

بررسی رابطه بین دمای پناهگاه هواشناسی با دمای اعماق مختلف خاک در شرایط رطوبتی هوا با استفاده از شبکه عصبی (مطالعه موردی: شهرستان ساری)

غلامرضا جانبازقبادی*^۱، مسعود یعقوبی^۲، بهرام قلی زاده^۳

۱-دکتری اقلیم شناسی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

۲-کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی قراخیل قائم شهر

۳-کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی آمل

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۲/۲۶

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸

چکیده

دمای خاک یکی از عوامل مهم در توسعه پایدار و کشاورزی است. هدف از این پژوهش بررسی دمای خاک در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک ساری است. دوره آماری پژوهش از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۴ می‌باشد. بانک اطلاعاتی پژوهش شامل دمای خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، دمای هوای خشک، رطوبت خاک و هوا در بازه زمانی فوق که توسط تجهیزات مورد استفاده در ایستگاه‌های هواشناسی جمع‌آوری شده است. برای برآورد مدل از روش شبکه عصبی استفاده شده است. نتایج نشان داده است که دمای خاک با دمای هوا رابطه مستقیم دارد ولی در عمق‌های نزدیک به سطح این وابستگی بیشتر بوده است و دمای خاک با رطوبت هوا رابطه نوسانی دارد به طوری که تا عمق ۵۰ سانتیمتری افزایشی بوده ولی با افزایش عمق رابطه کاهشی دارد. همچنین رطوبت خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داده است در اعماق بالا این عامل تاثیرگذار است.

واژه‌های کلیدی: دمای خاک، دمای هوا، رطوبت خاک، ساری، شبکه عصبی.

مقدمه

فصلی بستگی دارد، ۳- عمق بیشتر از ۸ متر (یا ۲۰ متر) که دمای زمین عملاً ثابت است و یا در اثر شیب زمین گرمایی بسیار آهسته افزایش پیدا می-کند (بنس، ۲۰۱۳). از آنجایی که لایه سطحی، محل بزرگترین جذب انرژی در روز و اتلاف آن در شب است، بزرگترین واکنش‌های حرارتی روی آن انجام می‌گیرد؛ اثر مزبور با فاصله از سطح به سوی پایین و درون زمین تعدیل می‌یابد. (شریعتمداری، ۱۳۸۴). از جمله پارامترهای مهمی که در ایستگاه-های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود دما است که خود شامل دمای هوا، سطح و اعماق خاک می‌باشد. (برومر، ۲۰۱۲). گرما در سطح خاک و افزایش دما در طول روز نسبت به لایه‌های زیرین بیشتر است و همین امر باعث به‌وجود آمدن گرادیان دمایی بین سطح زمین و خاک از یک طرف و سطح زمین و هوای مجاور سطح از طرف دیگر می‌شود که نتیجه آن جریان گرمایی نزولی است (آلن، ۲۰۱۰). بنابراین دمای هوا تأثیر مستقیمی بر دمای خاک دارد، اما تراز انرژی در سطح خاک فقط تحت تأثیر دما نمی‌باشد (لاورنس، ۲۰۱۰). اندازه‌گیری دمای خاک در ایستگاه‌های سینوپتیک با انواع مختلف حسگر و یا دماسنج‌های معمولی صورت می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۳). تغییرات شبانه‌روزی دمای سطح و اعماق خاک روندی مشابه با دمای هوا دارد ولی همواره تأخیر فازی بین زمان وقوع حداکثر و حداقل‌های روزانه و هم‌چنین دامنه نوسان شبانه-روزی این دو مشاهده می‌شود. از طرفی دیده‌بانی و ثبت پیوسته دمای هوا در داخل پناهگاه هواشناسی جزء عملیات روزمره دیده‌بانی در ایستگاه‌های هواشناسی است. ولی در مورد دمای سطح خاک فقط حداقل دمای شبانه‌روزی و در اعماق خاک سه برداشت در روز (صبح، ظهر، عصر) اندازه‌گیری می‌شود (بریو، ۲۰۱۱). رنود و همکاران (۲۰۰۱) به

دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان و مکان یکی از مهم‌ترین عواملی است که نه تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تأثیر قرار می-دهد بلکه می‌توان گفت که میزان و جهت کلیه فرایندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیر مستقیم وابسته به دماست (نجفی و همکاران، ۱۳۸۷). توزیع عمقی دما در زمین به عوامل زیر بستگی دارد: ۱- ساختار و خواص فیزیکی زمین و ویژگی‌های حرارتی آن (ظرفیت گرمایی، ضریب انتقال حرارتی و گرمای ویژه)، ۲- پوشش سطح زمین (زمین لخت، چمن‌زار، برف و غیره) و ۳- تأثیر عناصر اقلیمی مانند دما، بارش، باد، تابش خورشیدی و رطوبت هوا (جاکوبس و همکاران، ۲۰۱۱). توزیع دما در اعماق زمین از دیدگاه احداث ساختمان‌های زیرزمینی، محاسبه انتقال گرما از ساختمان‌ها به زمین، طراحی تجهیزات ذخیره سازی انرژی گرمایی، تبادلات گرمایی بین لایه‌های زمین، فرآیندهای تجزیه مواد آلی و فرآیند نیتروژن‌گیری (لاورنس، ۲۰۱۰) و همین‌طور اجرای پروژه‌های صنعتی و کشاورزی و زیست میکروارگانیسم‌های خاک نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. به خصوص درجه حرارت خاک روی رشد گیاه، جوانه‌زنی و ظهور گیاه‌چه در سطح خاک، سبز کردن پیازها و غده‌ها، رشد ریشه‌ها و شاخه‌ها تأثیر اساسی دارد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴). از دیدگاه توزیع عمقی دما، سه منطقه در زیر زمین قابل تشخیص است: ۱- منطقه سطحی تا عمق یک متری که به شرایط جوی کوتاه مدت بسیار حساس است، ۲- منطقه کم‌عمق با عمق ۱ الی ۸ متر (برای خاک-های خشک سبک) و ۱ الی ۲۰ متر (برای خاک‌های ماسه‌ای سنگین مرطوب) که در این منطقه، دما تقریباً ثابت و نزدیک به دمای میانگین سالانه هواست و توزیع عمقی آن عمدتاً به شرایط جوی

بررسی خصوصیات فصلی توزیع دمای خاک در فصل رشد برنج پرداختند. در این آزمایش دمای خاک هر ۳۰ دقیقه و در ۹ عمق مختلف با فواصل ۰/۱ متر (از سطح تا عمق ۱ متر) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بلترامی (۲۰۰۱) در کانادا با بررسی دماهای زمین تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری، به این نتیجه رسید که دمای خاک در فصول بهار، تابستان و پاییز، با در نظر گرفتن تأخیرهای ناشی از انتقال حرارت، تقریباً از دمای سطح زمین تبعیت می‌کند. درولیا و همکاران (۲۰۰۹) در یک مزرعه آزمایشی در دانشگاه کشاورزی آتن، دماهای ساعتی را در اعماق مختلف بصورت مناسب با استفاده از یک مدل تحلیلی و دو مدل نیمه تجربی برآورد کردند. ماکلین و آیرس (۲۰۰۰) با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره ارتباط بین دمای خاک با

پارامترهای هواشناسی را تعیین کرده و با ارایه مدل به برآورد دمای خاک در اعماق ۵، ۲، ۱ و ۱۰ سانتیمتر پرداختند. مکویز (۲۰۱۲)، در پژوهشی با عنوان روش جدید برای تعیین واکنش دمای خاک به تغییرات دمای هوا و پوشش برف بیان نموده است، پوشش برف فصلی یک مانع عایق مؤثر را مهیا می‌کند، که خاک کم‌عمق را (۰/۲۵ متر) از شرایط جوی موضعی به طور مستقیم جدا می‌کند. اسدی (۱۳۹۲)، در پژوهشی با عنوان بررسی روند تغییرات دمای اعماق مختلف خاک با استفاده از آزمون من-کندال (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک گرگان) بیان نموده است که دمای خاک یکی از پارامترهای مهم در مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی کشاورزی هم‌چنین مسائل مرتبط با هیدرولوژی است.

محدوده مورد مطالعه

مشخصات ایستگاه هواشناسی ساری

تاریخ تأسیس: ۱۳۷۸	طول جغرافیایی: ۵۳،۰۰
عرض جغرافیایی: ۳۶،۲۹	ارتفاع از سطح دریای آزاد: ۲۳ متر
میانگین بارش سالانه دوره آماری: ۷۵۱/۲ میلیمتر	میانگین درجه حرارت سالانه دوره آماری: ۱۸ درجه سانتیگراد
حداکثر مطلق درجه حرارت سالانه دوره آماری: ۴۰/۶ درجه سانتیگراد	حداقل مطلق درجه حرارت سالانه دوره آماری: -۶ درجه سانتیگراد
میانگین رطوبت نسبی سالانه دوره آماری: ۷۵ درصد	مجموع ساعت آفتابی سالانه دوره آماری: ۱۹۷۸/۳ ساعت
مجموع تبخیر سالانه دوره آماری: ۹۸۵/۹ میلیمتر	حداکثر سرعت باد سالانه دوره آماری: ۲۵ متر بر ثانیه
میانگین مجموع تعداد روزهای یخبندان سالانه دوره آماری: ۶ روز	میانگین مجموع تعداد روزهای بارانی سالانه دوره آماری: ۱۲۱ روز

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های دیدبانی شده روزانه و ساعتی دمای خشک، دمای اعماق مختلف خاک، رطوبت نسبی هوا و رطوبت خاک منطقه ساری در

استان مازندران استفاده شده است. دوره آماری مورد استفاده ۲۰۱۴-۱۹۸۲ میلادی می‌باشد. داده‌های دمای خشک روزی هشت بار رأس ساعات سینوپ (۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱

از شبکه عصبی مصنوعی است که در آن سعی می-شود با آموزش شبکه‌ای پردازشگر و بدون یافتن قانون ریاضی حاکم بر پارامترها، ویژگی‌های ذاتی میان متغیرها، به شبکه آموخته شده و پس از تضمین یادگیری، از آن به‌عنوان نگاشتی میان فضای داده و فضای خواسته بهره‌گیری شود (چانگ، ۲۰۱۳). از این شیوه در مسائل مختلفی در حیطه دینامیک سازه‌ها استفاده شده و نتایج رضایت بخشی حاصل شده است (ایواتا، ۲۰۱۱). هم‌چنین از شبکه‌های عصبی مصنوعی در رسته-های مختلف مهندسی عمران استفاده شده است (آلن، ۲۰۱۰).

آزمون‌های آماری بر روی داده‌ها

قبل از اجرای مدل ابتدا باید از ماهیت متغیرهای پاسخ مورد مطالعه آگاهی داشت. برای این منظور ابتدا آزمون کلموگروف-اسمیرنوف انجام شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است.

دمای اعماق خاک روزی سه بار رأس (UTC)، ساعات ۰۳، ۰۹ و ۱۵ گرینویچ، رطوبت خاک هفته-ای دو بار و داده‌های رطوبت نسبی هوا به صورت روزانه اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه از داده-های دمای خشک ساعات ۹، ۱۲ و ۱۵، دمای اعماق خاک ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ در ساعات ۹، ۱۲ و ۱۵، رطوبت نسبی هوا در ساعات ۹، ۱۲ و ۱۵ رطوبت خاک در اعماق ۲۰ و ۵۰ استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات گردآوری شده از روش‌های آمار توصیفی و آمار استنباطی استفاده شده است و با روش‌های مناسب آماری توسط نرم افزارهای SPSS و EViews7 مورد آزمون قرار گرفته‌اند. هم‌چنین برای اجرای مدل از آزمون‌های رگرسیون لجستیک و آزمون شبکه عصبی استفاده می‌شود و در نهایت با استفاده از ضریب تعیین مدل، به مقایسه دو مدل اجرا شده پرداخته می‌شود. یکی از روش‌های کاربردی در شبیه‌سازی مسائل استفاده

جدول ۱: آزمون نرمال بودن متغیرهای پاسخ برای یک روز در شهرستان ساری

	عمق ۵ سانتی‌متر	عمق ۱۰ سانتی‌متر	عمق ۲۰ سانتی‌متر	عمق ۳۰ سانتی‌متر	عمق ۵۰ سانتی‌متر	عمق ۱۰۰ سانتی‌متر	
حجم نمونه	۴۱۶۹	۴۱۶۹	۴۱۶۹	۴۱۶۹	۴۱۶۹	۴۱۶۹	
پارامترهای نرمال	میانگین	۲۰/۴۲	۲۰/۱۲	۱۹/۵۵	۱۹/۴۸	۱۹/۷۵	۱۹/۸۵
	انحراف استاندارد	۹/۷۶	۹/۲۹	۸/۲۱	۷/۸۹	۷/۰۴	۵/۳۵
آماره کلموگروف-اسمیرنوف	۵/۷۸۳	۵/۸۲۷	۶/۱۰۷	۶/۱۷۹	۶/۴۸۷	۷/۰۴۳	
معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	

عصبی برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است. ابتدا به نتایج به‌دست آمده در خصوص رگرسیون چندکی پرداخته می‌شود، سپس نتایج شبکه عصبی نیز ارائه می‌شود و در نهایت دو روش فوق مورد مقایسه قرار خواهند گرفت. رگرسیون چندکی

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۱ مشاهده می‌شود که هیچ کدام از متغیرهای پاسخ، در این پژوهش نرمال نمی‌باشند، لذا نمی‌توان از رگرسیون خطی استفاده کرد. برای این منظور با توجه به بررسی‌های انجام شده در خصوص ماهیت و شکل متغیرهای پاسخ، از رگرسیون چندکی و شبکه

جدول ۲: آزمون رگرسیون چندکی در یک روز در شهرستان ساری

ضریب تبیین	معنی‌داری مدل رگرسیونی	برآورد پارامترهای مدل			مدل
		رطوبت	دمای خشک	عرض از مبدأ	
۰/۷۹	۰/۰۰۰	۰/۰۲	۱/۱۸	-۲/۸۴	دما در عمق ۵ سانتی‌متر
۰/۸۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴	۱/۱۶	-۴/۶۹	دما در عمق ۱۰ سانتی‌متر
۰/۷۹	۰/۰۰۰	۰/۱۰	۱/۰۷	-۷/۴۷	دما در عمق ۲۰ سانتی‌متر
۰/۷۷	۰/۰۰۰	۰/۱۱	۱/۰۳	-۷/۷۹	دما در عمق ۳۰ سانتی‌متر
۰/۷۲	۰/۰۰۰	۰/۱۲	۰/۹۲	-۶/۲۱	دما در عمق ۵۰ سانتی‌متر
۰/۵۴	۰/۰۰۰	۰/۱۱	۰/۶۷	-۱/۳۹	دما در عمق ۱۰۰ سانتی‌متر

براساس دمای خشک و میزان رطوبت تصمیم‌گیری و نتیجه‌گیری کرد. هم‌چنین با توجه به مقدار R^2 به دست آمده برای هریک از عمق‌ها مشاهده می‌شود که در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری مقدار ضریب تبیین در حد خوب می‌باشد و نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند به خوبی تغییرات دما در عمق‌های مذکور را با توجه به دمای خشک و رطوبت نشان دهد. در نهایت می‌توان مدل رگرسیونی برای دمای محاسبه در عمق‌های مختلف را بر طبق دمای سطح خاک به صورت زیر نوشت:

عمق ۳۰ سانتی متر

$$E(Y_5) = -2/84 + 1/18X_1 + 0/02X_2$$

عمق ۵ سانتی متر

$$E(Y_5) = -7/79 + 1/03X_1 + 0/11X_2$$

عمق ۵۰ سانتی متر

$$E(Y_5) = -4/69 + 1/16X_1 + 0/04X_2$$

عمق ۱۰ سانتی متر

$$E(Y_5) = -6/24 + 0/92X_1 + 0/12X_2$$

عمق ۱۰۰ سانتی متر

$$E(Y_5) = -7/47 + 1/07X_1 + 0/10X_2$$

عمق ۲۰ سانتی متر

$$E(Y_5) = -1/39 + 0/67X_1 + 0/11X_2$$

نهایتاً مدلی با یک لایه پنهان که در لایه پنهان آن ۳ نرون قرار دارد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. برای انتخاب بهترین مدل از حالت اتوماتیک در نرم‌افزار استفاده شد که نرم‌افزار پس از برازش مدل-های مختلف، نهایتاً مدل با مشخصات مذکور را به-عنوان بهترین مدل پیشنهاد می‌کند. نتایج برآورد

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول ۲ مشاهده می‌شود که مدل رگرسیونی برای همه دماها در عمق‌های مختلف معنی‌دار شده است. به‌عنوان مثال دما در عمق ۵ سانتی‌متر در یک روز نسبت مستقیم با دمای خشک و رطوبت دارد. به عبارتی با افزایش ۱/۱۸ واحد دمای خشک ۱ واحد به دما در عمق ۵ سانتی‌متر افزوده می‌شود. هم‌چنین با افزایش ۰/۰۲ واحد رطوبت، ۱ واحد به دما در عمق ۵ سانتی‌متر افزوده می‌شود. به همین صورت با توجه به نتایج حاصل از رگرسیون چندکی در جدول فوق می‌توان به همین صورت برای دما در عمق‌های مختلف

که در آن $E(Y)$ برآورد میانگین توزیع دمای خاک در عمق‌های مختلف به ازای X_1 میزان دمای خشک و X_2 رطوبت می‌باشد.

بحث و نتایج

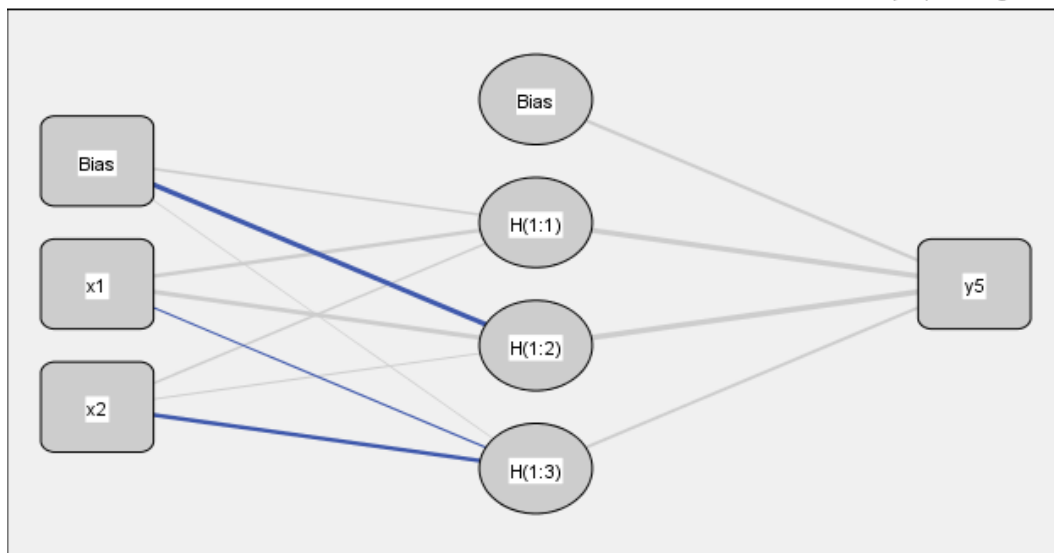
نتایج مدل شبکه عصبی: دما در عمق ۵ سانتی‌متر: پس از برازش مدل شبکه عصبی با ساختار چندلایه،

ضرایب و هم‌چنین مقادیر لایه پنهان در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: نتایج برآورد ضرایب مدل شبکه عصبی با ساختار MLP (دما در عمق ۵ سانتی‌متر) در شهرستان ساری

پیش‌بینی کننده		پیش‌بینی شده		
		لایه پنهان		لایه خروجی
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)
لایه ورودی	اریبی	۰/۴۲۸	-۱/۳۴۴	۰/۰۶۵
	دمای خشک	۰/۶۴۱	۰/۸۵۶	-۰/۲۵۶
	رطوبت	۰/۲۶۸	۰/۰۷۷	-۰/۶۴۱
لایه پنهان	اریبی			۰/۵۹۶
	H(1:1)			۱/۴۱۶
	H(1:2)			۱/۴۷۴
	H(1:3)			۰/۵۳۶

— Synaptic Weight > 0
 — Synaptic Weight < 0



Hidden layer activation function: Hyperbolic tangent

Output layer activation function: Identity

شکل ۱: نمودار مدل شبکه عصبی با ساختار MLP با یک لایه پنهان و ۳ نرون در لایه پنهان در شهرستان ساری

داده‌های "مدل‌ساز" انجام می‌دهد. نتایج پیش‌بینی برآزش داده شده عمل پیش‌بینی را برای مجموعه پس از برآورد وزن‌های مدل، نهایتاً شبکه عصبی انجام شده در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: نتایج دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی با ساختار MLP برای عمق ۵ سانتی‌متر در شهرستان ساری

۲۳۶/۸۱۲	مجموع مربعات خطا	داده‌های مدل‌ساز
۰/۰۴۳	خطای نسبی	

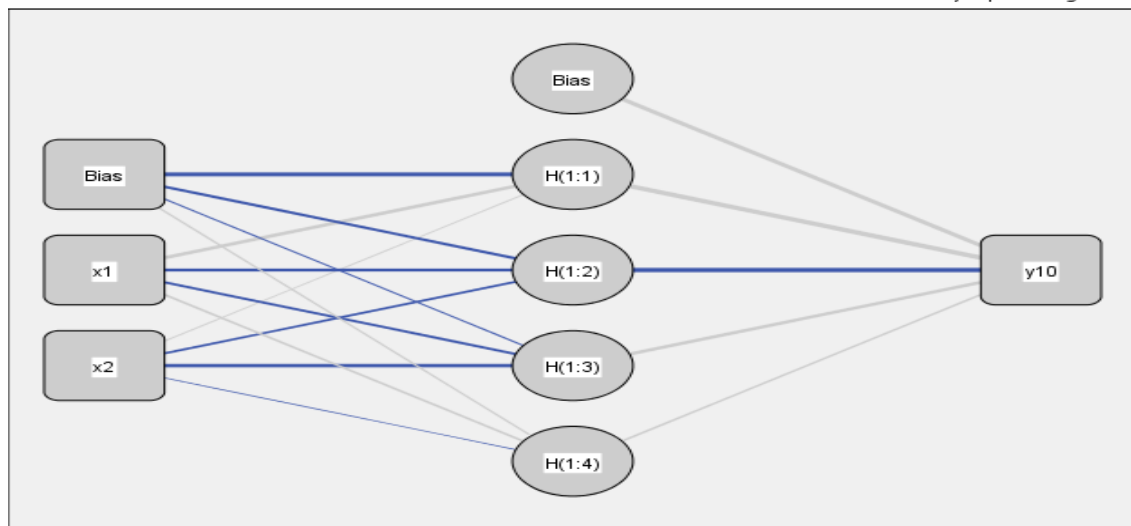
دما در عمق ۱۰ سانتی متر: نمودار مدل شبکه عصبی مورد نظر در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج برآورد ضرایب و هم‌چنین مقادیر لایه پنهان در جدول ۵ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول فوق، مدل شبکه عصبی مورد نظر توانست با مجموع مربعات خطایی برابر با ۲۳۶/۸۱۲ و خطای نسبی ۰/۰۴۳ عمل پیش‌بینی را برای مجموعه مشاهدات مدل‌ساز آزمون انجام دهد.

جدول ۵: نتایج برآورد ضرایب مدل شبکه عصبی با ساختار MLP (دما در عمق ۱۰ سانتی متر) در شهرستان ساری

پیش‌بینی کننده		پیش‌بینی شده				لایه خروجی دما در عمق ۱۰ سانتی متر
		لایه پنهان				
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	
لایه ورودی	اریبی	-۱/۲۲۰	-۰/۳۴۳	-۰/۰۹۲	۰/۲۱۸	۰/۸۱۹ ۱/۷۰۳ -۱/۵۶۹ ۰/۵۳۸ ۰/۲۳۱
	دمای خشک	۰/۶۶۶	-۰/۵۲۹	-۰/۲۸۰	۰/۲۳۸	
	رطوبت	۰/۰۶۳	-۰/۲۷۲	-۰/۶۸۶	-۰/۰۵۳	
لایه پنهان	اریبی					
	H(1:1)					
	H(1:2)					
	H(1:3)					
	H(1:4)					

— Synaptic Weight > 0
— Synaptic Weight < 0



Hidden layer activation function: Hyperbolic tangent

Output layer activation function: Identity

شکل ۲: نمودار مدل شبکه عصبی با ساختار MLP با یک لایه پنهان و ۴ نرون در لایه پنهان در شهرستان ساری

داده‌های "مدل‌ساز" انجام می‌دهد. نتایج پیش‌بینی انجام شده در جدول ۶ نشان داده شده است.

پس از برآورد وزن‌های مدل، نهایتاً شبکه عصبی برازش داده شده عمل پیش‌بینی را برای مجموعه

جدول ۶: نتایج دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی با ساختار MLP برای عمق ۱۰ سانتی‌متر در شهرستان ساری

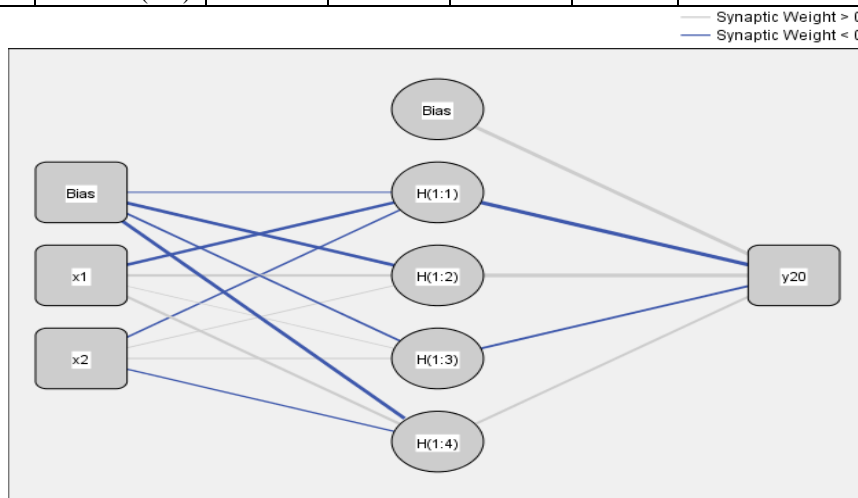
۱۱۶۷/۸۷	مجموع مربعات خطا	داده‌های مدل‌ساز
۰/۴۶۵	خطای نسبی	

دما در عمق ۲۰ سانتی‌متر: نمودار مدل شبکه عصبی مورد نظر در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج برآورد ضرایب و هم‌چنین مقادیر لایه پنهان در جدول ۷ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول فوق، مدل شبکه عصبی مورد نظر توانست با مجموع مربعات خطایی برابر با ۱۱۶۷/۸۷ و خطای نسبی ۰/۴۶۵ عمل پیش‌بینی را برای مجموعه مشاهدات مدل‌ساز آزمون انجام دهد.

جدول ۷: نتایج برآورد ضرایب مدل شبکه عصبی با ساختار MLP (دما در عمق ۲۰ سانتی‌متر) در شهرستان ساری

پیش‌بینی کننده		پیش‌بینی شده				لایه خروجی دما در عمق ۲۰ سانتی‌متر
		لایه پنهان				
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	
لایه ورودی	اریبی	-۰/۰۷۸	-۰/۵۱۴	-۰/۱۸۲	-۰/۵۳۱	۰/۶۸۷ -۰/۹۸۰ ۱/۵۶۷ -۰/۲۲۰ ۰/۳۳۷
	دمای خشک	-۰/۴۹۳	۰/۴۴۷	۰/۰۱۱	۰/۳۶۲	
	رطوبت	-۰/۱۶۸	۰/۰۶۵	۰/۱۰۰	-۰/۱۲۸	
لایه پنهان	اریبی					
	H(1:1)					
	H(1:2)					
	H(1:3)					
	H(1:4)					



Hidden layer activation function: Hyperbolic tangent

Output layer activation function: Identity

شکل ۳: نمودار مدل شبکه عصبی با ساختار MLP با یک لایه پنهان و ۴ نرون در لایه پنهان در شهرستان ساری

پس از برآورد وزن‌های مدل، نهایتاً شبکه عصبی برازش داده شده عمل پیش‌بینی را برای مجموعه داده‌های "مدل‌ساز" انجام می‌دهد. نتایج پیش‌بینی انجام شده در جدول ۸ نشان داده شده است.

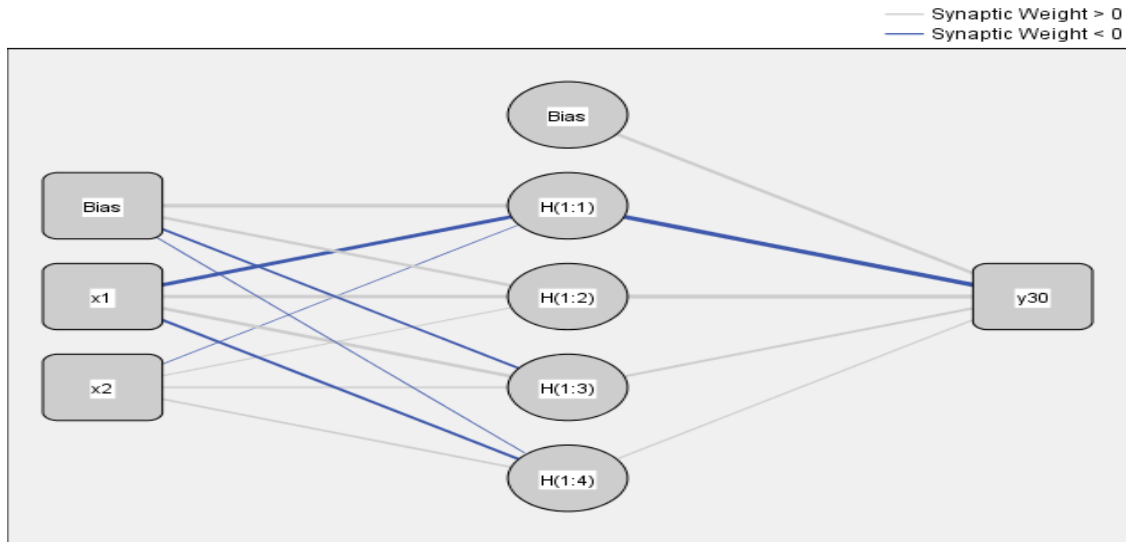
جدول ۸: نتایج دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی با ساختار MLP برای عمق ۲۰ سانتی‌متر در شهرستان ساری

داده‌های مدل‌ساز	مجموع مربعات خطا	۱۶۳/۸۷
	خطای نسبی	۰/۰۸۲

با توجه به نتایج جدول فوق، مدل شبکه عصبی مورد نظر توانست با مجموع مربعات خطایی برابر با ۱۶۳/۸۷ و خطای نسبی ۰/۰۸۲ عمل پیش‌بینی را برای مجموعه مشاهدات مدل‌ساز آزمون انجام دهد. دما در عمق ۳۰ سانتی‌متر: نمودار مدل شبکه عصبی مورد نظر در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج برآورد ضرایب و هم‌چنین مقادیر لایه پنهان در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹: نتایج برآورد ضرایب مدل شبکه عصبی با ساختار MLP (دما در عمق ۳۰ سانتی‌متر) در شهرستان ساری

پیش‌بینی کننده		پیش‌بینی شده				دما در عمق ۳۰ سانتی‌متر	
		لایه پنهان					لایه خروجی
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)		
لایه ورودی	اریبی	۰/۶۱۷	۰/۴۶۲	-۰/۲۶۷	-۰/۰۷۵	۰/۴۸۷	
		-۰/۶۱۷	۰/۵۷۰	۰/۵۳۸	-۰/۴۳۵		
	دمای خشک	-۰/۰۷۱	۰/۰۹۶	۰/۱۳۶	۰/۲۴۱		
	رطوبت					-۱/۵۳۱	
لایه پنهان	اریبی					۰/۷۳۷	
	H(1:1)					۰/۳۱۹	
	H(1:2)					۰/۱۲۹	
	H(1:3)						
	H(1:4)						



Hidden layer activation function: Hyperbolic tangent

Output layer activation function: Identity

شکل ۴: نمودار مدل شبکه عصبی با ساختار MLP با یک لایه پنهان و ۴ نرون در لایه پنهان در شهرستان ساری

پس از برآورد وزن‌های مدل، نهایتاً شبکه عصبی
برازش داده شده عمل پیش‌بینی را برای مجموعه داده‌های "مدل‌ساز" انجام می‌دهد. نتایج پیش‌بینی
انجام شده در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰: نتایج دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی با ساختار MLP برای عمق ۳۰ سانتی‌متر در شهرستان ساری

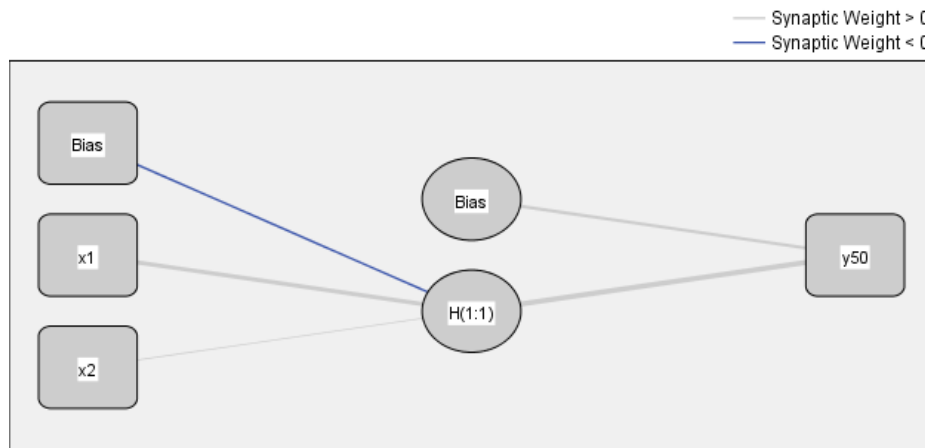
۱۱۷۸/۹۲	مجموع مربعات خطا	داده‌های مدل‌ساز
۰/۵۹۲	خطای نسبی	

با توجه به نتایج جدول فوق، مدل شبکه عصبی
مورد نظر توانست با مجموع مربعات خطایی برابر با
۱۱۷۸/۹۲ و خطای نسبی ۰/۵۹۲ عمل پیش‌بینی
را برای مجموعه مشاهدات مدل‌ساز آزمون انجام
دهد.

دما در عمق ۵۰ سانتی‌متر: نمودار مدل شبکه عصبی
مورد نظر در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج
برآورد ضرایب و هم‌چنین مقادیر لایه پنهان در
جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱: نتایج برآورد ضرایب مدل شبکه عصبی با ساختار MLP (دما در عمق ۵۰ سانتی‌متر) در شهرستان ساری

پیش‌بینی کننده		پیش‌بینی شده	
		لایه خروجی	لایه پنهان
		دما در عمق ۵۰ سانتی متر	H(1:1)
لایه ورودی	اریبی	-۰/۲۱۷	۰/۳۱۵ ۱/۹۷۲
	دمای خشک	۰/۶۳۱	
	رطوبت	۰/۱۳۱	
لایه پنهان	اریبی		
	H(1:1)		



Hidden layer activation function: Hyperbolic tangent

Output layer activation function: Identity

شکل ۵: نمودار مدل شبکه عصبی با ساختار MLP با یک لایه پنهان و ۱ نرون در لایه پنهان در شهرستان ساری

پس از برآورد وزن های مدل، نهایتاً شبکه عصبی
برازش داده شده عمل پیش بینی را برای مجموعه داده های "مدل ساز" انجام می دهد. نتایج پیش بینی انجام شده در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

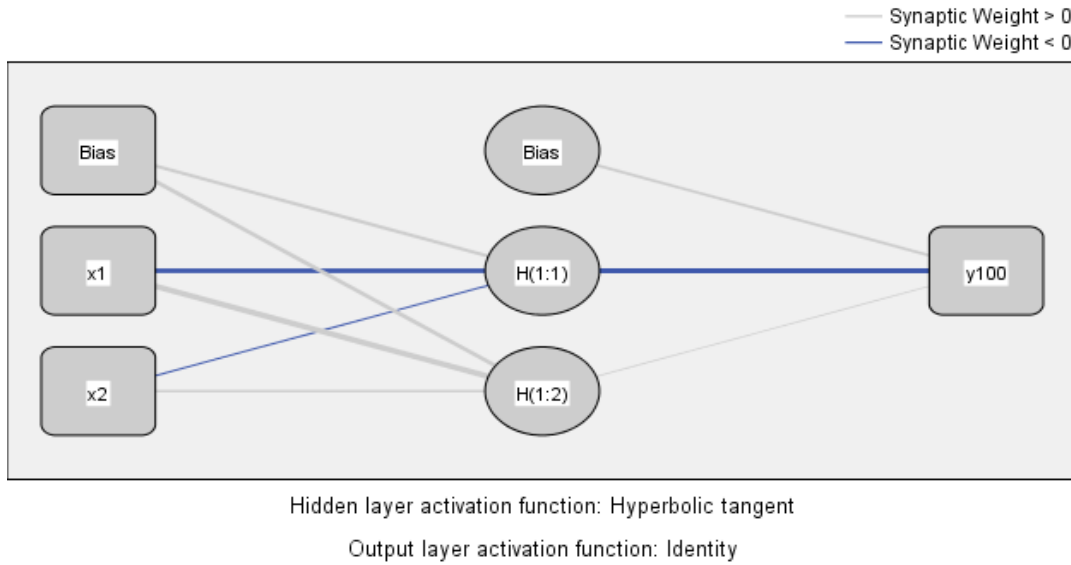
جدول ۱۲: نتایج دقت پیش بینی مدل شبکه عصبی با ساختار MLP برای عمق ۵۰ سانتی متر در شهرستان ساری

۳۳۷/۶۷	مجموع مربعات خطا	داده های مدل ساز
۰/۲۰۱	خطای نسبی	

با توجه به نتایج جدول فوق، مدل شبکه عصبی
مورد نظر توانست با مجموع مربعات خطایی برابر با ۳۳۷/۶۷ و خطای نسبی ۰/۲۰۱ عمل پیش بینی را برای مجموعه مشاهدات مدل ساز آزمون انجام دهد.
دما در عمق ۱۰۰ سانتی متر: نمودار مدل شبکه عصبی مورد نظر در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج برآورد ضرایب و هم چنین مقادیر لایه پنهان در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۳: نتایج برآورد ضرایب مدل شبکه عصبی با ساختار MLP (دما در عمق ۱۰۰ سانتی متر) در شهرستان ساری

پیش بینی کننده		پیش بینی شده		
		لایه پنهان		لایه خروجی
		H(1:1)	H(1:2)	دما در عمق ۱۰۰ سانتی متر
لایه ورودی	اریبی	۰/۳۴۵	۰/۴۷۷	
	دمای خشک	-۰/۷۷۹	۱/۹۹۶	
	رطوبت	-۰/۲۲۲	۰/۲۴۰	
لایه پنهان	اریبی			۰/۳۱۵
	H(1:1)			-۱/۴۶۷
	H(1:2)			۰/۱۲۷



شکل ۶: نمودار مدل شبکه عصبی با ساختار MLP با یک لایه پنهان و ۲ نرون در لایه پنهان در شهرستان ساری

پس از برآورد وزن‌های مدل، نهایتاً شبکه عصبی برآزش داده شده عمل پیش‌بینی را برای مجموعه داده‌های "مدل‌ساز" انجام می‌دهد. نتایج پیش‌بینی انجام شده در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۴: نتایج دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی با ساختار MLP برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در شهرستان ساری

۶۴۳/۸۲	مجموع مربعات خطا	داده‌های مدل‌ساز
۰/۱۳۳	خطای نسبی	

با توجه به نتایج جدول فوق، مدل شبکه عصبی مورد نظر توانست با مجموع مربعات خطایی برابر با ۶۴۳/۸۲ و خطای نسبی ۰/۱۳۳ عمل پیش‌بینی را برای مجموعه مشاهدات مدل‌ساز آزمون انجام دهد.

جدول ۱۵: نتایج حاصل از روش شبکه عصبی براساس معیار ضریب تبیین (R^2) در شهرستان ساری

مدل‌ها	ضریب تبیین (R^2)
دما در عمق ۵ سانتی‌متر	۰/۹۶
دما در عمق ۱۰ سانتی‌متر	۰/۹۶
دما در عمق ۲۰ سانتی‌متر	۰/۹۵
دما در عمق ۳۰ سانتی‌متر	۰/۹۴
دما در عمق ۵۰ سانتی‌متر	۰/۹۱
دما در عمق ۱۰۰ سانتی‌متر	۰/۷۶

در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده می توان این طور نتیجه گرفت که با افزایش عمق تأثیر پذیری میزان تأثیر دمای خشک بر دمای اعماق مختلف خاک کمتر می شود. هم چنین تأثیر رطوبت هوا بر

دمای خاک در عمق های مختلف متفاوت است، به گونه ای که تا عمق ۵۰ سانتی متری روند افزایشی و پس از آن روند کاهشی بر دمای خاک دارد.

جدول ۱۶: مقایسه دو روش رگرسیون چندکی و شبکه عصبی براساس معیار ضریب تبیین (R^2) در شهر ساری

مدل ها	شبکه عصبی	رگرسیون چندکی
دما در عمق ۵ سانتی متر	۰/۹۶	۰/۷۹
دما در عمق ۱۰ سانتی متر	۰/۹۶	۰/۸۰
دما در عمق ۲۰ سانتی متر	۰/۹۵	۰/۷۹
دما در عمق ۳۰ سانتی متر	۰/۹۴	۰/۷۷
دما در عمق ۵۰ سانتی متر	۰/۹۱	۰/۷۲
دما در عمق ۱۰۰ سانتی متر	۰/۷۶	۰/۵۴

نتایج پژوهش (جداول ۳ الی ۱۶) و اشکال (۱) الی (۶) نشان می دهد که تغییرات دمای هوا و دما در اعماق مختلف خاک در ایستگاه همدان از روند خاصی پیروی نکرده و بیشترین دمای هوا و دمای خاک در سال ۱۹۹۲ مشاهده گردید. در مورد همبستگی بین دو پارامتر هواشناسی (ساعات آفتابی و رطوبت نسبی) و عمق خاک نتایج نشان داد که کمترین ضریب همبستگی مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی متری می باشد. هم چنین در این پژوهش مشاهده گردید که دمای خاک همبستگی بیشتری با دمای هوا در مقایسه با دو پارامتر دیگر داشته است. ساعات آفتابی همبستگی کمتری نسبت به دو پارامتر دیگر داشته است. برای برآورد مدل از روش شبکه عصبی استفاده شده است. در نهایت دمای خاک با دمای هوا رابطه مستقیم دارد ولی در عمق های نزدیک به سطح این وابستگی بیشتر بوده است و دمای خاک با رطوبت هوا رابطه نوسانی دارد به طوری که تا عمق ۵۰ سانتی متری افزایشی بوده ولی با افزایش عمق رابطه کاهشی دارد. هم چنین رطوبت خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داده است در اعماق بالا این عامل تأثیرگذار است.

نتایج پژوهش (جداول ۳ الی ۱۶) و اشکال (۱) الی (۶) نشان می دهد که تغییرات دمای هوا و دما در اعماق مختلف خاک در ایستگاه همدان از روند خاصی پیروی نکرده و بیشترین دمای هوا و دمای خاک در سال ۱۹۹۲ مشاهده گردید. در مورد همبستگی بین دو پارامتر هواشناسی (ساعات آفتابی و رطوبت نسبی) و عمق خاک نتایج نشان داد که کمترین ضریب همبستگی مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی متری می باشد. هم چنین در این پژوهش مشاهده گردید که دمای خاک همبستگی بیشتری با دمای هوا در مقایسه با دو پارامتر دیگر داشته است. ساعات آفتابی همبستگی کمتری نسبت به دو پارامتر دیگر داشته است. برای برآورد مدل از روش شبکه عصبی استفاده شده است. در نهایت دمای خاک با دمای هوا رابطه مستقیم دارد ولی در عمق های نزدیک به سطح این وابستگی بیشتر بوده است و دمای خاک با رطوبت هوا رابطه نوسانی دارد به طوری که تا عمق ۵۰ سانتی متری افزایشی بوده ولی با افزایش عمق رابطه کاهشی دارد. هم چنین رطوبت خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داده است در اعماق بالا این عامل تأثیرگذار است.

تأثیر نوع خاک بر دمای خاک

جدول ۱۷: مقایسه R^2 در ایستگاه ساری براساس عمق های مختلف

R^2 دمای خاک در عمق های مختلف											دما	
۱۰۰		۵۰		۳۰		۲۰		۱۰		۵		
رگرسیون چندکی	شبکه عصبی	رگرسیون چندکی	شبکه عصبی	رگرسیون چندکی	شبکه عصبی	رگرسیون چندکی	شبکه عصبی	رگرسیون چندکی	شبکه عصبی	رگرسیون چندکی		
۰/۵۴	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۹۱	۰/۷۷	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/۹۶	۰/۷۹	۰/۹۶	ساری

نتیجه‌گیری

روند کاهش ضریب تبیین (R^2) در اعماق پایین‌تر با نتایج نجفی و همکاران تا حدی هم‌خوانی دارد. هم‌چنین نتایج یافته‌های جعفری گلستانی و همکاران (۱۳۸۶) که در ایستگاه مرطوب ساری به مدت یکسال (۸۶-۱۳۸۵) برای عمق ۷ و ۲۰ سانتیمتر انجام شده بود نشان داد که در عمق ۲۰ سانتی‌متر $R > 0/9$ می‌باشد که با نتایج پژوهش حاضر هماهنگی دارد. ضرایب تبیین پیشنهادی توسط نجفی و همکاران (۱۳۸۷) که برای یک دوره یکساله در ایستگاه‌های سرد نیمه‌خشک خراسان رضوی انجام شده است، کمتر از ضرایب تبیین در پژوهش حاضر است، زیرا آنها میانگین ضریب تبیین روابط بین میانگین دمای هوا و دمای ژرفای ۲۰ سانتیمتری خاک را $0/82$ اعلام کردند. هم‌چنین نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات دمای هوا و دما در اعماق مختلف خاک از روند خاصی پیروی نکرده و بیشترین دمای هوا و دمای خاک در سال ۱۹۹۲ مشاهده گردید. در مورد همبستگی بین دو پارامتر هواشناسی (ساعات آفتابی و رطوبت نسبی) و عمق خاک نتایج نشان داد که کمترین ضریب همبستگی مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی‌متری می‌باشد. هم‌چنین در این پژوهش مشاهده گردید که دمای خاک همبستگی بیشتری با دمای هوا در مقایسه با دو پارامتر دیگر داشته است. ساعات آفتابی همبستگی کمتری نسبت به دو پارامتر دیگر داشته است.

مطابق جدول ۱۷ برآورد مدل نشان می‌دهد که تغییرات نوع خاک و میزان هدایت حرارتی و نفوذپذیری خاک نقش مهمی در افزایش برآورد تخمین مدل دارد. به طوری که خاک رسی لومی و رسی شنی وابستگی دمایی بیشتری به دمای دمای اسکرین و رطوبت هوا دارند و هرچه خاک به شرایط قلیایی نزدیک‌تر می‌شود، به دلیل وجود آهک، میزان هدایت گرادیان حرارتی و دمایی کاهش یافته و وابستگی به دمای اسکرین و رطوبت هوا کمتر می‌شود. براساس جدول ۱۷ در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری، میزان خطای مدل بسیار زیاد بوده است. براساس مدل رگرسیون چندکی دمای خاک با دمای هوا تا عمق ۵۰ سانتیمتری رابطه مستقیم داشته و از طرفی براساس مدل بالا در عمق ۵۰ سانتی‌متری دمای خاک با رطوبت خاک رابطه مستقیمی خواهد داشت. بنابراین پیش‌بینی می‌شود عمق ۵۰ سانتی‌متری، یک محدوده بحرانی در دمای خاک خواهد بود. و احتمالاً به همین دلیل در کشاورزی تا عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین شخم می‌خورد. با توجه به داده‌های بالا و تأثیرپذیری دمای خاک در عمق ریشه درختان از رطوبت خاک در باغبانی پیشنهاد می‌شود ریشه درختان در محدوده رطوبتی خاک قرار داده شود.

منابع

- علیزاده، ا.، ۱۳۸۳. " فیزیک خاک"، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.
- کارآموز، م. و عراقی نژاد، ش.، ۱۳۸۴. " هیدرولوژی پیشرفته"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
- شریعتمداری، ز.، ۱۳۸۴. تعیین عمق نفوذ یخبندان در چند نمونه اقلیمی و تیپ خاکی ایران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد گروه آبیاری بخش هواشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه‌نامه زراعت و اصلاح نباتات، شماره (۵) ۱۴، ص ۱۱۲-۱۱۳.
-سبزی پرور، ع.ا، طبری، ح. و آیینی، ع.، ۱۳۸۹. برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی. فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۵۲ (۲)، ص ۱۲۵-۱۳۰.

-Allen, D.M., Cannon, A.J., Toews, M.W. and Scibek, J., 2010. Variability in simulated recharge using different GCMs, water resources research, 46, W00F03.
-Barnhart, C.J., Nimmo, F. and Travis, B.J., 2010. Martian post-impact hydrothermal systems incorporating freezing, Icarus, v. 208 (1), p. 101-117.
-Kurylyk, B.L., MacQuarrie, K.T.B. and McKenzie, J.M., 2014. Climate change impacts on groundwater and soil temperatures in cold and temperate regions: Implications, mathematical theory and emerging simulation tools, Earth-Science Reviews 138, p. 313-334.
-Bense, V.F., Kooi, H., Ferguson, G. and Read, T., 2012. Permafrost degradation as a control on hydrogeological regime shifts in a warming climate journal of geophysical research earth surface, v. 117, p. 30-36.
-Bloomfield, J.P., Jackson, C.R. and Stuart, M.E., 2013. Changes in groundwater levels, temperature and quality in the UK over the 20th century: an assessment of evidence of impacts from climate change, Living with Environmental Change Report, UK (14 pp., Available at: <http://nora.nerc.ac.uk/503271>).
-Bordoy, R. and Burlando, P., 2013. Bias correction of regional climate model

-نجفی مود، م.ح.، علیزاده، ا.، محمدیان، آ. و موسوی، ج.، ۱۳۸۷. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان (مطالعه موردی استان خراسان رضوی)، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲۲ (۲)، ص ۴۵۶-۴۶۶.
-جعفری گلستان، م.، رائینی سرجازوم، م. و تباراحمدی، ض.، ۱۳۸۶. برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و همبستگی-های رگرسیونی برای شهر ساری، مجله علوم

simulations in a region of complex orography, journal of applied meteorology and climatology, v. 52 (1), p. 82-101.
-Brunner, P. and Simmons, C.T., 2012. HydroGeoSphere: a fully integrated, physically based hydrological model, Groundwater 2 (50), 170-176. Cheng, G., Jin, H., 2013. Permafrost and groundwater on the Qinghai-Tibet plateau hydrogeology journal, v. 21 (1), p. 5-23.
-Iwata, Y., Nemoto, M., Hasegawa, S., Yanai, Y., Kuwao, K. and Hirota, T., 2011. Influence of rain, air temperature and snow cover on subsequent spring-snowmelt infiltration into thin frozen soil layer in northern Japan, Journal of Hydrology, v. 401, p. 165-176.
-Jacobs, A.F.G., Heusinkveld, B.G. and Holtslag, A.A.M., 2011. Long-term record and analysis of soil temperatures and soil heat fluxes in a grassland area, The Netherlands, Agricultural and Forest Meteorology, v. 151, p. 774-780.
-Lawrence, D.M. and Slater, A.G., 2010. The contribution of snow condition trends to future ground climate, climate dynamics, v. 34, p. 969-981.