

## Effect of Mulch on Soil Moisture, Temperature and Heat Flux Variation in the Presence of Shallow Groundwater

ASHKAN YUSEFI<sup>1</sup>, AHMAD FARROKHIAN FIROUZI<sup>1\*</sup>, MILAD AMINZADEH<sup>2</sup>

1. Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

(Received: March. 11, 2019- Revised: June. 29, 2019- Accepted: June. 30, 2019)

### ABSTRACT

Improving water efficiency in arid and semi-arid regions is an ongoing goal in agricultural production. Mulching is one of the important agronomic practices in conserving and modifying the soil physical environment. The objective of this research was to investigate the effect of mulch cover on soil temperature and water content in two sandy and loamy soil textures in the presence of shallow groundwater (60 cm). A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three factors (mulch, depth and soil texture). For this purpose, soil moisture content and temperature at different depths of 5, 10, 20, 30 and 50 cm were measured over 90 days. Soil heat flux was also calculated in this period. The results showed that the effect of mulch cover on soil moisture and temperature distribution in both soils was significant at 1% level with retaining a moisture content of 20-25% in surface layer (5 cm). These could be attributed to the role of mulch cover on shaping temperature equilibrium in soil profiles and reduction of surface evaporation. The interaction between the mulch and soil texture on soil temperature profile was also remarkable ( $p < 0.01$ ). Daily temperature fluctuations in the surface layer of loamy soil with and without mulch cover were measured 11 and 17.5 °C, and in the sandy soil, 14 and 18.5°C, respectively. Total heat flux in the 5-10 cm layer of loamy soil with mulch was approximately 40% less in comparison with the bare soil highlighting the effect of mulch cover on alternation of soil surface energy balance especially during daytime.

**Keywords:** Soil temperature, Water content, Shallow groundwater, Mulch, Bare soil.

## اثر مالچ بر تغییرات رطوبت، دما و شار گرمایی خاک در حضور سطح ایستابی کم عمق

اشکان یوسفی<sup>۱</sup>، احمد فرخیان فیروزی<sup>۱\*</sup>، میلاد امین زاده<sup>۲</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۴/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۴/۹)

### چکیده

یکی از اهداف اصلی بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، بهبود بهره‌وری از آب است. مالچ‌پاشی یکی از مهمترین اقدامات زراعی در حفظ رطوبت و اصلاح محیط فیزیکی خاک است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر مالچ (کاه و کلش) بر تغییرات رطوبت و حرارت در دو خاک با بافت‌های شنی و لومی با سطح ایستابی ثابت ۶۰ سانتی‌متر در مقیاس لایسی متر بوده است. بدین منظور آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور (مالچ، بافت و عمق خاک) انجام شد. مقدار رطوبت و دمای خاک در عمق‌های مختلف ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر در طول ۹۰ روز، اندازه‌گیری شدند. همچنین شار حرارتی خاک در طی بازه زمانی موردنظر، محاسبه شد. نتایج نشان داد که اثر پوشش مالچ بر توزیع رطوبت و حرارت در هر دو خاک در سطح یک درصد معنی‌دار است، به طوری که مالچ منجر به ذخیره ۲۵-۲۰ درصدی رطوبت در لایه سطحی (۵ سانتی‌متری) خاک گردید. دلیل افزایش رطوبت این است که پوشش مالچ باعث تعدیل دما در نیمرخ خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شود. علاوه، اثر متقابل مالچ و بافت خاک بر دمای نیمرخ خاک تأثیری چشمگیر داشت ( $p < 0.01$ ). دامنه تغییرات روزانه دما در خاک لومی در حضور و بدون حضور مالچ، ۱۱ و ۱۷/۵ درجه سلسیوس و در خاک شنی ۱۴ و ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد در لایه سطحی بود. نتایج همچنین نشان داد که مقدار کل شار حرارتی در لایه ۱۰-۵ سانتی‌متری سطحی در خاک لومی دارای پوشش مالچ در حدود ۴۰ درصد کمتر از شار حرارتی در خاک لخت بوده است که احتمالاً به دلیل سایه‌اندازی پوشش مالچ و تغییر بیلان انرژی روی سطح خاک در طول روز بوده است.

واژه‌های کلیدی: دمای خاک، رطوبت، آب زیرزمینی، مالچ، خاک لخت

### مقدمه

بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا به دلیل کمبود نزولات جوی و نرخ بالای تبخیر، با مشکل شدید کم‌آبی مواجه هستند (Li et al., 2000). براساس گزارش معاونت امور آب وزارت نیرو، میزان حجم بارش در ایران به طور متوسط حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب در سال است که ۲۷۰ میلیارد مترمکعب آن تبخیر و تعرق و ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آن در سال به عنوان آب‌های تجدیدپذیر (آب‌های سطحی و زیرزمینی) می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد (Rasoul zadeh and Rauof, 2013). علاوه بر این، در استان‌هایی مانند خوزستان مشکلات دیگری مانند بالا بودن سطح ایستابی و شوری آب زیرزمینی وجود دارند که موجب کاهش کیفیت این آب‌ها گردیده‌اند (Ramezani moghaddam et al, 2016). تبخیر از سطح خاک نیز باعث هدررفتن مقادیر زیادی از آب می‌گردد به نحوی که پس از آبیاری، به مرور آب سطحی تبخیر شده و املاح در آن باقی می‌ماند. در اثر تبخیر، آب زیرزمینی از عمق به سطح خاک آمده و منجر به تجمع املاح در

سطح خاک می‌گردد. به این ترتیب شوری آب و خاک منجر به- محدودیت رشد گیاهان می‌گردد (Tishehzan, 2011). در چنین مناطقی، یکی از روش‌های حفظ رطوبت خاک، تغییر در عملیات کشاورزی است. در بسیاری از مناطق برای دستیابی به این هدف، با شخم زدن خاک سطحی، ارتباط لوله‌های موئین درون خاک را قطع می‌نمایند و یا سطح خاک را با موادی مانند مالچ پوشش می‌دهند (Gyssels et al., 2005). مالچ به لایه متفاوتی از مواد گفته می‌شود که سطح خاک را از اتمسفر به منظور اعمال تغییرات مفید جدا می‌کند (Parmanik et al, 2015). از جمله این تغییرات، حفاظت از آب و خاک، افزایش عملکرد محصول با کنترل دما و رطوبت خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک است. مالچ‌پاشی روشی است که خاک را از تخریب فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محافظت و منجر به افزایش تولید محصول و افزایش بهره‌وری از آب می‌گردد. این روش شامل قرار دادن مواد آلی یا غیرآلی در سطح خاک است تا محیط مطلوب‌تری برای رشد گیاه فراهم شود (Kamal and Singh, 2011). استفاده از مواد مالچی در کشاورزی

مستقیم سطح خاک با هوای آشفته و در نتیجه از طریق کاهش گرادیان فشار بخار، می‌توانند مقدار تبخیر را کاهش دهند (Acharya *et al.*, 2005). مالچ به صورت بقایای سطحی می‌تواند با ایجاد عایق‌بندی سطح خاک، بر دمای خاک اثر بگذارد. مواد مختلف مالچی همچنین باعث کاهش نوسانات دمای روزانه در لایه سطحی خاک می‌شوند. با این حال اثر مواد مالچی روی درجه حرارت خاک بسیار متغیر است و این بستگی به نوع و رنگ مالچ دارد. فیلم مالچ‌های سیاه باعث افزایش درجه حرارت خاک می‌گردد (Ibarra *et al.*, 2012) در صورتی که مالچ با رنگ روشن‌تر از رنگ خاک لخت، منجر به کاهش دمای خاک می‌شود (Lamont, 1993).

انتقال حرارت و رطوبت در خاک یک فرآیند فیزیکی است. به همین دلیل لازم است فیزیک محیط خاک و عواملی که در تشکیل آن دخالت دارند، مورد بررسی قرار گیرند. شناخت این محیط می‌تواند کمک مؤثری در تهیه زمین و آماده نمودن آن برای انتقال گرما و بهره‌برداری بیشتر از عوامل محیطی نموده و در مدیریت مزرعه و برداشت محصول کمک شایانی نماید. از طرفی، بسیاری از مناطق خوزستان با مشکل سطح ایستابی کم عمق مواجه هستند. این امر منجر به افزایش تبخیر و تجمع املاح در سطح خاک می‌گردد. بنابراین حفظ رطوبت و کاهش تبخیر سطحی می‌تواند نقش کلیدی در این مناطق داشته باشد. با این حال، تاکنون مطالعات اندکی در ارتباط با بررسی تغییرات توام حرارت و رطوبت در خاک در حضور آب زیرزمینی کم عمق و مالچ انجام شده است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تغییرات درجه حرارت و رطوبت در حضور آب زیرزمینی کم عمق در دو خاک شنی و لومی و همچنین ارزیابی اثر پوشش مالچ کاه و کلش بر این تغییرات در خاک در مقایسه با خاک بدون پوشش بوده است.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش از تاریخ ۱۳۹۷/۴/۱ تا ۱۳۹۷/۶/۳۱ با حداکثر پتانسیل دما و تبخیر در مقیاس لایسی‌متری در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷ متر از سطح دریا اجرا گردید. مطابق با اطلاعات ایستگاه هواشناسی، متوسط سالانه دما ۲۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه ۲۴۳ میلی‌متر و اقلیم منطقه مطابق با اقلیم نمای امبرژه بیابانی گرم میانه است. همچنین اهواز دارای تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های معتدل و کوتاه است (Khuzestan

دارای مزیت‌های متعددی هستند، این مواد با حفظ رطوبت، منجر به افزایش بهره‌وری از آب می‌گردند. با این وجود، مقدار رطوبت خاک تحت کاربرد مالچ‌های مختلف، مشابه نیست (Chakraborty *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2014). مالچ‌های آلی مانند کاه و کلش و بقایای چمن، عمدتاً به صورت یکنواخت در سطح خاک مزرعه پخش می‌شوند. استفاده از این مالچ‌ها به طور میانگین در حدود ۶-۴ تن در هکتار منجر به افزایش نگهداشت آب در خاک در مناطق گرمسیر می‌گردد (Lal, 1974). Akhtar *et al.* (2019) در پژوهش خود در شمال غرب چین دریافتند که استفاده از مالچ گندم منجر به نگهداشت ۷/۴٪ رطوبت خاک و کاهش ۳٪ دمای خاک در مزارع سویا گردیده است. نتایج Chen *et al.* (2019) نشان داد که استفاده از مالچ در جوی و پشته‌ها، باعث افزایش بهره‌وری آب و عملکرد سیب‌زمینی شده است. طبق گزارش (McMillen, 2013)، استفاده از مالچ کاه گندم، چمن و برگ تازه با ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر، باعث افزایش ۱۰ درصدی رطوبت خاک در مقایسه با خاک لخت شده است. از طرف دیگر، Ashrafuzzaman *et al.* (2011) بین مالچ‌های مختلف آلی از لحاظ حفظ رطوبت خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده نکردند. از سوی دیگر، 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 می‌دهد، بلکه می‌توان گفت میزان و جهت کلیه فرآیندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به دما است. دمای خاک در فرآیندهای تبخیر و تعرق، تهویه خاک، جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه، توسعه ریشه‌ها و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، انتقال و انحلال آلاینده‌ها و علف‌کش‌ها، شور شدن خاک (Grifoll *et al.*, 2005)، نفوذ و هدایت هیدرولیکی (Nassar and Horton, 1999) تأثیر دارد. همچنین دمای خاک ارتباط تنگاتنگی با عمق نفوذ یخبندان دارد که این امر در کشاورزی، سازه‌های زهکشی و شبکه‌های آبرسانی شهری نقش بسزائی دارد. رشد بهینه گیاه بستگی به دمای مطلوب خاک دارد، به گونه‌ای که میزان دمای خاک، زمان کاشت بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دمای خاک متأثر از عوامل متعددی از جمله توپوگرافی، تابش خورشید، دمای هوا، توزیع بارش، مقدار رطوبت خاک، نوع و ویژگی گرمایی خاک همانند ظرفیت گرمایی، ضریب رسانایی گرمایی و گرمای ویژه تأثیر می‌پذیرد (Najafi-*et al.*, 2008). Mood *et al.* (2008). مالچ با تغییر دمای خاک، منجر به تغییر رژیم‌های حرارتی خاک می‌گردد (Arora *et al.*, 2011; Pramanik *et al.*, 2015). مالچ‌ها به طرق مختلفی از جمله جلوگیری از تابش مستقیم خورشید به سطح زمین، ایجاد مانع فیزیکی برای ورود بخار آب به اتمسفر و جلوگیری از تماس

آفتابی و حداقل و حداکثر رطوبت نسبی را در بازه زمانی انجام آزمایش، نشان می‌دهد.

(Meteorological Organization, 2018). جدول (۱) پارامترهای هواشناسی شامل حداقل و حداکثر دمای هوا، سرعت باد، ساعات

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی در مدت زمان انجام آزمایش

	رطوبت نسبی (%)			دما (درجه سلسیوس)		
	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین
تیر	۶۸	۳	۱۹	۵۲/۴	۲۶/۹	۴۰/۶۵
مرداد	۳۷	۶	۱۵	۵۰/۲	۲۷/۶	۳۹
شهریور	۹۲	۸	۳۶	۴۸	۲۵	۳۷/۲۵

دانش بنیان و ندا فراهوش که سنسورهای حرارتی آن، مدل DS18B20 ضد آب با پوشش استیل، دارای قابلیت اندازه‌گیری دما در محدوده ۵۵- تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد است، استفاده شد (با دقت ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد). این سنسورها به صورت ثابت در نیمرخ خاک قرار داده شد و در بازه‌های زمانی یک ساعته با استفاده از دیتالاگر، دما در عمق‌های مذکور ثبت گردید.

باتوجه به این‌که در این آزمایش از دو خاک با بافت مختلف استفاده گردید، قبل از شروع آزمایش، کالیبراسیون پراب‌های TDR انجام شد. بدین ترتیب که پراب‌ها در داخل گلدان‌هایی مجزا و در داخل خاک مورد نظر قرار گرفتند و پس از خروج آب ثقی، اندازه‌گیری روزانه نمونه‌ها تا جایی که تغییرات رطوبت اندک باشد، ادامه یافت. هم‌زمان با اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه TDR، رطوبت خاک هر نمونه به روش مستقیم (وزنی) نیز اندازه‌گیری شد و در نهایت بهترین معادله بر داده‌های اندازه‌گیری شده برازش داده شد.

#### تعیین منحنی رطوبتی خاک

جهت تعیین منحنی رطوبتی دو بافت خاک، در مکش‌های کم از دستگاه Sandbox (مکش‌های ۰/۱، ۲/۵، ۱۰، ۳۱/۵ و ۶۱ سانتی-متر) و در مکش‌های زیاد از دستگاه صفحات فشاری (مکش‌های ۱۰۰، ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) استفاده گردید. پس از رسم منحنی رطوبتی، مدل van Genuchten (1980) بر داده‌های اندازه‌گیری شده برازش داده شد و پارامترهای آن به روش معکوس مدل به دست آمدند (شکل ۲).

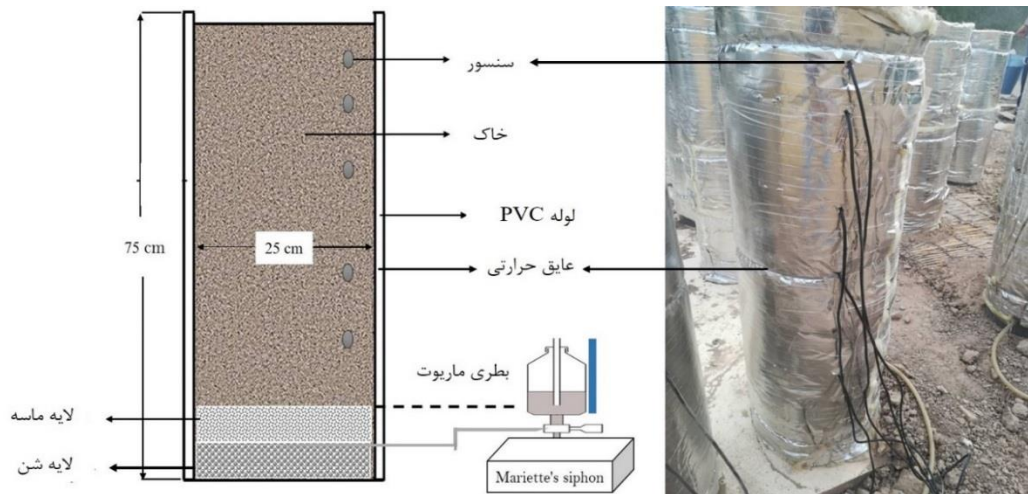
$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه؛  $\theta_s$  و  $\theta_r$  به ترتیب رطوبت باقی‌مانده و رطوبت اشباع، پارامتر  $\alpha$  تقریباً برابر عکس مکش در نقطه ورود هوا به خاک ( $\text{cm}^{-1}$ ) و  $n$  و  $m$  پارامترهای شکل منحنی هستند که  $m=1-1/n$  در نظر گرفته شد.

جهت انجام این پژوهش از لوله‌های PVC با قطر داخلی ۲۵ سانتی‌متر و طول ۷۵ سانتی‌متر به عنوان لایسی‌متر استفاده گردید. باتوجه به این‌که این لایسی‌مترها در سطح خاک قرار داشتند، به منظور جلوگیری از گرمای جانبی از عایق پشم شیشه استفاده شد. در این پژوهش با توجه به اجرای زهکش‌های زیرزمینی کم عمق در منطقه، عمق ۶۰ سانتی‌متر برای سطح ایستابی در نظر گرفته شد (Karimi and Naseri, 2012). به منظور ثابت نگهداشتن عمق سطح ایستابی از یک مخزن مدرج و از دستگاهی که براساس اصول سیستم بطری ماریوت کار می‌کرد و آب را از مخزن به وسیله لوله‌های رابط شفاف به درون لایسی‌مترها انتقال می‌داد، استفاده گردید. در قسمت انتهایی هر کدام از این ستون‌ها، لایه‌ای از شن و ماسه به عنوان فیلتر قرار داده شد تا جریان آب به سادگی به سمت لوله حرکت و از گرفتگی منافذ لوله جلوگیری به عمل آید. برای کمتر شدن جریان ترجیحی در دیواره داخلی لایسی‌مترها، داخل بدنه هر کدام از این لوله‌های PVC چسب اندود و لایه نازکی از شن ریز به داخل آنها چسبانده شد. سپس لایسی‌مترها به طور همگن با خاک پر گردیدند (Gowing et al, 2009). در شکل (۱) نمای کلی از این لایسی‌مترها مشاهده می‌گردد. این پژوهش در دو خاک با بافت مختلف که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آنها در جدول (۲) آمده است و در دو سطح پوشش خاک (با و بدون مالچ) انجام گردید. در این آزمایش از کاه و کلش گندم به مقدار ۳/۵ تن در هکتار به عنوان مالچ، استفاده گردید.

#### اندازه‌گیری دما و رطوبت خاک:

برای اندازه‌گیری تغییرات رطوبت در نیمرخ خاک، در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک، از سنسورهای دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتال خاک (TDR) مدل HD2 ساخت شرکت ایمکو آلمان که قابلیت اندازه‌گیری هم‌زمان شوری، رطوبت و دما را دارد، استفاده گردید. همچنین برای بررسی دقیق‌تر تغییرات دمایی، از دستگاه طراحی شده توسط شرکت



شکل ۱- نمای کلی لایسی مترهای مورد مطالعه در این پژوهش

### تئوری مدل

شار حرارتی در خاک، توسط معادله زیر توصیف می‌شود (Cahill and Parlange, 1998):

$$q_h = -\lambda \nabla T + \rho L q_v + c_{pl} \rho (T - T_0) q_m \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن،  $q_h$  شار حرارتی ( $W m^{-2}$ )،  $\lambda$  هدایت حرارتی خاک ( $W m^{-1} K^{-1}$ )، دما  $T$  (K)، چگالی آب ( $kg m^{-3}$ )،  $L$  گرمای نهان بخار آب ( $2.45 \times 10^6 J kg^{-1}$ )،  $c_{pl}$  گرمای ویژه آب ( $4182 J kg^{-1} K^{-1}$ )،  $T_0$  دمای مبنا (K)،  $q_v$  شدت جریان بخار آب و  $q_m$  شدت جریان رطوبت کل ( $m s^{-1}$ ) هستند. بخش اول معادله شامل انتقال گرما به صورت هدایت در معادله فوریه ( $-\lambda \nabla T$ ) و دو قسمت دیگر بیان کننده انتقال گرما از طریق انتقال جرم است. قسمت  $\rho L q_v$  شامل انتقال گرما به وسیله بخار آب از یک لایه به لایه دیگر و قسمت  $c_{pl} \rho (T - T_0) q_m$  شامل انتقال گرما به وسیله جریان آب هستند (Cahill and Parlange, 1998).

جهت بررسی شار حرارتی در این پژوهش، نیاز به محاسبه مقدار هدایت حرارتی بود که متاثر از رطوبت و دما است. برای محاسبه هدایت حرارتی روش‌های متعددی وجود دارند که یکی از این روش‌ها، استفاده از رابطه (۳) است (Lu et al., 2011).

$$\lambda(\theta) = \lambda_c + \lambda_v = \lambda_c + L \alpha \eta D H_r \frac{d\rho^*}{dT} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن،  $\lambda(\theta)$  هدایت حرارتی خاک ( $W m^{-1} K^{-1}$ )،  $\lambda_c$  هدایت حرارتی از طریق جریان همرفت ( $W m^{-1} K^{-1}$ ) و  $\lambda_v$  هدایت حرارتی ایجاد شده از طریق گرمای نهان تبخیر ( $W m^{-1} K^{-1}$ )،  $\alpha$  میزان تخلخل خاک ( $m^3 m^{-3}$ )،  $D$  ضریب پخشیدگی بخار آب در هوا ( $m^2 s^{-1}$ )،  $\eta$  فاکتور فزاینده<sup>۱</sup> (بدون بعد)،  $H_r$  رطوبت نسبی و  $\rho^*$  چگالی بخار اشباع ( $kg m^{-3}$ ) هستند.

مقدار  $\lambda_c$  را می‌توان با استفاده از معادله ساده شده به صورت رابطه (۴) نوشت (Chung and Horton, 1987).

$$\lambda_c = b_1 + b_2 \theta + b_3 \theta^{0.5} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این رابطه،  $b_1$ ،  $b_2$ ،  $b_3$  پارامترهای تجربی هستند که به ویژگی‌های فیزیکی خاک بستگی دارند.  $\theta$  نیز مقدار رطوبت حجمی خاک است (Deb et al., 2011).

Chung and Horton (1987) مقدار ضرایب  $b$  را برای سه کلاس بافتی مشخص نمودند. مقادیر این ضرایب در نرم‌افزار HYDRUS-1D نیز وجود دارند. همچنین مقدار  $\eta$  با استفاده از معادله Cass et al. (1987) که به مقدار رطوبت بستگی دارد، محاسبه گردید.

$$\eta = 9.5 + 3 \frac{\theta}{\theta_s} - 8.5 \exp\left\{-\left[1 + \frac{2.6}{\sqrt{fc}}\right] \frac{\theta}{\theta_s}\right\}^4 \quad (\text{رابطه ۵})$$

که  $fc$  مقدار رس موجود در خاک،  $\theta$  مقدار رطوبت حجمی و  $\theta_s$  رطوبت اشباع هستند.

مشتق  $\rho^*$  در رابطه (۳) به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\frac{d\rho^*}{dT} = \frac{\rho^*}{T} \left[ \frac{4098.17T}{(T - 35.85)^2} - 1 \right] \quad (\text{رابطه ۶})$$

چگالی بخار اشباع با استفاده از رابطه (۷) محاسبه گردید (Novak, 2010).

$$\rho^* = \frac{1.323}{T} \exp\left(\frac{17.27T - 4717.3}{T - 35.85}\right) \quad (\text{رابطه ۷})$$

باتوجه به این که قسمت دوم معادله (۲) انتقال جرم است، جهت بررسی این امر، به مقدار کل رطوبت موجود در خاک که خود شامل شدت جریان آب ( $q_l$ ) و بخار آب ( $q_v$ ) می‌باشد، نیاز است. مقدار کل رطوبت با استفاده از معادله (۸) محاسبه می‌گردد.

$$q_m = q_l + q_v \quad (\text{رابطه ۸})$$

از معادله Philip and de Vries (1957) به صورت زیر تعریف می گردند:

$$D_{\theta v} = \frac{\alpha D_a v g \rho_v}{RT \rho_l} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

$$D_{Tv} = \eta \alpha D_a v \frac{d\rho_{vs}}{dT} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

در این روابط،  $\alpha$  تخلخل تهویه ای،  $v$  فاکتور انتقال جرم که تقریباً برابر با ۱،  $D_a$  ضریب پخشیدگی بخار آب در هوا و به صورت تابعی از دما،  $R$  ثابت جهانی گازها معادل  $(8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$ ،  $\rho_{vs}$  چگالی بخار اشباع،  $g$  ثابت گرانش  $(980 \text{ cm s}^{-2})$  و  $\eta$  فاکتور فزاینده هستند.

### روش تجزیه و تحلیل داده ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل بافت خاک (شنی و لومی)، مالچ (۰ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمربع کاه و کلش) و عمق خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی متر) بودند. مقدار رطوبت و دمای خاک در این عمق ها به مدت سه ماه اندازه گیری شدند. تجزیه و تحلیل نتایج به وسیله نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. آزمون مقایسه میانگین ها به روش دانکن انجام شد. همچنین برای رسم نمودارها و شکل ها از برنامه Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده گردید.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه گیری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک های مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده اند. مطابق این جدول و شکل منحنی رطوبتی، مقدار رطوبت اشباع ( $\theta_s$ ) در دو خاک لومی و شنی به ترتیب ۴۷ و ۳۶ درصد حجمی و رطوبت باقی مانده ( $\theta_r$ )، ۱۱ و ۱ درصد حجمی بوده است.

مقدار شدت جریان آب به دو بخش همدمما و غیرهمدمما تقسیم گردید که مقدار کلی آن با استفاده از رابطه زیر تعریف شد.

$$q_l = -D_{\theta l} \nabla \theta - D_{Tl} \nabla T - K \quad (\text{رابطه ۹})$$

که در آن،  $\theta$  رطوبت حجمی،  $D_{\theta l}$  پخشیدگی رطوبت در شرایط همدمما  $(\text{m}^2 \text{ s}^{-1})$ ،  $D_{Tl}$  پخشیدگی رطوبت در شرایط غیرهمدمما،  $\nabla \theta$  گرادیان رطوبتی،  $\nabla T$  گرادیان دما و  $K$  هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک  $(\text{m s}^{-1})$  است (Philip and de Vries, 1957). مقدار هدایت هیدرولیکی غیراشباع آب در خاک با استفاده از معادله van Genuchten (1980) به دست آمد.

مقدار پخشیدگی رطوبتی در شرایط همدمما با استفاده از معادله (۱۰) به صورت زیر بیان می گردد:

$$D_{\theta l} = K \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

بخشی از پخشیدگی رطوبت ناشی از تغییرات دما است که این تغییرات دما روی کشش سطحی آب اثر می گذارد. مقدار پخشیدگی در شرایط غیرهمدمما با استفاده از معادله (۱۱) به دست آمد.

$$D_{Tl} = K \gamma \phi \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آن،  $\psi$  پتانسیل ماتریک  $(\text{m})$  و  $\gamma$  تغییرات نسبی کشش سطحی متاثر از تغییرات دما هستند (Philip and de Vries, 1957).

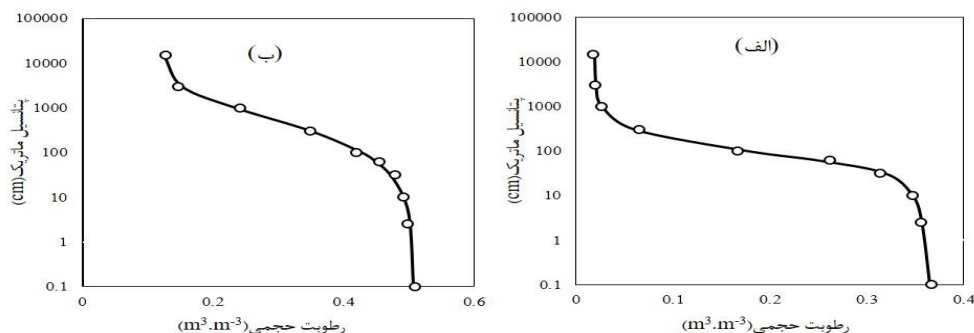
همچنین مقدار شدت جریان بخار آب نیز به دو بخش همدمما و غیرهمدمما تقسیم می گردند که خود نیز تابعی از مقدار رطوبت و دما در خاک هستند.

$$q_v = -D_{\theta v} \nabla \theta - D_{Tv} \nabla T \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

که در آن،  $D_{\theta v}$  و  $D_{Tv}$  ضرایب پخشیدگی بوده و با استفاده

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه

$\theta_r$	$\theta_{FC}$	$\theta_s$	$\rho_s$ ( $\text{g cm}^{-3}$ )	$\rho_b$ ( $\text{g cm}^{-3}$ )	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	pH	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	خصوصیات
۱۱٪	۲۳٪	۴۷٪	۲/۵۷	۱/۴۵	۲/۶	۷/۷۵	۲۲	۳۲	۴۶	خاک لومی
۱٪	۷٪	۳۶٪	۲/۶۵	۱/۵۹	۱/۸	۷/۵	۴	۸	۸۸	خاک شنی



شکل ۲- منحنی رطوبتی خاک شن (الف) و خاک لومی (ب)

### تغییرات رطوبتی خاک

داشته در صورتی که در همان عمق و در تیمار بدون مالچ (شکل ۴ب)، رطوبت ۵۰ درصد کاهش یافته است. این موضوع به دلیل این است که پوشش مالچ با کاهش مقدار تبخیر سطحی، منجر به حفظ و نگهداشت رطوبت در نیمرخ خاک شده است. در عمق ۱۰ سانتی متری از سطح خاک و با گذشت ۱۰ روز، رطوبت این لایه به ترتیب در حضور و عدم حضور مالچ (شکل ۴ الف و ب)، از ۲۸/۵۳ به ۱۹/۴۷ درصد و از ۲۸/۴۹ به ۱۸/۳۳ درصد رسیده است و در پایان دوره کاهش اندکی در رطوبت رخ داده است. در لایه ۲۰ سانتی متری کاهش رطوبت اندکی بین روزهای اول تا پنجم روی داد و در روز بیستم به ترتیب ۲۴ و ۲۷ درصد کاهش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۳) آمده است، بر اساس نتایج این جدول، تاثیر مالچ کاه و کلش، بافت و عمق خاک بر مقدار رطوبت حجمی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. بعلاوه اثرات متقابل نوع خاک (بافت) با پوشش و بافت با عمق خاک بر مقدار رطوبت خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. نتایج آزمون مقایسه میانگین نیز در شکل (۳) گزارش شده است. همان طوری که در شکل (۳- الف) ملاحظه می‌گردد، بین رطوبت حجمی دو خاک شنی و لومی در حالت با و بدون مالچ، تفاوتی معنی‌دار در سطح پنج درصد وجود دارد. به طور کلی مقدار رطوبت خاک لومی بیش از خاک شنی بوده و در هر دو خاک افزودن مالچ به سطح خاک به طور چشمگیری رطوبت خاک را افزایش داده است. کاه و کلش در سطح خاک، با ایجاد یک مانع بین اتمسفر و خاک منجر به کاهش تلفات تبخیر و در نتیجه حفظ رطوبت در نیمرخ خاک می‌گردد. TishehZan (2011) اظهار داشته است که کاربرد برگ خرد شده خرما به عنوان خاک پوش، سبب افزایش رطوبت و کاهش معنی‌دار تبخیر و تعرق می‌گردد. نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و عمق نیز نشان داد که در همه سطوح عمق خاک، تفاوتی معنی‌دار بین رطوبت حجمی دو خاک شنی و لومی وجود دارد. همچنین در هر دو خاک با افزایش عمق، مقدار رطوبت حجمی خاک افزایش یافت و این روند افزایشی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد مقدار رطوبت در خاک لومی در عمق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی متری به ترتیب ۳/۸۸، ۳/۴۵، ۲/۹۰، ۲/۸۰ و ۱/۳۸ برابر خاک شنی است که نسبت این تغییرات در لایه‌های سطحی بیش از لایه‌های نزدیک آب زیرزمینی می‌باشد. کم‌تر بودن رطوبت در خاک شنی، می‌تواند به دلیل عدم توانایی خاک شنی در نگهداشت رطوبت در مقایسه با خاک لومی باشد (شکل ۳ب). در پژوهشی گزارش شده است که استفاده از کاه و کلش گندم به عنوان یک لایه مالچی، باعث حفظ ۱۰۶ میلی متر رطوبت در نیمرخ خاک تا عمق ۲۰۰ سانتی متری در طول دوره کشت ذرت می‌گردد (Li et al., 2013).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر عمق و مالچ بر مقدار رطوبت و درجه حرارت

در دو خاک لومی و شنی		درجه آزادی	منبع تغییر
میانگین مربعات	رطوبت		
درجه حرارت			
۵۷/۳۶**	۸۱/۴**	۱	مالچ
۷/۲۶**	۳۰/۲**	۱	بافت
۹/۶۹**	۱۵۲/۹**	۴	عمق
۲۵/۷۵**	۶۹/۲۶**	۱	مالچ × بافت
۰/۵۶ <sup>ns</sup>	۹/۸۵*	۴	مالچ × عمق
۰/۴۶ <sup>ns</sup>	۴۲/۶۱**	۴	بافت × عمق
۰/۶۳ <sup>ns</sup>	۲/۵۴ <sup>ns</sup>	۴	مالچ × خاک × عمق
۲۷/۴۱ <sup>ns</sup>	۱/۲۵ <sup>ns</sup>	۲	تکرار
۰/۴۸ <sup>ns</sup>	۳/۷۴ <sup>ns</sup>	۳۸	خطا
۱/۶۶	۸/۳۹		ضریب تغییرات (/)

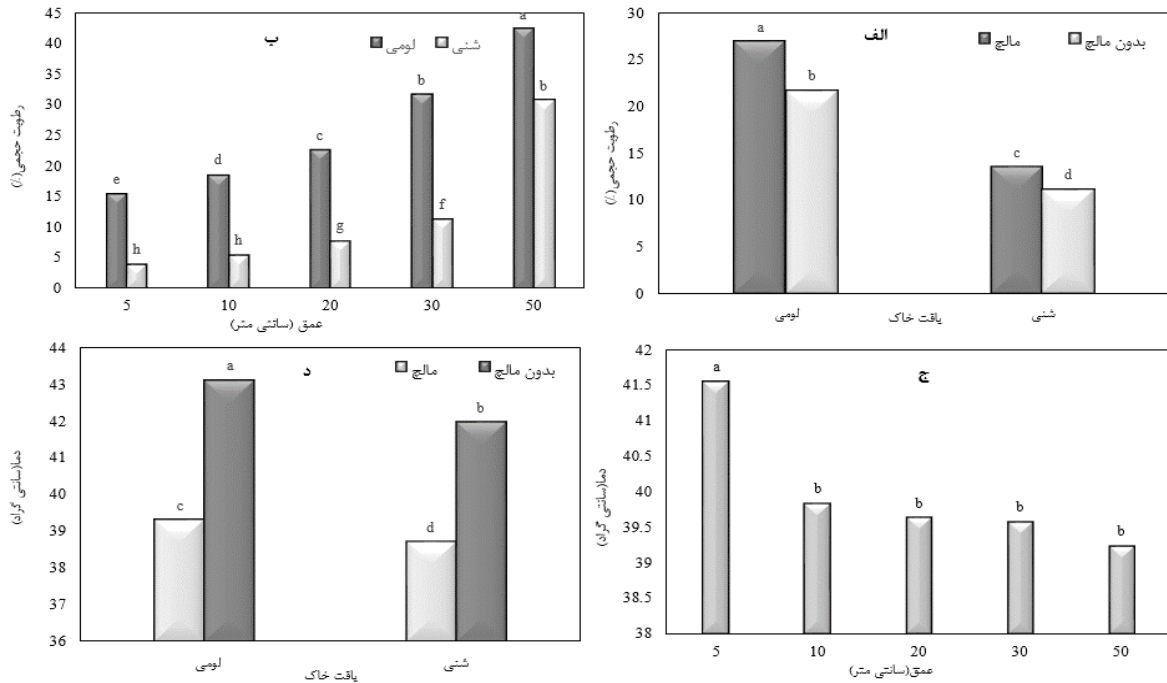
\* و \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار.

رطوبت با حضور و بدون حضور مالچ صورت پذیرفت و تا پایان آزمایش در همین حدود باقی ماند. در لایه‌های پایین‌تر تغییرات رطوبت تا پایان دوره آزمایش در هر دو تیمار اندک بود و تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقدار رطوبت خاک مشاهده نگردید (تقریباً در حدودی که هنگام شروع آزمایش بود، باقی ماند). دلیل آن احتمالاً نزدیک بودن به سطح ایستابی، خیزموئینگی و جبران کاهش رطوبت از سطح ایستابی در این ناحیه است. در خاک شنی و بدون پوشش مالچ (شکل ۴- د) تغییرات رطوبت در ۵ روز ابتدایی آزمایش در لایه ۵ سانتی متری سطحی خاک بسیار سریع بود و کاهش رطوبت به ۶۰ درصد رسید و در روز دهم به ۱/۶۵ درصد و تا پایان آزمایش ثابت ماند. مقدار رطوبت خاک در حضور مالچ (شکل ۳- ج) در ۵ روز ابتدایی ۴۱ درصد کاهش پیدا نمود. نتایج نشان داد که پوشش مالچ باعث حفظ و نگهداشت رطوبت در حدود ۲۰ درصدی در لایه سطحی خاک گردید. Kader et al. (2017) دریافتند که استفاده از کاه و کلش به عنوان مالچ باعث حداکثر نگهداشت آب در ۵ سانتی متر لایه سطحی خاک و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب می‌گردد. به طور مشابه، در لایه دوم

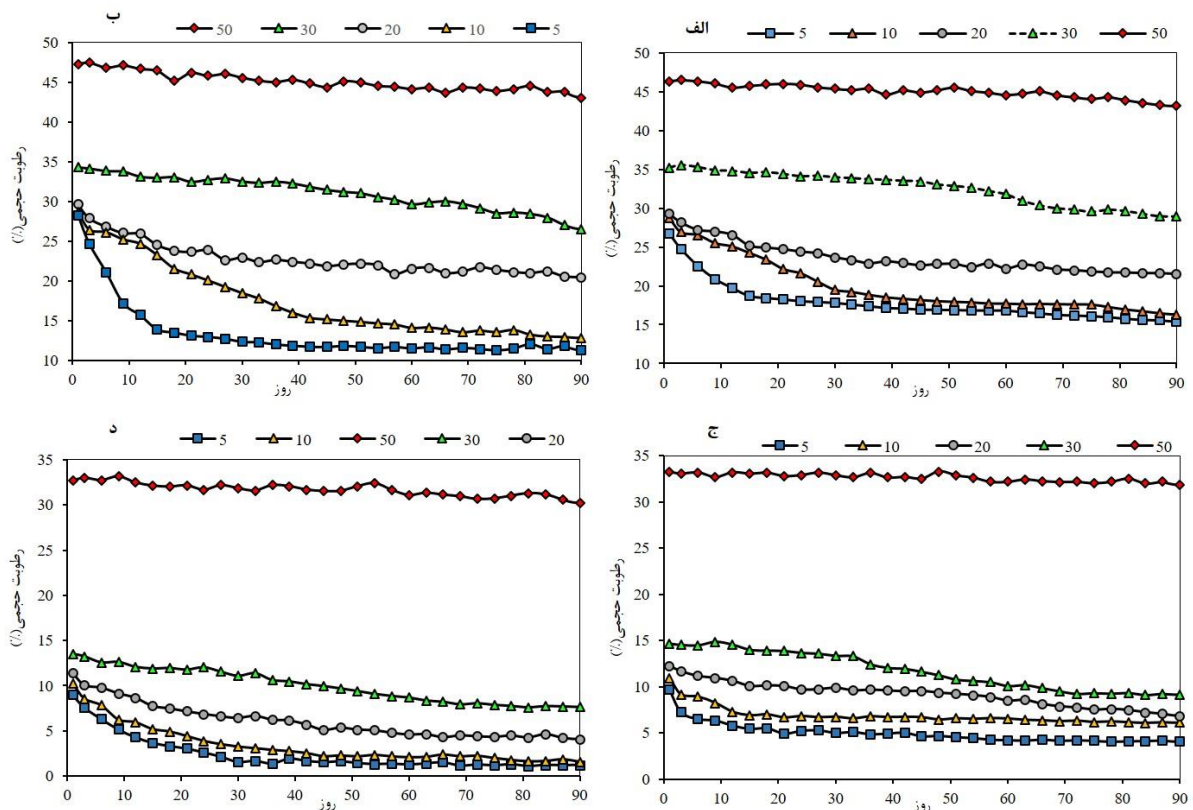
تغییرات روزانه مقدار رطوبت در دو خاک مختلف با حضور و بدون حضور مالچ در بازه زمانی ۹۰ روزه، در شکل (۴) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، مقدار رطوبت خاک با نزدیک شدن به سطح خاک کاسته شده است، اما شدت تغییرات در لایه‌های سطحی بیشتر از تغییر در لایه‌های نزدیک به سطح ایستابی بوده است. در شکل (۴- الف) مشاهده می‌گردد رطوبت حجمی در عمق ۵ سانتی متری خاک لومی، ۱۰ روز پس از شروع آزمایش، از ۲۶/۶۸ به ۱۸/۶۱ رسید و ۳۰ درصد کاهش رطوبت

تقریباً ثابت بود که مقدار آن در اعماق مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است و پوشش مالچ بر مقدار رطوبت لایه‌های پایین‌تر تقریباً بی‌اثر بوده است.

پس از روز پنجم، رطوبت ۳۶ و ۵۰ درصد به ترتیب در حضور و عدم حضور مالچ کاهش پیدا کرد. در لایه‌های زیرین (عمق پایین‌تر از ۲۰ سانتی‌متری) در هر دو تیمار خاک شنی، رطوبت خاک



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل بافت و عمق خاک (الف)، بافت و مالچ (ب) بر رطوبت خاک، اثر اصلی عمق (ج) و اثر متقابل بافت و مالچ (د) بر دمای خاک. میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) ندارند.



شکل ۴- تغییرات مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده (در ساعت ۱۰ صبح) در عمق‌های مختلف خاک لوم در حضور مالچ (الف) و عدم حضور مالچ (ب) و خاک شنی در حضور مالچ (ج) و عدم حضور مالچ (د).



## دمای خاک

توزیع دما در نیمرخ خاک متأثر از ویژگی‌هایی مانند بافت خاک، پوشش سطحی و شرایط اقلیمی اتمسفر مانند سرعت باد، دمای هوای مجاور خاک، تابش خورشید و مقدار بارندگی است (Holmes *et al.*, 2008). نتایج تجزیه واریانس اثر سه فاکتور مالچ، بافت و عمق خاک بر دمای خاک در جدول (۳) نشان داد که تأثیر مالچ، بافت و عمق خاک و همچنین اثر متقابل مالچ و بافت خاک بر دمای خاک معنی‌دار بوده است ( $p < 0.01$ ). نتایج آزمون مقایسه میانگین تأثیر عمق‌های مختلف بر میانگین دمای خاک در شکل (۳-ج) نشان داده شده است. مطابق این شکل، بیشترین میزان دما در عمق ۵ سانتی‌متر به دست آمد و میزان دما در این عمق با سایر عمق‌ها تفاوت معنی‌داری نشان داد، در صورتی‌که دمای عمق‌های ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متری با همدیگر تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل مالچ و بافت در شکل (۳-د) نشان داد که میانگین دمای نیمرخ دو خاک شنی و لومی در حالت با و بدون پوشش مالچ تفاوتی معنی‌دار در سطح یک درصد دارند. همچنین نتایج نشان داد از یک طرف، میانگین دمای خاک لومی به‌طور معنی‌داری بیش از خاک شنی بوده و از طرفی دیگر برای هر دو خاک، میانگین دمای خاک لخت بیش از خاک تحت تیمار مالچ بوده است. پوشش مالچ باعث کاهش مستقیم تابش خورشید به سطح خاک شده و این امر منجر به کاهش دما در نیمرخ خاک می‌شود. در پژوهشی Wu *et al.* (2016) با بررسی تأثیر مالچ‌های مختلف آلی و پلاستیکی بر دمای خاک، دریافته‌اند که کاه و کلش باعث کاهش معنی‌داری دمای خاک در مقایسه با خاک لخت شده است. براساس داده‌های اندازه‌گیری شده، حداکثر مقدار دما در روز ۲۱ تیرماه رخ داد که در لایه ۵ سانتی‌متری خاک لومی دارای پوشش و بدون پوشش به ترتیب، ۵۳/۲۵ و ۵۴/۷۵ درجه سلسیوس و در خاک شنی، ۵۲/۲۵ و ۵۴/۵ درجه سلسیوس بوده است. همچنین حداقل دما در روز ۳۰ شهریور مشاهده شد که این مقدار در خاک لومی در حضور و بدون حضور مالچ به ترتیب ۲۷/۲۵ و ۲۶/۵ درجه سلسیوس و در خاک شنی به ترتیب ۲۴/۵ و ۲۲/۷۵ درجه سلسیوس بوده است. تغییرات دما به‌صورت ساعتی در یک روز (روز دوم آزمایش)، در هر دو خاک با حضور و بدون حضور مالچ در شکل (۵) گزارش شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، نوسانات دما در تمام عمق‌های نیمرخ خاک سینوسی شکل است. بیشترین نوسانات دمایی در ۵ سانتی‌متری سطحی خاک است، به‌نحوی که دامنه تغییرات دما در خاک لومی در حضور و بدون حضور مالچ، ۱۱ و ۱۷/۵ درجه سلسیوس و در خاک شنی ۱۴ و ۱۸/۵ درجه سلسیوس بوده است. پوشش مالچ انرژی تابشی

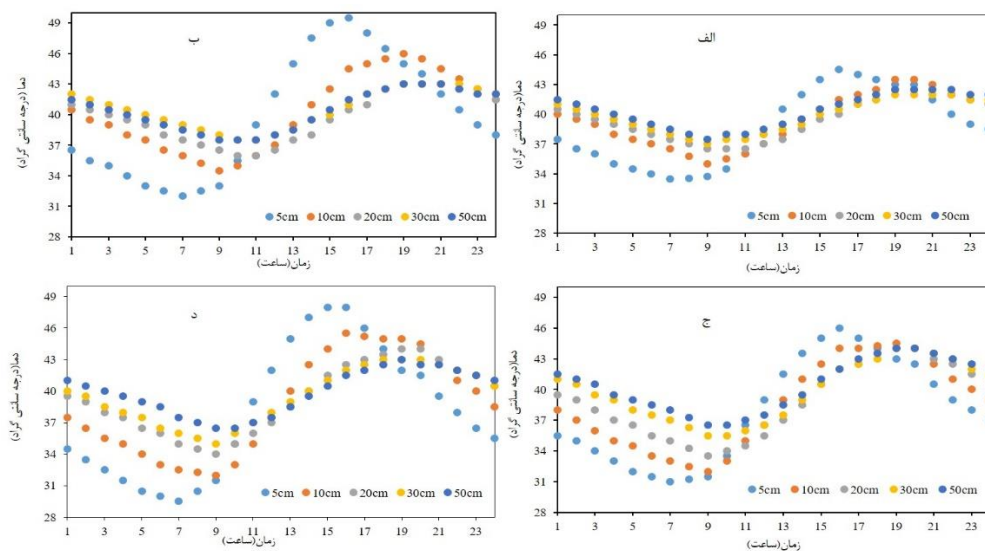
رسیده به سطح خاک و نیز تبادل گرمای محسوس و نهان بین سطح و جریان هوا را محدود می‌کند و منجر به کاهش نوسانات دمایی در تیمارهای دارای پوشش مالچ می‌شود. همچنین مطابق این شکل، حداکثر دما در تیمارهای مختلف در حد فاصل ساعات ۱۵-۱۶ و حداقل دما در ساعت ۷ صبح مشاهده شده است. از این رو حداکثر دما به‌طور متوسط بعد از یک تاخیر ۳ ساعته از لایه‌های سطحی (۵ سانتی‌متر) به لایه‌های زیرین (۵۰ سانتی‌متر) پروفیل خاک می‌رسد و حداقل دما نیز با تاخیر ۳-۲ ساعته به لایه‌های پایین‌تر انتقال پیدا نمود که این تاخیر زمانی در بعدازظهر نسبت به تابش خورشیدی، عمدتاً به دلیل تفاوت در ویژگی حرارتی و رطوبت لایه‌های مختلف است. Mengistu *et al.* (2018) با بررسی توزیع دما در لایه‌های مختلف در حضور آب زیرزمینی کم‌عمق دریافته‌اند که با افزایش عمق آب زیرزمینی، دما در لایه‌های مختلف افزایش پیدا نمود. نتایج همچنین نشان داد که پوشش مالچ در خاک لومی و شنی نسبت به خاک لخت، میزان نوسانات در ۵ سانتی‌متر سطحی خاک را به ترتیب ۳۷ و ۲۴ درصد کاهش داد. در لایه‌های زیرین میزان نوسانات روزانه درجه حرارت از سطح به عمق خاک، به آرامی کاهش پیدا نمود و این تغییرات در هر دو خاک در حضور و بدون حضور مالچ تقریباً یکسان بوده است، به‌طوری‌که در عمق ۵۰ سانتی‌متری این نوسانات در خاک لومی و شنی به ترتیب در حدود ۵/۵ و ۷ درجه سلسیوس بوده است که می‌توان به تأثیر وجود آب زیرزمینی کم عمق نیز اشاره کرد که موجب خنک شدن لایه‌های زیرین می‌گردد. در هر دو خاک لومی و شنی، تغییرات درجه حرارت در پروفیل خاک‌های مرطوب‌تر (وجود مالچ) کمتر از خاک خشک (بدون حضور مالچ) است. طی پژوهشی Ruzic *et al.* (2014) بیان نمودند که در خاک خشک، تابش ورودی با گرمای سطحی خاک (همرفت و شار گرمایی) در تعادل است در حالی‌که در خاک مرطوب، بخشی از تابش ورودی برای تبخیر مورد استفاده قرار می‌گیرد و اثر خنک‌کنندگی بر سطح خاک دارد.

## شار حرارتی خاک

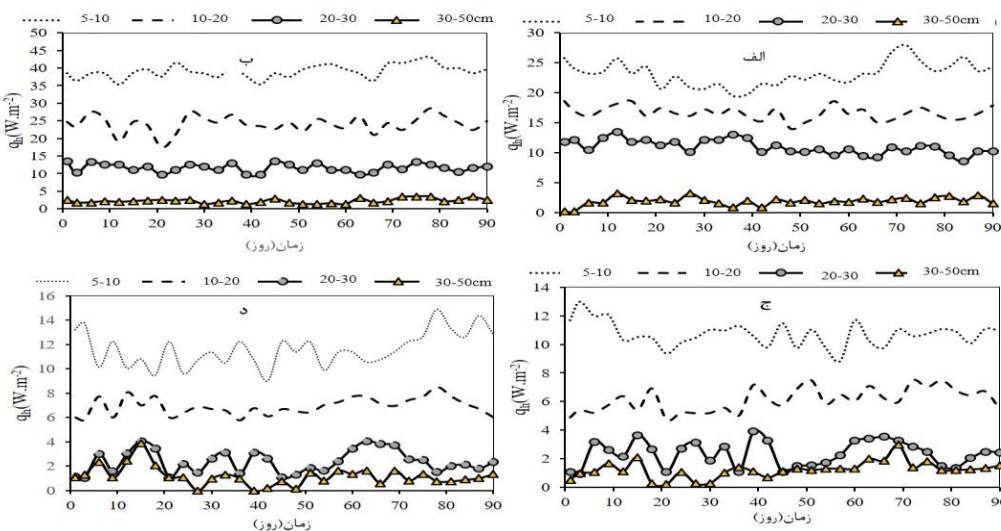
نوسانات روزانه دمای هوا و تابش خورشید از پارامترهای موثر در انتقال گرما و رطوبت بین لایه‌های مختلف خاک هستند (Aminzadeh and Or, 2014). تغییرات شار حرارتی در ساعت ۱۰ صبح در دو خاک با بافت مختلف در حضور و بدون حضور پوشش مالچ در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد در خاک لومی مقدار شار حرارتی و همچنین نوسانات آن در لایه ۵-۱۰ سانتی‌متری سطحی خاک در حضور (شکل ۶-الف) و بدون حضور پوشش مالچ (شکل ۶-ب) بیش از سایر لایه‌ها بوده است، به‌طوری‌که در این خاک و در حضور مالچ، مقدار شار حرارتی در

بازتابشی) اثر می‌گذارند. نتایج حاصل از شار حرارتی در خاک شنی (شکل ۶- ج و د) در لایه ۱۰-۵ سانتی‌متری نیز نشان داد که میانگین این مقدار در هر دو تیمار با و بدون پوشش مالچ، در حدود ۱۰/۷۳ و ۱۱/۶۲ وات بر مترمربع می‌باشد. علت تفاوت اندک بین مقدار شار حرارتی در هر دو تیمار در خاک شنی، با- توجه به این‌که هدایت حرارتی به مقدار رطوبت و دمای خاک بستگی دارد، احتمالاً مقدار رطوبت بسیار اندک در لایه‌های سطحی خاک است. انتقال حرارت در خاک در اعماق مختلف عمدتاً به نوع خاک، مقدار رطوبت آن، دمای هوا، ساعات آفتابی و جنس سطح خاک بستگی دارد؛ در نتیجه میزان دما و گرمای اعماق مختلف خاک از لایه‌های به لایه دیگر، تغییر می‌کند. طی پژوهشی Mahdavi et al (2017) با بررسی اثر مالچ بر گرمای خاک دریافتند که مقدار کل گرما در خاک لخت سه برابر خاک دارای پوشش مالچ بوده است.

این لایه به ترتیب تقریباً ۱/۴۸، ۲/۱۶ و ۱۱/۵۶ برابر لایه‌های ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ و ۳۰-۵۰ سانتی‌متری بود و این مقدار در خاک لومی و عدم پوشش مالچ به ترتیب ۱/۶۱، ۳/۵ و ۱۷/۳۷ برابر بوده است. مقدار کل شار حرارتی در لایه ۱۰-۵ سانتی‌متری سطحی در خاک لومی دارای پوشش، حدود ۴۰ درصد کمتر از شار حرارتی در خاک لخت و بدون پوشش بوده است که این مقدار عمدتاً به دلیل سایه‌اندازی پوشش مالچ و تغییرات بیلان انرژی روی سطح خاک در طول روز می‌باشد. علی‌رغم حضور سطح ایستابی کم عمق و رطوبت بالا در لایه‌های زیرین، مقدار شار حرارتی در هر دو تیمار تقریباً ناچیز بوده که نشان‌دهنده تبادل انرژی محدود با لایه‌های سطحی خاک است. Montague and Kjelgren (2004) بیان نمودند که مالچ‌های آلی روی سطح خاک همانند عایق حرارتی عمل نموده زیرا ضریب آلبدو مالچ‌ها نسبت به خاک لخت بیشتر است و در نتیجه روی تعادل امواج (تابشی و



شکل ۵- تغییرات روزانه دما در نیمرخ خاک لومی با پوشش (الف) و بدون پوشش (ب) و خاک شنی با پوشش (ج) و عدم پوشش (د) مالچ.



شکل ۶- تغییرات شار حرارتی محاسبه شده در لایه‌های مختلف خاک لومی در حضور (الف) و عدم حضور مالچ (ب) و خاک شنی در حضور (ج) و عدم حضور مالچ (د).

حداقل و حداکثر دما در تیمارهای مختلف، بعد از یک تاخیر ۳ ساعته از لایه‌های سطحی به لایه‌های زیرین نیمرخ خاک رسید. این تاخیر زمانی عمدتاً به دلیل تفاوت در ویژگی‌های حرارتی و رطوبتی لایه‌های مختلف خاک است. مقدار شار گرمایی خاک لومی در دو تیمار با و بدون پوشش مالچ در لایه‌های سطحی، دارای تفاوت بسیار زیادی بود، در صورتی که در خاک شنی تفاوت محسوسی بین تیمارها مشاهده نگردد. باتوجه به این که انتقال گرما و رطوبت در خاک به صورت توام انجام می‌پذیرد و از طرفی، هدایت حرارتی به مقدار رطوبت و دمای خاک بستگی دارد، بنابراین رطوبت کم در لایه‌های سطحی خاک شنی از دلایل تفاوت اندک بین مقدار شار گرمایی در هر دو تیمار است. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از خاک‌پوش آلی از طریق حفظ و ذخیره رطوبت و همچنین تعدیل درجه حرارت در نیمرخ خاک، باعث افزایش بهره‌وری از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. به همین منظور پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی تاثیر مالچ و نوسانات سطح آب زیرزمینی بر مقدار تبخیر از سطح خاک و وضعیت رشدی گیاهان بررسی گردد.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (طرح پژوهشی شماره ۹۷۰۱۱۳۳۹) به دلیل حمایت‌های مالی و سایر کمک‌هایشان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

### نتیجه‌گیری کلی

اطلاع از مکانیزم انتقال گرما و رطوبت در خاک برای شناخت از اکوسیستم‌های مختلف و محیط‌های خاکی امری ضروری است. این انتقال به‌همراه نوسانات دمایی و رطوبتی در نیمرخ خاک در فرآیندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی که در خاک اتفاق می‌افتد، نقش کلیدی دارد. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات رطوبت، دما و شار گرمایی در دو خاک شنی و لومی با و بدون خاک‌پوش و در حضور سطح ایستایی کم عمق انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که بافت خاک و پوشش مالچ از عوامل تاثیرگذار بر تغییرات رطوبتی در نیمرخ خاک هستند. تغییرات رطوبت در لایه‌های سطحی خاک لومی نسبت به خاک شنی در روزهای ابتدایی آزمایش، کمتر بود که از دلایل آن، می‌توان به درصد رس بیشتر و جریان رو به بالای ناشی از خیز موئینگی اشاره نمود. در لایه‌های پایین تر تغییرات رطوبت تا پایان دوره آزمایش در هر دو خاک اندک بوده و تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقدار رطوبت خاک مشاهده نگردید و تقریباً در حدودی که هنگام شروع آزمایش بود، باقی ماند. همچنین نتایج نشان داد که مالچ به‌کار رفته در این پژوهش، تاثیر معنی‌داری بر دمای خاک داشته است. در واقع پوشش مالچ باعث کاهش تابش مستقیم نور خورشید به سطح خاک شده، که این امر منجر به کاهش دما در نیمرخ خاک گردید. باتوجه به این که رژیم گرمایی در خاک با کنترل ورودی-های انرژی به خاک و فرآیندهای تبادل گرما مشخص می‌شود،

### REFERENCES

- Acharya, C.L., Hati, K.M., Bandopadhyay, K. K (2005) Mulches In: Hillel et al. Encyclopedia of Soils: in the Environment: Elsevier publication. 4, 521-532.
- Akhtar, K, Wang, W., Khan, A., Ren, G., Afridi, M.Z., Feng, Y. (2019). Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. *Agricultural Water Management*, 211 (1), 16-25.
- Aminzadeh, M., Or, D. 2014. Energy partitioning dynamics of drying terrestrial surfaces. *Journal of Hydrology*, 519, 1257-1270.
- Arora, V.K., Singh, C.B., Sidhu, A.S., Thind, S.S. (2011). Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. *Agricultural Water Management*. 98, 563-568.
- Ashrafuzzaman, M., Abdulhamid, M., Ismail, M.R., Sahidullah, S.M., (2011). Effect of plastic and straw mulch on growth and yield of chilli (*Capsicum annum* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54, 321-330.
- Cass A, Campbell, G.S, Jones, T.L, (1987). Enhancement of thermal water vapor diffusion in soil. *Soil Science Society American Journal*, 48(1): 25-32.
- Cahill, A.T., Parlange, M., (1998). On water vapor transport in field soils. *Water Resources Research*. 34(4), 731-739.
- Chakraborty, D., Nagarajan, S., Aggarwal, P., Gupta, V.K., Tomar, R.K., Garg, R.N., Sahoo, R.N., Sarkar, A., Chopra, U.K., Sarma, K.S.S., Kalra, N., (2008). Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agriculture Water Management*. 95, 1323-1334.
- Chen, Y., Chai, S., Tian, H., Chai, H., Li, Y., Cheng, L., Cheng, H. (2019). Straw strips mulch on furrows improves water use efficiency and yield of potato in a rain fed semiarid area. *Agricultural Water Management*, 211(1), 142-151.
- Chung S O, Horton, R. (1987). Soil heat and water flow with a partial surface mulch. *Water Resource Research*, 23(12), 2175-2186.
- Deb, S. K., Shukla, M. K, Sharma P, Mexal J. G, (2011).

- Coupled liquid water, water vapor, and heat transport simulations in an unsaturated zone of a sandy loam field. *Soil Science*, 176(8), 387–398.
- Gowing, J.W., Rose, D.A., and Ghamarnia, H. 2009. The effect of salinity on water productivity of wheat under deficit irrigation above shallow ground water. *Agricultural Water Management*. 96(3): 517-524.
- Grifoll, J., Gasto, J. M., Cohen, Y. (2005). Non-isothermal soil water transport and evaporation. *Advanced Water Resource*, 28, 1254–1266.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 29, 189–217.
- Holmes, T.R., Owe, M., De Jue, R.A., Kooi, H. (2008). Estimating the soil temperature profile from a single depth observation: A simple empirical heat flow solution. *Water resource research*. 44(2), 13-29.
- Ibarra, L., Valdez, L.A., Cárdenas, A., Lira, H., Lozano, J., Lozano, C. (2012). Influence of double cropping on growth and yield of dry beans with colored plastic mulches. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(2), 470–475.
- Kader, M.A., Senge, M., mojid, M. (2017). Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in central Japan. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(4), 302-308.
- Kamal, S and Singh, A.K. (2011), Effect of black plastic mulch on soil temperature and tomato yield, *Progressive Horticulture*, 43(2), 337-339.
- Karimi, Gh. and Naseri, A. (2012). Effect of Groundwater Salinity on Maize Water Requirements and Yield. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 13(1), 13-44. (In Farsi).
- Khuzestan Meteorological Organization, (2018). Technical Meteorological Newsletter. (In Farsi).
- Lal, R., (1974). Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and un-mulched tropical soils, *Plant and Soil*, 40, 129–143.
- Lamont, W.J., (1993). Plastic mulches for the production of vegetable crops. *Hort Technology* 3, 35–39.
- Li, X.Y., Gong, J.D., Wei, X.H., (2000). In-situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the dry semi-arid region of China. *Journal of Arid Environment*. 46, 371–382.
- Li, S.X., Wang, Z.H., Li, S.Q., Gao, Y.J., Tian, X.H. (2013): Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dry land areas of China. *Agricultural Water Management*, 116, 39–49.
- Lu, S., Ren, T., Yu, Z., Horton, R. (2011). A method to estimate the water vapour enhancement factor in soil. *European Journal of Soil Science*, 62(4), 498–504.
- Mahdavi, S.M., Neyshabouri, M.R., Fujimaki, H., Heris, A.M. (2017). Coupled heat and moisture transfer and evaporation in mulched soils. *Catena* 151, 34–48.
- McMillen, M., (2013). The Effect of Mulch Type and Thickness on the Soil Surface Evaporation Rate. *California Polytechnic State University, USA*.
- Mengistu, A.G., van Rensburg, L.D., Mavimbela, S.W., (2018). Shallow groundwater effects on evaporation and soil temperature in two windblown sands (Eutric Cambisol and Chromic Luvisol) in South Africa. *Geoderma Regional*, 15, e00190.
- Montague, T., and Kjelgren, R. (2004). Energy balance of six common landscape surfaces and the influence of surface properties on gas exchange of four containerized species. *Scientia Horticulture* 100, 229–249.
- Najafi-Mood, M.H., Alizadeh, A., Mohamadian, A., and Mousavi, J. (2008). Investigation of relationship between air and soil temperature at different depths and estimation of the freezing depth (Case study: Khorasan Razavi), *Journal of Water and Soil*. 22, 456-466. (In Farsi).
- Nassar, I.N. and R. Horton. (1999). Heat, water, and solute transfer in unsaturated porous media: I. Theory development and transport coefficient evaluation. *Transport in Porous Media*, 27, 39-55.
- Novak, M.D. (2010). Dynamics of the near-surface evaporation zone and corresponding effects on the surface energy balance of a drying bare soil. *Agricultural and forest Meteorology*, 150(10), 1358–1365.
- Pramanik, P, Bandyopadhyay, K, Bhaduri, D. Bhattacharyya, R. (2015). Effect of mulch on soil thermal regimes-a review, *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(3), 667-681.
- Philip, J.R and de Vries, D. A., (1957). Moisture Movement in Porous Materials under Temperature Gradients, *Eos Transactions, American Geophysical Union*. 39(5), 909-916.
- Ramezani moghadam, J., Naseri, A., Hooshmand, A., Meskar bashi, M. (2016). Lysimeter Study to Evaluate the Effects of Water Stress and Nitrogen Fertilizer on Maize in the Shallow Ground Water. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*. 39(3), 1-11 (in Farsi).
- Rasoulzadeh, A.S. and Rauof, M. (2013). *General irrigation*. Iran. (In Persian).
- Ruzic, I., Bulic, H.I. (2014). Influence of soil moisture and dynamic vegetation coupling on numerical simulations of surface temperature, precipitation and evaporation over the Europe. *Original scientific paper*. 51(5), 55-74.
- TishehZan, P. (2011). Root zone salinity change investigation under water table and mulch for establishment date palm. Ph.D. dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi).
- Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*. 44,892–898.
- Wu, Y., Huang, F., Zhang, C., Jia, Z. (2016). Effects of

different mulching patterns on soil moisture, temperature, and maize yield in a semiarid region of the Loess Plateau, China. *Arid Land Research and Management*. 30 (4), 490-504.

Zhao, H., Wang, R.Y., Ma, B.L., Xiong, Y.C., Qiang,

S.C., Wang, C.L., (2014). Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rain-fed ecosystem. *Field Crop Research*. 161, 137-148.