

تغییرات زمانی رطوبت خاک تحت تأثیر بارندگی و دما در شرایط آیش و کشت در کشتزار دیم^۱

یونس مظلوم علی‌آبادی^{۱*}، علی‌رضا واعظی^۲ و جعفر نیکبخت^۳

^۱ دانشجوی دکتری؛ گروه مهندسی علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ ایران

^۲ نویسنده مسئول کاتبات: uones.mazloom@yahoo.com

^۳ دانشیار؛ گروه مهندسی علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ ایران

^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

چکیده:

رطوبت خاک عامل اصلی تعیین کننده رشد گیاهان به‌ویژه در زمین‌های دیم است. رطوبت خاک طی دوره رشد به‌دلیل بارش، تبخیر و سایر عوامل محیطی دچار تغییرات زمانی می‌شود. این پژوهش به‌منظور یافتن عوامل اقلیمی مؤثر بر رطوبت خاک تحت شرایط دیم انجام گرفت. آزمایش مزرعه‌ای در کشتزار دیم با شیب ۱۰ درصد و در دو شرایط کشت: آیش و تحت کشت گندم زمستانه در دانشگاه زنجان طی دوره رشد از ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۶ انجام شد. برای این کار شش کرت با ابعاد پنج متر در دو متر به‌صورت موازی با شیب مطابق با شیوه رایج کشت در منطقه طراحی شد. مقدار رطوبت خاک با فاصله زمانی هفت روز و به وسیله دستگاه TDR مدل IDRG SMS-T2 طی دوره رشد اندازه‌گیری شد. متغیرهای اقلیمی شامل دمای هوا و بارندگی و نیز دمای خاک در طول دوره رشد تعیین گردید. بر اساس نتایج، رطوبت خاک در کرت‌های تحت کشت حدود ۱۱ درصد کم‌تر از کرت‌های آیش بود و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود. مقدار رطوبت خاک بین ماه‌های مختلف به‌طور معنی‌داری برای هر دو شرایط کشت متفاوت بود ($p < 0.001$). همبستگی مثبت معنی‌دار بین رطوبت خاک و بارندگی، دمای هوا و دمای خاک در هر دو شرایط کشت وجود داشت ($p < 0.05$). در کرت‌های آیش نسبت به کرت‌های کشت، وابستگی بیشتری بین رطوبت خاک و دمای هوا ($r = 0.44$) و دمای خاک ($r = 0.51$) وجود داشت. این پژوهش نشان داد که دمای خاک به‌عنوان مؤثرترین ویژگی تعیین کننده رطوبت خاک در زمین‌های آیش و تحت کشت در منطقه است.

کلید واژه‌ها: بارندگی؛ تعرق؛ دمای خاک؛ دمای هوا؛ گندم زمستانه

مقدمه

رطوبت خاک^۲ به عنوان یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر رشد گیاه (Silvente et al., 2012)، نقش مهمی در چرخه مواد غذایی، آب و انرژی با تأثیرات شیمیایی و ژئومورفولوژیکی دارد (Peena et al., 2013). تغییرات کوچک در رطوبت خاک می تواند تا حد زیادی بر تولید محصول اثر بگذارد (Liu et al., 2010). هم چنین از طریق این عوامل می توان طیف وسیعی از فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند سیل، فرسایش و انتقال املاح را برآورد نمود (Peena et al., 2013). رطوبت خاک تأثیر بر فرآیندها و واکنش های خاک دارد. داده های رطوبت خاک اهمیت شایانی در علوم گوناگون هم چون هیدرولوژی و کشاورزی (Amazirh et al., 2018)، اقلیم شناسی و علوم خاک، اکولوژی و زراعت (He et al., 2017)، جنگل داری و مهندسی منابع آب (Mekonnen, 2009)، تبادل جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر کاربرد دارد (Wang et al., 2009). بنابراین برآورد دقیق رطوبت خاک عامل کلیدی در این مطالعات است. تغییرات در عواملی هم چون بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش های آبیاری، سبب ایجاد درجات وسیعی از تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک می شود (Lunt et al., 2005). تغییرات اقلیمی با افزایش دما و کاهش نزولات جوی به ویژه در عرض های میانی کره زمین، رطوبت خاک و در نتیجه آب قابل دسترس گیاه را محدود می کند (Seneviratne et al., 2006).

عوامل متعددی بر روی رطوبت خاک اثرگذار می باشد که در این میان می توان به متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، ویژگی های خاک، نوع کشت، نوع کاربری و دوره رشد گیاه اشاره کرد (Lai et al., 2017). در بین این عوامل، متغیرهای اقلیمی

(Williams et al., 2009) و نوع کاربری زمین (Zhu and Lin, 2011) نقش عمده ای در تغییرات رطوبت خاک ایفا می کنند. مهم ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر رطوبت خاک، بارندگی است (Falloon et al., 2015). شناخت متغیرهای مکانی و زمانی رطوبت خاک یک گام اساسی در جهت توسعه مدل های پیش بینی این عامل می باشد. رطوبت خاک به دلیل تغییرات خصوصیات خاک، پوشش گیاهی، خصوصیات اقلیمی و رطوبت پیشین خاک قبل از هر بارش یا آبیاری متفاوت خواهد بود. پایداری زمانی رطوبت خاک، تحت تأثیر عوامل بسیاری در مقیاس های مختلف مانند نوع و ارتفاع پوشش گیاهی، ارتفاع، بافت خاک و تراکم خاک، ماده آلی خاک، تابش خورشیدی، درجه حرارت و تغییرات فصلی است (Jacobs et al., 2004; Gao et al., 2015). در پژوهشی Bittelli و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که پویایی آب در خاک به شدت متأثر از دما می باشد و ضروری است که دما در هنگام ارزیابی پویایی انرژی در خاک در نظر گرفته شود. طی پژوهشی Xu و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که مقدار رطوبت خاک در فصل های بارانی دارای مقدار ثابتی می باشد اما طی دوره رشد و با کاهش بارندگی تفاوت نسبی در مقادیر رطوبت مشاهده می شود که تراکم ریشه را عامل اصلی این تفاوت بیان کردند. نتایج پژوهش Yoshioka و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد رطوبت و دمای خاک با یکدیگر ارتباط داشته و متأثر از آب نفوذ یافته باران می باشد. دمای سطحی خاک، میزان بارندگی و دمای هوا از جمله خصوصیات مؤثر و مورد بررسی در روش های برآورد رطوبت خاک هستند.

در شرایط دیم، آب عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی است. اولین گام بسیار مؤثر در دیم کاری ذخیره بارش سالیانه در خاک است. مقدار

جغرافیایی $24^{\circ} 23' 48''$ و ارتفاع 1670 متر از سطح دریا و با شیب 10 درصد، از اول آذر 1395 تا آخر خرداد 1396 صورت پذیرفت. بر اساس میانگین داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان، متوسط بارش سالانه منطقه حدود 270 میلی‌متر، میانگین دمای سالانه 11 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، سرد و خشک است. رژیم رطوبت و حرارتی خاک بر اساس اطلاعات نقشه رژیم رطوبت و حرارتی کشور به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. عمده واحدهای فیزیوگرافی در منطقه مورد مطالعه، شامل دشت‌های دامنه‌ای آبرفتی و فلات‌ها هستند (واعظی و پیری، 1395).

- ایجاد کرت‌های مطالعاتی

تیمارهای مورد آزمایش در این پژوهش شامل دو شرایط متفاوت کشت (تحت کشت گندم دیم و آیش) بود که در سه تکرار انجام گرفت. ابتدا زمین مورد آزمایش با استفاده از گاواهن در جهت شیب زمین شخم زده شده سپس به وسیله دیسک، کلوخه‌های درشت خرد شد. این عملیات خاکورزی به طور رایج در کشتزارهای دیم کشور به ویژه در منطقه مورد مطالعه انجام می‌گیرد به طوری که گزارش‌ها نشان می‌دهد که بیش از 91 درصد کشتزارهای دیم در منطقه به صورت موازی شیب و به وسیله گاواهن برگردان‌دار تحت شخم قرار می‌گیرند (زرین آبادی، 1393). برای پیاده‌سازی تیمارهای آزمایش، زمین به صورت عرضی به دو بخش مساوی تقسیم گردید. در یکی از بخش‌ها، گندم زمستانی رقم آذر 2 در عمق 5 سانتی‌متری خاک، با فاصله 25 سانتی‌متر بین دو ردیف کشت و 5 سانتی‌متر روی ردیف به وسیله دستگاه خطی‌کار کشت گردید. برای ایجاد شرایط یکسان بین زمین آیش و زمین کشت شده، در بخش آیش نیز عملیات

بارانی که در خاک نفوذ می‌کند، بستگی به میزان نفوذپذیری خاک و رواناب دارد. اگر مقدار کل بارندگی مؤثر کافی باشد، با کاهش رواناب و افزایش نفوذ آب، مقدار رطوبت ذخیره‌شده در خاک را می‌توان به اندازه‌ای افزایش داد که اثرات مفیدی بر روی تولید داشته باشد (Kenney et al., 2015). در شرایط دیم در مناطقی که دارای دوره خشکی در انتهای فصل رشد هستند، لازم است شرایط خاک طوری باشد که بتواند آب را ذخیره کند و سپس به‌طور مناسبی در اختیار گیاه قرار دهد. در همین راستا فطری و همکاران (1395) بیان داشتند که تغییر در عمق کاشت و استفاده از مالچ موجب حفظ رطوبت در انتهای فصل برای کشت دیم نخود می‌شود. هم‌چنین کیانی و نورنیا (1396) بیان داشتند که استفاده از تناوب به دلیل تخلیه رطوبت زیادی که گندم در انتهای سال دارد باید از تناوب‌های کشتی استفاده شود. از این رو تعیین متغیرهای اقلیمی که بر رطوبت خاک اثر می‌گذارند، برای پیش‌بینی تغییرات زمانی رطوبت خاک طی دوره رشد در کشتزارها حائز اهمیت است. از سوی دیگر تعیین تأثیر شرایط کشت (تحت کشت و آیش) برای اطلاع از ذخیره آب در خاک در کشتزار دیم مهم است. بنابراین این پژوهش به منظور بررسی تغییرات زمانی رطوبت خاک و رابطه آن با خصوصیات اقلیمی (بارندگی و دمای هوا) تحت شرایط مختلف کشت (کشت گندم و آیش) در شرایط دیم انجام گرفت. با آگاهی از تغییرات زمانی رطوبت خاک می‌توان دوره‌های بحرانی که گیاه تحت شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد را پیش‌بینی کرد.

مواد و روش‌ها

- انتخاب کشتزار دیم

این پژوهش در اراضی دیم دانشگاه زنجان با عرض جغرافیایی $15^{\circ} 41' 36''$ شمالی و طول

گرفت. هم‌زمان، مقادیر بارندگی به وسیله دستگاه باران‌سنج و نیز دمای هوای با کمک دماسنج نصب شده در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱). از آنجایی که اندازه‌گیری‌ها در وسط روز انجام گرفت، اعداد قرائت شده برای دمای خاک و دمای هوا بیانگر حداکثر دمای روزانه بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای بررسی تغییرات رطوبت خاک بین ماه‌های رشد و شرایط کشت، مقایسات میانگین با استفاده از آزمون دانکن صورت پذیرفت. رابطه بین رطوبت خاک قرائت شده در هر زمان با متغیرهای اقلیمی (مجموع بارندگی و میانگین دمای هوای دو، پنج، هفت و ۱۰ روز پیش و حداکثر دمای هوا) و نیز دمای خاک با استفاده از روش همبستگی پیرسون (r) تعیین شد. برای انجام امور آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول شماره (۱) نشان‌دهنده آن است که با توجه به درصد ذرات شن (۶۰/۱۶)، سیلت (۲۸/۱۶) و رس (۱۱/۶۶)، بافت خاک مورد مطالعه لوم رسی شنی است. با توجه به خاک منطقه با درجه شوری حدود ۲/۶ دسی‌زیمنس بر متر جزء خاک‌های غیرشور و غیرقلیا (Brady and Weil, 2002) است و به‌دلیل وجود بیش از ۱۲ درصد کربنات کلسیم معادل به‌عنوان خاک آهکی (Ismail et al., 2002) در نظر گرفته می‌شود. خاک کشتزار از نظر پایداری ساختمانی بسیار ضعیف (MWD=۱/۱۲mm) و از نظر ماده آلی (۰/۵۲ درصد) و نیتروژن (۰/۰۴ درصد) بسیار فقیر است.

مشابه با بخش کشت شده توسط ردیف‌کار ولی بدون کاشت بذر انجام گرفت. در هر قطعه سه کرت آزمایش با ابعاد ۵ متر در ۲ متر ایجاد و پیرامون آن‌ها جهت جلوگیری از ورود رواناب‌های پیرامون بسته شد.

- تعیین ویژگی‌های خاک

برای تعیین ویژگی‌های خاک اراضی دیم، نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. ویژگی‌های چگالی ظاهری با استفاده از استوانه فلزی (Gee and Bauder, 1986)، پایداری خاکدانه به روش الک تر (Black, 1965) اندازه‌گیری شد. سایر ویژگی‌ها بعد از عبور دادن خاک از الک ۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، ماده آلی به روش والکی و بلک (Walkly and Black, 1934)، درصد آهک به روش خنثی‌سازی و درصد نیتروژن با استفاده از کج‌دال (Page et al., 1978) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای رطوبتی و دمای خاک

رطوبت و دمای خاک به وسیله دستگاه TDR مدل IDRGS SMS-T2 در کرت‌های مورد بررسی به مدت هشت ماه در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ سطح خاک تا عمق ۲۵ سانتی‌متری مطابق با عمق گسترش ریشه گندم اندازه‌گیری شد. قبل از کارگذاری حسگرهای رطوبت در داخل خاک، نمونه خاک مزرعه به آزمایشگاه انتقال یافت و واسنجی دستگاه صورت گرفت. دستگاه مذکور توانایی اندازه‌گیری رطوبت خاک را به‌صورت حجمی بر حسب سانتی‌متر مکعب آب بر سانتی‌متر مکعب خاک داشت. اندازه‌گیری رطوبت خاک مزرعه به‌طور منظم در بازه‌های زمانی ۷ تا ۱۰ روز (Zhang et al., 2004) و نیز بلافاصله پس از هر بارش انجام شد. در مجموع ۳۵ بار اندازه‌گیری رطوبت خاک طی دوره رشد انجام

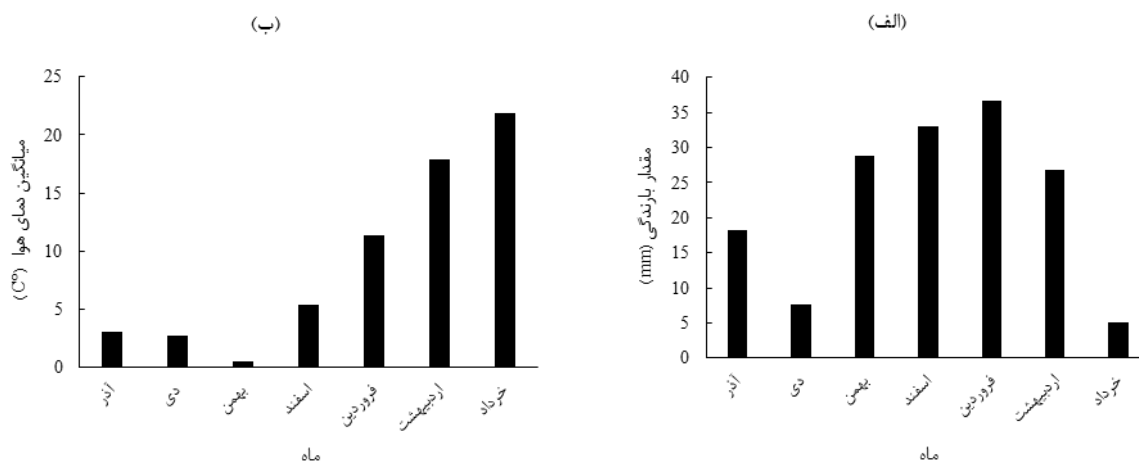
جدول ۱- خصوصیات خاک منطقه مورد آزمایش

بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	پایداری خاکدانه-ها (mm)	EC (dS.m ⁻¹)	کربنات کلسیم معادل (%)	نیترژن (%)	ماده آلی (%)	pH
لوم رسی شنی	۱/۳۱	۱۱/۶۶	۲۸/۱۶	۶۰/۱۶	۱/۱۲	۲/۵۷	۱۲/۶۵	۰/۰۴	۰/۵۲	۷/۷

تغییرات زمانی بارندگی و دمای هوا

تغییرات ماهانه مجموع بارش و متوسط دمای هوا در دوره رشد گندم در شکل ۱ نشان داده شده است. مجموع بارش رخ داده در طی دوره پژوهش، ۱۵۶/۳۴ میلی‌متر بود که بیشترین مقدار آن در فروردین ماه

(۳۶/۷۸ میلی‌متر) و کمترین آن در خرداد ماه (۵/۱۲ میلی‌متر) بود (شکل ۱-الف). بیشترین میانگین ماهانه دما در دوره مورد مطالعه در خرداد ماه (۲۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد) و کمترین آن در اسفند ماه (۰/۵ درجه سانتی‌گراد) اتفاق افتاد (شکل ۱-ب).

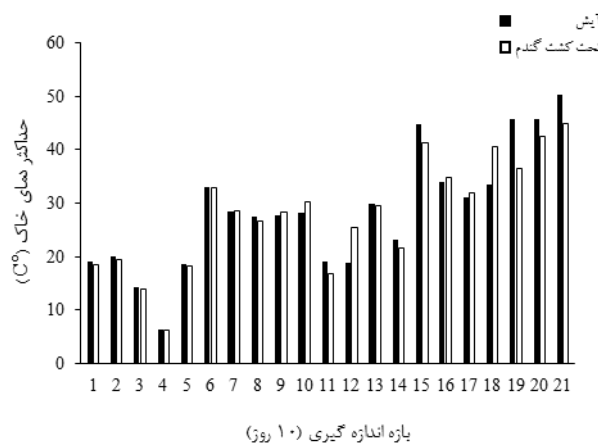


شکل ۱. مقادیر ماهانه بارندگی و متوسط ماهانه دمای هوا در طول فصل زراعی ۹۵-۹۶

تغییرات دمای خاک

تغییرات متوسط ماهانه دمای خاک در کرت‌های آیش و تحت کشت گندم در دوره پژوهش در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین دمای خاک در خرداد ماه و در دهه آخر آن (بازه ۲۱) اندازه‌گیری شد که به ترتیب ۵۰/۳ سانتی‌گراد در کرت‌های آیش و ۴۵ درجه سانتی‌گراد در کرت‌های تحت کشت گندم بود. سطح زمین عامل

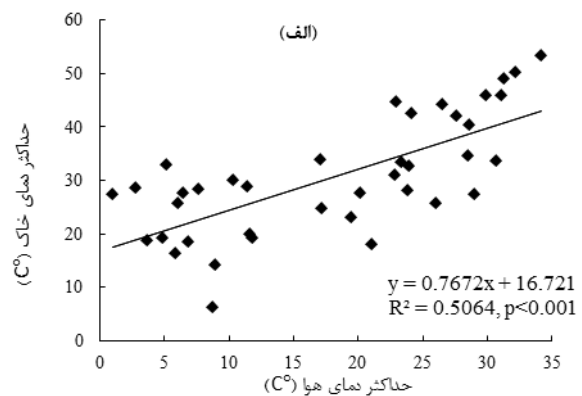
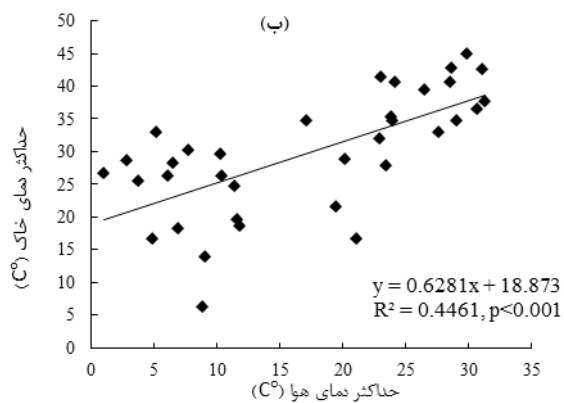
اصلی گرم شدن دمای هوای پیرامون آن می‌باشد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱). سایه‌اندازی گیاه بر روی خاک و جلوگیری از تابش مستقیم نور آفتاب بر سطح زمین از یک سو و حفظ رطوبت بیشتر در بخش سایه‌انداز گیاه از سوی دیگر عواملی مهم در کاهش دمای خاک (به اندازه ۵/۳ درجه سانتی‌گراد) در کرت‌های تحت کشت بودند.



شکل ۲. مقادیر متوسط ماهانه دمای خاک در کرت‌های آیش و تحت کشت گندم

آیش، سطح خاک کاملاً در معرض تغییرات جوی قرار دارد و تغییرات دمای هوا مستقیماً منجر به تغییرات دمای خاک می‌شود. در همین راستا سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۹) بیان داشتند که دمای خاک با دمای هوا در چهار اقلیم متفاوت دارای همبستگی معنی‌داری می‌باشد.

بررسی رابطه حداکثر دمای خاک با حداکثر دمای روزانه هوا نشان داد رابطه مستقیم معنی‌دار ($p < 0.001$) بین دمای خاک و دمای هوا در کرت‌های آیش ($R^2 = 0.51$) و نیز در کرت‌های تحت کشت گندم ($R^2 = 0.45$) وجود دارد. این نتایج بیانگر اثر پذیری بیشتر دمای خاک از شرایط جوی در شرایط آیش نسبت به شرایط کشت می‌باشد. در شرایط



شکل ۳. رابطه بین دمای خاک و دمای هوا در کرت‌های آیش (الف) و تحت کشت گندم (ب) در کشتزار دیم

به صورت ماهانه در شکل ۴ نشان داده شده است. رطوبت خاک در کرت‌های تحت کشت در تمام ماه‌های مورد بررسی کم‌تر از کرت‌های آیش بود. در کرت‌های آیش فقط پدیده تبخیر (با عمق تأثیر اندک) عامل کاهش رطوبت خاک است در حالی که در

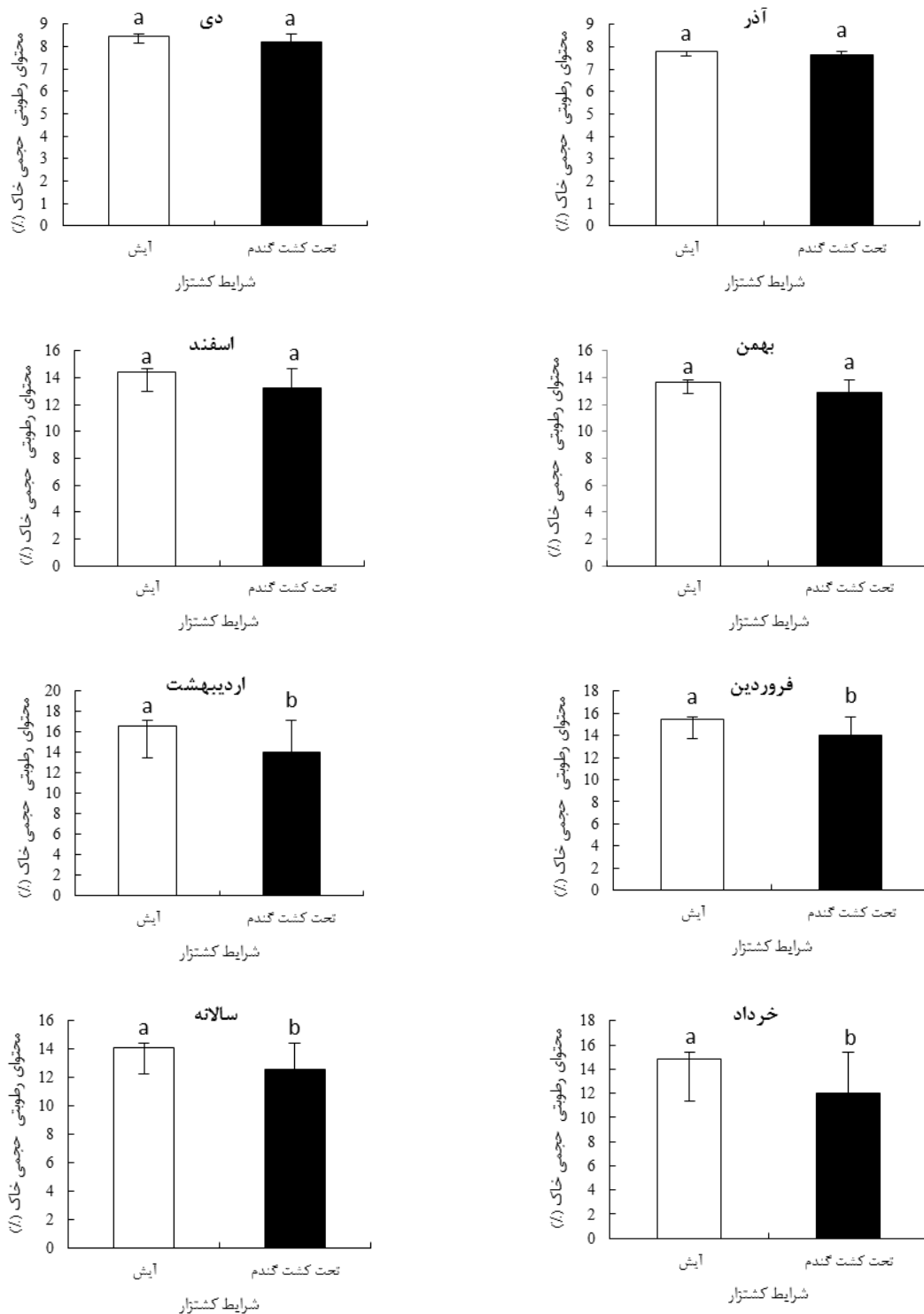
تغییرات زمانی رطوبت خاک تغییرات رطوبت خاک غالباً تحت تأثیر پارامترهای متفاوتی می‌باشد که از آن جمله می‌توان شرایط اقلیمی مانند بارندگی (Williams et al., 2009) و دما را نام برد. تغییرات رطوبت خاک

خاک چشمگیر نبود. از سوی دیگر پایین بودن دمای هوا نیز عاملی دیگر در کاهش شدت تبخیر از سطح خاک بود. با آغاز فصل بهار و افزایش دمای خاک، اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار رطوبت خاک میان کرت‌های تحت کشت گندم و آیش در ماه‌های فروردین ($p < 0/05$)، اردیبهشت ($p < 0/01$) و خرداد ($p < 0/001$) مشاهده گردید (جدول ۳). بررسی میانگین سالانه محتوای رطوبتی خاک نشان داد که در کرت‌های آیش (۱۴/۱۳ درصد حجمی) مقدار رطوبت خاک تقریباً ۱۱ درصد بیشتر از کرت‌های تحت کشت گندم دیم (۱۲/۶۳ درصد حجمی) است، که این اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) را می‌توان به میزان تعرق صورت گرفته توسط گیاه گندم طی سال زراعی در کرت‌های تحت کشت گندم عنوان نمود (جدول ۲).

کرت‌های تحت کشت گندم علاوه بر پدیده تبخیر، جذب آب توسط ریشه از کل عمق توسعه آن و انجام تعرق نیز بر تخلیه رطوبت خاک مؤثر می‌باشد. برخلاف پدیده تبخیر که تغییرات آن فقط متأثر از عوامل هواشناسی می‌باشد، تغییرات شدت تعرق علاوه بر پارامترهای هواشناسی به سطح برگ و تعداد روزنه‌های تعرق کننده و کارایی ریشه (تراکم، عمق و پراکندگی) نیز بستگی دارد که با رشد گیاه افزایش می‌یابد (Su et al., 2009) بر این اساس با توجه به شکل ۴، در ماه‌های اولیه کشت تا اواخر اسفند ماه که گیاه در مرحله جوانه‌زنی و پنجه‌دهی بود، تفاوت معنی‌داری در مقادیر رطوبت برای کرت‌های تحت کشت گندم و آیش وجود نداشت. دلیل این موضوع شرایط مشابه بین کرت‌های کشت شده و کرت‌های آیش بود. در این دوره زمانی، رشد گیاه در کرت‌های کشت شده ناچیز بود و نقش تعرق در تخلیه رطوبتی

جدول ۲- نتایج مقایسات میانگین رطوبت خاک در شرایط متفاوت کشت طی ماه‌های دوره رشد بر اساس آزمون دانکن

مقدار رطوبت	متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	F	معنی‌داری
آذر	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۹	۰/۷۶
دی	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۰/۱۳	۱	۰/۰۱	۰/۹۱
بهمن	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۱/۶۲	۱	۰/۳۷	۰/۵۵
اسفند	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۲/۶۲	۱	۱/۴۶	۰/۲۷
فروردین	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۴/۸۱	۱	۹/۳۴	۰/۰۲
اردیبهشت	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۲۰/۵۹	۱	۱۵/۳۷	۰/۰۰۳
خرداد	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۲۳/۹۸	۱	۱۲۰/۲۶	۰/۰۰۰
میانگین سالانه	بین کرت‌های کشت شده و آیش	۴۰/۳۵	۱	۴/۹۱	۰/۰۳



شکل ۴. مقادیر رطوبت خاک به صورت ماهانه و میانگین سالانه طی سال زراعی ۹۵-۹۶

شرایط کشت وجود دارد (جدول ۳). کمترین مقدار رطوبت خاک در آذر ماه بود که در کرت‌های تحت کشت گندم ۷/۶۴ درصد حجمی و در کرت‌های

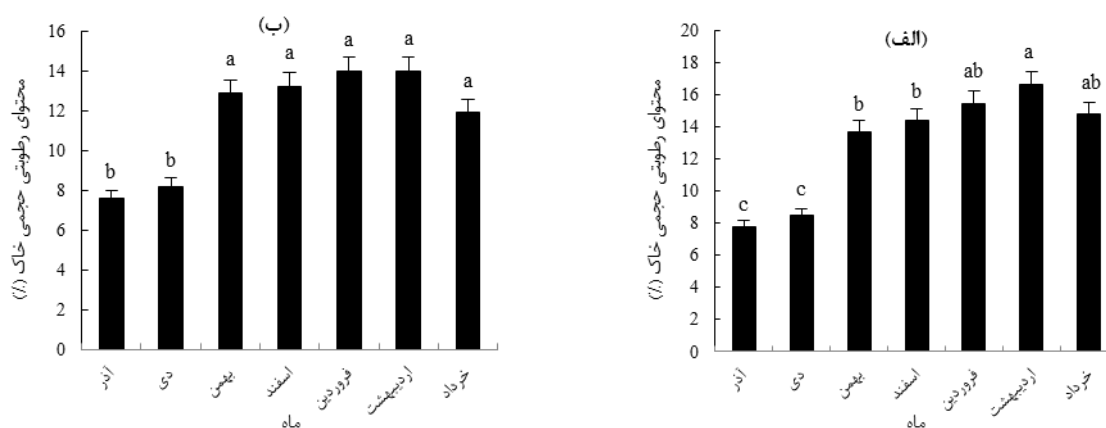
بررسی تغییرات ماهانه رطوبت خاک در هر یک از شرایط کشت نشان داد که تفاوتی معنی‌دار ($p < 0.001$) بین ماه‌ها از نظر رطوبت در هر دو

خاک در کرت‌های تحت آیش (۸/۸۶ درصد حجمی) بیش‌تر از کرت‌های تحت کشت (۶/۵ درصد حجمی) بود. این نتیجه به دلیل تأثیر گیاه بر کاهش نوسانات دمایی خاک در کرت‌های تحت کشت بود (Kalma et al., 2008).

آیش ۷/۷۷ درصد حجمی بود (شکل ۵). بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک برای کرت‌های تحت کشت در ماه فروردین (۱۴/۱۴ درصد حجمی) و برای کرت-های آیش در ماه اردیبهشت (۱۶/۶۳ درصد حجمی m^3m^{-3}) مشاهده شد. تفاوت بین ماه‌ها از نظر رطوبت

جدول ۳- نتایج مقایسات میانگین رطوبت خاک طی ماه‌های متفاوت دوره رشد بر اساس آزمون دانکن

مقدار رطوبت	متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	F	معنی‌داری
تحت کشت گندم	بین ماه‌های مختلف طی دوره رشد	۳۲۲/۹۰	۶	۲۳/۲۸	۰/۰۰۰
آیش گندم	بین ماه‌های مختلف طی دوره رشد	۱۸۹/۹۹	۶	۱۳/۵۴	۰/۰۰۰



شکل ۵. مقادیر رطوبت خاک به صورت ماهانه طی سال زراعی ۹۵-۹۶ برای کرت‌های آیش (الف) و تحت کشت (ب)

رابطه بین محتوای رطوبتی خاک و ویژگی‌های اقلیمی نتایج همبستگی بین رطوبت خاک با متغیرهای اقلیمی در کرت‌های تحت کشت گندم و کرت‌های آیش در جدول ۴ نشان داده شده است. رطوبت خاک در کرت‌های تحت کشت گندم دیم همبستگی مثبت و معنی‌دار با مجموع بارندگی هفت روز پیش (۰/۳۷) و ۱۰ روز پیش (۰/۴۱) در سطح پنج درصد و دمای خاک (۰/۵۱)، حداکثر دمای هوا (۰/۴۴)، میانگین دمای دو (۰/۴۶)، پنج (۰/۷۱)، هفت (۰/۴۹) و ۱۰ روز پیش (۰/۵۰) در سطح یک درصد وجود داشت. بالاترین همبستگی رطوبت خاک در هر دو شرایط کشت با حداکثر دمای خاک مشاهده شد که نشان‌دهنده اثر بیشتر این پارامتر بر رطوبت خاک است. همبستگی معنی‌داری میان رطوبت خاک و میانگین دمای روزهای قبل (۲، ۵، ۷ و ۱۰ روز) مشاهده شد، دلیل این مشاهده را می‌توان به

رابطه بین محتوای رطوبتی خاک و ویژگی‌های اقلیمی نتایج همبستگی بین رطوبت خاک با متغیرهای اقلیمی در کرت‌های تحت کشت گندم و کرت‌های آیش در جدول ۴ نشان داده شده است. رطوبت خاک در کرت‌های تحت کشت گندم دیم همبستگی مثبت و معنی‌دار با مجموع بارندگی هفت روز پیش (۰/۳۴) و ۱۰ روز پیش (۰/۳۹)، میانگین دمای دو (۰/۳۴)، پنج (۰/۳۵)، هفت (۰/۳۵) و ۱۰ روز پیش (۰/۳۵) در سطح پنج درصد داشت. در کرت‌های تحت کشت گندم بالاترین همبستگی رطوبت خاک با حداکثر دمای خاک (۰/۴۴) در

همبستگی دمای خاک با دمای هوا عنوان نمود که همان‌طور که پیشتر بیان شد این دو متغیر رابطه مستقیم و افزایشی با یکدیگر دارند (شکل ۳).

جدول ۴. همبستگی مقادیر رطوبت خاک با پارامترهای هواشناسی

شرایط کشتزار	مجموع بارندگی روز قبل (mm)				حداکثر دمای خاک	حداکثر دمای هوا	میانگین دمای هوا (روز قبل °C)			
	۲	۵	۷	۱۰	(°C)	هوا	۲	۵	۷	۱۰
تحت کشت گندم	۰/۰۱ ^{NS}	۰/۲۰ ^{NS}	۰/۳۴*	۰/۴۴**	۰/۴۴**	۰/۱۱ ^{NS}	۰/۳۴*	۰/۳۴*	۰/۳۵*	۰/۳۴*
آیش	۰/۱۷ ^{NS}	۰/۳۱ ^{NS}	۰/۳۷*	۰/۳۹*	۰/۵۱**	۰/۴۴**	۰/۴۶**	۰/۴۶**	۰/۴۶**	۰/۵۰**

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد و ^{NS}: عدم معنی‌داری

با توجه به نتایج همبستگی بین رطوبت خاک با بارش‌های ۷ و ۱۰ روز پیش، از بارش‌های ۷ و ۱۰ روز پیش می‌توان در بررسی وضعیت هیدرولوژیکی خاک کشتزار استفاده کرد. این نتیجه بر خلاف گزارش‌های دفتر حفاظت خاک آمریکا (SCS, 1973) مبنی بر نقش بارندگی ۵ روز پیش در تعیین شرایط هیدرولوژیکی در ابعاد حوزه آبخیز است. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت زیاد تغییرات مکانی اقلیم و شرایط استفاده از زمین در تغییرات محتوای رطوبتی خاک است. به این دلیل بهتر است قبل از برنامه‌ریزی‌های مدیریتی که نیازمند تعیین شرایط هیدرولوژیکی می‌باشند، پژوهشی در رابطه با شرایط هیدرولوژیکی در مناطق دیم کشور انجام پذیرد. مقایسه رابطه مقدار رطوبت خاک و حداکثر دمای هوای روزانه بین دو شرایط کشت (تحت کشت گندم و آیش) نشان داد که تنها در شرایط آیش بین این دو متغیر همبستگی معنی‌دار ($r=0/44$) وجود داشت که دلیل آن را می‌توان اثر سایه‌اندازی گیاه در کرت‌های تحت کشت بر تعدیل دمای خاک و کاهش نوسانات رطوبت خاک نسبت داد. به‌طور کلی می‌توان دمای خاک را به‌عنوان مؤثرترین ویژگی جهت بررسی رطوبت خاک در زمین‌های بدون پوشش گیاهی و آیش بیان نمود. بحث پیش‌تر شود. دمای خاک در

بدیهی است با افزایش دمای خاک، میزان تبخیر از سطح خاک افزایش و در نتیجه رطوبت خاک کاهش می‌یابد (Plauborg, 2002). وجود پوشش گیاهی بر روی خاک در کرت‌های تحت کشت با جذب بخشی از انرژی تابشی خورشید، موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شود. با مقایسه نتایج همبستگی بین مقادیر رطوبت خاک و حداکثر دمای خاک (جدول ۴) به وضوح قابل استنتاج می‌باشد که در آن ضریب همبستگی برای شرایط آیش حدود ۱۶ درصد بیش‌تر از شرایط کشت گندم بود. از همین اصل برای بررسی رطوبت خاک با کمک تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود (Farrar et al., 1994; بابائیان و همکاران، ۱۳۹۲). هم‌چنین از جدول ۲ بر می‌آید که در شرایط خاک آیش، رطوبت خاک به صورت معنی‌داری متأثر از دمای هوا ($r=0/01$, $r<0/44$) است. به هر حال جذب آب توسط ریشه‌ها عاملی برای تغییر شرایط رطوبتی خاک در شرایط کشت است، در مطالعه‌ای Zhao و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی تغییرات زمانی رطوبت خاک در زمین‌های تحت کشت گیاهان علفی مختلف، علاوه بر متغیرهای اقلیمی، رطوبت خاک متأثر از ریشه گیاه می‌باشد.

شرایط کشت تحت تأثیر معنی دار مقدار بارندگی ۷ و ۱۰ روز پیش و دمای خاک قرار دارد. رابطه مثبت و معنی داری میان دمای خاک و دمای هوا در کرت‌های تحت کشت گندم دیم ($R^2=0/45$) و به ویژه در کرت‌های تحت آیش ($R^2=0/51$) وجود داشت. وابستگی بین رطوبت، دمای خاک ($r=0/51$) و دمای هوا ($r=0/44$)، در شرایط آیش بیش‌تر از شرایط کشت گندم است. به طور کلی این پژوهش نشان داد که رطوبت خاک در کنار بارندگی روزهای پیشین، تحت تأثیر دمای خاک قرار دارد که در پژوهش‌های دیگر نیز به‌عنوان خصوصیتی جهت دستیابی به رطوبت خاک در نظر گرفته می‌شود. دمای خاک خود نیز خود متأثر از دمای هوا ($p<0/001$) است. با در دسترس داشتن دمای خاک می‌توان بازه‌های زمانی که گیاه دچار تنش خشکی و کمبود رطوبت می‌شود را مشخص نمود و مدیریت‌های لازم را اتخاذ نمود. به‌طور کل استفاده از روش‌های خاکورزی حفاظتی راهکاری مؤثر برای تعدیل دمای خاک و حفظ رطوبت خاک در هر دو شرایط کشت در زمین‌های دیم است.

بسیاری از پژوهش‌ها برای بررسی رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روشی مناسب برای تعیین دمای خاک در زمان‌های کوتاه و در ابعاد منطقه‌ای است (دادرسی سبزواری و همکاران، ۱۳۹۶).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد در هر دو شرایط کشت، رطوبت خاک بین ماه‌های مختلف طی دوره رشد، تفاوت معنی داری ($p<0/001$) داشت. تفاوت بین ماه‌ها از نظر رطوبت خاک در کرت‌های تحت آیش بیش‌تر از کرت‌های تحت کشت بود. این نتیجه به دلیل تأثیر گیاه بر کاهش نوسانات دمایی خاک در کرت‌های تحت کشت بود. میانگین رطوبت خاک طی دوره رشد در کرت‌های آیش (۱۴/۱۳ درصد حجمی)، ۱۱ درصد بیشتر از کرت‌های تحت کشت (۱۲/۶۳ درصد حجمی) بود ($p<0/05$). مصرف آب طی فرآیند تعرق عاملی برای کاهش رطوبت خاک در کرت‌های تحت کشت گندم بود. بیشترین تفاوت از نظر رطوبت خاک بین کرت‌های تحت کشت گندم دیم و آیش، در ماه خرداد و کم‌ترین آن در ماه آذر بود. بررسی همبستگی بین رطوبت خاک و متغیرهای اقلیمی (بارندگی و دما) نشان داد که رطوبت خاک در هر دو

منابع مورد استفاده

- بابائیان، ا.، همایی، م. و نوروزی، ع.ا. ۱۳۹۲. برآورد رطوبت خاک سطحی با استفاده از تصاویر رادار ASAR/ENVISAT. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷(۴): ۶۱۱-۶۲۲.
- دادرسی سبزواری، ا.، آخوندعلی، ع.م.، رادمنش، ف. و نوروزی، ع.ا. ۱۳۹۶. تخمین توزیع مکانی رطوبت سطحی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از داده‌های دورسنجی. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۴(۲): ۳۷۰-۳۸۲.
- سبزی‌پور، ع.ا.، طبری، ح. و آیینی، ع. ۱۳۸۹. برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی. مجله علوم آب و خاک، ۱۴(۵۲): ۱۲۵-۱۳۸.
- کیانی، ع.ر. و نورنیا، ع. ۱۳۹۶. بررسی توزیع رطوبت خاک و عملکرد چند گیاه زمستانه در تناوب با گندم دیم. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۴): ۶۷۳-۶۸۳.

- علیزاده، ا.، کمالی، غ.، موسوی، ف. و موسوی بابگی، م. ۱۳۹۱. هوا و اقلیم‌شناسی. چاپ پانزدهم، دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۸۲.
- فطری، م.، قبادی، م.، قبادی، م. و محمدی، غ. ۲۰۱۶. اثر عمق کاشت و مالچ بر ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در مراحل مختلف رشد نخود تحت شرایط دیم. پژوهش‌های حبوبیات ایران، ۷(۱):۱۳۵-۱۴۴.
- زرین‌آبادی، ا. و واعظی، ع. ۱۳۹۳. فرسایش خاک و عملکرد گندم دیم تحت تأثیر جهت شخم در درجات مختلف شیب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه زنجان.
- واعظی، ع. و پیری‌مقدم، ل. ۱۳۹۵. نگهداشت آب و عملکرد دانه گندم تحت تأثیر جهت شخم در کشت‌زار دیم منطقه نیمه خشک در غرب زنجان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۶):۲۸۵-۲۹۹.
- Amazirh, A., Merlin, O., Er-Raki, S., Gao, Q., Rivalland, V., Malbeteau, Y., Khabba, S. and Escorihuela, M. J. 2018. Retrieving surface soil moisture at high spatio-temporal resolution from a synergy between Sentinel-1 radar and Landsat thermal data: A study case over bare soil. *Remote Sensing of Environment*, 211:321-337.
- Bittelli, M., Ventura, F., Campbell, G. S., Snyder, R. L., Gallegati, F. and Pisa, P. R. 2008. Coupling of heat, water vapor, and liquid water fluxes to compute evaporation in bare soils. *Journal of Hydrology*, 362(3-4): 191-205.
- Black, C.A. 1965. Method of soil analysis. Part I and II. Amer. Soc. Agron. Inc. Madison, Wisconsin, USA, 770pp.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 2002. The nature and properties of soils, 13th. Pearson education (Singapore) Pte. Ltd. Indian Branch, 482: 621-624.
- Falloon, P., Bebbber, D., Bryant, J., Bushell, M., Challinor, A.J., Dessai, S., Gurr, S. and Koehler, A. K. 2015. Using climate information to support crop breeding decisions and adaptation in agriculture. *World Agriculture*, 5(1):25-43.
- Farrar, T. J., Nicholson, S. E. and Lare, A. R. 1994. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. II. NDVI response to soil moisture. *Remote sensing of Environment*, 50(2): 121-133.
- Gao, L., Shao, M., Peng, X. and She, D. 2015. Spatio-temporal variability and temporal stability of water contents distributed within soil profiles at a hillslope scale. *Catena*, 132: 29-36.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods, (methodsofsoilan1), pp. 383-411.
- He, H., Dyck, M. F., Horton, R., Li, M., Jin, H. and Si, B. 2018. Distributed Temperature Sensing for Soil Physical Measurements and Its Similarity to Heat Pulse Method. In *Advances in Agronomy*, 148:173-230.
- Ismail, M. A., Joer, H. A., Sim, W. H. and Randolph, M. F. 2002. Effect of cement type on shear behavior of cemented calcareous soil. *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*, 128(6), 520-529.
- Jacobs, J. M., Mohanty, B. P., Hsu, E. C. and Miller, D. 2004. SMEX02: Field scale variability, time stability and similarity of soil moisture. *Remote sensing of Environment*, 92(4):436-446.
- Kalma, J.D., McVicar, T.R. and McCabe, M.F., 2008. Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*, 29(4-5):421-469.
- Kenney, I., BlancoCanqui, H., Presley, D.R., Rice, C.W., Janssen, K. and Olson, B., 2015. Soil and crop response to stover removal from rainfed and irrigated corn. *Gcb Bioenergy*, 7(2):219-230.
- Lai, X., Zhu, Q., Zhou, Z. and Liao, K. 2017. Influences of sampling size and pattern on the uncertainty of correlation estimation between soil water content and its influencing factors. *Journal of Hydrology*, 555: 41-50.
- Liu, Y., Li, S., Chen, F., Yang, S. and Chen, X. 2010. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 97(5): 769-775.
- Lunt, I. A., Hubbard, S. S. and Rubin, Y. 2005. Soil moisture content estimation using ground-penetrating radar reflection data. *Journal of Hydrology*, 307(1-4): 254-269.
- Mekonnen, D. F. 2009. Satellite remote sensing for soil moisture estimation: Gumara catchment, Ethiopia. *ITC*.
- Plauborg, F. 2002. Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. *Eur. J. Agron*, 17:173-179.
- Sadusky, M. C., Sparks, D. L., Noll, M. R. and Hendricks, G. J. 1987. Kinetics and Mechanisms of Potassium Release from Sandy Middle Atlantic Coastal Plain Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 51(6): 1460-1465.

- Penna, D., Brocca, L., Borga, M. and Dalla Fontana, G. 2013. Soil moisture temporal stability at different depths on two alpine hillslopes during wet and dry periods. *Journal of hydrology*, 477, 55-71.
- Reynolds, S. G. 1970. The gravimetric method of soil moisture determination Part III An examination of factors influencing soil moisture variability. *Journal of Hydrology*, 11(3): 288-300.
- Seneviratne, S. I., Lüthi, D., Litschi, M. and Schär, C. 2006. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443(7108): 205.
- Silvente, S., Sobolev, A. P. and Lara, M. 2012. Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress. *PLoS One*, 7(6): 38554.
- Soil Conservation Service. 1973. A method for estimation of volume and rate of runoff in small watershed, SCS.TP, 149pp.
- Su, H., Wood, E.F., Wojcik, R. and McCabe, M., 2006, May. Sensitivity analysis of regional scale evapotranspiration predictions to the forcing data. In *AGU Spring Meeting Abstracts*.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1): 29-38.
- Wang, L. and Qu, J. J. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3(2): 237-247.
- Williams, C. J., McNamara, J. P. and Chandler, D. G. 2009. Controls on the temporal and spatial variability of soil moisture in a mountainous landscape: the signature of snow and complex terrain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7): 13-25.
- Xu, G., Zhang, T., Li, Z., Li, P., Cheng, Y. and Cheng, S. 2017. Temporal and spatial characteristics of soil water content in diverse soil layers on land terraces of the Loess Plateau, China. *Catena*, 158: 20-29.
- Yoshioka, M., Takakura, S., Ishizawa, T. and Sakai, N. 2015. Temporal changes of soil temperature with soil water content in an embankment slope during controlled artificial rainfall experiments. *Journal of Applied Geophysics*, 114: 134-145.
- Zhao, C., Jia, X., Zhu, Y., & Shao, M. A. 2017. Long-term temporal variations of soil water content under different vegetation types in the Loess Plateau, China. *Catena*, 158: 55-62.
- Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S. and Hongyong, S. 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64(2): 107-122.
- Zhu, Q. and Lin, H. 2011. Influences of soil, terrain, and crop growth on soil moisture variation from transect to farm scales. *Geoderma*, 163(1-2): 45-54.



Temporal variations of soil moisture in relation to precipitation and temperature under fallow and planted conditions in rainfed land

Uones Mazloom Aliabadi^{1*}, Alireza Vaezi² and Jafar Nikbakht³

^{1*} Ph.D. Student., Department of Soil Science, University of Zanjan, Iran

*Corresponding author email: uones.mazloom@znu.ac.ir

² Associate Prof., Department of Soil Science, University of Zanjan, Iran

³ Associate Prof., Department of water Engineering, University of Zanjan, Iran

Received: 06-05-2018

Accepted: 14-01-2019

Abstract

Soil moisture (SM) is the major factor controlling plant growth particularly in rainfed lands. It varies due to the change of climatic parameters such as precipitation and air temperature and evaporation. This study was conducted to find climatic factor influencing soil moisture under rainfed conditions. A field experiment with two cultivated conditions: under fallow and cultivated with winter wheat was designed in a rainfed land with 10% slope steepness in the University of Zanjan during growth period from 2016 to 2017. Toward this, six plant plots with 2m × 5m dimensions were installed along the slope orientation similar to conventional tillage method in the area. Volumetric soil moisture was measured in 7-day interval using TDR model IDRG SMS-T2 set during growth period. Climatic variables including air temperature (AT) and precipitation (P) along with soil temperature (ST) were determined during growth period. Based on the results, SM in cultivated plots was about 11% less than the fallow plots, and this difference was statistically significant between the two. Amount of soil moisture significantly varied among different months ($p < 0.001$). Significant correlations were found between SM and P, AT and ST in the two cultivation conditions ($p < 0.05$). Higher dependency of SM on AT ($r = 0.44$) and ST ($r = 0.51$) was observed in fallow plots as compared to planted plots. This study revealed that ST is the most effective property controlling SM in fallow and planted lands in the area.

Keywords: Air temperature, Precipitation, Soil temperature, Transpiration, Winter wheat