

مقایسه عملکرد دو مدل شبیه‌سازی فیزیکی و رگرسیونی برای برآورد دمای خاک زیر پوشش چمن در اقلیم

کرج

نوذر قهرمان^{۱*}، پرویز ایران‌نژاد^۲، رضا نوروز ولاشدی^۳

۱. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، کرج

۲. دانشیار گروه فیزیک فضا مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳. کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۶/۲۲)

چکیده

آورد و پیش‌یابی دمای خاک با توجه به کمبود اندازه‌گیری‌های مستقیم در مزرعه و تأثیر آن در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری حائز اهمیت است. در این پژوهش، کارایی مدل شبیه‌سازی COUP در مقایسه با مدل رگرسیونی چندمتغیره جهت برآورد دمای خاک در شرایط مزرعه‌ای زیر پوشش چمن ارزیابی شد. برای اجرای مدل COUP، متغیرهای مورد نیاز در مقیاس زمانی روزانه جمع‌آوری و دمای خاک در اعماق ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. نتایج اجرای شبیه‌سازی و خروجی مدل رگرسیونی به روش گام‌به‌گام مقایسه و تحلیل شد. ضریب تعیین رابطه رگرسیونی حاکی از دقت پیش‌یابی‌هاست. بیشترین ضریب تعیین (R^2) مربوط به عمق ۷۰ سانتی‌متری خاک بود. همچنین بالاترین همبستگی بین دمای خاک و دمای کمپنه بود که می‌تواند ناشی از اثر تلفات تابشی شبانه خاک باشد. ضرایب همبستگی متغیرهای هواشناسی با دمای خاک در همه عمق‌ها معنادار بودند. با لحاظ شدن متغیرهای مؤثر بر تابش دریافتی (ارتفاع گیاه و نمایه سطح برگ) و تغییرات رطوبتی خاک، پیش‌بینی دمای اعماق خاک از دقت بیشتری برخوردار شد.

کلیدواژگان: پوشش گیاهی، دمای خاک، رگرسیون چندگانه، مدل COUP

مقدمه

دما و رطوبت خاک از عوامل تأثیرگذار در تولید محصولات کشاورزی است. واکنش‌های شیمیایی و میکروبی، که عناصر غذایی موجود در خاک را به شکل قابل استفاده برای گیاه درمی‌آورند، همچنین تاریخ مناسب کاشت بذر و رشد بهینه گیاه به دمای خاک بستگی دارد. پیش‌یابی دمای خاک نیازمند آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی و برهم‌کنش بین عوامل جوئی و سطح آن با خاک است. از عوامل مؤثر بر دمای خاک ناهمواری‌های سطح زمین، پوشش خاک، تابش خورشید، دمای هوا، توزیع بارش، رطوبت خاک، و ویژگی‌های گرمایی خاک است. ساده‌ترین روش برآورد دمای خاک بهره‌گیری از مدل‌های آماری است. تا کنون مطالعات گسترده‌ای در زمینه برهم‌کنش دمای هوا و دمای خاک صورت گرفته است. MacLean and Ayres (1983) و Aldridge and Cook (1985) با ارائه مدل رگرسیونی چندمتغیره متوسط سالیانه

دمای خاک را در عمق‌های سطحی محاسبه کردند. متغیرهای مورد استفاده شامل دمای هوا و ابرناکی در روز، نسبت ساعات آفتابی، و روز فصل بود. Wright and Crew (2000) اثر دمای هوای محیط، رطوبت هوا، و توپوگرافی بر دمای خاک را در کناره و درون جنگل بررسی کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان‌دهنده همبستگی بالا بین دمای میانگین سالیانه هوا با دمای خاک بود. اما در فصل زمستان، به دلیل وجود پوشش برف و در نتیجه محدودیت تبادل گرما بین هوا و خاک، همبستگی خوبی بین دماهای هوا و خاک دیده نشد. Chacko (2003) و Beltrami and Kellman (2002) و Renuka (2002) پیروی از نظر Watson (1980) مبنی بر تأثیرپذیری دمای هوا از دمای سطحی خاک، روابط رگرسیونی را برای برآورد دمای عمقی خاک بر پایه دمای هوا ارائه کردند. Plauborg (2002) نیز مدلی تجربی و ساده برای برآورد دمای عمقی ۱۰ سانتی‌متری خاک پوشیده‌شده از چمن بر اساس داده‌های تاریخی چندین ایستگاه هواشناسی در دانمارک ارائه داد. در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر

برآورد عمق یخبندان دارد. به طور کلی، نتایج این مطالعات حاکی از وجود خطای معنادار در پیش‌بینی دما در صورت انتخاب گام‌های زمانی و مکانی نامناسب در فرآیند حل معادلات است. با این حال، نتایج شبیه‌سازی دما از لحاظ فیزیکی منطقی و پذیرفتنی است. در نهایت، با توجه به اینکه رطوبت خاک از عوامل مؤثر بر ضریب پخشیدگی (Bachmann *et al.*, 2001; Lipiec *et al.*, 2007) است، مدل‌های شبیه‌سازی با حل معادلات منفرد گرمایی و بدون در نظر گرفتن اثر رطوبت بر انتقال گرما در خاک با مقداری خطا همراه است. دانشمندان متعددی در سال‌های مختلف به توسعه مدل‌های ساده برای پیش‌بینی و محاسبه دمای خاک در عمق‌های مختلف در شرایط متفاوت پوشیده از چمن و گیاهان مختلف و همچنین خاک بدون پوشش پرداختند (Muller and Doring, 1989; Hasfurther and Burman, 1974; Roodenburg, 1985). Luo *et al.* (1992) به شبیه‌سازی دمای خاک بر اساس قوانین انتقال گرما در خاک و بیلان انرژی در مزرعه با پوشش گیاهی پرداختند. نتایج نشان داد مدل می‌تواند شار گرمایی در سطح خاک و همچنین دمای خاک در عمق‌های مختلف زیر پوشش گیاهی را به خوبی برآورد کند.

پس از ارائه تئوری Philip and De Vries (1957) تأثیرپذیری رطوبت در محیط متخلخل تحت گرادیان دمایی، مطالعات گسترده‌ای در زمینه مدل‌های شبیه‌سازی توأم دما و رطوبت خاک از سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۸۱ انجام شد (Fischer, 1983). این پژوهش‌ها که جهت بررسی انتقال هم‌زمان گرما و رطوبت خاک در دانشگاه‌های ایالات متحده در بخش کشاورزی انجام شد به ارائه مدل‌های فیزیکی متفاوت منجر شد. Fischer (1983) در مقاله‌ای پیشینه این مدل‌های ریاضی را بازبینی کرده است. در پژوهش‌های دیگری در دهه اخیر مدل‌های یک‌بعدی بررسی هم‌زمان انتقال گرما و رطوبت به نام‌های SOIL (Jansson, 1998)، COUP (Jansson, 2001)، ALSIS (Irannejad and Shao, 2002)، DWHC (Chen, 2006) ارائه شده است. مدل SOIL و SOILN در سال ۱۹۹۸ به ترتیب توسط Jansson و Eckersten *et al.* ارائه شد و سپس با تلفیق معادلات جریان رطوبتی و دمایی خاک و شبیه‌سازی هم‌زمان آن‌ها تحت عنوان مدل COUP توسط Jansson and Gustafsson (2001) توسعه یافت. Jansson (2005) و *et al.* (2004) کارایی مدل COUP در شبیه‌سازی هم‌زمان گرما و رطوبت خاک را به ترتیب در کشور چین و مناطق قابل

ساری دمای خاک به روش تجزیه منحنی و روش همبستگی رگرسیونی برآورد شد. نتایج بررسی، که در دو فاز سالیانه و شبانه‌روزی صورت پذیرفت، حاکی از آن است که روش تجزیه منحنی باعث بهبود نتایج روش همبستگی رگرسیونی می‌شود (Jaffari Golestan *et al.*, 2007). البته نشان داده شد این روش مبتنی بر تجزیه منحنی دما به بخش‌های مجزای فرازشی و فرودی است؛ که باید به صورت جداگانه برای هر بخش مدل‌سازی صورت پذیرد. Adib abbasi (2006) با استفاده از رگرسیون چندگانه رابطه بین دمای خاک در بازه ساعتی، روزانه، و ماهیانه را با دمای هوای اندازه‌گیری در اسکرین هواشناسی و رطوبت خاک تعیین کرد. Sanaeinejad *et al.* (2008) در پژوهشی دیگر با استفاده از تحلیل سری‌های فوریه و دوره آماری ۱۲ ساله به برآورد دمای خاک روزانه و سالیانه در عمق‌های مختلف در ۶ ایستگاه هواشناسی استان کردستان پرداختند. در این تحلیل آن‌ها فقط با استفاده از دمای هوا در ارتفاع ۲ متری و بدون در نظر گرفتن دیگر متغیرهای هواشناسی روابط همبستگی خود را جهت برآورد دمای خاک پیشنهاد کردند. Sabziparvar *et al.* (2010) یافته‌های مدل شبکه عصبی را با مدل رگرسیون چندگانه در اقلیم‌های مختلف ایران برای برآورد دمای خاک مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد دقت مدل‌های شبکه عصبی بیشتر از رگرسیون چندگانه است؛ اما ضریب تعیین نتایج برای عمق‌های پایین کمتر از نتایج سطحی تر است. همچنین نشان دادند نتایج برآورد دمای خاک در اقلیم مرطوب برخلاف اقلیم خشک از دقت بیشتری برخوردار است.

با توسعه روش‌های محاسباتی، مدل‌های شبیه‌سازی گوناگونی جهت حل یک‌بعدی رابطه پخش گرما در خاک ارائه شد. از روش‌های مهم می‌توان به روش دامنه، فازی، آرک تانژانت، لگاریتمی، هارمونیک، و عددی اشاره کرد (Horton *et al.*, 1983). یکی از مزایای روش عددی مستقل بودن آن از شکل و دوره‌های تناوب منحنی دما در سطح خاک است (Wierenga *et al.*, 1969). Hosseinzadeh Talae (2014) تغییرات شبانه‌روزی دمای خاک را در دو ایستگاه تبریز و اصفهان با استفاده از رهیافت نرو فازی مدل‌سازی کرد. نتایج توانمندی مدل CANFIS در شبیه‌سازی رفتار تغییرات دمای خاک در هر دو ایستگاه را نشان داد. Khalili *et al.* (2012) مدل SHAW را جهت برآورد دما و حداکثر عمق نفوذ یخبندان خاک در چند نمونه اقلیمی ایران ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، در مقیاس سالیانه، مدل دقتی پذیرفتنی در

عددی هم‌زمان و با تلفیق شرایط اولیه و مرزی مناسب دما را با در نظر گرفتن رطوبت خاک به طور توأمان شبیه‌سازی می‌کند. جریان گرما در خاک در این مدل با رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Philip and De Vries, 1957).

$$q_h = -k_h \frac{\partial T}{\partial z} + C_w T q_w + L_v q_v \quad (\text{رابطه ۱})$$

q_h شار گرما ($J.m^{-2}.sec^{-1}$)، k_h رسانایی گرمایی ($J.m^{-1}.K^{-1}.sec^{-1}$)، T دمای خاک ($^{\circ}C$)، q_w شار آب مایع ($m.sec^{-1}$)، C_w ظرفیت گرمایی آب مایع ($J.g^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)، L_v گرمای نهان تبخیر ($J.kg^{-1}$)، q_v شار بخار آب ($J.m^{-2}.sec^{-1}$)، و z بر حسب متر معرف عمق است.

از ترکیب رابطه ۱ با قانون پایستگی انرژی، رابطه عمومی پیش‌یابی انتقال گرما به صورت رابطه ۲ به دست می‌آید.

(رابطه ۲)

$$\frac{\partial(CT)}{\partial t} - L_f \rho \frac{\partial \theta_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) - C_w T \frac{\partial q_w}{\partial z} - L_v \frac{\partial q_v}{\partial z} - s_h$$

T دمای خاک ($^{\circ}C$)، t زمان بر حسب ثانیه، C ظرفیت گرمایی هوا ($J.g^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)، L_f گرمای نهان انجماد ($J.kg^{-1}$)، ρ چگالی ظاهری خاک ($gr.cm^{-3}$)، θ_i رطوبت حجمی خاک به شکل یخ ($cm^3.cm^{-3}$)، k_h رسانایی گرمایی ($J.m^{-1}.K^{-1}.sec^{-1}$)، C_w ظرفیت گرمایی آب مایع ($J.g^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)، L_v گرمای نهان تبخیر ($J.kg^{-1}$)، z حسب متر معرف عمق، و جمله s_h معرف چشمه یا چاه^۳ گرما بر حسب $J.m^{-2}.sec^{-1}$ است.

دو جمله سمت چپ رابطه ۲ نمایانگر تغییرات محتوای گرمای محسوس و گرمای نهان انجماد خاک است و سه جمله سمت راست رابطه ۲ به ترتیب انتقال گرما توسط فرآیندهای هدایت، همرفت آب مایع، و بخار آب است. این مدل نیم‌رخ خاک را به تعدادی لایه تقسیم می‌کند که هر لایه و مرزهای بین لایه‌ها دو اصل اساسی این تقسیم‌بندی محسوب می‌شوند. جهت محاسبه جریان دما در خاک با پوشش گیاهی اطلاعات خاک و گیاه نیز مورد نیاز است.

مدل رگرسیونی چندگانه

کاربرد مدل‌های رگرسیونی برای برآورد پارامترهای مختلف توسط محققان بسیاری استفاده شده است. در این پژوهش، با توجه به محدودیت مطالعات صورت پذیرفته در کشور، به

کشت در مقایسه با مناطق جنگلی در شمال اسکاندیناوی ارزیابی کردند و نتایج را رضایت‌بخش یافتند. Norooz Valashedi *et al.* (2012) به ارزیابی مدل شبیه‌سازی COUP جهت برآورد دما و رطوبت خاک در دو کرت بدون پوشش و دارای پوشش ذرت در اقلیم کرج پرداختند. نتایج این مطالعه حاکی از حساسیت دما و رطوبت نیم‌رخ خاک به ترتیب به میزان تابش ورودی و میزان آب ورودی به نیم‌رخ خاک و نیز پارامترهای هیدرولیکی خاک است. همچنین نتایج نشان داد با اندازه‌گیری‌های دقیق پارامترهای آب و هواشناسی و گیاهی و خاک‌شناسی می‌توان نتایج قابل قبولی برای برآورد میزان دما و رطوبت عمق‌های خاک ارائه کرد.

با وجود این، بررسی‌ها نشان می‌دهد عملی‌ترین روش برای پیش‌بینی دمای خاک و عمقی یخ‌زدان استفاده از داده‌هایی است که در بالای سطح خاک اندازه‌گیری می‌شوند؛ همانند دمای هوا، خصوصیات فیزیکی پوشش (گیاهی) سطح خاک، و بارش (آبیاری). هدف این مطالعه بررسی چگونگی پیش‌یابی دمای خاک با مدل شبیه‌سازی COUP در مقایسه با مدل رگرسیونی خطی چندگانه در شرایط دارای پوشش گیاهی چمن در اقلیم کرج است. در تکمیل مطالعات داخلی قبلی جهت برآورد دمای خاک، در این پژوهش با بهره‌گیری هم‌زمان از پارامترهای هوا و گیاه در سطح دو مدل پیش‌یابی دمای عمقی خاک ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

مدل شبیه‌سازی COUP^۱

مدل شبیه‌سازی COUP (Jansson and Karlberg, 2005) ابتدا برای شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی، حیاتی، و فیزیکی خاک زیر پوشش جنگلی ساخته شد و سپس برای کاربرد در بوم‌سامانه‌های طبیعی دیگر تحت روش‌های مدیریتی متفاوت تعمیم یافت. این مدل با تکنیک‌های حل عددی صریح معادلات دیفرانسیلی جفت‌شده رطوبت و دما در خاک پیش‌یابی دمای عمق‌های خاک را انجام می‌دهد. جزئیات فیزیکی بیشتر مدل توسط Jansson and Karlberg (2005) و تشریح مدل از جنبه الگوریتم رایانه‌ای توسط Jansson and Moon (2001) ارائه شده است.

رابطه پیش‌یابی دما در نیم‌رخ خاک از ترکیب رابطه پایستگی انرژی و قانون فوریه به دست می‌آید. این مدل با حل

2. Law of conservation of energy
3. Sink

1. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system

بیشینه و کمینه دمای میانگین روزانه (T_{min} و T_{max}) به ترتیب ۳۵/۳ و ۲۰/۴ درجه سانتی‌گراد بود. متوسط رطوبت نسبی هوا (RH) در دوره شبیه‌سازی معادل ۳۷ درصد، متوسط تبخیر از تشتت کلاس A ۹/۳ میلی‌متر بر روز، سرعت باد ۱/۸ متر بر ثانیه، و ساعات روشنایی (DBS) ثبت‌شده به طور متوسط ۷۰۰ دقیقه در هر روز بود. میزان کل بارندگی ۰/۳ میلی‌متر ثبت شد.

علاوه بر متغیرهای فوق نمایه سطح برگ (LAI)، ارتفاع گیاه (H)، آبیاری (Irr.)، ابرناکی (CLOUD)، و سرعت باد در ارتفاع نیم‌متری (Wind0.5) اندازه‌گیری یا برآورد شد؛ طوری که جهت برآورد نمایه سطح برگ از رابطه بین بزرگ‌ترین قطر برگ با LAI و جهت برآورد سرعت باد از رابطه نیم‌رخ لگاریتمی باد استفاده شد تا متغیرهای مستقل در برآورد دمای خاک در مدل رگرسیونی وارد شود. بیشینه مقادیر پارامترهای گیاهی چمن در انتهای دوره اندازه‌گیری در جدول ۲ می‌آید. بقیه پارامترهای مورد نیاز در مدل COUP نیز مطابق مطالعات قبلی نظیر مقاومت پوشش گیاهی رابطه Lohammar (Jansson and Karlberg, 2005) و ضریب زبری (Shaw and Pereira, 1982) تابعی از پوشش گیاهی در نظر گرفته شد و در پیکره مدل واسنجی شد.

معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی نتایج مدل‌ها، دمای واقعی لایه‌های مختلف خاک با نصب ابزار دماسنجی استاندارد سازمان هواشناسی کشور به طور روزانه چندین نوبت جهت اعتبارسنجی مدل ثبت شد. برای اعتبارسنجی نتایج مدل از آماره ضریب تعیین (R^2)، نمایه ریشه دوم میانگین مربعات خطای (RMSE) (Fox, 1981)، و نمایه هم‌خوانی (d) (Willmot, 1982) استفاده شد. این سنج‌ها با رابطه ۴ و ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2 / n} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (S - O)^2}{\sum (|S - \bar{O}| + |O - \bar{O}|)^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (\text{رابطه ۶})$$

O و \bar{O} و S به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده، میانگین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر شبیه‌سازی شده هستند و n تعداد داده‌هاست.

ارزیابی قابلیت پیش‌بینی این مدل در برآورد دمای عمق‌های خاک با پوشش گیاهی چمن پرداخته شده است. علاوه بر بررسی هم‌بستگی بین متغیرهای هواشناسی و دمای عمق‌های خاک، پارامترهای پوشش گیاهی چمن (نمایه سطح برگ و ارتفاع) و نیز مقادیر آبیاری‌ها در مدل لحاظ شد. بدین ترتیب که برای مدل رگرسیون خطی چندگانه تحت نرم‌افزار MINITAB14 روش‌های مختلف سرند متغیرهای مستقل انجام شد. در نهایت متغیرها و پارامترهایی که شیب خط آن‌ها در سطح ۵ درصد (آماره t-ratio) معنادار بود به روش گام‌به‌گام^۱ انتخاب و وارد مدل شدند. هم‌بستگی خطی چندگانه بین متغیر وابسته (Y) و متغیرهای مستقل جوئی و گیاهی (X) در رابطه ۳ مشاهده می‌شود.

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \quad (\text{رابطه ۳})$$

Y متغیر پیش‌بینی‌شونده، x_1 و x_2 و x_3 و x_n متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، و a_1 و a_2 و a_3 و a_n ضرایب ثابت همبستگی‌اند.

منطقه مطالعه شده و داده‌ها

به منظور ارزیابی مدل اندازه‌گیری‌های میدانی به مدت دو ماه متوالی (خرداد و تیر ۱۳۸۹) طی فصل کشت در مزرعه‌ای در مجاورت ایستگاه هواشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران با اقلیم نیمه‌خشک واقع در دشت جنوبی رشته‌کوه البرز در حوضه فرعی رودخانه کرج با موقعیت عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی با ارتفاع متوسط ۱۳۱۱ متر از سطح دریا صورت پذیرفت.

جهت اجرای مدل، کرتی به ابعاد (۱۰ متر × ۱۰ متر) با پوشش گیاهی چمن^۲ تهیه شد. پیش از کاشت، جهت تعیین پارامترهای خاک‌شناسی، نیم‌رخ خاک مزرعه به چهار لایه (عمق‌های اندازه‌گیری ۱۰ و ۳۰ و ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متر) تقسیم شد و نمونه‌برداری از نیم‌رخ‌های مختلف انجام گرفت. پس از آزمایش نمونه‌ها، مشخصات فیزیکی مطابق جدول ۱ تعیین شد.

داده‌های ورودی مدل COUP و متغیرهای مستقل مدل رگرسیونی چندگانه به سه بخش هواشناسی و خاک‌شناسی و پوشش گیاهی قسمت می‌شود. متغیرهای هواشناسی در سه زمان در طول روز (۷:۳۰، ۱۳:۳۰، ۱۹:۳۰) ثبت شد. میانگین دمای هوا (T) در طول فصل کشت ۲۸/۲ درجه سانتی‌گراد و

1. Stepwise
2. Lolium Perenne

جدول ۱. مشخصات اندازه‌گیری شده خاک مزرعه در عمق‌های مختلف

عمقی خاک (cm)	بافت خاک	شن (%)	لای (%)	رس (%)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	ماده آلی (%)	کربن آلی (%)	pH
۰-۲۰	لومی رسی	۳۸٫۹	۲۳٫۲	۳۷٫۹	۱٫۵	۱٫۲۸	۰٫۷۴۵	۸٫۳
۲۰-۴۰	لوم	۳۰٫۵	۴۴٫۰	۲۵٫۵	۱٫۶۵	۱٫۴۰	۰٫۸۱	۸٫۳
۴۰-۶۰	لومی رسی	۴۰٫۹	۲۲٫۱	۳۷٫۰	۱٫۵	۱٫۳۴	۰٫۷۷۵	۸٫۳
۶۰-۸۰	رسی	۳۸٫۹	۱۹٫۱	۴۰٫۰	۱٫۱۵	۱٫۲۸	۰٫۷۴	۸٫۳

جدول ۲. پارامترهای گیاهی و میزان آبیاری تجمعی اندازه‌گیری شده در طول دوره رشد چمن

پارامتر	چمن
نمایه سطح برگ (متر مربع بر متر مربع)	۳
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	۱۸
عمقی ریشه (متر)	۱
آبیاری (میلی‌متر)	۴۳۰

یافته‌ها و بحث

در این پژوهش تلاش شد تا برآورد دمای خاک زیر پوشش گیاهی توسط مدل‌های آماری و فیزیکی با مقادیر میدانی دمای عمق‌های خاک مقایسه شود. نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها و خروجی

نهایی مدل رگرسیونی، پس از انتخاب گام‌به‌گام متغیرهای پیش‌بینی‌کننده دمای عمقی مورد نظر، در جدول ۳ قابل مشاهده است. ضریب تعیین رابطه رگرسیونی دقت پیش‌یابی دمای خاک را برای رابطه مورد نظر نشان می‌دهد. با توجه به تغییرات کم دمای خاک در عمقی زیرین، بیشترین درصد مربوط به عمقی ۷۰ سانتی‌متری خاک در زیر پوشش گیاهی چمن بود. با توجه به تغییرات کم دما در عمق‌های پایین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای دما نیز کم بود. دقت نتایج نیز بیشتر از لایه‌های سطحی است. این وضعیت می‌تواند به دلیل سرعت (تغییرات) بیشتر گرم‌شدن خاک در شبانه‌روز در لایه‌های سطحی باشد.

جدول ۳. ضریب تعیین (R²) و همبستگی مدل رگرسیونی خطی چندگانه (روش گام‌به‌گام^{*}) برآورد دمای خاک در عمق‌های مختلف

رابطه رگرسیونی	ضریب همبستگی	ضریب تعیین (درصد)	عمق اندازه‌گیری دما [*] (سانتی‌متر)
$T_{10} = -0.14LAI + 0.2 DOY + 0.25 T_{max} + 0.2 DBS + 0.06 CLOUD + 0.2 RH_{min} - 0.4 WindRun - 30.65$	۰٫۸۹	۷۹٫۶۲	۲۰-۰
$T_{30} = -0.11LAI + 0.13 DOY + 0.23 T + 0.16 RH_{min} - 0.17 Wind - 0.5 - 0.2$	۰٫۸۴	۷۰٫۹۳	۴۰-۲۰
$T_{50} = 0.52LAI - 0.2 H + 0.18 DOY + 0.13 T_{min} + 0.13 RH_{min} + 0.3 Wind - 1.77 Wind - 9.54$	۰٫۹۳	۸۷٫۴۰	۶۰-۴۰
$T_{70} = -0.2 H + 0.17 DOY + 0.16 T_{min} + 0.3 RH - 8.38$	۰٫۹۷	۹۴٫۲۶	۸۰-۶۰

LAI نمایه سطح برگ (متر مربع بر متر مربع)، H ارتفاع گیاه (متر)، Irr آبیاری (میلی‌متر)، DOY روز از سال، T میانگین دما (°C)، T_{max} بیشینه دما (°C)، T_{min} کمینه دما (°C)، RH نم نسبی (%)، CLOUD ابرناکی، DBS ساعات روشنایی، Wind0.5 سرعت باد در ارتفاع نیم‌متری (m,sec)، Wind2 سرعت باد در ارتفاع دومتری (m,sec)، Wind Run مسافتی که باد در ۲۴ ساعت طی کرده (km/day) است.
* متغیر وابسته دمای میانگین عمق لایه مورد نظر

آماره T ضرایب متغیرهای گیاهی اندازه‌گیری شده مستقل را جهت پیش‌بینی دمای خاک عمقی مورد نظر نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در مدل پیش‌یابی دمای خاک در همه عمق‌ها حاکی از آن است که ضرایب آبیاری قابل ملاحظه و از نظر

جهت بررسی میزان تأثیر هر یک از پارامترهای هواشناسی در برآورد دمای خاک با برازش مدل رگرسیونی خطی، مقدار همبستگی بین پارامترها با دمای خاک در عمق‌های مختلف به دست آمد. جدول ۴ ضرایب همبستگی و

آماري معنادار نيست و از رابطه حذف شده است. با اين حال، در مدل شبیه‌سازي، دمای خاک از نظر فیزیکی به میزان آب موجود در خاک، دور آبیاری، و تعداد آبیاری‌ها در دوره رشد بستگی دارد. زیرا در هر بار آبیاری پارامترهای فیزیکی خاک همچون ثابت خلل و فرج خاک دستخوش تغییر می‌شود؛ اما در مدل‌ها در طول اجرا و پیش‌یابی ثابت در نظر گرفته می‌شود. همچنین ضرایب همبستگی مربوط به متغیرهای نمایه سطح برگ گیاه و ارتفاع با دمای خاک نشان می‌دهد پوشش گیاهی با توجه به ارتفاع و تراکم تاج پوشش در دوره رشد بر دمای خاک مؤثر است.

جدول ۵ ضرایب همبستگی و آماره T ضرایب متغیرهای هواشناسی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. در برخی موارد مشاهده شد اگرچه بین دما و متغیر مورد نظر همبستگی برقرار است، با توجه به اثر متقابل برخی پارامترها در روند انتخاب متغیر پیش‌بینی‌کننده، ضریب آن معنادار نیست. بنابراین از رابطه رگرسیونی حذف شد. در عمق‌های زیرین همان‌طور که انتظار می‌رفت به دلیل تأخیر در انتقال گرما به لایه‌های زیرین و نفوذناپذیر بودن آن، به دلیل وجود لایه رسی مرطوب، تغییرات نامحسوس و اثر متغیرهایی نظیر سرعت باد و اختلاف دمای بیشینه و کمینه کم بود. روند تغییرات ضریب تعیین رابطه رگرسیونی چندگانه برخلاف نتایج Sabziparvar et al. (2010) با افزایش عمق خاک افزایش پیدا کرد. وجود اختلاف فاز بین

عمق‌های سطحی و زیرین و وجود لایه سخت زیر سطحی و مشخصه‌های خاک با نگره‌داشت رطوبتی توانسته میزان تغییرات سریع را نسبت به عمق‌های سطحی کم کند و نتایج برآورد دمای عمقی زیر ۶۰ سانتی‌متری را از دقت بالاتری برخوردار کند. این نتایج با یافته‌های Jaffari Golestan et al. (2007) موافق می‌باشد. همچنین بالابودن ضرایب همبستگی در عمق‌های زیرین می‌تواند به دلیل تأثیرپذیری کم خاک مرطوب از پارامترهای هواشناسی باشد. با وجود این، بیشترین همبستگی بین دمای خاک با دمای کمینه است که علت آن تأثیرپذیری بیشتر خاک بر اثر شدت انرژی تابشی از دست‌رفته شبانه خاک است. نتایج این پژوهش معناداری ضرایب همبستگی پارامترهای هواشناسی را در همه عمق‌ها در پی داشت که با نتایج مطالعه Sabziparvar et al. (2010) هم‌خوانی دارد. البته با توجه به وجود پوشش گیاهی در این پژوهش همبستگی معناداری بین دیگر پارامترهای هواشناسی و گیاه‌شناسی در طول دوره اندازه‌گیری با عمق‌های سطحی خاک وجود دارد. شایان توجه است که در این پژوهش برخلاف مطالعات صورت‌پذیرفته (Jaffari Golestan et al., 2007; Adib abbasi, 2006; Sabziparvar et al., 2010) از روش گام‌به‌گام با حذف متغیرهای مستقل استفاده شد که رابطه‌ای متفاوت با متغیرهای معنادار را برای هر عمق خاک در پی داشت.

جدول ۴. ضریب همبستگی و آماره t ضرایب متغیرهای گیاهی مستقل پیش‌بینی‌کننده در رابطه رگرسیون چندگانه

متغیرهای مستقل	T ₁₀	T ₃₀	T ₅₀	T ₇₀
LAI	-۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۳۹**	۰/۶۴**
T-Value	-۴/۰۷	-۳/۴۲	-۴/۱۶	-۱/۵۷*
H	-۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۴۱**	۰/۶۴**
T-Value	-۱/۲۵*	-۰/۸۸*	-۳/۱۱	-۷/۱۹
Irr.	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۳
T-Value	۱/۲۹*	۱/۰۵*	۱/۱۶*	-۰/۲۵*
Doy	-۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۵۶**	۰/۷۸**
T-Value	۴/۸۸	۴/۳۱	۱۰/۱۵	۱۳/۱۷

* عدم معناداری ضریب متغیر در سطح ۵ درصد ** معناداری ضریب همبستگی در سطح ۵ درصد
H ارتفاع گیاه، Irr ارتفاع آبیاری، Day شماره روز سال

به در نظر گرفتن پارامترهای انتقال گرما و مؤثر بر تابش، دقت و نتایج بهتر و قابل ارزیابی‌تری از لحاظ فیزیکی ارائه می‌دهد؛ که مطابق یافته‌های Muller and Doring (1989)، Hasfurther and Burman (1974)، Roodenburg (1985)، Norooz

نتایج نهایی پیش‌یابی دمای عمق‌های خاک با مدل رگرسیونی چندگانه در مقایسه با مدل شبیه‌سازی COUP در جدول ۶ می‌آید. با توجه به نمایه‌های ارزیابی می‌توان نتیجه گرفت در تغییرات سطحی دمای خاک مدل شبیه‌سازی، با توجه

برآورد افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش که در پوشش چمن صورت پذیرفته مطابق شبیه‌سازی دما زیر پوشش گیاهی ذرت (Norooz valashedi et al., 2012) و هم‌سو با یافته‌های Jansson (2005) و Gustafsson et al. (2004) است.

اغلب مدل‌های ساده آماری برای پیش‌یابی و نحوه تغییرات نیم‌رخ دمایی خاک جهت برآورد عمقی یخبندان ارائه شده‌اند. به طور مشابه نتایج مطالعات مدل‌های ارائه‌شده حاکی از دقت خوب برآورد دمای عمق کم خاک به دلیل واکنش سریع لایه‌های سطحی خاک به تغییرات دمای هواست. به دلیل عدم تأثیر و ورود دیگر پارامترها و متغیرهای محیطی مؤثر در رسانایی گرمایی خاک، همانند متغیرهای هواشناسی و پوشش گیاهی و برف و گرمای نهان تبخیر و ویژگی‌های فیزیکی خاک (Hiraiwa and Kasubuchi, 2000; Pollack et al., 2005) در مدل‌های آماری، این مدل‌ها به اقلیم‌های دیگر تعمیم‌ناپذیرند و نیز دقت کمتری دارند.

Valashedi et al. (2012) است. حال آنکه نتایج مدل رگرسیونی با توجه به تغییرات کم دما طی شبانه‌روز در عمق‌های زیرین خاک دقت بیشتری دارد.

شکل‌های ۱ و ۲ مقایسه مقادیر پیش‌یابی‌شده دما را توسط دو مدل COUP و رگرسیون چندگانه نشان می‌دهد. واقع‌شدن نقاط در دو سوی خط نیم‌ساز (فرا و فرو برآوردی بودن شبیه‌سازی‌ها) در مدل COUP حاکی از دقت مناسب است و همچنین نشان‌دهنده وجود یک خطای نظام‌مند؛ که می‌تواند بر اثر ثابت‌بودن بودن برخی پارامترهای گیاه‌شناسی و خاک‌شناسی باشد. با این حال، به طور میانگین با دقت ۱۰ درصد بهتر از مدل رگرسیون چندگانه دمای عمق‌های خاک را پیش‌یابی می‌کند. همچنین دقت پیش‌یابی‌ها به سمت عمق‌های بیشتر افزایش می‌یابد. در نتیجه، همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، میزان رطوبت خاک تأثیر بسزایی در چگونگی پیش‌بینی دمای خاک عمقی مورد نظر دارد. با واردکردن میزان آبیاری (بارندگی) و پارامترهای گیاهی و خاک‌شناسی در مدل‌ها دقت

جدول ۵. آماره T و ضریب همبستگی بین متغیرهای هواشناسی مستقل و دمای اعماق مختلف خاک در رابطه رگرسیون چندگانه

متغیر و آماره	T ₁₀	T ₃₀	T ₅₀	T ₇₀
RH _{min}	۰/۳۴**	۰/۴۱**	۰/۴۱**	۰/۳۲**
T-Value	۳/۲۹	۳/۵۲	۴/۴۵	م‌ع
T _{Min}	۰/۳۳**	۰/۵۶**	۰/۷۰**	۰/۷۰**
T-Value	م‌ع	م‌ع	۴/۸۱	۶/۷۱
T	۰/۳۴**	۰/۵۶**	۰/۷۱**	۰/۷۶**
T-Value	م‌ع	۴/۱۲	م‌ع	م‌ع
T _{Max}	۰/۳۱**	۰/۴۹**	۰/۶۵**	۰/۷۳**
T-Value	۳/۱۳	م‌ع	م‌ع	م‌ع
RH	-۰/۱۶	-۰/۱۸	-۰/۰۸	۰/۰۷
T-Value	م‌ع	م‌ع	م‌ع	۴/۶۹
Wind _{0.5}	-۰/۴۷**	-۰/۳۴**	-۰/۱۶	۰/۰۱
T-Value	م‌ع	-۳/۱۴	-۳/۹۰	م‌ع
Wind Run	-۰/۴۷**	-۰/۳۴**	-۰/۱۶	۰/۰۱
T-Value	-۳/۱۸	م‌ع	م‌ع	م‌ع
Wind ₂	-۰/۲۹**	-۰/۱۶	-۰/۰۸	-۰/۰۹
T-Value	م‌ع	م‌ع	۲/۰۹	م‌ع
CLOUD	-۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱
T-Value	۳/۸۷	م‌ع	م‌ع	م‌ع
DBS	۰/۲۹**	۰/۲۳	۰/۰۶	-۰/۰۱
T-Value	۴/۷۲	م‌ع	م‌ع	م‌ع

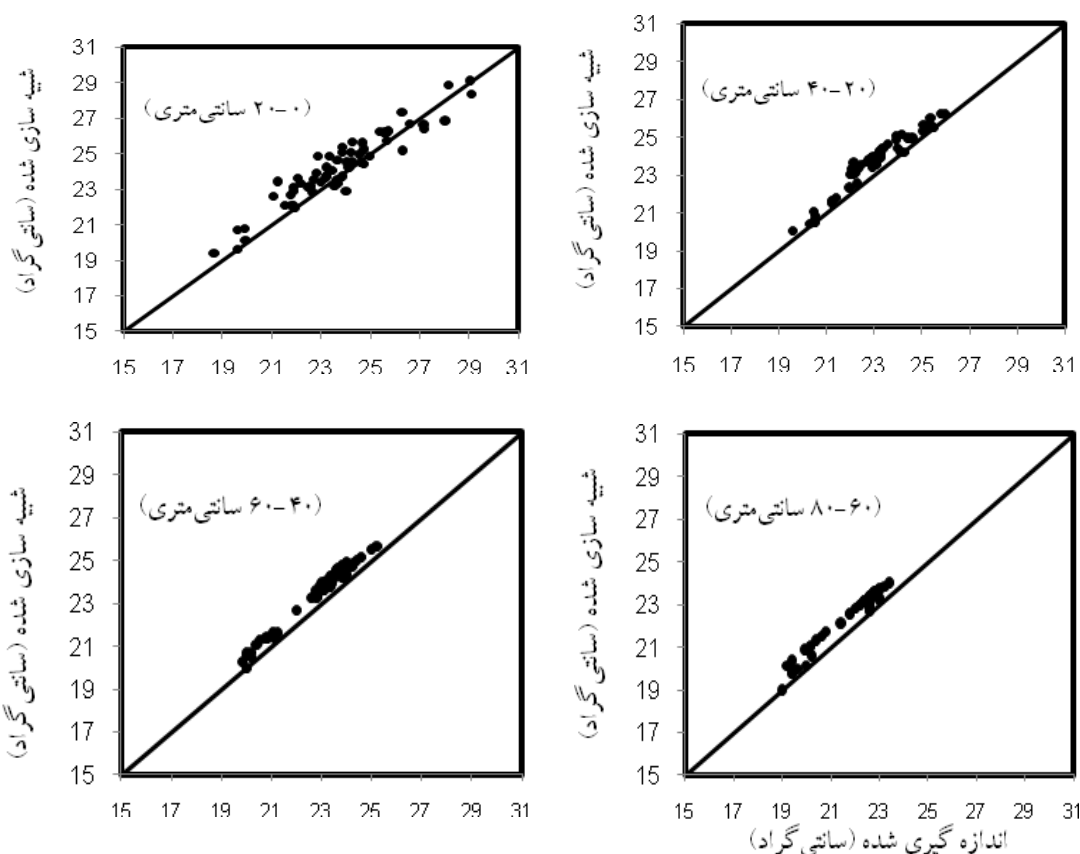
** معناداری ضریب همبستگی در سطح ۵ درصد

م‌ع عدم معناداری ضریب و حذف آن در روند انتخاب متغیر مستقل (روش گام‌به‌گام)

جدول ۶. نمایه‌های ارزیابی اعتبار مقادیر پیش‌بینی شده برای مدل COUP و مدل رگرسیونی در مقایسه با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده دمای عمق‌های خاک

نمایه‌های آماری					مدل	متغیر عمق (سانتی‌متر)
a_1^*	a_0^*	R^2	RMSE	d^*		
۰٫۹	۳٫۹	۰٫۹۰	۰٫۹	۰٫۹۶	COUP	دمای خاک ۰-۲۰
۰٫۸	۴٫۹	۰٫۷۹	۰٫۱	۰٫۹۴	REGE.	
۱٫۰	۰٫۵	۰٫۹۴	۰٫۸	۰٫۹۴	COUP	دمای خاک ۲۰-۴۰
۰٫۷	۶٫۷	۰٫۷۱	۰٫۸	۰٫۹۱	REGE.	
۱٫۰	-۰٫۳	۰٫۹۸	۰٫۷	۰٫۹۴	COUP	دمای خاک ۴۰-۶۰
۰٫۹	۳٫۱	۰٫۸۷	۰٫۵	۰٫۹۶	REGE.	
۱٫۰	۰٫۳	۰٫۹۷	۰٫۷	۰٫۹۳	COUP	دمای خاک ۶۰-۸۰
۰٫۹	۱٫۲	۰٫۹۴	۰٫۳	۰٫۹۹	REGE.	

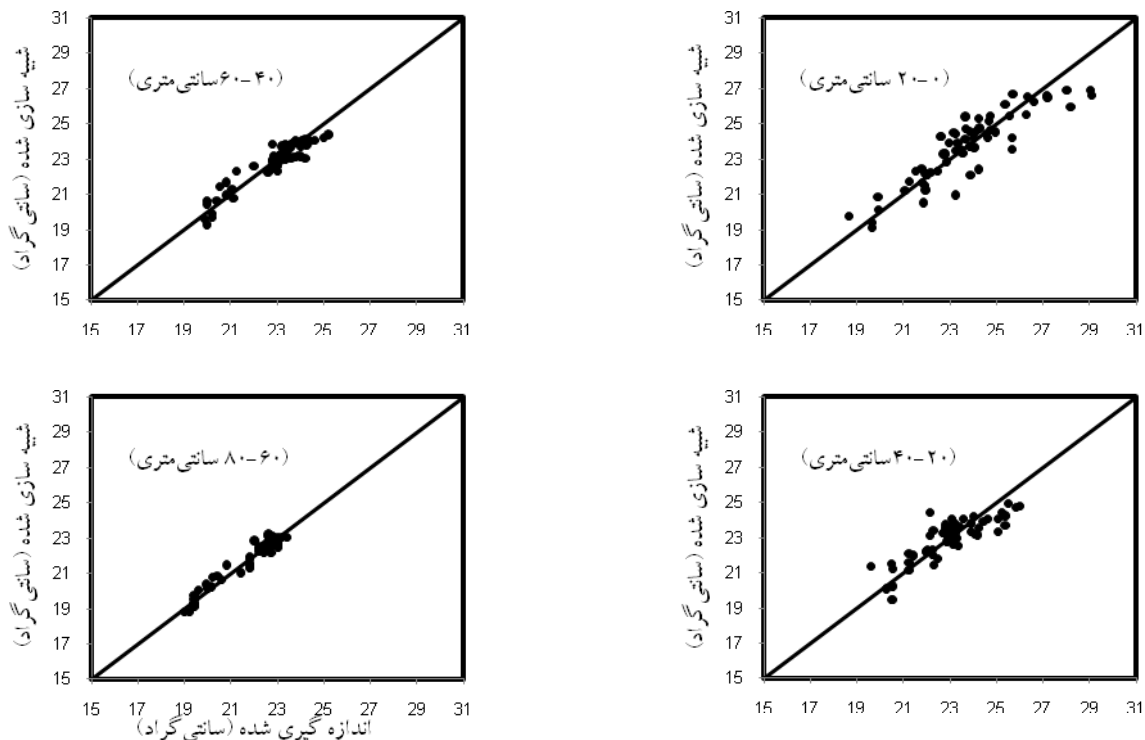
a_0^* عرض از مبدا a_1 شیب خط d نمایه توافقی



شکل ۱. مقایسه نتایج پیش‌بینی میانگین روزانه دمای خاک با مدل شبیه‌سازی COUP نسبت به مقادیر واقعی ثبت‌شده در عمق‌های a. ۲۰ تا ۰، b. ۲۰ تا ۴۰، c. ۴۰ تا ۶۰، d. ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری

اقلیم مورد نظر نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد (Fischer, 1983). در این پژوهش سعی شد، علاوه بر مقایسه مدل‌های ساده آماری با مدل شبیه‌سازی COUP، متغیرهای بیشتری جهت افزایش دقت پیش‌بینی وارد مدل رگرسیونی چندگانه شود؛ تا در صورت کسب نتیجه بهتر بتوان به دلیل سادگی این مدل‌ها نسبت به مدل‌های فیزیکی از آن بهره جست.

اختلاف نتایج مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده پیشین در مقایسه با نتایج پژوهش پیش رو تا حدودی قابل تأمل است. زیرا بدون در نظر گرفتن بافت و رطوبت و پوشش خاک نتیجه یکسانی نمی‌توان از مدل گرفت (Aldridge and Cook, 1983; MacLean and Ayres, 1985). مدل‌های شبیه‌سازی از دیدگاه فیزیکی محیط (آب، هوا، خاک، گیاه) در صورت واسنجی در



شکل ۲. مقایسه نتایج پیش‌بازی میانگین روزانه دمای خاک با مدل رگرسیونی چندگانه نسبت به مقادیر واقعی ثبت‌شده در عمق‌های a. ۰ تا ۲۰، b. ۲۰ تا ۴۰، c. ۴۰ تا ۶۰ تا d. ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی کرده و اثر افزایش رطوبت و کاهش دمای نیم‌رخ خاک را در زمان‌های آبیاری نشان داده است. با نگاه کلی به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و با در نظر گرفتن برآوردی بودن برخی پارامترهای گیاهی ورودی، نظیر LAI، می‌توان اظهار کرد مدل COUP از نظر فیزیکی نتایج بهتری ارائه کرده است. ولی جهت حصول به نتایج دقیق‌تر، آزمایش بیشتر و واسنجی مدل در اقلیم و پوشش‌های دیگر ضروری است. در مجموع نتایج این پژوهش نشان می‌دهد برای عمق‌های سطحی مدل COUP و برای عمق‌های پایین‌تر مدل رگرسیون چندگانه کارایی بهتری دارد.

اهمیت کاربست مدل‌های رگرسیونی چندگانه به‌ویژه در حالت افزایش متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده محیطی، که موجب بهبود دقت پیش‌بازی می‌شود، در این پژوهش به تأیید رسید. همچنین با مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل COUP می‌توان اظهار کرد این مدل کارایی لازم را جهت شبیه‌سازی دما دارد. اما برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، به‌خصوص در زمینه اثر نیم‌رخ رطوبتی در دمای خاک، باید واسنجی‌های بیشتری انجام داد و پارامترهای خاک را دقیق‌تر اندازه گرفت. با وجود این، حل توأمان رابطه گرما- رطوبت و اثر متقابل آن‌ها از خطاها کاسته است. مدل COUP به‌خوبی روند تغییرات دمایی نیم‌رخ خاک را

REFERENCES

- Adib abbasi, M. (2006). *Relations Soil Depth Temperature With Air Temperature (Screen) And Estimating Of Soil Frost Depth In Kurdistan Province*. M.sc. Thesis. Firdausi University.
- Aldridge, R. and Cook, F. J. (1983). *Estimation of soil temperatures at 0.1m and 0.3m depths*. New Zealand Soil Bureau Scientific Report. 62: 18p.
- Bachmann, J., Horton, R., Ren, T., and Van Der Ploeg, R. (2001). Comparison of the thermal properties of four wet table and four water- repellent soils, *Soil Science Society of American Journal*, 65, 1675- 1679.
- Beltrami, H. and Kellman, L. (2003). An examination of short and long-term air ground temperature COUpling. *Global and Planetary Change*. 38, 291-303.
- Chacko, P. T. and Renuka, G. (2002). Temperature mapping, thermal diffusivity and subsoil heat flux at Kariavattom of Kerala. *Proceedings of the Indian Academy of Science*, 111, 79-85.
- Chen, R. S., Kang, E. S., and Lu, S. H. (2006). A distributed water-heat coupled (DWHC) model for mountainous watershed of an inland river basin (II): model results using the measured data

- at the meteorological & hydrological stations. *Advances in Earth Science*, 21, (8), 819-829.
- Eckersten, H., Jansson, P. E., and Johnsson, H. (1998). SOILN Model, Version 9.2, User's Manual. Division of Hydromechanics, Communication 98:6. Swedish Agricultural University, Uppsala.
- Fischer, R. D. (1983). Models of simultaneous heat and moisture transfer in soils, Battelee, Columbus Laboratories, and ORNL/Sub/88-7800/1806.
- Fox, D. G. (1981). Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on dispersion models performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 62, 599-609.
- Gustafsson, D., Lewan, E., and Jansson, P. E. (2004). Modeling Water and Heat Balance of the Boreal Landscape—Comparison of Forest and Arable Land in Scandinavia. *Journal of applied meteorology*, 43, 1750-1767.
- Hasfurther, V. R. and Burman, R. D. (1974). Soil temperature modeling using air temperature as a driving mechanism. *Transactions of ASAE*, Paper No, 78-81.
- Hiraiwa, Y. and Kasubuchi, T. (2000). Temperature dependence of thermal conductivity of soil over a wide range of temperature (5-75°C). *European Journal of Soil Science*. 51, 211-218.
- Horton, R., Wierenga, P. J., and Nielsen, D. R. (1983). Evaluation of methods for determining the apparent thermal diffusivity of soil near the surface. *Soil Science of American Journal*, 47, 25-32.
- Hosseinzadeh Talaei, P. (2014). Daily soil temperature modeling using neuro-fuzzy approach. *Theor Appl Climatol*. DOI 10.1007/s00704-013-1084-9.
- Irannejad, P. and Shao, Y. (2002). Land-surface Processes, in: Peng, G. and Shao, Y. (eds), *Environment Modeling and Prediction*. Springer-Verlag Germany, 173-213.
- Jafari Golestan, M., Raeini Sarjaz, M., and Ziatabar Ahmadi, M. Kh. (2007). Estimation of soil depth temperatures using curve analysis and regression models for City of Sari (Iran). *Journal of Agricultural Sciences And Natural Resources*. 14(5), 112-123.
- Jansson, P. E. (1998). Simulating Model for Soil Water and Heat Conditions, Division of Hydromechanics, Communication 98:2. Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, Sweden.
- Jansson, P. E. (2005). Simulation of Soil Temperature and Moisture Dynamics for Different Rainfall Conditions in Northeast China. Proceedings of the 3rd International Symposium on Intelligent Information Technology in Agriculture (ISIITA), Part Three Agriculture System Simulation, 293-296.
- Jansson, P. E. and Moon, D. S. (2001). A COUPled model of water, heat and mass transfer using object orientation to improve flexibility and functionality. *Environmental Modeling and Software*, 16, 37-46.
- Khalili, A., Rahimi, H., and Aghashariatmadar, Z. (2012). Validation of SHAW model in determination of maximum soil frost penetration depth in typical arid and semi-arid zones of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 14, 1185-1192.
- Lipiec, J., Usowicz, B., and Ferrero, A., (2007). Impact of soil compaction and wetness on thermal properties of sloping vineyard soil. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 3837-3847.
- Luo, V., Loomis, R. S., and Hsiao, T. C. (1992). Simulation of soil temperature in crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 61, 23-38.
- MacLean Jr, S. F. and Ayres, M. P. (1985). Estimation of soil temperature from climatic variables at Barrow, Alaska, USA. *Arctic & Alpine Research*. 17, 425-432.
- Muller, G. and Doring, J. (1989). Berechnungsverfahren for die temperature in unbewachsenem boden. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde*, Berlin, 33, 385-391.
- Norooz Valashedi, R., Ghahreman, N., and Irannejad, P. (2012). Evaluation of the COUP model simulations of the soil moisture and temperature under maize canopy and bare soil. *Iranian Journal of Soil Research (Formerly Soil And Water Sciences)*. 26(1), 55-66.
- Philip, J. R. and de Vries, D. A. (1957). "Moisture Movement in Porous Materials under Temperature Gradients", *Trans. American Geophysical Union*, 38, 222-232.
- Plauborg, F. (2002). Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. *European Journal of Agronomy*, 17, 173-179.
- Pollack, H. N., Smerdon, J. E. and van Keken, P. E. (2005). Variable seasonal COUPling between air and ground temperatures: A simple representation in terms of subsurface thermal diffusivity. *Geophysical Research Letters*. 32, 15-40.
- Razi, M. A. and Athappilly, K. (2005). A comparative predictive analysis of neural networks (NNs), nonlinear regression and classification and regression tree (CART) models. *Expert Systems with Applications*. 29, 65-74.
- Roodenburg, J. (1985). Estimating 10-cm soil temperatures under grass. *Agricultural and Forest Meteorology*, 34, 41-52.
- Sabziparvar, A. A., Zare Abyaneh, H., and Bayat Varkeshi, M. (2010). A model Comparison Between Predicted Soil Temperatures Using ANFIS Model and Regression Methods in Three Different Climates. *Journal of Water and Soil*. 24(2), 274-285.
- Sanaeinejad, H., Adib abbasi, M., Musavi baygi, M., and Heydari, M. T. (2008). Relation Of Soil Depth And Air Temperature And Periodic Function In Kurdistan Province Weather Station.

- journal of Agriculture science. (water and Soil)*. 22, 25-33.
- Shaw, R. H. and Pereira, A. R. (1982). Aerodynamic roughness of a plant canopy: a numerical experiment. *Agricultural Forest Meteorology*, 26, 51-65.
- Watson, C. L. (1980). Seasonal soil temperature regimes in south-eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 18, 325-331.
- Wierenga, P. J., Nielsen D. R., and Hagan, R. M. (1969). Thermal properties of a soil based upon field and laboratory measurements. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 33, 354-360.
- Willmot, C. J. (1982). Some Comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63, 1309-1313.
- Wright, L. and Crew, J. T. (2000). Temperature and soil moisture regimes in and adjacent to the Fernow experimental forest. USDA. Research Paper.713, 1- 4.