تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۰
۶۹۱-۷۰۲
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3111.1798

مقاله پژوهشی

تأثیر خاک‌ورزی، تنش کمبود آب و کود نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)

اسماعیل افشون[1*]، حسین مقدّم[2]، محمدرضا جهانسوز[3]، مصطفی اویسی[4]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه تهران، کرج
۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران، کرج
۳. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران، کرج
۴. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران، کرج

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۰۴

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تیمار کود نیتروژن و تنش کمبود آب بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی، آزمایشی در مزرعهٔ آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. خاک‌ورزی به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح (بدون خاک‌ورزی و مرسوم)، تنش کمبود آب به‌عنوان عامل فرعی (در سه سطح تأمین ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ نیاز آبی) و کود نیتروژن به‌عنوان عامل فرعی‌فرعی (در سه سطح مصرف صفر، ۵۰ و ۱۰۰٪ میزان توصیه‌شده) در نظر گرفته شدند. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بالاترین قطر ساقه (۱۹/۸ میلی‌متر) از اثر متقابل تنش کمبود آب خفیف و خاک‌ورزی مرسوم حاصل شد. بالاترین شاخص سطح برگ (۶/۰۸)، وزن خشک برگ (۴۴۱/۵۸ گرم بر مترمربع)، وزن خشک ساقه (۱۴۷۸/۲ گرم بر مترمربع)، وزن خشک کل بوته (۱۹۱۹/۹۳ گرم بر مترمربع) و وزن تر کل بوته (۶۷۳۲/۶ گرم بر مترمربع) از تنش کمبود آب خفیف، کاربرد ۱۰۰٪ کود نیتروژن توصیه‌شده در شرایط خاک‌ورزی مرسوم حاصل شد. همچنین بیشترین کارایی مصرف نیتروژن (۴۲۸/۶۸ کیلوگرم بر کیلوگرم) از اثر متقابل خاک‌ورزی مرسوم با مصرف ۵۰٪ کود نیتروژن موردنیاز گیاه در شرایط تنش کمبود آب خفیف حاصل شد. ازآنجاکه وزن تر بوته در روش بدون خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری با روش خاک‌ورزی مرسوم نداشت ولی کارایی مصرف آب بالاتری (۵/۸٪) را نشان داد، به‌منظور کاهش مصرف آب روش بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: **تنش کمبود آب، خاک‌ورزی، شاخص سطح برگ، عملکرد، کود نیتروژن**

مقدمه

از ۱۱ میلیون هکتار اراضی زراعی ایران گیاهان علوفه‌ای با دو میلیون هکتار سطح زیر کشت حدود ۲۵ درصد از تولیدات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است. ازنظر سطح زیر کشت، ذرت (Zea mays L.) در بین گیاهان علوفه‌ای با ۲۰۰ هزار هکتار بعد از یونجه (۶۵۰ هزار هکتار) در مقام دوم و ازلحاظ میزان تولید علوفه در مقام اول (۱۰/۴ میلیون تن) قرار گرفته است (Ahmadi et al., 2018).

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا مسئله خشکی، شوری و اثرات آن‌ها بر محصولات زراعی بیش از هر تنش غیر زیستی دیگری می‌بایست موردتوجه قرار گیرد. خشکی یک مشکل جهانی است که بر رشد محصولات زراعی و در ادامهٔ آن بر امنیت غذایی خطرآفرین است (Jaleel et al., 2009). این پدیده از ویژگی‌های شناخته‌شدهٔ جهانی در سطح آب‌وهوا است که به‌طور اجتناب‌ناپذیری بر کشاورزی اثر می‌گذارد. تنش کمبود

* نگارنده پاسخگو: اسماعیل افشون. پست الکترونیک: Esmaeilafshoon@ut.ac.ir

آب با تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی، رشد و نمو بافت‌های گیاهی منجر به کاهش زیست‌توده و درنهایت افت عملکرد می‌شود (Orfanou et al., 2019). سوء مدیریت آبیاری و نیتروژن به‌عنوان اساسی‌ترین عوامل کاهش‌دهندهٔ عملکرد ذرت در نظر گرفته‌شده‌اند (Norwood, 2000). گرچه وجود نیتروژن برای رشد و نمو گیاهان حیاتی است اما پاسخ رشد منفی آن‌ها به مقدار مازاد کود نیتروژن تحت شرایط تنش کمبود آب (Cabrera, 2004) باید مدنظر قرار گیرد. حفظ استقرار بهینهٔ سطح برگ به‌منظور حفظ فتوسنتز و تولید مادهٔ خشک بسیار حیاتی است (Aslam et al., 2013). کاهش شاخص سطح برگ به دنبال افزایش تنش کمبود آب (Karam, 2005) و همچنین کاهش ارتفاع بوته و وزن دانه در پی کاهش سطوح نیتروژن و افزایش شدت تنش کمبود آب (Kalamian et al., 2006) قبلاً گزارش شده است.

به‌منظور مقابله با تنش کمبود آب روش‌های مختلف مدیریت شامل، اصلاح گیاهان زراعی و روش‌های بهزراعی تاریخ کاشت مناسب، استفاده از ارقام سازگار و کشاورزی حفاظتی می‌تواند راهگشای مناسبی باشد. حدود ۱۸۰ میلیون هکتار (۱۲/۵ درصد) از زمین‌های زراعی دنیا به روش کشاورزی حفاظتی مدیریت می‌شوند، درحالی‌که از حدود ۱۱ میلیون هکتار از زمینه‌ای زراعی ایران تنها ۱۵۰ هزار هکتار به کشاورزی حفاظتی اختصاص یافته است (Kassam et al., 2019). یکی از روش‌های کشاورزی حفاظتی، شخم حفاظتی است که به‌واسطهٔ بهبود منابع آب، کربن و نیتروژن در خاک، توانایی قابل‌ملاحظه در بهینه‌سازی تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا دارد (Husnjak et al., 2002). نتایج تحقیقات مختلف در مورد کاربرد شیوه‌های خاک‌ورزی بر محصول ذرت متفاوت است به‌طوری‌که عدم معنی‌داری صفات گیاهی (ارتفاع، شاخص سطح برگ و وزن خشک) درنتیجهٔ کاربرد طولانی‌مدت روش‌های مختلف خاک‌ورزی (Ram et al., 2010)، عدم معنی‌داری اثر بی‌خاک‌ورزی بر رشد و عملکرد (Jat et al., 2006) و بهبود رشد و افزایش عملکرد در بی‌خاک‌ورزی تحت خاک‌های فشرده به دلیل تسهیل هوادهی و افزایش ظهور گیاهچه (Morrison et al., 1990)، گزارش شده است

با توجه به نقش کلیدی ذرت علوفه‌ای در تأمین نیاز دام‌های کشور و همچنین آسیب جدی این محصول از تنش کمبود آب، عدم تهیه مناسب بستر بذر و کمبود کود اوره، این پژوهش به‌منظور مطالعهٔ اثر تنش کمبود آب و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در بستر روش‌های مختلف خاک‌ورزی در کرج انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. مختصات جغرافیایی این مزرعه با ۱۳۲۱ متر ارتفاع از سطح دریا در طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی است. این منطقه دارای آب‌وهوای گرم و خشک با میانگین بارندگی ۳۰ سالهٔ حدود ۲۵۰ میلی‌متر است (Afshoon et al., 2018). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical soil properties of the experimental site

عمق نمونه‌برداری	پتاسیم قابل‌جذب	فسفر قابل‌جذب	اسیدیته	هدایت الکتریکی	بافت خاک	شن	لوم	رس	کربن آلی	نیتروژن کل	سال
Depth (cm)	**Available K (mg kg^{-1})**	**Available P (mg kg^{-1})**	**pH**	**EC (dS m^{-1})**	**Soil texture**	**Sand (%)**	**Silt (%)**	**Clay (%)**	**OC (%)**	**Total N (%)**	**Year**
0-30	125	8.3	8.4	0.97	Clay loam	25	44	31	0.76	0.09	**2018**
0-30	120	9.1	8.2	1	Clay loam	25	44	31	0.76	0.09	**2019**

آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی در این آزمایش خاک‌ورزی با دو سطح (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم) در کرت اصلی، آبیاری با سه سطح تنش

جزئی به‌عنوان شاهد، متوسط و شدید به ترتیب بر اساس ۹۰، ۶۰ و ۳۰٪ نیاز آبی (جدول ۲) در کرت‌های فرعی و مصرف کود نیتروژن در سه سطح شامل صفر،۵۰٪ و ۱۰۰٪ میزان توصیه‌شده (۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص) در کرت‌های فرعی فرعی بودند. جهت برآورد نقطهٔ ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی دائم، از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد و میزان رطوبت خاک در این نقاط محاسبه شدند. بر این اساس میزان رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب ۲۵/۳۸٪ و ۱۲/۳٪ به دست آمد. با توجه به نمونه‌برداری، جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۳ گرم بر سانتیمتر مکعب تعیین شد. برای محاسبه مقدار آب موردنیاز در هر نوبت آبیاری از رابطه ۱ استفاده گردید (Alizadeh, 2004).

$$D_N=\left[\frac{(FC-PWP)}{100}\right]\times\rho b\times D_r\times F \qquad [1]$$

که در آن، DN مقدار آب در هر آبیاری (mm)، FC درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی، PWP درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک ($gr\ cm^{-3}$)، Dr عمق مؤثر ریشه (mm) و F ضریب تخلیه رطوبت خاک (٪) هستند.

به‌منظور تشخیص زمان آبیاری از دستگاه رطوبت‌سنج خاک ساخت شرکت IMKO استفاده شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک تا عمق توسعه ریشه انجام گرفت. آبیاری با استفاده از نوارهای تیپ بافاصلهٔ نازل‌های ۲۰ سانتیمتر انجام شد. تنش در مرحلهٔ شش برگی اعمال شد. مقدار نیتروژن بهینه بر اساس آنالیز خاک مشخص گردید که منبع آن نیز کود اوره بود. با توجه به توصیه‌های کودی، کودهای فسفر (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل) و پتاسیم (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم) در زمان قبل از کاشت مصرف شد. عامل کود اوره در سه تاریخ قبل از کاشت، مرحله هشت برگی و هنگام تاسل‌دهی به خاک اضافه شدند. زمین مربوطه قبل از اعمال تیمارها، تحت کاشت جو بود. در خاک‌ورزی مرسوم ابتدا زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم و سپس دو مرحله دیسک زده شد و درنهایت برای کاشت ذرت از کارنده پنوماتیک استفاده گردید. برای کاشت ذرت در روش بدون خاک‌ورزی، با استفاده از کارندهٔ مخصوص بدون خاک‌ورزی (پنوماتیک ساخت شرکت تراشکده) اقدام به کشت مستقیم بذرها در خاک شد. در داخل هر کرت شش ردیف کشت ۱۰ متری وجود داشت. فاصله ردیف‌های کشت ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در کرت‌ها، ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف نه سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. به‌منظور کاهش خطای آزمایشی، فاصله کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. کنترل علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش نیکو سولفورون در مرحلهٔ ۴ برگی و همچنین وجین دستی در سه نوبت انجام شد. تاریخ کشت و برداشت در هردو سال آزمایش به ترتیب ۲۰ تیر و ۱۴ مهر بود.

جدول ۲. دفعات و میزان آبیاری ذرت علوفه‌ای در تیمارهای مورد آزمایش.

Table 2. Total and frequency irrigation of forage maize in the examined treatments.

سال Year	دفعات آبیاری Irrigation frequency		تنش کمبود آب Water deficiency stress	آب مصرفی Water consumption (m^3)	
	بدون خاک‌ورزی No tillage	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage		بدون خاک‌ورزی No tillage	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage
2018	26	30	تنش جزئی آب Slight water stress	6210	5372
			تنش متوسط آب Moderate water stress	3726	3223
			تنش شدید آب Severe water stress	1863	1611.6
2019	25	29	تنش جزئی آب Slight water stress	6000	5175
			تنش متوسط آب Moderate water stress	3600	3105
			تنش شدید آب Severe water stress	1800	1552.5

نمونه‌برداری طی فصل رشد

به‌منظور تعیین سطح برگ در مرحله گلدهی و وزن خشک بوته در مرحله شیری دانه، از هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه با استفاده از یک کوادرات یک مترمربعی نمونه‌برداری انجام شد و تمام بوته‌ها کفبر شدند. نمونه‌های موجود در هر کوادرات بعد از انتقال به آزمایشگاه، برگ آن‌ها جدا شدند و سطح آن‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل دلتا اندازه‌گیری شد. تمام بوته-های هر کوادرات به آون با دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد منتقل شدند و پس از ۷۲ ساعت وزن خشک برگ و ساقهٔ آن‌ها با ترازو توزین شد. کارایی مصرف نیتروژن و بهره‌وری مصرف آب به ترتیب از روابط ۲ (Guarda et al., 2004) و ۳ (Dehghanian and Afzalinia, 2018) استفاده شد:

$$NUE = \frac{Y}{N} \qquad [۲]$$

$$WP = \frac{Y}{W} \qquad [۳]$$

که در آن NUE: کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)، Y: عملکرد علوفه (کیلوگرم در هکتار)، N: میزان نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار)، WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) و W: آب مصرفی (مترمکعب در هکتار). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 تجزیه و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

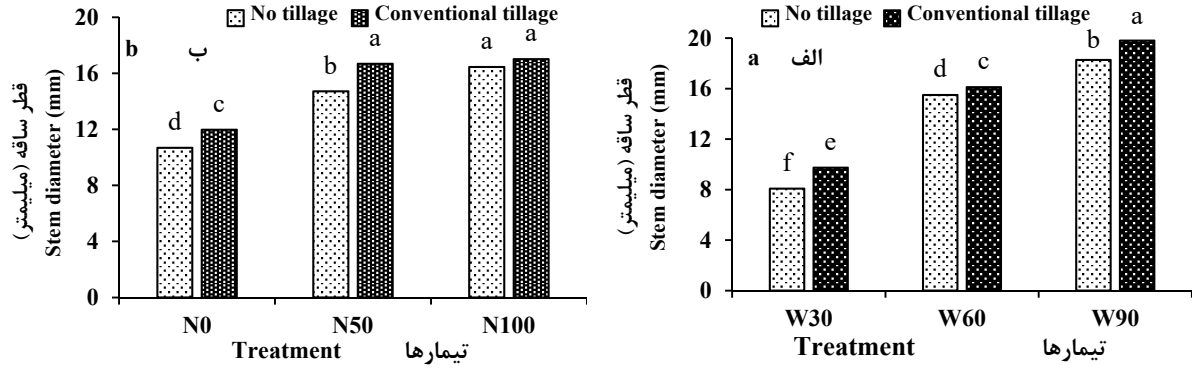
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال در مورد هیچ‌یک از صفات موردمطالعه تأثیر معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل خاک‌ورزی، تنش کمبود آب و کود نیتروژن بر صفات شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک کل بوته و وزن تر بوته، کارایی مصرف نیتروژن و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. قطر ساقه از اثر متقابل کود نیتروژن در تنش کمبود آب و همچنین از اثر متقابل کود نیتروژن در خاک‌ورزی به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

قطر ساقه

بالاترین قطر ساقه ۱۹/۸ و ۱۷ (میلی‌متر) از روش خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب در تیمار تنش کمبود آب خفیف (۹۰٪ نیاز رطوبتی) و کود نیتروژن ۱۰۰٪ حاصل شد (شکل ۱). اثر کود نیتروژن ۱۰۰٪ بر قطر ساقه در هردو سیستم بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم، با کود نیتروژن ۵۰٪ در خاک‌ورزی مرسوم ازلحاظ آماری معنی‌دار نبود. تأثیر تنش کمبود آب بر کاهش قطر ساقه در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، می‌تواند ناشی از کاهش نفوذ عمقی ریشه و درنتیجه کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه باشد به نظر می‌رسد خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل وجود بقایا در سطح خاک که عامل رقابتی برای جذب نیتروژن توسط گیاه عمل می‌کنند، در سطوح پایین‌تر کود نیتروژن موردنیاز گیاه تأثیر نامطلوبی بر قطر ساقه داشته است. همچنین تنش کمبود آب به سبب ریزش برگ‌ها و کاهش در تولید مواد فتوسنتزی موردنیاز گیاه موجب کاهش قطر ساقه شده است. کاهش قطر ساقه در گیاه ذرت (Sharifi and Adeli Nasab, 2016) و گلرنگ (Nabipour et al., 2007) در پاسخ به تنش کمبود آب نیز قبلاً گزارش شده است.

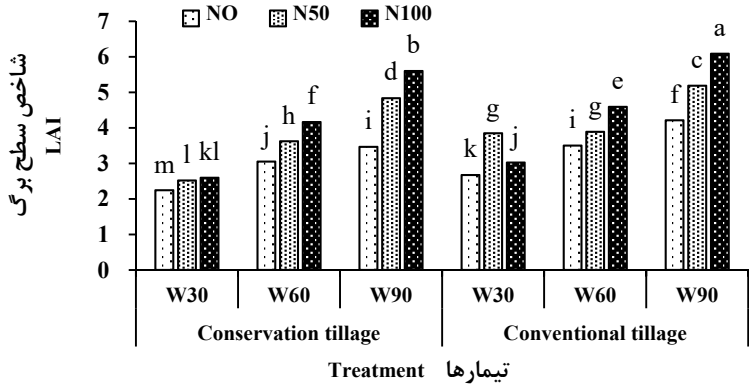
شاخص سطح برگ

بیشترین شاخص سطح برگ (۶/۰۸) از اثر متقابل تنش کمبود آب خفیف، کود نیتروژن ۱۰۰٪ در خاک‌ورزی مرسوم حاصل شد (شکل ۲). همچنین روند افزایشی شاخص سطح برگ با افزایش سطوح کود نیتروژن و کاهش سطوح تنش کمبود آب، در خاک-ورزی حفاظتی مشاهده شد اما روند شاخص یادشده به‌غیراز تیمار تنش کمبود آب شدید (۳۰٪ نیاز رطوبتی) و کود نیتروژن ۱۰۰٪ در بدون خاک‌ورزی در سایر ترکیبات تیماری در روش خاک‌ورزی مرسوم نیز افزایشی بود. به نظر می‌رسد تنش کمبود آب شدید در خاک‌ورزی مرسوم با فراهمی ۱۰۰٪ نیاز کود نیتروژنه منجر به تشدید اثر تنش کمبود آب شد و درنتیجهٔ آن، کاهش شاخص سطح برگ رخ داد. برهمکنش نیتروژن بهینه و میزان آب قابل‌دسترس برای رشد مطلوب گیاه حیاتی است اما در شرایطی که گیاه در معرض تنش کمبود آب شدید قرار دارد کود نیتروژن باید کاهش یابد زیرا در این شرایط، تنش رطوبتی افزایش خواهد یافت و موجب کاهش بیشتر صفات رشدی و عملکرد بوته خواهد شد. کاهش سطح برگ و لوله‌ای شدن آن به‌واسطهٔ تنش کمبود آب (Rahman et al., 2004)، افزایش سطح برگ به‌واسطهٔ افزایش سطوح آبیاری و تأمین مقادیر موردنیاز کود نیتروژنه (Lack et al., 2008)، قبلاً گزارش شده است.



شکل ۱. قطر ساقهٔ ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر تنش کمبود آب (الف) و سطوح نیتروژن (ب) در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به ترتیب نشان‌دهنده تنش در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ نیاز آبی گیاه است. اعداد با حروف مشابه ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 1. Stem diameter of forage maize affected by water shortage stress (a), and nitrogen levels (b) under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are water stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. The numbers with the same letters are not statistically significant.



شکل ۲. شاخص سطح برگ ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش کمبود آب در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به ترتیب نشان‌دهنده تنش در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ نیاز آبی گیاه است. اعداد با حروف مشابه ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 2. Leaf aria index of forage maize affected by nitrogen levels,and water shortage stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are water stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. The numbers with the same letters are not statistically significant.

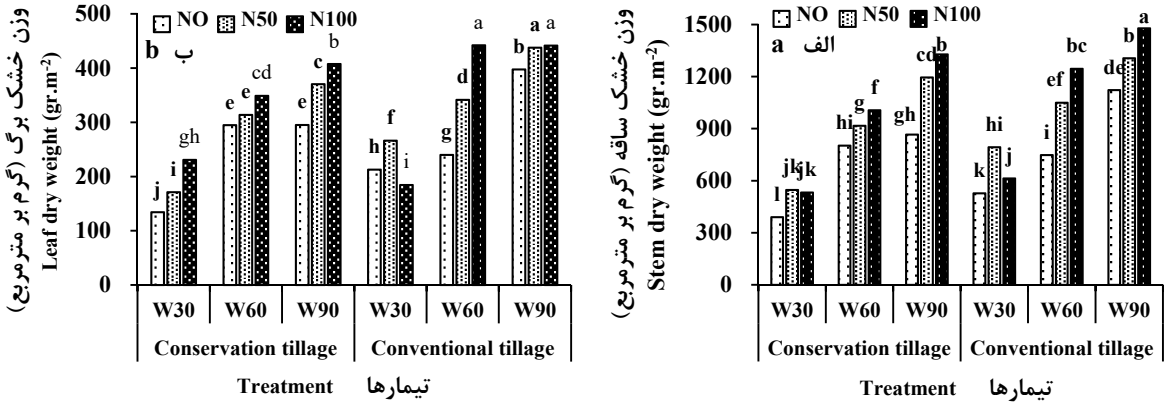
وزن خشک برگ

بیشترین وزن خشک برگ (۴۴۴/۵۸ گرم بر مترمربع) از تیمار تنش کمبود آب خفیف و ۱۰۰٪ کود نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم حاصل شد که البته ازلحاظ آماری (۴۳۷/۶۹ گرم بر مترمربع) با بدون خاک‌ورزی در ترکیب تیماری یادشده تفاوت معنی‌داری نداشت. تنش کمبود آب شدید و عدم کاربرد کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی منجر به کمترین میزان وزن خشک برگ (۱۳۴ /۰۸ گرم بر مترمربع) شد (شکل ۳). روند پاسخ صفت مذکور به سطوح کود نیتروژن در خاک‌ورزی حفاظتی در هر سه تیمار آبی اعمال‌شده افزایشی بود اما این روند در خاک‌ورزی مرسوم به همان شکل ادامه نیافت و تنها در تنش کمبود آب شدید و کود نیتروژن ۱۰۰٪ کاهش و در تنش کمبود آب خفیف و شرایط نرمال رطوبتی با تغییر سطوح کود نیتروژن افزایش یافت. در تنش کمبود آب خفیف، از سطح صفر به سطح ۱۰۰٪ نیاز کودی نیتروژنه در خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب حدود، ۳۸٪ و ۱۱٪ افزایش وزن خشک برگ مشاهده شد که این امر حیاتی بودن مصرف کود نیتروژن در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به سیستم خاک‌ورزی مرسوم را نشان می‌دهد. کاهش وزن خشک برگ در پی تنش آبی را می‌توان

به کاهش جذب آب و در ادامهٔ آن، به‌احتمال‌زیاد اختلال در فرایندهای فتوسنتزی گیاه و تولید شیره پرورده نسبت داد. کاهش وزن خشک برگ در طی تنش کمبود آب و مقادیر کمتر کود نیتروژن قبلاً گزارش شده است (Mousayi et al., 2009).

وزن خشک ساقه

بیشترین و کمترین میزان وزن خشک ساقه (۱۴۷۸/۲۰ و ۳۸۹/۸ گرم در مترمربع) به ترتیب، از تیمار تنش کمبود آب خفیف به همراه ۱۰۰٪ کود نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم و عدم مصرف کود نیتروژن به همراه تنش کمبود آب شدید در خاک‌ورزی حفاظتی مشاهده شد (شکل ۳ ب). در تیمار تنش کمبود آب خفیف، نیتروژن ۱۰۰٪ نسبت به عدم کاربرد آن در روش بدون-خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم مقدار وزن خشک ساقه به ترتیب، ۵۳/۲٪ و ۳۱/۸۴٪ افزایش یافت. در خاک‌ورزی مرسوم طی تنش کمبود آب شدید، کاربرد کود نیتروژن در سطح ۵۰٪ نسبت به سطوح صفر و ۱۰۰٪ نیاز کودی نیتروژنه، عملکرد وزن خشک ساقهٔ بیشتری مشاهده شد. به نظر می‌رسد که گیاه با انتقال مواد فتوسنتزی تولیدی به ریشه‌ها سعی در مقابله با تنش کمبود آب داشته و از این طریق موجب کاهش وزن خشک ساقه تحت این شرایط محدود رطوبتی شده است اما با فراهمی آب موردنیاز، رشد گیاه بهبودیافته و با در اختیار داشتن نیتروژن کافی توانسته است که بیشینه عملکرد را در آبیاری شاهد و کاربرد ۱۰۰٪ کود نیتروژن کسب کند. کاهش وزن خشک ساقه به دنبال تنش کمبود آب و سطوح پایین‌تر کود نیتروژن نیز قبلاً گزارش شده است (Emam et al., 2014).



شکل ۳. وزن خشک ساقه (الف) و برگ (ب) ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش کمبود آب در سیستم‌های خاک-ورزی. N0، N50 و N100 به ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به ترتیب نشان‌دهنده تنش در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ نیاز آبی گیاه است. اعداد با حروف مشابه ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 3. Stem (a) and laf (b) dry weight of forage maize affected by nitrogen levels,and water shortage stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are water stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. The numbers with the same letters are not statistically significant.

وزن تر بوته

بیشترین وزن تر بوته (۶۷۳۲/۶ گرم بر مترمربع)، از اثر متقابل تنش کمبود آب خفیف، کود نیتروژن ۱۰۰٪ در روش بدونخاک-ورزی به دست آمد که البته ازلحاظ آماری (۶۶۹۲/۵۰ گرم در مترمربع) با ترکیب تیماری یادشده در روش شخم مرسوم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴ الف). کمترین وزن تر بوته (۲۵۷۵/۹ گرم در مترمربع)، از تنش کمبود آب شدید و عدم کاربرد کود نیتروژن در روش بدون خاک‌ورزی حاصل شد. بااین‌حال مصرف ۱۰۰٪ کود نیتروژن در تنش کمبود آب شدید نسبت به کاربرد ۵۰٪ آن، موجب کاهش ۱۹/۵٪ عملکرد تر بوته در روش شخم مرسوم شد. درصورتی‌که آب کافی در دسترس گیاه نباشد، کاربرد کود نیتروژن اثری بر افزایش عملکرد نخواهد داشت (Ibrahim et al., 2001). کاهش اندازه و دوام سطح برگ در پی کاهش مصرف نیتروژن، موجب کاهش نور دریافتی و فتوسنتز گیاه

شده (Lack et al., 2008) و در ادامه تولید زیست‌تودهٔ گیاه کاهش خواهد یافت.

وزن خشک بوته

بیشترین وزن خشک بوته (۹۳/ ۱۹۱۹ گرم بر مترمربع) از اثر متقابل تنش کمبود آب خفیف، مصرف ۱۰۰٪ کود نیتروژن و روش شخم مرسوم و کمترین آن (۵۲۳/۹۵ گرم بر مترمربع) از تنش کمبود آب شدید، عدم کاربرد کود نیتروژن در روش بدونخاک-ورزی حاصل شد (شکل ۴ ب). در شخم مرسوم تحت تنش کمبود آب شدید، کاربرد ۱۰۰٪ کود نیتروژن موجب کاهش عملکرد وزن خشک نسبت به دو تیمار کودی دیگر شد؛ اما در روش بدون خاک‌ورزی روند وزن خشک بوته، با افزایش سطوح کود نیتروژن و کاهش شدت تنش کمبود آب افزایشی بود. گزارش شد که کاهش شاخص سطح برگ و به دنبال آن افت ظرفیت فتوسنتزی گیاه (به دلیل کاهش جذب نور خورشید)، منجر به کاهش عملکرد خواهد شد (Ashraf and Foolad, 2007). کاهش عملکرد ذرت به دلیل حساسیت آن به تنش کمبود آب نیز قبلاً نیز بیان شده است (McWilliams, 2002).

جدول ۳. تجزیه واریانس قطر بوته، شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، کارایی مصرف نیتروژن و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر خاک‌ورزی، تنش کبود آب و کود نیتروژن.

Table 3. Analysis of variance for stem diameter, leaf area index, leaf dry weight, stem dry weight, total fresh weight, total dry weight, nitrogen use efficiency,and water productivity of forage maize affected by tillage type, water shortage stress,and nitrogen fertilizer

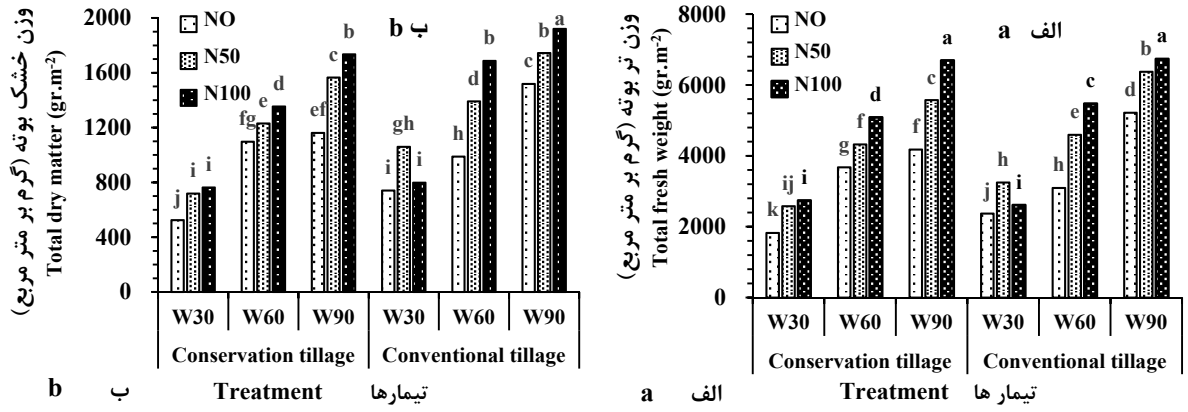
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	قطر ساقه Stem diameter	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن تر بوته Total fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight
Year (Y)	سال	1	0.10^{ns}	0.0333^{ns}	28158.29^{ns}	60.29^{ns}
E_y	خطای سال	4	0.68	3.8102	585646.8	421.44
Tillage (T)	خاک‌ورزی	1	43.54^{**}	8.0545^{*}	3084664.25^{ns}	52684.91*
T ×Y	خاک‌ورزی×سال	1	0.00022^{ns}	0.0232^{ns}	33843.26^{ns}	136.33^{ns}
E_a	خطای اصلی	4	0.05	0.1981	168485.16^{ns}	588.53
Water stress (W)	تنش خشکی	2	963.51^{**}	38.9918^{**}	94480563.2^{**}	344873.99^{**}
W ×Y	تنش خشکی×سال	2	0.06^{ns}	0.0169^{ns}	20011.6^{ns}	30.17^{ns}
T × W	تنش خشکی×خاک‌ورزی	2	2.97^{**}	0.2753^{ns}	806766.48^{ns}	4747.22^{*}
T × W × Y	تنش خشکی × خاک‌ورزی × سال	2	0.03	0.03	0.0161^{ns}	37865.88n
E_b	خطای فرعی	16	0.11	0.2748	89717.4	1501.85
Nitrofen (N)	کود نیتروژن	2	296.69^{**}	12.4999**	21288102.9^{**}	60288.60^{**}
N ×Y	کود نیتروژن×سال	2	0.08^{ns}	0.0013^{ns}	9683.3^{ns}	28.59^{ns}
N × T	کود نیتروژن×خاک‌ورزی	2	4.47^{*}	0.0898*	514417.22^{*}	2980.72*
N × T ×Y	کود نیتروژن ×خاک‌ورزی ×سال	2	0.22^{ns}	0.22^{ns}	0.0016^{ns}	19324.2^{ns}
N× W	کود نیتروژن × تنش خشکی	4	66.54^{**}	2.4450**	2073107.98^{**}	7674.57^{**}
N × W × Y	کود نیتروژن × تنش خشکی × سال	4	0.06^{ns}	0.06^{ns}	0.0125^{ns}	3492.3^{ns}
N × T × W	کود نیتروژن× خاک‌ورزی× تنش خشکی	4	0.51^{ns}	0.51^{ns}	0.4369^{**}	846998.34^{**}
N × T × W × Y	کود نیتروژن× خاک‌ورزی× تنش خشکی × سال	4	0.24^{ns}	0.24^{ns}	0.0032^{ns}	18847.8^{ns}
E_c	خطای فرعی فرعی	48	0.19	0.2121	199410.10	1361.56
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	*2.96*	*11.99*	*10.52*	*12.01*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن خشک ساقه Steam dry weight	وزن خشک بوته Total dry weight	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	بهره‌وری آب Water productivityt
Year (Y)	سال	1	121443.14 ns	116090.37 ns	8.09 ns	0.83 ns
E_y	خطای سال	4	57056.48	60160.57	704.82	6.64
Tillage (T)	خاک‌ورزی	1	563719.44*	961069.89*	5275.21 ns	13.41*
T ×Y	خاک‌ورزی×سال	1	476.11 ns	1122.30 ns	102.39 ns	0.02 ns
E_a	خطای اصلی	4	5832.60	9911.21	310.74	1.85
Water stress (W)	تنش خشکی	2	3846945.75**	6487918.77**	115254.74**	202.27**
W ×Y	تنش خشکی×سال	2	8615.90 ns	8958.67 ns	26.20 ns	0.76 ns
T × W	تنش خشکی×خاک‌ورزی	2	10509.24 ns	28612.63 ns	137.54 ns	7.37 ns
T × W × Y	سال× خاک‌ورزی ×تنش خشکی	2	1392.94 ns	2627.58 ns	98.92 ns	0.57 ns
E_b	خطای فرعی	16	14684.48	16105.44	204.31	1.03
Nitrofen (N)	کود نیتروژن	2	839311.97**	1347096.36**	793369.29**	173.18**
N ×Y	کود نیتروژن×سال	2	712.63 ns	455.87 ns	5.42 ns	0.16ns
N × T	کود نیتروژن×خاک‌ورزی	2	6744.38 ns	11627.30 ns	4111.22**	9.66**
N × T ×Y	سال ×خاک‌ورزی ×کود نیتروژن	2	2237.51 ns	1571.84 ns	28.34 ns	0.08 ns
N× W	کود نیتروژن × تنش خشکی	4	90404.41**	137385.29**	32785.39**	12.17**
N × W × Y	کود نیتروژن × تنش خشکی × سال	4	3389.37 ns	4573.12 ns	13.50 ns	0.06 ns
N × T × W	کود نیتروژن× خاک‌ورزی× تنش خشکی	4	48796.63**	119857.42**	549.30**	8.89**
N × T × W × Y	کود نیتروژن× خاک‌ورزی× تنش خشکی × سال	4	2759.16 ns	3515.76 ns	28.13	0.21 ns
E_c	خطای فرعی فرعی	48	12261.30	14573.64	20.24	1.84
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	12.10	9.88	13.22	10.87

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری واریانس در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند.

ns,* and ** are indicating non-significance and significance of mean square at the probability level of 5% and 1%, respectively.

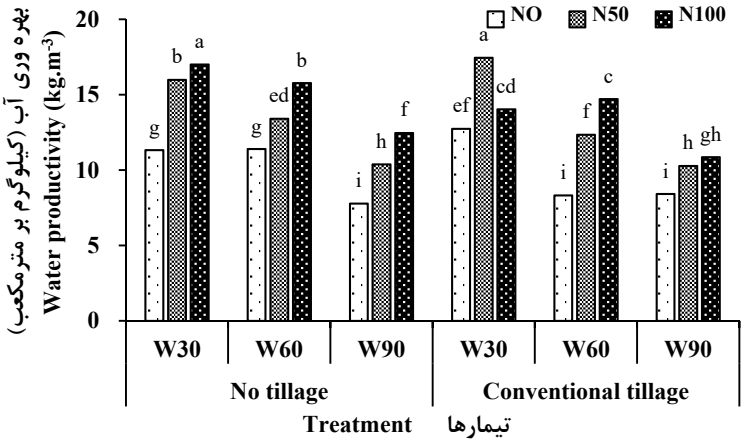


شکل ۴. کل وزن تر (الف) و خشک (ب) بوته ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش کمبود آب در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به ترتیب نشان‌دهنده تنش در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ نیاز آبی گیاه است. اعداد با حروف مشابه ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 4. Total fresh (A) and dry weight (B) of forage maize affected by nitrogen levels,and water shortage stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are water stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. The numbers with the same letters are not statistically significant.

بهره‌وری آب

صرف‌نظر از تیمارهای آبیاری و کود نیتروژن، بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بهره‌وری آب بالاتری داشت (شکل ۵) بااین‌حال با افزایش فراهمی نیاز آبی گیاه، بهره‌وری آب بدون در نظر گرفتن نیتروژن در هر دو روش خاک‌ورزی روندی کاهشی داشت. حفظ بقایای محصول قبلی با اعمال بدون خاک‌ورزی موجب کاهش تبخیر از سطح خاک و درنتیجه نگهداری آب بیشتر در خاک و فراهمی بیشتر آب برای گیاه ذرت شد. در چنین شرایطی به ازای یک واحد عملکرد تولیدشده در روش بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم آب کمتری مصرف شد و درنتیجه بهره‌وری آب افزایش یافت. بااین‌حال نتایج متفاوتی در مورد بهره‌وری آب در گیاه ذرت گزارش شده است. نتایج یک بررسی در آمریکا نشان داد که بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم موجب کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب شد (Halvorson et al., 2006). همچنین در مطالعه (Dehghanian and Afzalini (2018 روش‌های خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری آب در گیاه ذرت دانه‌ای نداشت. با مصرف بهینه کود نیتروژن در طی شرایط تنش کمبود آب رشد ریشه‌ها بهبودیافته و منجر به جذب بهتر آب از اعمال خاک خواهد شد و این امر ممکن است به بهبود کارایی مصرف آب کمک کند (Emam and Niknejad, 2011). در طی تنش کمبود آب میزان فتوسنتز کاهش‌یافته اما به سبب افزایش مقاومت روزنه‌ای میزان اتلاف آب نسبت به کاهش نرخ فتوسنتز کمتر شده و درنتیجه شاهد افزایش بهره‌وری آب خواهیم بود (Condon et al., 2004).



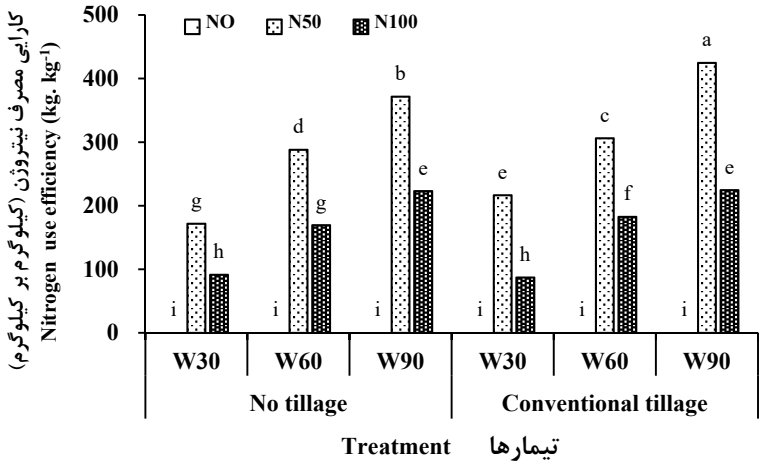
شکل ۵. بهره‌وری آب در گیاه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش کمبود آب در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0 ، N50 و N100 به ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به ترتیب نشان‌دهنده تنش در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. اعداد با حروف مشابه ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 5. Water productivity of forage maize affected by nitrogen levels,and water shortage stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are water stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. The numbers with the same letters are not statistically significant.

کارایی مصرف نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با روش بدون خاک‌ورزی صرف‌نظر از تیمارهای آبیاری بیشتر بود (شکل ۶). در هردو تیمار خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی با افزایش میزان آب قابل‌استفاده برای گیاه میزان کارایی مصرف نیتروژن افزایش یافت اما با افزایش سطوح کود نیتروژن از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ نیاز کودی گیاه، روند کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن (۴۲۸/۶۸ کیلوگرم بر کیلوگرم) از اثر متقابل خاک‌ورزی مرسوم، کود نیتروژن ۵۰٪ و تأمین ۹۰٪ نیاز آبی گیاه حاصل شد. در روش خاک‌ورزی مرسوم احتمالاً به سبب نفوذ بهتر و بیشتر ریشه‌ها جذب مواد غذایی و آب برای گیاه افزایش‌یافته

و درنتیجه نسبت به روش بدون خاک‌ورزی کارایی بالاتری در استفاده از کود نیتروژن داشته است. با افزایش مصرف کود نیتروژن میزان عملکرد به یک نسبت افزایش نخواهد یافت درنتیجه با افزایش کاربرد این کود شاهد کاهش کارایی مصرف نیتروژن خواهیم بود. همسو با این پژوهش کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گندم (Modhej et al., 2009) و ذرت (Pikul et al., 2005) با افزایش مصرف کود اوره کاهش یافت. زمانی که گیاه در معرض تنش شدید خشکی قرار دارد کاربرد یکسان کود نیتروژن نسبت به شرایط نرمال رطوبتی موجب کاهش شدید عملکرد خواهد شد درنتیجه کارایی مصرف نیتروژن نیز کاهش خواهد یافت. ارتباط اثر متقابل منفی بین نیتروژن و تنش کمبود آب نیز قبلاً گزارش شده است (Emam and Niknejad, 2011).



شکل ۶. کارایی مصرف نیتروژن در گیاه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش کمبود آب در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به ترتیب نشان‌دهنده تنش در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. اعداد با حروف مشابه ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 6. Nitrogen use efficiency of forage maize affected by nitrogen levels,and water shortage stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are water stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. The numbers with the same letters are not statistically significant.

نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های حاصل از دو سال مطالعه، چنین استنباط می‌شود که اثر متقابل تنش کمبود آب و کود نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم با اعمال تنش کمبود آب شدید، منجر به کاهش عملکرد خواهد شد لذا مدیریت کود نیتروژن تحت این شرایط حیاتی است. در خاک‌ورزی حفاظتی با تغییر سطوح کود نیتروژن، درصد افزایش عملکرد بیشتری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد که این امر نشان‌دهندهٔ کلیدی بودن مدیریت بقایا در خاک‌ورزی حفاظتی است. ازآنجاکه وزن تر بوته در روش بدون خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری با روش خاک‌ورزی مرسوم نداشت و بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم ۵/۸٪ کارایی مصرف آب بالاتری را نشان داد، به‌منظور کاهش مصرف آب و همچنین بهبود وضعیت خاک، روش بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Afshoon, E., Jahansuz, M.R., Hosseini, M.B., Moghaddam. H., 2018. The Effect of tillage systems and plant densities on yield and yield components of soybean cultivars in Karaj condition. Iranian Journal of Field Crop Science. 49(2), 105-113. [In Persian with English Summary].

Ahmadi, K., Abedzadeh, H. R., Abdeshah, H., Kazemeian, A. and Rafiei, M., 2018. Iranian Agricultural Statistics, 2016-2017. The Ministry of Agriculture Jihad [In Persian].

Alizadeh, A., 2004. Soil, Water, Plant Relationship (4th Ed.). University of Emam Reza Press, 470p. [In Persian].

Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59, 206-216.

Aslam, M., Zamir, M.S.I., Afzal, I., Yaseen, M., Mubeen, M., Shoaib, A., 2013. Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application. Cercetări Agronomice în Moldova. 46, 99-114.

Cabrera, R.I., 2003. Nitrogen balance for two container-grown woody ornamental plants. Scientia Horticulturae. 97, 297-308.

Condon, A.G., Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Farquhar, G.D., 2004. Breeding for high water-use efficiency. Journal of Experimental Botany. 55, 2447-2460.

Dehghanian, S.I., Afzalinia, S., 2018. Water productivity and corn yield in corn-wheat rotation affected by irrigation and tillage methods. Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.). 32(1), 15-28. [In Persian with English summary].

Emam Y, Maghsoudi K, Moghimi N, 2014. Effect of water stress and nitrogen levels on yield of forage sorghum. Journal of Crop Production and Processing. 3,145-155. [In Persian with English summary].

Emam, Y., Niknejad, M., 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield (2nd Ed). Shiraz University Press, Shiraz, Iran. [In Persian].

Guarda, G., Padovan, S., Delogu, G., 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy. 21(2), 181-192.

Halvorson, A.D., Mosier, A.R., Reule, C.A., Bausch, W.C., 2006. Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. Agronomy Journal. 98(1), 63-71.

Husnjak, S., Filipovic, D., Kosutic, S., 2002. Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. Rostlinna Vyroba. 48, 249-254.

Ibrahim, M., Zeid, N.A., Semary, E., 2001. Response of two differentially drought. Tolerant varieties of maize to drought stress. Pakistan Journal of Biological Sciences. 4(7), 779-784.

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology. 11, 100-105.

Jat, M.L., Sharma, S.K., Rai, H.K., Srivastava, A., Gupta, R.K., 2006. Effect of tillage on performance of winter maize in northern India. In Proceedings of Maize Association of Australia, 6th Triennial Conference Darlington Point, Griffith, NSW, Australia. pp. 21-23.

Kalamian, S., Modares, S.S., Sepehri, A., 2006. Effect of water deficit at vegetative and reproductive growth stage in leafy and commercial hybrids of maize. Agricultural Research. 5, 38-53. [In Persian with English summary].

Karam, F., Masaad, R., Sfeir, T., Mounzer, O. Rouphael, Y., 2005. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management. 75, 226-244.

Kassam, A., Friedrich, T. and Derpsch, R., 2019. Global spread of conservation agriculture. International Journal of Environmental Studies, 76(1), 29-51.

Lack, Sh., Naderi, A., Siadat, S.A., Aieneband, A., Noormohamadi, G., Musavi, S.H., 2008. Effect of different levels of irrigation, nitrogen and plant density on yield, components yield and Remobilization of seed corn in the weather condations of in Khuzestan. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 42, 1-14. [In Persian with English summary].

McWilliams, D., 2002. Drought strategies for corn and grain sorghum. New Mexico State University, Cooperative Extension Service, College of Agriculture and Home Economics.

Modhej, A., Naderi, A., Emam, Y., Aynehband, A., Normohammadi, Gh., 2009. Effect of different nitrogen levels on grain yield, grain protein content and agronomic nitrogen use efficiency in wheat genotypes under optimum

and post-anthesis heat stress conditions. Seed and Plant Improvement. 25, 353-371. [In Persian with English summary].

Morrison, J.E., Gerik, T.J., Chichester, F.W., Martin, J.R., Chandler, J.M., 1990. A no-tillage farming system for clay soils 1. Journal of Production Agriculture. 3, 219-227.

Mousayi, S.Gh. R., Mirhadi, S.M.J., Siadat, S. A.A., Nourmohammadi, Gh., Darvishi, F. 2009. Effect of drought stress and nitrogen levels on yield and water Use efficiency of millet and sorghum. Journal of New Agricultural. 5, 101-114. [In Persian with English summary].

Nabipour, M., Meskarbashee, M., Yousefpour, H., 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences. 10, 421-426.

Norwood, C.A., 2000. Water use and yield of limited-irrigated and dryland corn. Soil Science Society of America Journal. 64, 365-370.

Orfanou, A., Pavlou, D., Porter, W.M., 2019. Maize yield and irrigation applied in conservation and conventional tillage at various plant densities. Water. 11, 1726.

Rahman, M.U., Gul, Sh., Ahmad, I., 2004. Effects of water stress on growth and photosynthetic pigments of corn (*Zea mays* L.) cultivars. International Journal of Agriculture and Biology. 4, 652-655.

Pikul, J.L., Hammack, L., Riedell, W.E., 2005. Corn yield, nitrogen use, and corn rootworm infestation of rotations in the northern Corn Belt. Agronomy Journal. 97(3), 854-863.

Ram, H., Kler, D.S., Singh, Y. Kumar, K., 2010. Productivity of maize (*Zea mays*) wheat (*Triticum aestivum*) system under different tillage and crop establishment practices. Indian Journal of Agronomy. 55, p.185.

Sharifi, P., Adeli Nasab, M., 2016. Effects of phosphorus biofertilizer on grain yield and yield components of maize (Zea mays L.) at drought stress conditions. Cereal Research. 6(1), 119-132. [In Persian with English summary].

Ruisi, P., Giambalvo, D., Saia, S., Di Miceli, G., Frenda, A.S., Plaia, A., Amato, G., 2014. Conservation tillage in a semiarid Mediterranean environment: results of 20 years of research. Italian Journal of Agronomy. 9, 1-7.