Archive of SID

مدیریت آب و آبیاری
(نشریه علمی)
دوره ۱۰ ■ شماره ۲ ■ پاییز ۱۳۹۹
صفحه‌های ۲۶۴-۲۴۷

مقاله پژوهشی:

اثر سطوح مختلف تنش آبی در دو سامانه آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت

امیر محمدخانی[۱]، مسعود پورغلام آمیجی[۲]، تیمور سهرابی[۳*]، عبدالمجید لیاقت[۳]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۰۵

چکیده
سامانه‌های نوین آبیاری، از مهم‌ترین عواملی است که بر تولیدات مزرعه‌ای، مصرف آب و بهره‌وری اثر می‌گذارد اما عملکرد این سامانه‌ها نیازمند بررسی دقیق است. بدین منظور، پژوهشی با عنوان تأثیر سامانه‌های آبیاری نواری سطحی (DI) و زیرسطحی (SDI) با سطوح مختلف کم‌آبیاری بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در ذرت رقم SC 704، در قالب طرح فاکتوریل اسپلیت بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی (کرج) در تابستان ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارها شامل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در هر کدام از روش‌های آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی بود. در مجموع ٥٤ نوار آبیاری مورد آزمایش قرار گفت. بر اساس نتایج، اثر متقابل تنش و روش آبیاری در مورد طول بوته بی‌معنی و وزن بوته خشک و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد و سایر صفات در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه به میزان ۲۲/۳۳ تن بر هکتار و ۲۲/۳۱ تن بر هکتار به‌ترتیب از تیمارهای DI = %100 IR و SDI = %100 IR حاصل شد که این دو تیمار، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کم‌ترین عملکرد دانه از تیمار DI = %50 IR به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار بدون تنش در آبیاری نواری سطحی، به میزان ۳۳ درصد افت عملکرد داشت. تیمار SDI = %50 IR دارای بیش‌ترین میزان بهره‌وری آب آبیاری (۲/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب) بین سایر تیمارها بود. بهره‌وری در این تیمار نسبت به تیمار بدون تنش رطوبتی در آبیاری نواری زیرسطحی به میزان ٥٣/٦ درصد افزایش داشت.

کلیدواژه‌ها: تنش رطوبتی، رابطه آب- بهره‌وری آب، کارایی مصرف آب، کم‌آبیاری.

The Effect of Different Levels of Water Stress in Two Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield and Water Productivity of Maize

Amir Mohammadkhani[1], Masoud Pourgholam-Amiji[2], Teymour Sohrabi[3*], Abdolmajid Liaghat[3]
1. Former M.Sc. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Professor, Department of Irrigation and Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
Received: February 27, 2020 Accepted: June 25, 2020

Abstract
Modern irrigation systems are one of the most important factors affecting crop production, water consumption and productivity, but the performance of these systems requires careful consideration. For this purpose, a study on the effect of surface and subsurface drip irrigation systems with different levels of deficit irrigation on yield, yield components, and water productivity in SC 704 maize, a factorial split design based on randomized complete block design was conducted in the field of Deputy of Soil and Water, Ministry of Agriculture (Karaj) in summer of 2018. The treatments were included %100, %75 and %50 of water requirement in each type of surface and subsurface drip irrigation. A total of 54 irrigation drips were tested. Based on the results, the interaction of stress and irrigation method for plant length was non-significant, and dry plant weight and harvest index were significant at 1% probability level and other traits at 5% probability level. The results also showed that the highest grain yield 22.33 ton/ha and 22.31 ton/ha, were obtained from *DI=%100 IR* and *SDI=%100* IR treatments, respectively, which were not significantly different between these treatments. The lowest grain yield was obtained from *DI=%50 IR* treatment which had a 33% decrease in yield compared to non-stress treatment in surface drip irrigation. The *SDI=%50 IR* treatment had the highest irrigation water productivity (2.75 kg/m3) among the other treatments. The water productivity of this treatment increased by %53.6 compared to the non-stress treatment in subsurface irrigation.

Keywords: Deficit irrigation, Water stress, Water use efficiency, Water-water productivity relationship.

* نویسنده مسئول
Email: Myousef@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

توسعه فناوری در زمینه انجام آبیاری دقیق، صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی، افزایش راندمان آبیاری، کاهش تبخیر آب از سطح خاک، امکان صرفه‌جویی در انرژی، کاهش هزینه‌های تولید و غیره باعث شده که سامانه‌های آبیاری موضعی به‌ویژه نواری سطحی و زیرسطحی، به‌سرعت رو به گسترش و پیشرفت باشد (۱۱، ۳۱، ۳۲ و ۳٤). از طرفی محدودیت منابع آب، عامل منفی در پیشرفت و توسعه کشاورزی کشورها بوده و باید از منابع آب جاری خود، استفاده مفید و کارآمدی داشته باشند (۳۳). بنابراین با توجه به این‌که کشاورزی، بزرگ‌ترین و بیش‌ترین مصرف‌کننده آب است، نوک پیکان به این سمت خواهد بود و تلاش برای کاهش مصرف آب در این بخش و افزایش بهره‌وری آب، امری ضروری و الزامی به‌نظر می‌رسد (۵ و ۳٤).

از مهم‌ترین راه‌کارهای ارائه‌شده در مدیریت بهینه مصرف آب و افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی، تغییر شیوه‌های سنتی آبیاری و استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری می‌باشد (۱٦ و ۱۷). لذا با توجه به تلفات بیش‌تر آب و کم‌بودن راندمان در اکثر سیستم‌های آبیاری سطحی، سیستم آبیاری موضعی به‌ویژه نواری سطحی و زیرسطحی با توجه مزایایی که دارد، می‌تواند جایگزین مناسبی باشد و برای بسیاری از گیاهان و محصولات زراعی به‌کار رود (۳، ۲۰، ۲٤ و ۲۵).

از جمله ویژگی‌های سیستم آبیاری نواری سطحی[1] و به‌ویژه زیرسطحی[2] می‌توان به‌کارایی بالاتر مصرف آب، آلودگی کم‌تر آب‌های زیرسطحی به‌دلیل آبشویی کم‌تر نیترات، آبیاری پیوسته و آبشویی املاح موجود در خاک، یکنواختی بهتر پخش آب، وضعیت بهتر گیاه از نظر رشد و افزایش کمی و کیفی محصولات، مدیریت مناسب کود و سم و کنترل علف‌های هرز، امکان خودکارسازی سیستم، کاهش خسارت‌های ناشی از حیوانات و انعطاف‌پذیری بالای سیستم اشاره کرد (۱۹، ۲۲ و ۳۲).

ذرت (*Zea mays* L.) به‌طور عمده خاص مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب گرمسیری است، اما به‌دلیل قدرت سازگاری بالا، کشت آن در مناطق سردسیر نیز میسر شده است (۱٤). موارد متعدد مصرف ذرت در تغذیه انسان، دام، طیور و استخراج حدود ۱۵۰۰ فرآورده متفاوت و کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف موجب شده که این محصول به‌عنوان مهم‌ترین غله جهان شناخته شود. براساس آمار سازمان تجارت جهانی[3] (۲۳)، کل تولید ذرت علوفه‌ای جهان ۱۵۱۵ میلیون تن اعلام شده است. در ایران نیز براساس آمارنامه محصولات کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹٦، میزان تولید ذرت علوفه‌ای بیش از ۱۱/۳ میلیون تن بوده که رشد قابل‌توجه تولید در مقایسه با سال‌های گذشته (۱/٤٦ برابر در مقایسه با سال ۱۳۹۰) را نشان داده و اهمیت این محصول در چرخه تولید مواد غذایی را بیان می‌کند.

پاندا و همکاران (۳۰) در پژوهشی که در هند انجام دادند، گزارش کردند که هنگامی مجموع کل آبیاری و بارندگی برابر ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ذرت باشد (۲۵ درصد کم‌آبیاری)، سبب افزایش عملکرد گیاه ذرت و هم‌چنین کاهش نفوذ عمقی از زیر منطقه توسعه ریشه گیاه می‌گردد. گیاه ذرت بیش‌ترین نیاز آبی خود را از عمق صفر تا ٤۵ سانتی‌متری از سطح خاک جذب می‌کند. بنابراین برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت در یک خاک با بافت شنی لومی و تحت شرایط آب‌وهوای نیمه‌گرمسیری، تأمین رطوبت خاک تنها در عمق صفر تا ٤۵ سانتی‌متری از سطح خاک باید مد نظر باشد، که این امر توسط سامانه آبیاری با درجه یکنواختی بالا نظیر نواری سطحی و زیرسطحی ممکن می‌باشد.

نتایج کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر

www.SID.ir

Archive of SID

روی بیش از ۳۰ نوع گیاه در برزیل، افزایش محصول را نسبت به سایر روش‌های آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای سطحی به همراه داشت. ضمن این‌که میزان آب کاربردی کم‌تر بود (۲۱). نتایج تحقیقات چهار ساله محمدی محمدآبادی و عبدالهی عزت‌آبادی (۱۵) در کرمان برای مقایسه سیستم آبیاری سطحی و زیرسطحی نیز نشان‌دهنده کاهش حداقل ۳۰ تا ٤۰ درصد در مصرف آب کاربردی، در روش آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری سطحی است. هم‌چنین سیستم آبیاری زیرسطحی علاوه بر افزایش کارایی و صرفه‌جویی در مصرف آب، باعث افزایش کمی و کیفی عملکرد درختان پسته شد.

صمدوند و همکاران (۱۰) به بررسی تأثیر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری با سه سطح رطوبتی ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی، آبیاری و نشتی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای SC 704 در میاندوآب پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب در تیمارهای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیازی آبی و نشتی به‌ترتیب برابر ۲/۳، ۲/۲، ۱/۹ و ۱/٤ کیلوگرم در مترمکعب به‌دست آمد. کریمی و همکاران (۱۲) نیز به بررسی سطوح آبیاری قطره‌ای نواری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای رقم SC 704 در قزوین پرداختند. تیمارهای به‌کار برده‌شده شامل سه سطوح مختلف آبیاری۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مقادیر کارایی مصرف آب آبیاری در هر کدام از تیمارها، تحت آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی و در صورت عدم محدودیت آب، سطح آبیاری ۱۲۰ درصد نیاز آبی مناسب تشخیص داده شدند.

زاغیان و نوری (۸) به مقایسه تأثیر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در شهرکرد پرداختند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که کارایی بیولوژیکی روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به‌ترتیب برابر با ٦/۹۳ و ٦/٦۸ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و تفاوت معنی‌داری با روش آبیاری شیاری (۳/٥٦ کیلوگرم بر مترمکعب) داشته است. نتایج پژوهش لیاقت و همکاران (۱۳) در کرج نیز نشان داد که آبیاری زیرسطحی اثر بسیار معنی‌داری در کاهش آب مصرفی (٤۰ درصد) و افزایش عملکرد محصول (٤٦ درصد عملکرد دانه‌ای، ۵۰ درصد عملکرد علوفه‌ای و ۱۲ درصد وزن هزار دانه ذرت) نسبت به سیستم آبیاری سطحی دارد. هم‌چنین آبیاری زیرسطحی با کاهش آبشویی نیترات و نمک، از شورشدن و آلودگی لایه‌های زیرین خاک جلوگیری کرد.

نتایج اعمال درصدهای مختلف کم‌آبیاری ذرت در آمریکا نشان داد که با اعمال ٦۷ درصد نیاز آبی نسبت به شرایط آبیاری کامل، بیش‌ترین بهره‌وری حاصل‌شده (۱/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و ۷ درصد بیش‌تر از بهره‌وری تیمار کامل بوده است. آبیاری کامل با ۱/٤۲، تیمار ۳۳ درصد نیاز آبی با ۱/۲۱ و شرایط دیم با ۰/٤۳ کیلوگرم بر مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (۲٦). ولنتین و همکاران (۳۲)، تبخیر و تعرق و اجزای عملکرد ذرت تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بارانی و سطحی را در یک منطقه نیمه‌خشک (آلبسته[٤] در جنوب اسپانیا) بررسی کردند. نتایج نشان داد که در سامانه آبیاری زیرسطحی، بهره‌وری آب آبیاری به‌طور متوسط ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین سامانه آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری بارانی توانست که ۳۹ درصد از تبخیر و تعرق فصلی گیاه را کاهش دهد.

بیش‌ترین تلفات آب به‌ترتیب در حین کاربرد آب در سطح مزرعه و انتقال اتفاق می‌افتد و چنان‌چه این‌گونه تلفات کاهش یابد، راندمان و بهره‌وری افزایش می‌یابد. لذا استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری می‌تواند راه‌حل مناسبی برای حل مشکل تولیدات پایین و مصرف بالای آب باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند تفاوت بین عملکرد،

www.SID.ir

Archive of SID

اجزای عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب ذرت در روش‌های مختلف آبیاری را بیان کرده و راه‌گشای مشکلات مربوط در این زمینه باشد. هم‌چنین مقایسه کارایی دو روش آبیاری مذکور، انجام خواهد شد. بنابراین این پژوهش با هدف اثر سامانه آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی و مدیریت آن بر عملکرد، اجزای عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب، تأثیر سناریوهای مختلف کم‌آبیاری به روش کاهش نیاز آبی بر عملکرد، اجزاء عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب و تعیین بهترین سناریو انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و خاک مورد آزمایش

پژوهش حاضر در تابستان ۱۳۹۷ در مزرعه معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی در جاده ماهدشت کرج (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ٤۹ دقیقه شرقی) به ارتفاع ۱۱۷٤/۰۸ متر بالاتر از سطح دریا انجام شد (٤). برای تعیین خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک، از اعماق (۳۰-۰) و (٦۰-۳۰) سانتی‌متری به‌طور زیگزاگ در قطر زمین مورد آزمایش از ۱۵ نقطه، نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی صورت گرفت. نتایج تجزیه نمونه خاک زمین مورد آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است. خاک محل آزمایش خاکی با واکنش قلیایی (pH=۷/٦) بود. مقدار رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی به‌ترتیب ۳۵ و ۱۰ درصد به‌دست آمد و بافت خاک، متوسط تا نسبتاً سنگین بود.

طرح آزمایشی و اعمال تیمار

به‌منظور بررسی تأثیر سامانه‌های آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی و سطوح مختلف کم آبیاری بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت رقم SC 704 آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل اسپلیت بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش به‌شرح ذیل در نظر گرفته شدند:

DI = %50 IR: آبیاری نواری سطحی و تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی.

DI = %75 IR: آبیاری نواری سطحی و تنش رطوبتی به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی.

DI = %100 IR: آبیاری نواری سطحی و آبیاری به اندازه نیاز آبی (۱۰۰ درصد نیاز آبی).

SDI = %50 IR: آبیاری نواری زیرسطحی و تنش رطوبتی به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی.

SDI = %75 IR: آبیاری نواری زیرسطحی و تنش رطوبتی به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی.

SDI = %100 IR: آبیاری نواری زیرسطحی و آبیاری به اندازه نیاز آبی (۱۰۰ درصد نیاز آبی).

Table 1. Determination of important physical and chemical properties of soil

Parameter	Unit	Depth 0-30 cm	Depth 30-60 cm	Appropriate limit
Salinity	dS/m	5.23	4.09	<2
pH	-	7.56	7.59	6-7
Lime	%	13	11.3	<5
Organic carbon	%	1.03	0.6	>2
Total nitrogen	%	0.1	0.05	>0.2
Available phosphorus	mg/kg	6.7	3.4	15-20
Potassium available	mg/kg	654	332	300-400
Clay	%	18	26	15-25
Silt	%	27	19	20-30
Sand	%	55	55	40-50
Soil texture	-	Sandy loam	Sandy clay loam	Loam
Saturation percentage	%	34	42	40

www.SID.ir

Archive of SID

به این ترتیب هر تیمار شامل سه نوار در سه تکرار (۹ خط نوار) و در مجموع ۲۷ کرت سطحی و ۲۷ کرت زیرسطحی ایجاد شد. بنابراین اگر ^{0}IR نیاز آبی باشد، DI = %50 IR برابر است با ۵۰ درصد نیاز آبی (۵۰ درصد تنش). به همین ترتیب برای دیگر تیمارها صدق می‌کند (برای مثال تیمار DI = %75 IR، یعنی برآورد ۷۵ درصد نیاز آبی یا اعمال ۲۵ درصد تنش). نیاز آبی گیاه ذرت نیز با استفاده از سند ملی آب و برنامه NETWAT و هم‌چنین داده‌های به‌روز ایستگاه سینوپتیک کرج محاسبه و اعمال شد. لازم به‌ذکر است که محاسبه نیاز آبی براساس شرایط خاک و گیاه، برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری و حجم و زمان مقدار آب داده‌شده در سامانه‌های نواری سطحی و زیرسطحی به تفصیل در بخش‌های بعدی پرداخته شد. بعد از مشخص‌شدن طرح آزمایشی، سامانه آبیاری در آن نصب و انجام آبیاری به اجرا در آمد. در مجموع ۲۷ نوار آبیاری زیرسطحی با این روش انجام گردید. همین تعداد برای آبیاری سطحی نواری انجام شد (شکل ۱). کشت ذرت توسط بذرکار ردیفی انجام و بلافاصله سامانه آبیاری سطحی نصب و به خروجی فیلتراسیون متصل شد.

برای تعیین دقیق میزان آب مصرفی، سه دستگاه کنتور حجمی کالیبره‌شده یک و یک‌دوم اینچ برای اعمال آبیاری ۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی نصب شد تا اندازه‌گیری دقیق آب اعمال گردد. فاصله نوارها ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر سه نوار عرض ۱/۸ متر داشته و طول هر نوار ۵۰ متر بود. هر کرت شامل سه خط کاشت بود که شاخص تعیین و ویژگی‌های مورد بررسی، خط وسط در نظرگرفته شد. فاصله تیمارها از همدیگر دو متر، تعداد بوته در هر متر ۱۰ عدد و تعداد کل بوته در طول کرت ۵۰۰ عدد بود. آبیاری اولیه بعد از کاشت و آبیاری بعدی تا هفت برگی به‌صورت کامل انجام شد. شکل (۱)، شماتیک طرح آزمایشی انجام‌شده در تیمار آبیاری زیرسطحی را نشان می‌دهد. سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی نیز به همین صورت اجرا شد. ضمن این‌که نحوه قرارگرفتن سه تیمار و کرت‌های آن به‌صورت تصادفی تعیین گردید.

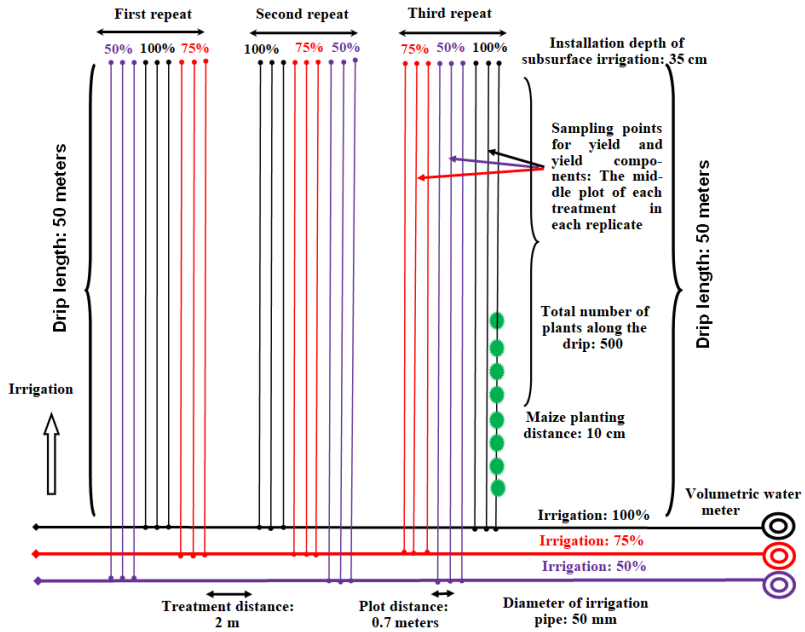

Figure 1. Schematic of the experimental design and placement of treatments and its replicates in subsurface irrigation

www.SID.ir

Archive of SID

سامانه آبیاری و نیاز آبی

مشخصات سامانه آبیاری مورد استفاده اعم از ضخامت نوار تیپ‌های سطحی و زیرسطحی، قطر نوارها، فواصل قطره‌چکان‌ها و میزان آبدهی هر خروجی در جدول (۲) آمده است. در سامانه آبیاری استفاده‌شده به‌منظور جلوگیری از گرفتگی نوارها، از فیلتراسیون کامل (هیدروسیکلون[۶]، فیلتر شن، فیلتر دیسکی و غیره) استفاده شد.

Table 2. Specifications of the irrigation system used

Surface tape drip thickness	Subsurface tape drip thickness	Dripper distance	Drip diameter	Dripper discharge rate
150 *micron*	700 *micron*	20 cm	16 mm	1.6 lit/hr

اعمال سطوح کم‌آبیاری در آبیاری قطره‌ای نواری پس از پنج- شش برگه‌شدن (حدود یک ماه پس از کاشت) انجام گرفت (۷). براساس تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با توجه به درصد حداکثر تخلیه مجاز (MAD)[۷] رطوبتی ۵۰ درصد، دور آبیاری سه روز و درنظرگرفتن بازده ۹۰ درصد، نیاز آبیاری مشخص شد و سایر تیمارهای آبیاری به‌صورت درصدی از تیمار شاهد محاسبه گردید. مقادیر آبیاری ۵۰، ۷۵ و۱۰۰ درصد نیاز آبیاری محاسبه در هر کرت آزمایش توسط کنتور حجمی اعمال شد که محاسبات آن به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Td = ETc \times [0.15 + 0.85\,Pd] \quad (۱)$$

$$d_n = Td \times F \quad (۲)$$

$$d_g = \frac{d_n}{E} \quad (۳)$$

$$V = dg \times A \quad (٤)$$

که در آن ET_C تبخیر و تعرق گیاه ذرت (میلی‌متر در روز)، Td حداکثر تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز)، Pd سطح سایه‌انداز (برحسب درصد)، F دور آبیاری (روز)، dn عمق خالص آبی در هر دور آبیاری (میلی‌متر)، dg عمق ناخالص آبی در هر دور آبیاری (با توجه به راندمان ۹۰ درصد آبیاری قطره‌ای برحسب میلی‌متر)، V حجم آب داده‌شده به تیمار (مترمکعب) و A مساحت کرت (برحسب مترمربع) (۹).

در طرح موردنظر رخداد آبیاری برای تمامی تیمارها یکسان بوده و اعمال تیمارهای تنش آبی براساس کاهش مقدار آب آبیاری نسبت به مقدار آبیاری نرمال انجام شد. در دوره رشد محصول ذرت درمجموع ۲۸ آبیاری با دور آبیاری سه روزه انجام شد. هر تیمار آبیاری شامل ۹ نوار در روش DI و سه نوار در روش SDI بود. در مجموع شش تیمار در دو روش آبیاری، ٥٤ نوار آبیاری ایجاد شد که براساس محاسبات انجام‌شده، آبیاری آن‌ها انجام شد که به این شرح می‌باشد: ۱- تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در هر دو روش آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی حدود ۱۲۵۳۷ مترمکعب در هکتار، ۲- تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی در هر دو روش آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی حدود ۹٤۰۲ مترمکعب در هکتار و ۳- تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در هر دو روش آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی، حدود ٦۲٦۸ مترمکعب در هکتار آب مصرف کرد.

عملیات کاشت، داشت و برداشت ذرت

مساحت زمین مورداستفاده حدود ۱٦۸۰ مترمربع بود. با فرض این‌که تراکم مناسب کشت برای ذرت ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار و متوسط وزن هزاردانه ذرت ۳۰۰ گرم باشد، میزان وزن دانه مورد نیاز به‌دست آمد. ذرت رقم SC 704 با توجه به این‌که کشت مرسوم در منطقه بود، انتخاب شد. عملیات کاشت ذرت در خردادماه سال ۱۳۹۷ با فاصله ۲۰ سانتی‌متری بین گیاهان، انجام شد. میزان کود مصرفی براساس آزمون خاک تعیین و کودهای دامی پوسیده، اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات روی، سولفات‌آهن و سولفات منگنز اعمال شد. پس از اتمام رشد و رسیدگی فیزیولوژیکی، خطوط شاخص هر واحد آزمایشی برای

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌برداری انتخاب شدند. به این صورت که فاصله نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. برای تعیین عملکرد در محدوده‌ای به طول ۵۰ متر در خط، شاخص برداشت صورت گرفت. برای تعیین اجزای عملکرد نیز ۲۰ نمونه به‌طور تصادفی در محدوده موردنظر برداشت و اجزای عملکرد مورد نظر تعیین شد.

صفات مورد اندازه‌گیری

صفات اندازه‌گیری‌شده شامل وزن بوته کامل با بلال، طول بوته، تعداد برگ‌های بوته، وزن بوته خشک‌شده، تعداد دانه در بلال، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، بهره‌وری آب و شاخص برداشت بودند. روابط (۵) و (٦)، روش محاسبه بهره‌وری و عملکرد را نشان می‌دهد (۲۷):

$$WP_I = \frac{Y}{V} \quad (۵)$$

$$H_i = \frac{Y}{Y_b} \times 100 \quad (٦)$$

که در آن WP بهره‌وری آب[۸] برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y میزان عملکرد کل برحسب کیلوگرم در هکتار، V کل آب مصرفی شامل آبیاری و بارندگی (مترمکعب در هکتار)، H_i شاخص برداشت برحسب درصد و Y، Y_b به‌ترتیب عملکرد دانه و بیولوژیک است. در نهایت، داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه نتایج به‌صورت اثرات متقابل تنش رطوبتی و روش آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت بررسی شد. به‌طوری‌که صفات بهره‌وری آب آبیاری و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد و سایر صفات در سطح احتمال ۵ درصد نرمال بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اجزای عملکرد در جدول (۳) و عمکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، بهره‌وری و شاخص برداشت در جدول (٤) ارائه شده است. با بررسی میانگین مربعات برای منبع تغییر تکرار، مشاهده شد که تحت تأثیر روش آبیاری، تمامی صفات اندازه‌گیری‌شده اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. عدم وجود اختلاف معنی‌دار نشان‌دهنده یکنواخت‌بودن شرایط آزمایش و عدم وجود غیریکنواختی در تکرارها می‌باشد. با توجه به میانگین مربعات منبع تنش مشاهده شد که تمامی صفات در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار هستند. روش آبیاری و صفت عملکرد دانه بی‌معنی و بهره‌وری مصرف آب آبیاری نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نبود. سایر صفات در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گزارش شدند. هم‌چنین میانگین مربعات اثر متقابل تنش و روش آبیاری در مورد صفت طول بوته بی‌معنی و وزن بوته خشک و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد و سایر صفات در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند. زاغیان (۷) و افراسیاب و همکاران (۲) نیز گزارش کرند که در عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، تفاوت معنی‌داری بین روش‌های آبیاری، سطوح مختلف تنش و اثرات متقابل سطوح مختلف تنش و نوع روش آبیاری وجود دارد و علت آن در نوع تنش اعمال‌شده تحت روش‌های مختلف آبیاری و تأثیر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد است، زیرا در آبیاری نواری سطحی، میزان تبخیر بالاتر بوده و طی تنش اعمال‌شده، آب کم‌تری در اختیار گیاه بوده و عملکرد آن افت می‌کند. سپس اختلاف عملکرد و اجزای عملکرد بین دو روش آبیاری پدیدار می‌شود. هم‌چنین، نتایج این بخش با یافته اخوان و همکاران (۱) مبنی بر اثر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه و سایر صفات در سطح احتمال ۱ درصد مطابقت دارد. جدول‌های (۵) و (٦) نیز به‌ترتیب مقایسه میانگین اثرات روش آبیاری (نواری سطحی و زیرسطحی) بر اجزای عملکرد ذرت و عملکرد، بهره‌وری و شاخص برداشت را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3. Results of analysis of variance of yield components evaluated under moisture stress and irrigation method

Sources of variation	Degrees of freedom	Mean of squared					
		Plant weight	Plant length	Number of leaves	Dry plant weight	Seeds in maize	Weight of one thousand seeds
Repeat	2	917.72^{ns}	19.43^{ns}	0.057^{ns}	52.54^{ns}	238.53^{ns}	33.20^{ns}
Stress	2	27375.35**	1733.67**	2.68**	1347.44**	27353.33**	796.43**
Irrigation method	2	36946.68**	2720.76**	11.05**	2149.49**	4970.04**	725.04**
Irrigation method × Stress	2	4938.12**	98.81^{ns}	3.23**	194.55*	13629.03**	546.13**
Experiment error	10	557.21	57.97	0.217	30.61	179.68	11.75

**, *, ns: Significant different at 1% and 5% probability levels and non-significant difference, respectively.

Table 4. Results of analysis of variance of yield, water productivity and harvest index evaluated under moisture stress and irrigation method

Sources of variation	Degrees of freedom	Mean of squared			
		Biomass yield	Grain yield	Water productivity	Harvest index
Repeat	2	2.83^{ns}	0.012^{ns}	0.0001^{ns}	5.86^{ns}
Stress	2	84.51**	58.54**	0.94**	60.32**
Irrigation method	2	114.05**	0.029^{ns}	0.011*	286.40**
Irrigation method × Stress	2	15.25**	7.56**	0.137**	32.70*
Experiment error	10	1.72	0.241	0.002	6.33

**, *, ns: Significant different at 1% and 5% probability levels and non-significant difference, respectively.

وزن بوته

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس، در سطح احتمال ۱ درصد اثر متقابل معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری بر روی وزن بوته وجود داشت (جدول ۳). حداکثر وزن بوته به میزان ۷۰۹/٦۳ گرم از تیمار SDI = %100 IR حاصل شد که نسبت به تیمار DI = %100 IR، ٦/۷۱ درصد افزایش را نشان داد. علت کاهش وزن بوته در تیمار آبیاری نواری سطحی در مقایسه با روش زیرسطحی در این بود که این شاخص به‌شدت تحت تأثیر دریافت آب قرار داشته و ازآنجایی‌که در روش زیرسطحی تمامی آب داده‌شده در محیط ریشه ذخیره شده و تلفات تبخیری بسیار ناچیز می‌باشد، لذا کل آب داده‌شده در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش زیرسطحی جذب گیاه شده و بیش‌ترین وزن بوته به‌دست آمده است. نتایج این بخش با یافته زاغیان و نوری (۸) و زاغیان (۷) مبنی بر کاهش وزن بوته در روش آبیاری سطحی به‌همراه تنش رطوبتی گزارش شده است. هم‌چنین کم‌ترین میزان وزن بوته نیز به میزان ٤۷٦/۱۳ گرم از تیمار DI = %50 IR گزارش شد که در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۲۸/٤ درصد کاهش داشت (جدول ۵). به‌طورکلی نتایج به‌دست‌آمده نشان داد در هر دو روش آبیاری، اعمال تنش موجب کاهش وزن بوته شد که این کاهش در روش آبیاری نواری سطحی به مراتب مشهودتر از روش آبیاری زیرسطحی بود. هم‌چنین به‌ازای سطوح ثابت تنش نیز وزن بوته در روش آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری نواری سطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر حاصل گردید (جدول ۵). در تکمیل توضیحات فوق باید این نکته نیز بیان شود که وزن زیست‌توده و پوشش سبز گیاهی در گیاه ذرت به‌دسترسی آب بستگی داشته و تقریباً در تمامی مطالعات به این نظر واحد رسیده‌اند که تنش رطوبتی، وزن پوشش سبز گیاهی را کاهش می‌دهد. هم‌چنین اعمال روش آبیاری سطحی به‌دلیل تلفات تبخیری و کاهش دسترسی آب موجود برای گیاه، مزید بر علت می‌باشد. یافته‌های این بخش با نتایج تحقیق دهقانی سانیج و همکاران (٦) و ولنتین و همکاران (۳۲) مبنی بر اثر معنی‌دار روش آبیاری نواری سطحی و تنش رطوبتی بر کاهش عملکرد وزن بوته در مقایسه با روش بدون تنش و تیماری آبیاری نواری زیرسطحی مطابقت دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد برگ

نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۳) نشان‌دهنده وجود اثر متقابل بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری روی تعداد برگ در سطح معنی‌داری ۱ درصد می‌باشد. حداکثر تعداد برگ حاصل‌شده مربوط به تیمارهای SDI = %50 IR، SDI = %100 IR و SDI = %75 IR از روش نواری زیرسطحی و DI = %50 IR از روش نواری سطحی از مقدار ۱۲/۴۳ تا ۱۳ برگ بود که همگی در یک گروه آماری قرار داشتند. علت این امر را می‌توان در دریافت رطوبت مناسب در روش آبیاری زیرسطحی جستجو کرد. ازآنجایی‌که در همان روش آبیاری زیرسطحی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف تنش رطوبتی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) وجود نداشت، لذا می‌توان نتیجه گرفت که تنش اعمال‌شده اثر معنی‌داری بر تعداد برگ نگذاشته و میزان آب دریافت‌شده برای رشد این تعداد برگ کافی بوده که در مقایسه با روش آبیاری نواری سطحی و تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، این توضیح ملموس‌تر خواهد بود. به‌عبارتی تنش رطوبتی اعمال‌شده در روش آبیاری زیرسطحی در مقابل نیاز آبی کامل (۱۰۰ درصد) در روش آبیاری سطحی برابری کرده و دسترسی بیش‌تر ذرت به آب و عملکرد بیش‌تر پوشش سبز گیاهی در روش آبیاری زیرسطحی را نشان می‌دهد. به همین دلیل، کم‌ترین میزان برگ از تیمارهای تنش DI = %50 IR و DI = %75 IR گزارش شد که به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۸ و ۱۶/۱ درصد نسبت به تیمار DI = %100 IR کم‌تر بودند (جدول ۳). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در سطوح ثابت تنش به‌غیر از حالت بدون تنش (آبیاری به اندازه IR)، تعداد برگ در روش آبیاری نواری زیرسطحی در مقایسه با تیمارهای تنش رطوبتی آبیاری نواری سطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر حاصل شد (جدول ۵). هم‌چنین به‌طورکلی اعمال تنش در روش آبیاری نواری سطحی موجب کاهش تعداد برگ گردید که این کاهش تعداد برگ بین سطوح تنش IR 50 % و IR 75% معنی‌دار نبود. درحالی‌که تعداد برگ به‌ازای سطوح مختلف تنش در روش آبیاری نواری زیرسطحی روند کم‌نوسان‌تری در مقایسه با روش نواری سطحی داشت. علت نوسان کم تعداد برگ در روش آبیاری نواری زیرسطحی در مقایسه با روش نواری سطحی، به تمرکز بالای ریشه در لایه‌های کم‌عمق خاک و جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی گیاه در این شرایط برمی‌گردد، که این موضوع تخلیه مناسب آب در روش زیرسطحی و تأمین نیاز آبی گیاه و جذب مناسب ریشه را نشان می‌دهد. حتی تنش‌های رطوبتی در روش آبیاری زیرسطحی، با تیمار نیاز آبی کامل در روش نواری سطحی برابری کرده است (۲۹). نتایج مطالعه کریمی و همکاران (۱۲)، زاغیان و نوری (۸) و صمدوند و همکاران (۱۰) با یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر اثر معنی‌دار تنش رطوبتی در کاهش تعداد برگ در روش آبیاری نواری سطحی در مقایسه با روش نواری زیرسطحی و دریافت بهتر، تلفات حداقل آب و رشد بیش‌تر زیست‌توده در روش نواری سطحی مطابقت دارد.

وزن بوته خشک

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس در سطح احتمال ۵ درصد، اثر متقابل معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری بر روی وزن بوته خشک وجود داشت (جدول ۳). بیش‌ترین وزن بوته خشک به میزان ۱۶۱/۹۵ گرم از تیمار بدون تنش آبیاری نواری زیرسطحی (تیمار SDI = %100 IR) گزارش شد که نسبت به تیمار بدون تنش نواری سطحی به میزان ۹/۱ درصد افزایش از خود نشان داد. هم‌چنین کم‌ترین وزن بوته خشک به میزان ۱۰۸/۰۷ گرم مربوط به تیمار DI = %50 IR بود که

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به تیمار بدون تنش نواری سطحی (تیمار DI = %100 IR) به میزان ۲۷/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۵). دقیقاً مشابه با اثر تنش رطوبتی و روش‌های آبیاری بر وزن بوته تر که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی روش زیرسطحی بیش‌ترین وزن بوته و تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی که کم‌ترین وزن بوته تر را داشت، وزن خشک بوته نیز به این صورت بود که کاملاً چنین انتظاری وجود داشت؛ زیرا وزن بوته خشک از وزن بوته تر نشأت گرفته و روند تغییرات عملکرد باید در تناسب باشند. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به تخلیه مناسب آب در ناحیه ریشه و جذب آب و مواد غذایی و کم‌تر واردشدن تنش به ذرت، عملکرد زایشی و رویشی بیش‌تری داشته و بهترین عملکرد در روش ۱۰۰ درصد نیاز آبی و سپس تنش ۵۰ و ۷۵ درصد این تیمار و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش نواری سطحی در یک گروه آماری قرار گرفته و وزن بوته خشک مشابهی داشتند. نتایج مشابهی توسط زاغیان و نوری (۸) و لاولی و همکاران (۲۹) مبنی بر زیست‌توده بیش‌تر گیاه در روش آبیاری نواری زیرسطحی و برابری عملکرد در تنش‌های رطوبتی روش زیرسطحی با تیمار بدون تنش روش نواری سطحی گزارش شد. براساس نتایج حاصل‌شده، به‌طورکلی اعمال تنش در هر دو روش آبیاری موجب کاهش معنی‌دار وزن بوته خشک گردید که این کاهش بین سطوح تنش IR 50 % و IR 75% در آبیاری نواری زیرسطحی معنی‌دار نبود و هر دو تیمار در یک گروه آماری قرار گفتند. هم‌چنین به‌ازای سطوح ثابت تنش، وزن بوته خشک در روش آبیاری زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از روش نواری سطحی بود که با نتیجه پژوهش افراسیاب و همکاران (۲) مطابقت دارد.

تعداد دانه در بلال

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس، مشاهده گردید که اثر متقابل معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری روی تعداد دانه در ذرت وجود دارد (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه شمارش‌شده از هر ذرت به تعداد ٦٦٠/٨ عدد از تیمار DI = %100 IR حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار SDI = %100 IR نداشت و نیاز آبی کامل در هر دو تیمار، عملکرد مشابهی را گزارش کرد. کم‌ترین تعداد دانه نیز به تعداد ٤٤٥/٤ عدد از تیمار DI = %50 IR گزارش شد که در مقایسه با تیمار بدون تنش آبیاری نواری سطحی به میزان ۳۲/۵ درصد کاهش داشت (جدول ۵). نتایج نشان داد اعمال تنش رطوبتی در هر دو روش آبیاری موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه شد که نوسان بیش‌تر آن، در تنش‌های رطوبتی روش آبیاری نواری سطحی به‌دست آمد. تنش رطوبتی در مراحل رشد رویشی و زایشی، پتانسیل تولید دانه ذرت را در طول این مراحل از رشد تحت تأثیر قرار داده و از طریق کاهش تعداد دانه در ردیف ذرت و تعداد ردیف در ذرت، موجب کاهش تعداد دانه در ذرت می‌گردد که به‌طور مستقیمی عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین اعمال نیاز آبی کامل (۱۰۰ درصد) که شرایط بدون تنشی را نشان می‌دهد، بهترین عملکرد را داشته و بعد از آن تیمار تنش‌های رطوبتی روش نواری زیرسطحی قرار داشتند. تیمار تنش‌های رطوبتی روش آبیاری نواری سطحی نیز کم‌ترین تعداد دانه در بلال را داشتند که با توجه به نکات گفته‌شده، اثر تنش اعمال‌شده بر عدم تأمین نیاز آبی گیاه و کاهش دانه در بلال را نشان می‌دهد. نتایج مشابهی توسط ولتین و همکاران (۳۲) گزارش شد که تنش خشکی به‌دلیل اختلال در گرده‌افشانی و تشدید پدیده عقیمی و درصد سقط جنین، باعث کاهش تعداد دانه در ذرت می‌شود.

وزن هزاردانه

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس در سطح احتمال

www.SID.ir

Archive of SID

۱ درصد، اثر متقابل معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری بر روی وزن هزاردانه وجود داشت (جدول ۳). بیش‌ترین وزن هزاردانه معادل ۲۴۹/۵۳ گرم از تیمار SDI = %100 IR حاصل شد. کم‌ترین وزن هزاردانه نیز به میزان ۲۰۹/۴۰ گرم از تیمار SDI = %50 IR محاسبه شد که نسبت به تیمار بدون تنش در آبیاری نواری سطحی به میزان ۱۶/۱ درصد کاهش داشت (جدول ۵). مقایسه نتایج وزن هزاردانه نشان داد در روش آبیاری نواری زیرسطحی اعمال تنش رطوبتی وزن هزاردانه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد؛ درحالی‌که در آبیاری نواری سطحی روی وزن هزاردانه معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌رسد تنش خشکی در دوره پرشدن دانه و کوتاه‌شدن این دوره به‌دلیل کاهش دوام سطح برگ، عامل اصلی کاهش وزن هزاردانه باشد. نتایج مطالعات نشان داده است تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه‌ها از طریق کاهش وزن هزاردانه موجب کاهش عملکرد خواهد شد (۷ و ۱۸). هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که در سطوح تنش 50 % IR و 75% IR وزن هزاردانه حاصل از آبیاری نواری سطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از آبیاری نواری زیرسطحی بود. در این پژوهش نیز بالابودن وزن هزاردانه به‌عنوان یکی از اجزای اصلی عملکرد، سبب افزایش عملکرد محصول در شرایط اعمال تنش در روش نواری سطحی بوده است. درحالی‌که در شرایط بدون تنش، وزن هزاردانه حاصل از آبیاری نواری زیرسطحی بیش‌تر از سطحی به‌دست آمد (۲۶).

عملکرد بیولوژیک

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس در سطح احتمال ۱ درصد، نشان داد اثر متقابل معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری بر روی عملکرد بیولوژیک وجود دارد (جدول ٤). بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک محاسبه‌شده به میزان ۳۹/۴۲ تن بر هکتار مربوط به تیمار SDI = %100 IR (و سپس تنش‌های رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد روش آبیاری نواری زیرسطحی و ۱۰۰ درصد نیاز آبی روش نواری سطحی) و کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک نیز به میزان ۲۶/۴۵ تن بر هکتار از تیمار DI = %50 IR گزارش شد که این رقم به میزان ۲۸/٤ درصد کم‌تر از تیمار بدون تنش آبیاری سطحی بود (جدول ٦).

Table 5. Comparison of average effects of irrigation method (surface and subsurface drip) on maize yield components

Treatment	Plant weight (gr)	Number of leaves	Dry plant weight (gr)	Seeds in maize	Weight of one thousand seeds (gr)
DI = %50 *IR*	476.13^{d}	9.97^{c}	108.07^{d}	445.43^{e}	238.80^{b}
DI = %75 *IR*	567.83^{c}	10.43^{c}	128.55^{c}	615.73^{bc}	235.75^{b}
DI = %100 *IR*	665.03^{b}	12.43^{ab}	148.50^{b}	660.80^{a}	241.43^{b}
SDI = %50 *IR*	631.03^{b}	13^{a}	142.88^{b}	588.73^{d}	209.40^{d}
SDI = %75 *IR*	640.17^{b}	12^{b}	145.85^{b}	594.07^{cd}	218.97^{c}
SDI = %100 *IR*	709.63^{a}	12.53^{ab}	161.95^{a}	638^{ab}	249.53^{a}

The mean of each column having one letter in common is not significantly different at the 5% probability level, according to Duncan test.

Table 6. Comparison of the average effects of irrigation method (surface and subsurface drip) on yield, productivity and harvest index

Treatment	Biomass yield (t/ha)	Grain yield (t/ha)	Water productivity (kg/m^3)	Harvest index (%)
DI = %50 *IR*	26.45^{d}	14.89^{e}	2.38^{b}	56.32^{b}
DI = %75 *IR*	31.55^{c}	20.32^{b}	2.16^{c}	64.42^{a}
DI = %100 *IR*	36.95^{b}	22.33^{a}	1.78^{e}	60.47^{ab}
SDI = %50 *IR*	35.06^{b}	17.26^{d}	2.75^{a}	49.23^{c}
SDI = %75 *IR*	35.57^{b}	18.20^{c}	1.94^{d}	51.39^{c}
SDI = %100 *IR*	39.42^{a}	22.31^{a}	1.79^{e}	56.66^{b}

The mean of each column having one letter in common is not significantly different at the 5% probability level, according to Duncan test.

www.SID.ir

Archive of SID

ازآنجایی‌که بیش‌ترین اجزای عملکرد زیست‌توده در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (بدون تنش) روش نواری زیرسطحی و سپس تیمارهای تنش رطوبتی نواری زیرسطحی و تیمار بدون تنش نواری سطحی به‌دست آمده بود؛ عملکرد بیولوژیک که دربرگیرنده همه آن‌هاست، چنین روندی را داشته و کاملاً مطابقت دارد. به‌طورکلی نتایج نشان داد اعمال تنش در هر دو روش آبیاری عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در این راستا، پژوهش‌گران مختلف نیز اذعان داشتند که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک را کاهش می‌دهد و این کاهش در تنش ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ویژه در روش آبیاری نواری سطحی شدیدتر است (۷ و ۱۲). رشد رویشی و زایشی بیش‌تر در روش آبیاری زیرسطحی که ناشی از دریافت مناسب آب و جذب به موقع توسط گیاه بود، باعث چنین تغییراتی شده است. نتایج این بخش با یافته‌های گزارش‌شده از پژوهش دهقانی سانیج و همکاران (٦) مبنی بر افزایش عملکرد بیولوژیک در روش زیرسطحی در مقایسه با روش نواری سطحی در شرایط اعمال تنش رطوبتی همخوانی دارد.

عملکرد دانه

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان‌دهنده وجود اثر متقابل معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری بر روی عملکرد دانه است (جدول ٤). بیش‌ترین عملکرد به‌دست‌آمده به میزان ۲۲/۳۳ تن بر هکتار و ۲۲/۳۱ تن بر هکتار به‌ترتیب از تیمارهای $DI = \%100\ IR$ و $SDI = \%100\ IR$ حاصل شد که این دو تیمار اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کم‌ترین عملکرد محاسبه‌شده نیز به میزان ۱٤/۸۹ تن در هکتار از تیمار $DI = \%50\ IR$ گزارش شد که در مقایسه با تیمار بدون تنش در آبیاری نواری سطحی به میزان ۳۳ درصد افت عملکرد داشت (جدول ٦). این نتیجه بیانگر آن است که در شرایطی که هدف افزایش عملکرد بدون درنظرگرفتن مقدار میزان آب قابل‌دسترس باشد، هر دو روش آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی عملکرد مشابهی دارند، اما اگر هدف افزایش بهره‌وری و کشت ذرت در شرایط محدودیت منابع آب باشد، تیمار تنش رطوبتی در روش آبیاری زیرسطحی عملکرد بهتری را حاصل می‌کند. هم‌چنین نتایج حاکی از آن است که اگرچه عملکرد دانه در دو روش نیاز آبی کامل آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی برابر شده، اما تفاوت آن در عملکرد به‌دست‌آمده در تنش‌های رطوبتی این دو سیستم آبیاری می‌باشد، زیرا در تنش رطوبتی روش زیرسطحی، عملکرد بهتری حاصل می‌شود و نتیجه آن را می‌توان در افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط کم‌آبی و نواحی که با کمبود آب مواجه هستند، مشاهده نمود. نتایج بسیاری از مطالعات نیز نشان داده که در شرایط اعمال تنش، عملکرد حاصل از روش آبیاری نواری زیرسطحی بیش‌تر از سطحی حاصل گردیده است (٦، ۱۸ و ۲۸). در مطالعه حاضر نیز تنش رطوبتی در سطح نیاز آبی ۵۰ درصد در روش آبیاری نواری زیرسطحی، عملکرد بهتری در مقایسه با تیمار متقابل خود در روش آبیاری نواری سطحی داشته است. بنابراین می‌توان اذعان داشت تنش رطوبتی اثر قابل‌توجهی بر روند نوسانات عملکرد محصول داشته است به‌طوری‌که در هر دو روش آبیاری اعمال تنش موجب کاهش معنی‌دار عملکرد در تمام سطوح تنش گردید. نتایج مطالعات بسیاری از پژوهش‌گران نیز حاکی از کاهش معنی‌دار عملکرد در شرایط تنش رطوبتی بوده است.

بهره‌وری آب

از اهداف اصلی کم‌آبیاری، افزایش کارایی بهره‌وری آب، از

www.SID.ir

Archive of SID

طریق کاهش مقدار آب آبیاری در مقابل افت کم عملکرد است. نتایج به‌دست‌آمده از جدول (٤) نشان داد اثر متقابل بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری بر روی بهره‌وری آب آبیاری در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. تیمار SDI = %50 IR دارای بیش‌ترین میزان بهره‌وری آب آبیاری (۲/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب) بین سایر تیمارها بود. میزان بهره‌وری در این تیمار نسبت به تیمار بدون تنش رطوبتی در آبیاری نواری زیرسطحی به میزان ۵۳/٦ درصد افزایش داشت. در نقطه مقابل کم‌ترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار DI = %100 IR بود (۱/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب) که اختلاف معنی‌داری با تیمار SDI = %100 IR نداشت (جدول ٦). دهقانی سانیج و همکاران (٦) طی پژوهشی گزارش کردند که به‌طورکلی در شرایط کمبود آب و تنش آبی، کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند با طراحی و مدیریت صحیح باعث افزایش سطح تولید، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت و هم‌چنین بالا بردن بهره‌وری آب آبیاری شود. در تحقیق حاضر نیز بالاترین میزان بهره‌وری، در سطح تنش ۵۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری زیرسطحی حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بود. هم‌چنین یافته‌های پژوهش نشان داد که اعمال تنش در هر دو روش آبیاری، موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب آبیاری شد، درحالی‌که در شرایط بدون تنش، اختلاف معنی‌دار بهره‌وری آب آبیاری بین دو روش آبیاری مشاهده نشد. این نتایج نشان می‌دهد که کم‌آبیاری از طریق اعمال تنش رطوبتی یکی از راه‌کارهای مؤثر در افزایش بهره‌وری مصرف آب است که با نتایج پژوهش‌های دیگران مطابقت دارد. این امر به‌خصوص در مناطقی که با کمبود منابع آب در دسترس بخش کشاورزی مواجه هستند، حائز اهمیت است. به‌طورکلی برتری روش آبیاری زیرسطحی نسبت به روش آبیاری سطحی مشهود است. این نتیجه با یافته تحقیق جوردانو و همکاران (٢٦)، ولنتین و همکاران (۳۲)، لام (۲۸)، بلانکو و همکاران (۲۱)، آلباشا و همکاران (۱۸)، افراسیاب و همکاران (۲) و لیاقت و همکاران (۱۳) در تطابق است.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین سطوح مختلف تنش و روش‌های آبیاری بر روی شاخص برداشت وجود دارد (جدول ٤). بیش‌ترین شاخص برداشت به میزان ٦٤/٤٢ درصد مربوط به تیمار DI = %75 IR بود که اختلاف معنی‌داری در مقایسه با تیمار DI = %100 IR نداشت. هم‌چنین کم‌ترین شاخص برداشت گزارش‌شده نیز معادل ٤۹/۲۳ درصد مربوط به تیمار SDI = %50 IR بود که شاخص برداشت را در مقایسه با تیمار بدون تنش در روش آبیاری زیرسطحی به میزان ۱۳/۱ درصد کاهش داد و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار SDI = %75 IR نداشت (جدول ٦). به‌طورکلی نتایج نشان داد که در سطوح ثابت تنش، شاخص برداشت در آبیاری نواری سطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از روش آبیاری نواری زیرسطحی حاصل شد زیرا اختلاف عملکرد دانه و زیست‌توده آن ناچیز بوده است. هم‌چنین اعمال تنش در آبیاری نواری زیرسطحی سبب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت شد به‌طوری‌که تیمار آبیاری نواری زیرسطحی با داشتن عملکرد دانه برابر و گاهی عملکرد بیش‌تر در مقایسه با روش نواری سطحی، زیست‌توده بیش‌تری را تولید کرده که این باعث اختلاف شاخص برداشت در این دو روش آبیاری شده است. هم‌چنین این امر را می‌توان به تسهیم بیش‌تر مواد فتوسنتزی به دانه در این روش آبیاری جستجو کرد (٦، ۷ و ١٤).

www.SID.ir

Archive of SID

روابط بین آب- بهره‌وری آب و آب- عملکرد دانه

در شکل (۲) روابط رگرسیونی عملکرد دانه و بهره‌وری آب در دو روش آبیاری موردمطالعه تحت سه سطح تنش رطوبتی اعمال‌شده، ارائه گردیده است. بر این اساس، تغییرات بهره‌وری با مصرف آب، در روش آبیاری نواری سطحی در مقایسه با نواری زیرسطحی شیب بیش‌تری داشته و این روند نامنظم‌تر بهره‌وری در مقابل مصرف آب در این روش آبیاری را نشان می‌دهد. شیب خطوط نیز نشان‌دهنده رابطه بین عملکرد و بهره‌وری حاصل از آن می‌باشد به این معنی که تا یک مقدار مشخص از مصرف آب، بهره‌وری مقدار مناسبی داشته و از آنجا به بعد نیز مقدار بهره‌وری افت پیدا می‌کند. نتایج نشان داد همبستگی عملکرد دانه و بیولوژیک با میزان بهره‌وری در روش آبیاری نواری سطحی در مقایسه با نواری زیرسطحی بیش‌تر است. روند پراکندگی نقاط نشان می‌دهد که دلیل این امر، روند نامنظم تغییرات عملکرد با بهره‌وری در سطوح 100% IR و 75% IR است که در مقایسه با حالت 50% IR، اختلاف بین تکرارها به‌طور نسبی زیاد بوده و پراکندگی بیش‌تری حاصل‌شده است.

نتایج مطالعه مختلف نیز نشان داد که رابطه بین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب خطی بوده و همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. هم‌چنین با وجود این‌که بیش‌ترین بهره‌وری در تیمار نیاز آبی ۵۰ درصد در روش زیرسطحی به‌دست آمد، اما تفاوت چندانی بین میزان بهره‌وری آب در تیمارهای ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در این روش وجود ندارد که این استفاده از تیمار نیاز آبی ۷۵ درصد در روش زیرسطحی با توجه به عملکرد و بهره‌وری مناسب را نشان می‌دهد. در سمت مقابل و در روش سطحی، باز هم بیش‌ترین بهره‌وری در تیمار نیاز آبی ۵۰ درصد به‌دست آمد اما مقدار عددی کم‌تری نسبت به روش آبیاری زیرسطحی داشت. هم‌چنین اختلاف عددی بین تیمار ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در این روش نسبت به روش زیرسطحی بیش‌تر بوده و روند مناسب تغییرات بهره‌وری نسبت به آب مصرفی در روش آبیاری زیرسطحی را نشان می‌دهد (شکل ۲). کاهش میزان عملکرد و افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب ناشی از تنش رطوبتی نیز در مطالعات متعددی نظیر لیاقت و همکاران (۱۳)، صمدوند و همکاران (۱۰)، کریمی و همکاران (۱۲)، اخوان و همکاران (۱)، زاغیان و نوری (۸)، بذرافشان و همکاران (۳)، لام (۲۸)، آیارز و همکاران (۱۹)، ولنتین و همکاران (۳۲) و دازول و همکاران (۲۳) گزارش شده است که با نتیجه این پژوهش، مطابقت دارد.

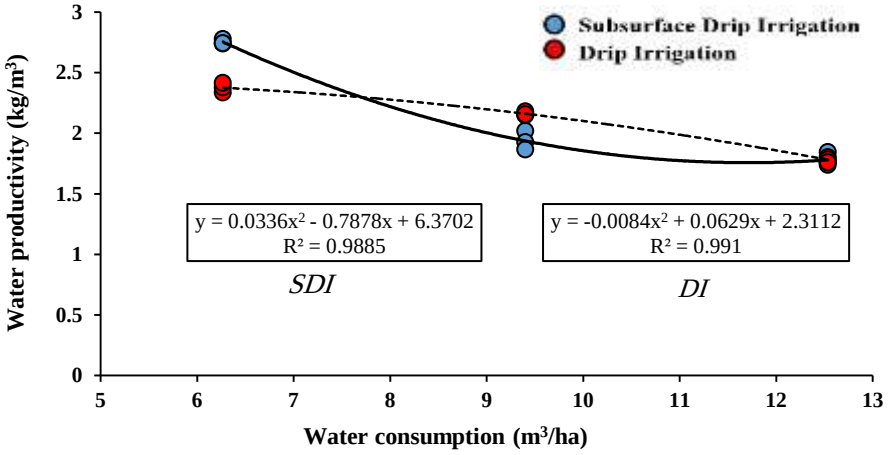

Figure 2. Water-Water productivity regression relationships

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه عملکرد در مقابل آب مصرفی نیز در دو روش آبیاری در سه سطح نیاز آبی در شکل (۳) نیز ارائه شده است. با مقایسه روند تغییرات عملکرد نسبت به میزان مصرف آب، یافتن سطح بهینه تنش آبیاری جهت رسیدن به مناسب‌ترین بهره‌وری و عملکرد آسان‌تر خواهد بود. مقدار بهره‌وری و عملکرد رابطه معکوسی با هم داشته و روند تغییرات آن‌ها که در شکل (۳) نشان داده شده است، به‌وضوح دیده می‌شود. به‌طور طبیعی بیش‌ترین عملکرد در ازای مصرف بیش‌تر آب رخ داده است و نوع روش آبیاری تأثیری در این امر نداشته است، اما قابل‌توجه است که تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری زیرسطحی عملکرد بیش‌تری نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی روش نواری سطحی داشته و در مقابل تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی روش نواری سطحی، عملکرد بیش‌تری نسبت به تیمار مشابه در روش آبیاری زیرسطحی داشته است.

به‌عنوان نتیجه‌گیری در این بخش می‌توان عنوان کرد با وجود این‌که بیش‌ترین بهره‌وری در تنش رطوبتی ۵۰ درصد در تیمار آبیاری نواری زیرسطحی و سپس نواری سطحی حاصل می‌شود، اما عملکرد دانه، پایین‌ترین مقدار خود را به‌ویژه در تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی در روش نواری سطحی خواهد داشت. در نتیجه برای برقراری تعادل بین عملکرد و بهره‌وری، تیمار تنش رطوبتی ۷۵ درصد نیاز آبی قابل‌توصیه است، زیرا هم عملکرد مناسبی دارد و هم بهره‌وری بالایی را به‌ویژه در روش آبیاری نواری سطحی حاصل می‌کند. حتی در روش آبیاری نواری زیرسطحی نیز تفاوت عملکرد و بهره‌وری در تیمار ۵۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی ناچیز می‌باشد. از طرفی ماندگاری بالاتر سیستم آبیاری نواری زیرسطحی، هزینه کم‌تر نگهداری و تعویض نوار تیپ در هر فصل کشت نسبت به روش نواری سطحی، عدم تداخل با عملیات کشاورزی، خطر کم‌تر پوسیدگی لوله‌ها و کم‌تر در معرض نور مستقیم آفتاب‌بودن، توزیع مناسب آب در ناحیه ریشه و تأمین به موقع نیاز آبی گیاه، از دلایل انتخاب این روش آبیاری هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد در هر دو روش آبیاری، اعمال تنش آبی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد در تمام سطوح تنش آبی شد. این در حالی است که اعمال تنش آبی موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب شد. در شرایط بدون تنش، اختلاف معنی‌داری در بهره‌وری آب آبیاری بین دو روش آبیاری مشاهده نشد.

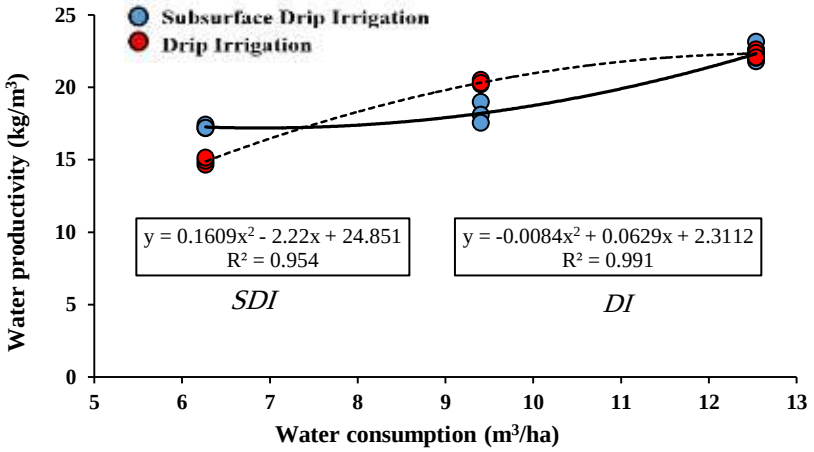

Figure 3. Water-Grain yield regression relationships

www.SID.ir

Archive of SID

هم‌چنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در محصول ذرت و در هر دو روش آبیاری نواری سطحی و زیرسطحی، کاهش مصرف آب موجب کاهش معنی‌دار عملکرد می‌شود. در واقع با بهبود یکی از عوامل مؤثر در بهره‌وری آب، اثر عامل دیگر معکوس می‌شود. بنابراین ارائه راه‌کاری که موجب تأثیر همسوی این دو عامل بر میزان بهره‌وری شود، حائز اهمیت است. درنهایت، آبیاری زیرسطحی با اعمال تنش آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی به‌دلیل عملکرد و بهره‌وری مناسب و هم‌چنین درجه اهمیت بیش‌تر این روش نسبت به آبیاری نواری سطحی که در بخش فوق ذکر شد، یک راهبرد مناسب برای آبیاری ذرت به‌منظور کاهش آب مصرفی و افزایش بهره‌وری است. هم‌چنین با تأمین آب مورد نیاز با استفاده از این روش آبیاری، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب و بدون کاهش شدید عملکرد می‌توان راندمان مصرف آب را بهبود بخشید.

پی‌نوشت‌ها

1. Drip Irrigation (DI)
2. Subsurface Drip Irrigation (SDI)
3. World Markets and Trade
4. ITAP Research Facility in Albacete
5. Irrigation Requirement
6. Hydrocyclon
7. Maximum Allowable Depletion
8. Water Productivity

منابع

۱. اخوان ک، شیری م ر و کاظمی آذر ف. (۱۳۹۳). اثر میزان آبیاری قطره‌ای و آرایش کاشت بر عملکرد ذرت دانه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸ (۱): ۱۰۷-۹۵.

۲. 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 اسلام‌آباد غرب. تحقیقات آب و خاک ایران. ٤٧ (٤): ٧٤١-٧٣١.

۳. بذرافشان ا، شرفا م، محمدی م ح و ذوالفقاری ع ا. (۱۳۹۸). پاسخ ذرت به تنش شوری با استفاده از مدل‌های جذب آب در فصول مختلف. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰ (۹): ۲۱۸۱-۲۱۷۲.

٤. پورغلام آمیجی م، لیاقت ع، قمشلو آ و خوش‌روش م. (۱۳۹۷). اثر آب زیرزمینی کم‌عمق و شور روی رشد و زیست‌توده برنج. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲ (٤): ٥١٦-٤٩٩.

۵. حمدی احمدآباد ی، لیاقت ع، رسول‌زاده ع و قادر پور ر. (۱۳۹۸). بررسی روند سرانه مصرف آب در ایران بر اساس رژیم غذایی دو دهه گذشته. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰ (۱): ۸۷-۷۷.

٦. دهقانی سانیج ح، کنعانی ا و حمامی م. (۱۳۹۵). کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و پارامترهای مدیریت آن در زراعت ذرت. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۳ (۲): ۵۲-۳۹.

۷. زاغیان گ. (۱۳۹۵). تأثیر روش های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی توأم با اعمال کم‌آبیاری روی راندمان مصرف آب و عملکرد گیاه ذرت علوفه ای. پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه شهر کرد.

۸. زاغیان گ و نوری م ر. (۱۳۹۵). مقایسه تأثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و آبیاری شیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای. دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، اصفهان.

۹. سهرابی ت و پایدار ز. (۱۳۹۵). اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ٤١٠ صفحه.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰. صمدوند س، تاج‌بخش م، انوری ک و احمد آلی ج. (۱۳۹۳). تأثیر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری (Tape) و نشتی در کشت یک و دو ردیفه بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای. علوم آب و خاک. ۱۸ (۷۰): ۱۲۰-۱۱۳.

۱۱. عباسی ف، سهراب ف و عباسی ن. (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۷ (٦٧): ۱۲۸-۱۱۳.

۱۲. کریمی م، باغانی ج و جلینی م. (۱۳۹٤). بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای (تیپ) بر عملکرد ذرت دانه‌ای. آب و خاک. ۲۹ (۲): ۳۲۱-۳۱۱.

۱۳. لیاقت ع، پورغلام آمیجی م و مشهوری نژاد پ. (۱۳۹۷). اثر آبیاری سطحی و زیرسطحی با آب شور و مالچ بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت و توزیع املاح در خاک. آب و خاک. ۳۲ (٤): ٦٧٤-٦٦١.

۱٤. محرابیان س، ناصری ع، هوشمند ع و مسکرباشی م. (۱۳۹۷). اثر عمق نصب لوله‌های قطره‌چکان‌دار و مقدار زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۲): ۳۳۵-۳۲۱.

۱۵. محمدی محمدآبادی ا و عبدالهی عزت‌آبادی م. (۱۳۹۵). معرفی روش آبیاری زیرسطحی با لوله‌های سیمانی در باغ‌های پسته. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده پسته، چاپ اول، کرمان، ۱۵ ص.

۱٦. مرزی م، میرزایی ف و لیاقت ع. (۱۳۹۸). بررسی میزان جذب آب و عملکرد ذرت علوف‌های در شرایط مختلف تلفیق آب شور و غیر شور. مدیریت آب و آبیاری. ۹ (۱): ۱٤-۱.

۱۷. مولوی ح، لیاقت ع و نظری ب. (۱۳۹۵). ارزیابی سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و مدیریت کم‌آبیاری با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز ارس). مدیریت آب و آبیاری. ٦ (۲): ۲۳٦-۲۱۷.

18. Albasha, R., Dejean, C., Mailhol, J.C., Weber, J.J., Bollègue, C., & Lopez, J.M. (2015). Performance of subsurface drip irrigation for maize under Mediteranean and temperate Oceanic climate conditions. *26th Euro-Mediterranean Regional Conference and Workshops «Innovate to improve Irrigation performances», Montpellier, France.*
19. Ayars, J.E., Fulton, A., & Taylor, B. (2015). Subsurface drip irrigation in California-Here to stay? *Agricultural Water Management*,157,39-47.
20. Biabi, H., Mehdizadeh, S.A., & Salmi, M.S. (2019). Design and implementation of a smart system for water management of lilium flower using image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 160, 131-143.
21. Blanco, F.F., Folegatti, M.V., Gheyi, H.R., & Fernandes, P.D. (2008). Growth and yield of corn irrigated with saline water. *Scientia Agrícola*, 65(6), 574-580.
22. Camp, C.R. (1998). Subsurface drip irrigation: a review. *Transactions of the ASAE*, 41(5), 1353.
23. Dowswell, C. (2019). Maize in the third world. *CRC Press*.
24. El-Shater, T., Yigezu, Y.A., Shideed, K., & Aw-Hassan, A. (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), 1709-1720.
25. Fadul, E., Masih, I., De Fraiture, C., & Suryadi, F.X. (2020). Irrigation performance under alternative field designs in a spate irrigation system with large field dimensions. *Agricultural Water Management*, 231, 105989.
26. Giordano, M., Scheierling, S.M., Tréguer, D.O., Turral, H., & McCornick, P.G. (2019). Moving beyond 'more crop per drop': insights from two decades of research on agricultural water productivity. *International Journal of Water Resources Development*, 1-25.
27. Kijne, J.W., Tuong, T.P., Bennett, J., Bouman, B., & Oweis, T. (2003). Ensuring food security via improvement in crop water productivity. *Challenge Program on water and Food Background Paper*, 1, 20-26.
28. Lamm, F.R. (2016) .Cotton, tomato, corn, and onion production with subsurface drip irrigation: A review. *Transactions of the ASABE*, 59(1), 263-278.
29. Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., & Di Tommaso, T. (2007). Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management*, 92, 73-80.

www.SID.ir

Archive of SID

30. Panda, R.K., Behera, S.K., & Kashyap, P.S. (2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 66(3), 181-203.
31. UNEP (United Nations Environment Programme). (2008). vital water graphics-an overview of the state of the world's fresh and marine waters. (2nd Ed.). *Nairobi*: UNEP.
32. Valentín, F., Nortes, P.A., Domínguez, A., Sánchez, J.M., Intrigliolo, D.S., Alarcón, J.J., & López-Urrea, R. (2020). Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. *Irrigation Science*, 38(1), 105-115.
33. WHO (World Health Organization). (2019). Chemical Safety. *Activity Report 2018*.
34. WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). (2019). the United Nations World Water Development Report: *Leaving No One Behind*.

www.SID.ir