

اثر متقابل تنش کمبود آب و پتاسیم بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و روغن دو گونه کلزا و خردل

حمیدرضا فنایی^{1*}، محمد گلوی²، محمد کافی³ و امیرحسین شیرانی راد⁴

تاریخ دریافت: 90/09/09 تاریخ پذیرش: 91/11/28

¹ استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان

² دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

³ استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

⁴ دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fanay52@yahoo.com

چکیده

برای بررسی اثر برهمکنش تنش خشکی و پتاسیم بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و روغن دو گونه کلزا (*Brassica napus* L.) و خردل (*Brassica juncea* L.) آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی 1386 و 1387 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زهک واقع در استان سیستان و بلوچستان اجرا گردید. رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از 50، 70 و 90 درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک)، میزان پتاسیم در سه سطح (صفر، 150 و 250 کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) و دو گونه از جنس براسیکا شامل کلزا (هیبرید هایولا 401) و خردل (رقم بومی از هند) فاکتورهای آزمایش بودند. بر اساس نتایج دو گونه الگوی متفاوتی از تجمع پتاسیم و کلسیم در برگ‌ها نشان دادند. گونه خردل در قیاس با کلزا پتاسیم و کلسیم بالاتری در برگ تجمع داد. با شدت یافتن تنش خشکی غلظت پتاسیم و منیزیم در برگ افزایش یافت ولی کلسیم تغییر معنی‌داری نکرد. افزایش مصرف پتاسیم در خاک با افزایش تجمع پتاسیم و کاهش کلسیم در برگ همراه بود. کاربرد پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر غلظت منیزیم نشان نداد. هیبرید هایولا 401 کلزا نسبت به رقم بومی خردل از نظر عملکرد دانه، عملکرد روغن و درصد روغن برتری نشان داد. عملکرد دانه و عملکرد روغن با افزایش تنش خشکی کاهش اما درصد روغن افزایش یافت. مصرف پتاسیم سبب افزایش عملکرد روغن در هر دو گونه کلزا و خردل در سطوح مختلف رطوبتی شد. عملکرد دانه با عملکرد روغن، درصد روغن و غلظت پتاسیم برگ همبستگی مثبت و با غلظت کلسیم و منیزیم همبستگی منفی داشت. بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان گزارش کرد که فراهمی متعادل پتاسیم و رطوبت در افزایش عملکرد دانه، تولید روغن و جذب عناصر معدنی در هر دو گونه تأثیرگذار بوده و اختلاف ویژگی در کارایی جذب عناصر در گونه‌های جنس براسیکا می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: براسیکا، پتاسیم، تنش خشکی، درصد روغن، عملکرد دانه، کلسیم

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*)

HR Fanaei¹ *, M Galavi², M Kafi³ and AH Shirani-rad⁴

Received: 30 November 2011 Accepted: 16 February 2013

¹-Assoc. Prof., Agric. and Natural Resources Research Center of Sistan, Zabol, Iran

²-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy., Faculty of Agric., Univ. of Zabol, Iran

³-Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agric., Univ. of Mashhad, Iran

⁴-Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran

*Corresponding Author Email: fanaey52@yahoo.com

Abstract

In order to investigate interaction of drought stress and potassium application on potassium, calcium, magnesium concentration and oil of two species of canola and mustard, a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted during two years (2007-2009) at Agricultural and Natural Resources Research Station of Zehak located in Sistan and Baluchstan province. Irrigation regimes in three levels (irrigation after 50, 70 and 90 percent depletion of soil available water), potassium sulphate fertilizer in three levels (0, 150 and 250 kg.ha⁻¹ K₂SO₄) and two species of *Brassica napus* (Hyola 401 Hybrid of canola) and *Brassica juncea* (landrace cultivar of mustard native of Indian) were allocated to experiment factors. According to the results two species showed different pattern of potassium and calcium accumulation in their leaves. Mustard contained a higher leaf potassium and calcium contents than canola. Under severe drought stress, leaf potassium and magnesium increased but calcium change was not significant. Increasing potassium application in the soil increased potassium and decreased calcium concentration in the leaf. Potassium application did not show any significant effect on leaf magnesium concentration. Hyola 401 showed higher seed yield, oil yield and oil content than landrace of mustard. Seed and oil yield increased but oil percent decreased with increasing drought stress. Potassium application caused increasing seed yield and oil yield in different levels of water availability in both species. Seed yield had positive correlation with oil yield, oil content and potassium concentration but its correlation with leaf calcium and magnesium concentration was negative. Based on the results of this experiment, it can be reported that equilibrium supply of potassium and moisture increased grain yield, oil production and absorb of mineral nutrients in both species and property variation in nutrients absorption efficiency in brassica genus can be used in breeding programs for drought tolerance.

Keywords: Brassica, Calcium, Drought stress, Oil percent, Potassium, Seed yield

مقدمه

خشکی از مهمترین تنش‌های غیرزنده ایجاد کننده خسارت بالا در گیاهان و بعنوان مهمترین فاکتور محدودکننده رشد و تولید شناخته شده است (فاروگ و همکاران 2008). محققان اعتقاد دارند که تنش خشکی می‌تواند بر مکانیسم‌های زایشی تعیین کننده عملکرد کلزا مثل تشکیل گل و خورجین، دانه در خورجین و پر شدن دانه تأثیر بگذارد اما شدت این اثر تابعی از ژنوتیپ، مدت تنش، شرایط آب و هوایی و مراحل رشد و نمو می‌باشد (سینکی و همکاران 2007 و فاروگ و همکاران 2008). سینکی و همکاران (2007) بیشترین کاهش عملکرد دانه را در تنش آبی در مرحله گل‌دهی و مرحله نمو خورجین گزارش کردند. پاسبان اسلام و همکاران (1379) طی بررسی واکنش گونه‌های جنس براسیکا به تنش خشکی نشان دادند که مقدار روغن دانه با تشدید تنش افزایش و مقدار پروتئین تغییر معنی‌دار نشان نداد. جونسکرا و همکاران (2006) گزارش کردند که درصد روغن و پروتئین گونه‌های مختلف کلزا در محیط‌های مختلف فرق می‌کند به طوری که با افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن افزایش و این افزایش در روغن به ازای هر واحد افزایش عملکرد دانه در کلزا نسبت به ژنوتیپ‌های خردل بالاتر بود. همراه با اثرات مستقیم خشکی که ناشی از کاهش فراهمی آب محیط رشد گیاه می‌باشد، تغییر غلظت عناصر غذایی نیز دارای اهمیت است، حفظ تعادل در عناصر غذایی گیاه ضروری بوده، چرا که عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر، منیزیم برای حفظ کارایی مصرف آب و عنصری چون پتاسیم برای کنترل تلفات آبی از گیاه دارای نقش‌های مهمی می‌باشند (سردانز و الاز 2008). پتاسیم (مارشور 1995)، منیزیم (کک ماک و گیرگی 2008) و کلسیم (نایار 2003)، می‌توانند متابولیسم گیاه را تحت شرایط تنش به واسطه عمل کردن به عنوان کوفاکتور یا فعال کننده آنزیم‌ها کنترل نمایند.

تنش خشکی و شوری از طریق تأثیر بر قابلیت دسترسی، انتقال و توزیع عناصر معدنی در گیاهان کارآیی جذب عناصر معدنی را دچار اختلال می‌کنند (یانکاشی و شیمیدها لتر 2005). تنش خشکی عموماً جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، سدیم و کلرید را افزایش و جذب آهن و فسفر را کاهش می‌دهد (عبدل رحمان و همکاران 1971). اندازه سیستم ریشه‌ای، جذب فیزیولوژیکی و توانایی برای افزایش محلولیت پتاسیم در محیط ریزوسفر در گیاهان مختلف بعنوان مکانیسم‌های موثر در کارایی جذب عناصر معرفی گردیده است (استیگراب و گلاسن 2000). از نظر کارایی در جذب پتاسیم تفاوت‌های درون گونه‌ای برای گندم (دامون و رنجل 2004) و کلزا (دامون و همکاران 2007 و نصری و همکاران 2008) گزارش شده است. نصری و همکاران (2008) وجود اختلاف ژنوتیپی را در کلزا از نظر تجمع پتاسیم در برگ در سطوح مختلف تنش رطوبتی گزارش کردند به طوری که هیبرید هایولا 42 در بین ارقام دیگر در شدت تنش رطوبتی بالا ضمن تجمع بیشتر پتاسیم در برگ بیشترین عملکرد دانه را تولید نمود. روز و همکاران (2008) اعلام داشتند که در طی دوره رشد رویشی دو رقم کلزا، صعود هیدرولیکی آب صرف نظر از اندازه ریشه و نوع عنصر غذایی، در لایه فوقانی خاک خشک معنی دار بود به طوری که مقادیر بالا از پتاسیم جذب شده در خاک خشک مشاهده شد، اگرچه مقدارش نسبت به خاک مرطوب 5 برابر کمتر بود. کلسیم در حفظ و پایداری دیواره‌های سلولی، غشاها و پروتئین‌های متصل به غشاء دارای اهمیت می‌باشد (نایار 2003). جون و همکاران (2008) گزارش کردند که در گیاهان تیمار شده با کلسیم غلظت پرولین و قندهای محلول بالاتر و هدایت روزنه‌ای کمتر بود. عبدالمجید و همکاران (2007) اعلام داشتند که تحت تأثیر تنش خشکی قبل از گرده افشانی کلسیم برگ بطور معنی‌داری افزایش یافت اما تحت خشکی بعد از گرده افشانی در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد. محمد و

نسیم (2006) اعلام داشتند که با افزایش کاربرد پتاسیم جذب نیتروژن بهبود و جذب پتاسیم و فسفر تحریک می‌شود. بین منیزیم، کلسیم و پتاسیم برای محل‌های جذب روی غشای ریشه رقابت وجود دارد (خوشگفتارمنش و سیادت 1381). پی و همکاران (2000) اظهار داشتند که به دلیل رابطه ضدیت، کلسیم جریان پتاسیم به سلول‌های نگهبان را کاهش داد، به طوری که کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ سبب کاهش باز شدگی روزنه شد.

محدودیت‌های خاکی چون pH بالا، فقر مواد آلی و معدنی و مصرف نامناسب و نامتعادل عناصر معدنی در اراضی منطقه سبب گردیده تا اثر تنش خشکی بر قابلیت دسترسی و توزیع عناصر در قیاس با سایر مناطق متفاوت باشد. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته، دلیل برداشت‌های متوالی گیاهان بدون جایگزینی مناسب و کم مصرف کردن کودهای پتاسه توسط زارعین منطقه سیستان، انجام آبشویی در اثر آبیاری-های سنگین ناشی از آبیاری غرقابی و تغییر شرایط آبی و خاکی منطقه بواسطه خشکسالی، بیش از 70 درصد اراضی منطقه میزان پتاسیم آنها پایین تر از حد بحرانی قابل توصیه می‌باشد (پهلوان و همکاران 1386). نظر به روابط سینرژیستی و آنتاگونیستی زیاد عنصر پتاسیم با دیگر عناصر در شرایط متفاوت رطوبتی و همچنین تأثیر پتاسیم در جبران کاهش عملکرد ناشی از اثرات سوء تنش کمبود آب، این پژوهش با هدف تعیین غلظت عناصر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ دو گونه خردل و کلزا تحت تنش خشکی و مصرف پتاسیم و ارتباط بین عملکرد دانه و غلظت عناصر اجرا گردیده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دو سال زراعی 1386-1387 و 1387-1388 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زهک استان سیستان و بلوچستان واقع در 25

کیلومتری جنوب شرقی شهرستان زابل در طول جغرافیایی 61 درجه و 41 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 31 درجه و 54 دقیقه شمالی و ارتفاع 483 متر از سطح دریا اجرا شد. طی دو سال آزمایش در دو نقطه از ایستگاه و در خاکی که از لحاظ مقدار پتاسیم زیر حد بحرانی توصیه شده (200 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بود، انجام گردید (گران و بایلی 1993). نتایج تجزیه خاک مزرعه و کیفیت آب در جداول 1 و 2 ارائه گردیده است که نشان دهنده پایین بودن مقدار پتاسیم خاک می‌باشد. سطوح انتخابی کود پتاسیم با عنایت به عرف منطقه، انتظار عملکرد و وضعیت پتاسیم قابل جذب خاک که بسیار پایین‌تر از حد بحرانی بود، صورت گرفته است. پتاسیم قابل استفاده خاک با استفاده از روش استات آمونیوم یک نرمال (کنودسن و همکاران 1382) و با دستگاه فلیم فتومتر مدل Corning-405 اندازه گیری شد. دو گونه کلزا و خردل هندی انتخابی در این آزمایش از مهمترین گونه‌های زراعی جنس براسیکا، بوده که برای تولید روغن زراعت می‌شوند. همچنین با عنایت به بالا بودن ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های منطقه امکان اعمال دور آبیاری طولانی در محصولات فصل پاییز در منطقه وجود داشته، لذا سطح تخلیه رطوبتی بالا نیز در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجراء گردید. فاکتورهای آزمایش شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری پس از 50، 70 و 90 درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه)، سه میزان پتاسیم (صفر، 150 و 250 کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) و دو گونه از جنس براسیکا شامل کلزا (هیبرید هایولا 401) و خردل (رقم بومی از هند) بودند. کاشت با دستگاه پلات کار وینترشتایگر در تاریخ های 86/8/2 و 87/8/5 انجام گرفت. هر کرت شامل دوازده ردیف به طول 3/5 متر با فواصل خطوط 20 سانتی‌متر و مساحت 8/4 مترمربع بود. جهت جلوگیری از نشت رطوبت فاصله بین تکرارها

هر تیمار از طریق تانکری که کنتور بر آن نصب گردیده بود، به صورت کاملاً کنترل شده، انجام گرفت. در پایان دوره رشد در اواخر فروردین ماه پس از تغییر رنگ 40 درصد بذور در خورجین‌های ساقه اصلی و حذف اثرات حاشیه‌ای، برداشت از خطوط میانی هر کرت از سطح دو مترمربع انجام و عملکرد دانه در هکتار محاسبه گردید. تعیین درصد روغن به روش غیر تخریبی با دستگاه NMR مدل H20-18-25A ساخت کارخانه Bruker کشور کانادا در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر صورت گرفته است. پس از تعیین درصد روغن دانه از حاصل‌ضرب آن در عملکرد دانه، عملکرد روغن محاسبه شد (پاسبان اسلام و همکاران 1379). جهت اندازه‌گیری عناصر معدنی، در مرحله 50 درصد گلدهی، نمونه برداری صورت گرفته است. از هر تیمار نمونه برگ از برگ‌های کاملاً توسعه یافته، تهیه شد. برگ‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا با آب مقطر شستشو و در آون به مدت 24 ساعت در دمای 70 درجه سلسیوس خشک شدند. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، اندازه‌گیری غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر مدل Corning-405 و اندازه‌گیری غلظت کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی مدل Warian-220 انجام و محاسبات بر اساس وزن خشک صورت گرفت (امامی 1375). تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C، مقایسات میانگین در سطح احتمال 5 درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها با Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین کلزا و خردل از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول 3). از جدول 4 استنباط می‌شود هیبرید هایولا 401 کلزا نسبت به رقم بومی خردل 18/5 درصد افزایش عملکرد داشت که دلیل آن اختلاف ژنتیکی از

3 متر و فاصله بین کرت‌ها 1/5 متر در نظر گرفته شد. براساس آزمون خاک، 70 کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. 180 کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره به نسبت‌های 30 و 30.40 درصد به ترتیب قبل از کاشت، خروج بوته‌ها از مرحله روزت و شروع گل‌دهی به خاک داده شد. پس از تسطیح نهایی و پیاده نمودن نقشه کاشت در زمین قبل از کاشت بذر مقادیر مختلف کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم توسط کارگر پخش و با خاک مخلوط گردید. تشخیص زمان آبیاری کرت‌ها با توجه به منحنی رطوبتی خاک و استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج¹ (TDR) مدل تریم صورت گرفت. بدین منظور در زمان دو برگی شدن بوته‌ها بین ردیف‌ها در عمق یک متری لوله‌های مخصوص دستگاه TDR نصب گردید و در فواصل زمانی هر 3 روز، تخلیه رطوبتی کرت‌های آزمایشی بر اساس درصد حجمی با دستگاه قرائت و سپس بر اساس درصد وزنی محاسبه رطوبت انجام می‌شد. حجم آب در هر نوبت آبیاری برای هر کرت بر اساس رابطه ذیل (علیزاده 1384) محاسبه گردید.

$$d = \frac{(Fc - q) \times r_b \times D}{100} \quad [1]$$

d: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)

FC: درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه‌ای

θ : درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری

P_b : وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)

D: حداکثر عمق توسعه ریشه گیاه (متر)

جهت تعیین عمق توسعه ریشه، تعداد 3 بوته انتخاب و پس از جداکردن اندام‌های هوایی، عمق توسعه ریشه آنها با استفاده از سیلندرهای فلزی استوانه‌ای به قطر دهانه 20 و طول 30 سانتی‌متری، تعیین و آبیاری پس از محاسبه مقدار آب مورد نیاز در

¹Time Domain Reflectometry

کیلوگرم در هکتار از تیمار 90 درصد تخلیه رطوبتی به دست آمد (جدول 3) که مبین اختلاف در شدت تنش در این تیمارها بود. افزایش درصد سقط بذر و غلاف بواسطه کاهش فراهمی فرآورده‌های فتوسنتزی در تیمار 90 درصد تخلیه رطوبتی از دلایل مهم کاهش عملکرد می‌باشد.

نظر کارائی تبدیل ماده خشک به عملکرد اقتصادی می‌تواند باشد. جونسکرا و همکاران (2006) کاهش 25 درصدی عملکرد دانه برای خردل را نسبت به کلزا گزارش و اعلام داشتند که با وجود سازگاری بهتر و تولید ماده خشک بیشتر، خردل نسبت به کلزا از شاخص برداشت پایین‌تری برخوردار بود. در بین در رژیم‌های مختلف آبیاری بالاترین عملکرد دانه با 3214 کیلوگرم در هکتار از تیمار 50 درصد تخلیه رطوبتی و کمترین آن با 2348

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

عمق نمونه برداری (cm)	pH گل اشباع	کلسیم محلول (meq/L)	منیزیم محلول (meq/L)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	رطوبت پژمردگی دائم (%)	رطوبت ظرفیت مزرعه ای (%)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	رس	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک
1386-1387											
0-30	7/9	2/6	4	120	5/3	13/1	1/34	13	33	54	لوم شنی
30-60	8	3/2	7/9	115	4/3	12/6	1/32	20	50	28	لوم رسی شنی
1387-1388											
0-30	8	3	9/5	130	4/3	13/1	1/32	16	25	59	لوم شنی
30-60	8/9	2/5	5	110	3/3	11	1/29	10	61	21	لوم شنی

آزمایشگاه آب و خاک مرکز تحقیقات سیستان

جدول 2- کیفیت آب آبیاری.

هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	بی کربنات	کربنات	کلر	سولفات	کلسیم	منیزیم	سدیم
(meq/L)								
0/817	8/3	2/4	0	3/7	2/3	1/7	2/4	4/5

آزمایشگاه آب و خاک مرکز تحقیقات سیستان

مصرف 150 کیلوگرم در هکتار به ترتیب 36 درصد و 11 درصد بیشتر بود (جدول 4). افزایش عملکرد دانه با افزایش مصرف پتاسیم نشان‌دهنده تأثیر مثبت پتاسیم در بهبود ویژگی‌هایی چون اجزای عملکرد و اینکه فعالیت‌های متابولیسمی چون (فتوسنتز، سنتز و انتقال فرآورده‌ها) در گیاهان تحت تأثیر این عنصر قرار می-

نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج پاسبان اسلام و همکاران (1379) و سینکی و همکاران (2007) مبنی بر کاهش تولید با افزایش شدت تنش مطابقت دارد. در بین تیمارهای کودی بالاترین عملکرد دانه به تیمار 250 کیلوگرم سولفات پتاسیم (3188 کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت که نسبت به تیمارهای عدم مصرف و

مصرف بیشتر پتاسیم عملکرد روغن افزایش یافت. مقایسه میانگین‌ها در جدول 4 نشان داد که بیشترین (1423 کیلوگرم در هکتار) و کمترین (1009 کیلوگرم در هکتار) عملکرد روغن به ترتیب به مصرف 250 کیلوگرم در هکتار و عدم مصرف سولفات پتاسیم تعلق داشت. به نظر می‌رسد افزایش در عملکرد روغن دانه با افزایش میزان پتاسیم مصرفی ناشی از افزایش عملکرد دانه باشد. نتایج زمان خان و همکاران (2004) و افریدی و همکاران (2002) نیز افزایش عملکرد روغن را با افزایش مصرف پتاسیم تایید کرد. از وظایف عنصر پتاسیم، تسریع در انتقال فرآورده های فتوسنتزی از منابع به مخازن و اندام های در حال رشد می‌باشد (مارشسر 1995).

نتایج نشان داد که بین سطوح کود مصرفی و شدت تنش ارتباط وجود دارد به طوری که با افزایش شدت تنش، مقادیر بالاتر مصرف پتاسیم در افزایش عملکرد روغن کارآمدتر بودند (شکل 2). به نظر مصرف پتاسیم با تأثیری که بر افزایش عملکرد دانه داشته عملکرد روغن را نیز تحت تأثیر قرار داده است. از نظر درصد روغن، کلزا با میانگین 45/84 درصد نسبت به خردل با 41/64 درصد برتری داشت (جدول 4). این نتیجه تأییدکننده این مطلب است که درصد روغن تا حد زیادی به صورت ژنتیکی تعیین می‌گردد (جونسکرا و همکاران 2006 و پاسبان اسلام و همکاران 1379).

رژیم آبیاری تأثیر معنی‌دار بر درصد روغن نشان داد به طوری که با افزایش شدت تنش درصد روغن از 43 درصد در شرایط شاهد به 44 درصد در شرایط تنش افزایش یافت، هر چند افزایش فاحش نبود (جدول 4). به نظر می‌رسد که بین درصد روغن و میزان آب مصرفی گیاه در طی فصل رشد رابطه وجود داشته باشد به طوری که با افزایش آب مصرفی طی رشد تا یک حد معین، درصد روغن افزایش و سپس با افزایش بیشتر از آن حد کاهش یابد (پاسبان اسلام و همکاران 1379). مصرف سولفات پتاسیم بر درصد روغن اثر

گیرند (عمر 2006). شکل 1 نشان دهنده پاسخ مثبت عملکرد دانه به پتاسیم تحت کمبود آب می‌باشد. در آبیاری پس از 90 درصد تخلیه رطوبتی اختلاف بین کمترین عملکرد (در تیمار عدم مصرف پتاسیم) و بیشترین عملکرد (در تیمار مصرف 250 کیلوگرم در هکتار)، 1060 کیلوگرم بود در حالی که این اختلاف کمترین و بیشترین عملکرد در آبیاری پس از 50 درصد تخلیه رطوبتی 595 کیلوگرم بود. عمر (2006) گزارش کرد که در شرایط فراهمی بالای رطوبت خاک مصرف بالای پتاسیم تأثیر زیادی بر رشد گیاه بدلیل رقیق شدن پتاسیم نداشت. تحت شرایط خشکی کلروپلاست‌ها مقادیر بالایی از پتاسیم را بخاطر کاهش فتوسنتز و تحریک تشکیل فرم‌های فعال اکسیژن از دست می‌دهند (کک ماک 2005). این موضوع تأیید می‌نماید که افزایش در شدت تنش خشکی نتیجه‌اش افزایش در نیاز پتاسیمی برای حفظ فتوسنتز و محافظت کلروپلاست‌ها از صدمه اکسیداتیو می‌باشد.

نتایج نشان داد که بین کلزا و خردل از نظر عملکرد روغن اختلاف معنی‌دار وجود داشت. هیبرید هایولا 401 کلزا با میانگین 1393 کیلوگرم در هکتار نسبت به خردل از عملکرد روغن بالاتری برخوردار بود (جدول 4). به نظر می‌رسد که عملکرد دانه بالاتر و درصد روغن بالاتر در کلزا در افزایش عملکرد روغن نقش موثر و مسقیم داشته است. عملکرد روغن با افزایش شدت تنش رطوبتی روندی کاهشی داشت، به طوری که از 1392 کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم تنش به 1042 کیلوگرم در هکتار در تیمار 90 درصد تخلیه رطوبتی کاهش یافت (جدول 5). عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست آمده که افزایش هر کدام می‌تواند در افزایش عملکرد روغن تأثیرگذار باشد. کاهش عملکرد روغن دانه در شرایط تنش کم آبی توسط پژوهشگران دیگری نظیر جونسکرا و همکاران (2006) و پاسبان اسلام و همکاران (1379) گزارش شده است. در این آزمایش با

آبیاری، کلزا در شرایط عدم تنش بیشترین عملکرد دانه و روغن را داشته اما با افزایش شدت تنش عملکرد دانه و عملکرد روغن در کلزا کاهش چشم گیر نشان داد در حالی که روند تغییرات کاهشی در خردل از ثبات بیشتری برخوردار بود (جدول 5). نتایج جونسکرا و همکاران (2006) ما و همکاران (2004) مبنی بر برتر بودن خردل در شرایط تنش نسبت به کلزا می تواند تایید کننده، این نتایج باشد.

معنی دار داشت (جدول 3). بیشترین درصد روغن به ترتیب به سطوح 150 و 250 کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (جدول 4). پتاسیم نقش مهمی در فرایند های آنزیمی بازی می کند و متابولیسم مواد فتوسنتزی و تبدیل آنها را به روغن کنترل می کند (مارشزر 1995). نتایج به دست آمده با گزارش افریدی و همکاران (2002) مبنی بر افزایش درصد روغن کلزا با مصرف پتاسیم، مطابقت داشت. تحت تأثیر برهمکنش گونه و

جدول 3- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت تأثیر آبیاری، پتاسیم و گونه.

منیزیم	کلسیم	پتاسیم	درصد روغن	عملکرد روغن	عملکرد دانه	درجه آزادی	منابع تغییرات
0/100 ^{ns}	0/193 ^{ns}	0/435 ^{ns}	76/003 ^{**}	148518 ^{ns}	1911476 [*]	1	سال
0/066	0/280	0/120	0/545	26762	158987	4	بلوک در سال (خطا)
0/001 ^{ns}	1/605 ^{**}	4/203 ^{**}	477/877 ^{**}	2882180 ^{**}	6059617 ^{**}	1	گونه
0/031 [*]	0/766 ^{**}	3/939 ^{**}	13/568 [*]	37222 [*]	44652 ^{**}	1	سال × گونه
0/029 [*]	0/004 ^{ns}	0/223 [*]	15/212 ^{**}	1115491 ^{**}	6780092 ^{**}	2	آبیاری
0/005 ^{ns}	0/036 ^{ns}	0/047 ^{ns}	1/524 ^{ns}	5417 ^{ns}	19484 ^{ns}	2	سال × آبیاری
0/016 [*]	0/051 ^{ns}	0/414 ^{**}	4/569 ^{ns}	491924 ^{**}	2147153 ^{**}	2	گونه × آبیاری
0/061 ^{**}	0/012 ^{ns}	0/120 ^{ns}	2/640 ^{ns}	12288 ^{ns}	24164 ^{ns}	2	سال × گونه × آبیاری
0/003 ^{ns}	1/140 ^{**}	9/857 ^{**}	21/535 ^{**}	1562865 ^{**}	6585937 ^{**}	2	پتاسیم
0/007 ^{ns}	0/021 ^{ns}	0/305 [*]	11/636 ^{**}	147750 ^{**}	555396 ^{**}	2	سال × پتاسیم
0/008 ^{ns}	0/038 ^{ns}	0/238 [*]	18/595 ^{**}	35412 ^{**}	32207 ^{ns}	2	گونه × پتاسیم
0/004 ^{ns}	0/046 ^{ns}	0/110 ^{ns}	15/358 ^{**}	27047 [*]	26758 ^{ns}	2	سال × گونه × پتاسیم
0/004 ^{ns}	** 0/111	0/980 ^{**}	0/473 ^{ns}	38234 ^{**}	166129 ^{**}	4	آبیاری × پتاسیم
0/006 ^{ns}	0/038 ^{ns}	0/098 ^{ns}	3/587 ^{ns}	13840 ^{ns}	30476 ^{ns}	4	سال × آبیاری × پتاسیم
0/004 ^{ns}	0/044 ^{ns}	0/071 ^{ns}	1/622 ^{ns}	2098 ^{ns}	9152 ^{ns}	4	گونه × آبیاری × پتاسیم
0/004 ^{ns}	0/037 ^{ns}	0/016 ^{ns}	2/825 ^{ns}	6486 ^{ns}	40756 ^{ns}	4	سال × گونه × آبیاری × پتاسیم
0/005	0/025	0/063	2/134	6626	25687	68	خطا
15/89	16/73	10/44	3/34	6/62	5/72	-	ضریب تغییرات (درصد)

^{ns}، * و ** به ترتیب اختلاف غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد

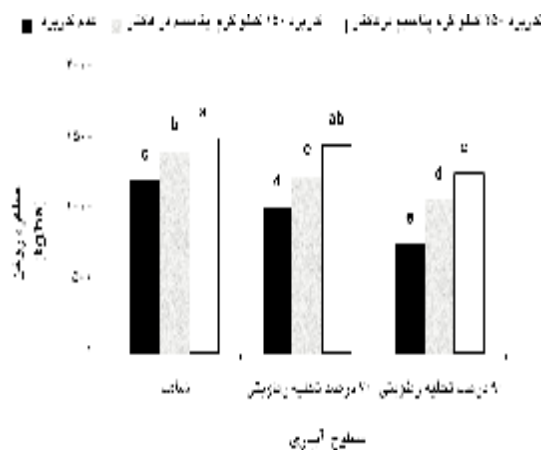
جدول 4- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی تحت تأثیر آبیاری، پتاسیم و گونه.

صفات	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد روغن	روغن	منیزیم (%)	کلسیم	پتاسیم
گونه						
S ₁	3036 a	1393a	45/84a	0/435a	0/818b	2/21b
S ₂	2562 b	1066b	41/64b	0/436a	1/062 a	2/60 a
آبیاری						
I ₁	3214 a	1392a	43/024b	0/419b	0/928 a	2/35b
I ₂	2837 b	1255b	43/90a	0/418b	0/944 a	2/37b
I ₃	2348 c	1042c	44/290a	0/468a	0/948 a	2/5 a
پتاسیم						
K ₁	2341 c	1009c	42/98c	0/426 a	1/131 a	1/82c
K ₂	2870 b	1256b	43/72b	0/435 a	0/909 b	2/56b
K ₃	3188 a	1423a	44/52a	0/445 a	0/779c	2/83 a

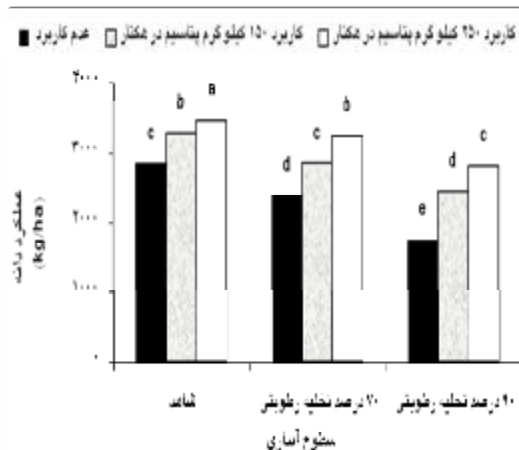
جدول 5- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی تحت تأثیر برهمکنش گونه × پتاسیم و گونه × آبیاری.

برهمکنش گونه × پتاسیم	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد روغن	روغن	منیزیم (%)	کلسیم	پتاسیم
S ₁ K ₁	2610 d	1172d	44/93b	0/442 a	0/972 a	1/72f
S ₁ K ₂	3079 a	1388b	45/19b	0/431 a	0/802 a	2/31d
S ₁ K ₃	3421 a	1618a	47/41a	0/431 a	0/674 a	2/58c
S ₂ K ₁	2072 a	846e	41/03d	0/410 a	1/291 a	1/91e
S ₂ K ₂	2661 a	1124d	42/24c	0/439 a	1/011 a	2/81b
S ₂ K ₃	2955 a	1228c	41/64cd	0/450 a	0/884 a	3/08 a
برهمکنش گونه × آبیاری						
S ₁ I ₁	3523a	1605a	45/54 a	0/442ab	0/821 a	2/26c
S ₁ I ₂	3274b	1502b	45/78 a	0/401b	0/850 a	2/16c
S ₁ I ₃	2313d	1072d	46/21 a	0/460a	0/783 a	2/19c
S ₂ I ₁	2905c	1179c	40/51 a	0/397b	1/036 a	2/43b
S ₂ I ₂	2400d	1007e	42/02 a	0/436ab	1/037 a	2/57b
S ₂ I ₃	2384d	1012e	42/38 a	0/476a	1/112 a	2/79 a

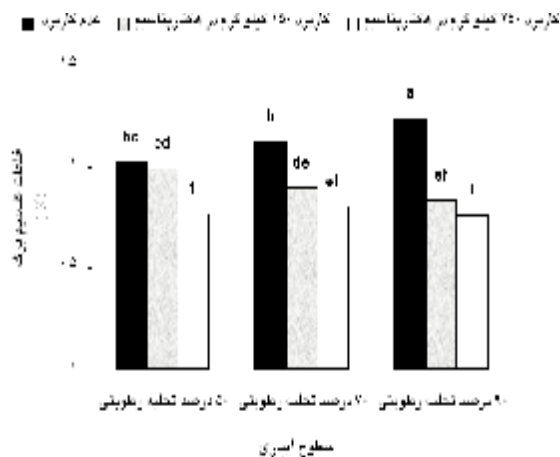
* حروف لاتین مشابه در هر ستون در جداول 4 و 5 مبین عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد. S₁ و S₂ به ترتیب گونه کلزا و خردل، I₁، I₂ و I₃ به ترتیب 50، 70 و 90 درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه و K₁، K₂ و K₃ به ترتیب عدم مصرف، 150 و 250 کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار



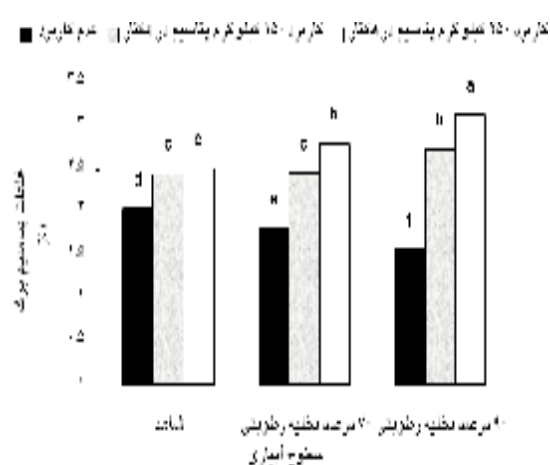
شکل 2- اثر متقابل آبیاری و کود پتاسیم بر عملکرد روغن.



شکل 1- اثر متقابل آبیاری و کود پتاسیم بر عملکرد دانه.



شکل 4- اثر متقابل آبیاری و کود پتاسیم بر غلظت کلسیم برگ.



شکل 3- اثر متقابل آبیاری و کود پتاسیم بر غلظت پتاسیم برگ.

باشد. اشرف و همکاران (2002) و عمر (2006) سهم عناصر معدنی چون پتاسیم، کلسیم و سدیم را در تنظیم اسمزی قابل توجه گزارش کردند. بالاترین غلظت پتاسیم در شرایط تنش شدید با میزان 2/49 درصد مشاهده گردید که در مقایسه با شرایط شاهد 6/5 درصد افزایش نشان داد (جدول 4). تحت خشکی، گیاه جهت افزایش مقاومت با مصرف انرژی غلظت پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی بالا می برد که این افزایش تأثیر

غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ

نتایج نشان داد که گونه ها از جهت تجمع پتاسیم در برگ تفاوت داشتند (جدول 3 و 4). خردل با 2/6 درصد پتاسیم نسبت به کلزا 18 درصد افزایش در غلظت پتاسیم نشان داد که با عنایت به نقش پتاسیم بعنوان یک اسمولیت معدنی در تنظیم اسمزی تحت شرایط نامساعد رطوبتی به نظر می رسد در قیاس با دیگر اسمولیت ها سهم بالاتری در این گونه داشته

داد بلکه بر جذب سایر عناصر نیز موثر بود. نتایج محققان دیگر نیز افزایش تجمع پتاسیم در برگ را با افزایش مصرف پتاسیم در خاک مورد تأکید قرار داده- اند که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد (عمر 2006 و اشرف و همکاران 2002).

همان طور که از اثر برهمکنش کود و رژیم آبیاری در شکل 3 مشاهده می‌شود، با افزایش مصرف پتاسیم در خاک، در شرایط تنش غلظت پتاسیم در برگ نسبت به شرایط عدم تنش بالاتر بود. این استنباط وجود دارد که بدلیل بالا بودن ضریب انتشار پتاسیم، با افزایش فراهمی پتاسیم و ایجاد گرادیان غلظت در خاک حتی در شرایط عدم دسترسی به رطوبت، پتاسیم می‌تواند جذب ریشه گیاه شود (خراسانی 1374). عمر (2006) اعلام داشت که با کاربرد مقادیر بالای پتاسیم در خاک جذب پتاسیم به وسیله برگ‌ها تحت هر دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی بهبود یافت. دسترسی بالا به پتاسیم از طریق مصرف بالای آن در خاک تحت شرایط تنش منجر به کاهش یافتن طول مسیر حرکت شده و سبب بالا رفتن غلظت پتاسیم در گیاه می‌شود (عمر 2006). دو گونه از نظر غلظت کلسیم برگ تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول 3). گونه خردل کلسیم بالاتری در برگ نسبت به کلزا داشت (جدول 4). تفاوت در ساختار برگ، ژنتیک و درجه تحمل شرایط سخت می‌تواند در این اختلاف تأثیرگذار باشد. ماجیو و همکاران (2005) اعلام داشتند که تحمل به تنش در گیاهان جنس براسیکا با تجمع یون‌ها ارتباط دارد به طوری که این ارتباط برای کلسیم توسط جون و همکاران (2008) گزارش گردیده است.

مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم برگ تحت تنش خشکی نشان داد که با افزایش شدت تنش کلسیم تجمع یافته در برگ روندی افزایشی داشته هرچند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نبود (جدول 4 و 3). بر اساس گزارش ماتسوماتو و همکاران (2002) تنش اسمزی شدید سبب افزایش کلسیم سیتوپلاسمی گردیده و نقش

مثبتی را در فتوسنتز، افزایش رشد و از همه مهمتر جذب آب بدنبال دارد (عبدل موز 1996). گزارش گردیده است که تر و خشک شدن متوالی و طولانی در خاک از طریق رهاسازی پتاسیم از بین لایه‌های رسی (عبدل موز 1996) و صعود هیدرولیکی (روز و همکاران 2008) می‌تواند در افزایش جذب یون پتاسیم تأثیر گذار باشند. اشرف و همکاران (2002) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی میزان جذب سدیم و پتاسیم در گیاه افزایش می‌یابد و آن به دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزه است. نتیجه به دست آمده با نتایج نصری و همکاران (2008) و پالومو و همکاران (1999) مبنی بر کاهش جذب پتاسیم با کمبود آب متناقض و با نتایج لینل جوردن و سلویان (2004)، عبدالمجید و همکاران (2007) و سردانز و آلاز (2008) مبنی بر افزایش جذب پتاسیم با کمبود آب، مطابقت دارد. در هر دو گونه تحت تأثیر محدودیت در فراهمی آب غلظت پتاسیم در برگ افزایش یافت. از جدول 5 استنباط می‌شود که خردل تحت افزایش شدت تنش رطوبتی در مقادیر پایین فراهمی پتاسیم نسبت به کلزا پتاسیم بیشتری در برگ تجمع داده که می‌تواند ناشی از کارایی متفاوت در جذب عناصر غذایی و قدرت جذب متفاوت ریشه در دو گونه باشد. نتیجه بدست آمده با نتایج نصری و همکاران (2008) که گزارش کردند، ارقام متحمل به خشکی می‌توانند پتاسیم بیشتری را نسبت به ارقام با حساسیت بیشتر تجمع کنند، مطابقت داشت. افزایش مصرف پتاسیم در خاک با افزایش تجمع پتاسیم در برگ همراه بود (جدول 4). به طوری که از 1/82 درصد در شرایط عدم مصرف پتاسیم در خاک به 2/83 درصد در سطح 250 کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم افزایش یافت که برتری 50 درصدی را نسبت به شاهد نشان داد به طوری که باز تاب آن افزایش عملکرد دانه و صفات وابسته به عملکرد بود. محمد و نسیم (2006) گزارش کردند که افزایش کاربرد پتاسیم نه تنها مقادیر پتاسیم در برگ را افزایش

عدم مصرف پتاسیم بالاتر بود اما با مصرف پتاسیم در هر دو شرایط تنش و عدم تنش غلظت کلسیم برگ کاهش نشان داد (شکل 4). افزایش غلظت کلسیم تحت شرایط تنش و کمبود پتاسیم می‌تواند نشانه‌ای از ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن باشد، تحت چنین اختلالاتی، کلسیم سیتوپلاسمی افزایش و بعنوان یک سیگنال تنش در سلول ایفای نقش می‌نماید (عبدالمجید و همکاران 2007).

میان دو گونه کلزا و خردل از نظر غلظت منیزیم تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول 3). با افزایش شدت تنش رطوبتی غلظت منیزیم برگ میل به افزایش نشان داد (جدول 4). به نظر می‌رسد که علاوه بر تأثیر تنش آب، عوامل دیگری چون غلظت بالای عنصر در محیط، pH خاک، میزان فراهمی دیگر عناصر، آنیونی یا کاتیونی بودن عناصر و تک ظرفیتی و دو ظرفیتی بودن در رقابت بر سر مکان‌های جذب در غشاء ریشه موثر باشند. همان طور که از جدول 1 استنباط می‌شود در خاک منطقه و در شرایط این آزمایش نسبت منیزیم به کلسیم بالاست و این می‌تواند عاملی، برای رقابت بهتر منیزیم با دیگر عناصر بر سر مکان‌های جذب در ریشه باشد. خوشگفتار و سیادت (1381) اظهار داشتند که بین منیزیم با کلسیم و پتاسیم برای مکان‌های جذب روی غشای ریشه رقابت وجود دارد. غلظت بالای منیزیم در خاک ممکن است با ایجاد کمبود کلسیم در گیاه سبب کاهش تحمل گیاه به تنش خشکی شود. عبدالرحمان و همکاران (1971) و ما و همکاران (2004) افزایش منیزیم برگ در گونه‌های جنس براسیکا را تحت تنش خشکی گزارش نمودند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. بر خلاف نتایج گزارش شده توسط آمیوسلیپا و همکاران (1991) مبنی بر افزایش معنی‌دار جذب منیزیم با کاربرد کود پتاسیم در خاک، نتایج این آزمایش تأثیر معنی‌دار کاربرد کود پتاسیم بر جذب منیزیم را نشان نداد (جدول 3). گرچه روند تغییرات آن با کاربرد بالاتر پتاسیم افزایشی بود (جدول 4). به نظر می‌رسد، تأثیر

یک سیگنال درک کننده تنش را دارد. با سنتز و انتقال اسید آبسزیک به برگ ناشی از تنش، کانال‌های کلسیمی در سلول‌های گارد روزنه فعال و روزنه‌ها بسته می‌شوند (عبدالمجید و همکاران 2007). پالومو و همکاران (1999) عدم تفاوت معنی‌دار کلسیم در برگ را تحت شرایط آبیاری و عدم آبیاری گزارش کردند که با نتیجه آزمایش مطابقت داشت. میل به افزایش کلسیم برگ تحت تنش که در شرایط این مطالعه مشاهده شد، همسو با نتایج ما و همکاران (2004)، عبدالمجید و همکاران (2007) و سردانز و آلاز (2008) که افزایش کلسیم تحت تنش خشکی را اعلام کردند، می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که افزایش شدت تنش در افزایش کلسیم برگ تأثیر گذار است. وجود اختلاف در نتایج گزارش شده توسط محققان می‌تواند به تفاوت در میزان نیاز به کلسیم در گیاهان، سطوح و نوع کود استفاده شده، شرایط متفاوت فصلی، خاکی و اقلیمی محل اجرای آزمایشات و نوع محصولات مورد استفاده مرتبط باشد. تحت تأثیر فراهمی پتاسیم در خاک، غلظت کلسیم در برگ تفاوت نشان داد (جدول 4).

در شرایط عدم مصرف پتاسیم در خاک، کلسیم برگ افزایش و با فراهمی پتاسیم در خاک میزان تجمع کلسیم در برگ کاهش نشان داد که با نتیجه لینل جوردن و سلویان (2004) مطابقت داشت. این موضوع نشان دهنده نقش کنترلی پتاسیم بر جذب و انتقال کلسیم بداخل گیاه می‌باشد. وجود رابطه آنتاگونیسمی بین کلسیم و پتاسیم و رقابت بر سر محل‌های جذب در غشاء از یک طرف و افزایش مقدار پتاسیم در محیط ریشه بعنوان عوامل کاهش دهنده غلظت کلسیم می‌توانند به شمار آیند. مارشدر (1995) و کک ماک (2005) اعلام داشتند که گیاهان متأثر از خشکی و شوری نیاز بیشتری به پتاسیم دارند. اثر برهمکنش پتاسیم و آبیاری بر غلظت کلسیم اختلاف معنی‌دار داشت (جدول 3). در شرایط تنش و عدم مصرف پتاسیم غلظت کلسیم برگ نسبت به شرایط عدم تنش و

گزارش کردند که عملکرد دانه رابطه مستقیم و معنی‌داری با عملکرد روغن داشت.

عمر (2006) ارتباط مثبتی را بین غلظت پتاسیم برگ و عملکرد دانه گزارش که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. آنچه از ضرایب همبستگی میان عناصر داخل برگ استنباط می‌شود این است که افزایش پتاسیم در برگ سبب کاهش معنی‌دار کلسیم گردیده است و برعکس تأثیر پتاسیم در افزایش منیزیم و عملکرد دانه مثبت بوده است.

کم، کاربرد کود پتاسیم در جذب منیزیم به بالا بودن میزان منیزیم خاک آزمایش مرتبط باشد.

نتایج حاصل از جدول همبستگی نشان‌گر وجود ارتباط مثبت عملکرد روغن و درصد روغن با عملکرد دانه بود (جدول 6). ضرایب همبستگی نشان داد که عناصر برگ با عملکرد دانه همبستگی دارند، به طوری که عملکرد دانه با غلظت پتاسیم برگ همبستگی مثبت نشان داد. مرجانویک جروملا و همکاران (2007)

جدول 6- همبستگی ساده غلظت عناصر برگ و صفات کیفی با عملکرد دانه.

عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	پتاسیم برگ	کلسیم برگ	منیزیم برگ
1					
0/398 ^{ns}	1				
0/977**	0/567*	1			
0/346 ^{ns}	-0/080 ^{ns}	0/281 ^{ns}	1		
-0/640**	-0/706**	-0/711**	-0/405 ^{ns}	1	
-0/232 ^{ns}	0/182 ^{ns}	-0/175 ^{ns}	0/276 ^{ns}	-0/164 ^{ns}	1

^s، * و ** به ترتیب اختلاف غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد

غلظت پتاسیم و منیزیم برگ افزایش و کلسیم تفاوت معنی‌دار نشان نداد. به نظر علاوه بر فراهمی آب در اطراف ریشه، عواملی چون وجود مکانیسم‌های متفاوت در جذب، ضریب انتشار و توازن عناصر در خاک، میزان تقاضای گیاه و شرایط خاکی و اقلیمی بر جذب عناصر تأثیر داشته باشند. افزایش مصرف سولفات پتاسیم در خاک با افزایش تجمع پتاسیم در برگ همراه بود که با توجه به وجود همبستگی مثبت عملکرد دانه با غلظت پتاسیم در برگ، افزایش کاربرد پتاسیم در خاک می‌تواند سبب تعدیل اثرات منفی تنش و بهبود عملکرد دانه در گونه‌های جنس براسیکا گردد. لذا در مناطقی که پتاسیم خاک زیر حد بحرانی می‌باشد مصرف کودهای پتاسیمی هم در شرایط تنش و هم عدم تنش خشکی قابل توصیه به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری کلی

تحت تأثیر تنش خشکی، عملکرد دانه و عملکرد روغن کاهش اما درصد روغن روند افزایشی نشان داد. افزایش مصرف سولفات پتاسیم تا 250 کیلوگرم در هکتار در سطوح تنش خشکی ملایم و شدید در هر دو گونه کلزا و خردل باعث افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن و درصد روغن شد. خردل نسبت به کلزا پتاسیم و کلسیم بالاتری در برگ داشت که با توجه به ثبات در عملکرد دانه خردل تحت شرایط تنش خشکی می‌توان این استنباط را داشت که تجمع بالای پتاسیم و کلسیم در برگ با تحمل تنش خشکی ارتباط دارد و اختلاف در کارایی جذب عناصر، در گونه‌های جنس براسیکا می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی مقاومت به خشکی مورد استفاده قرار گیرد. با افزایش شدت تنش خشکی

منابع مورد استفاده

- امامی ع، 1375. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی موسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. جلد اول، شماره 982. صفحه‌های 28 تا 58.
- پاسبان اسلام ب، شکبیا م ر، نیشابوری م ر، مقدم م و احمدی م ر، 1379. اثرات تنش کمبود آب بر روی ویژگی‌های کمی و کیفی کلزا. مجله دانش کشاورزی، دانشگاه تبریز. جلد دهم، شماره 4. صفحه‌های 75-78.
- پهلوان م، مومنی م و کیخا غ ع، 1386. تهیه نقشه رقوم حاصلخیزی خاک اراضی دشت سیستان. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان. صفحه‌های 57-65.
- خراسانی ر، 1374. بررسی روابط کمیت-شدت (Q/I) پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- خوشگفتارمنش الف ح و سیادت ح، 1381. تغذیه معدنی سبزیجات و محصولات باغی در شرایط شور. مرکز نشر و آموزش کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج. صفحه‌های 1 تا 86.
- علیزاده ا، 1384. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ ششم. صفحه 427.
- Abdel-Moez MR, 1996. Dry matter yield and nutrient uptake of corn as affected by some organic waster applied to a sandy soil. *Annals of Agricultural Science* 34:1319-1330.
- Abdel-Rahman AA, Shalaby AF and Monayeri M, 1971. Effect of moisture stress on metabolic products and ions accumulation. *Plant and Soil* 34: 65-72.
- Abdul-Majid S, Rehana A and Ghulam M, 2007. Potassium-calcium interrelationship linked to drought tolerance in wheat. *Pakistan Journal of Botany* 39:1 609-1621.
- Afridi MZ, Tariq M and Shood A, 2002. Some aspects of NPK nutrition for improved yield and oil contents of canola. *Asian Journal of Plant Sciences* 5: 507-509.
- Amnuaysilpa S, Surasak S and Terapongtanakorn S, 1991. Effects of k and Mg upon growth and nutrient uptake of sunflower grown on acide soil. *Thai Journal of Agricultural Sciences* 7:19-30.
- Ashraf M, Ashfaq M and Ashraf MY, 2002. Effect of increased supply of potassium on growth and nutrient content in pearl millet under water stress *Biologia Plantarum* 45:1:141-144.
- Cakmak I, 2005. K alleviates detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition* 68: 521-530.
- Cakmak I and Kirkby E, 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photo oxidative damage. *Physiol Planta* 133: 692-704.
- Damon PM, Osborne D and Rengel Z, 2007. Canola genotypes differ in potassium efficiency during vegetative growth. *Euphytica Journal* 156: 387-397.
- Damon PM and Rengel Z. 2004. Genotypic variation in potassium efficiency of wheat. Pp.47-48. In: Horne R, Morgan N, Parker W, Regan K, Harries M and Douglas A (Eds). *Agribusiness Crop Updates: Cereals*. Perth, Western Australia.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SMA, 2008. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 10:1051-1059.
- Grant CA and Bailey LD, 1993. Fertility management Canada production. *Canadian of plant Science* 81:543-547.
- Gunasekera CP, Martin LD, Siddique KHM and Walton G H, 2006. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*B. Juncea L.*) and canola (*B. napus L.*) in Mediterranean-type environments: II. Oil and protein concentrations in seed. *European Journal of Agronomy* 25: 13-21.
- Jun X, Chen Z, Wang P, Yu L and Li M, 2008. Effect of CaCl₂ treatment on the changing of drought related physiological and biochemical indexes of *Brassica napus L.* *Frontiers of Agriculture in China* 2: 423-427.
- Knudsen D, Peterson GA and Pratt PF. 1982. Lithium, Sodium and potassium. Pp. 225-246. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Lionel-Jordan M and Sylvain P, 2004. Leaf area establishment of a maize field crop under potassium deficiency. *Plant and Soil* 265:75-92.
- Ma QF, Turner DW, Levy D and Cowling WA, 2004. Solute accumulation and osmotic adjustment in leaves of *Brassica* oilseeds in response to soil water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research* 55:939-945.
- Marjanovic-Jeromela A, Marinkovic R, Mijic A, Jankulovska M and Zdunic Z, 2007. Inter relationship between oil yield and other quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus L.*). *Journal of Central European Agriculture* 8: 165-170.

- Marshner H, 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, London, UK.
- Matsumoto TK, Ellsmore AJ, Cessna SG, Low PS, Pardo JM, Bressan RA and Hasegawa PM, 2002. An osmotically induced cytosolic Ca^{2+} transient activates calcineurin signaling to mediate ion homeostasis and salt tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Biological Chemistry* 27: 3075-3080.
- Mohammad F and Naseem U, 2006. Effect of K application on leaf carbonic anhydrase and nitrate reductase activities, photosynthetic characteristics, NPK and NO_3 contents, growth, and yield of mustard. *Photosynthetica* 44:471-473.
- Nayyar H, 2003. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Environment Experiment Botany* 50: 253–264.
- Nasri M, Zahedi H and Tohidi Moghadam HR, 2008. Investigation of water stress on macro elements in Rapeseed Genotypes Leaf (*Brassica napus*). *American Journal Agricultural Biological Science* 3:669-672.
- Palomo IR, Baioni SS, Fioretti MN and Brevet RE, 1999. Canola under water deficiency in Southern Argentina. *Proceeding of 10th International Rapeseed Congress*, Canberra, Australia.
- Pei ZM, Murata YG, Benning S, Thomine B, Klusener G, Allen J, Grill E and Schroeder JI, 2000. Calcium channels activated by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signaling in guard cells. *Nature* 406: 731-734.
- Rose TJA, Rengel Z, Ma ACQ and Bowden J W, 2008. Hydraulic lift by canola plants aids P and K uptake from dry topsoil. *Australian Journal Agricultural Research* 59: 38–45.
- Sardanz J and Uelas JP, 2008. Drought changes nutrient sources, content and stoichiometry in the bryophyte *Hypnum cupressiforme* Hedw. Growing in a Mediterranean forest. *Journal Biological* 30:59–65.
- Sinaki J, Majidi Heravan ME, Shirani Rad AH, Noormohammadi GH and Zarei GH, 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola . *American Eurasian Journal Agricultural Biological Science* 2:417- 422.
- Steingrobe B and Claassen N. 2000. Potassium dynamics in the rhizosphere and K efficiency of crops. *Journal Plant Nutrition. Soil Science*. 163: 101–106.
- Umar S, 2006. Alleviation adverse effects of water stress on yield of sorghum, mustard and groundnut by potassium application. *Pakistan Journal of Botany* 38:1373-1380.
- Yunca H and Schmidhalter U, 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal Plant Nutrition. Soil Science* 168: 541-549.
- Zaman-Khan H, Asghar Malik M, Farrukh Saleem M and Aziz I, 2004. Effect of different potassium fertilization levels on growth, seed yield and oil contents of canola (*Brassica napus L.*). *International Journal Agricultural Biological* 3:557–559.