

تأثیر مقدار آبیاری و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

فرشاد خشائی، جواد بهمنش، وحید رضوردی نژاد^{۱*} و نسرين آزاد

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

fkhashayi@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

j.behmanesh@urmia.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

v.verdinejad@urmia.ac.ir

دانش‌آموخته دکتری گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

n.azad86@yahoo.com

چکیده

امروزه روند استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در گیاهان ردیفی به علت افزایش کارایی آب و کود، رو به افزایش است. به منظور بررسی اثر مقدار آبیاری و تعداد تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه ذرت، مطالعه مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۷ به صورت کرت‌های نواری خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه انجام شد. کرت‌های اصلی این آزمایش شامل سه سطح آبیاری با میزان ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰ درصد نیاز خالص آبیاری و کرت‌های فرعی شامل سه تقسیط کود اوره به صورت هفتگی، یک هفته در میان و سه مرحله در فصل رشد بود. بر اساس نتایج بدست آمده، اثر تیمار مقدار آبیاری و تعداد تقسیط کود بر عملکرد و اجزای عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر مقادیر آبیاری روی بهره‌وری آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر تیمار تعداد تقسیط کود بر بهره‌وری آب معنی‌دار نشد. اثرات متقابل دو فاکتور نیز روی ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی روی عملکرد دانه، زیست توده و بهره‌وری آب معنی‌دار نشد. بیشترین عملکرد دانه و زیست توده ذرت به ترتیب با ۱۴/۹۲ و ۳۹/۸۵ تن در هکتار در تیمار آبیاری کامل بدست آمد. همچنین مقدار عملکرد دانه و زیست توده در تیمارهای سه تقسیط به ترتیب با ۱۲/۳۱ و ۳۲/۵۶ تن در هکتار نسبت به تیمارهای تقسیط هفتگی و یک هفته در میان، دارای بیشترین مقدار بود. بیشترین بهره‌وری آب به میزان ۲/۹۸ کیلوگرم بر هکتار با اعمال کم آبیاری به میزان ۷۵٪ نیاز آبی خالص گیاه بدست آمد. به نظر می‌رسد اعمال کم آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی ذرت به علت بهره‌وری آب بالا در نواحی دارای مشکل کمبود منابع آب می‌تواند راهکار مناسبی برای صرفه‌جویی آب و رسیدن به بازده بیشتر باشد. همچنین تزریق کود با مقادیر بیشتر ولی دفعات کمتر و به ویژه در مراحل حساس رشد، می‌تواند راهکار موثرتری نسبت به کاربرد مقادیر کمتر ولی تعداد دفعات کود بیشتر باشد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، کم آبیاری، صرفه‌جویی آب

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه.

*- دریافت: مرداد ۱۳۹۸ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

ET و WP_{ET} به ترتیب بهره‌وری آب، عملکرد و مقدار تبخیر و تعرق طی فصل زراعی می‌باشند (رضاووردی-نژاد و رضائی، ۱۳۹۴).

هدف اصلی استفاده از روش‌های کم‌آبیاری، صرفه‌جویی آب به مقدار قابل توجه، تنها با کاهش ناچیز در عملکرد گیاه با قرار گرفتن گیاه در معرض یک تنش آبی ملایم است که می‌تواند اثرات مثبت زیست‌محیطی داشته و همچنین عملکرد گیاه را از طریق بهبود تغذیه گیاه و رشد ریشه افزایش دهد (قیصری و همکاران، ۲۰۱۷). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی^۳ (SDI) پیشرفته‌ترین روش آبیاری است که امکان استفاده از مقادیر کم آب را به خاک میسر می‌سازد (پاتل و راجپوت، ۲۰۰۸). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به صورت کاربرد آب در زیرسطح خاک از طریق قطره‌چکان‌ها با شدت جریان عموماً مشابه با آبیاری قطره‌ای سطحی تعریف می‌شود (کمپ، ۱۹۹۸). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحت شرایط مشخصی سودمندترین روش برای آبیاری گیاهان و مزارع است (ائلمان‌اوغلو و دیامان-توپولوس، ۲۰۰۹). از دلایل ابتدایی که سبب افزایش بهره‌وری استفاده از آب یا صرفه‌جویی آب در این سیستم می‌شوند می‌توان به کاهش یا حذف تلفات نفوذ عمقی، رواناب آبیاری و تبخیر آب، بهبود وضعیت نفوذ، ذخیره و استفاده از بارندگی، بهبود یکنواختی در مزرعه و تزریق آب به ناحیه ریشه گیاه و بهبود سلامت، رشد، عملکرد و کیفیت گیاه اشاره کرد (لام، ۲۰۱۴).

نیتروژن در تولید محصولات کشاورزی نقش بسزایی دارد از این رو انتخاب نوع و مقدار کود نیتروژن جهت برداشت حداکثر محصول امری ضروری است. به-کارگیری روش‌های جدید مدیریتی که بر اساس افزایش کارایی کود و آب استوار باشد، می‌تواند باعث افزایش تولیدات کشاورزی شود (عباس‌دخت و عارف‌بیک، ۱۳۹۴). به‌طور معمول، کود نیتروژن قبل از کشت ذرت چه در پاییز و چه در بهار به‌کار می‌رود (ون‌دونک و شاور، ۲۰۱۶). اکنون کاربرد کود نیتروژن برای ذرت پس از کشت،

در حال حاضر رقابت بر سر مصرف آب بین بخش‌های کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست وجود دارد و با توجه به افزایش جمعیت و اثرات تغییر اقلیم در آینده تشدید نیز خواهد شد (آیاز و همکاران، ۲۰۱۵). به-طور کلی، کشاورزی فاریاب بیشترین مصرف‌کننده آب می‌باشد (فاری و فسی، ۲۰۰۹). آب مهمترین عامل محدودکننده کشاورزی در ایران می‌باشد. بخش کشاورزی بیش از ۹۰ درصد از آب استحصال شده کشور را به خود اختصاص می‌دهد (حیدری‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

ذرت یکی از سه محصول اصلی غله‌ای جهان به شمار می‌رود. ذرت به کم‌آبی بسیار حساس است (کاکیر، ۲۰۰۴). به‌همین دلیل، یکی از مهم‌ترین مشکلات زارعین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فراهم ساختن شرایط مطلوب به‌ویژه تأمین آب کافی در طول دوره رشد می‌باشد (افراسیاب و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از روش‌های آبیاری مرسوم باعث کاهش منابع آب برای افزایش سطح زیر کشت این محصول شده است. با توجه به توسعه سطح زیر کشت ذرت، بررسی روش‌های مناسب و قابل اجرا جهت کاهش مصرف آب، اجتناب ناپذیر است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴). برای افزایش بهره‌وری آب در مناطق خشک و نیمه خشک، کم‌آبیاری^۱ اغلب یک گزینه مناسب است. بهره‌وری آب^۲ کشاورزی، مقدار عملکرد یا ارزش عملکرد به ازای واحد حجم آب مصرفی می‌باشد (رضاووردی-نژاد و رضائی، ۱۳۹۴). هم‌چنین در تعریفی دیگر بهره‌وری، کیلوگرم محصول تولید شده قابل ارائه به بازار در واحد حجم آب مصرف شده می‌باشد (WP_{ET}) (حیدری‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). بهره‌وری آب به صورت معادله (۱) قابل محاسبه است:

$$WP_{ET} = \frac{Y (kg \cdot ha^{-1})}{ET (m^3 \cdot ha^{-1})} \quad (1)$$

که در آن:

³ -Subsurface drip irrigation

¹ - Deficit irrigation

² - Water Productivity

عملکرد بیولوژیک ذرت افزایش می‌یابد. عباس‌دخت و عارف‌بیگی (۱۳۹۴) اثرات تقسیط کود نیتروژن را شامل مصرف یک، دو و سه مرحله‌ای کود در گیاه ذرت بررسی کردند و نتیجه گرفتند که کودهای شیمیایی نیتروژنه چنانچه در دو یا سه نوبت مصرف شوند به علت بهبود بخشیدن اثر مصرف، عملکرد دانه را بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند. طبق نتایج آنها، بیشترین میزان عملکرد دانه در مصرف کود سه مرحله‌ای بدست آمد. کریمی و همکاران (۱۳۹۴) سه سطح آبیاری ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی ذرت در سیستم آبیاری قطره‌ای را بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که در سطوح آماری یک و پنج درصد تفاوت معنی‌داری بین عملکرد محصول در تیمارهای مختلف آبیاری وجود ندارد و در صورت وجود محدودیت آب، اعمال تنش ۸۰ درصد نیاز آبی توصیه می‌گردد. کوهی چله‌کران و همکاران (۱۳۹۴) با اعمال سه رژیم آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز واقعی گیاه ذرت با آبیاری قطره‌ای دریافتند که بیشترین و کمترین عملکرد دانه خشک به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۶۰ درصد اتفاق می‌افتد. پایرو و همکاران (۲۰۰۸) با انجام مطالعه‌ای نتیجه گرفتند که عملکرد دانه و بهره‌وری کود نیتروژن از طریق کودآبیاری قطره‌ای زیرسطحی در طول فصل رشد نسبت به یک بار مصرف کود قبل از کشت افزایش داشت. لام و تروین (۲۰۰۳) طی یک تحقیق ده ساله در ایالت کانزاس آمریکا با سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دریافتند که با مدیریت صحیح سیستم، نیاز خالص آبیاری گیاه می‌تواند تا ۲۵ درصد کاهش یابد. لام (۲۰۰۵) اعلام کرد عملکرد ذرت با آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه با استفاده از سیستم قطره‌ای زیرسطحی، تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل و بیش آبیاری ندارد. لام و همکاران (۲۰۰۱) تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه ذرت در مصرف کل کود نیتروژن به صورت قبل از کشت و یا در طول فصل کشت با چندین هفته مصرف به صورت کودآبیاری قطره‌ای زیرسطحی مشاهده نکردند. وریس و همکاران (۲۰۰۹) دو سطح آبیاری ۱۰۰ و

طی دوره رویشی رایج‌تر است. فواید کاربرد نیتروژن در طول فصل رشد شامل کاهش تلفات نیتروژن از طریق آبشویی و دی‌نیتریفیکاسیون در فصول مرطوب می‌باشد و بهره‌وری استفاده نیتروژن و یا عملکرد را افزایش می‌دهد. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به راحتی اجازه کاربرد کود در طول فصل را می‌دهد (ون‌دونک و شاور، ۲۰۱۶). کودآبیاری زیرسطحی برای ذرت، می‌تواند یک سیستم آبیاری بسیار عالی برای بهبود مدیریت مواد مغذی باشد (لام، ۲۰۱۶). از مزایای کودآبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌توان به تزریق مستقیم کود در ناحیه ریشه گیاه و جلوگیری از رشد علف‌های هرز، به دلیل کاهش رطوبت و مواد مغذی در سطح خاک، اشاره کرد (ون‌دونک و شاور، ۲۰۱۶).

بررسی استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری و کودآبیاری مورد توجه محققین مختلف بوده است. اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی سه سطح کود اوره در کشت گیاه ذرت به صورت تقسیط‌های یک، دو و سه مرحله‌ای دریافتند زیست‌توده^۱ کل گیاه بطور معنی‌داری تحت تأثیر تقسیط کود نیتروژن قرار نگرفت ولی بیشترین عملکرد زیست‌توده در تقسیط سه مرحله‌ای بدست آمد. اشرفی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی مقادیر مختلف آبیاری برای ذرت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دریافتند که مقدار آب مصرفی در مزرعه نقش بسیار موثری بر تولید ذرت دارد. افراسیاب و همکاران (۱۳۹۵) با به‌کارگیری چهار سطح آبیاری شامل دو تیمار کم‌آبیاری، یک تیمار آبیاری کامل و یک تیمار پرآبیاری در آبیاری قطره‌ای نواری ذرت چنین نتیجه گرفتند که بالاترین کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری کامل حاصل می‌شود. افشار و صدقاین (۱۳۹۲) با بررسی سه سطح آبیاری در کشت گیاه ذرت در سیستم قطره‌ای نواری زیرسطحی دریافتند که بیشترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری کامل و بدون تنش آبی است. حیدری‌پور و همکاران (۱۳۹۳) اثرات مختلف سطوح آب و کود نیتروژن را در آبیاری نشتی برای گیاه ذرت مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که با افزایش مصرف نیتروژن، رشد رویشی و

¹ - Biomass

مواد و روشها

به منظور تعیین اثرات سطوح آبیاری به صورت به‌کارگیری مقادیر مختلف آب آبیاری و تعداد تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب گیاه ذرت با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه با طول جغرافیایی ۴۴/۹۷ درجه و عرض جغرافیایی ۳۷/۶۷ درجه و ارتفاع ۱۳۶۴ متر در تابستان ۱۳۹۷ انجام گردید. شهرستان ارومیه با متوسط بارش سالیانه ۳۰۸ میلی‌متر، حداکثر و حداقل دمای بلند مدت به ترتیب ۱۸/۱ و ۵/۴ درجه سانتی-گراد در شمال‌غربی ایران قرار داشته و یک اقلیم نیمه‌خشک محسوب می‌شود. قبل از انجام تحقیق، نمونه‌برداری از خاک مزرعه مورد آزمایش در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر در نقاط مختلف توسط مته نمونه‌برداری به صورت دستی انجام شد و در آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفت. خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول شماره ۱ آمده است. آب آبیاری از چاه تأمین شد که نتایج آزمون کیفی آن نیز در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

۶۰ درصد تبخیر و تعرق روزانه گیاه ذرت و یک تیمار بدون آبیاری را در نواحی جنوبی آمریکا با اقلیم مرطوب بررسی کردند. آنها پیشنهاد کردند که آبیاری به میزان ۶۰ درصد تبخیر و تعرق روزانه با سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند برای دستیابی به حداکثر محصول کافی باشد. طبق آنچه ذکر شد، مطالعات مختلفی در خصوص شیوه‌های کم‌آبیاری و مدیریت کودآبیاری در روش‌های مختلف آبیاری از جمله قطره‌ای سطحی و زیرسطحی انجام گرفته است ولی استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کمتر مورد توجه بوده است. در اغلب مطالعات نیز تمرکز محققین روی مقدار کوددهی و کاهش آن نسبت به توصیه کودی منطقه می‌باشد و به‌کارگیری نیاز کودی در تقسیط‌ها و تناوب‌های مختلف کوددهی در طول فصل رشد به ویژه در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد توجه نبوده است. هدف از انجام این تحقیق بررسی و ارزیابی اثرات مقادیر مختلف آبیاری و تعداد تقسیط کود نیتروژن روی عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب گیاه ذرت با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمایش فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک (cm)	بافت خاک (-)	آهک (%)	ازت کل (%)	کربن آلی (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	شوری (dS/m)	اسیدیته (PH)	رطوبت اشباع (%)
۰-۳۰	رس سیلتی	۱۰/۵	۰/۱۲	۱/۳۴	۱۱/۵	۵۰۳	۰/۶	۸/۳	۵۳
۳۰-۶۰	رسی	۱۰/۸	۰/۰۶	۰/۶۵	۵/۵	۳۸۲	۰/۴۶	۸/۴	۵۳
۶۰-۹۰	رسی	۱۱/۷	۰/۰۴	۰/۴۶	۳/۷	۲۰۰	۰/۴۶	۸/۴	۵۱

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده

اسیدیته (-)	شوری (dS/m)	آن یون‌ها (meq/lit)			کاتیون‌ها (meq/lit)			
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
۷/۳	۰/۶۵	-	۵/۸	۰/۰۴	۰/۸	۳/۷	۳/۳	۰/۳

طول فصل رشد شامل مراحل ۴-۶ برگگی، ۱۰ برگگی و قبل از ظهور گل تاجی، به صورت کود آورده بود. فاصله هر تکرار سه متر، فاصله بین کرت‌های اصلی، برای جلوگیری از اثر رطوبت سطوح مختلف آبیاری در کرت‌های مجاور و همچنین فاصله بین تیمارهای کودی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش دارای ۲۰ متر طول و سه متر عرض

این آزمایش به صورت کرت‌های نواری خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی خالص گیاه (به ترتیب I₁، I₂، I₃) و کرت‌های فرعی شامل سه زمان مختلف کاربرد کود نیتروژن بصورت هفتگی (N₁)، یک هفته در میان (N₂) و سه تقسیط (N₃) در

$$ET_o = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma C_n \frac{U_2}{(T_{mean} + 273)} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)}$$

(۲)

که در آن:

ET_o : تبخیر- تعرق مرجع (mm day^{-1})، R_n : تابش خالص ورودی به سطح گیاه ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)، G : شار گرمای خاک ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)، γ : ضریب ثابت سایکرومتری ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)^۱، T_{mean} : میانگین روزانه دمای هوا ($^\circ\text{C}$)، e_s : فشار بخار اشباع (KPa)، e_a : فشار بخار واقعی (KPa)، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع (KPa)، U_2 : میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (m s^{-1})، Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)، $C_n = 900$: ضریب گیاه مرجع ($\text{Kg } ^\circ\text{K} / \text{Kj}$)، $C_d = 0.34$ و day^{-1} : ضریب باد برای گیاه مرجع (s m^{-1}) می‌باشند.

میزان بارندگی در طول فصل رشد کمتر از ۱۵ میلی‌متر بود که به دلیل کم بودن آن، از بارندگی موثر نیز صرف‌نظر شد. راندمان کاربرد به دلیل کوچک بودن قطعات آبیاری ۱۰۰٪ لحاظ شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها پس از رسیدن به مرحله ۳-۴ برگی اقدام به تنک کردن بوته‌های اضافی شد به نحوی که در هر چاله تنها یک بذر باقی ماند و تراکم کشت به ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار رسید. در اوایل فصل کشت و به منظور سبز شدن یکنواخت بذرهای کشت شده، آبیاری در تمام تیمارها به صورت یکسان انجام شد. در طول فصل ۳۰ آبیاری انجام شد که نه آبیاری با مقادیر یکسان برای تمام تیمارها قبل از انجام آزمایش‌ها صورت گرفت و سپس در ۲۱ آبیاری بعدی تیمار سطوح آبیاری اعمال شد. حجم کل آب داده شده برای تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ۵۱۵/۱۵ مترمکعب، برای تیمار ۷۵٪ نیاز آبی ۴۱۵/۲۹ مترمکعب و برای تیمار ۵۰٪ نیاز آبی، ۳۱۵/۶۹ مترمکعب بود.

مقدار کود مصرفی بر اساس آزمون خاک و توصیه بخش تحقیقات شیمی حاصلخیزی خاک و تغذیه

بود. لوله‌های آبیاری زیرسطحی قبل از کشت با فاصله یک متر از همدیگر در عمق ۳۰ سانتی‌متری زمین کار گذاشته شد. با توجه به اینکه گیاه ذرت در منطقه عموماً بعد از برداشت گندم و به صورت کشت دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد، ذرت رقم هیبرید دابل کراس ماکزیمما^۱ ۵۸۰ در عمق پنج الی هفت سانتی‌متری در تاریخ ۲۲ تیر به صورت دستی با قرار دادن دو الی سه بذر در هر چاله کشت گردید. فاصله ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله هر گیاه روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر انتخاب شد. هر کرت شامل سه ردیف لوله آبیاری زیرسطحی و شش ردیف ذرت بود به طوری که هر لوله به صورت یک در میان دو ردیف ذرت را آبیاری می‌کرد. لوله‌های زیرسطحی به کار رفته در این پژوهش دارای قطر ۲۰ میلی‌متر، ضخامت ۱/۰۵ میلی‌متر و قطره‌چکان‌های خودشوینده و تنظیم کننده فشار به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر و شدت آبدهی دو لیتر در ساعت بود. میزان آب مصرفی تیمارها با کنتور حجمی در ورودی هر کرت اندازه‌گیری شد. تمام عملیات زراعی نیز در همه تیمارها بطور یکسان انجام پذیرفت. آبیاری طبق برنامه از پیش تعیین شده برای مزارع تحقیقاتی در روزهای یکشنبه و چهارشنبه هر هفته با دوره‌های سه و چهار روز انجام می‌شد. برای برآورد نیاز آبی گیاه ابتدا تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از فرمول فائو- پنمن- مانتیت^۲ که به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود، بر اساس اطلاعات هواشناسی روزهای قبل که به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی واقع در نزدیکی مزرعه اخذ می‌شد، محاسبه گردید. سپس با استفاده از ضریب گیاهی به تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مورد نظر تبدیل شد. ضریب گیاهی ذرت در طول دوره رشد با استفاده از روش ارائه شده توسط فائو به صورت دو جزئی تعیین شد. ضریب گیاهی دو جزئی شامل دو جز تبخیر و تعرق می‌باشد که با توجه به اینکه در این مطالعه آبیاری به صورت زیرسطحی بود از بخش تبخیر صرف‌نظر گردید (آلن، ۱۹۹۸).

² - FAO- Penman- Monteith

¹ - Maxima (FAO-580)

وسط هر کرت جمعاً ۱۲ بوته به مساحت ۱/۵ مترمربع در هر تکرار انتخاب شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته نیز از هر ردیف در هر کرت دو بوته و در مجموع ۱۲ بوته در هر تکرار به صورت تصادفی انتخاب شد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ نیز در هر تکرار تعداد شش بوته از دو ردیف وسط کشت در هر قطعه انتخاب گردید. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و وزن زیست‌توده کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بر عملکرد دانه، وزن زیست‌توده و بهره‌وری آب در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

گیاه موسسه تحقیقات خاک و آب تعیین و به منظور تأمین نیاز فیزیولوژیک ذرت به کود نیتروژن در طول دوره رشد، به مقدار ۲۵۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره استفاده شد. این کود به نسبت مساوی برای تیمارهای تعریف شده بر اساس تقسیط‌های مختلف در طول دوره رشد به وسیله تانک تزریق کود مصرف گردید. مقدار کود فسفر به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سوپرفسفات تریپل قبل از کشت به صورت دستی مصرف شد. در پایان فصل رشد و پس از برداشت برخی صفات از قبیل عملکرد دانه به صورت وزن دانه‌های هر بلال به اضافه وزن چوب بلال، وزن زیست‌توده بصورت وزن خشک شده کل گیاه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، ارتفاع گیاه به صورت ارتفاع از طوقه تا ابتدای تاسل^۱، شاخص سطح برگ^۲ (LAI) و بهره‌وری آب (WP_{ET}) اندازه‌گیری و محاسبه شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، زیست‌توده و بهره‌وری آب، در هنگام برداشت تعداد شش بوته متوالی از هر یک از دو ردیف

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ذرت

میانگین مربعات					درجه آزادی	SOV	منابع تغییرات
ارتفاع گیاه (cm)	شاخص سطح برگ (cm ² /cm ²)	بهره‌وری آب (kg/m ³)	زیست‌توده (ton/ha)	عملکرد دانه (ton/ha)			
۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۴/۰۵ ^{NS}	۰/۵۹ ^{NS}	۲	rep	بلوک
۰/۴ ^{**}	۱/۷ ^{**}	۱/۲۶ ^{**}	۹۵۵/۷۶ ^{**}	۱۳۷/۶ ^{**}	۲	A	سطح آبیاری
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۶/۹۳	۰/۷۵	۴	rep*A	خطای عامل اصلی
۰/۰۲ ^{**}	۰/۶۵ ^{**}	۰/۴۶ ^{NS}	۴۹/۷۲ [*]	۸/۵۴ [*]	۲	B	تقسیط کود
۰/۰۰۳ [*]	۰/۰۹ ^{**}	۰/۰۱ ^{NS}	۱/۴۹ ^{NS}	۰/۶۱ ^{NS}	۴	A*B	سطح آبیاری × تقسیط
۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۱۳	۱۲/۱۱	۲/۱۶	۱۲	Error	خطای عامل فرعی
۰/۸۹	۰/۸۵	۱۳/۴۸	۱۱/۲۸	۱۲/۷۷		%CV	ضریب تغییرات

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد و NS معنی‌دار نبودن را بیان می‌کند

قرار گرفته‌اند. تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب با میانگین ۱۴/۹۲ و ۷/۲۵ تن در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند. همچنین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با زیست‌توده کل ۳۹/۸۵ تن در هکتار بیشترین و تیمار ۵۰

میزان عملکرد دانه اندازه‌گیری شده پس از تبدیل به عملکرد در رطوبت ۱۴ درصد و همچنین وزن زیست‌توده کل برای تیمارهای مختلف نشان داد که این صفات تحت تأثیر تیمار مقادیر آبیاری در سطح احتمال یک درصد

² - Leaf area index

¹ - Tassel

نشان داد که با کم‌آبایی به میزان ۵۰ درصد نیاز خالص آبی، وزن زیست‌توده در گیاه ذرت به نصف تقلیل می‌یابد. این امر نشان‌دهنده این است که ذرت به تنش‌های شدید رطوبتی عکس‌العمل بیشتری نشان می‌دهد و کاهش عملکرد چشمگیری دارد. تیمار تعداد تقسیط کود روی عملکرد دانه و وزن زیست‌توده گیاه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، در حالی که بررسی اثر متقابل سطوح آبیاری و تعداد تقسیط کود تفاوت معنی‌داری بین مقادیر عملکرد و زیست‌توده نشان نداد (جدول ۳). با توجه به میانگین‌های به‌دست آمده، بیشترین و کمترین مقدار عملکرد به‌ترتیب در کوددهی با سه تقسیط و هفتگی برابر با ۱۲/۳۱ و ۱۰/۴۳ تن در هکتار و همچنین بیشترین وزن زیست‌توده با ۳۲/۵۶ تن در هکتار برای کوددهی سه تقسیط و کمترین وزن زیست‌توده با ۲۸/۱۸ تن در هکتار با کوددهی به‌صورت هفتگی مشاهده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، چنین به‌نظر می‌رسد که افزایش تعداد تقسیط در طول فصل رشد نسبت به تعداد کمتر ولی با مقادیر کود بیشتر در هر تقسیط، منجر به کاهش عملکرد می‌شود با این تفاوت که تغییرات عملکرد در تغییر تعداد تقسیط‌ها نسبت به تغییرات ناشی از کم‌آبایی کمتر می‌باشد. به‌صورتی‌که میزان کاهش عملکرد و زیست‌توده در تیمار کوددهی هفتگی نسبت به سه تقسیط در طول فصل به‌ترتیب برابر با ۱۵/۳ و ۱۳/۵ درصد می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که ذرت به مقدار آب آبیاری و تنش رطوبتی حساسیت بیشتری نسبت به زمان تزریق کود در طول فصل دارد.

درصد نیاز آبی با زیست‌توده ۱۹/۶۲ تن در هکتار کمترین مقدار را داشت. معنی‌دار شدن زیست‌توده بر اثر مقادیر آبیاری بیان‌کننده این واقعیت است که تولید ماده خشک ذرت ارتباط بسیار نزدیکی با میزان آب در دسترس دارد به‌طوری‌که با افزایش مقدار آبیاری وزن زیست‌توده گیاه افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، چنین به‌نظر می‌رسد که اعمال کم‌آبایی برای زراعت ذرت چندان سودمند نمی‌باشد، چنان‌که نتایج تحقیقات اشرفی و همکاران (۱۳۹۳) نشان می‌دهد که ذرت به تنش آبی بسیار حساس بوده و مقدار آب مصرفی نقش بسیار برجسته‌ای در تولید ذرت دارد. همچنین نتایج تحقیقات ون‌دانک و شاورز (۲۰۱۶) نیز حاکی از این است که دلیل اصلی کاهش عملکرد در ذرت می‌تواند به علت کم‌آبایی در مقایسه با آبیاری کامل باشد. این موارد با نتایج حاصل از تحقیقات افشار و صدرقاین (۱۳۹۲)، افراسیاب و همکاران (۱۳۹۵)، فاری و فسی (۲۰۰۹) و وریس و همکاران (۲۰۰۹) نیز مطابقت دارد. همچنین نتایج حاصل از مطالعات اشرفی و همکاران (۱۳۹۳)، کاکیر (۲۰۰۴) و قیصری و همکاران (۲۰۱۷) نیز اهمیت میزان آب در دسترس بر وزن زیست‌توده را نشان داده‌اند. با توجه به مقایسه میانگین عملکرد به روش دانکن که در جدول ۴ ارائه شده است و مقایسه دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز خالص، کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب، عملکرد دانه را حدود ۱۷ درصد کاهش داد ولی در سطح آبیاری ۵۰ درصد این کاهش شدیدتر و ۵۱/۵ درصد می‌باشد. همچنین این مقایسات

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر مقدار آبیاری و تقسیط کود بر صفات مورد مطالعه ذرت

تیمار	عملکرد (ton/ha)	زیست‌توده (ton/ha)	بهره‌وری آب (kg/m ³)	شاخص سطح برگ (cm ² /cm ²)	ارتفاع گیاه (cm)
I ₁	۱۴/۹۲a	۳۹/۸۵a	۲/۹a	۶/۸۲a	۲۹۰a
I ₂	۱۲/۳۹b	۳۳/۱۱b	۲/۹۸a	۶/۷۷b	۲۹۰/۱a
I ₃	۷/۲۵c	۱۹/۶۲c	۲/۳b	۶/۰۵c	۲۵۴/۲b
N ₁	۱۰/۴۳b	۲۸/۱۸b	۲/۴۷b	۶/۳۴c	۲۷۴/۲c
N ₂	۱۱/۸۲ba	۳۱/۸۵a	۲/۷۹ba	۶/۴۵b	۲۷۸/۸b
N ₃	۱۲/۳۱a	۳۲/۵۶a	۲/۹۱a	۶/۸۵a	۲۸۲/۴a

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل دارای حرف مشابه هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

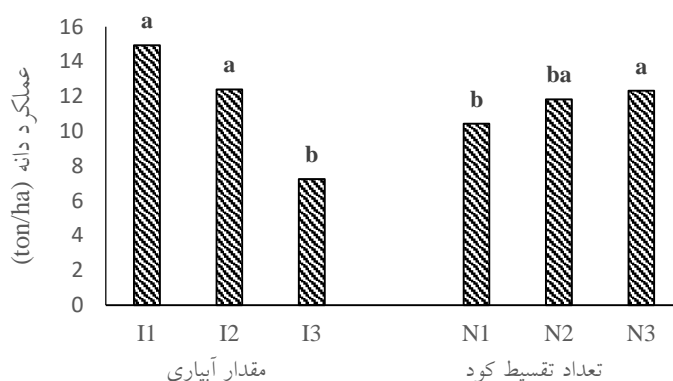
به روش دانکن این سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین مقدار عملکرد نیز متعلق به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و کوددهی به صورت هفتگی بود. با مقایسه اثر متقابل تیمارهای سطوح آبیاری و تعداد تقسیط کود نیز مشاهده شد که میانگین زیست‌توده در هریک از تیمارهای سطح آبیاری با تقسیط‌های مختلف در یک گروه آماری قرار دارد. بطور کلی چنین دریافت می‌شود که مقدار آبیاری بیشترین تأثیر را روی مقدار عملکرد و زیست‌توده گیاه در زراعت ذرت دارد. شکل‌های ۱ و ۲ نیز اثر سطوح آبیاری و تعداد تقسیط بر عملکرد دانه و زیست‌توده را نمایش می‌دهند.

با توجه به مطالعات انجام شده توسط آزاد و همکاران (۱۳۹۷) و ون دانک و شاور (۲۰۱۶) می‌توان دریافت که کاهش مقدار کود در هر مرحله و در عوض افزایش تعداد مراحل کوددهی در طی فصل رشد تأثیر مثبتی در افزایش عملکرد ندارد. نتایج تأثیر متقابل تیمارهای سطوح آبیاری و تعداد تقسیط نیز در جدول ۵ ارائه شده است که با بررسی آنها مشاهده می‌شود که تیمار آبیاری کامل با سه تقسیط کوددهی در فصل رشد، دارای بیشترین عملکرد با ۱۶/۰۶ تن در هکتار می‌باشد و تیمارهای آبیاری کامل با تقسیط‌های یک هفته در میان و هفتگی و همچنین آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی با سه تقسیط کوددهی در رده‌های بعدی قرار دارند که با توجه به مقایسه میانگین

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تقسیط کود بر صفات مورد مطالعه ذرت*

تیمار	عملکرد (ton/ha)	زیست‌توده (ton/ha)	بهره‌وری آب (kg/m ³)	شاخص سطح برگ (cm ² /cm ²)	ارتفاع گیاه (cm)
I ₁ N ₁	۱۳/۳۳bc	۳۶/۳۷ba	۲/۵۹bac	۶/۵۵dc	۲۸۷/۳c
I ₁ N ₂	۱۵/۳۸ba	۴۱/۱۳a	۲/۹۸ba	۶/۷۳b	۲۹۱bac
I ₁ N ₃	۱۶/۰۶a	۴۲/۰۶a	۳/۱۲a	۷/۲۳a	۲۹۴/۳a
I ₂ N ₁	۱۱/۲۹c	۳۰/۴۲b	۲/۷۲bac	۶/۴۹d	۲۸۷c
I ₂ N ₂	۱۲/۷۴c	۳۴/۲۲b	۳/۰۷ba	۶/۶c	۲۸۹/۷bc
I ₂ N ₃	۱۳/۱۵bc	۳۴/۷b	۳/۱۶a	۶/۱۹a	۲۹۲/۳ba
I ₃ N ₁	۶/۶۸d	۱۷/۷۴c	۲/۱۲c	۵/۹۹f	۲۴۶/۳f
I ₃ N ₂	۷/۳۵d	۲۰/۱۹c	۲/۳۳c	۶/۰۲f	۲۵۵/۷e
I ₃ N ₃	۷/۷۲d	۲۰/۹۲c	۲/۴۴bc	۶/۱۴e	۲۶۰/۷d

* میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل دارای حرف مشابه هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند



شکل ۱- اثر سطوح آبیاری و تعداد تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد دانه



شکل ۲- اثر سطوح آبیاری و تعداد تقسیط کود نیتروژن بر زیست توده

ارتفاع بوته

مطابق جدول تجربه واریانس (جدول ۳) ارتفاع بوته تحت تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و تعداد تقسیط کود در فصل رشد در سطح یک درصد و اثر متقابل سطح آبیاری و تقسیط در سطح پنج درصد قرار گرفت. با توجه به مقادیر به دست آمده و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن مشخص شد که کاهش میزان آب به میزان ۲۵ درصد تأثیر معنی داری بر ارتفاع بوته ندارد ولی اعمال کم آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبیاری ارتفاع بوته را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. همچنین مقدار کوددهی در سه تقسیط در طول فصل رشد بیشترین ارتفاع بوته را نشان داد در حالی که کوددهی به صورت هفتگی دارای کمترین ارتفاع بوته بود. با مقایسه اثرات متقابل دو تیمار روی ارتفاع بوته (جدول ۴) نیز این نتیجه بدست آمد که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار I_1N_3 بوده که تیمارهای I_2N_3, I_1N_2, I_2N_1 و I_2N_2 نیز با آن در یک گروه آماری قرار گرفتند. تیمار I_3N_1 نیز کمترین ارتفاع بوته را داشت. افراسیاب و همکاران (۱۳۹۵) و آنتیکچی و همکاران (۱۳۹۶) در نتایج تحقیقات خود چنین گزارش کردند که هرچه تنش آبی صورت گرفته توسط کم آبیاری بیشتر باشد، ارتفاع بوته نیز کاهش می‌یابد.

شاخص سطح برگ تحت همه تیمارها در سطح یک درصد معنی دار شد. با توجه به مقایسه میانگین صورت گرفته توسط آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵، بیشترین شاخص برگ مربوط به تیمار I_1N_3 و کمترین آن مربوط به تیمار I_3N_1 می‌باشد. یکی از عوامل موثر در افزایش شاخص سطح برگ مقدار آبیاری می‌باشد. با توجه به جدول شماره ۳ بیشترین مقدار شاخص سطح برگ مربوط به آبیاری کامل می‌باشد. عامل موثر دیگر برای افزایش شاخص سطح برگ تعداد تقسیط کود در طول فصل رشد می‌باشد. بیشترین شاخص سطح برگ در تیمارهای سه تقسیط مشاهده شد. بیشترین مقدار شاخص سطح برگ در طول دوره رشد نیز مربوط به مرحله ظهور تا اسل تا شیر شدن بود و پس از گذشت از آن مرحله تا برداشت محصول، مقدار شاخص سطح برگ کاهش یافت. افزایش شاخص سطح برگ منجر به افزایش تعرق می‌شود و در نتیجه کربن بیشتری توسط گیاه جذب شده و تولید ماده خشک آن نیز افزایش می‌یابد. طبق نتایج گزارش شده توسط بوازما و همکاران (۲۰۱۲) و قیصری و همکاران (۲۰۱۷) نیز شاخص سطح برگ با کاهش مقدار آبیاری کاهش می‌یابد.

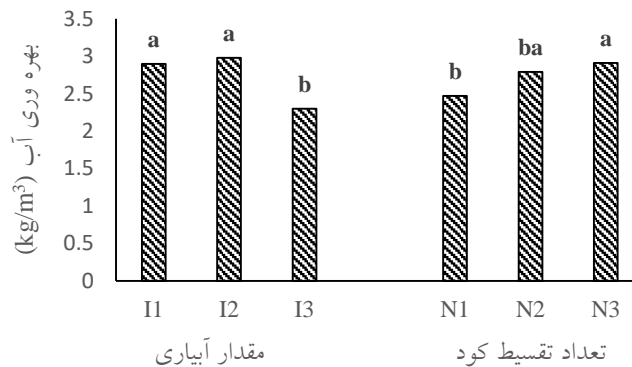
بهره‌وری آب

بهره‌وری آب از شاخص‌های مهمی است که در انتخاب روش و مدیریت آبیاری به کار برده می‌شود. در این پژوهش برای محاسبه بهره‌وری آب از عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و مقدار آب آبیاری خالص بر

شاخص سطح برگ

تیمارهای سطح آبیاری و تعداد تقسیط کود و همچنین اثرات متقابل آبیاری و تقسیط، به طور قابل توجهی شاخص سطح برگ را تحت تأثیر قرار دادند به طوری که

یک گروه آماری قرار گرفتند. اثر تیمار تقسیط کود و همچنین اثرات متقابل تیمارها بر بهره‌وری آب معنی‌دار نشد. اشرفی و همکاران (۱۳۹۳) و فاری و فسی (۲۰۰۹) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافتند. نتیجه میانگین اثر تیمارهای مقدار آبیاری و تقسیط کود بر بهره‌وری آب در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف آبیاری و تقسیط کود نیتروژن بر بهره‌وری آب

مستقیماً در زیر سطح زمین و به ناحیه ریشه گیاه تحویل می‌شود، تلفات به‌صورت رواناب، نفوذ عمقی و تبخیر بسیار کاهش یافته یا حذف می‌شوند، در نتیجه اعمال کم-آبیاری نسبت به سایر سیستم‌های آبیاری از جمله آبیاری سطحی و آبیاری قطره‌ای سطحی که بخشی از آب مصرفی به‌صورت رواناب و تبخیر از دسترس خارج می‌شود توصیه نمی‌شود. اعمال تقسیط‌های مختلف به‌لحاظ کوددهی بر عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه نسبت به مقادیر آبیاری از اثر کمتری برخوردار بود و مشخص گردید که دلیل اصلی کاهش عملکردها کمبود آب می‌باشد. باتوجه به نتایج ارائه شده، چنین به‌نظر می‌رسد که با تزریق تدریجی کود نیتروژن به‌صورت هفتگی یا یک هفته در میان، میزان نیتروژن جذب شده توسط ریشه کمتر از مقدار مورد نیاز است که در کاهش عملکرد گیاه موثر است. در حالی که با تزریق کود در سه مرحله ولی با مقادیر بیشتر، میزان نیتروژن در ناحیه ریشه تجمع یافته و به‌تدریج جذب گیاه می‌شود.

حسب مترمکعب در هکتار استفاده شده است. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که در به‌کارگیری مقادیر مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. مقایسه میانگین‌های اثر تیمار مقدار آبیاری روی بهره‌وری آب به روش دانکن (جدول ۴) نشان می‌دهد که سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز خالص آبی تفاوت معنی‌داری با همدیگر نداشته و در

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار آب آبیاری در مزرعه نقش موثری بر میزان تولید و عملکرد ذرت دارد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تأمین نیاز آبی خالص گیاه به‌صورت کامل، حداکثر عملکرد دانه و تولید ماده خشک را در پی دارد و با اعمال کم‌آبیاری عملکرد کاهش می‌یابد. این کاهش در به‌کارگیری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه کمتر می‌باشد. در این حالت با اینکه عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه نسبت به آبیاری کامل کاهش می‌یابد ولی بهره‌وری آب بیشتر از آبیاری کامل است. به‌عبارتی چنین می‌توان گفت در نواحی با کمبود منابع آب و یا قیمت آب بیشتر اعمال کم‌آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی ذرت قابل توصیه است ولی کم‌آبیاری به میزان ۵۰٪ نیاز آبی گیاه توصیه نمی‌شود. به‌طور کلی و با توجه به روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌کار رفته در این پژوهش که آب

فهرست منابع

۱. آزاد ن، بهمنش ج، رضوردی نژاد و، عباسی، ف و نوابیان، م، ۱۳۹۷. کاربرد مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی آبشویی نیترات و جذب نیتروژن در کشت ذرت تحت سناریوهای مختلف کودآبیاری قطره‌ای. نشریه مدیریت آب و آبیاری، دوره ۸، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳۱-۱۴۸.
۲. اسمعیلی م، فیض‌بخش م ر و داداشی م ر، ۱۳۹۷. اثرات تراکم بوته و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد بلال و دانه قابل کنسرو ذرت شیرین رقم طلایی (Sc.403) در منطقه گرگان. مجله پژوهش‌های به‌زراعی. جلد ۱۰، شماره ۱، صفحه‌های ۱۹-۳۲.
۳. اشرفی ش، صدرقاین ح و باغانی ج، ۱۳۹۳. اثر تراکم بوته و سطوح مختلف آب، بر کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای ذقم سینگل کراس ۷۰۰. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۶، صفحه‌های ۱۱۸۳-۱۱۹۰.
۴. افراسیاب پ، دلبری م و جعفری ح، ۱۳۹۵. بررسی اثرات مقادیر مختلف آبیاری، تراکم بوته و آرایش کاشت در روش آبیاری قطره‌ای- نواری بر عملکرد، اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای در اسلام آباد غرب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۴، صفحه‌های ۷۳۱-۷۴۱.
۵. افشار ه و صدرقاین ح، ۱۳۹۲. اثر سطوح مختلف آب، تراکم بوته و آرایش کاشت بر بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۶، صفحه‌های ۱۱۵۲-۱۱۴۵.
۶. آنتیکچی ع، سیف‌زاده س و حدیدی ماسوله ا، ۱۳۹۶. تأثیر دور آبیاری و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴. مجله پژوهش‌های به‌زراعی. جلد ۹، شماره ۱، صفحه‌های ۵۳-۶۹.
۷. حیدری پور ر، نصیری محلاتی م، کوچکی ع ر و زارع فیض‌آبادی ا، ۱۳۹۳. اثرات سطوح آب و کود نیتروژن بر کارایی مصرف و بهره‌وری آب در سه گیاه ذرت، چغندر قند و کنجد. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۶، شماره ۲، صفحه‌های ۱۸۷-۱۹۸.
۸. رضوردی نژاد و و رضائی، م، ۱۳۹۴. عملکرد و بهره‌وری آب در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۲، شماره ۱، صفحه‌های ۱۰-۱.
۹. عباس‌دخت ح و عارف‌بیک م، ۱۳۹۴. تأثیر هیدروپرایمینگ، تقسیط کود نیتروژن و عمق کاشت بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبرید دابل کراس ۳۷۰ ذرت در منطقه خشک. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه‌های ۱۴۹-۱۷۲.
۱۰. کریمی م، باغانی ج و جلینی م، ۱۳۹۴. بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای (تیپ) بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۲، صفحه‌های ۳۲۱-۳۱۱.
۱۱. کوهی‌چله کران ن، علیزاده ا و داوری ک، ۱۳۹۴. اثر مقادیر مختلف آبیاری روی تراکم طول ریشه و عملکرد ذرت دانه‌ای در آبیاری قطره‌ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۹، شماره ۳، صفحه‌های ۳۳۱-۳۴۰.
12. Allen R G, Pereira L S, Raes D and Smith M, 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), p.D05109.
13. Ayars J E, Fulton A, Taylor B, 2015. Subsurface drip irrigation in California- Here to stay? Agricultural Water Management. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.001>.

14. Bouazzama B, Xanthoulis D, Bouaziz A, 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in a semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnol. Agron. Soc Env* 16: 468-477.
15. Çakir R, 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crop Res* 89: 1-16.
16. Camp C R, 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 41(5), 1353-1367.
17. Elmaloglou S, Diamantopoulos E, 2009. Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. *Agricultural water management*, 96:1587-1595.
18. Farre I, Faci J M, 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agricultural water management* 96:383-394.
19. Gheysari M, Sadeghi S H, Loescher H W, Amiri S, Zareian M J, Majidi M M, Asgarinia P, Payero J O, 2017. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agricultural water management* 182:126-138.
20. Lamm F R, 2016. Cotton, tomato, corn and onion production with subsurface drip irrigation: a review. *Emerging technologies for sustainable irrigation, Transactions of ASABE*, 59(1): 263-278.
21. Lamm F R, 2014. Irrigation and Nitrogen Management for Subsurface Drip Irrigated Corn – 25 years of K-State's Efforts. *ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting*. Montreal, Quebec Canada, 13-16 July.
22. Lamm F R, 2005. SDI for conserving water in corn production. In *Proc. ASCE-EWRI Water Congress*, May 15-19, 2005, Anchorage, AK. 12 pp.
23. Lamm F R, Trooien T P, 2003. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation science* 22: 195-200.
24. Lamm F R, Trooien T P, Manges H L, Sunderman H D, 2001. Nitrogen fertilization for subsurface drip-irrigated corn. *Trans. ASAE* 44(3):533-542.
25. Patel N, Rajput T B S, 2008. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. *Agricultural water management*, 95:1335-1349.
26. Payero J O, Tarkalson D D, Irmak S, Davison D, Petersen J L, 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural water management* 95:895-908.
27. Van Donk S J, Shaver T M, 2016. Effects of nitrogen application frequency via subsurface drip irrigation on corn development and grain yield. *Journal of plant nutrition* DOI: 10.1080/01904167.2016.1143506.
28. Vories E D, Tacker P L, Lancaster S W, Glover R E, 2009. Subsurface drip irrigation of corn in the United States Mid-South. *Agricultural water management* 96:912-916.