

## The Effect of Zinc and Potassium Treatments on the Antioxidant Activities and Physiological Responses of Canola in a Saline Soil

NADER KHADEM MOGHADAM IGDELU<sup>1</sup>, BABAK MOTESHAREZADEH<sup>2\*</sup>, AND REZA MAALI AMIRI<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduated Student, Tehran University and Ph.D. Student, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agronomy and Animal Science, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: July. 11, 2018- Revised: Jan. 18, 2019- Accepted: Jan. 28, 2019)

### ABSTRACT

Salinity stress is one of the factors that affect the agricultural productions in the arid regions in the world. In this condition, the effect of potassium and zinc fertilizer treatments on the production of reactive oxygen species were investigated in a completely randomized design with three factors (fertilizer, cultivar, and time) and three replications in a greenhouse. The results showed that the application of potassium treatment in Sarigol and Licord cultivars increased SOD activity 49.1% and 14.4% respectively, as compared to the other fertilizer treatments. On the other hand, the application of this fertilizer increased the activity of GPX enzyme in Sarigol and Licord cultivars 50.7% and 62.2% compared to the other fertilizer treatments, respectively. The highest activities of SOD and GPX were in pre-flowering stage which showed 18.6 and 32.6% increasing related to flowering stage and 44.9 and 26.1% increasing related to post-flowering stage, respectively. Also, the relative water content of Sarigol and Licord cultivars increased by at least 7.9 and 0.35%, respectively, using potassium fertilizers. Sarigol cultivar had less potassium uptake than Licord cultivar in the root and shoot by 1.79% and 18.9%, respectively. Sarigol is a salt tolerant cultivar and sensitive in pre-flowering stage in which the consumption of potassium fertilizer can reduce the effect of salinity stress.

**Keywords:** guaiacol peroxide, Licord, salinity stress, Sarigol, superoxide dismutase

## تأثیر تیمارهای روی و پتاسیم بر فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و پاسخ‌های فیزیولوژیک کلزا در خاک شور

نادر خادم مقدم ایگده‌لو<sup>۱</sup>، بابک متشروع‌زاده<sup>۲\*</sup> و رضا معالی امیری<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشگاه تهران و دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه زنجان، ایران

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

۳. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۸)

## چکیده

تنش شوری یکی از عوامل تأثیرگذار بر محصولات کشاورزی در مناطق خشک جهان است. در این شرایط تأثیر تیمارهای کودی پتاسیم و روی بر تولید گونه‌های فعال اکسیژن طی پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل (رقم، کود و زمان) و سه تکرار در گلخانه بررسی شد. نتایج نشان دادند که کاربرد تیمار پتاسیم در رقم ساری گل و لیکورد موجب افزایش به ترتیب ۴۹/۱٪ و ۱۴/۴٪ فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) نسبت به سایر تیمارهای کودی شد. از طرفی کاربرد این تیمار کودی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) را در رقم ساری گل و لیکورد به ترتیب ۵۰/۷٪ و ۶۲/۲٪ نسبت به سایر تیمارهای کودی افزایش داد. بیشترین فعالیت آنزیم SOD و GPX در مرحله قبل از گلدهی بود که نسبت به مرحله گلدهی به ترتیب ۱۸/۴٪ و ۳۲/۴٪ و نسبت به مرحله بعد از گلدهی به ترتیب ۴۴/۹٪ و ۲۶/۱٪ فعالیت بیشتری را نشان دادند. همچنین با مصرف کودهای پتاسیمی، محتوای نسبی آب در ارقام ساری گل و لیکورد به ترتیب حداقل به میزان ۷/۹٪ و ۰/۳۵٪ افزایش یافت. رقم ساری گل نسبت به لیکورد در ریشه و بخش هوایی به ترتیب به میزان ۱/۷۹٪ و ۱۸/۹٪ جذب پتاسیم کمتری داشت. بین دو رقم، ساری گل به عنوان رقمی متحمل به شوری است و از جمله مراحل حساس رشد آن، مرحله قبل از گلدهی است که می‌توان با مصرف کودهای پتاسیمی در این مرحله، به میزان زیادی از اثر تنش کاست.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، ساری گل، سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز، لیکورد

## مقدمه

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده تولید محصولات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان است (Ahmadi et al., 2018). تقریباً ۲۳ درصد از زمین‌های کشت‌شده در سراسر جهان متأثر از تنش شوری هستند (Akbari et al., 2011) که موجب شده اراضی قابل کشت به طور اساسی یا نسبی، باروری خود را از دست بدهند. غلظت زیاد نمک‌ها در خاک منجر به عدم تعادل یونی و هایپراسموتیک (hyperosmotic) در گیاهان می‌شود که از آن به عنوان اثرهای اولیه شوری یاد شده و مورد دیگر تنش اکسیداتیو است که به تنش ثانویه شوری معروف است (Omidi et al., 2009). در شرایط تنش شوری، رشد گیاهان به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی محیط رشد ریشه و اثرهای ویژه یون‌ها در فرایندهای متابولیسمی، کاهش می‌یابد (Triantaphylidès and Havaux, 2009). شوری پاسخ‌های متنوع فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در گیاهان تغییر می‌دهد و موجب تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (Akbari et al., 2011). از آنجایی که کشور

ما ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده و در بیشتر مناطق دارای خاک‌های شور است و از سویی دیگر، نیاز کشور به واردات روغن خوراکی ما را بر آن داشته تا در مورد کلزا، به عنوان یک محصول راهبردی در تأمین روغن خوراکی گام برداریم. گیاه کلزا حاوی ۴۵-۴۰ درصد روغن در دانه می‌باشد. با توجه به نیاز روز افزون به روغن‌های نباتی و وابستگی شدید کشور در این مورد، باید توجه ویژه‌ای به افزایش سطح زیر کشت دانه‌های روغنی، به ویژه کلزا شود (Siavash et al., 2005). تقریباً ۶۰ درصد از خاک‌های زیر کشت دنیا، به دلیل کمبود یا سمیت عناصر غذایی، محدودیت‌هایی برای رشد گیاهان دارند، بنابراین بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان رشدیافته در شرایط محیطی حاشیه‌ای (Marginal environmental) برای حفظ تولیددهی بسیار با اهمیت است (Cakmak, 2005). شوری جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهان را باز می‌دارد و بر آناتومی و فیزیولوژی گیاهان تأثیر گذاشته و بدین سبب بر روابط آبی گیاه، فتوسنتز، سنتز پروتئین‌ها، تولید انرژی و متابولیسم چربی‌ها اثر می‌گذارد

شرایط تنش شوری عنوان کردند که اکسید روی به دو فرم معمول و نانوذره سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و فعالیت آنزیم SOD ذرت گردید ولی میزان افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در فرم معمول بیشتر از فرم نانوذره اعلام گردید. شوری با تجمع بعضی یون‌های مضر در گیاهان موجب عدم تعادل یونی در گیاهان می‌شود، حال اگر دوباره بتوان با کاربرد بعضی از عناصر، تعادل یونی را برقرار ساخت، بسیاری از مشکلات رشد گیاهان در بخش کشاورزی برطرف خواهد شد. از آنجایی که در گیاهان خانواده براسیکا، به‌ویژه کلزا، در شرایط تنش شوری، رفتارهای متفاوتی در نقل و انتقال عناصر غذایی و حساسیت‌های متفاوتی نسبت به این تنش، مشاهده می‌شود، لذا در این پژوهش نقش عناصر کلیدی روی و پتاسیم و هم‌چنین حالت مطلوب عناصر غذایی بر تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کاهش اثرهای مضر شوری در دو رقم کلزا در یک خاک با شوری طبیعی بررسی گردید.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، یک خاک اریدی سل (Aridisol) با قابلیت هدایت الکتریکی  $0/1$  (ds/m) از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در محمد شهر کرج با طول و عرض جغرافیایی  $50^{\circ} 57.5' E$  و  $35^{\circ} 48' N$  تهیه گردید و با یک خاک انتی سل (Entisol) با شوری  $14$  (ds/m) از اطراف نظر آباد کرج با طول و عرض جغرافیایی  $50^{\circ} 36' E$  و  $35^{\circ} 59' N$  با هم به نسبت  $1:1$  مخلوط شدند تا خاک مرکبی با شوری (ds/m)  $8$  حاصل شود تا بدین سبب زمینه بروز تنش اکسیداتیو به‌وسیله تنش شوری اعمال گردد. بافت خاک حاصل شده از ترکیب دو نمونه (لوم رسی شنی)، بافت مناسب برای رشد و نمو کلزا است (Gruber et al., 2014). برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه خاک پس از گذراندن شدن از الک  $2$  میلی‌متری، از قبیل pH در عصاره اشباع (Rhodes, 1982) و EC در عصاره اشباع (Page et al., 1982)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Klute and Bauder, 1986)، درصد سدیم تبادلی به روش (Dirksen and Nelson, 1982)، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (Sommers, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (and Miller, 1996)، نیتروژن کل خاک با استفاده از هضم کج‌لدال (Bremner and Mulvaney, 1996)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Helmke and Spark, 1996)، آهن، مس، روی و منگنز قابل جذب با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) و سولفات محلول خاک به روش کدورت‌سنجی (Singh et al., 1995) اندازه‌گیری شدند که در

(Rawat et al., 2016). مکانیسم‌های متنوعی به‌وسیله گیاهان گلیکوفیت برای فائق آمدن به اثرات مضر شوری استفاده می‌شود که شامل ممانعت از جذب سدیم، تثبیت سدیم در واکوئل گیاهان، تنظیم اسمزی، کنترل بارگیری سدیم، بازیابی آن از بخش‌های هوایی و سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species (ROS)) است (Honghong et al., 2015). در خاک‌های متأثر از شوری یون‌های سدیم و کلر به مقدار بیش از حدی در ریزوسفر تجمع می‌کنند و موجب اختلال شدید در تعادل مواد غذایی در ذرت می‌شوند که این اختلال به دلیل تداخل شدید این یون‌ها با دیگر عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان مانند پتاسیم، کلسیم، نیتروژن، فسفر، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی ایجاد می‌شوند. هم‌چنین به دلیل تولید ROSها و متوقف شدن فتوسنتز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها رشد گیاه کاهش می‌یابد (Farooq et al., 2015). پتاسیم یک عنصر ضروری برای بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال بسیاری از فرآورده‌های فتوسنتزی به اندام‌های ذخیره‌ای، حفظ تورژسانس، فعال‌سازی آنزیم‌ها، کاهش جذب بیش از حد یون‌هایی مانند سدیم و آهن در خاک‌های شور و خاک‌های غرقاب‌شده است (Waraich et al., 2011). پژوهشگران نیاز به مقادیر زیاد پتاسیم را به نقش بازدارندگی پتاسیم در مقابل تولید ROSها در طی فتوسنتز و اکسیده شدن NADPH نسبت داده‌اند (Gallego et al., 1999). بررسی تأثیر کاربرد کود پتاسیم کلرید بر گیاه خردل (*Brassica campestris* L.) تحت شرایط تنش شوری آشکار کرد که کاربرد پتاسیم سبب افزایش رشد، بهبود فتوسنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آسکوربات پراکسیداز (APX) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و مقدار گلوکاتینون گیاه شد (Umar et al., 2011). از طرفی، کمبود روی در بسیاری از اراضی زراعی دنیا، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده می‌شود (Broadley et al., 2007). روی یک عنصر غذایی میکرو و خیلی مهم برای رشد گیاهان است. روی یک جزء سازنده مهم آنزیم‌های مختلف مانند کربوکسیلاز، گلوتامات دهیدروژناز و SOD است، روی اثرات مضر شوری و هم‌چنین فعالیت NADPH اکسیداز متصل به غشای پلاسمایی و بدین ترتیب تولید ROSها را کاهش می‌دهد (Jan et al., 2017). روی در گیاهان می‌تواند بسته به گونه و شدت کمبود موجب کاهش خالص فتوسنتز تا  $50-70$  درصد شود. روی سمیت‌زدایی رادیکال‌های سوپراکسید را به اکسیژن و هیدروژن پراکسید از طریق افزایش غلظت آسکوربیک اسید تسهیل می‌کند (Azarmi et al., 2016). Fathi et al. (2015) با بررسی اثر اکسید روی به فرم معمول و نانوذره روی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان ذرت در

عناصر در عصاره‌های گیاهی تهیه شده به روش هضم خشک، توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل ELEA تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ (RWC) از فرمول شماره (۱) استفاده شد. یک برگ توسعه یافته انتخاب و از هر برگ پنج دیسک برگی به قطر یک سانتی‌متر جدا، پس از اندازه‌گیری وزن تر (FW)، دیسک‌ها در داخل آب مقطر قرار گرفتند تا آماس شوند. بعد از این مدت زمان، وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). بعد از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد و سپس میزان نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Gonzalez and Gonzalez-Vilar, 2001).

$$\text{RWC (\%)} = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

برای تهیه بافر Ice-cold extraction از محلولی شامل بافر پتاسیم فسفات و EDTA استفاده شد. برای محلول پتاسیم فسفات از دو نمک  $KH_2PO_4$  و  $K_2HPO_4$  استفاده شد. بدین صورت که ۱۶۰۰ میکرولیتر EDTA برداشت شده و به حجم cc ۴ رسانده شد (Heidari and Mesri, 2010). جهت اندازه‌گیری آنزیم‌ها، ۰/۲ گرم از بافت سبز برگ برداشت و با ۴ cc بافر Ice-cold extraction در هاون سرد کاملاً ساییده و به صورت همگن در آورده شدند. مخلوط همگن از کاغذ صافی عبور و به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۵۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند. سپس فاز رویی به عنوان عصاره پروتئینی برای سنجش فعالیت آنزیمی استفاده گردید. همه این فرایندها در دمای ۴ سانتی‌گراد انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم SOD، از روش (Giannopolitis and Ries, 1977) و گایاکول پراکسیداز (GPX) از روش (Urbanek et al., 1991) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۷)، مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح پنج درصد و ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

### نتایج و بحث

از آنجایی که کلزا گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری محسوب می‌شود و در برخی منابع حد آستانه تحمل آن به شوری (dS/m) ۴/۸ عنوان شده (Shahbazi et al., 2011) و در برخی منابع دیگر (dS/m) ۵-۵/۷ گزارش شده است (Shahbazi, 2000). خاک مورد نظر برای انجام پژوهش به گونه‌ای است که سبب ایجاد تنش شوری متناسب با اهداف پژوهش می‌شود (EC برابر با ۸ (dS/m)) (جدول ۱).

جدول (۱) ارائه شده‌اند. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تیمارهای کودی پتاسیم و روی بر تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ویژگی‌های فیزیولوژیکی دو رقم کلزا در شرایط تنش شوری در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل؛ عامل رقم در دو سطح (رقم ساری گل و لیکورد)، عامل کود در چهار سطح (حالت بهینه عناصر غذایی (O)، حالت دو برابری پتاسیم (OP)، حالت دو برابری روی (OZ) و حالت دو برابری روی به اضافه پتاسیم (OZP) و عامل زمان در سه سطح (مرحله قبل از گلدهی، مرحله گلدهی و مرحله بعد از گلدهی) و سه تکرار در محل پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج، انجام یافت. تیمارهای کودی بعد از کاشت گیاه از منبع کودهای  $KNO_3$ ، کلات روی ۷ درصد و به صورت مصرف خاکی اعمال شدند (سطح بحرانی پتاسیم و روی به ترتیب ۲۵۰ و ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد) (Malakouti and Tehrani, 1999). به همین ترتیب سایر عناصر غذایی هم به حالت بهینه مصرف شدند. این دو عنصر، به صورت دو برابر حالت بهینه مصرف شدند. برای جلوگیری از افزایش شوری، آبیاری با آب مقطر در طول رشد گیاه صورت گرفت و به منظور جلوگیری از آیشویی نمک‌ها، گلدان‌ها فاقد زهکش بودند. طی این تحقیق رطوبت گلدان‌ها همواره در رطوبت ظرفیت مزرعه نگه داشته می‌شد، برای این منظور ابتدا گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت مزرعه رسانده شده و پس از توزین، در چند روز آینده اختلاف وزن به وجود آمده یادداشت شده و براساس این اختلاف وزن آب مقطر به گلدان‌ها اضافه می‌شد. از میانگین آب مقطر استفاده شده در دو هفته اول رشد (قبل از رسیدن گیاهان به زیست‌توده قابل توجه) به عنوان معیاری برای رساندن گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت مزرعه در کل دوره رشد در شرایط ثابت گلخانه از لحاظ دما و رطوبت استفاده گردید. بذور دو رقم کلزا به نام‌های ساری گل و لیکورد (ساری گل و لیکورد به ترتیب به عنوان ارقامی متحمل و حساس به شوری) تهیه و در گلخانه در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی کشت شد. بذور ارقام پس از کاشته شدن در گلدان‌ها و بعد از ۵ ماه، بخش هوایی از سطح خاک بریده و هم‌چنین خاک داخل گلدان‌ها به همراه ریشه با احتیاط جداسازی و با آب شستشو شده و بدین ترتیب ریشه‌ها و بخش‌های هوایی به دست آمده و بعد از خشک کردن، توزین شدند. عصاره‌گیری با استفاده از روش سوزاندن و سپس ترکیب با اسید کلریدریک یک نرمال انجام شد (Cottenie, 1980). پس از تهیه عصاره از ریشه و بخش هوایی، از آن برای به دست آوردن غلظت پتاسیم استفاده شد. غلظت این

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی‌های	مقدار	ویژگی‌های	مقدار
pH	۸/۰۰	مگننز قابل جذب (mg/kg)	۷/۶۹
نیترژن کل (%)	۰/۰۷	مس قابل جذب (mg/kg)	۱/۱۰
درصد اشباع	۳۶/۵۶	روی قابل جذب (mg/kg)	۰/۲۸
درصد سدیم تبدالی	۴۶/۰۰	آهن قابل جذب (mg/kg)	۸/۰۰
ماده آلی (%)	۰/۳۴	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	۱۸۴/۸۶
سولفات (meq/l)	۱۴/۲۴	EC عصاره اشباع (dS/m)	۸/۰۰
سدیم (meq/l)	۳/۵۱	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc/kg)	۱۹/۸۰
منیزیم (meq/l)	۰/۵۵	فسفر قابل جذب (mg/kg)	۲۲/۷۰
کلسیم (meq/l)	۰/۹۴	بافت خاک	لوم رسی شنی

تیمارهای کودی اعمال شده در این پژوهش در جدول (۲) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱. تیمارهای کودی مورد استفاده

تیمار کودی	علامت اختصار تیمار کودی
O	حالت بهینه عناصر غذایی (شاهد)
OP	تیمار کودی دو برابری پتاسیم
OZ	تیمار کودی دو برابری روی
OZP	تیمار کودی دو برابری روی به اضافه پتاسیم

داشته و این برتری در مراحل قبل از گلدهی، گلدهی و بعد از گلدهی به ترتیب به میزان ۱۸/۵٪، ۲۸/۵٪ و ۶۷/۷٪ بیشتر بوده است. از بین تیمارهای کودی اعمال شده، تیمار کودی پتاسیم در رقم ساری گل در مرحله قبل از گلدهی نسبت به سایر مراحل رشد کلزا دارای بیشترین فعالیت آنزیم SOD بوده و اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) داشته است. به طوری که تیمار کودی پتاسیم در رقم ساری گل و در مرحله قبل از گلدهی بیشترین اختلاف معنی‌دار را با تیمار روی در رقم لیکورد در مرحله بعد از گلدهی داشته (۹۴/۸٪) و هم‌چنین کمترین اختلاف معنی‌دار در فعالیت آنزیم SOD با تیمار پتاسیم در رقم ساری گل و در مرحله گلدهی (۳۳/۹٪) به ثبت رسید. در کل کاربرد تیمار پتاسیم در رقم ساری گل و لیکورد موجب افزایش به ترتیب ۴۹/۱٪ و ۱۴/۴٪ فعالیت آنزیم SOD نسبت به سایر تیمارهای کودی شد.

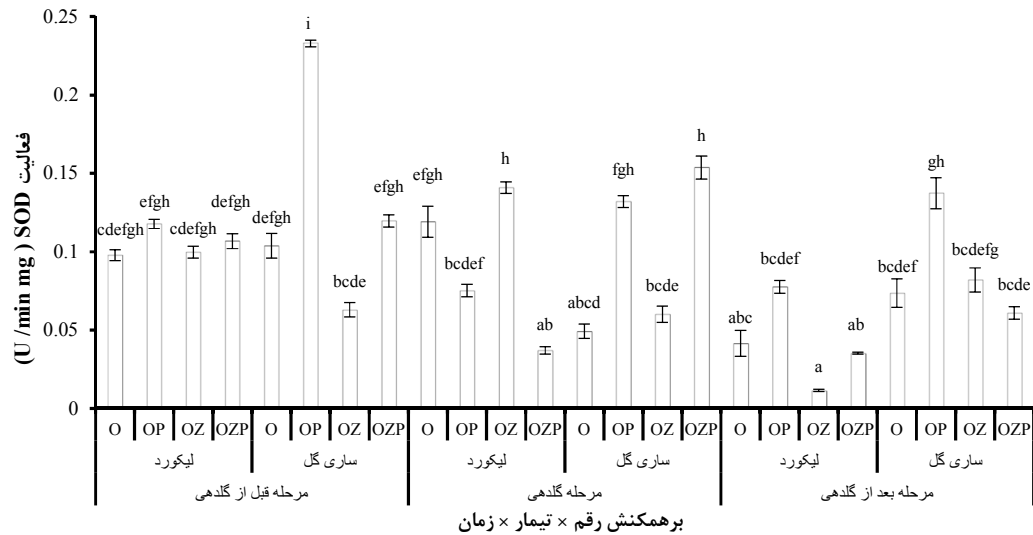
تجزیه واریانس مربوط به فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات تیمارها به تنهایی (به جز اثر تیمار زمان برای آنزیم GPX) و اثرات متقابل زمان×تیمار×رقم است (جدول ۳). در اثر تیمارهای اعمال شده، تغییرات ناشی از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان SOD و GPX در سه مرحله رشد (مرحله قبل از گلدهی، گلدهی و بعد از گلدهی) دو رقم کلزا (ساری گل و لیکورد) در شرایط تنش شوری در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

مطابق با شکل (۱) بیشترین فعالیت آنزیم SOD به مقدار ۰/۱۱۸ (U/min mg) در مرحله قبل از گلدهی بوده که نسبت به مراحل گلدهی و بعد از گلدهی به ترتیب ۱۸/۶٪ و ۴۴/۹٪ فعالیت بیشتری داشته است. هم‌چنین در این مراحل از رشد کلزا، رقم ساری گل نسبت به رقم لیکورد از نظر فعالیت آنزیم SOD برتری

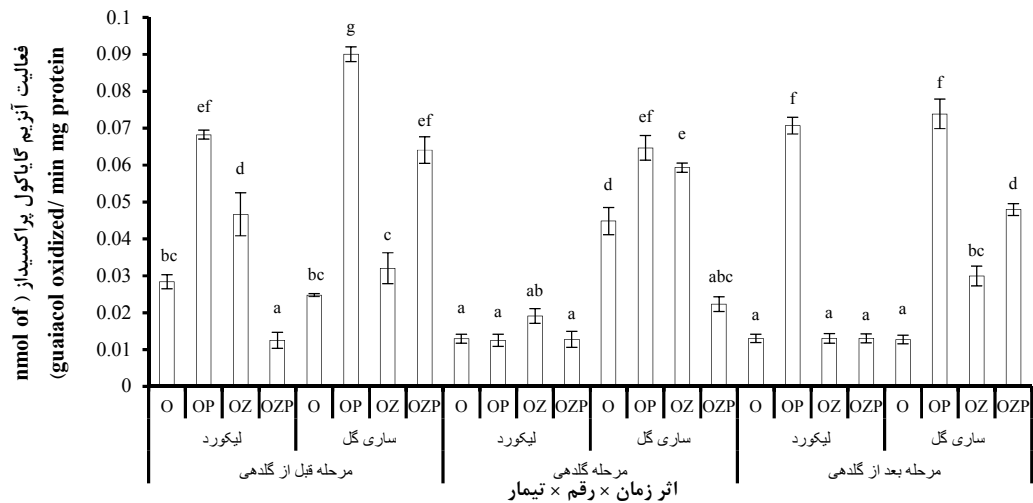
جدول ۳. تجزیه واریانس مربوط به فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان SOD و GPX در دو رقم کلزا در یک خاک شور

میانگین مربعات			SOV
GPX (nmol of guaiacol oxidized/min mg protein)	SOD (U/mg)	df	
۰/۰۰۷**	۰/۰۱۳*	۱	رقم (C)
۰/۰۰۶**	۰/۰۱۱**	۳	تیمار (T)
ns./۰۰۱	۰/۰۱۸**	۲	زمان (H)
۰/۰۰۴**	۰/۰۱۰**	۷	C×T
۰/۰۰۲**	۰/۰۱۱**	۵	C×H
۰/۰۰۳**	۰/۰۰۸**	۱۱	T×H
۰/۰۰۲**	۰/۰۰۷**	۲۳	C×T×H
۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	-	خطا
۱/۳۲	۱/۲۱	-	CV (%)

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار شدن در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم معنی داری است.



شکل ۱. اثر متقابل ارقام کلزا، تیمارهای کودی و زمان نمونه برداری بر فعالیت آنزیم SOD



شکل ۲. اثر متقابل ارقام کلزا، تیمارهای کودی و زمان نمونه برداری بر فعالیت آنزیم GPX

1984). در مطالعه دیگری نیز کاربرد روی باعث افزایش عناصر بور و پتاسیم در بافت گیاهی برنج گردید (Gupta and Dabas, 1983). تحقیقی بر روی گیاه ماش در شرایط تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه تأثیر منفی می‌گذارد ولی محلول پاشی پتاسیم، روی و منیزیم می‌تواند عملکرد و اجزای عملکرد را بهبود بخشد، بخصوص این که تأثیر محلول پاشی پتاسیم نسبت به دو عنصر دیگر بیشتر بود (Thalooth et al., 2006). نشان داده شده که در شرایط تنش شوری، کاربرد تیمار پتاسیم، باعث افزایش پاسخ رقم ساری گل و در نتیجه افزایش وزن خشک ریشه و بخش هوایی این رقم نسبت به رقم لیکورد می‌شود (Khadem Moghadam et al., 2015). Nojavan et al. (2017) عنوان کردند که کاربرد سولفات پتاسیم و سولفات روی سبب افزایش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، فلاونوئیدی کل و آنزیم CAT شده و کاربرد هر یک از فاکتورها به تنهایی افزایش فعالیت آنزیم GPX و میزان فنل کل را به همراه داشت. (Khadem-Moghadam et al., 2016) طی تحقیقی بر روی ارقام کلزا در شرایط تنش شوری نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیک کلزا در پاسخ به تیمارهای پتاسیمی افزایش می‌یابد. SOD اولین سد دفاعی گیاهان در برابر سمیت ناشی از ROSها است که کار تبدیل رادیکال‌های سوپراکسید ( $O_2^-$ ) تولید شده را به هیدروژن پراکسید ( $H_2O_2$ ) در سیتوسل، کلروپلاست و میتوکندری بر عهده دارند.  $H_2O_2$  تولید شده در مرحله بعدی توسط آنزیم‌هایی مانند CAT، APX و GPX پاک‌سازی می‌شود (Groppa et al., 2001). Alavi et al. (2016) با بررسی تأثیر کودهای سولفات پتاسیم و نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد در شرایط تنش شوری بر برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دو رقم گندم دوروم عنوان کردند که تیمار ترکیبی شوری و پتاسیم از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مثل APX و گلوکاتایون رداکتاز و محتوی پتاسیم و کلرفیل برگ موجب کاهش اثرات منفی شوری شدند. Ebadi et al. (2016) گزارش کردند که پیش تیمار بذر ماریتیغال (*Silybum marianum*) با نیترات پتاسیم تأثیر زوال بذر را کاهش و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل SOD، CAT، پراکسیداز، APX، گلوکاتایون پراکسیداز و گلوکاتایون رداکتاز و در نهایت جوانه‌زنی را افزایش داد. پژوهشگران گزارش نمودند که می‌توان با کاربرد کودهای پتاسیمی و نیتراتی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (SOD، CAT و پلی فنل اکسیداز) در گیاه گندم از تأثیر سوء بیماری سوختگی فوزاریومی به میزان زیادی کاست (Tavakoli Hasanaklou et al., 2016). بررسی

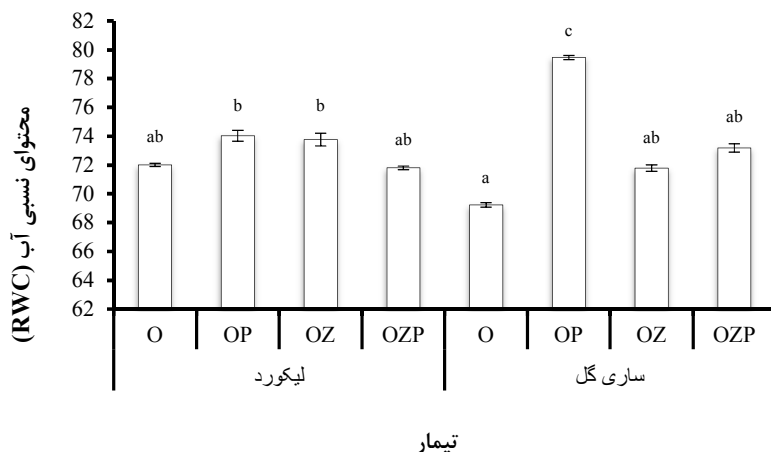
Emami Bistgani et al. (2015) با بررسی تأثیر کودهای شیمیایی، دامی، تلفیقی و محرک‌های رشدی کیتوزان بر محتوای فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه آویشن دنایی (*Thymus deanensis Celak*) عنوان کردند که کاربرد کودهای شیمیایی NPK و بقیه کودها محتوای فلاونوئیدی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص سطح برگ را به طور معنی‌داری افزایش داد. در شکل (۲) نیز همانند شکل (۱) بیشترین فعالیت آنزیم GPX به مقدار (nmol of guaiacol oxidized/ min mg protein) ۰/۰۴۶ در مرحله قبل از گلدهی بوده که نسبت به مراحل گلدهی و بعد از گلدهی به ترتیب به میزان ۳۲/۶٪ و ۲۶/۱٪ فعالیت بیشتری را نشان می‌دهد. در این مراحل از رشد کلزا، فعالیت آنزیم GPX در رقم ساری گل نسبت به رقم لیکورد در مراحل قبل از گلدهی، و بعد از گلدهی به ترتیب به میزان ۲۶/۴٪، ۷۳/۶٪ و ۴۹٪ بیشتر بوده است. از بین تیمارهای کودی اعمال شده، تیمار کودی پتاسیم در رقم ساری گل در مرحله قبل از گلدهی نسبت به سایر مراحل رشد کلزا دارای بیشترین فعالیت آنزیم GPX بوده به طوری که بیشترین اختلاف معنی‌دار نیز با همین تیمار در رقم لیکورد در مرحله گلدهی مشاهده گردید (۸۶/۱۱٪) و هم‌چنین کمترین اختلاف معنی‌دار نیز با همین تیمار در رقم ساری گل در مرحله بعد از گلدهی (۱۷/۹٪) گزارش شد. در کل کاربرد تیمار پتاسیم در رقم ساری گل و لیکورد موجب افزایش به ترتیب ۵۰/۷٪ و ۶۲/۲٪ فعالیت آنزیم GPX نسبت به سایر تیمارهای کودی شد. علت افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها در اثر کاربرد پتاسیم می‌تواند به دلیل اثر پتاسیم بر مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD، کاتالاز (CAT) و GPX باشد، هم‌چنین پتاسیم با باز و بسته کردن روزنه‌ها و ورود  $CO_2$  به گیاه می‌تواند باعث کاهش ROSها و در نتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه شود (Waraich et al., 2011). پتاسیم نقش ویژه‌ای در حیات و بقای گیاهان تحت شرایط تنش محیطی بازی می‌کند و در شرایط کمبود پتاسیم حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد. به طوری که در شرایط تنش، تولید ROSها در گیاهان به شدت تحریک می‌گردد (Gallego et al., 1999). شاید یکی از دلایل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان GPX و به ویژه SOD در تیمار کودی OZP برهمکنش مثبت پتاسیم و روی در گیاه باشد. علاوه بر این فلز روی همراه با مس بخش اصلی آنزیم SOD را به عنوان جاروب کننده رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهد (Alloway, 2008). اثر مطلوب کاربرد روی بر غلظت پتاسیم در برنج گزارش شده است. برهم‌کنش مثبت و معنی‌داری بین روی و پتاسیم در گندم نیز مشاهده شده است (Verma and Neue, 2016).

در شرایط تنش خشکی حاصل شد. (Eshghizadeh et al. 2014) طی مطالعه‌ای بر روی گیاه ارزن پادزهری در شرایط تنش شوری ایجاد شده توسط NaCl نشان دادند که با افزایش تنش شوری، RWC نیز کاهش می‌یابد. (Yadollahi et al. 2018) طی بررسی تأثیر آب شور و آب آبیاری و کودهای شیمیایی اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم (۳۰:۴۰:۸۰) و کودهای دامی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان SOD، CAT و APX و RWC عنوان کردند که کاربرد کودهای شیمیایی و دامی در تیمار آب شور موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های مذکور و RWC در گیاه گاو زبان اروپایی (*Borago officinalis*) شد.

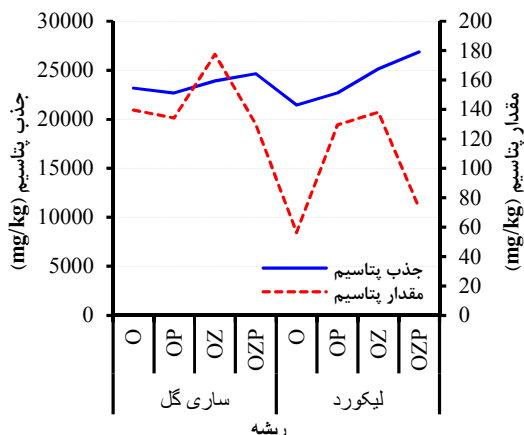
شکل‌های (۴ و ۵) نشان دهنده تغییرات مقدار پتاسیم و پتاسیم جذب شده توسط ارقام ساری گل و لیکورد را نشان می‌دهند.

برهمکنش بین رقم و تیمارهای کودی، بر روی محتوای نسبی آب (RWC) کلزا نشان داد که در تیمارهای کودی پتاسیم و در رقم ساری گل RWC اختلاف معنی‌داری را با رقم لیکورد در بقیه تیمارها دارد (شکل ۳).

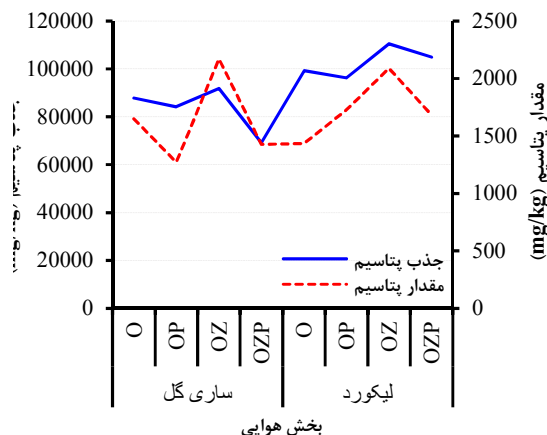
مطابق با شکل (۳) بیشترین و کمترین RWC در رقم ساری گل و تیمارهای کودی پتاسیم و حالت بهینه عناصر غذایی حاصل شد. به طوری که بیشترین و کمترین RWC ۱۲/۹٪ و ۶/۸۳٪ به دست آمد. هم‌چنین با مصرف کودهای پتاسیمی، RWC ارقام ساری گل و لیکورد به ترتیب حداقل به میزان ۷/۹٪ و ۰/۳۵٪ افزایش یافت. (Sharif et al. 2017) در بررسی اثر خشکی و شوری بر روی کلزا به این نتیجه رسیدند که برهمکنش بین شوری و خشکی باعث تأثیر معنی‌دار در سطح برگ و RWC داشت که بیشترین کاهش



شکل ۳. اثر متقابل ارقام کلزا و تیمارهای کودی به کار برده شده بر محتوای نسبی آب برگ



شکل ۵. مقدار و جذب پتاسیم در هر گلدان برای ریشه رقم ساری گل و لیکورد



شکل ۴. مقدار و جذب پتاسیم در هر گلدان برای بخش‌های هوایی رقم ساری گل و لیکورد



کلسیم کاهش یافت که بیانگر مصرف لوکس پتاسیم است. Borzouei *et al.* (2015) با بررسی اثر تنش شوری بر ژنوتیپ‌های گندم عنوان کردند که با افزایش تنش شوری، نسبت سدیم به پتاسیم در این گیاهان افزایش می‌یابد و در ارقام متحمل به شوری نسبت سدیم به پتاسیم کمتر بود (پتاسیم بیشتری جذب کرده بودند).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان SOD و GPX در رقم ساری‌گل و در تیمار کودی پتاسیم به ترتیب ۴۹/۱٪ و ۵۰/۷٪ نسبت به سایر تیمارهای کودی بیشتر بود و این موضوع نشان دهنده پاسخ مثبت رقم ساری‌گل نسبت به تیمار کودی پتاسیم در شرایط تنش است. در واقع رقم ساری‌گل در شرایط تنش شوری با استفاده از سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی نسبت به تولید ROSها عکس‌العمل نشان می‌دهد ولی رقم لیکورد پاسخ مناسبی نسبت به مصرف کودها نشان نداد که حاکی از عملکرد ضعیف سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی این رقم است. بیشترین فعالیت آنزیم SOD و GPX در مرحله قبل از گلدهی بوده که برای آنزیم SOD نسبت به مراحل گلدهی و بعد از گلدهی به ترتیب ۱۸/۴٪ و ۴۴/۹٪ بیشتر بوده و برای GPX نسبت به مراحل مذکور به ترتیب به میزان ۳۲/۶٪ و ۲۶/۱٪ فعالیت بیشتری را نشان می‌دهد. RWC در رقم ساری‌گل و در تیمار کودی پتاسیم نسبت به تیمارهای کودی دیگر ۱۲/۹٪ بیشتر بود. بررسی مقدار پتاسیم و جذب پتاسیم توسط ارقام ساری‌گل و لیکورد در بخش‌های هوایی و ریشه نشان داد که ساری‌گل نسبت به لیکورد در ریشه و بخش هوایی به ترتیب به میزان ۱۷/۹٪ و ۱۸/۹٪ جذب پتاسیم کمتری داشت، به عبارتی رقم لیکورد بر خلاف رقم ساری‌گل از مکانیسم انتقال پتاسیم به بخش هوایی علیه تنش شوری استفاده می‌کند. لذا با استفاده از یافته‌های این پژوهش می‌توان استنباط کرد که در شرایط تنش شوری می‌توان از رقم ساری‌گل به‌عنوان رقمی متحمل به شوری استفاده کرد و برای افزایش کارایی این رقم در این شرایط می‌توان از کودهای پتاسیمی در مرحله قبل از گلدهی نسبت به مراحل گلدهی و بعد از گلدهی بهره برد. تداوم تحقیقات در شرایط مزرعه توصیه می‌شود.

مطابق با شکل (۴)، خط مربوط به جذب پتاسیم از خط مربوط به مقدار پتاسیم در بیشتر قسمت‌های منحنی بالاتر است، و این امر در بخش هوایی رقم لیکورد بیشتر از رقم ساری‌گل بوده به طوری که بخش هوایی رقم لیکورد نسبت به ساری‌گل به ترتیب به میزان ۱۸/۹٪ و ۶٪ جذب پتاسیم و مقدار پتاسیم بیشتری داشته است. بالاتر بودن خط جذب پتاسیم نسبت به خط مقدار پتاسیم، نشان دهنده مصرف لوکس است. در رقم ساری‌گل به جز در تیمار روی و در همه تیمارهای کودی اعمال شده برای رقم لیکورد، مصرف لوکس اتفاق افتاده است. شکل (۵)، نوسانات مقدار جذب را در مقابل مقدار پتاسیم در ریشه ارقام ساری‌گل و لیکورد نشان می‌دهد. در ریشه رقم لیکورد نسبت به رقم ساری‌گل به میزان ۱/۷۹٪ مصرف لوکس بیشتری اتفاق افتاده است. این در حالی است که ریشه رقم لیکورد نسبت به رقم ساری‌گل ۳۱/۷٪ مقدار پتاسیم کمتری داشته است. شکل‌های (۴ و ۵) نیز نشان دهنده این موضوع هستند که در شرایط تنش شوری رقم لیکورد به مراتب مقدار بیشتری از پتاسیم جذب شده را از ریشه به بخش هوایی انتقال می‌دهد و می‌توان این گونه استنباط کرد که رقم لیکورد برای فائق آمدن به اثرات سوء تنش شوری از مکانیسم انتقال پتاسیم از ریشه به بخش هوایی استفاده می‌کند ولی رقم ساری‌گل برای غلبه بر تنش شوری از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی بهره می‌برد. در پژوهشی گزارش شد که تنش شوری ممکن است منجر به محدودیت انتقال عناصر غذایی ضروری به بخش‌های هوایی شود، آن‌ها نشان دادند که انتقال خالص پتاسیم، کلسیم، منیزیم و ازت کل به بخش‌های هوایی در گیاهان رشد یافته در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد (Termaat and Munns, 1986). Salehi Eskandari *et al.* (2012) در بررسی انتقال پتاسیم در ارقام کلزا به این نتیجه رسیدند که میزان پتاسیم ساقه و ریشه در ارقامی که تحمل خوبی به تنش دارند بیشتر از سایر ارقام است که نشان دهنده وابستگی جذب و انتقال پتاسیم به ژنوتیپ است. Fanaei *et al.* (2013) در تحقیقی بر روی ارقام کلزا و خردل گزارش کردند که با کاربرد پتاسیم، گونه خردل در مقایسه با کلزا پتاسیم و کلسیم بیشتری را در برگ تجمع داد که با شدت یافتن تنش خشکی غلظت پتاسیم و منیزیم در برگ افزایش یافت ولی کلسیم تغییر معنی‌داری نکرد و با افزایش مصرف پتاسیم در خاک، تجمع پتاسیم در برگ افزایش ولی تجمع

### REFERENCES

Ahmadi, F. I., Karimi, K. and Struik, P. C. (2018) Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 115,5–11.

Akbari, G. A., Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. A. M. and Ghanati, F. (2011) Exogenously applied hexaconazole ameliorates salinity stress by inducing an antioxidant defense system in *Brassica napus* L. plants. *Pesticide Biochemistry*

- and Physiology*, 100(3),244–250.
- Alavi Matin, S. M., Rahnama, A. and Meskarbashee, M. (2016) Effect of potassium supply on the activity of some antioxidant enzymes of two durum wheat cultivars under salt stress. *Journal of Plant Production*, 38(4),1-12. (In Farsi)
- Alloway, B. J. (2008) Zinc in soils and crop nutrition. 2nd edition, publishers: Zinc Association (IZA) and International Fertilizer Industry. Association (IFA). Brussels, Belgium and Paris, pp: 139.
- Azarmi, F., Mozafari, V., Abbaszadeh Dahaji, P. and Hamidpour, M. (2016) Biochemical, physiological and antioxidant enzymatic activity responses of pistachio seedlings treated with plant growth promoting rhizobacteria and Zn to salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1),1–16.
- Barandeh, F. and Kavousi, H. R. (2016) Effect of Cadmium on changes of some enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense systems in lentil seedlings (*Lens culinaris Medik.*). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2),125-137. (In Farsi)
- Borzouei, A., Jamali, S. and Paknejad, F. (2015) Root characteristics, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio and grain yield of seven wheat genotypes under salinity stress. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5 (4),165-175. (In Persian)
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1996) Nitrogen total. In: Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI*, pp. 1085-1122.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I. and Lux, A. (2007) Zinc in plants. *New phytologist*, 173(4),677-702.
- Cakmak, I. (2005) Role of mineral nutrients in tolerance of crop plants to environmental stress factors. In *Proceedings from the International Symposium on Fertigation—Optimizing the Utilization of Water and Nutrients* (pp. 35–48).
- Cottenie, A. (1980) Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations.
- Ebadi, A., Parmoon, G. and Jahanbakhsh, S. (2016) Effect of potassium nitrate on antioxidant enzymes activity of aged milk thistle (*Silybum marianum*) seeds. *Journal of Plant Process and Function*, 5(16),27-44. (In Farsi)
- Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A. and Ghasemi Pirbaloti, A. (2015) Effects of chemical and organic fertilizers and chitosan on physiological traits and phenolic compound amounts in thyme (*Thymus deanensis* Celak) in Shahrekord region. *Quarterly Journal of Crop Production Research*, 7(1),11-26. (In Farsi)
- Eshghizadeh, H. R., Kafi, M., Nezami, A. and Khoshgoftarmanesh, A. H. (2014) Effect of salinity on leaf water status, proline and total soluble sugar concentrations and activity of antioxidant enzymes in blue panic grass. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5 (2),11-25. (In Farsi)
- Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M. and Shirani-rad, A. H. (2013) Interaction of Water Deficit Stress and Potassium Application on Potassium, Calcium, Magnesium Concentration and Oil of Two Species of Canola (*Brassica napus*) and Mustard (*Brassica juncea*). *Water and Soil Science*, 23(3),261-275. (n Farsi)
- Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A. and Siddique, K. H. M. (2015) Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2),461–481.
- Fathi, A., Zahedi, M. and Torabian, S. (2015) Effects of foliar application of ordinary and nano-particles of zinc oxide on the antioxidant enzyme activity and proline content of two *Zea Mays* L. cultivars under salt stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46(2),257-266. (In Farsi)
- Gallego, S.M., Benavides, M. P. and Tomaro, M. L. (1999) Effect of cadmium ions on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. *Biologia Plantarum*, 42(1),49-55.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986) Physical and mineralogical methods. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 1. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA*, pp. 383-411.
- Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59(2),309–314.
- Gonzalez, L. and Gonzalez-Vilar, M. (2001) Determination of relative water content. *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*, 207–212.
- Groppa, M. D., Tomaro, M. L. and Benavides, M. P. (2001) Polyamines as protectors against cadmium or copper-induced oxidative damage in sunflower leaf discs. *Plant Science*, 161(3),481–488.
- Gruber, S., Weber, E. A. and Claupein, W. (2014) Which soils are comfortable for oilseed rape seeds (*Brassica napus*) to survive. *Plant Soil Environ*, 60,280-284.
- Gupta, V. K. and Dabas, D. S. (1983) Efficiency of sparingly soluble and chelated zinc sources on yield, nutrient composition and nutrient ratio in berseem. *Tropical Agricultural Science*, 1,73-80.
- Heidari, M. and Mesri, F. (2010) Studying the effects of different salinity levels on physiological reactions and sodium and potassium uptake in wheat. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3(1),83-94. (In Farsi)
- Helmke, P. A. and Spark, D. L. (1996) Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and Cesium. In: Sparks, D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI*, pp. 551-574.
- Honghong, W., Min, Z., Lana, S., Meixue, Z. and Sergey, S. (2015) K<sup>+</sup> retention in leaf mesophyll, an overlooked component of salinity tolerance mechanism: A case study for barley. *Journal of Integrative Plant Biology*, 57(2),171–185.
- Jan, A. U., Hadi, F., Midrarullah, Nawaz, M. A. and Rahman, K. (2017) Potassium and zinc increase tolerance to salt stress in wheat (*Triticum aestivum*

- L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 116,139–149.
- Khadem Moghadam, N., Motesharezadeh, B., Savaghebi, G. R. and Maali Amiri, R. (2015) Effects of potassium and zinc fertilizer treatments on potassium, calcium, magnesium, zinc uptake and  $K^+/Na^+$  ratio and some physiological responses of two cultivars of Canola under salinity stress. *Applied Soil Research*, 3(1),14-24. (In Farsi)
- Khadem-Moghadam, N., Motesharezadeh, B. and Maali-Amiri, R. (2016) Changes in antioxidative systems and membrane stability index of canola in response to saline soil and fertilizer treatment application. *Global Nest Journal*, 18(3),508–515.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1978) Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42,421-428.
- Malakouti, M. J. and Tehrani, M. M. (1999) Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products (micro nutrients with macro effects). *Tarbiat Modares University Publication*, Iran. 301.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E., (1982) Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T. and Sumner, M. E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA*, pp. 539-579.
- Nojavan, S., Naseri, L. and Hassanpour, H. (2017) Effect of potassium sulfate and zinc sulfate foliar spray on some physical and chemical traits of grape (*Vitis vinifera* cv. Bidaneh Ghermez). *Plant Production Technology*, 8(2),195-213. (In Farsi)
- Omidi, H., Khazaei, F., Hamzi, A. S. and Heidari, S. H. (2009) Improvement of seed germination traits in canola (*Brassica napus* L.) as affected by saline and drought stresses. *Plant Ecophysiology*, 3,151–158.
- Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (1982) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy, No. 9. Soil Science Society of America, Madison, WI, 1159.
- Rawat, J., Sanwal, P. and Saxena, J. (2016) Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. In *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture* (pp. 1–331).
- Rhodes, J. D. (1982) Cation Exchange Capacity, in A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (2nd eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI, U.S.A., pp. 149–157.
- Salehi Eskandari, B., Kholdbarin, B. and Morad Shahi, A. (2012) Interaction effect of potassium and drought stress on potassium ion uptake and transport in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(1),49-60. (In Farsi)
- Shahbazi, M. (2000) Evaluation of the salinity tolerance of rapeseed. *Agricultural and Natural Resources Research Center of Golestan*, 76/522 (In Farsi).
- Shahbazi, M., Kiani, A. R. and Raeisi, S. (2011) Determination of salinity tolerance threshold in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(1),18-31. (In Farsi)
- Sharif, P., Seyedsalehi, M., Paladino, O., Van Damme, P., Sillanpää, M. and Sharifi, A. A. (2017) Effect of drought and salinity stresses on morphological and physiological characteristics of canola. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–8.
- Siavash, B., Carapetian, Z. H. and Zare, S. A. (2005) Studying on lipid content and fatty acids in some varieties of colza (*Brassica napus* L.). *Pajouheshva-sazandegi*, 67,95–101.
- Singh, R., Bhumbra, D. K. and Keefer, R. F. (1995) Recommended soil sulfate-S tests. Recommended soil testing procedures for the Northeastern United States. *Northeast Regional Bulletin*, 493,46-51.
- Sumner, M. E. and Miller, W. P. (1996) Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., Sumner, M. E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3. Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA*, pp. 1201-1229.
- Tavakoli Hasanaklou, N., Ebadi, A., Davari, M. and Tavakoli Hasanaklou, H. (2016) Effect of potassium and nitrogen on the wheat resistance against fusarium head blight. *Cereal Research*, 6(2),159-171. (In Farsi)
- Termaat, A. and Munns, R. (1986) Use of concentrated macronutrient solutions to separate osmotic from NaCl-specific effects on plant growth. *Functional Plant Biology*, 13(4),509-522.
- Thalooth, A. T., Tawfik, M. M. and Mohamed, H. M. (2006) A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2(1),37–46.
- Triantaphylidès, C. and Havaux, M. (2009) Singlet oxygen in plants: production, detoxification and signaling. *Trends in Plant Science*, 14(4),219–228.
- Umar, S., Diva, I., Anjum, N. A., Iqbal, M., Ahmad, I. and Pereira, E. (2011) Potassium-induced alleviation of salinity stress in *Brassica campestris* L. *Central European Journal of Biology*, 6(6),1054-1063.
- Urbanek, H., Kuzniak-Gebarowska, E. and Herka, K. (1991) Elicitation of defence responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. *Acta Physiologiae Plantarum* (Poland).
- Verma, T. S. and Neue, H. U. (1984) Effect of soil salinity and zinc application on electrochemical and chemical kinetics and growth and yield of rice. *Communications in soil science and plant*

*analysis*, 15(5),553-571.  
Waraich, E. A., Ahmad, R. and Ashraf, M. Y. (2011)  
Role of mineral nutrition in alleviation of drought  
stress in plants. *Australian Journal of Crop  
Science*, 5(6),764.

Yadollahi, P., Asgharipour, M. R. and Ghaderi, A.  
(2018) The effect of the irrigation water quality  
and different fertilizers systems on some  
physiological and biochemical characteristics of  
borage (*Borago officinalis*). *Journal of Plant  
Process and Function*, 6(19),57-66. (In Farsi)