



اثر کود- آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری قطره‌ای - خطی

احمد کریمی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک دانشکده مهندسی خاک و آب دانشگاه تهران

مهدی همائی

دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

محمد معزاردلان

دانشیار گروه مهندسی علوم خاک دانشکده مهندسی خاک و آب دانشگاه تهران

عبدالمجید لیاقت

دانشیار گروه مهندسی علوم آب دانشکده مهندسی خاک و آب دانشگاه تهران

فایز رئیسی

استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

چکیده

عملکرد گیاه و مصرف آب تحت تأثیر کود و آبیاری می‌باشد. بنابراین مصرف بهینه کود نه تنها باعث افزایش کارایی مصرف کود می‌شود، بلکه کارایی مصرف آب را نیز افزایش می‌دهد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر کود - آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب در زراعت ذرت به روش آبیاری قطره‌ای - خطی بود. این آزمایش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با دو فاکتور مقدار آب آبیاری در چهار سطح، و مقدار کود شیمیایی در پنج سطح، در سه تکرار انجام گردید. برای این آزمایش، سیستم آبیاری قطره‌ای - خطی طراحی و اجرا گردید. برای تعیین تیمارهای آبیاری از تخلیه رطوبتی خاک استفاده گردید، و با توجه به دور معمول آبیاری منطقه (۷ روز) و درصد تخلیه مجاز (۵۰ درصد) نیاز آبی گیاه به عنوان تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری به عنوان درصدی از این مقدار منظور گردید. تیمارهای آبیاری شامل چهار سطح آبیاری (۶۰٪، ۸۰٪، ۱۰۰٪، و ۱۲۰٪ تیمار محاسبه شده) بود. تیمارهای کودی شامل پنج سطح کودی (شاهد، ۶۰٪، ۸۰٪، ۱۰۰٪، و ۱۲۰٪ ترکیب کودی) بود. در روش کود - آبیاری، کودهای ازت و پتاسیم در ۵ نوبت و با فواصل ۱۴ روز و کودهای دارای آهن، روی، منگنز، مس و بُر در ۴ نوبت با فواصل ۱۴ روز در طی فصل رشد ذرت مصرف گردید. نتایج پژوهش نشان داد که عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب ذرت تحت تأثیر میزان آب آبیاری، مقدار کود مصرفی و اثر متقابل این دو عامل قرار دارد. اختلاف در عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه بین تیمارهای آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در

روش کود - آبیاری بیشترین عملکرد ماده خشک و بیشترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار ۱۲۰٪ آبیاری به دست آمد. لیکن اختلاف آن با تیمار ۱۰۰٪ آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار نبود. از نظر میزان عملکرد دانه بیشترین عملکرد در تیمار ۱۲۰٪ آبیاری به دست آمد که اختلاف آن با سایر تیمارهای آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین اختلاف بین تیمارهای کودی از نظر عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. لیکن از نظر عملکرد ماده خشک تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بین تیمارهای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰٪ توصیه کودی و بین تیمارهای صفر (شاهد) و ۶۰٪ توصیه کودی وجود نداشت. از نظر عملکرد بیولوژیکی، نیز بین تیمار ۸۰ و ۱۰۰٪ توصیه کودی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود نداشت. تفاوت بین تیمارهای کودی از نظر عملکرد دانه در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده است. کارایی مصرف آب نیز تحت تأثیر مقدار آب آبیاری و مقدار مصرف کود و اثر متقابل بین این دو عامل قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که کارایی مصرف آب هم بر اساس عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و عملکرد بیولوژیکی بین تیمارهای مختلف آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار است. نتایج نشان داد که با افزایش عملکرد کارایی مصرف آب در زراعت ذرت افزایش یافت. اثر مقدار کود مصرفی نیز بر کارایی مصرف آب در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که با افزایش کود مصرفی کارایی مصرف آب نیز افزایش یافت. اختلاف بین تیمارهای آبیاری از نظر شاخص برداشت در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. بین تیمارهای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تأمین نیاز آبیاری تفاوت معنی‌دار در این شاخص دیده نشد. همچنین نتایج نشان داد که اختلاف بین تیمارهای کودی از نظر شاخص برداشت معنی‌دار بوده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای - خطی، عملکرد، ذرت علوفه‌ای، کارایی مصرف آب، کود - آبیاری.

مقدمه

ذرت (*Zea Maize L.*) از غلات عمده مناطق مرطوب و نیمه مرطوب گرمسیری است لیکن به دلیل قدرت سازگاری بالا کشت آن در مناطق سردسیر نیز میسر گردیده است (۲۹). موارد متعدد مصرف ذرت در تغذیه انسان، دام و طیور و استخراج حدود ۱۵۰۰ فرآورده متفاوت و کاربرد آنها در صنایع مختلف موجب شده که این محصول به عنوان مهم‌ترین غلات شناخته شود (۸). با رشد رو به افزون جمعیت و نیاز به تولیدات دامی، افزایش تولید در گیاهان علوفه‌ای ضروری است، لیکن برای دستیابی به تولید مطلوب در زراعت ذرت استفاده بهینه از منابع آبی و کودی امری اجتناب ناپذیر است.

با توجه به نیاز آبی ذرت، کمبود آب برای تولید مناسب آن یکی از معضلات مهم کشور به شمار می‌آید. از آنجایی که در کشور ما نزولات جوی کم و منابع آب محدود است، از این نظر استفاده بهینه از آب موجود کاملاً ضروری است و باید از حداقل آب حداکثر بهره‌برداری لازم صورت پذیرد تا سطح بیشتری به زیر کشت برده شود (۴). بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب در جهان است و در مناطق خشک، کشت آبی ۵۰ تا ۸۵ درصد آب کل را مصرف می‌کند (۱۴) و راندمان مصرف آن در این بخش ۳۰ تا ۳۲ درصد است (۲). از این نظر با توجه به اینکه اکثر مناطق کشور از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود و توزیع بارندگی به گونه‌ای است که بیشترین میزان آن در فصل زمستان می‌باشد، توجه به چگونگی استفاده از آب موجود برای کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین استفاده بهینه از واحد حجم آب بایستی از اهداف مهم سیاست‌های افزایش بهره‌وری از منابع آب در کشور باشد (۲). بررسی‌های لازم بر روی مدیریت آبیاری از نظر دور و عمق آبیاری در جهت تعیین عکس‌العمل عملکرد گیاه نسبت به آب، منجر به ارائه توابع تولید آب و محصول شده که می‌توان با استفاده از این توابع، مدیریت بهینه مصرف آب را با هدف افزایش کارایی مصرف^۱ آن مشخص نمود (۵). کارایی مصرف آب عبارت از مقدار ماده خشک گیاهی

تولید شده به ازای مقدار آب مصرفی است (۲۶). در شرایط کنونی و با توجه به وضعیت موجود کشاورزی ایران، توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار در اراضی مستعد این قبیل روش‌های آبیاری راهی مناسب‌تر و کارآمدتر از روش‌های آبیاری سطحی مدرن برای افزایش کارایی مصرف آب خواهد بود. راندمان آبیاری در روش‌های تحت فشار به بیش از ۷۵٪ بالغ می‌گردد. حتی روش آبیاری قطره‌ای از بین روش‌های تحت فشار، از بازده بیشتری (حدود ۹۰ درصد) برخوردار است. بنابراین به نظر می‌رسد که این نوع آبیاری از لحاظ صرفه‌جویی در مصرف آب، یکی از بهترین روش‌ها به شمار می‌آید. روش‌های آبیاری قطره‌ای به لحاظ دارا بودن پتانسیل مطلوب در توزیع آب با راندمان بالا یک راه حل مناسب جهت استفاده بهینه از منابع آب می‌باشند، به شرطی که انتخاب، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سیستم با دقت علمی و اصولی انجام گیرد. محققین متعددی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر روی اجزاء عملکرد، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، خصوصیات کیفی و کارایی مصرف آب در محصولات مختلف را مورد مطالعه و بررسی قرار داده‌اند و نتایج متفاوتی گزارش کرده‌اند (۱۲، ۱۳ و ۱۵). پوریت و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند که آبیاری قطره‌ای در امریکا عملکرد و کارایی مصرف آب در گوجه فرنگی را به ترتیب ۱۹ و ۲۰٪ در مقایسه با آبیاری سطحی افزایش می‌دهد (۲۳). نوالاوالا (۱۹۹۱) در تحقیقی اظهار نمود که افزایش کارایی مصرف آب در هر نوع سیستم آبیاری خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک که آب کمیاب است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. نامبرده نشان داد که در آبیاری کرتی و شیاری میزان هدر رفت آب حدود ۷۱٪ است، و اتلاف زیاد عناصر غذایی از طریق آبشویی را به همراه دارد (۲۲). توکلی و اوپس (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای تأثیر مدیریت‌های آبیاری را بر کارایی مصرف آب در زراعت گندم بررسی نمودند و نشان دادند که کارایی مصرف آب تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (۲۸).

آب در فرایندهای جذب عناصر غذایی نقش مهمی دارد به گونه‌ای که وجود رطوبت کافی در خاک برای جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد محصول ضروری است. علاوه بر آب، تأمین و عرضه عناصر غذایی گیاه و به صورت متعادل برای نیل به عملکرد و کیفیت مطلوب محصولات کشاورزی ضرورت کامل دارد. در مناطق خشک و نیمه خشک نه تنها کمبود آب بلکه کمبود عناصر غذایی قابل جذب در خاک نیز همیشه محدود کننده رشد گیاه می‌باشد. بنابراین، با هدف مصرف بهینه و متعادل کودهای شیمیایی، راندمان مصرف کودهای شیمیایی بایستی به همراه راندمان مصرف آب افزایش یابد. بررسی‌های انجام شده در چند دهه گذشته حاکی از این است که مصرف بهینه کود و افزایش عملکرد محصول از طریق افزایش کارایی مصرف آب امکان پذیر است. کود - آبیاری^۱، که عبارت از مصرف کود با آب آبیاری در طی دوره رشد و نمو گیاه است، کارایی مصرف کود و آب را به طور همزمان افزایش می‌دهد. کود - آبیاری با سیستم‌های تحت فشار منجر به افزایش کارایی مصرف آب و موجب کاهش هدر رفت بخشی از کودهای شیمیایی مصرفی می‌گردد (۱۶). سینگان هوپ و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که در کود - آبیاری به روش قطره‌ای نه تنها کارایی مصرف آب توسط گیاه گوجه فرنگی در مقایسه با آبیاری سطحی افزایش یافت، بلکه میزان جذب ازت توسط گیاه در آبیاری قطره‌ای ۸ تا ۱۱ درصد بیشتر از آبیاری سطحی به دست آمد (۲۷). واعظی و همکاران (۱۳۸۱) اثر کود آبیاری بر کارایی مصرف کود و آب در زراعت ذرت علوفه‌ای را به دو روش پخش سطحی کود و روش کود - آبیاری بارانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که عملکرد اندام هوایی در روش کود - آبیاری، در کلیه تیمارهای کودی، بیشتر از تیمارهای مشابه در روش پخش سطحی بود. در روش کود آبیاری بیشترین عملکرد در تیمار ۷۵٪ توصیه کودی در حالی که در روش پخش سطحی در تیمار ۱۰۰٪ توصیه کودی به دست آمد (۹). هبار (۲۰۰۴) اثر کود - آبیاری با منابع و سطوح مختلف کودی و روش‌های مختلف کاربرد کود را بر روی رشد، عملکرد و کارایی مصرف کود بر گیاه گوجه فرنگی مورد مطالعه و بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که ماده خشک کل و شاخص سطح برگ در آبیاری قطره‌ای به طور معنی‌داری نسبت به آبیاری سطحی افزایش می‌یابد. عملکرد میوه ۱۹/۹٪ در آبیاری قطره‌ای بیشتر از روش سطحی به دست آمد (۱۵). ملیک و همکاران (۱۹۹۴) در نتیجه گیری از تحقیق بر روی

نخود فرنگی بیان داشتند که در کود - آبیاری عناصر غذایی مستقیماً توسط قطره چکان‌ها در ناحیه حداکثر فعالیت ریشه گیاهان قرار می‌گیرد و باعث افزایش کارایی مصرف کود می‌گردد. عموماً گیاهان واکنش خوبی نسبت به کاربرد کود توسط آبیاری قطره‌ای نشان می‌دهند و باعث افزایش کارایی مصرف کود می‌گردند (۲۱). بار یوسف و ساجیو (۱۹۸۲) در مطالعه‌ای گزارش نمودند که کود آبیاری میزان ذخیره عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی را افزایش می‌دهد (۱۰). در کشور ما، کارایی مصرف آب و عملکرد محصول به دلیل مصرف زیاد کود و پخش سطحی آن پایین است. با در نظر گرفتن این مسئله که بیشتر کشاورزان، آبیاری‌های خود را بدون توجه به ویژگی‌های آب آبیاری، خاک و کود مصرفی انجام می‌دهند اهداف این تحقیق دستیابی به روشی است که بتوان با استفاده از اطلاعات زود یافت مانند میزان رطوبت و سایر خصوصیات فیزیکی خاک، برای ذرت برنامه آبیاری تعیین و اثرات کود - آبیاری را بر روی اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب توسط ذرت مورد ارزیابی قرار دهد

مواد و روش‌ها:

محل آزمایش: این تحقیق در استان چهارمحال و بختیاری و در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد (طول جغرافیائی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و عرض جغرافیائی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه) در خاکی با بافت سطحی رسی سیلتی و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با دو فاکتور مقدار آب آبیاری در چهار سطح، و مقدار کود شیمیایی در پنج سطح، در سه تکرار انجام گردید. برای پیاده کردن طرح آزمایشی در اوایل بهار، ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و پیش از کاشت ذرت نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از دو عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۶۰ سانتیمتر برداشت و تجزیه‌های فیزیکی - شیمیایی بر روی آن انجام گرفت. علاوه بر آن برای تعیین جرم مخصوص ظاهری هر لایه خاک، نمونه‌های دست نخورده توسط استوانه‌های نمونه برداری تهیه شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از خشک کردن، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلیمتری، توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه‌های فلزی، جرم مخصوص حقیقی با استفاده از پیکنومتر، و برای تعیین مقدار آب قابل استفاده، رطوبت ظرفیت زراعی^۱ و نقطه پژمردگی دائم^۲ به ترتیب در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ اتمسفر به کمک دستگاه صفحه فشاری^۳ اندازه‌گیری گردید. با استفاده از عصاره گل اشباع تهیه شده از نمونه‌های خاک واکنش (pH) خاک توسط دستگاه pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC_e) به وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد. پتانسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر، فسفر قابل جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر، ازت کل به روش کج‌لدال، کربنات کلسیم معادل در خاک به روش کلسیمتری و عناصر ریز مغذی با عصاره‌گیری از خاک با محلول DTPA توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۳ و ۱۱). مشخصات شیمیایی خاک قطعه آزمایشی در جدول (۱) و مشخصات فیزیکی آن در جدول (۲) آمده است. همچنین برای تعیین ویژگی‌های آب آبیاری، نمونه‌ای تهیه و خصوصیات شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک	درصد	هدایت		واکنش (pH)	الکتریکی عصاره اشباع (EC _e)	میلی گرم بر کیلو گرم (قسمت در میلیون)					
		پتانسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب			Fe	Mn	Cu	Zn		
سانتیمتر	سولفات کلسیم	کربنات کلسیم	ازت کل	کربن آلی	-	(dS/m)	۱۱/۴	۱۸۵	۳۶۷	۹۱	۴۲
۰-۲۵	۰/۵	۳۳/۵	۰/۰۸۸	۰/۴۷	۷/۷۳	۰/۳۶	۳۳۹/۷	-	-	-	-
۲۵-۶۰	۰/۵	۳۶	۰/۰۷۷	-	۷/۷۶	۰/۶۶	۲۴۴/۶	۱۰/۳	-	-	-

1. Field Capacity
2. Permanent Wilting Point
3. Pressure Plate

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق خاک	درصد توزیع اندازه ذرات خاک			بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی	درصد وزنی رطوبت خاک		نقطه پژمردگی دایم
	شن	سیلت	رس				ظرفیت زراعی	درصد اشباع	
سانتیمتر ۰-۲۵	۴۷/۸	۴۱/۲	۱۱	رسی- سیلتي	۱/۲۷	۲/۳۱	۴۷	۲۶/۲۸	۱۶/۳
۲۵-۶۰	۵۳/۶	۳۷/۷	۸/۷	رسی	۱/۵	۲/۳۹	۴۹	۲۶/۹۴	۱۶/۶۵

جدول ۳- مشخصات شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری

منبع آب	هدایت الکتریکی dS/m	واکنش (pH)	آنیونهای محلول			مجموعاً نیون‌ها	کاتیون‌های محلول			نسبت جذب* سدیم (SAR)
			SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻		Na ⁺	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	مجموع کاتیونها	
چاه	۰/۴۴	۷/۳۳	۱/۷۶	۱	۴/۰۴	۲/۸۵	۰/۹۴	۳/۷۹	۰/۷۹	

* نسبت جذب سدیم = میلی‌اکی‌والان در لیتر به توان $\frac{1}{2}$

عملیات کاشت: در اواسط اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۳ زمین مورد نظر شخم و بعد از دیسک زدن اقدام به ایجاد نهرچه گردید. سپس زمین کرت بندی و تیمارها به طور تصادفی در آن توزیع گردیدند. فاصله کرت‌های آزمایشی از یکدیگر ۲/۵ متر و ابعاد آن ۶ × ۲/۱ متر در نظر گرفته شد. در اواخر اردیبهشت ماه ذرت، به صورت ردیفی با فاصله ردیف ۷۵ سانتیمتر و فاصله بوته ۲۰ سانتیمتر روی ردیف به صورت خطی توسط دست کشت گردید. از رقم ذرت دو رگ (هیبرید) سینگل کراس ۷۰۴ مناسب شرایط آب و هوایی منطقه استفاده گردید (Zea Maize v. Single Cross 704).

سیستم آبیاری: برای این آزمایش، سیستم آبیاری قطره‌ای - خطی طراحی و اجرا گردید. در این روش آبیاری، آب با فشار کم (حدود ۰/۶ بار) پس از عبور از دستگاه کنترل مرکزی به وسیله لوله‌هایی که در کل سطح قطعه آزمایشی توزیع شده بود، پس از عبور از قطره چکان‌هایی که روی نوارهای آبدار قرار گرفته‌اند، به صورت قطره‌ای و به طور ممتد به اندازه نیاز گیاه به خاک اضافه شد. در این آزمایش از نوارهای با مشخصات فنی AJCT دارای ارقام ۴۵۰ - ۳۰ - ۰۷ - ۱۶/۵ که آبدهی آن برای ۱۰۰ متر طول ۴۵۰ لیتر در ساعت، فاصله خروجی‌ها ۳۰ سانتیمتر، ضخامت آن ۰/۱۷۵ میلی‌متر، و قطر داخلی آن ۱۶/۵ میلی‌متر بود استفاده شد. در این سیستم برای کنترل و اندازه‌گیری میزان جریان آب و کود در محل اتصال لوله‌های جانبی به لوله نیمه اصلی از کنتورهای حجمی ۱/۲ اینچ استفاده گردید. جهت جلوگیری از گرفتگی نوارها، توسط ذرات معلق بین خط توزیع و خط تغذیه کننده یک فیلتر دیسکی با شبکه ۱۵۰ نصب گردید. برای کنترل فشار لازم در سیستم، از یک شیر فلکه و یک لوله فرعی قبل از ورود آب به لوله نیمه اصلی استفاده شد، که با باز نمودن آن و انتقال آب اضافی به قسمت کشت از دیادی فشار لازم در سیستم تنظیم می‌گردید. لوله‌های آبدار یا لترال‌ها یا همان نوارهای آبیاری قطره‌ای به تعداد ردیف‌های کاشت برای هر محصول انتخاب و به وسیله اتصال دهنده و با استفاده از لوله‌هایی به طول ۱/۵ متر با قطر ۱۶ میلی‌متر به لوله‌های جانبی متصل گردیدند. به منظور کوددهی همراه با آب آبیاری در این آزمایش، از روش تزریق با ایجاد اختلاف فشار استفاده شد. در این روش تزریق کننده، محلول کودی را از یک تانک رو باز با ایجاد اختلاف فشار به داخل سیستم آبیاری تزریق می‌نماید.

تیمارهای آبیاری: برای تعیین تیمارهای آبیاری از تخلیه رطوبتی خاک استفاده گردید، و با توجه به دور معمول آبیاری منطقه (۷ روز) و درصد تخلیه مجاز (۵۰ درصد) نیاز آبی گیاه به عنوان تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری به عنوان درصدی از این مقدار منظور گردید (۲۳ و ۲۴). تیمارهای آبیاری بر اساس جدول (۴) اعمال گردید. برای دستیابی

به این هدف در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه به روش وزنی تعیین و با استفاده از رابطه زیر مقدار آب آبیاری به نحوی محاسبه گردید که رطوبت خاک تا عمق ریشه به حد ظرفیت مزرعه (FC) برسد

جدول ۴- تیمارهای آبیاری و کودی

تیمارهای آزمایشی	شرح تیمارهای آزمایشی
I ₁	آبیاری به میزان ۶۰٪ نیاز آبی محاسبه شده
I ₂	آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی محاسبه شده
I ₃	آبیاری به میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی محاسبه شده
I ₄	آبیاری به میزان ۱۲۰٪ نیاز آبی محاسبه شده
F ₀	بدون مصرف کود (تیمار شاهد)
F ₁	مصرف کودها به میزان ۶۰٪ درصد فرمول کودی توصیه شده
F ₂	مصرف کودها به میزان ۸۰٪ درصد فرمول کودی توصیه شده
F ₃	مصرف کودها به میزان ۱۰۰٪ درصد فرمول کودی توصیه شده
F ₄	مصرف کودها به میزان ۱۲۰٪ درصد فرمول کودی توصیه شده

$$ID = \frac{(FC - M) \times D \times \rho_b}{100} \quad (1)$$

که در آن: D: عمق مؤثر ریشه دوانی بر حسب سانتیمتر، FC رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه، M رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، و ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب و ID کسر رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه و یا عمق آب آبیاری بر حسب سانتیمتر است.

برای سایر تیمارهای آبیاری درصدی از مقدار محاسبه شده از معادله گفته شده در نظر گرفته شد. عمق آب آبیاری برای تیمارهای مختلف متغیر، و برابر درصدی از عمق آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد، با دور معمول ۷ روز بود. عمق آبیاری در هر مرحله آبیاری، ابتدا با تعیین عمق ریشه دوانی گیاه با حفر نیمرخ ریشه یکی از بوته‌های حاشیه کرت، توسط خط‌کش اندازه‌گیری و سپس با تعیین رطوبت خاک لایه مربوطه به روش وزنی در هر مرحله آبیاری تعیین شد. بعد از محاسبه ID برای تیمار ۱۰۰٪ تأمین نیاز آبیاری در هر نوبت آبیاری، و محاسبه آب مورد نیاز هر تیمار بر اساس جدول (۴) به ترتیب تیمارهای I₁ تا I₄ آبیاری اعمال گردیدند. مقدار آب مصرفی در هر دور آبیاری در طی دوره رشد و نمو ذرت متغیر بود و در تمام تیمارها مقدار آب ورودی به هر کرت به وسیله کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

تیمارهای کودی: به منظور دستیابی به روش صحیح توصیه کودی، آزمون خاک به منظور تعیین مقدار عناصر غذایی قابل استفاده گیاه در خاک انجام گرفت و از این طریق و بر اساس نتایج به دست آمده توصیه کودی مناسب منظور شد. ترکیب کودی توصیه شده برای ذرت، بر اساس نتایج تجزیه خاک به صورت ۵۰۰ کیلوگرم اوره، ۵۰ کیلوگرم کلرور پتاسیم، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات دی آمونیم، ۴۰ کیلوگرم سولفات آهن، ۴۰ کیلوگرم سولفات منگنز، ۷۵ کیلوگرم سولفات روی، ۲۰ کیلوگرم سولفات مس، و ۲۰ کیلوگرم اسید بوریک در هکتار بود (۷). تیمارهای کودی شامل پنج سطح کودی (شاهد، ۶۰٪، ۸۰٪، ۱۰۰٪، و ۱۲۰٪ ترکیب کودی توصیه شده) بود. تیمارهای کودی بر اساس جدول شماره (۴) اعمال گردید. در جمع ۲۰ تیمار در ۳ تکرار به اجرا درآمد. در هر یک از تیمارهای کودی، از آنجا که کلیه انواع کودهای موجود در ترکیب کودی مصرف گردیدند، اثر تجمعی کودها مد نظر قرار گرفت. در روش کود - آبیاری، کودهای ازت و پتاسیم در ۵ نوبت و با فواصل ۱۴ روز و کودهای آهن، روی، منگنز، مس و بر در ۴ نوبت با فواصل ۱۴ روز در طی فصل رشد ذرت مصرف گردید. در این آزمایش، کود فسفات دی آمونیم به دلیل حلالیت ناچیز و عدم امکان مصرف آن به روش کود - آبیاری در تمام تیمارهای آزمایش قبل از شخم در سطح خاک مصرف گردید تا با عملیات خاک ورزی

کود تا عمق ۲۰ سانتیمتری خاک مخلوط و قابلیت استفاده بیشتر از کود امکان پذیر باشد. برای اجرای کود - آبیاری، محلول کودی مناسب هر تیمار تهیه، و از طریق سیستم تزریق گردید. در هر دور کود - آبیاری، با توجه به درجه حلالیت کودها، ۵۰-۳۰٪ آب لازم برای انحلال کودها وارد مخزن شد و سپس کود به داخل مخزن کودی اضافه گردید و پس از به هم زدن کامل محلول، بقیه آب به مخزن افزوده شد. کوددهی با آبیاری قطره‌ای - خطی در ۳ مرحله اجرا گردید. در ابتدا، آبیاری بدون کوددهی انجام شد تا سطح خاک مرطوب شود. در مرحله دوم، کودهای محلول در مخزن کودی به وسیله تزریق کننده به داخل شبکه آبیاری منتقل و در سطح مزرعه پخش گردید. در مرحله آخر، آبیاری برای شستشوی سیستم از باقیمانده کودها و همچنین نفوذ عمقی کودها ادامه یافت. مقدار کود مصرفی در هر تیمار شامل مجموع کل عناصر غذایی مصرف شده بر اساس سطح کودی گفته شده بوده است. عملیات داشت و برداشت: در طول فصل رشد به موازات اعمال تیمارهای آبیاری و کودی عملیات دیگر داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز صورت گرفت. بعد از رسیدن محصول، در مرحله تبدیل دانه به حالت خمیری، محصول کرت‌ها با حذف حاشیه‌ها در سطح ۲/۹۳ متر مربع برداشت و توزین شد. سپس بلال‌های مربوطه جدا و توزین گردیدند. از محصول هر کرت نمونه‌هایی برای تعیین درصد رطوبت به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از تعیین رطوبت آنها، میزان ماده خشک کل، عملکرد بیولوژیکی و دانه تعیین گردید. تجزیه و تحلیل آماری به کمک نرم افزار SAS انجام شد و پس از محاسبه جدول تجزیه واریانس (ANOVA) مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۵) و اثر تیمارهای آبیاری و تیمارهای کودی بر عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب توسط ذرت به ترتیب در جدول‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب در زراعت ذرت تحت تأثیر میزان آب آبیاری، مقدار کود مصرفی و اثر متقابل این دو عامل قرار می‌گیرند. نتایج اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تیمارهای کودی در جدول (۸) نشان داده شده‌اند.

جدول ۵ - مقدار F و سطوح معنی دار عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه،

نسبت دانه به عملکرد بیولوژیکی و کارایی مصرف آب ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد ماده خشک	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	نسبت دانه به عملکرد بیولوژیکی	کارایی مصرف آب
کود	۴	۳/۸۵**	۵/۸۸**	۳/۹**	۱۹/۷۱**	۲/۴۰*
آب	۳	۱۳۰/۹۰**	۱۰۳/۰۵**	۱۶۰/۰۴**	۵۹/۳۱**	۴۳/۹۱**
کود × آب	۱۲	۴/۸۹*	۵/۴۹*	۸/۵۱*	۲۰/۳۸۹*	۴/۷۳*

* معنی دار در سطح ۱٪، ** معنی دار در سطح ۵٪

جدول ۶ - اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه،

نسبت دانه به عملکرد بیولوژیکی و کارایی مصرف آب ذرت

تیمارهای آبیاری	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)		نسبت دانه به		کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	
	ماده خشک	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	بر اساس ماده خشک	بر اساس عملکرد دانه
I ₁	۹۷۶۴c	۸۴۸۰c	۱۲۸۴d	۰/۱۵b	۱/۴۷d	۱/۲۸d
I ₂	۱۲۵۴۹b	۱۰۰۹۲b	۲۴۵۷c	۰/۲۵a	c۱/۶۸	۱/۳۵c
I ₃	۱۹۳۲۹a	۱۵۷۰۸a	۳۶۲۱b	۰/۲۵a	۲/۲۵a	۱/۸۲a
I ₄	۱۹۳۷۶a	۱۵۴۷۷a	۳۸۹۸a	۰/۲۶a	۱/۹۴b	b۱/۵۵

میانگین‌های هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر پایه آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

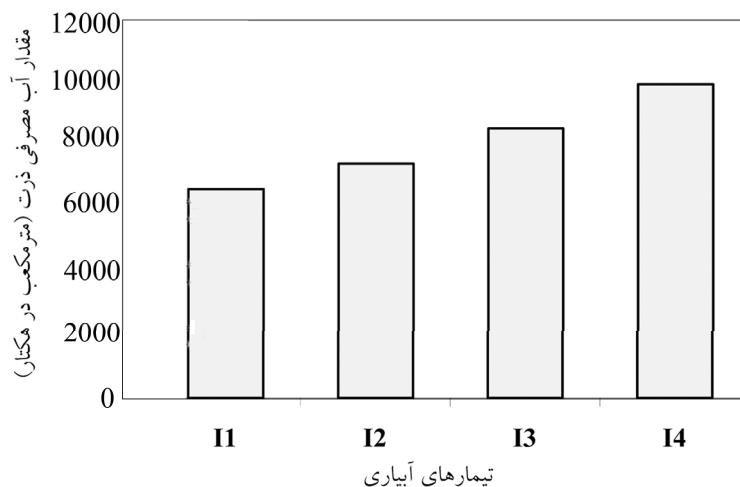
جدول ۷- اثر تیمارهای کودی بر عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، نسبت دانه به عملکرد بیولوژیکی و کارآیی مصرف آب ذرت

تیمارهای کودی	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)			نسبت دانه به عملکرد بیولوژیکی	کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)		
	ماده خشک	عملکرد بیولوژیکی	دانه		بر اساس ماده خشک	بر اساس عملکرد بیولوژیکی	بر اساس عملکرد دانه
F ₀	۱۴۳۱۶b	۱۱۶۰۸bc	۲۷۰۸bc	۰/۲۲bc	۱/۷۴b	۱/۴۲c	۰/۳۳a
F ₁	۱۴۲۱۲b	۱۱۳۱۱c	۲۹۰۰ab	۰/۲۶a	۱/۷۴b	۱/۳۹c	۰/۳۵a
F ₂	۱۵۷۷۸a	۱۲۷۰۵ab	۳۰۷۳a	۰/۲۴ab	۱/۹۰ab	۱/۵۳b	۰/۳۶a
F ₃	۱۵۶۸۶a	۱۲۸۱۵ab	۲۸۷۱ab	۰/۲۲c	۱/۸۷ab	b۱/۵۴	a۰/۳۴
F ₄	۱۶۲۷۹a	۱۳۷۵۶a	۲۵۲۳c	۰/۱۷d	۱/۹۳a	a۱/۶۴	b۰/۲۹

میانگین‌های هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر پایه آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثر تیمارهای آبیاری و کودی بر عملکرد: تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری ($p > 0/01$) بر عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه داشت (جدول ۶). در روش کود - آبیاری بیشترین عملکرد ماده خشک (۱۹۳۷۶ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین عملکرد بیولوژیکی (۱۵۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۲۰٪ آبیاری به دست آمد، لیکن اختلاف آن با تیمار ۱۰۰٪ آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار نبود. از نظر میزان عملکرد دانه، بیشترین عملکرد (۳۸۹۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۲۰٪ آبیاری مشاهده شد که اختلاف آن با سایر تیمارهای آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۶). بنابراین، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای دستیابی به عملکرد قابل ملاحظه ذرت مقدار زیادی آب لازم است، و عملکرد محصول رابطه نزدیکی با قابلیت دسترسی آب دارد. از نظر تولید ماده خشک، ذرت یک گیاه مصرف کننده آب با بازده مناسب است به طوری که در میان غلات دارای بالاترین میزان عملکرد دانه است (۱۲). برای تولید حداکثر عملکرد، یک رقم متوسط بسته به شرایط اقلیمی بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر آب نیاز دارد. از طرف دیگر دور و عمق آبیاری اثر قابل توجهی بر عملکرد دانه دارد. به نظر می‌رسد که ذرت در دوره رشد رویشی و رسیدن دانه به کم‌آبی مقاوم باشد. بیشترین کاهش عملکرد دانه مربوط به کمبود آب در دوره گلدهی است (۱۲). کمبود آب در این دوره موجب کاهش تعداد دانه در هر بلال می‌گردد چنانچه ذرت در مرحله رشد رویشی با کمبود آب مواجه شود، اثر آن بر کاهش تعداد دانه در هر بلال کمتر موثر می‌باشد.

مقدار آب مصرف شده: کل آب مصرف شده در دوره رشد گیاه برای هر تیمار در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به تیمارهای مختلف آبیاری، مقدار آب مصرف شده بین تیمارها اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشت. مقدار آب آبیاری با احتساب آبیاری یکسان پس از کاشت تا استقرار گیاه (۲۶۵ میلی‌متر) و اعمال تیمارهای آبیاری، از تیمار I₁ تا I₄ به ترتیب ۶۶۳۰، ۷۴۷۰، ۸۵۸۰ و ۹۹۸۰ مترمکعب بود. تعداد دفعات آبیاری برای همه تیمارها یکسان و ۱۶ نوبت آبیاری انجام شد. در طول دوره رشد بارندگی صورت نگرفت و کلیه میزان آب مورد نیاز از طریق آبیاری تأمین گردید. آب مورد نیاز و نیاز آب آبیاری در محل انجام آزمایش بدون احتساب راندمان آبیاری برای ذرت با دوره رشد ۱۳۰ روز برای دستیابی به ۱۰۰٪ تولید ۶۲۵۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده است (۶).



شکل ۱- تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر روی حجم آب آبیاری کاربردی

همین طور تیمارهای کودی اثر معنی‌داری ($p > 0/01$) بر عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه نشان دادند. تیمار F_4 (۱۲۰٪ توصیه کودی) با ۱۶۲۷۹ کیلوگرم در هکتار ماده خشک و تیمار F_1 (۶۰٪ توصیه کودی) با ۱۴۲۱۱ کیلوگرم در هکتار ماده خشک به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را داشتند. لیکن عملکرد ماده خشک تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بین تیمارهای ۸۰، ۱۰۰، و ۱۲۰٪ توصیه کودی و بین تیمارهای صفر (شاهد) و ۶۰٪ توصیه کودی نشان نداد. تولید عملکرد بیولوژیکی در تیمار F_4 (۱۲۰٪ توصیه کودی) با ۱۳۷۵۶ کیلوگرم در هکتار و در تیمار F_1 (۶۰٪ توصیه کودی) با ۱۱۳۱۱ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را نشان داد.

اختلاف بین تیمارهای کودی از نظر تولید عملکرد بیولوژیکی اثر معنی‌دار ($p > 0/05$) نشان داد، لیکن این اثر بین تیمار ۸۰ و ۱۰۰٪ توصیه کودی معنی‌دار نبود. میزان عملکرد دانه در تیمار F_2 (۸۰٪ توصیه کودی) با ۳۰۷۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و در تیمار F_4 (۱۲۰٪ توصیه کودی) با ۲۵۲۳ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان بود. اثر تیمارهای کودی در سطح ۱٪ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. با توجه به نتایج به دست آمده از نظرمیزان ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه تیمار ۸۰٪ توصیه کودی مناسب‌ترین سطح مصرف کود در این آزمایش می‌باشد. در این صورت با توجه به میزان مصرف کود در روش‌های معمول بر اساس آزمون خاک، در کود - آبیاری ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف کود می‌گردد.

کارایی مصرف آب: کارایی مصرف آب تحت تاثیر مقدار آب آبیاری و میزان مصرف کود و اثر متقابل بین آنها قرار گرفت (جدول ۵). کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد ماده خشک، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه به صورت نسبت عملکرد به بازا واحد حجم آب مصرف شده آبیاری محاسبه گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری ($p > 0/01$) بر کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و عملکرد بیولوژیکی دارند. در بین تیمارهای آبیاری تیمار I_1 با ۱/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب کمترین و تیمار I_3 با ۲/۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب بیشترین کارایی مصرف را بر اساس عملکرد ماده خشک بازا آب مصرف شده دارد. همچنین بر اساس عملکرد دانه تیمار I_3 با ۰/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب و تیمار I_1 با ۰/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی مصرف را نشان داد. بر اساس عملکرد بیولوژیکی تیمار I_3 با ۰/۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب و تیمار I_1 با ۰/۱۳ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی مصرف را نشان داد. نتایج نشان داد که با افزایش عملکرد، کارایی مصرف آب در ذرت نیز افزایش می‌یابد. برای کارایی مصرف آب اعداد مختلفی توسط محققین مختلف ارائه شده است. جنسن و سلتن (۱۹۶۵) برای گیاه سورگوم کارایی مصرف آب را به طور متوسط ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نمودند

(۱۹). هاول و همکاران (۱۹۹۶) کارآبی مصرف آب را برای ذرت ۱/۲۴ تا ۱/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند (۱۷). نتایج تحقیقات تیمونس (۱۹۶۶) و اولسن (۱۹۷۱) نیز نشان داد که با افزایش عملکرد، کارآبی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد. هاول و همکاران (۱۹۹۶) در بررسی خود اظهار نمودند که افزایش شاخص برداشت، کاهش تبخیر و تعرق نسب به تعرق، کاهش میزان ماده خشک ریشه، و کاهش تعرق از عوامل پیامد در افزایش کارآبی مصرف آب می‌باشند (۱۷).

تیمارهای کودی نیز اثر معنی‌داری ($p > 0.05$) بر کارآبی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و عملکرد بیولوژیکی نشان داد. تیمار F₄ (۱۲۰٪ توصیه کودی) با ۱/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب و تیمار F₀ (بدون مصرف کود) و F₁ (۶۰٪ توصیه کودی) با ۱/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب، بیشترین و کمترین کارآبی مصرف آب را بر اساس ماده خشک نشان داد. بر اساس عملکرد دانه تیمار F₂ (۸۰٪ توصیه کودی) با ۰/۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و تیمار F₄ (۱۲۰٪ توصیه کودی) با ۰/۲۹ کیلوگرم بر متر مکعب، بیشترین و کمترین کارآبی مصرف آب را نشان دادند. تیمار F₄ با سایر تیمارهای کودی اثر معنی‌دار بر کارآبی مصرف آب بر مبنای عملکرد دانه نشان داد، لیکن این اثر بین سایر تیمارها معنی‌دار نبود. همچنین اثر تیمارهای کودی بر کارآبی مصرف آب بر اساس عملکرد بیولوژیکی، نشان داد که تیمار F₄ (۱۲۰٪ توصیه کودی) با ۱/۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب و در تیمار F₁ (۶۰٪ توصیه کودی) با ۱/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب، بیشترین و کمترین مقدار را دارد. اثر معنی‌داری ($p > 0.05$) بین تیمار F₀ و F₁ و بین تیمار F₃ و F₄ بر کارآبی مصرف آب بر اساس عملکرد بیولوژیکی، وجود نداشت، لیکن بین سایر تیمارها این اختلاف معنی‌دار بوده است. نتایج نشان داد که با افزایش کود مصرفی کارآبی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی، توسط واعظی و همکاران (۱۳۸۱) بر روی ذرت علوفه‌ای به روش کود - آبیاری بارانی به دست آمد. نامبرندگان گزارش کردند که با افزایش میزان کود در کود - آبیاری کارآبی مصرف آب به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (۹). لام و همکاران (۱۹۹۷) در یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرزمینی با مصرف شش سطح کود از ته به صورت کود - آبیاری چنین نتیجه گرفتند که کارآبی مصرف آب با افزایش مصرف کود از ته و به تبع آن افزایش عملکرد، روند افزایشی نشان می‌دهد. ب طوری که کارآبی تغییرات مصرف آب بین ۰/۷ تا ۱/۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب بود. در آزمایشی دیگر برای گیاه ذرت حداکثر کارآبی مصرف آب در سطح ۱۸ کیلوگرم از ته در هکتار به دست آمد (۲۰). به طور کلی وجود رطوبت کافی در خاک برای افزایش جذب عناصر غذایی ضروری می‌باشد. بنابراین افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در طی دوره رشد گیاه برای افزایش کارآبی مصرف کود، عملکرد و در نتیجه کارآبی مصرف آب ضروری است (۹). کود - آبیاری یکی از راه‌کارهای رسیدن به این مهم است. در روش کود - آبیاری، کود به صورت محلول و به صورت متناوب در طی دوره رشد به همراه آب آبیاری مصرف می‌گردد. همچنین با کود دهی به وسیله آبیاری قطره‌ای، بر اثر تماس مستقیم کود با سطح خاک، امکان جذب عناصر غذایی فراهم می‌شود. به این دلیل در روش کود - آبیاری تأثیر توأمان دو نهاده یعنی آب و کود، کارآبی هر دو را افزایش می‌دهد.

شاخص برداشت: شاخص برداشت عبارت است از نسبت عملکرد دانه به وزن کل اندام‌های هوایی (آسمانه). نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان داد که اختلاف بین تیمارهای آبیاری در شاخص برداشت در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. تیمار I₄ با ۰/۲۶ و تیمار I₁ با ۰/۱۵ به ترتیب بیشترین و کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند. تفاوت معنی‌دار در این شاخص بین تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبیاری ملاحظه نگردید. همچنین نتایج نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر اختلاف شاخص برداشت معنی‌دار بوده است. تیمار F₁ (۶۰٪ توصیه کودی) با ۰/۲۶ و تیمار F₄ (۱۲۰٪ توصیه کودی) با ۰/۱۷ به ترتیب بیشترین و کمترین شاخص برداشت را نشان دادند. به نظر گیفورد و اوآنز (۱۹۸۱) بهترین شاخص برداشت در حدود ۰/۵ می‌باشد. بررسی منابع متعدد منتشره نشان داده است که شاخص برداشت ارقامی که عملکرد بالایی دارند بین ۰/۳۸ تا ۰/۵ است (۱۳). در این پژوهش مقدار آبیاری در تیمار I₄ نسبت به مقادیر دیگر از نظر شاخص برداشت مناسب‌تر بوده است زیرا نه فقط عملکرد کل را افزایش داده بلکه عملکرد دانه را در مقایسه با تیمارهای دیگر افزایش داده و باعث شده که شاخص برداشت در این تیمار قابل ملاحظه باشد.

جدول ۸- مقادیر کل آب آبیاری کاربردی، عملکرد ماده خشک کل، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، نسبت دانه به عملکرد بیولوژیکی و کارایی مصرف آب ذرت

تیمار آبیاری	تیمار کودی	مقدار آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار)	عملکرد کل (کیلوگرم بر هکتار)	بیوماس (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	نسبت دانه به بیوماس	کارایی مصرف آب بر اساس کل (کیلوگرم بر مترمکعب)	کارایی مصرف آب بر اساس بیوماس (کیلوگرم بر مترمکعب)	کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)
	F ₀	۶۶۳	۹۴۲۵	۸۰۸۷	۱۳۳۸	۰/۱۷	۱/۴۲	۰/۲۰	۱/۲۲
I ₁	F ₁	۶۶۳	۱۲۲۵۹	۱۰۵۷۳	۱۶۸۷	۰/۱۶	۱/۸۵	۰/۲۵	۱/۵۹
	F ₂	۶۶۳	۸۹۴۷	۷۵۴۴	۱۴۰۳	۰/۱۹	۱/۳۵	۰/۲۱	۱/۱۴
	F ₃	۶۶۳	۹۴۲۳	۸۳۸۶	۱۰۳۷	۰/۱۲	۱/۴۲	۰/۱۶	۱/۲۶
	F ₄	۶۶۳	۸۷۶۳	۷۸۰۹	۹۵۴	۰/۱۲	۱/۳۲	۰/۱۴	۱/۱۸
I ₂	F ₀	۷۴۷	۱۳۶۷۴	۱۰۷۶۶	۲۹۰۹	۰/۲۷	۱/۸۳	۰/۳۹	۱/۴۴
	F ₁	۷۴۷	۱۱۳۸۶	۸۹۹۴	۲۳۹۳	۰/۲۷	۱/۵۲	۰/۳۲	۱/۲۰
	F ₂	۷۴۷	۱۳۴۷۶	۱۰۷۶۴	۲۷۱۲	۰/۲۵	۱/۸۰	۰/۳۶	۱/۴۴
	F ₃	۷۴۷	۱۱۶۲۵	۹۳۴۳	۲۲۸۱	۰/۲۴	۱/۵۶	۰/۳۱	۱/۲۵
I ₃	F ₄	۷۴۷	۱۲۵۸۲	۱۰۵۹۱	۱۹۹۱	۰/۱۹	۱/۶۸	۰/۲۷	۱/۴۲
	F ₀	۸۵۸	۱۸۲۲۵	۱۵۱۳۳	۳۰۹۲	۰/۲۰	۲/۱۲	۰/۳۶	۱/۷۶
	F ₁	۸۵۸	۱۶۶۶۸	۱۱۸۹۷	۴۷۷۱	۰/۴۰	۱/۹۴	۰/۵۶	۱/۳۹
	F ₂	۸۵۸	۲۱۲۹۸	۱۷۶۲۷	۳۶۷۱	۰/۲۱	۲/۴۸	۰/۴۳	۲/۰۵
I ₄	F ₃	۸۵۸	۱۹۸۸۹	۱۶۳۶۲	۳۵۲۷	۰/۲۲	۲/۳۲	۰/۴۱	۱/۹۱
	F ₄	۸۵۸	۲۰۵۶۳	۱۷۵۲۱	۳۰۴۳	۰/۱۷	۲/۴۰	۰/۳۵	۲/۰۴
	F ₀	۹۹۸	۱۵۹۳۸	۱۲۴۴۶	۳۴۹۲	۰/۲۸	۱/۶۰	۰/۳۵	۱/۲۵
	F ₁	۹۹۸	۱۶۵۳۲	۱۳۷۸۲	۲۷۵۰	۰/۲۰	۱/۶۶	۰/۲۸	۱/۳۸
I ₄	F ₂	۹۹۸	۱۹۳۹۲	۱۴۸۸۴	۴۵۰۸	۰/۳۰	۱/۹۴	۰/۴۵	۱/۴۹
	F ₃	۹۹۸	۲۱۸۰۷	۱۷۱۶۹	۴۶۳۷	۰/۲۷	۲/۱۹	۰/۴۶	۱/۷۲
	F ₄	۹۹۸	۲۳۳۱۴	۱۹۱۰۸	۴۱۰۶	۰/۲۱	۲/۳۳	۰/۴۱	۱/۹۱

منابع و مأخذ:

۱. جارا لهی، رقیه و م. مهدویان. ۱۳۷۹. واکنش عملکرد محصول نسبت به آب. ترجمه نشریه شماره ۳۳ فائو. صفحات ۱۳۸ تا ۱۴۳.
۲. صادق‌زاده، کورش و ع. کشاورز. ۱۳۷۹. توصیه‌هایی بر بهینه‌سازی کارایی مصرف آب در اراضی زراعی کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۳۱ صفحه.
۳. علی‌احیائی، مریم. ۱۳۷۶. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۰۲۴.
۴. عنابی میلانی، اژدر. ۱۳۸۱. ارزیابی تأثیر رژیمهای آبیاری در اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در یک خاک شور. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۶، شماره ۱، صفحات ۱۲۱ تا ۱۳۵.

۵. غالبی، سعید. ۱۳۷۹. بهینه سازی مصرف آب در زراعت چغندر قند با استفاده از توابع تولید آب- عملکرد در کرج. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۲، شماره ۱۰، صفحات ۲۰ تا ۲۸.
۶. فرشی، ع.ا.، م. ر. ر. جارالهی. و م. شهبایی فر. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول. نشر آموزش کشاورزی. صفحات ۳۴۱ و ۴۵۳.
۷. ملکوتی، محمد جعفر. و م. غیبی. (۱۳۷۹). تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. چاپ دوم، نشر آموزش کشاورزی، صفحات ۳۸ تا ۴۰.
۸. نورمحمدی، قربان. س.ع. سیادت و ع. کاشانی. (۱۳۷۷). زراعت غلات، جلد اول.
۹. واعظی، علیرضا. م. همائی و م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۱. اثر کود- آبیاری بر کارایی مصرف کود و آب در ذرت علوفه‌ای. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۶، شماره ۲، صفحات ۱۵۲ تا ۱۶۰.
10. Bar-Yosef, B. & B. Sagiv. 1982. Response of tomatoes to N and water applied via trickle irrigation system. I. Nitrogen. *Agronomy. J.* 74:633-637.
11. Dewis, J. & F. Freitas. 1984. Physical and Chemical methods of soil and water Analysis. FAO soil bulletin 10, Oxford and IBH publishing co. PVT. LTD. New Dehli Bombay Calcutta.
12. Doorenbos, J. & A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage paper No. 24. FAO, Rome.
13. Gifford, R.M. & L.T. Evans. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Annu. Rev. Plant physiology.* 32:485-509.
14. Hamdy, a. 2001. Agricultural water demand management: a must for water saving. In: *Advanced Short Course on Water Saving and Increasing Water Productivity: Challenges and Options.* Faculty of Agriculture, University of Jordan, Amman. Jordan, March 2001, pp. B 18.1-b 18.30.
15. Hebbbar, S.S., B.K. Ramachandrappa, H.V. Nanjappa, & M. Prabhakar. 2004. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato. *Europ. J. Agronomy.* 21:117-127.
16. Hernandez, J. M., B. Bar-Yosef, & U. Kafkafi. 1991. Effect of surface and subsurface drip irrigation on sweet corn rooting, uptake, dry matter production and yield.
17. Howell, T.A., S.R. Evett, J.A. Tolk, A.D. Schneider, & J.L. Steiner. 1996. Evapotranspiration of corn-Southern High Plains. In: *Proceeding of the Conference on International Evapotranspiration and irrigation Schedule.* ASAE, San Antonio, TX, PP. 381-387.
18. Hsiao, T.C. 1973. Plant response to water stress. *Ann. Rev. Plant physiology.* 24:519-570.
19. Jensen, M.E. & W.H. Sletten. 1965. Evapotranspiration and soil moisture-fertilizer interrelations with irrigated grain sorghum in the Southern High Plains. *US Dept. Agric. Conserv. Res. Rep.* 5.
20. Lamm, F.R., A.J. Schlegel, & G.A. Clark. 1997. Nitrogen fertigation for corn using SDI: ABMP. Presented at the 1997 international annual meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Minneapolis, MN, August 10-14, 1997. Paper No. 972174 from ASAE, St. Joseph Michigan. 17 pp.
21. Malik, R.S., K. Kumar, & A.R. Bhandari. 1994. Effect of urea application through drip irrigation system on nitrate distribution in Liamy sand soils and Pea yield. *J. Indian Soc. Soil sci.* 42(1),6-10
22. Navalawala, B.N. 1991. Water logging and its related issues in India. *J. Irrigation Power* 1,55-64.
23. Pruitt, W.O., E. Fereres, P.E. Martin, H. Singh, D.W. Henderson, R.M. Hagan, E. Tarantino, & B. Chandio. 1989. Microclimate, evapotranspiration, and water use efficiency for drip and furrow irrigated tomatoes. *International Conference on Irrigation and Drainage (ICID) 12th Congress,* Q 38, R 22, PP.367-393.
24. Stewart, B.A. & D.R. Nielsen. 1990. *Irrigation of agricultural crops.* ASA, No. 30, Madison, Wisconsin.
25. Richard, G.A., S. Pereira, D. Raes, & M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper No. 56, Rome Italy.

26. Sing, N.P. & S.K. Sinka. 1997. Water use efficiency in crop production. In: Water requirement and irrigation management of crops in India, ed. Water technology center. Pp,289-335. Indian Agricultural Research Institute. New Delhi.
27. Singandhupe, R.B., G.G.S.N. Rao, N.G. Patil, & P.S. Brahmanand. 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop. *Europ. J. Agronomy*. 19:327-340.
28. Tavakkoli, A.R. & T.Y. Oweis. 2004. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management*. 65:225-236.
29. Ulger, A.C., H.Ibrikci, B. Cakir, & N. Guzel. 1997. Influence of nitrogen rates and row spacing on corn yield, protein content, and other plant parameters. *Journal of plant nutr.* 20:1697-1709.

Effect of Fertigation on Yield and Water Use Efficiency on Corn in a Tape irrigation system

A. Karimi

Ph.D. Student, Soil Science Dept., Tehran University

M. Homaei

Assoc Professor, Soil Science Dept., Tarbiyat Moddares University

M. Moezardalan

Assoc Professor, Soil Science Dept., Tehran University

A. M. Liyaghat

Assoc Professor, Irrigation and Drainage Dep., Tehran University.

F. Raiesi

Assistant Professor, Soil Science Dept., Shahrekord University

Keywords: Keywords: Fertigation, Forage Corn, Tape irrigation, Water Use Efficiency, Yield.

Abstract

The increasing demand for food as a result of population growth has led to more pressure on the limited water resources for irrigation. For this reason, increase of yield per unit of water is more important as compared with yield per unit of land. Chemical nutrients are taken up by plant roots in solution form. Thus, an adequate amount of soil moisture is essential to facilitate this process. In Iran, fertilizers are mainly applied directly to soil. In such conditions, the yield and fertilizer use efficiency are usually low. The simultaneous application of fertilizers and irrigation water is an appropriate alternative to increase the efficiency of applied water and fertilizers. The objective of this study was to investigate the effect of various irrigation amounts on yield components, efficiency of applied water and fertilizers when used as fertigation. Consequently, a field experiment was carried out with forage corn as a complete randomized design with 20 treatments and 3 replicates. The fertilizers were applied by fertigation. Four levels of the water (60, 80, 100 and 120% treatments I1 to I4) and five rates of the recommended fertilizers (0, 60, 80, 100, and 120% treatments F0 to F4) were applied. The recommended amounts consisted of 500 kg C0(NH2)2, 50 kg KCL, 40 kg FeSO4, 40 kg MnSO4, 75 kg ZnSO4, 20 kg CuSO4, and 20 kg H3BO3 per ha. Tape irrigation was used for every treatment. The results indicated that in fertigation method, there were significant differences ($p < 1\%$) in total dry matter, grain yield and biomass between treatments. Treatment I4 with 19376 kg ha⁻¹ dry matter, 15477 kg ha⁻¹ biomass, and 3899 kg ha⁻¹ grain yield and treatment I1 with 9765 kg ha⁻¹ dry matter, 8480 kg ha⁻¹ biomass, and 1284 kg ha⁻¹ grain yield had maximum and minimum yield respectively. Amounts of water used by the treatments from I1 to I4 during growing season were 6630, 7470, 8580 and 9980 m³ ha⁻¹ respectively. Also treatment F4 with 16280 kg ha⁻¹ dry matter, 13756 kg ha⁻¹ biomass, and treatment F1 with 14212 kg ha⁻¹ dry matter, 11311 kg ha⁻¹ biomass had maximum and minimum yield respectively. The result indicated there was no significant difference between treatment F2, F3 and F4. There were significant differences in water use efficiency (WUE) between I1 and other treatments. On the basis of dry matter WUE, biomass WUE, and grain yield WUE, treatment I3 with 2.25, 0.18 and 0.42 kg m³ and treatment I1 with 1.47, 0.13 and 0.19 kg m³ had

maximum and minimum WUE respectively. The results showed that by increasing yield, water use efficiency increased and affected by fertilizers treatments. Finally, results indicated there were significant differences in harvest index (HI) between I₁ and other treatments but there was no significant difference between I₂, I₃, and I₄. Treatment I₄ with 0.26 and I₁ with 0.15 had maximum and minimum HI respectively. Also treatment F₁ with 0.26 and F₄ with 0.17 had maximum and minimum HI respectively. The results indicated that fertigation method provided the nutrients in readily available forms for plant uptake. Thus due to higher availability of nutrients, yield and fertilizer use efficiency increased, which in turn increased the water use efficiency.