



اثر کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر صفات بیوشیمیایی هیبریدهای ذرت تحت تنش خشکی و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه

محمدصادق آزادی^۱، علیرضا شکوه‌فر^{۲*}، مانی مجدم^۲، شهرام لک^۲، مجتبی علوی‌فاضل^۲

۱. گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۶

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش خشکی و همچنین تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه انجام شد. بدین منظور آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خردشده با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در مردادماه سال ۱۳۹۴ در شهرستان دهلران (عرض جغرافیایی ۳۲°۴۱' شمالی و طول جغرافیایی ۴۶°۱۶' شرقی) استان ایلام انجام شد. فاکتورها شامل سه تنش آبی (شرایط مطلوب آبیاری، قطع یک دوره آبیاری در مراحل ۱۲ برگی و ظهور گل تاجی ذرت) در کرت‌های اصلی، سه نحوه کاربرد پتاسیم (۱۰۰ درصد سولفات پتاسیم، کاربرد ۷۰ درصد سولفات پتاسیم و ۳۰ درصد پتابارور-۲، کاربرد ۵۰ درصد سولفات پتاسیم و ۵۰ درصد پتابارور-۲) در کرت‌های فرعی و سه هیبرید ذرت (CORDONA و NS640، AS71) در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که تأثیر برهمکنش سه‌گانه تیمارها بر عملکرد دانه، پروتئین دانه، میزان پرولین، کلروفیل و فعالیت آنزیم‌ها معنی‌دار بود. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی پتاسیم در هیبریدهای ذرت اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داد و منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت شد. بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ۵۰ درصد سولفات پتاسیم و ۵۰ درصد پتابارور-۲ و در هیبرید AS71 تحت شرایط مطلوب آبیاری به دست آمد (۱۲۱۳۰ کیلوگرم در هکتار). عملکرد دانه با محتوای پرولین، کلروفیل a و b همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد کلروفیل a، محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز مؤثرترین صفات بر عملکرد دانه بودند. به‌طور کلی کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد سولفات پتاسیم و ۵۰ درصد پتابارور-۲ و هیبرید AS71 هم در شرایط مطلوب آبیاری و هم در شرایط تنش خشکی در مقایسه با سایر تیمارها برتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، پتابارور-۲، تنش محیطی، ذرت، کلروفیل.

مقدمه

(2015). بر اساس گزارش‌های محققین، شناخت صفات بیوشیمیایی تحمل به خشکی و استفاده از آن‌ها در بهبود تحمل به خشکی بسیار مهم است (Ashraf, 2010). از رویدادهای مهم بیوشیمیایی گیاهان در شرایط تنش آبی، تغییرات به‌صورت کاهش و یا افزایش پروتئین، قند محلول، پرولین و کلروفیل در برگ ذرت و افزایش یا کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است (Jamali et al., 2012). در

تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد غلات دانه‌ای از جمله ذرت (*Zea mays* L.) است (Rabbani and Emam, 2012) و زمانی رخ می‌دهد که سرعت تعرق بیش از سرعت جذب آب است (Barbara et al., 2014). آثار سوء ناشی از تنش آب بر رشد و نمو و عملکرد ذرت، بستگی به زمان وقوع تنش، شدت تنش، مرحله نمو و ژنوتیپ گیاه دارد (Moshaver et al.,

بنابراین با توجه به رخداد مداوم خشک‌سالی‌های چند سال اخیر و کاهش شدید منابع آب زیرزمینی، مزرعه ذرت در مقطعی از دوران رشد ممکن است دچار تنش خشکی شود و همچنین با توجه به اینکه کودهای پتاسیم از نظر فعال کردن آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، افزایش فتوسنتز و در نهایت در بهبود و افزایش مقاومت به استرس حائز اهمیت هستند، لذا تحقیق حاضر باهدف بررسی کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم در جهت تعدیل اثرات تنش خشکی بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه ذرت اجرا گردید و در نهایت جهت اطمینان از نتایج به‌دست‌آمده و همچنین تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه، همبستگی صفات و رگرسیون گام‌به‌گام بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات تنش خشکی، کاربرد کود سولفات پتاسیم و کود پتابارور-۲ (کود زیستی حاوی باکتری مفید حل‌کننده پتاسیم) بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد دانه در هیبریدهای ذرت، آزمایشی به‌صورت کرت-های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اراضی زراعی شهرستان دهلران (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید (شرایط آب هوایی در ماه‌های آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است). تیمارهای آزمایش شامل سه شرایط تنش آبی (آبیاری مطلوب مزرعه بر اساس نیاز گیاه، قطع یک دوره آبیاری در مراحل ۱۲ برگی و ظهور گل تاجی ذرت) در کرت اصلی، سه نحوه کاربرد کود شیمیایی و زیستی پتاسیم؛ ۱۰۰ درصد نیاز کودی (۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم)، ۷۰ درصد نیاز کودی (۱۰۵ کیلوگرم) + ۳۰ درصد نیاز کودی (پتابارور-۲) (۶۰ گرم) و ۵۰ درصد نیاز کودی (۷۵ کیلوگرم) + کود (پتابارور-۲) (۱۰۰ گرم) در کرت‌های فرعی به‌صورت بذر آغشته شده استفاده شد. هیبریدهای ذرت (CORDONA و NS640, AS71) به‌عنوان فاکتور فرعی فرعی بودند که از بخش ثبت و گواهی بذر و نهال مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام تهیه شدند. مصرف کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک (جدول ۲) و در مرحله آماده‌سازی زمین انجام گرفت. کود زیستی (پتابارور-۲) از شرکت زیست فناور سبز تهیه شد و میزان آن نیز بر اساس دستورالعمل این شرکت (هر بسته

ذرت گزارش شده است که تنش آبی میزان کلروفیل برگ را کاهش داده و با تأثیر منفی بر دوره‌های ظهور کاکل و گرده-افشانی منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Zaidi et al., 2008).

پتاسیم فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بی‌شماری را در گیاهان تنظیم می‌کند از جمله، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرایند فتوسنتز، سنتز پروتئین، انتقال قندهای تولیدشده در اثر فتوسنتز به قسمت‌های گوناگون گیاه و ذخیره‌سازی آن‌ها و نقش افزایشی در مقاومت گیاهان به استرس‌ها است (Arti et al., 2014). اگرچه امروزه کاربرد کودهای شیمیایی به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک و عملکرد بالا، گسترش چشم‌گیری یافته است، اما در بسیاری موارد کاربرد این کودها موجب آلودگی-های زیست‌محیطی و صدمات اکولوژیکی شده و هزینه تولید را افزایش داده است (Salehi et al., 2014). برخی از پژوهشگران معتقدند یکی از ارکان اساسی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است (Arrudaa et al., 2013). کالهپور و همکاران (Kalhapure et al., 2013) نیز اعلام کردند کاربرد تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی بهترین گزینه در زراعت ذرت است. سیدی و همکاران (Seyedi et al., 2018) با بررسی اثرات توأم کودهای شیمیایی و زیستی در رقم‌های گندم نان (*Triticum aestivum*) گزارش نمودند که کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی منجر به افزایش عملکرد و پروتئین دانه می‌گردد. همچنین نتایج استفاده از کود زیستی (بارور-۲) در مناطق مختلف کشور حاکی از این است که در اکثر موارد کاربرد کود زیستی موجب افزایش بالای ده‌درصدی عملکرد گیاهان زراعی مختلف شده است (Puryusf, 2013). Zawidy, 2013). همبستگی میان صفات یکی از پرکاربردترین روش‌هایی است که توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است و اطمینان از نتایج مورد انتظار را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Marjanovic-Jeromela et al, 2007). از سوی دیگر تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با حذف صفات غیر مؤثر یا کم اثر در مدل رگرسیونی بر روی صفت عملکرد دانه، تنها صفاتی را که میزان قابل‌توجهی از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کنند، انتخاب می‌کند (Majidi and Mirlohi, 2009).

اندازه‌گیری شد. به‌منظور تخمین میزان پروتئین دانه ابتدا درصد نیتروژن آن به‌وسیله دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری و سپس در ضریب عددی ۶/۲۵ ضرب گردید و به‌عنوان درصد پروتئین دانه ثبت شد (Bremner and Mulvaney, 1982).

محتوای پرولین با استفاده از روش باتیس (Bates, 1973) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز از روش چنس و ماهلی (Chance and Maehly, 1955) استفاده شد. در این روش مخلوط واکنش شامل ۰/۷۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با pH=۷، میکرولیتر پروتئین محلول و ۱۵۰۰ میکرولیتر آب دو بار تقطیر به کووت کوارتز اضافه گردید و در زمان اندازه‌گیری آنزیم ۷۵۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی‌مولار به مخلوط اضافه شدند. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۶۰ ثانیه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت شدند. تغییرات آنزیمی برحسب تغییرات در جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان شد. کووت شاهد شامل ۰/۷۵ میلی‌گرم بافر پتاسیم فسفات و ۲۰ میکرولیتر پروتئین محلول بود.

برای تعیین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، ۰/۲ گرم نمونه منجمد در سه میلی‌لیتر بافر HEPES-KOH با ۷/۸ pH حاوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار عصاره‌گیری شد. همگن‌های حاصل در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شده و بخش رویی برای سنجش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز مورد استفاده قرار گرفت (Giannopolitis and Ries, 1997). مخلوط واکنش شامل: بافر HEPES-KOH ۵۰ میلی‌مولار با pH ۷/۸ حاوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با ۱۰/۲ pH، ال - متیونین ۱۲ میلی‌مولار نیتروبلوتترازولیوم^۶ ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین یک میکرومولار و ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور قرار داده شدند و پس‌ازاین مدت جذب آن‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که منجر به مهار ۵۰ درصد احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم گردید.

۱۰۰ گرمی از این کود معادل ۵۰ درصد کود شیمیایی است) مشخص شد. کشت مزرعه در زمین آیش با بافت شنی لومی (جدول ۲) به‌صورت جوی پشته و هر کرت فرعی دارای شش خط کشت و طول هرکدام شش متر بود. فاصله بین پشته‌ها ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها ۱۸ سانتی‌متر و عمق کشت پنج سانتی‌متر بود. تراکم مزرعه ۷۵ هزار بوته در هکتار و فواصل میان کرت‌های اصلی حدود دو متر و کرت‌های فرعی یک متر رعایت گردید. آبیاری مزرعه به روش جوی و پشته‌ای انجام شد. در شرایط مطلوب، آبیاری بر اساس تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و در شرایط تنش بر اساس تخلیه ۵۰ درصدی ظرفیت زراعی مزرعه انجام گردید (Lak et al., 2007). برای کنترل حجم آب محاسبه‌شده، از کنتور حجمی استفاده شد. جهت تعیین دقیق زمان آبیاری در هر تیمار، با گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری به‌صورت روزانه و متوالی توسط اوگر^۱ از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری انجام شد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. پس از رسیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان تعیین‌شده جهت اعمال تیمار آبیاری از رابطه زیر (Alizadeh, 1995) حجم آب مصرفی موردنیاز هر تیمار محاسبه شد (رابطه ۱).

$$V = \frac{(F_c - \theta_m) \times pb \times D_{root} \times A}{E_i} \quad [1]$$

که در آن V: حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، F_c: درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، θ_m: درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb: وزن ویژه ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب، A: مساحت آبیاری شده برحسب مترمربع، D_{root}: عمق ریشه برحسب متر و E_i: راندمان آبیاری هستند. عملیات کشت در مردادماه و برداشت محصول در اواسط آذرماه انجام گرفت. درنهایت صفات مورد ارزیابی شامل: عملکرد دانه، پروتئین دانه، کلروفیل^۲ a، کلروفیل^۲ b، پرولین^۳، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز^۴ و سوپراکسید دیسموتاز^۵ بودند که در هر تکرار پنج بوته به‌طور تصادفی جهت اندازه‌گیری این صفات انتخاب شدند و عملکرد دانه نیز در زمانی که رطوبت دانه به ۱۴ درصد رسید، اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1975) صورت گرفت و میزان جذب نمونه‌های حاوی کلروفیل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Jenway 6305 ساخت کشور انگلستان

⁴ Catalase

⁵ Superoxide dismutase

⁶ Nitrobluttrazolium

¹ Auger

² Chlorophyll

³ Proline

میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای آماری پنج درصد محاسبه شد.

برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C و برای ارزیابی همبستگی بین صفات و همچنین رگرسیون گام‌به‌گام که عملکرد دانه صفت مستقل و سایر صفات به‌عنوان صفات وابسته بودند از نرم‌افزار SPSS¹⁹ استفاده شد و مقایسه

جدول ۱. حداقل و حداکثر دما، میزان رطوبت نسبی و میانگین ماهانه مقدار بارندگی، در منطقه ایلام واقع در غرب ایران در سال ۱۳۹۴.
Table 1. Minimum and Maximum temperature, Relative Humidity and monthly Precipitation in the Ilam region in the west of Iran in 2015.

Month	ماه	متوسط حداقل دما (سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	متوسط حداکثر دما (سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	میزان بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	حداقل رطوبت نسبی (درصد) Minimum RH (%)	حداکثر رطوبت نسبی (درصد) Maximum RH (%)
August	مرداد	33.26	48.82	1	11.32	29.00
September	شهریور	31.75	44.72	0	14.39	31.23
October	مهر	25.87	38.79	1.5	17.97	37.70
November	آبان	15.97	25.33	184.1	47.23	85.40
December	آذر	9.15	19.79	58.5	42.83	85.00

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه‌ی اجرای آزمایش

Table 2. Physico-chemical properties of the soil of the experimental field

عمق خاک Soil depth cm	هدایت الکتریکی EC dS.m ⁻¹	اسیدیته خاک pH	کربن آلی Organic carbon %	پتاسیم K mg/kg	تجزیه بافت خاک (درصد) Soil texture analysis			
					رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	بافت Texture
0-30	3.7	7.51	0.73	128	14	28	5	شنی لومی Loam sandy

شیمیایی همراه با ۵۰ درصد کود زیستی (پتابارور-۲) و تحت شرایط مطلوب آبیاری بود (جدول ۴). علت بالاتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نسبت به سایر سطوح آبیاری وجود آب کافی در خاک است که باعث می‌گردد گیاه به‌خوبی بتواند آب و مواد غذایی موردنیاز خود را جذب نماید و از رنگیزه‌های فتوسنتزی بالاتر و در نتیجه، فتوسنتز و ماده سازی بیشتر و به‌تبع آن رشد و عملکرد بالاتر برخوردار باشد (Baser Khochehbagh et al., 2011). حتی‌پور و همکاران (Hojattipor et al., 2014) در طی آزمایش‌های خود در گندم دریافتند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کود زیستی باعث حصول بیشترین عملکرد دانه نسبت به کاربرد تنهایی هر کدام از کودهای شیمیایی و زیستی شد. انصاری و همکاران (Ansari et al., 2015) بیان نمودند که

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش تنش خشکی، پتاسیم و هیبرید ذرت و همچنین اثرات ساده این تیمارها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). میانگین عملکرد دانه با ایجاد تنش خشکی به‌خصوص تنش در مرحله ظهور گل تاجی کاهش یافت که با نتایج علوی‌فاضل و همکاران (Alavifazel et al., 2013) در هیبرید ذرت ۷۰۴ همخوانی دارد. کاربرد تلفیقی کود سولفات پتاسیم و کود زیستی (پتابارور-۲)، اثرات تنش خشکی را تعدیل بخشید و منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. به‌طور کلی در پژوهش حاضر بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به هیبرید AS71 (۱۲۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۵۰ درصد کود

کلروفیل a و b شد و کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و زیستی برخلاف تنش خشکی میزان کلروفیل a و b در هیبریدهای ذرت را افزایش داد (جدول ۴) به طوری که بیشترین میزان کلروفیل a و b به ترتیب با مقدار عددی ۲/۵۶۷ و ۱/۱۴۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در هیبرید AS71 و با کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی همراه با ۵۰ درصد کود زیستی (پتابارور-۲) مشاهده شد و کمترین میزان کلروفیل a و b (به ترتیب ۰/۹۰ و ۰/۴۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) به هیبرید NS640 اختصاص یافت که در شرایط قطع آبیاری در مرحله ظهور گل تاجی و با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مشاهده شد (جدول ۴). محرم‌نژاد و همکاران (Moharram nejad et al., 2016) با بررسی اثر تنش خشکی در لاین‌های ذرت اظهار کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل a و b می‌شود که با این نتایج مطابقت دارد. در شرایط تنش خشکی اکسیداسیون نوری رنگ‌دانه‌ها منجر به تخریب کلروفیل می‌شود و میزان کلروفیل کاهش می‌یابد (Giancarla, et al., 2013). برخی پژوهشگران معتقدند با افزایش میزان کود زیستی در آمیزه با کود شیمیایی با افزایش عناصر غذایی، مانند نیتروژن، آهن و منیزیم که در کلروفیل سازی مؤثر می‌باشند، محتوی کلروفیل برگ افزایش می‌یابد و در آزمایش آن‌ها کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی محتوی کلروفیل برگ ذرت هیبرید ۷۰۴ را بیشتر از مصرف کود شیمیایی افزایش داد (Maghsudi et al., 2012) که بیانگر صحت نتایج این پژوهش است.

محتوای پرولین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثرات ساده تنش، کود پتاسیم و هیبرید ذرت و همچنین برهمکنش سه‌جانبه این تیمارها، از نظر محتوای پرولین معنی‌دار بود. محتوای پرولین در برگ هیبریدهای ذرت با ایجاد تنش خشکی هم در مرحله ۱۲ برگی و هم در مرحله ظهور گل تاجی و همچنین با کاربرد توأم کود شیمیایی و زیستی نسبت به شرایط مطلوب آبیاری افزایش یافت (جدول ۴) و بیشترین مقدار آن در تیمار ۷۰ درصد کود شیمیایی همراه با ۳۰ درصد کود زیستی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله ظهور گل تاجی در هیبرید AS71 مشاهده شد (۰/۰۳۵۸ گرم در وزن تر برگ). اثرات تنظیم‌کننده اسمزی پرولین در توازن آب و تحمل خشکی در ذرت، در برخی تحقیقات گزارش شده است

باکتری‌های کودهای زیستی بازدهی یا قابلیت دسترسی کودهای پتاسیمی را برای گیاه افزایش داده و موجب افزایش محصول می‌شوند.

پروتئین دانه

بر اساس نتایج موجود (جدول ۳)، علاوه بر اثرات ساده، برهمکنش تنش خشکی، کاربرد کود پتاسیم و هیبریدهای ذرت تأثیر معنی‌داری بر پروتئین دانه داشتند ($p \leq 0.01$). ایجاد تنش خشکی و کاربرد توأم کود شیمیایی و کود زیستی (پتابارور-۲) میزان پروتئین دانه را افزایش دادند به نحوی که ایجاد تنش در مرحله ظهور گل تاجی و مصرف کود پتاسیم به نسبت ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود زیستی (پتابارور-۲) در هیبرید AS71 با مقدار عددی ۱۱/۶۹ درصد، بیشترین مقدار پروتئین را در دانه داشتند (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی از انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها کاسته شده و ذخیره نشاسته در آن‌ها کاهش می‌یابد که این امر موجب کوچک شدن دانه‌ها و افزایش درصد پروتئین می‌گردد (De-Mejia et al, 2003). گزارش شده است که کودهای زیستی متشکل از باکتری‌ها و قارچ‌های مفیدی هستند که منجر به تغییر در اسیدآمین‌های اندوخته در بذر می‌گردند و میزان پروتئین دانه گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Hasanpur and zand, 2014). همچنین برخی پژوهشگران اظهار داشتند که پتاسیم از طریق فعال‌سازی بسیاری آنزیم‌های گیاهی که روی فرایند فتوسنتز، کارایی مصرف آب، جذب نیتروژن و ساخت پروتئین دخالت دارند، باعث افزایش میزان پروتئین دانه می‌شود (Thalooth et al., 2006).

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده و همچنین برهمکنش سه‌گانه تنش در کود در هیبرید ذرت از نظر غلظت کلروفیل a و b معنی‌دار شد ($p \leq 0.01$). یکی از روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی، مطالعه میزان تغییراتی است که در سنتز کلروفیل برگ در اثر کمبود آب اتفاق می‌افتد. در زمان تنش خشکی روزه برگ‌ها به‌طور کامل یا جزئی بسته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند (Nasrollah Zadeh Asl et al., 2016). در این تحقیق ایجاد تنش خشکی هم در مرحله ۱۲ برگی و ظهور گل تاجی موجب کاهش میزان

Naderi et al.,) نسبت به شاهد بدون کود افزایش داده است (2013) که با نتایج تحقیق حاضر تا حدودی مطابقت دارد. چنین استنتاج شده است که تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی تحت تأثیر کاربرد کود پتاسیم، می‌تواند به علت عدم کاهش مصرف پرولین، افزایش بیوسنتز پرولین و یا کاهش مصرف پرولین و همچنین هیدرولیز پروتئین‌ها باشد (Zengin, 2006).

(Heidary and Moaveni, 2009). محرم‌نژاد و همکاران (Moharramnejad et al., 2016) با بررسی تنش اسمزی بر روی لاین‌های ذرت گزارش کردند که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار در بین لاین‌های ذرت گردید. به طوری که لاین متحمل به تنش خشکی نسبت به لاین حساس ذرت مقدار پرولین بیشتری داشت. در خصوص کاربرد کود گزارش شده که در ذرت، کاربرد توأم کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی، محتوای پرولین برگ را

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه هیبریدهای ذرت تحت شرایط کاربرد کودهای پتاسه و تنش خشکی.

Table 3. Analysis of variance biochemical character and grain yield of corn hybrids under the conditions of application of potassium fertilizers and drought Stress.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (ms)						
			عملکرد دانه Grain yield	پروتئین دانه Grain Protein	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	محتوای پرولین Proline content	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase Enzyme	آنزیم کاتالاز Catalase Enzyme
Block	بلوک	2	4860.90	0.0005	0.0001	0.0001	0.006	91.15	0.019
Stress (S)	تنش	2	23591177.36**	9.54**	7.51**	0.51**	0.29**	248462.77**	2204.26**
error	اشتباه	4	3069.10	0.0006	0.0005	0.0002	0.003	99.02	0.014
Fertilizer (F)	پتاسیم	2	6724400.18**	3.96**	0.43**	0.016**	0.008**	12284.89**	473.38**
S*F	تنش * پتاسیم	4	44079.90**	0.77**	0.11**	0.05**	0.006**	1636.51**	14.72**
error	اشتباه	12	3314.10	0.00016	0.00001	0.0001	0.003	98.98	0.23
Corn hybrids (H)	هیبرید ذرت	2	178000206.38**	0.87**	0.83**	0.29**	0.17**	54009.78**	2048.32**
S*H	تنش * هیبرید ذرت	4	2820945.07**	0.021**	0.001**	0.006**	0.022**	1061.06**	201.58**
F*H	پتاسیم * هیبرید ذرت	4	225953.90**	0.021**	0.024**	0.004**	0.008**	216.52**	5.90**
S*F*H	تنش * پتاسیم * هیبرید ذرت	8	151481.87**	0.003**	0.014**	0.002**	0.007*	586.98**	5.34**
error	اشتباه	36	4607.25	0.00025	0.0005	0.0005	0.003	99.18	0.32
	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	1.79	0.47	2.47	1.03	0.54	1.25	0.36

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability respectively.

جدول ۴. اثر برهمکنش بین تنش و پتاسیم و هیبرید ذرت بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه

Table 4. The effect of interactions between Drought Stress and Fertilizer and corn hybrids on Biochemical character and Grain yield.

تنش Stress	پتاسیم K	هیبرید corn hybrids	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	پروتئین دانه Grain Protein (%)	کلروفیل		محتوای پروترین (میکرومول پروترین در گرم وزن تر برگ)	آنزیم کاتالاز (میلی گرم پروتئین در دقیقه)	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (میلی گرم پروتئین در دقیقه) Superoxide dismutase Enzyme
					کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b			
S1 [†]	F1	H1 [§]	11860 ^b	9.36 ^q	1.93 ^f	0.855 ^e	0.0194 ^{d-g}	140.8 ^r	755.2 ^{gh}
		H2	6161 ^o	9.10 ^s	1.85 ^g	0.709 ^{hi}	0.015 ^g	130.5 ^v	688.2 ^l
		H3	9013 ^j	9.28 ^r	1.95 ^{ef}	0.822 ^e	0.0177 ^{fg}	138.4 ^s	732.2 ^{ij}
	F2	H1	12020 ^a	10.66 ^{hi}	2.57 ^a	1.149 ^a	0.0208 ^{c-g}	138.6 ^s	749.4 ^{ghi}
		H2	6725 ⁿ	10.34 ⁿ	2.19 ^d	0.816 ^e	0.0173 ^{fg}	126.8 ^w	664.6 ^m
		H3	10540 ^d	10.48 ^l	2.42 ^c	1.083 ^b	0.0188 ^{d-g}	133.3 ^u	729.9 ⁱ
	F3	H1	12130 ^a	10.64 ⁱ	2.48 ^b	0.992 ^c	0.0206 ^{c-g}	135.8 ^t	710.8 ^k
		H2	6684 ⁿ	10.16 ^o	1.97 ^e	0.767 ^f	0.0168 ^g	123.5 ^x	644.4 ⁿ
		H3	10510 ^d	10.35 ⁿ	2.45 ^{bc}	0.939 ^d	0.0186 ^{efg}	131.3 ^v	689.6 ^l
S2	F1	H1	10320 ^e	10.38 ^m	1.67 ^j	0.770 ^f	0.0247 ^{cde}	165.8 ⁱ	831.5 ^e
		H2	5069 ^r	10.12 ^p	1.35 ^{mn}	0.640 ^j	0.0178 ^{fg}	156.4 ⁿ	759.6 ^g
		H3	8784 ^k	10.34 ⁿ	1.61 ^k	0.757 ^{fg}	0.0235 ^{c-f}	163.8 ^j	824.9 ^e
	F2	H1	11080 ^c	10.68 ^h	1.76 ^h	0.739 ^{gh}	0.0259 ^{bc}	162.6 ^k	825.4 ^e
		H2	5830 ^p	10.35 ⁿ	1.47 ^l	0.593 ^k	0.0186 ^{efg}	150.7 ^p	740.2 ^{hij}
		H3	9908 ^f	10.47 ^j	1.76 ^h	0.716 ^{ghi}	0.0249 ^{cde}	160.3 ^l	824.5 ^e
	F3	H1	11100 ^c	10.68 ^h	1.69 ^{ij}	0.735 ^{gh}	0.0264 ^{bc}	158.8 ^m	795.0 ^f
		H2	5830 ^p	10.34 ⁿ	1.39 ^m	0.583 ^k	0.0194 ^{d-g}	142.8 ^q	727.8 ^j
		H3	9908 ^f	10.54 ^k	1.71 ⁱ	0.706 ^{hi}	0.0252 ^{cd}	153.4 ^o	781.7 ^f
S3	F1	H1	8198 ^m	10.96 ^f	1.18 ^q	0.732 ^{fghi}	0.0333 ^a	202.7 ^a	972.4 ^a
		H2	4432 ^s	10.65 ⁱ	0.90 ^t	0.478 ^m	0.0204 ^{c-g}	177.9 ^f	864.8 ^d
		H3	8403 ^l	10.92 ^g	1.13 ^r	0.722 ^{ghi}	0.0316 ^{ab}	199.9 ^c	957.5 ^a
	F2	H1	9275 ^{hi}	11.44 ^c	1.33 ^{no}	0.709 ^{hi}	0.0358 ^a	201 ^b	938.8 ^b
		H2	5306 ^q	11.10 ^e	0.97 ^s	0.522 ^l	0.0215 ^{c-g}	173.9 ^g	827.5 ^e
		H3	9177 ⁱ	11.42 ^c	1.30 ^{op}	0.689 ⁱ	0.0352 ^a	200 ^c	870.7 ^d
	F3	H1	9319 ^{gh}	11.69 ^a	1.32 ^{nop}	0.711 ^{hi}	0.0347 ^a	194.6 ^d	921.4 ^c
		H2	5298 ^q	11.15 ^d	0.95 ^s	0.543 ^l	0.0211 ^{c-g}	170.1 ^h	816.1 ^e
		H3	9420 ^g	11.56 ^b	1.28 ^p	0.695 ^{hi}	0.0345 ^a	190.9 ^e	917.4 ^c

† S1: آبیاری مطلوب، S2: تنش قطع آبیاری در مرحله ۱۲ برگی، S3: تنش قطع آبیاری در مرحله ظهور گل تاجی

‡ F1: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پتاسیم، F2: ۷۰ درصد پتاسیم + ۳۰ درصد پتا بارور -۲، F3: ۵۰ درصد پتاسیم + ۵۰ درصد پتا بارور -۲.

§ H1: AS71، H2: NS640، H3: CORDONA

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک و پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

† S1: (control), S2: (Water stress with once irrigation cut-off in 12 leaf stage), S3: (Water stress with once irrigation cut-off in flowering stage).

‡ F1: (100% chemical potash), F2: (70% chemical potash+ 30% seed incubation by Fertil-2), F3: (50% chemical potash+ 50% seed incubation by Fertil-2)

§ H1: AS71 hybrid, H2: NS640 hybrid, H3: CORDONA hybrid

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 1% and 5% levels, according to Duncan's Multiple Range Test.

آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

بر طبق نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که اثرات ساده و همچنین برهمکنش تنش خشکی، مصرف کود و هیبرید ذرت از نظر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). ایجاد شرایط تنش خشکی هم در مرحله ۱۲ برگی ذرت و هم در مرحله ظهور گل تاجی در مقایسه با شرایط مطلوب آبیاری، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را افزایش داد و در هر سه هیبرید ذرت، تنش قطع آبیاری در مرحله ظهور گل تاجی نسبت به تنش در مرحله ۱۲ برگی ذرت، تأثیر بیشتری در افزایش فعالیت این آنزیم‌ها داشت. گودرزیان غفاری و همکاران (Goodarziian Ghahfari et al., 2015) در بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در هیبریدهای مختلف ذرت نشان دادند که در شرایط تنش با کاهش میزان و سرعت رشد میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در هیبریدهای ذرت کاهش یافته و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد. همچنین بین تیمارهای کودی و هیبریدهای مختلف ذرت از نظر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز تفاوت معنی‌داری وجود داشت به نحوی که بیشترین مقدار عددی مربوط به آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در هیبرید AS71 و تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پتاسیم و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله ظهور گل تاجی مشاهده شد (به ترتیب ۲۰۲/۷ و ۹۷۲/۴ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) (جدول ۴). در گندم گزارش شده است فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در مرحله زایشی به شدت افزایش می‌یابد. تنش کم‌آبی در مرحله زایشی به دلیل نیاز بیشتر گیاه به آب و بیشتر بودن تبخیر و تعرق اثر بیشتری بر گیاه می‌گذارد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در این مرحله نسبت به مرحله رویشی بیشتر است (HashemiNasab et al., 2013). برخی مطالعات نشان داده است در کود شیمیایی پتاسه، پتاسیم یک کاتیون یک ظرفیتی است که دارای جذب انتخابی بوده و در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه و فعال کردن آنزیم‌های گیاهی نقش مهمی دارد، پتاسیم با دخالت در تولید آدنوزین‌تری فسفات (ATP) در افزایش فعالیت آنزیم‌ها اثرات مثبتی دارد (Arti et al, 2014) با این وجود در مطالعه حاضر، مصرف کود زیستی در مقایسه با کود شیمیایی پتاسیم سبب

کاهش فعالیت این آنزیم شده است. به نظر می‌رسد که کود زیستی پتاسیم خاصیت آنتی‌اکسیدانی داشته و یون سوپر اکسید را خنثی نموده و در نهایت میزان فعالیت آنزیم‌ها را کاهش داده است.

همبستگی صفات

نتایج همبستگی ساده صفات (جدول ۵) نشان داد عملکرد دانه ذرت با میزان کلروفیل a و b همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (به ترتیب ۰/۶۰ و ۰/۷۴). با این وجود، عملکرد دانه با درصد پروتئین دانه و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز همبستگی معنی‌داری نداشت. در مطالعه علی‌محمدی و میر محمدی میبدی (Ali mohammadi and Mir mohammadi, 2011) در گیاه گندم تحت شرایط تنش خشکی، همبستگی مثبت و معنی‌دار کلروفیل a و b با عملکرد دانه گزارش شده است. کاهش غلظت کلروفیل به معنی کاهش پتانسیل تولید و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی است که در گیاهی مانند ذرت این ذخیره‌سازی نقش مهمی در کاهش اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه دارد. در مطالعه دیگری بر روی گیاه برنج تحت شرایط تنش خشکی و کاربرد کود پتاسیم، همبستگی معنی‌داری بین کلروفیل و عملکرد دانه گزارش شد است (Amalina et al., 2016) که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد. کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم در هیبریدهای ذرت، از طریق بهبود غلظت کلروفیل منجر به افزایش فتوسنتز شده و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه شده است.

رگرسیون گام‌به‌گام

برای تعیین سهم آثار تجمعی صفات در توجیه تغییرات عملکرد دانه از روش رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات در نظر گرفته شد. اولین صفت وارد شده به مدل کلروفیل b بود. در گام دوم و سوم به ترتیب پرولین و کلروفیل a وارد مدل شدند و در گام چهارم کلروفیل b از مدل خارج شد و پس از آن در گام پنجم و ششم نیز آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز به ترتیب وارد مدل شدند (جدول ۶) این چهار صفت وارد شده به مدل، بیشترین تأثیر را بر تغییرات عملکرد دانه داشتند به نحوی که ۸۲ درصد تغییرات عملکرد را توجیه کردند. (ضریب تبیین آن برابر با $R^2 = 0/82$ شد). ضرایب معادله

نتایج مطابقت دارد. ولی در خصوص مطالعه رگرسیون صفات بیوشیمیایی تحت تأثیر کاربرد کود شیمیایی و زیستی پتاسیم تاکنون مطالعه‌ای یافت نشده است. در این پژوهش دلیل برخی از تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از شرایط محیطی و هیبرید-های مورد آزمایش باشد.

رگرسیون به‌دست‌آمده در جدول ۷ ارائه شده است. در این راستا علی‌محمدی و همکاران (Alimohammadi et al., 2009) نشان دادند که در گیاه گندم تحت شرایط گوناگون رطوبتی، میزان کلروفیل، محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌ها در تغییرات عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری داشتند که با این

جدول ۵. ضرایب همبستگی صفات اندازه‌گیری شده

Table 5. Correlation coefficients of measured traits

Traits	صفات	1	2	3	4	5	6	7
1	عملکرد دانه Grain yield	1						
2	پروتئین دانه Grain Protein	0.04 ^{ns}	1					
3	کلروفیل a Chlorophyll a	0.60**	-0.46*	1				
4	کلروفیل b Chlorophyll b	0.74**	-0.25*	0.89**	1			
5	محتوای پرولین Proline content	0.28*	0.78**	-0.47**	-0.17 ^{ns}	1		
6	آنزیم کاتالاز Catalase Enzyme	-0.08 ^{ns}	0.74**	-0.77**	-0.46**	0.90**	1	
7	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase Enzyme	-0.05 ^{ns}	0.69**	-0.69**	-0.35**	0.88**	-0.97**	1

^{ns}, * و **، به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با در نظر گرفتن عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در هیبریدهای ذرت و تحت شرایط تنش خشکی و ترکیبات مختلف کودی

Table 6. The results of stepwise regression analysis with yield as dependent and other traits as independent variables in corn hybrids under Drought stress condition and different fertilizer combinations.

	گام اول First step	گام دوم Second step	گام سوم Third step	گام چهارم Fourth step	گام پنجم Fifth step	گام ششم Sixth step
صفات وارد شده Variables Entered	کلروفیل b Chlorophyll b	محتوای پرولین Proline content	کلروفیل a Chlorophyll a	-	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase Enzyme	کاتالاز آنزیم Catalase Enzyme
صفات خارج شده Variables Removed	-	-	-	کلروفیل b Chlorophyll b	-	-
مقدار F F - value	97.84	99.93	88.76	130.76	103.38	85.86
ضریب تشخیص r- Square	0.55	0.72	0.77	0.76	0.80	0.82

جدول ۷. ضرایب معادله رگرسیون بین صفات مختلف و عملکرد دانه هیبریدهای ذرت تحت شرایط تنش خشکی و ترکیبات مختلف کودی

Table 7. Regression equation coefficient between different traits and yield corn hybrids under Drought stress condition and different fertilizer combinations

عرض از مبدأ Intercept	محتوای پرولین Proline content	کلروفیل a Chlorophyll a	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase Enzyme	کاتالاز آنزیم Catalase Enzyme
-9386.31	248351.76	4159.66	23.24	83.18

نتیجه‌گیری

داشت مقاومت بیشتری نیز به تنش خشکی نشان داد. در مجموع کاربرد ۵۰ درصد کود سولفات پتاسیم همراه با ۵۰ درصد کود زیستی (پتا بارور- ۲) در هیبرید AS71 بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه داشتند. بر اساس نتایج همبستگی صفات مشخص شد بین عملکرد دانه با کلروفیل a و b، محتوای پرولین همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت؛ و بر اساس نتایج رگرسیون گام‌به‌گام مشخص شد که محتوای پرولین، غلظت کلروفیل a، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز بالاترین تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند.

نتایج نشان داد که ایجاد تنش خشکی در مرحله ظهور گل تاجی در مقایسه با تنش در مرحله ۱۲ برگی و همچنین نسبت به شرایط مطلوب آبیاری تأثیر بیشتری در کاهش عملکرد دانه داشتند. در هیبریدهای مورد مطالعه کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و زیستی پتاسیم در مقایسه با تیمار کود شیمیایی پتاسیم با بهبود صفات بیوشیمیایی موجب افزایش عملکرد دانه شد؛ با این وجود در هیبریدهای ذرت از نظر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه، هم در شرایط مطلوب آبیاری و هم در شرایط قطع آبیاری و همچنین از نظر تیمارهای کودی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. هیبریدی که از نظر کلروفیل، پرولین، پروتئین دانه، فعالیت آنزیم‌ها برتری

منابع

- Alavi Fazel, M., Lack, S.H., Sheykhi Nasab, M., 2013. The Effect of irrigation-off at some growth stages on remobilization of dry matter and yield of corn hybrids. *International Journal of Agricultural and Crop Sciences*. 20, 463-473.
- Alimohammadi, M., Mirmohammady Maibody, S.A.M., 2011. Factor analysis of agronomic and physiological traits of ten bread wheat cultivars under two irrigation conditions. *Journal of Plant Production*. 18(2), 61-75. [In Persian with English summary].
- Alimohammadi, M., Rezaee, A.M., Mirmohammady Maibody, S.A.M., 2009. Evaluation of some physiological traits and yield of ten wheat cultivars in two irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 13(48), 107 – 115.
- Alizadeh, H., 1995. Relationship between Water and Soil and Vegetation. Astan Quds Razavi Publication, Mashhad, Iran. 353p. [In Persian].
- Amalina, N., Zain, M., Razi Ismail, M., 2016. Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. *Agricultural Water Management*. 164, 83-90.
- Ansari, S., Sarikhani, M., Najafi, N., 2015. Inoculation effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on corn in presence of indigenous microflora of soil. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 24(4), 33-43. [In Persian with English Summary].
- Arnon, D.I., 1975. Physiological principles of dryland crop production. In: Gupta, U.S. (ed.), *Physiological Aspects of Dryland Farming*. Oxford Press, London. 414p.
- Arrudaa, L., Beneduzi, A., Martins, A., Lisboa, B., Lopes, C., Bertolo Passaglia, F., Maria, L. M.P., Vargas, K.L., 2013. Screening of rhizobacteria isolated from maize (*Zea mays* L.) in Rio Grande do sul state (South Brazil) and analysis of their potential to improve plant growth. *Applied Soil Ecology*. 63, 15- 22.
- Arti, S., Surekha, A., Minal, M., 2014. Potassium solubilisers: occurrence, mechanism and their

- role as competent biofertilizers. *International Journal of Current Microbiology Applied Science*. 3(9), 622-629.
- Ashraf, M., 2010. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnology Advances*. 28, 169-183
- Barbara, E.K., Nora, L.E., Edith, S., 2014. Compartment specific response of antioxidants to drought stress in arabis. *Plant Science*. 227, 133-144.
- Baser Khochehbagh, S., Mirshekari, B., Farahvash, F., Javanshir, A., 2011. Effect of seed inoculation with nitrugin and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*. 5(3), 1-10. [In Persian with English summary].
- Bates, L.S., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Bremner, J. M., Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen—Total. In: Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. 595-624.
- Chance, B., Maehly, A.C., 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymologist*. 11, 764-755.
- De-Mejia, E.G., Martinez-Resendiz, V., Castano-Tostado, E., Loarca-Pina, G., 2003. Effect of drought on polyamine metabolism, yield, protein content and in vitro protein digestibility in tepary (*Phaseolus acutifolius*) and common (*Phaseolus vulgaris*) bean seeds. *Journal of the Sciences of Food and Agricultural*. 83, 1022-1030.
- Giancarla, V., Madosa, E., Ciulca, S., Coradini, R., Iuliana, C., Mihaela, M., Lazar, A., 2013. Influence of water stress on the chlorophyll content in barley. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 17, 223-228.
- Giannopolitis, C., Ries, S., 1997. Superoxid desmutase. I. Occurrence in higher plant. *Plant Physiology*. 59, 309-314.
- Goodarzian Ghahfari, M., Mansurifar, S., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Saeidi, M., Mohammad Jamshidi A., Ghasemi, E., 2015. Effects of drought stress and rewatering on antioxidant systems and relative water content in different growth stages of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Archives of Agronomy and Soil Science* 61, 42-57.
- HashemiNasab, H., Asad, M. T., Emam, Y., 2013. Effect of drought stress on antioxidant enzymes and cell death related traits in grain filling stage in resistant and sensitive wheat cultivars. *Journal of Production and Processing of Crop and Gardening*. 3(9), 1-13. [In Persian with English summary].
- Hassanpour, J., Zand, B., 2014. Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*. 1(2), 1-12. [In Persian with English summary].
- Heidary, Y., Moaveni, P., 2009. Study of Drought stress on accumulation and proline among aba in different genotypes forage corn. *Research Journal of Biological Sciences*. 4, 1121-1124.
- Hojattipor, E., Jafari, B., Dorostkar, M., 2014. The Effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexes of wheat. *Journal of Plant Ecophysiology*. 5(15), 36-48. [In Persian with English summary].
- Jamali, J., Enteshari, Sh., Hosseini, Q.M., 2012. The effect of potassium and zinc elements on biochemical and physiological changes in drought resistance in corn. *Journal of Crops Physiology*. 14, 44-37. [In Persian with English summary].
- Kalhature, A., Shete, B., Dhonde, M., 2013. Integrated nutrient management in maize (*Zea Mays* L.) for increasing production with sustainability. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*. 4(3), 195-206.
- Lak, Sh., Ahmadi, A., Siyadat, A., Nourmohamadi, Gh., 2007. Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield and its components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Science*. 7(2), 153-170. [In Persian with English summary].
- Maghsudi, E., Ghalavand, A., Aghaalkhani, M., 2012. The effect of different levels of fertilizer (organic, biological and chemical) on morphological traits and yield of maize single cross hybrid 704. *Agronomy Journal*. 104, 129-135.
- Majidi, M. M., Mirlohi, A.F., 2009. Multivariate statistical analysis in Iranian and foreign tall

- fescue germplasm. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 40, 89-98. [In Persian with English summary].
- Marjanovic-Jeromela, A., Marinkovic, R., Mijic, A., Jankulovska M., Zdunic, Z., 2007. Interrelationship between oil yield and other quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Central European Agriculture 8(2), 165-170.
- 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.
- Moshaver, E., Emam, Y., Madani, H., Nourmohamadi, G., Heidari-Sharifabad, H., 2015. Comparison of qualitative and quantitative performance of forage crops maize, sorghum and amaranth as affected by planting density and date. Trends in Life Sciences. 4, 97-105.
- Naderi, T., Sohrabi, Y., Heidari, Gh., 2013. Translation error effects of biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative traits of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. MSc. Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran. [In Persian].
- Nasrollah Zadeh Asl, P., Shirkhani, A., Zehtab Salmasi S., Chokan, R. 2016. Effect of chemical and biological fertilizers on grain yield and corn leaf characteristics in different irrigation conditions. Journal of Agricultural Practice Research. 29 (4), 75-86. [In Persian with English summary].
- Puryusf Zawidy, A., 2013. Effect of nitrogen and phosphorus bio chemical and phosphorous fertilizers on quantitative and qualitative yield of sunflower. Journal of Agriculture Sciences and Sustainable Production. 1, 95-112. [In Persian with English summary].
- Rabbani, J., Emam, Y., 2012. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. Journal of Crop Production and Processing. 1, 65-78. [In Persian with English summary].
- Salehi, A., Seifollah, F., Iranpour, R., Souraki, A., 2014. The effect of fertilizer use in combination with cow manure on growth, yield and yield components of Black-caraway (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology. 6(3), 495-507. [In Persian with English summary].
- Seyedi, M., Mojaddam, M., Babaei Nejad. T., Derogar, N., 2018. Study of the chemicals and biological interaction effects on quantitative and qualitative characteristics of some bread wheat cultivars in Shoushtar climatic. Journal of Plant Sciences. 8 (1), 1 -12. [In Persian with English summary].
- Thalooth, A.T., Tawfik, M.M., Magda Mohamad, H., 2006. A comparative study on the effects of foliar application of Zinc, Potassium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants growth under water stress condition. World Journal for Agriculture Science. 2(1), 37-46.
- Zaidi, P., Mamata, H., Yadav, D., Singh, K., Singh. R. P., 2008. Relationship between drought and excess moisture tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). Australian Journal of Crop Science. 1(3), 78- 96.
- Zengin, K.F., 2006. The effects of Co^{2+} and Zn^{2+} on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Strike) seedlings. Journal of Environmental Biology. 27, 441-448.