

تعیین زمان آبیاری تکمیلی در گندم دیم با پایش تغییرات رطوبت خاک طی دوره

رشد

علی‌رضا واعظی^{۱*}، یونس مظلوم علی‌آبادی و آرمان ذبیحی

استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

Vaezi.alireza@gmail.com

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

uones.mazloom@znu.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

armanzabih1990@gmail.com

چکیده

زراعت دیم یکی از پایه‌های اساسی تولید محصول به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک است. در مناطق دیمکاری، تولید محصول به شدت وابسته به مقدار و توزیع بارندگی طی دوره رشد است. آبیاری تکمیلی یکی از راه‌کارها برای کاهش تنش رطوبتی و در نتیجه بهبود عملکرد محصول در کشاورزی دیم است. این پژوهش به منظور برآورد زمان مناسب آبیاری تکمیلی در اراضی دیم با استفاده از اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک طی دوره رشد در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. برای این منظور آزمایش در کشتزاری با شیب ۱۰ درصد در دو جهت شخم (موازی شیب و روی خطوط تراز) در کرت‌های به ابعاد پنج متر در دو متر انجام شد. رطوبت حجمی خاک در فواصل زمانی ۱۰ روز در عمق گسترش ریشه به وسیله دستگاه TDR طی دوره رشد از آذر ۱۳۹۵ تا تیر ۱۳۹۶ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که رطوبت حجمی خاک در کشت روی خطوط تراز به‌طور میانگین شش درصد بیشتر از کشت موازی است و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$). میانگین مقدار آب سهل‌الوصول طی دوره رشد در روش کشت روی خطوط تراز (۶/۰۷ میلی‌متر)، حدود ۲/۵ برابر بیشتر از روش کشت موازی شیب (۲/۲۵ میلی‌متر) بود و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$). بیشترین مقدار آب سهل‌الوصول طی دوره رشد در مرحله ساقه‌رویی و کمترین آن در مرحله جوانه‌زنی مشاهده شد. در مرحله جوانه‌زنی گندم، گیاه به مقدار ۶/۷ میلی‌متر دچار کمبود آب بود. براین اساس، در این منطقه نیمه‌خشک، انجام آبیاری تکمیلی در مرحله جوانه‌زنی می‌تواند موجب کاهش تنش رطوبتی و افزایش عملکرد دانه گندم شود.

واژه‌های کلیدی: آب قابل دسترس، جهت شخم، کمبود آب، مراحل رشد، منطقه نیمه‌خشک

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک.

*- دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷ و پذیرش: آذر ۱۳۹۷

مقدمه

پژوهش‌های متعددی در مورد به‌کارگیری روش آبیاری تکمیلی و تعیین زمان مناسب آن برای حصول عملکرد محصول بیشتر انجام شده است. تاتاری و همکاران (۱۳۹۱) طی پژوهشی با اعمال تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی در مراحل مختلف رشد در اقلیم نیمه‌خشک بر روی گندم دیم گزارش کردند که آبیاری تکمیلی اثری مثبت بر طول سنبله، تعداد پنجه، پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت گندم دیم داشت و مراحل گلدهی و دانه‌بندی که حساس به تنش می‌باشند، مناسب‌ترین زمان برای انجام آن است. قمرنیا و همکاران (۱۳۹۱) طی پژوهشی با اعمال آبیاری در مراحل مختلف رشدی در ارقام مختلف گندم برای منطقه کرمانشاه گزارش کردند که اگر آبیاری تکمیلی در دو مرحله گلدهی و دانه‌بندی انجام گیرد عملکرد افزایش خواهد یافت.

در مطالعه‌ای کوبوتا^۸ و همکاران (۱۹۹۲) بیشترین تأثیر آبیاری تکمیلی برای گندم بهاره را در اقلیم مدیترانه‌ای در مرحله گرده افشانی گزارش نمودند. فعله‌گری و همکاران (۱۳۹۳) با اعمال تیمارهای متفاوت آبیاری و کوددهی بر روی گندم دیم در کرمانشاه گزارش کردند که آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی بیشترین سرعت جذب خالص نیتروژن را داشت، همچنین بیشترین اثر آبیاری تکمیلی در مرحله گرده‌افشانی و آبستنی مشاهده شد. وانگ و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی برای کشت گندم زمستانی در اقلیم نیمه‌مرطوب افزایش رطوبت خاک از سطح تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری سطح خاک علاوه بر افزایش حجم ریشه موجب نفوذ راحت ریشه در اعماق خاک می‌شود. ویوی^۹ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی برای کشت گندم زمستانی در مناطق نیمه‌خشک می‌تواند موجب بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب شود. من^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که اگر

زیست‌بوم‌های خشک و نیمه‌خشک حدود ۴۰ درصد از سطح کره زمین را پوشش می‌دهند. محصولات کشاورزی در این مناطق، به‌شدت تحت تأثیر بحران آب قرار دارند. آب مهم‌ترین و اساسی‌ترین عامل تولید محصول در شرایط دیم است. تغییرات اندک در محتوای آب خاک می‌تواند تا حد زیادی بر تولید محصول اثر بگذارد (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). در این مناطق، رطوبت خاک از مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده جوانه‌زنی، رشد ریشه و کارایی مصرف آب است (کی^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). کمبود بارش‌های آسمانی و پراکنش نامناسب آن عواملی هستند که سبب می‌شود خطرپذیری در زراعت دیم بالا باشد. از این رو راه-کارها و شیوه‌های مختلفی که در کاهش خطرپذیری و ایجاد ثبات و پایداری عملکرد محصولات دیم مؤثر باشد، مورد توجه است. یکی از این راهکارها در این مورد، استفاده از آبیاری تکمیلی است (وانگ^۳، ۲۰۱۷). منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا قسمتی از نیاز آبی گیاه برای تداوم رشد و افزایش عملکرد دانه تأمین شود. مشخص است که این مقدار آب داده شده به تنهایی برای تولید گیاه زراعی کافی نیست (نویت^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). از این روش در مناطق نیمه‌خشک و خشک برای دستیابی به عملکرد محصول مناسب به‌صورت بهینه استفاده می‌شود. اوویس و هچم^۵ (۲۰۰۳) گزارش کردند که اضافه کردن مقدار محدود آب آبیاری همراه بارندگی در مراحل بحرانی رشد محصول، می‌تواند عملکرد و بهره‌وری آب را نیز بهبود بخشد. بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که انجام آبیاری تکمیلی برای دستیابی به حداکثر عملکرد گندم در شرایط بحرانی ضروری است (الشاتر^۶ و همکاران، ۲۰۱۷؛ یانگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۸).

^۶. El-Shater

^۷. Yang

^۸. Kobota

^۹. Weiwei

^{۱۰}. Man

^۱. Liu

^۲. Qi

^۳. Wang

^۴. Nwite

^۵. Oweis and Hachum

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در کشتزار دیم در محدوده دانشگاه زنجان در زمینی به مساحت ۲۰۰ متر مربع در شیب ۱۰ درصد در عرض جغرافیایی $15^{\circ} 41' 38''$ شمالی و طول جغرافیایی $24^{\circ} 23' 48''$ در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ انجام شد. سطح زیر کشت گندم در استان زنجان ۳۰۶۴۳۰ هکتار است که ۹۳ درصد آن به صورت دیم انجام می‌گیرد. متوسط عملکرد گندم دیم در استان ۱۱۲۷ کیلوگرم در هکتار است که به طور میانگین ۲۶ درصد کمتر از تولید گندم دیم در کشور (۱۵۱۳ کیلوگرم در هکتار) است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). منطقه مورد بررسی دارای متوسط بارش سالانه حدود ۲۷۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۶۵۰ متر است. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، دارای اقلیم سرد و خشک است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک براساس اطلاعات نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی کشور به ترتیب زیریک و مزیک است. عمده واحدهای فیزیوگرافی در منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای دشت دامنه‌ای آبرفتی و فلات‌ها هستند (زرین‌آبادی و واعظی، ۱۳۹۵).

کشت گندم

کشت گندم دیم در دو جهت شخم (موازی شیب و بر روی خطوط تراز) انجام شد. برای این منظور سطحی از کشتزار دیم به مساحت ۲۰۰ مترمربع در نظر گرفته و به دو بخش یکنواخت در عرض زمین جدا شد. زمین به وسیله گاواهن برگردان‌دار در فصل پاییز (مهر ماه) شخم زده شد و در ادامه به وسیله دستگاه ردیف‌کار خطی تحت کشت گندم رقم آذر دو قرار گرفت. در هر بخش پس از شخم و کشت گندم، کرت‌هایی در سه تکرار به ابعاد پنج متر در دو متر احداث شد و پیرامون آن‌ها با پشته خاکی بسته شد.

آبیاری تکمیلی برای کشت گندم زمستانی در اقلیم نیمه-مرطوب اگر آبیاری تکمیلی از سطح تا عمق ۴۰ سانتی‌متری سطح خاک اثرگذار باشد، اثری معنی‌دار بر عملکرد خواهد داشت. الشاتر و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده از آبیاری تکمیلی در سوریه موجب افزایش شش درصدی عملکرد برای کشت گندم در مناطق خشک می‌شود. امام-دوست و همکاران (۱۳۹۶) طی پژوهشی که از آب باران جمع‌آوری شده برای آبیاری تکمیلی در گندم و جو در اقلیم مرطوب مازندران استفاده کردند. نتایج نشان داد تا اسفند ماه نیازی به آبیاری تکمیلی وجود ندارد اما از فرودین تا خرداد نیاز به آبیاری تکمیلی است که با آب باران جمع-آوری شده آبیاری تکمیلی صورت گرفت. یانگ و همکاران (۲۰۱۸) طی پژوهشی اثر سه زمان آبیاری تکمیلی (در زمستان، مرحله ساقه‌رویی و مرحله دانه‌بندی) بر روی گندم زمستانی بررسی کردند و نشان دادند که در هر سه زمان، آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد از لحاظ عملکرد دانه وجود داشت.

گندم بیش از ۲۰ درصد از زمین‌های زراعی جهان را در بر می‌گیرد (لیو و همکاران، ۲۰۱۶). در ایران نیز حدود شش میلیون هکتار زمین تحت کشت گندم در کشور قرار دارد که ۸۰ درصد آن به صورت دیم است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از راه‌های افزایش عملکرد گندم دیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده به موقع از آبیاری تکمیلی است. بررسی‌های پیشین نشان می‌دهد که آبیاری تکمیلی تأثیر به‌سزایی بر عملکرد محصولات دیم در مناطق نیمه‌خشک دارد. تحقیقات صورت گرفته بیشتر بر اساس اعمال تیمارهای مختلف آبیاری در زمان‌های متفاوت و یا بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر ذخیره‌سازی رطوبت خاک در کشت گندم دیم است. در این پژوهش سعی بر آن است که براساس مطالعه تغییرات رطوبتی و مقایسه آن با آب سهل-الوصول بحرانی‌ترین بازه زمانی برای اعمال آبیاری تکمیلی در دو جهت کشت (موازی شیب و روی خطوط تراز) تعیین شود.

تعیین ویژگی‌های خاک

برای تعیین ویژگی‌های خاک، نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. چگالی ظاهری با استفاده از استوانه فلزی به قطر پنج و ارتفاع ۴/۸ سانتی‌متر (گیبی^۱ و بادر، ۱۹۸۶)، پایداری خاکدانه به روش الک تر (بلک^۲، ۱۹۶۵) در خاکدانه‌های با قطر شش تا هشت سانتی-متر به مدت یک دقیقه با سرعت ۲۰ دور در دقیقه (واعظی و پیری‌مقدم، ۱۳۹۵)، ظرفیت مزرعه (۳۰ کیلو پاسکال) و نقطه پژمردگی دائم (۱۵۰۰ کیلو پاسکال) به ترتیب با دستگاه صفحات فشاری و غشای فشاری اندازه‌گیری شد (یودر^۳، ۱۹۳۶). سایر ویژگی‌های خاک در نمونه خاک گذرانده از الک دو میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در این راستا بافت خاک به روش هیدرومتری (گیبی و بادر، ۱۹۸۶)، ماده آلی به روش والکی و بلک (والکی^۴ و بلک، ۱۹۳۴) و مقدار آهک به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک یک نرمال (پیچ^۵ و همکاران، ۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای آب خاک

درصد حجمی آب در خاک با استفاده از دستگاه TDR مدل IDRGS SMS-T2 در کرت‌های مورد بررسی به مدت یک سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۶) از سطح تا عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. انتخاب عمق ۲۵ سانتی‌متری برای پایش رطوبتی خاک به دلیل مشاهدات مزرعه‌ای نفوذ ریشه گندم در خاک کشتزار بود. مشاهدات نشان داد که به دلیل وجود کفه سخت آهکی، امکان گسترش ریشه گندم در عمق بیش از ۲۵ سانتی‌متر وجود ندارد. عمق مذکور، تأمین‌کننده بخش عمده نیاز آبی گندم در شرایط دیم است و عملاً به دلیل وجود بافت درشت در خاک سطحی، تأمین آب به واسطه فرآیند موئینگی ناچیز است. سال زراعی برای کشت گندم زمستانه در منطقه زنجان از اواخر آبان تا اواخر خرداد در نظر گرفته می‌شود.

برای انجام این کار در بازه‌های زمانی ۱۰ روز و در صورت وقوع بارندگی، پس از هر بارش (ژانگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۵) حسگرها در کرت جایگذاری و اندازه‌گیری رطوبت طی دوره رشد انجام شد. واسنجی حسگرها و دستگاه نیز در آزمایشگاه صورت پذیرفت. رطوبت موجود در خاک (معادل ارتفاع آب) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (آلن^۷ و همکاران، ۱۹۹۸).

$$d_{water} = \theta_v \times D_{soil} \quad (1)$$

که در آن:

d_{water} ارتفاع آب موجود در خاک بر حسب متر،
 θ_v درصد حجمی رطوبت خاک و D_{soil} عمق مورد بررسی خاک بر حسب متر است.

یکی از عوامل مؤثر بر تغییرات محتوای آب خاک طی دوره رشد، بارندگی است. برای تعیین این عامل، مقدار بارندگی به وسیله دستگاه باران‌سنج در ایستگاه هواشناسی دانشگاه زنجان اندازه‌گیری شد.

تعیین تنش کم آبی گندم

برای تعیین تنش رطوبتی گندم، میزان آبی که گیاه در طول حیات خود به آن نیاز دارد باید محاسبه شود. برای این منظور ابتدا آب قابل دسترس محاسبه تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$TAW = 1000(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times Zr \quad (2)$$

که در آن:

TAW^A ارتفاع آب قابل دسترس (mm)، θ_{FC} رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_{PWP} رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم (درصد) و Zr عمق توسعه ریشه گیاه (m) است که در این پژوهش با توجه به مشاهدات میدانی برابر با ۰/۲۵ متر در نظر گرفته شد. مقدار آب سهل‌الوصول به صورت کسری از کل آب قابل دسترس براساس رابطه زیر است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

^۶. Zhang

^۷. Allen

^۸. Total available water

^۱. Gee

^۲. Black

^۳. Yoder

^۴. Walkly and Black

^۵. Page

$$RAW = P \times TAW \quad (3)$$

که در این معادله:

RAW^۱ مقدار آب سهل الوصول (میلی متر) و P کسری از کل آب قابل دسترس در خاک (ناحیه ریشه) می باشد که جذب آن توسط ریشه بدون ایجاد تنش رطوبتی در گیاه انجام می پذیرد (درصد). براساس توصیه فائو^۲ و نوع محصول، ضریب مذکور در این تحقیق برای گندم برابر با ۰/۵۵ در نظر گرفته شد. بر همین اساس تنش رطوبتی از تفاضل مقدار آب خاک از مقدار آب سهل الوصول به دست آمد. مقادیر مثبت وجود رطوبت کافی و مقادیر منفی نشان دهنده تنش رطوبتی در بازه زمانی مورد نظر برای گیاه گندم است و گیاه گندم شامل پنج مرحله رشدی جوانه زنی (اوایل تا اواخر آذر)، پنجه زنی (اوایل دی تا اواخر اسفند) ساقه روی (اوایل فروردین تا اواخر فروردین)، گلدهی (اوایل تا اواخر اردیبهشت) و دانه بندی (اوایل تا اواخر خرداد) است (کابوسی و مجیدی، ۱۳۹۶). با توجه به بازه های زمانی که گیاه دچار تنش رطوبتی شده است و بر اساس مرحله رشدی، مناسب ترین بازه برای زمان آبیاری تکمیلی گندم دییم پیشنهاد شد.

تجزیه و تحلیل داده ها

مقایسه آماری محتوای آب خاک، آب سهل الوصول بین بازه های زمانی ۱۰ روزه با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. بررسی مقدار آب سهل الوصول در دو جهت کشت با استفاده از آزمون t جفتی انجام شد. بررسی تغییرات آب سهل الوصول در مراحل پنج گانه رشد گندم با استفاده از آزمون مقایسه میانگین دانکن انجام شد. برای انجام تحلیل آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی های خاک

بررسی درصد نسبی ذرات اولیه خاک نشان داد که بافت خاک کشتزار لومی شنی رسی است. خاک کشتزار از نظر ماده آلی بسیار ضعیف بوده و به دلیل داشتن کربنات کلسیم معادل بالا به عنوان خاک آهکی محسوب می شود (اسماعیل و همکاران، ۲۰۰۲). خاک محل از نظر پایداری خاکدانه ها ضعیف بوده که دلیل آن فراوانی اندک رس و ماده آلی در خاک است. محتوای رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه برابر با ۳۲ درصد و در نقطه پژمردگی دائم برابر با ۱۱ درصد بوده است. سایر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی های خاک مورد بررسی

بافت	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	چگالی ظاهری (gcm ⁻³)	پایداری خاکدانه (mm)	ماده آلی (%)	کربنات کلسیم (معدل %)	ظرفیت مزرعه (m ³ m ⁻³)	نقطه پژمردگی دائم (m ³ m ⁻³)
لوم رسی شنی	۶۰/۱۶	۲۸/۱۸	۱۱/۶۶	۱/۳۱	۱/۱۲	۰/۵۲	۱۲/۶۵	۰/۳۲	۰/۱۱

تغییرات زمانی بارش

تغییرات زمانی بارندگی طی دوره رشد گندم دییم (اول آذر تا آخر خرداد) در شکل (۱) نشان داده شده است. طی دوره رشد گندم، مجموعاً ۱۳۴/۸۸ میلی متر بارندگی رخ داد که ۷۲ درصد از کل بارندگی سالانه بود. بیشترین بارش طی دوره پژوهشی، در ماه فروردین (۳۶/۷۸ میلی متر)

و کمترین آن در ماه خرداد (صفر میلی متر) اتفاق افتاد. از لحاظ بازه های زمانی، بیشترین بارش در اواخر اسفند ماه (۲۷/۶۴ میلی متر) و کمترین بارش (صفر میلی متر) در اوایل آذر، اواسط دی، اواخر اردیبهشت و خرداد مشاهده شد. با توجه به نیاز شدید مراحل رشد جوانه زنی (صفر تا ۳۰ روز پس از کاشت) و دانه بندی (۱۹۰ تا ۲۰۰ روز پس از کاشت)

^۲. Fao

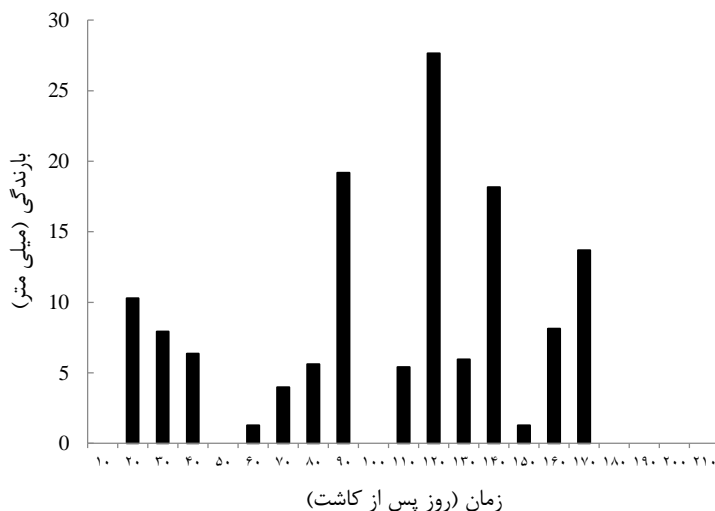
^۱. Readily available water

شیب (۱۲/۱ درصد حجمی) بود. بیشترین تفاوت بین دو جهت شخم از نظر محتوای رطوبتی خاک در دی ماه و کمترین آن در اردیبهشت بود. در خرداد ماه، تغییرات محتوای رطوبتی خاک در هر دو جهت کشت مشاهده نشد. در این زمان، گندم در مرحله دانه‌بندی بندی است و در اواخر این مرحله گیاه به مرحله خشک شدن و برداشت می‌رسد. از این رو در طی ماه آخر، فرآیند تعرق نقشی مهم در تخلیه رطوبتی خاک ایفا نمی‌کند. همچنین وجود بافت درشت خاک سطحی، حرکت موئینگی آب از لایه‌های پایین به خاک سطحی را محدود می‌کند. از این رو در اواخر دوره رشد تغییرات آشکاری از نظر محتوای رطوبتی خاک مشاهده نشد.

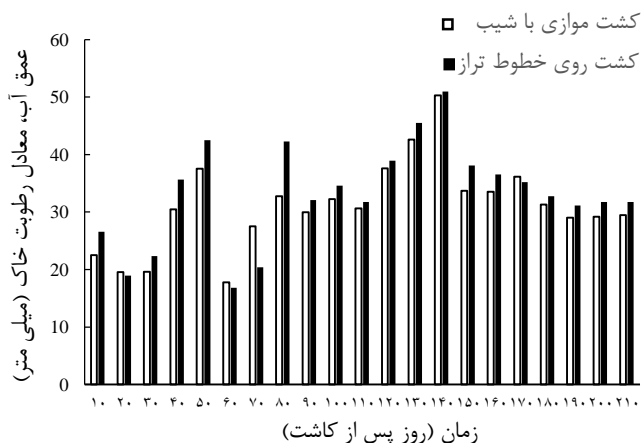
به آب در گیاه گندم، عمده‌ترین کمبود بارش در اوایل کشت (ماه آذر) و اواخر کشت (فصل بهار) مشاهده شد.

تغییرات زمانی مقدار آب خاک

بیشترین مقدار ارتفاع آب خاک، در عمق گسترش ریشه برای هر دو جهت کشت (موازی و کشت روی خطوط تراز) در مرحله ساقه‌روی (اواسط فروردین) مشاهده شد که به ترتیب برابر با مقادیر ۵۰/۹۵ و ۵۰/۱۴ میلی‌متر در عمق توسعه ریشه (سطح تا عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک) است (شکل ۲). به طور میانگین درصد حجمی رطوبت خاک طی دوره رشد در کشت روی خطوط تراز (۱۳/۲۶ درصد حجمی) شش درصد بیشتر از کشت موازی

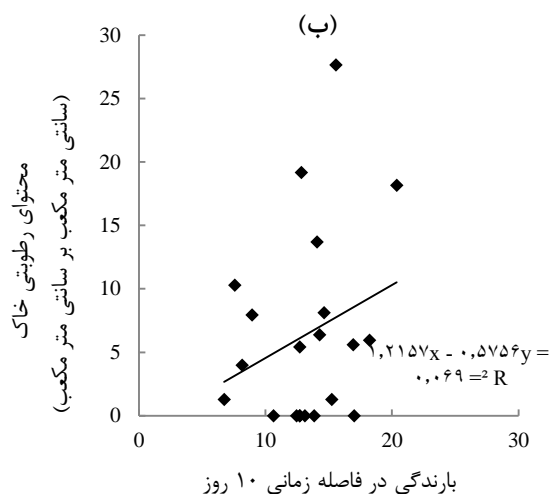


شکل ۱- تغییرات بارندگی طی دوره رشد گندم دیم از اول آذر تا آخر خرداد

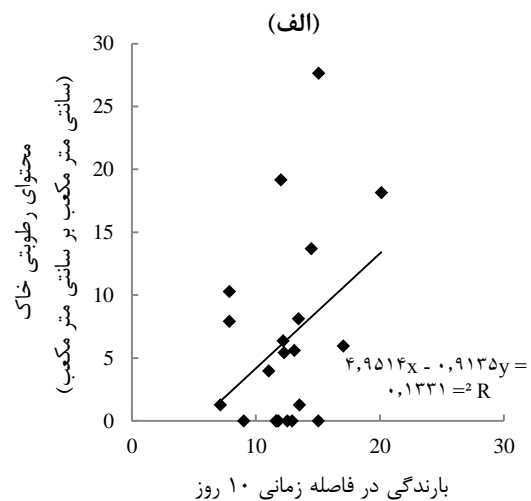


شکل ۲- تغییرات محتوای رطوبتی در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه بعد از کاشت (از سطح تا عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک)

محتوای رطوبتی معنی دار نبود. این نتیجه نشان می‌دهد که در کنار عامل، بارندگی سایر متغیرهای اقلیمی مانند درجه حرارت و باد با تأثیر بر شدت تبخیر و تعرق می‌تواند در تغییر محتوای آب خاک مؤثر باشد.



بررسی رابطه بین محتوای رطوبتی خاک و مجموع بارندگی در کشت موازی (۳-الف) و کشت روی خطوط تراز (۳-ب) در بازه‌های زمانی ۱۰ روز نشان داد که در هر دو جهت شخم، رابطه افزایشی بین بارندگی و

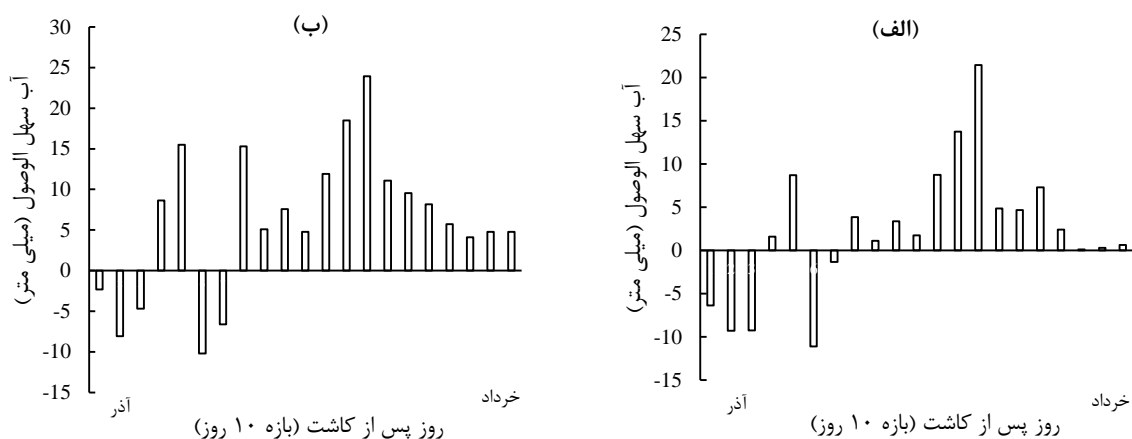


شکل ۳- وابستگی محتوای رطوبتی خاک در فواصل زمانی ۱۰ روز با مقدار بارندگی در همان فواصل زمانی در کشت موازی شیب (الف) و کشت روز خطوط تراز (ب)

گلدھی و دانه‌بندی را به عنوان مراحل حساس به تنش رطوبتی بیان نمودند. بر همین اساس مرحله پنجه‌زنی که در زمستان و هم‌زمان با مرحله خواب زمستانی است، از لحاظ تنش کم‌آبی حائز اهمیت نبود. لذا این دوره در پیش‌بینی مرحله تنش آبی گیاه در نظر گرفته نشد. بیش‌ترین تنش رطوبتی برای هر دو جهت کشت در مرحله جوانه‌زنی مشاهده شد؛ به طوری که مقدار تنش رطوبتی در کشت موازی شیب با کمبود ۹/۲۹ میلی‌متر و کشت روی خطوط تراز با کمبود ۸/۰۷ میلی‌متر بود. دلیل این اتفاق را می‌توان کمبود بارش قبل از کشت و در ابتدای دوره رشد که هم‌زمان با مرحله کاشت و جوانه‌زنی بود، مطرح کرد، زیرا تنها منبع تأمین رطوبت خاک در کشت دیم بارش باران است. بیشترین مقدار آب سهل‌الوصول (عدم وجود تنش رطوبتی) در کشت موازی شیب (۱۳/۷۴ میلی‌متر) و در کشت روی خطوط تراز (۱۸/۵۰ میلی‌متر) در مرحله ساقه-روی اتفاق افتاد.

تنش رطوبتی طی دوره رشد

بر اساس داده‌های ظرفیت مزرعه (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و ضریب تخلیه رطوبتی، مقدار آب قابل دسترس و آب سهل‌الوصول محاسبه شد. بر این اساس مقدار کل آب قابل دسترس و آب سهل‌الوصول در منطقه توسعه ریشه (۲۵ سانتی‌متر) به ترتیب برابر با ۵۲/۵ و ۲۸/۸۷ میلی‌متر بود. بیشترین آب سهل‌الوصول در کشت موازی شیب ۲۱/۲۶ میلی‌متر و در کشت روی خطوط تراز ۲۲/۰۷ میلی‌متر در مرحله ساقه‌روی مشاهده شد (شکل ۴) که دلیل آن وقوع بارش‌های مناسب در این دوره زمانی بود. با توجه به مقادیر رطوبت و آب سهل‌الوصول، دوره‌های زمانی تنش رطوبتی طی دوره رشد تعیین شد (شکل ۴). در مرحله پنجه‌زنی با وجود آن که کمبود بارندگی و کم‌آبی وجود داشت، اما به دلیل مقارن شدن با مرحله خواب گیاه، تنش رطوبتی در این مرحله در نظر گرفته نشد، تاتاری و همکاران (۱۳۹۱) نیز چهار مرحله جوانه‌زنی، ساقه‌روی،



شکل ۴- تغییرات مقدار آب سهل الوصول در عمق مؤثر ریشه در فواصل زمانی ۱۰ روزه در کشت موازی (الف) و کشت روی خطوط تراز (ب)

(۴/۴۳ میلی متر) نسبتاً بیشتر است. در صورت امکان آبیاری در اواخر فصل بهار (مرحله دانه بندی) برای هر دو جهت کشت به ویژه در کشت موازی شیب موجب بهبود عملکرد اقتصادی خواهد شد (هادی و همکاران، ۱۳۹۵). مقادیر رطوبت حجمی و آب سهل الوصول در شکل نشان دهنده کارآمد بودن کشت روی خطوط تراز است که موجب بالابردن محتوای رطوبتی خاک و آب قابل دسترس در فصل زراعی نسبت به کشت موازی شیب می شود (واعظی و پیری مقدم، ۱۳۹۵). براساس آزمون t جفتی تفاوت معنی داری بین تیمارها از نظر آب سهل الوصول ($p < 0/01$) وجود داشت (جدول ۲). بررسی وضعیت رطوبتی خاک طی مراحل مختلف رشد در دو جهت کشت نشان داد که تفاوت معنی داری ($p < 0/05$) بین آب سهل الوصول خاک در مراحل مختلف رشد در هر دو جهت کشت وجود داشت (جدول ۳).

تغییرات منفی در شکل (۴) نشان دهنده تنش رطوبتی است. در کرت های کشت شده در جهت موازی شیب (شکل ۴-الف) و روی خطوط تراز (شکل ۴-ب)، تنش رطوبتی در ماه آذر و مقارن با مرحله جوانه زنی ملاحظه شد. با توجه به تنش های رطوبتی و مقادیر بارندگی در بازه های زمانی، مناسب ترین زمان از لحاظ آبیاری تکمیلی برای هر دو جهت کشت در ابتدای فصل کشت و هنگام جوانه زنی است. آبیاری تکمیلی در ابتدای فصل کشت موجب بهبود جوانه زنی بذر و جلوگیری از به تأخیر افتادن دوره رشد گیاه می شود. در صورت کمبود رطوبت در مرحله جوانه زنی و دانه بندی، آبیاری تکمیلی در مرحله جوانه زنی پیشنهاد می شود (ال کایسی^۱ و همکاران، ۱۹۹۹؛ حسین^۲، ۲۰۱۷). در اواخر فصل بهار در کشت موازی با شیب میزان آب سهل الوصول ناچیز (۰/۳۵ میلی متر) است اما در کشت روی خطوط تراز مقادیر آب سهل الوصول

جدول ۲- مقایسه مقادیر آب سهل الوصول در دو جهت کشت با استفاده از آزمون t جفتی

متغیر	میانگین	انحراف معیار	میانگین خطا	t	درجه آزادی	سطح معنی داری
آب سهل الوصول	-۷/۷۵	۳/۲۴	۲/۵۸	-۲/۹۸	۴۰	۰/۰۰۵

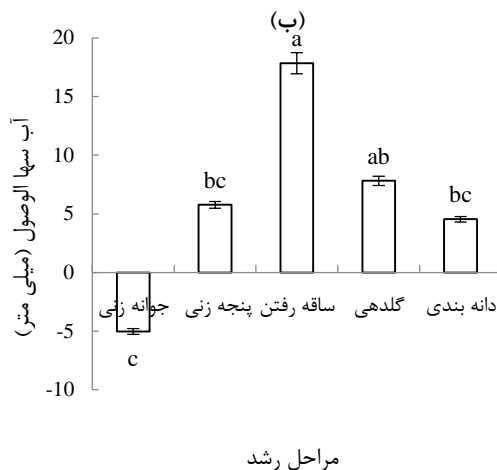
جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین آب سهل الوصول خاک طی مراحل رشد بر اساس آزمون دانکن

جهت کشت	متغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	F	معنی داری
موازی شیب	بین مراحل رشد	۷۳۴/۸۱۷	۴	۶/۷۷۰	۰/۰۲
روی خطوط تراز	بین مراحل رشد	۱۲۱/۸۲۱	۴	۳/۹۸۵	۰/۰۱

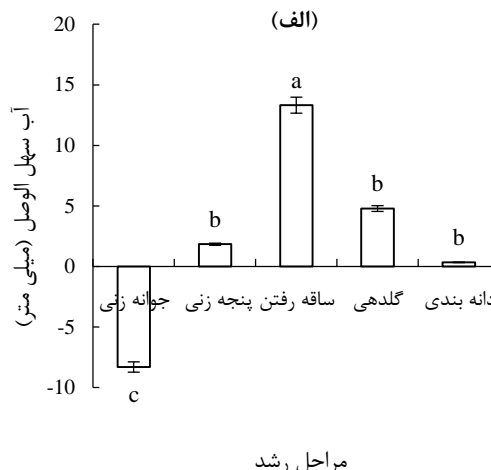
^۲. Hussein

^۱. Al-Kaisi

شد (شکل ۵-الف). بیشترین مقدار آب سهل الوصول در کشت روی خطوط تراز در مرحله ساقه‌روی (۱۷/۸۴ میلی-متر) و کم‌ترین مقدار آب سهل الوصول در مرحله جوانه‌زنی (کمبود ۵/۰۲ میلی‌متر) مشاهده شد.



براساس مقایسه آزمون دانکن در کشت موازی شیب، بیشترین مقدار آب سهل الوصول خاک مربوط به مرحله ساقه‌روی (۱۳/۳۳ میلی‌متر) و بیشترین تنش رطوبتی خاک در مرحله جوانه‌زنی (کمبود ۸/۳۱ میلی‌متر) مشاهده



شکل ۵- تغییرات آب سهل الوصول طی مراحل رشد در کشت موازی شیب (الف) و کشت بر روی خطوط تراز (ب)

کشت موازی شیب و کشت روی خطوط تراز تفاوت معنی-داری از نظر مقدار آب سهل الوصول گیاه در مراحل مختلف رشد مشاهده شد ($p < 0.05$). در فروردین با بیشترین مقدار بارندگی (۳۶/۷۸ میلی‌متر)، برای هر دو جهت کشت موازی و کشت روی خطوط تراز به ترتیب برابر با مقادیر ۵۰/۱۴ و ۵۰/۹۵ میلی‌متر مشاهده شد. میانگین مقدار آب سهل-الوصول طی دوره رشد در روش کشت روی خطوط تراز (۶/۰۷ میلی‌متر)، حدود ۲/۵ برابر بیشتر از روش کشت موازی شیب (۲/۲۵ میلی‌متر) بود و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$). در هر دو جهت کشت، بیشترین مقدار آب سهل الوصول در مرحله ساقه‌روی و کمترین مقدار آب سهل الوصول در مرحله جوانه‌زنی مشاهده شد. با توجه به ضرورت تأمین رطوبت کافی در مرحله جوانه‌زنی برای هر دو جهت کشت، انجام آبیاری تکمیلی در ابتدای جوانه‌زنی و بلافاصله پس از کشت ضروری است.

نتیجه‌گیری

نتایج پایش بارندگی و محتوای رطوبتی خاک طی دوره رشد در کشت‌تزار دیم گندم نشان داد که بیشترین مقدار بارش در اواخر اسفند (شروع مرحله ساقه‌روی) و کمترین مقدار آن در اوایل آذر (شروع مرحله جوانه‌زنی) و اواخر اردیبهشت و خرداد (شروع مرحله دانه‌بندی) اتفاق افتاد. میانگین رطوبت خاک طی دوره رشد در کشت روی خطوط تراز (۱۳/۲۶ درصد حجمی)، شش درصد بیشتر از کشت موازی شیب بود. در هر دو جهت کشت، تغییرات رطوبتی در فواصل ۱۰ روز با تغییرات بارندگی همبستگی مثبت داشت. تغییرات رطوبتی خاک از آغاز کشت تا اواخر فروردین (مرحله ساقه‌روی) روند افزایشی و پس از آن تا مرحله برداشت گندم روند کاهشی داشت؛ به نحوی که در

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، قلی‌زاده، ح.ا.، عبادزاده، ح.ر.، حسین‌پور، ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴.

۲. امام دوست، ش.، شاهنظری، ع. و رستمی ریگچشمه، ک.ی. ۱۳۹۶. تعیین سطح مورد نیاز استحصال آب باران برای آبیاری تکمیلی گندم و جو (مطالعه موردی استان مازندران-ریگ چشمه). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آب و آبیاری، ۷(۲۸): ۵۴-۶۳.
۳. تاتاری، م.، احمدی، م.م.، عباسی، ر. و کمر، ع. ۱۳۹۱. اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم. نشریه پژوهش های زراعی ایران. ۱۰(۲): ۴۴۸-۴۵۵.
۴. زرین آبادی، ا. و واعظی، ع. ۱۳۹۵. تولید روان آب و هدررفت خاک در مراتع با پوشش ضعیف تحت تأثیر تغییر کاربری زمین و جهت شخم. تحقیقات آب و خاک، ۴۷(۱): ۸۷-۹۸.
۵. فعله کری، ح.، اقبال قبادی، م.، محمدی، غ.ر.، جلالی هنرمند، س.، قبادی، م. و سعیدی، م. ۱۳۹۳. اثر آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن بر شاخصهای رشدی دو رقم گندم دیم در شرایط کرمانشاه. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶(۲۲): ۱۰۱-۱۱۳.
۶. قمرنیا، ه.، فرمانی فرد، م. و ساسانی، ش. ۱۳۹۱. بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و کارایی مصرف آب سه رقم جدید گندم. مدیریت آب و آبیاری. ۲(۳): ۶۹-۸۳.
۷. کابوسی، م.ح.، و مجیدی، ع. ۱۳۹۶. پهنه بندی تاریخ های کاشت و برداشت و طول مراحل رشد گندم دیم بر اساس داده های بارش و دما در استان گلستان. نشریه زراعت دیم ایران. ۶(۱): ۱۰۳-۱۲۰.
۸. واعظی، ع. و پیری مقدم، ل. ۱۳۹۵. نگهداشت آب و عملکرد دانه گندم تحت تأثیر جهت شخم در کشت زار دیم منطقه نیمه خشک در غرب زنجان. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۶): ۲۸۵-۲۹۹.
۹. هادی، م.، مجنونی هریس، ا. و دلیرحسین نیا، ر. ۱۳۹۵. بررسی ریسک کاشت و تعیین زمان مناسب آبیاری تکمیلی گندم دیم در دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک، ۲۷(۲): ۳۰۷-۳۲۰.
10. Al-Kaisi, M.M., Shanahan, J.F., Shawcroft, R.W., and R. Roissant. 1999. Irrigation of winter wheat. Service in action. No. 0.556.
11. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO. Irrigation and Drainage Paper, 300(9): D05109.
12. Black, C.A. 1965. Method of soil analysis. Part I and II. Amer. Soc. Agron. Inc. Madison, Wiscosin, USA.
13. El-Shater, T., Yigezu, Y.A., Shideed, K., and A. Aw-Hassan. 2017. Impacts of Improved Supplemental Irrigation on Farm Income, Productive Efficiency and Risk Management in Dry Areas. Journal of Water Resource and Protection, 9(13):1709.
14. Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle Size Analysis.p. 383-411. In: Klute A. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1 .2nd ed. Agron.Monogr, 9.ASA, SSSA, Madison, WI.
15. Hussein, M.H. 2017. Rainfed farming prospects in the low rainfall zone of northern Iraq based on meteorological and soil moisture measurements. Journal of Aridland Agriculture. 3:11-17.
16. Ismail, M.A., Joer, H.A., Sim, W.H. and M.F. Randolph. 2002. Effect of cement type on shear behavior of cemented calcareous soil. Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering, 128(6):520-529.
17. Kobota, T. J., Palta, A., and N.C. Turner. 1992. Rate of development of postanthesis Water deficits and grain filling of Spring Wheat. Crop Science, 32:1238- 1242.
18. Liu, Y., Li. Q., Chen. F., Yang, S.J., and X.P. Chen. 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.

19. Liu, Y.J., Hu, J.M., Wang, T.W., Cai, C.F., Li, Z.X. and Y. Zhang. 2016. Effects of vegetation cover and road-concentrated flow on hillslope erosion in rainfall and scouring simulation tests in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Catena*, 136:108-117.
20. Man, J., Shi, Y., Yu, Z., and Y. Zhang. 2016. Root growth, soil water variation, and grain yield response of winter wheat to supplemental irrigation. *Plant Production Science*, 19(2): 193-205.
21. Nwite, J.C., Obalum, S.E., Igwe, C.A. and T. Wakatsuki. 2017. Interaction of small-scale supplemental irrigation, sawah preparation intensity and soil amendment type on productivity of lowland sawah-rice system. *South African Journal of Plant and Soil*, 34(4):301-310.
22. Oweis, T., and A. Hachum. 2003. Improving water productivity in the dry areas of West Asia and North Africa. In: Kijne, W.J., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing, Wallingford, UK. 179–197.
23. Page, M.C., Sprrks, D.L., and M.R. Noll. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic coastal. *Plain Soils*. *Soil Science Society of America Journal*, 51:1460-1465.
24. Qi, W. Z., Liu, H. H., Liu, P., Dong, S. T., Zhao, B. Q., So, H. B., and B. Zhao. 2012. Morphological and physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) roots from cultivars with different yield potentials. *European Journal of Agronomy*, 38: 54–63.
25. Walkly, A., and I.A. Black. 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science Society of America Journal*, 37:29-38.
26. Wang, C., Liu, W., Li, Q., Ma, D., Lu, H., Feng, W., Xie, Y., Zhu, Y. and T. Guo. 2014. Effects of different irrigation and nitrogen regimes on root growth and its correlation with above-ground plant parts in high-yielding wheat under field conditions. *Field Crops Research*, 165:138-149.
27. Wang, D., 2017. Water use efficiency and optimal supplemental irrigation in a high yield wheat field. *Field Crops Research*, 213:213-220.
28. Weiwei, M., Yu, Z., Zhang, Y., Shi, Y. and D. Wang. 2015. Effects of supplemental irrigation on water consumption characteristics and grain yield in different wheat cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2):216-223.
29. Xue, Q., Zhu, Z., Musick, J.T., Stewart, B.A., and D.A. Dusek. 2003. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation. *Plant and Soil*, 257:151-161.
30. Yang, D.Q., Dong, W.H., Luo, Y.L., Song, W.T., Cai, T., Li, Y., Yin, Y.P. and Z.L. Wang. 2018. Effects of nitrogen application and supplemental irrigation on canopy temperature and photosynthetic characteristics in winter wheat. *The Journal of Agricultural Science*, 1-11.
31. Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. *Journal American Society of Agronomy*, 28: 337-351.
32. Zhang, B.C., Li, F.M., Huang, G.B., Gan, Y., Liu, P.H. and Z.Y. Cheng. 2005. Effects of regulated deficit irrigation on grain yield and water use efficiency of spring wheat in an arid environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(4):829-837.
33. Zhang, Y.Q., Eloise, K., Yu, Q., Liu, C.M., Shen, Y.J., and H.Y. Sun. 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64:107-122.
34. Zhu, Q., Schmidt, J.P., Lin, H.S., and R.P. Sripada. 2009. Hydropedological processes their implications for nitrogen availability to corn. *Geoderma*, 154:111–122.

Determining Supplemental Irrigation Time for Rainfed Wheat by Monitoring Variations of Soil Water Content during Growth Period

A. R. Vaezi^{1*}, U. Mazloom Aliabadi, and A. Zabihi

Professor, Soil Science Department, University of Zanjan.

Vaezi.alireza@gmail.com

PhD Student, Soil Science Department, University of Zanjan.

uones.mazloom@znu.ac.ir

MSc Student, Soil Science Department, University of Zanjan.

armanzabihi1990@gmail.com

Abstract

Dry farming is an important method of crop production, particularly in semi-arid regions, where crop yield strongly depends on precipitation amount and its temporal variation during the growing season. Supplemental irrigation is a suitable practice for mitigating moisture stress and, consequently, improving crop yield in rainfed agriculture. This study was conducted to estimate the proper time of supplemental irrigation in rainfed land by measuring soil water content during growth period, in 2016-2017. A field experiment was conducted using two plowing directions (along the slope and on contour lines) in plots with 2 m × 5 m dimensions, in a rainfed farm with 10 % slope. Volumetric soil water content (SWC) was measured in root zone by a TDR set at 10-day interval during growth period, from November 2016 to June 2017. Based on the results, SWC in the plots plowed on contour lines was about 6 % higher than the plots plowed along slope, and this difference was statistically different ($P < 0.05$). The mean readily available water (RAW) during growth period in the plots plowed on contour lines (6.07 mm) was about 2.5 times higher than the plots plowed along slope (2.25 mm) and showed significant difference with it ($P < 0.05$). The highest RAW was observed at stem elongation and the lowest value was found at grain germination, at which stage, about 6.7 mm water deficit was observed in rainfed wheat. Thus, application of supplemental irrigation at this stage can efficiently prevent water stress and improve wheat grain yield in this semi-arid region.

Keywords: Readily available water, Growth stage, Plow direction, Semi-arid region, Water deficit

1 - Corresponding author: Professor, Soil Science Department, University of Zanjan

*- Received: April 2018, and Accepted: November 2018