

## بررسی اثر مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات زراعی خردل هندی (*Brassica juncea L.*) تحت تنش خشکی

حمید رضا فنایی<sup>۱</sup>، عیسی پیری<sup>۲</sup>، محمد رضا ناروئی‌راد<sup>۱</sup>

۱. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان؛ ۲. دانشیار دانشگاه پیام نور واحد زاهدان؛

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۳۱

### چکیده

به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات زراعی خردل هندی در شرایط تنش خشکی ابتدای فصل، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان در سال زراعی ۹۰-۸۹ اجرا شد. فاکتور اصلی آزمایش، تنش خشکی در دو سطح شامل (۱) شاهد (بدون تنش)، که از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک آبیاری کرت‌ها بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک صورت گرفت؛ و (۲) تنش خشکی در فاز رویشی که آبیاری کرت‌ها از زمان کاشت تا شروع گل‌دهی بر اساس ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک صورت گرفت. فاکتور فرعی مصرف کود فسفره در چهار سطح شامل: عدم مصرف فسفر، مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (از منبع سوپر فسفات تریپل) بودند. نتایج به دست آمده نشان داد که تنش خشکی در ابتدای فصل (قطع آبیاری در مراحل روزت، غنچه‌دهی تا شروع گلدهی) عملکرد دانه، اجزای عملکرد نظیر تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، و صفات ارتفاع بوته و عملکرد روغن را بطور معنی‌داری کاهش داد. بالاترین عملکرد دانه (۳۵۶۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۱۳۷۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم تنش آبیاری به دست آمد. افزایش مصرف فسفر تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد دانه و اکثر صفات مرتبط را به دنبال داشت، اما در سطح ۲۰۰ کیلوگرم کاهش در عملکرد مشاهده شد. برهمکنش مقادیر مصرف فسفر و تیمار آبیاری بر هیچ یک از صفات معنی‌دار نبود. از بین ویژگی‌های زراعی بالاترین ضریب همبستگی را عملکرد دانه با تعداد خورجین در شاخه اصلی ( $r = 0/84^{**}$ )، ارتفاع بوته ( $r = 0/76^{**}$ )، تعداد خورجین در بوته ( $r = 0/74^{**}$ ) و وزن هزار ( $r = 0/62^{**}$ ) نشان داد. براساس نتایج بدست آمده جهت دستیابی به حداکثر عملکرد دانه، روغن و اجزای عملکرد فراهمی آب در مرحله رشد رویشی به خصوص (غنچه‌دهی) و در مرحله زایشی (گلدهی) و پر شدن دانه) به همراه مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل در خردل ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: تخلیه رطوبتی، کود شیمیایی، آبیاری و اجزای عملکرد

### مقدمه

تحمل بالایی به تنش‌های رطوبتی و گرما برخوردار می‌باشد و می‌تواند عملکرد خوبی در مناطق کم آب تولید نماید (Fanaei et al., 2009; Niknam et al., 2003). لاین-های خردل دارای ۳۸ تا ۴۰ درصد روغن و ۲۳ تا ۳۰ درصد پروتئین هستند (Burton et al., 1999). در تنش رطوبتی شدید، پتانسیل آب برگ و پتانسیل اسمزی در پایان فصل رشد در ژنوتیپ‌های خردل نسبت به کلزا افت سریع‌تری نشان داد و زودرسی سبب عدم برخورد گلدهی و پر شدن

آب و عناصر غذایی از مهمترین فاکتورهای کنترل کننده رشد گیاهان می‌باشند. با توجه به پیش بینی گرم شدن کره زمین انتظار افزایش شدت و توالی تنش خشکی در مناطق وسیعی از جهان وجود دارد (Meehl and Tebaldi, 2004). از آن جا که این تنش بر تولید گیاهان تاثیرگذار خواهد بود، لذا گزینش گیاهان متحمل و راهکارهای مدیریتی برای افزایش عملکرد تحت شرایط تشدید خشکی ضروری است. خردل هندی از گیاهانی روغنی است که از

کاربرد کود فسفر می‌تواند رشد گیاه را به طور قابل ملاحظه- ای در شرایط خشکی بهبود بخشد (Garg et al., 2004). اثرات مثبت فسفر بر رشد گیاه تحت خشکی به افزایش کارایی مصرف آب و فتوسنتز (Ackerson, 1985)، بالا بودن پایداری غشاء سلولی و اثرات روابط آبی (Sawwan et al., 2000) نسبت داده شده است. در خاک‌های با مقادیر فسفر پائین، کاربرد آن اثرات منفی تنش خشکی را بر محتوی نسبی آب، میزان فتوسنتز خالص، متابولیسم کربوهیدرات و محتوی پروتئین محلول در حبوبات کاهش می‌دهد (Garg et al., 2004).

تحت تنش خشکی عملکرد دانه درگونه‌های جنس براسیکا کاهش می‌یابد، اما فراهمی مناسب عناصر غذایی می‌تواند اثرات منفی تنش را بر عملکرد دانه کاهش دهد (Gunasekera et al., 2006; Fanaei et al., 2009). رودریگوئز و همکاران (Rodriguez et al., 1996) طی مطالعه اثر فسفر و تحمل به تنش خشکی در گندم گزارش کردند که اثر تنش خشکی در مقادیر مختلف از فراهمی فسفر کاهش یافت. بالوچ و همکاران (Baloch et al., 2006) گزارش کردند که افزایش کاربرد نیتروژن و فسفر بطور معنی‌داری همه صفات مرتبط با عملکرد در خردل را افزایش داد، به طوری که بیشترین ارتفاع بوته، شاخه در بوته، غلاف در گیاه، دانه در غلاف، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم ازت و ۷۵ کیلوگرم فسفرخالص در هکتار به دست آمد. طی یک بررسی که توسط سومریا (Sumeria, 2003) انجام گرفت صفات رشدی چون ارتفاع بوته، ماده خشک گیاه، تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه، تعداد خورجین در بوته، تعداد بذر در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هکتار در خردل به طور معنی‌داری تحت تأثیر افزایش مقادیر فسفر قرار گرفتند. ژنگ و همکاران (Zheng et al., 2010) گزارش کردند که تنوع عملکرد در سویا تا حد زیادی به واسطه فسفر قابل دسترس خاک و مقدار فسفر کاربردی بود، به طوری که تحت تنش خشکی بهبود عملکرد از طریق تغییر در مقادیر فسفر کاربردی صورت گرفت، اما وقتی مقدار مصرف فسفر به آستانه ۲۰۰ کیلوگرم درهکتار رسید، افزایش عملکرد معنی‌دار نبود. 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 و عملکرد در قیاس با سایر مناطق متفاوت

دانه به شرایط نامساعد آخر فصل گردید. این یک سازوکار مطلوب در بهبود عملکرد دانه است (Gunasekera et al., 2003). سینکی و همکاران (Sinaki et al., 2007) و فناپی و همکاران (Fanaei et al., 2009) بیشترین کاهش عملکرد دانه را ناشی از تنش آبی در مرحله گل‌دهی و مرحله نمو خورجین گزارش کردند. در یک بررسی که واکنش گونه‌های جنس براسیکا به تنش خشکی انجام شد، مقدار روغن دانه با تشدید تنش افزایش و مقدار پروتئین تغییر معنی‌دار نشان نداد (Pasbaneslam et al., 2000). استفاده زیاد و نامتوازن از کودهای شیمیایی، محدودیت در چرخش بقایای گیاهی و ایجاد فاصله میان برداشت و عدم جایگزینی عناصر ماکرو و میکرو برداشت شده از خاک در زمان مناسب، سبب گردیده تا کاهش حاصل‌خیزی و کمبود عناصر غذایی به خصوص عناصر ماکرو (نیتروژن، پتاسیم و فسفر) تولید در اراضی را کاهش دهد (Ram et al., 2011). فسفر یکی از مهمترین عناصر کنترل‌کننده رشد و نمو در گیاه است. فسفر جزئی از اسیدهای نوکلئیک، فسفو لیپیدها، فسفو پروتئین‌ها، دی نوکلئوتیدها و آدنوزین تری فسفات است. فسفر برای فرایندهایی شامل ذخیره و انتقال انرژی فتوسنتز، تنظیم برخی آنزیم‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها مورد نیاز است. وضعیت عناصر معدنی نقش مهم و جدی را در افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی در گیاهان بازی می‌کنند (Yuncaï and Schmidhalter, 2005). به ازای توسعه رشد ریشه از طریق کاربرد عناصر معدنی تحت شرایط خشکی استحصال آب و مواد غذایی از لایه‌های عمیق‌تر خاک تسهیل می‌شود (Viets, 1972). جذب فسفر تحت خشکی نسبتاً ملایم کاهش و جابجایی فسفر به اندام هوایی به شدت محدود می‌گردد. تنش از طریق تأثیر بر قابلیت دسترسی، انتقال و توزیع عناصر معدنی در گیاهان، کارایی جذب عناصر معدنی را دچار اختلال می‌کند (Yuncaï and Schmidhalter, 2005). تنش خشکی عموماً جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، سدیم و کلرید را افزایش و جذب آهن و فسفر را کاهش می‌دهد (Rahman-Abdel et al., 1975). ترشحات مولکولی و عمدتاً موسیلاژها از گیاهان در خاک خشک کم تحرکی فسفر در چنین شرایطی را خنثی می‌کند (Turner, Liebersbachet et al., 2004). تورنر (Turner, 1985) اظهار داشت که کمبود فسفر می‌تواند یکی از اولین اثرات تنش خشکی شدید و متوسط در گیاهان باشد. لذا

مقدار فسفر خاک می‌باشد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی آزمایش، تنش خشکی در دو سطح شامل (۱) بدون تنش، که آبیاری کرت‌ها از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک، صورت گرفت (مراحل روزت، غنچه‌دهی، گل‌دهی، خورجین‌دهی و پر شدن دانه)؛ و (۲) تنش خشکی در فاز رویشی، که آبیاری کرت‌ها از زمان کاشت تا شروع گل‌دهی بر اساس ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک، صورت گرفت (قطع آبیاری در مراحل روزت، غنچه‌دهی)، و فاکتور فرعی مقادیر مصرف کود فسفره در چهار سطح شامل عدم مصرف فسفر، مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (از منبع سوپرفسفات تریپل) بودند.

باشد. این تحقیق با هدف بررسی امکان کاهش اثرات تنش خشکی بر عملکرد تحت تاثیر کاربرد مقادیر مختلف فسفر انجام گرفته است.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر کود فسفر بر عملکرد دانه و برخی صفات زراعی خردل هندی، در شرایط تنش خشکی ابتدای فصل در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان طی سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ اجرا شد. این ایستگاه در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان زابل و با ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا قرار گرفته و متوسط بارندگی سالیانه آن ۵۳ میلی‌متر است. نتایج تجزیه خاک مزرعه در جدول ۲ ارائه گردیده است که نشان دهنده پایین بودن

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 1. Physical characteristics of soil in experimental site.

عمق نمونه برداری	فسفر قابل جذب	آب ظرفیت مزرعه‌ای	آب نقطه پژمردگی دائم	جرم مخصوص ظاهری خاک
Sampling depth (cm)	P <sub>Ava</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )	Water at field capacity (%)	Water at permanent wilting point (%)	Soil bulk density (g.cm <sup>-3</sup> )
0-30	2.6	13.1	5.3	1.34
0-60	6	12.6	4.3	1.32

دستگاه رطوبت سنج<sup>۱</sup> (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 ۳ روز میزان تخلیه رطوبتی کرت‌های آزمایشی قرائت می‌شد. در طول دوره رشد یادداشت برداری و مراقبت‌های زراعی لازم صورت گرفت. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته و تعداد خورجین ساقه اصلی بر روی پنج بوته انتخابی از هر کرت اندازه‌گیری و شمارش شد. با انتخاب تصادفی ۲۰ خورجین از هر کرت و شمارش دانه‌ها، تعداد دانه در خورجین مشخص گردید. وزن هزار دانه با توزین چهار نمونه ۲۵۰ تایی با ترازوی حساس ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برداشت نهایی جهت تعیین عملکرد دانه با حذف دو خط از طرفین و نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط به عنوان اثرات

هر کرت شامل ۶ ردیف به طول ۴ متر با فواصل خطوط ۲۰ سانتی‌متر و مساحت ۴/۸ متر مربع بود. جهت جلوگیری از نشت رطوبت، فاصله بین تکرارها ۳ متر و فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. براساس آزمون خاک، ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. ۳۸۰ کیلوگرم در هکتار اوره به نسبت-های ۳۰، ۴۰ و ۳۰ درصد به ترتیب قبل از کاشت، خروج بوته‌ها از مرحله روزت و شروع گل‌دهی به خاک داده شد. پس از تسطیح نهایی و قبل از کاشت بذر، مقادیر مختلف کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل بر اساس نقشه کاشت در زمین با نیروی کارگری پخش و با خاک مخلوط گردید. کاشت بذر با دستگاه پلات‌کار وینتراشتاگر مخصوص کشت آزمایشات، در تاریخ ۸/۸/۸۹ انجام گرفت. تشخیص زمان آبیاری کرت‌ها با توجه به منحنی رطوبتی خاک و استفاده از

مراحلی که تمایز اجزای عملکرد در گیاه صورت می‌گیرد را برای افزایش تعداد خورجین در واحد سطح و تعداد دانه در خورجین‌های شاخه اصلی و فرعی ضروری دانستند. اقبال و همکاران (Iqbal et al., 2008) و نیک نام و همکاران (Niknam and et al., 2003) تحت شرایط تشدید تنش عکس‌العمل بهتری را در خردل بدلیل انجام تنظیم اسمزی بالاتر نسبت به کلزا گزارش کردند.

مصرف فسفر سبب افزایش معنی‌دار تعداد خورجین در بوته و خورجین ساقه اصلی گردید، به طوری که بیشترین تعداد خورجین با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به دست آمد که در قیاس با شاهد ۱۸ درصد افزایش داشت (جدول ۳). افزایش تعداد خورجین در بوته و خورجین ساقه اصلی را می‌توان به نقش یون فسفر در توسعه و گسترش رشد ریشه و تسهیل شدن استحصال آب و مواد غذایی از لایه‌های عمیق تر خاک و به طبع افزایش فتوسنتز ناشی از دسترسی بیشتر به رطوبت نسبت داد. نتایج به دست آمده با نتایج ورنه و عبیدی (Verna and Abidi., 2009) و بالوچ و همکاران (Baloch et al., 2006) مبنی بر تأثیر مثبت مصرف مقادیر بالای فسفر بر افزایش تعداد خورجین در بوته مطابقت داشت. جذب فسفر منجر به افزایش تثبیت خالص دی اکسید کربن به همراه افزایش فتوسنتز در گیاه شده و این سبب افزایش تعداد خورجین در بوته می‌گردد (Badsra and Chaudhary, 2001).

حاشیه‌ای از سطح ۱/۲ مترمربع انجام گرفت. پس از خشک شدن و رسیدن تمام خورجین‌ها روی بوته اقدام به کوبیدن و جداسازی دانه‌ها و محاسبه عملکرد دانه در کرت و هکتار گردید. درصد روغن دانه‌ها با استفاده از دستگاه NMR مدل H20-18-25A ساخت کارخانه Bruker کشور کانادا در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تعیین شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C و مقایسات میانگین در سطح احتمال ۰.۵٪ به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی بر تعداد خورجین در ساقه اصلی و تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). تحت تأثیر تنش خشکی در فاز رویشی میانگین تعداد خورجین در ساقه اصلی و تعداد خورجین در بوته روند کاهشی را نشان داد (جدول ۳). تعیین و تمایز تعداد خورجین در بوته روی ساقه اصلی و شاخه فرعی در طی فاز رویشی شکل می‌گیرند. محدودیت رطوبت طی این مراحل در کل سبب کاهش تعداد خورجین در بوته می‌گردد. فنایی و همکاران (Fanaei et al., 2009) و سینکی و همکاران (Sinaki et al., 2007) افت تعداد خورجین در بوته را ناشی از کاهش ارتفاع گیاه و طول ساقه اصلی تحت تنش تشدید گزارش و تأمین آب کافی در طی

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات گیاهی خردل هندی در تیمارهای آبیاری و کود فسفر.

Table 2. Analysis of variance for plant characteristics of Indian mustard in irrigation and phosphorus fertilizer treatments.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	خورجین در بوته Silique per Plant	دانه در خورجین Grains per Silique	وزن هزاردانه 1000 Grain weight	خورجین ساقه اصلی Silique in main stem
Replication	تکرار	2	1114674.54	151.002	0.755	0.071	36.292
Irrigation (I)	آبیاری	1	12379757.04*	1066.667**	5.134*	0.528*	807.360*
Error	خطا	2	383959.04	4.722	0.166	0.022	33.740
Phosphor (P)	فسفر	3	1504247.15**	238.616**	5.442*	0.004 <sup>ns</sup>	56.331**
I × P	آبیاری × فسفر	3	258862.37 <sup>ns</sup>	30.377 <sup>ns</sup>	0.805 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	11.530 <sup>ns</sup>
Error	خطا	12	243075.014	15.781	1.307	0.011	6.745
CV	ضریب تغییرات		17.30	5.01	10.05	3.24	8.49

جدول ۲. ادامه Table 2. Continue.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	شروع گل‌دهی Start of flowering	رسیدگی فیزیولوژیک Physiologic maturity	ارتفاع بوته Plant height	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
Replication	تکرار	2	7.542	2.542	3.049	3.799	196809.042
Irrigation (I)	آبیاری	1	308.167*	176.042*	1368.060**	12.241*	201898.042*
Error	خطا	2	15.792	3.292	0.004	8.852	67051.792
Phosphor (P)	فسفر	3	9.889**	6.375 <sup>ns</sup>	117.912*	5.347 <sup>ns</sup>	157641.264 <sup>ns</sup>
I × P	آبیاری × فسفر	3	0.722 <sup>ns</sup>	1.042 <sup>ns</sup>	20.679 <sup>ns</sup>	4.890 <sup>ns</sup>	16919.708 <sup>ns</sup>
Error	خطا	12	0.556	3.750	20.084	5.916	63645.194
CV	ضریب تغییرات		0.83	1.23	3.47	6.40	23.21

ns, \* and \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\* means non-significant, and significant at the 5% and 1% levels, respectively

(al., 2002). نتایج گزارش شده توسط برخی محققین در خردل مبنی بر افزایش تعداد دانه در خورجین با افزایش مقادیر بالاتر فسفر (Sumeria, 2003; Baloch et al., 2006; Verma and Abidi, 2009)، با نتایج این تحقیق، مطابقت داشت.

تنش خشکی بر وزن هزاردانه اثر معنی‌دار داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین این صفت در جدول ۳ نشان می‌دهد که وقوع تنش در فاز رویشی وزن هزار دانه را نسبت به شرایط شاهد ۱۱ درصد کاهش داد. اگر چه معمولاً تنش محیطی (کمبود آب) در مراحل تشکیل و پرشدن دانه‌ها منجر به کاهش وزن دانه می‌شود، اما به نظر می‌رسد تداوم زیاد محدودیت رطوبت در فاز رویشی سبب گردیده تا هر سه جزء عملکرد تحت تاثیر واقع گردند. از طرف دیگر در این تیمار به دلیل کم بودن مواد ذخیره‌ای قبل از گلدهی ناشی از تنش و فرا رسیدن گرمای زودرس آخر فصل، ضمن کوتاه شدن دوره پرشدن دانه، فرصت استفاده از مواد اسیمیلاتی حاصل از فتوسنتز جاری، و انتقال مجدد برای دانه، علی‌رغم فراهمی رطوبت در فاز زایشی نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرده و دانه‌ها کوچکتر و وزن کمتری یافتند. نتایج بدست آمده با نتایج کومار و همکاران (Kumar et al., 1994) و پاسبان اسلام و همکاران (Pasbaneslam et al., 2001) که افزایش وزن هزار دانه را در جبران کاهش تعداد دانه در خورجین تحت تنش آبی گزارش کردند، مغایرت دارد. شرایط کشت، نحوه اعمال تنش، نوع گیاه و شرایط آخر فصل در آزمایشات مختلف

تعداد دانه در خورجین به طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲)، به طوری که در شرایط کم‌آبیاری، میانگین تعداد دانه از ۱۲ به ۱۰ دانه در خورجین کاهش یافت (جدول ۳). احتمالاً تداوم مدت تنش رطوبتی از طریق محدودیت در فراهمی اسیمیلات فتوسنتزی در فاز رویشی بر گرده‌افشانی و باروری گلچه‌ها تاثیر گذاشته و سبب سقط گلچه و در نهایت کاهش تعداد دانه در خورجین گردیده است. در نتایج پاسبان اسلام و همکاران (Pasbaneslam et al., 2001) و سینکی و همکاران (Sinaki et al., 2007) به تأثیر محدودیت آب در مراحل غنچه‌دهی و گل‌دهی بر افت شدید تعداد دانه در خورجین اشاره شده است. تنش خشکی، فتوسنتز و مصرف مواد فتوسنتزی را در برگ‌های در حال توسعه کاهش می‌دهد و اثر خشکی به صورت غیر مستقیم، کاهش میزان صدور مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به محل‌های رشدی خواهد بود. اثر فسفر بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود (جدول ۲)، به طوری که در شرایط عدم مصرف فسفر نسبت به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، کاهش تعداد دانه در خورجین ۲۳ درصد بود (جدول ۳). در توجیه اثرات مثبت مصرف فسفر بر افزایش تعداد دانه در خورجین می‌توان به نقش یون فسفر در سنتز و رسوب ذخایر در دانه شامل (نشاسته، لیپید، پروتئین، فیتین) و انرژی ذخیره شده حاصل از فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها در باندهای فسفات اشاره داشت که بعداً در جهت رشد و تولید مثل مورد استفاده قرار خواهند گرفت (Kundu and Dhaka, 1996; Ayub et al., 2006).

می‌تواند در این اختلاف نتایج دخیل باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف فسفر بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسات میانگین نیز حاکی از عدم تاثیر فاحش فسفر بر وزن هزار دانه بود (جدول ۳). اگرچه روند افزایشی در وزن هزار دانه با افزایش مصرف کود فسفر (جدول ۳) می‌تواند نشان از وجود پتانسیل افزایش وزن دانه تحت تاثیر شرایط محیطی و مدیریتی باشد. ورما و عبیدی (Verma and Abidi, 2009) نیز عدم تاثیر معنی‌دار مصرف مقادیر بالای فسفر بر افزایش وزن هزار دانه را در خردل گزارش کردند.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های صفات گیاهی خردل هندی در تیمارهای آبیاری و کود فسفر.

Table 3. Mean comparisons of plant characteristics of Indian mustard in irrigation and phosphorus fertilizer treatments.

Treatment	تیمار	عملکرد دانه	تعداد خورجین	تعداد دانه در	وزن هزار دانه	تعداد خورجین
		Grain yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	در بوته Silique. plant <sup>-1</sup>	خورجین Grain. silique <sup>-1</sup>	(گرم) 1000 Grain weight (g)	ساقه اصلی Silique stem origin
<b>Irrigation</b>						
Control	شاهد	3567 a	86 a	12 a	3.423 a	36 a
Water stress	تنش رطوبتی	2131 b	72 b	10 b	3.127 b	24 b
کاربرد فسفر (کیلوگرم در هکتار)						
<b>P Application (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	شاهد (صفر)	2277 b	70 c	10 b	3.25 a	27 c
100	۱۰۰	2744 b	79 b	11 b	3.30 a	30 b
150	۱۵۰	3491 a	85 a	13 a	3.293 a	33 a
200	۲۰۰	2884 ab	83 a	12 ab	3.253 a	32 a

Table 3. Continue.

جدول ۳. ادامه

Treatment	تیمار	روز تا شروع	روز تا رسیدگی	ارتفاع بوته	درصد	عملکرد روغن
		گل‌دهی Days to flowering	فیزیولوژیک Days to physiological maturity	(سانتی‌متر) Height plant (cm)	روغن Oil percent	(کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
<b>Irrigation</b>						
Control	شاهد	3567 a	86 a	12 a	3.423 a	36 a
Water stress	تنش رطوبتی	2131 b	72 b	10 b	3.127 b	24 b
کاربرد فسفر (کیلوگرم در هکتار)						
<b>P Application (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	شاهد (صفر)	2277 b	70 c	10 b	3.25 a	27 c
100	۱۰۰	2744 b	79 b	11 b	3.30 a	30 b
150	۱۵۰	3491 a	85 a	13 a	3.293 a	33 a
200	۲۰۰	2884 ab	83 a	12 ab	3.253 a	32 a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. Means in each column followed by the similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, according to Duncan's Multiple Range Test.

بالا بودن ارتفاع در شرایط عدم تنش نشان از اثر مثبت آبیاری بر افزایش رشد و وقوع مراحل فنولوژیکی منطبق با شرایط مناسب محیطی و استفاده بهینه از منابع در مراحل

تنش خشکی و کاربرد فسفر بر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲). تحت تنش خشکی در فاز رویشی ارتفاع بوته از ۱۳۷ به ۱۲۱ سانتی‌متر کاهش یافت.

همکاران (Sinaki et al., 2007) که کاهش عملکرد دانه را ناشی از کاهش یافتن تعداد خورجین در بوته، دانه در خورجین و وزن هزار دانه تحت تنش اعلام کردند، موافقت دارد. کاهش فراهمی اسیمیلات جهت بهبود اجزای عملکرد از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی ذکر گردیده است (Diepenbrock, 2000). مقایسه میانگین عملکرد دانه در سطوح مختلف فسفر در جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش مصرف فسفر افزایش عملکرد دانه رخ می‌دهد، اما در بین تیمارهای کودی، بالاترین عملکرد دانه به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (۳۴۹۱ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت که نسبت به تیمارهای عدم مصرف فسفر، ۳۵ درصد بالاتر بود، اما مصرف بیشتر فسفر از ۱۵۰ کیلوگرم به ۲۰۰ کیلوگرم سبب کاهش در عملکرد گردید. نقش فسفات در کند کردن جذب و انتقال عناصر ریزمغذی از قبیل روی (Millikan, 1963)، آهن یا مس (Nus et al., 1993) می‌تواند در این نتیجه تاثیرگذار باشد. ژنگ و همکاران (Zheng et al., 2010) نیز در سویا اعلام داشتند که عملکرد دانه، وقتی مقدار مصرف فسفر به آستانه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار رسید، دیگر افزایش نیافت. افزایش عملکرد دانه با افزایش مصرف فسفر بیانگر تاثیر مثبت آن در افزایش پارامترهای وابسته به عملکرد، از طریق بهبود یافتن صفات بیوشیمیایی می باشد (Verma and Abidi., 2009). اثرات مثبت فسفر بر رشد گیاه تحت خشکی به افزایش کارایی مصرف آب و فتوسنتز (Ackerson, 1985)، بالا بودن پایداری غشاء سلولی و اثرات روابط آبی (Sawwan et al., 2000) نسبت داده شده است. بهبود عملکرد در گیاهان تیمار شده با فسفر در مقایسه با شاهد توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Ayub et al., 2002; Sumeria, 2003; Baloch et al., 2006; Zheng et al., 2010).

درصد روغن در بین سطوح مختلف تنش خشکی و مصرف فسفر اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۲). اگرچه ماکزیمم درصد روغن در شرایط عدم تنش خشکی با میانگین ۳۹ درصد بدست آمد (جدول ۳). عدم معنی‌داری این صفت در این آزمایش بر خلاف نتایج برخی آزمایشات که افزایش و یا کاهش در درصد روغن را گزارش کردند، می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که بین درصد روغن، زمان بروز تنش خشکی و نوع عنصر غذایی در طی فصل رشد رابطه وجود دارد. بوچه‌را و همکاران (Bouchereau et

فوق دارد. ارتفاع گیاه نسبت به اعمال تنش خشکی در مراحل رویشی و گلدهی، حساس‌ترین صفت به شمار می‌رود و در این شرایط کاهش می‌یابد، چرا که کمبود آب سبب کاهش در اندازه سلول بواسطه کاهش تنظیمات سلولی و نهایتاً کاهش رشد بوته می‌شود. بازتاب عمده ناشی از تنش خشکی، کاهش نابرابر رشد شاخساره نسبت به رشد ریشه است. این پدیده به طور عمده، منجر به کاهش نسبت ساقه به ریشه می‌شود (Kafi et al., 2009). نتایج این تحقیق با نتایج آل باراک (Albarrak, 2006) و سینکی و همکاران (Sinaki et al., 2007) که تاثیر منفی محدودیت آبی را بر کاهش ارتفاع گزارش کردند، مطابقت دارد. با مصرف فسفر ارتفاع بوته از ۱۲۳ سانتی‌متر در شرایط عدم کاربرد فسفر به ۱۳۰ سانتی‌متر در تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار افزایش و بعد از این سطح کاهش نشان داد (جدول ۲). به نظر می‌رسد واکنش به سطح مشخصی از مصرف فسفر در خردل وجود دارد. بهینه بودن فسفر در محیط ریشه سبب گسترش بیشتر گردیده که این می‌تواند جذب بیشتر و بهینه مواد غذایی و آب از لایه‌های پایینی خاک، رشد بیشتر اندام‌های هوایی، افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک را به دنبال داشته باشد که اثر آن در افزایش رشد و ارتفاع گیاه مشهود بود. در نتایج طارق و همکاران (Tariq et al., 2011) و ایوب و همکاران (Ayub et al., 2002) در ذرت، و ورما و عبیدی (Verma and Abidi., 1996) در خردل به تاثیر مثبت مصرف مقادیر بالای فسفر بر افزایش ارتفاع اشاره شده است. این محققان اعلام داشتند که فسفر با تاثیر مثبت بر فتوسنتز گیاه از طریق فراهمی اسیمیلات و انتقال آنها، می‌تواند در توسعه رشد ریشه، برگ ها و افزایش ارتفاع موثر باشد.

تاثیر تنش خشکی و مصرف فسفر بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین عملکرد دانه در جدول نشان می‌دهد که بالاترین عملکرد دانه (۳۵۶۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم تنش و کمترین آن (۲۱۳۱ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش به دست آمد (جدول ۳). یعنی میزان عملکرد نسبی دانه (عملکرد تحت شرایط تنش به عملکرد تحت شرایط عدم تنش)، ۶۰ درصد عملکرد دانه در شرایط شاهد بود که مبین شدت اثر تنش است. نتایج این تحقیق با نتایج فناپی و همکاران (Fanaei et al., 2009)، پاسبان اسلام و همکاران (Pasbaneslam et al., 2001)، آل باراک (Albarrak, 2006) و سینکی و

رسیدگی دارای تاثیر می‌باشد ( Verma and Abidi, 1996; Ayub et al., 2002; Tariq et al., 2011).

اثر تنش خشکی بر تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۲). تحت تنش خشکی در فاز رویشی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک کاهش نشان داد به نظر می‌رسد که تاثیر محدودیت آبی طی ابتدای فصل، سبب کاهش رشد و تولید ماده خشک در گیاه گردیده به طوری که مخازن شکل گرفته در گیاه نیز دچار کاهش شده است. با وجود فراهمی آب طی فاز زایشی، به دلیل این که میزان اسیمیلات تولید شده از فتوسنتز جاری بیشتر از مخازن شکل گرفته بود، انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه به کندی انجام شد که این به عنوان یک فیدبک منفی عمل نموده و گیاه با سرعت بیشتری به سمت پیری و اتمام فصل رشد حرکت نموده است که اثر آن در کاهش زمان رسیدن فیزیولوژیک مشهود می‌باشد. تحت تاثیر کاربرد فسفر اختلاف معنی‌دار در تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک مشاهده نشد.

ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های زراعی و عملکرد دانه در جدول ۴ ارائه شدند. در بین ویژگی‌های زراعی مورد بررسی، عملکرد دانه با اکثر ویژگی‌های زراعی و کیفی همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد، به طوری که این همبستگی‌ها در دامنه‌ای از ۰/۴۶ تا ۰/۹۸ قرار داشتند. از بین ویژگی‌های زراعی، بالاترین ضریب همبستگی را با عملکرد دانه، تعداد خورجین در شاخه اصلی ( $r=0/84^{**}$ )، ارتفاع بوته ( $r=0/76^{**}$ )، تعداد خورجین در بوته ( $r=0/74^{**}$ )، و وزن هزار دانه ( $r=0/62^{**}$ ) داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر خشکی و مصرف فسفر بر عملکرد دانه خردل از طریق تغییرات در تعداد خورجین، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه اعمال گردیده است. پاسبان اسلام و همکاران (Pasbaneslam et al., 2001) و Jeromela et al., (2007) همبستگی مثبت و معنی‌دار بین اجزای عملکرد با عملکرد دانه را گزارش کردند، که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در تفسیر همبستگی مثبت بین تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه می‌توان به کوچک بودن طول خورجین و محدود بودن مخازن (تعداد دانه در خورجین) در خردل و رقابت کمتر بین دانه‌ها بدلیل کافی بودن مواد فتوسنتزی برای افزایش وزن دانه‌ها اشاره داشت. نتایج جدول همبستگی مبین ارتباط مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با عملکرد روغن و همبستگی غیر معنی‌دار

(al., 1996) اعلام داشتند که زمان بروز تنش خشکی در تجمع و تغییر ترکیب شیمیایی دانه تاثیرگذار است. ورما و عبیدی (Verma and Abidi, 2009) بالاترین مقدار درصد روغن را در مصرف مقادیر بالای فسفر در خردل گزارش کرد. نتایج تجزیه واریانس عملکرد روغن حاکی از تاثیر معنی‌دار تنش خشکی بر این صفت بود (جدول ۲). با کاهش میزان آب مصرفی در فاز رویشی، عملکرد روغن از ۱۳۷۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط شاهد به ۷۹۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش کاهش یافت (جدول ۳) که کاهش عملکرد دانه و درصد روغن در محیط تنش می‌تواند در کاهش عملکرد روغن سهیم باشد. عملکرد روغن با عملکرد دانه همبستگی مثبتی داشت ( $r=0/98^{**}$ )، لذا افزایش و کاهش آن تابعی از عملکرد دانه می‌باشد (Jeromela et al., 2007). جنسون و همکاران (Jenson et al., 1996) اثر تنش خشکی بر میزان روغن کلزا را بررسی و گزارش کردند که تنش خشکی عملکرد روغن را ۱۷ درصد کاهش داد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد روغن تحت تاثیر مصرف فسفر اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی و کاربرد فسفر بر صفت روز تا شروع گلدهی تاثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). به طوری که از جدول مقایسه میانگین استنباط می‌گردد، قطع آبیاری در فاز رویشی سبب تاخیر در رشد و طولانی شدن این فاز به مدت ۷ روز نسبت به شرایط عدم تنش گردیده است (جدول ۳). نادری و همکاران (Naderi et al., 2004) گزارش نمودند تنش خشکی تحت شدت‌های مختلف باعث کاهش معنی‌داری در دوره کاشت تا گلدهی گردید و این را به تاثیر تنش خشکی در تسریع مراحل تکامل و ظهور گل‌ها نسبت دادند که این نتیجه در شرایط این آزمایش مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که ورود به فاز زایشی مستلزم یک حداقلی از رشد رویشی (تولید برگ) بوده و خشکی سبب تاخیر در رشد رویشی گردیده است. اثر مصرف کود فسفر نشان داد که تحت شرایط مقادیر بالای مصرف فسفر ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به عدم مصرف و مقادیر کمتر مصرف فسفر تسریع در گلدهی مشاهده شد که می‌تواند به تاثیر مثبت فسفر در تسریع رشد و رسیدگی گیاه مرتبط باشد (جدول ۳). فسفر بر رشد و نمو ریشه، افزایش قدرت ساقه، بهبود تشکیل گل و تولید دانه، تسریع در زودرسی و یکنواختی در



اجزاء عملکرد و برخی دیگر از ویژگی‌های مورد مطالعه داشت. کاهش در عملکرد دانه و صفات رشدی وابسته به آن تحت مقادیر مصرف بالاتر از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر می‌تواند به دلیل اختلال در توازن یونی و اثر آنتاگونیستی فسفر در جذب عناصر دیگر به ویژه ریزمغذی‌ها باشد که نیاز به مطالعه بیشتر می‌باشد. با عنایت به تاثیر مثبت فسفر در توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و بهبود صفات زراعی، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و انجام آبیاری هم در فاز رویشی به ویژه غنچه‌دهی (که تمایز تعداد شاخه و تعداد خورجین در گیاه صورت می‌گیرد)، و هم فاز زایشی (گلدهی و پر شدن دانه) در شرایط آب و هوایی منطقه سیستان ضرورت دارد.

درصد روغن با عملکرد دانه و دیگر ویژگی‌های زراعی بود (جدول ۴). جنسون و همکاران (Jensen et al., 1996) و پاسبان‌اسلام و همکاران (Pasbaneslam et al., 2001) همبستگی منفی را میان درصد روغن و عملکرد دانه گزارش کردند.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش خشکی در فاز رویشی تا شروع گل‌دهی بدلیل شدت و تداوم زیاد تنش با تاثیر منفی بر اجزای عملکرد نظیر، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته، عملکرد دانه را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. کاربرد فسفر تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار تاثیر مثبت و افزایشی بر عملکرد دانه،

جدول ۴. همبستگی ساده صفات مورد بررسی در تیمارهای آبیاری و کود

Table 4. Analysis of variance for plant characteristics of Indian mustard in irrigation and phosphorus fertilizer treatments.

صفات	عملکرد	خورجین	دانه در	وزن	خورجین	ارتفاع	درصد	عملکرد
	دانه	در بوته	خورجین	هزاردانه	ساقه اصلی	بوته	روغن	روغن
Traits	Grain yield	Silique. Plant <sup>-1</sup>	Grain. silique <sup>-1</sup>	1000 grain W.	Silique per main stem	Plant height	Oil percent	Oil yield
عملکرد دانه	1							
Grain yield								
خورجین در بوته	0.74**	1						
Silique. Plant <sup>-1</sup>								
دانه در خورجین	0.57**	0.61**	1					
Grain. silique <sup>-1</sup>								
وزن هزار دانه	0.62**	0.51*	0.41*	1				
1000 grain W.								
خورجین ساقه اصلی	0.84**	0.76**	0.57**	0.69**	1			
Silique per main stem								
ارتفاع بوته	0.75**	0.76**	0.58**	0.72**	0.85**	1		
Plant height								
درصد روغن	0.21 <sup>ns</sup>	-0.10 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	1	
Oil percent								
عملکرد روغن	0.98**	0.67**	0.49*	0.61**	0.83**	0.71**	0.21 <sup>ns</sup>	1
Oil yield								

ns, \* and \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\* means non-significant, and significant at the 5% and 1% levels, respectively

## منابع

- Abdel-Rahman, A.A., Shalaby, A.F., Monayeri, M.O.E.I., 1971. Effect of moisture stress on metabolic products and ions accumulation. *Plant Soil*. 34, 65-72.
- Albarrak, Kh.M., 2006. Irrigation Interval and nitrogen level effects on growth and yield of Canola (*Brassica napus L.*). *Sci. J. King Faisal Univ.* 7, 87-99.
- Ackerson, R.C., 1985. Osmoregulation in cotton in response to water stress. 3: Effects of phosphorus fertility. *Plant Physiol.* 77, 309-312.
- Ayub, M., Nadeem, M.A., Sharar, M.S., Mahmood, N., 2002. Response of maize (*Zea mays L.*) fodder to different levels of nitrogen and phosphorus. *Asian J. Plant Sci.* 1, 352-354.
- Baloch, A.F., Larik, K.A., Jamro, G.H., 2006. Response of three mustard (*Brassica Juncea L.*) varieties to N and P fertilizer levels. *Pakistan J. Agric. Eng.* 22, 1058-1062
- Badsra, S.R., Chaudhary, L., 2001. Association of yield and its components in Indian mustard (*Brassica juncea L.*). *Agric. Sci. Digest.* 21(2), 83-86.
- Bouchereau, A., Clossica, N., Bensaoud, A., Leport, L., Renard, M., 1996. Water stress effects on rapeseed quality. *Europ. J. Agron.* 5, 19-30
- Burton, W.A., Pymer, S.J., Salisbury, P.A. Kirk, J.T.O., Oram, R.N., 1999. Performance of Australian canola quality *Brassica juncea* breeding lines. 10<sup>th</sup> International Rapeseed Congress. pp, 113-115.
- Diepenbrock, W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape. *Field Crops Res.* 67, 35-49
- Iqbal, M., Akhtar, N., Zafar, S., Ali, I., 2008. Genotypes responses for yield and seed oil quality brassica species under semi-arid environmental conditions. *South Afr. J. Bot.* 74, 567-571.
- Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A., Shirani-rad, A.H., 2009. Effect of potassium fertilizer and irrigation on yield and water use efficiency of Canola and Indian mustard species (*B. napus L. and B. juncea L.*). *Iranian J. Crop Sci.* 11, 273-291 [In Persian with English Summary].
- Garg, B.K., Burman, U., Kathju, S., 2004. The influence of phosphorus nutrition on the physiological response of moth bean genotypes to drought. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167, 503-508.
- Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Fieldsen, J.K., Thage, J.H., 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field grown rapeseed (*Brassica napus L.*) effected by soil drying and evaporative demand. *Field Crops Res.* 47, 93-105.
- Jeromela, A.M., Marinkovic, R., Mijic, A., Jankulovskaand, M., Dunic, Z.Z., 2007. Inter relationship between oil yield and other quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus L.*). *J. Central Europ. Agric.* 8, 165-170.
- Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., Nabati, J., 2009. *Physiology of Environmental Stresses in Plants.* Jahadeh University Mashhad Press.
- Kundu, S., Dhaka, R.P.S., 1996. Protein, oil and glucosinolate contents in some elite genotypes on Indian mustard (*Brassica juncea L.*). *J. Oilseeds Res.* 13, 149-50.
- Kumar, A., Elston, J., Singh, P., 1994. Leaf area growth to Brassica species in response to water stress. *Field Crops Res.* 8, 594-602.
- Liebersbach, H., Steingrobe, B., Claassen, N., 2004. Roots regulate ion transport in the rhizosphere to counteract reduced mobility in dry soil. *Plant Soil.* 260, 79-88.
- Meehl, G.A., Tebaldi, C. 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21<sup>st</sup> century. *Sci.* 305, 994-997.
- Millikan, C.R., 1963. Effects of different levels of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Aust. J. Agric. Res.* 14, 180-206.

- Naderi, M., Normohammadi, G.H., Majidi, E., Darvish, A., Shiranie, A.H., Madani, H., 2004. Study ecophysiological aspects safflower of cultivation under different severities of drought stress. Seed Plant J. 20 (3):281-296 [In Persian with English Summary].
- Niknam, S.R., Ma, Q., Turner, D.W., 2003. Osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *Brassica juncea* genotypes in a water limited environment in south-western Australia. Aust. J. Exp. Agric. 43, 1127-1135.
- Nus, J.L., Christians, N.E., Dieshurg, K.L., 1993. High phosphorus application influence soli available potassium and Kentucky bluegrass copper content. Hort. Sci. 28, 639-641.
- Ram, B., Sunil, Ch., Tarence, T.H., Dharambir, D., 2011. Effect of different levels of phosphorus and sulphur on yield and availability of N P K, protein and oil content in Toria (*Brassica sp.*) VAR. P.T.-303. J. Agric. Biol. Sci. 6, 31-33.
- Rodriguez, D., Goudriaanb1, A.J., Oyarzabala, M., Pomarc, M.C., 1996. Phosphorus nutrition and water stress tolerance in wheat plants. J. Plant Nutr. 19, 29-39.
- Sawwan, J., Shibli, R.A., Swaidat, I., Tahat, M., 2000. Phosphorus regulates osmotic potential and growth of African violet under in vitro-induced water deficit. J. Plant Nutr. 23, 759-771.
- Sinaki, J., Majidi Heravan, M.E., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, Gh., Zarei, Gh., 2007., The effects of water deficit during growth stages of canola. American Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 2, 417- 422.
- Sumeria, H.K., 2003. Response of mustard to phosphorus triacontanol granule and growth promoters. Agric. Sci. Digest. 23, 134 - 136.
- Tariq, M., Rozina, G., Fazal, M., Fazal, J., Zahid, H., Nadia, N., Hamayoon, Kh., Hayatullah, Kh., 2011. Effect of different phosphorus levels on the yield and yield components of maize. Sarhad J. Agric. 27, 165-170.
- Turner, L.B., 1985. Changes in the phosphorus content of *Capsicum annuum* leaves during water stress. J. Plant Physiol. 121, 429-439.
- Verma, K.C., Abidi, A.B., 2009. Effect of phosphorus and molybdenum on biochemical, yield and yield attributing parameters of Indian mustard (*Brassica juncea L.*). Afr. J. Basic App. Sci. 1, 67-69.
- Viets., J.R., 1972. Water deficits and nutrient availability. In: Kozlowski, III (ed.), Plant Responses and Control of Water Balance. Academic Press, New York. pp, 217-240.
- Yunca, H., Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of the effects of drought and salinity. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168, 541-549.

