

اثر مدیریت تغذیه و مصرف زئولیت بر کارایی مصرف کود و بهره‌وری آب در دو رقم ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط کم‌آبیاری

محمدحسن قدسی^۱، مسعود اصفهانی^{۲*}، محمدمهدی طهرانی^۳ و علی اعلمی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۸)

چکیده

به منظور بررسی اثر مدیریت تغذیه با مصرف زئولیت بر کارایی مصرف کود و بهره‌وری آب دو رقم ذرت در شرایط کم‌آبیاری، آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور به صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری در دو سطح؛ آبیاری کامل و کم‌آبیاری (۷۰ درصد آبیاری کامل) به عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریل پنج سطح کودی (شیوه رایج زارعین منطقه، شیوه رایج به علاوه ۱۰ تن در هکتار زئولیت از منبع کلینوپتیلولیت، شیوه توصیه شده، شیوه توصیه شده به علاوه ۱۰ تن در هکتار زئولیت از منبع کلینوپتیلولیت، شاهد بدون مصرف کود) و دو رقم ذرت (دیررس (سینگل کراس ۷۰۴) و زودرس (سینگل کراس فجر)) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه ارقام ذرت شد (۱۷ و ۲۰ درصد به ترتیب در ارقام فجر و ۷۰۴). شیوه مصرف کود بر کلیه صفات گیاهی مورد ارزیابی این پژوهش اثر معنی‌دار داشت. در شرایط کم‌آبیاری بیشترین عملکرد دانه ارقام ذرت از تیمار کود توصیه شده + زئولیت حاصل شد (ارقام ۷۰۴ و ۲۶۰ به ترتیب ۷۹۳۴/۳ و ۷۷۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار) که نسبت به تیمار کود توصیه شده + زئولیت در شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۷ و ۱۵ درصد کاهش داشت. نتایج این آزمایش نشان داد که با مدیریت مناسب کودی همراه با مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، با صرفه‌جویی ۳۰ درصد در مصرف آب آبیاری (۲۱۰۰ مترمکعب در هکتار)، می‌توان عملکرد دانه مناسبی به دست آورد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، ذرت، زئولیت، مدیریت تغذیه، بهره‌وری آب و کارایی مصرف کود

۱، ۲ و ۴. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۳. استادیار، بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، مؤسسه اصلاح خاک و آب ایران، کرج

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: esfahani@guilan.ac.ir

مقدمه

هدررفت آن از طریق نیترات زدایی، آبشویی و تصعید آمونیوم است. این هدررفت نه تنها منجر به کاهش کارایی استفاده از نیتروژن می‌شود، بلکه یکی از دلایل آلودگی محیط زیست به دلیل استفاده نادرست از کودهای شیمیایی به ویژه کود نیتروژن است (۳۳). این موضوع بیانگر ضرورت تجدید نظر در روش‌های افزایش تولید است. هدف از اجرای آزمایش بررسی اثر مدیریت تغذیه و مصرف زئولیت بر صرفه اقتصادی و کارایی مصرف کود و بهره‌وری آب و در دو رقم ذرت در شرایط کم‌آبایی در منطقه کرج بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مزرعه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور واقع در کرج با مشخصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۲۴۸ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه کرج از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک است که طبق آمار هواشناسی متوسط بارندگی آن برابر ۲۴۷/۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه آن ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد است (۱۸). آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آبیاری در دو سطح؛ آبیاری کامل (I۱)، کم‌آبیاری شامل ۷۰ درصد آبیاری کامل (I۲) به عنوان کرت اصلی و ترکیب فاکتوریل سطوح کودی در پنج سطح، ۱- مصرف کود به شیوه رایج زارعین منطقه (F۱) ۲- مصرف کود به شیوه رایج به علاوه ۱۰ تن در هکتار زئولیت از منبع کلینوپتیلولیت (F۲) ۳- مصرف کود به شیوه توصیه شده (F۳) ۴- مصرف کود به شیوه مدیریت شده به علاوه ۱۰ تن در هکتار زئولیت از منبع کلینوپتیلولیت (F۴) ۵- شاهد، بدون مصرف کود (F۵) و ارقام ذرت شامل سینگل کراس ۷۰۴ (C۱) و سینگل کراس فجر (C۲) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند (جدول ۱). در شیوه رایج کوددهی برای یک هکتار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن (از منبع اوره) در سه نوبت (همزمان با کاشت بذر، ۶-۵ برگی و قبل از ظهور گل

ذرت (*Zea mays L.*) با تولید ۱۱۰۰/۲ میلیون تن محصول با متوسط عملکرد ۵۷۵۴/۷ کیلوگرم دانه در هکتار و سطح زیر کشت ۱۹۷ میلیون هکتار، اولین غله مهم دنیا از نظر میزان تولید و دومین غله دنیا از نظر سطح زیر کشت است. در ایران تولید ذرت در سال ۱۳۹۶ یک میلیون و ۲۲۳ هزار تن، با عملکرد متوسط ۷/۲۸ تن در هکتار و سطح زیر کشت ۱۷۴ هزار هکتار بوده و میزان تولید و سطح زیر کشت آن به طور مرتب از سال ۲۰۱۳ رو به کاهش است (۱۲). تنش آب از راه‌های مختلف بر رشد و بهره‌وری گیاهان تاثیر می‌گذارد و اغلب تأثیرات آن بر تولید گیاه منفی است، اما گیاهان دارای سازوکارهای مختلف و اغلب پیچیده‌ای هستند که در برابر کمبود آب واکنش نشان می‌دهند. مقاومت به خشکی و یا رشد جبرانی در گیاهان مختلف زراعی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد از جمله رطوبت محیط، شدت تنش، مرحله فنولوژیکی گیاه از لحاظ بروز تنش و حاصلخیزی خاک (۱۱). کم‌آبایی به عنوان یک راهکار مناسب مزرعه‌ای در مناطق خشک است که صرفه‌جویی آب را با کمی کاهش در عملکرد ممکن می‌سازد (۱۳). افزودن زئولیت به خاک باعث کاهش سرعت تبدیل آمونیوم به نیترات شده و این موضوع موجب کاهش شستشوی نیتروژن می‌شود (۲۶). یکی از ترکیبات طبیعی زئولیت که اغلب در کشاورزی نیز استفاده می‌شود، کلینوپتیلولیت است که ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و توانایی زیادی در نگهداشت آمونیوم دارد (۱۶). کم‌آبایی یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری مصرف آب است که در آن گیاه در تمامی فصل رشد و یا در بخشی از آن تحت تنش آبی قرار می‌گیرد (۲۳). در پژوهشی روی سه رقم ذرت (۳۰۱، ۳۰۳ و ۳۱۵) و اعمال کم‌آبایی با تیمارهایی با میزان تنش به ترتیب ۱۰، ۳۰، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درصد و بدون تنش، دریافتند که بیشترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار بدون تنش نبود بلکه در رقم‌های ۳۰۱ و ۳۰۳ آبیاری در سطح تنش ۱۰ درصد و در رقم ۳۱۵ در سطح ۳۰ درصد مشاهده شد (۵). پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن به دلیل

جدول ۱. ویژگی‌های ارقام استفاده شده در پژوهش

رقم	گروه رسیدگی فائو	شجره	منشأ	تراکم (هزار بوته در هکتار)	روز تا رسیدگی	مشخصات
۷۰۴	۷۰۰	B73×MO17	آمریکا یوگسلاوی	۸۰	۱۲۵-۱۳۵	دیررس، از سال ۱۳۵۹ در ایران توسعه یافت، پایداری عملکرد خوب، نیمه‌حساس به بیماری سیاهک معمولی
فجر	۲۶۰	K1264/5-2 × K615	ایران-کرج	۷۵-۸۰	۱۰۵-۱۱۵	زودرس، سال ۱۳۸۶ معرفی شد، مناسب برای کشت دوم در مناطق سرد، ارتفاع بوته حدود ۲۰۰ سانتی‌متر

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	درصد ذرات خاک				ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دائم	رطوبت قابل جذب برای گیاه
	شن	رس	سیلت	ماده آلی			
لومی	۳۷	۲۵	۳۸	۰/۵	۲۴/۷	۱۲/۳	۱۲/۴ (درصد)
وزن مخصوص ظاهری	هدایت الکتریکی عصاره اشباع		اسیدیته	نیترژن کل	فسفر	پتاس	
(گرم بر سانتی‌متر مکعب)	(دسی‌زیمنس بر متر)			درصد	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		
۱/۶۸	۱/۴۵		۷/۴	۰/۱۵	۲۰/۳	۲۴۵	

به‌صورت محلول در آب در مراحل آبیاری، گرده‌افشانی و شیری شدن دانه به‌صورت محلول پاشی در مرحله ۱۰ برگی استفاده شدند. با توجه به اینکه مونوآمونیم فسفات دارای ۱۳ درصد نیترژن است، میزان نیترژن موجود در این کود از نیترژن مصرفی از منبع اوره کسر شد. برای تیمارهای دارای ژنولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار، ژنولیت کلینوپتیلولیت (۱، ۲۱ و ۲۲) در هنگام شخم به زمین داده شد. در تیمار آبیاری کامل، گیاهان تمام آب آبیاری مورد نیاز را دریافت کردند. در تیمار کم‌آبیاری در هر نوبت به هر کرت تنها به‌میزان ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه ذرت (۱۱) آب به مزرعه داده شد و پس از آن آبیاری قطع شد. تیمار کم‌آبیاری پس از استقرار کامل گیاه (مرحله ۷۴) آغاز شد و قبل از آن همه گیاهان به‌میزان کافی آبیاری شدند. ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شد. کاشت بذر در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ و ۲۵ اردیبهشت‌ماه

آذین‌نر)، ۵۰ کیلوگرم فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) همزمان با کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) همزمان با کاشت به خاک داده شدند (۹). کودهای مصرفی قبل از کاشت بذر به صورت یکنواخت در سطح خاک پخش شده سپس با استفاده از دیسک با خاک مخلوط شدند. برای شیوه توصیه شده مصرف کود از جدول کاربردی توصیه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۵) استفاده شد، بدین صورت که کود نیترژن (از منبع اوره) در چهار بخش مساوی در مراحل دومین آبیاری، ۴ تا ۶ برگی، ۱۰ برگی (قبل از ظهور گل آذین‌نر) و ظهور گل آذین‌نر به‌صورت نواری در پای بوته جای‌گذاری شد. نیمی از کود فسفر و نیمی از کود پتاس همزمان با کاشت به‌صورت پایه و به شیوه نواری در خطوط کاشت جای‌گذاری شده و نیمی دیگر به صورت کودهای با حلالیت بالا (مونوآمونیم فسفات و سوپر اکسید پتاسیم)

دبی خروجی نوارها ۰/۹ لیتر در ساعت، به‌ازای هر قطره‌چکان با فشار ۰/۸ اتمسفر بود. یک نوار در بالای هر پشته قرار داده شده و با سیم‌های مفتولی ثابت شد. تمام خط‌ها به شیر مجهز شدند. لوله اصلی توزیع آب در کرت‌های اصلی مجهز به شیر فلکه بود.

در کرت اصلی کم‌آبیاری با اتمام سهمیه آبیاری آن، شیر فلکه بسته شده و با کم کردن دبی آب از طریق فلکه اصلی، فشار به ۰/۸ اتمسفر برگردانده می‌شد تا کرت آبیاری کامل آب لازم را دریافت کند. برای مدیریت بهتر تیمارها، در آبیاری اول دبی تمام نوارها با تنظیم روی ۰/۹ لیتر به‌ازای هر قطره‌چکان، یکسان‌سازی شد. برای اطمینان از صحت عملکرد قطره‌چکان‌ها، میزان آب مصرفی در هر آبیاری با استفاده از کنتور حجمی ثبت شد. میزان آب مصرفی هر تیمار از ابتدا تا انتهای فصل برحسب مترمکعب محاسبه و برای محاسبه بهره‌وری آب (Water Productivity) از رابطه ۲ استفاده شد (۲۸).

$$W_p = \frac{Y}{I} \quad (2)$$

در این رابطه، W_p = بهره‌وری آب برحسب کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب مصرفی، Y = عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار و I = حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب در هکتار است. برای صورت کسر یک‌بار از زیست‌توده یا عملکرد بیولوژیک و یک‌بار از عملکرد دانه استفاده شد تا بهره‌وری آب هم برای عملکرد دانه و هم عملکرد بیولوژیک به‌دست آید. برای اندازه‌گیری کارایی زراعی (Agronomic Efficiency) کود (نیترژن، فسفر و پتاس) از رابطه ۳ استفاده شد (۴۳). برای تعیین کارایی مصرف کود (Fertilizer use Efficiency) برای کودهای نیترژن، فسفر و پتاس، از رابطه ۴ استفاده شد (۱).

$$FAE = \frac{FTY - CTY}{FU} \quad (3)$$

$$FUE = \frac{GY}{FU} \quad (4)$$

که در آن FAE = کارایی زراعی کود، FTC = عملکرد تیمار کودی، CTY = عملکرد تیمار شاهد، FUE = کارایی مصرف کود،

۱۳۹۵ که طبق اطلاعات هواشناسی کرج دمای عمق پنج سانتی‌متری خاک حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده و این دما مناسب جوانه‌زنی ذرت است (۴۰)، انجام شد. زمین آزمایش در پاییز سال قبل شخم زده شد و در بهار کودهای شیمیایی و ژئولیت بر اساس نیاز هر تیمار توزیع و به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط شدند. سپس پشته‌هایی به فاصله ۷۵ سانتی‌متر ایجاد شد. اندازه هر کرت ۲۲/۵ مترمربع (طول ۵ متر و عرض ۴/۵ متر) در نظر گرفته و بذور در شش خط با فاصله ۱۶/۷ سانتی‌متر (تراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار)، روی پشته‌ها کشت شدند. در هر کپه دو بذر کاشته و پس از مرحله ۴-۶ برگگی با تنک کردن، تراکم مورد نظر تأمین شد. دو خط اول و آخر به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند و نمونه‌برداری از دو خط وسط صورت گرفت. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها و بین کرت‌های اصلی مربوط به آبیاری ۲/۲۵ متر در نظر گرفته شد. برای مبارزه با علف‌های هرز در مرحله ۴-۶ برگگی وجین دستی انجام شد. نیاز آبی گیاه از طریق تعیین میزان آب خاک منطقه ریشه گیاه به‌روش وزنی محاسبه شد و آب به‌میزان لازم در اختیار گیاه قرار گرفت. برای تعیین دقیق زمان آبیاری برای هر تیمار، با گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری به‌صورت روزانه با استفاده از اوگر از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری شد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. پس از رسیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان تعیین شده، به‌منظور اعمال تیمار آبیاری از رابطه ۱، آب مورد نیاز هر تیمار محاسبه شد (۳):

$$V = (FC - \theta_m) \times \rho_b \times D_{Root} \times AE_i \quad (1)$$

که در آن V = حجم آب آبیاری (مترمکعب)، FC = درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_m = درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، ρ_b = وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، A = مساحت آبیاری شده (مترمربع)، D_{Root} = عمق توسعه ریشه (متر) و E_i = راندمان آبیاری است. آبیاری به‌صورت قطره‌ای انجام شد. برای آبیاری از نوارهای آبیاری قطره‌ای دارای قطر داخلی ۱۶ میلی‌متر و با فاصله قطره‌چکان‌های ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد.

افزایش هزینه ناشی از اعمال تیمار، ب) کاهش هزینه ناشی از اعمال تیمار، ج) افزایش درآمد ناشی از اعمال تیمار و د) کاهش درآمد ناشی از اعمال تیمار صورت پذیرفت. پس از محاسبه موارد بالا چنانچه مجموع گزینه‌های (ب) و (ج) بزرگ‌تر از مجموع گزینه‌های (الف) و (د) باشد، اعمال تیمار از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر و در غیر این صورت کاربرد آن اقتصادی نخواهد بود. با استفاده از روش تحلیل نهایی سود به هزینه در روش بودجه‌بندی جزئی، اقتصادی‌ترین تیمار تعیین می‌شود. برای این منظور تفاضل میانگین سود خالص هر تیمار و میانگین سود خالص تیمار شاهد محاسبه و تفاضل هزینه‌های تیمارهای مختلف با تیمار شاهد تعیین شد و با استفاده از رابطه ۵ نرخ نهایی سود به هزینه هر تیمار نسبت به تیمار شاهد محاسبه شد (۳۹).

$$B = \frac{\Delta di - \Delta ei}{\Delta ei} \quad (5)$$

در این رابطه B نرخ نهایی سود به هزینه تیمار i ام نسبت به تیمار شاخص، Δdi منافع خالص تیمار i ام نسبت به تیمار شاخص، Δei تفاضل هزینه تیمار i نسبت به تیمار شاخص است. در پایان، تیماری که بیشترین مقدار B را داشته باشد به‌عنوان برترین تیمار انتخاب می‌شود. عملکرد دانه و بیولوژیک در مرحله رسیدن فیزیولوژیک از سطحی معادل ۱/۵ مترمربع و از سه خط اصلی هر کرت و با رعایت اثر حاشیه‌ای تعیین شدند. وزن تر بوته‌ها اندازه‌گیری شد و وزن خشک بوته‌ها پس از ۴۸ ساعت خشکاندن بوته‌ها در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد و رطوبت دانه تعیین و عملکرد دانه با واحد کیلوگرم در هکتار با رطوبت ۱۵/۵ درصد محاسبه شد. داده‌های هر سال به‌صورت مستقل و در صورت یکنواختی واریانس خطا به‌صورت مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS به‌دست آمد. رسم نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

GY = عملکرد دانه و FU = مقدار مصرف کود است. برای تعیین محتوای نیتروژن بخش هوایی گیاه و دانه‌های ذرت، نمونه‌ها در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون (به‌مدت ۴۸ ساعت) خشک شد و با روش میکروکجدال با دستگاه اتوآنالیزر، محتوای نیتروژن موجود در بخش هوایی گیاه در مرحله شیری شدن دانه (R۳) و دانه در زمان برداشت (رسیدگی فیزیولوژیک) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه نیز با ضرب کردن درصد نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ میزان پروتئین موجود در دانه به‌دست آمد (۳۲). اساس آزمایش بر مبنای اندازه‌گیری کل نیتروژن موجود در غذا با فرض پروتئینی بودن تمام نیتروژن و با استفاده از ضرایب تبدیل نیتروژن به پروتئین استوار بود. غلظت عناصر فسفر و پتاسیم توسط دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption) مدل Varian Z ۲۲۰ محصول شرکت GBC کشور استرالیا، اندازه‌گیری شد (۲۴).

ارزیابی اقتصادی

با توجه به اینکه قیمت ذرت در هر سال متغیر است در این پژوهش از بهای خرید تضمینی ذرت دانه‌ای در ایران مصوب شورای اقتصاد استفاده شد که برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به‌ترتیب هر کیلوگرم ۹۶۰۰ و ۱۰۳۵۰ ریال بود. بر اساس داده‌های مرکز آمار ایران، اجاره تراکتور در سال ۱۳۹۴ برای یک ساعت کار ۳۰۰ هزار ریال و در سال ۱۳۹۵ مبلغ ۳۶۰ هزار ریال در نظر گرفته شد (برای کوددهی پای بوته در یک هکتار نیم ساعت و برای محلول‌پاشی در یک هکتار، ۲۰ دقیقه زمان کار برای تراکتور در نظر گرفته شد). بهای سایر نهاده‌ها نیز مطابق آمارنامه وزرات جهاد کشاورزی و متناسب با قیمت فاکتورهای خرید استخراج شد. هزینه نهاده‌هایی که برای همه تیمارها یکسان بود، در محاسبات لحاظ نشد. به‌منظور ارزیابی اقتصادی تیمارها از روش بودجه‌بندی جزئی استفاده شد (۳۹) که در آن افزایش یا کاهش احتمالی در درآمد و هزینه تیمارها محاسبه و آنگاه تفاوت تیمارها از نظر اقتصادی یا غیر اقتصادی بودن بررسی می‌شوند. برای این منظور محاسباتی نظیر: الف)

نتایج و بحث

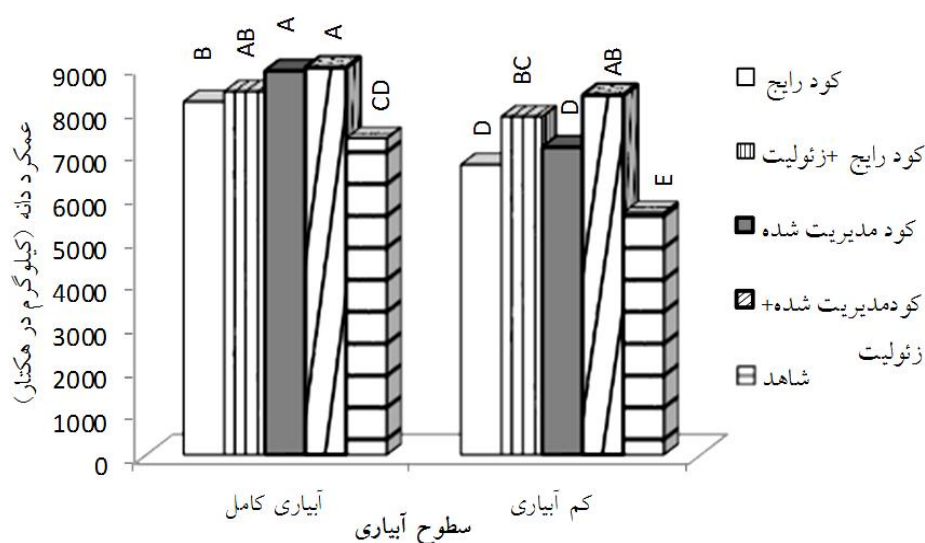
عملکرد دانه

ابتدا تجزیه واریانس برای هر سال به‌طور مستقل انجام و میانگین مربعات خطاهای دو سال به‌روش F_{max} بررسی شدند. نتایج نشان داد که برای صفات مورد بررسی، واریانس‌های خطای یکنواخت و به‌صورت مرکب قابل تجزیه بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه نشان داد که کم‌آبیاری، کود، رقم، اثر برهم‌کنش کم‌آبیاری در سال، رقم در سال، کم‌آبیاری در کود در سال و کم‌آبیاری در رقم در سال، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۴). با توجه به معنی‌دار شدن اثر برهم‌کنش سال با کم‌آبیاری در کود و کم‌آبیاری در رقم، مقایسه میانگین برای این اثرات به‌طور مستقل در هر سال جداگانه انجام شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد دانه در تنش کمبود آب ناشی از اجرای کم‌آبیاری دچار کاهش شد (جدول ۵). این موضوع در پژوهش‌های دیگران نیز گزارش شده است، از جمله پاک‌نژاد و همکاران (۳۱) در آزمایشی اعلام کردند که تنش خشکی بر عملکرد دانه و کلیه اجزای عملکرد دو هیبرید ذرت اثر معنی‌داری داشت و شدت اثر آن متناسب با شدت تنش بود. چاپمن و همکاران (۸) نیز کاهش ۱۷ درصدی عملکرد دانه ذرت را برای تنش‌های متوسط و کاهش ۸۰ درصدی عملکرد را برای تنش‌های شدید خشکی اعلام کردند. شیوه مصرف کود تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت و بیشترین عملکرد دانه در تیمار کود توصیه شده + زئولیت و بدون تفاوت معنی‌دار با کوددهی توصیه شده و کود دهی رایج + زئولیت مشاهده شد. کمترین عملکرد دانه از تیمار شاهد (بدون مصرف کود) و پس از آن از کوددهی رایج با تفاوت معنی‌دار از سایر تیمارها حاصل شد (جدول ۵). قاسمی پیربلوطی و همکاران (۱۴) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه در ذرت تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن قرار گرفت. نیتروژن با بهبود بخشیدن رشد رویشی، مواد ذخیره‌ای مورد نیاز برای تولید عملکرد دانه فراهم کرده و با انتقال این مواد ذخیره‌ای به سمت دانه، عملکرد دانه افزایش می‌یابد. از طرفی حضور نیتروژن در زمان گل‌دهی موجب بهتر شدن

باروری گل‌ها شده و تعداد دانه حاصل از یک بلال افزایش یافته است و تأثیر مثبت بر عملکرد دانه می‌گذارد. با توجه به اینکه تفاوت تیمار کوددهی رایج و مدیریت شده تنها در نحوه در اختیار گذاشتن کودها بود و میزان کود تفاوتی نداشت، می‌توان نتیجه گرفت که در کود رایج همه کود ارائه شده مورد استفاده گیاه قرار نمی‌گیرد و با مدیریت نحوه مصرف کود می‌توان بدون تغییر در مصرف کود برای ذرت، اجزای عملکرد و درنهایت عملکرد را بهبود بخشید. همچنین مصرف زئولیت در هر دو شیوه مصرف کود می‌تواند موجب بهبود اجزای عملکرد و عملکرد شود که این موضوع نشانگر ویژگی‌های اصلاحی این ماده در حفظ عناصر و تحویل تدریجی آن به گیاه است. زئولیت علاوه بر افزایش رطوبت خاک، از طرق مختلف از جمله افزایش کارایی کودها، جذب و آزاد کردن عناصر غذایی متناسب با نیاز گیاه، تثبیت فلزات سنگین و بهبود شرایط تهویه‌ای خاک می‌تواند منجر به بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه گیاه شود (۲۶). افزایش عملکرد دانه و علوفه گیاه ذرت و سورگوم همزمان با مصرف زئولیت در خاک مزرعه توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (۲۷). میزان عملکرد دانه در دو رقم مورد استفاده در این آزمایش تفاوت معنی‌داری داشت و این تفاوت در اجزای عملکرد صرفاً برای تعداد ردیف در بلال و تعداد بلال در مترمربع و وزن بلال معنی‌دار بود. عملکرد رقم ۷۰۴ بیشتر از رقم ۲۶۰ بود که این موضوع مربوط به طولانی‌تر بودن دوره رشد این رقم بود (جدول ۵). در سایر منابع نیز این موضوع گزارش شده است (۲۹). تغییر عملکرد هر دو رقم در شرایط کم‌آبیاری مشابه بود، یعنی هر دو دچار افت عملکرد دانه شدند ولی این افت برای رقم ۷۰۴ کمتر از رقم ۲۶۰ (۲۱ در برابر ۲۳ درصد) بود. این موضوع نشان می‌دهد که رقم دیررس شرایط کم‌آبیاری را بهتر از رقم زودرس تحمل می‌کند. شیرین‌زاده و همکاران (۳۸) طی پژوهشی برای انتخاب ارقام ذرت دیررس، متوسط و زودرس ذرت در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کردند که هیبرید ۷۰۴ (رقم دیررس) از عملکرد دانه بالایی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش برخوردار بود و متحمل‌ترین هیبرید در شرایط تنش رطوبتی

افزایش پتاسیم از صفر به ۷۵ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در بلال و شاخص برداشت می‌شود. نکته دیگری که می‌توان از این نتیجه به دست آورد، تأثیر مثبت ژنولیت بر حفظ عملکرد دانه ذرت در شرایط کم‌آبیاری است. در شرایط کم‌آبیاری بیشترین عملکرد دانه ارقام ذرت از تیمار مصرف کود توصیه شده + ژنولیت حاصل شد (ارقام ۷۰۴ و ۲۶۰ به ترتیب ۷۹۳۴/۳ و ۷۷۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار) که نسبت به تیمار کود توصیه شده + ژنولیت در شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۷ و ۱۵ درصد کاهش داشتند، در حالی که این افت در تیمار کود توصیه شده بدون مصرف ژنولیت در شرایط کم‌آبیاری حدود ۲۶ و ۲۳ درصد بود (جدول ۵). این موضوع نشان‌دهنده حفظ آب و عناصر غذایی توسط ژنولیت بود و باعث می‌شود گیاه در شرایط کم‌آبی از آب حفظ شده توسط ژنولیت بهره گرفته و باعث جلوگیری از افت عملکرد آن شود. این نتایج با پژوهش ماهرخ و عزیز (۲۲) تطابق دارد. آنها گزارش کردند مصرف ۱۲ تن در هکتار ژنولیت در زراعت ذرت دانه‌ای برای حفظ رطوبت اطراف محیط ریشه و صرفه‌جویی در مصرف آب (به میزان ۱۲/۹ درصد) قابل توصیه است. مصرف ژنولیت بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده و بنابراین گیاهان از آب در دسترس بهتر بهره می‌گیرند و عملکرد دانه بیشتری تولید می‌کنند. خاشعی سیوکی و همکاران (۲۱) نیز نشان دادند که مصرف ژنولیت بر تمام صفات اندازه‌گیری شده ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ از جمله ارتفاع بوته، درصد پروتئین کل برگ و ساقه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت. آنها اعلام کردند که مصرف هشت گرم ژنولیت در هر کیلوگرم خاک با ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی، بالاترین بهره‌وری آب را در گیاه ذرت داشت. یوسفی و سپاسخواه (۴۴) تأثیر مصرف ژنولیت کلسیمی و منیزی را بر نگهداشت نیترات و آمونیوم در خاک در شرایط رطوبت اشباع بررسی و گزارش کردند که مقدار کل یون نیترات خارج شده از خاک در تیمارهای صفر ۲، ۴ و ۸ گرم ژنولیت در کیلوگرم خاک به ترتیب ۹۰، ۸۷/۷ و ۷۴/۷ و ۶۳ درصد از مقدار اضافه شده به خاک بود. با این وجود موضوع قابل توجه بی‌تأثیر

شناخته شد و در هر سه حالت تنش کم‌آبی: قطع آب در مرحله رویشی، قطع آب در مرحله گل‌دهی و قطع آب در مرحله پرشدن دانه، رقم ۷۰۴ رقم برتر بود. رفتار هر دو رقم در مواجهه با تیمارهای کودی نیز تا حد زیادی مشابه بود. بررسی اثرات متقابل آبیاری و تیمارهای کودی بر عملکرد دانه ذرت نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از برهم‌کنش کود توصیه شده به علاوه ژنولیت و آبیاری کامل به دست آمد (۸۸۷۰ کیلوگرم در هکتار)، ولی این عملکرد با عملکرد حاصل از برهم‌کنش اثر کود توصیه شده در آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد دانه در تیمار کم‌آبیاری و بدون مصرف کود حاصل شد (۵۲۰۷ کیلوگرم در هکتار) که با عملکرد حاصل از برهم‌کنش کود رایج و کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت. عملکرد دانه ذرت حاصل از مصرف کود رایج و کود رایج + ژنولیت در آبیاری کامل با عملکرد دانه مصرف کود رایج + ژنولیت و کود توصیه شده + ژنولیت در کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). از این موضوع نتیجه گیری می‌شود که با فراهمی کود، گیاه کمتر تحت تأثیر مخاطرات کم‌آبیاری قرار می‌گیرد، چون یکی از عوامل مؤثر بر پاسخ فیزیولوژیکی گیاهان به کمبود آب، در دسترس بودن مواد معدنی است. طریق‌الاسلامی و همکاران (۴۱) در پژوهشی گزارش کردند که افزایش کود نیتروژن از ۸۰ به ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، باعث افزایش چشمگیری در شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه ذرت شد و نتیجه گرفتند که بخش عمده‌ای از حفظ عملکرد دانه در نتیجه تخفیف اثرات تنش خشکی توسط کود نیتروژن، مربوط به بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک ذکر شده بوده است. دلیل تأثیر مثبت نیتروژن بر عملکرد گیاهان در شرایط کم‌آبی بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی و جذب خالص تحت تأثیر کود نیتروژن ذکر شده است (۳۶). گزارش شده است که افزایش سطوح پتاسیم نیز اثر سوء تنش خشکی را کاهش می‌دهد. نتایج پژوهش صالحی و همکاران (۳۷) نیز نشان داد مصرف روی و پتاسیم کاهش عملکرد ذرت را در شرایط تنش خشکی را تعدیل می‌کند و



شکل ۱. اثر برهم کنش دو ساله آبیاری و کود بر عملکرد دانه ذرت.

ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

۲۵ و ۲۲ درصد بیشتر از شاهد) و پروتئین (به ترتیب ۳۰ و ۳۵ درصد بیشتر از شاهد) را داشتند (جدول ۵). با توجه به اینکه میزان فسفر، پتاس و پروتئین برگ و دانه ذرت در این تیمار با تیمار کود توصیه شده نیز تفاوت داشت، می‌توان علت این افزایش را به حضور زئولیت نسبت داد. نیتروژن و فسفر بلافاصله بعد از جوانه زدن بذر باید در اختیار گیاه قرار گیرند تا گیاه بتواند رشد ساقه، برگ‌ها و اندام‌های هوایی را آغاز کند. ناکافی بودن نیتروژن در هفته‌های اول و دوم پس از کشت تا هفته ششم باعث کاهش عملکرد پتانسیل گیاه خواهد شد (۱۶). در دسترس بودن فسفر نیز در مراحل اولیه رشد گیاه ذرت به اندازه نیتروژن حیاتی است زیرا حرکت فسفر به سمت ریشه‌های گیاه در دمای پایین خاک کاهش می‌یابد، بنابراین کمبود فسفر در اغلب موارد در مراحل اولیه فصل رشد گیاه مشاهده می‌شود (۱۰). پتاسیم عمدتاً در مرحله رشد رویشی جذب شده و اگر مقدار قابل دسترس آن مناسب باشد، به مقدار زیاد جذب می‌شود (۱۰). در مرحله رسیدگی برخلاف نیتروژن و فسفر، تنها ۲۲/۵ درصد از پتاسیم گیاه در بخش بلال و دانه تجمع می‌یابد، یعنی دانه ذرت در مرحله برداشت، حتی در عملکردهای بالا نیز پتاسیم کمی را از خاک برداشت می‌کند (۳۰)، بنابراین با توجه به اینکه تنها تفاوت

بودن زئولیت در شرایط آبیاری کامل است. مشابه نتایج پژوهش ماهرخ و عزیزی (۲۲) هرچند انتظار می‌رفت زئولیت با حفظ عناصر غذایی اثر مثبتی بر عملکرد داشته باشد، اثر زئولیت در حفظ آب نسبت به حفظ عناصر غذایی مشهودتر بود، شاید دلیل این موضوع فراهمی کامل نیاز کودی ذرت در تیمارهای کودی باشد. همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود زئولیت در هر دو شیوه رایج و توصیه شده در تیمار آبیاری کامل باعث افزایش جزئی عملکرد شد ولی این افزایش در حدی نبود که تفاوت معنی داری را با عدم مصرف زئولیت نشان دهد. از طرف دیگر چون در این پژوهش آبیاری به شیوه قطره‌ای بود و آب به میزان مورد نیاز مصرف شد، شاید شستشوی عناصر محلول در آب چندان زیاد نبود و عناصر از محدوده ریشه خارج نشده و اثر زئولیت در حفظ عناصر غذایی محلول چشمگیر نبود.

محتوای نیتروژن، پتاسیم و فسفر برگ و دانه

محتوای پروتئین، پتاسیم و فسفر برگ و دانه ارقام ذرت در دو تیمار آبیاری تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۴). برگ‌ها و دانه‌های حاصل از تیمار کود توصیه شده+ زئولیت بیشترین میزان فسفر (به ترتیب ۲۴ و ۲۵ درصد بیشتر از شاهد)، پتاسیم (به ترتیب

خشک در کیلوگرم کود بود که حدود ۳۰ درصد بیشتر از پخش سطحی کود بود (۲۳/۲۴ کیلوگرم ماده خشک در کیلوگرم کود). ارقام ذرت از نظر کارایی مصرف نیتروژن تفاوتی نداشتند. کارایی زراعی نیتروژن، فسفر و پتاس در تیمار کم آبیاری تفاوت معنی داری با آبیاری کامل نداشت (جدول ۱). گیاهان رشد یافته در تیمار کود توصیه شده + زئولیت بیشترین کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاس را داشتند (به ترتیب ۱۵، ۱۲ و ۱۶ درصد بیشتر از تیمار کود رایج) (جدول ۲).

بهره‌وری آب

تیمار کم آبیاری تفاوت معنی داری در بهره‌وری آب با آبیاری کامل نداشت، هرچند در تیمار کم آبیاری بهره‌وری آب حدود ۱۳ درصد بیشتر بود (جدول ۵). در پژوهش اسدی و اسدی (۶) که به دنبال بررسی تأثیر کم آبیاری ذرت دانه‌ای رقم ۷۰۴ با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و اعمال تنش با تیمار تأمین نیاز خالص گیاه (شاهد) و سه تیمار مکش در FC برابر ۱/۲، ۱/۵ و ۱/۸ ظرفیت زراعی مزرعه بودند، مشاهده کردند که برای تیمار شاهد بهره‌وری آب ۶/۵ درصد کمتر و حجم آب مصرفی ۱۰ درصد بیشتر از FC=۱/۲ است. گیاهان رشد یافته در تیمار کود توصیه شده + زئولیت بیشترین بهره‌وری آب را داشتند (۱/۴ کیلوگرم دانه در مترمکعب) (به ترتیب حدود ۲۵ و ۱۳ درصد بیشتر از تیمار شاهد و کود رایج). با افزایش میزان کود، بهره‌وری آب نسبت به تیمار بدون کود افزایش یافت (۱/۴ کیلوگرم در مترمکعب در مقابل ۱/۰۵ کیلوگرم در مترمکعب) و در شرایط کم آبیاری در حضور زئولیت، این روند ادامه پیدا کرد (۱/۳۷ کیلوگرم در مترمکعب برای تیمار دارای زئولیت در مقابل ۱/۲۷ کیلوگرم در مترمکعب برای تیمار بدون زئولیت)، چون اثر کم آبیاری با حضور زئولیت کاهش پیدا کرد (جدول ۵). نتایج پژوهش حاضر مشابه نتایج محمدی و همکاران (۲۵) بود که در پژوهشی با عنوان اثر کاربرد زئولیت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای گزارش کردند که مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت در حضور آبیاری کامل باعث افزایش کارایی مصرف آب

دو تیمار کود توصیه شده + زئولیت و کود توصیه شده، مربوط به حضور زئولیت بوده و میزان مصرف کود یکسان است، می‌توان نتیجه گرفت که زئولیت می‌تواند میزان دسترسی گیاه به نیتروژن، پتاس و فسفر را افزایش دهد. در تیمار کود توصیه شده، محتوای نیتروژن، پتاسیم و فسفر برگ و دانه ذرت نسبت به تیمار کود رایج بیشتر بود (۹-۷ درصد)، یعنی در کود توصیه شده، با وجود میزان یکسان کود، ریشه گیاه کود بیشتری دریافت کرده و محتوای این عناصر در برگ و دانه ذرت افزایش یافت.

کارایی مصرف کود

کارایی مصرف فسفر در سال اول تحت تأثیر کم آبیاری قرار نگرفت ولی در سال دوم این صفت در شرایط آبیاری کامل کمتر از کم آبیاری بود. کارایی مصرف نیتروژن و پتاس در تیمار کم آبیاری حدود ۲۲-۲۰ درصد کمتر از آبیاری کامل بود (جدول ۴). گیاهان رشد یافته در تیمار کود توصیه شده + زئولیت بیشترین کارایی زراعی نیتروژن، فسفر و پتاس را داشتند (حدود ۴۸-۵۰ درصد بیشتر از تیمار کودی رایج) چون در شرایطی که عناصر غذایی در دسترس گیاه کاهش پیدا کرد، واکنش گیاه در برابر مصرف کود مثبت شده و با رفع نیاز گیاه، پاسخ آن به افزایش مصرف کود کمتر شد، یعنی با مصرف بیشتر کود، هرچند عملکرد افزایش یافت، ولی نسبت افزایش عملکرد نسبت به مصرف کود کندتر بود و کارایی مصرف کود کاهش یافت. واعظی و همکاران (۴۲) نیز اعلام کردند که با افزایش مصرف کود کارایی مصرف کود در ذرت کاهش می‌یابد و با افزایش مصرف کود از ۲۵ درصد کود مورد نیاز تا ۱۰۰ درصد نیاز کودی، کارایی مصرف کود از ۳۷/۱۲ به ۲۴/۴۹ کاهش پیدا کرد. در پژوهش حاضر میزان مصرف کود در تیمارهای کودی تفاوت نداشت و تنها شیوه مصرف آن متفاوت بود و در تیمار کود توصیه شده + زئولیت، کارایی مصرف نیتروژن افزایش پیدا کرد. واعظی و همکاران (۴۲) نیز گزارش دادند که با بهبود شیوه کوددهی ذرت، کارایی مصرف کود افزایش می‌یابد و در سیستم کود آبیاری، کارایی مصرف کود به میزان ۳۲/۷۷ کیلوگرم ماده

جدول ۳. میزان مصرف کود و هزینه مصرف شده برای تهیه کود مورد نیاز تیمارهای کودی در آزمایش

فاکتورهای محاسبه‌ای / کود	مونوآمونیم فسفات	سوپرفسفات تریپل	سولفات پتاسیم خاکی	سولفات پتاسیم محلول	اوره
درصد خلوص	نیتروژن: ۱۶ فسفر: ۶۱	۴۵	۴۴	۵۰	۴۷
قیمت واحد (هزارریال)	۷۰	۱۸	۳۰	۴۵	۱۰
نیاز خالص (کیلوگرم)	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۱۵۰
میزان مصرف (کیلوگرم)	۰	۱۱۱	۲۲۷	۰	۳۲۰
هزینه کود (هزار ریال)	۰	۱۹۹۸	۶۸۱۰	۰	۳۲۰۰
نیاز خالص (کیلوگرم)	۲۵	۲۵	۵۰	۵۰	۱۵۰
میزان مصرف (کیلوگرم)	۴۱	۵۵/۵	۱۳۵/۵	۱۰۰	۱۵۳
هزینه کود (هزار ریال)	۲۸۷۰	۹۹۹	۳۴۰۵	۴۵۰۰	۳۱۵۰
تفاوت هزینه کود توصیه شده و رایج (هزار ریال)	۲۸۷۰	-۹۹۹	-۳۴۰۵	۴۵۰۰	۵۰
جمع تفاوت قیمت دو تیمار (هزار ریال)					۳۰۱۶

شبهه کودی از طریق افزایش تولید دانه ذرت پوشش داده نشد. نکته دیگر عدم تفاوت معنی دار بین تیمارهای کود رایج با تیمار شاهد (۵۹۶۲۰ هزار ریال در هکتار) بود که با وجود افزایش عملکرد ناشی از این تیمارها ولی میزان افزایش عملکرد نتوانست سود خالص متفاوت از تیمار شاهد ایجاد کند. در آزمایش رادینیک و همکاران گزارش شد که بیشترین درآمد ناخالص و خالص تولید ذرت در جنوب ایالت نبراسکای آمریکا با آبیاری کامل و مصرف ۲۵۲ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (بالاترین سطح نیتروژن) و پس از آن با آبیاری کامل و مصرف ۱۹۶ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (مقدار متداول مصرف نیتروژن توسط کشاورزان محلی) به دست آمد (۳۵). در این صفت تیمارهای مختلف آب و ارقام ذرت تفاوتی باهم نداشتند. هرچند سود ناشی از روش آبیاری کامل حدود ۳۰ درصد بیشتر از کم آبیاری بود (۶۰۹۲۷ هزار ریال در هکتار در مقابل ۴۲۷۴۰ هزار ریال در هکتار) ولی این تفاوت از نظر آماری معنی دار نبود (جدول ۵).

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط کم آبیاری بیشترین عملکرد دانه ارقام ذرت از تیمار مصرف کود توصیه شده +

تا دو درصد نسبت به تیمار بدون زئولیت شد (۱/۲۲) در برابر ۰/۹۹ کیلوگرم در مکعب)، ولی در شرایط کمبود آب تا سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل، موجب افزایش ۳۸ درصدی کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد (۱/۴) در برابر ۱/۰۳ کیلوگرم در متر مکعب). این موضوع نشان دهنده اثرات مثبت زئولیت در کاهش اثر منفی کمبود آب است.

نرخ نهایی سود (عامل کود)

پس از تعیین قیمت‌ها و محاسبه سود و هزینه تیمارها مطابق با جدول ۳ و تجزیه داده‌های اصل شده (جدول ۴) نتایج زیر به دست آمد. نرخ نهایی سود حاصل از تولید ذرت در تیمارهای کود تفاوت معنی داری داشت. بدین صورت که بیشترین سود نهایی ناشی از مصرف کود از تیمار کود رایج + زئولیت حاصل شد (۶۱۳۲۶ هزار ریال در هکتار) که با تیمار کود توصیه شده (۳۹۴۲۶ هزار ریال در هکتار) و کود توصیه شده + زئولیت (۴۱۰۹۰ هزار ریال در هکتار) تفاوت معنی دار داشت، یعنی تیمارهای دارای عامل کود توصیه شده در این آزمایش عملکرد خالص کمتری داشتند و هزینه اضافی ناشی از مصرف کودهای با انحلال بالا (نظیر مونوآمونیم فسفات و سولفات پتاسیم محلول در آب) و هزینه ماشین‌آلات و کارگر مورد نیاز برای اعمال این

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین برخی صفات ارقام ذرت در تیمارهای کم آبیاری، کود شیمیایی و ژنوتیپ

نوع نهایی سود کود هزار ریال	کارایی		فسفر دانه		پتاسیم دانه		پتاسیم برگ		فسفر برگ		کارایی		کارایی		کارایی		عملکرد دانه		تیمار
	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	مصرف آب	
۶۰۹۲۳ ^a	۱/۱۸ ^a	۸۰/۱۱ ^a	۴۲/۵۳ ^{ab}	۶/۳ ^{ab}	۰/۵۵ ^a	۱۲/۱ ^a	۶۷/۳ ^a	۲۴/۱ ^a	۱۳۴/۴ ^a	۸/۰۵ ^a	۴۴/۷ ^a	۲/۶۳ ^{ab}	۱۰/۸۵ ^a	۸۸۱ ^a	آبیاری کامل				
۴۲۷۴ ^a	۱/۳۵ ^a	۶۲/۴۸ ^a	۵۴/۵۳ ^{ab}	۴/۹۱ ^a	۰/۴۱ ^a	۱۱/۹ ^a	۵۲/۸ ^a	۲۳/۹ ^a	۱۰۵/۵ ^a	۷/۹ ^{ab}	۳۵/۱ ^{ab}	۲/۱۴ ^a	۸/۶۹ ^a	۶۳۱ ^{ab}	کم آبیاری				
۵۷۷۰ ^a	۱/۲۲ ^b	۶۸/۷۴ ^b	۴۶/۸۹ ^b	۵/۴ ^b	۰/۴۴ ^c	۹/۵ ^b	۶۷/۵ ^b	۱۹/۱ ^b	۱۳۹/۹ ^b	۶/۴ ^b	۴۵/۳ ^{ab}	۲/۳ ^c	۹/۳۷ ^c	۶۹۴ ^{bc}	کود رایج				
۳۹۴۲ ^{ab}	۱/۳۳ ^{ab}	۷۴/۲۴ ^b	۵۰/۵۳ ^{ab}	۵/۸۳ ^{ab}	۰/۴۸ ^b	۱۵/۱ ^{ab}	۷۵ ^{ab}	۳۰/۱ ^{ab}	۱۵۰ ^{ab}	۱۰/۰۴ ^{ab}	۵ ^{ab}	۲/۴۹ ^b	۱۰/۱۲ ^b	۷۴۹ ^{ab}	کود توصیه شده				
۶۱۳۲ ^{ab}	۱/۳۲ ^{ab}	۷۵/۰۱ ^a	۵۱/۱ ^a	۵/۹ ^{ab}	۰/۴۷ ^b	۱۵/۹ ^{ab}	۷۵/۸ ^{ab}	۳۱/۸ ^{ab}	۱۵۱/۸ ^{ab}	۱۰/۰۶ ^{ab}	۵۰/۶ ^{ab}	۲/۴۹ ^b	۱۰/۱۲ ^b	۷۵۸ ^a	کود رایج + ژنوتیپ				
۴۱۰۹ ^b	۱/۴ ^a	۷۶/۶۵ ^a	۵۴/۵۳ ^{ab}	۶/۱۸ ^a	۰/۵۱ ^a	۱۹/۵ ^a	۷۹/۵ ^a	۳۹/۱ ^a	۱۵۸/۹ ^a	۱۳/۰۲ ^a	۵۲/۹ ^a	۲/۶ ^a	۱۰/۸۵ ^a	۷۹۴ ^{bc}	کود توصیه شده + ژنوتیپ				
۵۹۶۲ ^a	۱/۰۵ ^c	۵۹/۸۵ ^c	۴۰/۸۴ ^c	۴/۸ ^c	۰/۳۸ ^d	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۶۹ ^d	۷/۵ ^{cd}	۶۰۴ ^{cd}	شاهد (بدون کود)				
۴۸۶۷ ^a	۱/۲۱ ^a	۶۸/۱۳ ^a	۴۶/۳۸ ^a	۵/۴ ^a	۰/۴۴ ^a	۱۳/۹ ^a	۶۲/۸ ^a	۲۷/۹ ^a	۱۱۴/۳ ^a	۹/۳ ^a	۳۸/۰۶ ^a	۲/۳۳ ^a	۹/۳۷ ^a	۷۵۲ ^{ab}	رقم زودرس (SC ۲۶۰)				
۵۴۹۸ ^a	۱/۳۲ ^a	۷۴/۴۵ ^a	۵۰/۶۸ ^a	۵/۹ ^a	۰/۴۷ ^a	۱۰/۱ ^a	۵۷/۱ ^a	۲۰/۱ ^a	۱۲۵/۶ ^a	۶/۸ ^a	۴۱/۸ ^a	۲/۴۵ ^a	۱۰/۰۵ ^a	۶۸۵ ^b	رقم دیررس (SC ۷۰۴)				

مقادیر میانگین دارای حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند (با استفاده از آزمون LSD)

اثرات کمبود آب در شرایط کم آبی را کاهش داد. با مصرف کود به شیوه مدیریت شده نیز می توان عملکرد دانه ذرت بیشتری به دست آورد، ولی این موضوع لزوماً به معنای پر سود بودن این شیوه مدیریتی نیست و برای تعیین میزان سوددهی این شیوه کوددهی، آزمایش باید در شرایط متفاوت آبی و مناطق مختلف اقلیمی کشور و در مورد ارقام دیگر ذرت نیز تکرار شود. نتایج نشان داد که استفاده از زئولیت می تواند تا حدودی به بهبود صرفه اقتصادی زراعت ذرت در منطقه کمک کند.

زئولیت حاصل شد (ارقام ۷۰۴ و ۲۶۰ به ترتیب ۷۹۳۴/۳ کیلوگرم در هکتار و ۷۷۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار). با وجود کاهش کارایی مصرف آب و کود در شرایط کم آبیاری با مدیریت مناسب کودی همراه با مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، این کاهش جبران شده و با صرفه جویی ۳۰ درصد در مصرف آب آبیاری، عملکرد دانه مناسبی از ارقام دیررس و زودرس ذرت به دست آمد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که کم آبیاری راهکار مناسبی برای مدیریت مصرف آب در کشت ذرت است و با مصرف زئولیت می توان

منابع مورد استفاده

1. Alejandro, J. P., S. E. Souki and C. Nazer. 2007. Growth, yield and nitrogen allocation of two rice cultivars under field conditions in venezuela. *Association Interciencia Caracas, Venezuela* 671-671.
2. Alfi, S. H. and F. Azizi. 2014. Effect of drought stress and using zeolite on some quantitative and qualitative traits of three maize varieties. *Research Journal of Recent Sciences* 4(2):1-7. (In Farsi).
3. Alizadeh, A. 1995. The Relationship between Water and Soil and Plant. Astan Quds Razavi. Mashhad. (In Farsi).
4. Alizadeh, O., E. Majede, H. A. Nadian, Gh. Normohamade and M. R. Amerian. 2007. Effect of water stress and different nitrogen rates on phenology, growth and development of corn. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 14(5): 116-128. (In Farsi).
5. Ansari, H. 2008. Determination of indicator depth and optimum depth of irrigation in early corn to maximize profit. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology)* 22(2):107-116. (In Farsi).
6. Asadi, R. and R. A. Asadi. 2012. Effect of Corn limited irrigation by using dip irrigation system on yield, yield components and water use efficiency. *Journal of Water Research in Agriculture* 2(26): 197-209. (In Farsi).
7. Azari, A., S. Boromand Nasab, M. Behzad and M. Moayeri. 2007. Evaluation of corn performance in T-Tape irrigation system. *Scientific Journal of Agriculture* 30(2): 81-87. (In Farsi).
8. Chapman, S. C., K. Crossa, E. Basford and P. M. Kroonenberg. 1997. Genotype by environment effects and selection for drought tolerance in tropical maize: Three - mode pattern analysis. *Euphytica* 95(1): 11-20.
9. Dehghanpour, Z. 2013. Technical Instruction of Planting, Taking Care of Plants and Harvesting Corn (Grains and Forage). Agricultural Education Publishing. Karaj. (In Farsi).
10. Dobermann, A. and D. T. Walters. 2005. Procedures for measuring dry matter, nutrient uptake, yield and components of yield in maize. Agronomy and Horticulture Department, University of Nebraska-Lincoln, USA., pp: 1-11
11. Ertek, A. and B. Kara. 2013. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 129:138-144.
12. FAO. 2015. Crops data (Area harvested, Yield and Production Quantity). Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> . Accessed 01 March. 2016.
13. Fereres, E. and M. A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58: 147-159.
14. Ghasemi Pier Baloty, A. and A. Akbari. 2002. Effect of different levels of nitrogen on harvest index, grain protein, yield components and grain yield of corn. In: Proceeding of the 7th Iranian Congress of Agriculture and Plant Breeding. Karaj. Iran. pp. 814-815. (In Farsi).
15. Gheibi, M. N., F. Asadi and M. M. Tehrani. 2014. Guidance on compilation of soil fertility and corn nutrition. Soil and Water Research Institute of Iran. Karaj. (In Farsi).
16. Girma, K., K. W. Martin, K. W. Freeman, J. Mosali, R. K. Tel, W. R. Raun, S. M. Moges and D. B. Arnall. 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliar applied phosphorus in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38(9&10): 1137-1154.
17. Heydari, N., A. Islami, A. Ghadami Firozabadi and A. Kanoni. 2006. Efficient crops in different regions of the country. In: Proceeding of the First National Conference on Irrigation and Drainage Networks. Chamran University. Ahvaz. Iran. 8: 6-14. (In Farsi).
18. Iran Agricultural Meteorology. 2015-2016. Difference in zoning is the minimum soil temperature. Available online

- at: http://agro.irimo.ir/far/web_directory/ . Accessed 20 March. 2017 .
19. Iran -Alborz Agricultural Organization. 2017. Alborz Provincial Statistics and Information (The cost of corn production) Available online at: <http://alborz.maj.ir/Index.aspx?page>. Accessed 3 March. 2017.
 20. Jha, V. K. and Sh. Hayashi. 2009. Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH_4^+ retention capacity. *Journal of Hazardous Materials* 169: 29-35.
 21. Khashei Siuki, A., M. Kouchakzadeh, H. Riahi and Z. Zanganeh sirdari. 2008. Investigating the effects of natural zeolite clinoptilolite on natural trend of maize growth. In: Proceeding of the First International Zeolite Conference. Amirkabir University of Technology. Tehran. Iran. (In Farsi).
 22. Mahrokh, A. and F. Azizi. 2012. The effect of natural zeolite usage on deficit irrigation stress tolerance in maize (*Zea mays*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(2): 296-304. (In Farsi).
 23. Majd, M. M. and A. Madhaj. 2012. Effect of nitrogen levels on water use efficiency, yield and yield components of corn grain in optimal conditions and drought stress. *Journal of Iranian Agricultural Research* 10(3): 546-554. (In Farsi).
 24. Marofi, S., M. Shakarami, Gh. Rahimi and F. Ershadfath. 2015. Effect of wastewater and compost on leaching nutrients of soil column under basil. *Agricultural Water Management* 158: 266-276 .
 25. Mohammadi, M., H. Molavi, A. Liaghat and M. Parsi Nejad. 2013. Application effect of zeolite on water function and efficiency of maize. *Journal of Water Research in Agriculture* 27(1): 67-75. (In Farsi).
 26. Mumpton, F. 1999. Uses of natural zeolite in agriculture and industry. *National Academy of Sciences* 96: 3467-3470 .
 27. Naseri, M., M. Khalatbari and F. Paknejad. 2012. Evaluate the effect of different ranges zeolite consuming on yield and yield component and physiological characteristics of grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Var. Kimiya under water deficit stress. *Annals of Biological Research* 3(7): 3547-3550. (In Farsi).
 28. Oktem, A., M. Simsek and A. G. Oktem. 2003. Deficit irrigation effects on sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region. Water-yield relationship. *Journal of Agricultural Water Management* 61: 63-74 .
 29. Oluwaranti, A., M. A. B. Fakorede and F. A. Adeboye. 2011. Maturity groups and phenology of maize in a rainforest location. *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 4(1): ISSN (Online). 1473-2319.
 30. Overman, A. R. and R. V. Scholtz. 2011. Accumulation of biomass and mineral elements with calendar time by corn: application of the expanded growth model. *PLoS One Journal* 6(12): 100-137.
 31. Paknezhad, F., S. Wazan, J. Ajeli, M. Mirakhoori and M. Nasri. 2006. Effect of drought stress and irrigation methods on yield and yield components of two corn hybrids. *Journal of Modern Agricultural Science* 6(18): 17-26. (In Farsi).
 32. Rafael, F., H. Munoz, G. Ramon, G. Guevara, M. Luis, M. Contreras, T. P. Irineo, P.O. Juan and V. O. V. Rosalia. 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: Advantages, Disadvantages and Recent Advances. *Sensors Open Access Journal* 13: 10823-10843.
 33. Raun, W. R. and G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal* 91: 357-363.
 34. Reha kova, M., S. Uvanova, M. Dziva, J. Rima, Z. Gaval. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Solid State and Materials Science* 8: 397- 404.
 35. Rudnick, D., S. Irmak, M. Asce, R. Ferguson, T. Shaver, K. Djaman, G. Slater, A. Bereuter, N. Ward, D. Francis, M. Schmer, B. Wienhold and S. V. Donk. 2016. Economic return versus crop water productivity of maize for various nitrogen rates under full irrigation, limited irrigation, and rain fed setting in south central Nebraska. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142: 1-12.
 36. Sajedi, N. and A. Ardekani. 2008. Effect of nitrogen fertilizer, iron on the physiological indices forage maize in central provinces. *Iranian Agricultural Research* 6(1): 99-110. (In Farsi).
 37. Salehi, R., A. Maleki and H. Dehghanzadeh. 2012. The effect of potassium and zinc on yield and yield components of corn SC704 under section irrigation stress. *Crop Production in Environmental Stresses* 3: 59-70. (In Farsi).
 38. Shirinzadeh, A., R. Zarghami and M. R. Shiry. 2009. Evaluation of drought tolerance in late and medium maturity maize hybrids using stress tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Science* 10(4): 416- 427. (In Farsi).
 39. Soltani, Gh. R., B. Najafi and G. Turkmani. 1991. Management of Agricultural Unit. Shiraz University Publications. Shiraz. Iran. (In Farsi).
 40. Stoll, M. and I. Saab. 2010. Maximizing corn emergence and uniformity in high-residue fields. *Crop Insights*. 20(10): Online at :<https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/library/template.CONTENT/guid.683D3EA0-72C2-7087-4675-9F0C0245261E>
 41. Tariq al-islami, M., M. Mashhadi, M. Ovisi, R. Zarghami and A. Bojjar. 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 8(1): 161-174. (In Farsi).
 42. Vaezi, A. R., M. Homaei and M. J. Malakoti. 2002. Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use

- efficiency on forage corn. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 16(2): 152-160. (In Farsi).
43. Yadav, R. L. 2003. Assessing on-farm efficiency and economics of fertilizer N, P and K in rice wheat systems of India. *Field Crops Research* 18: 39-51.
44. Youssefi, P. H. and A. S. Spashkhah. 2004. Effect of zeolite application on nitrate and ammonium conservation in soil under saturated moisture content. *In: Proceeding of the 9th Iranian Congress of Soil Science*. Soil Conservation and Watershed Management Research Center. Tehran. Iran. pp. 264-266. (In Farsi).

Effect of Nutrition Management and Application of Zeolite on Fertilizer Use Efficiency and Water Productivity in Two Maize Cultivars (*Zea mays* L.) under Deficit Irrigation Conditions

M. H. Ghodsi¹, M. Esfahani^{2*}, M. M. Tehrani³ and A. Aalami⁴

(Received: April 20-2019; Accepted: June 18-2019)

Abstract

To investigate the effect of nutrition management along with zeolite application on the fertilizer use efficiency and irrigation water productivity of two cultivars of maize under deficit irrigation conditions, a field experiment was carried out. The experiment was conducted at Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran, in 2015 and 2016, in the form of a factorial split plot layout based on a randomized complete block with three replications. Experimental treatments included: two levels of irrigation: full irrigation (I1) and low irrigation (70% full irrigation) (I2) as the main factor, and the factorial combination of fertilizer application at five levels; 1- conventional application of fertilizer (F1), 2- conventional application of fertilizer + 10 tons of zeolite per hectare from the source of clinoptilolite (F2), 3 - fertilizer application according to the recommended method (F3), 4. fertilizer application in the recommended method and 10 tons of zeolite per hectare from the source of clinoptilolite (F4), 5- control (without fertilizer) (F5) and maize cultivars: late maturity (Cross-704) (C1) and early maturity (C-Fajr) (C2) was considered as the sub-factor. The results showed that deficit irrigation reduced the grain yield of maize (17% and 20%, respectively, in Fajr and 704). The effect of fertilizer application on all plant traits was, therefore, significant in this study. Under deficit irrigation conditions, the highest grain yield of corn varieties was obtained from the recommended fertilizer application + zeolite (cultivars 704 and 260 produced 7934.3 and 7793.8 kg/ha, respectively), but it was decreased by 7% and 15%, respectively, as compared to the recommended application of fertilization + zeolite (cultivars 704 and 260 varieties produced 8180 and 9170.29 kg ha⁻¹, respectively) under full irrigation condition. The results showed that using an appropriate fertilizer management with the consumption of 10 tons per hectare of zeolite, may lead to saving 30 percent in irrigation water consumption (about 2100 m³ per hectare) and obtaining good grain yield.

Keywords: Irrigation, Maize, Zeolite, Nutritional management, Water productivity, Fertilizer use efficiency

1, 2, 4. PhD. Student, Professor and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan, Guilan, Iran.

3. Assistant Professor, Research Department of Chemistry, Soil Fertility and Plant Nutrition, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran

*: Corresponding Author, Email: esfahani@guilan.ac.ir