



تأثیر بررسی همبستگی صفات و تجزیه به مؤلفه اصلی، سایکوسل و مواد ریزمغذی، بر مدل شاخص‌های تنش، صفات فیزیولوژیکی، آنزیم‌های اکسیدانت، عملکرد و اجزا عملکرد ذرت (*Zea mays cv. Sc 704*) در شرایط تنش کم آبی

سیدنورالدین غفاری^۱، علیرضا شکوفه‌فر^{۲*}، مانی مجدم^۳، شهرام لک^۴ و عزیز آفرینش^۵

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- دانشیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۴- استاد، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۵- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد، دزفول، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: alireza_shokufar@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۹- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹)

چکیده

این مطالعه در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات صفی آباد اجرا گردید. آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل اصلی آزمایش قطع آبیاری در سه سطح شاهد (Control)، قطع آبیاری در مرحله تشکیل گل ماده (Silking) و قطع آبیاری در مرحله متورم شدن (Blister) و عامل فرعی سایکوسل صفر، ۴۴۲/۵ و ۸۸۵ میلی‌گرم در لیتر و ریزمغذی‌ها صفر (شاهد)، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ گرم در هکتار بود. نتایج همبستگی صفات مورد ارزیابی با یکدیگر مشخص شد، عملکرد دانه با ارتفاع بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزاردانه دارای همبستگی مثبت معنی‌دار و با هیدروژن پراکسیداز، مالون‌دی‌آلدهید، میزان نشت الکترولیت، فعالیت کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، آسکاروبات پراکسیداز، گلوکاتیون پراکسیداز، میزان پتاسیم و پرولین برگ همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد که بالاترین همبستگی مثبت مربوط به تعداد دانه در بلال (۰/۸۹۳) و بالاترین همبستگی منفی نیز از نشت الکترولیت (۰/۹۴۵-) و هیدروژن پراکسید (۰/۸۵۴-) مشاهده شد. روند قرارگیری مقادیر مختلف ریزمغذی و سایکوسل مشخص شد؛ به طوری که سطوح مختلف ریزمغذی‌ها بیشتر به مرکز تمایل دارند؛ و مصرف ۱۰۰۰ گرم در هکتار به ناحیه III و ناحیه که عملکرد و اجزای عملکرد جای دارند تمایل دارد. به طور کلی مشخص شد که محلول‌پاشی غلظت‌های ۱۵۰۰ گرم در هکتار ریزمغذی‌ها و ۸۸۵ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل با کاهش تأثیرات منفی تنش توانسته تیمارهای مناسبی جهت افزایش تحمل به تنش انتهای فصل در ذرت باشند.

واژه‌های کلیدی: افزایش تحمل به تنش، تجزیه به مؤلفه اصلی، ماده کند کننده رشد، مثبت معنی‌دار، همبستگی

محیطی و استفاده از مواد بازدارنده رشد گیاه محدود کرد (Cowling, 2010). تنظیم‌کننده‌های رشد در مقادیر کم توانسته ارتقاء، توقف یا تغییر فیزیولوژیک فرآیندهای گیاهان و در عین حال به صورت بازدارنده‌های رشد از سلولی جلوگیری کنند. بنابراین گیاه به طور طبیعی رشد نکرده و کوتاه مانده است (Megersa *et al.*, 2018). کلرمکوات کلراید یا سایکوسل یک ماده کندکننده رشد است با ترکیب آمونیوم چهارتایی که از بیوستنز جیبرلین جلوگیری کرده است (Runkle, 2017). در پژوهشی گزارش شده است که سایکوسل از طریق تأثیر بر اجزای عملکرد و کاهش ارتفاع گیاه سبب افزایش عملکرد نسبت به شرایط شاهد شد. در این پژوهش بیش‌ترین وزن هزار دانه در تیمار محلول‌پاشی با سایکوسل به دست آمد (Latifkar *et al.*, 2014). مطالعات بسیاری از محققین حاکی از آن است که مصرف کودهای ریزمغذی توانسته مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی همچون خشکی و شوری را افزایش دهند (Movahhed *et al.*, 2013). تحت کمبود عناصر ریزمغذی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش و لذا حساسیت گیاه به تنش‌های محیطی افزایش یافته است. یکی از اثرات تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (Lewis & Macfalane, 1986). در خصوص استفاده از همبستگی میان صفات متداول است (Sabkadast & Fantasist, 2007). در پژوهش (Rafiee *et al.*, 2004) دریافتند همبستگی عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت در سطوح مختلف تنش مثبت و معنی‌دار

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی جهان است که امنیت غذایی میلیون‌ها نفر را تأمین کرده است؛ و در نتیجه نقش متنوع و پویایی در سیستم‌های جهانی/کشاورزی و امنیت غذایی/تغذیه به وجود آورده است (Grote *et al.*, 2021). یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش کمبود آب در مراحل رشد بوده است (Harrison *et al.*, 2014). در میان مراحل مختلف رشد، گلدهی و پرشدن دانه دو مرحله حیاتی برای تعیین عملکرد هستند (Ndlovu *et al.*, 2021). تنش‌ها در طول این مراحل حساس (رشد، گلدهی و پرشدن دانه) بر موفقیت باروری، فتوستنز و ویژگی‌های مرتبط با زیست توده (منبع) تأثیر گذاشته که منجر به کاهش عملکرد شده‌اند (Wang *et al.*, 2021). تنش خشکی که بین دو هفته قبل و دو هفته بعد از مرحله ابریشم‌دهی رخ داده توانسته باعث کاهش قابل‌توجهی در مجموعه دانه و وزن دانه شود که در نتیجه به طور متوسط ۲۰ درصد تا ۵۰ درصد کاهش عملکرد را به همراه داشته باشد. کمبود آب تجمع زیست‌توده را ۳۷ درصد در ابریشم‌دهی، ۳۴ درصد در دوره پرشدن دانه و ۲۱ درصد در رسیدگی کاهش داده است. عملکرد دانه ذرت نسبت به کمبود آب حساس بوده و شماره دانه و وزن دانه بیشترین تأثیر تنش خشکی را در اجزای تشکیل‌دهنده داشته است (Borras & Gambin, 2010). کنترل اندازه گیاه یکی از مهم‌ترین موارد در تولید گیاهان است. اندازه گیاه را با روش‌های مختلفی از جمله کنترل ژنتیکی، شرایط

است از آنجایی که در رگرسیون چند متغیره اثرات متقابل در بین متغیرها وجود دارد ممکن است یک متغیر در کنار برخی از متغیرها معنی دار باشد اما در کنار برخی دیگر از متغیرها معنی دار نباشد. به همین علت لازم است متغیرهای مهمی را که تأثیر معنی-داری بر عملکرد دارند، انتخاب کنیم. برای حذف متغیرهای کم اهمیت در مدل و تصمیم‌گیری برای تشکیل مدل نهایی، روش‌های مختلف وجود دارد که یکی از آن‌ها روش گام به گام است. در رگرسیون گام به گام می‌توان طی مراحل نسبت به حذف یا افزودن متغیرها برای انتخاب مدل نهایی اقدام نمود (Farshadfar, 1998)، (Zinali et al., 2004) با استفاده رگرسیون مرحله‌ای در ارقام هیبرید ذرت دانه‌ای، عملکرد دانه را به عنوان متغیر وابسته در مقابل بقیه صفات به عنوان متغیر مستقل، مورد بررسی قرار دادند. صفت ارتفاع بوته اولین صفتی بود که وارد مدل شد و ۳۸/۵ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. صفات بعدی در مدل به ترتیب وزن ۳۰۰ دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد روز از کاشت تا ظهور کاکل و تعداد کل برگ بودند که مجموعاً ۷۲/۵ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. در بیشتر مواقع مشاهده می‌شود که یک متغیر مستقل علاوه بر اثر مستقیم بر متغیر تابع از طریق متغیر یا متغیرهای مستقل دیگر نیز به‌طور غیرمستقیم بر آن اثر می‌گذارد؛ بنابراین شناسایی صفت یا صفاتی که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد اثر می‌گذارد و تعیین ماهیت و میزان تأثیر آن‌ها ضروری است (Rao, 1983). تجزیه علیت یکی از روش‌هایی است که در چنین مواردی و در صورت وجود

رابطه علت و معلول بین متغیرها بکار برده می‌شود (Karger & Lutfi, 2011).

از آن‌جا که مکانیزم‌های مقاومت به خشکی در گیاهان پیچیده بوده و صفات مختلفی در این زمینه دخیل هستند، بررسی روابط بین این صفات تحت شرایط نرمال و کم آبی و مشخص نمودن مؤثرترین آن‌ها روی عملکرد و اجزا آن در ذرت از اهمیت بسزایی برخوردار است. استفاده از مواد تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر سایکوسل در کنار کودهای ریزمغذی در کنترل آسیب‌های تنش کمبود آب در زراعت ذرت می‌تواند باعث رفع محدودیت‌های عملکرد دانه گردد. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر سایکوسل و مصرف ریزمغذی‌ها در شرایط تنش خشکی بر عملکرد، صفات فیزیولوژیکی و میزان آنتی‌اکسیدانت ذرت در مرکز تحقیقات صنفی آباد دزفول طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای طرح

این تحقیق در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات صنفی آباد دزفول واقع در استان خوزستان با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا انجام شد.

خواص فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه آزمایشی

برای مشخص شدن خواص فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از عملیات اجرای طرح از عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری از نقاط مختلف مزرعه محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری شد، که پس از انتقال به آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی صنفی آباد

برگ). سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شده؛ تا به حالت اشباع درآیند؛ پس از توزین در ادامه به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک قرار داده شد. سپس با استفاده از رابطه (۱) درصد رطوبت نسبی برگ به دست آمد (Ardakani & Nadvar, 2010).

$$RWC = [(Ww - Dw) / (Wsw - Dw)] \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه Ww : وزن تر برگ، D : وزن خشک برگ، WSW : وزن اشباع برگ است (Yamada *et al.*, 2005).

پراکسید هیدروژن

عمل استخراج پراکسید هیدروژن بر طبق روش (Chen *et al.*, 2000) به وسیله بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار و با اسیدیتته ۶/۵ حاوی هیدروکسیل آمین ۱ میلی‌مولار در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن با استفاده از معرف کلرید تیتانیوم (کلرید تیتانیوم ۰/۱ درصد (حجم/حجم) حل شده در اسیدسولفوریک ۲۰ درصد)، در طول موج ۴۱۰ نانومتر انجام گرفت. ضریب خاموشی برای محاسبه مقدار کمپلکس تیتانیوم-پراکسید هیدروژن ۰/۲۸ میکرومول بر سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Chen *et al.*, 2000).

اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید

میزان مالون‌دی‌آلدئید به روش (Heath & Packer, 1986) صورت گرفت. در این روش ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ جوان و انتهایی، توزین و در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک-اسیدیک درصد ساییده شد. عصاره حاصل با

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، نتایج حاصله در جدول (۱) درج گردیده است.

طرح و عامل‌های آزمایش

آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. عامل اصلی آزمایش شامل تنش کمبود آب در سه سطح (S_0) به عنوان شاهد بدون تنش کمبود آب، (S_1) تنش کمبود آب در مرحله گل ماده (silking) و (S_2) تنش کمبود آب در مرحله تشکیل متورم دانه (blister) بود. عامل فرعی آزمایش نیز اثر متقابل سایکوسل در سه سطح (C_0): شاهد محلول پاشی آب مقطر، (C_1): محلول پاشی با ۴۴۲/۵ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و (C_2): محلول پاشی با ۸۸۵ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و کود ریز مغذی نیز در سه سطح (m_0): شاهد یا آب مقطر، (m_1): محلول پاشی با ۱۰۰۰ گرم در هکتار، و (m_2): محلول پاشی با ۱۵۰۰ گرم در هکتار که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محلول پاشی در مرحله ده برگی (V_{10}) و ۳۵ روز بعد از کاشت انجام گرفت و یک عامل به عنوان شاهد (عدم محلول پاشی) نیز در نظر گرفته شد (Hamrahi *et al.*, 2008).

صفات مورد ارزیابی

محتوی نسبی آب

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، در مرحله رشدی (R_1) و دو ساعت پس از طلوع آفتاب تعداد ۳ بوته گیاه ذرت، از هر کرت آزمایشی را انتخاب کرده و یک برگ از هر گیاه (برگ یکی مانده به آخر) را جدا نموده بودیم. تعداد سه برگ کاملاً سبز انتخاب و توزین نموده (به عنوان وزن تر

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

فعالیت آنزیم پراکسیداز

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت پراکسیداز از روش (Chance & Maehly, 1995) استفاده شد. اندازه‌گیری براساس میزان اکسید شدن گوایکول توسط این آنزیم انجام گرفت. در این روش ۳۳ میکرولیتر از عصاره استخراج را با یک میلی‌لیتر از محلول پراکسیداز که شامل ۱۳ میلی‌مولار گوایکول، ۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=7) است مخلوط شد و به مدت یک دقیقه با فواصل ۱۰ ثانیه در طول موج ۴۷۰ نانومتر جذب آن قرائت گردید. برای ساختن ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم، ۳۹ میلی‌لیتر فسفات پتاسیم مونو باز یک ۵۰ میلی‌مولار با ۶۱ میلی‌لیتر فسفات پتاسیم دی بازیک ۵۰ میلی‌مولار ترکیب شد.

آنزیم آسکوربات پراکسیداز

۳ میلی‌لیتر محلول واکنش اسکوربات پراکسیداز شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات (pH=7) میلی‌مول اسید اسکوربیک اسید، ۰/۱ میلی‌مول پراکسید هیدروژن و ۱۰۰ میکرولیتر آنزیم استخراجی بود. فعالیت اسکوربات پراکسیداز با کاهش جذب اسیداسکوربیک طی یک دقیقه در ۲۹۰ نانومتر محاسبه شد یک واحد فعالیت اسکوربات پراکسیداز به‌عنوان مقدار آنزیم لازم برای اکسید کردن یک میلی‌مول اسیداسکوربیک در هر دقیقه در نظر گرفته شد. فعالیت آنزیم‌ها به‌صورت فعالیت ویژه (میلی‌گرم وزن تازه برگ/واحد آنزیم) بیان شد (Nakano & Asada, 1981).

استفاده از دستگاه سانتی‌فیوژ به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتی‌فیوژ شد. سپس به یک میلی‌لیتر از محلول رویی، ۴ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک اسید ۴۰ درصد که حاوی ۰/۵ تیوباریوتیک اسید بود اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شده و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ سانتی‌فیوژ انجام شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده مورد نظر برای جذب در این طول‌موج کمپلکس قرمز (MDA-TBA) است. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. برای محاسبه غلظت این بیومارکر از ضریب خاموشی $M^{-1} \times 105 \times 56^1 \text{ cm}^{-1}$ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری برحسب میکرومول در گرم وزن‌تر محاسبه شد.

پایداری غشاء سیتوپلاسمی

نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه (آزمایشگاه دانشکده کشاورزی چمران اهواز) منتقل شدند و از آن‌ها حدود ۲۰ دیسک دایره‌ای شکل به‌صورت تصادفی توسط پانچ تهیه شد، سپس در ۲۰ میلی‌متر حجم آب مقطر در درجه حرارت پنج درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از گذشت حدود ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی با دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. در نهایت مقدار EC آب مقطر از مقدار EC قرائت شده کم شد (Azizi et al., 2009).

گلوکاتایون پراکسیداز

برای محاسبه فعالیت آنزیمی گلوکاتایون پراکسیداز، نمونه برگ‌ها در آزمایشگاه با آب مقطر شسته شد و بلافاصله در بافر تریس ۰/۱۶- با (pH = ۷/۵) خرد و یکنواخت شد. سپس در حضور حجم مشابه از همان بافر حاوی آنزیم هضم‌کننده دیواره فرآیند هضم غشا و دیواره سلول انجام شد. در پایان مقدار ۰/۵ میلی‌متر از محلول مذکور برای سنجش پروتئین برداشت شد و مقدار پروتئین آن برحسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین شد و سپس در باقیمانده محلول استخراجی مقدار آنزیم گلوکاتایون اندازه‌گیری شد (Beyer & Fridovich 1991).
 عصاره استخراجی به محلول بافر حاوی فسفات-منوپتاسیک ۰/۵۶ مول (pH = ۷/۵) همراه ۱/۲ میلی-مول EDTA و یک میلی‌مول NaNO₃ و ۰/۲ میلی-مول NADPH وارد شد. سپس به آن ۰/۲ میلی‌لیتر گلوکاتایون احیا به همراه ۰/۱ میلی‌مول آب اکسیژنه اضافه شد. بلافاصله میزان اکسیداسیون NADPH از طریق تعیین مقدار تغییر جذب در ۳۴۰ نانومتر در دمای ۳۰ درجه سلسیوس توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل z-u-shimadzu-u100) اندازه‌گیری شد (Karin et al., 1987). هم‌زمان یک محلول بلانک حاوی تمام مواد فوق بدون حضور عصاره استخراجی برای تصحیح و حذف خطاهای احتمالی مورد استفاده قرار گرفت. یک واحد از فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز معادل مقدار آنزیمی است که بتواند یک میکرومول از سوبسترای NADPH را در یک دقیقه کاتالیز کند. جهت استانداردسازی از نمونه آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز خالص استفاده شد (Paleg & Aspinall, 1981).

آنزیم کاتالاز

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز نمونه برگ‌ها پس از شستشو با آب مقطر بلافاصله در محلول بافر فسفات-تریس ۰/۱۶ مول (pH = ۷/۵) وارد و خرد و هم‌وزنه شد. سپس حجم مشابه بافر حاوی آنزیم هضم‌کننده دیواره اضافه شد، تا فرآیند هضم غشا و دیواره سلولی صورت گرفت. سپس میزان ۰/۵ میلی‌لیتر محلول یکنواخت برای سنجش پروتئین برداشته و مقدار پروتئین آن برحسب میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد. در باقیمانده محلول استخراجی فوق مقدار هر یک از آنزیم‌ها به روش خاصی تعیین شد. در این روش شدت حذف آب اکسیژنه در مدت یک دقیقه به هنگام پیشرفت واکنش درجه اول در نظر گرفته شد (Malan et al., 1990).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

جهت اندازه‌گیری فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، در هنگام صبح (قبل از گرم شدن هوا) ۳ عدد برگ از هر واحد آزمایشی برداشت شد؛ در درون کیسه پلاستیکی فوراً به آزمایشگاه منتقل شد؛ در آزمایشگاه ابتدا محلول بافر تریس (حاوی فسفات دی‌سدیک با اسیدیته ۷) به همراه ۱/۳ میلی‌مول EDTA و ۰/۱ میلی‌مول کربنات مونوسدیک تهیه شد، همچنین از ماده اپی‌نفرین با غلظت ۰/۲۵ میلی‌مول به‌عنوان سوبسترا استفاده شد. سپس محلول تهیه شده قبلی را به آن اضافه شد؛ به‌دنبال آن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر ویژه تغییرات جذب نوری حاصل از اکسیداسیون اپی‌نفرین به‌عنوان ارزیابی فعالیت آنزیمی بررسی شد. لازم به ذکر است که از آنزیم استاندارد خالص (با واحد اکسیداسیون ۰/۵ میلی‌مول اپی‌نفرین در یک دقیقه)

جهت کالیبره نمودن روند فعالیت آنزیمی استفاده شد (Malan et al., 1990).

صفات فیزیولوژیک

آبزیبک اسید

استخراج، خالص سازی و آنالیز اسیدآبزیبک به روش (Kelen et al., 2004) انجام شد. اجزای محلول توسط دستگاه HPLC با ستون C₁₈ شدت جریان ۰/۷ میلی تر بر دقیقه و حلال استیک اسید ۰/۲ درصد و متانول ۱۰۰ درصد به نسبت ۵۰:۵۰ در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد جدا شدند. نمونه‌ها بر حسب میکرومول برگرم ماده تر گزارش شدند.

پتاسیم برگ

برای اندازه گیری میزان انباشت پتاسیم برگ از دستگاه شعله سنجی و روش خاکستری خشک استفاده شد (Brennan & Frenkel, 1977).

میزان پرولین برگ

برای تعیین مقدار پرولین در ریشه و اندام‌های هوایی از روش (Bates et al., 1973) استفاده شد. بدین ترتیب که برای تهیه معرف نین هیدرین مقدار ۰/۲۵ گرم از این ماده را داخل ارلن ریخته و به آن ۳۰ میلی لیتر اسیداستیک گلاسیال و ۲۰ میلی لیتر اسیدفسفریک ۶ مولار اضافه شد. سپس آن را به آرامی حرارت داده تا نین هیدرین به طور کامل حل شد. برای اندازه گیری پرولین ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از نمونه گیاهی تر توزین شد و در هاون چینی در ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به خوبی ساییده شد. ماده همگن حاصل در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی لیتر از عصاره‌های صاف شده را به لوله‌های درب دار منتقل نموده و به همه لوله‌ها

مقدار ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی -لیتر اسید گلاسیال اضافه شد. پس از بستن درب لوله‌ها آن‌ها را به مدت ۱ ساعت در آب ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و بعد از سرد شدن به هریک از لوله‌ها مقدار ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه شد. برای مخلوط کردن این دو محلول به مدت ۱۵-۲۰ ثانیه با استفاده از ورتکس لوله‌ها تکان داده شد. سرانجام فاز رویی که برنگ قرمز درآمده و حاوی پرولین محلول در تولوئن بوده را برداشته و هم‌زمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل GBC eintr₆ ساخت استرالیا) قرار گرفت. اعداد در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و غلظت پرولین برحسب میلی گرم برگرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

پروتئین‌های محلول

جهت استخراج پروتئین‌های محلول یک گرم بافت تر برگ در حضور بافر استخراج (تریس اسیدکلریدریک (pH = ۷/۵) به منظور عصاره گیری مخلوط حاصل به لوله‌های سانتریفیوژ انتقال داده و در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در ادامه غلظت پروتئین‌های محلول طبق روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه گیری شد.

میزان تولید

ارتفاع بوته

ارتفاع گیاه با استفاده از شش بوته از خطوط میانی هر کرت محاسبه شد. بدین منظور ارتفاع گیاه از قاعده تا انتهای محل تاجی محاسبه گردید (Hashemzadeh et al., 2012).

اجزای عملکرد

درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و بعد از خشک شدن وزن آن‌ها محاسبه گردید (Koochaki & Sarmadnia, 2008).

جهت محاسبه اجزای عملکرد، ۱۰ بلال به- صورت تصادفی از میان بلال‌های هر کرت جدا شدند. ابتدا تعداد ردیف‌های ۱۰ بلال به صورت جداگانه شمارش و میانگین‌گیری شدند. تا تعداد ردیف در بلال محاسبه شد. سپس دانه‌ها از بلال‌ها جدا میانگین گرفته شد. تا میانگین تعداد دانه در بلال محاسبه گردید (Gahfarkhi et al., 2004). از تقسیم تعداد دانه در بلال بر تعداد ردیف در بلال، میانگین تعداد دانه در ردیف محاسبه شد. از دانه- های تولیدی هر کرت ۵۰۰ دانه جدا و وزن شدند. پس نمونه دومی شمارش و چنانچه اختلاف وزن دو نمونه کمتر از پنج درصد بود مجموع وزن دانه‌ها به عنوان هزار دانه در نظر گرفته شد (Koochaki & Sarmadnia, 2008).

شاخص برداشت

شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، به صورت درصد، از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید (Imam, 2016).

$$HI (\%) = GY / BY \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه و BY: عملکرد بیولوژیک بود. وزن خشک نمونه‌ها پس از خشکاندن در آون تهویه‌دار، در دمای ثابت ۷۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت (۷۲ ساعت)، با استفاده از ترازوی دیجیتال (با دقت صدم گرم) تعیین گردید (Koochaki & Sarmadnia, 2008).

عملکرد بیولوژیک

پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه، نمونه‌گیری از سطحی معادل دو مترمربع از خطوط دوم و سوم و چهارم انجام گرفت. بخشی حدود ۵۰۰ گرم را جدا کرده پس از انتقال به در آون تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۵

تجزیه تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه همبستگی و تجزیه به مؤلفه اصلی از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک زمین آزمایش

سال زراعی	عمق خاک سانتی‌متر	بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی دسی زیمنس	مواد آلی %	نیترژن کل %	فسفر %	پتاسیم میلی‌گرم در کیلوگرم	منگنز میلی‌گرم در کیلوگرم	روی میلی‌گرم در کیلوگرم	آهن میلی‌گرم در کیلوگرم
سال اول	۰-۳۰	شنی- لومی	۷/۶۲	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۰۵	۱۰/۱	۱۶۹	۵/۲۸	۱/۸۱	۶/۴۲
	۳۰-۶۰	شنی- لومی	۷/۶۸	۰/۵۲	۰/۷۷	۰/۰۴	۵	۱۲۰	۶/۸۸	۲/۱۲	۴/۳
سال دوم	۰-۳۰	شنی- لومی	۷/۶۵	۱/۶۰	۰/۸۳	۰/۰۶	۱۰/۱۹	۱۵۱	۱/۴۸	۱/۶۷	۹/۵۸
	۳۰-۶۰	شنی- لومی	۷/۵۴	۰/۵۲	۰/۷۷	۰/۰۵	۳	۱۰۰	۸/۸۸	۲/۱۲	۶/۶

نتایج و بحث

۲. همبستگی منفی بین عملکرد دانه و مالون‌دی-آلدهید و میزان نشت یونی در گیاه جو (Pirasteh-Melazem *et al.*, 2016) و ذرت (Anosheh *et al.*, 2021) نیز گزارش شده است. عملکرد بیولوژیک نیز دارای همبستگی مثبت با تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و همبستگی منفی با نشت الکترولیت، محتوای آب نسبی، هیدروژن-پراکسیداز، مالون‌دی‌آلدهید، فعالیت کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیس‌موتاز، آسکاروبات پراکسیداز، گلوکاتایون پراکسیداز، میزان پتاسیم و پرولین برگ بود (جدول ۱). بالاترین همبستگی مثبت عملکرد بیولوژیک علاوه بر عملکرد دانه با تعداد دانه در بلال (۰/۹۸۰) و بالاترین همبستگی منفی نیز با مالون‌دی‌آلدهید (۰/۹۷۰-) داشت (جدول ۲). پژوهشگران نیز در مطالعه خود گزارش کردند بین زیست توده ذرت و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و پرولین همبستگی منفی و بین آن میزان رنگ دانه‌های فتوسنتزی همبستگی مثبت مشاهده شد (Ghahrani *et al.*, 2016). همچنین (Beyrami *et al.*, 2020) نیز در بررسی ضرایب همبستگی عملکرد و اجزای عملکرد کینوا نشان داد که عملکرد دانه با طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد زیست توده همبستگی مثبت داشت. بنابراین به نظر رسیده طول پانیکول و وزن هزار دانه در گیاه کینوا یکی از صفات مهم در افزایش عملکرد دانه بوده است. همچنین ایشان گزارش کردند، وزن زیست توده دارای همبستگی مثبت با قطر ساقه، طول پانیکول، تعداد ساقه فرعی و عرض پانیکول داشت. در بین صفات مورفولوژیک، ارتفاع گیاه با وزن هزار دانه همبستگی منفی معنی دار داشت. قطر

نتایج همبستگی صفات مورد ارزیابی با یکدیگر نیز مشخص نمود، عملکرد دانه با ارتفاع بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه دارای همبستگی مثبت معنی دار و با هیدروژن پراکسیداز، مالون‌دی‌آلدهید، میزان نشت الکترولیت، فعالیت کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیس‌موتاز، آسکاروبات پراکسیداز، گلوکاتایون پراکسیداز، میزان پتاسیم و پرولین برگ همبستگی منفی معنی دار نشان داد که بالاترین همبستگی مثبت مربوط به تعداد دانه در بلال (۰/۸۹۳) و بالاترین همبستگی منفی نیز از نشت الکترولیت (۰/۹۴۵-) و هیدروژن پراکسید (۰/۸۵۴-) مشاهده شد (جدول ۱). محققین در نتایج خود نیز گزارش نمودند، عملکرد دانه ذرت همبستگی مثبت و معنی داری با وزن بلال و تعداد دانه در ردیف بلال داشت و محلول پاشی نیز موجب افزایش همبستگی عملکرد دانه با وزن دانه، ارتفاع بوته، قطر چوب بلال شد (Kurdi *et al.*, 2015).

تعداد دانه در بلال نیز بالاترین همبستگی منفی را با میزان نشت الکترولیت (۰/۹۴۷) و وزن هزار دانه (۰/۹۴۸) و بالاترین همبستگی منفی را با میزان مالون‌دی‌آلدهید (۰/۹۸۲-) نشان داد این در حالی بود که میزان مالون‌دی‌آلدهید نیز بالاترین همبستگی مثبت را با میزان هیدروژن پراکسید (۰/۶۷۷)، فعالیت سوپراکسیددیس‌موتاز (۰/۶۵۱) و میزان پتاسیم برگ (۰/۶۹۱) و میزان نشت الکترولیت (۰/۹۴۳) نشان داد (جدول ۲). نشت الکترولیت نیز دارای بالاترین همبستگی منفی با عملکرد و اجزای عملکرد دانه و بالاترین همبستگی مثبت نیز با مالون‌دی‌آلدهید (۰/۹۸۳) داشت (جدول

فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکاروبات پراکسیداز، گلوکاتیون پراکسیداز به همراه پتاسیم، پرولین در ناحیه II مختصات قرار گرفتند که این امر نشان‌دهنده نقش این ناحیه در پاسخ گیاه به تنش بوده و آن را بنام ناحیه پاسخ نام‌گذاری کرد. همچنین مشاهده شد که مقاومت سیتوپلاسمی، آبزیک‌اسید، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در ناحیه IV مختصات جای گرفته که این ناحیه نیز مربوط به عملکرد و تولید در گیاه است. میزان محتوای آب نسبی، هیدروژن پراکسید، مالون‌دی‌آلدئید و پروتئین‌های محلول نیز در ناحیه III مختصات قرار گرفته که نشان‌دهنده نقش آن در وضعیت تنش در گیاه است (شکل ۱).

موقعیت قرار گرفتن سطوح مختلف تنش خشکی بر اساس دو مؤلفه اول نیز در شکل (۱) مشخص شده است. تیمار شاهد یا آبیاری کامل در ناحیه IV مختصات قرار گرفته بودند در ناحیه که عملکرد و اجزای عملکرد جای گرفت که این نشان‌دهنده بالا بودن میزان تولید در شرایط بدون تنش است. این در حالی است که قطع آبیاری در مرحله تشکیل گل ماده در ناحیه I و قطع آبیاری در مرحله متورم شدن در ناحیه III مختصات قرار گرفت که این امر نشان‌دهنده فعال نمودن تنش اکسیداتیو در شرایط قطع آبیاری در مرحله تشکیل گل ماده بوده که مقایسه میانگین‌ها نیز تأیید کننده این تغییرات بوده است.

ساقه با طول پانیکول و تعداد ساقه فرعی دارای رابطه مثبت و معنی‌داری بود. با توجه به نتایج ضرایب همبستگی (Tabiei et al., 2022) مشخص شد وزن هزاردانه از مهمترین اجزای تأثیرگذار بر عملکرد دانه گیاه کینوا است که با نتایج (Soleimani Fard & Naseri, 2019) در گندم نان نیز هم‌خوانی دارد. از طرفی (Golparvar et al., 2006) نیاز شاخص برداشت را به‌عنوان صفات مؤثر در توجیه تغییرات عملکرد گزارش کرده‌اند. نتایج (Tabiei et al., 2022) حاکی از آن است که افزایش در تعداد گل‌آذین در متر مربع، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه را توانسته به‌عنوان معیارهای گزینش برای بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش محیطی بیان کرد. (Salehi et al., 2021) در بررسی خود گزارش کردند وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشت اما سایر صفات با عملکرد رابطه مثبت و معنی‌داری نداشتند. در مطالعه دیگر نیز مشخص شد صفات طول گل‌آذین و عملکرد بیولوژیکی کینوا همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در تمام تاریخ‌های کاشت مختلف داشت. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و وزن دانه در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیکی نیز در هر دو تراکم وجود داشت (Rabbani & Imam, 2013).

تجزیه به مؤلفه اصلی

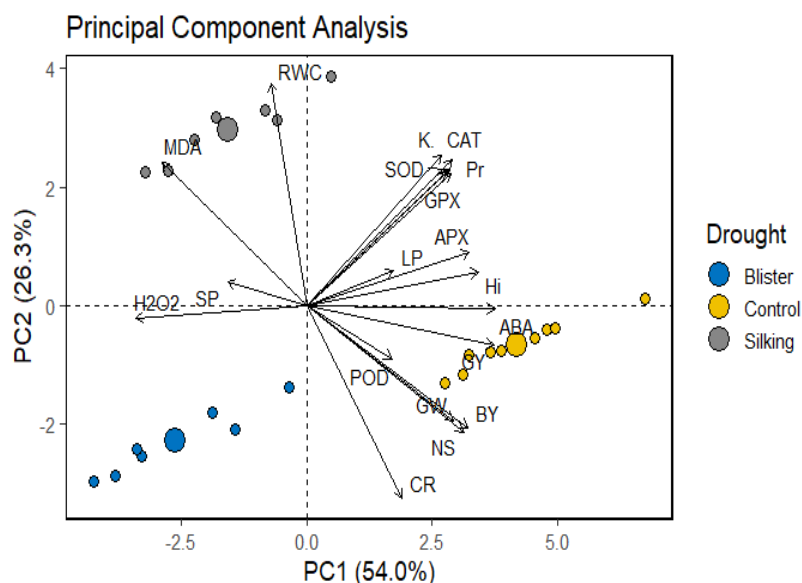
نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی صفات مورد ارزیابی نشان داد که دو مؤلف نخست توانست ۸۰/۳ درصد از تغییرات را توجیه نماید به‌طوری که مؤلفه اول ۵۴/۰ درصد و مؤلفه دوم ۲۶/۳ درصد بود (۱). موقعیت قرار گرفتن صفات مورد ارزیابی بر شکل مختصات براساس دو مؤلفه نیز مشخص شد،

جدول ۲- نتایج همبستگی صفات مورد ارزیابی با یکدیگر

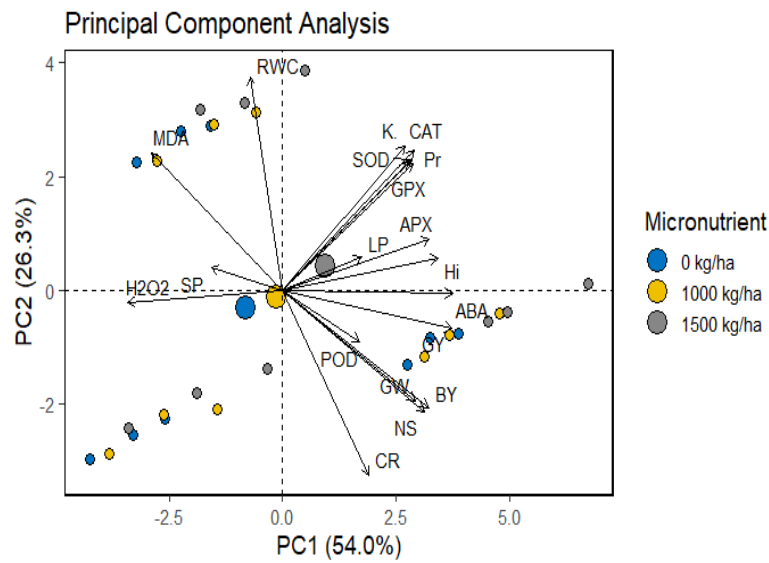
محتوای آب نسبی	محتوای آب آلهید	مالون دی	هیدروژن پراکسید	گلوتاتیون پراکسیداز	پراکسیداز	آسکاروبات پراکسیداز	کاتالاز	سو پراکسید دیسموتاز	مقاومت سیتوپلاسمی	پروتئین محلول	پتاسیم	پرولین	آبسزیک اسید	ارتفاع بوته	وزن هزار دانه	تعداد دانه	عملکرد دانه	عملکرد شاخص بیولوژیک برداشت
محتوای آب نسبی	۱																	
مالون دی آلهید	۰/۷۵۲**	۱																
هیدروژن پراکسید	۰/۰۸۶	۰/۶۷۷**	۱															
گلوتاتیون پراکسیداز	-۰/۲۸۰	۰/۴۱۰*	۰/۱۵۳	۱														
پراکسیداز	-۰/۴۷۹*	۰/۱۸۰	۰/۷۰۶**	۰/۰۲۴	۱													
آسکاروبات پراکسیداز	-۰/۱۷۳	۰/۳۷۰	۰/۶۶۶**	۰/۶۲۹**	۰/۶۲۶**	۱												
کاتالاز	-۰/۳۰۳	۰/۵۳۱**	۰/۳۶۶	۰/۹۲۹**	۰/۱۴۸	۰/۷۶۳**	۱											
سو پراکسید دیسموتاز	-۰/۲۲۷	۰/۶۵۱**	۰/۶۴۷**	۰/۸۱۲**	۰/۴۲۵*	۰/۸۷۵**	۰/۹۳۱**	۱										
مقاومت سیتوپلاسمی	-۰/۸۲۷**	۰/۹۴۳**	۰/۵۸۷**	۰/۳۲۴	-۰/۰۵۲	۰/۲۲۷	۰/۴۳۴*	۰/۵۰۶*	۱									
پروتئین محلول	۰/۱۶۸	۰/۲۷۴	۰/۱۸۷	۰/۷۴۳**	-۰/۰۲۵	۰/۶۱۳**	۰/۷۸۳**	۰/۶۵۲**	۰/۲۸۰	۱								
پتاسیم	۰/۳۰۹	۰/۶۹۱**	۰/۶۲۱**	۰/۸۳۰**	۰/۳۵۶	۰/۸۳۸**	۰/۹۴۶**	۰/۹۹۵**	۰/۵۴۱**	۰/۶۷۱**	۱							
پرولین	۰/۲۷۶	۰/۴۱۹*	۰/۲۳۵	۰/۸۸۶**	۰/۰۳۷	۰/۶۹۰**	۰/۹۴۳**	۰/۸۵۰**	۰/۳۶۱	۰/۷۰۲**	۰/۸۶۷**	۱						
آبسزیک اسید	-۰/۳۵۹	-۰/۱۰۴	۰/۱۰۱	۰/۷۳۴**	۰/۲۷۷	۰/۷۴۵**	۰/۷۳۸**	۰/۶۶۷**	-۰/۲۲۱	۰/۶۳۰**	۰/۶۳۳**	۰/۷۷۳**	۱					
ارتفاع بوته	۰/۰۱۴	-۰/۲۵۱	-۰/۲۸۴	-۰/۳۶۰	-۰/۳۲۵	-۰/۲۶۴	-۰/۳۴۴	-۰/۴۲۴*	-۰/۱۲۶	۰/۰۳۲	-۰/۴۲۵*	-۰/۳۴۰	-۰/۳۳۳	۱				
وزن هزار دانه	۰/۶۱۱**	-۰/۹۲۶**	-۰/۷۷۹**	-۰/۲۱۹	-۰/۲۹۶	-۰/۳۶۰	-۰/۳۶۴	-۰/۵۶۰**	-۰/۸۹۲**	-۰/۱۶۷	-۰/۵۸۱**	-۰/۲۲۵	۰/۱۶۱	۱				
تعداد دانه	۰/۶۸۸**	-۰/۹۸۲**	-۰/۷۴۷**	-۰/۳۹۳*	-۰/۲۴۹	-۰/۴۴۸*	-۰/۵۲۹**	-۰/۶۹۰**	-۰/۹۴۷**	-۰/۲۸۸	-۰/۷۲۱**	-۰/۴۲۲*	۰/۹۴۸*	۰/۲۵۲	۱			
عملکرد دانه	۰/۳۵۶	-۰/۸۴۶**	-۰/۸۵۴**	-۰/۵۰۸**	-۰/۵۴۳**	-۰/۷۰۲**	-۰/۶۵۷**	-۰/۸۵۰**	-۰/۷۱۰**	-۰/۳۵۸	-۰/۸۴۷**	-۰/۵۱۳**	۰/۴۷۹*	۰/۸۳۲**	۰/۸۹۳**	۱		
عملکرد بیولوژیک	۰/۶۸۴**	-۰/۹۷۰**	-۰/۶۹۹**	-۰/۵۴۷**	-۰/۲۲۷	-۰/۵۱۷**	-۰/۶۷۶**	-۰/۷۸۶**	-۰/۹۴۵**	-۰/۴۰۴*	-۰/۸۱۹**	-۰/۵۵۸**	۰/۳۲۲	۰/۸۹۹**	۰/۹۸۰**	۰/۹۰۸**	۱	
شاخص برداشت	۰/۰۲۵	-۰/۵۹۸**	-۰/۸۳۶**	-۰/۳۲۰	-۰/۷۴۱**	-۰/۶۸۶**	-۰/۴۵۳*	-۰/۶۹۰**	-۰/۴۵۳*	-۰/۱۸۴	-۰/۶۵۸**	-۰/۲۸۹	۰/۴۹۸**	۰/۶۳۵**	۰/۶۶۹**	۰/۹۰۳**	۰/۶۶۲**	۱

مناسب و شرایط تحمل تنش کم‌آبایی و حساسیت کمتر به خشکی قرار گرفته‌اند. این ژنوتیپ‌ها و بویژه ژنوتیپ KSC647 جزء ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبایی منظور شدند. همچنین ژنوتیپ KSC700 در قسمت میانی و سمت چپ نمودار در ناحیه حساسیت بالا به خشکی و عملکرددانه کمتر واقع شده‌اند. ژنوتیپ‌های KSC400 و KSC500 نیز در قسمت پایین و سمت چپ نمودار قرار گرفتند، نشان از ظرفیت پایین تولید دانه به نسبت ارقام دیررس و متوسط‌رس تحت بررسی و حساسیت بیشتر نسبت به کم‌آبایی دارند. برخی از محققین دیگر که روی ژنوتیپ یاد شده مطالعه داشتند، نیز به نتیجه مشابه دست یافتند (Shahin *et al.*, 2013). همچنین (Chogan *et al.*, 2017) نیز در مطالعه خود نتیجه مشابهی را گزارش نمودند. دومین مؤلفه ۳۳ درصد از تغییرات مدل را توجیه کرده و همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط تنش و نیز شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش و همچنین میانگین بهره‌وری داشت، از این رو مؤلفه دوم به نام حساسیت به تنش نام‌گذاری شد

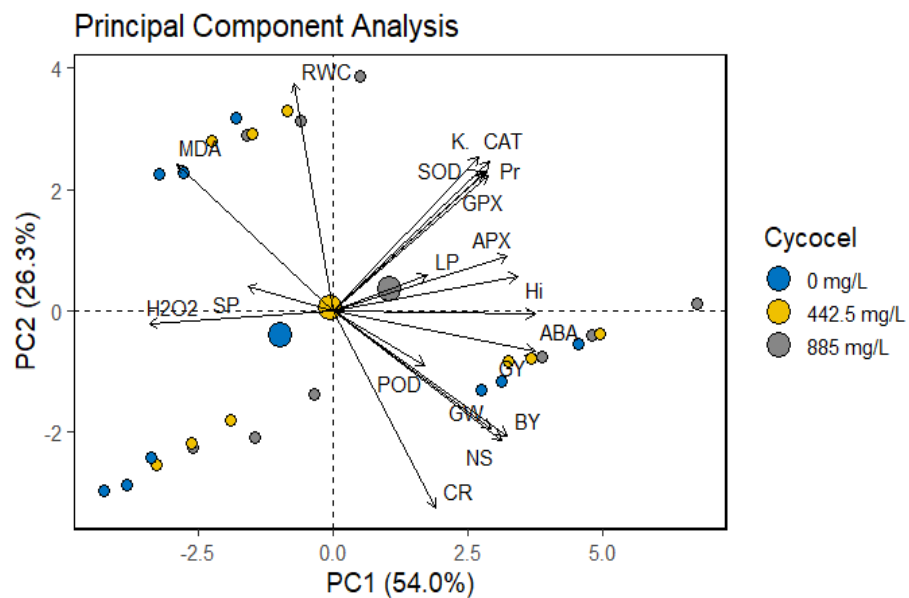
روند قرارگیری مقادیر مختلف ریزمغذی و سایکوسل نیز در شکل‌های ۳ و ۲ آورده شده است. نتایج این قسمت نیز مشخص شد که سطوح مختلف ریزمغذی‌ها بیشتر به مرکز تمایل دارند و مصرف ۱۰۰۰ گرم در هکتار به ناحیه III و ناحیه که عملکرد و اجزای عملکرد جای دارند تمایل دارد این در حالی است که عدم مصرف ریزمغذی‌ها و مصرف ۱۵۰۰ گرم در هکتار نیز به ناحیه II تمایل داشتند (شکل ۲). نتایج مربوط به سایکوسل نیز مشخص نمود که عدم مصرف این ماده در ناحیه III، مصرف ۴۴۲/۵ میلی‌گرم در لیتر در مرکز مختصات و مصرف ۸۸۵ میلی‌گرم در لیتر در ناحیه II جای گرفته و تأثیر مثبت آن بر عملکرد و اجزای عملکرد را نشان داده است (شکل ۳). به طور کلی توانسته مؤلفه اول را مؤلفه عملکردی و مؤلفه دوم را مؤلفه آنزیمی و بیوشیمیایی نام‌گذاری نمود. (Sadeghi *et al.*, 2017) نیز در ارزیابی ارقام متحمل به تنش خشکی ذرت گزارش نمودند، ژنوتیپ‌های که در قسمت پایین تا میانی و سمت چپ نمودار قرار دارند، نشان از بالا بودن مؤلفه اول و پایین بودن مؤلفه دوم است. در نتیجه این ژنوتیپ‌ها در ناحیه‌ای از نمودار با پایداری عملکرد



شکل ۱- پلات تجزیه به مؤلفه اصلی صفات مورد ارزیابی و سطوح مختلف تنش خشکی بر اساس دو مؤلفه اول



شکل ۲- پلات تجزیه به مؤلفه اصلی صفات مورد ارزیابی و سطوح مختلف ریزمغذی بر اساس دو مؤلفه اول



شکل ۳- پلات تجزیه به مؤلفه اصلی صفات مورد ارزیابی و سطوح مختلف سایکوسل بر اساس دو مؤلفه اول

نتیجه گیری

۱) نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که میزان ضریب تبیین (R^2) شاخص های تنش خشکی از ۰/۸۵۱ تا ۰/۹۵۳؛ ضریب تبیین (R^2) مدل صفات فیزیولوژیکی از ۰/۵۹۴ تا ۰/۹۸۷، ضریب تبیین (R^2) مدل صفات آنزیم های آنتی اکسیدانت از ۰/۴۳۱ تا ۰/۹۴۲ و ضریب تبیین (R^2) مدل اجزا عملکرد در محدوده ۰/۳۴ تا ۰/۹۴۹ از تغییرات این مدل ها را توجیح نموده است.

۲) نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی صفات مورد ارزیابی نشان داد که دو مؤلف نخست توانست ۸۰/۳ درصد از تغییرات را توجیه نماید به طوری که مؤلفه اول ۵۴/۰ درصد و مؤلفه دوم ۲۶/۳ درصد بود (شکل ۱). موقعیت قرار گرفتن صفات مورد ارزیابی بر شکل مختصات براساس دو مؤلفه نیز مشخص شد، فعالیت های آنزیم های آنتی اکسیدانت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکاروبات پراکسیداز، گلوکاتایون پراکسیداز به همراه پتاسیم، پرولین در ناحیه II مختصات قرار گرفتند که این امر نشان دهنده نقش این ناحیه در پاسخ گیاه به تنش بوده و آن را بنام ناحیه پاسخ نام گذاری کرد. همچنین مشاهده شد که مقاومت سیتوپلاسمی، آبسزیک اسید، وزن هزاردانه، تعداد دانه در بالال، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در ناحیه IV مختصات جای گرفته که این ناحیه نیز مربوط به عملکرد و تولید در گیاه است. میزان محتوای آب نسبی، هیدروژن پراکسید، مالون دی آلدئید و پروتئین های محلول نیز در ناحیه III مختصات قرار گرفته که نشان دهنده نقش آن در وضعیت تنش در گیاه است (شکل ۱).

۳) موقعیت قرار گرفتن سطوح مختلف تنش خشکی بر اساس دو مؤلفه اول نیز در شکل ۱ مشخص شده است.

تیمار شاهد یا آبیاری کامل در ناحیه IV مختصات قرار گرفته بودند در ناحیه که عملکرد و اجزای عملکرد جای گرفت که این نشان دهنده بالا بودن میزان تولید در شرایط بدون تنش است. این در حالی است که قطع آبیاری در مرحله تشکیل گل ماده در ناحیه I و قطع آبیاری در مرحله متورم شدن در ناحیه III مختصات قرار گرفت که این امر نشان دهنده فعال نمودن تنش اکسیداتیو در شرایط قطع آبیاری در مرحله تشکیل گل ماده بوده که مقایسه میانگین ها نیز تأیید کننده این تغییرات بوده است.

۴) روند قرارگیری مقادیر مختلف ریزمغذی و سایکوسل نیز در شکل های ۲ و ۳ آورده شده است. نتایج این قسمت نیز مشخص شد که سطوح مختلف ریزمغذی ها بیشتر به مرکز تمایل دارند و مصرف ۱۰۰۰ گرم در هکتار به ناحیه III و ناحیه که عملکرد و اجزای عملکرد جای دارند تمایل دارد این در حالی است که عدم مصرف ریزمغذی ها و مصرف ۱۵۰۰ گرم در هکتار نیز به ناحیه II تمایل داشتند (شکل ۲). نتایج مربوط به سایکوسل نیز مشخص نمود که عدم مصرف این ماده در ناحیه III، مصرف ۴۴۲/۵ میلی گرم در لیتر در مرکز مختصات و مصرف ۸۸۵ میلی گرم در لیتر در ناحیه II جای گرفته و تأثیر مثبت آن بر عملکرد و اجزای عملکرد را نشان داده است (شکل ۳). به طور کلی توانسته مؤلفه اول را مؤلفه عملکردی و مؤلفه دوم را مؤلفه آنزیمی و بیوشیمیایی نام گذاری نمود.

پیشنهادات

- ۱) پیشنهاد می‌شود تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشدی دیگر نیز جهت کاهش تأثیرات تنش خشکی نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.
- ۲) تأثیر محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها و سایکوسل در مراحل مختلف رشدی گیاه نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- ۳) تأثیر محلول‌پاشی بر تنش‌های دیگر به‌ویژه تنش گرما در مرحله گلدهی نیز مورد مطالعه قرار گیرد.
- ۴) پاسخ ارقام مختلف با طول دوره رشد مختلف نیز به تنش خشکی و محلول‌پاشی نیز بررسی شود.
- ۵) نقش تغذیه گیاه از طریق خاک نیز در افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی این گیاه نیز مورد مطالعه قرار گیرد.
- ۶) پیشنهاد می‌شود تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشدی دیگر نیز جهت کاهش تأثیرات تنش خشکی نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.
- ۷) تأثیر محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها و سایکوسل در مراحل مختلف رشدی گیاه نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- ۸) تأثیر محلول‌پاشی بر تنش‌های دیگر به‌ویژه تنش گرما در مرحله گلدهی نیز مورد مطالعه قرار گیرد.
- پاسخ ارقام مختلف با طول دوره رشد مختلف نیز به تنش خشکی و محلول‌پاشی نیز بررسی شود.
- ۹) نقش تغذیه گیاه از طریق خاک نیز در افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی این گیاه نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته شده از رساله "اثر کلرومکوات کلرید و مولتی‌میکرونوترینت بر عملکرد، صفات فیزیولوژیک و

آنتی‌اکسیدانت ذرت (*Zea mays cv. Sc 704*) در شرایط تنش خشکی انتهایی فصل " می‌باشد. بدین‌خاطر از کلیه اساتید محترم مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد، و اساتید محترم، جناب دکتر علوی فاضل که در محاسبات آماری راهنمایی ارزنده‌ای ارائه فرمودند، و همچنین استاد فرزانه جناب دکتر شهرام لک تشکر ویژه و قدردانی می‌نماید و برای کلیه اساتید محترم راهنما و مشاورین این تحقیق آرزوی سلامتی، بهروزی و موفقیت دارد.

REFERENCES

- Ardakani, M.R., ND Nadvar, R. 2010. Principles and techniques for plant and scientist (translated). *Tehran University*. 502 pp. (In Farsi)
- Azizi-e-Chakherchaman, Sh., Mostafaei, H., Yari, A., Hassnzadeh, M., Jamaati-e-Somarin, Sh., and Easazdeh, R. 2009. Study of relationships of leaf relative water content, cell membrane stability and duration of growth period with grain yield of Lentil under rain-fed and irrigated conditions. *Research Journal of Biological Science* 7, 842-847. (In Farsi)
- Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, L.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39, 205-207. (In Farsi)
- Beyer, W., Imlay, J., and Fridovich, M. 1991. Superoxide dismutase prog. *Nucl. Acid Research* 40, 221-253.
- Beyrami, H., Rahimian, M., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., Shiran-Tafti, M., and Nikkhah, M. 2020. Effect of irrigation frequency on yield and yield components of quinoa (*chenopodium quinoa*) under saline condition. *Journal of agricultural science and sustainable production* 30, 347-357. (In Farsi)
- Borras, L., and Gambin, B.L. 2010. Trait dissection of maize kernel weight: towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Research* 118, 1–12. doi: 10.1016/j.fcr.2010.04.010
- Bradford, K.J. 1994. Water stress and the water relations of seed developments: A critical review. *Crop Science* 34, 1-11.
- Brennan, T., and Frenkel, C. 1977. Involvement of hydrogen peroxide in the regulation of senescence in pear. *Plant Physiology* 59, 411-416.
- Cargnelutti Filho, A., and Toebe, M. 2019. Reference sample size for multiple regression in corn. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55.
- Chance, B., and Maehly, A.C. 1995. Assay of catalase and peroxidase. *Academic Press*, New York.
- Chen, Li-Men., Lin, C.C., and Kao, C.H. 2000. Copper toxicity in rice seedlings: changes in antioxidative enzyme activities, H₂O₂ level, and cell wall peroxidase activity in roots. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41, 99-103.
- Chogan, R., Heydari, A., Mohammadi, A., and Haddadi, M. H. 2017. Evaluation of drought tolerance in grain corn hybrids using drought stress tolerance indices. *Seedlings and seeds* 2, 543-562.
- Cowling, W. 2010. The challenge of breeding canola hybrids- new opportunities for WA growers. Western Australian Pty Ltd, *Agribusiness Crop*.
- Farshadfar, E. 1998. Application of biometrical genetics in plant breeding. (1st Ed.) *Razi University Of Kermanshah Publications*. pp 527. (In Farsi)
- Gahfarkhi, A., Khodabandeh, N., Ahmadi, E., and Bankeh-Saz, A. 2004. Effect of drought stress at different growth stages on yield, its components and quality of grain corn. *The Proceeding of 8th Iranian Crop Science Congress*, 25-27 Aug, *University of Guilan, Rasht*, 625p. (In Farsi)
- Ghahrani, A., Permon, Q., and Jahanbakhsh, S. 2016. Studying the effect of drought stress on some physiological and biochemical traits of several fodder sorghum genotypes. *Sciences of agricultural plants of Iran* 48, 1083-1097. (In Farsi)

- Golparvar, A.R., Ghanadha, M.R., Zali, A.A., Ahmadi, A., and Harvan, E.M. 2006. Factor analysis of morphological and morphophysiological traits in bread wheat genotypes under drought and non-drought stress. *Semantic Scholar* Corpus ID:87151782
- Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T. T., and Erenstein, O. 2021. Food Security and the Dynamics of Wheat and Maize Value Chains in Africa and Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4,1-17.
- Hamrahi, S., Habibi, D., Madani, H., and Mashhadi, A.B.M. 2008. The effect of cycocel and micronutrients on the amount of antioxidant enzymes as indicators of drought stress resistance in rapeseed, *New Agricultural Findings Year 2 - Number 3*. (In Farsi)
- Harrison, M.T., Tardieu, F., Dong, Z., Messina, C.D., and Hammer, G.L. 2014. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Global Change Biology* 20, 867-878.
- Hashemzadeh, F. 2012. Evaluation of grain yield and agronomic traits of maize varieties under drought conditions and CCC application of the second planting. *Journal of crop Ecophysiology* 5, 65-77.
- Heath, R.L., and Packer, L. 1986. Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemical Biophysics* 25, 189-198.
- Imam, Y. 2016. Grain production. Third edition, *Shiraz University Press*, 190 p.
- Karger, S.M., and Lutfi, Wow. 2011 Investigating the correlation and causality analysis of traits on the performance of single cross 704 corn under water stress conditions. *Produce* 43-55, *Agricultural plants under environmental stress conditions*. third year. No. 3 and 4.
- Karin, V., Ilieva, T.V., and Kolarov, H. 1987. IAA-oxidase activity in germs of maize under the effect of CCC. *Plant growth regulators* (edited by Lilov, D. Vassilev, G. Christov, C. Andonova, T.) 729-732.
- Kelen, M., Demiralay, E.C., Sen, S., and Ozkan, G. 2004. Separation of abscisic acid, indole-3-acetic acid, gibberellic acidin 99 R (*Vitis berlandieri x Vitis rupestris*) and rose oil (*Rosa damascena* Mill.) by reversed Phase liquid chromatography. <https://journals.tubitak.gov.tr/chem>.
- Koochaki, A., and H.Sarmadnia, GH. 2008. Plant Physiology (translation). *Mashhad Academic Publications* 467p. (In Persian)
- Kurdi, S., Daneshvar, M., Sayah Far, M., and Shah Karmi, Q. 2015. Correlation study and analysis of the causality of yield, yield components and some morphological traits of seed corn hybrids under different fertilization methods, *Journal of Agriculture* 111, 74-66. (In Farsi)
- Latifkar, M., Mojaddam, M., and Nejad, T.S. 2014. The effect of application time of cycocel hormone and plant density on yield and yield components of wheat (*Chamran cultivar*) in Ahvaz weather conditions. *International Journal of Biosciences* 10, 234-242. (In Persian)
- Lewis, D.C., and Macfalane, J.D. 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorious*L.) and the diagnosis of manganese deficiency by plant tissue and seed analysis. *The Australian Journal of Agricultural and Resource* 37, 567-572.
- Malan, C., Greyling, M.M., and Gressel, J. 1990. Correlation between Cu/Zn superoxide dismutase and glutathione reductase and environmental and Xenobiotic stress tolerance in maize inbreeds. *Plant Science* 69, 157-166.
- Megersa, H.G., Lemma, D.T., and Banjawu, D.T. 2018. Effects of plant growth retardants and pot sizes on the height of potting ornamental plants: A Short Review. *Journal Horticultura* 5, 1-5.
- Melazem, D., Bashirzadeh, A., and Azimi, J. 2021. The effect of salicylic acid foliar application on the biochemical and physiological characteristics of maize genotypes under salinity stress

- conditions. *Scientific Research Journal of Crop Physiology* 13, 25-41. (In Farsi)
- Mokari-Firuzsalari, S., Khomari, S., Seyed-Sharifi, R., Goli-Kalanpa, E., and Azizpour, K. 2019. The Combined influence of zinc and epibrassinolide increase tolerance to salt stress in *strassica napus* L. *Russian Journal of Plant Physiology* 66, 240-249. (In Farsi)
- Movahed Dehnavi, M., and Madras Sanavi, S.A.M. 2013. The effect of foliar application of micronutrient elements (zinc and manganese) on the quantitative and qualitative yield of different varieties of winter safflower under drought stress in Isfahan. *Journal Agriculture Academic Source* 13, 1-11. (In Farsi)
- Nakano, Y., and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology* 22, 867-880.
- Ndlovu, E., van Staden, J., and Maphosa, M. 2021. Morpho-physiological effects of moisture, heat and combined stresses on *Sorghum bicolor* [Moench (L.)] and its acclimation mechanisms. *Plant Stress* 2, 100018. doi.org/10.1016/j.stress.2021.100018
- Paleg, L.G., and Aspinall, D. 1981. The physiology and biochemistry of drought resistance. *Academic Press* 507 pp.
- Piekutowska, M., Niedbała, G., Piskier, T., Lenartowicz, T., Pilarski, K., Wojciechowski, T., and Czechowska-Kosacka, A. 2021. The application of multiple linear regression and artificial neural network models for yield prediction of very early potato cultivars before harvest. *Agronomy* 11, 885.
- Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., and Khaliq, A. 2016. Response of cereals to cycocel application. *Iran Agricultural Research* 35, 1-12. (In Farsi)
- Rabbani, J., and Imam, Y. 2013. Yield response of corn hybrids to drought stress in different stages of growth. *Journal of plant production and processing* 1, 65-78. (In Farsi)
- Rafiee, M., Karimi, M., Nour-Mohammadi, Gh., and Nadian, H.A. 2004. Investigation of traits correlation and path analysis of corn (*Zea mays* L.) seed yield in different treatments of drought stress. *Journal of Agricultural Research* 4, 33-45. (In Farsi)
- Rao, G.N. 1983. Statistics for Agricultural Science. Oxford and IbhPubl. Co. London
- Ribaut, J.M., Betran, J., Monneveux, P., and Setter, T. 2012. Drought tolerance in maize. In: Bennetzen, J.L., Hake, S.C. (eds.), *Handbook of Maize: It's Biology*. Springer, New York, pp. 311-34.
- Runkle, E. 2015. Environment and PGR interactions. *Greenhouse Product News* 25, 74.
- Runkle, E. 2017. Understanding how PGRs work. *Greenhouse Product News* 27, 54.
- Sabkadam, M., and Fantasist, F. 2007. Studying the relationship between yield and yield components in 30 bean cultivars. *Science of agricultural techniques and natural resources* 11, 123-133. (In Farsi)
- Sadeghi, F. 2017. Investigating the drought tolerance indices of seed corn hybrids under low irrigation conditions. *Crop Breeding Journal* 10, 81-90.
- Salehi, S., Azad QojeBiglou, A.H., Fatahi, S.K.S., and Khazai, A. 2021. Investigating the effect of cycocel foliar spraying on the active substance and some physicochemical properties of the medicinal plant, *Cannabis sativa*. *Ecophytochemistry Journal of medicinal plants* 9, 29-39.
- Shahin Abad, L.M., Rashidi, V., and Eivazi, A.R. 2013. Evaluation of drought tolerance in corn genotypes (*Zea mays* L.). *International Journal of Current Research* 5, 85-88.
- Soleimani Fard, A., and Naseri, R. 2019. Evaluation of relationships between grain yield and physiological agronomic traits of bread wheat genotypes under dry conditions. *Environmental*

Stress in Agricultural Sciences 13, 701-714. (In Farsi)

- Tabiei, H., Baradaran, R., Seghatoleslami, M.J., and Mousavi, SG. R. 2022. Effect of Irrigation and Nutrition Management on Yield and Yield Components of Quinoa in Birjand Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 20, 65-80. (In Farsi)
- Wang, Q., Xu, J., Pu, X., Lv, H., Liu, Y., and Ma, H. 2021. Maize DNA methylation in response to drought stress is involved in target gene expression and alternative splicing. *Journal of Molecular Sciences* 22, 82–85.
- Yamada, M., Morishita, H., Urano, K., Shiozaki, N., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., and Yoshida, Y. 2005. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. *Journal of Experimental Botany* 56, 1975-1981.
- Zinali, H., Naser-Abadi, E., Hossein-zadeh, H., and Sabokdast, M. 2004. Factor analysis on hybrid of cultivar grain maize. *Iranian Journal of Agriculture Science* 36, 895-902. (In Farsi)



The Effect of Examining the Correlation of Traits and Decomposition into Main Components, Cycocel and Micronutrients, on the Model of Stress Indicators, Physiological Traits, Oxidant Enzymes, Yield and Yield Components of Corn (*Zea mays cv. Sc 704*) Under Water Stress Conditions

Seyed Nouraddin Ghafari¹, Alireza Shakofar^{*2}, Mani Majdam², Shahram Lak³, Aziz Afarinesh⁴

¹Ph.D. Student of Agriculture, Department of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

²Assistant Professor, Crop physiology, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

³Professor, Crop physiology, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

⁴Assistant Professor, Corn Breeder, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran- Faculty member of Safiabad Agricultural Research Center, Dezful, Dezful, Iran.

* Corresponding Author's Email: alireza_shokufar@yahoo.com

(Received: November. 30, 2023 – Accepted: March. 19, 2024)

ABSTRACT

This study was carried out in the two crop years of 2016 and 2017 at Safi Abad Research Center. The experiment was conducted as a factorial split plot in the form of a randomized complete block design with four replications. The main factor of the experiment was to cut off irrigation at three levels (control), cut off irrigation at the stage Silking and cut off irrigation at the stage Blister and the secondary factor was cycocel zero, 442.5 and 885 mg/l. Micronutrients were zero, 1000 and 1500 gr/ha and control. The correlation results of the assessed traits with each other were determined, seed yield with plant height, number of seeds per cob, thousand seed weight had a significant positive correlation with hydrogen peroxidase, malondialdehyde, electrolyte leakage rate, catalase activity, peroxidase, superoxide. Dismutase, ascorbate peroxidase, glutathione peroxidase, the level of potassium and proline in leaves showed a significant negative correlation, the highest positive correlation was related to the number of seeds in the cob (0.893) and the highest negative correlation was from electrolyte leakage (-0.945) and hydrogen peroxide. (-0.854) was observed. The placement process of different amounts of micronutrients and cycocel was determined; So that different levels of micronutrients tend to be more towards the center; And consumption of 1000 gr/ha tends to zone III and the zone where yield and yield components are located. In general, it was found that foliar spraying with concentrations of 1500 gr/ha of micronutrients and 885 mg/l of cycocel by reducing the negative effects of stress, could be suitable treatments to increase tolerance to corn stress at the end of the season.

Keywords: Correlation, Decomposition into main components, Growth retarder, Increasing tolerance to stress, Significant positive