



## Investigation of effect metrological variables on different depth of temperature and its estimation base on regression method in Guilan province

Seyed Mohammad Taghi Sadidi Shal<sup>1</sup>, Zahra Amin Deldar<sup>2</sup>, Ebrahim Asadi Oskouei<sup>3✉</sup>, Jalil Helali<sup>4</sup>

1. Studies and Research Group, Guilan Meteorological Organization, Rasht, Iran, Email: [msadidi@gmail.com](mailto:msadidi@gmail.com)
2. Studies and Research Group, Guilan Meteorological Organization, Rasht, Iran, Email: [s\\_amindeldar@yahoo.com](mailto:s_amindeldar@yahoo.com)
3. Corresponding Author, Climatological Research and Climate Change Institute, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran, Email: [e.asadi.o@gmail.com](mailto:e.asadi.o@gmail.com)
4. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: [jalilhelali@gmail.com](mailto:jalilhelali@gmail.com)

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> Research Article</p> <p><b>Article history:</b></p> <p><b>Received:</b> May. 9, 2022</p> <p><b>Revised:</b> Dec. 8, 2022</p> <p><b>Accepted:</b> Dec. 14, 2022</p> <p><b>Published online:</b> Jan. 22, 2022</p> <p><b>Keywords:</b> Climatic Variables, Soil Temperature, Uni-Variate Regression.</p>	<p>Soil is the base of plant growth and has a significant effect on agricultural production. On the other hand, this section of the ecosystem is strongly affected by climate factors. The aim of this study was to investigate the relationship between meteorological variables with soil temperature at different depths and to use the most effective factor for estimation of it using the regression method without the need for more complex models in stations of Guilan province. Therefore, the relationship between meteorological data including air temperature at 2m-elevation, cloudiness, sunshine hours, rainfall, relative humidity, evaporation, and wind speed with soil temperature at depths of 5, 10, 20, 30, 50, and 100 cm at stations of Guilan province in a 10-year period from 2009 to 2018 was studied by correlation analysis. Finally, a regression equation was developed based on 70 percent of the data and it was validated by another 30 percent of the data to estimate soil temperature at different depths. The results illustrated that among the various independent variables, the average daily temperature at 2m-elevation had the highest correlation with the soil temperature at different depths. The correlation coefficient for different station was 0.70 - 0.97. Finally, it can be concluded that the regression method is an acceptable method for estimation of soil temperature at different depths, especially at shallower depths. So that the RMSE values range from 1.7 to 4.9 °C and the determination coefficient values range from 0.62 to 0.96.</p>

Cite this article: Sadidi Shal, S. M. T., Amin Deldar, Z., Asadi Oskouei, E., & Helali, J. (2023). Investigation of effect metrological variables on different depth of temperature and its estimation base on regression method in Guilan province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (11), 2613-2624. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342814.669263>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342814.669263>



## بررسی تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای اعماق مختلف خاک و برآورد آن بر مبنای روش رگرسیونی در استان گیلان

سید محمدتقی سدیدي شمال<sup>۱</sup>، زهرا امین دلدار<sup>۲</sup>، ابراهیم اسعدی اسکویی<sup>۳</sup>، جلیل هلالی<sup>۴</sup>

۱. گروه مطالعات و تحقیقات، اداره کل هواشناسی استان گیلان، رشت، ایران، ایمیل: [msadidi@gmail.com](mailto:msadidi@gmail.com)

۲. گروه مطالعات و تحقیقات، اداره کل هواشناسی استان گیلان، رشت، ایران، ایمیل: [s\\_amindeldar@yahoo.com](mailto:s_amindeldar@yahoo.com)

۳. نویسنده مسئول، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران، ایمیل: [e.asadi.o@gmail.com](mailto:e.asadi.o@gmail.com)

۴. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: [jalilhelali@gmail.com](mailto:jalilhelali@gmail.com)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

خاک به عنوان بستر رشدونمو گیاهان تأثیر مهمی بر تولید محصولات کشاورزی دارد. از سوی دیگر، این بخش از بوم‌سامانه تحت تأثیر عوامل اقلیمی قرار دارد. هدف این مطالعه در وهله اول بررسی ارتباط بین متغیرهای هواشناسی با دمای اعماق مختلف خاک و سپس استفاده از مهم‌ترین عامل مؤثر در آن با استفاده از روش رگرسیونی بدون نیاز به مدل‌های پیچیده‌تر در ایستگاه‌های استان گیلان بود. بنابراین، ارتباط بین داده‌های هواشناسی شامل دمای هوا در ارتفاع دو متری، ابرناکی، ساعات آفتابی، بارندگی، رطوبت نسبی، تبخیر و سرعت باد با دمای خاک اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در ایستگاه‌های مختلف استان گیلان در دوره ۱۰ ساله از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ میلادی در مقیاس روزانه به روش تحلیل همبستگی بررسی شد. در نهایت مدل‌سازی دمای اعماق مختلف با روش رگرسیونی انجام شد که ۷۰ و ۳۰ درصد داده‌ها به ترتیب به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که از بین کلیه متغیرهای مستقل مورد استفاده عامل میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری بیشترین همبستگی را با دمای خاک در اعماق مختلف ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است که این همبستگی در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۷۱ تا ۰/۹۷ متغیر است. نتیجه نهایی مشخص نمود روابط رگرسیونی به دست آمده در سطح معنی داری ۵ درصد می‌توانند در تخمین دمای اعماق مختلف خاک به خصوص اعماق سطحی‌تر دقت قابل قبولی ارائه نمایند به طوری مقادیر RMSE بین ۱/۷ تا ۴/۹ درجه سلسیوس و مقادیر ضریب تعیین بین ۰/۶۲ تا ۰/۹۶ متغیر است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۱

واژه‌های کلیدی:

دمای خاک،

متغیرهای اقلیمی،

رگرسیون تک متغیره.

استناد: سدیدي شمال؛ سیدمحمدتقی، امین دلدار؛ زهرا، اسعدی اسکویی؛ ابراهیم، هلالی؛ جلیل، (۱۴۰۱). بررسی تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای اعماق مختلف خاک و برآورد آن بر مبنای روش رگرسیونی در استان گیلان، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۱۱)، ۲۶۱۳-۲۶۲۴



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342814.669263>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.342814.669263>

## مقدمه

خاک به عنوان بستر رشدونمو گیاهان نقش مهمی در اکوسیستم زراعی بازی می‌کند. تأثیر متغیرهای اقلیمی به خصوص دما بر آن مهم بوده و متغیر مهم در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم‌شناسی به شمار می‌رود (Amir Behaegel et al., 2007). از طرفی، دمای خاک یکی از عوامل مهم در رشدونمو گیاهان بوده و در تأمین انرژی مورد نیاز گیاه نقش موثری دارد. دمای خاک نیز با تأثیر بر فعل و انفعالات شیمیایی خاک و انتقال مواد غذایی از ریشه به اندام‌های رویشی در بهبود عملکرد بهتر و بیشتر محصول دارای اهمیت است (Sommers et al., 1981). دمای خاک و چگونگی تغییرات آن یکی از مهم‌ترین عواملی است که علاوه بر تأثیر بر تبادل ماده و انرژی نقش تعیین کننده‌ای در مقدار و جهت تمام فرآیندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیرمستقیم دارد (Najafimod et al., 2008). الگو و رفتار حرارتی خاک، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، جذب عناصر و فعالیت‌های بیولوژیکی درون خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Keryn et al., 2004). با آگاهی از تغییرات دمایی اعماق خاک می‌توان راهکارهایی مناسب به منظور کاهش شدت خسارت‌های وارده به محصولات کشاورزی اتخاذ نمود (Ghaemina & Azimzadeh, 2013). با توجه به این که گیاهان برای جوانه‌زنی بهتر و سریع‌تر نیازمند یک دمای مطلوب هستند، برای فراهم آوردن این دما می‌توان زمان مناسبی را برای بذرکاری و قلمه زدن تعیین نمود (Karampoor & Yarmoradi, 2015). برای کشاورزان تعداد روزهای لازم برای جوانه‌زنی پس از کاشت اهمیت داشته و دمای بسیار زیاد و یا بسیار کم، جوانه‌زنی را با تأخیر مواجه می‌سازد. از سوی دیگر، شناخت دقیق سازوکارهای دخیل در دمای خاک می‌تواند باغداران را در مقابله با پدیده‌های زیانبخش اقلیمی همچون یخبندان نیز یاری رساند (Helali & Rasouli, 2016; Helali et al., 2021).

با توجه به ضرورت و اهمیت دمای خاک در فرایندهای بیولوژیکی و هیدرولوژیکی، در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیکی و اقلیم‌شناسی عموماً تأکید بر اندازه‌گیری دمای هوا بوده و دمای خاک به صورت محدود اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری دمای خاک در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی با انواع مختلف حسگر و یا دماسنج‌های معمولی صورت می‌گیرد که هزینه‌بر است. برای تعیین تغییرات مکانی دمای خاک در اعماق مختلف، چندین حسگر و یا دماسنج مختلف مورد نیاز است (Sabziparvar et al., 2010). با توجه به این محدودیت‌ها در اندازه‌گیری دمای خاک محققان تلاش کرده‌اند تا با استفاده از سایر متغیرهای هواشناسی اندازه‌گیری شده دمای خاک را نیز مدل‌سازی نمایند (Khatar, Mojarrad & Sadeghi, 2013; Yazdani et al., 2013; Parsafar & Marofi, 2011; Najafimod et al., 2008; Bahmani, 2015 & Mesbahzadeh et al., 2018; Khoshkhou, 2019). بر اساس این مطالعات، تلاش شده است ارتباط عوامل اقلیمی با دمای خاک مورد بررسی و واکاوی قرار گیرد (Asadi Oskouei, Ghaemina et al., 2011; Sabziparvar et al., 2010). در حالی که در بعضی دیگر تلاش گردیده است با استفاده از این متغیرها دمای خاک اعماق بیشتر مدل‌سازی گردد (Baaghideh et al., 2018; Ghahreman et al., 2014). این در حالی است که تعدادی از این مطالعات صرفاً به بررسی ارتباط بین دمای هوا و دمای خاک با استفاده از روش‌های مختلف برای کاربری‌های مختلف پرداخته‌اند (Parsafar & Marofi, 2011; Najafimod et al., 2008; Khoshkhou, 2019). بنابراین، ارائه روش‌های آماری و تجربی که قادر به ارائه نتایج قابل قبول در برآورد دمای خاک باشد، می‌تواند راه‌حل مناسبی برای برآورد این متغیر در نقاط فاقد اندازه‌گیری باشد (Plauborg, 2002). محققان با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره ارتباط بین دمای خاک با پارامترهای هواشناسی را تعیین و با ارائه مدل به برآورد دمای خاک در اعماق مختلف پرداخته‌اند (Maclean & Ayres, 1985). Jafari Golestan et al., (2008) با استفاده از روابط رگرسیونی، استفاده از تجزیه منحنی را برای برآورد دمای خاک در منطقه ساری پیشنهاد کردند. در مطالعات جدید نیز (Khoshhal Jahromi et al., 2021) با روش تحلیل طیفی ارتباط بین دمای هوا و دمای خاک را در اقلیم‌های مختلف ایران مورد بررسی قرار دادند و مشخص کردند که با استفاده از داده‌های دمای هوا می‌توان خلاءهای موجود دمای خاک را در رژیم‌های دمایی خاک مختلف بازسازی نمود. Sabziparvar & Khoshhal Jahromi (2022) ارتباط بین موثرترین پارامترهای هواشناسی مؤثر بر دمای خاک عمق ۱۰ سانتیمتری در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه برای سه رژیم دمایی خاک مزیک، ترمیک و هایپرترمیک را با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی برای مناطق مختلف ایران انجام دادند و مشخص نمودند این روش می‌تواند به طور دقیقی دمای خاک عمق ۱۰ سانتیمتری را مدل‌سازی نماید که مهمترین عامل دمای هوا بوده است.

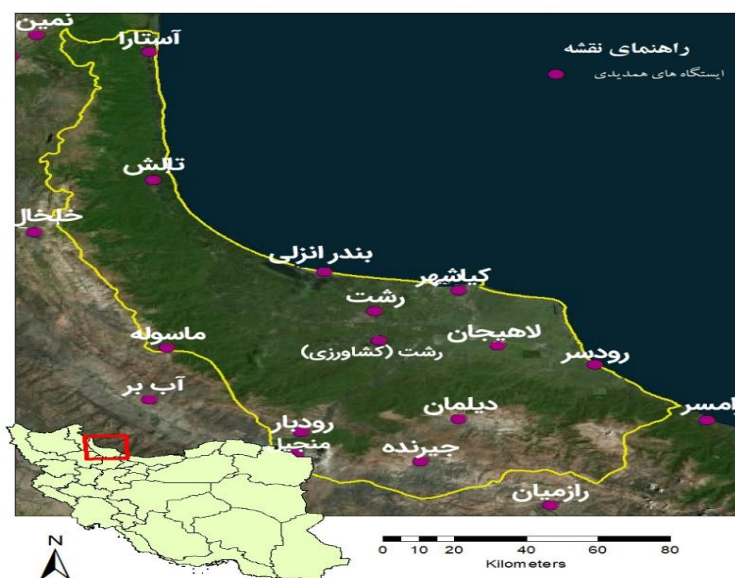
مطالعات نشان داده است که دمای خاک در اعماق مختلف به نوع خاک، میزان رطوبت آن، دمای هوا، ساعات آفتابی و جنس سطح خاک بستگی دارد (Yazdani et al., 2013). در نتیجه، میزان دمای اعماق مختلف خاک از جایی به جای دیگر تغییر می‌کند. به طور کلی، دمای خاک شامل یک نوسان روزانه و یک نوسان سالانه است که در فصول گرم از سطح به عمق کاهش می‌یابد و در فصول سرد از سطح

به عمق افزایشی است (Parsafar & Marofi, 2011). در پیش‌بینی دقیق سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن بذور گیاهان زراعی و مدل‌سازی آن‌ها، دمای خاک اهمیت بیشتری نسبت به دمای هوا دارد. پیش‌بینی زمان سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و استقرار سریع و کامل گیاهچه‌ها لازمه یک زراعت موفق است و از آن جایی که این موارد به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی مانند دما و به تبع آن دمای خاک قرار می‌گیرد، بنابراین درک اساسی از عوامل محیطی مؤثر بر سبز شدن گیاهان زراعی ضروری است (Seefeldt et al., 2002). در بعضی از مطالعات ارتباط دمای عمق خاصی از خاک با متغیرهای اقلیمی انجام شده است (Sabziparvar & Khoshhal Jahromi, 2022) یا روش‌های پیچیده‌تر برای مدل‌سازی دمای اعماق مختلف خاک مورد استفاده قرار گرفته است (Najafimod et al., 2008). روش‌های ساده‌تر برای مدل‌سازی دمای اعماق مختلف خاک با استفاده از داده‌های اقلیمی است. بنابراین این مطالعه تلاش دارد در وهله اول مهمترین متغیرهای هواشناسی مؤثر بر دمای اعماق مختلف خاک را بر اساس روش همبستگی بررسی نموده و از آن‌ها به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده دمای اعماق مختلف خاک با استفاده از مدل رگرسیونی بدون نیاز به مدل‌های پیچیده‌تر استفاده نماید.

## مواد و روش‌ها

### ایستگاه‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان گیلان است که در بخش شمالی ایران و کرانه جنوب غربی و غربی دریای کاسپین قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه شامل هشت ایستگاه سینوپتیک شامل آستارا، انزلی، کیشهر، لاهیجان، رشت، ماسوله، منجیل، رشت و تالش است که مشخصات جغرافیایی و اقلیمی آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی گیلان

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه استان گیلان

ایستگاه	نوع اقلیم (دومارتن)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین دمای سالانه (سلسیوس)	بارندگی سالانه (میلی‌متر)
آستارا	بسیار مرطوب	۸۵/۴۸	۳۵/۳۸	-۲۱/۱	۶/۱۵	۱۳۸۸/۹
انزلی	بسیار مرطوب	۴۵/۴۹	۳۷/۳۷	-۲۳/۶	۸/۱۶	۱۷۵۸/۸
کیشهر	بسیار مرطوب	۸۸/۴۹	۳۸/۳۷	-۲۲	۱۷	۱۲۶۷/۴
لاهیجان	بسیار مرطوب	۰۲/۵۰	۱۹/۳۷	۲/۳۴	۵/۱۶	۱۴۴۳/۶
منجیل	خشک	۴۹/۴	۳۶/۷۲	۳/۳۳۸	۱۷/۹	۲۱۴/۹
ماسوله	بسیار مرطوب	۴۸/۹۸	۳۷/۱۵	۹/۱۰۰	۱۲/۱	۹۶۵/۸
رشت	بسیار مرطوب	۶۳/۴۹	۲/۳۷	۹/۲۴	۷/۱۶	۱۲۷۶/۸
تالش	بسیار مرطوب	۸۸/۴۸	۸۳/۳۷	۳/۷	۴/۱۶	۱۰۴۸/۸

### داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از داده‌های روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری، ابرناکی، ساعات آفتابی، بارندگی، رطوبت نسبی، تبخیر و سرعت باد (به عنوان متغیرهای مستقل) و دمای خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری (به عنوان متغیر وابسته) در دوره ۱۰ ساله از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ انتخاب شد. به منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل (متغیرهای اقلیمی) و متغیر وابسته (دمای خاک در اعماق مختلف) از روش ضریب همبستگی پیرسون (R) در همه ایستگاه‌ها و اعماق مختلف خاک به صورت معادله ۱ استفاده شد:

$$R = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که دامنه تغییرات آن بین -۱ تا +۱ متغیر خواهد بود. سپس بر مبنای آماره P-value معناداری متغیرها استخراج و به عنوان ورودی معادلات رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه روابط رگرسیونی بین متغیر وابسته (دمای خاک در عمق مشخص و ایستگاه معین) با متغیر مستقل به صورت معادله زیر به دست آمد:

$$Y = aX + b \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن X متغیر مستقل، Y متغیر وابسته (دمای خاک در عمق مشخص و ایستگاه معین)، a و b ضرایب ثابت مدل هستند. در این مطالعه ۷۰ درصد داده‌ها برای واسنجی یا آموزش و ۳۰ درصد برای صحت‌سنجی یا آزمون مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی دقت روابط رگرسیونی یا تجربی ارائه شده، مقادیر میانگین روزانه دمای خاک برآورد شده با هر یک از روابط با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شده و اعتبارسنجی آن‌ها با استفاده از نمودار نیمساز، آماره‌های دوربین-واتسون (DW) (Bhargava, 1989)، ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) Behar (et al., 2015)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) (Ma & Iqbal, 1984; Willmott & Matsuura, 2006)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین انحراف خطا (MBE) (Ma & Iqbal, 1986) به صورت معادلات ۳ تا ۶ انجام شد:

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad \text{رابطه ۶}$$

بر اساس این آماره‌ها مقادیر ضریب تبیین نزدیک به ۱ و مقادیر نزدیک به صفر آماره‌های RMSE، MAE و MBE بهترین مدل خواهند بود. در مورد آماره MBE مقادیر مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی معادلات ارائه شده خواهند بود. همچنین در نمودار نیمساز پراکنش متقارن‌تر حول محور نیمساز نشان‌دهنده بهتر بودن مدل و پراکنش زیادتر در یک سوی محور نشان‌دهنده بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی خواهد بود.

## نتایج و بحث

### بررسی همبستگی پارامترهای هواشناسی و دمای اعماق خاک

در جدول ۲ ضرایب همبستگی پیرسون بین دمای اعماق مختلف خاک و پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۱۰ ساله ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد میانگین روزانه دمای هوا بیشترین همبستگی معنی‌دار را با دمای خاک در تمام عمق‌ها و ایستگاه‌ها دارد. بعد از دمای هوا، بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب متعلق به متغیرهای تبخیر و ساعات آفتابی است در حالی که متغیرهای میانگین



بارندگی روزانه، و سرعت باد همبستگی معناداری با دمای خاک نشان نمی‌دهند. از سوی دیگر، با افزایش عمق خاک همبستگی متغیرهای هواشناسی با دمای خاک کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند ناشی از تأخیر زمانی بین آن‌ها و همچنین تغییرات ناچیز دامنه شبانه‌روزی دما در اعماق بیشتر باشد. در این مطالعه تأثیر متغیرهای بارندگی روزانه و رطوبت نسبی هوا همبستگی منفی با دمای خاک در اعماق مختلف نشان می‌دهد که با نتایج مطالعه Alipour & Kazemzadeh (2019) و Sabziparvar & Khoshhal Jahromi (2022) تطابق دارد. مطالعات انجام شده Jafari Golestan et al., (2008) در ساری Sabziparvar & Khoshhal Jahromi (2022) در ایران و Zheng et al. (1993) در چین نشان دهنده تأثیرگذاری بیشتر دمای هوا بر دمای خاک است. با توجه به اقلیم مشابه منطقه مطالعه که عمدتاً در طبقه مرطوب قرار دارد ملاحظه می‌شود تأثیرگذاری دمای هوا بر دمای خاک در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه مشابه است. در این مورد مطالعه Sabziparvar et al. (2010) نشان داده است که تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف یکسان نیست. یکی از نتایج به دست آمده در ایستگاه منجیل این است که علاوه بر دمای هوا، تبخیر، ساعات آفتابی و سرعت باد نیز تأثیر معناداری بر دمای اعماق مختلف خاک (تا عمق ۵۰ سانتیمتری) دارند که این امر تأثیر مؤلفه سرعت باد را در مناطق بادخیز همچون منجیل نشان می‌دهد. تأثیر مؤلفه تبخیر و ساعات آفتابی را می‌توان به فصل مربوطه به‌ویژه تابستان نسبت داد که نیازمند مطالعات بیشتر در مقیاس فصلی و ماهانه است.

#### روابط رگرسیونی بین دمای اعماق مختلف خاک و دمای میانگین هوا

با توجه به نتایج به دست آمده در بخش ضرایب همبستگی، به دلیل ارتباط زیاد بین دمای هوا با دمای خاک در همه اعماق خاک، معادلات رگرسیونی تک متغیره استخراج گردید که نتایج آن به‌صورت نمودار نیمساز در دو نمونه اقلیمی بسیار مرطوب آستارا و خشک منجیل در شکل ۲ و کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره واسنجی (آموزش) و صحت‌سنجی (آزمون) در جدول ۳ ارائه شده است. به عقیده Chow et al., (2011) استفاده از روابط نیمه تجربی و مدل‌های آماری می‌تواند ابزار مناسبی برای برآورد دمای اعماق خاک باشد. نتایج به دست آمده در سری زمانی دمای خاک مشاهده‌ای و برآوردی در ایستگاه آستارا نشان می‌دهد، در دوره آموزش در همه اعماق خاک، دمای برآورد شده تقارن مناسبی حول محور نیمساز دارد در حالی که در دوره آزمون پایین‌تر از محور نیمساز است. در ایستگاه منجیل در همه اعماق مورد مطالعه، تقارن داده‌های دمای برآورد شده و مشاهده شده در دوره‌های آموزش و آزمون بهتر است (به جز عمق ۵ سانتیمتری که مدل بیش‌برآوردی نسبت به داده‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد). این نتایج نشان می‌دهد رگرسیون تک متغیره تا حدودی توانسته است تغییرات دمای خاک را بر اساس دمای متوسط هوا مدل‌سازی نماید ولی استفاده از روش‌های با پیچیدگی بیشتر می‌تواند در بهبود نتایج در اعماق پایین‌تر مناسب‌تر باشد.

بر اساس معادله رگرسیونی تک متغیره، مقادیر خطا در اعماق مختلف تغییر می‌کند (جدول ۳). نتایج به دست آمده در ایستگاه آستارا نشان می‌دهد مقادیر RMSE در دوره آموزش و آزمون به ترتیب ۱/۹ تا ۲/۴ و ۲/۸ تا ۳/۱ درجه سانتی‌گراد (کمترین مقدار در عمق ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری)؛ مقادیر MBE به ترتیب ۰/۱ تا ۰/۳ و ۰/۹- تا ۰/۳- درجه سانتی‌گراد (بیش‌برآوردی در دوره آموزش و کم‌برآوردی در دوره آزمون)؛ مقادیر MAE به ترتیب ۱/۴ تا ۲/۰ و ۱/۹ تا ۲/۵ سانتی‌گراد؛ و  $R^2$  به ترتیب ۰/۷۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۸۰ تا ۰/۹۲ است. این نتایج نشان می‌دهد در ایستگاه آستارا کمترین خطا در اعماق سطحی و بیشترین آن در اعماق پایین‌تر دیده می‌شود. در ایستگاه انزلی نیز تغییرات آماره‌های ارزیابی در دوره‌های آموزش و آزمون متفاوت است به طوری که کمترین مقدار RMSE در دوره آموزش و آزمون در عمق ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری (۱/۷ تا ۲/۸ سانتی‌گراد) و بیشترین مقدار آن در عمق بیشتر از ۳۰ سانتیمتری (۲/۵ و ۳/۰ سانتی‌گراد) مشاهده می‌شود. این وضعیت را می‌توان در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده نمود. دلیل افزایش خطا در اعماق مختلف می‌تواند به دلیل تأخیر زمانی رخداد دما در اعماق مختلف نسبت به دمای سطحی و همچنین بافت خاک مورد مطالعه باشد که نیازمند مطالعات بیشتر است. مطالعات مشابه نیز نشان می‌دهد با افزایش عمق مورد مطالعه خطای مدل‌ها افزایش خواهد یافت (Alipour & Kazemzadeh, 2019). بر اساس این نتایج می‌توان از طریق معادلات رگرسیونی دمای اعماق مختلف خاک، به خصوص اعماق سطحی‌تر را با استفاده از داده‌های دمای میانگین روزانه مدل‌سازی نمود که با مطالعه انجام شده Khoshhal Jahromi et al. (2021) تطابق نشان می‌دهد. کارایی مدل رگرسیونی در اعماق پایین‌تر کاهش یافته که به نوعی نشان‌دهنده استفاده از معادلات با ساختار پیچیده‌تر و همچنین لحاظ نمودن تأخیر زمانی بین رخداد دمای اعماق مختلف خاک با دمای میانگین روزانه است که در نتایج به دست آمده اثبات شده است (Parsafar; Najafimod et al., 2008).

(Khoshkhoo, 2019; Khoshhal Jahromi et al., 2021 & Marofi, 2011).

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین دمای اعماق خاک و متغیرهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان گیلان در دوره آماری ۱۰ ساله

متغیرهای هواشناسی								
ایستگاه	عمق	ابرناسی	دمای میانگین هوا	رطوبت نسبی	بارندگی	تبخیر	ساعات آفتابی	سرعت باد
آستارا	۵	-.۴۵۴	-.۹۶۴**	-.۴۸۳	-.۰۹۰	-.۸۴۳**	/.۵۶۲*	/.۰۳۴
	۱۰	-.۴۳۲	-.۹۶۷**	-.۴۵۸	-.۰۶۹	-.۸۲۴**	/.۵۳۶*	/.۰۳۴
	۲۰	-.۴۰۳	-.۹۶۳**	-.۴۳۶	-.۰۴۲	-.۸۰۱*	/.۴۹۷	/.۰۲۷
	۳۰	-.۳۹۲	-.۹۵۸**	-.۴۲۴	-.۰۳۱	-.۷۸۶*	/.۴۷۹	/.۰۱۹
	۵۰	-.۳۶۴	-.۹۳۲**	-.۳۷۷	-.۰۰۲	/.۷۲۴*	/.۴۳۰	-.۰۰۶
	۱۰۰	-.۳۲۴	-.۸۷۵*	-.۳۱۶	/.۰۴۱	/.۶۲۶*	/.۳۶۱	-.۰۳۶
متوسط	۳۹۵	-.۳۹۵	-.۹۴۳**	-.۴۱۶	-.۰۳۲	/.۷۶۷*	-.۴۷۸	/.۰۱۲
انزلی	۵	-.۴۰۰	-.۹۶۳**	-.۴۹۳	-.۰۹۹	-.۸۲۶**	/.۵۴۸*	-.۰۸۸
	۱۰	-.۳۸۱	-.۹۶۷**	-.۴۸۸	-.۰۸۵	-.۸۱۶**	/.۵۲۷*	-.۰۷۷
	۲۰	-.۳۶۲	-.۹۶۳**	-.۴۷۶	-.۰۶۸	-.۸۰۳*	/.۵۰۴*	-.۰۶۵
	۳۰	-.۳۴۲	-.۹۵۷**	-.۴۶۰	-.۰۴۶	-.۷۷۶*	/.۴۷۴	-.۰۵۷
	۵۰	-.۳۱۱	-.۹۲۹**	-.۴۲۵	/.۰۰۲	/.۷۱۶*	/.۴۲۶	-.۰۴۳
	۱۰۰	-.۲۶۷	-.۸۵۶*	-.۳۵۶	/.۰۶۵	/.۵۹۶*	/.۳۴۶	-.۰۴۲
متوسط	۳۴۴	-.۳۴۴	-.۹۳۹**	-.۴۵۰	-.۰۲۸	/.۷۵۶*	-.۴۷۱	-.۰۶۲
کیاشهر	۵	-.۴۰۸	-.۹۵۵**	-.۳۴۴	-.۱۵۵	-.۷۳۵*	/.۴۸۷*	-.۱۶۰
	۱۰	-.۳۷۹	-.۹۶۱**	-.۳۱۶	-.۱۳۲	-.۷۱۴*	/.۴۵۱	-.۱۶۰
	۲۰	-.۳۴۷	-.۹۵۹**	-.۲۸۳	-.۱۰۲	-.۶۷۷*	/.۴۰۶	-.۱۶۱
	۳۰	-.۳۳۰	-.۹۵۱**	-.۲۶۶	-.۰۸۶	-.۶۵۹*	/.۳۹۰	-.۱۷۴
	۵۰	-.۳۲۰	-.۹۴۰**	-.۲۴۸	-.۰۶۶	-.۶۲۶*	/.۳۷۰	-.۱۷۹
	۱۰۰	-.۲۹۵	-.۸۸۷*	-.۱۹۱	-.۰۲۶	-.۵۲۵*	/.۳۱۹	-.۲۰۴
متوسط	۳۴۶	-.۳۴۶	-.۹۴۲**	-.۲۷۵	-.۰۹۴	/.۶۵۶*	-.۴۰۴	-.۱۷۳
لاهیجان	۵	-.۳۲۷	-.۹۶۲**	-.۲۸۰	-.۰۹۴	-.۶۸۲*	/.۴۳۲*	/.۰۵۵
	۱۰	-.۳۰۰	-.۹۶۰**	-.۲۵۱	-.۰۷۱	-.۶۶۱*	/.۴۰۰	/.۰۴۴
	۲۰	-.۲۷۰	-.۹۵۱**	-.۲۱۴	-.۰۴۱	-.۶۲۲*	/.۳۶۰	/.۰۲۴
	۳۰	-.۲۶۴	-.۹۴۵**	-.۲۰۴	-.۰۲۲	-.۶۰۵	/.۳۴۷	/.۰۱۴
	۵۰	-.۲۵۳	-.۹۱۳**	-.۱۶۵	-.۰۰۸	-.۵۴۵	/.۳۱۵	-.۰۲۲
	۱۰۰	-.۲۳۰	-.۸۳۱*	-.۱۰۳	/.۰۲۹	-.۴۳۶	/.۲۵۹	-.۰۷۰
متوسط	۲۷۴	-.۲۷۴	-.۹۲۷**	-.۲۰۳	-.۰۳۶	-.۵۹۲	-.۳۵۲	/.۰۰۷
منجیل	۵	-.۴۶۴	-.۹۶۸**	-.۳۶۳	-.۱۹۱	-.۸۹۲**	/.۶۲۰*	/.۵۹۷*
	۱۰	-.۴۶۱	-.۹۶۹**	-.۳۶۵	-.۱۹۰	-.۸۹۳**	/.۶۱۸*	/.۵۹۵*
	۲۰	-.۴۴۶	-.۹۵۵**	-.۳۲۳	-.۱۷۵	-.۸۷۳**	/.۵۸۶*	/.۶۲۲*
	۳۰	-.۴۴۳	-.۹۳۴**	-.۲۹۶	-.۱۶۹	-.۸۵۲**	/.۵۶۷*	/.۶۲۴*
	۵۰	-.۴۴۵	-.۹۰۹**	-.۲۷۱	-.۱۶۸	-.۸۲۸**	/.۵۵۳*	/.۶۱۳*
	۱۰۰	-.۴۴۶	-.۸۲۴*	-.۲۲۵	-.۱۶۱	-.۷۳۲**	/.۴۹۹	/.۵۳۷
متوسط	۴۵۱	-.۴۵۱	-.۹۲۶**	-.۳۰۷	-.۱۷۶	/.۸۴۵*	/.۵۷۴	/.۵۹۸
ماسوله	۵	-.۲۹۲	-.۸۹۰*	-.۱۰۱	-.۱۶۸	-.۴۹۳	/.۴۷۲	/.۰۰۹
	۱۰	-.۲۵۹	-.۸۳۴*	-.۰۸۷	-.۱۴۶	-.۴۵۰	/.۴۳۴	-.۰۱۲
	۲۰	-.۲۲۲	-.۸۷۵*	-.۰۳۱	-.۱۲۳	-.۴۲۰	/.۳۸۴	-.۰۴۵
	۳۰	-.۱۸۴	-.۸۲۳*	/.۰۰۰	-.۱۰۶	-.۳۶۵	/.۳۳۳	-.۰۷۱
	۵۰	-.۱۲۰	-.۷۱۵*	/.۰۵۸	-.۰۶۹	-.۲۴۵	/.۲۱۶	-.۰۹۶
	۱۰۰	-.۱۰۹	-.۷۰۴*	/.۱۲۳	-.۰۶۳	-.۱۷۴	/.۱۵۳	-.۱۴۰
متوسط	۱۹۸	-.۱۹۸	-.۸۰۸*	-.۰۰۶	-.۱۱۲	/.۳۵۸	-.۰۵۹	
رشت	۵	-.۳۴۴	-.۹۶۰**	-.۳۰۲	-.۱۱۷	-.۶۷۶*	/.۴۶۵	-.۰۷۵
	۱۰	-.۳۲۷	-.۹۵۷**	-.۲۸۰	-.۱۰۰	-.۶۵۸*	/.۴۴۳	-.۰۷۶
	۲۰	-.۲۹۲	-.۹۴۸**	-.۲۳۹	-.۰۷۱	-.۶۲۱*	/.۳۹۸	-.۰۸۱
	۳۰	-.۲۸۲	-.۹۴۱**	-.۲۱۹	-.۰۶۰	-.۶۰۴	/.۳۸۲	-.۰۸۶
	۵۰	-.۲۶۶	-.۹۰۹**	-.۱۸۳	-.۰۳۳	-.۵۴۷	/.۳۳۹	-.۱۰۶
	۱۰۰	-.۲۴۲	-.۸۲۵*	-.۱۲۲	-.۰۰۵	-.۴۴۷	/.۲۹۰	-.۱۲۴
متوسط	۲۹۲	-.۲۹۲	-.۹۲۳**	-.۲۲۴	-.۰۶۳	/.۵۹۲	/.۳۸۸	-.۰۹۱
تالش	۵	-.۴۰۲	-.۹۵۸**	-.۳۷۰	-.۰۶۳	-.۷۱۸*	/.۴۷۲	/.۲۰۱
	۱۰	-.۳۵۷	-.۹۵۰**	-.۳۲۹	-.۰۳۵	-.۶۸۲*	/.۴۱۹	/.۱۹۴
	۲۰	-.۳۲۶	-.۹۴۶**	-.۳۰۶	-.۰۱۷	-.۶۴۸*	/.۳۶۸	/.۱۸۹
	۳۰	-.۳۱۶	-.۹۴۷**	-.۲۹۳	-.۰۰۶	-.۶۴۰*	/.۳۶۸	/.۱۸۵
	۵۰	-.۲۸۷	-.۹۰۹**	-.۲۶۰	/.۰۱۴	-.۵۷۶	/.۳۳۱	/.۱۷۵
	۱۰۰	-.۲۴۶	-.۸۲۳*	-.۲۰۰	/.۰۴۶	-.۴۶۳	/.۲۵۲	/.۱۶۲
متوسط	۳۲۲	-.۳۲۲	-.۹۲۲*	-.۲۹۳	-.۰۱۰	/.۶۲۱*	-.۳۶۹	/.۱۸۴

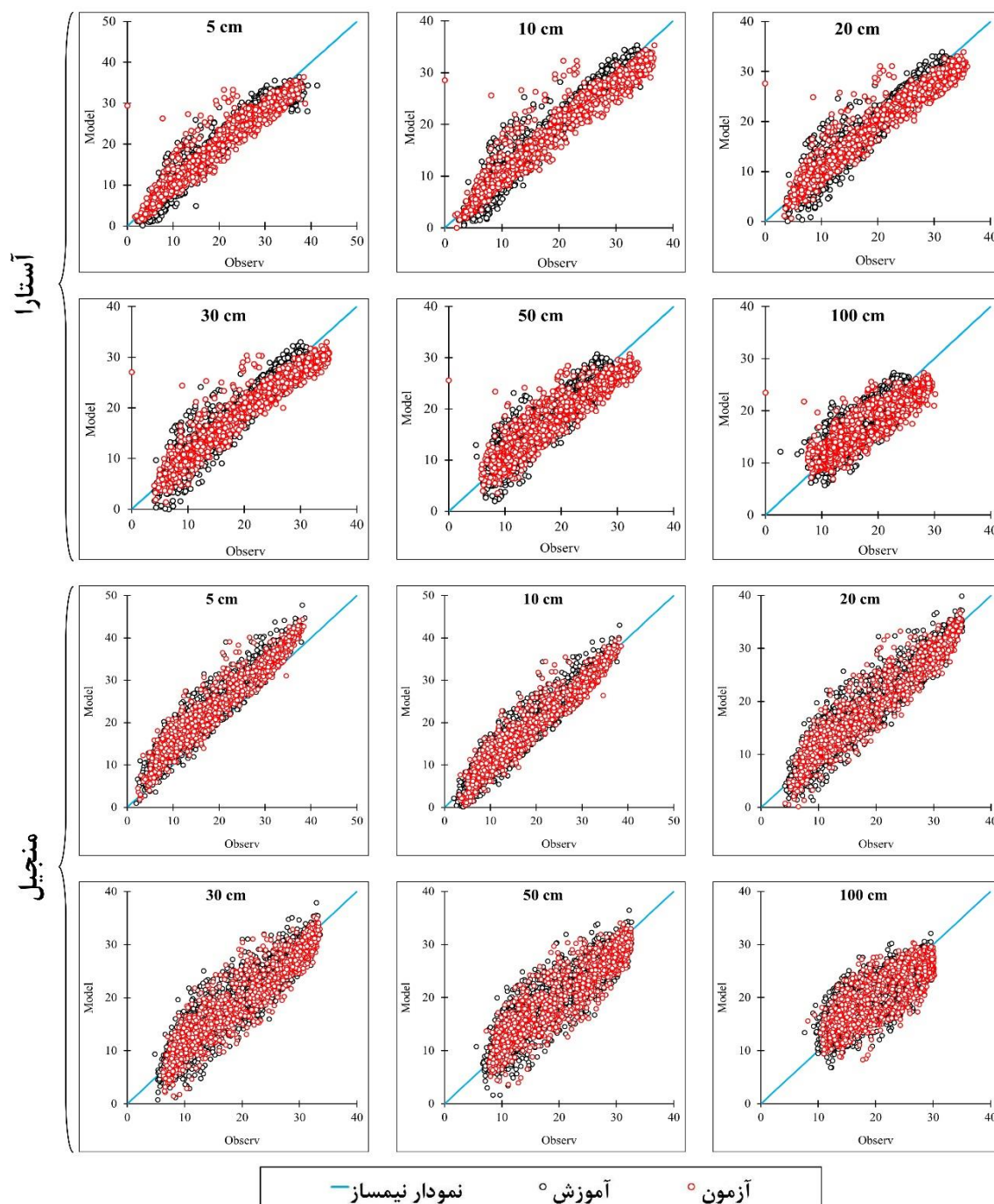
\* و \*\* به ترتیب معنادار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد



جدول ۳- روابط رگرسیونی و آماره‌های بین دمای میانگین هوا (X) و دمای خاک اعماق مختلف (Y) در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان گیلان

آموزش (واسنجی)					آزمون (صحت سنجی)					معادله	عمق	ایستگاه
R2	MAE	MBE	RMSE	DW	R2	MAE	MBE	RMSE	DW			
۰/۹۲	۱/۹	-۰/۳	۲/۹	۰/۹۷	۰/۹۴	۱/۷	۰/۱	۲/۲	۰/۵۷	$Y = -۰/۰۹۸ + ۱/۱۶۵ X$	۵	آستارا
۰/۹۲	۱/۹	-۰/۵	۲/۸	۱/۰۰	۰/۹۵	۱/۴	۰/۱	۱/۹	۰/۷۵	$Y = -۰/۴۷۴ + ۱/۱۱۷ X$	۱۰	
۰/۹۲	۱/۹	-۰/۶	۲/۸	۱/۰۸	۰/۹۴	۱/۴	۰/۱	۱/۹	۰/۷۹	$Y = ۱/۵۸۴ + ۱/۰۳۶ X$	۲۰	
۰/۹۱	۲/۰	-۰/۷	۲/۸	۱/۱۱	۰/۹۴	۱/۴	۰/۲	۱/۹	۰/۷۵	$Y = ۲/۲۷۵ + ۰/۹۸۴ X$	۳۰	
۰/۸۷	۲/۴	-۰/۹	۳/۱	۰/۸۳	۰/۸۹	۱/۶	۰/۲	۲/۲	۰/۴۸	$Y = ۴/۲۳۴ + ۰/۸۴۵ X$	۵۰	
۰/۸۰	۲/۵	-۰/۹	۳/۱	۰/۶۶	۰/۷۸	۱/۹	۰/۳	۲/۴	۰/۲۲	$Y = ۷/۴۸۷ + ۰/۶۳۵ X$	۱۰۰	
۰/۹۰	۱/۶	-۰/۳	۲/۹	۰/۷۲	۰/۹۴	۱/۵	-۰/۱	۲/۱	۰/۷۸	$Y = -۰/۳۵۷ + ۱/۱۴۴ X$	۵	انزلی
۰/۸۹	۱/۵	-۰/۲	۲/۸	۰/۷۶	۰/۹۶	۱/۳	-۰/۱	۱/۷	۰/۸۸	$Y = -۰/۴۵۴ + ۱/۰۸۸ X$	۱۰	
۰/۸۹	۱/۶	-۰/۱	۲/۸	۰/۷۴	۰/۹۵	۱/۳	-۰/۱	۱/۸	۰/۹۱	$Y = -۰/۹۵۵ + ۱/۰۴۹ X$	۲۰	
۰/۸۸	۱/۷	-۰/۰	۲/۹	۰/۷۷	۰/۹۳	۱/۶	۰/۶	۲/۲	۰/۸۲	$Y = -۰/۴۵۴ + ۱/۰۸۸ X$	۳۰	
۰/۸۳	۱/۹	-۰/۱	۳/۰	۰/۶۶	۰/۸۸	۱/۸	-۰/۱	۲/۵	۰/۵۵	$Y = ۲/۰۷۳ + ۰/۹۵۹ X$	۵۰	
۰/۶۹	۲/۰	-۰/۰	۲/۸	۰/۴۴	۰/۷۶	۱/۹	-۰/۰	۲/۴	۰/۲۴	$Y = ۸/۸۴۲ + ۰/۵۶۰ X$	۱۰۰	
۰/۸۸	۳/۶	۳/۱	۴/۶	۰/۶۹	۰/۹۳	۳/۷	۳/۴	۴/۳	۰/۵۸	$Y = -۱/۶۷۸ + ۱/۲۶۶ X$	۵	کیشهر
۰/۹۰	۱/۷	-۰/۲	۲/۹	۰/۸۱	۰/۹۴	۱/۶	-۰/۱	۲/۲	۰/۷۶	$Y = -۰/۵۳۳ + ۱/۱۷۰ X$	۱۰	
۰/۸۸	۱/۶	-۰/۱	۲/۷	۰/۸۸	۰/۹۴	۱/۵	-۰/۱	۲/۱	۰/۹۱	$Y = ۱/۰۶۰ + ۱/۰۵۷ X$	۲۰	
۰/۸۸	۱/۷	-۰/۲	۲/۷	۰/۸۶	۰/۹۲	۱/۶	۰/۰	۲/۲	۰/۸۱	$Y = ۱/۶۰۴ + ۱/۰۰۷ X$	۳۰	
۰/۸۶	۱/۸	-۰/۰	۲/۸	۰/۷۷	۰/۹۰	۱/۷	-۰/۰	۲/۳	۰/۶۶	$Y = ۳/۱۶۷ + ۰/۹۳۴ X$	۵۰	
۰/۷۴	۴/۴	۱/۳	۵/۴	۰/۴۸	۰/۸۲	۴/۰	۱/۱	۴/۹	۰/۳۸	$Y = -۱/۶۷۸ + ۱/۲۶۶ X$	۱۰۰	
۰/۹۱	۱/۷	-۰/۰	۲/۴	۱/۱۷	۰/۹۴	۱/۴	-۰/۰	۲/۰	۰/۷۴	$Y = -۰/۶۲۸ + ۱/۰۶۲ X$	۵	لاهیجان
۰/۹۱	۱/۶	-۰/۳	۲/۴	۱/۱۵	۰/۹۳	۱/۴	-۰/۲	۲/۰	۰/۷۵	$Y = -۰/۸۷۸ + ۱/۰۱۴ X$	۱۰	
۰/۹۰	۱/۷	-۰/۱	۲/۳	۱/۱۵	۰/۹۱	۱/۴	-۰/۱	۲/۱	۰/۷۶	$Y = ۲/۰۰۰ + ۰/۹۳۶ X$	۲۰	
۰/۸۸	۱/۷	-۰/۱	۲/۴	۰/۰۴	۰/۹۰	۱/۴	-۰/۱	۲/۱	۰/۷۳	$Y = ۲/۶۰۲ + ۰/۸۹۳ X$	۳۰	
۰/۸۳	۱/۹	-۰/۱	۲/۵	۰/۸۲	۰/۸۴	۱/۸	-۰/۱	۲/۴	۰/۴۸	$Y = ۴/۶۷۶ + ۰/۷۶۷ X$	۵۰	
۰/۶۹	-۰/۲	-۰/۲	۲/۸	۰/۵۱	۰/۷۰	۲/۱	-۰/۰	۲/۷	۰/۲۶	$Y = ۷/۸۹۰ + ۰/۵۷۱ X$	۱۰۰	
۰/۹۴	۴/۲	۴/۲	۴/۹	۰/۸۳	۰/۹۴	۴/۳	۴/۳	۴/۹	۰/۷۶	$Y = -۲/۱۳۶ + ۱/۲۴۵ X$	۵	منجیل
۰/۹۴	۱/۹	-۰/۲	۲/۵	۰/۸۴	۰/۹۴	۱/۸	۰/۱	۲/۴	۰/۸۱	$Y = -۲/۳۶۶ + ۱/۲۴۰ X$	۱۰	
۰/۹۱	۲/۱	-۰/۲	۲/۷	۰/۷۴	۰/۹۲	۱/۹	۰/۰	۲/۵	۰/۸۲	$Y = -۰/۰۱۴ + ۱/۰۸۹ X$	۲۰	
۰/۸۸	۲/۴	-۰/۴	۳/۰	۰/۶۴	۰/۸۸	۲/۱	۰/۱	۲/۸	۰/۷۰	$Y = ۱/۶۸۹ + ۰/۹۹۰ X$	۳۰	
۰/۸۳	۲/۶	-۰/۴	۳/۲	۰/۵۲	۰/۸۴	۲/۳	۰/۱	۳/۰	۰/۵۷	$Y = ۳/۸۲۶ + ۰/۸۹۲ X$	۵۰	
۰/۶۸	۲/۹	-۰/۵	۳/۵	۰/۲۸	۰/۸۱	۲/۶	۰/۱	۳/۳	۰/۲۶	$Y = ۸/۴۲۳ + ۰/۶۴۷ X$	۱۰۰	
۰/۸۳	۲/۵	-۰/۹	۳/۵	۰/۷۱	۰/۸۴	۲/۶	۰/۴	۳/۵	۰/۶۴	$Y = -۰/۷۸۷ + ۱/۰۹۵ X$	۵	ماسوله
۰/۸۲	۲/۵	-۰/۸	۳/۴	۰/۷۱	۰/۷۸	۲/۹	۰/۶	۴/۱	۰/۴۸	$Y = ۱/۳۲۹ + ۱/۰۳۷ X$	۱۰	
۰/۸۰	۲/۵	-۰/۹	۳/۵	۰/۷۰	۰/۸۱	۲/۷	۰/۵	۳/۵	۰/۶۵	$Y = ۱/۷۶۵ + ۰/۹۹۸ X$	۲۰	
۰/۷۸	۲/۵	-۰/۷	۳/۵	۰/۶۸	۰/۷۵	۲/۹	۰/۸	۴/۱	۰/۵۶	$Y = ۲/۳۷۹ + ۰/۹۲۸ X$	۳۰	
۰/۶۵	۲/۸	-۰/۹	۴/۱	۰/۴۵	۰/۶۸	۲/۹	۰/۸	۴/۱	۰/۵۲	$Y = ۴/۷۱۱ + ۰/۷۳۳ X$	۵۰	
۰/۶۵	۲/۶	۱/۰	۳/۳	۰/۴۴	۰/۶۴	۲/۶	۰/۷	۳/۴	۰/۴۱	$Y = ۶/۷۲۱ + ۰/۵۵۰ X$	۱۰۰	
۰/۹۱	۱/۹	-۰/۴	۲/۵	۰/۷۱	۰/۹۳	۱/۵	۰/۰	۲/۲	۰/۷۹	$Y = ۱/۲۷۰ + ۱/۰۲۴ X$	۵	رشت
۰/۹۱	۲/۱	-۰/۸	۲/۷	۰/۶۷	۰/۹۳	۱/۶	-۰/۳	۲/۳	۰/۸۲	$Y = ۲/۳۱۷ + ۰/۹۳۶ X$	۱۰	
۰/۸۸	۲/۰	-۰/۶	۲/۶	۰/۶۰	۰/۹۱	۱/۶	-۰/۱	۲/۲	۰/۸۰	$Y = ۲/۶۸۶ + ۰/۸۹۹ X$	۲۰	
۰/۸۷	۲/۲	-۰/۱	۲/۸	۰/۶۳	۰/۹۰	۱/۹	۰/۲	۲/۵	۰/۷۴	$Y = ۵/۳۱۶ + ۰/۷۵۷ X$	۳۰	
۰/۸۱	۲/۸	-۰/۶	۳/۳	۰/۴۵	۰/۸۴	۲/۳	-۰/۲	۲/۸	۰/۴۹	$Y = ۸/۵۷۲ + ۰/۵۴۹ X$	۵۰	
۰/۶۹	۳/۹	۱/۱	۴/۶	۰/۳۲	۰/۶۹	۳/۹	۰/۶	۴/۷	۰/۲۳	$Y = ۱/۲۷۰ + ۱/۰۲۴ X$	۱۰۰	
۰/۹۲	۲/۱	-۰/۶	۲/۹	۰/۸۸	۰/۹۴	۱/۵	۰/۳	۲/۱	۰/۶۶	$Y = -۰/۷۲۳ + ۱/۱۰۷ X$	۵	تالش
۰/۹۳	۱/۹	-۰/۷	۲/۶	۰/۹۹	۰/۹۱	۱/۴	۰/۳	۲/۳	۰/۶۰	$Y = ۱/۶۵۹ + ۱/۰۲۲ X$	۱۰	
۰/۹۲	۲/۰	-۱/۰	۲/۶	۰/۹۶	۰/۹۱	۱/۶	۰/۴	۲/۳	۰/۵۷	$Y = ۲/۱۹۰ + ۰/۹۶۵ X$	۲۰	
۰/۹۱	۱/۹	-۰/۷	۲/۵	۰/۹۱	۰/۹۱	۱/۵	۰/۳	۲/۰	۰/۶۷	$Y = ۳/۴۲۴ + ۰/۹۰۲ X$	۳۰	
۰/۸۷	۲/۲	-۰/۸	۲/۸	۰/۶۸	۰/۸۴	۱/۹	۰/۳	۲/۴	۰/۳۷	$Y = ۵/۸۱۲ + ۰/۷۶۴ X$	۵۰	
۰/۷۴	۲/۴	-۰/۹	۳/۰	۰/۳۸	۰/۶۹	۲/۱	۰/۴	۲/۵	۰/۱۷	$Y = ۹/۵۶۲ + ۰/۵۳۷ X$	۱۰۰	





شکل ۲- داده‌های اندازه‌گیری و برآورد شده دمای خاک در اعماق مختلف در دوره آموزش و آزمون در دو نوع اقلیم بسیار مرطوب (آستارا) و خشک (منجیل)

برآورد دمای خاک به عنوان بستر رشدونمو محصولات زراعی، باغی، پدیده یخبندان و عوامل زیستی مانند رشد عوامل بیماری‌زا و آفات یکی از مهمترین عوامل در مباحث هواشناسی کشاورزی است. با توجه به محدود بودن اندازه‌گیری‌های دمای خاک در مناطق مختلف در مقایسه با دمای هوا، برآورد آن بر اساس متغیرهای هواشناسی می‌تواند نقش مهمی در مدیریت محصولات و همچنین عوامل بیماری‌زا و رشد آفات که بخش زمستان‌گذرانی خود را در داخل خاک سپری می‌کنند داشته باشد. استان گیلان با دارا بودن اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب در امور تولید محصولات کشاورزی جایگاه ویژه‌ای دارد. بنابراین این مطالعه تلاش کرد مهمترین عوامل اقلیمی مؤثر بر دمای اعماق مختلف خاک را شناسایی و مورد ارزیابی قرار دهد و بر اساس مهمترین عامل تأثیرگذار، برآوردی از دمای اعماق مختلف خاک ارائه نماید. تحلیل ماتریس همبستگی نشان می‌دهد در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه، عامل میانگین روزانه هوا مهمترین و تأثیرگذارترین متغیر هواشناسی بر دمای اعماق مختلف خاک است که این تأثیرگذاری در اعماق سطحی‌تر بیشتر بوده و با افزایش عمق مقدار ضریب همبستگی

کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند ناشی از تأخیر زمانی بین دمای هوا و دمای خاک و همچنین تغییرات ناچیز دامنه شبانه‌روزی دما در اعماق پایین‌تر باشد (Popiel et al., 2001; Sabziparvar et al., 2014). بعد از دمای هوا، بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب متعلق به متغیرهای تبخیر و ساعات آفتابی است در حالی که متغیر سرعت باد تنها در ایستگاه منجیل که منطقه بادخیزی است تأثیر معنادار دارد. از سوی دیگر، با افزایش عمق خاک همبستگی متغیرهای هواشناسی با دمای خاک کاهش می‌یابد. در این مطالعه مشخص گردید تأثیر متغیرهای رطوبتی به خصوص بارندگی و رطوبت هوا بر دمای خاک اعماق مختلف به صورت همبستگی منفی است که با نتایج مطالعه (Alipour & Kazemzadeh, 2019) و (Yazdani et al., 2013) تطابق دارد. مطالعات انجام شده (Jafari Golestan et al., 2007) در ساری و (Zheng et al., 1993) در چین نشان‌دهنده تأثیرگذاری بیشتر دمای هوا بر دمای خاک است. با توجه به اقلیم مشابه منطقه مطالعه که عمدتاً در طبقه مرطوب قرار دارد ملاحظه می‌شود تأثیرگذاری دمای هوا بر دمای خاک در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه مشابه است. در این مورد مطالعه (Sabziparvar et al., 2010) نشان داده است تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف یکسان نیست. برای مثال در ایستگاه منجیل علاوه بر دما، تبخیر و ساعات آفتابی و سرعت باد نیز تأثیر معناداری بر دمای اعماق مختلف خاک (تا عمق ۵۰ سانتیمتری) دارند که این امر تأثیر مؤلفه سرعت باد در مناطق بادخیز همچون منجیل را نشان می‌دهد. تأثیر مؤلفه تبخیر و ساعات آفتابی را می‌توان به فصل مربوطه به ویژه تابستان نسبت داد که نیازمند مطالعات بیشتر در مقیاس فصلی و ماهانه است (Yazdani et al., 2013).

نتایج به دست آمده تا حدودی کارایی روش‌های رگرسیونی تک متغیره را در مدل‌سازی دمای اعماق مختلف خاک با استفاده از دمای میانگین روزانه نشان می‌دهد ولی این کارایی در بعضی از مناطق و همچنین اعماق مختلف دارای RMSE بالایی است، هر چند که مقادیر ضریب تبیین بالاتری داشته باشند. این نتایج نشان می‌دهد استفاده از مدل‌های رگرسیونی تک متغیره نمی‌تواند با دقت بالایی دمای اعماق خاک را بر مبنای دمای میانگین روزانه مدل‌سازی نماید. برای غلبه بر این مشکل باید به نوع اقلیم منطقه مورد مطالعه (Sabziparvar et al., 2010; Hemati et al., 2020)، بررسی همبستگی دمای خاک با دمای هوا با لحاظ نمودن تأخیر زمانی (Popiel et al., 2001; Sabziparvar et al., 2014)؛ تأثیر تک‌تک متغیرهای مؤثر بر دمای خاک (متغیرهای اقلیمی و متغیرهای خاص خاک) (Ghaemini et al., 2011; Alipour & Kazemzadeh, 2019; Bahmani et al., 2019; Baaghdeh et al., 2018; Asadi Oskouei et al., 2017)؛ و همچنین استفاده از مدل‌های با ساختار پیچیده و فیزیکی (Parsafar & Marofi, 2011; Ghahreman et al., 2014; Khoshkhou, 2019) نیز پرداخته شود. با توجه به اینکه اقلیم منطقه مورد مطالعه عمدتاً بسیار مرطوب بوده و به نوعی تغییرات دامنه شبانه‌روزی دما در این مناطق زیاد نیست می‌توان از معادلات رگرسیونی تک متغیره بر پایه دمای میانگین روزانه هوا به منظور مدل‌سازی دمای خاک در اعماق سطحی‌تر استفاده نمود. ولی برای اعماق بیشتر نیاز به استفاده از معادلات پیچیده‌تر و در عین حال لحاظ نمودن تأخیر زمانی بین دمای میانگین روزانه هوا با دمای اعماق مختلف خاک و همچنین خصوصیات فیزیکی خاک خواهد بود که می‌تواند در مطالعات آتی به آن پرداخته شود.

## نتیجه‌گیری

بررسی این مطالعه نشان می‌دهد در ایستگاه‌های هواشناسی استان گیلان همبستگی متغیرهای هواشناسی با دمای اعماق مختلف خاک دارای تنوع زیادی است ولی در همه ایستگاه‌ها بیشترین همبستگی مربوط به دمای میانگین روزانه هوا است و در بعضی از ایستگاه‌ها با توجه به شرایط خاص منطقه عامل دیگری نیز اثر معنادار بر دمای اعماق مختلف خاک دارد که از این موارد می‌توان به تأثیرگذاری بیشتر مؤلفه سرعت باد در ایستگاه منجیل، تبخیر در اکثر ایستگاه‌ها در اعماق ۵ تا ۳۰ سانتیمتری (به جز ماسوله) اشاره کرد. این تأثیرگذاری باید بر اساس خصوصیات منطقه مورد مطالعه در مطالعات بعدی مورد ارزیابی قرار گیرد. این پژوهش نشان داد به دلیل دامنه کم دمای شبانه‌روزی در مناطق مرطوب و بسیار مرطوب هر چند معادلات رگرسیونی تک متغیره قادر هستند دمای اعماق مختلف خاک را بر پایه داده‌های دمای میانگین روزانه مدل‌سازی نمایند ولی این کارایی در اعماق بیشتر کاهش یافته است که نشان می‌دهد استفاده از سایر متغیرهای اقلیمی و همچنین مدل‌های با پیچیدگی بیشتر و مبنای فیزیکی می‌تواند باعث بهبود این مدل‌سازی‌ها گردد. از سوی دیگر، به دلیل وجود نوسانات روزانه، ماهانه و فصلی دمای خاک و تنوع کاربری این مقیاس‌های زمانی، لازم است در مطالعات آتی این نوع مدل‌سازی‌ها در مقیاس زمانی فوق نیز انجام شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Alipour, H. and Kazemzadeh, M. (2019). Pattern Changes Analysis of Soil Temperature in different depths under the influence of humidity and air temperature (Case Study: Taleghan Watershed). *Iran Wathershed Management Science and Engineering*, 13 (46), 1-10.
- Amir Morady, K. and Bahmani, O. (2014). Estimation of Daily Temperature of Soil Using Neural and Artificial Neural Networks. *Soil Research Journal*, 28 (3), 544-55.
- Asadi Oskouei, E., Mousavi Baygi, M., Yazdany, M., Alizadeh, A. and Zohd Ghodsi, M. (2017). The effect of submergence depth on water and soil temperature in paddy field (Case study: Rasht). *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(1), 48-56.
- Baaghdeh, M., Entezari, A. and Kordi, A. (2018). Investigation of the Relationship between Soil Temperature and Climate Parameters in the Northwest of Iran (1992-2015). *Journal of Geography and Regional Development*, 16(1), 279-307.
- Bahmani, F., Pirisahragard, H., and Piri, J. (2019). Application of artificial intelligence methaods to estimate soil daily temperature in arid and semi-arid climates. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(1), 201-213.
- Behaegel, M. Sailhac, P. and Marquis, G. (2007). On the use of surface and ground temperature data to recover soil water content information. *J. Appl. Geophys.*, 62, 234-243.
- Behar, O., Khellaf, A. and Mohammedi, K. (2015). Comparison of solar radiation models and their validation under Algerian climate—the case of direct irradiance. *Energy Convers. Manage.* 98, 236-251.
- Bhargava, A. (1989). Missing Observations and the Use of the Durbin-Watson Statistic, *Biometrik*, 76, 828-831.
- Chow, T. T., Long, H., Mok, H. Y., and Li, K. W. (2011). Estimation of soil temperature profile in Hong Kong from climatic variables. *Energy and Buildings*, 43(12), 3568-3575.
- Ghaemina, A. M. and Azimzadeh, H. R. (2013). Evaluation of Linear and Quadratic Models for Estimating Soil Surface Temperature Using Air Temperature in Four Climate Zones of Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 27(2), 253-262.
- Ghaemina, A.M., Azimzadeh, H.R. & Mobin, M.H. (2011). Simulating temperature variations of soil different depths and study of some effective atmospheric parameters (case study-Yazd synoptic station). *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 18 (1), 42-57.
- Ghahreman, N., Irannejad, P & Norooz Valashedi, R. (2014). Comparison of Performance of Two Simulation and Regression Models for an Estimation of Soil Temperature under Grass Cover in Karaj Climatic Conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45 (3), 243-253.
- Helali, J., & Rasouli, M. (2016). Protection of crop against frost and chilling. *Press organization Jahade Daneshgahi. Tehran, Iran, 291p.*
- Helali, J., Momenzadeh, H., Oskouei, E. A., Lotfi, M., & Hosseini, S. A. (2021). Trend and ENSO-based analysis of last spring frost and chilling in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(4), 1203-1221.
- Hemati, S., Nasiri, B., and Karampoor, M. (2020). Determination of Soil Temperature Change Trend in Different Climates of Kermanshah Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(10), 2641-2650.
- Jafari Golestan, M., Raeini sarjaz, M. and Zia tabar ahmadi, M. (2008). Estimation of soil depth temperature using analysis method and curves and regression correlations for Sari city. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 5, 112-123.
- Karampoor, M. & Yarmoradi, Z. (2015). Investigation of the trend of soil temperature changes in Khoramabad station. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2, 13-23.
- Keryn, I. P. Polglase, P.J. and Smethurst. P. J. (2004). Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121, 167-182.
- Khatar, B. and Bahmani, O. (2015). Predicted Temperature of Deep Soil Layers Using Time Series Models. *Iranian Journal of Soil Research*, 29(2), 199-210.
- Khoshhal Jahromi, F., Sabziparvar, A. A., & Mahmoudvand, R. (2021). Spectral analysis of soil temperature and their coincidence with air temperature in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(2), 1-14.
- Khoshkhoo, Y. (2019). Simulating temperature of different depths of soil in hourly and daily scales using a SVAT model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(6), 223-237.
- Ma, C. and Iqbal, M. (1984). Statistical comparison of solar radiation correlations monthly average global and



- diffuse radiation on horizontal surfaces. *Solar Energy*, 33, 143-148.
- Maclean Jr S. F. and Ayres M. P. (1985). Estimation of soil temperature from climatic variables at Barrow, Alaska, USA. *Arctic and Alpine Research*, 17, 425-432.
- Mesbahzadeh, T., azareh, A., Rafiiei sardooi, E. and FarzanePei, F. (2018). Modeling of daily soil temperature using synoptic data and neural network. *Journal of Range and Watershed Management*, 71(1), 285-295.
- Mojarrad, F. and Sadeghi, H. (2013). Assessing the Relationship between Ground and Soil Temperature at Different Depths: A Case Study of Kermanshah Province. *Physical Geography Research Quarterly*, 45(1), 101-118.
- Mousavi Baygi, M., AsadiOskouei, E., Yazdany, M. & Alizadeh, A. (2017). The comparison of temperature elements measured in station and in paddy filed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(5), 129-145.
- Najafimod, M. Alizadeh, A. and Mosavi, J. (2008). Investigation of the relationship between air temperature and temperature of different soil depths and estimation of ice depth. *Journal of Water and Soil*, 22 (2), 456-465.
- Parsafar, N and Marofi, S. (2011). Estimation of different soil depths from air temperature using regression relations, neural network and neural network. *Journal of Soil and Water Science*, 21, 139-152.
- Plauborg, F. (2002). Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. *Eur. J. Agron.*, 17, 173-179.
- Popiel, C. O., Wojtkowiak, J. and Biernacka, B. (2001). Measurements of temperature distribution in ground. *Experimental thermal and fluid science*, 25(5), 301-309.
- Sabziparvar, A. Tabari, H and Aeeni, A. (2010). Estimation of daily average soil temperature in some climatic samples of Iran using meteorological data. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 52, 125-137.
- Sabziparvar, A.A., Siroos, N. and Bayat, H. (2014). Effect of using time-lag between maximum screen temperature and soil temperature in improving annual soil regression equation. *J. of Water and Soil Conservation*, 21(3), 31-53.
- Sabziparvar, A., & Khoshhal Jahromi, F. (2022). Evaluating the most effective climatic parameters affecting the monthly mean soil temperature estimates using the PLS method. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(11), 1-10.
- Seefeldt, S. S., Kidwell, K. K. and Waller, J. E. (2002). Base growth temperature, germination rate and growth response of contemporary spring wheat cultivars from the USA Pacific North West. *Field Crop Research*, 75, 47-52.
- Sommers, L.E., Gilmour, C.M., Wildung, R.E., and Beck, S.M. (1981). The effect of water potential on decomposition processes in soils, in *Water Potential Relations in Soil Microbiology*. Edited by J.E. Parr, W.R. Gardner and W.R. Elliot, *SSSA Spec. Publ.*, 9, 97-117.
- Willmott, C.J. and Matsuura, K. (2006). On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 20, 89-102.
- Yazdani, V., Ghahreman, B., Farahi, G. and Nori, H. (2011). Modeling soil depth temperature by using meteorological parameters. *J. of Water and Soil Conservation*, 19(4), 1-23.
- Zheng, D., Hunt Jr, E. R. and Running, S. W. (1993). A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Climate Research*, 2(3), 183-191.