تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۴۷۳-۴۵۹

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی طی مرحله زایشی بر رشد ریشه نخود (*Cicer arietinum* L.) و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد

هادی دهقان[1*]، علیرضا وحیدی[2]، سجاد میجانی[3]، محمد نادریان فر[4]

۱- گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران
۲- گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران
۳- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

* مسئول مکاتبه : H.dehghan@kashmar.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۰۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.316147.1159**

چکیده

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل کاهنده رشد ریشه و اندام‌های هوایی و عملکرد دانه در گیاهان زراعی می‌باشد. این تحقیق به‌منظور ارزیابی اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد، خصوصیات ریشه و همچنین بررسی ارتباط صفات فیزیولوژیکی گیاه با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به صورت گلدانی و در گلخانه اجرا شد. تیمارها شامل تنش خشکی در چهار سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد نیاز آبی) بود و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی بر وزن برگ، وزن ساقه، تعداد دانه، وزن دانه، وزن نیام، وزن ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، سطح ریشه، تراکم طولی ریشه و تعداد نیام معنی‌دار و بر نسبت وزن ریشه به ساقه معنی‌دار نبود. بیشترین وزن برگ، وزن ساقه، تعداد دانه، وزن دانه، وزن نیام، وزن ریشه، حجم ریشه و طول ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقادیر آن‌ها در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. با کاهش درصد نیاز آبی گیاه صفات مورد مطالعه کاهش یافتند. در بین اجزای عملکرد، وزن دانه و تعداد نیام در شرایط تنش‌های نسبتاً شدید نسبت به عدم تنش به ترتیب ۳۶ و ۵۸ درصد کاهش یافتند. در شرایط عدم تنش آبی (۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی)، تعداد دانه با صفات وزن ریشه و تراکم طولی ریشه همبستگی منفی (به ترتیب ۰/۳۶۶- و ۰/۰۴۸-) و با صفات سطح ریشه و حجم ریشه همبستگی مثبت (به ترتیب ۰/۶۱۹ و ۰/۵۲۷) نشان داد. از طرف دیگر در شرایط تنش‌های آبی (۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) وزن دانه با صفات مربوط به ریشه رابطه مثبت داشت که بیشترین مقدار آن با حجم ریشه (۰/۷۳۹) و طول ریشه بود (۰/۶۵۷). هم‌چنین تعداد دانه نیز با صفات ریشه مانند وزن ریشه (۰/۸۲۳)، سطح ریشه (۰/۸۰۴) و حجم ریشه (۰/۵۹۴) رابطه مثبتی داشت. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که در شرایط عدم تنش صفات تعداد نیام، تعداد دانه و وزن برگ و در شرایط تنش صفات تعداد نیام، وزن دانه، وزن برگ و وزن ریشه بیشترین عوامل مؤثر بر عملکرد می‌باشند؛ بنابراین در شرایط تنش خشکی، وزن ریشه مهم است و در جذب آب توسط گیاه مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: تعداد نیام، رگرسیون گام‌به‌گام، نیاز آبی، همبستگی

مقدمه

بر طبق گزارش سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی، کشور ایران با حدود ۵۵۰ تا ۶۵۰ هزار هکتار رتبه سوم سطح زیر کشت جهانی با متوسط تولید ۳۰۰ تا ۳۵۰ هزار تن محصول، رتبه هفتم تولید جهانی نخود را به خود اختصاص داده است (FAO, 2016). در ایران با سطح زیر کشت ۵۷۹ هزار هکتار (مجموع زراعت آبی و دیم)، پس از لوبیا مهم‌ترین محصول حبوبات به شمار می‌رود و با تولید ۲۸۵ هزار تن محصول، رتبه اول را در بین حبوبات به خود اختصاص داده است (Hosseinzadeh *et al.*, 2016). نخود غنی از پروتئین و کربوهیدرات است و در میان حبوبات از کیفیت پروتئین بالاتری برخوردار است (Fathi *et al.*, 2016).

در شرایط فعلی ایران تنش کمبود آب ازجمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نمو فنولوژیک نخود محسوب می‌شود که از طریق تسریع مراحل نمو سبب کاهش طول دوره رشد و عملکرد اقتصادی می‌گردد (Soltani *et al.*, 1999). بیش از ۹۰ درصد کشت نخود در کشور به‌صورت دیم انجام می‌شود و مقاومت نخود به خشکی بیشتر از سایر حبوبات سرمادوست است (Leport *et*

al., 1999; Gordner *et al*., 1985). ولی تنش خشکی یکی از عوامل کاهش عملکرد در این گیاه محسوب می‌شود (Kashiwagi *et al*., 2006) که این کاهش از ریزش نیام‌ها ناشی می‌شود. در این مورد نیام‌ها زمانی شروع به ریزش می‌کنند که پیری برگ‌ها در اثر تنش کمبود آب آغاز شده باشد (Siddique *et al*., 1984). اصولاً کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی، به علت اثرات منفی این تنش بر روی سطح برگ، فتوسنتز پوشش گیاهی، سرعت رشد محصول و اجزای عملکرد می‌باشد (Pannu and Singh, 1993). وقوع تنش خشکی در همه مراحل رشد رویشی و زایشی محتمل است (Serraj *et al*., 2004; Kashiwagi *et al*., 2006; Soltani *et al*., 2001).

هنگام مواجه شدن گیاه با تنش خشکی، ریشه گیاه نقش مهمی در رشد و بقای آن دارد (Grossnicle, 2005). درنتیجه تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیکی ریشه‌ها مانند افزایش طول ایجاد می‌شود (Aerts and Chapin, 1999). بسیاری از گونه-های گیاهی با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص‌یافته به رشد ریشه و بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و بهره‌گیری بیشتر از آب قابل دسترس به کمبود رطوبت پاسخ می‌دهند (Kafi and Mahdavi damghani, 2007; Thorne and Frank, 2009). بر اساس مطالعات انجام‌شده، در بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش در نخود، عامل خشکی به‌تنهایی ۴۵ درصد از عملکرد دانه را می‌کاهد (Malhotra and Sexana, 2002).

مطالعات انجام‌شده روی گیاه نخود نشان داد که با افزایش تنش خشکی رشد ریشه و ساقه کاهش می‌یابد (Jamshidi moghadam *et al*., 2007). تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود می‌شود (Jalilian *et al*., 2005; Ghasem golazani *et al*., 2008). در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های مختلف نخود انجام شد تنش خشکی سبب کاهش میزان وزن ریشه‌ها در نخود گردید (Masoumi *et al*., 2005). همبستگی بین صفات مختلف ریشه با عملکرد دانه مثبت و با افزایش هرکدام از صفات ریشه عملکرد افزایش می‌یابد (Shaban *et al*., 2011). بین عمق ریشه و عملکرد دانه نخودفرنگی در شرایط تنش خشکی همبستگی مثبتی وجود دارد (Vocansonal *et al*., 2006). در مطالعات دیگر نیز همبستگی تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه با اجزای عملکرد ازجمله تعداد نیام و وزن ۱۰۰ دانه مثبت و معنی‌دار برآورد شد (Johansen *et al*., 1994). هم‌چنین در نتایج تحقیق دیگر همبستگی بالایی بین عملکرد اقتصادی و تعداد نیام در بوته ($r=0.80$, $p<0.01$) نشان داد (Guler *et al*., 2001). در گندم نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفاتی مانند حجم و وزن ریشه گزارش گردید (Lv *et al*., 2010). با تشدید تنش کم‌آبی در نخود برخی صفات زراعی نظیر تاریخ رسیدن، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و بیوماس کاهش یافت (Nayyar *et al*., 2006). عملکرد دانه نخود در اثر تنش خشکی بین ۵۰ تا ۸۰ درصد کاهش یافت (Saxena *et al*., 1995). در آزمایشی روی نخود میزان افت عملکرد این گیاه را در اثر تنش خشکی، بین ۲۰ تا ۲۵ درصد گزارش شده است (Tuberosa and Salvi, 2004).

با توجه به اینکه در بین خانواده حبوبات، نخود بیشترین سطح زیر کشت را در استان خراسان رضوی دارا می‌باشد، لذا این گیاه به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات خصوصیات ریشه و عملکرد دانه نخود تحت شرایط تنش خشکی و شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه می‌باشد. از نوآوری‌های این مطالعه می‌توان به این مورد اشاره کرد که با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد کشت نخود به‌صورت دیم است و مشکل کشت نخود در این حالت خشکی آخر فصل است، لذا در این پژوهش تیمارهای تنش خشکی نیز در انتهای فصل رشد گیاه (از شروع مرحله گل‌دهی) اعمال گردیدند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. در این بررسی از رقم نخود کرج ۳۱-۶۰-۱۲ (رقم آبی) استفاده شد که از رقم‌های متداول منطقه می‌باشد (Goldani and Rezvani moghadam, 2007). برای کاشت گیاه از گلدان‌های پلاستیکی به قطر بالای ۳۰ سانتی‌متر و قطر پایین ۲۴ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر استفاده شد. در هر گلدان یک گیاه کاشته شد. جهت جلوگیری از گرم شدن محیط خاک، اطراف گلدان‌ها توسط پشم‌شیشه پوشانده شد. در شکل ۱ نمایی از گلدان‌های مورد استفاده در طرح نشان داده شده است.

شکل ۱- نمایی از گلدان‌های مورد استفاده در طرح

Figure 1- The pots used in the project

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آبی در چهار سطح شامل تیمار شاهد با ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی بودند. خصوصیات مانند بافت خاک به روش هیدرومتری و جرم مخصوص ظاهری خاک به روش نمونه‌گیری با سیلندر فلزی تعیین شد. در جدول ۱ بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده (خاک مزرعه) ارائه شده است. نیازهای کودی گیاهان با کاربرد کود شیمیایی NPK 20-20-20 با توجه به نتایج تحلیل خاک و توصیه‌های محلی تعیین و در اختیار گیاه قرار گرفت. جهت آبیاری گلدان‌ها از آب لوله‌کشی چاه دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری نیز اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1- Physical and chemical properties of soil

مشخصات Characteristics	مقدار Value	واحد Unit	مشخصات Characteristics	مقدار Value	واحد Unit
بافت خاک Soil texture	لوم شنی Sandy Loam	---	نیتروژن Nitrogen	670	mg/kg
چگالی ظاهری Apparent density	1.46	gr/cm^3	فسفر Phosphorus	3	mg/kg
شن Sand	70	%	پتاسیم Potassium	865.06	Meq/lit
سیلت Silt	20		کلسیم Calcium	8	Meq/lit
رس Clay	10		منیزیم Magnesium	4.5	Meq/lit
شوری EC	2.08	dS/m	سدیم Na	5	
اسیدیته pH	7.4	---	کربن آلی Organic carbon	0.39	%

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

Table 2- Some chemical properties of water irrigation

شوری EC	اسیدیته pH	سدیم Na	کلسیم Ca^{2+}	کربنات CO_3^{2-}	بی کربنات HCO_3^-	کلر CL^-	منیزیم Mg^{2+}
dS/m	--	Meq/L	Meq/L	Meq/L	Meq/L	Meq/L	Meq/L
1.23	8.2	5	3	0.2	3.1	4	3.8

به دلیل یک‌دست سبز نشدن گیاهان در روش کشت مستقیم و یکنواختی گیاهان در هنگام اعمال تنش خشکی، ابتدا نشاء کاری نخود انجام شد، سپس نشاءها به گلدان‌های اصلی منتقل شدند.

گلدان‌ها پس از نشاءکاری (۱۱ فروردین ماه) به مقدار مساوی آبیاری (۱۰۰ درصد نیاز آبی) شدند تا نشاءها در محل جدید استقرار یابند. تیمارهای خشکی از تاریخ گل‌دهی گیاه اعمال شدند. آبیاری با دور زمانی سه روز انجام شد. برای تعیین وزن گلدان‌ها در ظرفیت زراعی مزرعه[1] گلدان‌ها اشباع شده و اجازه داده شد تا ۴۸ ساعت زهکشی انجام شود. همچنین سطح گلدان برای جلوگیری از تبخیر با پلاستیک پوشانده شد. بعد از این مدت گلدان‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌صدم گرم وزن شده و این وزن به‌عنوان وزن گلدان‌ها در FC در نظر گرفته شد. روز قبل از آبیاری همه گلدان‌ها وزن شدند و مقدار نیاز آبی تیمارهای مختلف بر اساس بیلان وزنی رطوبت خاک به‌منظور جبران رطوبت تا حد ظرفیت زراعی تعیین شد.

پس از انجام آزمایش، صفات مورفولوژیک گیاه نخود با اندازه‌گیری صفاتی همچون وزن برگ، وزن ساقه، تعداد دانه، وزن دانه، وزن نیام، تعداد نیام، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شد. برای این منظور قسمت هوایی گیاه نخود پس از اتمام فصل رشد (۳۱ تیر ماه) قطع و ریشه گیاه با شستشو به‌طور کامل خارج شد. هر ریشه در داخل استوانه مدرج با میزان مشخص آب، گذاشته شد و از روی بالا آمدن آب، حجم ریشه برحسب سانتی‌متر مکعب به دست آمد (Alizadeh, 2004). برای اندازه‌گیری وزن ریشه‌ها در حالت تر و خشک از روش توزین با ترازوی دیجیتالی دارای دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد.

برای این منظور ریشه‌ها درون پاکت قرار گرفتند و وزن ریشه‌های تر به دست آمد. در گام بعدی پاکت‌ها با قرار گرفتن در درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن ریشه‌های خشک به دست آمد. طول ریشه نیز برحسب سانتی‌متر معادل ۸۹ درصد وزن ریشه برحسب میلی‌گرم تخمین زده شد (Alizadeh, 2004). سطح ریشه با استفاده از رابطه پیشنهادی اتکینسون[2] براساس رابطه ۱ برآورد گردید (Alizadeh, 2004):

$$A = 2(V.\pi.L)^{0.5} \quad (۱)$$

که در آن: A سطح ریشه‌ها (cm^2)، V حجم ریشه‌ها (cc) و L طول ریشه‌ها (cm) می‌باشد. تراکم طولی ریشه از نسبت طول ریشه در واحد حجم خاک محاسبه گردید. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab 17.2 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال درصد ۵ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی بر وزن برگ، وزن ساقه، تعداد دانه، وزن دانه، وزن نیام، وزن ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، سطح ریشه، تراکم طولی ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد نیام در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار، درحالی‌که بر نسبت ریشه به ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۳).

مقایسه میانگین تحت تنش خشکی نشان داد که بیشترین وزن برگ (۱۴٫۶۶ گرم) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین (۹٫۵ گرم) در تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی و هم‌چنین تنش ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که هرچند تنش خشکی ملایم (۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) ماده خشک کمتری را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (شاهد) حاصل نمود، ولی این اختلاف معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده آن است که سطح فتوسنتزی حاصل‌شده در این تیمار توانسته است در شرایط تنش خشکی ملایم وزن برگ مناسبی را تولید نماید (جدول ۴). تنش شدید خشکی می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردد این امر جذب CO_2 و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد، تداوم تنش می‌تواند کاهش شدید فتوسنتز را به دنبال داشته باشد (Koocheki and Sarmadniya, 1993).

بیشترین وزن ساقه با مقدار ۱۳/۸۹ گرم در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین با مقدار ۹٫۰۴ گرم در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد و بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و هم‌چنین ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). با افزایش شدت تنش خشکی، وزن برگ و وزن ساقه به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول ۴). نتایج حاصل از مطالعات متعددی (Ren *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2016) حاکی از آن است که با افزایش

1. Field Capacity
2. Atkinson

تنش خشکی از توان فتوسنتزی گیاه کاسته می‌شود و این امر موجب کاهش تولیدات فتوسنتزی و در نهایت کاهش ماده خشک کل (وزن برگ + وزن ساقه) می‌گردد. بیشترین تعداد دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۹۷٫۶۶ و کمترین در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۶۵ بود و بین تنش‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴). گزارش شده است که علت کاهش تعداد دانه در شرایط تنش خشکی، کاهش تعداد نیام در ساقه‌های اصلی و فرعی است (Saxena *et al.*, 1995). هم‌چنین با توجه به تسریع پیری برگ‌ها، کاهش فتوسنتز جاری گیاه و کوتاه شدن مدت زمان مراحل نموی گیاه در اثر تنش (Emam and Niknezhad, 2011; Royo *et al.*, 2000)، تعداد دانه و وزن دانه که از اجزای بسیار مهم عملکرد دانه می‌باشند، کاهش می‌یابد.

تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با ۲۸٫۹۷ گرم وزن دانه بیشترین مقدار و تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه با ۱۸٫۳۷ گرم کمترین مقدار را دارا می‌باشند. بیشترین تعداد نیام در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۱۹٫۳۳ و کمترین در تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۸ مشاهده شد و بین تیمارهای ۱۰۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). در تحقیقی نتایج نشان داد که تنش کمبود آب از طریق افزایش تعداد نیام‌های پوک و کاهش دوره پر شدن دانه، عملکرد دانه را متأثر می‌سازد (Leport *et al*, 1999). در شرایط تنش رطوبتی، طول دوره زایشی و میزان فتوسنتز جاری کاهش می‌یابد که نتیجه آن، تشکیل گل‌های کمتر در گیاه است که بر تعداد نیام-های بارور و تولید دانه مؤثر است (Goldani and Rezvanimoghadam, 2007). محقیق دیگر نیز با ارزیابی عملکرد ۲۸ ژنوتیپ نخود تحت تنش خشکی گزارش نمودند که تنش خشکی باعث کاهش تعداد نیام در کلیه ژنوتیپ‌ها شد (Rahman and Uddin, 2000). عملکرد نخود در شرایط تنش خشکی آخر فصل در مقایسه با گیاهان آبیاری شده به دلیل کاهش تعداد نیام و نیز کاهش تعداد دانه، ۴۲ تا ۵۳ درصد کاهش یافت (Chaiechi *et al.*, 2003).

در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، بیشترین وزن نیام با ۷/۹۴ گرم و تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه با ۴٫۴۴ گرم، کمترین وزن نیام مشاهده شد و بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و همچنین تیمارهای ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین وزن ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۵/۱ گرم و کمترین در تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۲٫۸ گرم مشاهده شد (جدول ۴). با افزایش شدت تنش فتوسنتز برگ کاهش یافته و احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی سلول افزایش می‌یابد درنتیجه دسترسی به مواد فتوسنتزی کاهش‌یافته و رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌شود؛ بنابراین در شرایطی که تنش خشکی بر گیاه غلبه می‌کند رشد و نمو ریشه نسبت به شرایط فراهمی رطوبت کاهش می‌یابد (Thorne and Frank, 2009).

بیشترین حجم و طول ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب با مقدار ۴۶٫۶۶ سانتی‌متر مکعب و ۴۲۱۲٫۰۲ سانتی‌متر و کمترین در تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب با مقدار ۳۱٫۶۶ سانتی‌متر مکعب و ۲۸۸۲٫۹۵ سانتی‌متر بود و بین تنش‌های مختلف اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین سطح ریشه در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۱۴۸۷٫۶۳ سانتی‌متر مکعب و کمترین در تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۱۰۷۵٫۷۱ سانتی‌متر مکعب بود و بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و هم‌چنین ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین تراکم طولی ریشه (cm/cm^3) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با مقدار ۲۶۵۱٫۶۸ و کمترین در تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه نخود با مقدار ۱۹۳۷٫۸۰ به دست آمد و بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۴).

هم‌چنین بیشترین و کمترین نسبت وزن ریشه به ساقه به ترتیب با مقدار ۰٫۰۷۸ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۰٫۰۶۸ در تنش ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه نخود مشاهده نشد (جدول ۴). گیاه هنگام مواجه با تنش خشکی برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد، درنتیجه تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیکی ریشه‌ها در واحد وزن ایجاد می‌شود (Aerts and Chapin, 1999). نتایج حاکی از آن می‌باشد که در شرایط تنش خشکی، حجم ریشه افزایش یافته است و موجب افزایش دوام گیاه در شرایط تنش خشکی شده است و از طرفی بیشترین سطح ریشه مربوط به تیمار بدون تنش بود (Asgharipour and Rafiei, 2010).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزاء عملکرد نخود

Table 3- Analysis of variance of water stress impact on yield and yield components of chickpea

منابع تغییر Sources of variation	وزن ریشه Root weight	سطح ریشه Root area	طول ریشه Root Height	حجم ریشه Root Volume	وزن نیام Pod weight	تعداد نیام Pod number	وزن دانه Seed weight	تعداد دانه Seed Number	وزن ساقه Shoot weight	وزن برگ Leaf weight	تراکم طولی ریشه Root length density	نسبت وزن ریشه به ساقه Root/Shoot ratio
آب Water	3.3106**	122179**	1229647**	130.528**	7.9710**	74.97*	74.477**	676.53**	17.0443**	16.1076**	360047**	0.000058 ns
خطا Error	0.1160	5069	84207	6.667	0.3738	10.75	4.409	32.92	0.0283	0.4860	21074	0.000056
ضریب تغییرات CV (%)	8.33	5.43	8.34	6.60	9.32	25.06	8.65	6.94	1.49	5.74	6.20	10.08

*و** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری می‌باشد

*and ** are significant at 5 and 1 % probability level and ns means non-significant

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزاء عملکرد نخود

Table 4- Mean comparison of water stress impact on the yield and yield components of chickpea

تنش خشکی (درصد نیاز آبی) Water stress (% of water Requirement))	وزن ریشه Root weight (gr)	سطح ریشه Root area (cm^3)	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root Volume (cm^3)	وزن نیام Pod weight (gr)	تعداد نیام Pod number	وزن دانه Seed weight (gr)	تعداد دانه Seed number	وزن ساقه Shoot weight (gr)	وزن برگ Leaf weight (gr)	تراکم طولی ریشه Root length density (cm/cm^3)	نسبت وزن ریشه به ساقه Root/shoot ratio
100	5.1000^a	1469.25^a	4212.02^a	46.67^a	7.940^a	14.67^{ab}	28.97^{ab}	97.67^a	13.89^a	14.67^a	2651.68^a	0.078^a
80	4.7513^a	1487.63^a	3813.32^{ab}	42.00^b	7.613^a	19.33^a	27.760^{ab}	93.67^{ab}	12.90^a	13.64^a	2602.41^a	0.076^a
60	3.5636^b	1208.14^b	3004.36^{bc}	36.00^{bc}	5.830^a	10.33^{ab}	21.94^{bc}	74.00^{bc}	9.29^b	10.76^b	2160.28^b	0.072^a
40	2.9333^b	1075.71^b	2882.95^c	31.67^c	4.846^b	8.00^b	18.37^c	65.00^c	9.04^b	9.50^b	1937.80^b	0.068^a

جدول ۵- همبستگی صفات رشدی نخود در شرایط ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی

Table 5- Correlation of growth traits of chickpea under 60 and 40% water requirement

	وزن برگ Leaf weight	وزن ساقه Stem weight	وزن دانه Seed weight	تعداد دانه Seed number	وزن نیام Pod weight	تعداد نیام Pod number	وزن ریشه Root weight	حجم ریشه Root volume	طول ریشه Root length	سطح ریشه Root surface	تراکم طولی ریشه Longitudinal root density
وزن برگ Leaf weight		0.139	0.640		0.839	0.738	0.810	0.476	0.285	0.890	0.739
		0.793	0.171	0.814 0.011	0.006	0.094	0.004	0.340	0.584	0.018	0.093
وزن ساقه Stem weight	0.385		0.229	0.468	0.117	0.132	0.074	0.796	0.657	0.130	0.372
	0.451		0.663	0.349	0.826	0.803	0.890	0.058	0.156	0.807	0.467
وزن دانه Seed weight	0.671	0.096			0.551	0.781	0.618	0.739	0.313	0.610	0.606
	0.045	0.875		0.675 0.096	0.258	0.034	0.034	0.093	0.314	0.198	0.202
تعداد دانه Seed number	0.175	0.730	0.160		0.911	0.726	0.823	0.594	0.499	0.804	0.372
	0.740	0.100	0.318		0.011	0.102	0.044	0.214	0.546	0.054	0.103
وزن نیام Pod weight	0.139	0.573	-0.176	0.420		0.761	0.878	0.345	0.296	0.800	0.594
	0.793	0.234	0.738	0.407		0.049	0.021	0.504	0.568	0.056	0.214
تعداد نیام Pod number	0.160	0.928	0.715	0.825	0.522		0.859	0.370	0.657	0.923	0.850
	0.761	0.008	0.028	0.043	0.288		0.028	0.470	0.156	0.009	0.032
وزن ریشه Root weight	0.160	-0.252	-0.132	-0.366	0.488	-0.166		0.502	0.423	0.965	0.845
	0.761	0.629	0.803	0.476	0.326	0.753		0.310	0.404	0.002	0.034
حجم ریشه Root volume	0.705	0.676	0.039	0.527	0.322	0.825	0.383		0.634	0.491	0.684
	0.118	0.141	0.941	0.283	0.534	0.043	0.454		0.176	0.323	0.134
طول ریشه Root length	0.260	0.146	-0.355	0.118	-0.100	0.275	0.853	0.727		0.567	0.745
	0.619	0.782	0.489	0.824	0.851	0.598	0.031	0.101		0.240	0.044
سطح ریشه Root surface	0.355	0.480	-0.192	0.619	0.854	0.625	-0.391	0.495	0.062		0.932
	0.489	0.335	0.715	0.190	0.030	0.184	0.444	0.318	0.907		0.007
تراکم طولی ریشه Longitudinal root density	0.778	0.129	0.272	-0.048	0.389	0.336	0.313	0.642	0.437	0.552	
	0.042	0.808	0.602	0.929	0.446	0.514	0.546	0.169	0.387	0.256	

در شرایط ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی

جدول ۶- مراحل رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه به عنوان متغیر مستقل و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در شرایط عدم تنش (۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی)

Table 6- Stepwise regression for grain yield as an independent variable and other traits as an independent variable under non-stress conditions (100 and 80% water requirement)

گام Step	متغیر مستقل Independent variable	ضرایب رگرسیون (b) Regression coefficients	R^2 مدل R^2 Model	R^2 جزء R^2 Component	F value
1	تعداد نیام (X_1) Pods number (X_1)	6.18	0.412	0.412	13.04**
2	تعداد دانه (X_2) Seeds umber (X_2)	6.39	0.717	0.305	5.64**
3	وزن برگ (X_3) Leaf weight (X_3)	2.89	0.911	0.194	4.23*
Intercept, عرض از مبدأ: -172.8					

مدل پیشنهادی برای عملکرد (yield)

Proposed model for yield

$yield=-172.8+6.18X_1+6.39X_2+2.89X_3$

*و** معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

*and ** are significant at 5 and 1 % probability level

جدول ۷- مراحل رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه به عنوان متغیر مستقل و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در شرایط تنش آبی (۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی)

Table 7- Stepwise regression steps for grain yield as an independent variable and other traits as an independent variable under water stress conditions (60 and 40% of water requirement)

گام Step	متغیر مستقل Independent variable	ضرایب رگرسیون (b) Regression coefficients	R^2 مدل R^2 Model	R^2 جزء R^2 Component	F value
1	تعداد نیام (X_1) Number of pods (X_1)	7.787	0.452	0.452	15.86**
2	وزن دانه (X_2) Seed weight (X_2)	6.54	0.664	0.212	7.43**
3	وزن برگ (X_3) Leaf weight (X3)	1.73	0.841	0.177	3.63*
4	وزن ریشه (X_4) Root weight (X_4)	0.93	0.933	0.092	3.63*
Intercept عرض از مبدأ: -28.56					

مدل پیشنهادی برای عملکرد (yield)

Proposed model for yield

$yield= -28.56+7.787X_1+6.54X_2+1.73X_3+0.093X_4$

*و** معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

*and ** are significant at 5 and 1 % probability level

در مطالعه‌ای بر روی یازده رقم جو بیان کردند که تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز شده و با کاهش تعداد دانه در سنبله درنهایت موجب افت عملکرد دانه می‌گردد (Gonzalez *et al.*, 2010). هم‌چنین یکی از دلایل کاهش عملکرد را در شرایط افزایش تنش می‌توان تخصیص بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به اندام زیرزمینی در مقایسه به اندام هوایی دانست (Sreevalli *et al.*, 2000). هرچند که نتایج فوق با نتایج تحقیق حاضر متفاوت می‌باشند و نخود در شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌داری در اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نمی‌دهد. سایر محققان اظهار داشته‌اند که کاهش حجم و وزن خشک ریشه‌های نخود در هنگام تنش به این دلیل است که تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها،

کاهش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی به دنبال کاهش رطوبت در منطقه ریشه و به‌طورکلی به‌کارگیری سازوکارهای تحمل می‌باشد (Asgharipour and Ganjali *et al*., 2010; Rafiei, 2010).

همبستگی بین صفات

در بررسی همبستگی صفات، در شرایط عدم تنش آبی (۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) در میان اجزای عملکرد دانه نخود، بین تعداد دانه و تعداد نیام همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۸۲۵) وجود دارد (جدول ۵). از طرف دیگر، وزن دانه بیشترین همبستگی را به ترتیب با تعداد نیام (۰/۷۱۵) و وزن برگ (۰/۶۷۱) نشان می‌دهد. در شرایط عدم تنش آبی، تعداد دانه با صفات وزن ریشه و تراکم طولی ریشه همبستگی منفی (به ترتیب ۰/۳۶۶- و ۰/۰۴۸-) و با صفات سطح ریشه و حجم ریشه همبستگی مثبت (به ترتیب ۰/۶۱۹ و ۰/۵۲۷) نشان می‌دهد (جدول ۵). هم‌چنین وزن دانه نیز با صفات ریشه مانند، وزن، طول و سطح ریشه رابطه منفی دارد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که در شرایط عدم تنش آبی، افزوده شدن به صفات ریشه باعث کاسته شدن از تعداد و وزن دانه نخود می‌شود. محققان در بررسی روابط بین عملکرد دانه و اجزای آن در ارقام جو همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۹۹) را بین صفت عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه گزارش کردند (Seyed Agha Amiri *et al*., 2012).

بررسی نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تنش‌های ملایم و نسبتاً شدیدتر (۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) نیز وزن دانه بیشترین همبستگی را با تعداد نیام (۰/۷۸۱)، تعداد دانه (۰/۶۷۵) و وزن برگ (۰/۶۴۰) دارد (جدول ۵). از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که وزن دانه با صفات مربوط به ریشه رابطه مثبت دارد که بیشترین آن با حجم ریشه (۰/۷۳۹) و طول ریشه می‌باشد (۰/۶۵۷). هم‌چنین تعداد دانه نیز با صفات ریشه مانند وزن ریشه (۰/۸۲۳)، سطح ریشه (۰/۸۰۴) و حجم ریشه (۰/۵۹۴) رابطه مثبتی دارد (جدول ۵). نتایج حاکی از آن است که در شرایط تنش‌های بیشتر آبی، افزوده شدن بر مقدار صفات ریشه به‌واسطه افزایش آب بیشتر، نقش مهمی در افزایش وزن دانه و تعداد آن دارد. برای صفت وزن هزار دانه بیشترین همبستگی با عملکرد دانه گزارش شده است (Shahmoradi *et al*., 2011).

مطالعات معدودی به بررسی همبستگی صفات ریشه با عملکرد دانه در هر دو شرایط مطلوب و تنش خشکی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای تنها همبستگی صفات اندام هوایی جو در شرایط مطلوب و تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت (Ahmadzadeh *et al*., 2018). نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد در هر دو شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی رابطه مثبتی بین وزن هزار دانه و تعداد دانه مشاهده شد. با توجه به همبستگی این صفات در شرایط مطلوب و تنش، این امر ارتباط نزدیک این صفات را در شرایط متفاوت محیطی نشان می‌دهد.

تعیین صفات مؤثر بر عملکرد توسط رگرسیون گام‌به‌گام

برای تعیین صفات مهم و مؤثر بر عملکرد دانه در شرایط عدم تنش (۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) و تنش خشکی (۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی)، رگرسیون گام‌به‌گام به‌طور جداگانه برازش داده شد (جداول ۶ و ۷). نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش، صفات تعداد نیام، تعداد دانه و وزن برگ بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه نخود دارند (جدول ۶). به‌این‌ترتیب، صفات مربوط اندام‌های هوایی نقش مؤثرتری بر عملکرد دانه نخود دارند. در شرایط عدم تنش، صفت تعداد نیام نخستین متغیری بود که وارد مدل شد و به‌تنهایی حدود ۴۱ درصد مدل را به خود اختصاص داد. سپس تعداد دانه و وزن برگ به ترتیب ورودی‌های بعدی مدل بودند که به ترتیب ۳۰ و ۱۹ درصد تغییرات عملکرد را شامل شدند.

در شرایط تنش خشکی، صفات تعداد نیام، وزن دانه، وزن برگ و وزن ریشه بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه نخود دارند و در این شرایط انتظار است ارقامی که دارای مقادیر بالایی از صفات مذکور می‌باشند، بیشترین سهم را در پیش‌بینی عملکرد خواهند داشت (جدول ۷). همانند عدم تنش، صفت تعداد نیام، اولین متغیری بود که وارد مدل شد و ۴۵ درصد از تغییرات عملکرد را شامل می‌شود. سپس وزن دانه، وزن برگ و وزن ریشه به ترتیب ورودی‌های بعدی مدل بودند که به ترتیب ۲۱ و ۱۷ و ۹ درصد تغییرات عملکرد را شامل شدند. پس نتایج حاکی از این است که در شرایط تنش خشکی، افزایش وزن ریشه بر عملکرد اثر مثبت دارد. از این بابت که در شرایط تنش خشکی، تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه، به گیاه در جهت

جذب آب بیشتر و درنتیجه عملکرد بیشتر کمک می‌کند. در تحقیقی به تجزیه رگرسیون مرحله‌ای در شرایط مطلوب و تنش خشکی در جو پرداخته شد که نتایج نشان داد وزن دانه با عملکرد بیولوژیک و سرعت پر شدن دانه همبستگی مثبت و زیاد و دو صفت عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مهم‌ترین اجزای توجیه‌کننده تغییرات عملکرد دانه بودند (Norouzi *et al.*, 2017). نتایج مطالعه بر روی گیاه لوبیا نشان داد در شرایط عدم تنش صفات تعداد نیام، وزن صد دانه، تعداد دانه در نیام و تعداد گل و در شرایط تنش صفات تعداد نیام، وزن صد دانه در نیام بیشترین عوامل مؤثر در عملکرد هستند (Keshavarz Nia *et al.*, 2010). نتایج تحقیق نشان داده است که در گیاه کلزا در شرایط عدم تنش، صفات تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در واحد سطح و وزن هزار دانه بیشترین سهم را در توجیه عملکرد دانه داشتند (Majidi *et al.*, 2016). در شرایط تنش صفات وزن هزار دانه، تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین و تعداد روز تا گل‌دهی، دارای بیشترین سهم بودند. دیگر محققین در یک بررسی مشابه، مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد ماش را با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره در شرایط تنش خشکی و بدون تنش بررسی کردند (Zabet and Hosseinzadeh, 2011). نتایج نشان داد در محیط بدون تنش، صفات تعداد نیام در بوته، شاخص برداشت، طول نیام، ارتفاع گیاه، وزن ۱۰۰ دانه و در محیط تنش، صفات تعداد نیام در بوته، شاخص برداشت، طول نیام، ارتفاع گیاه، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد گره در ساقه‌ی اصلی، تعداد روز تا ۹۰ درصد رسیدگی، مهم‌تر از بقیه صفات می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش خشکی ضمن کاهش وزن ساقه و برگ، وزن و حجم و طول ریشه و کاهش تعداد و وزن نیام باعث کاهش عملکرد نخود شد. با کاهش نیاز آبی گیاه از ۱۰۰ به ۴۰ درصد تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز نسبت ریشه به ساقه کاهش یافتند. در بین اجزای عملکرد، وزن دانه و تعداد نیام در شرایط تنش‌های نسبتاً شدید نسبت به عدم تنش به ترتیب ۳۶ و ۵۸ درصد کاهش یافتند. نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش آبی، بین عملکرد و صفات ریشه همبستگی منفی و در شرایط تنش‌های ملایم تا نسبتاً زیاد، این رابطه مثبت می‌باشد. ازآنجاکه پارامترهای تعداد نیام، تعداد دانه و وزن برگ در هر دو شرایط تنش و عدم تنش بر عملکرد گیاه مؤثر می‌باشد، لذا اندازه‌گیری دقیق این صفات باید مدنظر قرار بگیرد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی، وزن ریشه اهمیت دارد. از این بابت که چون در جذب آب نقش بیشتری ایفا می‌کند.

References

Aerts, R. and Chapin, F.S. 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *In Advances in Ecological Research*, 30: 1-67.

Ahmadzadeh, R., Pakniat, H., Tavakol, A. and Shahrasbi, S. 2018. Determination of the most effective traits on grain yield of some barley genotypes under normal irrigation and drought stress conditions, *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(2): 261-274. (In Persian).

Alizadeh, A. 2004. Relationship between water, soil and plant. University Of Emam Reza Press, 472 pages. (In Persian).

Asgharipour, M. and Rafiei, M. 2010. Effect of drought on different root morphological characteristics and root to shoot ratio in mung bean genotypes. *11th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. Tehran - Iranian Association of Agricultural Sciences and Plant Breeding*. (In Persian).

Bazazi, N., Khodambashi, M. and Mohammadi, Sh. 2013. The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of fenugreek. *Journal of Production and Processing of Crops and Horticulture*, 3(8): 11-22. (In Persian).

Chaichi, M.R., Rustamza, M. and Sadat Ismailian, K. 2003. Investigation of resistance of black chickpea lines to drought stress under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 10(4): 55-64. (In Persian).

Emam, Y. and Niknejad, V. 2011. Introduction to crop yield physiology. University Of Shiraz Press, 594 pages. (In Persian).

Fathi, E., Tahnasebi, I. and Teimoori, N. 2016. Effect of sowing date and weed interference on chickpea seed quantitative and traits in genotypes under dryland condition. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 5(2): 135-156

FAO (Food and Agricultural Organization). 2016. Pulses are praised for their health, environmental and economic benefits.How can their full potential be tapped?. Available at: http://www.fao.org

Ghasemi Golazani, K., Fathollahzadeh, M. and Dalil, B. 2008. The effect of water shortage on yield and harvest index of chickpea in Tabriz, 10th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. *Karaj - Seed and Plant Breeding Research Institute*. (In Persian).

Goldani, M. and Rezvani Moghadam, P. 2007. The effect of different soil moisture regimes and planting date on phenological characteristics and growth indices of three cultivars of dry and irrigated chickpeas in Mashhad. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(1): 61-74. (In Persian).

Ganjali, A., Kafi, M. and Sabet Teymouri, M. 2010. Changes in physiological indices of roots and shoots of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. *Journal of Environmental Stresses in Crop Science*, 3(1): 35-45. (In Persian).

Gonzalez, A., Bermejo, V. and Gimeno, B.S. 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 148(3): 319-328.

Gordner, F., Pearce, R. and Mitchell, R.L. 1985. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press, Ames USA.

Grossnicle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forestes*, 30: 273-294.

Guler, M., Adak, M.S. and Ulukan, H. 2001. Determining relationships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy*, 14(2): 161-166.

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1): 87-92.

Jalilian, J., Modarres Sanavy, S.A.M. and Sabbaghpour, S.H. 2005. Effect of plant density and supplementary irrigation on yield, yield components and protein amount of four chickpea cultivars under dryland conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12(5): 1-9. (In Persian).

Jamshidi Moghadam, M., Pak Niat, H. and Farshadfar, A. 2007. Evaluation of drought tolerance of chickpea lines (*Cicer arietinum* L.) using agronomic and physiological characteristics. *Seedling and Seed Magazine*, 23(3): 325-342. (In Persian).

Johansen, C., Krishnamurthy, L., Saxena, N.P. and Sethi, S.C. 1994. Genotypic variation in moisture response of chickpea grown under line-source sprinklers in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research*, 37(2): 103-112.

Kafi, M. and Mahdavi Damghani, A. 2007. Mechanisms of plant resistance to environmental stresses. Ferdowsi University of Mashhad Publications. 472 pages. (In Persian).

Keshavarznia, R., Mohammadi Nargesi, B. and Abbasi, A. 2010. Investigation of bean genetic diversity based on morphological traits under two conditions of normal and drought stress. *Iranian Journal of Crop Science*, 44(2): 305-315. (In Persian).

Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Crouch, J.H. and Serraj, R. 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. *Field Crops Research*, 95(2-3): 171-181.

Leport, L., Turner, N.C., French, R.J., Barr, M.D., Duda, R., Davies, S.L. and Siddique, K.H.M. 1999. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy*, 11(3-4): 279-291.

Lv, G., Kang, Y., Li, L. and Wan, S. 2010. Effect of irrigation methods on root development and profile soil water uptake in winter wheat. *Irrigation Science*, 28(5): 387-398.

Malhotra, R.S. and Saxena, M.C. 2002. Strategies for overcoming drought stress in chickpea. *ICARDA Caravan (ICARDA).*

Majidi, M.M., Jafarzadeh Qahdarijani, M., Rashidi, F. and Mirlohi, A. 2016. Investigation of the relationship between traits under normal conditions and drought stress in rapeseed cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 8(17): 55-65. (In Persian).

Masoumi, A., Zamyad, H. and Sarwari, S.M. 2005. Study of root parameters of some chickpea (*cicer arientinum*) genotypes under drought stress conditions. *The first national conference on beans. Mashhad*, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).

Norouzi, A., Tavakol, A. and Kazemini, S.E. 2017. Identification of drought tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using stress tolerance indices. *Journal of Environmental Stresses in Crop Science*, 10(1): 55-66. (In Persian).

Nayyar, H., Singh, S., Kaur, S., Kumar, S. and Upadhyaya, H.D. 2006. Differential sensitivity of macrocarpa and microcarpa types of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to water stress: association of contrasting stress response with oxidative injury. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(11): 1318-1329.

Oelke, E.A., Oplinger, E.S. and Teynor, T.M. 2004. *Safflower*. University of Minnesota, 97-109.

Pannu, R.K. and Singh, D.P. 1993. Effect of irrigation on water use, water-use efficiency, growth and yield of mungbean. *Field Crops Research*, 31(1-2): 87-100.

Pereira, S.I., Moreira, H., Argyras, K., Castro, P.M. and Marques, A.P. 2016. Promotion of sunflower growth under saline water irrigation by the inoculation of beneficial microorganisms. *Applied Soil Ecology*, 105: 36-47.

Rahman, S.L. and Uddin, A.S.M.M. 2000. Ecological adaptation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to water stress-2. Grain yield, harvest index, flowering and maturity studies. *Legume Research*, 23(1): 1-8.

Ren, D., Xu, X., Hao, Y. and Huang, G. 2016. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: Application to maize, sunflower and watermelon. *Journal of Hydrology*, 532: 122-139.

Royo, C., Abaza, M., Blanco, R. and del Moral, L.F.G. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Functional Plant Biology*, 27(11): 1051-1059.

Saxena, N.P., Sethi, S.C., Krishnamurty, L. and Haware, M.P. 1995. Physiological approaches to genetic enhancement of drought resistance in chickpea. In: *International Congress on Integrated studies on drought tolerance of higher plants*. Inter drought, Aug. 1995. Montpellier. France.

Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S. and Crouch, J.H. 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, 88(2-3): 115-127.

Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M. and Parchin, R.A. 2011. Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Seed and Plant Production Journal*, 27(4): 451-470.

Siddique, K.H.M., Sedgley, R.H. and Marshall, C. 1984. Effect of plant density on growth and harvest index of branches in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 9: 193-203.

Soltani, A., Khooie, F.R., Ghassemi-Golezani, K. and Moghaddam, M. 2001. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 49(3): 225-237.

Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R.S. and Kulkarni, R.N. 2000. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. *Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle*, 22(4a): 356-358.

Soltani, A., Rahimzadeh Khoei, F., Ghasemi Golazani, K. and Moghaddam, M. 1999. CICER: A computer model for simulating the growth and yield of chickpeas. *Journal of Agricultural Knowledge*, 9(3): 89-106. (In Persian).

Seyed Agha Amiri, S.M.M., Mustafavi, Kh. and Mohammadi, A. 2012. Investigation of relationships between grain yield and its components in cultivars and new barley hybrids using multivariate statistical methods. *Iranian Journal of Crop Research*, 10(2): 421-427. (In Persian).

Shahmoradi, Sh., Shafaeddin, S. and Yousefi, A. 2011. Phenotypic diversity in barley ecotypes of arid- zone of Iran. *Seed and Plant Production*, 27(4): 495-515. (In Persian).

Thorne, M.A. and Frank, D.A. 2009. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. *Plant Ecology*, 200(2): 205-215.

Tuberosa, R. and Salvi, S. 2004. Markers, genomics and post-genomics approaches. Proceeding of *4th International Crop Science Congress*. pp. 1-19. Available at web site http://www.CROPSCIENCE.org.au.

Vocanson, A., Roger-Estrade, J., Boizard, H. and Jeuffroy, M.H. 2006. Effects of soil structure on pea (*Pisum sativum* L.) root development according to sowing date and cultivar. *Plant and Soil*, 281(1-2): 121-135.

Zabet, M. and Hosseinzadeh, E. 2011. Determining the most important traits affecting the yield of mung bean (*Vigna radiate* L. *Wilczek*) using multivariate statistical methods under drought stress and non-stress conditions. *Iranian Journal of Cereals Research*, 2(1): 87- 98. (In Persian).

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 2, Autumn and Winter 2023, P. 459-473

The effect of drought stress during the reproductive stage on root growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and determination of the traits influencing the yield

Hadi Dehghan[1*], Alireza Vahidi[2], Sajad Mijani[3], Mohammad Naderianfar[4]

[1] Water Science and Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran
[2] Water Science and Engineering Department, Bam Higher Education Institute, Bam, Iran
[3] Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[4] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

[*]Corresponding Author: H.dehghan@kashmar.ac.ir

Received: 21 November 2021 Accepted: 28 March 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.316147.1159**

Abstract

Introduction: Drought is undoubtedly one of the most important environmental stresses reducing the yield of agricultural plants worldwide. Drought is also a significant yield-limiting factor in chickpea (*Cicer arietinum* L.) production. This crop's yield may be reduced by intermittent drought during the vegetative phase, reproductive development drought, or terminal drought at the end of the crop cycle. Drought stress may reduce photosynthesis, CO_2 fixation, and chlorophyll content, or it may damage the photosynthetic apparatus.

Materials and Methods: The current research has been conducted in greenhouse as pot experiment for the purpose of evaluating the effect of drought on the yield and its components, as well as to investigate the relationship between physiological traits and seed yield under drought stress. The treatments included four levels of drought stress (40%, 60%, 80%, and 100% of the water requirement) in a completely randomized block design with three replications.

Results and Discussion: Drought stress influences the leaf weight, stem weight, seed number, seed weight, pod weight, root weight, root volume, root length, root surface, and longitudinal density of the root at a probability level of 1%; it was also found to have a significant effect on the number of pods at a probability level of 5%, but no significant effect on the ratio of root weight to stem weight. The highest leaf weight, stem weight, seed number, seed weight, pod weight, root weight, root volume, and root length were observed at 100% and 40% of the water requirement, respectively. The studied characteristics were found to be manifested less strongly as the percentage of water requirements decreased. Under drought stress conditions, seed weight and pod number were found to be reduced by 36% and 58%, respectively, in comparison to relatively severe stresses. Seed number was found to be negatively correlated with root weight and longitudinal density of the root (respectively -0.366 and -0.018) and positively correlated with root surface and root volume in the absence of drought stress (100% and 80% of the water requirement) (respectively 0.619 and 0.527). In contrast, the seed weight was positively associated with root-related traits under drought stress conditions (60% and 40% of the water requirement), with the greatest effects observed for root volume (0.739) and root length (0.657). In addition, a positive correlation was found between the number of seeds and root characteristics such as root weight (0.823), root surface (0.804), and root volume (0.594). In the absence of drought stress, the results of stepwise regression indicate that an increase in pod number, seed number, and leaf weight has a positive effect on yield. under drought stress, there was a significant increase in pod number, seed number, leaf weight, and root weight. Therefore, under conditions of drought stress, root mass is crucial, as it allows the plant to absorb more water.

Conclusion: According to the findings of this study, drought stress reduced the yield of chickpeas by decreasing the weight of stems and leaves, the weight and volume of roots, and the number and weight of pods. By decreasing the plant's water demand from 100 to 40%, all of the studied characteristics were diminished with the exception of the root -to -stem ratio. Since the parameters

of pod number, seed number, and leaf weight under both stress and non-stress conditions influence plant yield, it is important to measure these traits precisely. The results also demonstrated the significance of root mass under drought stress, because it is indispensable for water absorption.

Keywords: Correlation, Pod number, Stepwise regression, Water requirement