نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۲، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۷، ص. ۷۵-۶۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 12, Apr.-May. 2018, p. 63-75

اثرات برهمکنش ورمی‌کمپوست و کم‌آبیاری بخشی ریشه بر میزان مصرف آب، عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در گیاه ذرت

سهراب عزیزپور[۱]، علی شاهنظری[۲*]، میرخالق ضیاتباراحمدی[۳]، فاطمه کاراندیش[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۸

چکیده

این پژوهش با هدف کاهش هم‌زمان مصرف آب و کودهای شیمیایی و بهبود جذب عناصر غذایی در گیاه ذرت طی دو فصل زراعی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری صورت گرفت. تیمارهای آزمایش شامل تیمارهای آبیاری به‌عنوان عامل اصلی (آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری تنظیم‌شده (PRD_{65}) و کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد (PRD_{65})) و تیمارهای کوددهی به‌عنوان عامل فرعی (شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (T1)، ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (T2) و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (T3)) بود. نتایج نشان داد اعمال هم‌زمان PRD و تیمارهای کودی شامل ورمی‌کمپوست باعث صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب شد. تأثیر تیمارهای آبیاری بر تجمع عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و روی معنی‌دار ولی بر تجمع مس معنی‌دار نشد. تأثیر تیمارهای کودی بر تجمع عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، آهن، مس، منگنز و روی معنی‌دار ولی بر تجمع پتاسیم معنی‌دار نشد. اختلاف معنی‌داری بین تیمار PRD و تیمارکودی T2 با تیمار FI و تیمارکودی T2 از نظر تجمع عناصر غذایی و عملکرد مشاهده نشد. لذا در مجموع می‌توان اعمال تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه همراه با استفاده تلفیقی کود ورمی‌کمپوست+کود شیمیایی را در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: نیتروژن، تنش خشکی، ماده آلی، مواد شیمیایی

مقدمه

آب و نیتروژن دو فاکتور مهم در تولید ذرت در دنیا هستند (Jones., 1980). کمبود آب باعث اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی خواهد شد که علاوه بر تلفات کود، باعث کاهش عملکرد نیز می‌گردد. در سال‌های اخیر، با توجه به مساله بحران آب، شیوه نوینی تحت عنوان آبیاری بخشی ریشه (PRD) ارائه شده است (Kang and Zhang., 2004). آبیاری بخشی ریشه یک شیوه مدیریت آبیاری می‌باشد که کارایی مصرف آب را بدون کاهش چشمگیری در عملکرد گیاه، بهبود خواهد داد (Shahnazari et al., 2008; Davies and Hartung., 2004). این روش می‌تواند تا حد زیادی رشد ریشه‌های ثانویه را تحریک کند و بالتبع آن توانایی گیاه برای جذب آب (Liang et al., 1996) و جذب مواد غذایی از خاک را افزایش دهد (Han and Kang., 2002) که در نهایت ممکن است منجر به افزایش کارایی استفاده از مواد غذایی شود. علاوه بر این، آبیاری بخشی ریشه به خاطر خشک و تر شدن متوالی در محدوده ریشه گیاه، باعث معدنی شدن ماده آلی خاک و بهبود تغذیه عناصر غذایی در گیاه می‌شود (Miller et al., 2005; Saetre and Stark., 2005). کیردا و همکاران بیان نمودند که PRD باعث بهبود کوددهی نیتروژن خواهد شد (Kirda et al., 2005). تابکو و همکاران طی تحقیقی نتیجه گرفتند که تفاوت معنی‌داری بین آبیاری کامل، PRD و کم‌آبیاری معمولی از نظر بهبود کوددهی نیتروژن وجود ندارد، هر چند که گیاه برای خاک کود داده نشده مقدار نیتروژن بیش‌تری را برای PRD در مقایسه با کم‌آبیاری معمولی جذب کرد (Tapco et al., 2007). از سویی دیگر پدیده خشک و تر شدن متوالی ممکن است منجر به تلفات بیش‌تر نیتروژن از خاک به سبب بهبود هوادهی (Wang et al., 2010) شود. مطالعات مختلفی در زمینه تاثیر تنش خشکی بر جذب عناصر غذایی صورت گرفته است. در زمینه آبیاری

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی زابل
(*- نویسنده مسئول (Email:aliponh@yahoo.com

بخشی ریشه نیز اکثر محققان صرفا بر تاثیر آن بر جذب عنصر نیتروژن توجه داشته‌اند. بنابراین لزوم انجام تحقیقات بیش‌تری در زمینه تاثیر آبیاری بخشی ریشه بر جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف احساس می‌شود.

در مورد عامل دوم، واکنش گیاه ذرت به نیتروژن بستگی به شرایط اقلیمی، تامین آب، میزان نیتروژن قابل دسترس در خاک و زمان کوددهی دارد (Akiotoye et al., 1997). یکی از منابع نیتروژن مورد استفاده در ایران، کود شیمیایی اوره است. مطالعات بلند مدت نشان می‌دهد که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان زراعی را به علت اسیدی شدن خاک، تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نبود ریز مغذی‌ها در کودهای شیمیایی کاهش خواهد داد (Adediran et al., 2004). در نتیجه، استفاده از نظام‌های زراعی جایگزین جهت دستیابی به کشاورزی پایدار امری ضروری است (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). استفاده از ورمی‌کمپوست به عنوان کود آلی که شامل یک مخلوط زیستی بسیار فعال از باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی و کرم خاکی است ابزار موثری برای بهبود خاکدانه‌سازی، ساختمان خاک، افزایش فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (Sinha et al., 2010) افزایش ظرفیت نگهداری آب زیاد (Atiyeh et al., 2001) و فعالیت میکروبی و آنزیمی بیش‌تر باشد (Parthasarathi et al., 2008). رضوان‌طلب و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی انواع و مقادیر مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر میزان برخی عناصر پر مصرف در برگ گیاه ذرت نتیجه گرفتند که استفاده از کودهای آلی در مقایسه با کود شیمیایی میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیش‌تری را برای ذرت فراهم کرد که در نهایت منجر به افزایش عملکرد شد. رشتبری و علیخانی (۱۳۹۰) طی تحقیق به بررسی اثر ورمی‌کمپوست و کمپوست زباله شهری در جذب عناصر غذایی و عملکرد کلزا تحت شرایط خشکی پرداختند نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری و کود زیستی بر جذب عناصر، رشد و عملکرد گیاه معنی‌دار بود. آن‌ها به طور کلی نتیجه گرفتند که کودهای زیستی به ویژه ورمی‌کمپوست نقش مثبتی در رشد و عملکرد گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی دارد.

با توجه به مساله بحران آب و این مطلب که فرایندهای جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان تابع مقدار رطوبت موجود در خاک است. همچنین این نکته که هر دو حالت کاهش یا افزایش جذب عناصر غذایی منجر به کاهش عملکرد در گیاهان خواهد شد، این تحقیق در راستای اهداف کشاورزی پایدار با هدف کاهش همزمان مصرف آب و کودهای شیمیایی صورت گرفت که طی آن اثرات ورمی‌کمپوست و تیمارهای مدیریت آبیاری بر تجمع عناصر غذایی پر-مصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) در گیاه ذرت بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در زمینی به مساحت ۹۹۰ مترمربع، طی دو فصل زراعی در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ روی گیاه ذرت رقم ۷۰۴ سینگل کراس دانه‌ای انجام شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه به ترتیب ۵۳/۰۴ و ۳۶/۳۹ درجه است. منطقه مطالعاتی با میانگین بارندگی سالانه ۶۷۳ میلی‌متر، در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، جزو مناطق مرطوب است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. آب مورد نیاز برای آبیاری مزرعه از چاه تأمین شد. مشخصات کیفی آب مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس طبقه‌بندی ویل کاکس (۱۹۸۵) آب مورد استفاده جزء طبقه C1-S1 قرار گرفت که دارای شوری کم‌تر از یک و میزان SAR کم-تر از ۱۰، TDS کم‌تر از ۴۵۰ است. بنابراین بدون محدودیت جهت مصارف کشاورزی است. خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده در جدول ۳ آمده است. بستر ورمی‌کمپوست استفاده شده از کود گاوی بود.

جدول ۱-خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

سال	بافت خاک	NPK (mg/kg)			OC (%)	OM (%)	PH	EC×۱۰³
		N	P	K				
۱۳۹۳	لوم رسی	۰/۰۴	۴/۹	۲۳۱	۱/۸	۳/۱	۷/۶۳	۰/۸۵
۱۳۹۴	لوم رسی	۰/۰۳	۹/۶	۲۳۹	۲/۰۵	۳/۵۳	۷/۵۷	۲/۱

جدول ۲- مشخصات کیفی آب مورد استفاده

طبقه‌بندی	TDS (meq/l)	PH	SAR	Mg (meq/l)	Ca (meq/l)	Na (meq/l)	EC(dS/m)
C1-S1	۴۰۰	۷/۴	۳/۶	۰/۴۹	۱/۷	۳/۸	۰/۴

جدول۳- خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده

NPK (%)			عناصر میکرو (mg/kg)				PH	وزن خاکستر (٪)
N	P	K	Fe	Cu	Zn	Mn		
۰/۸۳	۱/۲۵	۰/۷۲	۷۰۰۰	۴۵	۱۵۷	۵۶۳	۷/۷۲	۶۶

آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به روش کرت یک‌بار خرد شده با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تیمار آبیاری کامل و کود شیمیایی (FIT_1) به عنوان تیمار شاهد، تیمار آبیاری کامل و ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (FIT_2)، تیمار آبیاری کامل و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (FIT_3)، تیمار کم آبیاری تنظیم شده در سطح ۶۵ درصد و کود شیمیایی (DIT_1)، تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده در سطح ۶۵ درصد و ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (DTL_2)، تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده در سطح ۶۵ درصد و ۱۱ تن ورمی-کمپوست در هکتار (DIT_3)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد و کود شیمیایی (PRD_1)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد و ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (PRD_2)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (PRD_3) بود. آبیاری با فواصل زمانی یک روز در میان انجام شد. تغییر شیفت آبیاری از یک طرف ریشه به سمت دیگر ریشه در آبیاری بخشی ریشه پس از سه نوبت آبیاری (شش روز) انجام شد. به‌منظور تعیین دقیق حجم آب مصرفی مربوط به هر تیمار از کنتورهای حجمی استفاده شد. از آنجایی‌که ورمی-کمپوست باعث افزایش قابلیت نگهداشت آب در خاک می‌شود، لذا نیاز آبی (I_n) در تیمار آبیاری کامل برای هر سه سطح کودی (T_1 و T_2 ، T_3) به طور جداگانه و بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد. در روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری بخشی ریشه، ۶۵٪ نیاز آبی محاسبه شده در آبیاری کامل اعمال شد.

$$I_n = \sum_{i=1}^{n}((\theta_{Fc} - \theta_w) \times D_i) \quad (۱)$$

که در آن: I_n نیاز آبی بر حسب میلی‌متر، θ_{Fc} درصد حجمی ظرفیت زراعی مزرعه، θ_w درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری، D_i عمق هر لایه از خاک بر حسب میلی‌متر، i شماره هر لایه از خاک است. مقدار رطوبت خاک با استفاده از رطوبت‌سنج TDR مدل TRIME-FM به صورت روزانه سنجیده شد. روش آبیاری در آبیاری کامل، آبیاری قطره‌ای سطحی (TAPE) با در نظر گرفتن دو لوله آبده برای هر ردیف کشت و با فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و دبی خروجی دو لیتر بر ساعت بود. در آبیاری بخشی ریشه به صورت تناوبی در هر بار آبیاری، تنها در یکی از لوله‌های آبده جریان وجود داشت تا از خشک بودن نیمی دیگر از سامانه ریشه اطمینان حاصل گردد. تاریخ کاشت بذر ذرت در سال ۱۳۹۳، ۱۷ خرداد ماه و در سال ۱۳۹۴، ۱۲ خرداد ماه در نظر گرفته شد. فاصله ردیف‌های کشت، ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف، ۲۰ سانتی‌متر بود. طول دوره رشد تا زمان برداشت حدود ۱۱۰ روز بود. اعمال تیمارهای آبیاری در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب ۶۰ و ۵۱ روز بعد از کاشت شروع شد. قبل از کاشت، آزمون خاک به منظور تعیین نیاز کودی گیاه انجام شد. میزان کود شیمیایی با توجه به آزمون خاک قبل از کاشت، ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۱۲۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)، ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل (۸۱ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر) و ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم (۶۹ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) در سال اول و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۹۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم در سال دوم بود. کودهای سوپرفسفات‌تریپل، سولفات‌پتاسیم و کود ورمی‌کمپوست به طور یک‌جا و قبل از کاشت به مزرعه داده شد. کود اوره به صورت سرک در دو نوبت در تاریخ‌های ۱۵ و ۴۰ روز بعد از کاشت در سال ۹۳ و ۱۲ و ۳۵ روز بعد از کاشت در سال ۹۴ با میزان یک سوم در نوبت اول و دوسوم در نوبت دوم به زمین داده شد.

در پایان فصل رشد از برگ گیاه ذرت جهت تعیین میزان عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) نمونه‌برداری شد. نمونه‌های تهیه شده ابتدا در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. برای تعیین میزان عناصر پر مصرف فسفر و پتاسیم مقدار ۰/۵ گرم نمونه آسیاب شده در کوره الکتریکی قرار گرفت و دمای آن به تدریج و در عرض ۲ ساعت به ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید. نمونه‌ها به مدت ۱۸ ساعت در این حرارت سوزانده و به خاکستر تبدیل شدند. خاکستر حاصل در ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال حل و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس، بعد از عبور دادن از کاغذ صافی، عصاره حاصل تهیه شد. در نهایت میزان عنصر فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و میزان عنصر پتاسیم توسط دستگاه فیلم فتومتر تعیین شد. برای تهیه عصاره جهت اندازه‌گیری نیتروژن نیز مقدار ۰/۲ گرم نمونه آسیاب شده همراه ۱۰ میلی‌گرم اسید سولفوریک و قرص هضم، طی زمان‌بندی حرارتی در دستگاه هضم با افزایش تدریجی دما تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. درصد نیتروژن از نمونه هضم شده توسط دستگاه کجلدال تعیین گردید. برای تعیین میزان عناصر آهن، روی، مس و منگنز پس از عصاره‌گیری به روش سوزاندن خشک و هضم به وسیله اسیدکلریدریک، از دستگاه جذب اتمی[1] استفاده شد.

1- Atomic Absorption Spectrophotometer

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

حجم آب آبیاری

بر اساس جدول ۳ اعمال تیمار PRD در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب باعث کاهش ۳۴/۸ و ۳۴/۹ درصدی در مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار و ۱۹/۵ و ۱۶/۵ درصد کاهش در کل فصل رشد در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شد.

اعمال همزمان PRD و تیمارهای کودی شامل ورمی‌کمپوست باعث صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب شد. به طوری‌که تیمار PRD_2 باعث کاهش ۲۶/۷ و ۲۵/۹ درصدی در مصرف آب در کل فصل رشد و ۴۰/۶ و ۴۱/۹ درصدی در طول دوره اعمال تیمار به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مقایسه با تیمار FIT_1 شد. همچنین تیمار PRD_3 باعث کاهش ۳۶/۴ و ۳۳/۶ درصدی در مصرف آب در کل فصل رشد و ۴۷/۸ و ۴۷/۵ درصدی در طول دوره اعمال تیمار به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مقایسه با تیمار FIT_1 شد.

جدول ۳- عمق آب مصرفی در تیمارهای آبیاری کامل(FI)، کم آبیاری معمولی (DI) و آبیاری بخشی ریشه (PRD)

سال	کل فصل رشد (mm)						دوره اعمال تیمار (mm)					
	FIT1	FIT2	FIT3	PRD1	PRD2	PRD3	FIT1	FIT2	FIT3	PRD1	PRD2	PRD3
۱۳۹۳	۵۲۲	۴۷۵	۴۲۰	۴۲۰	۳۸۲	۳۳۲	۲۹۳	۲۶۶	۲۳۴	۱۹۱	۱۷۴	۱۵۳
۱۳۹۴	۵۲۰	۴۶۳	۴۱۰	۴۳۴	۳۸۵	۳۴۵	۲۴۶	۲۲۰	۱۹۸	۱۶۰	۱۴۳	۱۲۹

میزان عناصر پر مصرف

نیتروژن (N)

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تجمع عنصر نیتروژن در برگ ذرت در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در جدول ۴ و ۵ ارایه شده است. اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر تجمع عنصر نیتروژن در برگ ذرت در سطح احتمال یک درصد در هر دو سال انجام تحقیق معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تجمع عنصر نیتروژن در برگ ذرت در هر دو سال زراعی به‌ترتیب مربوط به تیمار FI و DI بود. اعمال تیمار کم‌آبیاری معمولی باعث کاهش معنی‌دار تجمع نیتروژن در برگ ذرت در مقایسه با آبیاری کامل شد. این نتیجه با نتایج تحقیقات (Shahnazari et al., 2007) مطابقت دارد. از آنجایی که مکانیزم جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، مانند جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به وسیله پدیده اسمز همگی، تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک است (Taiz and Ezeiger., 1998). لذا در صورت کاهش رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی نیز کاهش می‌یابد. کرناک و همکاران علت کاهش جذب نیتروژن را به دسترسی کم این عنصر در شرایط تنش خشکی نسبت دادند (Kirnak et al., 2001). یافته‌های سایر محققین نیز کاهش جذب نیتروژن در اثر کم-آبیاری معمولی را تایید کرده است (Darwish et al., 2006). اعمال تیمار PRD باعث افزایش معنی‌دار تجمع نیتروژن در برگ ذرت در مقایسه با تیمار DI شد. تیمار PRD از طریق افزایش تراکم ریشه و بالتبع آن افزایش سطح تماس با خاک (Mingo et al., 2004) و همچنین به خاطر ذات PRD که خشک و تر شدن متوالی پروفیل خاک در ناحیه ریشه است موجب افزایش و یا تهییج معدنی کردن N در خاک شد (Wang et al., 2010; Vale et al., 2007) در نتیجه میزان نیتروژن بیش‌تری در اختیار گیاه قرار گرفت و میزان جذب نیتروژن در PRD در مقایسه با DI بیش‌تر شد. افزایش میزان تجمع نیتروژن در PRD در مطالعات (Wang et al., 2012; Wang et al., 2010; Shahnazari et al., 2007; Kirda et al., 2005) نیز گزارش شده است.

جدول ٤- میانگین مربعات تجزیه واریانس میزان عناصر پرمصرف ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن (درصد)		فسفر (درصد)		پتاسیم (درصد)	
		۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۳	۱۳۹٤
تکرار	۲	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱
تیمار آبیاری	۲	۰/۶۹ **	۰/۹۸ **	۰/۰۴ **	۰/۰۴ **	۰/۳۶ **	۰/۳۶ **
خطای آبیاری	۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۰۹
تیمار کودی	۲	۰/۶۷ **	۰/۹۶ **	۰/۰۴ **	۰/۰۶ **	۰/۱۱ ns	۰/۰۵ ns
تیمار آبیاری در کود	۴	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns
خطای کل	۱۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲

جدول ۵- مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و کود بر میزان عناصر پرمصرف ذرت

تیمارهای آزمایشی	نیتروژن (درصد)		فسفر (درصد)		پتاسیم (درصد)	
	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
FI	۱/۶ a	۱/۷ a	۰/۳۲ a	۰/۳۲ a	۰/۲۷ c	۰/۳۲ c
DI	۱/۰۵ c	۱/۰۵ c	۰/۱۸ c	۰/۱۹ c	۰/۶۷ a	۰/۷۲ a
PRD	۱/۳۷ b	۱/۴۷ b	۰/۲۵ b	۰/۲۶ b	۰/۵۰ b	۰/۵۳ b
T1	۱/۳ ab	۱/۴۸ ab	۰/۲۸ a	۰/۲۷ a	۰/۵	۰/۵۳
T2	۱/۶۳ a	۱/۷ a	۰/۳a	۰/۳۲a	۰/۵۵	۰/۶
T3	۱/۰۹ b	۱/۰۴ b	۰/۱۷ b	۰/۱۶ b	۰/۴۰	۰/۴۴

جدول ٦- اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری و کود بر میزان عناصر پرمصرف ذرت

تیمارهای آزمایشی	نیتروژن (درصد)		فسفر (درصد)		پتاسیم (درصد)	
	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
FIT1	۱/۶ ab	۱/۷ ab	۰/۳۶ ab	۰/۳۷ a	۰/۳ cd	۰/۳۵ ed
FIT2	۱/۸۷ a	۲ a	۰/۳۸ a	۰/۳۸ a	۰/۳۳ cd	۰/۳۷ ed
FIT3	۱/۳ a-d	۱/۳ b	۰/۲۵ bcd	۰/۲۱ bcd	۰/۲ d	۰/۲۵ e
DIT1	۰/۹۹ dc	۱/۲ bc	۰/۲۱ bcd	۰/۱۸ cd	۰/۷ a	۰/۷۱ ab
DIT2	۱/۳۷ abc	۱/۳ b	۰/۲۳ bcd	۰/۲۷ a-d	۰/۷۳ a	۰/۸۲ a
DIT3	۰/۷۷ d	۰/۶ c	۰/۱۲ d	۰/۱۲ e	۰/۶ ab	۰/۶۵ abc
PRD1	۱/۳ a-d	۱/۵ ab	۰/۲۸ abc	۰/۲۸ abc	۰/۵ abc	۰/۵۴ bcd
PRD2	۱/۶ ab	۱/۷ ab	۰/۳۲ ab	۰/۳۲ ab	۰/۶ ab	۰/۶۱ abc
PRD3	۱/۱ bcd	۱/۲ bc	۰/۱۷ cd	۰/۱۷ de	۰/۴ bcd	۰/۴۵ cde

بر اساس جدول ۴ اثر نوع تیمارهای کودی نیز بر تجمع عنصر نیتروژن در برگ ذرت معنی‌دار بود. به‌طوریکه بیش‌ترین مقدار نیتروژن تجمع یافته در تیمار T_2 (تلفیق کود شیمیایی و ورمی کمپوست) بود. تیمار T_3 کم‌ترین میزان نیتروژن تجمع یافته را داشت که اختلاف آن با تیمار T_1 معنی‌دار نبود. اختلاف میزان نیتروژن تجمع یافته بین تیمارهای کود T_1 و تیمار T_2 نیز معنی‌دار نبود. برخی از محققان بیان کردند ورمی کمپوست قادر است عناصر مورد نیاز گیاه را به صورت قابل جذب درآورد در نتیجه استفاده تلفیقی از ورمی-کمپوست و کود شیمیایی باعث افزایش عملکرد و رشد گیاهان خواهد شد (Anwar et al., 2005). همچنین جات و اهلاوات بیان نمودند که ورمی‌کمپوست قادر است با تامین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش دهد (Jat and Ahlawat., 2008). بنابراین استفاده از ورمی‌کمپوست در خاک قادر به تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه نیست لذا افزودن کود شیمیایی به ورمی‌کمپوست ضروری است.

اثر متقابل تیمارآبیاری و کودی نیز معنی‌دار نبود (جدول ۵). در هر دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ تیمار FIT_2 بیش‌ترین مقدار تجمع نیتروژن را داشت که اختلاف آن با تیمار FIT_1 معنی‌دار نبود (جدول ۶). اعمال تیمار PRD_2 باعث افزایش تجمع نیتروژن در مقایسه با DIT_2 شد. به‌طوریکه در سال ۱۳۹۴ اختلاف بین PRD_2 با FIT_2 معنی‌دار نشد درصورتیکه اختلاف بین DIT_2 با FIT_2 معنی‌دار شد.

فسفر

بر اساس جدول ۴ تاثیر تیمارهای آبیاری بر تجمع فسفر در برگ ذرت در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم-ترین مقدار تجمع فسفر به ترتیب در تیمارهای FI و DI بود. اعمال تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تجمع فسفر در برگ ذرت شد به-طوریکه اختلاف تیمار کم‌آبیاری معمولی با سایر تیمارهای آبیاری معنی‌دار بود. علت این امر می‌تواند به تعدیل عمق توسعه ریشه و کاهش رشد آن در اثر اعمال تنش خشکی مربوط باشد. این نتیجه همسو با نتایج تحقیقات (Jie et al., 2010) است.

اعمال تیمار PRD باعث افزایش معنی‌دار تجمع فسفر در مقایسه با DI شد. تفاوت بین روش PRD و DI در خشک و تر نمودن متناوب خاک در محدوده ریشه در تیمار PRD بود. از آنجایی که خشک و تر نمودن متوالی خاک باعث افزایش ریشه‌های ثانویه شاداب خواهد شد (Kang et al., 2002). لذا یکی از دلایل افزایش جذب عناصر غذایی در این تحقیق، افزایش سیستم توسعه ریشه و در نتیجه افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی در تیمار PRD بود.

اثر تیمار کودی بر تجمع فسفر نیز معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین مقدار فسفر تجمع یافته مربوط به تیمار T_2 بود. کمترین مقدار فسفر تجمع یافته مربوط به تیمار T_3 بود. اختلاف بین تیمار T_3 با تیمارهای کودی T_1 و T_2 از نظر تجمع فسفر معنی‌دار بود. همچنین اختلاف میزان فسفر تجمع یافته بین تیمارهای T_1و T_2 معنی‌دار نبود.

اثر متقابل تیمارآبیاری و کودی نیز معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارآبیاری و کودی نشان داد که بیش-ترین مقدار فسفر تجمع یافته مربوط به تیمار FIT_2 و کم‌ترین مقدار فسفر تجمع یافته مربوط به تیمار DIT_3 بود (جدول ۶). اعمال تیمار PRD_2 باعث افزایش تجمع فسفر در مقایسه با DIT_2 شد. به‌طوریکه در سال ۱۳۹۳ اختلاف بین PRD_2 با FIT_2 معنی‌دار نشد اما اختلاف بین DIT_2 با FIT_2 معنی‌دار شد.

پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تجمع پتاسیم در برگ ذرت در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در جدول ۴ و ۵ ارایه شده است. بیش‌ترین مقدار تجمع پتاسیم در تیمار DI بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری داشت. اختلاف بین تیمار PRD و سایر تیمارهای آبیاری نیز معنی‌دار بود. گزارشات محققان مختلف نشان می‌دهد که جذب پتاسیم در هنگام تنش خشکی افزایش می-یابد. آن‌ها علت این امر را به مکانیسم جذب فعال این یون مربوط دانستند. در هنگام تنش خشکی، گیاه برای افزایش مقاومت به خشکی خود بر خلاف پدیده انتشار، با مصرف انرژی، میزان K^+ را در ریشه و اندام هوائی بالا برد. افزایش جذب پتاسیم باعث تنظیم باز و بسته شدن روزنه، کاهش تعرق می‌شود (Gonzales and Salas., 1995). غلامی و رحیمی بیان نمودند که با افزایش تنش خشکی مقدار پتاسیم تجمع یافته در اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش - یافت که دلیل این امر می‌تواند نقش پتاسیم در فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای باشد (Gholami and Rahemi., 2010).

لوگان و همکاران بیان نمودند که در شرایط تنش خشکی، تر و خشک شدن متوالی و طولانی در خاک باعث رها شدن K^+ بین لایه-های رسی شده و میزان یون پتاسیم در خاک افزایش یافت که این پدیده جذب پتاسیم را بیش‌تر کرد. لذا به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش پتاسیم تجمع یافته در تیمار PRD نسبت به FI در این تحقیق نیز همین مطلب باشد (Logan et al., 1997).

اعمال تیمارهای کودی تاثیر معنی‌داری بر تجمع پتاسیم نداشت. این نتیجه همسو با نتایج تحقیقات رضوان‌طلب و همکاران (۱۳۹۱) است. همچنین اثر متقابل تیمار آبیاری و کودی نیز معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار پتاسیم تجمع یافته مربوط به تیمار T_2 و کم‌ترین آن مربوط به تیمار T_3 بود. بنابراین می‌توان گفت که با تلفیق کود شیمیایی با ورمی‌کمپوست می‌توان مقدار پتاسیم در گیاه را بالا برد. راماداس و پلانییاندی بیان نمودند که سطح پتاسیم در خاک با کاربرد کمپوست زباله شهری غنی شده با کود شیمیایی بیش‌تر از شاهد و کمپوست زباله شهری به تنهایی بود (Ramadass and Palaniyandi., 2007). کروپیز و ووجسیئچوسکی بیان نمودند که محتوای پتاسیم در دسترس در خاک با کاربرد کود شیمیایی به همراه کمپوست بیش‌تر از کاربرد کود شیمیایی به تنهایی است (Kropisz and Wojciechowsky., 1978).

بر اساس جدول ۶ بیش‌ترین مقدار پتاسیم تجمع یافته در تیمار DIT_2 بود و کم‌ترین مقدار پتاسیم تجمع یافته در تیمار FIT_3 بود. اعمال تیمار PRD_2 باعث افزایش تجمع پتاسیم در مقایسه با FIT_2 شد. به‌طوریکه در هر دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اختلاف بین PRD_2 با DIT_2 معنی‌دار نشد اما اختلاف بین FIT_2 با DIT_2 با معنی‌دار شد.

میزان عناصر کم مصرف

آهن

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تجمع آهن در برگ ذرت در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در جدول ۷ و ۸ ارایه شده است. اختلاف بین تیمارهای آبیاری معنی‌دار بود به طوریکه تیمار FI بیش-تربن مقدار تجمع آهن (۹۱ mg/kg) و تیمار DI کم‌ترین مقدار تجمع آهن (۵۰/۵ mg/kg) را داشت. اعمال تیمار PRD هم باعث افزایش معنی‌دار تجمع آهن در مقایسه با DI شد. به نظر می‌رسد آبیاری بخشی ریشه از طریق افزایش تراکم ریشه و بالتبع آن افزایش سطح تماس با خاک باعث افزایش جذب آهن از خاک شود. کاهش جذب آهن در اثر تنش خشکی توسط براون و همکاران (Brown et al., 2006)و رفیعی و همکاران (۱۳۸۳) نیز گزارش شده است.

اثر تیمار کودی بر میزان آهن در ذرت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). به‌طوریکه بیش‌ترین مقدار میزان آهن مربوط به تیمار T_2 و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار T_1 بود. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از کود ورمی‌کمپوست باعث افزایش میزان عنصر آهن در گیاه ذرت شد (جدول ۸). علت افزایش جذب آهن با افزودن ورمی‌کمپوست به خاک می‌تواند به افزایش ماده آلی خاک و بالتبع آن افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و در دسترس بودن این عنصر مربوط باشد. این نتیجه همسو با نتایج تحقیقات احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۰) است.

بر اساس جدول ۹ بیش‌ترین مقدار عنصر آهن در هر دو سال زراعی ۱۳۹۳ و۱۳۹۴ مربوط به تیمار FIT_2 بود. کم‌ترین مقدار آهن نیز مربوط به تیمار DIT_3 بود. علاوه بر این اختلاف معنی‌داری بین PRD_2 با FIT_2 مشاهده نشد درصورتیکه اختلاف بین DIT_2 با FIT_2 معنی‌دار شد.

جدول ۷- میانگین مربعات تجزیه واریانس میزان عناصر کم مصرف ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	آهن		منگنز		روی		مس	
		۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
تکرار	۲	۵۹۵	۸۸	۵	۱۷۴	۴۸	۳۵	۱/۴	۳/۳
آبیاری	۲	۳۷۶۰ **	۳۹۴۰ **	۸۵۱ **	۵۷۰ **	۸۳۳ **	۹۲۴ **	۱/۱۱ ns	۱/۱۷ ns
خطای آبیاری	۴	۲۰۸	۲۳۷	۹	۲۲	۲۲	۱۸	۱/۴	۲
کود	۲	۱۴۶۴ *	۱۸۸۵ *	۷۲۸ **	۵۷۳ **	۵۲۴ **	۵۹۹ **	۲۹/۷ *	۳۰/۱۶ *
آبیاری در کود	۴	۸ ns	۹۱ ns	۱۶ ns	۲۳ ns	۱۰ ns	۲۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۱۲ ns
خطای کل	۱۲	۳۷۲	۴۷۸	۹۵	۷۷	۶۲	۸۸	۴/۹	۵/۹

جدول ۸- مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و کود بر میزان عناصر کم مصرف ذرت

تیمارهای آزمایشی	آهن (mg/kg)		منگنز(mg/kg)		روی (mg/kg)		مس (mg/kg)	
	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
FI	۹۰ a	۹۲ a	۳۶ a	۳۶ a	۳۷ a	۳۹ a	۷/۹۴	۷/۹۴
DI	۵۰ c	۵۱ c	۱۶ c	۲۰ c	۱۸ c	۱۹ c	۷/۲۵	۷/۲۲
PRD	۶۹ b	۷۲ b	۲۶ b	۲۹ b	۲۶ b	۳۱ b	۷/۴۹	۷/۵۷
T1	۷۵ b	۷۳ b	۱۷ b	۲۱ b	۲۷ ab	۳۰ ab	۷/۳ab	۸ab
T2	۷۹ a	۸۵ a	۳۵ a	۳۶ a	۳۵ a	۳۷ a	۹/۵a	۹/۲a
T3	۵۵ ab	۵۶ ab	۲۷ ab	۲۸ ab	۱۹ b	۲۱ b	۵/۹ b	۵/۶ b

جدول ۹- اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری و کود بر میزان عناصر کم‌مصرف ذرت

تیمارهای آزمایشی	آهن (mg/kg)		منگنز(mg/kg)		روی (mg/kg)		مس (mg/kg)	
	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
FIT1	۹۴/۹ a	۹۲/۳ ab	۲۴/۷ bcd	۲۵ bcd	۳۸ ab	۴۰/۵ ab	۷/۷ abc	۸/۱ ab
FIT2	۹۹/۳ a	۱۱۰ a	۴۶/۷ a	۴۶/۳ a	۴۴ a	۴۶/۶ a	۹/۹ a	۹/۶ a
FIT3	۷۷/۵ ab	۷۵ bc	۳۷/۲ ab	۳۷/۵ ab	۳۰ bcd	۳۰/۴ bc	۶/۲ bc	۶/۱ ab
DIT1	۵۶/۷ bc	۴۹/۵ cd	۱۰/۱ e	۱۵/۲ d	۲۰ ed	۲۲/۵ dc	۷abc	۷/۸ab
DIT2	۵۸/۷ dc	۶۷/۷ bcd	۲۳ cde	۲۷/۷ bcd	۲۴/۸ dc	۲۵/۳ c	۹abc	۸/۷ab
DIT3	۳۳/۷ c	۳۵ d	۱۷/۱ ed	۱۸/۲ d	۱۰ e	۹/۲ d	۵/۷ c	۵/۱ b
PRD1	۷۳/۲ ab	۷۷/۵ abc	۱۶/۷ ed	۲۲/۳ cd	۲۴ dc	۲۸/۳ bc	۷/۲ abc	۸/۹ ab
PRD2	۷۹ ab	۷۸/۵ abc	۳۵/۷ abc	۳۶/۳ abc	۳۵/۴ abc	۴۰/۵ ab	۹/۵ ab	۹/۳ a
PRD3	۵۴/۳ bc	۶۰ bcd	۲۷/۱ bcd	۲۷/۸ bcd	۱۸/۴ ed	۲۴ c	۵/۷ c	۵/۵ b

منگنز

بر اساس جدول ۷ اثر تیمارهای آبیاری بر تجمع منگنز در برگ ذرت در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ معنی‌دار شد. اعمال تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان عنصر منگنز در گیاه ذرت شد. همچنین اعمال PRD باعث افزایش میزان عنصر منگنز در مقایسه با DI شد ولی در مقایسه با FI باعث کاهش معنی‌دار میزان عنصر منگنز در گیاه ذرت شد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میزان عنصر منگنز به ترتیب مربوط به تیمارهای FI و DI برابر با بود (جدول ۸). مشابه با این تحقیق علیزاده و همکاران (۱۳۸۷) نتیجه گرفتند که تنش خشکی باعث کاهش جذب عنصر منگنز در گیاه ذرت شد. رفیعی و همکاران (۱۳۸۳) طی تحقیقی نتیجه گرفتند که اعمال تنش خشکی باعث کاهش میزان عنصر منگنز در برگ گیاه ذرت می‌شود.

مشاهده جدول مقایسه میانگین تجمع منگنز در برگ ذرت (جدول ۸) نشان داد که در میان تیمارهای کودی تیمار T_2 بیش‌ترین مقدار میزان عنصر منگنز را داشت و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار T_3 بود. استفاده از ورمی کمپوست باعث افزایش میزان عنصر منگنز در گیاه ذرت شد. این نتیجه همسو با نتایج تحقیقات احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۰) است. همچنین حسین‌پور و همکاران (۱۳۹۴) طی تحقیق خود نتیجه گرفتند بیش‌ترین میزان عنصر منگنز در ریشه گیاه در تیمار تلفیقی ورمی کمپوست + پنجاه درصد کود شیمیایی به دست آمد.

اثرات متقابل تیمار آبیاری و کودی بر تجمع منگنز در جدول ۹ آورده شده است. اثرات متقابل تیمار آبیاری و کودی بر تجمع منگنز معنی‌دار نبود. همچنین بیش‌ترین مقدار منگنز در هر دو سال ۱۳۹۳ و۱۳۹۴ مربوط به تیمار FIT_2 بود و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار DIT_3 بود. در هر دو سال انجام تحقیق اختلاف معنی‌داری بین PRD_2 با FIT_2 در تجمع عنصر منگنز در گیاه ذرت مشاهده نشد درصورتیکه اختلاف بین DIT_2 با FIT_2 معنی‌دار شد.

روی

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تجمع روی در برگ ذرت در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب در جدول ۷ و ۸ ارایه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر تجمع روی در ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اعمال تنش خشکی باعث کاهش تجمع عنصر روی در برگ گیاه ذرت شد. بیش‌ترین مقدار تجمع روی در تیمار FI بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری داشت. همچنین کم‌ترین مقدار تجمع روی در تیمار DI بود. تیمار PRD در مقایسه با تیمار DI باعث افزایش معنی‌دار تجمع روی در گیاه ذرت شد (جدول ۸). این نتیجه همسو با نتایج تحقیقات رفیعی و همکاران (۱۳۸۳) است. گونس و همکاران طی تحقیقی کاهش جذب عنصر روی را در شرایط تنش شدید را نتیجه گرفتند و علت این امر را کاهش در دسترس بودن عنصر روی در شرایط تنش را بیان نمودند (Gunes et al., 2006).

بررسی اثر تیمارهای کودی بر تجمع عنصر روی نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر تجمع روی در ذرت معنی‌دار بود (جدول ۷). بیش‌ترین مقدار روی در تیمار T_2 بود که با تیمار T_1 اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار میزان روی در تیمار T_3 بود. حسین‌پور و همکاران (۱۳۹۴) بیان نمودند که بیش‌ترین میزان عنصر روی در ریشه و اندام هوایی کاهو در تیمار تلفیقی ورمی کمپوست + پنجاه درصد کود شیمیایی به دست آمد. ساینز و همکاران نشان دادند که اضافه کردن ورمی‌کمپوست به خاک باعث افزایش میزان عناصر روی در ساقه شبدر قرمز و خیار می‌شود (Sainz et al., 1998).

بر اساس جدول ۷ اثرات متقابل آبیاری و کود بر تجمع عنصر روی نشان‌دهنده عدم معنی‌داری این اثر بود. همچنین بیش‌ترین مقدار روی در هر دو سال زراعی ۱۳۹۳ و۱۳۹۴ مربوط به تیمار FIT_2 و کم‌ترین مقدار عنصر روی مربوط به تیمار DIT_3 بود (جدول ۹). همچنین در هر دو سال انجام تحقیق اختلاف معنی‌داری بین PRD_2 با FIT_2 در تجمع عنصر روی در گیاه ذرت مشاهده نشد درصورتیکه اختلاف بین DIT_2 با FIT_2 معنی‌دار شد.

مس

بر اساس جدول ۷ اثر تیمارهای آبیاری بر تجمع مس در ذرت معنی‌دار نبود. اعمال تنش خشکی باعث کاهش تجمع عنصر مس در برگ گیاه ذرت شد. بیش‌ترین مقدار تجمع مس در FI بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری نداشت. همچنین کم‌ترین مقدار تجمع مس در تیمار DI بود. PRD در مقایسه با تیمار کم‌آبیاری معمولی باعث افزایش تجمع مس در گیاه ذرت شد (جدول ۸). رفیعی و همکاران (۱۳۸۳) در بررسی اثرات تنش خشکی بر میزان و کل جذب عناصر در ذرت نتیجه گرفتند که اثر تنش خشکی بر کاهش تجمع مس در ذرت معنی‌دار نبود. این نتیجه همسو با نتیجه تحقیق حاضر بود.

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر تجمع مس در ذرت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). بیش‌ترین مقدار مس در تیمار T_2 بود که با تیمار T_1 اختلاف معنی‌داری نداشت. این نتیجه همسو با نتایج تحقیقات (Ridvan., 2004; Matos and Arrunda ., 2003; Mamo et al., 1998) است.

بررسی اثرات متقابل آبیاری و کود نشان داد که بیش‌ترین مقدار مس در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ مربوط به تیمار FIT_2 به ترتیب برابر با (mg/kg) ۹/۹۳ و ۹/۶ بود. کم‌ترین مقدار مس در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ مربوط به تیمار DIT_3 به ترتیب برابر با (mg/kg) ۵/۷ و ۵/۱ بود. علاوه بر این در هر دو سال انجام تحقیق اختلاف معنی‌داری بین PRD_2 با FIT_2 در تجمع عنصر مس در گیاه ذرت مشاهده نشد (جدول ۹).

عملکرد دانه

جدول تجزیه واریانس برای عملکرد دانه گیاه ذرت در جدول ۱۰ آورده شده است. بر اساس جدول ۱۰ اثر تیمارهای آبیاری و تیمار کودی در هر دو سال انجام تحقیق معنی‌دار شده است.

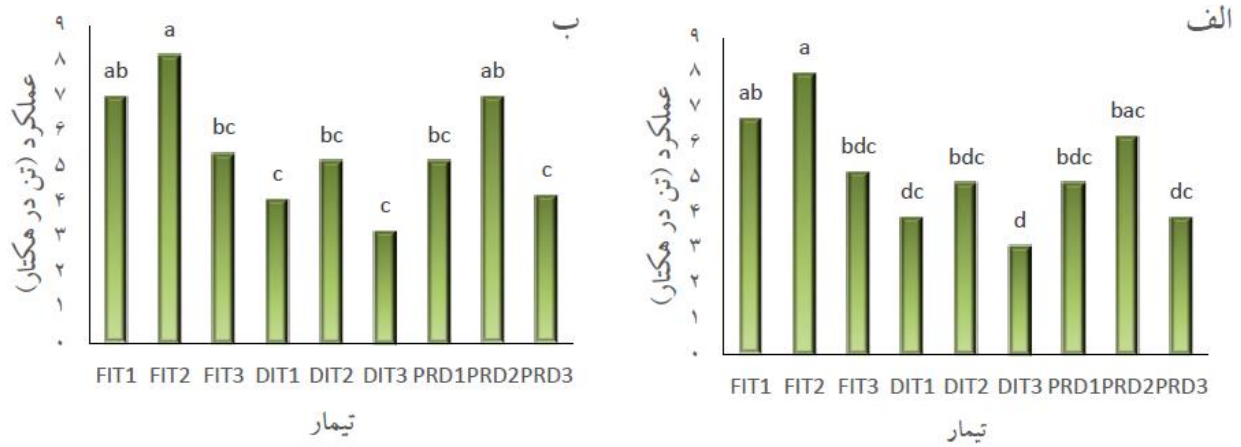
نتایج حاصل از قسمت‌های پیشین این پژوهش نشان داد که تنش خشکی به علت کاهش در دسترس بودن عناصر غذایی و کاهش رشد ریشه، باعث کاهش جذب عناصر نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز، روی و مس شد. همچنین استفاده تلفیقی از ورمی‌کمپوست با کود شیمیایی به علت اثرات مثبت ورمی‌کمپوست بر افزایش جذب عناصر غذایی، رطوبت در دسترس و نگهداشت آب در خاک، باعث افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در گیاه ذرت شد. لذا با توجه به تاثیر فراهم بودن عناصر غذایی بر عملکرد دانه، بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب برابر با ۸ و ۸/۲ تن در هکتار مربوط به تیمار FIT_2 بوده است. کم‌ترین میزان عملکرد دانه در هر دو سال زراعی نیز، مربوط به تیمار DIT_3 بود (شکل ۱).

اختلاف معنی‌داری بین تیمار PRD_2 با تیمار FIT_2 از نظر میزان عملکرد ذرت مشاهده نشد. علت این امر می‌تواند از یک سو مربوط به

ذات PRD (خشک و تر شدن متوالی پروفیل خاک در ناحیه ریشه) و همچنین اثرات مثبت آن بر افزایش تراکم ریشه، رشد ریشه‌های ثانویه و بالتبع آن افزایش سطح تماس با خاک باشد که منجر به افزایش جذب آب و جذب مواد غذایی و در نهایت باعث افزایش عملکرد خواهد شد. از سویی دیگر نیز ممکن است به این علت باشد که کاربرد ورمی‌کمپوست به تنهایی، به خاطر تفاوت در محتوای عناصر غذایی (Sujatha et al., 2008)، نمی‌تواند عملکرد گیاه را به حداکثر مقدار آن برساند لذا در استفاده تلفیقی ورمی‌کمپوست با کود شیمیایی با تامین بهتر عناصر غذایی همراه با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، شرایط برای افزایش جذب عناصرغذایی، بهبود تولید و عرضه مواد پرورده به بلال و در نهایت افزایش میزان عملکرد دانه در واحد سطح فراهم می‌شود.

جدول ۱۰- میانگین مربعات تجزیه واریانس عملکرد

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	
		۱۳۹۳	۱۳۹٤
تکرار	۲	۲۰	۲۱
آبیاری	۲	۱۴**	۱۷**
خطای آبیاری	۴	۰/۲	۰/۴
کود	۳	۱۳**	۱۵**
آبیاری در کود	۴	۰/۳۵ ns	۰/۲۶*
خطای کل	۱۲	۰/۰۳	۰/۰۵



شکل ۱- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف بر عملکرد ذرت در سال ۱۳۹۳ (الف) و سال ۱۳۹٤ (ب)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش میزان مصرف آب و تجمع عناصر غذایی پر-مصرف و کم‌مصرف در گیاه ذرت با اعمال توامان کم‌آبیاری بخشی ریشه و ورمی‌کمپوست مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که اعمال همزمان PRD و تیمارهای کودی شامل ورمی‌کمپوست باعث صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب شد. آبیاری بخشی ریشه، باعث افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم-مصرف در گیاه ذرت در مقایسه با کم‌آبیاری معمولی شد. همچنین می‌توان گفت که کاربرد ورمی کمپوست به صورت تلفیقی با کود شیمیایی نیز باعث افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه ذرت شد. علاوه بر این اختلاف معنی‌داری بین تیمار PRD_2 با تیمار FIT_2 (تیمار دارای بیش‌ترین تجمع عناصر غذایی) از نظر تجمع عناصر غذایی در گیاه ذرت مشاهده نشد. اختلاف بین تیمارهای PRD_2 و تیمار FIT_2 از نظر میزان عملکرد ذرت نیز معنی‌دار نبود. در مجموع می‌توان گفت که اعمال تیمار PRD_2 از یک سو باعث کاهش مصرف آب شده و از سویی دیگر همراه با اضافه نمودن ماده آلی به خاک علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باعث کاهش مصرف کود شیمیایی و بالتبع آن کاهش مسایل زیست محیطی خواهد شد. لذا در مجموع می‌توان اعمال تیمار آبیاری بخشی ریشه همراه با استفاده تلفیقی کود ورمی کمپوست + کود شیمیایی را جهت نیل به کشاورزی پایدار توصیه نمود.

منابع

احمدآبادی،ز.، قاجارسپانلو،م و بهمنیار،م.ع. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد ورمی-کمپوست بر میزان عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک و غلظت آن‌ها در گیاه گاوزبان (Boragoofficinalis). مجله به زراعی کشاورزی. ۱۳ .۲: ۱۲-۱.

حسین‌پور،ر.، قاجا سپانلو،م و سالک‌گیلانی،س. ۱۳۹۴. اثر کاربرد ورمی‌کمپوست بر غلظت عناصر ریزمغذی در خاک و گیاه کاهو (Lactuca sativa L.)، به زراعی کشاورزی. ۳.۱۷: ۸۲۶-۸۱۵.

رشتبری،م و علیخانی،ح. ۱۳۹۰. بررسی کارایی و سطوح مناسب ورمی‌کمپوست و کمپوست زباله شهری در جذب عناصر غذایی و عملکرد کلزا تحت شرایط خشکی. مهندسی زراعی. ۲.۳۴: ۹۶-۸۵.

رضوان‌طلب،ن.، پیردشتی،ه.، بهمنیار،م.ع.، عباسیان.ا. ۱۳۹۱. بررسی اثر انواع و مقادیر مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر میزان برخی پر مصرف برگ و دانه در ذرت، فصلنامه پژوهش‌های علوم گیاهی. ۷ .۳: ۳۰-۲۰.

رفیعی،م.، نادیان،ح.، نور محمدی،ق و کریمی،م. ۱۳۸۳. اثرات تنش خشکی و مقادیر روی و فسفر بر غلظت و کل جذب عناصر در ذرت، مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۱.۳۵: ۲۴۳-۲۳۵.

علیزاده،ا.، مجیدی،ا و نورمحمدی،ق. ۱۳۸۷. تاثیر تنش خشکی و میزان نیتروژن خاک بر جذب عناصر غذایی در ذرت رقم ۷۰۴، مجله پژوهش در علوم کشاورزی. ۱.۴: ۵۹-۵۱.

کوچکی،ا.، نخفروش،ا.، ضریف کتابی،ح. ۱۳۷۶. کشاورزی ارگانیک، انتشارت جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۳۱ ص.

Adediran,J.A., Taiwo,L.B., Akande,M.O., Sobulo,R.A and Idowu,O.J. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. Journal of Plant Nutrition. 27: 1163-1181.

Akiotoye,A.A., Lucas,E.O and Kling,J.G. 1997. Effect of density of plating and time of nitrogen application on maize varieties in different ecological zones of Westafrica. Common Soil Science Plant Annal. 28:1163-1175.

Anwar,M.D., Patra,D., Chand,S., Alpesh,K., Naqvi,A and Khanuja,S. 2005. Effect of organic manure and inorganic fertilizer on growth, herb, oil yield, nutrient accumulation and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 36: 1737-1746.

Atiyeh,R.M., Edwards,C.A., Subler,S and Metzger,J.D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. Bioresource Technology. 78: 11-20.

Brown,C.E., Pezeshki,S.R and DeLauneb,R.D. 2006. The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of Spartina alterniflora in a simulated tidal system. Environmental and Experimental Botany. 58: 140-148.

Darwish,T.M., Atallah,T.W., Hajhasan,S and Haidar,A. 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. Agriculture Water Management. 85: 95-104.

Davies,W.J and Hartung,W. 2004. Has extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plantproduction under water scarcity? Proceeding of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, published on CDROM, Published on CDROM,http://www.cropscience.org.au/icsc2004/.

Gholami,M and Rahemi,M. 2010. Effect of water stress and recovery on water status and osmotic adjustments of miniature rose Meshkinjan. Research Journal of Environmental Sciences. 4.3: 288-293.

Gonzales,P.R and Salas,M.L. 1995. Improvement of the growth, grain yield, and nitrogen, phosphorus and potassium nutrition of grain corn through weed control. Journal of Plant Nutrition. 18: 3313-3324.

Gunes,A., Cicek,N., Inal,A., Eraslan,F., Guneri,E and Guzelordu,T. 2006. Genotypic response of chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars to drought stress implemented at pre- and post-anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. Plant, Soil and Environment. 52.8: 368–376.

Jat,R.S and Ahlawat,I.P.S. 2008. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpeafodder maize sequence. Journal of Sustainable Agriculture. 28.1: 41-54.

Jie,z., Yao,Y., John,G.S and David,C.F. 2010. Influence of soil drought stress on photosynthesis, carbohydrates and the nitrogen and phosphorus absorb in different section of leaves and stem of ugi/M.9EML, a young apple seedling. African Journal of Biotechnology. 9.33: 5320-5325.

Jones,H.G. 1980. Interaction and integration of adaptive response to water stress. Royal science Society of London. Series B. 273:193-205.

Han,Y.L and Kang,S.Z. 2002. Effects of the controlled partial rootzone irrigation on root nutrition uptake of

Parthasarathi,K. Balamurugan,M and Ranganathan,L.S. 2008. Influence of vermicompost on the physico-chemical and biological properties in different types of soil along with yield and quality of the pulse crop-blackgram. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering. 5.1: 51-58.

Ramadass,K and Palaniyandi,S. 2007. Effect of enriched municipal solid waste compost application on soil available macronutrients in the rice field. Archives of Agronomy and Soil Science. 53.5: 497-506.

Ridvan,K. 2004. Cu and Zn accumulation in earth worm Lumbricus terrestrist in sewag sludge amended soil and fraction of Cu and Zn casts and surrounding. Soil Science. 22: 141-145.

Saetre,P and Stark,J.M. 2005. Microbial dynamics and carbon and nitrogen cycling following re-wetting of soils beneath two semi-arid plant species. Oecologia. 142: 260-274

Sainz,M.J., Taboada-Castro,M.T and Vilarino,A. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants growth in a soil amended with composted urban wastes, Plant Soil. 205: 85-92.

Shahnazari,A., Liu,F., Andersen,M.N., Jacobsen,S.E and Jensen,C.R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100: 117-124.

Shahnazari,A., Ahmadi,S.H., Laerke,P.E., Liu,F., Plauborg,F., Jacobsen,S.E., Jensen,C.R and Andersen,M.N. 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes. European Journal of Agronomy. 28: 65-73.

Sinha,R.K., Dalsukh,V., Krunal,C and Sunita, A. 2010. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development. 2(7): 113-128.

Sujatha,M.G., Lingaraju,B.S., Palled,Y.B and Ashalatha,K.V. 2008. Importance of integrated nutrient management practices in maize under rain fed condition. Karnataka J. Agri. Sci. 21: 334-338.

Taiz,L and Ezeiger, A. 1998. Plant Physiology (2nd ed). Sinaye Associates Inc. Publisher. Sonderland Massachusetts. 757p

Topcu,S., Kirda,C., Dasgan,Y., Kaman,H., Cetin,M., Yazici,A and Bacon,M.A. 2007. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit maize (Zea mays). Transactions from the Chinese Society of Agriccultural Engineering. 18: 57-59.

Kang,S., Hu,X., Goodwin,I and Jerie,P. 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. Scientia Horticulturae. 92:277-291.

Kang,S and Zhang,J. 2004. Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. Experimental Botany. 55:2437-2446.

Kirda,C., Topcu,S., Kaman,H., Ulger,A.C., Yazici,A., Cetin,M and Derici,M.R. 2005. Grain yield response and N-fertiliser recovery of maize under deficit irrigation. Field Crop Reserch. 93: 132-141.

Kirnak,H., Kaya,C., Tas,I and David,H. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 27.3-4: 34-46.

Kropisz,A., Wojciechowsky,J. 1978. Mutual effect of mineral fertilizers and composts made from municipal wastes on yields and chemical composition of cabbage. Rocz Nauk Rol Ser 103:164 - 180.

Liang,J., Zhang,J and Wong,M.H. 1996. Effects of air-filled soil porosity and aeration on the initiation and growth of secondary roots of maize (Zea mays). Plant and Soil. 186.2: 245-254.

Logan,T.J., Goins,L.E and Jlindsay,B. 1997. Field assessment of trace element uptake by six vegetables from N-viro soil. Water Environmental Research. 69:28-33.

Mamo,M, Rosen,C.J., Halbach,T.R and Moncrief,J.F. 1998. Corn yield and nitrogen uptake in sandy soils amended with vermicompost and municipal solid waste compost. Production Agriculture. 11: 460-475.

Matos,G.D and Arrunda,M. 2003. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. Process Biochemistry. 39: 81-88.

Miller,A.E., Schimel,J.P., Meixner,T., Sickman,J.O and Melack,J.M. 2005. Episodic rewetting enhances carbon and nitrogen release from chaparral soils. Soil Biology and Biochemistry. 37: 2195-2204.

Mingo,D.M., Theobald,J.C., Bacon,M.A, Davies,W.J and Dodd,I.C. 2004. Biomass allocation in tomato (Lycopersicon esculentum) plants grown under partial root zone drying: enhancement of root growth. Functional Plant Biology. 31.10: 971-978.

leaves. Environmental and Experimental Botany. 75: 36-40.

Wang,Y.S., Liu,F.L., de Neergaard,A., Jensen,L.S., Luxh,i,J and Jensen,C.R. 2010. Alternate partial root-zone irrigation induced dry/wet cycles of soils stimulate N mineralization and improve N nutrition in tomatoes. Plant and Soil 337. 167-177.

irrigation. Europ. J. Agronomy. 26: 64–70.

Vale,M., Mary,B., Justes,E., 2007. Irrigation practices may affect denitrification more than nitrogen mineralization in warm climatic conditions. Biol. Fertil. Soils. 43: 641–651.

Wang,Z., Liu,F., kang, S and Jensen,R.C. 2012. Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (Zea mays L.)

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 12, Apr.-May. 2018, p. 63-75

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۲، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۷، ص. ۷۵-۶۳

The Interaction Effects of Vermicompost and Partial Root Zone Drying on Water Consumption, Macro and Micro Nutrients of Maize

S. Azizpour[1], A. Shahnazari[2*], M. Ziatabar Ahmadi[3], F. Karandish[4]
Recived: Augu.14, 2017 Accepted: Augu.30, 2017

Abstract

In order to reduce water and chemical fertilizer consumption and improved nutrient uptake in a maize field in Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University this research were carried out during years 2015 to 2016. Main plot consisted of irrigation treatment (Full irrigation (FI), deficit irrigation (DI) and partial root zone drying irrigation (PRD)). Sub plot consisted of fertilizer treatment (chemical fertilizer (T1), 50% chemical fertilizer+ 5.5 tons per ha of vermicompost (T2) and 11 tons per ha of vermicompost (T3)). The result showed that the simultaneous application of PRD and vermicompost save more water. The effect of irrigation treatment on N, P, K, Fe, Zn and Mn was significant but no significant on Cu. The effect of fertilizer treatment on N, P, Fe, Cu, Zn and Mn was significant but no significant on K. There was no significant effect between PRD and T2 treatment with FI and T2 treatment on concentrations of nutrients and yield. Therefore, simultaneous use of partial root zone drying with vermicompost in combination with chemical fertilizers is recommended to achieve sustainable agriculture.

Keywords: Drough stress, Organic matter, Chemical fertilizer

1- PhD Student of Irrigation and Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Associate Professor, Department of Irrigation, Zabol University
(*- Corresponding Author Email: aliponh@yahoo.com)