Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 1, Spring 2022 (39-54)
DOI: 10.22059/IJFCS.2021. 284502.654624

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱ (ص۵۴-۳۹)

Effect of potassium silicate, calcium chloride and nanosilicate on yield, yield components, photosynthetic pigments and proline in sweet corn under differentirrigation regimes

Tahereh Drikvand[1], Seyed Ali Mohammad Modares-Sanavy*[2], Majid AghaAlikhani[3], Ali Heidarzadeh[4]
1,2,3,4. Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
(Received: December 7, 2020 - Accepted: May 27, 2021)

ABSTRACT
Effect of potassium-silicate, calcium chloride and nano-silicate spray was investigated on yield, yield components and some physiological properties of sweet corn under irrigation regimes in a split plot experiment based on a complete block design with three replications in 2017. Experimental treatments were irrigation regimes as optimal irrigation, moderate and severe water deficit stresses, irrigation after 35%, 55% and 75% depletion of available water in the root zone as the main factor and foliar applications of 1000 and 2000 ppm potassium silicate and calcium chloride , 1000 ppm nano-silica, pure water and without foliar application as sub plots. The highest grain (6588 kg ha^{-1}), biomass (36050 kg ha^{-1}) and dry forage (30417 kg ha^{-1}) yields were obtained from the main effect of foliar application of 1000 ppm potassium silicate. In water deficit conditions, application of potassium silicate significantly increased grain yield, so that potassium silicate in optimal irrigation conditions, moderate and severe irrigation increased grain yield 7, 25 and 49% compared to non-foliar application, respectively. In intensive irrigation regime the conditions, these increases were -9.29 and 9.82%, for calcium chloride and nano-silica, compared to the control (without foliar). Therefore, according to the results of this study, it can be stated that foliar application of potassium silicate was more efficient in deficit irrigation conditions in sweet corn.
Keywords: Carotenoid, chlorophyll, irrigation regimes, grain yield, silicon.

اثر محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات، کلسیم کلراید و نانوسیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و پرولین ذرت شیرین تحت رژیم‌های آبیاری

طاهره دریکوند[۱]، سید علی‌محمد مدرس ثانوی*[۲]، مجید آقاعلیخانی[۳] و علی حیدرزاده[۴]
۱و۲و۳و۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار و فارغ‌التحصیل، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۶)

چکیده
به‌منظور بررسی محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات، کلسیم کلراید و نانو سیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت شیرین تحت رژیم‌های آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری در سه سطح آبیاری مطلوب، کم‌آبیاری متوسط و کم‌آبیاری شدید، به‌ترتیب آبیاری بعد از تخلیه ۳۵، ۵۵ و ۷۵ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات یک و دو در هزار لیتر آب، نانوسیلیس یک در هزار لیتر آب، کلسیم کلراید یک و دو در هزار لیتر آب، محلول‌پاشی آب خالص و بدون محلول‌پاشی به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکردهای دانه (۶۵۸۸ kg ha^{-1})، زیستی (۳۶۰۵۰kg ha^{-1}) و علوفه خشک (۳۰۴۱۷ kg ha^{-1}) از اثر اصلی محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات با غلظت یک در هزار لیتر آب به‌دست آمد. در شرایط کمبود آب، کاربرد پتاسیم سیلیکات توانست میزان عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد، به‌طوریکه پتاسیم سیلیکات در شرایط آبیاری مطلوب، کم‌آبیاری متوسط و شدید، به‌ترتیب هفت، ۲۵ و ۴۹ درصد عملکرد دانه را نسبت عدم محلول‌پاشی افزایش داد. این میزان افزایش در شرایط رژیم آبیاری شدید برای کلسیم کلراید و نانوسیلیس، به‌ترتیب ٪۹/۲۲- و ٪۹/۸۲ نسبت به شاهد بودند. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد که محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات، از کارایی بیشتری در شرایط کم‌آبیاری در ذرت شرین برخوردار بود.
واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، سیلیسیم، عملکرد دانه، کارتنوئید، کلروفیل.

* Corresponding author E-mail: modaresa@modares.ac.ir

مقدمه

ذرت شیرین یکی از مردم پسندترین سبزی‌ها در بسیاری از کشورهای جهان از جمله آمریکا، کانادا، فرانسه و استرالیاست و علاقه به آن در سایر نقاط دنیا از جمله آسیا در حال افزایش می‌باشد. با وجود محبوبیتی که این گیاه در کشورهای بزرگ دنیا دارد، آشنایی با آن در ایران بسیار محدود است و عمدتاً به‌منظور میوه آن (بلال) کشت می‌شود و در میان دسته‌ای از گیاهان زراعی که به‌عنوان سبزیجات بر اساسه‌بندی شده‌اند، قرار گرفته است (Mokhtarpor *et al.*, 2007). طول دوره رشدی گیاه بسته به نوع رقم، ۶۰ تا ۹۰ روز می‌باشد. بر اساس آخرین آمار فائو در سال ۲۰۱۸، در ایران میزان واردات ذرت شیرین منجمدشده، ۱۳۸۶۷ تن به ارزش ۱۵۵۲۵ هزار دلار و ذرت شیرین آماده، ۱۵۳۲ تن به ارزش ۱۶۶۷ هزار دلار بود و در دنیا میزان صادرات ذرت شیرین منجمدشده، ۳۸۵۲۹۶ تن به ارزش ۴۴۸۹۲۷ هزار دلار و ذرت شیرین آماده، ۷۸۶۸۵۹ تن به ارزش ۱۰۲۷۶۹۱ هزار دلار بود، درحالی‌که در ایران، میزان صادرات ذرت شیرین منجمدشده، ۴۲ تن به ارزش هفت هزار دلار و ذرت شیرین آماده، ۱۹ تن به ارزش ۱۳ هزار دلار بود و در دنیا میزان صادرات ذرت شیرین منجمدشده، ۴۲۰۴۸۶ تن به ارزش ۴۴۱۵۷۴ هزار دلار و ذرت شیرین آماده، ۸۲۱۴۹۶ تن به ارزش ۱۰۰۶۳۹۰ هزار دلار بود (FAO, 2020).

تنش خشکی از پدیده‌های اقلیمی رایج در طبیعت می‌باشد که مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان است و کمتر گیاهی به‌طور کامل از آن اجتناب می‌کند. با تشدید تنش خشکی، آب موجود در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی، به‌تدریج از دست می‌رود و در متابولیسم طبیعی بافت‌ها و سلول‌ها اختلال به وجود می‌آید و در نتیجه، عملکرد کاهش می‌یابد (Eman, 2007). همچنین یکی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی، مصرف صحیح کودهای شیمیایی است که تأثیر آن در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی شناخته شده است. استفاده درست کودهای حاوی عناصر ریزمغذی، باعث بالا رفتن کیفیت و غنی‌سازی بذر می‌شود (Rasool *et al.*, 2019; Massa *et al.*, 2020). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از سیلیسیم به صورت اسپری و کاربرد کودی، در ایجاد مقاومت گیاهان به آفات و بیماری‌ها، خشکی و سایر تنش‌های زیستی و غیر زیستی توسط افزایش فعالیت فیزیولوژیکی و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان نقش دارد (Bacchus & Bennett, 2010). کلسیم در مقاومت گیاهان به تنش‌های مختلف از جمله سرما، خشکی، غرقابی، فلزات سنگین و شوری نقش عمده‌ای بازی می‌نماید (Gallardo *et al.*, 1998) و پتاسیم در تنظیم روابط آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفتن آب نقش تعیین‌کننده دارد؛ بنابراین در شرایط تنش که گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود، وجود پتاسیم کافی سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و یا جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز می‌شود (Morgan, 1984). کاهش ارتفاع گیاه در اثر اعمال تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به‌واسطه کم‌آبی، کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه نسبت داد که در نتیجه، طویل شدن سلول‌ها متوقف می‌شود (Candan *et al.*, 2018). در شرایط تنش خشکی، کلروپلاست ها تخریب می‌شود و در اثر آن، میزان کلروفیل و فتوسنتز برگ کاهش می‌یابد که این عمل به دلیل تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدهایی همچون پرولین می‌باشد Hasan *et al.*, (2018).

تنش خشکی، با تأثیر مستقیم بر مقدار تولیدات فتوسنتزی از طریق بسته شدن روزنه‌ها و تجزیه آنزیم‌ها و سلول‌ها، منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Aghdam *et al.*, 2019; EL Sabagh *et al.* 2019). کاهش عملکرد ذرت در شرایط تنش خشکی به عوامل متعددی مانند مرحله نمو گیاهی، شدت و طول مدت کمبود آب و حساسیت هیبرید بستگی دارد (Frederick *et al.*, 1989). تنش خشکی مانع از رشد و توسعه گل آذین ماده در گیاه ذرت می‌شود و کوتاه شدن طول، قطر، وزن خشک و وزن تر بلال، از

اثرات کمبود آب بر بلال ذرت است (Song & Dia, 2000). اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد گیاهان، توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Ma *et al.*, 2017; Marreiro *et al.*, 2017). در ذرت و آفتابگردان کاهش وزن هزار دانه در اثر کمبود آب گزارش شده است (Chaves *et al.*, 2002; Sajedi *et al.*, 2009; Nazemie *et al.*, 2008). در آزمایشی مشاهده شد محلول سیلیسیم رشد، نمو و عملکرد چندین گونه‌ی گیاهی شامل برنج، نیشکر، گندم و تعدادی از گونه‌های گیاهی دولپه را زیادتر کرده است (Elawad & Green, 1979; Elawad *et al.*, 1982). مطالعات روی ذرت نشان داد که در شرایط تنش خشکی، وزن تر و خشک گیاه کاهش یافت و کاربرد سیلیسیم در این شرایط، منجر به افزایش این پارامترها، بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد شد (Kaya *et al.*, 2006). نتایج بررسی‌ها حاکی از آن بود که تنش خشکی، سبب کاهش عملکرد دانه، طول ریشه، ارتفاع گیاه، طول برگ، طول بلال و تعداد دانه در بلال گیاه ذرت شد و کاربرد کود پتاسه در زمان کاشت، اثرات زیان‌آور تنش را در مرحله گلدهی به‌میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد (Howell *et al.*, 2001). تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که افزودن کلسیم به محلول غذایی، سبب افزایش مقاومت گیاهان به شوری می‌شود (Madea *et al.*, 2005) و کلسیم، ارتفاع شاخه گل‌دهنده ارکیده را افزایش می‌دهد (Hsu & Lin., 2006). فناوری نانوذرات، یک علم جدید محسوب می‌شود و امروزه نانوذرات سیلیس، بسیار مورد توجه قرار گرفته است و پژوهش‌های محدودی هم در این رابطه انجام شده است. با بروز تنش‌های محیطی، نانوذرات سیلیس با افزایش در فعالیت آنزیم‌های اکسیدکننده و بالا بردن محتوای اسمولیت‌ها، در ایجاد مقاومت به انواع تنش‌های زنده و غیر زنده (مثل تنش خشکی، سرما، گرما و فلزات سنگین)، نقش مهمی را در گیاهان ایفا می‌کند (Amiri *et al.*, 2014). نانوذرات سیلیس، مقاومت گیاهان در مقابل تنش خشکی را با افزایش دفاع آنتی اکسیدان، کاهش آسیب اکسیداتیو به مولکول‌های غشا و نگهداری بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و فتوسنتزی زیاد می‌کنند؛ درنتیجه تنش خشکی را کنترل می‌کنند و مقدار آسیب وارده به گیاهان را به حداقل می‌رسانند (Gunes *et al.*, 2007). باتوجه به این‌که کشور ما در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، تولید محصولات زراعی با مصرف آب کمتر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به نظر می‌رسد که بتوان با استفاده از محلول‌های پتاسیم سیلیکات، کلسیم‌کلراید و نانو سیلیس، اثر تنش‌های ناشی از کمبود آب را کاهش داد. از آن‌جا که تاکنون تحقیقات موثری روی این نوع محلول‌ها و اثر آن‌ها بر تنش کم‌آبی انجام نشده است، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۶، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران، واقع در کیلومتر ۱۷ اتوبان تهران-کرج انجام شد. این منطقه در ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و هشت دقیقه طول شرقی ئ در ارتفاع ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری در سه سطح آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه پس از تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک در منطقه ریشه به میزان ۳۵٪ (شاهد)=W_1، آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه پس از تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک در منطقه ریشه به میزان ۵۵٪ (رژیم آبیاری متوسط)=W_2، آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه پس از تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک در منطقه ریشه به میزان ۷۵٪ (رژیم آبیاری اندک)=W_3 به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات یک و دو در هزار لیتر آب، نانوسیلیس یک در هزار لیتر آب، کلسیم کلراید یک و دو در هزار لیتر آب، محلول‌پاشی آب خالص و بدون محلول‌پاشی) به‌عنوان عامل فرعی بودند. در این آزمایش، از ذرت شیرین رقم SC1263 استفاده شد؛ این بذرهای این رقم به رنگ زرد می‌باشد که ۱۰ روز

پس از کاشت، جوانه می‌زنند و ۷۳ روز پس از کاشت، بذرهای آن می‌رسند.

عملیات تهیه بستر شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد جوی و پشته‌های به فاصله ۶۰ سانتی‌متری از هم صورت گرفت. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول چهار متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی از هم ۲۴۰ سانتی‌متر و فاصله کرت‌های فرعی از هم ۱۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود (Heidarzadeh *et al.*,2019) و عملیات کاشت در دوم خرداد انجام شد.

اعمال تنش در مرحله ظهور گل تاجی در تاریخ ۲۵ مرداد و تا زمان برداشت ادامه یافت. محلول‌پاشی قبل و بعد از مرحله ظهور گل تاجی در دو نوبت (نوبت اول یک هفته قبل از تنش در تاریخ ۱۸ تیر و نوبت دوم یک هفته بعد از تنش در تاریخ یکم مرداد) انجام شد. محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش پشتی پنج لیتری انجام گرفت که برای کالیبره کردن آن، ابتدا در سم‌پاش، پنج لیتر آب ریخته شد و در سطح یک متر مربع پاشش شد؛ به‌طوری‌که گیاه کاملا خیس شد. وقتی این کار به پایان رسید، میزان آب باقیمانده در سم‌پاش، اندازه‌گیری شد و از کل آب ریخته شده درسم‌پاش، کم شد تا میزان آب مورد نیاز برای محلول‌پاشی در یک متر مربع به‌دست آید. این میزان آب به‌دست آمده، ملاک عمل جهت محلول‌پاشی کرت‌ها برحسب سطحی که داشتند، قرار گرفت. با توجه به آزمایش خاک (جدول ۱) و غنی بودن خاک مزرعه از فسفر و پتاسیم، به‌ترتیب با حد بحرانی ۱۰ و ۲۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Malakouti, 2018)، میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت کود شیمیایی اوره با مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله چهاربرگی و ظهور گل‌تاجی ذرت شیرین تأمین شد (Heidarzadeh *et al*, 2019).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

physiochemical properties Soil Table 1.

Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)	Texture (٪)	Clay (٪)	Silt (٪)	Sand (٪)	Deep (cm)	Absorbable potassium ($mg\ kg^{-1}$)	Absorbable Phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	Nitrogen (٪)	Organic carbon (٪)	Disinfectant (٪)	Saturated Fluid Reaction	Deep (cm)
0/41	Sandy loam	7	19	74	0-30	399	33	0/21	2/1	13	7/60	0-30
0/41	Sandy loam	5	14	81	30-60	447	20	0/18	0/76	10	7/60	30-60

پتاسیم سیلیکات، کلسیم کلرید و نانوسیلیس، به‌ترتیب از شرکت‌های صنایع سیلیکات ایران، مرک و نانو واحد صنعت پرشیا تهیه شدند. آبیاری کرت‌ها تا قبل از اعمال تنش و برای استقرار گیاه، به میزان لازم و مطابق معمول منطقه با فواصل دو روز به‌صورت قطره‌ای و تا حد ظرفیت مزرعه انجام گرفت. برای تعیین سطوح مختلف آبیاری، از روابط ارائه شده توسط Heidarzadeh *et al.*, (2021) استفاده شد. در این روش، برنامه زمان‌بندی آبیاری بر اساس درصد تخلیه آب خاک در منطقه ریشه است. مقدار آب خاک با استفاده از دستگاه انعکاس سنجی زمانی (TDR[1]) در عمق گفته شده تعیین شد و از منحنی‌های کالیبراسیون رطوبتی خاک برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط دستگاه و مقدار حجمی رطوبت خاک استفاده شد. مدل دستگاه TDR، TRIM-FM 10776 و ساخت کشور آلمان بود.

برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید و پرولین، دو هفته بعد (۱۵ مرداد) از آخرین محلول‌پاشی، نمونه‌های برگی تازه تهیه شد و با نیتروژن مایع در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد فریز شد. در زمان رسیدگی اکولوژیک ذرت شیرین در تاریخ ۲۵ مرداد، عملیات برداشت انجام شد. برای رعایت اثر حاشیه‌ای، از ردیف ابتدا وانتهایی و یک متر از اول و آخر دو ردیف وسط، نمونه برداری انجام نگرفت.

به‌منظور بررسی اثر ترکیبات مورد استفاده در شرایط رژیم‌های آبیاری، وزن خشک بلال، بوته، برگ‌های

[1] Time-Domain Reflectometer

بلال، ساقه و غلاف بلال، طول عقیمی بلال، کلروفیل a، b و کل، کارتنوئید، پرولین و عملکردهای علوفه خشک، زیستی و دانه اندازه‌گیری شدند. وزن‌های خشک بعد از خشک کردن در آون در دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد به ۷۲ ساعت با ترازوی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شدند و طول عقیمی بلال نیز با خط کش با دقت یک میلی‌متر سنجیده شد. برای سنجش میزان کلروفیل و کارتنوئید، ۰/۲ گرم از برگ‌های تازه گیاه در هاون چینی که حاوی ۲۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد بود، سائیده شد و پس از صاف کردن با کاغذ صافی، جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر UV – Visiblee مدل cary 50 ساخت آلمان در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. برای صفر نمودن دستگاه، از استون ۸۰ درصد استفاده شد. غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از روابط ۱تا ۴ محاسبه شد:

کلروفیلa = [12.7 (D663) - 2.69 (D645)] × V/1000W [۱]

کلروفیلb = [22.9 (D645) – 4.68 (D 663)] × V/1000W [۲]

کلروفیل کل = [20.2 (D645) + 8.02 (D663)] × V/1000W [۳]

غلظت کارتنوئید = ([1000W(D470) – 1/82 Chlorophyll a – 85/02 Chlorophyll b]/198) × V/1000W [۴]

در این روابط، V: حجم استون(میلی‌لیتر)، W: وزن تر برگ (گرم) و D: طول موج(نانومتر) است.

غلظت بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره گیاهی تعیینشد و سپس نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت محاسبه و ارائه شد (Arnon, 1974).

برای اندازه‌گیری مقدار پرولین، ابتدا مقداز ۰/۲ گرم بافت تازه برگ وزن شد و در هاون چینی در سه میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۰/۳ به‌خوبی سائیده شد و هموژنات حاصل، در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۱۸۰۰۰ به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. آن‌گاه دو میلی‌لیتر از عصاره‌های صاف شده به لوله‌های دربدار منتقل شد و به تمام لوله‌ها، دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین (مقدار ۱/۲۵ گرم از ناین هیدرین در داخل ارلن ریخته شد و به آن ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک شش مولار اضافه شد و با ملایمت حرارت داده شد تا ناین هیدرین به‌طور کامل حل شود) و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد. پس از بستن درب لوله‌ها، به‌مدت یک ساعت در آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از سرد کردن لوله‌ها، به هر کدام، چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و با استفاده از دستگاه ورتکس به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه محلول بهم زده شد. سرانجام فاز رویی که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بوده برداشته شد و هم‌زمان با نمونه‌های استاندارد، در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و اعداد در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد پرولین (برای تهیه محلول‌های استاندارد پرولین، مقدار ۰/۵ گرم پرولین خالص در ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول اسیدسولفوسالیسیلیک سه درصد (۳/۳ گرم از اسدسولفوسالیسیلیک خشک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) حل شد. بدین ترتیب محلول ppm ۱۰۰ پرولین به‌دست آمد. از محلول ppm۱۰۰ برای تهیه سایر غلظت‌های استاندارد استفاده شد، بدین ترتیب که در بالن ژوژه‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری، به‌ترتیب مقادیر صفر، پنج، ۱۰،۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ ppm پرولین بودند) تعیین شد. واحد به‌صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد (Bates *et al.*, 1973).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excelاستفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

وزن خشک بلال، تحت تأثیر اثر متقابل ژیم آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). بر اساس شکل ۱، بیشترین وزن خشک بلال در تیمارهای آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات و کمترین وزن خشک آن، در تیمارهای کم آبیاری شدید و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم کلراید به‌دست آمد.

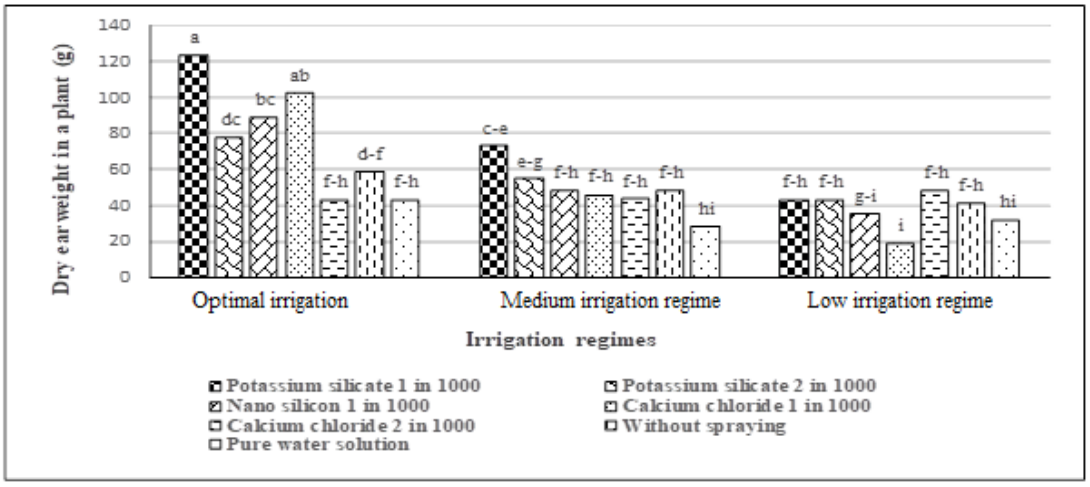
جدول۲- تجزیه واریانس برخی صفات ذرت شیرین رقم Sc1263 تحت اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی

Table2. Variance analysis the effects different irrigation and spraying treatments on some traits of sc1263 cultivar of sweet corn

Source	df	Mean Squares				
		Dry ear weight	Total dry weight per plant	weight of dry ear leaves	Stem dry weight	Dry ear weight pods
Replication (R)	2	81.60 ^{ns}	5821.08 ^{ns}	0.23	325.68	5.06
Irrigation(I)	2	8676.85**	3718.85^{ns}	4.39**	1124.22*	31.88**
R×I	2	108.85	4251.71	0.14	77.63	0.47
Spray (S)	2	1782.55**	9958.32**	0.61**	186.67**	2.90 ^{ns}
I×S	12	911.02**	8122.31**	0.44**	125.08*	**7.01
Error	36	176.17	2957.39	0.11	49.51	1.28
CV	_	24.76	20.56	15.06	24.55	16.60

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی دار در سطوح پنج و یک درصد و غیر معنی دار.

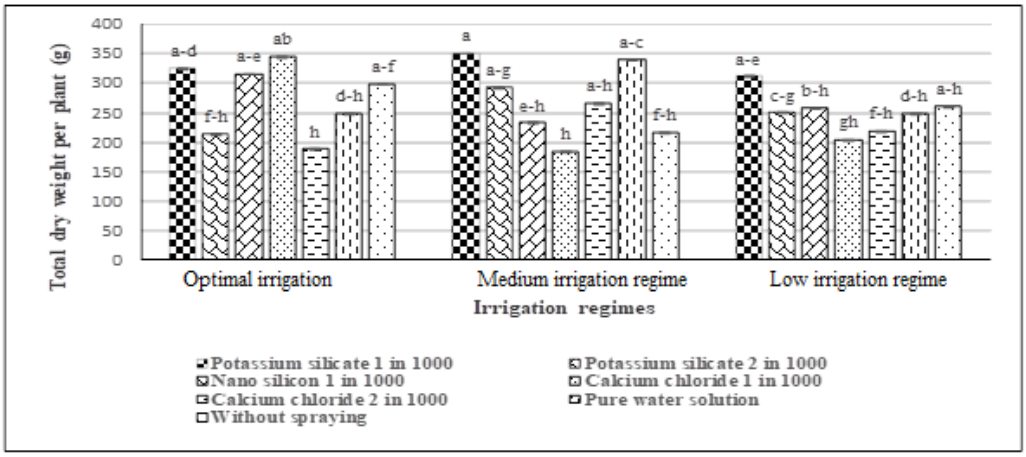
*, ** and ns: Significant at 5% and1% of probability levels and non-significant, respectively.



شکل ۱- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن خشک بلال تک بوته ذرت شیرین رقم Sc1263

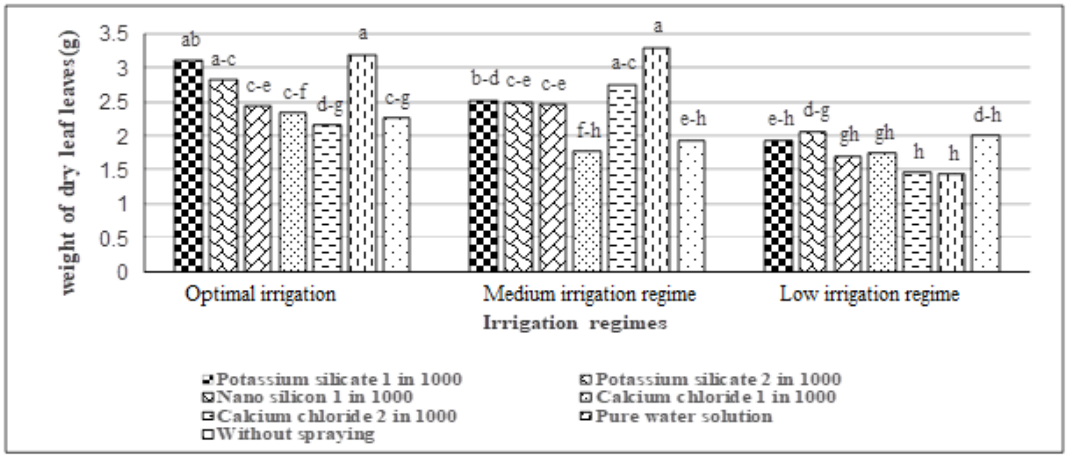
Figure1. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on ear dry weight per of sc1263 cultivar of sweet corn plant

همچنین اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن خشک تک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس شکل ۲، بیشترین وزن خشک کل تک بوته از تیمارهای کم آبیاری متوسط و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات و کمترین وزن آن از تیمارهای آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی دو در هزار لیتر آب کلسیم کلراید به‌دست آمد که با کم آبیاری متوسط و و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم کلراید تفاوت معنی‌داری نداشت به‌دست آمد. وزن خشک تک بوته با وزن خشک بلال (r=۰/۵۵**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳). با توجه به جدول تجزیه واریانس، وزن خشک برگ‌های بلال، تحت تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین وزن خشک برگ‌های بلال به تیمارهای آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری متوسط و محلول‌پاشی آب خالص تعلق داشت که با محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات در آبیاری مطلوب تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن در تیمار کم آبیاری شدید و محلول‌پاشی آب خالص و کلسیم کلراید دو در هزار لیتر آب بود (شکل ۳). بر اساس جدول ۳، وزن خشک برگ‌های بلال با وزن خشک بلال (r=۰/۵۳*) و وزن خشک تک بوته (r=۰/۴۵*)، همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. در این آزمایش، وزن خشک ساقه تحت تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲).



شکل ۲- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن خشک کل یک بوته ذرت شیرین رقم Sc1263

Figure2. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on dry weight of sc1263 cultivar of sweet corn plant



شکل ۳- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن خشک برگ‌های بلال ذرت شیرین رقم Sc1263

Figure3. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on leaf dry weight of sc1263 cultivar of sweet corn plant

بر اساس شکل ۴، بیشترین وزن خشک ساقه در تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات به‌دست آمد و کمترین آن در تیمار کم آبیاری متوسط و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم‌کلراید مشاهده شد. اعمال تنش رطوبتی به دلیل کاهش میزان رشد رویشی گیاه، میزان وزن تر اندام‌های رویشی (برگ و ساقه) را کاهش می‌دهد (Shrestha *et al.*, 2006). وزن خشک ساقه با وزن خشک بلال (r=۰/۶۷**) و وزن خشک برگ‌های بلال (r=۰/۷۲**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).

وزن خشک غلاف بلال، تحت تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). شکل ۵ نشان داد که بیشترین وزن خشک غلاف بلال به تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات تعلق داشت که با محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب نانوسیلیس تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن در تیمار کم آبیاری شدید و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم‌کلراید مشاهده شد. وزن خشک غلاف بلال با وزن خشک بلال (r=۰/۷۱**) و وزن خشک ساقه

(r=۰/۵۶**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).

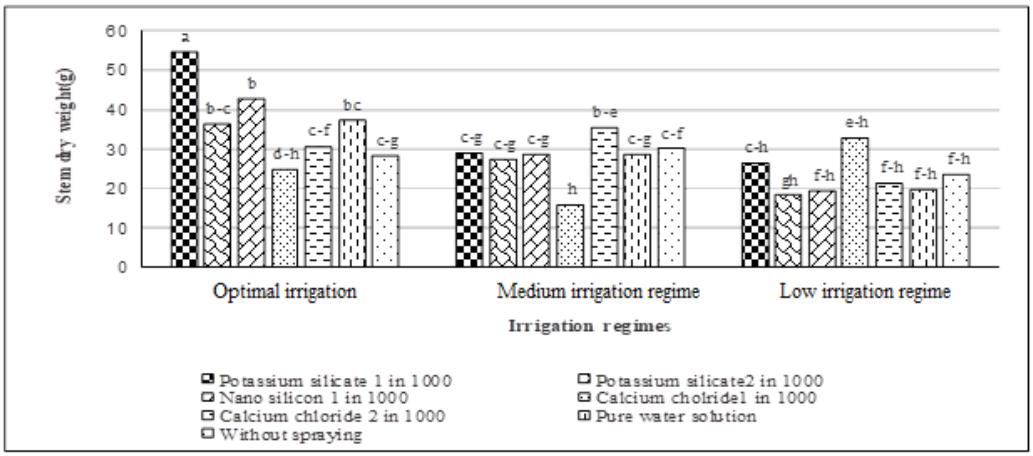
جدول۳- ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی.

Table 3. Correlation coefficients between studied traits.

Traits	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Dry ear weight (A)	1.00													
Total dry weight per plant (B)	0.55**	1.00												
Weight of dry ear leaves (C)	0.53*	0.45*	1.00											
Stem dry weight (D)	0.67**	0.33	0.72**	1.00										
Dry ear weight pods (E)	0.71**	0.14	0.20	0.56**	1.00									
Earsterilization length (F)	0.55**	-0.34	-0.62**	-0.37	-0.14	1.00								
Dry forage yield (G)	0.55**	0.99**	0.45*	0.33	0.14	-0.38	1.00							
Grain yield (H)	0.66**	0.46*	0.38	0.43	0.60**	-0.41	0.46	1.00						
Biological yield (I)	0.61**	0.99**	0.47*	0.37	0.22	-0.42	0.99**	0.58**	1.00					
Chlorophyll a (J)	-0.16	-0.04	-0.06	-0.48	-0.48*	-0.31	-0.05	-0.20	-0.08	1.00				
Chlorophyll b (K)	0.06	-0.24	-0.12	0.05	0.39	0.11	-0.24	0.11	-0.20	-0.25	1.00			
Total Chlorophyll (L)	-0.01	-0.26	-0.15	-0.13	0.22	-0.01	-0.26	0.04	-0.24	0.12	0.92**	1.00		
Carotenoid (M)	-0.03	-0.18	0.34	0.08	-0.34	-0.36	-0.18	-0.13	-0.19	-0.40	-0.41	-0.27	1.00	
Proline (N)	-0.22	0.03	-0.08	-0.21	-0.36	-0.08	0.03	-0.13	0.01	0.20	-0.37	-0.30	-0.15	1.00

* و **: به‌ترتیب معنی دار در سطوح پنج و یک درصد.

* and **: Significant at 5% and1% of probability levels.



شکل ۴- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن خشک ساقه ذرت شیرین رقم Sc1263

Figure4. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on stem dry weight of sc1263 cultivar of sweet corn plant

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر طول عقیمی بلال تاثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد داشت، ولی اعمال رژیم آبیاری بر آن بی اثر بود (جدول۴). شکل ۶ نشان داد که بیشترین طول عقیمی بلال در تیمارهای کم آبیاری متوسط و بدون محلول‌پاشی مشاهده شد که با تیمارهای محلول‌پاشی با آب خالص، نانو سیلیس یک در هزار لیتر آب، پتاسیم سیلیکات یک در هزار لیتر آب و کلسیم کلراید یک و دو در هزار لیتر آب در شرایط تنش کم‌آبی شدید در یک گروه آماری قرار گرفتند؛ همچنین کمترین طول عقیمی بلال در تیمارهای آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی دو در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات مشاهده شد. طول عقیمی بلال با وزن خشک بلال (r=-۰/۵۵**) و وزن خشک برگ‌های بلال (r=-۰/۶۲**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت (جدول ۳).

جدول ۴- تجزیه واریانس برخی صفات ذرت شیرین رقم Sc1263 تحت اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی

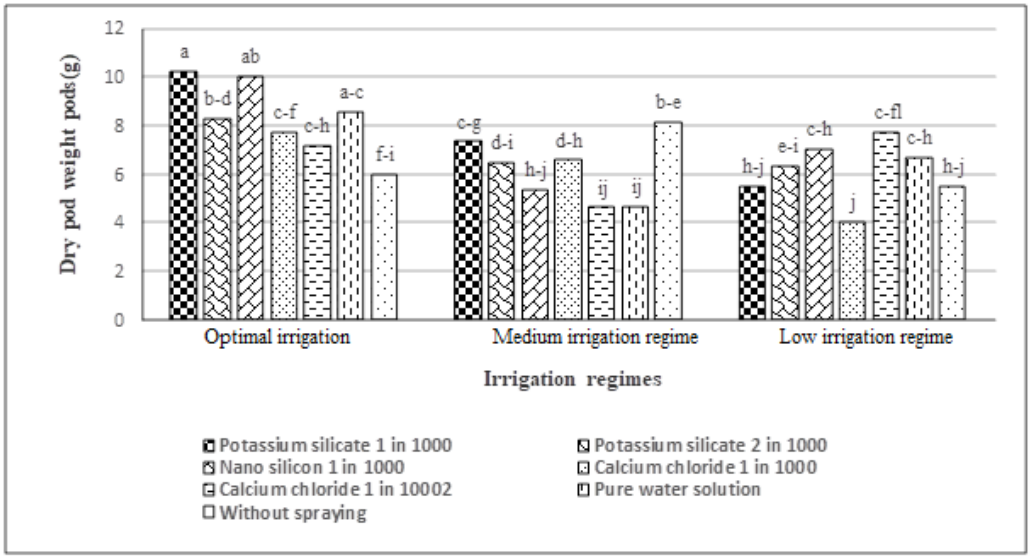
Table 4- Variance analysis the effects different irrigation and spraying treatments on some traits of sc1263 cultivar of sweet corn

Source	df	Mean Squares				
		Carotenoid	Earsterilization length	Dry forage yield	Grain yield with a moisture content at 14.5%	Biological yield
Replication (R)	2	0.36 ns	6.70 ns	499065057.7	100496.27 ns	55016888.9 ns
Irrigation(I)	2	0.06 ns	5.49 ns	31883224.6 ns	759456.870 **	59680161.4 ns
R×I	2	0.13	19.3	36451643.9	71898.33	34856358.7
Spray (S)	2	0.13 ns	2.67 *	** 85376611.4	3778300.17 **	112558692.7 **
I×S	12	0.16 *	2.22 *	** 69635799.6	1324879.15 **	72862092.4 **
Error	36	0.07	1.05	25354910	377057.10	24826400
CV	–	21.25	19.06	20.56	11.01	17.03

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی دار در سطوح پنج و یک درصد و غیر معنی دار.

*, ** and ns: Significant at 5% and1% of probability levels and non-significant, respectively

عملکرد علوفه خشک، تحت اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس شکل ۷، بیشترین عملکرد علوفه خشک از تیمارهای کم‌آبیاری متوسط و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات به‌دست آمد که با آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات، یک در هزار لیتر آب نانو سیلیس، یک در هزار لیتر آب کلسیم کلراید، بدون محلول‌پاشی و کم‌آبیاری متوسط و محلول‌پاشی دو در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات، دو در هزار لیتر آب کلسیم‌کلراید، محلول‌پاشی آب خالص وکم‌آبیاری متوسط و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات و بدون محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری نداشت و همچنین کمترین عملکرد علوفه خشک از تیمارهای کم آبیاری متوسط و کلسیم کلراید یک در هزار لیتر آب و آبیاری مطلوب و کلسیم کلراید دو در هزار لیتر آب به‌دست آمد. عملکرد علوفه خشک با وزن خشک بلال (r=۰/۵۵**)، وزن خشک تک بوته (r=۰/۹۹**) و وزن خشک برگ‌های بلال (r=۰/۴۵*) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).

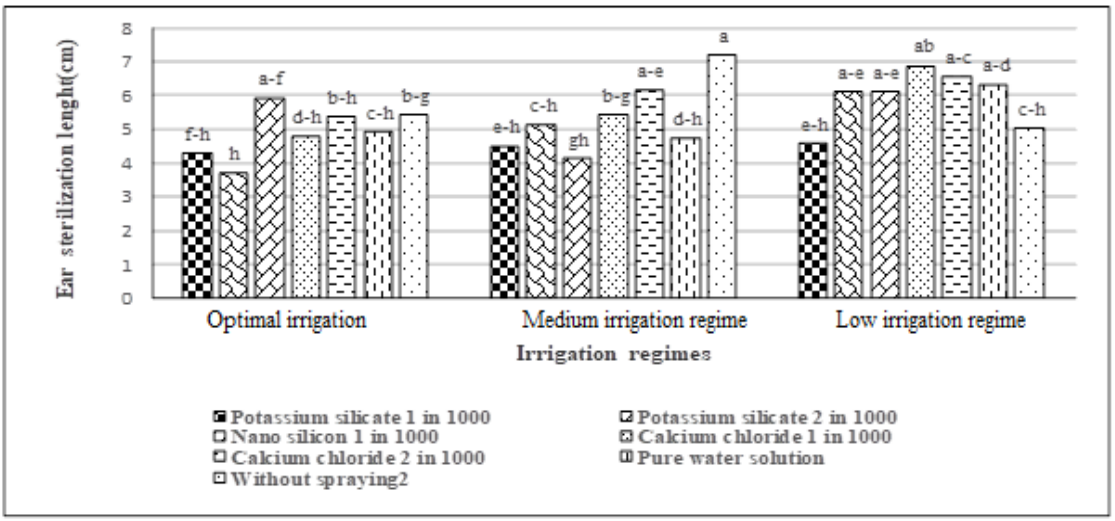


شکل ۵- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن خشک غلاف بلال ذرت شیرین رقم Sc1263

Figure5. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on pod dry weight of sc1263 cultivar of sweet corn plant

اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری مطلوب، کم آبیاری متوسط و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم

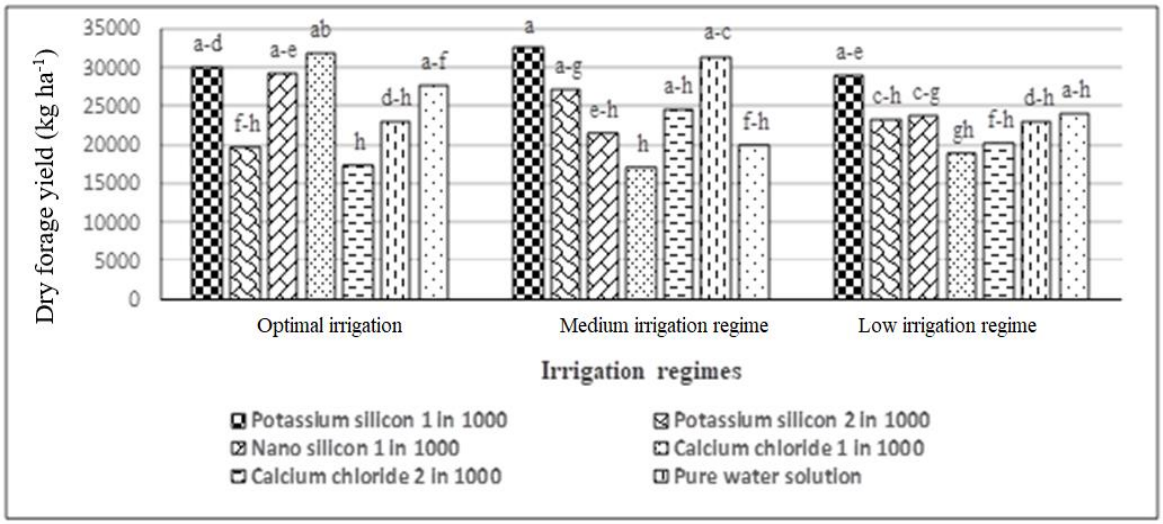
سیلیکات به‌دست آمد (شکل ۸) و کمترین آن در تیمارهای کم آبیاری شدید و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم کلراید مشاهده شد.



شکل ۶- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلولپاشی بر طول عقیمی بلال ذرت شیرین رقم Sc1263

Figure6. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on ear sterility length of sc1263 cultivar of sweet corn plant

نتایج آزمایش Kaya *et al.* (2006) در ذرت (*Zea mays L.*) نشان داد که در شرایط کمبود آب، وزن تر و خشک گیاه کاهش یافت و کاربرد سیلیسیم در این شرایط، منجر به افزایش این پارامترها، بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد شد. عملکرد دانه با وزن خشک بلال (r=۰/۶۶**)، وزن خشک تک بوته (r=۰/۴۶*)، وزن خشک غلاف بلال (r=۶۰**) و عملکرد خشک علوفه (r=۰/۴۶*) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).

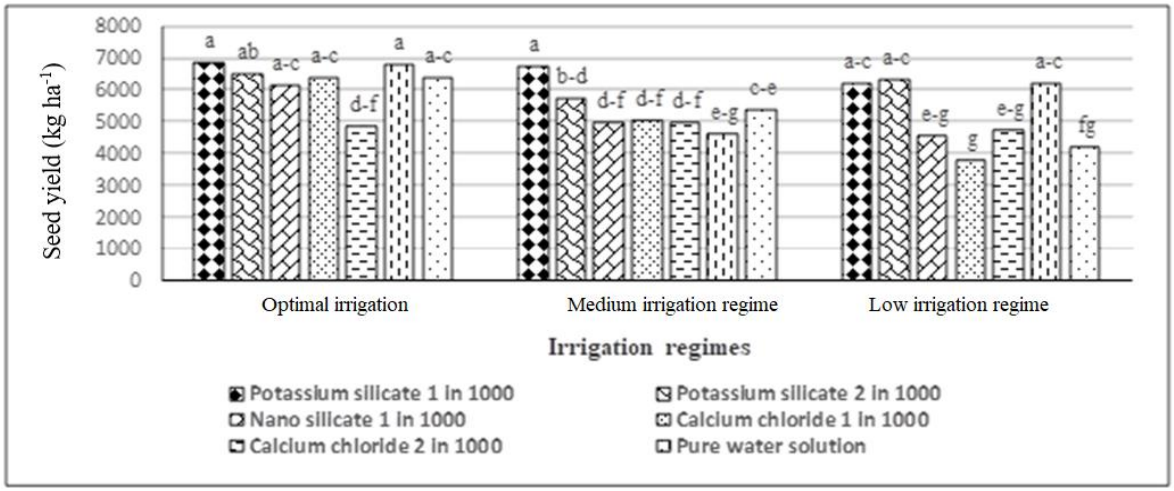


شکل ۷- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد علوفه خشک ذرت شیرین رقم Sc1263

Figure7. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on forage dry weight of sc1263 cultivar of sweet corn plant

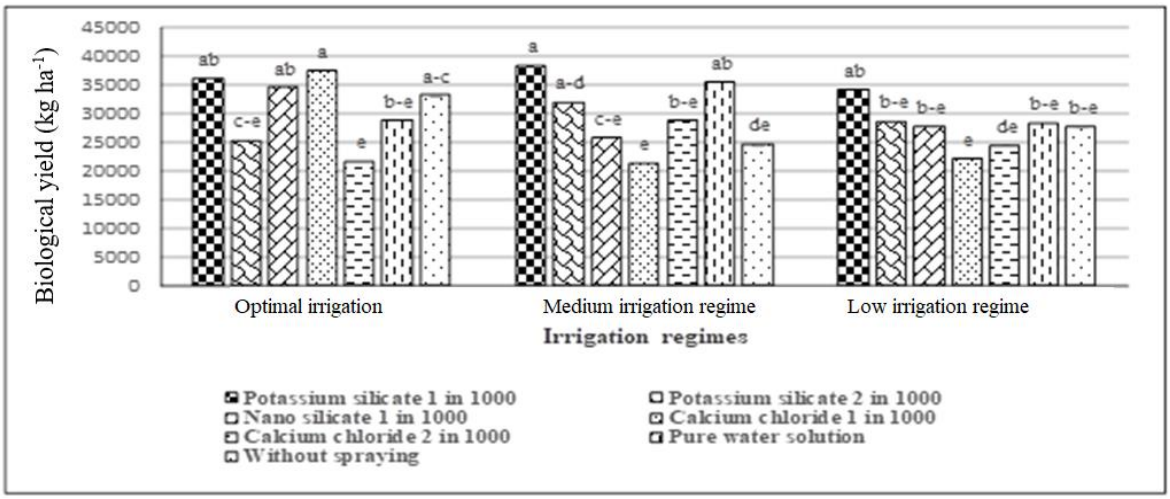
اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیستی داشت (جدول ۴). بیشترین عملکرد زیستی در تیمارهای آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم‌کلراید و همچنین

کم‌آبیاری متوسط و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات مشاهده شد که با محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات ، یک در هزار لیتر آب نانوسیلیس و عدم محلول‌پاشی در آبیاری مطلوب، دو در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات ، محلول‌پاشی آب خالص در کم‌آبیاری متوسط ویک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات در کم‌آبیاری شدید تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۹) و کمترین آن از تیمارهای آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی دو در هزار لیتر آب کلسیم کلراید، کم‌آبیاری متوسط و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم کلراید و کم‌آبیاری شدید و محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب کلسیم‌کلراید به‌دست آمد. عملکرد زیستی با وزن خشک بلال (r=۰/۶۱**)، وزن خشک تک بوته (r=۰/۹۹**)، وزن خشک برگ‌های بلال (r=۰/۴۷*)، عملکرد علوفه خشک (r=۰/۹۹**) و عملکرد دانه (r=۰/۵۸**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).



شکل ۸- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه ذرت شیرین رقم SC1263

Figure8. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on seed yield of sc1263 cultivar of sweet corn plant



شکل ۹- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد زیستی ذرت شیرین رقم SC1263

Figure8. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on biological yield of sc1263 cultivar of sweet corn plant

کارتنوئید، کلروفیل a، b و کل و پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کارتنوئید، تحت تاثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت و تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر آن

داشت (جدول ۵). کارتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده دارند، در سمیت‌زدایی از کلروفیل نیز نقش دارند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (Sanitata & Gabriella, 1999). گزارش‌های متعددی از کاهش محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها تحت تنش وجود دارد که از آن جمله می‌توان به گزارش‌هایی روی سویا (Sheteawi, 2007) و باقلا (Sanitata & Gabriella, 1999)اشاره کرد. با توجه به شکل ۱۰، بیشترین میزان کارتنوئید در تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی دو در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات به‌دست آمد که با محلول‌پاشی دو در هزار لیتر آب کلسیم‌کراید در کم‌آبیاری متوسط و بدون محلول‌پاشی در کم‌آبیاری شدید تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن، در تیمار کم آبیاری متوسط و بدون محلول‌پاشی مشاهده شد.

جدول تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری، محلول‌پاشی و اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر کلروفیلa، کلروفیلb و کلروفیل کل تاثیر معنی‌داری نداشت. محتوای پرولین برای محلول‌پاشی در سطح یک درصد معنی‌دار شد، ولی برای رژیم آبیاری و اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی معنی‌دار نشد (جدول ۵).

جدول۵- تجزیه واریانس برخی صفات ذرت شیرین رقم Sc1263تحت اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی

Table5. Variance analysis the effects different irrigation and spraying treatments on some traits of sc1263 cultivar of sweet corn

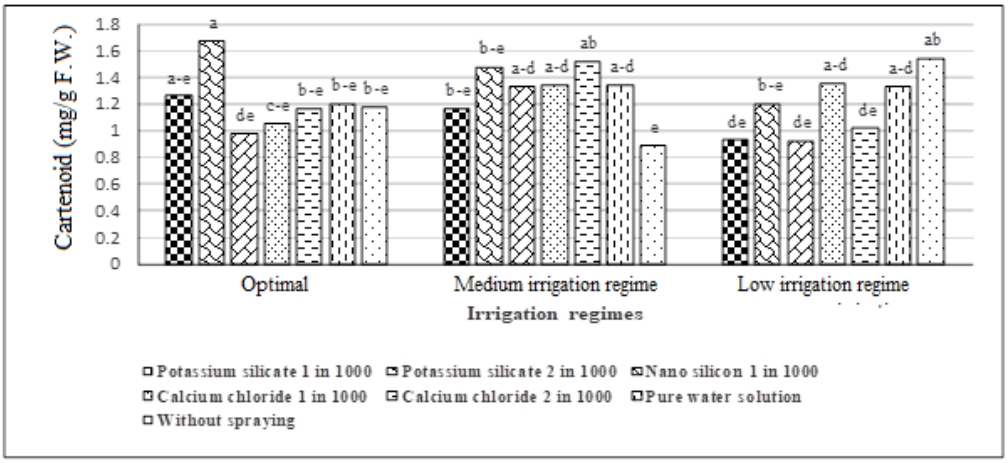
Source	df	Mean Squares				
		Proline	Chlorophyll "a"	Chlorophyll "b"	Total Chlorophyll	Carotenoid
Replication (R)	2	0.0024 ns	0.139 ns	0.70 ns	1.32 ns	0.36 ns
Irrigation(I)	2	0.0016ns	0.028ns	0.545ns	0.52ns	0.06ns
R×I	2	0.0021	0.001	0.436	4.28	0.13
Spray (S)	2	0.02**	0.070 ns	0.592ns	0.73ns	0.13ns
I×S	12	0.004ns	0.11 ns	0.761 ns	0.64ns	0.16*
Error	36	0.002	0.199	0.406	0.77	0.07
CV	–	20.55	9.16	23.30	11.58	21.25

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی دار در سطوح پنج و یک درصد و غیر معنی دار.

*, ** and ns: Significant at 5% and1% of probability levels and non-significant, respectively.

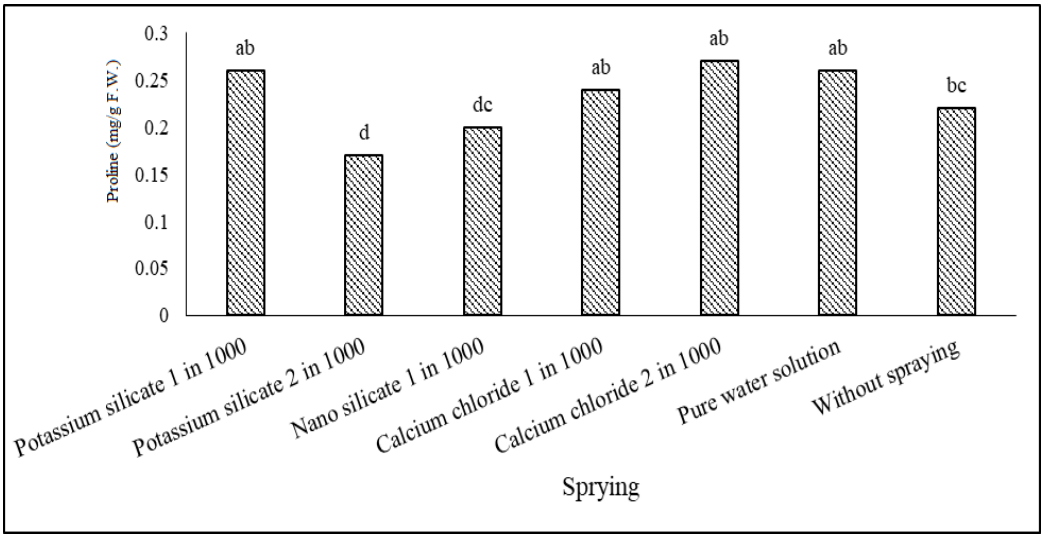
با توجه به جدول مقایسه میانگین، بیشترین میزان پرولین در تیمارهای محلول‌پاشی، به کلسیم کلراید دو در هزار لیتر آب تعلق داشت که با محلول‌های پتاسیم سیلیکات یک در هزار لیتر آب، کلسیم کلراید یک در هزار لیتر آب و محلول‌پاشی آب خالص تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن در تیمار محلول پتاسیم سیلیکات دو در هزار لیتر آب مشاهده شد که با نانو سیلیس یک در هزار لیتر آب تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱۱). برخی از گیاهان فقط یکی از مواد پرولین و یا قند را در برابر تنش خشکی در خود جمع می‌کنند (Xu *et al.*, 2002). محققین با تأکید بر ضروری بودن پرولین در امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، اثرات زیستی زیادی مثل تنظیم اسمزی، اثرات حمایت سلول، عمل آنتی‌اکسیدانت، انتقال انرژی، ذخیره کربن و نیتروژن و چندین نقش دیگر که برای پایداری سلول و انتقال از یک حالت به حالت سازگار جدید لازم است را برای پرولین برشمرده‌اند. دلایل مختلفی برای تجمع پرولین در گیاه در هنگام تنش خشکی ارائه شده است. برخی آن را به علت اثر تنظیمی آبسیزیک اسید بر فرآیندهای نوری در متابولیسم پرولین (Sanchez *et al.*, 1998; Rontein *et al.*, 2002; Seraj *et al.*, 2002) و برخی آن را به وجود ترکیبات پرانرژی حاصل از فتوسنتز می‌دانند که سبب تحریک سنتز پرولین می شود (Hare *et al.*, 1999). تنش خشکی از دو طریق افزایش بیان آنزیم‌های سنتزکننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب پرولین باعث افزایش میزان پرولین در گیاه می‌شود (Seraj *et al.*, 2002). تجمع پرولین به گیاه کمک می‌کند که در دوره کوتاهی بعد از اعمال تنش خشکی زنده بماند و گیاه بتواند بعد از رفع تنش،

خود را بازیابی کند و بنابراین اثر مثبت بر عملکرد خواهد داشت. اما در تنش طولانی مدت، اثرات مفید آن عمل نخواهد کرد و تجمع آن حتی اثر منفی بر عملکرد خواهد گذاشت، زیرا منابع فتوسنتزی گیاه را به سمت فرآیندهایی غیر از پرشدن دانه منحرف می‌کند (Sanchez *et al.*, 1998).



شکل ۱۰- اثر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان کارتنوئید ذرت شیرین رقم SC1263

Figure10. Interaction effect of irrigation regimes and foliar application treatments on leaf carotenoid content of sc1263 cultivar of sweet corn



شکل ۱۱- اثر اصلی محلول‌پاشی بر پرولین ذرت شیرین رقم SC1263

Figure11. Effect of spray treatments on proline content of sc1263 cultivar of sweet corn

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اثرات متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات، کلسیم کلراید و نانوسیلیس در شرایط آبیاری مطلوب، به‌ترتیب محلول‌پاشی یک در هزار لیتر آب پتاسیم سیلیکات و یک در هزار لیتر آب نانو سیلیس نسبت به سایر تیمارها برتری نشان دادند و تیمارهای عدم محلول‌پاشی، پتاسیم سیلیکات دو در هزار لیتر آب ، محلول‌پاشی آب خالص و کلسیم‌کلراید دو در هزار لیتر آب به‌ترتیب بعد از آن‌ها قرار گرفتند. در این شرایط، محلول‌پاشی کلسیم کلراید یک در هزار لیتر آب کمترین اثر را داشت. در شرایط کم آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه پس از تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک در منطقه ریشه به میزان ۵۵٪)، به‌ترتیب محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات یک و دو در هزار لیتر آب، نانو سیلیس یک در هزار لیتر آب، آب خالص، کلسیم‌کلراید دو در هزار لیتر آب، عدم

محلول‌پاشی و کلسیم‌کلراید یک در هزار لیتر آب، بیشترین اثر را داشتند. در شرایط کم آبیاری شدید، به‌ترتیب محلول‌پاشی پتاسیم سیلیکات یک و دو در هزار لیتر آب نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی مناسب‌تر بود و بعد از آن‌ها، محلول‌پاشی آب خالص، کلسیم‌کلراید یک در هزار لیتر آب که با کلسیم‌کلراید دو در هزار لیتر آب تفاوت معنی‌داری نداشت و محلول‌پاشی نانو سیلیس یک در هزار لیتر آب که با تیمار عدم محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری نداشت قرار گرفتند. در شرایط کمبود آب، کاربرد سیلیکات توانست میزان عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد، به‌طوری که پتاسیم سیلیکات در شرایط مطلوب، هفت درصد، در شرایط رژیم آبیاری متوسط، ۲۵ درصد و در شرایط رژیم آبیاری اندک، ۴۹ درصد عملکرد دانه نسبت به شاهد افزایش دهد. کاربرد ترکیب پتاسیم سیلیکات توانست کارایی بهتر و بیشتری نسبت به سایر ترکیات مورد استفاده در این پژوهش داشته باشد. این ترکیب به دلیل نقشی که در باز و بسته کردن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب و در نهایت کمک به فرآیند فتوسنتز، کاهش تعرق از سطح برگ در این شرایط و همچنین افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیک دارد، توانست تأثیری بیش‌تری نسبت به سایر ترکیبات در تولید عملکرد دانه داشته باشد؛ بنابراین به همین دلیل و با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد پتاسیم سیلیکات در شرایط مواجه با کمبود آب برای کاهش اثرات آن توصیه می‌شود.

REFRENCES

1. Aghdam, A. M., Sayfzadeh, S., Rad, A. S., Valadabadi, S. A., & Zakerin, H. R. (2019). The assessment of water stress and delay cropping on quantitative and qualitative traits of rapeseed genotypes. *Industrial Crops and Products*, 131,160-165.
2. Amiri, A., Bagheri, A., khaje, M., Najafabadi Pour, F. & Yadollahi, P. (2014). Eeffect of silicone foliar application on yield and antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. *Journal of Crop Production Research*, 5(4), 361-373. (In Persian).
3. Arnon, I. (1974). Intensifying plant density response of corn with artifaicial shade. *Agronomy Journal*, 84, 547-551.
4. Bacchus, G. L. & Bennett, S. (2010). An evaluation of the influence of biodynamic practices including foliar applied silica spray on nutrient quality of organic and conventionally fertilized lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Organic system*, 5 (1), 1177-4258.
5. Bates, L. S., Waldern, R. P. & Teave, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39,205-207.
6. Candan, N., Cakmak, I. & Ozturk, L. (2018). Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(3), 388-395.
7. Chaves, M. M., Pereirea, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osorio, M. L., Carvalho, I., Faria, T. & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89, 907-916.
8. EL Sabagh, A., Hossain, A., Islam, M. S., Barutçular, C., Ratnasekera, D., Kumar, N., Meena, R. S. Gharib, H. S. & Saneoka, H., (2019). Teixeira da Silva, Salinity stress management for sustainable soybean production using foliar application of compatible antioxidants and soil application of organic fertilizers: a critical review. *Australian Journal of Crop Science*, 13(2), 228-236.
9. Elawad, S. H. & Green, V. E. (1979). Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *Riso*, 28, 235-253.
10. Elawad, S. H., Gascho, G. J. & Street, J. J. (1982). Response of sugarcane to silicate source and rate. 1. Growth and yield. *Agronomy Journal*, 74, 781- 783.
11. Eman, Y. (2007). *Cereal Production*. 3rd ed., Shiraz University Press, Shiraz, Iran. (In Persian).
12. Food and Agriculture Organization. (2020). Data, Crops, Retrieved September, 7, 2020, from http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP.
13. Frederick, J. R., Hesketh, J. O., Peters, D. B. & Below, F. E. (1989). Yield and reproductive trait responses of maize hybrids to drought stress. *Maydica*, 34, 319-328.
14. Gallardo, M., Gomez-Jimenez, C., Del. M. & Matilla, A. (1998). Involvement of calcium in ACC-oxidase activity from *Cicer arietinum* seed embryonic axes. *Photochemistry*, 50, 373-376.
15. Gunes, A., Pilbeam, D. J., Inal, A., Bagci, E. G. & Coban, S. 2007. Influence of silicon on antioxidant

mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. *J. of Plant Interactions.* 2(2), 105-113

16. Hare, P., Cress, W. & Van Staden, J. (1999). Review article: Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating stress-related signal transduction. *Journal of Experimental Botany,* 50, 413-434.
17. Hasan, M. M. U., Ma, F., Prodhan, Z. H., Li, F., Shen, H., Chen, Y. & Wang, X. (2018). Molecular and physio-biochemical characterization of cotton species for assessing drought stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(9), 2636.
18. Heidarzadeh, A., Aghaalikhani, M. & Modarres Sanavy, S. A. M. (2019). Effect of vermicompost and urea on yield and profitability indices of sweet corn (*Zea mays* var. Saccharata) and okra (*Abelmoschus esculentus*) intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 50(2), 35-45. DOI: 10.22059/ijfcs.2018.219214.654210. (In Persian).
19. Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S. A. M. & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Changes in yield and essential oil compositions of *Dracocephalum kotschyi* Boiss in response to azocompost, vermicompost, nitroxin, and urea under water deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutritio,*. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00700-z.
20. Howell, T. A., Yazar, A., Schneider, A. D., Duser, D. A. & Copeland, K. S. (2001). Yield and water use efficiency of corn in response to LEPA irrigation. *Transaction of the ASAE,* 38(6), 1737-1747.
21. Hsu, J. & Lin. R. (2006). Effect of cultural medium and hydroponic culture on growth and flowering quality of Oncidium grower Ramsey, http://www.nchu.edu.tw/~add/budget/ student%20abroad/inter-meeting-95/T95-2-05-PDF.
22. Kaya, C., Tuna, L. & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown. Under water- stress condition. *Journal of Plant Nutrition,* 29(8), 1469-1480.
23. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y. & Guo, T. (2017). Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science,* 8. doi: 10.3389/fpls.2017.00860.
24. Ma, J. F. & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plant. *Trends in Plant Science,* 11(8), 22-28.
25. Madea, Y., Yoshiba, M. & Tadano, T. (2005). Comparison Ca effect on the salt tolerance of suspension cells and intact plants of tobacco (*Nicotiana tobacum* L., cv. Bright Yellow-2). *Soil Science and Plant Nutrition,* 51, 313-318.
26. Malakouti, M. J. (2018). *Optimal fertilizer use recommendations for yield increase and production of healthy crops: Determination of amount, type and time offertilizer application for the purpose of r achieving self-sufficiency, sustainable agriculture and increasing farmers' income* (4thedition, completely revised). Farmers' House, No. 104. Moballegan Pub. Co., Tehran, Iran. Pp. 458. (In Persian).
27. Marreiro, D. D. N., Cruz, K. J. C., Morais, J. B. S., Beserra, J. B., Severo, J. S. & Oliveira, A. R. S. (2017). Zinc and oxidative stress: current mechanisms. *Antioxidants*, 6. DOI: 10.3390/ antiox6020024.
28. Massa, N., Cesaro, P., Todeschini, V., Capraro, J., Scarafoni, A., Cantamessa, S., Copetta, A., Anastasia, F., Gamalero, E., Lingua, G. & Berta, G., (2020). Selected *autochthonous rhizobia*, applied in combination with AM fungi, improve seed quality of common been cultivated in reduced fertilization condition. *Applied Soil Ecology*, 148, 103507.
29. Mokhtarpor, H., Mosavat, S. A., Bezi, M. T. & Saberi, A. R. (2007). Effect of sowing and plant density on qualitative and quantitative forage yield of Sweet corn KSC 403 in spring sowing. *Seed and Plant Improvement Journal,* 23, 473-487. (In Persian).
30. Morgan, J. M. 1984. Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research,* 34, 607-617.
31. Nazemie, A., Khazaei, H. R., Boromand Rezazadeh, Z. & Hosseini, A. (2008). Effect of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. *Desert,* 12, 99-104.
32. Rasool, T., Ahmad, R. & Farooq, M., (2019). Seed priming with micronutrients for improving the quality and yield of hybrid maize. *Gesunde Pflanzen*, 71(1), 37-44.
33. Rontein, D., Basset, G. & Hanson, A. D. (2002). Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic Engineering,* 4, 49-56.
34. Sajadi, N. A., Ardakani, M. R., Naderi, A., Madani, H. & Mashhadi akbar Boojar, M. (2009). Response of maize to nutrient foliar application under water deficit stress conditions. *American Journal of Agricultural and Biological Science,* 4, 242-248.
35. Sanchez, F. J., Manzanares, M., De Andres, E. F., Tenorio, J. L. & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research*, 59(3), 225-235.

36. Sanitata, L. & Gabbriella, R. (1999). Response to Cd in higher plants–Review. *Environment and Experimental Botany*, 45, 105-130.
37. Serraj, R. & Sinclair, T. R. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell and Enviroment*, 25, 333-341.
38. Sheteawi, S. A. (2007). Improving growth and yield of salt stressed soybean by exogenous application of jasmine acid and ascorbic. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9, 473-478.
39. Shrestha, R., Turner, N. C., Siddique, K. H. M., Turner, D. W. & Speijers, J. (2006). A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod number but not pod size. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(4), 427-438.
40. Song, F. B. & Dai, Y. Y. (2000). Effect of drought stress on growth and development of female inflorescence and yield of maize. *Journal of Agricultural University*, 22(1), 18-22.
41. Xu, S., An, L., Feng, H., Wang, X. & Li, X. (2002). The seasonal effects of water stress on *Ammopiptanthus mongolicus* in a desert environment. *Journal of Arid Environments*, 51, 437-447.