تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4073.1962

مقاله پژوهشی

ارزیابی صفات ریشه‌ای ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی، تنش خشکی و کود نیتروژن

اسماعیل افشون[1*]، حسین مقدّم[2]، محمدرضا جهانسوز[3]، مصطفی اویسی[4]، احسان ربیعیان[5]

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
۵. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، اصلاح نباتات، دانشگاه تهران، کرج

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تراکم طول ریشه
حجم ریشه
ذرت علوفه‌ای
سطح ریشه
طول ریشه
وزن خشک ریشه

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۷/۰۷

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۱
۱۵(۳): ۶۱۳-۶۲۴

چکیده

بررسی ریخت‌شناسی ریشه گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا بسیار مهم است چرا که عملکرد گیاه تحت شرایط تنش خشکی به میزان زیادی به توانایی ریشه در جذب آب و مواد غذایی بستگی دارد. به همین منظور آزمایشی در مزرعهٔ آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار روی گیاه ذرت هیبرید سینگل کراس۷۰۴ اجرا شد. خاک‌ورزی به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح (بدون خاک‌ورزی و مرسوم)، تیمارهای آبیاری به‌عنوان عامل فرعی (در سه سطح تأمین ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کود نیتروژن به‌عنوان عامل فرعی فرعی (در سه سطح مصرف صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد میزان توصیه‌شده) در نظر گرفته شدند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین طول ریشه (۴۱۴۷ سانتی‌متر)، حجم ریشه (۱۵۸/۱ سانتی‌متر مکعب)، سطح ریشه (۳۰۵۵/۷ سانتی‌متر مربع)، تراکم طول ریشه (۰/۴۴ سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مکعب خاک)، وزن خشک ریشه (۲۴/۳۲ گرم) و وزن تر بوته (۶۷۳۲/۶ گرم بر مترمربع)، از اثر متقابل خاک‌ورزی مرسوم در تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) در ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن گیاه حاصل شد. همچنین اثر متقابل تنش خشکی شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) در ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن گیاه منجر به کاهش شدید صفات مذکور در هر دو سیستم خاک‌ورزی مورد مطالعه شد. گرچه سیستم خاک‌ورزی مرسوم در این پژوهش موجب افزایش خصوصیات کمی رشد ریشه و در نهایت وزن تر بوته تحت تیمار تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کود نیتروژن ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده، شد؛ ولی به دلیل اینکه تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری در عملکرد علوفه تر ذرت در هر دو سیستم خاک‌ورزی مورد مطالعه مشاهده نشد. سیستم بدون خاک‌ورزی با اعمال تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی) و مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز گیاه برای تولید ذرت علوفه‌ای مناسب‌تر است.

مقدمه

اولین عامل محدودکننده عملکرد گیاه در بسیاری از اکوسیستم‌های زراعی، تنش خشکی است و بهره‌وری گیاهان تحت این شرایط به تسهیم ماده خشک بین اندام‌های گیاهی و توزیع مکانی ریشه‌ها در خاک بستگی دارد. آگاهی از شرایط طول ریشه و توزیع آن در پروفیل خاک که شاخصی برای توانایی گیاهان به‌منظور جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در خاک محسوب می‌شود، و همچنین درک شکل سیستم ریشه، از اهمیت بارزی برخوردار است (Wasson et al., 2012). به‌طورکلی اندازه، ریخت شناسی و معماری سیستم ریشه تعیین‌کننده توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی بوده و همچنین اندازه نسبی و سرعت رشد شاخساره را تحت تأثیر قرار خواهند داد (Vamerali et

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

al., 2003). رشد ریشه توسط خصوصیات ژنتیکی گیاه و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین می گردد. حتی در مناطق مرطوب در پاسخ به تنش خشکی، رشد ریشه‌ها به لایه‌های سطحی خاک محدود شده و زمانی که خاک خشک می‌شود، مقاومت نفوذی آن به‌سرعت افزایش می‌یابد، در نتیجه گیاه با ترکیبی از تنش‌های خشکی خاک و مقاومت نفوذی آن مواجه می‌گردد (He et al., 2017). کاهش وزن خشک ریشه در برنج (Nasiri et al., 2015)، وزن تر ریشه در کلزا (Razaviezadeh and Amoubeigi, 2013) و طول ریشه در خردل حبشی (Husen et al., 2014) بیان‌کننده تأثیر منفی تنش خشکی بر خصوصیات ریشه در گیاهان مختلف است.

خاک‌ورزی تنها شیوه زراعی است که بشر می‌تواند به‌واسطه آن به طور مستقیم بر خصوصیات خاک تأثیر بگذارد. ذخیره رطوبت و هوادهی به ریشه‌ها بسته به مقادیر مطلوب یا عدم مطلوب خاک‌ورزی، بر رشد و نمو ریشه گیاه و در نهایت عملکرد آن تأثیر می‌گذارد (Bronick and Lal, 2005). پاسخ‌های متفاوتی از برتری نوع سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در رشد ریشه گزارش شده است. به طور مثال بیان شده است که در مقایسه با شخم، عملیات بدون خاک‌ورزی با فشرده کردن لایه سطحی خاک مانع از نفوذ بهتر و بیشتر ریشه در لایه‌های پایینی خاک می شود، در نتیجه دسترسی به آب و مواد غذایی کمتر شده و رشد ریشه با محدودیت مواجه می‌گردد (Sainju et al., 2005). برعکس، وجود لایه نفوذناپذیر در لایه‌های پایینی خاک که در نتیجه استفاده مداوم از خاک‌ورزی مرسوم به وجود می‌آید، دلیل کاهش رشد ریشه در این نوع از سیستم خاک‌ورزی بیان شده است (Hassan and Gregory, 1999). افزایش در میزان تراکم (Qin et al., 2005) و وزن خشک ریشه‌های ذرت (Mosaddeghi et a., 2009) و کاهش میزان وزن‌خشک ریشه‌های گندم (Huang et al., 2012)، بعد از خاک‌ورزی مرسوم نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی گزارش شده است. به نظر می‌رسد احتمالا تفاوت در نوع بافت‌خاک و تعداد سال‌های سیستم‌های خاک‌ورزی، می تواند تفاوت در گزارش‌های بیان شده را توجیه کند.

اگرچه هیچ قانون قطعی برای توضیح تفاوت در رشد ریشه گونه‌های مختلف گیاهی وجود ندارد، ولی میزان نیتروژن گیاه که وابسته به میزان جذب آن از خاک است، احتمالا تعیین‌کننده رشد و یا عدم رشد ریشه باشد (Hodge, 2004). همچنین ریشه از طریق حس تغییرات داخلی و خارجی میزان نیتروژن، فرایندهای رشدی گیاه را هماهنگ می‌کند (Chen et al., 2020). بیان شده است که سطوح پایین کود نیتروژن منجر به بهبود رشد ریشه (Tian et al., 2009) و سطوح بالای کود نیتروژن منجر به کاهش وزن خشک ریشه می‌شود (Zheng et al., 2010). احتمالا مقادیر بیشتر و کمتر از حد بهینه برای گیاه، دلیل تفاوت در پاسخ رشد ریشه به سطوح مختلف کود نیتروژن در تحقیقات مختلف باشد. ازآنجاکه رشد ریشه عمدتاً در پاسخ به تیمارهای ساده انجام‌گرفته و مطالعه تأثیر ترکیب تیمارهای مختلف بر آن به‌ندرت انجام‌گرفته است و همچنین اهمیت ویژه گیاه ذرت علوفه‌ای در تأمین نهاده‌های دامی، این پژوهش به‌منظور ارزیابی صفات ریشه‌ای ذرت علوفه‌ای در پاسخ به سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی، تنش خشکی و تیمارهای کود نیتروژن و همچنین تاثیر آن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای 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. این مزرعه با ۱۳۲۱ متر ارتفاع از سطح دریا در طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی قرار دارد. این منطقه دارای آب‌وهوای گرم و خشک با میانگین بارندگی ۳۰ سالهٔ حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

آزمایش به‌صورت کرتهای دو بار خرد شده 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[1] به‌عنوان شاهد، متوسط[2] و شدید[3] به ترتیب بر اساس ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد درصد نیاز آبی گیاه در کرت‌های فرعی و مصرف کود نیتروژن در سه سطح شامل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد میزان توصیه‌شده (۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص) در کرت‌های فرعی فرعی بودند.

[1]. Slight water stress
[2]. Moderate water stress
[3]. Severe water stress

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

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

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

جهت برآورد نقطـــهٔ ظرفیت زراعی[4] و نقطـــهٔ پژمردگی دائم[5] خاک، از دســـتگاه صـــفحه فشـــاری[6] استفاده شد و میزان رطوبت خـاک در این نقاط محاسبه شدند. بـر ایـن اسـاس میـزان رطوبـت خـاک در ظرفیـت زراعـی و نقطـه پژمردگـی دائـم بـه ترتیـب ۲۵/۳۸ و ۱۲/۳درصد به دسـت آمد. باتوجه‌به نمونه‌برداری، جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۳ گرم بـر سـانتی‌متـر مکعـب تعیـین شد.

$$D_N = \left[\frac{(FC-PWP)}{100}\right] \times \rho b \times D_r \times F \qquad [۱]$$

که در آن، DN مقدار آب در هر آبیاری (mm)، FC درصـد وزنـی رطوبـت خـاک در نقطـه ظرفیت زراعی، PWP درصـد وزنـی رطوبـت خـاک در نقطه پژمردگی دائم، ρb جرم مخصوص ظاهری خـاک ($gr\ cm^{-3}$)، Dr عمق مؤثر ریشه (mm) و F ضریب تخلیه رطوبت خاک (درصد) هستند. عمق توسعه ریشه به‌طور متوسط ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Karimi et al., 2009). 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 با فاصلهٔ 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. باتوجه‌به توصیه‌های کودی، کودهای فسفر (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات 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 ظهور گل‌آذین نر 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 در نهایت برای کاشت ذرت از کارنده نئوماتیک استفاده گردید. برای کاشت ذرت در روش بدون خاک‌ورزی، با استفاده از کارنده مخصوص بدون خاک‌ورزی (نئوماتیک 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 نیکوسولفورون در مرحلهٔ ۴ برگی و همچنین وجین دستی در سه نوبت انجام شد. تاریخ کشت و برداشت در هر دو سال آزمایش به ترتیب ۲۰ تیر و ۱۴ مهر بود.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات

به‌منظور تعیین وزن خشک بوته، در محله 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، به آون با دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد منتقل شدند و پس از ۷۲ ساعت وزن خشک آن‌ها با ترازو توزین شد. همچنین از محل‌های که بوته برداشت شده بود، یک استوانه به ارتفاع ۳۰ و قطر ۲۰ سانتی‌متر به طور عمودی داخل خاک فروبرده شد و تمامی ریشه‌ها همراه با خاک جدا گردید. ریشه‌ها به آزمایشگاه منتقل و ذرات خـاک چـسبیده بـه آنها کاملاً شسته و از ریشه جدا شد. طول ریشه به روش جداکردن خطی که توسط تنانت ارائه گردید، اندازه‌گیـری شد (Tennant, 1975). در این روش ریشه‌ها روی یک صفحه بـا شـبکه مربعـی پخـش می‌شوند. به‌طوری‌که ابتدا یک صفحه کاغذ بزرگ را به شبکه‌هـای مربعـی بـا ابعاد ۱ سانتی‌متر تقسیم

[4]. Field capacity
[5]. Permanent wilting point
[6]. Pressure plate

کرده و سپس یک صفحه شیشه‌ای روی آن قرار داده می‌شود. پس از پخش نمودن ریشه‌ها روی این صفحه، تعداد محل‌های تقاطع ریشه‌ها با خطوط افقی و عمودی شمارش می‌شوند. درحالی‌که ابعاد هر مربع ۱ سانتی‌متر باشد، اگر تعداد محل‌های تقاطع را در کسر ۱۱/۱۴ ضرب نماییم، طول ریشه برحسب سانتی‌متر به دست می‌آید. حجم ریشه‌ها مستقیماً ازروی تغییر حجم آب در ظروف مدرج پس از واردکردن ریشه‌های شسته شده به داخل آن صورت گرفت و سطح ریشه با استفاده از رابطه ۲ برآورد گردید (Alizadeh, 2004).

$$A = 2(V.\pi.L)^{0.5} \quad [۲]$$

که در آن: A :سطح ریشه‌ها (cm^2)، V: حجم ریشه‌ها (cm^3) و: L طول ریشه‌ها (cm) می‌باشد. همچنین تراکم طول ریشه (سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مکعب) از تقسیم طول ریشه بر حجم استوانه به دست آمد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با استفاد از آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر مرکب سال بر هیچکدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول۲). همچنین اثر متقابل خاک‌ورزی، تنش خشکی و کود نیتروژن بر صفات طول ریشه، سطح ریشه و تراکم طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد و بر صفات وزن خشک ریشه و وزن تر بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، همچنین اثر متقابل دوگانه تیمار تنش خشکی در کود نتیروژن و تیمار خاک‌ورزی در تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر صفت حجم ریشه معنی‌دار شد.

طول ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خاک‌ورزی در تنش خشکی در کود نیتروژن بر طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در هر دو خاک‌ورزی موردمطالعه با کاهش سطوح تنش خشکی و افزایش سطوح کود نیتروژن موردنیاز گیاه، طول ریشه افزایش یافت که البته در تنش خشکی متوسط (۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) تفاوت معنی‌داری بین مقادیر ۵۰ درصد (۳۱۷۱ سانتی‌متر بر گیاه) و ۱۰۰ درصد (۳۱۷۰/۶ سانتی‌متر بر گیاه) نیاز کودی نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم و مقادیر ۵۰ درصد (۲۶۵۰/۴ سانتی‌متر بر گیاه) و ۱۰۰ درصد (۲۷۳۳ سانتی‌متر بر گیاه) نیاز کودی نیتروژن در سیستم بدون خاک‌ورزی مشاهده نشد (شکل۱). در هر دو سیستم خاک‌ورزی موردمطالعه، تنش خشکی شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) و مصرف ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن موجب کمترین مقادیر طول ریشه نسبت به سایر تیمارهای موردمطالعه شد. بیشترین (۴۱۴۷ سانتی‌متر بر گیاه) و کمترین (۱۹۹۲/۸ سانتی‌متر بر گیاه) میزان طول ریشه به ترتیب از اثر متقابل کود نیتروژن ۱۰۰ درصد در تنش خشکی جزئی در سیستم خاک‌ورزی مرسوم و از اثر متقابل تنش خشکی شدید در کود نیتروژن ۱۰۰ درصد در سیستم بدون خاک‌ورزی حاصل شد (شکل ۱). به نظر می‌رسد حساسیت طول ریشه به محدودیت در نفوذ عمقی، موجب کاهش طول ریشه در سیستم بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم شده است. همچنین به دلیل اثر متقابل شدیدی که بین نیتروژن و آب موردنیاز گیاه وجود دارد، درصورتی‌که آب به‌اندازه کافی در اختیار گیاه نباشد مقادیر بالاتر کود نیتروژن تأثیر چندانی بر طول ریشه نخواهد داشت و حتی در شرایط تنش خشکی شدید به دلیل اثر بیشتر مقادیر کود نیتروژن بر شدت تنش خشکی، شاهد کاهش بیشتر در طول ریشه خواهیم بود. قبلاً بیان شد که در روش بدون خاک‌ورزی درصورتی‌که گیاه در معرض تنش خشکی شدید باشد، مقاومت نفوذی ریشه نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بیشتر شده و طول در این شرایط کاهش می‌یابد (He et al., 2017).

حجم ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خاک‌ورزی در تنش خشکی و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر حجم ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲).

صرف‌نظر از تیمارهای تنش‌خشکی، سیستم بدون خاک‌ورزی موجب کاهش حجم‌ریشه نسبت به خاک‌ورزی مرسوم شد. کمترین مقادیر حجم ریشه نیز در شرایط تنش خشکی‌شدید در هر دو خاک‌ورزی موردمطالعه شد (شکل ۲).

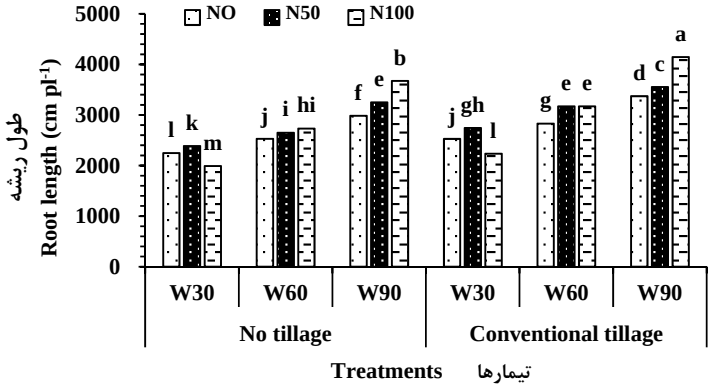
جدول ۲. تجزیه واریانس طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، تراکم طول ریشه، وزن خشک ریشه و وزن تر بوته ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر نوع خاک‌ورزی، تنش خشکی و سطوح نیتروژن

Table 2. Analysis of variance for root length, root volume, root surface, root length density, root dry weight, and plant fresh weight of Zea mays affected by tillage type, drought stress and nitrogen levels

S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	سطح ریشه Root surface	تراکم طول ریشه Root length density	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر بوته Plant fresh weight
Year (Y) سال	1	28316.9^{ns}	0.9445^{ns}	4316.93^{ns}	0.000319^{ns}	1.38946^{ns}	28158.2^{ns}
E_y خطای سال	4	46300.10	106.00	21182.67	0.00052	2.5729	585646
Tillage (T) خاک‌ورزی	1	3629992*	6894.41**	1967573**	0.04090*	106.4257*	3084664^{ns}
T ×Y خاک‌ورزی × سال	1	2332.62^{ns}	1.6378^{ns}	60.017^{ns}	0.000026^{ns}	0.1800^{ns}	33843.2^{ns}
E_a خطای عامل اصلی	4	18360.94	23.334	6347.03	0.00020	5.4920	168485.1
Drought stress (W) تنش خشکی	2	1181012**	40386.5**	9079244**	0.13309**	1052.85**	94480563**
D ×Y تنش خشکی ×سال	2	4595.93^{ns}	5.843^{ns}	1677.01^{ns}	0.000051^{ns}	0.2706^{ns}	20011.6^{ns}
T × D تنش خشکی × خاک‌ورزی	2	38673.6^{ns}	622.84**	77086.64*	0.000435^{ns}	34.2561**	806766.48*
T × D × Y تنش خشکی×خاک‌ورزی×سال	2	6298.04^{ns}	2.4428^{ns}	1367.55^{ns}	0.00007^{ns}	0.1004^{ns}	37865.88n
E_b خطای عامل فرعی	16	10674.58	23.642	1907.27	0.000120	3.0627	89717.4
Nitrogen (N) کود نیتروژن	2	627833**	2984.84**	588962**	0.00707**	133.55**	21288102**
N ×Y کود نیتروژن × سال	2	4712.52^{ns}	8.668^{ns}	92.15^{ns}	0.000053^{ns}	0.020^{ns}	9683.3^{ns}
N × T کود نیتروژن × خاک‌ورزی	2	13461.0^{ns}	64.589^{ns}	10392.43*	0.000151^{ns}	0.377^{ns}	514417.22*
N × T ×Y کود نیتروژن×خاک‌ورزی×سال	2	797.61^{ns}	7.34370^{ns}	348.88^{ns}	0.000009^{ns}	0.377^{ns}	19324.2^{ns}
N × D کود نیتروژن × تنش خشکی	4	969261**	2079.41**	560886**	0.01092**	22.136**	2073109**
N × D × Y کود نیتروژن × تنش خشکی × سال	4	5599.28^{ns}	16.7487^{ns}	483.10^{ns}	0.00006^{ns}	0.491^{ns}	3492.3ns
N × T × D کود نیتروژن × خاک‌ورزی × تنش خشکی	4	27951.57*	14.8231^{ns}	7751.78*	0.00031*	30.316**	846998**
N × T × D × Y کود نیتروژن × خاک‌ورزی × تنش خشکی× سال	4	2967.19^{ns}	9.89620^{ns}	1151.49^{ns}	0.00003^{ns}	0.3899^{ns}	18847.8^{ns}
E_c خطای عامل فرعی فرعی	48	29064.68	57.1261	8355.99	0.00032	3.0351	199410
C.V % ضریب تغییرات	-	*5.87*	*6.83*	*4.56*	*5.87*	*12.02*	*10.52*

ns، **و *: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است.

Ns, * and **: Non-significant, significant at 5 and 1% probability level, respectively.

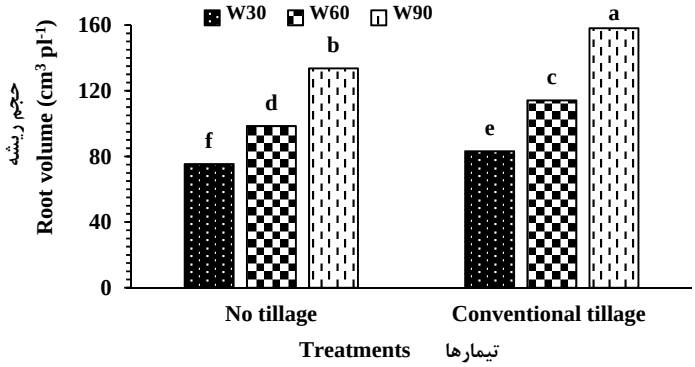


شکل ۱. طول ریشه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش خشکی در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به‌ترتیب نشان دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به‌ترتیب نشان دهنده تنش خشکی در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. (میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند)

Fig. 1. Root length of maize forage affected by nitrogen levels and drought stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are drought stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. (Means with the similar letters are not statistically significant)

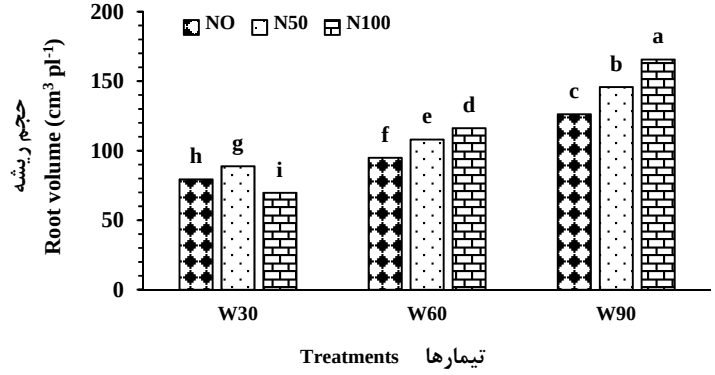
نتایج نشان داد بیشترین حجم ریشه (۱۵۸/۱ سانتی‌متر مکعب بر بوته) در تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) و سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کمترین میزان آن (۷۵/۳ سانتی‌متر مکعب بر بوته) در سیستم بدون خاک‌ورزی و تنش خشکی شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) حاصل شد (شکل ۲). با کاهش سطوح تنش خشکی تأثیر کود نیتروژن بر حجم ریشه افزایش یافت. همچنین اثر متقابل تنش خشکی جزئی و کود نیتروژن ۱۰۰ درصد منجر به بیشترین حجم ریشه (۱۶۵/۶ سانتی‌متر مکعب بر بوته) و تنش خشکی شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کود نیتروژن ۱۰۰ درصد منجر به کمترین حجم ریشه (۶۹/۷ سانتی‌متر مکعب بر بوته) شد (شکل ۳).

در خاک‌ورزی مرسوم به دلیل برهم خوردن خاک و توانایی گسترش بیشتر ریشه تحت این شرایط، نسبت به سیستم بدون خاک‌ورزی حجم ریشه بیشتری تولید شد. تحت شرایط تنش خشکی شدید، در هر دو سیستم خاک‌ورزی موردمطالعه، کمبود شدید آب احتمالا موجب کاهش در تقسیم و توسعه سلولی شد که این امر کاهش حجم ریشه‌ها را درپی داشت.



شکل ۲. حجم ریشه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر تنش خشکی و سیستم‌های خاک‌ورزی. W30، w60 و w90 به‌ترتیب نشان دهنده، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. (میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند)

Fig. 2. Root volume of maize forage affected by drought stress and tillage systems. W30, W60 and W90 are drought stress in 30, 60 and 90 percent of plant water requirement.(Means with the similar letters are not statistically significant)



شکل ۳. حجم ریشه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش خشکی. N0، N50 و N100 به‌ترتیب نشان دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به‌ترتیب نشان دهنده تنش خشکی در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 3. Root volume of maize forage affected by nitrogen levels and drought stress. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are drought stress in 30, 60 and 90 percent of plant water requirement. (Means with the similar letters are not statistically significant)

همچنین به دلیل اثر متقابل شدیدی که بین آب و نیتروژن وجود دارد، در شرایط تنش خشکی شدید، مقادیر بالاتر کود نیتروژن از طریق پسابیدگی ریشه‌ها موجب تخریب بیشتر آنها شد و در نهایت حجم ریشه‌ها را کاهش داد. در یک مطالعه بروی گیاه پنبه، بیشترین میزان حجم ریشه از تیمار کود نیتروژن نسبت به عدم کاربرد آن حاصل شد (Chen et al., 2020).

سطح ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خاک‌ورزی در تنش خشکی در کود نیتروژن بر سطح ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین سطح ریشه (۳۰۵۵/۷ سانتی‌متر مربع بر بوته) از اثر متقابل تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کود نیتروژن ۱۰۰درصد در سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کمترین میزان آن (۱۲۷۷/۶ سانتی‌متر مربع بر بوته) از اثر متقابل تنش خشکی شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کود نیتروژن ۱۰۰ درصد در سیستم بدون خاک‌ورزی حاصل شد (شکل ۴).

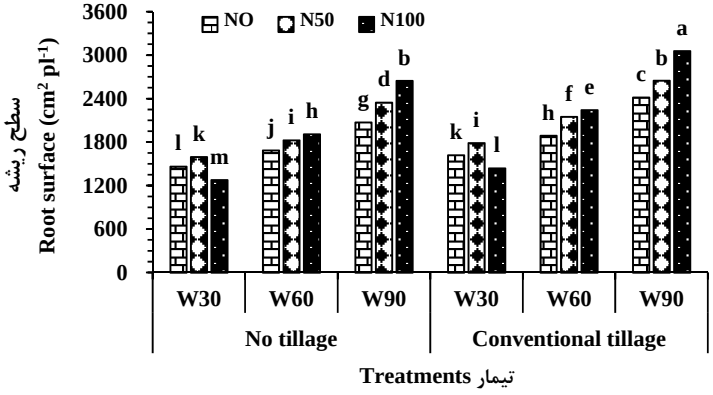
صرف‌نظر از تیمارهای تنش خشکی و کود نیتروژن، سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به سیستم بدون خاک‌ورزی سطح ریشه بالاتری داشت. همچنین تنش خشکی شدید و کود نیتروژن ۱۰۰ درصد در هر دو سیستم خاک‌ورزی موردمطالعه منجر به کمترین میزان سطح ریشه نسبت به دو تیمار کودی دیگر شد. همچنین سطح ریشه با افزایش فراهمی آب قابل‌دسترس و تأمین کود نیتروژن موردنیاز گیاه در هر دو سیستم خاک‌ورزی موردمطالعه افزایش یافت.

در یک مطالعه بروی گیاه پنبه، بیشترین میزان سطح ریشه از مقادیر کود نیتروژن نسبت به عدم مقادیر آن حاصل شد که نشان‌دهنده تأثیر کلیدی این عنصر بر میزان صفت یاد شده است ((Chen et al., 2020).

تراکم طول ریشه

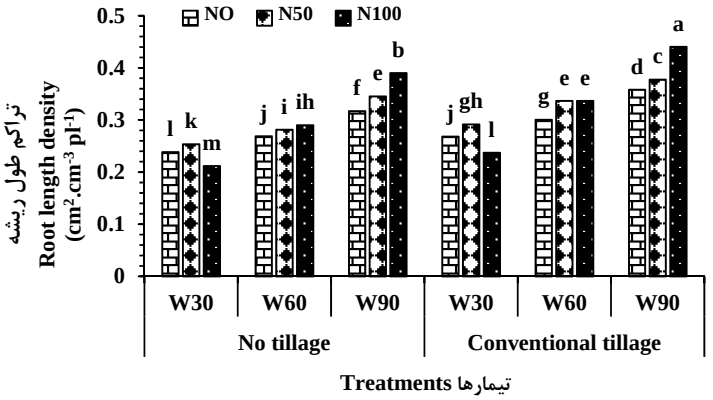
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خاک‌ورزی در تنش خشکی در کود نیتروژن بر تراکم طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین تراکم طول ریشه (۰/۴۴ سانتی متر مربع بر سانتی‌متر مکعب خاک) از تیمار خاک‌ورزی مرسوم در کود نیتروژن ۱۰۰ درصد و تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) حاصل شد. همچنین کمترین میزان صفت یاد شده (۰/۲۱ سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مکعب خاک) از ترکیب تیمارهای ۱۰۰ درصد کود نیتروژن و تنش خشکی شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) در روش بدون خاک‌ورزی حاصل شد (شکل ۵). در هر دو سیستم خاک‌ورزی موردمطالعه زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی شدید قرار گرفت، مقادیر ۱۰۰ درصد کود نیتروژن موردنیاز گیاه موجب کاهش تراکم طول ریشه نسبت به دو سطح دیگر نیاز کودی گیاه شد. در تنش خشکی متوسط (۶۰ درصد نیاز آبی گیاه)،

تأثیر افزایش سطوح کود نیتروژن موردنیاز گیاه بر افزایش تراکم طول ریشه افزایشی بود هرچند از لحاظ آماری در هرکدام از خاک‌ورزی‌های موردمطالعه تفاوت معنی¬داری بین مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی مشاهده نشد. همچنین هر دو سیستم خاک‌ورزی موردمطالعه زمانی که در معرض تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) قرار گرفتند، روند تراکم طول ریشه با افزایش سطوح کود نیتروژن افزایشی بود و تأثیر کود نیتروژن ۱۰۰ درصد بر صفت یاد شده بسیار بیشتر از دو تیمار کودی دیگر شد. قبلاً بیان شد که تنش خشکی شدید موجب کاهش تراکم طول ریشه می شود (Xu et al., 2018). همچنین اظهار شد که تأمین نیتروژن بهینه برای گیاه موجب افزایش تراکم و وزن خشک ریشه می‌گردد(Hedegaard et al., 2006)



شکل ۴. سطح ریشه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش خشکی در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به‌ترتیب نشان دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به‌ترتیب نشان دهنده تنش خشکی در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 4. Root surface of maize forage affected by nitrogen levels and drought stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are drought stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. Means with the similar letters are not statistically significant.

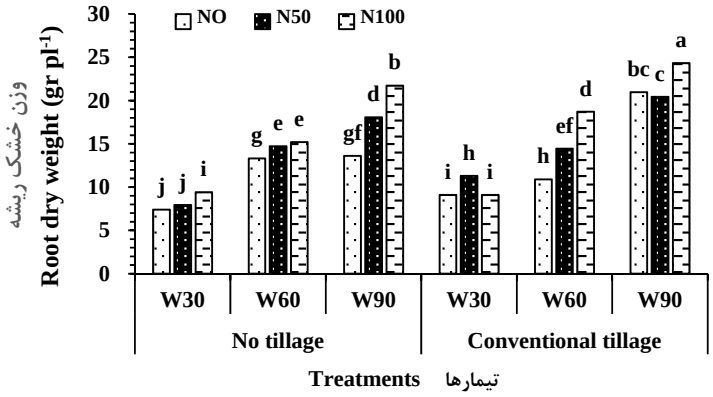


شکل ۵. تراکم طول ریشه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش خشکی در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به‌ترتیب نشان دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به‌ترتیب نشان دهنده تنش خشکی در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 5. Root length density of maize forage affected by nitrogen levels and drought stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are drought stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. Means with the similar letters are not statistically significant.

وزن خشک ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خاک‌ورزی در تنش خشکی در کود نیتروژن بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه (۲۴/۳ گرم بر بوته) از تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) و مقادیر ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کمترین میزان آن (۷/۴ گرم بر بوته) از تنش خشکی شدید (۳۰ درصد) و عدم مقادیر کود نیتروژن در سیستم بدون خاک‌ورزی حاصل شد (شکل ۶). تنش خشکی شدید در هر دو سیستم خاک‌ورزی موردمطالعه موجب کاهش وزن خشک ریشه شد ولی با فراهمی آب قابل‌دسترس برای گیاه و تأمین کود نیتروژن موردنیاز گیاه، وزن خشک ریشه افزایش یافت. در مطالعه بروی گیاه برنج، کمترین میزان وزن خشک ریشه از تنش خشکی شدید و عدم مقادیر کود نیتروژن حاصل شد (Xu et al., 2018). همچنین در گیاه گوجه فرنگی (Molavi et al., 2011) و ذرت (Sakinejad, 2004)، تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک ریشه شد.



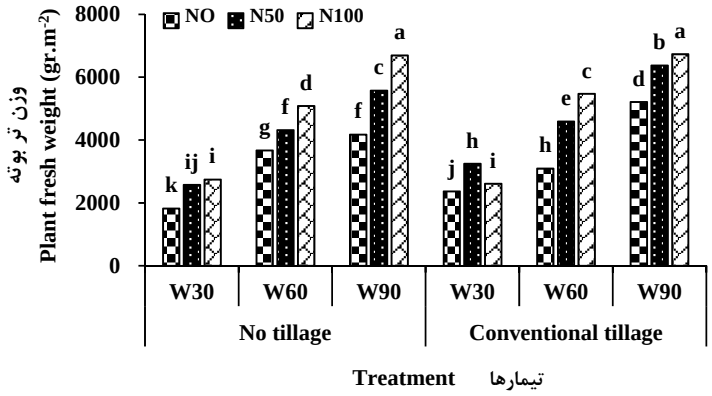
شکل ۶. وزن خشک ریشه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش خشکی در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به‌ترتیب نشان دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به‌ترتیب نشان دهنده تنش خشکی در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است. میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 6. Root dry weight of maize forage affected by nitrogen levels and drought stress under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are drought stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. Means with the similar letters are not statistically significant.

وزن تر بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل خاک‌ورزی در تنش خشکی در کود نیتروژن بر وزن تر بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن تر بوته (۶۷۳۲/۶ گرم بر مترمربع)، از اثر متقابل تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کود نیتروژن ۱۰۰ درصد در سیستم خاک‌ورزی مرسوم به دست آمد که البته از لحاظ آماری (۶۶۹۲/۵ گرم در مترمربع) با ترکیب تیماری یاد شده در سیستم بدون خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۷). کمترین وزن تر بوته (۱۸۲۴/۷گرم در مترمربع)، از تنش خشکی شدید (۳۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عدم کاربرد کود نیتروژن در روش بدون خاک‌ورزی حاصل شد؛ با این حال مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در تنش خشکی شدید نسبت به کاربرد ۵۰ درصد آن، موجب کاهش ۱۹/۵ درصد عملکرد تر بوته در روش خاک‌ورزی مرسوم شد. با توجه به نتایج گزارش شده که خصوصیات کمی ریشه در خاک‌ورزی مرسوم از روش بدون خاک‌ورزی بیشتر بود و همچنین به دلیل همبستگی بالایی که این صفات با وزن تر بوته داشتند (جدول ۳)، به‌نظر میرسد که این برتری رشدی ریشه‌ها باعث افزایش میزان دسترسی گیاه به مواد غذایی خاک شده در نتیجه علوفه تر بیشتری تولید شود. گزارش شده است که افزایش وزن خشک ریشه‌ها باعث افزایش زیست‌توده گیاه و عملکرد دانه گندم خواهد شد (Zhang et al., 2009). در

غلظت‌های کم نیتروژن، ریشه‌های گیاه باید آب بیشتری جذب کنند تا بتوانند همان مقدار نیتروژن مورد نیاز خود را نسبت به شرایط فراهمی نیتروژن جذب کنند. برعکس، در شرایط تنش خشکی، ریشه‌های گیاه قادر به جذب مقادیر مطلوب نیتروژن از خاک نیستند که این امر موجب اختلال در متابولیسم‌های فیزیولوژیکی گیاه شده و تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاه خواهد داشت (Waraich et al., 2011). بیان شده است کمبود نیتروژن در ریشه گیاه پنبه می‌تواند از رشد اندام‌های هوایی جلوگیری کند و این کاهش رشد به نوبه خود فعالیت ریشه را نیز محدود کرده و در نتیجه عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Chen et al., 2020). همچنین گزارش دادند در پی کاهش مصرف نیتروژن، اندازه و دوام سطح برگ کاهش می‌یابد؛ در نتیجه با کاهش نور دریافتی فتوسنتز گیاه ذرت نیز مختل می‌گردد (Lack et al., 2008) و در ادامه تولید زیست توده کاهش می‌یابد.



شکل ۷. وزن تر بوته ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کود نیتروژن و تنش خشکی در سیستم‌های خاک‌ورزی. N0، N50 و N100 به‌ترتیب نشان دهنده صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن و W30، W60 و W90 به‌ترتیب نشان دهنده تنش خشکی در سطح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه است.(میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 7. Plant fresh weight of maize forage affected by nitrogen levels and irrigation regimes under tillage systems. N0, N50 and N100 are 0, 50 and 100 percent of nitrogen demand, respectively and W30, W60 and W90 are drought stress in 30, 60 and 90 percent of water requirement. Means with the similar letters are not statistically significant.

جدول۳. ضرایب همبستگی بین طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، تراکم طول ریشه، وزن خشک ریشه و وزن تر بوته ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر نوع خاک‌ورزی، تنش خشکی و سطوح نیتروژن

Table 3. Correlation between root length, root volume, root surface, root length density, root dry weight, and plant fresh weight of Zea mays affected by tillage types, drought stress and nitrogen levels

	Traits	صفات	1	2	3	4	5	6
1	Root length	طول ریشه	1					
2	Root volume	حجم ریشه	0.99**	1				
3	Root surface	سطح ریشه	1**	1**	1			
4	Root length density	تراکم طول ریشه	1**	0.99**	1**	1		
5	Root dry weight	وزن خشک ریشه	0.93**	0.95**	0.95**	0.93**	1	
6	Plant fresh weight	وزن تر بوته	0.91**	0.94**	0.93**	0.91**	0.97**	1

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی شدید، فراهمی کود نیتروژن مورد نیاز گیاه ذرت تاثیر چندانی بر افزایش میزان طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، تراکم طول ریشه، وزن خشک ریشه و در نهایت وزن تر بوته در هر دو سیستم خاک‌ورزی مورد مطالعه نداشت، اما با کاهش شدت تنش خشکی و افزایش فراهمی کود نیتروژن مورد نیاز گیاه، مقادیر صفات یاد شده به میزان بیشتری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن‌ها از اثر متقابل تیمار کود نیتروژن ۱۰۰ درصد و تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) حاصل شد. همبستگی مثبت و بالایی بین صفات ریشه‌ای با وزن تر بوته مشاهده شد که نشان دهنده اهمیت فراهمی بستر مطلوب کشت و نیز تامین آب و کود نیتروژن مورد نیاز گیاه در رشد ریشه و در نتیجه عملکرد نهایی گیاه است. گرچه سیستم خاک‌ورزی مرسوم در این پژوهش در نهایت موجب افزایش خصوصیات کمی رشد ریشه و در نهایت وزن تر بوته تحت تیمار تنش خشکی جزئی (۹۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کود نیتروژن ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده، شد، ولی به دلیل اینکه تفاوت معنی‌داری در عملکرد علوفه تر ذرت در هر دو سیستم خاک‌ورزی مورد مطالعه مشاهده نشد، روش بدون خاک‌ورزی با اعمال تنش خشکی جزئی و مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز گیاه برای تولید ذرت علوفه‌ای مناسب‌تر است.

منابع

Afzalinia, S. Karami, A., Rousta, M.J., 2019. Effect of conservation tillage on soil properties, field capacity, fuel consumption, and wheat yield in the wheat-corn rotation. Agricultural Mechanization and Systems Research. 20, 163-178. [In Persian with English summary].

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

Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma. 124, 3-22.

Chen, J., Liu, L., Wang, Z., Zhang, Y., Sun, H., Song, S., Bai, Z., Lu, Z., Li, C., 2020. Nitrogen fertilization increases root growth and coordinates the root–shoot relationship in cotton. Frontiers in Plant Science. 11, 880.

Hassan, M.M., Gregory, P.J., 1999. Water transmission properties as affected by cropping and tillage systems. Soil Science. 16, 29-38.

He, Y.B., Lin, L.R., Chen, J.Z., 2017. Maize root morphology responses to soil penetration resistance related to tillage and drought in a clayey soil. The Journal of Agricultural Science. 155, 1137.

Hedegaard, J., Hauge, M., Fage-Larsen, J., Mortensen, K.K., Kilian, M., Sperling-Petersen, H.U., et al., 2006. The effect of nitrogen fertilization on root distribution of winter wheat. Plant Soil and Environment. 52, 308–313.

Hodge, A., 2004. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. New Phytologist. 162, 9-24.

Huang, G.B., Qiang, C.H.A.I., Feng, F.X., Yu, A.Z., 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid Northwest China. Journal of Integrative Agriculture. 11, 1286-1296.

Husen, A., Iqbal, M., Aref, I.M., 2014. Growth, water status, and leaf characteristics of Brassica carinata under drought and rehydration conditions. Brazilian Journal of Botany, 37, 217-227.

Karimi, M., Esfahani, M., Bigluei, M.H., Rabiee, B. and Kafi Ghasemi, A., 2009. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht Climate. Journal of Crop Production, 2, 91-110. [In Persian with English summary].

Lack, Sh., Naderi, A., Siadat, S.A., Aieneband, A., Noormohamadi, G., Musavi, S.H., 2008. Effect of different levelss 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].

Molavi, H., Mohammadi, M., Liaghat., AM., 2011. Effect of full irrigation and alternative furrow irrigation on yield, yield components and water use efficiency of tomato (Super Strain B). Water and Soil Science. 21, 115-126. [In Persian with English summary].

Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Safadoust, A., 2009. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and

maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. Soil and Tillage Research. 104, 173-179.

Nasiri, M., Meskarbashi, M., Hassibi, P., Pirdashti, H., 2015. Screening of rice genotypes by some morphological and physiological traits under drought stress condition. Journal of Plant Production Research. 22, 95-117.

Qin, R., Stamp, P., Richner, W., 2005. Impact of tillage and banded starter fertilizer on maize root growth in the top 25 centimeters of the soil. Agronomy Journal. 97, 674-683.

Razaviezadeh, R., Amoubeigi, M., 2013. The effect of drought stress and paclobutrazol on the accumulation of flavonoids and minerals in vitro in canola (*Brassica napus*). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 31, 12-22. [In Persian with English summary].

Sainju, U.M., Singh, B.P., Whitehead, W. F., 2005. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon, and nitrogen. Agronomy Journal. 97, 1279-1290.

Sakinejad. T., 2004. Effects of water stress on the uptake of nitrogen, phosphorus, potassium and sodium in different periods of growth, according to the morphological and physiological characteristics of corn in Ahwaz climatic conditions. PhD. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Ahvaz. [In Persian].

Tennant, D., 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. The Journal of Ecology. 995-1001.

Tian, Q.Y., Sun, P., Zhang, W.H., 2009. Ethylene is involved in nitrate-dependent root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. New Phytologist. 184, 918-931.

Vamerali, T., Saccomani, M., Bona, S., Mosca, G., Guarise, M., Ganis, A., 2003. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. In Roots: The Dynamic Interface Between Plants and the Earth (pp. 157-167). Springer, Dordrecht.

Waraich, E.A., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. Australian Journal of Crop Science. 5, 764-777.

Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Sai Prasad, S.V., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J., Watt, M., 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. Journal of Experimental Botany. 63, 3485-3498.

Xu, G.W., Lu, D.K., Wang, H.Z., Li, Y., 2018. Morphological and physiological traits of rice roots and their relationships to yield and nitrogen utilization as influenced by irrigation regime and nitrogen rate. Agricultural Water Management. 203, 385-394.

Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Wang, Y., Shao, L., 2009. Root size, distribution and soil water depletion as affected by cultivars and environmental factors. Field Crops Research. 114, 75-83.

Zheng-An, S.U., Zhang, J.H., Xiao-Jun, N.I.E., 2010. Effect of soil erosion on soil properties and crop yields on slopes in the Sichuan Basin, China. Pedosphere. 20, 736-746.