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

به‌منظور 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 به‌صورت 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) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریل پنج سطح کودی(شیوه رایج زارعین منطقه، شیوه رایج به‌علاوه ۱۰ تن در هکتار زئولیت از منبع کلینوپتیلولیت، شیوه توصیه شده، شیوه توصیه شده به‌علاوه 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)) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه ارقام ذرت شد (۱۷ و ۲۰ درصد به‌ترتیب 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 به‌ترتیب ۷۹۳۴/۳ و ۷۷۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار) که نسبت به تیمار کود توصیه شده + زئولیت در شرایط آبیاری کامل به‌ترتیب 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 به‌دست آورد.

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

۱، ۲ و ۴. به‌ترتیب 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

ذرت (*Zea mays* L.) با تولید۱۱۰۰/۲ 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 به‌طور 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). کم‌آبیاری به‌عنوان 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). کم‌آبیاری 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 کم‌آبیاری با تیمارهایی با میزان تنش به‌ترتیب 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 به‌دلیل هدررفت آن از طریق نیترات‌زدایی، آبشویی و تصعید آمونیوم است. این هدررفت نه تنها منجربه کاهش کارایی استفاده از نیتروژن می‌شود، بلکه یکی از دلایل آلودگی محیط زیست به‌دلیل استفاده نادرست از کودهای شیمیایی به‌ویژه 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 کم‌آبیاری 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 به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آبیاری در دو سطح؛ آبیاری کامل (I1)، کم‌آبیاری شامل ۷۰ درصد آبیاری کامل (I2) به‌عنوان کرت اصلی و ترکیب فاکتوریل سطوح کودی در پنج سطح، ۱- مصرف کود به شیوه رایج زارعین منطقه (F1) ۲- مصرف کود به شیوه رایج به‌علاوه ۱۰ تن در هکتار زئولیت از منبع کلینوپتیلولیت (F2) ۳- مصرف کود به شیوه توصیه شده (F3) ۴- مصرف کود به شیوه مدیریت شده به‌علاوه ۱۰ تن در هکتار زئولیت از منبع کلینوپتیلولیت (F4) ۵- شاهد، بدون مصرف کود (F5) و ارقام ذرت شامل سینگل کراس ۷۰۴ (C1) و سینگل کراس فجر (C2) به‌عنوان 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

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

درصد ذرات خاک				ظرفیت مزرعه	نقطه پژمردگی دائم	رطوبت قابل جذب برای گیاه	بافت خاک
شن	رس	سیلت	ماده آلی	(درصد وزنی)		(درصد)	
۳۷	۲۵	۳۸	۰/۵	۲۴/۷	۱۲/۳	۱۲/۴	لومی

وزن مخصوص ظاهری	هدایت الکتریکی عصاره اشباع	اسیدیته	نیتروژن کل	فسفر	پتاس
(گرم بر سانتی‌مترمکعب)	(دسی‌زیمنس بر متر)		درصد	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
۱/۶۸	۱/۴۵	۷/۴	۰/۱۵	۲۰/۳	۲۴۵

آذین نر)، 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 نیتروژن (از منبع اوره) در چهار بخش مساوی در مراحل دومین آبیاری، ۴ تا ۶ برگی، ۱۰ برگی (قبل از ظهور گل آذین نر) و ظهور گل آذین نر 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 (مونوآمونیوم فسفات و سوپر اکسید پتاسیم) به‌صورت محلول در آب در مراحل دومین آبیاری، گرده‌افشانی و شیری شدن دانه به‌صورت محلول پاشی در مرحله ۱۰ برگی استفاده شدند. با توجه به اینکه مونوآمونیوم فسفات دارای ۱۳ درصد نیتروژن است، میزان نیتروژن موجود در این کود از نیتروژن مصرفی از منبع اوره کسر شد. برای تیمارهای دارای زئولیت به میزان۱۰ تن در هکتار، زئولیت 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 V۴) 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

۱۳۹۵ کـه طبـق اطلاعـات هواشناسـی کـرج دمـای عمـق پـنج سانتی‌متری خاک حدود ۲۵ درجه سـانتی‌گـراد بـوده و ایـن دمـا مناسب جوانه‌زنی ذرت است (۴۰)، انجام شد. زمـین آزمـایش در پاییز سـال قبـل شـخم زده شـد و در بهـار کودهـای شـیمیایی و زئولیت بر اساس نیاز هر تیمار توزیع و به‌وسیله دیسک بـا خـاک مخلوط شدند. سپس پشته‌هایی به فاصله ۷۵ سانتی‌متر ایجاد شـد. اندازه هر کرت ۲۲/۵ مترمربع (طول ۵ متر و عرض ۴/۵ متـر) در نظر گرفته و بذور در شش خط با فاصله ۱۶/۷ سانتی‌متـر (تـراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار)، روی پشته‌ها کشت شدند. در هر کپه دو بذر کاشته و پس از مرحله ۶-۴ برگی با تنک کردن، تـراکم مـورد نظر تأمین شد. دو خط اول و آخر به‌عنوان حاشیه در نظـر گرفتـه شدند و نمونه‌برداری از دو خـط وسـط صـورت گرفـت. فاصـله کرت‌ها از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متـر و فاصـله بـین بلـوک‌هـا و بـین کرت‌های اصلی مربوط به آبیاری ۲/۲۵ متـر درنظـر گرفتـه شـد. برای مبارزه با علف‌های هرز در مرحله ۶-۴ برگی وجـین دسـتی انجام شد. نیاز آبی گیاه از طریق تعیـین میـزان آب خـاک منطقـه ریشه گیاه بـه‌روش وزنـی محاسـبه شـد و آب بـه‌میـزان لازم در اختیار گیاه قرارگرفت. برای تعیین دقیق زمـان آبیـاری بـرای هـر تیمار، با گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری به‌صـورت روزانـه بـا استفاده از اوگر از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری شد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. پـس از رسـیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان تعیین شده، بـه‌منظـور اعمـال تیمار آبیاری از رابطه ۱، آب مورد نیاز هر تیمار محاسبه شد (۳):

$$V= (FC-\theta_m)\times \rho_b\times D_{Root}\times AE_i \qquad (۱)$$

که در آن V = حجم آب آبیـاری (مترمکعـب)، FC = درصـد رطوبت وزنـی خـاک در حـد ظرفیـت زراعـی، θ_m = درصـد رطوبـت وزنـی خـاک قبـل از آبیـاری، ρ_b = وزن مخصـوص ظاهری خاک (گرم برسانتی‌متر مکعب)، A = مساحت آبیـاری شـده (مترمربـع)، D_{Root} = عمـق توسـعه ریشـه (متـر) و E_i = راندمان آبیاری است. آبیاری به‌صـورت قطـره‌ای انجـام شـد. برای آبیاری از نوارهای آبیاری قطره‌ای دارای قطر داخلـی ۱۶ میلی‌متر و با فاصله قطره‌چکان‌های ۲۰ سانتی‌متر استفاده شـد. دبی خروجی نوارها ۰/۹ لیتر در ساعت، به‌ازای هر قطره‌چکان با فشار ۰/۸ اتمسفر بود. یک نوار در بالای هر پشته قـرار 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 فلکـه بسته شده و با کم کردن دبی آب از طریق فلکه اصـلی، فشـار بـه ۰/۸ اتمسفر برگردانده می‌شد تا کـرت آبیـاری کامـل آب لازم را دریافت کند. برای مدیریت بهتر تیمارها، در آبیاری اول دبی تمـام نوارها با تنظیم روی ۰/۹ لیتر به‌ازای هر قطره‌چکان، یکسان‌سازی شد. برای اطمینان از صحت عملکرد قطـره‌چکـان‌هـا، میـزان آب مصرفی در هر آبیاری با استفاده از کنتور حجمی ثبت شـد. میـزان آب مصـرفی هـر تیمـار از ابتـدا تـا انتهـای فصـل برحسـب مترمکعـب محاسـبه و بـرای محاسـبه بهـره‌وری آب (Water Productivity) از رابطه ۲ استفاده شد (۲۸).

$$W_P = \frac{Y}{I} \qquad (۲)$$

در این رابطـه، W_p= بهـره‌وری آب برحسـب کیلـوگـرم دانـه بـر مترمکعب آب مصرفی، =Y عملکرد دانـه برحسـب کیلـوگـرم در هکتار و I= حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب در هکتار اسـت. برای صورت کسر یک‌بار از زیست‌توده یا عملکـرد بیولوژیـک و یک‌بار از عملکرد دانه اسـتفاده شـد تـا بهـره‌وری آب هـم بـرای عملکـرد دانـه و هـم عملکـرد بیولوژیـک بـه‌دسـت آیـد. بـرای انـدازه‌گیـری کـارایی زراعـی (Agronomic Efficiency) کـود (نیتروژن، فسفر و پتاس) از رابطه ۳ استفاده شد(۴۳). برای تعیـین کارایی مصرف کود (Fertilizer use Efficiency) بـرای کودهـای نیتروژن، فسفر و پتاس، از رابطه ۴ استفاده شد (۱).

$$FAE = \frac{FTY - CTY}{FU} \qquad (۳)$$

$$FUE = \frac{GY}{FU} \qquad (۴)$$

که در آنFAE= کارایی زراعی کود، FTC= عملکرد تیمار کـودی، CTY= عملکـرد تیمـار شـاهد، FUE= کـارایی مصـرف کـود،

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 هرکیلوگرم 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) 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).

$$B = \frac{\triangleleft di - \triangleleft ei}{\triangleleft ei} \qquad (۵)$$

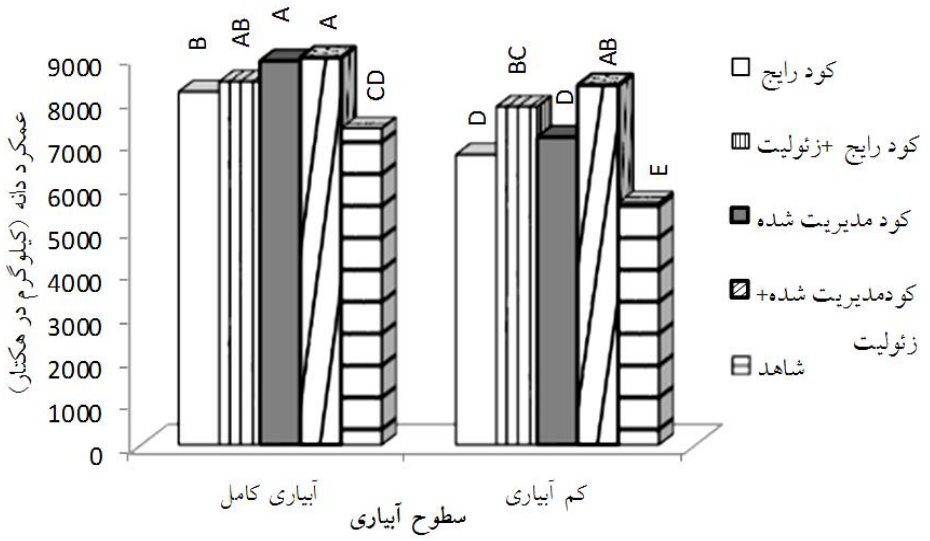
در این رابطه B نرخ نهایی سود به هزینه تیمارi ام نسبت به تیمار شاخص، Δdi منافع خالص تیمار i ام نسبت به تیمار شاخص، Δei تفاضل هزینه تیمار i نسبت به تیمار شاخص است. در پایان، تیماری که بیشترین مقدار B را داشته باشد به‌عنوان برترین تیمار انتخاب می‌شود. عملکرد دانه و بیولوژیک در مرحله رسیدن فیزیولوژیک از 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 نرم افزار EXCEL انجام شد.

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 خطا 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، 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 ۲۳درصد) 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

شناخته شد و در هر سه حالت تنش کم‌آبی: قطع آب در مرحله رویشی، قطع آب درمرحله 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 به‌علاوه زئولیت و آبیاری کامل به‌دست 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 کم آبیاری و بدون مصرف کود حاصل شد (۵۲۰۷ کیلو گرم در هکتار) که با عملکرد حاصل از برهم‌کنش کود رایج و کم آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت. عملکرد دانه ذرت حاصل از مصرف کود رایج و کود رایج + زئولیت در آبیاری کامل با عملکرد دانه مصرف کود رایج + زئولیت و کود توصیه شده + زئولیت در کم آبیاری 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 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 به‌دست آورد، تأثیر مثبت زئولیت بر حفظ عملکرد دانه ذرت در شرایط کم‌آبیاری است. در شرایط کم‌آبیاری بیشترین عملکرد دانه ارقام ذرت از تیمار مصرف کود توصیه شده + زئولیت حاصل شد (ارقام ۷۰۴ و ۲۶۰ به‌ترتیب ۷۹۳۴/۳ و ۷۷۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار) که نسبت به تیمار کود توصیه شده + زئولیت در شرایط آبیاری کامل به‌ترتیب ۷ و ۱۵ درصد کاهش داشتند، درحالی که این افت در تیمار کود توصیه شده بدون مصرف زئولیت در شرایط کم‌آبیاری حدود ۲۶ و ۲۳ درصد بود (جدول ۵). این موضوع نشان‌دهنده حفظ آب و عناصر غذایی توسط زئولیت بود و باعث می‌شود گیاه در شرایط کم‌آبی از آب حفظ شده توسط زئولیت بهره گرفته و باعث جلوگیری از افت عملکرد آن شود. این نتایج با پژوهش ماهرخ و عزیزی (۲۲) تطابق دارد. آنها گزارش کردند مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت در زراعت ذرت دانه‌ای برای حفظ رطوبت اطراف محیط ریشه و صرفه‌جویی در مصرف آب (به‌میزان ۱۲/۹ درصد) قابل توصیه است. مصرف زئولیت 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 زئولیت بر تمام صفات اندازه‌گیری شده ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس۷۰۴ از جمله ارتفاع بوته، درصد پروتئین کل برگ و ساقه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت. آنها اعلام کردند که مصرف هشت گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک با ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی، بالاترین بهره‌وری آب را در گیاه ذرت داشت. یوسفی و سپاسخواه (۴۴) تأثیر مصرف زئولیت کلسیمی و منیزیمی 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 زئولیت در کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۹۰، ۸۷/۷، ۷۴/۷ و ۶۳ درصد از مقدار اضافه شده به خاک بود. با این وجود موضوع قابل توجه بی‌تأثیر



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

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

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 معنی‌داری را با عدم مصرف زئولیت نشان دهد. از طرف دیگر چون در این پژوهش آبیاری به شیوه قطره‌ای بود و آب به‌میزان 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 معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). برگ‌ها و دانه‌های حاصل از تیمار کود توصیه شده+ زئولیت بیشترین میزان فسفر (به‌ترتیب ۲۴ و ۲۵ درصد بیشتر از شاهد)، پتاسیم (به‌ترتیب ۲۵ و ۲۲ درصد بیشتر از شاهد) و پروتئین (به‌ترتیب 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 درعملکردهای بالا نیز پتاسیم کمی را از خاک برداشت می‌کند (۳۰)، بنابراین با توجه به اینکه تنها تفاوت

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 کم‌آبیاری قرار نگرفت ولی در سال دوم این صفت در شرایط آبیاری کامل کمتر از کم‌آبیاری بود. کارایی مصرف نیتروژن و پتاس در تیمار کم‌آبیاری 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 ۵۰-۴۸ 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 از۳۷/۱۲ به۲۴/۴۹ 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 کودآبیاری، کارایی مصرف کود به میزان ۳۲/۷۷ کیلوگرم ماده 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 کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل نداشت (جدول ۱). گیاهان رشد یافته در تیمار کود توصیه شده + زئولیت بیشترین کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاس را داشتند (به‌ترتیب ۱۵، ۱۲ و ۱۶ درصد بیشتر از تیمار کود رایج) (جدول ۲).

بهره‌وری آب

تیمار کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری در بهره‌وری آب با آبیاری کامل نداشت، هرچند در تیمار کم‌آبیاری بهره‌وری آب حدود ۱۳ درصد بیشتر بود (جدول ۵). در پژوهش اسدی و اسدی (۶) که به‌دنبال بررسی تأثیر کم‌آبیاری 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 ۱۰درصد 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) (به‌ترتیب 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 کم‌آبیاری 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 کم‌آبیاری 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

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

فاکتورهای محاسبه‌ای / کود		مونوآمونیوم 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
کود رایج در هکتار	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
کود توصیه شده در هکتار	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		

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 مترمکعب). این موضوع نشان‌دهنده 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 به‌دست آمد. نرخ نهایی سود حاصل از تولید ذرت در تیمارهای کود تفاوت معنی‌داری 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 معنی‌دار 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 مونوآمونیوم فسفات و سولفات پتاسیم محلول در آب) و هزینه ماشین‌آلات و کارگر مورد نیاز برای اعمال این شیوه کودی از طریق افزایش تولید دانه ذرت پوشش داده نشد. نکته دیگر عدم تفاوت معنی‌دار 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 رادنیک 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) به‌دست 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 کم‌آبیاری بود (۶۰۹۲۷ هزار ریال در هکتار در مقابل ۴۲۷۴۰ هزار ریال در هکتار) ولی این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

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

جدول۴. نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به ارقام ذرت در تیمارهای کم‌آبیاری، کود شیمیایی و زئولیت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات													
		عملکرد دانه	محتوای پروتئین دانه	محتوای پروتئین برگ	کارایی مصرف نیتروژن	کارایی زراعی نیتروژن	محتوای فسفر دانه	فسفر برگ	کارایی مصرف فسفر	کارایی زراعی فسفر	محتوای پتاسیم دانه	پتاسیم برگ	کارایی مصرف پتاس	کارایی زراعی پتاسیم	کارایی مصرف آب	نرخ نهایی سود کود
سال	۱	۱ ns	۸/۳۱ **	۰/۳ **	۰/۷۸ *	۱۰۰۱/۲ *	۴/۱ ns	۰/۰۳ ns	۱۹/۲ **	۹۰۰۹/۹ *	۲۱۷/۱ ns	۱۴۴۳/۶ **	۳۱۱۵/۷ **	۳۱۰۴/۳ **	۵۴/۳ ns	۵۶۲۴۶/۷ **
سال× بلوک	۴	۱/۳ **	۰/۰۱ **	۰/۱ **	۶۷/۴ **	۱۳۲/۵ **	۰/۰۰۴ **	۰/۸۲ **	۶۰۶/۶ **	۱۱۹۲/۱ **	۶۱ **	۱۳۱/۷ **	۱۳۲/۲۹ **	۲۹۸ **	۰/۰۵ **	۱۳۶۰۳۰۴۴۳ **
عامل آب	۱	۹۵/۳ **	۳/۱۴ ns	۷/۱۵ ns	۲۷۸۰/۷ ns	۰/۲ ns	۰/۲۶ ns	۵۷/۷ ns	۲۵۰۲۷/۴ ns	۲/۲ ns	۴۳۲۳/۷ ns	۹۳۲۹/۴ ns	۹۷۳۹/۸ ns	۰/۵ ns	۰/۸۷ ns	۹۹۲۳۶۸۲۰۰۰ ns
سال × عامل آب	۱	۹/۱ **	۰/۱۳ *	۰/۲۳ ns	۴۱۴/۹ **	۳۳۷/۴ ns	۰/۰۰۹ ns	۵/۵ *	۳۷۳۴/۱ *	۳۰۳۸/۵ ns	۴۱۴/۵ **	۸۹۴/۷ *	۹۷۹/۸ *	۷۵۹/۵ ns	۰/۹۱ *	۱۲۱۹۷۶۰۶۸۵ *
بلوک× آب× سال	۴	۱/۱ *	۱/۰۱ ns	۰/۱۵ **	۳۲/۹ **	۱۰۱/۳ **	۰/۰۰۵ **	۰/۶۶ *	۲۹۶/۳ *	۹۱۲ **	۴۹/۲ *	۱۰۶/۱ *	۱۱۳/۷ **	۲۲۸ **	۰/۰۵ **	۱۰۶۱۳۹۵۲۹ **
عامل کود	۴	۱۳/۱ **	۰/۶۱ **	۱/۵۴ **	۱۲۱۱۹ **	۶۱۶/۹ **	۰/۰۵۵ **	۷/۹۴ **	۱۰۹۰۷۳ **	۵۵۵۳/۳ **	۵۹۴/۹ **	۱۲۸۳/۸ **	۱۳۸۸/۳ **	۱۳۸۸/۳ **	۰/۴۵ **	۲۷۲۷۳۵۱۰۱۲ **
سال× کود	۱	۰/۳۶ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۵ ns	۷۴/۷ **	۱۳/۶ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۲۱ ns	۶۷۱/۷ **	۱۲۲/۲ ns	۱۶/۲ ns	۳۴/۹ ns	۳۰/۵ ns	۳۰/۵ ns	۰/۰۱ ns	۷۱۷۴۷۹۷۶ *
عامل رقم	۴	۱۲/۲ **	۰/۳ ns	۰/۵۵ ns	۴۳۸ ns	۲۰۱/۸ ns	۰/۰۲۲ ns	۷/۴ ns	۳۹۴۰/۴ ns	۱۸۱۶/۲ ns	۵۵۵/۳ **	۱۱۹۸/۵ ns	۱۱۴۹/۶ ns	۴۵۴ ns	۰/۳۴ ns	۱۱۹۵۱۹۶۱۳۶ ns
سال× رقم	۱	۴/۵ **	۰/۰۶ **	۰/۱۱ *	۱۲۵/۵ **	۶/۹ ns	۰/۰۰۴ *	۲/۶۶ **	۱۲۲۸/۸ **	۶۲/۳ ns	۲۰۱/۷ **	۴۳۵/۷ **	۴۰۰/۵ **	۱۵/۶ ns	۰/۰۶ *	۴۵۰۸۶۰۲۱۰ **
آب × کود	۴	۱/۸ *	۰/۰۷ ns	۰/۱۸ ns	۲۵۰/۹۸ ns	۷۷/۲ ns	۰/۰۰۶ *	۱/۰۷ ns	۲۲۵۹ ns	۶۹۴/۹ ns	۸۰/۵۶ ns	۱۷۳/۷۲ ns	۱۷۳/۷ ns	۱۷۳/۷ ns	۰/۰۷ ns	۱۷۵۲۹۲۴۱۲ ns
سال × آب× کود	۴	۱/۱ *	۰/۰۱ *	۰/۰۳ **	۴۴/۶ **	۳۹/۸ *	۰/۰۰۰۸ ns	۰/۶۵ *	۴۰۱/۴ **	۳۵۷/۹ *	۴۸/۸ *	۱۰۵/۴ *	۸۹/۴۸ *	۸۹/۵ *	۰/۰۴ **	۹۱۵۸۱۵۹۷ **
آب × رقم	۱	۰/۸۷ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۵ ns	۴۹/۸ ns	۵۷ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۵۲ ns	۴۴۸/۷ ns	۵۱۲/۷ ns	۳۹/۵ ns	۸۵/۳ ns	۱۰۸/۳ ns	۱۲۸/۲ ns	۰/۰۱ ns	۱۳۶۳۹۴۷۰۲ ns
سال × آب× رقم	۴	۱۱/۲ **	۰/۱۲ **	۰/۲۵ **	۴۳۱/۸ **	۱۳۷/۴ **	۰/۰۱۱ **	۸/۶ **	۳۸۸۵/۶ **	۱۲۳۶/۷ **	۵۰۸/۹ **	۱۰۹۷/۹ **	۱۱۹۴/۶ **	۳۰۹/۲ **	۰/۳۲ **	۱۲۱۵۷۲۱۳۸۷ **
کود× رقم	۴	۰/۳ ns	۰/۰۱ *	۰/۰۳ *	۳۲/۹۹ ns	۱۸/۳ ns	۰/۰۰۰۸ *	۰/۱۸ ns	۲۹۶/۸ ns	۱۶۴/۱ ns	۱۳/۶ ns	۲۹/۳ ns	۴۱/۰۲ ns	۴۱ ns	۰/۰۱ ns	۴۱۸۰۶۱۷۹ ns
سال × کود× رقم	۱	۰/۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۱۰/۶ ns	۳/۲ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۴ ns	۹۵/۵ ns	۲۸/۹ ns	۲/۹۵ ns	۶/۴ ns	۷/۲ ns	۷/۲ ns	۰/۰۰۳ ns	۸۲۲۱۵۲۱ ns
آب × کود× رقم	۴	۰/۲۳ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۶ ns	۶/۱ ns	۶/۶ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۱۴ ns	۵۴/۹۶ ns	۵۹ ns	۱۰/۲۹ ns	۲۲/۲۳ ns	۱۴/۷ ns	۱۴/۷ ns	۰/۰۰۴ ns	۱۶۰۲۲۰۹۶ ns
سال× آب× کود× رقم	۴	۰/۳۶ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۱۴ ns	۲۹/۰۲ *	۱۰/۶ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۲۲ ns	۲۶۱/۲ *	۹۵/۶ ns	۱۶/۲ ns	۳۴/۹ ns	۲۳/۹ ns	۲۳/۹ ns	۰/۰۱ ns	۲۵۱۲۷۳۹۳ ns
خطا	۷۲	۰/۳	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۵	۹/۷۸	۱۵/۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۱۹	۸۷/۹۸	۱۳۵//۴	۱۳/۸	۲۹/۸۸	۲۱/۹۹	۳۳/۸۵	۰/۰۰۹	۲۸۱۱۴۲۰۴
ضریب تغییرات		۷/۷	۷/۷	۸/۵۶	۳/۷۲	۷/۸۲	۴۷/۴۷	۶/۵۲	۷/۶۷	۷/۸۲	۴۸/۴۷	۷/۶۶	۷/۷	۷/۸۲	۴۸/۴۷	-۰/۹۶۱

ns و * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین برخی صفات ارقام ذرت در تیمارهای کم‌آبیاری، کود شیمیایی و زئولیت

تیمار	عملکرد دانه	محتوای پروتئین دانه	پروتئین برگ	کارایی مصرف نیتروژن	کارایی زراعی نیتروژن	کارایی مصرف فسفر	کارایی زراعی فسفر	کارایی مصرف پتاسیم	کارایی زراعی پتاسیم	فسفر دانه	فسفر برگ	پتاسیم دانه	پتاس برگ	کارایی مصرف آب	نرخ نهایی سود کود هزار ریال
	کیلوگرم در هکتار	درصد	میکروگرم بر گرم	کیلوگرم بر کیلوگرم						میلی‌گرم بر کیلوگرم		میلی‌گرم بر گرم		کیلوگرم بر مترمکعب	
آبیاری کامل	۸۸۱۰^{a}	۱۰/۷۵^{a}	۲/۶۳^{a}	۴۴/۷۸^{a}	۸/۰۵^{a}	۱۳۴/۴^{a}	۲۴/۱^{a}	۶۷/۲^{a}	۱۲/۱^{a}	۰/۵^{a}	۶/۳^{a}	۴۲/۵۳^{a}	۸۰/۱۱^{a}	۱/۱۸^{a}	۶۰۹۲۷^{a}
کم‌آبیاری	۶۳۱۳^{b}	۸/۶۹^{a}	۲/۱۴^{a}	۳۵/۱۶^{a}	۷/۹۶^{a}	۱۰۵/۵^{a}	۲۳/۹^{a}	۵۲/۷^{a}	۱۱/۹^{a}	۰/۴۱^{a}	۴/۹۱^{a}	۵۴/۵۳^{a}	۶۲/۴۸a	۱/۳۵^{a}	۴۲۷۴۰^{a}
کود رایج	۶۹۴۷^{c}	۹/۳۷^{c}	۲/۳^{c}	۴۵/۳۱^{b}	۶/۴^{b}	۱۳۹/۹^{b}	۱۹/۱^{b}	۶۷/۵^{b}	۹/۵^{b}	۰/۴۴^{c}	۵/۴^{b}	۴۶/۷۹^{b}	۶۸/۷۴^{b}	۱/۲۲^{b}	۵۷۷۰۵^{a}
کود توصیه شده	۷۴۹۹^{a}	۱۰/۱۲^{b}	۲/۴۹^{b}	۵۰^{ab}	۱۰/۰۴^{ab}	۱۵۰^{ab}	۳۰/۱^{ab}	۷۵^{ab}	۱۵/۱^{ab}	۰/۴۸^{b}	۵/۸۳^{ab}	۵۰/۵۲^{a}	۷۴/۲۲^{a}	۱/۳۳^{ab}	۳۹۴۲۶^{b}
کود رایج+ زئولیت	۷۵۸۰^{a}	۱۰/۱۲^{b}	۲/۴۹^{b}	۵۰/۶^{ab}	۱۰/۶^{ab}	۱۵۱/۷^{ab}	۳۱/۸^{ab}	۷۵/۸^{ab}	۱۵/۹^{ab}	۰/۴۷^{b}	۵/۹^{ab}	۵۱/۱^{a}	۷۵/۰۱^{a}	۱/۳۲^{ab}	۶۱۳۲۶^{a}
کود توصیه شده+ زئولیت	۷۹۴۷^{a}	۱۰/۷۵^{a}	۲/۶^{a}	۵۲/۹۸^{a}	۱۳/۰۲^{a}	۱۵۸/۹^{a}	۳۹/۱^{a}	۷۹/۵^{a}	۱۹/۵^{a}	۰/۵۱^{a}	۶/۱۸^{a}	۵۴/۵۳^{a}	۷۶/۶۵^{a}	۱/۴^{a}	۴۱۰۹۰^{b}
شاهد(بدون کود)	۶۰۴۷^{d}	۷/۵۶^{d}	۱/۶۹^{d}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۸^{d}	۴/۷^{c}	۴۰/۷۴^{c}	۵۹/۸۵^{c}	۱/۰۵^{c}	۵۹۶۲۰^{a}
رقم زود رس(SC ۲۶۰)	۷۵۲۴^{a}	۹/۳۷^{a}	۲/۳۲^{a}	۳۸/۰۶^{a}	۹/۳^{a}	۱۱۴/۲^{a}	۲۷/۹^{a}	۶۲/۸^{a}	۱۳/۹^{a}	۰/۴۴^{a}	۵/۴^{a}	۴۶/۳۸^{a}	۶۸/۱۳^{a}	۱/۲۱^{a}	۴۸۶۷۸^{a}
رقم دیر رس(SC ۷۰۴)	۶۸۸۵^{b}	۱۰/۰۰^{a}	۲/۴۵^{a}	۴۱/۸۸^{a}	۶/۷^{a}	۱۲۵/۶^{a}	۲۰/۱^{a}	۵۷/۱^{a}	۱۰/۱^{a}	۰/۴۷^{a}	۵/۹^{a}	۵۰/۶۸^{a}	۷۴/۴۵^{a}	۱/۳۲^{a}	۵۴۹۸۹^{a}

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

زئولیت حاصل شد (ارقام۷۰۴ 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 کم‌آبیاری با مدیریت مناسب کودی همراه با مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، این کاهش جبران شده و با صرفه‌جویی ۳۰ درصد در مصرف آب آبیاری، عملکرد دانه مناسبی از ارقام دیررس و زودرس ذرت به‌دست آمد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کم‌آبیاری راهکار مناسبی برای مدیریت مصرف آب در کشت ذرت است و با مصرف زئولیت می‌توان اثرات کمبود آب در شرایط کم‌آبی را کاهش داد. با مصرف کود به شیوه مدیریت شده نیز می‌توان عملکرد دانه ذرت بیشتری به‌دست 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 می‌تواند تا حدودی به بهبود صرفه اقتصادی زراعت ذرت در منطقه کمک کند.

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 Materials1* 69: 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. Homaee 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).

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 10, No. 1, Spring 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

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. Ghodsi[1], M. Esfahani[2*], M. M. Tehrani[3] and A. Aalami[4]

(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 m^3 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