تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۳۸۷-۴۰۲
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2589.1736

مقاله پژوهشی

اثر کاربرد سوپرجاذب و محلول‌پاشی آهن و روی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) (S.C.704) تحت رژیم‌های آبیاری

نوشین داریوش‌کریمی[۱]، مانی مجدم[۱*]، شهرام لک[۱]، خوشناز پاینده[۲]، علیرضا شکوه‌فر[۱]
۱. گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی آهن، روی و کاربرد سوپرجاذب در شرایط تنش کم آبی بر عملکرد دانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ذرت، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان شوشتر اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های آبیاری با سه سطح آبیاری پس از تخلیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید که زمان اعمال تنش حدود ۶۰ روز بود، عامل فرعی شامل پلیمرسوپرجاذب با دو سطح شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی فرعی شامل محلول‌پاشی عناصرریزمغذی با چهار سطح شاهد (آب معمولی)، محلول‌پاشی آهن، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی آهن و روی (در غلظت یک در هزار و در مرحله شش تا هشت برگی) بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد تأثیر رژیم آبیاری و سوپرجاذب بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار بود. در شرایط تنش کم آبی عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و فعالیت آسکوربات پراکسیداز کاهش یافت اما فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز افزایش یافت. از طرفی برهمکنش رژیم آبیاری و سوپرجاذب بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد دانه (۸۵۳۰/۶۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود. همچنین برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد دانه و سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار بود. محلول‌پاشی آهن و روی در شرایط تنش رطوبتی موجب افزایش عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و سوپراکسیددیسموتاز شد. به‌طور کلی با توجه به پایداری چندین ساله سوپرجاذب در خاک می‌توان بیان نمود که کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و محلول‌پاشی توأم آهن و روی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه، اجزای عملکرد ذرت و در کل بهبود ۴۵ درصدی تولید ذرت شود.

واژه‌های کلیدی: **آبیاری مطلوب، آهن، سوپرجاذب، عملکرد دانه، کاتالاز**

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین غلات دانه‌ای است که در بیش از ۱۸۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا کشت می‌شود و تولید آن بالغ بر ۱۰۰۰ میلیون تن است (FAO, 2014). تا سال ۲۰۵۰ تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر تقاضای فعلی خواهد شد (Von Braun et al., 2010) و این در حالی است که هر ساله عملکرد ذرت در دنیا به سبب رخداد خشکی حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد (FAO, 2014). بروز تنش کم آبی سبب اختلالات متابولیسمی در سلول‌های گیاهی می‌شود که از آن جمله می‌توان به افزایش تولید فرم‌های فعال اکسیژن نظیر رادیکال سوپراکسید، پراکسیدهیدروژن و رادیکال هیدروکسیل به عنوان یکی از فاکتورهای اصلی اختلالات متابولیسمی سلول اشاره کرد. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، سیستم دفاعی کارآمدی دارند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین

* نگارنده پاسخگو: مانی مجدم. پست الکترونیک: manimojaddam@yahoo.com

ببرد یا خنثی کند. این سیستم دفاعی شامل سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز است (Blokhin et al., 2003). شارما و دوبی (Sharma and Dubey, 2005) گزارش کردند فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز با افزایش شدن تنش خشکی افزایش پیدا می‌کند.

اعمال مدیریت صحیح و بکارگیری تکنیک‌های پیشرفته به منظور حفظ ذخیره رطوبت و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب می‌باشد (Sayadi Maazou et al., 2016). یکی از روش‌های نوین در جهت افزایش بازده آبیاری استفاده از سوپرجاذب‌ها است. پلیمرهای سوپرجاذب می‌توانند مقادیر زیادی آب یا محلول های آبی را جذب نموده و متورم شوند. این مخازن ذخیره-کننده آب وقتی در خاک قرار می‌گیرند، آب آبیاری و بارندگی را به خود جذب نموده و از فرو نشستن آن جلوگیری می-نمایند و پس از خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه شده و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند، این پلیمرها هم‌چنین تأثیر کود و مواد مغذی گیاه را بیشتر می‌کند و به طور متوسط اتلاف فسفر را با ۸۴ درصد، نیتروژن را تا ۸۳ درصد کاهش می‌دهد (Seyed Doraji et al., 2011). مسلمی و همکاران (Moslemi et al., 2012) با بررسی اثر سوپرجاذب بر گیاه ذرت تحت شرایط کم آبی گزارش نمودند که کم آبی عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال را کاهش داد. کاربرد سوپرجاذب عملکرد دانه را تحت شرایط کم آبی و آبیاری کامل افزایش داد. گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) گزارش نمودند که اثر تنش خشکی بر تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه ذرت معنی‌دار و متوسط بالاترین عملکرد دانه ۱۰۰۸ گرم در مترمربع بود و تنش خشکی منجر به کاهش ۳۳ درصدی عملکرد دانه شد. قاسمی‌گلعذانی و همکاران (Ghassemi-Golezani et al., 2018) در ذرت گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه، تعداد دانه در گیاه، وزن هزار دانه از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و کمترین این صفات از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت حاصل شد. لی و همکارن (Li et al., 2014) در ذرت گزارش نمودند سوپرجاذب از طریق تامین آب و به دنبال آن برخی عناصر غذایی در مرحله بحرانی تشکیل دانه، باعث کاهش سقط جنین و در نتیجه افزایش دانه‌های بارور شده است. چایترا و سریدهارا (Chaithra and Sridhara, 2018) با بررسی اثر سوپرجاذب بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت اظهار داشتند که بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب حاصل شدند.

امروز علاوه بر عناصر غذایی پرمصرف استفاده از عناصر ریزمغذی به عنوان ابزاری مهم برای حصول حداکثر عملکرد در واحد سطح مورد توجه است. عناصر غذایی ریزمغذی علاوه بر افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی در سلامت انسان و دام نیز تأثیر بسزایی دارد (Khalily Mahaleh and Rashidi, 2008). عناصر غذایی کم مصرف عناصر بسیار لازم و اساسی برای رشد و نمو گیاهان اند که در مقادیر کمتر از عناصر غذایی اصلی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم مصرف می‌شوند. امروزه، ثابت شده است که عناصر غذایی کم مصرف در بعضی محصولات زراعی باعث افزایش عملکرد می‌شود. کشت مداوم، آهکی بودن خاک‌ها و عدم مصرف کودهای حاوی عناصر غذایی لازم از دلایل کمبود در خاک‌های ایران است (Malcoti And Tehrani, 2008). کودهای ریزمغذی حاوی عنصر روی که یکی از ریزمغذی‌های ضروری مورد نیاز برای رشد مطلوب گیاه است در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی درون گیاه دخالت دارد. کمبود آن مهم‌ترین مشکل گیاهان از نظر ریزمغذی به خصوص در خاک‌هایی که از pH بالایی برخوردارند می‌باشد (Alloway, 2008) زیرا در تشکیل اسیداینداول‌استیک دخالت و رشد گیاه را تنظیم می‌کند. به علاوه این عنصر باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم-ها می‌شود به طوری که برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری است (Ma et al., 2017). همچنین آهن یکی دیگر از عناصر ضروری اما کم مصرف و دارای نقش مهمی در تثبیت نیتروژن و فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز است. نقش آهن در ساخت کلروفیل، تولید کربوهیدرات‌ها، تنفس، احیای شیمیایی نیترات و سولفات، تبدیل نیتروژن نیتراته به اسیدهای آمینه، حیاتی است (Ruiz et al., 2000). متاعی و همکاران (Motaei et al., 2015) در مطالعات خود بیان نمودند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌تواند نقش معنی-داری را در بهبود عملکرد دانه ذرت داشته باشد. به گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه (۶۶۷۹/۰۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی با کود میکرو و کمترین عملکرد دانه (۴۳/ ۶۲۳۸ کیلوگرم در هکتار) به تیمار شاهد تعلق گرفت. زند و همکاران (Zand et al., 2010) در ذرت گزارش نمودند که

کاربرد ترکیبات مختلف عنصر روی، موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددسموتاز شده و بنابراین محلول‌پاشی روی، قادر است سیستم آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی گیاه را تقویت نموده، گیاه را نسبت به بروز شرایط تنش، مانند تنش کمبود آب متحمل‌تر سازد.

لذا این تحقیق به منظور ارزیابی تأثیر رژیم آبیاری و کاربرد عناصر ریزمغذی با پلیمرسوپرجاذب بر عملکرد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ذرت دانه‌ای در منطقه شوشتر اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان شوشتر با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۰ متر از سطح دریا انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table1. Physicochemical properties of the soil at experiment location

سال زراعی Farming year	عمق خاک Depth of soil	بافت خاک Soil texture	pH	هدایت الکتریکی EC	مواد آلی Organic Matter	نیتروژن N	روی Z	آهن Fe
	cm			dc/m	%	----------ppm----------		
2016-17	0-30	Clay-Silty	7.61	3.78	0.32	0.03	0.32	9.8
2017-18	0-30	Clay-Silty	7.22	3.43	0.3	0.02	0.3	9.54

این تحقیق به صورت کرت‌های دوبارخردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گیاه ذرت انجام شد. عامل اصلی شامل رژیم آبیاری با سه سطح آبیاری پس از تخلیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید، عامل فرعی شامل پلیمرسوپرجاذب با دو سطح شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی فرعی شامل محلول-پاشی عناصرریزمغذی با چهار سطح شاهد (آب معمولی)، محلول‌پاشی آهن، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی آهن و روی بود. هیبرید مورد کشت برای گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ که رقمی دیررس بود و از مرکز تحقیقات و تهیه نهال و بذر صفی‌آباد دزفول تهیه شد.

این آزمایش جمعا از ۷۲ کرت تشکیل شد که هر کرت آزمایشی به طول پنج متر و دارای شش خط کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۷ سانتی‌متر با تراکم ۷۵۰۰۰ بوته در هکتار بود. فاصله دو کرت فرعی یک متر (معادل یک خط نکاشت) و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. عملیات تهیه بستر شامل شخم با گاو آهن برگردان‌دار، دیسک و نهایتا عملیات تسطیح با ماله بود. کود پایه بکار برده شده در مزرعه شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بصورت تقسیط در دو مرحله (۵۰ درصد همزمان با کاشت و ۵۰ درصد در مرحله شش برگی بصورت سرک) و کود فسفر نیز بر مبنای ۶۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل در هنگام تهیه زمین بود، و در سال دوم میزان کود مصرفی با توجه به آزمایش خاک مجدد کاهش یافت و کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار و کود فسفر نیز بر مبنای ۵۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل استفاده شد. عملیات کاشت بذر در تاریخ‌های سه مرداد ۱۳۹۶ و پنج مرداد ۱۳۹۷ به صورت دستی روی پشته‌ها در عمق چهار سانتی‌متری خاک کمی بالاتر از داغاب انجام شد. بعد از کشت، مزرعه مورد آزمایش بلافاصله آبیاری شد. تیمارهای سوپرجاذب (تهیه شده از شرکت Boshraamin نماینده انحصاری سوپرجاذب SNS فرانسه، نوع سوپرآب آ-۲۰۰ با ذرات به اندازه دو تا سه میلی‌متر) نیز همزمان با کاشت به صورت نواری پایین پشته‌ها در عمق ۱۰ سانتی‌متری قرار داده شد تا پس از جذب آب و رشد گیاهچه‌ها ریشه‌های گیاه سریع‌تر از آب ذخیره شده در پلیمر سوپرجاذب استفاده کنند. میزان سوپرجاذب مورد استفاده برای هر ردیف ۷۵ گرم بود. جهت محلول‌پاشی از کود مایع میکرو کیمیا که حاوی عناصر ریزمغذی روی ۱/۵ درصد و آهن ۲/۵ درصد بود (Yousefipor et al., 2019) در غلظت یک در هزار تهیه و با دستگاه سم‌پاش دست‌پاش گلخانه‌ای در مرحله شش تا هشت برگی انجام گرفت. کنترل علف‌های‌هرز به صورت وجین

دستی انجام شد. تا مرحله پنج برگی آبیاری‌ها براساس تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از ظرفیت زراعی خاک با توجه به عمق توسعه ریشه (۵۰ سانتی‌متری) در همه تیمارها انجام و از این مرحله به بعد تیمارهای تنش کم آبی دقیقاً اعمال گردید. زمان اعمال تنش از ۳۰ روز پس از کاشت تا حدود ۲۵ روز قبل از برداشت حدود ۶۰ روز طول کشید. جهت تعیین دقیق زمان آبیاری در هر تیمار، با گذشت ۴۸ ساعت از هر آبیاری، با استفاده از آگر خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه-برداری شد. آبیاری هنگامی انجام شد که رطوبت وزنی خاک در تیمارهای مختلف به درصد مورد نظر رسیده باشد سپس حجم آب آبیاری مورد نیاز هر تیمار از رابطه زیر محاسبه شد. پارامترهای رابطه عبارتند از:

$$V= \frac{(Fc-\Theta m) \times Pb \times Droot \times A}{Ei} \qquad [۱]$$

که در آن V: حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب، Fc: درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، Θm: درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)، A: مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع، Droot: عمق توسعه ریشه بر حسب متر و Ei: راندمان آبیاری هستند.

رسیدگی دانه‌ها با ایجاد لایه سیاه در قاعده دانه‌ها مشخص گردید و برداشت نهایی با حذف ۵۰ سانتی‌متر از اول و انتهای خطوط از سطحی معادل دو مترمربع انجام شد.

جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر کرت آزمایشی پس از حذف ۰/۵ متر از دو انتهای خطوط، تمامی بلال‌های موجود در سه خط میانی به طول دو متر بصورت دستی برداشت و پس از خشک شدن در آون جداسازی دانه‌ها بصورت دستی انجام گرفت و بوجاری با رطوبت ۱۴ درصد وزن شد. جهت سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مرحله گلدهی کامل، نمونه‌هایی از برگ‌های تازه انتهایی گیاه تهیه و در نیتروژن مایع منجمد شد و تا زمان انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. فعالیت آنزیم کاتالاز به روش بومیناتان و دوران (Boominathan and Doran, 2002) در مرحله گلدهی سنجیده شد. برای این منظور، ۹۰۰ میکرولیتر از محلول واکنش (شامل محلول ده میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن در بافر فسفات سالین بدون PVP و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی) داخل کاووت و پس از افزودن آب اکسیژنه (H_2O_2) در محلول واکنش، بلافاصله کاهش ناشی از تجزیه H_2O_2 در اثر عمل کاتالاز، در طول موج ۲۴۰ نانومتر و در مدت یک دقیقه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Uvi Light XS 5 SECOMAM) اندازه‌گیری و سپس میزان فعالیت آنزیم محاسبه گردید. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز به روش بومیناتان و دوران (Boominathan and Doran, 2002) در مرحله گلدهی انجام شد. ۹۰۰ میکرولیتر از محلول واکنش شامل (۶۲۵ میکرولیتر بافر فسفات حاوی EDTA، ۱۷۵ میکرولیتر آسکوربیک اسید، ۵۰ میکرولیتر H_2O_2، ۵۰ میکرولیتر سرم آلبومن گاوی (BSA) و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی) داخل کاووت ریخته شد و کاهش جذب آسکوربیک‌اسید در اثر فعالیت آنزیم مربوطه در طول موج ۲۹۰ نانومتر و در مدت یک دقیقه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندزه‌گیری و سپس میزان فعالیت آنزیم محاسبه گردید. فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز از طریق اندازه‌گیری توانایی آن در جلوگیری از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم کلراید به روش دهیندسا و همکاران (Dhindsa et al., 1981) در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل فسفات پتاسیم ۵۰ میلی-مولار، متیونین ۱۳میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم کلراید ۷۵ میکرومولار، اتیلن در آمین تترا استیک اسید ۰/۱ میلی‌مولار، ریبوفلاوین ۳۶۰ ماکرومولار و ۳۰ ماکرو لیتر عصاره خام بود. پس از این که مخلوط بهم زده شد، سل‌های اسپکتروفتومتر به مدت ده دقیقه در زیر یک لامپ فلورسنت ۱۵ وات به فاصله ۳۵ سانتی‌متر قرار داده شد. با خاموش کردن لامپ، واکنش متوقف و جذب مخلوط واکنش در ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که می‌تواند تا ۵۰ درصد مانع از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم کلراید گردد. فعالیت ویژه آنزیم به صورت تعداد واحدهای آنزیم در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

تعداد دانه در بلال

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تأثیر رژیم آبیاری، سوپرجاذب، محلول‌پاشی آهن و روی، اثر برهمکنش رژیم آبیاری و سوپرجاذب، برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی

آهن و روی و برهمکنش سوپرجاذب و محلول‌پاشی آهن و روی بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین دو ساله نشان داد تنش کم آبی موجب کاهش معنی-دار تعداد دانه در بلال گردید، به نحوی که بیشترین تعداد دانه در بلال به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) و کمترین تعداد دانه در بلال به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مربوط بود (جدول ۳). در این پژوهش به نظر می‌رسد اعمال تیمارهای تنش در مرحله گلدهی می‌تواند باعث تأخیر در ظهور کاکل‌ها گردد، بدین ترتیب، کاکل‌ها وقتی ظاهر می‌شوند که گرده‌افشانی انجام گرفته و گرده‌های زنده‌ای برای تلقیح گل‌های ماده وجود ندارد و یا به شدت کاهش یافته است، لذا اکثر تخمک‌ها تلقیح نشده و در نتیجه دانه‌ای تشکیل نمی‌شود، بنابراین در کل بلال تعداد دانه‌های کمتری تشکیل می‌یابد (Ghassemi-Golezani et al., 2018). برطبق اظهارات خلیلی و همکاران (Khalily et al., 2013) تنش کم آبی در زمان گل‌دهی منجر به اختلال در خروج کلاله‌ها از بلال می-شود، در نتیجه کلاله‌ها خشک شده و متعاقباً کاهش تعداد دانه در بلال اتفاق می‌افتد. این مطالب با یافته‌های گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) و مسلمی و همکاران (Moslemi et al., 2012) مطابقت داشت. برهمکنش رژیم آبیاری و سوپرجاذب بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد دانه در بلال نیز با کاربرد سوپرجاذب در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش یافت به گونه‌ای که نسبت به تیمار شاهد ۲۲ درصد افزایش یافت. بیشترین و کمترین تعداد دانه در بلال با میانگین‌های ۴۳۲ و ۳۳۴ بترتیب به تیمارهای آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب (که با آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از لحاظ آماری تفاوتی نداشت) و آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد سوپرجاذب مربوط بود (جدول ۴). می‌توان احتمال داد که کاربرد هیدروژل‌های سوپرجاذب، تعداد دانه در بلال را تحت شرایط تنش خشکی از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه و هوادهی بهتر در خاک بهبود می‌بخشد. در این رابطه شکاری و همکاران (Shekari et al., 2015) گزارش نمودند که سوپر جاذب موجب تأمین رطوبت کافی و جلوگیری از عقیم شدن گل‌ها گشته و تعداد بیشتری از گل‌ها به دانه تبدیل شده‌اند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. محلول‌پاشی آهن و روی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۴۴۴ دانه بیشترین تعداد دانه در بلال را به خود اختصاص داد که با آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی-داری نداشت و عدم کاربرد عناصر ریزمغذی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با ۳۲۷ دانه کمترین تعداد دانه در بلال را به خود اختصاص داد (جدول ۵). در شرایط تنش کم آبی به دلیل شکل‌گیری ضعیف اندام‌های زایشی و به تبع آن گرده‌افشانی نامناسب تعداد دانه در بلال کاهش معنی‌داری نشان داد (Telen, 2007)، در این تحقیق محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی موجب کاهش خسارت ناشی از تنش بر تعداد دانه در بلال گردید، که این نتایج با یافته‌های پرزیوند و همکاران (Parzivand et al., 2011) مطابقت داشت. همچنین محلول‌پاشی آهن و روی با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۴۱۰ دانه بیشترین تعداد دانه در بلال و عدم کاربرد عناصر ریزمغذی و سوپرجاذب با ۳۲۵ دانه کمترین تعداد دانه در بلال را به خود اختصاص داد (شکل ۱). می‌توان اظهار داشت محلول‌پاشی عناصر آهن و روی با پلیمرسوپرجاذب به دلیل رفع کمبود عناصر غذایی منجر به افزایش تعادل در رشد، تنظیم فرآیندهای نمو در گیاه و قابلیت جذب و نگهداری رطوبت، باعث افزایش تعداد دانه در بلال نسبت به عدم مصرف آن‌ها گردید که با نتایج خادم و همکاران (Khadem et al., 2011) و عباس‌پور و همکاران (Abbaspour et al., 2014) مطابقت داشت.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر رژیم آبیاری، سوپرجاذب و محلول‌پاشی ریزمغذی بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود. بیشترین وزن هزار دانه به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین وزن هزار دانه به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مربوط بود (جدول ۳). بروز تنش و کم آبی از طریق کاهش ارتفاع بوته که نتیجه حساسیت بالای فرآیندهای تقسیم و رشد سلولی به تنش خشکی می‌باشد، باعث کاهش میزان کربوهیدرات‌های ذخیره شده در ساقه (منبع ثانویه) و همچنین کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز می‌گردد که در نتیجه وزن هزار دانه کاهش می‌یابد، این نتیجه با نتایج قاسمی‌گلذانی و همکاران (Ghassemi-Golezani et al., 2018) در ذرت مطابقت

داشت. نتایج تحقیقات نصرالهزادهاصل و همکاران (Nasrollahzadeh Asl et al., 2017) حاکی از آن است که تنش کم آبی باعث کاهش ۱۸/۵۹ وزن صد دانه شد. در این رابطه گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) و حنطه و امینیان (Hunta and Aminian, 2017) نیز کاهش معنی‌دار وزن دانه ها را در اثر تنش کم آبی گزارش کرده‌اند.

جدول ۲. میانگین مربعات صفات تحت تأثیر رژیم آبیاری، سوپرجاذب و ریزمغذی

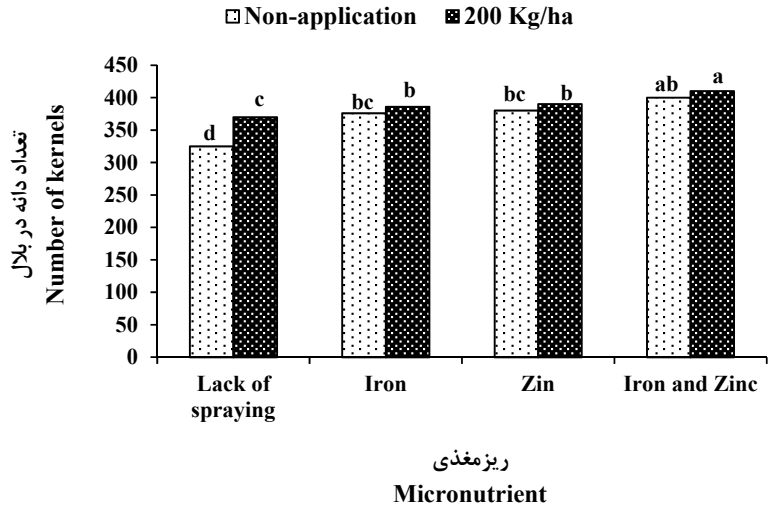
Table 2. Mean square of traits under irrigation regime, superabsorbent and micronutrient

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه در بلال Number of kernels	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	کاتالاز Catalase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase
سال Year (Y)	1	1042.6^{ns}	154.73^{ns}	4334^{ns}	0.051^{ns}	13.1^{ns}	4.34^{ns}
سال×تکرار Year×Replication	4	315.1	13.05	20.35	0.14	10.02	0.3
تنش آبی Irrigation regime (I)	2	334718**	6470.1**	1970421**	4485**	41400.1**	2574.3**
سال×تنش آبی Y×I	2	900.05^{ns}	25.84^{ns}	6094^{ns}	9.41^{ns}	2.04^{ns}	10.18^{ns}
خطا (Ea)	8	2410.3	305.32	15420	150.23	2641.74	197.74
سوپرجاذب Super absorbent (S)	1	35788**	9048.2**	246417**	3406.2**	32105.43**	5.65^{ns}
سال×سوپرجاذب Y×S	1	500.05^{ns}	0.85^{ns}	42^{ns}	0.32^{ns}	0.03^{ns}	1.07^{ns}
رژیم آبیاری×سوپرجاذب I×S	2	5471*	7.82^{ns}	422740**	1098.3** ۶	9540.34*	1.23^{ns}
سال×سوپرجاذب×رژیم آبیاری Y×S×I	2	50.07^{ns}	0.56^{ns}	324^{ns}	0.64^{ns}	0.63^{ns}	0.05^{ns}
خطا Error b	12	2130.94	284.09	14162.1	104.21	2345.5	155.4
ریزمغذی Micronutrient (M)	3	23840**	4870.16**	477980**	840.43*	25241.11**	2008.57**
سال×ریزمغذی Y×M	3	60.12^{ns}	3.51^{ns}	115^{ns}	0.15^{ns}	1.24^{ns}	0.14^{ns}
تنش آبی×ریزمغذی S×M	6	2044.51*	20.31^{ns}	390547**	2.31^{ns}	9400.74*	0.77^{ns}
سال×رژیم آبیاری×ریزمغذی Y×I×M	6	74.1^{ns}	10.5^{ns}	202.1^{ns}	1.02^{ns}	0.19^{ns}	0.35^{ns}
سوپرجاذب×ریزمغذی S×M	3	1847.2*	0.04^{ns}	165470**	5.47^{ns}	4.03^{ns}	5.04^{ns}
سال×سوپرجاذب×ریزمغذی Y×S×M	3	231^{ns}	32.47^{ns}	738^{ns}	3.81^{ns}	0.2^{ns}	1.18^{ns}
آبیاری×سوپرجاذب×ریزمغذی I×S×M	6	85.2^{ns}	9.15^{ns}	340^{ns}	4.75^{ns}	0.05^{ns}	2.84^{ns}
سال×آبیاری×سوپرجاذب×ریزمغذی Y×I*S×M	6	101.2^{ns}	11.09^{ns}	783^{ns}	0.51^{ns}	0.23^{ns}	2.09^{ns}
خطا Error c	72	1985.3	250.66	13402	97.39	2200.3	140.03

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: Non–significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

همچنین بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کمترین وزن هزار دانه به تیمار عدم کاربرد سوپرجاذب اختصاص یافت (جدول ۳). احتمالاً سوپرجاذب از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، در مرحله پرشدن دانه، توانسته محتوی نسبی آب گیاه و در نتیجه پتانسیل آب سلول‌ها و قدرت مخزن را افزایش داده و باعث بالا رفتن وزن دانه گردد. این نتایج با یافته‌های لی و همکارن (Li et al., 2014) که اظهار داشتند سوپرجاذب از طریق تأمین آب و به دنبال آن برخی عناصر غذایی در مرحله بحرانی تشکیل دانه، باعث کاهش سقط جنین و در نتیجه افزایش دانه‌های بارور شده است همخوانی داشت. از طرفی رفیعی و همکاران (Rafiei et al., 2013) و معمار و مجدم (Memar and Mojaddam, 2015) نیز اثر کاربرد سوپرجاذب بر وزن هزار دانه را مثبت ارزیابی کردند. بیشترین وزن هزار دانه از محلول‌پاشی آهن و روی و کمترین وزن هزار دانه به عدم محلول‌پاشی (شاهد) تعلق گرفت (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که وجود مواد تغذیه‌ای ریزمغذی به میزان کافی در اندام‌های گیاهی و انتقال آن به دانه باعث افزایش وزن دانه‌ها می‌شود. برطبق تحقیقات مصرف عناصر ریزمغذی سبب افزایش دوام سطح سبز گیاه می‌گردد و از کاهش وزن هزار دانه جلوگیری می‌کند. نتایج گزارشات صفیان و همکاران (Safyan et al., 2012) مؤید آن است که محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف، وزن دانه را افزایش داد. بیشترین افزایش مربوط به محلول‌پاشی توأم آهن و روی بود. سایر پژوهشگران نظیر موسوی‌فیض‌آبادی و همکاران (Mosavi feyzabadi et al., 2013) و یوسف‌پور و فرجزاده معماری تبریزی (Yousefpour and Farajzadeh Memari Tabrizi, 2018) به نقش مثبت محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در افزایش وزن هزار دانه اشاره نموده اند. اثرات متقابل سایر تیمارها بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبودند (جدول ۲).



شکل ۱. اثر متقابل سوپرجاذب و ریزمغذی بر تعداد دانه در بلال

Fig. 1. Interactionseffects ofsuperabsorbent and micronutrienton number of kernels

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عملکرد دانه تحت اثرات رژیم آبیاری، سوپرجاذب و ریزمغذی و برهمکنش رژیم آبیاری و سوپرجاذب، تنش کم آبی و ریزمغذی و سوپرجاذب و ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دارشد و اثرات متقابل سه جانبه رژیم آبیاری، سوپرجاذب و ریزمغذی بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). در جدول (۳) در جدول (۳) می‌توان مشاهده نمود که در بین سطوح مختلف تنش بیشترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد، این در حالی بود که کمترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. آبیاری به موقع و تأمین آب مورد نیاز ذرت

در مراحل مختلف رشد توانست بالاترین عملکرد دانه را تولید نماید. هرچه کم آبیاری و محدودیت دسترسی به آب در مرحله زایشی اتفاق افتد کمترین عملکرد دانه حاصل خواهد شد که ناشی از حساسیت بالای اجزای زایشی به خشکی در گیاهی مثل ذرت می‌باشد (Adebayo and Menkir, 2014). در همین راستا گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) گزارش نمودند که اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار و متوسط بالاترین عملکرد دانه ۱۰۰۸ گرم در مترمربع بود و تنش خشکی منجر به کاهش ۳۳ درصدی عملکرد دانه شد. در این تحقیق، کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، تأثیر مثبت و ۴۰ درصدی بر افزایش عملکرد دانه داشت که با آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد دانه از عدم کاربرد سوپرجاذب حاصل شد (جدول ۴). کاربرد پلیمرسوپرجاذب در خاک باعث افزایش عملکرد گیاه و صرفه-جویی در میزان آب مصرفی می‌شود، در نتیجه کاربرد این ماده در مناطق کم آب‌تر می‌تواند در افزایش عملکرد و کاهش اثرات سوء ناشی از تنش در شرایط کمبود آب مؤثر باشد. برطبق تحقیقات شهرام و همکاران (Shahram et al., 2013) بالاترین عملکرد دانه در ذرت مربوط به آبیاری (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کاربرد ۱۰۵ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری (۴۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عدم کاربرد سوپرجاذب بود. نتایج تحقیقات رفیعی و همکاران (Rafiei et al., 2013) نیز مؤید نتایج این تحقیق بود.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر رژیم آبیاری، سوپرجاذب و ریزمغذی

Table 3. Mean comparison of traits under irrigation regime, superabsorbent and micronutrient

تیمارها Treatment	تعداد دانه در بلال Number of kernels	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	کاتالاز Catalase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase
		g	kg.ha^{-1}	----------Unit.mg^{-1}Protein----------		
رژیم آبیاری irrigation regime						
۳۰ درصد ظرفیت زراعی 30%Field capacity	420.8^{a}	238.29^{a}	8880.8^{a}	67.16^{c}	361.06^{c}	200.4^{a}
۴۰ درصد ظرفیت زراعی 40% Field capacity	381.54^{b}	218.38^{b}	6890.4^{b}	90.04^{b}	466.2^{b}	164.34^{b}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی 50% Field capacity	336.72^{c}	205.64^{c}	5630.9^{c}	123.61^{a}	521.0^{a}	110.12^{c}
سوپرجاذب Superabsorbent						
عدم کاربرد Non-application	349.35^{b}	207.08^{b}	6400.3^{b}	109.46^{a}	518.33^{a}	160.64^{a}
۲۰۰ کیلوگرم در هکتار 200 Kg/ha	410.02^{a}	234.46^{a}	7870.8^{a}	77.74^{b}	380.51^{b}	155.92^{a}
ریزمغذی Micronutrient						
شاهد Control	327.06^{c}	206.62^{c}	6270.5^{c}	71.85^{c}	393.21^{c}	105.71^{c}
محلول‌پاشی آهن Iron spraying	376.15^{b}	218.45^{b}	7110.3^{b}	90.63^{b}	448.33^{b}	163.68^{b}
محلول‌پاشی روی Zinc spraying	383.69^{b}	221.31^{b}	7170.1^{b}	92.74^{b}	450.12^{b}	157.90^{b}
محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc spraying	431.84^{a}	236.70^{a}	8000.3^{a}	119.18^{a}	506.03^{a}	205.83^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

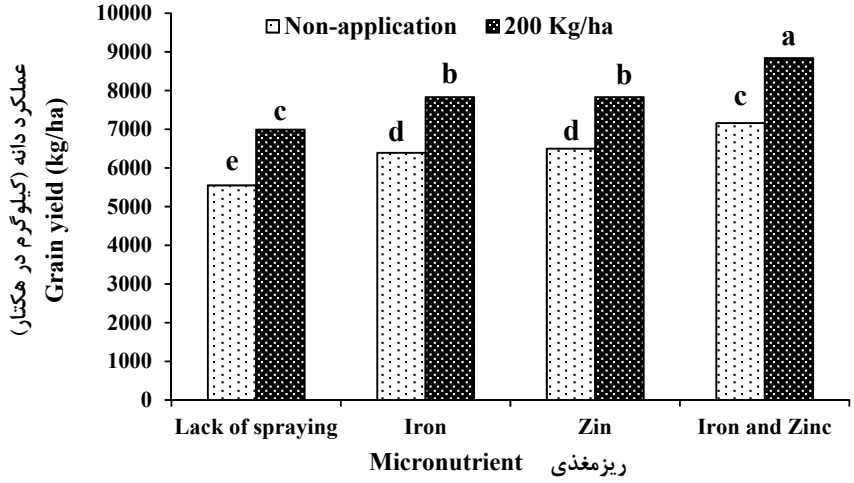
Means with similar letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

همچنین بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار محلول-پاشی آهن و روی و کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد بود. استفاده از عناصر آهن و روی با توجه به تأثیر بر ساخت کلروفیل و افزایش فتوسنتز و بهبود دوام سطح برگ، عملکرد را افزایش می‌دهد و سودمندی ریز مغذی‌ها در افزایش سطوح برداشت نمایانگر می‌شود (Fageria et al., 2002). در این رابطه متاعی و همکاران (Motaei et al., 2015) در مطالعات خود بیان نمودند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌تواند نقش معنی‌داری را در بهبود عملکرد دانه ذرت داشته باشد. به گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه (۶۶۷۹/۰۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی با کود ریزمغذی و کمترین عملکرد دانه (۴۳/ ۶۲۳۸ کیلوگرم در هکنار) به تیمار شاهد تعلق گرفت. نتایج آزمایش خلیلی‌محله و همکاران (Khalily Mahaleh and Rashidi, 2008) و شیخ‌باغلو و همکاران (Sheykhbagloo et al., 2008) در خصوص بکار گیری عناصر بصورت محلول‌پاشی در گیاهان و اثر آن در افزایش عملکرد گیاه مؤید موثر بودن این روش می‌باشد. مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبیاری و محلول-پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه نشان داد که محلول-پاشی آهن و روی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که با آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت و عدم کاربرد عناصر ریزمغذی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۵). در این تحقیق محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی موجب کاهش خسارت ناشی از تنش بر عملکرد دانه گردید همچنان‌که شیخ‌بیگلو و همکاران (Sheykhbagloo et al., 2008) نشان دادند بیشترین عملکرد دانه از تیمار محلول‌پاشی و عدم تنش خشکی حاصل گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. محلول‌پاشی آهن و روی با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه و عدم کاربرد عناصر ریزمغذی و سوپرجاذب کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). به نظر می‌رسد که فراهمی عناصر غذایی و افزایش میزان رطوبت قابل دسترس خاک، سبب افزایش تعداد و وزن هزار دانه شده، که باعث افزایش عملکرد دانه در تیمارهای مزبور گردید که با نتایج خادم و همکاران (Khadem et al., 2011) و عباس‌پور و همکاران (Abbaspour et al., 2014) مطابقت داشت.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر رژیم آبیاری، سوپرجاذب و محلول‌پاشی ریزمغذی و برهمکنش رژیم آبیاری و سوپرجاذب بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین فعالیت ۱۲۳/۶۱ واحد بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتئین بیشترین و آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) با میانگین فعالیت ۶۷/۱۶ واحد بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتئین کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و هنگامی در سلول‌های گیاهی وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد. در این تحقیق با ایجاد تنش کم آبی مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. نتایج بدست آمده از این پژوهش با تحقیقات اپل و هیرت (Apel and Hirt, 2004) که اظهار داشتند تنش خشکی، موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر و در نتیجه افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود مطابقت داشت. در این رابطه لیما و همکاران (Lima et al., 2002) نیز افزایش ۵۸ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. مشاهدات سایر محققان نیز به افزایش آنزیم کاتالاز در شرایط تنش کم آبی اشاره دارد که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد (Shehab et al., 2010; Moharramnejad et al., 2016). برهمکنش تنش کم آبی و سوپرجاذب بر آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان آنزیم کاتالاز بترتیب به تیمارهای آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد سوپرجاذب و آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب مربوط بود که نسبت به این تیمار ۴۳ درصد افزایش داشت (جدول ۴). افزایش آنزیم-های بالا در شرایط تنش کم آبی نشان دهنده‌ی اثر این آنزیم-ها در کاهش آسیب‌های تنش اکسیداتیو و نقش مهم آن‌ها در مقابله با رادیکال‌های آزاد می‌باشد. در ظرفیت زراعی ۴۰ درصد، گیاهان تیمار شده با ژل سوپرجاذب، فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش معنی‌داری نشان داد. در این رابطه وزیری‌مقدم و همکاران (Vaziri Moghaddam et al., 2016) گزارش نمودند که تنش خشکی موجب افزایش آنزیم‌های آنتی-اکسیدانت گردید که با مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب این مقدار نیز کاهش پیدا کرد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳)، محلول‌پاشی آهن و روی

بیشترین آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص دادند که نسبت به تیمار شاهد ۳۹ درصد افزایش یافت. احتمالاً این کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز، می‌تواند به دلیل کاهش غلظت که مربوط به افزایش رشد در اندام‌های هوایی گیاه است باشد (Feil et al., 2005). در این رابطه زند و همکاران (Zand et al., 2010) در ذرت گزارش نمودند که کاربرد ترکیبات مختلف عنصر روی، موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددسموتاز ذکر شده گردید و بنابراین محلول‌پاشی روی، قادر است سیستم آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی گیاه را تقویت نموده، گیاه را نسبت به بروز شرایط تنش، مانند تنش کمبود آب متحمل‌تر سازد. در همین راستا فتحی و همکاران (Fathi et al., 2012) نشان دادند که تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بوده است. محلول‌پاشی آهن و روی نیز با توجه به اینکه گیاه را از کمبود تغذیه ناشی از تنش محافظت می‌کند، می‌تواند به سیستم دفاعی گیاه در جهت مقابله با تنش کمک کند. آهن و روی به عنوان یک کاتالیزور در واکنش‌ها عمل نموده و موجب تسریع این واکنش‌ها می‌شود، که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.



شکل ۲. اثر متقابل سوپرجاذب و ریزمغذی بر عملکرد دانه

Fig. 2. Interactionseffects ofsuperabsorbent and micronutrienton grain yield

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات تحت تأثیر رژیم آبیاری × سوپرجاذب

Table 4. Mean comparison of traits under interaction of irrigation regime × superabsorbent

رژیم آبیاری irrigation regime	سوپرجاذب Superabsorbent	عملکرد دانه Grain Yield	تعداد دانه در بلال Number of kernels	کاتالاز Catalase	سوپراکسیددیسموتاز Superoxide dismutase
		kg/ha		----------Unit.mg^{1}Protein----------	
۳۰ درصد ظرفیت زراعی Field capacity 30%	عدم کاربرد Non-application	7880.93^{b}	390.09^{b}	72.57^{d}	390.08^{d}
	۲۰۰ کیلوگرم درهکتار 200 Kg/ha	9100.7^{a}	432.25^{a}	60.09^{e}	350.25^{e}
۴۰ درصد ظرفیت زراعی Field capacity 40%	عدم کاربرد Non-application	5930.22^{c}	351.18^{c}	115.3^{b}	528.41^{a}
	۲۰۰ کیلوگرم در هکتار 200 Kg/ha	8530.69^{a}	428.08^{a}	90.56^{c}	431.54^{c}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی Field capacity 50%	عدم کاربرد Non-application	5380.93^{d}	334.42^{d}	127.82^{a}	542.39^{a}
	۲۰۰ کیلوگرم درهکتار 200 Kg/ha	5990.05^{c}	342.05^{cd}	95.27^{c}	453.85^{b}

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات تحت تأثیر رژیم آبیاری × ریزمغذی

Table 5. Mean comparison of traits under interaction of irrigation regime × micronutrient

رژیم آبیاری irrigation regime	ریزمغذی Micronutrient	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در بلال Number of kernels	سوپراکسیددیسموتاز Superoxidedismutase
		kg/ha		Unit.mg^{1}Protein
۳۰ درصد ظرفیت زراعی Field capacity 30%	عدم محلول‌پاشی Lack of spraying	7440.55^{c}	378.15^{c}	323.6^{g}
	محلول‌پاشی آهن Iron spraying	8500.41^{b}	395.1^{b}	368.25^{f}
	محلول‌پاشی روی Zinc spraying	8610.5^{b}	397.25^{b}	380.13^{f}
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc spraying	9650.81^{a}	444.21^{a}	405.04^{e}
۴۰ درصد ظرفیت زراعی Field capacity 40%	عدم محلول‌پاشی Lack of spraying	5870.40^{efg}	361.43^{d}	440.79^{d}
	محلول‌پاشی آهن Iron spraying	6700.56^{d}	376.03^{c}	465.52^{cd}
	محلول‌پاشی روی Zinc spraying	6830.23^{d}	378.17^{c}	480.61^{c}
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc spraying	9580.62^{a}	442.03^{a}	535.2^{ab}
۵۰ درصد ظرفیت زراعی Field capacity 50%	عدم محلول‌پاشی Lack of spraying	5100.75^{g}	327.19^{f}	441.14^{d}
	محلول‌پاشی آهن Iron spraying	5600.11^{fg}	341.34^{e}	500.05^{b}
	محلول‌پاشی روی Zinc spraying	5640.68^{fg}	345.22^{e}	506.54^{b}
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc spraying	6110.42^{ef}	370.05^{cd}	546.25^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تأثیر اثرات رژیم آبیاری، سوپرجاذب ومحلول‌پاشی ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش رژیم آبیاری و سوپرجاذب، رژیم آبیاری و محلول‌پاشی ریزمغذی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز به ترتیب از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) حاصل شد (جدول ۳). در شرایط تنش کم آبی آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز اولین خط دفاعی را بر علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهند و احیای رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کنند. پراکسیدهیدروژن حاصل در مرحله بعدی بوسیله آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز پاکسازی می‌شود (Zeid and Shedeed, 2006). در این تحقیق با افزایش تنش خشکی مقدار فعالیت آنزیم فوق افزایش یافت. آنتی اکسیدان‌های اسکوربات و سوپراکسید دیسموتاز توانایی واکنش مستقیم با رادیکال سوپراکسید و سایر فرم‌های فعال اکسیژن را دارند که می‌توانند شدت آسیب را کاهش دهند (Israr and Sahi, 2006). در یک آزمایش رحیمی‌زاده و همکاران (Rahimizadeh et al., 2007) گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز ۸۹ درصد افزایش یافت. پژوهشگران دیگری نیز افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را تحت تنش کم آبی گزارش داده‌اند (Anjum et al., 2011; 2002

Alscher et al.,). همچنین بیشترین میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد سوپرجاذب اختصاص یافت که نسبت به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد سوپرجاذب ۲۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). در این تحقیق در شرایط آبیاری مطلوب کاربرد سوپرجاذب تأثیر قابل‌توجهی نسبت به عدم مصرف نداشت اما در تنش متوسط و شدید افزایش مصرف سوپرجاذب سبب کاهش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز شد. احتمالاً سوپرجاذب با در اختیار قرار دادن آب، باعث اجتناب گیاه از خشکی می‌شود، یعنی گیاه کمتر در معرض تنش قرار می‌گیرد و در نتیجه میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در آن نسبت به شاهد کاهش می‌یابد (Shadmand and Afkari, 2018). برطبق گزارش‌های سیشوای و همکاران (Sishuai et al., 2011) مصرف سوپرجاذب میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را کاهش می‌دهد که با توجه به اثر سوپرجاذب در افزایش عملکرد و کاهش صدمات اکسیداتیو در گیاه مصرف این ماده درصد نشت یونی غشاء را کاهش می‌دهد. در پژوهش حاضر تنش کم آبی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را افزایش داد و محلول‌پاشی توأم عناصر روی و آهن موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز شد. بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) همراه با محلول‌پاشی توأم آهن و روی بدست آمد. این نتایج تفاوت بسیار معنی‌داری با عدم محلول‌پاشی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش) نشان داد (جدول ۵). کاربرد ترکیبات مختلف عنصر روی و آهن موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدانت گردیده، با علم به اینکه اکثر بخش‌های سلولی پتانسیل تولید گونه های فعال اکسیژن ناشی از شرایط تنش را دارد، لذا اعمال تیمارهای این تحقیق توانست موجب تقویت سیستم تدافعی در گیاه گردد و از این رو، می‌توان انتظار داشت که با کاربرد این تیمارها سطوح تحمل گیاه در برابر انواع تنش‌ها بهبود یابد. در این رابطه امیری‌نژاد و همکاران (Amirinejad et al., 2016) گزارش نمودند که تنش خشکی و محلول‌پاشی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد، به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز از تیمار تنش شدید و محلول‌پاشی توأم عناصر روی و آهن به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد، افزایش چشمگیری داشت.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که آنزیم آسکوربات-پرکسیداز تحت تأثیر رژیم آبیاری، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین و آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) کمترین فعالیت آنزیم آسکوربات‌پرکسیداز را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت کم آبی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز زیاد شده، زیرا در شرایط تنش خشکی رونویسی از برخی ژن‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند گلوتاتیون ردوکتاز یا آسکوربات پراکسیداز برای بهبود وضعیت گیاه در چنین شرایطی، افزایش پیدا می‌کند که نقش مهمی در کاهش گونه‌های اکسیژن فعال و آسیب‌های ناشی از آن، ایفا می‌کند (Ratnayaka et al., 2003). در این رابطه ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2009) اظهار داشتند که افزایش فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز تحت تنش کم آبی منجر به مهار انواع اکسیژن فعال از جمله پراکسید هیدروژن می‌شود، که در طی تنش تجمع می یابد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گندم و ذرت نیز گزارش شده است (Zhu et al., 2001). نتایج این تحقیق با نتایج انجوم و همکاران (Anjum et al., 2011) و کاواز و همکاران (Kavas et al., 2013) که بیان کردند میزان آنزیم آسکوربات اکسیداز تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافت، مطابقت داشت. محلول-پاشی آهن و روی بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات اکسیداز را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد ۴۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). احتمالاً این کاهش در فعالیت آنزیم آسکوربات اکسیداز، می‌تواند به دلیل اثر رقت که مربوط به افزایش رشد در اندام‌های هوایی گیاه است باشد (Feil et al., 2005). در همین راستا کوماوات (Kumawat, 2006) کاربرد عنصر روی، موجب بهبود سطح فعالیت آنزیم آسکوربات اکسیداز شد، که به نظر می‌رسد با افزایش غلظت این عنصر در برگ‌های گیاه ذرت در ارتباط باشد. این نکته در خصوص رابطه افزایش غلظت عنصر آهن و سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت اشاره شده مورد توجه برخی محققان نیز قرار گرفته است (Sitbone and Parrot-Rechenmann, 1997). همچنین در بررسی اثر آهن و روی مشاهده شد که استفاده از این دو عنصر محتوای آنزیم

آسکوربات اکسیداز گیاه را افزایش داد (Sinha and Saxena, 2006).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج به‌دست آمده نشان داد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و سوپرجاذب نقش مهمی در رشد و نمو گیاه ذرت دارد و با توجه به اینکه بیشترین مقادیر عملکرد دانه (۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از استعمال کود روی و آهن در غلظت یک در هزار که از عناصر ریزمغذی محسوب می‌شوند به دست آمد، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از چنین کودهایی می‌توان بهترین شرایط را جهت حصول حداکثر عملکرد کمی و صفات بیوشیمیایی در گیاه ذرت فراهم نمود. از طرفی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی موجب کاهش خسارت ۴۵ درصدی ناشی از تنش کم آبی بر عملکرد دانه گردید. کاربرد هیدروژل‌های سوپرجاذب در خاک باعث افزایش ۳۷ درصدی عملکرد گیاه و صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی گردید، در نتیجه کاربرد این ماده در مناطق کم آب‌تر می‌تواند در افزایش عملکرد و کاهش اثرات سوء ناشی از تنش در شرایط کمبود آب مؤثر باشد. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشخص شد، کاربرد پلیمرسوپرجاذب و محلول‌پاشی ریزمغذی آهن و روی موجب بهبود عملکرد دانه و صفات بیوشیمیایی ذرت دانه‌ای می‌شود.

منابع

Abbaspour, E., Masoud Sinaki, J., Alipour, Z., Saeedi Sar, S., 2014. Effect of cycocel and zinc foliar application on protein content and important elements and water use efficiency on corn under water defcit condition. New Finding in Agriculture. 8(2), 159-172. [In Persian with English summary].

Adebayo, M.A., Menkir, A., 2014. Assessment of hybrids of drought tolerant maize (*Zea mays* L.) inbred lines for grain yield and other traits under stress managed conditions. Nigerian Journal of Genetics. 28, 19-23.

Alloway, B.J., 2008. Zinc in soils and crop nutrition (2th ed.). Brussels: International zinc association (IZA), 136p.

Alscher, R.G., Erturk, A.N.D., and Heath. L. S., 2002. Role of superoxide (SODs) in controlling oxidative stress in plants. Journal Expriment Botant. 372, 1331-1341.

Amirinejad, M., Akbari, G., Baghizadeh, A., allahdadi, I., Shahbazi, M., Naimi, M. 2016. Effect of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. Journal of Crops Improvement. 17, 855-866.

Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. and Zou, C.M., 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy of Crop Science. 197, 177-185.

Apel, K., and Hirt, H., 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annual Review of Plant Biology. 55, 373-399.

Blokhin, O., Virolainen, E., and Fagerstedt, K., 2003. Antioxidant oxidative damage and oxygen deprivation stress. Annals of Botany. 91,179-194.

Boominathan, R., and Doran, P.M., 2002. Ni indused oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, Alyssum bertolonii. Newphytologist. 156, 205-215.

Chaithra, G.M., and Sridhara, S., 2018. Yield and Physiological Parameters of Maize as Influenced by the Application of Super Absorbent Polymer and Mulching Under Rainfed Conditions. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7, 216-224.

Dhindsa, R.A., Plumb-Dhindsa, P., and Thorpe, T.A., 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal Experiment Botany. 126, 93-101.

Fageria, N.K., Baligar, C., and Clark, R.B., 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy. 77, 185-268.

FAO, 2014. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome.

Fathi, A.,Zahedi, M., Torabian, Sh., 2012. Effect of iron and zinc nanoparticle spraying on the activity of some antioxidant enzymes of wheat under salt stress. First National Conference on Sustainable Development Strategies.

Feil, B., Moser, S.B., Jampatong, S., and Stamp, P., 2005. Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by preanthesis drought and rate of nitrogen fertilization. Crop Science. 45, 516–523.

Ghassemi-Golezani, K., Heydari, Sh., Dalil, B., 2018. Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. Acta agriculturae Slovenica. 111, 25-32.

Hunta, Z., Aminian, R., 2017. Response of late maturing hybrids seed corn to the application of potassium sulfate under deficit irrigation. Journal of Crop Ecophysiology. 2, 283-302.

Israr, M., and Sahi, S.V., 2006. Antioxidative responses to mercury in the cell cultures of Sesbania drummondii. Plant Physiology Biochemical. 44, 590-595.

Kavas, M., Baloglu, M.C., Akca, O., Kose, F.S., and Gokcay, D., 2013. Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. Turkish Journal of Biology. 37, 491-498.

Khadem, S.A., Ramroudi, M., Galavi, M., Rousta, M.J, 2011. The effect of drought stress and different rates of animal manure with super absorbent polymer on grain yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Field Crop Science. 42, 115-123. [In Persian with English summary].

Khalily Mahaleh, J., and Rashidi, M., 2008. Effect of foliar application of micro nutrients on quantitative and qualitative characteristics of 704 silage corn in Khoy. Grain and Plant. 24, 281-293.

Khalily, M., Naghavi, M., Pour-Aboughadareh, A., Naseri rad, H., 2013. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L). International Journal of Agronomy and Plant Production. 4, 809-812.

Kumawat, R.N., Rathore, P.S., Nathawat, N.S., and Mahata, M., 2006. Effect of sulfur and iron on enzymatic activity chlorophyll content of Mungbean. Journal of Plant Nutrition. 29, 1451-1467.

Li, X., He, J.Z., Hughes, J.M., Liu, Y.R., Zheng, Y.M., 2014. Effects of super-absorbent polymers on a soil- corn system in the field. Applied Soil Ecology. 73, 58-63.

Lima, A.L.S., DaMatta, F.M., Pinheiro, H.A., Totola, M.R., Loureiro, M.E., 2002. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of Coffea canephora under water deficit conditions. Environmental and Experimental Botany. 47, 239-247.

Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., and Guo, T., 2017. Physiological Responses and Yield of Wheat Plants in Zinc-Mediated Alleviation of Drought Stress. Front Plant Science. 8, 860-869.

Malcoti, M. G., And Tehrani, M. M., 2008. The role of micronutrients in increasing the yield and improving the quality of agricultural products, Tarbiat Modares University, 292 p. [In Persian].

Memar, M.R., Mojaddam, M., 2015. The effect of irrigation intervals and different amounts of super absorption on the on yield and yield components of sesame in hamidiyeh weather conditions.Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences. 5, 350-365.

Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asgari, A., Shiri, M.R., 2016. Response of antioxidant defense system to osmotic stress in maize seedlings. Fresenius Environmental Bulletin. 25, 805-811.

Mosavi feyzabadi, S.H., Vazin, F., Hassanzadeh Dlouei, M., 2013. Effects of nitrogen and zinc spray on yield of corn (*Zea Mays* L.) in drought stress. Cercetări Agronomice în Moldova. 3, 29-38.

Moslemi, Z., Habibi, D., Asgharzadeh, A., Reza Ardakani, M., Mohammadi, A., Sakari, A., 2012. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 12, 358-364.

Motaei, S., Amirinia, R., Tajbakhsh, M., Abdollahi Mandolkhani, B., 2015. Effect of iron, zinc and manganese and their method of application on phenology, yield and quality of sweet corn grain. Journal of Production and Processing of Crop and Gardening. 4, 230-240. [In Persian with English Summary].

Nasrollahzadeh Asl, A., Shiri, M. R., Moharramnejad, S., Yousefi, M., Baghebani, F., 2017. Effect of drought tension on

agronomy and biochemical traits of three maize hybrids (*Zea mays* L.). Crop Physiology Journal. 8, 45-61.

Parzivand, A, Ghoshchi, F., Momayezi, M.R., Tohidi Moghadam, H.R., 2011. Effect of zinc and nitrogen fertilization on performance and some quality indicators of wheat Grain under drought stress. Journal of Crop Production Research. 3, 55-69. [In Persian with English summary].

Rafiei, F., Nourmohammadi, G., Chokan, R., Kashani, A., Haidari Sharif Abad, H., 2013. Investigation of superabsorbent polymer usage on maize under water stress. Global Journal of Medicinal Plant Research. 1, 82-87.

Rahimizadeh, M., Habibi, D., Madani, H., Mohammadi, G., Mehraban, A., Sabet, A., 2007. The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Helia. 30, 167-174.

Ratnayaka, H.H., Molin, W.T., Sterling, T.M., 2003. Physiological and antioxidant responses of cotton and spurred anoda under interference and mild drought. Journal of Experimental Botany. 54, 2293-2305.

Ruiz, J.M, Baghour, M., Romero, L., 2000. Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the response of some bioindicators. Journal of Plant Nutrition. 23, 1777-1786.

Safyan, N., Naderidarbaghshahi, M. R., Bahari, B., 2012. The effect of microelements spraying on growth, qualitative and quantitative grain corn in Iran. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3, 2780-2784.

Sayadi Maazou, A.D, Tu, J., Qiu, J., Liu, Z., 2016. Breeding for Drought Tolerance in Maize (*Zea mays* L.). American Journal of Plant Sciences. 7, 1858-1870.

Seyed Doraji, S., Gholchin, A., Ahmadi, SH., 2010. The effects of different levels of a superabsorbent polymer and soil salinity on water holding capacity with textures of sandy, loamy and clay. Journal of Water and Soil. 24, 306-316. [In Persian with English summary].

Shadmand, H., Afkari, A., 2018. The Effect of superabsorbent polymer application on some biochemical traits and relative water content of bean cultivars under drought tension. Crop Physiology Journal. 10, 61-77. [In Persian with English summary].

Shahram, M., Fazeli Rostampoor, F., Ansari, M.H., 2013. The effect of different levels of Superabsorbent on efficiency of the Photosynthetic matter the remobilization and portion of remobilization in seed yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. Annals of Biological Research. 4, 170-176.

Sharma, P., Dubey, R.S., 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation. 46, 209-221.

Shehab, G.G., Ahmed, O.K., El-Beltagi, H.S., 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. 38, 139-148.

Shekari, F., Javanmard, A., Abbasi, A., 2015. Effects of super-absorbent polymer application on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) Notulae Scientia Biologicae. 7, 361-366.

Sheykhbagloo, N., Hassanzadeh Gorttapeh, A., Baghestani, M., Zand, B., 2008. Study the effect of Zinc foliar application on the quantitative and qualitative yield of grain corn under water stress. Electronic Journal of Crop Production. 2, 59-74. [In Persian with English summary].

Sinha, S., Saxena, R., 2006. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant and bacoside–A content in medicinal plant *Bacopa monnieril*. Shemosphere. 62, 134-135.

Sishuai, M., Rubiul-Islam, M., Xuzhang, X., Yuegae, H., 2011. Evaluation of a water saving super absorbent polymer of corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Norhern china. Journal Production. 6, 4108-4115.

Sitbone, F., Parrot-Rechenmann, C., 1997. Expression of auxin-regulated genes. Physiologia Plantarum. 100, 443-455.

Telen, K., 2007. Assessing drought stress effects on corn yield. Field Crop Advisory Team Alert Newsletter. Michigan State Univ.

Vaziri Moghaddam, S., Rasouli, M., Nabiyazdani-mojarab, M., Hoot, A., 2016. Effect of different concentrations of superabsorbent on the activity of antioxidants of glutathione enzyme and catalase enzyme, superoxide dismutase enzyme and sunflower peroxidase in drought stress, Third National Congress of Biology and Natural Sciences of

Iran, Tehran, Mehr Arvand Institute of Higher Education, Development Solutions Stable.

Von Braun, J., Byerlee, D., Chartres, C., Lumpkin, T., Olembo, N., Waage, J.J., 2010. A draft strategy and results framework for the CGIAR. World Bank, CGIAR, Washington DC, USA.

Yousefpour, A., Farajzadeh Memari Tabrizi, E., 2018. Evaluation of micronutrient application at different growth stages on yield and yield components and grain quality of sweet corn. Journal of Crop Ecophysiology. 46(2), 287-302. [In Persian with English summary].

Zand, B., Sorooshzadeh, A., Ghanati, F., Moradi, F., 2010. Effect of zinc and auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf. Iranian Journal of Plant Biology. 2, 35-48. [In Persian with English Summary].

Zeid, I.M., Shedeed, Z.A., 2006. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. Biologia Plantarum. 50, 635-640.

Zhang, F.Q., Zhang, H.X., Wang, G.P., Xu, L.L., Shen, Z.G., 2009. Cadmium induced accumulation of hydrogen peroxide in the leaf apoplast of *Phaseolus aureus* and *Vicia sativa* and the roles of different antioxidant enzymes. Journal of Hazardous Materials. 41, 124- 138.

Zhu, X., Song, F., Liu, S., 2001. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food Agriculture and Environment. 9, 583-587.