزایش عمق خاک به تدریج میزان ضریب تعیین بین دمای خاک و پارامترهای آب و هوایی کاهش پیدا می‌کند، این تغییرات در ایستگاه‌ها از ۰/۹۱ در عمق ۵ و ۲۰ سانتی‌متری به ۰/۸۱ در عمق ۵۰ سانتی‌متری و در نهایت در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری به ۰/۶۶ کاهش پیدا کرده است. در ادامه جهت بررسی و آشکارسازی ارتباط روند تغییرات درجه حرارت خاک با درجه حرارت هوا به بررسی روند این پارامتر آب و هوایی در مقیاس سالانه در دوره آماری مطالعه-شده پرداخته شد.

جدول ۲- روابط رگرسیون چندگانه در برآورد دمای خاک در ایستگاه‌های منتخب\* شمال غرب

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

معادله	R <sup>2</sup>	عمق (cm)	ایستگاه
$Y_5 = -11.569 + T_{min}(0.014) + T_{max}(0.102) + T_{avg}(0.945) + RH(0.151) + R_s(0.338)$	۰/۹۱	۵	اردبیل
$Y_{20} = -10.002 + T_{min}(0.001) + T_{max}(0.071) + T_{avg}(0.860) + RH(0.151) + R_s(0.226)$	۰/۸۸	۲۰	
$Y_{100} = -2.595 + T_{min}(0.000) + T_{max}(0.072) + T_{avg}(0.480) + RH(0.120) + R_s(0.120)$	۰/۶۶	۱۰۰	
$Y_5 = -0.251 + T_{min}(0.233) + T_{max}(-0.110) + T_{avg}(1.081) + RH(0.017) + R_s(0.164)$	۰/۹۷	۵	پارس آباد
$Y_{20} = 1.003 + T_{min}(0.351) + T_{max}(-0.097) + T_{avg}(0.856) + RH(0.023) + R_s(0.090)$	۰/۹۶	۲۰	
$Y_{100} = 4.859 + T_{min}(0.372) + T_{max}(-0.121) + T_{avg}(0.452) + RH(0.065) + R_s(0.092)$	۰/۷۳	۱۰۰	

ادامه جدول ۲

معادله	R <sup>2</sup>	عمق (cm)	ایستگاه
$Y_5 = -11,569 + T_{\min}(0,14) + T_{\max}(0,102) + T_{\text{avg}}(0,945) + RH(0,151) + R_s(0,338)$	0/91	5	اردبیل
$Y_{20} = -10,002 + T_{\min}(0,001) + T_{\max}(0,71) + T_{\text{avg}}(0,860) + RH(0,151) + R_s(0,226)$	0/88	20	
$Y_{100} = -2,095 + T_{\min}(0,000) + T_{\max}(0,72) + T_{\text{avg}}(0,480) + RH(0,120) + R_s(0,120)$	0/66	100	
$Y_5 = -0,251 + T_{\min}(0,233) + T_{\max}(-0,110) + T_{\text{avg}}(1,081) + RH(0,017) + R_s(0,164)$	0/97	5	پارس آباد
$Y_{20} = 1,002 + T_{\min}(0,351) + T_{\max}(-0,097) + T_{\text{avg}}(0,856) + RH(0,023) + R_s(0,090)$	0/96	20	
$Y_{100} = 4,859 + T_{\min}(0,272) + T_{\max}(-0,121) + T_{\text{avg}}(0,452) + RH(0,065) + R_s(0,092)$	0/73	100	
$Y_5 = -5,813 + T_{\min}(0,062) + T_{\max}(0,176) + T_{\text{avg}}(0,907) + RH(0,057) + R_s(0,468)$	0/94	5	زنجان
$Y_{20} = -5,170 + T_{\min}(0,213) + T_{\max}(0,236) + T_{\text{avg}}(0,483) + RH(0,066) + R_s(0,355)$	0/93	20	
$Y_{100} = -0,988 + T_{\min}(0,198) + T_{\max}(0,556) + T_{\text{avg}}(-0,075) + RH(0,077) + R_s(0,147)$	0/76	100	
$Y_5 = 0,560 + T_{\min}(0,304) + T_{\max}(0,024) + T_{\text{avg}}(0,818) + RH(0,004) + R_s(0,318)$	0/95	5	ارومیه
$Y_{20} = 0,709 + T_{\min}(0,222) + T_{\max}(0,029) + T_{\text{avg}}(0,755) + RH(0,020) + R_s(0,205)$	0/94	20	
$Y_{100} = 3,202 + T_{\min}(0,224) + T_{\max}(0,298) + T_{\text{avg}}(-0,081) + RH(0,045) + R_s(0,079)$	0/74	100	
$Y_5 = 1,222 + T_{\min}(0,424) + T_{\max}(-0,090) + T_{\text{avg}}(0,799) + RH(0,007) + R_s(0,371)$	0/966	5	تبریز
$Y_{20} = 2,647 + T_{\min}(0,562) + T_{\max}(0,145) + T_{\text{avg}}(0,241) + RH(0,010) + R_s(0,249)$	0/943	20	
$Y_{100} = 5,718 + T_{\min}(0,541) + T_{\max}(0,413) + T_{\text{avg}}(-0,217) + RH(0,018) + R_s(0,170)$	0/780	100	
$Y_5 = 1,411 + T_{\min}(0,175) + T_{\max}(0,222) + T_{\text{avg}}(0,723) + RH(-0,033) + R_s(0,290)$	0/960	5	سندج
$Y_{20} = 2,949 + T_{\min}(0,202) + T_{\max}(0,387) + T_{\text{avg}}(0,359) + RH(-0,026) + R_s(0,070)$	0/949	20	

ادامه جدول ۲

معادله	R <sup>2</sup>	عمق (cm)	ایستگاه
$Y_{100} = 7,155 + T_{min}(0,290) + T_{max}(0,694) + T_{avg}(-0,350) + RH(-0,012) + R_s(-0,132)$	0,770	۱۰۰	

\*تعداد ایستگاه‌ها ۳۱ مورد بوده است که با توجه به پراکندگی جغرافیایی، تنها نتایج مربوط به ۶ مورد از ایستگاه‌ها به دلیل محدودیت حجم پژوهش ذکر شده است.

روند یا تمایل بلندمدت، عبارت است از تحول متغیر مطالعه‌شده در یک دوره طولانی؛ به عبارت دیگر می‌توان گفت روند عبارت است از حرکات رو به بالا و رو به پایین یک سری زمانی که نشان دهنده کاهش یا افزایش بلندمدت یک سری زمانی است (فرج زاده، ۱۳۸۳، ص. ۲۲). جدول ۳ معناداری روند دمای سالانه خاک را در منطقه شمال غرب ایران نشان می‌دهد. در قسمت جنوب شرق و مرکزی پهنه مورد نظر دمای خاک روند افزایشی بیشتری نسبت به سایر نواحی داشته است. روند دمای سالانه خاک از دو نوع افزایشی و کاهش‌ی برخوردار است. نواحی مرکزی و شرقی دارای بیشترین روند افزایشی دمای خاک بوده که بارز و معنادار است. ایستگاه‌هایی که در طی دوره زمانی مطالعه‌شده با افزایش بیشتری در روند دمای خاک (عمق ۵ سانتی متری) مواجه بودند عبارتند از: سراب، تکاب، زنجان، مراغه، سقز، تبریز و قروه، در ایستگاه‌های کلیبر و بناب روند کاهش‌ی دما به صورت غیرمعنادار اتفاق افتاده است. ایستگاه‌های سراب و بانه به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین روند افزایشی را در عمق ۵ سانتی متر تجربه کرده‌اند. اکثر ایستگاه‌ها در اعماق مختلف خاک با پدیده روند افزایشی دما مواجه بوده‌اند. در مجموع می‌توان گفت دمای خاک در پهنه مورد نظر در برخی ایستگاه‌ها روند مشخصی نداشته و برخی دیگر دارای روند بارزی بوده‌اند. روند غالب میانگین دمای سالانه خاک افزایشی بوده در قسمت‌های شمالی پهنه مورد نظر به جز ایستگاه تبریز روند افزایشی چشم‌گیری در ژرفای خاک مشاهده نشد. تنها روند کاهش‌ی دما در ایستگاه میوان (عمق ۲۰ سانتی متر) به صورت معنادار اتفاق افتاده است. بنابراین، با توجه به نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک که نمایشگر تغییر اقلیم است و دمای سطحی خاک که نشان‌دهنده تغییرات کوتاه‌مقیاس است (گلشن، سرجاز و ولشیدی، ۱۳۹۴، ص. ۳) می‌توان

دریافت که پدیده تغییر اقلیم در حال رخ دادن است و روی پارامتر دمای خاک هم تأثیر چشم‌گیری داشته است.

جدول ۳- نتایج سالانه روند دمای اعماق خاک در آزمون من‌کنندال در ایستگاه‌های منتخب شمال غرب

ایران دوره آماری (۲۰۱۵-۱۹۹۲)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

ایستگاه	عمق ۵ سانتی‌متر		۲۰ سانتی‌متر		۱۰۰ سانتی‌متر		میانگین دمای هوا	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
اردبیل	۷۸۳۶۸/۳۳۱***	۷۷۳۳۰/۰/۰	۶۷۵۶۸/۳۳۱***	۶۵۰۱۰۰۰/۰	۵۵۱۳۸/۳۳۱***	۱۱۱۰۰۰۰/۰	۷۸۵۶۸/۳۳۱***	۲۷۸۵۰/۰/۰
پارس	۰/۱۳۳۳۳	۸۰۱۳۳/۰	۱۱۱۸۸/۱*	۸۵۰۱۵۳/۰	۵۸۶۱۳/۰	۱۳۳۳۳/۰	۱۵۰۸۵/۰	۶۶۱۳۸/۰/۰
ارومیه	۰/۲۵۷۲۰***	۷۸۵۶۸/۰/۰	۵۱۸۵۶/۰	۶۱۵۱۵/۰	۲۳۵۱۳/۰	۳۰۱۳۳/۰	۵۷۳۳۱/۰	۷۸۷۸۰/۰/۰
سردشت	۰/۴۶۰۳۰***	۵۶۸۰۷/۰/۰	۸۸۱۵۷/۲***	۰۰۷۵۱۰۰/۰	۶۷۷۵۶/۳***	۲۵۷۳۰۰/۰	۶۵۸۰۲/۲***	۳۶۳۳۳/۰/۰
تبریز	۰/۳۰۳۳۰***	۳۳۳۱۰/۰/۰	۶۳۳۰۶/۳***	۵۰۰۶۳۰۰/۰	۶۷۷۵۶/۳***	۲۵۷۳۰۰/۰	۸۸۷۵۰/۲***	۳۷۵۶۱/۰/۰
زنجان	۰/۹۳۵۱۰***	۳۳۳۰۰/۰/۰	۲۳۸۶۳/۴***	۵۳۳۸۰۰۰/۰	۸۸۵۶۱/۳***	۸۸۶۰۰/۰	۳۵۰۵۰/۳***	۶۰۱۱۰/۰/۰

ادامه جدول ۳

عمق	۵ سانتی متر		۲۰ سانتی متر		۱۰۰ سانتی متر		میانگین دمای هوا	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
سنج	۳۶۵۰۹/۱*	۵۸۰۷۰/۲/۰	۸۰۵۷۸/۳**	۷۸۸۰۰۰/۰	۳۶۸۵۳/۳**	۶۳۳۸۰۰۰/۰	۸۸۱۵۲/۲**	۰/۰
سقر	۶۱۰۵۱/۳**	۶۵۱۷۰۰۰/۰	۱۷۸۰۳/۲**	۸۸۵۰۱۰/۰	۷۳۶۳۸/۳**	۳۷۸۵۰۰۰/۰	۳۶۰۵۰/۳**	۶۰۳۱۱۰۰/۰
بیجار	۶۶۰۳۸/۰	۱۱۶۳۵۳/۰	۸۵۳۱۸۸/۰	۳۵۵۸۸۰/۰	*۶۸۰۱۷/۱	۰۱۶۰۵۳۰/۰	**۷۸۳۰۲/۱	۷۷۳۶۳۰۰/۰
قروه	**۳۳۱۱۰/۳	۳۳۳۱۰۰/۰	**۳۱۵۰۵/۱	۳۷۱۱۶۰۰/۰	**۷۳۰۶۳/۳	۸۵۰۰۰۰۰/۰	**۳۳۸۵۳/۳	۶۳۳۳۰۰۰/۰
مروان	۵۴۵۷۱/۰	۳۳۵۱۰/۰	*۶۱۶۱/۰-	۶۱۶۱۶۳/۰	۱۰۰۹۶/۰-	۳۶۵۸۶۶/۰	*۶۱۶۰۰/۲	۳۰۶۶۶۰۰/۰
زرینه	**۲۱۲۰۹/۲	۳۳۵۷۱۰۰/۰	**۳۰۳۰۳/۱	۵۶۰۷۰۰/۰	**۱۷۸۰۳/۱	۸۸۳۵۰۱۰/۰	**۶۱۰۵۱/۳	۶۵۱۷۰۰۰/۰
بانه	۷۸۳۸۱/۰	۵۲۷۰۵۳/۰	۳۶۱۱۳۰/۰	۱۷۵۸۷۳/۰	۳۳۸۰۸۳/۰	۷۱۳۵۵۳/۰	۰	۰/۰
ماه‌نشان	**۷۳۵۷۳/۲	۳۵۸۸۷۰۰/۰	۱۶۳۷۳/۱	۶۸۱۷۷۶/۰	۱۶۳۷۳/۱	۶۸۱۷۷۶/۰	*۳۵۱۷۷/۱	۳۱۱۳۸۳۰/۰



ادامه جدول ۳

عمق	۵ سانتی متر		۲۰ سانتی متر		۱۰۰ سانتی متر		میانگین دمای هوا	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
ایستگاه								
خرمدره	۲/۵۵۴۷۳۵۵***	۶۱۱۱۳۰۰۰/۰	۳/۲۶۳۶۳۸***	۳/۷۸۵۰۰۰/۰	۲/۷۱۲۰۰***	۳/۳۳۳۰۰/۰	۲/۳۸۴۳۶۲***	۰/۰۰۹۲۲۶۱
خداآینده	۱/۴۰۹۹۰	۱۵۷۱۰۹۷۵/۰	۰/۱۸۹۶/۱	۶/۸۵۸۵۰/۰	۲/۱۸۷۷۲***	۵/۲۰۲۰۰/۰	۰/۶۰۱۶۷/۱*	۰/۰۳۱۳۶۱۷
سراب	۴/۱۹۱۹۱۶۲***	۷۸۱۰۰۰۰/۰	۳/۳۳۳۷۸***	۳/۰۶۰۰۰۰/۰	۳/۳۳۳۶۳***	۱/۶۰۳۰۰۰/۰	۲/۸۷۷۵۰***	۰/۰۱۹۷۵۷۳۶
کلپیر	-۰/۵۳۵۰	۱۵۱۶۶۸/۰	۳/۳۸۰۸۳۰	۲/۳۵۵۳۰	۱-۶۱۶۵۳۸۱	۷/۶۱۰۸۷۰/۰	۲/۷۶۷۸۷۲***	۰/۰۳۷۰۵۷۰
مراغه	۳/۳۶۶۵۵۶۷***	۶۵۰۱۰۰۰/۰	۴/۱۳۳۰۶۳***	۳/۶۲۰۰۰/۰	۳/۳۶۳۶۷۲***	۸/۶۳۰۰۰۰/۰	۳/۳۳۳۶۳۳***	۰/۰۰۵۵۸۷۸
میانه	۱/۶۱۲۲۲۹*	۷۶۳۳۳۵۰/۰	۱/۰۵۶۶/۱	۱/۱۳۱۰۱/۰	۲/۲۵۷۲۰***	۷/۷۶۱۱۰/۰	۰/۲۰۲۰۸۹۲	۰/۰۳۰۱۲۲۱
مرند	۱/۳۰۵۶۵	۳۵۳۸۷۵۹۰/۰	۱/۶۵۳۷۲*	۰/۱۵۳۳۳۰/۰	۰-۶۱۵۱۳۰	۱۱/۳۱۶۸۳۰	۰/۶۷۵۳۳۳	۰/۰۲۴۹۷۳۱
چالقا	۰/۹۶۷۳۷۲	۷/۶۶۶۶۷۹	۰/۵۲۰۸۵/۰	۰/۱۲۱۰۱۳/۰	۱/۱۱۶۷/۱*	۸/۰۲۹۱۰۹۷	۰/۲۶۵۰۲	۰/۰۱۰۲۹۳۱

ادامه جدول ۳

عمق	۵ سانتی متر		۲۰ سانتی متر		۱۰۰ سانتی متر		میانگین دمای هوا	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
بناب	۶۱۳/۰ -۰/۰	۱۸۵۸۷۳/۰	۶۶۶۸۷/۰	۳۱۵۱۳/۰	۳۸۱۳۳/۱	۶۸۷۶۳۸/۰	۲۰۲۱۱/۱	۶۲۳۳۱/۰
مهاباد	*۷۶۲۶۵/۱	۲۳۶۰۶۵۰/۰	**۳۲۵۰۵/۲	۵۷۱۱۲۰۰/۰	**۳۳۸۶۳/۳	۶۳۳۱۰۰۰/۰	**۳۲۵۰۵/۲	۸۷۱۱۶۰۰/۰
ماکو	۵۳۵۷۱۷/۰	۳۱۵۶۰۲/۰	۷۸۶۱۷/۰	۰۸۵۳۳/۰	**۳۲۵۰۵/۲	۳۷۱۱۶۰۰/۰	*۰۵۱۱۸/۱	۱۳۶۳۳۳/۰
پیرانشهر	**۷۸۳۰۸/۲	۷۷۳۳۰۰/۰	*۰۹۱۶۶/۱	۵۶۶۱۷۳/۰	*۰۸۸۵/۲	۷/۵۵۱۱۰/۰	**۸۰۵۶۷/۳	۷۸۰۰۰۰/۰
تکاب	**۳۸۱۶۵/۴	۳۱۲۰۰۰۰/۰	**۸۰۵۶۸/۳	۷۳۸۰۰۰۰/۰	**۱۰۵۳۵/۳	۶۱۳۰۰۰۰/۰	**۸۸۵۶/۳	۸۷۶۰۰۰/۰
خوری	**۸۰۳۵۶/۲	۳۶۸۵۳۰/۰	**۶۲۳۵۷/۳	۲۵۳۰۰۰۰/۰	**۵۵۷۳۳/۳	۱۶۰۳۰۰۰/۰	**۱۳۶۵۳/۲	۱۶۱۱۶۰۰/۰
خلخال	*۱۱۶۶/۱	۵۶۶۶۷۳/۰	**۳۳۰۶۷/۱	۳۶۱۳۱۳/۰	**۵۷۳۵۵/۲	۶۱۱۳۵۰۰/۰	**۵۵۷۳۳/۳	۱۶۰۳۰۰۰/۰
اهر	**۳۶۳۱۳/۱	۶۶۱۳۳۶۰۰/۰	**۱۷۵۶/۱	۶۳۷۱۱۰/۰	**۱۷۵۰۳/۲	۸۸۳۵۰۰/۰	*۳۶۵۰۶/۱	۵۰۸۰۷۸۰/۰

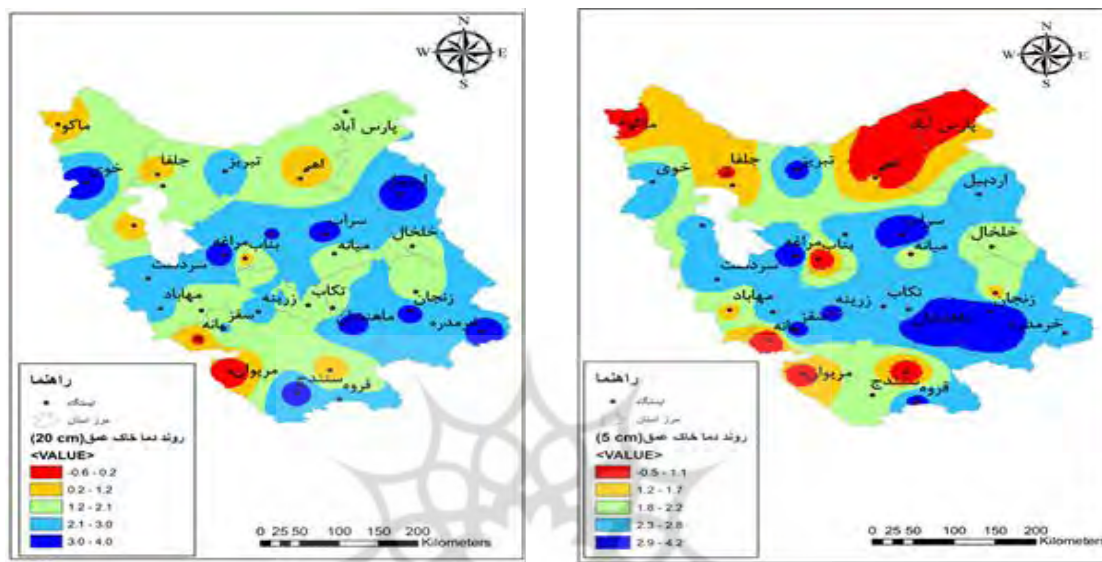
ادامه جدول ۳

ایستگاه	۵ سانتی متر		۲۰ سانتی متر		۱۰۰ سانتی متر		میانگین دمای هوا	
	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
تهجد	*** ۳/۸۱۶۱۵/۲	*** ۰/۰۰۰۰۰۰/۰	*** ۸/۰۳۳۸/۳	*** ۱/۰۰۰۰۰/۰	*** ۵/۷۵۳/۴	*** ۱/۳۳۱۰۰۰/۰	* ۰/۰۱۳۸۶/۰	*** ۰/۱۶۳۸۱۰/۰

\* معنادار در سطح ۰/۰۱    \*\* معنادار در سطح ۰/۰۵

توزیع مکانی روند تغییرات سالانه دمای خاک در سطح منطقه مطالعه شده در شکل های ۲ تا ۴ مشخص شده است. نقشه هم روند تغییرات دمای عمق خاک در عمق ۵ سانتی متری در شکل (۲) مشخص شده است. نتایج نشان دادند در مناطق مرکزی استان آذربایجان شرقی، نیمه شرقی آذربایجان غربی، بخش های زیادی از استان زنجان و محدوده شهرستان های اردبیل و خلخال در استان اردبیل، روند تغییرات افزایش معنی دار در دمای خاک مشاهده می شود. واقع دشت های مرکزی شمال غرب از روند تغییرات بالاتری برخوردار است. در نقاط بیجار، میوان، شمال اردبیل و ماکو روند تغییراتی قابل توجه مشاهده نشد. نقشه هم روند تغییرات دمای عمق خاک در عمق ۲۰ سانتی متری در شکل (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که نیمه شمالی استان های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی و نیمه جنوب غربی برای استان کردستان و بخش هایی از شمال زنجان روند تغییرات معنی دار در سطح ۰/۰۵ رخ می دهد. در نیمه جنوبی استان های آذربایجان غربی و شرقی، اردبیل و بخش های اعظمی از استان زنجان و جنوب استان کردستان روند تغییرات در سطح ۰/۰۱ معنی دار مشاهده شد. نقشه هم روند تغییرات دمای عمق خاک در عمق ۱۰۰ سانتی متری در شکل (۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که تقریباً کل منطقه شمال غرب در عمق ۱۰۰ سانتی متری از روند تغییرات افزایشی برخوردار است و در مناطق محدودی در شمال منطقه و اطراف دریاچه ارومیه و غرب نوار مرزی کردستان روند خاصی مشاهده نشد. در مناطق مرکزی شمال غرب ایران روند تغییرات افزایشی در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی داری مشاهده شد. در مجموع نتایج توزیع مکانی روند

تغییرات در منطقه شمال غرب نشان داد که بخش‌های جنوب شرق و مرکزی منطقه مطالعه شده، روند افزایشی بیشتری نسبت به دیگر نواحی دارد.

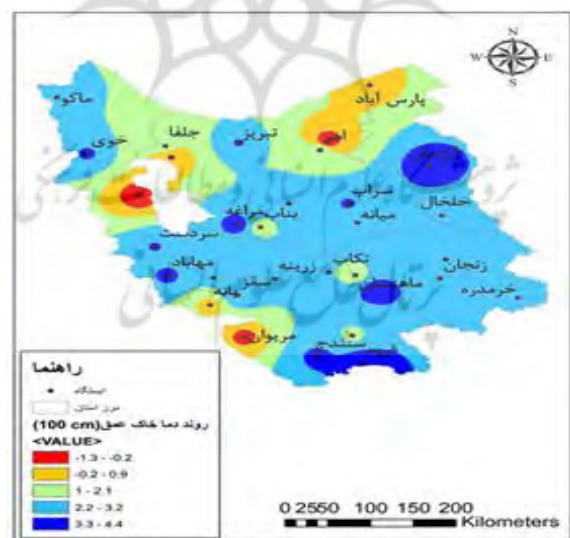


شکل ۳- روند دمای خاک عمق ۲۰ سانتی‌متر

شکل ۲- روند دمای خاک عمق ۵ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

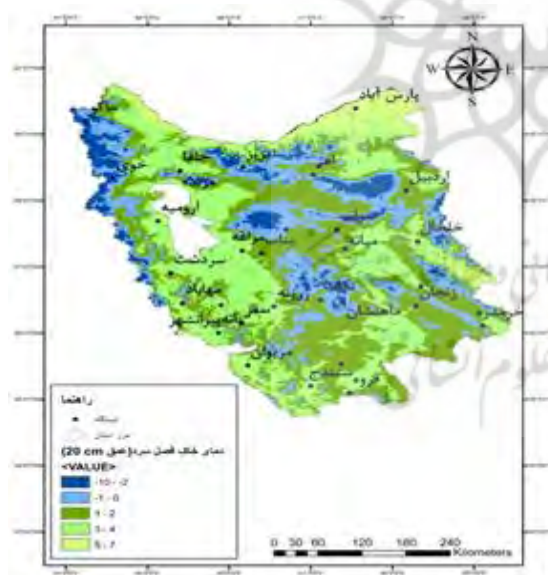


شکل ۴- روند دمای خاک عمق ۱۰۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

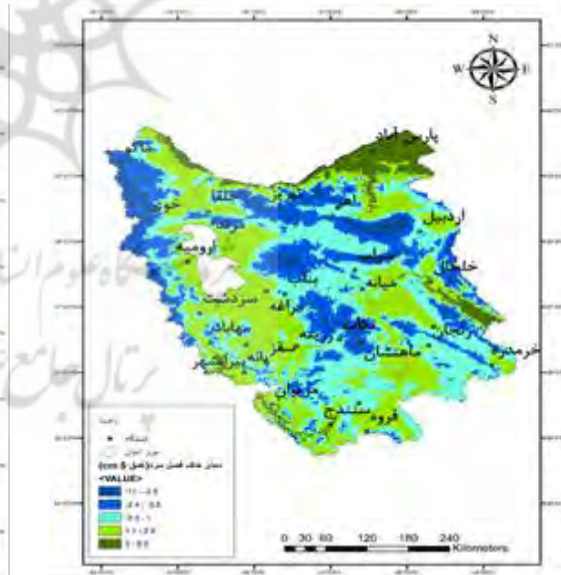
توزیع مکانی دمای خاک در عمق ۵ سانتی متری در فصل زمستان در شکل ۵ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در منطقه شمال غرب دمای خاک از ۱۱- درجه سانتی گراد در ارتفاعات تا ۶/۵ درجه سانتی گراد در نواحی کم ارتفاع متغیر است. فقط مناطقی از دشت‌های پراکنده و کم ارتفاع و به خصوص نواحی اطراف دریاچه ارومیه به دلیل ارتفاع کمتر نسبت به دیگر نواحی، از دماهای بالاتر از صفر درجه سانتی گراد در محدوده ۱/۱ تا ۲/۹ قرار دارد. بالاترین دماها در نواحی پست نوار شمالی در حوضه رودخانه ارس و همچنین دره‌هایی در منطقه خلخال، پیرانشهر و مریوان حوضه دریاچه زریوار با دمایی بین ۳ تا ۶/۵ درجه سانتی-گراد مشاهده شد، نواحی مرکزی و نوار غربی منطقه شمال غرب سردترین دماها را در این عمق از خاک دارند. در عمق ۲۰ سانتی متری در منطقه مطالعه شده کمترین دماها تا ۱۰- درجه سانتی گراد در مناطق مرتفع مرکزی و نوار غربی رخ داده است (شکل ۶). بالاترین دماها در این عمق از خاک، منطبق بر نواحی پست نوار شمالی و دره‌ها به میزان ۷-۵ رخ می‌دهد. پهنه‌بندی دمای خاک در عمق ۱۰۰ سانتی متری در فصل زمستان نشان داد که دمای خاک نسبت به عمق‌های سطحی از دماهای بالاتری برخوردار است. در واقع با افزایش عمق خاک از وضعیت دماهای سرد کاسته می‌شود، به طوری که در منطقه شمال غرب در عمق ۵ سانتی-متری دمای خاک تا ۱۱- سانتی متر افت پیدا کرده است در حالی که در عمق ۱۰۰ سانتی متری پایین‌ترین دماها در ارتفاعات به میزان ۴- ثبت شده است. توزیع مکانی دمای خاک همچنان از عامل ارتفاع تبعیت می‌کند و دماهای سرد منطبق بر نواحی مرتفع و کوهستانی و دماهای بالای صفر در فصل سرد منطبق بر نواحی کم ارتفاع و زمین‌های مرطوب نواحی دره‌ها رخ می‌دهد. شکل (۷) کمترین دماها در عمق‌های سطحی‌تر به دلیل ارتباط بیشتر با پارامترهای آب و هوایی در سطح و همچنین بالاترین دماها در عمق ۱۰۰ سانتی متری رخ می‌دهد. از نظر توزیع مکانی عامل ارتفاع از سطح دریا نقش موثری در توزیع مکانی دمای خاک ایفا می‌کند. در ایام گرم سال دمای خاک در عمق ۵ سانتی متری از ۱۳ تا ۳۵ درجه سانتی گراد متغیر است. کمترین دماها با تبعیت از عامل ارتفاع در نواحی مرتفع و قله‌های کوه‌ها مشاهده می‌شود. بالاترین دماها منطبق بر نواحی پست و دشت‌ها و دره‌ها به میزان ۳۵ تا ۳۱ درجه سانتی-گراد رخ می‌دهد. نوار شمالی در حوضه رود ارس، مناطق اطراف دریاچه ارومیه به خصوص

مناطق نیمه جنوبی و دره خلخال و حوضه دریاچه زریوار در استان کردستان، بالاترین دماهای خاک در این عمق را دارند (شکل ۸). دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری (شکل ۹) نسبت به دمای عمق ۵ سانتی‌متری ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. در این عمق از خاک خنک‌ترین دماها در نواحی مرتفع از ۲۱-۱۰ درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین دماها در نواحی کم‌ارتفاع به میزان ۳۲-۲۷ رخ می‌دهد. از نظر توزیع مکانی، مناطق نوار شمالی منطقه شمال غرب در حوضه رود ارس، مناطق اطراف دریاچه ارومیه به‌خصوص مناطق نیمه جنوبی و دره خلخال و حوضه دریاچه زریوار در استان کردستان، بالاترین دماهای خاک را در عمق ۲۰ سانتی‌متری دارند. در عمق ۱ متری دماها از ۶ درجه سانتی‌گراد بالای صفر تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد تغییر پیدا می‌کند. با افزایش عمق اختلاف و دامنه دمایی کمتر مشاهده شد. اختلاف دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری و ۱۰۰ سانتی‌متری به میزان ۷ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۱۰). از نظر مکانی کمترین دماها منطبق بر نواحی مرتفع و بالاترین دماها در نواحی کم‌ارتفاع حوضه دریاچه ارومیه و دشت پارس آباد می‌دهد.



شکل ۶- پهنه‌بندی دمای خاک دوره سرد، عمق ۲۰ سانتی‌متر

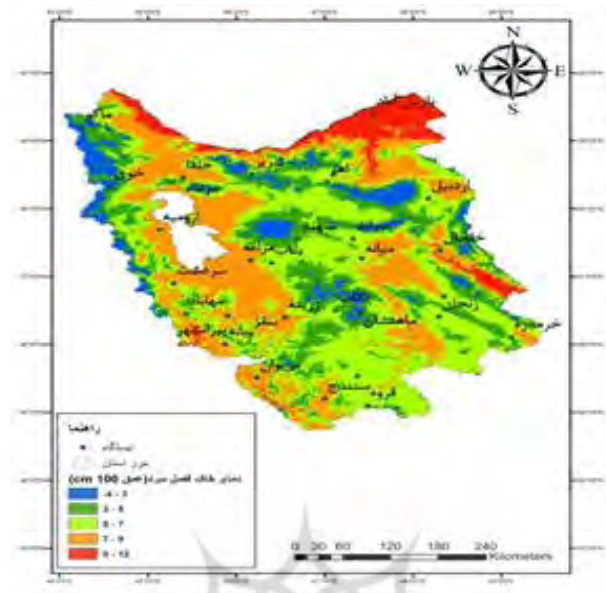
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



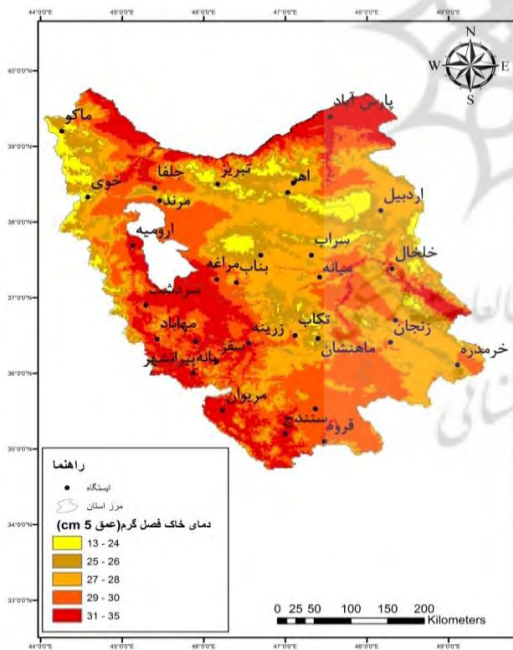
شکل ۵- پهنه‌بندی دمای خاک دوره سرد، عمق ۵ سانتی -

متر

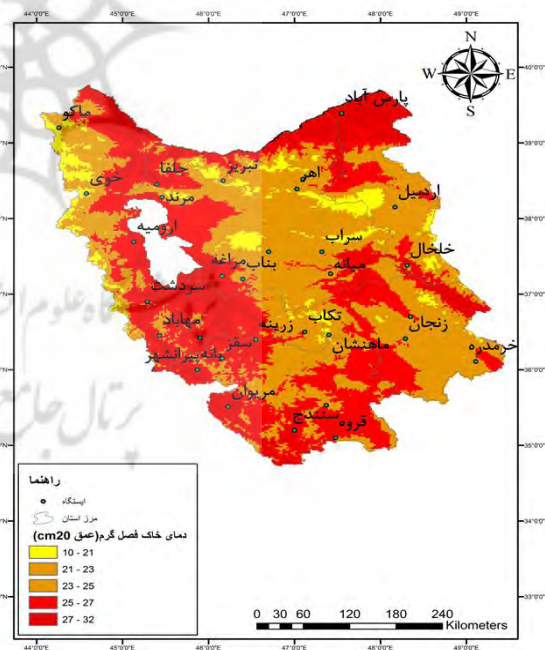
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



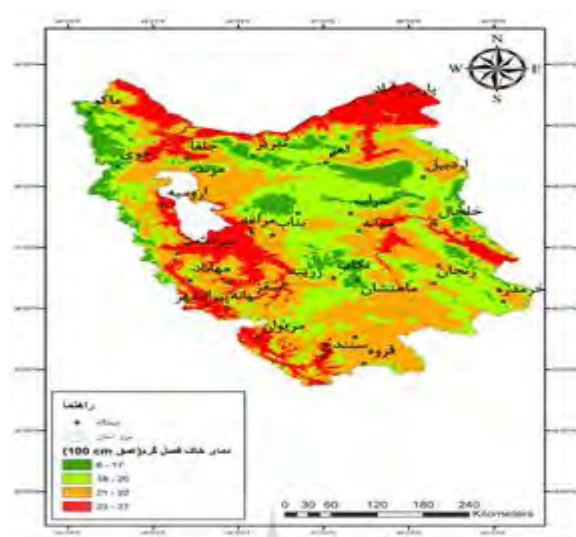
شکل ۷- پهنه‌بندی دمای خاک دوره سرد، عمق ۱۰۰ سانتی‌متر  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۸- پهنه‌بندی دمای خاک دوره گرم، عمق ۵ سانتی‌متر  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۹- پهنه‌بندی دمای خاک دوره گرم، عمق ۲۰ سانتی‌متر  
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۰- پهنه‌بندی دمای خاک دوره گرم، عمق ۱۰۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

نتایج اعتبارسنجی دمای اعماق ۵، ۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک برای دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵ در جدول (۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد در عمق ۵ سانتی‌متری بالاترین میزان ضریب تعیین و کمترین میزان RMSE (ریشه میانگین مربع خطاها) مشاهده می‌شود. با افزایش عمق از میزان ضریب تعیین کاسته شده و میزان RMSE افزایش می‌یابد. در تمامی ایستگاه‌های مطالعه شده بر اساس نتایج معیارهای اعتبارسنجی، روابط پیشنهادی در عمق ۵ سانتی‌متری و سپس عمق ۲۰ سانتی‌متری از عملکرد بالاتری برخوردار است، در تمامی ایستگاه‌ها به طور متوسط میزان RMSE بین ۲ تا ۳ مشاهده شد. با افزایش عمق میزان خطا نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۴- آماره‌های اعتبارسنجی ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران دوره آماری (۱۹۹۲-۲۰۱۵)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

MAE	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>	عمق	ایستگاه
۲/۰۵	-۰/۰۱	۲/۶	۰/۹۱۷	۵	اردبیل
۱۰/۸۳	-۱۰/۰۶	۱۲/۰۸	۰/۸۸۹	۲۰	
۱۰/۸۷	-۱۰/۲۲	۱۲/۳۵	۰/۶۶۷	۱۰۰	



ادامه جدول ۴

MAE	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>	عمق	ایستگاه
۱/۳۷	-۰/۰۳	۱/۸۴	۰/۹۷۲	۵	اردبیل
۱/۴۹	۰/۰۳	۱/۹۶	۰/۹۶۱	۲۰	پارس آباد
۲/۸۳	-۰/۰۱	۳/۳۹	۰/۷۳۶	۱۰۰	
۲/۰۶	۰	۲/۶۵	۰/۹۴۸	۵	
۲/۱۳	۰/۱۵	۲/۷۱	۰/۹۳۰	۲۰	زنجان
۲/۹۳	-۰/۰۰۱	۳/۴۹	۰/۷۵۶	۱۰۰	
۱/۸۱	۰/۰۴	۲/۴۶	۰/۹۶۰	۵	
۱/۷۹	-۰/۰۱	۲/۳۲	۰/۹۴۹	۲۰	سنندج
۳/۰۸	-۰/۰۰۱	۳/۶۴	۰/۷۷۰	۱۰۰	
۲/۲۰	۰/۰۱	۲/۸۲	۰/۹۳۳	۵	
۱/۹۹	۰/۰۳	۲/۵۹	۰/۹۱۹	۲۰	سقز
۲/۵	۰/۰۲	۳/۰۹	۰/۷۳۵	۱۰۰	
۱/۷۴	-۰/۰۰۴	۲/۲۶	۰/۹۶۶	۵	
۱/۹۱	۰/۰۱	۲/۴	۰/۹۴۳	۲۰	تبریز
۲/۹۱	۰/۰۰۶	۳/۴۶	۰/۷۸۰	۱۰۰	
۱/۷۴	-۰/۰۰۸	۲/۲۷	۰/۹۵۹	۵	
۱/۸۰	-۰/۰۴	۲/۳۲	۰/۹۴۲	۲۰	ارومیه
۲/۸۴	۰/۰۱	۳/۴۰	۰/۷۴۰	۱۰۰	
۲/۵۱	-۰/۰۰۵	۳/۲۵	۰/۹۳۴	۵	
۲/۳۸	-۰/۰۰۵	۳/۰	۰/۹۲۷	۲۰	سردشت
۳/۱۵	-۰/۰۰۷	۳/۸۶	۰/۷۸۴	۱۰۰	

## ۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

در طی بررسی‌های انجام‌شده در این مطالعه مشخص شد که پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دما، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی از ارتباط معنی‌داری با دمای خاک در ایستگاه‌ها برخوردار می‌باشند. همچنین، با افزایش عمق میزان ارتباط پارامترهای آب و هوایی

با دمای خاک کاهش یافته است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری با روش ضریب همبستگی پیرسون و رگرسیون چندمتغیره نشان داد که در تمامی ایستگاه‌ها میانگین دمای هوا بیشترین ارتباط را با تغییرات دمای خاک دارد. این میزان ارتباط بیش از ۰/۹۵ در بیشتر ایستگاه‌ها مشاهده شد همگام با نتایج این پژوهش، نجفی مود، علیزاده، محمدیان و موسوی (۱۳۸۷) و سبزی پرور، زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۸۹) نیز کاهش میزان ارتباط با افزایش عمق و بالا بودن ضریب همبستگی دمای هوا با دمای خاک را گزارش کردند. این پژوهش ابتدا به شناسایی خرده‌نواحی آب و هوایی منطقه وسیع شمال غرب ایران پرداخته و درباره ارتباط دمای خاک با پارامترهای آب و هوایی بحث کرده است. ضمن این‌که مطالعه روند تغییرات دمای خاک در عمق‌های مختلف و ارائه نقشه‌های روند، از دیگر دستاوردهای پژوهش حاضر محسوب می‌شود. این پژوهش به دنبال ارائه مدلی جهت برآورد دمای خاک با بهره‌گیری از پارامترهای آب و هوایی بود؛ اما باید توجه داشت که فاکتورهای زیادی در یک مکان بر روی درجه حرارت خاک تأثیر می‌گذارند. به عنوان نمونه، ویژگی‌های پروفیل خاک، بافت خاک، پوشش برفی، تغییرات رطوبت خاک، هدایت گرمایی، گرمای ویژه، تبخیر و تابش خورشیدی همگی می‌توانند منجر به تغییر دمای خاک شوند. بنابراین، استفاده از مدل‌هایی که بتوانند همه عوامل اثرگذار را دربرگیرند به دلیل نبود آمار عملی نیست. بررسی‌های انجام‌شده در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که رگرسیون خطی چندگانه مدل مناسبی برای پیش‌بینی دمای خاک محسوب می‌شود،  $R^2$  به دست آمده اعتبار این مدل را برای اعماق ۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متری در ایستگاه‌های مطالعه‌شده، تأیید می‌کند. بنابراین، می‌توان با استفاده از این نوع رگرسیون به عنوان یک روش غیرمستقیم عددی با دقت و اطمینان بالا به برآورد دمای خاک پرداخت. در ایستگاه‌های مطالعه‌شده بیشترین ضریب تعیین در عمق ۵ و ۲۰ سانتی‌متری مشاهده شد و با افزایش عمق خاک مقدار این ضریب کاهش و میزان خطا افزایش یافته است که نشان‌دهنده وابستگی بیشتر بین پارامترهای آب و هوایی و دمای خاک در اعماق سطحی است. با توجه به نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک که نمایشگر تغییر اقلیم است و دمای سطحی خاک که نشان‌دهنده تغییرات کوتاه‌مدت مقیاس است، می‌توان دریافت که پدیده تغییر اقلیم در حال رخ دادن است و روی پارامتر دمای خاک هم تأثیر چشم‌گیری داشته است.

به دلیل عایق‌بندی ژرفای خاک توسط لایه‌های بالایی، دمای خاک کمتر متأثر از پارامترهای آب و هوایی است. به عبارت دیگر، پاسخ آن به تغییرات بسیار کند است در صورتی که این پاسخ در سطح خاک از سرعت چشمگیری برخوردار است (گلستانی، سرجاز و احمدی، ۱۳۸۶، ص. ۱۷). با توجه به این که تراکم ریشه اغلب گیاهان زراعی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک است و دمای خاک مراحل مختلف فعالیت گیاه از جوانه زدن تا رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، این معادلات می‌توانند در برنامه‌های کاربردی مدیریت کشاورزی، پیش‌بینی عمق نفوذ یخبندان در فعالیت‌های عمرانی و انتقال خطوط انرژی و آب مورد استفاده مسئولان قرار گیرد. استخراج میانگین دمای شبانه‌روزی خاک فقط از ۳ نوبت اندازه‌گیری (۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰) به دست آمده است. در حالی که هیچ‌گونه دمای شبانه‌ای در آن منظور نشده است، این امر تا حدودی دقت روابط همبستگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دمای خاک در ایستگاه‌های سینوپتیک در زمین بدون پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌شود. به همین دلیل، در مطالعات بعدی جهت برآورد دمای خاک، استخراج روابط مشابه در سایر پوشش‌ها و سایر اقلیم‌ها و با در نظر گرفتن دیگر پارامترهای آب و هوایی پیشنهاد می‌شود.

#### کتاب‌نامه

۱. افشار زاده، م. (۱۳۸۹). *ارتباط نوسانات دمای هوا با دمای اعماق خاک در آذربایجان شرقی*. (پایان‌نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد آب و هواشناسی)، دانشگاه تبریز، ایران.
۲. بهیار، م. و کمالی، غ. (۱۳۸۶). *رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک. تحقیقات جغرافیایی*، ۸۶، ۸۱-۱۰۲.
۳. ثنائی نژاد، س.، ادیب عباسی، م.، موسوی بایگی، م. و حیدری گندمان، م. (۱۳۸۷). *بررسی رژیم دمایی هوا و اعماق خاک و تعیین توابع نوسانات ادواری آنها در ایستگاه‌های استان کردستان. علوم و صنایع کشاورزی*، ۲۲، ۳۳-۲۵.
۴. جعفری گلستانی، م.، رائینی سرجاز، م. و ضیاء‌تبار احمدی، م. (۱۳۸۶). *برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و همبستگی‌های رگرسیونی برای شهرستان ساری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۵، ۱۲۳-۱۱۲.

۵. خلیلی اقدم، ن.، جدیدی، ت. و نعیمی، ب. (۱۳۹۲). مطالعه تغییرات دمای هوا و اعماق خاک به منظور برآورد عمق نفوذ یخبندان (مطالعه موردی: ایستگاه هواشناسی کشاورزی کهریز ارومیه). دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، (صص. ۸-۱)، ارومیه: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی.
۶. سبزی پرور، ع.، زارع ایبانه، ح. و بیات ورکشی، م. (۱۳۸۹). مقایسه یافته‌های مدل شبکه استنتاج تطبیقی عصبی فازی با مدل‌های رگرسیونی به منظور برآورد دمای خاک در سه اقلیم متفاوت. آب و خاک، ۲، ۲۸۵ - ۲۷۴.
۷. علیجانی، ب. و کاویانی، م. (۱۳۷۹). مبانی آب و هواشناسی. تهران: انتشارات سمت.
۸. فرج زاده، م. (۱۳۸۶). تکنیک‌های اقلیم‌شناسی. تهران: انتشارات سمت.
۹. قهرمان، ن.، ایران نژاد. پ. و نوروز ولاشدی، ر. (۱۳۹۳). مقایسه عملکرد دو مدل شبیه‌سازی فیزیکی و رگرسیونی برای برآورد دمای خاک زیر پوشش چمن در اقلیم کرج. تحقیقات آب و خاک، ۳، ۲۵۳-۲۴۳.
۱۰. گلشن، س.، رایینی سرجاز، م. و نوروز ولاشدی، ر. (۱۳۹۲). بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند دمای خاک با استفاده از روش من‌کنندال (مطالعه موردی: منطقه کرمان)، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، (صص. ۸-۲). تهران، دانشگاه خوارزمی.
۱۱. مزیدی، ا. و فلاح‌زاده، ف. (۱۳۹۰). روند دماهای سالانه خاک در ایستگاه یزد. جغرافیا و توسعه، ۲۴، ۵۰-۳۹.
۱۲. نجفی‌مود، م.، علیزاده، ا.، محمدیان، آ. و موسوی، ج. (۱۳۸۷). بررسی رابطه دمای هوا و اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان. مجله آب و خاک، ۲۲، ۴۶۶-۴۵۶.

13. Ahmad, M. F., & Rasul, G. (2008). Prediction of soil temperature by air temperature: A case study for Faisalabad. *Pakistan Journal of Meteorology*, 5(9), 19-27.
14. Bai, Y., Scott, T. A., & Min Q. (2014). Climate change implications of soil temperature in the Mojave Desert, USA. *Frontiers of Earth Science*, 8(2), 302-308.
15. Bilgili, M., Sahin, B., & Sangun L. (2013). Estimating soil temperature using neighboring station data via multi-nonlinear regression and artificial neural network models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1), 347-58.
16. Chow, T. T., Long, H., Mok, H., & Li, K. (2011). Estimation of soil temperature profile in Hong Kong from climatic variables. *Energy and Buildings*, 43(12), 3568-75.
17. Ferguson, G., & Beltrami, H. (2006). Transient lateral heat flow due to land-use changes. *Earth and Planetary Science Letters*, 242, 217-222.

18. Jungqvist, G. K., Oni, S., Teutschbein, C., Martyn, N., & Futter, M. (2014). Effect of climate change on soil temperature in Swedish Boreal forests. *PLoS One*, 9(4), 1-12.
19. Kätterer, T., & Andrén, O. (2009). Predicting daily soil temperature profiles in arable soils in cold temperate regions from air temperature and leaf area index. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 59(1), 77-86.
20. Kendall, M.G. (1970). *Rank correlation methods* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Hafner.
21. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
22. Qian B., Gregorich, E. G., Gameda, S., Hopkins, D. W., & Wang, X. L. (2011). Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. *Journal of Geophysical Research*, 116(D2), 12-31.
23. Rankinen, K., Karvonen, T., & Butterfield, D. (2004). A simple model for predicting soil temperature in snow-covered and seasonally frozen soil, model description and testing. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8, 706-716.
24. Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., & Willems, P. (2015). Short term forecasting of soil temperature using artificial neural network. *Meteorological Applications*, 22(3), 576-85.

