

Effect of Nitrogen Fertilizer Splitting on Eco-Physiological Traits of Two Maize Cultivars under Normal Irrigation and Stress

Javid Norouzi¹, Saeed Seyfzadeh^{1*}, Davood Eradatmand Asli², Hamidreza Zakerin¹,
Ismail Hadidi Masouleh²

Received: 03 February 2021 Accepted: 14 July 2021

1- Dept. of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Dept. of Agriculture, Takestan, Iran.

2- Payame Noor University, Faculty of Agriculture, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: saeedsayfzadeh@yahoo.com

Abstract

Objectives: The effect of different nitrogen splitting on yield and some eco-physiological traits of two maize cultivars (SC 704 and maxima) under normal irrigation and stress conditions were aimed.

Materials and Methods: The experiment was performed as a factorial split plot based on a randomized complete block design with three replications. The main factors include irrigation at two levels: Normal irrigation (I₁: irrigation after 60 mm evaporation from Class A pan) and stress (I₂: irrigation after 120 mm evaporation) and nitrogen split at four levels (N₁: 50% after emergence + 50% after 8 leaves, N₂: 33% after emergence + 33% after 8 leaves + 33% after appearance of tassel, N₃: 25% after emergence + 50% after 8 leaves + 25% after appearance of tassel and N₄: 25% after emergence + 25% after 8 leaves + 50% after the appearance of tassel) and cultivar as sub-factor at two levels (V₁: single cross cultivar 704 and V₂: Maxima cultivar) were considered.

Results: Normal irrigation with an average of 10351 kg.ha⁻¹ had the highest grain yield, which was 26% higher than stress conditions. N₃ treatment with an average of 9541 kg.ha⁻¹ had the highest grain yield compared to other treatments.

Conclusion: Due to the improvement of physiological traits and yield, the use of single cross 704 with N₃ treatment under water restriction condition in summer is recommended.

Keywords: Abscisic Acid, Proline, Water Deficit Stress, SC 704, Catalase

اثر تقسیط کود نیتروژن بر صفات اکوفیزیولوژیکی دو رقم ذرت در شرایط آبیاری معمول و تنش

جاوید نوروزی^۱، سعید سیف زاده^{*}، داوود ارادتمند اصلی^۲، حمیدرضا ذاکرین^۱، اسماعیل حدیدی ماسوله^۲

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۳

۱- گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

۲- دانشگاه پیام نور، دانشکده کشاورزی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: Email: saeedsayfzadeh@yahoo.com

چکیده

اهداف: بررسی تأثیر تقسیط‌های مختلف نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات اکوفیزیولوژیکی دو رقم ذرت (سینگل کراس ۷۰۴ و ماکسیما) در شرایط آبیاری معمول و تنش از اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل‌های اصلی شامل آبیاری در دو سطح: آبیاری معمول (I₁: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و تنش (I₂: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و تقسیط نیتروژن در چهار سطح (N₁: ۱/۲ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگ، N₂: ۱/۳ پس از سبز شدن + ۱/۳ پس از ۸ برگ + ۱/۴ پس از ظهور گل‌آذین نر، N₃: ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگ، N₄: ۱/۴ پس از ظهور گل‌آذین نر و ۱/۴ پس از ۸ برگ + ۱/۲ پس از ظهور گل‌آذین نر) و عامل فرعی رقم در دو سطح (V₁: رقم سینگل کراس ۷۰۴ و V₂: رقم ماکسیما) در نظر گرفته شدند.

یافته‌ها: آبیاری معمول با میانگین ۱۰۳۵۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را دارا بود که نسبت به شرایط تنش ۲۶ درصد عملکرد بیشتری داشت. تیمار N₃ با میانگین ۹۵۴۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را نسبت به تیمارهای دیگر داشت. همچنین رقم سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به رقم ماکسیما دارای عملکرد بالاتری بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به بهبود صفات فیزیولوژیکی و عملکرد، استفاده از رقم سینگل کراس ۷۰۴ به همراه تیمار تقسیط N₃ در شرایط محدودیت آب در فصل تابستان قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: آبسزیک اسید، پرولین، تنش کم‌آبی، سینگل کراس ۷۰۴، کاتالاز

مقدمه

گیاه در ایران نیز در سال ۲۰۱۹ حدود ۲۰۴ هزار هکتار و تولید سالانه آن در حدود ۱ میلیون و ۴۰۰ هزار تن بوده است (فائو ۲۰۱۹).

خشکی یکی از محدودیت‌های عمده در بهره‌وری کشاورزی در سراسر جهان محسوب می‌شود (چن و همکاران ۲۰۱۶). تنش خشکی مانع تولید محصول در گیاهان می‌شود؛ به این دلیل که دسترسی محدود به آب بر صفات فیزیولوژیکی و فرآیندهای بیوشیمیایی که بر

ذرت به عنوان یک گیاه زراعی دو منظوره (دانه ای و علوفه ای) سومین گیاه زراعی مهم جهان است که در تغذیه انسان و دام نقش مهمی دارد (دهمرد و همکاران ۲۰۰۹). بنابر آمار سازمان خواروبار جهانی (فائو ۲۰۱۹) سطح زیر کشت ذرت حدود ۱۹۷ میلیون و ۲۰۴ هزار هکتار و میزان تولید سالانه این گیاه حدود ۱ میلیارد و ۱۴۸ میلیون تن گزارش شده است. سطح زیر کشت این

فصل رشد شامل تلفات نیتروژن از طریق آبشویی و دی-نیتریفیکاسیون در فصول مرطوب می‌باشد و بهره‌وری استفاده نیتروژن و یا عملکرد را افزایش می‌دهد (خشایی و همکاران ۲۰۱۹). نتایج نشان داد است که تقسیط کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد دانه و کاهش میزان مصرف نیتروژن می‌شود (هوان ۲۰۱۰). نتایج تحقیق توانگر و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تأثیر تقسیط کود نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده در گیاه ذرت، به‌طور هم‌زمان به وضعیت آبیاری و نوع هیبرید وابسته بود. تحت هر دو شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری افزایش تقسیط کود نیتروژن، عملکرد دانه، عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب آبیاری را افزایش داد. همچنین با افزایش تقسیط کود نیتروژن شاخص تحمل به تنش دانه و علوفه افزایش یافت.

هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی تأثیر تقسیط‌های مختلف نیتروژن بر صفات اکوفیزیولوژیکی و عملکرد دو رقم ذرت در شرایط آبیاری معمول و تنش بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای در شهر احمدآباد مستوفی واقع در فاصله هفت کیلومتری جنوب غربی استان تهران اجرا گردید. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۱۶۵ متر است و مقدار بارندگی سالیانه آن حدود ۲۳۱ و متوسط درجه حرارت سالیانه آن به ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

رشد و عملکرد گیاه تأثیر بسزایی دارند، اثر منفی می‌گذارد (حسین و همکاران ۲۰۱۸). رضایی سوخت آبندانی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی اثر متقابل تنش خشکی و کود نیتروژن بر ذرت گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه و نیتروژن برگ بلال در دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر تبخیر و مصرف ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن در سه تقسیط (۵۰ درصد در زمان کاشت، ۲۵ درصد در مرحله ۸-۶ برگ و ۲۵ درصد در مرحله ۱۲-۱۰ برگی) بدست آمد. نصراله‌زاده اصل و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که تنش خشکی در مرحله بعد از گلدهی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش عملکرد دانه هیبریدهای ذرت مورد مطالعه گردید. محرم‌نژاد و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه در هیبریدهای ذرت اظهار داشتند که تنش خشکی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش عملکرد دانه و افزایش میزان پرولین در هیبریدهای ذرت مورد مطالعه شد.

نیتروژن به‌عنوان مهم‌ترین عنصر غذایی در حاصلخیزی خاک، محور اصلی کودهای شیمیایی را تشکیل می‌دهد. نیتروژن در ساختمان پروتئین، اسید نوکلئیک، کلروفیل، آنزیم‌ها، فسفاتیدها و اکثر ویتامین‌ها و سایر مولکول‌های آلی وجود دارد که در تبادل مواد گیاهان نقش مؤثر دارند (بهره و همکاران ۲۰۱۴). امروزه کاربرد کود نیتروژن برای ذرت پس از کشت، طی دوره رویشی رایج‌تر است. فواید کاربرد نیتروژن در طول

جدول ۱- حداکثر و حداقل دما زمان اجرای آزمایش در منطقه احمدآباد مستوفی

ماه	۱۳۹۶		۱۳۹۷	
	حداکثر دما (°C)	حداقل دما (°C)	حداقل دما (°C)	حداکثر دما (°C)
اردیبهشت	۳۲	۴	۳۲	۶
خرداد	۳۹	۱۶	۳۸	۱۷
تیر	۴۰	۱۷	۴۰	۱۸
مرداد	۳۹	۲۰	۳۶	۲۲
شهریور	۳۴	۱۴	۳۷	۱۴
مهر	۳۲	۹	۳۳	۸

اصلی شامل آبیاری در دو سطح آبیاری معمول (I1: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و تنش (I2: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و تقسیط نیتروژن در چهار سطح (N1: ۱/۲ پس از سبز شدن +

این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. هر کرت آزمایش شامل ۶ ردیف کاشت به فاصله ۷۵ سانتیمتر و طول ۶ متر در نظر گرفته می‌شود. عامل‌های

کرت‌ها در آن مشخص شد و سپس جوی‌های آبیاری تعبیه گردیدند. پس از آماده شدن کرت‌ها در وسط هر پشته، کاشت بذور به فاصله ۱۸ سانتیمتر در تاریخ ۱۰ تیر انجام شد. به‌منظور آگاهی از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، پس از نمونه‌گیری تصادفی و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، آزمون خاک انجام شد که نتایج آن به شرح جدول ۲ آورده شده است. به‌منظور تأمین عناصر غذایی، ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب کود فسفات تریپل و سولفات پتاسیم همزمان با مرحله کاشت مصرف گردید. مصرف کل نیتروژن در طول دوره رشد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره در نظر گرفته شد که طبق تقسیط‌های مختلف تیماری در آزمایش اعمال شد.

۱/۲ پس از ۸ برگ، N2: ۱/۳ پس از سبز شدن + ۱/۳ پس از ۸ برگ + ۱/۳ پس از ظهور گل‌آذین نر، N3: ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگ + ۱/۴ پس از ظهور گل‌آذین نر و N4: ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۴ پس از ۸ برگ + ۱/۲ پس از ظهور گل‌آذین نر) و عامل فرعی رقم در دو سطح (V1: رقم سینگل کراس ۷۰۴ و V2: رقم ماکسیما) بودند. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین تکرارها ۴ متر در نظر گرفته شد. برای خروج زه‌آب تکرارهای بالادست و عدم ورود آب آن به تکرار بعدی یک کانال مجزا در بین تکرارها در نظر گرفته شد. به‌منظور آماده‌سازی زمین یک شخم عمیق در پاییز و یک شخم سطحی در بهار زده شد و پس‌از آن دو بار دیسک عمود بر هم زده و تسطیح شد. سپس اندازه

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

عوامل مورد تجزیه	عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	واکنش خاک (pH)	ازت کل (%)	کربن آلی (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	بافت خاک
نتیجه	۰-۳۰	۱/۶۱	۷/۷۹	۰/۰۴۵	۰/۴۸	۶/۲	۱۹۱	لوم رسی- سیلتی

۶ بوته انتخابی از هر کرت توزین شد و سپس عدد به‌دست‌آمده برحسب گرم در عدد ۱۰ ضرب گردید و وزن صد دانه هر تیمار ثبت گردید.

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ

برای تعیین شاخص سطح برگ پس از ظهور گل‌آذین نر و در شروع ظهور بلال‌ها، برگ‌های ۶ بوته به طور تصادفی انتخاب شدند و با استفاده از دستگاه سطح‌برگ-سنج (ADC 300 AM Meter A Bio scientific Ltd) به سطح مورد نظر تعمیم داده شد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از روش فرت و لاول (۱۹۹۹) استفاده گردید، به طوری که از چهار برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته از هر کرت آزمایشی انتخاب و جدا شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید. از نمونه برگ‌ها، برش‌های دایره‌ای شکل به تعداد ۵ دیسک یک سانتی‌متر مربعی که در فواصل رگبرگ‌های اصلی

رطوبت خاک با استفاده از روش وزنی، میانگین عمق توسعه ریشه در هر مرحله آبیاری اندازه‌گیری و زمان آبیاری برای تیمارهای مختلف بر اساس تشنگ تبخیر کلاس A تعیین شد.

نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور و اعمال تیمار کود دهی در زمان کاشت انجام شد به صورتی که پشته‌ها کاملاً خیس شدند. آبیاری‌های بعدی نیز مطابق با تیمارهای آزمایش صورت گرفت. عملیات تنک کردن در مرحله ۳ تا ۴ برگی ذرت انجام شد. کنترل علف‌های هرز به صورت عملیات وجین دستی انجام شد. تاریخ برداشت نهایی جهت ارزیابی صفات عملکردی در هر دو سال اجرای آزمایش ۱۲ مهر بود.

محاسبه عملکرد دانه

عملکرد دانه هر کرت، پس از حذف حاشیه‌ها توزین و برحسب کیلوگرم در هکتار ثبت شد. برای به دست آوردن وزن صد دانه، ۱۰۰ عدد دانه مربوط به بلال‌های

میلی مولار آماده شد. سپس ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی را اضافه شد و واکنش شروع گردید. میزان H_2O_2 موجود در مخلوط واکنش پس از یک دقیقه با استفاده از ضریب خاموشی ($\epsilon=0/28 \text{ mMol l-cm}$) و فرمول $\epsilon bc = A$ محاسبه شد که نشان دهنده میزان فعالیت آنزیم است. A معادل جذب خوانده شده، ϵ ضریب خاموشی، c غلظت H_2O_2 و b طول کوط (یک سانتی متر) است. فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی بر حسب مقدار پروتئین کل (میلی گرم) موجود در ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره (به دست آمده از روش برادفورد) در یک دقیقه محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)

جهت سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش ریز و جیانوپولیتیس^۳ (۱۹۷۷) استفاده شد. مخلوط واکنش شامل موارد زیر بود: ۲/۵ میلی لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار با $pH=7/8$ ، ۰/۱ میلی لیتر متیونین ۱۳ mM، ۰/۱ میلی لیتر Nitro Blue Tetrazolium ۱ μM ، ۰/۷۵ میلی لیتر ریپولواوین ۲ μM ، ۰/۲ میلی لیتر عصاره آنزیمی. نمونه های جمع آوری شده بعد از اعمال تیمار تنش خشکی در مرحله گل دهی به مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور قرار داده شدند و پس از این مدت جذب آن ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. در این آزمایش دو نمونه شاهد مورد استفاده قرار گرفت که هر دو بدون عصاره آنزیمی بود، نمونه اول بدون دریافت نور (به عنوان شاهد برای صفر کردن دستگاه اسپکتروفوتومتر) و نمونه دوم ۱۵ دقیقه در مقابل منبع نوری قرار گرفت (به عنوان کنترل، زیرا به دلیل عدم وجود آنزیم احیاء NBT در حضور نور به طور ۱۰۰٪ انجام می گیرد). یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به عنوان مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که منجر به مهار ۵۰٪ احیای نوری نیتروبولوتترازولیوم می گردد.

اندازه گیری هورمون آبسزیک اسید

به منظور سنجش هورمون آبسزیک اسید (ABA)،

نمودند، تهیه و وزن تر آن ها با ترازوی دقیق آزمایشگاهی ثبت گردید. سپس این دیسک ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه و محیط کم نور داخل ظروف پتری دیش حاوی آب مقطر خیسانده شد. سپس آب سطحی روی برش های برگ با کاغذ صافی خشک و با ترازوی دقیق، وزن آماس (اشباع) آن ها تعیین گردید. در انتها دیسک های برگ به مدت ۲۴ ساعت در آون الکتریکی در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد خشک شده و وزن خشک آن ها تعیین شد و در نهایت محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100 \quad (2)$$

که در آن: RWC محتوای نسبی آب برگ، FW وزن تازه برگ، DW وزن خشک برگ، و TW وزن برگ در آماس یا وزن اشباع

اندازه گیری پرولین

برای اندازه گیری پرولین از روش بیتزا^۱ (۱۹۷۳) استفاده شد. به این ترتیب عمل شد که به ۱۰۰ میلی گرم از پودر برگ ۱۰ میلی لیتر از محلول اسید سولفو سالیسیلیک ۳ درصد اضافه شد و پس از ۲۴ ساعت این محلول به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفوژ گردید. از محلول رویی ۲ میلی لیتر برداشت و به آن نین هیدرین به مقدار ۲ میلی لیتر اضافه شد. سپس ۱ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه گردید و لوله ها به مدت ۱ ساعت در بن ماری آب جوش قرار گرفت. پس از سرد شدن بر روی هر لوله ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه شد تا دو فاز تشکیل گردد، سپس فاز رویی برداشت شد و در طول موج ۵۲۰ نانومتر جذب آن قرائت گردید.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از محاسبه کاهش جذب H_2O_2 (کاهش مقدار H_2O_2) در ۲۴۰ نانومتر و با روش موتوو و دیندسا^۲ (۱۹۸۱) انجام شد. یک واحد آنزیمی کاتالاز مقدار آنزیمی است که ۱ میلی مول H_2O_2 را در یک دقیقه تجزیه می کند. بنابراین مخلوط واکنش شامل ۲/۸۷ میلی لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار با $pH=7$ و ۳۰ میکرو لیتر آب اکسیژنه ۱۵

³ Giannopolitis & Ries

¹ Bates

² Motowe & Dhindsa

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، تقسیط نیتروژن و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما اثر متقابل تیمارها بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری بر عملکرد دانه بیانگر این بود که آبیاری معمول با میانگین ۱۰۳۵۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را دارا بود که نسبت به شرایط تنش (۷۵۸۴ کیلوگرم در هکتار) برتری معنی‌داری داشت (جدول ۴). کاهش عملکرد گیاه تحت تنش می‌تواند ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ورود دی‌اکسید کربن به داخل برگ، کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش فتوسنتز در پاسخ به کاهش رطوبت خاک باشد (لیزاسو و همکاران ۲۰۱۷؛ نجفی نژاد ۲۰۲۰). علت بالاتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نسبت به شرایط تنش، وجود آب کافی در خاک است که باعث می‌گردد گیاه به‌خوبی بتواند آب و مواد غذایی موردنیاز را جذب نماید و از رنگیزه‌های فتوسنتزی بالاتر و درنتیجه، فتوسنتز و ماده سازی بیشتر و به‌تبع آن رشد و عملکرد بالاتر برخوردار باشد (باصرکوپه باغ و همکاران ۲۰۱۱).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تقسیط نیتروژن بر عملکرد دانه نشان داد که تیمار N_3 (۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی + ۱/۴ پس از ظهور گل آذین نر) با میانگین ۹۵۴۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را نسبت به تیمارهای دیگر داشت و کمترین مقدار عملکرد دانه متعلق به تیمار N_1 با میانگین ۷۸۶۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). مجدم (۲۰۰۹) اظهار داشت که تقسیط مناسب نیتروژن در زمانی که نیاز گیاه نسبت به این ماده غذایی بالا بود، تأثیر مثبتی بر توزیع ماده خشک در اندام هوایی داشت. کود نیتروژن کافی تحت شرایط تنش ملایم خشکی همچون شرایط مطلوب آبیاری بر عملکردهای ماده خشک بلال، ساقه و برگ تأثیر افزایشی داشت. موتاکومار و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه ذرت در هکتار، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن چوب بلال، وزن بلال و عملکرد زیستی از تقسیط کود نیتروژن طی سه مرحله (یک‌چهارم کاشت، یک‌دوم ۲۵ روز پس از کاشت و یک‌چهارم ۲۵ روز پس از کاشت) به‌دست‌آمده می‌آید

۱۰ دیسک از ۵ برگ بالغ از ۲ بوته به‌طور تصادفی برداشت شد و سپس یک نمونه ۲ گرمی تهیه و نمونه منجمد شد. این نمونه با استفاده از هاون چینی، پودر شده و در فالكون ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس ۴۰ میلی‌لیتر محلول متانول ۸۰٪ حاوی ۰/۲۵ butylated sodium ۰/۵ و 1-hydroxytoluene mg mL و 1-ascorbate mg mL به آن افزوده شده و مدت ۱۶ ساعت در تاریکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا عمل انحلال ABA در محلول به‌خوبی انجام شود. سپس نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۰ صاف شد. متانول اضافی با استفاده از دستگاه تبخیرکننده گردان در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد از محلول صاف‌شده حذف شد. به محلول باقی‌مانده به مقدار مساوی محلول بافر فسفات اضافه شده و pH با استفاده از KOH ۰/۲ نرمال در محدوده ۸/۵ تنظیم شد. محلول حاصل دو بار توسط ۵ الی ۸ میلی‌لیتر اتیل استات شستشو شده و فاز رویی دور ریخته شد. سپس pH محلول به‌وسیله HCl در حدود ۲ الی ۳ تنظیم شد و دوباره با اتیل استات شستشو شد. محلول رویی به فالكون دیگری منتقل شد. پس از تبخیر اتیل استات باقی‌مانده محلول در ۴ میلی‌لیتر اتانول حل‌شده و از فیلتر میلی پور ۰/۴۵ عبور داده شد. محلول به‌دست‌آمده توسط دستگاه HPLC با استفاده از ستون C18 و شدت جریان ۰/۸ میلی‌لیتر در ثانیه و حلال استیک اسید ۰/۱ نرمال و متانول ۸۰٪ مخصوص HPLC به نسبت 1:1 تجزیه شد. در آخر غلظت ABA به‌وسیله استفاده از غلظت نمونه‌های استاندارد تعیین شد (یوکاتا و همکاران ۱۹۹۴).

تجزیه آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها، بر اساس مدل آماری تجزیه مرکب و به کمک نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.1.3 صورت گرفت. به‌منظور اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C آزمودن نرمال انجام شد. مقایسه میانگین‌های هر صفت با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. تجزیه همبستگی صفات با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام گرفت.

کمترین مقدار (۲/۲۵) تفاوت فاحشی با دو تیمار دیگر که در یک سطح آماری بودند داشت. مطالعه روضاتی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تقسیط مناسب نیتروژن می‌تواند موجب افزایش شاخص سطح برگ گردد. آن‌ها بیان نمودند که استفاده از کود نیتروژن در زمان رشد رویشی گیاه می‌تواند دلیل بالاتر بودن شاخص سطح برگ در تیمار موردنظر باشد. متقابلاً، در تیماری که بیشترین مقدار نیتروژن در زمان کاشت استفاده شد کمترین شاخص سطح برگ مشاهده شد که علت آن می‌تواند عدم توانایی گیاه در استفاده از مقدار بالای نیتروژن در آن مرحله باشد. نتایج مشابهی نیز در مطالعه قبادی و همکاران به دست آمد به طوری که آن‌ها پایین‌ترین میزان شاخص سطح برگ را در تیمار ۱۱۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و بیشترین مقدار شاخص سطح برگ را در تیمار ۲۲۱ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند (قبادی و همکاران ۲۰۱۵).

محتوای نسبی آب (RWC)

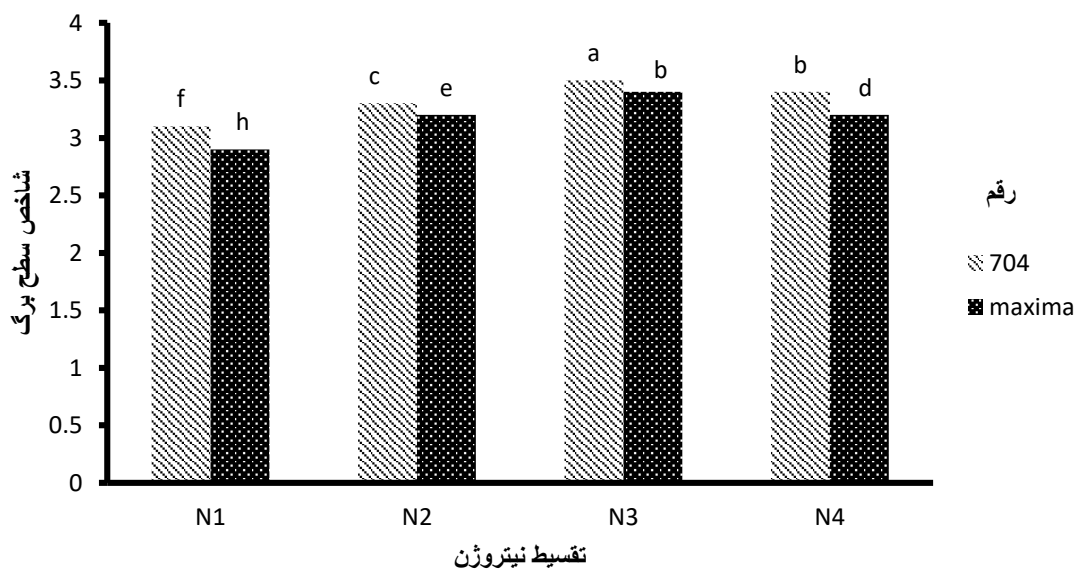
نتایج تجزیه مرکب واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، تقسیط نیتروژن، رقم و اثرات دوگانه تقسیط نیتروژن × رقم در سطح احتمال ۱٪ و اثر دوگانه آبیاری × رقم در سطح احتمال ۵٪ بر محتوای نسبی آب معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و رقم بر محتوای نسبی آب برگ (RWC_L) نشان داد که هر دو رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط آبیاری معمول بیشترین محتوای نسبی آب برگ را داشت (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تقسیط نیتروژن و رقم بر محتوای نسبی آب نشان داد که رقم ۷۰۴ در شرایط آبیاری در تمام تیمارهای تقسیط از نظر محتوای نسبی آب نسبت به رقم ماکسیما برتری داشت (شکل ۴). تنش خشکی و فقدان آب از طریق تأثیر بر فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی مانند کاهش پتانسیل آب برگ، تورم و هدایت روزنه‌ای موجب کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن و فتوسنتز می‌گردد و از این طریق رشد و عملکرد را متأثر می‌سازد (نجدی نژاد ۲۰۲۰). سینگ و سینگ (۱۹۹۵) در بررسی تأثیر تنش خشکی بر سورگوم و ذرت در شرایط مزرعه‌ای گزارش کردند که افزایش شدت تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود.

و بیشترین تعداد بلال در تیمار یک‌دوم زمان کاشت و یک‌دوم ۲۵ روز پس از کاشت به دست آمده می‌آید. همچنین کمترین میزان عملکرد دانه ذرت در هکتار، شاخص سطح برگ، ارتفاع، وزن چوب بلال، وزن بلال و عملکرد زیستی از تقسیط کود نیتروژن طی دو مرحله (یک‌دوم در زمان کاشت و یک‌دوم در ۴۵ روز پس از کاشت) به دست می‌آید.

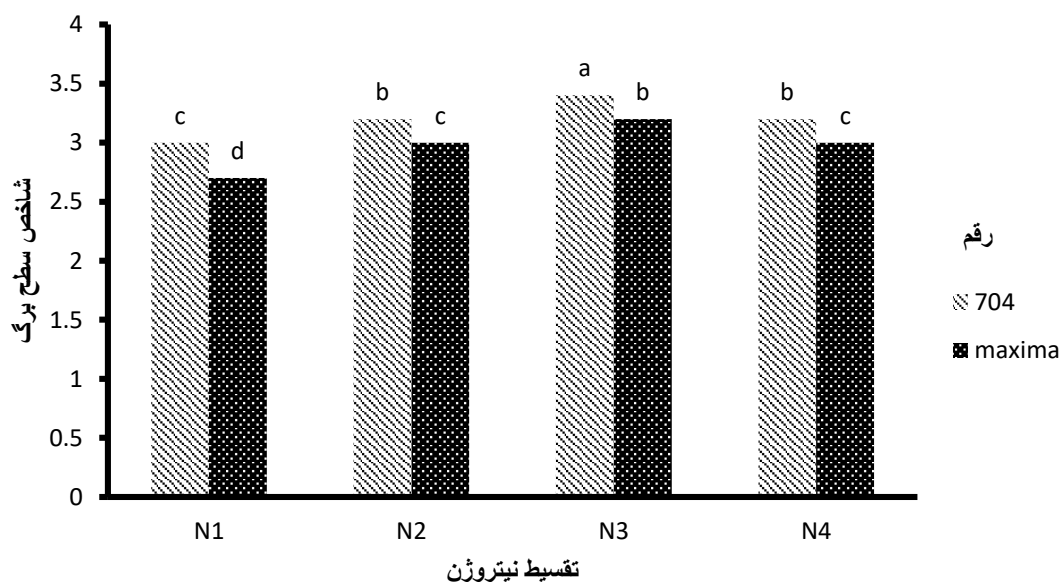
نتایج مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر عملکرد دانه نشان داد که رقم سینگل کراس ۷۰۴ با میانگین ۱۰۲۴۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به رقم ماکسیما با میانگین ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار برتری داشت (جدول ۴). پیراسته انوشه و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی‌های خود اعلام کردند که هیبریدهای دیررس عملکرد بیشتری نسبت به سایر ارقام داشتند. ربانی و امام (۲۰۱۱) با مطالعه برهمکنش بین مراحل تنش خشکی و هیبریدهای ذرت گزارش کردند که در شرایط بدون تنش، هیبرید SC704 دارای بیشترین عملکرد دانه بود. لیکن، با اعمال تنش، عملکرد هیبرید ماکسیما نسبت به هیبرید SC704 برتری داشت.

شاخص سطح برگ

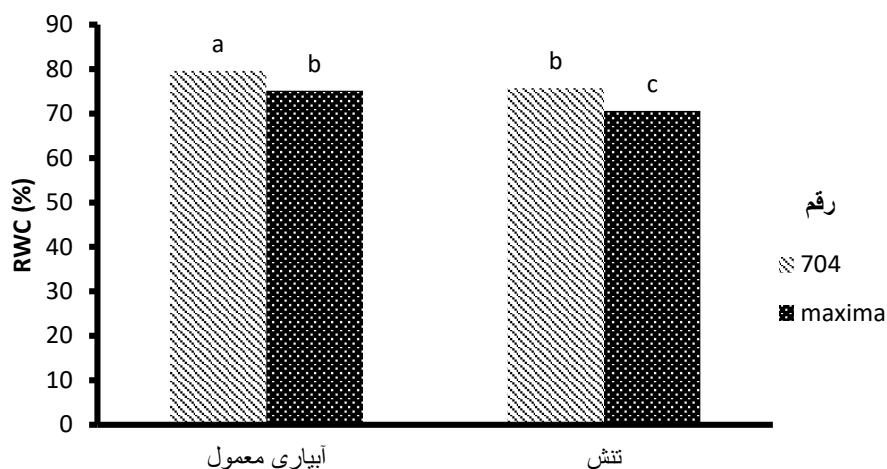
نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر آبیاری، تقسیط، رقم، اثر متقابل آبیاری × رقم، تقسیط × رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل سه‌گانه آبیاری × تقسیط × رقم در سطح یک درصد بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که استفاده از رقم ۷۰۴ در شرایط تقسیط N₃ (۱/۴) پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی + ۱/۴ پس از ظهور گل‌آذین (نر) در شرایط آبیاری معمول بیشترین شاخص سطح برگ را دارد. استفاده از ۷۰۴ در کلیه شرایط تقسیط نیتروژن و همچنین هر دو شرایط آبیاری نسبت به رقم ماکسیما از نظر شاخص سطح برگ برتری داشت. اختلاف بین ارقام ۷۰۴ و ماکسیما از نظر شاخص سطح برگ در شرایط تنش بیشتر مشهود بود (شکل ۱ و ۲). قبادی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود بیان نمودند که شاخص سطح برگ در مرحله گل‌دهی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مقادیر مختلف مصرف آب قرار دارد به طوری که شاخص سطح برگ در تیمار تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی



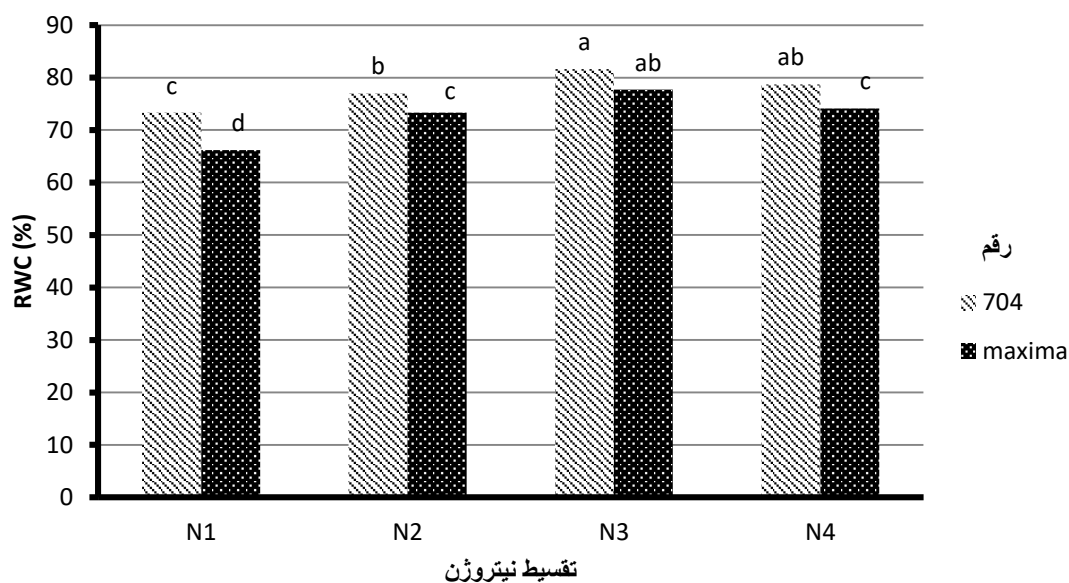
شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تقسیم نیتروژن و رقم برای شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری معمول
 N_1 : $1/2$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگ، N_2 : $1/3$ پس از سبز شدن + $1/3$ پس از ۸ برگ + $1/3$ پس از ظهور گل آذین نر، N_3 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگ، N_4 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/4$ پس از ۸ برگ + $1/2$ پس از ظهور گل آذین نر.



شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تقسیم نیتروژن و رقم برای شاخص سطح برگ در شرایط تنش
 N_1 : $1/2$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگ، N_2 : $1/3$ پس از سبز شدن + $1/3$ پس از ۸ برگ + $1/3$ پس از ظهور گل آذین نر، N_3 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگ، N_4 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/4$ پس از ۸ برگ + $1/2$ پس از ظهور گل آذین نر.



شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری آبیاری و رقم برای محتوای نسبی آب



شکل ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری رقم و تقسیط نیتروژن برای محتوای نسبی آب

N_1 : ۱/۲ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگ، N_2 : ۱/۳ پس از سبز شدن + ۱/۳ پس از ۸ برگ + ۱/۳ پس از ظهور گل آذین نر، N_3 : ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگ + ۱/۴ پس از ظهور گل آذین نر و N_4 : ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۴ پس از ۸ برگ + ۱/۲ پس از ظهور گل آذین نر.

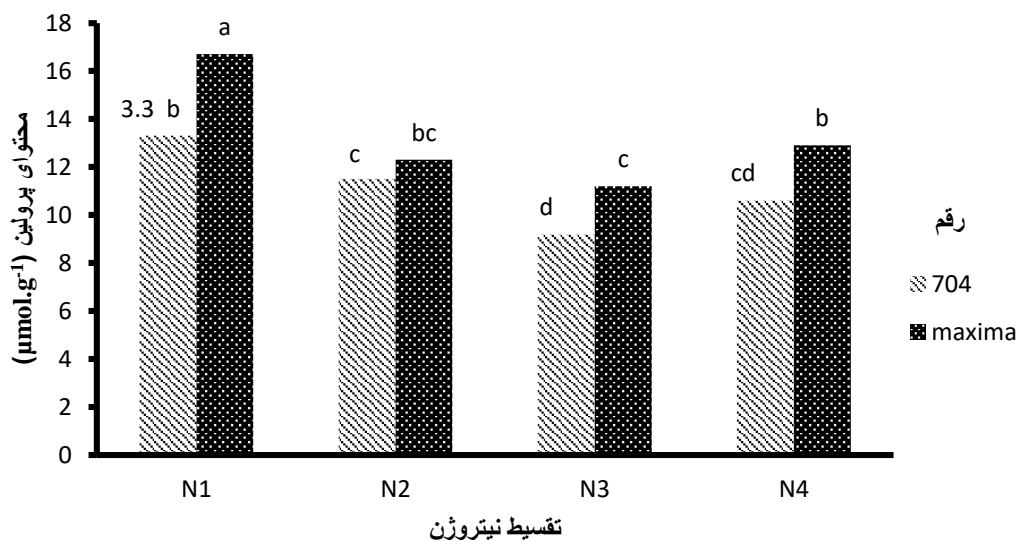
محتوای پرولین برگ

نتایج تجزیه مرکب واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، تقسیط نیتروژن و رقم در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل دوگانه تقسیط نیتروژن × رقم در سطح احتمال ۵٪ بر میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان پرولین در شرایط آبیاری عادی ۱۰/۹۶ میکرو مول بر

گرم گزارش شد درحالی‌که این میزان در شرایط تنش افزایش و برابر با ۱۳/۵۰ میکرو مول بر گرم بود (جدول ۴). در این راستا شهریاری و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای بیان نمودند که میزان پرولین در ذرت شیرین تحت تأثیر تنش رطوبتی افزایش می‌یابد. آن‌ها گزارش کردند که بیشترین میزان پرولین در مرحله تنش خشکی

شهریاری و همکاران (۲۰۱۴) همچنین بیان نمودند که عکس‌العمل ارقام گوناگون در رابطه با تولید پرولین در هنگام تنش خشکی یکسان نیست و این میزان در ارقام مختلف بسته به میزان مقاومت به خشکی متفاوت است. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دوگانه تقسیط و رقم بر میزان پرولین نشان داد که رقم ماکسیما در تیمار کودی N₁ و تنش بیشترین میزان پرولین را داشت. همچنین در کلیه شرایط تقسیط نیتروژن رقم ماکسیما بیشترین میزان پرولین را دارا بود (شکل ۵).

در مرحله رشد زایشی به مقدار ۵/۵۳ میکرو مول بر گرم وزن تازه برگ در رقم هیبرید ۹۶۸ و کمترین مقدار آن در رقم هیبرید ۹۶۸ در تیمار آبیاری نرمال به مقدار ۰/۱۹ میکرو مول بر گرم وزن تازه برگ مشاهده شد که این نتایج با مطالعه حاضر مشابه است. با توجه به افزایش غلظت پرولین در این آزمایش، می‌توان این‌طور بیان نمود که این اسید آمینه به عنوان یک محلول سازگار، نقشی کلیدی در تنظیم اسمزی و حفظ ساختار سلولی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن دارد (کائور و استیر ۲۰۱۵).



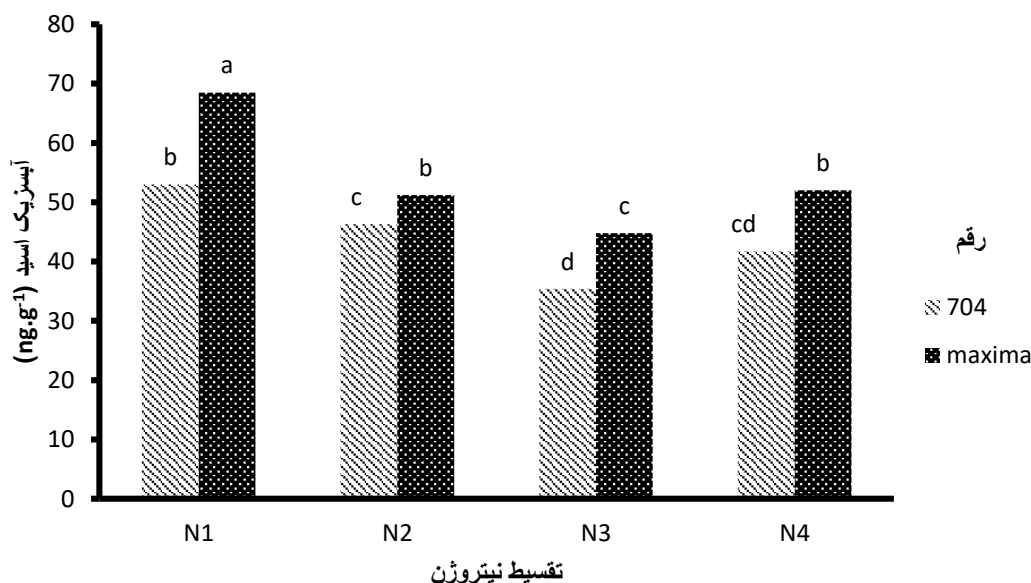
شکل ۵- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تقسیط نیتروژن و رقم برای محتوای پرولین

N₁: ۱/۲ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی، N₂: ۱/۳ پس از سبز شدن + ۱/۳ پس از ۸ برگی + ۱/۳ پس از ظهور گل آذین نر، N₃: ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی + ۱/۲ پس از ظهور گل آذین نر، N₄: ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۴ پس از ۸ برگی + ۱/۲ پس از ظهور گل آذین نر.

معمول تنش خشکی نسبت به ماکسیما به نظر می‌رسد فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان بیشتر هورمون ABA در ماکسیما نشانگر حساسیت و آسیب بیشتر تنش خشکی بر رقم ماکسیما نسبت به هیبرید ۷۰۴ است. به نظر می‌رسد که عدم تقسیط مناسب نیتروژن توانسته به‌عنوان یک عامل تنش‌زا عمل کرده و باعث افزایش سطح آبسزیک اسید در گیاه شود. حضور آبسزیک اسید به‌عنوان یک پیام‌رسان شیمیایی در سطح سلول جهت پاسخ به تنش‌های محیطی در سطح مولکولی و فیزیولوژیکی ضروری است (نوکتور و فویر ۱۹۹۸). در همین راستا نقش آبسزیک اسید در گیاه ذرت در برابر

میزان هورمون آبسزیک اسید

نتایج تجزیه مرکب و آریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، تقسیط نیتروژن، رقم و اثر متقابل دوگانه تقسیط نیتروژن × رقم در سطح احتمال ۱٪ بر میزان هورمون آبسزیک اسید معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان این هورمون در شرایط تنش با میانگین ۴۵/۹۶ نانوگرم بر گرم بود که نسبت به شرایط آبیاری معمول افزایش نشان داد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تقسیط نیتروژن و رقم بر فعالیت هورمون آبسزیک اسید نشان داد که رقم ماکسیما در تیمار کودی N₁ و تنش بیشترین میزان فعالیت هورمون آبسزیک اسید را داشت (شکل ۶). با توجه به عملکرد دانه بیشتر در ذرت ۷۰۴ و شرایط



شکل ۶- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تقسیط نیتروژن و رقم برای میزان هورمون آسبزیک اسید

N₁: ۱/۲ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگ، N₂: ۱/۳ پس از سبز شدن + ۱/۳ پس از ۸ برگ + ۱/۳ پس از ظهور گل آذین نر، N₃: ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگ + ۱/۴ پس از ظهور گل آذین نر و N₄: ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۴ پس از ۸ برگ + ۱/۲ پس از ظهور گل آذین نر.

تنش خشکی به ۱۱۵/۳۰ میلی‌گرم پروتئین رسید. گودرزیان غفاری و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی در هیبریدهای مختلف ذرت نشان دادند که در شرایط تنش با کاهش میزان و سرعت رشد میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در هیبریدهای ذرت کاهش یافته و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد. گیاه به‌منظور تجزیه پراکسید هیدروژن و افزایش تحمل گیاه در مقابل رادیکال‌های فعال اکسیژن باید غلظت این آنزیم را در شرایط تنش افزایش دهد که می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم محافظتی در جهت حفظ بقای گیاه عمل کند (لائور ۲۰۰۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دوگانه تقسیط نیتروژن و رقم بر فعالیت کاتالاز نشان داد که رقم ماکسیما در تیمار کودی N₁ و تنش (۱۶۲/۶ میلی‌گرم پروتئین) بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را داشت (شکل ۷). انجوم و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر تنش خشکی در ذرت بیان کردند که تنش خشکی به‌طور

تنش خشکی در مطالعات فراوانی به اثبات رسیده است و این مطالعات بیان می‌کنند که میزان آسبزیک اسید در گیاه در مواقع تنش خشکی افزایش می‌یابد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارند (آروکا و همکاران ۲۰۰۳).

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه مرکب واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، تقسیط نیتروژن، رقم و اثر متقابل دوگانه تقسیط نیتروژن × رقم در سطح احتمال ۱٪ بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۳). فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط آبیاری عادی با میانگین ۹۸/۹۲ میلی‌گرم پروتئین گزارش شد در حالی که این میزان در شرایط تنش برابر با ۱۲۱/۸۶ میلی‌گرم پروتئین بود (جدول ۴). ایلکایی و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای نشان دادند که سطح آنزیم کاتالاز در مواجهه با تنش خشکی افزایش می‌یابد که نتایج آن‌ها با مطالعه حاضر مشابهت داشت. در این مطالعه مطابق با نتایج به‌دست آمده سطح آنزیم کاتالاز در زمان آبیاری عادی ۷۵/۳۰ میلی‌گرم پروتئین بود که در زمان

نشان دادند که میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در رقم مقاوم به خشکی به صورت معنی داری بیش از رقم حساس به خشکی است که این نتایج با مطالعه حاضر مطابقت داشت. افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش، از طریق لیگنینی شدن دیواره سلولی تا حدود زیادی می‌تواند خسارت ناشی از تنش و آسیب‌های اکسیداتیو را کاهش دهد (موسی و عبدالعزیز ۲۰۰۸).

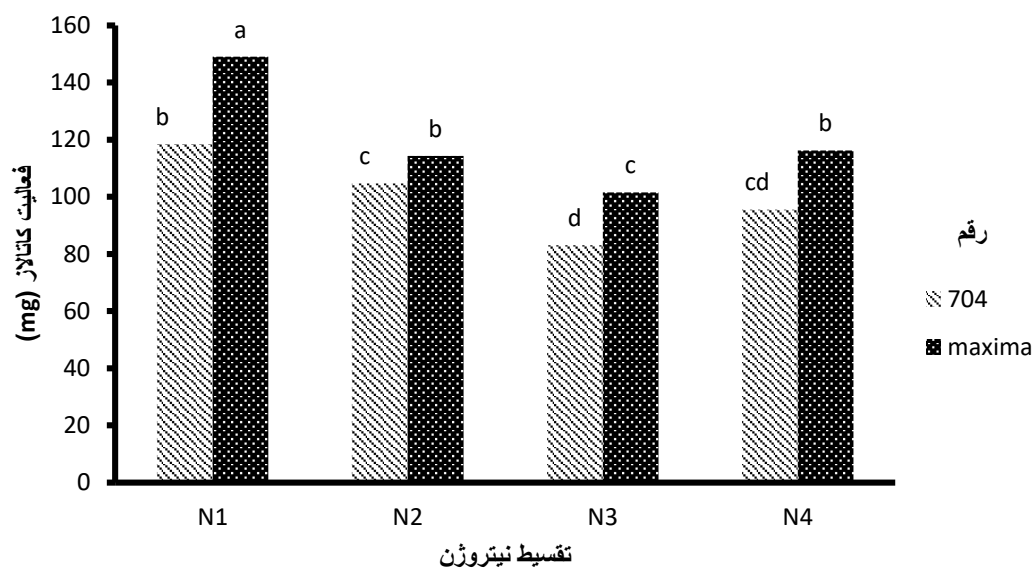
تجزیه همبستگی

بررسی نتایج تجزیه همبستگی صفات نشان می‌دهد عملکرد دانه با صفات شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی دار، و با صفات میزان پرولین برگ، غلظت آبسزیک اسید، فعالیت کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز همبستگی منفی و معنی داری داشت (جدول ۵). توکلی اوجانی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که محتوای رطوبت نسبی برگ با عملکرد دانه ذرت همبستگی مثبت و معنی داری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند. در ارتباط منفی بین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دسموتاز و کاتالاز و عملکرد دانه می‌توان نتیجه گرفت که افزایش آنزیم‌ها از طریق کاهش اثرات زیان‌بار تنش خشکی موجب جلوگیری از افت شدید عملکرد دانه در گیاه می‌شود (اردلانی و همکاران ۲۰۱۴). همبستگی منفی بین آبسزیک اسید و محتوای نسبی آب، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که افزایش هورمون آبسزیک اسید سبب کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش فتوسنتز شده که در نتیجه شاخص‌های همسو با رشد و عملکرد کاهش می‌یابد.

معنی داری موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز در هیبریدهای ذرت می‌شود، به طوری که میزان افزایش در رقم متحمل نسبت به رقم حساس بیشتر بود.

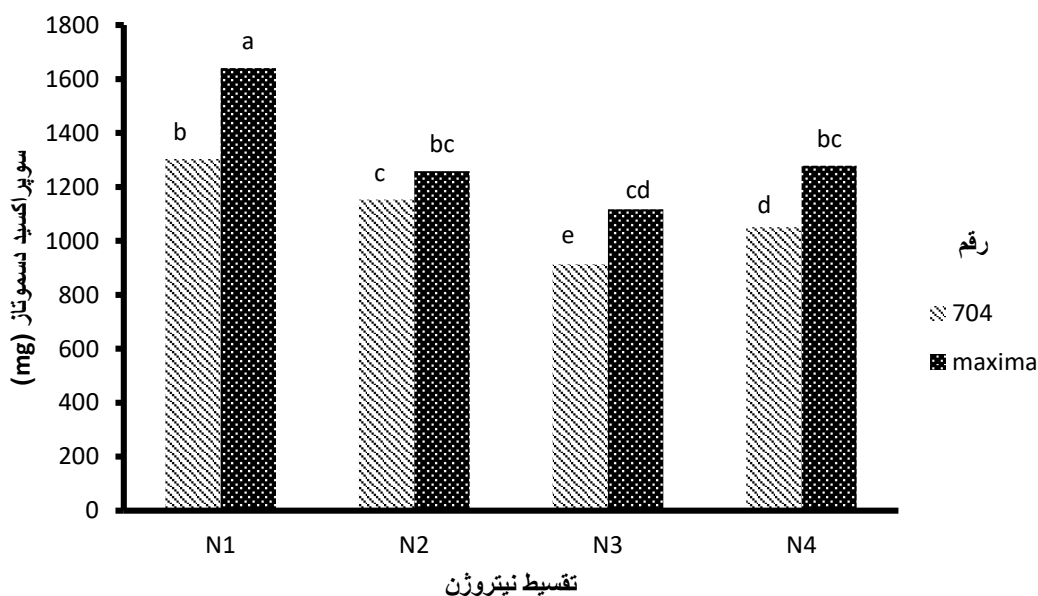
فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه مرکب واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، تقسیط نیتروژن، رقم و اثر متقابل دوگانه تقسیط نیتروژن \times رقم در سطح احتمال ۱٪ بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر آبیاری بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نشان داد که فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در شرایط آبیاری معمول و تنش کم‌آبی به ترتیب ۱۰۸۸/۴ و ۱۳۴۰/۵ میلی‌گرم پروتئین بود (جدول ۴). ایلکایی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی بیان نمودند که میزان غلظت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در شرایط تنش آبی به طرز معنی داری افزایش یافت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در این راستا، لی پینگ و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه خود بیان کردند که تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش عملکرد سیستم آنتی‌اکسیدانی ذرت و از جمله افزایش سطح آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز گردد. به نظر می‌رسد افزایش نسبت به تنش خشکی در ارقام مقاوم به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در اثر فعالیت بیشتر تنظیم‌کننده‌های ژنی در برخورد با میزان بالاتر آنتی‌اکسیدان‌ها است (لی و همکاران ۱۹۹۸). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تقسیط نیتروژن و رقم بر فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز نشان داد که رقم ماکسیما در تیمار کودی N_1 و تنش بیشترین میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز (۱۷۸۹ میلی‌گرم پروتئین) را داشت (شکل ۸). موسی و عبدالعزیز (۲۰۰۸) در مطالعه خود



شکل ۷- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تقسیط نیتروژن و رقم برای فعالیت کاتالاز

N_1 : $1/2$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگه، N_2 : $1/3$ پس از سبز شدن + $1/3$ پس از ۸ برگه + $1/3$ پس از ظهور گل آذین نر، N_3 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگه + $1/4$ پس از ظهور گل آذین نر و N_4 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/4$ پس از ۸ برگه + $1/2$ پس از ظهور گل آذین نر.



شکل ۸- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تقسیط نیتروژن و رقم برای فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز

N_1 : $1/2$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگه، N_2 : $1/3$ پس از سبز شدن + $1/3$ پس از ۸ برگه + $1/3$ پس از ظهور گل آذین نر، N_3 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/2$ پس از ۸ برگه + $1/4$ پس از ظهور گل آذین نر و N_4 : $1/4$ پس از سبز شدن + $1/4$ پس از ۸ برگه + $1/2$ پس از ظهور گل آذین نر.

جدول ۳- تجزیه مرکب صفات زراعی و فیزیولوژیکی ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	شاخص سطح برگ	محتوای نسبی آب	میزان پرولین	آبسزیک اسید	فعالیت کاتالاز	فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز
سال	۱	۶۰۹۶۷۳۱۲/۶۶۷ ^{ns}	۰/۶۲۰ ^{ns}	۳۲۳/۷۶۸ ^{ns}	۶۰/۸۰۲ ^{ns}	۱۱۷۷/۲۲۵ ^{ns}	۴۸۰۵/۶۹۴ ^{ns}	۵۸۲۷۲۳/۱۴۶ ^{ns}
خطا	۴	۱۸۹۴۹۴۶۴/۴۲۷	۰/۱۴۶	۱۰۳/۴۶۴	۳۲/۲۶۱	۵۷۱/۹۹۷	۲۳۲۸/۸۱۹	۲۸۳۰۷۹/۲۱۹
آبیاری	۱	۶۰۷۱۵۴۷/۰۴۲ ^{**}	۰/۵۱۴ ^{**}	۴۲۰/۴۲۵ ^{**}	۱۵۴/۵۳۴ ^{**}	۳۲۱۵/۳۰۴ ^{**}	۱۲۶۲۱/۱۰۸ ^{**}	۱۵۲۴۲۳/۶۳۱ ^{**}
سال × آبیاری	۱	۳۹۹۶۴۲/۰۴۲ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۴۴۰ ^{ns}	۳/۴۱۳ ^{ns}	۸۹/۴۸۴ ^{ns}	۳۳۴/۶ ^{ns}	۴۰۰۹۲/۲۳۶ ^{ns}
تقسیت	۳	۷۳۰۱۹۵۱۵/۶۱۱ ^{**}	۰/۶۱۷ ^{ns}	۴۰۶/۴۰۰ ^{**}	۹۶/۷۳۵ ^{**}	۱۷۷۳/۶۲۶ ^{**}	۷۱۶۷/۳۸۴ ^{**}	۸۶۱۸۳/۱۴۵ ^{**}
سال × تقسیت	۳	۱۰۳۹۱۷/۱۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۱/۱۶۵ ^{ns}	۱/۳۶۹ ^{ns}	۴۰/۲۷۰ ^{ns}	۱۵۵/۳۳۸ ^{ns}	۱۸۶۹۵/۹۲۶ ^{ns}
آبیاری × تقسیت	۳	۸۳۷۰۹۳/۱۵۳ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۱/۸۶۳ ^{ns}	۰/۷۰۴ ^{ns}	۱۱۰/۲۲ ^{ns}	۳۹/۸۵ ^{ns}	۴۷۷۱/۷۴ ^{ns}
سال × آبیاری × تقسیت	۳	۳۹۸۸۴/۴۸۶ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۲۲ ^{ns}	۲/۳۹۷ ^{ns}	۴۶/۵۲۵ ^{ns}	۱۷۶/۰۷۱ ^{ns}	۲۱۰۱۸/۲۱۴ ^{ns}
خطا	۲۸	۴۰۰۷۵۹/۴۹۹	۰/۰۰۱	۱/۸۰۸	۲/۲۴۴	۴۲/۳۲۷	۱۶۳/۳۰۳	۱۹۶۵۸/۰۶۱
رقم	۱	۹۱۰۶۱۲۰۸/۳۷۵ ^{**}	۰/۷۳۶ ^{**}	۵۶۲/۶۰۲ ^{**}	۱۰۹/۵۴۷ ^{**}	۲۴۱۴/۱۷۱ ^{**}	۹۴۳۹/۱۷۹ ^{**}	۱۱۴۷۷۴۸/۵۲۲ ^{**}
سال × رقم	۱	۱۸۴۲۷۵/۳۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۷۰ ^{ns}	۲/۳۲۸ ^{ns}	۱۸/۸۵۱ ^{ns}	۶۲/۴۸۳ ^{ns}	۱۰۵۰۳/۳۱۴ ^{ns}
آبیاری × رقم	۱	۷۴۲۰۱۶/۶۶۷ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{**}	۲/۱۰۰ [*]	۴/۳۹۹ ^{ns}	۵۱/۱۳۷ ^{ns}	۲۲۳/۹۴۷ ^{ns}	۲۵۶۰۰/۸۶ ^{ns}
سال × آبیاری × رقم	۱	۹۲۸۲/۶۶۷ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۰۴ ^{ns}	۱/۲۰۴ ^{ns}	۱۱/۳۴۴ ^{ns}	۵۶/۶۹۵ ^{ns}	۶۶۴۵/۰۲ ^{ns}
تقسیت × رقم	۳	۱۰۶۱۱۵۳/۴۸۶ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{**}	۱۵/۱۷۷ ^{**}	۶/۹۷۰ [*]	۱۱۴/۹۷۶ ^{**}	۴۳۸/۸۸۵ ^{**}	۵۴۳۵۹/۷۶۵ ^{**}
سال × تقسیت × رقم	۳	۵۰۸/۳۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۷۳ ^{ns}	۱/۵۱۳ ^{ns}	۳۱/۴۰۳ ^{ns}	۱۲۲/۷ ^{ns}	۱۵۰۸۳/۲۰۹ ^{ns}
رقم	۳	۱۰۶۶۸۶۱/۵۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۳ [*]	۰/۴۰۸ ^{ns}	۰/۸۸۲ ^{ns}	۱۲/۵۶۶ ^{ns}	۴۵/۶۲۵ ^{ns}	۵۵۲۶/۷۲۲ ^{ns}
آبیاری × تقسیت × رقم	۳	۵۶۲۱۰/۵۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۶۱ ^{ns}	۱/۶۰۷ ^{ns}	۲۶/۳۷۱ ^{ns}	۹۴/۸۹۹ ^{ns}	۱۱۸۶۰/۱۵۹ ^{ns}
خطا	۲۲	۶۳۸۱۴/۳۴۴	۰/۰۰۱	۰/۳۰۰	۱/۵۹۰	۱۷/۹۲۸	۷۰/۳۱۷	۸۵۴۲/۹۸۶
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۵۵	۶/۰۰	۴/۷۳	۸/۳۰	۸/۶۷	۷/۳۲	۷/۶۱

ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی دار و معنی دار در سطح پنج و یک درصد می باشند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری، تقسیت نیتروژن و رقم بر صفات مورد بررسی

عامل آبیاری	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	شاخص سطح برگ	نسبی آب (%)	میزان پرولین (μmol.g ⁻¹)	آبسزیک اسید (ng.g ⁻¹)	غلظت کاتالاز (mg)	سوپر اکسید دیسموتاز (mg)
آبیاری معمول	۱۰۳۵۱ a	۳/۲۴ a	۷۷/۳۷ a	۱۰/۹۶ b	۹۸/۹۲ b	۹۸/۹۲ b	۱۰۸۸/۴ b
تنش	۷۵۸۴ b	۳/۱۰ b	۷۳/۱۸ b	۱۳/۵۰ a	۱۲۱/۸ a	۱۲۱/۸ a	۱۳۴۰/۵ a
تقسیت نیتروژن							
N1	۷۸۶۲ c	۲/۹۶ c	۷۵/۴۶ b	۱۵/۰۰ a	۱۳۳/۸ a	۱۳۳/۸ a	۱۴۳۸/۸ a
N2	۸۸۶۴ b	۳/۱۷ b	۷۱/۴۱ c	۱۱/۹۵ b	۱۰۹/۵ b	۱۰۹/۵ b	۱۱۴۵/۹ c
N3	۹۵۴۱ a	۳/۳۴ a	۷۹/۲۷ a	۱۰/۲۲ b	۹۲/۳۰ c	۹۲/۳۰ c	۱۰۳۱/۰ d
N4	۹۰۴۱ b	۳/۲۱ b	۷۴/۹۵ b	۱۱/۷۵ b	۱۰۵/۹ b	۱۰۵/۹ b	۱۲۴۲/۱ b
عامل رقم							
SC 704	۱۰۲۴۰ a	۳/۲۶	۷۷/۷۰ a	۱۱/۱۷ b	۱۰۰/۴ b	۱۰۰/۴ b	۱۱۰۵/۱ b
Maxima	۹۲۴۱ b	۳/۰۸	۷۲/۸۵ b	۱۳/۶۰ a	۱۲۰/۳ a	۱۲۰/۳ a	۱۳۲۲/۸ a

سطوح تیماری که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در گروه بندگی با آزمون دانکن در سطح ۵٪ در گروه آماری مشابهی قرار دارند. N₁: ۱/۲ پس از سبزی شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی، N₂: ۱/۳ پس از سبزی شدن + ۱/۳ پس از ۸ برگی + ۱/۳ پس از ظهور گل آذین نر، N₃: ۱/۴ پس از سبزی شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی + ۱/۲ پس از ظهور گل آذین نر و N₄: ۱/۴ پس از سبزی شدن + ۱/۴ پس از ۸ برگی + ۱/۲ پس از ظهور گل آذین نر

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات مورد آزمایش

صفات	عملکرد دانه	شاخص سطح برگ	محتوای نسبی آب	محتوای پرولین	آبسزیک اسید	کاتالاز	سوپر اکسید دیسموتاز
عملکرد دانه	۱						
شاخص سطح برگ	** ۰/۸۹۵	۱					
محتوای نسبی آب	** ۰/۷۴۶	** ۰/۸۹۲	۱				
میزان پرولین	** -۰/۸۵۱	** -۰/۹۴۸	** -۰/۹۵۹	۱			
غلظت آبسزیک اسید	** -۰/۹۵۳	** -۰/۸۵۱	** -۰/۹۴۶	** ۰/۹۳۸	۱		
فعالیت کاتالاز	** -۰/۹۲۵	** -۰/۹۵۳	** -۰/۹۶۲	** ۰/۸۵۹	** ۰/۹۸۱	۱	
سوپر اکسید دیسموتاز	** -۰/۹۴۱	** -۰/۹۴۲	** -۰/۹۶۵	** ۰/۹۱۵	** ۰/۹۴۱	** ۰/۹۵۲	۱

** : بیانگر سطح احتمال یک درصد

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به حساسیت پایین‌تر رقم سینگل کراس ۷۰۴ در صفاتی نظیر غلظت کاتالاز، محتوای پرولین، غلظت سوپر اکسید دیسموتاز، هورمون آبسزیک اسید، می‌توان این‌گونه استنباط کرد که این رقم مقاومت بیشتری نسبت به رقم ماکسیمما در شرایط تنش کم‌آبی دارد. ارزیابی اعمال تقسیط‌های مختلف نشان می‌دهد که تیمار N_3 (۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی + ۱/۲ پس از ظهور گل‌آذین نر) بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. از طرف دیگر، بررسی تغییرات در صفات فیزیولوژیکی مذکور نشان می‌دهد

تیمار N_3 محدودیت کم‌تری به منبع نیتروژن ایجاد می‌کند. بنابراین به‌کارگیری رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط محدودیت آب در فصل تابستان به‌صورت تقسیط سه‌مرحله‌ای ۱/۴ پس از سبز شدن + ۱/۲ پس از ۸ برگی + ۱/۲ پس از ظهور گل‌آذین نر قابل توصیه است.

سپاسگزاری

با کمال احترام و تواضع از همه‌کسانی که به‌نوعی در انجام این پژوهش یاریگر بنده بودند نهایت قدردانی و سپاسگزاری را دارم و از خداوند منان آرزوی موفقیت و سلامتی برای ایشان دارم.

منابع مورد استفاده

- Anjum SA, Ashraf U, Tanveer M, Khan I, Hussain S, Shahzad B, Zohaib A, Abbas F, Saleem MF and Ali I. 2017. Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1- 12.
- Ardalani S, Saeidi M, Jalali-Honarmand S, Ghobadi M, Abdoli M. 2014. The physiological responses and antioxidant enzyme activity in bread wheat genotypes under post anthesis drought tension. *Crop Physiology Journal*, 6(21): 59-45. (In Persian).
- Aroca R, Vernier P, Irigoyen J, Sanchez-Diaz M, Tognoni F and Pardossi A. 2003. Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays* L.) in avoiding chilling-induced water stress. *Plant Science*, 165: 671-679.
- Baser Khochehbagh S, Mirshekari B, Farahvash F, Javanshir A. 2011. Effect of seed inoculation with nitragin and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*, 5(3), 1-10. (In Persian).
- Bates LS, Waldren RP, and Tear ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-208.

- Behera, B. C., S. K. Singdevsachan, R. Mishra, S. K. Dutta and H. N. Thatoi. 2014. Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilizing microorganism in mangrove-A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3: 97–110.
- Chen, D., Wang, S., Cao, B., Cao, D., Leng, G., Li, H., Yin, L., Shan, L., Deng, X., 2016. Genotypic variation in growth and physiological response to drought stress and rewatering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1241-1256.
- Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syasar, B., and Ramroudi, M. 2009. Effect of intercropping maize with cowpea on green forage yield and quality evaluation. *Asian Journal of Plant Science*, 8(3): 235-239.
- Dhindsa RS and Motowe W. 1981. Drought tolerance in two mosses: correlation with enzymatic defense against lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*, 32:79–91.
- FAOSTAT. 2019. <http://www.fao.org/>
- Ghobadi R, Shirkhani M and Jalilian A. 2015. Investigation of the effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of maize (*SC 704*). *Journal of Agriculture (Research and Construction)*, 106: 87-79. (In Persian).
- Giannopolitis CN and Ries SK. 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59: 309-314.
- Goodarzian Ghahfari M, Mansurifar S, Taghizadeh-Mehrjardi R, Saeidi M, Mohammad Jamshidi A and Ghasemi E. 2015. Effects of drought stress and rewatering on antioxidant systems and relative water content in different growth stages of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61: 42-57.
- Huan Y, Hua-Song W and Zhi-Jie W. 2010. Evaluation of SPAD and Dualex for in-season corn nitrogen status estimation. *Acta Agronomica Sinica*, 36: 840-847.
- Hussain M, Farooq S, Hasan W, Ul-Allah S, Tanveer M, Farooq M, Nawaz A. 2018. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, 201, 152-166.
- Ilkayi MN, Habibi D, Pakenjad F, Khodaabandeh N, Ali Akbar Bojar M and Sedighi F. 2010. Effect of Chlorocholine (CCC) and foliar application time on yield, physiological traits and activity of antioxidant enzymes of maize (*Zea mays* cv. *Sc 704*) under drought stress. *Journal of Modern Agricultural Knowledge*, 6 (19): 11-18. (In Persian).
- Kaur G and Asthir B. 2015. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59: 609-619.
- Khashaei F, Behmanesh J, Rezaverdinejad V and Azad N. 2019. Effect of the Amount of Irrigation and Nitrogen Fertilizer Splitting on Grain yield, Yield Components and Water Productivity of Corn under Subsurface Drip Irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(4): 601-612.
- Lauer J. 2003. What happen with in the corn plant when drought occurs? *Wisconsin Crop Manager*, 10(22): 225 – 228.
- Lizaso J. 2017. Modeling the response of maize phenology, kernel set, and yield components to heat stress and heat shock with CSM-IXIM. *Field Crops Research*. 214: 239–252.
- Mojdam M. 2009. Effects of water scarcity stress and nitrogen consumption management on dry matter distribution and some morphological characteristics of single cross hybrid maize 704. *Environmental stresses in plant science*, 1 (2): 136-123. (In Persian).
- Moussa H, Abdel-Aziz SM. 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crop Science*, 1: 31-36.
- Muharramnejad S, Valizadeh M, Sofalian A, Shiri MR and Asghari A. 2016. The effect of dehydration stress on agronomic traits and activity of superoxide dismutase (SOD-Mn) in corn. *Journal of Cereal Research*, (6): 300-290. (In Persian).

- Muthukumar VB, Velaudham K and Thavaprakash N. 2005. Growth and yield of baby corn (*Zea mays* L.) as Influenced by plant growth regulators and different time of nitrogen application. *Journal of Agriculture Biology Science*, 1: 303-307.
- Najafinezhad H, Ravari SZ, Javaheri MA. 2020. Variation of Forage Yields and some Agronomic and Physiological Characteristics of Kochia, Millet, Sorghum and Maize under Drought Stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13, 52(4): 535-554.
- Nasrallahzadeh Asl V, Muharramnejad S, Yousefi M, Bandeh Hagh A and Ebrahimi L. 2017. Evaluation of stability of corn grain yield under dehydration stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27 (2): 315-300. (In Persian).
- Noctor G and Foyer CH. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49: 249-279.
- Padmavathi P and Gopalaswamy N. 1995. Effect of time of nitrogen application, method of weed control and sowing on yield and economics of maize. *Madras Agriculture Journal*, 82: 460-461.
- Pandey RK, Marienville JW and Adam A. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a Sahelian environment I: Grain yield components. *Agriculture Water Management*, 46: 1-27.
- Pirasteh-Anosheh, H, Moradi R, Saed A and Emam Y. 2010. Investigation of drought stress in different stages on yield and yield components of four maize hybrids. 1st International Conference on Water Recourses, Iran, P. 61. (In Persian).
- Rabbani J, Emam Y. 2011. Yield Response of Maize Hybrids to Drought Stress at Different Growth Stages. *Journal of Crop Production and Processing*, 1 (2):65-78
- Rozati N, Gholami A, Asghari H and bankesaz A. 2011. The effect of nitrogen fertilizer management on growth indices and quantitative traits of three grain maize hybrids in Shahroud. *Iranian Journal of Crop Science*, 42 (2): 318-305. (In Persian).
- Shahriari A, Puteh AB, Abdul Rahim AB and Saleh GB. 2014. Physiological responses of sweet corn under water deficit and nitrogen rates at different growth stages. *Journal of Plant Ecophysiology*, 6 (19): 1-17. (In Persian).
- Sharifi P and Adelinasab M. 2016. Effect of Phosphorus Biofertilizer on Yield and Yield Components of Maize (*Zea mays* L.) under Drought Stress. *Cereal Research Quarterly*, 5(1): 132-119. (In Persian).
- Singh BR and Singh DP, 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research*, 42, 57-67.
- Rezaei Sokht-Abandani R., Siadat SA, Pazoki A, Lack S Mojddam M. 2020. Effect of Drought Stress, Different Levels of Nitrogen and Potassium Fertilizer on Some Physiological and Agronomical Traits of Maize hybrid (*Zea mays* L. CV. Single cross 704). *Journal of Plant Ecophysiology* 12(40): 40-52.
- Tavakoli Oujani K, Rashidi V, Yarnia M, Tarinejad A and Mirshekari B. 2019. Study of some physiological traits, grain yield and its components in maize cultivars under drought stress conditions and mycorrhiza application. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(4): 1165-1178.
- Tavangar M, Eshghizadeh HR and Gheysari M. 2020. Evaluation of Late Maturing Corn Hybrids for Yield and Water use Efficiency under Different Irrigation Regimes and Split-Application of Nitrogen Fertilizer. *Journal of Water and Soil Science*. 24 (2) :235-249. (In Persian).
- Yokota T, Nahayama M, Harasawa I and Kawabe S. 1994. Polyamines, indole-3 acetic acid and abscisic acid in rice phloem sap. *Plant Growth Regulation*, 15: 125-128.