به زراعی کشاورزی
دوره ۲۲ ■ شماره ٤ ■ زمستان ۱۳۹۹
صفحه‌های ٦٤٤-٦٢٩

مقاله پژوهشی:

بررسی واکنش‌های بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کینوا تحت تنش کم‌آبیاری و تیمارهای کودی در خاک شور

مهدی امیریوسفی[۱]، محمودرضا تدین[۲*]، رحیم ابراهیمی[۳]
۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳. استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

چکیده
این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای شور (هدایت الکتریکی ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر)، واقع در منطقه دستگرد اصفهان انجام شد. چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح کود زیستی (شاهد، نیتروکسین، بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر) و دو سطح کود شیمیایی (عدم کاربرد و کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر) به‌عنوان عوامل فرعی مورد مطالعه قرار گرفتند. تنش شدید خشکی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز، میزان پرولین و میزان مالون‌دی‌آلدئید در کینوا را به‌ترتیب حدود ٤٦، ٥٢، ١٤٢، ٤٢ و ٣٩ درصد نسبت به شرایط بدون تنش آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه افزایش داد و در نتیجه موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب حدود ٧٦ و ٤٩ درصد) در این گیاه گردید. با این وجود در تمامی سطوح تنش خشکی، تیمار تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر در شرایط کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر بیش‌ترین تأثیر را بر تعدیل اثرات تنش خشکی، کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و در نتیجه افزایش عملکرد در مقایسه با سایر تیمارهای کودی در همان سطح خشکی داشت. نتایج در مجموع نشان داد که گیاه کینوا با وجود شوری خاک محل آزمایش، توانست حتی در شرایط تنش شدید خشکی، دوره رشد خود را کامل کند و بذر تولید نماید.

کلیدواژه‌ها: تنش اسمزی، فسفر، کاتالاز، کینوا، نیتروژن.

Investigating the Biochemical Reactions and Antioxidant Enzymes Activity of Quinoa under Water Deficit Stress and Fertilization Treatments in Saline Soil

Mahdi Amiryousefi[1], Mahmoud Reza Tadayon[2*], Rahim Ebrahimi[3]
1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Professor, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
Received: December 2, 2019 Accepted: May 30, 2020

Abstract
The present experiment has been conducted as a split plot factorial based on completely randomized block design with three replications in 2018-2019 crop season on a saline farm (with an electrical conductivity of 5.2 dS/m) in Dastgerd area, Isfahan Province. Four levels of irrigation (25%, 50%, 75%, and 100% of FC) compose the main factors and biofertilizer (the control, Nitroxin, Biophosphorus, and their combination) as well as chemical fertilizer in two level of no application and integrated application of nitrogen and phosphorus fertilizers are the sub-factor. Severe drought stress (25% FC irrigation treatment) increase the measured traits (antioxidant enzyme activity including catalase, peroxidase, and superoxide dismutase along with Proline and Malondialdehyde content) in quinoa by about 46%, 52%, 142%, 42%, and 39%, compared to non-stress conditions (100% FC irrigation treatment), respectively. Also, they significantly reduce grain and biological yield in this plant (by about 76% and 49%, respectively). However, at all drought stress levels , the combination of nitroxin and biophosphorus under conditions of simultaneous use of chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus shows the maximum effect on moderation of drought stress effects, significantly reducing the activity of antioxidant enzymes and, consequently, increasing yield, compared to other treatments at the same drought level. Overall, the results demonstrate that despite the salinity of the tested soil, quinoa has been able to complete its growth and seed production even under severe drought stress conditions.

Keywords: Catalase, nitrogen, osmotic stress, phosphorus, quinoa.

* نویسنده مسئول
Email: tadayyon-m@sku.ac.ir

۱. مقدمه

در حال حاضر کشاورزی یکی از عمده‌ترین مصرف‌کننده منابع آب جهان و در نتیجه آسیب‌پذیرترین بخش از بحران کم‌آبی است. از این رو مهم‌ترین مشکلی که امنیت غذایی کشور و جهان را تهدید می‌کند، کمبود منابع آب مناسب است، به‌نحوی‌که نیاز به غذای بیش‌تر و محدودیت منابع آب، بشر را به سمت اعمال مدیریت کم‌آبیاری سوق داده است. علاوه بر این، در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که به کم‌آبی مواجه هستند مشکل شوری نیز وجود دارد، به همین دلیل در این مناطق گیاهان اغلب به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر هر دو تنش شوری و کم‌آبی قرار دارند (Hoseini *et al.*, 2018).

افزایش تنش‌های محیطی، منجر به بروز تغییرات مورفولوژی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان می‌شوند که رشد گیاه و عملکرد آنها را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. از جمله تغییرات مهم بیوشیمیایی در گیاهان در معرض تنش‌های محیطی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] است. رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پیوندهای دوگانه اسیدهای چرب غیر اشباع در غشا واکنش‌های زنجیره‌ای پراکسیداسیون را هدف گرفته و منجر به تخریب اسیدهای چرب می‌شوند (Heshmati *et al.*, 2016). گیاهان متحمل به تنش‌های محیطی به‌منظور جلوگیری و یا کاستن از آسیب‌های ناشی از انواع اکسیژن فعال، دارای سامانه‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی گسترده‌تری نسبت به سایر گیاهان زراعی هستند که شامل آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز می‌باشند (Agarwal & Pandey, 2004). با توجه به شرایط خشک‌سالی‌های ممتد در کشور و کمبود منابع آبی و در پی آن، شوری منابع آب و خاک، تولید برخی از گیاهان زراعی و باغی مرسوم در مناطق خشک کشور با محدودیت‌های زیادی مواجه شده و این موضوع موجب کاهش عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی در این مناطق شده است. از این‌رو، معرفی گیاهان جدید و با پتانسیل عملکرد بالا که هم از نظر زراعی در شرایط خشک و شور عملکرد مناسبی داشته باشند و هم محصول تولیدی، از کیفیت بالایی برخوردار باشد موردتوجه قرار گرفته است (Hoseini *et al.*, 2018).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)، گیاهی یکساله و با خاستگاه آمریکای لاتین است. گزارش شده است این گیاه مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزیستی از خود نشان داده است و قابلیت رشد در زمین‌های حاشیه‌ای را دارد (Prager *et al.*, 2018). در برخی منابع گزارش شده است که گیاه کینوا به‌دلیل تحمل نسبتاً بالای به تنش‌های خشکی و شوری (Adolf *et al.*, 2013)، تنوع ژنتیکی بالا و تطابق‌پذیری به اقلیم‌های مختلف (Basra *et al.*, 2014) و کارایی بالای استفاده از منابع آب (Prager *et al.*, 2018)، می‌تواند گیاه مناسبی برای استفاده از منابع آب محدود و خاک‌های بسیار شور باشد. از نظر ارزش غذایی نیز دانه کینوا که محصول اصلی این گیاه است، بین ۱۴ تا ۲۰ درصد پروتئین (حدود دو برابر دانه گندم) دارد و سرشار از اسید آمینه‌های ضروری مانند لیزین و متیونین است که در بیش‌تر گیاهان غله‌ای، به میزان کمی وجود دارند (Iqbal *et al.*, 2018). به‌نحوی‌که ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا موجب مقایسه آن با شیر خشک توسط سازمان خواروبار جهانی شده است (Hoseini *et al.*, 2018). مجموع این عوامل سبب شده که توسعه کینوا به‌عنوان یک گیاه مناسب در راستای دست‌یابی به سیاست‌های جهانی کشاورزی پایدار موردتوجه قرار گیرد، به‌نحوی‌که سطح زیر کشت جهانی این گیاه از ۳۶ هزار هکتار در سال ۱۹۸۰ به ۲۰۰ هزار هکتار در سال ۲۰۱۷ رسیده است (Kaoutar *et al.*,

1. Reactive Oxygen Species (ROS)

2017). گزارش شده است که عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام کینوا تحت تأثیر تنش خشکی تا سطح معنی‌داری کاهش می‌یابد (Telahigue *et al.*, 2017). این در حالی است که تنش هم‌زمان خشکی و شوری موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌های گیاه نسبت به حالت بدون تنش می‌شود (Muscolo *et al.*, 2016). به‌نحوی‌که با بررسی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه کینوا تحت سطوح مختلف خشکی نشان داده شد که در سطوح بالای تنش خشکی میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در کینوا به‌طور معنی‌داری افزایش و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Sadak *et al.*, 2019). اما تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد گیاه کینوا ناچیز (غیرمعنی‌دار) گزارش شده است (Pulvento *et al.*, 2012). از طرفی گزارش شده است که کینوا در شرایط تنش خشکی به‌منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله کربوهیدرات‌های محلول و پرولین پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد. به‌عبارت دیگر گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی به‌وسیله فرایند تنظیم اسمزی اثرات خشکی را کاهش می‌دهد (Muscolo *et al.*, 2016). زمانی‌که آب به‌کاررفته از طریق آبیاری، کم‌تر از مقدار نیاز آبی گیاه زراعی باشد استفاده از کود بر مبنای آبیاری کامل باعث هدررفت کود، افزایش شوری خاک و افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود (Nasir Khan *et al.*, 2018). این در حالی است که با توجه به عدم توانایی اکثر خاک‌های زراعی کشور، در تأمین کامل عناصر غذایی برای گیاهان، میزان مصرف کودهای شیمیایی در ایران بسیار بالاتر از میانگین جهانی است (Sabbagh *et al.*, 2017). بنابراین، جهت افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، روش‌های مصرف کود باید به‌گونه‌ای تغییر کند که مواد غذایی موردنیاز گیاه در طول یک مدت طولانی و بدون تلفات در اختیار گیاه قرار گیرد (Nasir Khan *et al.*, 2018). استفاده از کودهای زیستی حل‌کننده فسفر و تثبیت‌کننده نیتروژن، از جمله روش‌های عملیات زراعی بهینه است که می‌تواند به جذب بهینه عناصر غذایی توسط گیاه کمک کند و موجب کاهش شوری خاک و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی شود (Stamenkovic *et al.*, 2018). کودهای زیستی، شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی بوده کـــه طی فرایندهای بیولوژیکی، عناصر غذایی اصلی را از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل‌دسترس گیاه تبدیل نموده و منجر به جوانه‌زنی بهتر بذر و توسعه سامانه ریشه‌ای گیاه می‌گردند (Enebe & Babalol, 2018). کود زیستی نیتروکسین از طریق بهبود مواد آلی و فعالیت بیولوژیک خاک و عرضه عناصر غذایی، موجب افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌گردد (Sabbagh *et al.*, 2017) کود زیستی بیوفسفر نیز با ترشح اسید فسفاتاز سبب افزایش حلالیت فسفر نامحلول می‌شوند (Heshmati *et al.*, 2016).

بنا بر گزارش Gomaa (2013) تیمار کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی و زیستی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کینوا نسبت به تیمار شاهد شده است. در پژوهشی دیگر، تأثیر سطوح متوسط (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و بالای (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) کود نیتروژن بر افزایش عملکرد گیاه کینوا معنی‌دار گزارش شده است (Basra *et al.*, 2014). گزارش شده که استفاده از کودهای زیستی با مکانیسم‌های متعددی از جمله تثبیت نیتروژن، کمک به آزادشدن و فراهمی عناصر غذایی در خاک، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، افزایش کارایی جذب ریشه و اثرات آنتاگونیستی بر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، موجب تعدیل تنش اسمزی‌شده و اثرات منفی تنش‌ها را بر گیاهان زراعی را

کاهش می‌دهند (Enebe & Babalol, 2018)، اما مطالعات اندکی درباره تأثیر کودهای زیستی بر تغییرات بیوشیمیایی و مولکولی گیاه کینوا تحت شرایط تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی در خاک شور صورت گرفته است. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تعدیل اثر تنش‌های خشکی و شوری و در نهایت عملکرد گیاه کینوا تحت شرایط مختلف آبیاری در یک خاک شور بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای شور (هدایت الکتریکی ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر) واقع در منطقه دستگرد (برخوار) اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ٤٨ دقیقه و ارتفاع ۱۵۷۲ متری از سطح دریای آزاد در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. برپایه طبقه‌بندی کوپن این منطقه دارای اقلیم بیابانی با تابستان بسیار گرم است. متوسط بارندگی و درجه حرارت و تبخیر و تعرق سالانه آن به‌ترتیب ۱۳۵ میلی‌متر، ١٦/٥ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. سطوح آبیاری شامل ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب کود زیستی در چهار سطح شاهد (بدون کود زیستی)، نیتروکسین، بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر و کود شیمیایی در دو سطح عدم کاربرد و کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

کودهای زیستی نیتروکسین (حاوی غلظت‌های مختلف از باکتری‌های ازتوباکتر[1]، آزوسپیریلوم[2] و باکتری‌های محرک رشد) و بیوفسفر (شامل دو نوع باکتری حل‌کننده فسفر از گونه‌های باسیلوس[3] و سودوموناس بر اساس توصیه شرکت سازنده هنگام کشت به‌صورت بذر مال و به میزان مصرف یک لیتر در هکتار مصرف گردیدند. مطالعات در مورد نیاز کودی کینوا بسیار محدود است. با این وجود مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، بدون این‌که کاهش کارایی مصرف کود را به همراه داشته باشد، موجب بهبود عملکرد کینوا شده است (Garcia *et al.*, 2015). بر این اساس و بر مبنای نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه کودی توسط آزمایشگاه، تیمارهای کود شیمیایی به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۷۵ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در هکتار اعمال شدند. لازم به ذکر است که تمامی کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل و ۵۰ درصد کود نیتروژن قبل از کاشت به زمین اضافه شد و ۵۰ درصد باقیمانده کود نیتروژنه نیز قبل از گلدهی به‌کار رفت (Garcia *et al.*, 2015). هم‌چنین جهت سنجش دقیق اثر عناصر غذایی مورد آزمایش، قبل از کاشت به همه کرت‌ها براساس آزمون خاک و توصیه آزمایشگاه، سایر عناصر و کودهای توصیه‌شده شامل عنصر روی به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کودی سولفات روی و ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملا پوسیده شده اضافه شد.

ابعاد کرت‌های اصلی در این پژوهش ٦×١/٨ متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها (تکرارها) دو متر در نظر گرفته شد و هر کرت شامل شش خط کاشت به طول شش متر بود. عملیات کاشت گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه به‌روش خشکه‌کاری و با دست انجام شد.

1. Azotobacter
2. Azesprolium
3. Bacillus

جدول ۱. مشخصات خاک محل آزمایش

عمق نمونه (cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن (%)	کربن آلی (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک
۰-۳۰	۷/۸	۵/۲	۳۳۵	٦/۷	۰/۰۸	۰/۸۲	۲۷	٤٤	۲۹	سیلتی لوم

بذرها در هر خط کاشت با فاصله حدود ۱۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر در عمق تقریبی یک تا دو سانتی‌متر کشت گردیدند، به‌نحوی‌که تراکم بوته‌ای معادل ۳۳ بوته در مترمربع ایجاد شد (Basra *et al.*, 2014). عملیات برداشت نیز در تاریخ ۲۲ شهریورماه و با دست صورت گرفت. لازم به ذکر است که خطوط یک، شش و نیم متر از هر طرف به‌عنوان حاشیه، خطوط دو و سه، جهت سطح نمونه‌برداری و خطوط چهار و پنج به مساحت پنج مترمربع جهت سطح برداشت در نظر گرفته شد.

نیاز آبی گیاه کینوا برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه ۳٤۸ تا ٥٤٤ میلی‌لیتر برآورد شده است (Adolf *et al.*, 2013). ضریب گیاهی کینوا نیز در مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب ۰/۵۲، ۱ و ۰/۷۰ گزارش شده است (Garcia et al., 2015). بر این اساس و با توجه به این‌که مراحل زایشی یعنی تشکیل گل‌آذین تا پرشدن دانه، حساس‌ترین مراحل به خشکی در کینوا گزارش شده است (Hinojosa *et al.*, 2018)، در این پژوهش تنش خشکی (تیمارهای رژیم رطوبتی) با توجه به مراحل رشد فنولوژی کینوا، براساس مقیاس کدگذاری BBCH، از مرحله ۰-٤: (مرحله نمو قطعات رویشی قابل برداشت) اعمال شد. برای این منظور، ابتدا جهت تعیین درصد رطوبت وزنی خاک مزرعه در شرایط ظرفیت زراعی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از تکرارهای هر آزمایش نمونه‌برداری شد و با استفاده از صفحه فشاری تحت مکش ۰/۳ اتمسفر قرار داده شد. بر این اساس، درصد رطوبت وزنی در شرایط ظرفیت مزرعه ۲۹ درصد تعیین شد. هم‌چنین به‌منظور تعیین دقیق زمان آبیاری، در هر تیمار پس از گذشت ٤۸ ساعت از زمان آبیاری، اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) شد. نمونه‌های برداشت‌شده بلافاصله توزین و جهت تعیین درصد رطوبت وزنی خاک، در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشکانده شدند. آبیاری برای تیمارهای ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه زمانی انجام می‌شد که رطوبت خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر به‌ترتیب به ۲۱/۷۵، ۱٤/۵ و ۷/۲۵ درصد رسیده بود. حجم آب مصرفی موردنیاز هر تیمار نیز از رابطه (۱) محاسبه شد (Alizadeh, 2008).

$$V= (FC- \Theta_m)\ \rho_b \times D_{Root} \times A / E_i \qquad (1)$$

V: حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، FC: درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه، Θ_m: درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، ρ_b: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D_{Root}: عمق توسعه ریشه برحسب متر، A: مساحت آبیاری‌شده برحسب مترمربع و E_i: کارایی آب مصرفی می‌باشند. بدین ترتیب، حجم آب موردنیاز در هر مرتبه آبیاری در هر آزمایش محاسبه و براساس کارآیی توزیع آب ۹۰ درصد با استفاده از پمپ و کنتور به‌صورت یکنواخت توزیع گردید.

میزان پرولین، فعالیت آنزیم کاتالاز، فعالیت آنزیم پراکسیداز و فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در کینوا به‌ترتیب از روش‌های Bates (1973)، Aebi (1984)، Bradford (1976) و Dhindsa & Motowe (1981) محاسبه شدند. به‌منظور اندازه‌گیری زیست‌توده کل

(عملکرد بیولوژیک) و عملکرد دانه، بوته‌های موجود در هرکرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای در پنج مترمربع به‌صورت جداگانه کف‌بر شده و برداشت گردید. سپس با وزن کردن کل نمونه، عملکرد بیولوژیک تعیین شد. پس از آن دانه‌ها را از کاه و کلش جدا کرده و عملکرد دانه از مساحت برداشت‌شده محاسبه شد. داده‌های حاصل از آزمایش نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و میانگین‌ها به‌وسیله آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. برای رسم شکل‌ها از برنامه Excel استفاده گردید.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. میزان پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده سطوح آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی، هم‌چنین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی و اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود شیمیایی بر پرولین کینوا معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی (شکل ۱- الف) نیز نشان داد که با بروز تنش خشکی و افزایش شدت آن، مقدار پرولین در کینوا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی شدید (تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه مقدار پرولین در این گیاه در مقایسه با شرایط تنش خشکی متوسط (تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه)، شرایط تنش خشکی ملایم (تیمار آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه) و شرایط عدم تنش (تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) به‌ترتیب ۱۰/۲۵، ۳۵/۱۰ و ٤۲/٦۲ درصد افزایش پیدا کرد با این وجود در تمامی سطوح تنش خشکی، کاربرد کودهای زیستی (شکل ۱- الف) و شیمیایی (شکل ۱- ب) موجب کاهش میزان پرولین کینوا نسبت به تیمار عدم کاربرد کود در سطوح آبیاری مشابه گردید.

افزایش غلظت پرولین در کینوا تحت شرایط تنش هم‌زمان خشکی و شوری، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش‌های شدید محیطی معرفی شده است (Adolf *et al.*, 2013). به‌نحوی‌که بنا به گزارش‌ها، تجمع پرولین در کینوا از طریق ایجاد تعادل اسمزی، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشای سلول، تثبیت ساختارهای درون‌سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد موجب کاهش اثرات تنش اسمزی در این گیاه شده است (Gonzalez *et al.*, 2009). دلایل افزایش پرولین در گیاه تحت شرایط تنش شدید خشکی، ممانعت از اکسیداتیو پرولین، جلوگیری از شرکت آن در ساخت پروتئین‌ها و تولید بیش‌تر پرولین در بافت‌های این گیاه در پاسخ به افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از تنش خشکی گزارش شده است (Hinojosa *et al.*, 2018). با این وجود در برخی گیاهان از جمله گوجه‌فرنگی، میزان پرولین تحت شرایط تنش در ارقام متحمل، کم‌تر از ارقام حساس گزارش شده است و این موضوع (کاهش میزان پرولین در ارقام متحمل به تنش‌های محیطی) باعث مطرح‌شدن این فرضیه شده که پرولین ضرورتاً یک مشخصه سازگاری به تنش نیست و می تواند یک نشانه بروز تنش نیز باشد (Sanchez-Rodriguez *et al.*, 2010). از طرفی در بیان علت تجمع کم‌تر پرولین در گیاه کینوا تحت تیمار کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط تنش اسمزی، گزارش شده است که مصرف تیمارهای مختلف کودی در کینوا از طریق بهبود فعالیت میکروبی خاک و در دسترس قراردادن انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد (سیتوکینین، اکسین، بیوتین و اسید پنتوتنیک) و نیز فراهمی بهتر عناصر غذایی، سبب کاهش اثرات تنش و در نتیجه کاهش تجمع پرولین در این گیاه شده است (Fawy *et al.*, 2017).

۳. ۲. آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده

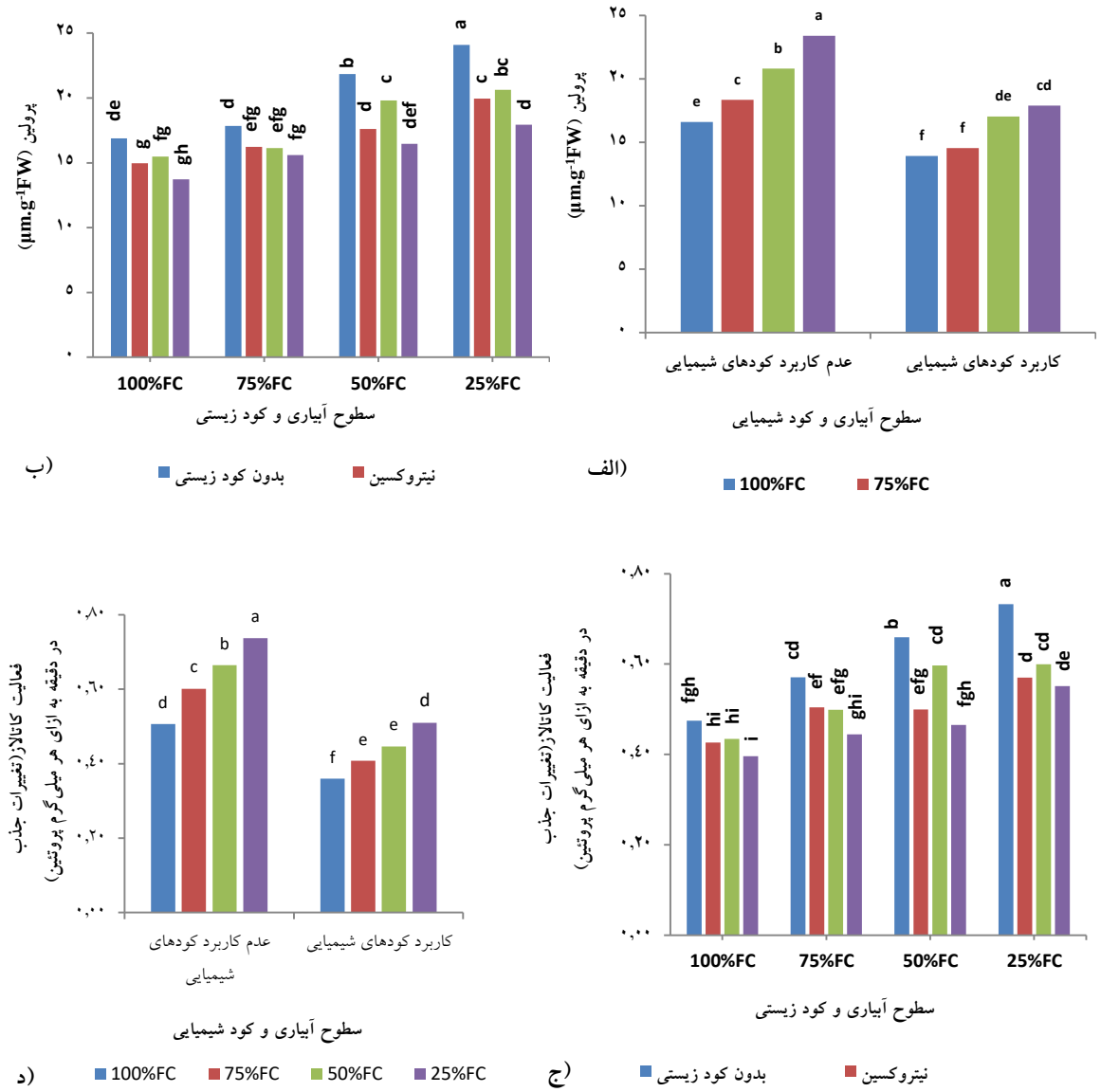
سطوح آبیاری، کود زیستی، کود شیمیایی و هم‌چنین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی و اثر برهم‌کنش کود زیستی در کود شیمیایی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کینوا معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی موجب افزایش فعالیت کاتالاز در کینوا شده است (شکل ۱- ج). کاتالاز یکی از آنزیم‌های مهم برای حذف پراکسید هیدروژن (H_2O_2)موجود در پروکسی‌زوم‌های گیاهان به‌شمار می‌رود (Agarwal & Pandey, 2004). به‌طورکلی، گزارش شده است که وجود H_2O_2 در گیاهان از این نظر دارای اهمیت است که در غلظت‌های متوسط، به‌عنوان مولکول سیگنال عمل نموده و در سنتز پیش ماده‌های پروتئین دیواره سلولی مشارکت دارد. اما در غلظت‌های بالا برای گیاه سمی بوده و آسیب‌های اکسیداتیو را به‌دنبال دارد (Aman *et al.*, 2019).

Al-Naggar *et al.* (2017) با بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر ارقام کینوا گزارش کردند که در شرایط شاهد (عدم تنش) و سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه (تنش ملایم) غلظت H_2O_2 در این گیاه به آستانه خسارت نمی‌رسد. ولی با شدیدترشدن سطوح تنش خشکی، غلظت H_2O_2نیز بیش‌تر شده و کینوا برای مقابله با آن، سنتز (فعالیت) آنزیم کاتالاز را تشدید می‌نماید. Adolf *et al.* (2013) نیز افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز در سطوح بالای شوری را نوعی فعالیت خودتنظیمی کارآمد در گیاه کینوا جهت مقابله با تنش محیطی و تخفیف اثرات منفی آن معرفی کردند. نتایج پژوهش حاضر هم‌چنین نشان داد که در تمامی سطوح خشکی، کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی، فعالیت آنزیم کاتالاز در کینوا را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی (شکل ۱- ج) و بدون کود زیستی (شکل ۱- د) در همان سطح خشکی کاهش داد. هم‌چنین در تیمارهای آبیاری ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه (سطوح متوسط و شدید خشکی)، ابتدا تیمار کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر و پس از آن نیز تیمار تلقیح بذور تنها با نیتروکسین بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در کینوا داشت (شکل ۱- ج).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مختلف کینوا در شرایط تنش و سطوح مختلف کودهای زیستی و شیمیایی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پرولین	کاتالاز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
تکرار	۲	۰/۸۶ns	۰/۰۰۲۵ns	۰/۰۱۷**	۱۹/۹۳**	۱۴۶۲۷۱/۱۷*	۱۲۱۳۱۰۲/۰۶*
سطوح آبیاری	۳	۱۴۱/۵۴**	۰/۱۵**	۰/۲۲**	۴۵۴/۷۰**	۳۰۳۷۱۲۳/۰۱**	۱۲۱۵۸۸۷۳/۴۲**
خطای عامل اصلی	۶	۰/۸۹	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۸	۴/۸۹	۴۳۴۹۶/۲۲	۸۳۴۹۳۵/۱۶
کود زیستی	۳	۷۶/۲۹**	۰/۰۸**	۰/۰۳**	۶۲/۱۱**	۴۰۲۱۳۴۸/۶۲**	۶۵۹۰۹۵۴/۸۳**
کود شیمیایی	۱	۳۷۲/۲۶**	۰/۹**	۰/۲۴**	۴۰۰/۶۱**	۹۱۹۳۴۱۲/۹۲**	۲۸۵۱۴۳۹۷/۴۱**
سطوح آبیاری × کود زیستی	۹	۴/۴۷**	۰/۰۰۵۸*	۰/۰۰۱۲ns	۱۳/۵۶**	۱۶۲۹۴۷/۷۶**	۸۷۶۸۵۶/۹۴*
کود زیستی × کود شیمیایی	۳	۰/۵۶ns	۰/۰۰۶۱ns	۰/۰۰۳۲ns	۳۲/۶۰**	۱۰۵۵۴۴/۳۵**	۱۲۱۰۱۴۹/۱۳*
سطوح آبیاری × کود شیمیایی	۳	۸/۰۷**	۰/۰۰۷۸*	۰/۰۰۶۸*	۸۰/۷۷**	۲۳۶۱۸۱/۱۶**	۵۴۱۴۳/۷۷ns
سطوح آبیاری × کود زیستی × کود شیمیایی	۹	۲/۲۳ns	۰/۰۰۳۱ns	۰/۰۰۰۷ns	۱۱/۰۵**	۵۶۴۷۳/۶۶ns	۲۵۵۰۴۵/۱۴ns
خطای کل	۵۶	۱/۲۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۰	۲/۸۲	۳۲۰۴۶/۳۳	۳۳۳۸۰۶/۹۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۶/۲۰	۹/۳۱	۱۱/۵۹	۸/۶۴	۱۴/۶۶	۱۵/۰۲

ns، * و **: به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۱. (الف) و (ب) به‌ترتیب مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی و اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود شیمیایی بر میزان پرولین در گیاه کینوا. (ج) و (د) به‌ترتیب اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود شیمیایی و اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه کینوا. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

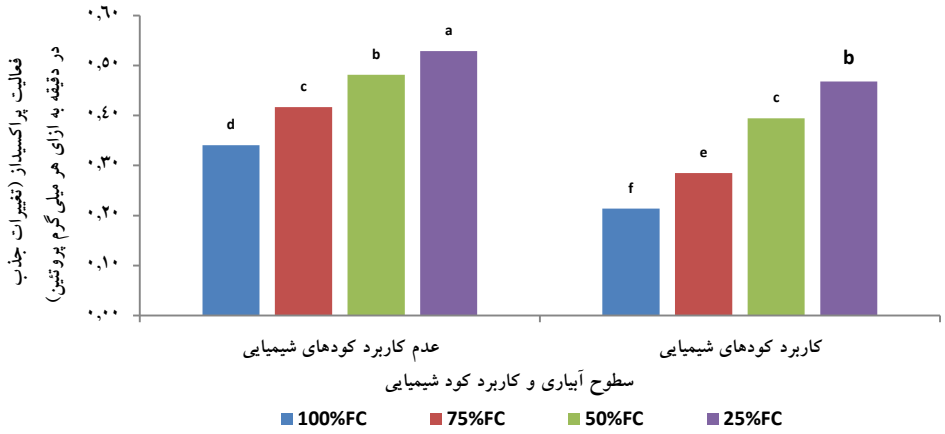
کاهش شدیدتر (معنی‌دار) غلظت آنزیم کاتالاز در اثر کاربرد کودهای شیمیایی و کود زیستی نیتروژن در سطوح مختلف خشکی، نشانگر تأثیر بیش‌تر منابع کود نیتروژن بر کاهش اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی و شوری در کینوا بوده است. با توجه به این‌که تغذیه مناسب گیاهی در بالابردن سطح تحمل گیاهان در برابر انواع تنش‌ها نقش به‌سزایی دارد (Stamenkovic *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر نیز احتمالاً، تأمین مناسب و تدریجی نیتروژن، هم از

طریق استفاده از کود شیمیایی نیتروژن و هم به‌واسطه حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در کودهای زیستی، توانسته از طریق فراهم‌کردن شرایط مناسب‌تر رشد برای گیاه، اثرات تنش بر کینوا را کاهش دهد و در نتیجه آن، گیاه مقدار کاتالاز کم‌تری تولید کرده است.

۳. ۳. آنزیم پراکسیداز

اثرات ساده سطوح آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی و اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود شیمیایی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در کینوا معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش‌های سطوح آبیاری در کود شیمیایی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (شکل ۲) نیز نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی، فعالیت آنزیم پراکسیداز را به‌طور معنی‌داری تحت هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی افزایش داده است. با این وجود، در تمامی سطوح آبیاری، کاربرد کودهای شیمیایی موجب کاهش معنی‌دار فعالیت این آنزیم نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی در سطح آبیاری مشابه شده است. به‌نحوی‌که حداکثر فعالیت آنزیم پراکسیداز در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی در شرایط تنش شدید خشکی (تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) مشاهده شد. اما این مقدار (حداکثر فعالیت آنزیم پراکسیداز) در شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی حدود ۱۳ درصد بیش‌تر از شرایط کاربرد کودهای شیمیایی بوده است (شکل ۲).

به‌طور کلی، گزارش شده است که پراکسیداز به‌عنوان آنزیم مقابله با تنش در گیاهان عالی، در برخی از فرایندهای سلولی مانند سازوکار دفاعی، اتصال عرضی مونومرهای گلیکوپروتئین‌های غنی از هیدروکسی پرولین موجود در دیواره سلولی، اتصال عرضی پلی‌ساکاریدهای پکتیکی به‌وسیله اسیدهای فنولیک در دیواره سلولی و عمل چوبی‌شدن و چوب‌پنبه‌ای‌شدن شرکت می‌کند و از این طریق موجب تعدیل اثرات مخرب تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی در گیاهان می‌شود (Das & Roychoudhury, 2014). Hinojosa *et al.* (2018) با بررسی اثر هم‌زمان تنش خشکی و شوری بر کینوا گزارش کردند که آنزیم پراکسیداز از طریق سم‌زدایی پراکسید هیدروژن نقش مهم و کلیدی در محافظت این گیاه در برابر تنش‌های محیطی ایفا می‌کند. تأثیر شوری آب آبیاری نیز بر افزایش میزان آنزیم پراکسیداز در گیاه کینوا معنی‌دار گزارش شده است (Pulvento *et al.*, 2012).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود شیمیایی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه کینوا

(میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)

در مورد تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی بر صفات کمی و کیفی کینوا در شرایط تنش خشکی نیز گزارش شده است که تأمین مناسب و کافی عناصر غذایی موردنیاز گیاه از طریق استفاده از کودهای شیمیایی از طریق تأمین متعادل عناصر غذایی موردنیاز گیاه و تأمین انرژی کافی برای رشد و بقای گیاه، موجب کاهش شدت تنش اکسیداتیو و اسمزی در این گیاه شده است (Basra *et al*., 2014).

۳. ٤. آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

نتایج داده‌ها نشان داد که میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در کینوا تحت تأثیر تیمارهای سطوح آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی قرار گرفت. به‌طوری‌که اثر ساده هم‌چنین اثرات برهم‌کنش دوگانه و سه‌گانه این تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۱). براساس نتایج حاصل از مقایسه‌ی میانگین‌ها (شکل ۲) بیش‌ترین میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز کینوا (۳۲/۳۵ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) تحت تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه و عدم کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی مشاهده شد. کم‌ترین میزان این آنزیم نیز (۱۳/۰۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) نیز در تیمار آبیاری کامل و کاربرد هم‌زمان کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر به‌همراه کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی مشاهده شد. نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش سطوح خشکی، میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در کینوا در تمامی تیمارهای کودی افزایش یافت. با این وجود، تحت تنش شدید خشکی (تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی، تیمار کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیش‌ترین تأثیر را بر تعدیل اثرات تنش و در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز داشته است (شکل ۳- الف).

گزارش شده است که رادیکال‌های سوپر اکسید تولیدشده در اثر تنش شدید شوری در کینوا با فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به H_2O_2 تبدیل شده و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز از تجمع H_2O_2 جلوگیری می‌نمایند، بنابراین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌عنوان یک سیستم خودتنظیم‌گر موجب برقراری تعادل بین تولید و خنثی‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال در این گیاه می‌شوند (Adolf *et al*., 2013). هم‌چنین گزارش شده که میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در کینوا تحت سطوح متوسط و بالای خشکی افزایش یافته و به‌عنوان یک سیستم دفاعی موجب حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و تعدیل اثرات شوری در این گیاه شده‌اند (Gonzalez *et al*., 2009). این گزارش‌ها یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کند.

Gomaa (2013) نشان داد که کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی و زیستی از طریق افزایش و تحریک رشد منجر به افزایش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات‌ها در کینوا شده و با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های خاک، شرایط ریزوسفر را برای رشد بوته‌های این گیاه بهبود بخشیده است. در پژوهش حاضر نیز به‌نظر می‌رسد تیمار کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بیش‌ترین تأثیر را در تعدیل اثرات تنش هم‌زمان شوری و خشکی بر گیاه کینوا داشته و در نتیجه تولید و فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز که مهم‌ترین آنزیم در فرایند حذف و خنثی‌سازی رادیکال‌های سوپر اکسید است (Sanchez-Rodriguez *et al*., 2010) را کاهش داده است.

۳. ۵. عملکرد دانه

نتایج نشان داد که تمامی اثرات ساده و برهم‌کنش تیمارهای سطوح آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی

(به‌جز اثر برهم‌کنش سه‌گانه این تیمارها) بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی، عملکرد دانه در کینوا را تحت هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی کاهش داده است. با این وجود، حداکثر عملکرد دانه در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی نسبت به حداکثر عملکرد در شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی ٦٦/٢٥ درصد بیش‌تر بود (شکل ٤- الف). این در حالی است که کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر، بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش معنی‌دار عملکرد کینوا در هر دو سطح کاربرد یا عدم کاربرد کودهای شیمیایی (شکل ٤- ب) و تمامی سطوح آبیاری (شکل ٤- ج) داشته است. به‌عبارت دیگر، تنش خشکی در محیط شور، عملکرد دانه کینوا را در همه سطوح کودی مورد بررسی کاهش داده است، اما این کاهش در شرایط کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی نسبت به شرایط بدون کاربرد کود کم‌تر بوده است.

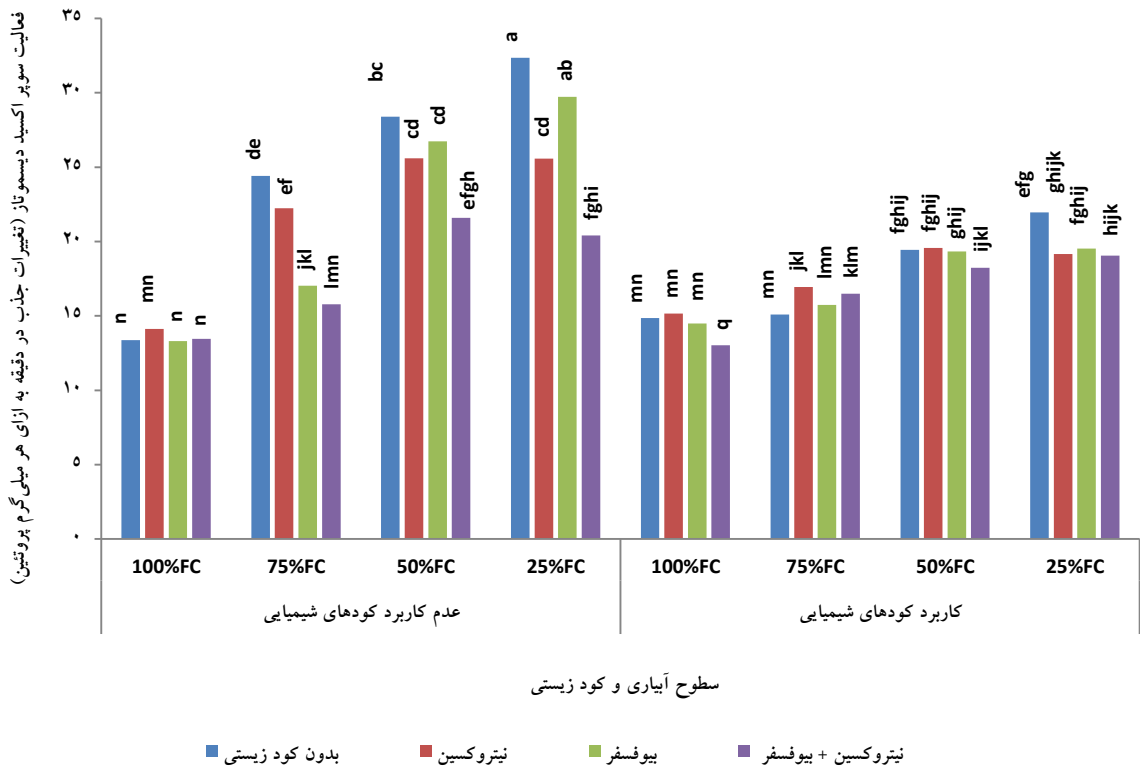
کاهش عملکرد دانه کینوا در اثر تنش هم‌زمان خشکی وشوری معنی‌دار گزارش شده است (Cocozza *et al.*, 2012). هم‌چنین گزارش شده است که تنش خشکی در کینوا موجب کاهش تعداد خوشه‌های بارور و کاهش وزن دانه‌های این گیاه شده و در نتیجه کاهش عملکرد را به‌همراه داشته است (Gonzalez *et al.*, 2015). با بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر کینوا نشان داده شد که عملکرد دانه در این گیاه تحت تنش خشکی شدید (تیمار آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه) به یک سوم میزان عملکرد در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) کاهش یافت (Telahigue *et al.*, 2017). یافته‌های این پژوهش‌گران با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. کاهش عملکرد دانه کینوا تحت شرایط تنش خشکی به کاهش فتوسنتز برگ و در نتیجه کاهش میزان آسیمیلات برای دانه‌های در حال رشد این گیاه نسبت داده شده است (Gamez *et al.*, 2019). گزارش شده است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات در حضور کودهای شیمیایی حاوی فسفر، این عنصر را بیش‌تر و کارآمدتر در اختیار کینوا قرار می‌دهند و با توجه به ارتباط مستقیم و مثبتی که بین جذب فسفر و نیتروژن وجود دارد، این باکتری‌ها می‌توانند به جذب بیش‌تر فسفر و نیتروژن توسط کینوا کمک کنند (Gomaa, 2013). در پژوهش حاضر نیز به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای شیمیایی همراه با تلقیح بذور با کودهای بیولوژیکی باعث بهبود رشد و اجزای عملکرد دانه کینوا شده و از این طریق اثرات تنش اسمزی ناشی از خشکی و شوری خاک را کاهش داده است.

۳. ٦. عملکرد بیولوژیک

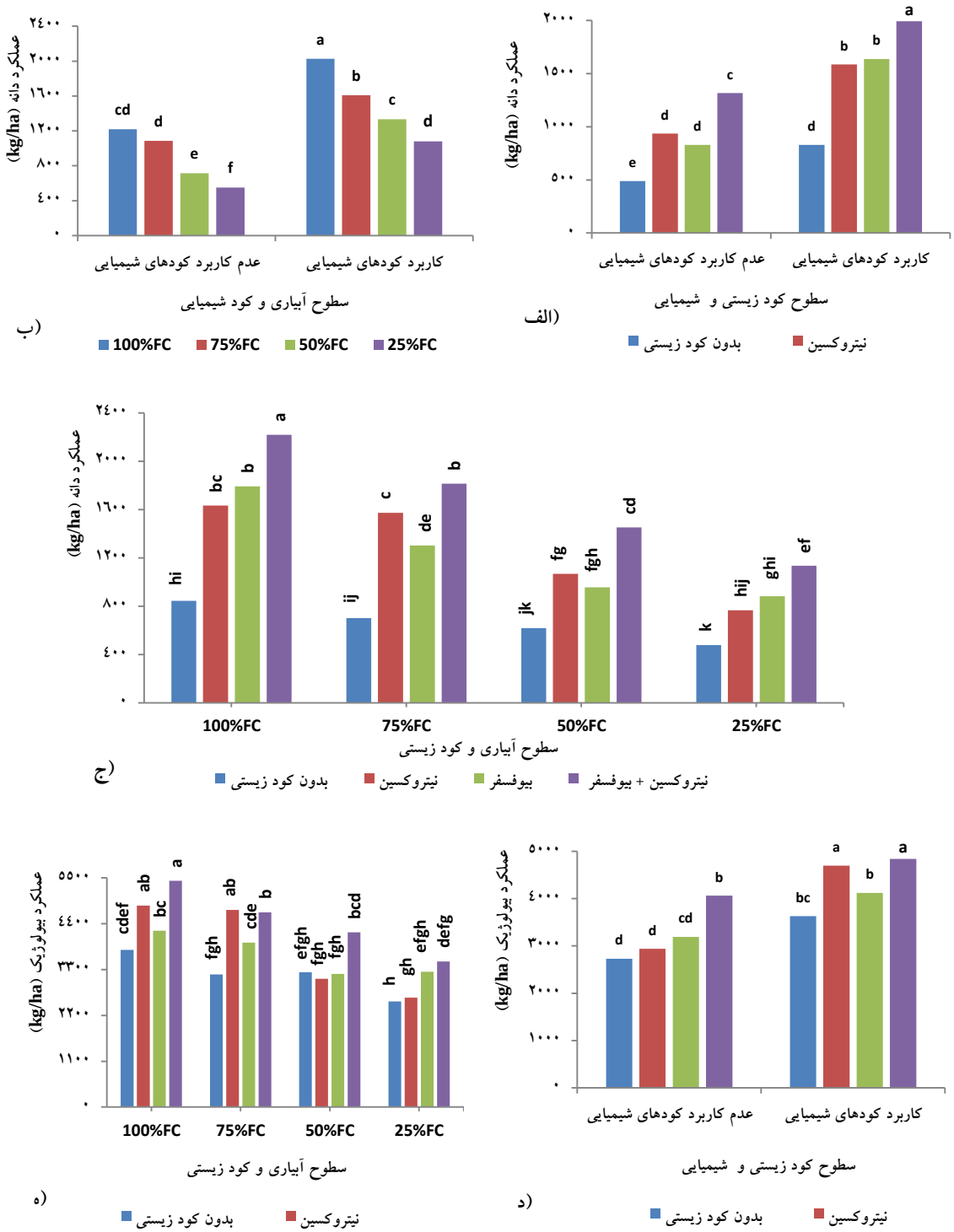
اثرات ساده سطوح آبیاری، کود زیستی، کود شیمیایی در سطح احتمال یک درصد و اثرات برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی و کود زیستی در کود شیمیایی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری در کودهای زیستی نشان داد که در تمامی سطوح آبیاری، کاربرد هم‌زمان هر دو کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیش‌ترین تأثیر را در تعدیل اثرات تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک کینوا داشته است (شکل ٤- د). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش کودهای زیستی در کود شیمیایی (شکل ٤- ه) نیز نشان داد که در هر دو سطح کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی، کاربرد هم‌زمان کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش زیست‌توده کل کینوا داشته است. با این وجود بیش‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک کینوا در شرایط کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی حدود ۱۹ درصد از بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک تحت تیمار کاربرد به تنهایی کودهای زیستی بالاتر بود (شکل ٤- د). Cocozza *et*

al. (2012) دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک کینوا تحت تنش همزمان خشکی و شوری را کاهش سطح برگ، کاهش رشد و توسعه سلول‌ها و در نتیجه کاهش فتوسنتز عنوان کردند. بنا بر گزارش آن‌ها، کاهش مواد فتوسنتزی در اثر کاهش سطح برگ از یک‌سو و کاهش انتقال مواد پرورده به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش اسمزی ناشی از کمبود آب و شوری خاک از سوی دیگر، سبب کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در کینوا شده است. علت کاهش عملکرد بیولوژیک کینوا تحت شرایط تنش کم‌آبی، کاهش رشد رویشی و زایشی و درنهایت کاهش تولیدات فتوسنتزی این گیاه در سطوح بالای خشکی عنوان شده است (Gamez *et al.*, 2019).

در مورد تأثیر استفاده از کودهای زیستی به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی گزارش شده که باکتری‌های موجود در این کودها، علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل‌کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی موردنیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، ترشح اسیدهای آمینه مختلف، انواع آنتی‌بیوتیک موجب افزایش مقاومت گیاه به شرایط نامساعد محیطی می‌شود. هم‌چنین این باکتری‌ها می‌توانند با سایر میکروارگانیسم‌های ریزوسفر اثر هم‌افزایی مفیدی بر گیاهان داشته باشند. درنتیجه با مصرف باکتری‌های محرک رشد، جذب و ذخیره مواد غذایی در بخش‌های مختلف گیاه ازجمله برگ و ساقه افزایش می‌یابد و با ذخیره این مواد در گیاه، عملکرد ماده خشک کل گیاه نیز افزایش می‌یابد (Stamenkovic *et al.*, 2018).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی در کود شیمیایی بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در گیاه کینوا (میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)



شکل ٤. (الف)، (ب) و (ج) به‌ترتیب اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود شیمیایی، اثر برهم‌کنش کود زیستی در کود شیمیایی و اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی بر عملکرد دانه کینوا. (د) و (ه) به‌ترتیب اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی و اثر برهم‌کنش کود زیستی در کود شیمیایی بر عملکرد بیولوژیک کینوا.

(میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)

٤. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه کینوا تاب‌آوری بالایی به شرایط تنش‌های شدید محیطی دارد. به‌نحوی‌که توانست در یک محیط شور، حتی تحت تنش خشکی شدید (تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) نیز دوره رشد خود را کامل کرده و تولید بذر کند. از طرفی، کاربرد کودهای شیمیایی به‌ویژه در تلفیق با کودهای زیستی موجب کاهش معنی‌دار اثرات تنش بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در کینوا شد. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی از طریق تعدیل اثرات تنش، بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کینوا داشت. بنابراین، در شرایط کمبود آب و یا استفاده از زمین‌های شور، از طریق کم‌آبیاری، می‌توان با استفاده از ترکیب کودهای شیمیایی و زیستی، ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار اثرات کمبود آب را نیز تا حدودی تعدیل نمود. نتایج هم‌چنین نشان داد تیمارهایی که حاوی منابع کود نیتروژن بودند (تیمار کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و کود زیستی نیتروکسین و تیمار کاربرد مجزای کود زیستی نیتروکسین)، تأثیر بیش‌تری در تعدیل اثرات تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر عملکرد دانه و هم‌چنین کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کینوا داشته‌اند. کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر، به تنهایی قادر به تأمین کامل عناصر غذایی موردنیاز این گیاه نیستند، ولی اگر همراه با کودهای شیمیایی موردنیاز، طبق نتایج آزمون خاک به‌کار روند، می‌توانند در بهبود عملکرد و افزایش تاب‌آوری کینوا تحت تنش‌های محیطی مؤثر واقع شوند. در مجموع نتایج این بررسی نشان داد که باوجود آن‌که تنش هم‌زمان شوری و خشکی تأثیر منفی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی کینوا داشت، اما کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژن و فسفر توانست بخشی از این اثرات منفی تنش را جبران نماید و عملکرد کینوا را بهبود بخشد. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، کشت گیاه کینوا به‌عنوان گیاهی امیدبخش که هم از نظر زراعی عملکرد قابل قبولی داشته و هم محصول تولیدی از کیفیت بالایی برخوردار است، به‌همراه کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر و مصرف کودهای شیمیایی موردنیاز مطابق نتایج آزمون خاک، در خاک‌های شور و دارای محدودیت‌های مشابه قابل‌توصیه است.

٥. تشکر و قدردانی

از زحمات مسئول آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در کمک به اندازه گیری‌های صفات مربوط به این مقاله تشکر به عمل می‌آورد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٧. منابع

Adolf, V. I., Jacobsen, S.E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, *92*, 43–54 DOI:/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004.

Aebi, H.E. (1984). Catalase in vitro. *Methods Enzymology*, *105*, 121-126.

Agarwal, S., & Pandey, V. (2004). Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biologia Plantarum*, *48*(4), 555-560.

Alizadeh, A. (2008). Soil, Water and Plant relationship. *Emam Reza University of Mashhad*. pp.484. (In Persian).

Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Badran, A. E. E., & El-Moghazi, M. A. (2017). Drought tolerance of five Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes and its association with other traits under moderate and severe drought stress. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, *3*(3), 2456-2468. DOI:10.9734/AJAAR/2017/37216.

Aman, R., Ebtihal, A. E., & Mervat, S. (2019). Comparative study for the effect of arginine and sodium nitroprusside on sunflower plants grown under salinity stress conditions. *Bulletin of the National Research Centre*, *43*(118), 1-12. DOI:10.1186/s42269-019-0156-0.

Basra, S. M. A., Iqbal, S., & Afzal, I. (2014). Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, *16*, 886-892.

Bates, L. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*. *39*, 205-207. DOI: 10.1007/BF00018060.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annals of Biochemistry*, *72*, 248-254. DOI: 10.1006/abio.1976.9999.

Cocozza, C., Pulvento, C., Lavini, A., Riccardi, M., d'Andria, R., & Tognetti, R. (2012). Effects of increasing salinity stress and decreasing water availability on ecophysiological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown in a Mediterranean-type agroecosystem. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *199*(4), 229–240.

Das, K., & Roychoudhury, A. (2014) Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, *2*, 53-66. DOI:10.3389/fenvs.2014.00053.

Dhindsa, R. S., & Motowe, W. (1981). Drought tolerance in two mosses: correlation with enzymatic defense against lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*, *32*, 79-91. DOI:10.1093/jxb/32.1.79.

Enebe, M.C., & Babalola, O.O. (2018). The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy. *Applied Microbiology and Biotechnolog*, *102*(18), 7821-7835. DOI:10.1007/s00253-018-9214-z.

Fawy, H.A., Moharam, F., Hagab, A., & Hagab, R. (2017). Effect of nitrogen fertilization and organic acids on grains productivity and biochemical contents of quinoa plant grown under soil conditions of Ras Sadersina. *Egyptian Journal of Desert Research*, *67*(1), 169-183. DOI:10.21608/ejdr.2017.5851.

Gamez, A.L., Soba, D., Zamarreno, A.M., Garcia-Mina, J.M., Aranjuelo, I., & Morales, F. (2019). Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*, 8(6), 173-188. DOI: 10.3390/plants8060173.

Garcia, M., Condori, B., & Castillo, C.D. (2015). Agroecological and agronomic cultural practices of Quinoa in South America. Quinoa: *Improvement and Sustainable Production*, 25-46. DOI: 10.1002/9781118628041.ch3.

Gomaa E. F. (2013). Effect of nitrogen, phosphorus and bio fertilizers on quinoa plant. *Journal of Applied Sciences Research*, *9*(8), 5210- 5222.

Gonzalez, J., Gallardo, M., Hillar, M., Rosa, M., & Prado, F. (2009). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies*, *50*, 35-42.

Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., & Fathi Amirkhiz, K. (2016). Effect of chemical and biological phosphorus on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, *6*(19), 203-214. DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.6.19.203.

Hinojosa, L., Gonzalez, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F., & Murphy, K. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, *7*(4), 106-138.DOI: 10.3390/plants7040106.

Hoseini, Y., Ramezani Moghaddam, J., Nikpour, M.R., & Abdoli, A. (2018). Evaluating water uptake functions under simultaneous salinity and water stress conditions in *Solanum lycopersicum*. *Journal of Water Research in Agriculture*, *32*(2), 247-265. (In Persian).

Kaoutar, F., Abdelaziz, H., Ouafae, B., Redouane, C.-A., & Ragab, R. (2017). Yield and dry matter simulation using the saltmed model for five Quinoa (*Chenopodium quinoa*) accessions under deficit irrigation in South Morocco. *Irrigation and Drainage*, *66*(3), 340-350. DOI: 10.1002/ird.2116.

Muscolo, A., Panuccio, M. R., Gioffrè, A.M., & Jacobsen, S.-E. (2016). Drought and salinity differently affect growth and secondary metabolites of "*Chenopodium quinoa* Willd" seedlings. *Halophytes for Food Security in Dry Lands*, 259-275. DOI: 10.1016/B978-0-12-801854-5.00016-9.

Nasir Khan, M. Mobin, M., & Zahid, A. (2018). Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 225-240.

Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P., Mast, B., & Graeff-Honninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*, *8*, 197-216. DOI: 10.3390/agronomy8100197.

Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E., & d'Andria, R. (2012). Yield and quality characteristics of Quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *198*(4), 254-263. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2012.00509.x.

Sabbagh, S. K., Poorabdollah, A., Sirousmehr, A., & Gholamalizadeh-Ahangar, A. (2017). Bio-fertilizers and systemic acquired resistance in Fusarium infected wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *19*, 453-464.

Sadak, M.S., El-Bassiouny, H.M.S., & Dawood, M.G. (2019). Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre, 43*(5), 1-11. DOI: 10.1186/s42269-018-0039-9.

Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., & Ruiz, J.M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, *178*, 30-40. doi:10.1016/j.plantsci.2009.10.001.

Stamenkovic, C., Beskoski, V., Karabegovic, I., Lazic, M., & Nikolic, N. (2018). Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *16*(1), 210-228. DOI: 10.5424/sjar/2018161-12117.

Telahigue, D., Yahia, L.B., Aljane, F., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*, *1*, 222-232. DOI: 10.25081/jsa.2017.v1.67.