

بررسی اثر رژیم‌های آبیاری و تراکم بوته بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و اکولوژیکی نخود (*Cicer arietinum* L)

ناصر مجنون حسینی^{۱*}، محمد باقر غلامی^۲، محمدرضا جهانسوز^۳، اسماعیل افشون^۴ و احسان ربیعیان^۴

او او ۳ و ۴ - به ترتیب استاد، کارشناس ارشد، استاد و دانشجو، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰)

چکیده

به منظور بررسی تاثیر رژیم‌های آبیاری و تراکم بوته بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی نخود (*Cicer arietinum* L.)، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه آموزشی پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. رژیم آبیاری به عنوان عامل اصلی در هشت سطح (A1=آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی، A2=قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، A3=قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی، A4=قطع آبیاری در مرحله گلدهی، A5=کم آبیاری (۵۰ درصد آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی)، A6=کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، A7=کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی و A8=کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی) و عامل فرعی تراکم بوته در سه سطح (۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در متر مربع) در نظر گرفته شدند. نتایج پژوهش نشان داد که میزان کلروفیل a، b و مجموع آنها، شاخص سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ، کارایی مصرف نور و عملکرد دانه در تیمارهای تنش کم آبی کاهش یافت، ولی ضریب استهلاک نوری و کارایی مصرف آب افزایش نشان داد. بیشترین میزان عملکرد دانه (۲۰۶۸ کیلوگرم در هکتار) از تراکم ۴۰ بوته در مترمربع حاصل شد. همچنین، نتایج نشان داد که در شرایط محدودیت آب، با کاربرد ۵۰ درصد آبیاری در تمام مراحل رشدی نخود می توان به عملکرد مناسبی دست یافت.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، کارایی مصرف آب، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، نخود.

Effects of irrigation regime and plant density on some yield and ecological and physiological indications of chickpea (*Cicer arietinum* L)

Nasser Majnoon Hosseini^{1*}, Mohammad Bagher Gholami², Mohammad Reza Jahansooz³, Esmail Afshoon⁴, Ehsan Rabieian⁴

1,2,3,4. Agronomy and Plant Breeding Department, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: October 24, 2020 - Accepted: December 30, 2020)

ABSTRACT

In order to investigate the effects of irrigation regime and plant density on agronomic and some physiological traits of chickpea (*Cicer arietinum*), a split-plot layout based on a randomized complete block design with three replications conducted at the research field of University of Tehtan (Karaj- Iran) in 2015-2016. The irrigation regime included eight levels (A1 =full irrigation at all growth stages, A2 = irrigation to grain filling and then cut, A3 = irrigation to podding and then cut, A4 = irrigation to flowering and then cut, A5 = low irrigation or 50% of full irrigation at all growth stages, A6 = 50% of full irrigation to grain filling and then cut, A7 = 50% of full irrigation to podding and then cut, A8 = 50% of full irrigation to flowering and then cut) and plant density at three levels (30, 40 and 50 plants.m⁻¹) were considered as the main and subplots factor, respectively. The results showed that total chlorophyll and chlorophyll a, b, leaf area index, leaf relative water content, light use efficiency and seed yield were declined under water deficit but the light extinction coefficient and water use efficiency increased. The highest seed yield (2068 kg/ha) obtained from 40 plants.m⁻². Also, under the low irrigation conditions, by applying 50% irrigation in all stages of chickpea growth the optimum yield can be produced.

Keywords: Chickpea, chlorophyll, leaf area index, leaf relative water content, water use efficiency.

مقدمه

(معادل ۶۲/۸ درصد) به کشت نخود (*Cicer arietinum* L.) اختصاص یافته است. نخود گیاهی

سطح زیر کاشت حبوبات در ایران حدود ۸۰۰ هزار هکتار است که از این میزان، حدود ۵۰۰ هزار هکتار

* Corresponding author E-mail: mhoseini@ut.ac.ir

آن به‌عنوان شاخصی برای توزیع نور در جامعه گیاهی یاد می‌شود، در شرایط تنش خشکی در ارقام دیررس و زودرس آفتاب‌گردان کاهش یافت (Calviño *et al.*, 2004). همچنین در طی تنش خشکی و به دلیل کاهش در جریان مواد فتوسنتزی خوشه‌های درحال توسعه، نازایی و عدم باروری در گیاه ارزن منجر به کاهش عملکرد شده است (Yadav *et al.*, 2004). یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه، کارایی مصرف آب است که نشان دهنده توانایی گیاه برای مقابله با کمبود آب می‌باشد. عوامل مختلفی از جمله آب و هوایی، شرایط خاک و عوامل گیاهی بر کارایی مصرف آب اثر گذارند (Nasiri Majd, 2009). بیان شده است که گیاه در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب نسبت به شرایط نرمال رطوبتی، عملکرد بیشتری تولید می‌کند و در نتیجه کارایی مصرف آب بالاتری خواهد داشت (Shabiri *et al.*, 2006).

یکی از عوامل به‌زراعی بسیار مهم در تعیین میزان عملکرد، تراکم بوته است، زیرا همیشه رقابت درون‌گونه‌ای برای فضا، مواد غذایی و نور وجود دارد. هنگامی که تراکم بوته از حد بهینه فراتر برود، رشد و نمو گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نتیجه عملکرد زیست‌توده کاهش می‌یابد (Evans *et al.*, 2003). در پژوهش‌های پیشین، بیشترین عملکرد دانه نخود از تراکم‌های مختلف گزارش شده است؛ به‌عنوان نمونه در استان ایلام (Heidari *et al.*, 2011)، گلستان (Barzali, 2018) و البرز (Kashfi *et al.*, 2010)، بیشترین میزان عملکرد دانه نخود را به‌ترتیب ۱۲۳۷، ۱۴۰۲ و ۱۷۲۷ (کیلوگرم در هکتار) از تراکم ۵۰، ۷۰ و ۴۸ (بوته در متر مربع) حاصل شده است. در یک مطالعه اثر تراکم بوته نخود بر میزان کلروفیل a، b و کل نشان داد که با افزایش تراکم از ۲۷ تا ۴۶ بوته در متر مربع، میزان کلروفیل افزایش یافت ولی با افزایش تراکم از ۴۶ به ۵۷ بوته در متر مربع کاهش یافت (Majnoun Hosseini *et al.*, 2003). گزارش شده است که با افزایش تراکم نخود، میزان شاخص ضریب استهلاک نوری کاهش یافت (Rahemi Karizaki *et al.*, 2007). همچنین در گیاه بادام زمینی، با اعمال

است که در سطح وسیع (حدود ۱۸ میلیون هکتار) در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا کشت می‌شود (FAO, 2018). دانه نخود ۲۰ تا ۳۰ درصد پروتئین، حدود ۴۰ درصد کربوهیدرات و سه تا شش درصد چربی دارد و همچنین منبع خوبی از کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسفر، آهن، روی و منگنز می‌باشد (Ibrkci *et al.*, 2003).

پدیده خشکی و محدودیت آب، از مشکلات عمده کشاورزی در جهان است و حدود ۷۸ درصد از عرصه کشاورزی جهانی به‌طور دائمی و یا موقتی با خشکی درگیر است (Sadeghzdeh Ahari, 2017). این تنش، یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده فتوسنتز و کاهش‌دهنده رشد و بهره‌وری گیاهان است که به‌طور متوسط ۵۰ درصد از عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Wang *et al.*, 2003). برای گیاهان زراعی پرورش یافته در محیط‌های خشک، سرعت رشد بالا و همچنین کارایی استفاده از آب، اهمیت فراوانی دارد. محتوی نسبی بالای آب برگ که از خصوصیات مهم گیاهان مقاوم به خشکی به‌شمار می‌رود، نسبت به سایر پارامترهای پتانسیل آبی، شاخص بسیار با ارزشی در بیان وضعیت آبی گیاه تحت شرایط خشکی است (Keles & Oncel 2004). کاهش محتوی نسبی آب برگ (Daneshiyan *et al.*, 2006)، کاهش کلروفیل کل (Manivannan *et al.*, 2015)، کاهش سطح برگ و همچنین محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش تشکیل پلاستیدهای جدید، کلروفیل a، b و کاروتن (Lawlor, 2002)، کاهش راندمان مصرف نور و عملکرد دانه به دلیل کاهش شدید سطح برگ و جذب نور توسط کانوبی گیاهی (Naderi *et al.*, 2004)، کاهش جذب آب به داخل سیتوپلاسم و واکوئل سلولی که در نتیجه این فرایند، کاهش توسعه سلولی و طولیل شدن برگ‌ها رخ می‌دهد (Jones, 1990)، در طی تنش خشکی گزارش شده است. همچنین کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، از مهم‌ترین دلایل کاهش کارایی مصرف نور در طی تنش خشکی بیان شده است (Tefaye *et al.*, 2006). ضریب استهلاک نور که از

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پردیس کشاورزی کرج با مشخصات ۱۳۲۱ متر ارتفاع از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی اجرا شد. این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک با میانگین بارندگی ۳۳ ساله حدود ۲۴۸ میلی‌متر است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ بیان شده است. از کاشت تا برداشت محصول، میزان بارندگی ۱۳۱ میلی‌متر و کمینه و بیشینه دما، ۹/۷ و ۲۲/۷ درجه سلسیوس بود.

تیمارهای تاریخ کاشت، ارقام و تراکم‌های مختلف نشان داده شد که وقتی ضریب استهلاک نوری از سه به یک افزایش یافت، کارایی مصرف نور از ۲/۷۵ به ۱/۵ گرم بر مگاژول کاهش یافت (Bell *et al.*, 1993). از آنجا که خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی حاکم بر تولیدات زراعی ایران است، بنابراین مطالعه اثر تنش کمبود آب در مراحل حساس رشدی گیاه و همچنین تراکم مطلوبی که رشد و نمو بهینه را تحت این شرایط میسر سازد، بسیار مهم است. از این رو، این پژوهش به منظور تعیین مناسب‌ترین تراکم بوته و همچنین رژیم آبیاری که در آن عملکرد مطلوب نخود به دست می‌آید، در شرایط کرج انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Physiochemical properties of the experimental site soil.

Depth (cm)	Available K (mg kg ⁻¹)	Available P	pH	EC (dS m ⁻¹)	Soil texture	Soil texture			OC	Total N
						Sand	Silt	Clay		
0-30	125	8.3	8.4	0.97	Clay Loam	25	44	31	0.76	0.09
30-60	125	2.2	8.5	1.16	Clay Loam	26	44	30	0.62	0.07

تراکم‌های انتخاب شده بر اساس مقادیر بالاتر و پایین‌تر از مقدار گزارش شده انتخاب شدند. زمین مورد نظر که در سال قبل، آیش بود، شخم زده شد (تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) و سپس دو بار دیسک عمود برهم انجام گرفت. رقم نخود مورد استفاده در این آزمایش، رقم ILC 482 (تیپ رشد بوته‌ای و دانه ریزتر از سایر ارقام نخود است و در کشت پاییزه مقاومت بالایی نسبت به بیماری برق‌زدگی و فوزاریوم از خود بروز می‌دهد) بود. کاشت به صورت دستی در ۱۵ اسفندماه ۱۳۹۵ انجام گرفت و تعداد دفعات آبیاری‌ها تا برداشت محصول، ۲۲ بار بود. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول چهار متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود و فاصله بوته روی ردیف بر اساس تراکم ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع، به ترتیب ۶/۶، ۵/۴ و چهار سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی نیم متر و بین کرت‌های اصلی یک متر در نظر گرفته شد. کاشت به صورت جوی و پشته بود که توسط یک شیار بازکن دستی، شیارهایی در یک سمت پشته‌ها ایجاد شد و سپس بذرها در عمق حدود سه سانتی‌متر کاشته

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه آموزشی پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج)، در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. رژیم آبیاری به عنوان عامل اصلی در هشت سطح شامل (A1= آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی، A2= آبیاری کامل تا مرحله دانه‌بندی و سپس قطع آبیاری، A3= آبیاری کامل تا مرحله غلاف بندی و سپس قطع آبیاری، A4= آبیاری کامل تا مرحله گلدهی و سپس قطع آبیاری، A5= کم آبیاری (۵۰ درصد آبیاری کامل) در تمام مرحله رشدی، A6= کم آبیاری تا مرحله دانه‌بندی و سپس قطع آبیاری، A7= کم آبیاری تا مرحله غلاف بندی و سپس قطع آبیاری، A8= کم آبیاری تا مرحله گلدهی و سپس قطع آبیاری) و تراکم بوته در سه سطح (۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. در مطالعه Majnoun Hosseini *et al.* (2003) روی گیاه نخود در کرج، تراکم ۴۶ بوته در متر مربع به عنوان بهترین ترکیب تیمارها گزارش شد؛ بنابراین

در هکتار، بوته‌های ردیف‌های اول، دوم، پنجم و ششم حذف و از ردیف‌های سوم و چهارم بعد از حذف اثر حاشیه (یک متر از بالا و پایین آن‌ها) به مساحت دو مترمربع برداشت شدند و بعد از انتقال به آونی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس، به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن خشک دانه‌ها سپس توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین شاخص سطح برگ، از هر کرت یک مترمربع بعد از حذف اثرات حاشیه برداشت شد و سپس با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (مدل دلتا، انگلستان)، سطح برگ برحسب سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. مقدار تابش در بالا و پایین کانویی با استفاده از دستگاه نورسنج (مدل LP80، آمریکا) بین ساعات ۱۱ تا یک ظهر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه ضریب استهلاک نوری از معادله (۲)، کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) از معادله (۳)، محتوی نسبی آب برگ از معادله (۴)، کلروفیل a, b و کل در هر گرم برگ تر از روش Arnon (1949) استفاده شد. کارایی مصرف نور برحسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم در مترمربع) و میزان تشعشع تجمعی تعیین شد. میزان تشعشع روزانه برای عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به روش Goudriaan & Van Laar (2012) محاسبه شد و سپس برای تعیین میزان تشعشع جذب شده روزانه از معادله (۵) استفاده شد.

شدند. در هر کپه، دو عدد بذر کاشته شد که در مرحله چهار برگی همراه با اولین وجین، یک بوته باقی ماند و بقیه حذف شدند. جهت برآورد نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، از دستگاه صفحه فشاری (مدل ۵۰۵، آمریکا) استفاده شد و میزان رطوبت خاک در این نقاط محاسبه شدند. برای محاسبه مقدار آب موردنیاز در هر نوبت آبیاری، از رابطه ۱ استفاده شد (Alizadeh, 2004):

$$Dn=[(FC-PWP) /100] \rho b. Dr. F \quad (1)$$

که در آن، DN: مقدار آب در هکتار آبیاری (mm)، FC: درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی، PWP: درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، pb: جرم مخصوص ظاهری خاک (gr.cm⁻³)، Dr: عمق مؤثر ریشه (mm) و F: ضریب تخلیه رطوبت خاک (درصد) میباشد. به‌منظور تشخیص زمان آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج خاک Delta T (مدل HD2، آلمان) استفاده شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک تا عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) انجام گرفت و آبیاری به‌صورت قطره‌ای اعمال شد. اولین آبیاری بعد از کاشت انجام شد و مابقی آبیاری‌ها طبق تیمارهای مورد تحقیق، صورت گرفت. طی دوره رشد، مبارزه با علف‌های هرز به‌طور مداوم و به روش وجین دستی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات

در تاریخ ۲۰ خردادماه و به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد

$$(Robertson et al., 2001) \quad (2)$$

$$\frac{I_i}{I_0} = e^{-K \cdot LAI}$$

$$WUE = \frac{\text{ماده خشک تولید شده}}{\text{آب مصرفی}}$$

$$(Tsubo \& Walker, 2002) \quad (3)$$

$$RWC(\%) = 100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}) \quad \text{Weatherley, 1962) \& Barrs} \quad (4)$$

$$I_{abs} = I_0 * (1 - \rho) * (1 - e^{-K \cdot LAI}) \quad (Tsubo et al., 2005) \quad (5)$$

۲/۷۱۸۲۸، K: ضریب استهلاک نوری و LAI: شاخص سطح برگ، WUE: کارایی مصرف آب، RWC: محتوی نسبی آب برگ (درصد)، I_{abs}: تشعشع جذب شده توسط کانویی، I₀: نور رسیده به بالای کانویی

که در این معادلات: I_i: تشعشع خورشید در قسمت پایین سایه‌انداز (مگاژول بر مترمربع در ثانیه)، I₀: تشعشع خورشید در قسمت بالای سایه‌انداز (مگاژول بر مترمربع در ثانیه)، e: پایه لگاریتم طبیعی برابر

آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی در تراکم ۵۰ بوته در متر مربع و کمترین میزان آن (۰/۳ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار آبیاری کامل در تمام مراحل رشدی و در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به دست آمد (شکل ۱). گیاه نخود توانسته است در شرایط تنش کمبود آب نسبت به شرایط نرمال رطوبتی، عملکرد بیشتری تولید کند و از این طریق کارایی مصرف آب بالاتری داشته باشد. همچنین در مطالعه Eskandari *et al.* (2009) روی ارقام مختلف گیاه کنجد تحت شرایط تنش خشکی، بالاترین میزان کارایی مصرف آب (۵۰ کیلوگرم بر ۱۰۰ متر مکعب آب مصرفی)، تحت شرایط تنش خشکی به دست آمد و علت را تولید عملکرد مناسب در مقابل کمی مصرف آب بیان نمودند.

(مگاژول بر مترمربع)، p: ضریب انعکاس نور توسط کانوپی و LAI: شاخص سطح برگ می باشد.

محاسبات آماری

برای تجزیه واریانس، از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ استفاده شد و مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL 2013 انجام گرفت.

نتایج و بحث

کارایی مصرف آب

نتایج جدول تجزیه واریانس مصرف آب نشان داد که این صفت تحت اثر متقابل رژیم آبیاری و تراکم بوته قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان کارایی مصرف آب نخود (۰/۴۴ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار کم

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک نخود تحت تأثیر رژیم آبیاری و تراکم کاشت

Table 2. Variance analysis of the physiological traits of chickpea affected by irrigation regimes and plant density

S. O. V	D F	Mean of Squares								
		Water use efficiency	Relative water content	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Leaf area index	Radiation use efficiency	Extinction coefficient	Seed yield
Replication	2	0.000004 ^{ns}	1.2 ^{ns}	0.00028 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.000512 ^{ns}	0.0082 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	14919.1 ^{ns}
Irrigation regimes (a)	7	0.010861 ^{**}	226.22 ^{**}	0.01660 ^{**}	0.00204 ^{**}	0.03030 ^{**}	0.3344 ^{**}	0.0701 ^{**}	0.0878 ^{**}	3609856.2 ^{**}
Main Error (a)	14	0.000004	5.37	0.00016	0.00003	0.00033	0.0048	0.0009	0.0009	9708.13
Plant density (b)	2	0.006389 ^{**}	88.21 ^{**}	0.00309 ^{**}	0.00022 ^{**}	0.00499 ^{**}	0.0481 ^{**}	0.0198 ^{**}	0.0419 ^{**}	110489.92 ^{**}
Irrigation Plant × regimes density	14	0.001053 ^{**}	2.18 ^{ns}	0.00097 ^{**}	0.00009 [*]	0.00163 ^{**}	0.0061 ^{ns}	0.0155 ^{**}	0.0004 ^{ns}	13252.41 ^{ns}
Sub Error (b)	32	0.0000004	4.18	0.00031	0.00004	0.00054	0.0037	0.0008	0.0009	10993.04
%C.V.		3.1	2.66	5.48	5.94	5.42	4.96	2.67	4.33	5.26

ns, * and **: به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی داری واریانس در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

ns, * and **: non-significance and significance at 5% and 1% of probability levels, respectively.

محتوی نسبی آب برگ

نتایج نشان داد که بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ (۸۳/۸۶ درصد) از تیمار آبیاری کامل در تمام مراحل رشدی و کمترین میزان آن (۶۸/۱ درصد) در تیمار کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی به دست آمد (جدول ۳). با افزایش تراکم بوته، میزان محتوای نسبی آب برگ نخود کاهش یافت، به-

طوری که بیشترین (۷۸/۷۱ درصد) و کمترین میزان آن (۷۴/۸۹ درصد) به ترتیب در تراکم ۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع مشاهده شد (جدول ۴). در تراکم های بالاتر، به دلیل رقابت بیشتر برای آب و مواد غذایی، میزان آب قابل دسترس برای هر بوته نسبت به تراکم های پایین تر کاهش می یابد که نتیجه آن، کاهش محتوی نسبی آب برگ خواهد بود. این شاخص، ارتباط

نزدیکی با حجم سلول دارد و بیان کننده تعادل بین فراهمی آب بافت‌های برگ و سرعت تعرق می‌باشد (Lugojan & Ciulca 2011). در طی تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ به سبب از دست رفتن آب از طریق روزنه‌ها و همچنین کاهش غیر قابل برگشت حجم سلول به دلیل آسیب غشای سلولی (Blackman *et al.*, 1995)، کاهش می‌یابد. کاهش محتوای نسبی آب برگ در نخود (Shariatmadari *et al.*, 2017) و بادام زمینی (Kalariya *et al.*, 2013) تحت تاثیر تنش خشکی نیز گزارش شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه، محتوای آب نسبی برگ و ضریب استهلاک نخود تحت تاثیر رژیم آبیاری
Table 2. Mean comparison of chickpea relative water content of leaf and extinction coefficient affected by irrigation regimes

Yield (Kg/ha)	Extinction coefficient (Based on photosynthetic absorption radiation)	Relative water content of leaves (%)	Irrigation regimes
2892.32a	0.46e	83.84a	A1
2737.38b	0.51d	80.78b	A2
2087.56d	0.56c	79.72bc	A3
1781.21e	0.59b	77.06de	A4
2253.92c	0.54c	78.2cd	A5
1750.61e	0.59b	75.67e	A6
1342.54f	0.72a	71.89f	A7
1075.87g	0.75a	68.15g	A8

A1=آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی، A2= قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، A3= قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی، A4= قطع آبیاری در مرحله گلدهی، A5= کم آبیاری (۵۰ درصد آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی)، A6= کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، A7= کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی، A8= کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی. اعداد با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

A1= full irrigation at all growth stages, A2= irrigation to grain filling and then cut, A3= irrigation to podding and then cut, A4= irrigation to flowering and then cut, A5= 50% of full irrigation at all growth stages, A6= 50% of full irrigation to grain filling and then cut, A7= 50% of full irrigation to podding and then cut and A8= 50% of full irrigation to flowering and then cut. The numbers with the same letters are not significantly different.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک نخود تحت تاثیر رژیم آبیاری و تراکم کاشت
Table 3. Mean comparison of chickpea yield and physiological traits affected by irrigation regimes and plant density

Yield (Kg/ha)	Extinction coefficient (Based on photosynthetic absorption radiation)	Relative water content (%)	Plant density (M ²)
1945.17b	0.71a	78.72a	30
2068.22a	0.59b	77.12b	40
1957.14b	0.52c	74.9c	50

اعداد با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

The numbers with the same letters are not significantly different.

به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۰۸ و ۰/۳۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، در تیمار کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی در تراکم ۵۰ بوته در متر مربع به دست آمد (جدول ۵). سرعت کاهش کروفیل‌ها یکسان نبود، به طوری که کروفیل a و b به ترتیب ۵۲/۱۴ و ۵۷/۱۴ درصد کاهش یافتند. در طی تنش خشکی، تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، منجر به اکسیداسیون رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود که در نهایت کاهش

محتوی کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری و تراکم بوته بر محتوی کلروفیل a، b و کل معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین صفات نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل، به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۱۴ و ۰/۵۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، در تیمار آبیاری کامل در تمام مراحل رشدی و در تراکم ۴۰ بوته در متر مربع و کمترین آن‌ها

شد (شکل ۱-ب). گفته شده است که تحت شرایط تنش خشکی، اختلال در تقسیم میتوز و توسعه و رشد سلول‌ها رخ می‌دهد و این عوامل، منجر به کاهش ارتفاع، شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه خواهند شد (Kaya et al., 2006). همسو با این پژوهش، کاهش شاخص سطح برگ در گیاه نخود در پاسخ به تنش خشکی توسط پژوهشگران دیگر نیز بیان شده است (Shariatmadari et al., 2017 ; Randhawa et al., 2014).

کارایی مصرف نور

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری و تراکم بوته بر کارایی مصرف نور معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کارایی مصرف نور نخود (۱/۳ گرم بر مگاژول) در تیمار آبیاری کامل در تمام مراحل رشدی در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و کمترین میزان آن (۰/۹ گرم بر مگاژول) در تیمار کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۵). کاهش شاخص سطح برگ در طی تنش خشکی، تولید ماده خشک در گیاهان را به دلیل کاهش جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی با کمبود مواجه می‌کند؛ بنابراین با کاهش ماده خشک تولید شده، کارایی مصرف نور نیز کاهش می‌یابد. میزان کارایی مصرف نور گیاه نخود در تراکم‌های مختلف، بین ۰/۸۹ تا ۱/۸۲ گرم بر مگاژول گزارش شده است (Rahemi et al., 2007). کاهش کارایی مصرف نور در طی تنش خشکی در گیاهان مختلف مانند ذرت (Earl et al., 2003) و گندم (Rahimi et al., 2019) نیز گزارش شده است و دلیل آن را کاهش تولید عملکرد دانسته‌اند.

ضریب استهلاک نوری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تراکم و رژیم آبیاری بر ضریب استهلاک نوری معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین ضریب استهلاک نوری (۰/۷۴) در تیمار کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌دست آمد (جدول ۳).

آن‌ها در برگ را در پی دارد (Senatos et al., 2001). کاهش محتوی کلروفیل a، b و کل در گیاه نخود در طی تنش خشکی گزارش شده است و همچنین بیان شده است که کلروفیل b، کاهش شدیدتری نسبت به کلروفیل a داشته است (Shaban et al., 2012). یکی از اجزای حساس به تنش خشکی، فتوسیستم نوری II می‌باشد. از آن‌جا که کلروفیل b به مقدار فراوانی (بیش از ۵۰ درصد) در این سیستم نوری وجود دارد، مقدار تخریب آن بیشتر است (Subbarao et al., 1995). در مطالعه Wu et al. (2020) در تراکم‌های بالاتر نعنای تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز کاهش یافت و مالون دی‌آلدئید که یکی از گونه‌های فعال اکسیژن بود، افزایش یافت؛ در نهایت این عوامل منجر به کاهش میزان کلروفیل a، b و مجموع این دو کلروفیل شدند. تاثیر منفی افزایش تراکم بر کاهش میزان کلروفیل a و b در گیاه نخود (Majnoun Hosseini et al., 2003) و ذرت (Ren et al., 2017) در مطالعات قبلی گزارش شده است. آسیب دیدگی کلروپلاست و از بین رفتن ساختار برگ‌های آسیب دیده، دلیل کاهش محتوی کلروفیل تحت شرایط نامناسب رشد گیاه گزارش شده است (Ma et al., 2010).

شاخص سطح برگ

در تمامی تیمارهای آبیاری، روند شاخص سطح برگ بعد از استقرار گیاه افزایشی بود و در مرحله گلدهی به حداکثر خود رسید، اما با نزدیک‌تر شدن به اواخر دوره رشد، مقدار آن کاهش یافت و این روند کاهشی در شرایط تنش کم آبی نسبت به شرایط آبیاری نرمال شدیدتر شد (شکل ۱-الف). بیشترین (۱/۵۱) و کمترین (۰/۹۵) شاخص سطح برگ به ترتیب از تیمار آبیاری کامل در تمام مراحل رشدی و تیمار کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌دست آمد. همچنین شاخص سطح برگ در تراکم‌های مورد بررسی، روند مشابهی با تیمارهای آبیاری در طی مراحل رشدی داشتند. بیشترین (۱/۲۹) و کمترین (۱/۱۸) شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی، به ترتیب در تراکم ۵۰ و ۳۰ بوته در مترمربع مشاهده

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک نخود تحت تأثیر رژیم آبیاری و تراکم کاشت

Table 5. Mean comparison of physiological traits of chickpea affected by irrigation regimes and plant density

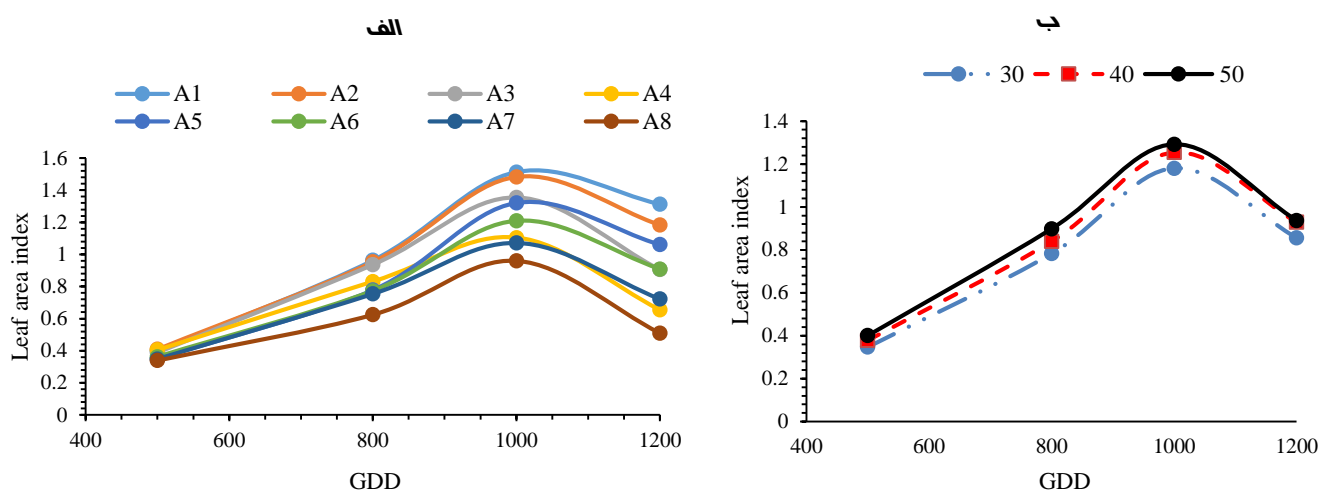
Radiation use efficiency (g/MJ)	Total chlorophyll (mg/g FW)	Chlorophyll b (mg/g FW)	Chlorophyll a (mg/g FW)	Water use efficiency (%)	Treatments	
					Plant density	Irrigation
1.13efg	0.48cd	0.13c	0.36c	0.3r	30	A1
1.27ab	0.57a	0.14a	0.43a	0.37i	40	
1.14efg	0.52cb	0.13b	0.39b	0.32op	50	
1.1ghi	0.45d-g	0.11c-f	0.34c-f	0.35lm	30	A2
1.24cb	0.54ab	0.13ab	0.4ab	0.37h	40	
1.13efg	0.47de	0.12cd	0.35cd	0.32p	50	
1.11fgh	0.42g-j	0.1g-i	0.32f-i	0.32q	30	A3
1.13efg	0.46def	0.11cde	0.35cde	0.36j	40	
1.21cd	0.43e-h	0.11d-g	0.32d-g	0.36k	50	
1.05ij	0.39h-k	0.1k-i	0.3h-k	0.39f	30	A4
1k1	0.44efg	0.11c-f	0.33c-f	0.42c	40	
1.06ij	0.39jkl	0.1i-l	0.29i-l	0.4e	50	
1.04jk	0.43f-i	0.11g-f	0.32e-h	0.33n	30	A5
1.1ghi	0.45d-g	0.11c-f	0.34c-f	0.35l	40	
1.32a	0.44efg	0.11c-f	0.33c-f	0.35m	50	
1.15ef	0.4h-k	0.1g-i	0.3g-j	0.4ef	30	A6
1.17ed	0.43fgh	0.11d-g	0.32d-g	0.41d	40	
1.07hij	0.42g-j	0.1e-i	0.32e-i	0.43b	50	
1k1	0.37klm	0.09k-m	0.27j-m	0.39f	30	A7
1.07hij	0.39jkl	0.1i-l	0.29i-l	0.4e	40	
0.97ml	0.36klm	0.09j-m	0.27j-m	0.44a	50	
0.91n	0.35lm	0.09lm	0.26lm	0.32o	30	A8
0.96lm	0.35lm	0.09klm	0.27klm	0.38g	40	
0.93mn	0.33m	0.08m	0.25m	0.34n	50	

A1= آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی، A2= قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی A3= قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی، A4= قطع آبیاری در مرحله گلدهی، A5= کم آبیاری (۵۰ درصد آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی)، A6 = کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، A7 = کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی، A8= کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی. اعداد با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

A1= full irrigation at all growth stages, A2= irrigation to podding and then cut, A3= irrigation to podding and then cut, A4= irrigation to flowering and then cut, A5= 50% of full irrigation at all growth stages, A6= 50% of full irrigation to grain filling and then cut, A7= 50% of full irrigation to podding and then cut and A8= 50% of full irrigation to flowering and then cut. The numbers with the same letters are not significantly different.

مؤثر است. تأثیر افزایش تراکم بر کاهش ضریب استهلاک نوری در آفتابگردان (Kang *et al.*, 2014) و کلم بروکلی (Francescangeli *et al.*, 2006) نیز هم راستا با نتایج این تحقیق بوده است. ضریب استهلاک نوری در گیاه لوبیا (Tsubo & Walker, 2002)، ذرت (Confalone *et al.*, 1994) و باقلا (Boons-Prins *et al.*, 2010)، به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۱۶ و ۰/۸۱ - ۰/۶۳ گزارش شده است.

به سبب کاهش تولید سطح برگ، نور عبور یافته از کانوپی در تیمار کم آبیاری افزایش یافت و موجب افزایش ضریب استهلاک نوری در این تیمار شد، ولی با افزایش تراکم بوته، مقدار نور عبور یافته از کانوپی به دلیل افزایش سطح برگ، کاهش یافت و کمترین میزان ضریب استهلاک نوری در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع به دست آمد (جدول ۴). (Maddonna *et al.*, 2001) بیان کردند که تراکم گیاهی از طریق تأثیر بر اندازه و زاویه برگ، بر میزان ضریب استهلاک نوری



شکل ۱- روند تغییرات اثر رژیم آبیاری (A) و تراکم کاشت (B) بر شاخص سطح برگ نخود (رقم ILIC 482). A1= آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی، A2= قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، A3= قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی، A4= قطع آبیاری در مرحله گلدهی، A5= کم آبیاری (۵۰ درصد آبیاری کامل در تمام مرحله رشدی)، A6= کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، A7= کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله غلاف بندی و A8= کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی.

Figure 1. Effects of irrigation regimes (A) and plant density (B) on leaf area index of chickpea. A1= full irrigation at all growth stages, A2= irrigation to grain filling and then cut, A3= irrigation to podding and then cut, A4= irrigation to flowering and then cut, A5= 50% of full irrigation at all growth stages, A6= 50% of full irrigation to grain filling and then cut, A7= 50% of full irrigation to podding and then cut and A8= 50% of full irrigation to flowering and then cut.

ریشه می‌شود؛ در این شرایط، جذب عناصر غذایی با اختلال مواجه می‌شود (Samarah *et al.*, 2004). همچنین گره‌زایی و تثبیت نیتروژن نیز نیازمند آب است (Gan *et al.*, 2005)؛ در نتیجه در شرایط خشکی، عملکرد گیاه به دلیل کمبود عناصر غذایی کاهش می‌یابد (Gunes *et al.*, 2006). عقیم شدن غلاف‌ها بر روی شاخه‌های اصلی نیز از عوامل اصلی کاهش عملکرد دانه در گیاه نخود بیان شده است (Leport *et al.*, 2006).

نتیجه‌گیری کلی

تنش کم آبی موجب کاهش میزان کلروفیل و شاخص سطح برگ و در نتیجه افت حدود ۶۳ درصد عملکرد دانه نخود زراعی در شرایط اقلیمی کرج شد. بیشترین محتوی کلروفیل a، b و کل در تیمار ۴۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد که منجر به تولید سطح برگ مطلوب و در نتیجه افزایش حدود شش درصدی عملکرد دانه نسبت به دو تراکم ۳۰ و ۵۰ بوته در متر

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سطوح مختلف رژیم آبیاری و تراکم، در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۲۸۹۲ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری کامل در تمام مراحل رشدی و کمترین میزان آن (۱۰۷۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کم آبیاری و سپس قطع آبیاری در مرحله گلدهی (A8) به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین بین تراکم‌های مختلف بوته نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۰۶۸ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع مشاهده شد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که کاهش محتوی کلروفیل و همچنین شاخص سطح برگ در طی تنش خشکی و از طرف دیگر در تراکم بالا (۵۰ بوته در متر مربع) به سبب تشدید رقابت بین تک بوته‌ها برای آب و مواد غذایی، موجب کاهش عملکرد شده است. حرکت عناصر غذایی طی تنش خشکی در خاک کاهش می‌یابد و منجر به افت رشد

مربع شد. در صورت عدم محدودیت آب، تیمار آبیاری کامل در تمام مراحل رشد و تراکم ۴۰ بوته در متر مربع و در صورت محدودیت آب، با کاربرد ۵۰ درصد آبیاری در تمام مراحل رشدی نخود (تیمار A5) که تنها موجب ۲۲ درصد کاهش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد، توان تولید مناسبی را خواهد داشت.

REFERENCES

1. Alizadeh, A. (2004). *Soil, water, plant relationship* (4th Ed.). University of Emam Reza Press, 470p. (In Persian)
2. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
3. Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413-428.
4. Barzali, M. (2018). Studying of plant density and supplemental irrigation effects on chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield under rainfed condition in east of Golestan. *Journal of Dry Legume Promotion*, 1(1), 16-28. (In Persian)
5. Bell, M. J., Wright, G. C. & Harch, G. R. (1993). Environmental and agronomic effects on the growth of four peanut cultivars in a sub-tropical environment. I. Dry matter accumulation and radiation use efficiency. *Experimental Agriculture*, 29(4), 473-490.
6. Blackman, S. A., Obendorf, R. L. & Leopold, A. C. (1995). Desiccation tolerance in developing soybean seeds: the role of stress proteins. *Physiologia Plantarum*, 93(4), 630-638.
7. Boons-Prins, E. R., De Koning, G. H. J. & Van Diepen, C. A. (1993). *Crop-specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community*. (No. 32).
8. Calviño, P., Sadras, V., Redolatti, M. & Canepa, M. (2004). Yield responses to narrow rows as related to interception of radiation and water deficit in sunflower hybrids of varying cycle. *Field Crops Research*, 88(2-3), 261-267.
9. Confalone, A., Lizaso, J. I., Ruiz-Nogueira, B., López-Cedrón, F. X. & Sau, F. (2010). Growth, PAR use efficiency, and yield components of field-grown *Vicia faba* L. under different temperature and photoperiod regimes. *Field Crops Research*, 115(2), 140-148.
10. Daneshiyan, G., Jabari, H. & Farokhi, A. 2006. Effects of water stress and plant density on yield and agronomic characteristics of sunflower second crop. Abstract Crop Sci. *Congress University of Tehran, Aborayhan Campus*. 500p.
11. Earl, H. J. & Davis, R. F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95(3), 688-696.
12. Evans, S. P., Knezevic, S. Z., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A. & Blankenship, E. E. (2003). Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. *Weed Science*, 51(3), 408-417.
13. *Food and Agriculture Organization*. (2018). *FAO Statistics*. Retrieved June 15, 2020 from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
14. Francescangeli, N., Sangiacomo, M. A. & Martí, H. (2006). Effects of plant density in broccoli on yield and radiation use efficiency. *Scientia Horticulturae*, 110(2), 135-143.
15. Gan, Y., Selles, F., Hanson, K. G., Zentner, R. P., McConkey, B. G. & McDonald, C. L. (2005). Effect of formulation and placement of Mesorhizobium inoculants for chickpea in the semiarid Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(3), 555-560.
16. Goudriaan, J. & Van Laar, H. H. (2012). *Modelling potential crop growth processes: textbook with exercises* (Vol. 2). *Springer Science & Business Media*.
17. Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E. & Guzelordu, T. (2006). Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre- and post-anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant Soil and Environment*, 52(8), 368.
18. Heidari, M. M., Tahmasbi, A. & Fazel, S. (2011). Effect of planting density on yield and yield components of dryland chickpea cultivars under spring and autumn planting conditions in Ilam province. *Journal of Research in Crop Sciences*, 3(12), 41-56. (In Persian)
19. Ibriki, H., Knewton, S., & Grusak, M. A. (2003). Chickpea leaves as a vegetable green for humans: Evaluation of mineral composition, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(9), 945-950.
20. Jones, H. G. (1990). Physiological aspects of the control of water status in horticultural crops. *HortScience*, 25(1), 19-25.

21. Kalariya, K. A., Singh, A. L., Chakraborty, K., Zala, P. V. & Patel, C. B. (2013). Photosynthetic characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under water deficit stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 18(2), 157-163.
22. Kang, F., Cournede, P. H., Lecoeur, J. & Letort, V. (2014). SUNLAB: a functional–structural model for genotypic and phenotypic characterization of the sunflower crop. *Ecological Modelling*, 290, 21-33.
23. Kashfi, S. M. H., Majnoun Hosseini, N. & Zeinaly Khanghah, H. (2010). Investigation of the effect of plant density and nitrogen primer fertilizer on yield and yield components of chickpea cultivar Kourosh in Karaj. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1(2), 11-20. (In Persian)
24. Keles, Y. & Öncel, I. (2004). Growth and solute composition in two wheat species experiencing combined influence of stress conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51(2), 203-209.
25. Kingston-Smith, A. H. & Foyer, C. H. (2000). Bundle sheath proteins are more sensitive to oxidative damage than those of the mesophyll in maize leaves exposed to paraquat or low temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 51(342), 123-130.
26. Lawlor, D. W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 275-294.
27. Leport, L., Turner, N. C., Davies, S. L. & Siddique, K. H. M. (2006). Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *European Journal of Agronomy*, 24(3), 236-246.
28. Lugojan, C. & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15(2), 173-177.
29. Ma, C., Huang, X., Li, P. & Wei, L. (2010). Effects of planting density on physiological decline of cob leaf of summer maize. *Journal of Maize Sciences*, 18(2), 50-53.
30. Maddonni, G. A., Otegui, M. E. & Cirilo, A. G. (2001). Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Research*, 71(3), 183-193.
31. Majd Nasiri, B. (2009). Planting density effects of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) on water use efficiency in second farming. 4th International Conference on New Ideas in Agriculture. 21-22 October 2009. *Islamic Azad University Khorasgan Branch. Isfahan. Iran.* (In Persian)
32. Majnoun Hosseini, N., Mohammadi, H., Poustini, K. & Zeinaly Khanghah, H. (2003). Effect of plant density on agronomic characteristics, chlorophyll content and stem remobilization percentage in chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Agriculture Science*, 344(4), 1001-1019. (In Persian)
33. Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. A. & Panneerselvam, R. (2007). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59(2), 141-149.
34. Naderi, D. M., Nourmohammadi, G., Darvish, F., Majidi, H. E., Shiranirad, A. H. & Madani, H. (2004). Effects of drought stress and plant density on ecophysiological traits of three safflower lines in summer planting in Isfahan. *Seed and Plant*, 20(3), 281-296. (In Persian)
35. Rahemi Karizaki, A., Soltani, A., Purreza, J. & Zainali, E. (2007). Estimation of extinction coefficient and radiation use efficiency in field-grown chickpea. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(5), 211-221. (In Persian)
36. Rahimi, Z., Hosseinpanah, F. & Siosemardeh, A. (2019). Evaluation of yield, radiation and water use efficiency of drought resistant and susceptible wheat cultivars under different irrigation levels. *Journal of Wheat Research*, 2(1), 19-34.
37. Randhawa, N., Kaur, J., Singh, S. & Singh, I. (2014). Growth and yield in Chickpea (*Cier arietinum* L.) genotypes in response to water stress. *African Journal of Agricultural Research*, 9(11), 982-992.
38. Ren, B., Liu, W., Zhang, J., Dong, S., Liu, P. & Zhao, B. (2017). Effects of plant density on the photosynthetic and chloroplast characteristics of maize under high-yielding conditions. *The Science of Nature*, 104(3-4), 12.
39. Robertson, M. J., Silim, S., Chauhan, Y. S. & Ranganathan, R. (2001). Predicting growth and development of pigeonpea: biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Research*, 70(2), 89-100.
40. Sadeghzdeh Ahari, D. (2017). The effect of seed size on agronomic characteristics, grain yield and drought tolerance of chickpea. *Journal of Crops Improvement*, 19(1), 69-85. (In Persian)

41. Santos, C. V., Campos, A., Azevedo, H. & Caldeira, G. (2001). In situ and in vitro senescence induced by KCl stress: nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 52(355), 351-360.
42. Shaban, M., Mansorifar, S., Ghobadi, M. & Sabaghpor, H. (2012). Physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress and nitrogen fertilizer as starter. *Iranian Journal of Pulses Research*, 3(1), 53-66. (In Persian)
43. Shabiri, S., Ghasemi Golazani, K., Golchin, A. & Saba, J. (2006). Effect of irrigation water on phenology and yield of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agricultural Knowledge* 16(2), 137-147. (in Persian)
44. Shariatmadari, M. H., Parsa, M., Nezami, A. & Kafi, M. (2017). Effects of hormonal priming with gibberellic acid on emergence, growth and yield of chickpea under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1), 34-41.
45. Subbarao, G. V., Johansen, C., Slinkard, A. E., Nageswara Rao, R. C., Saxena, N. P., Chauhan, Y. S. & Lawn, R. J. (1995). Strategies for improving drought resistance in grain legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14(6), 469-523.
46. Tesfaye, K., Walker, S. & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy*, 25(1), 60-70.
47. Tsubo, M. & Walker, S. (2002). A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110(3), 203-215.
48. Tsubo, M., Walker, S. & Ogindo, H. O. (2005). A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. *Field crops research*, 93(1), 10-22.
49. Wu, L., Deng, Z., Cao, L. & Meng, L. (2020). Effect of plant density on yield and quality of *perilla* sprouts. *Scientific Reports*, 10(1), 1-8.
50. Yadav, R. S., Hash, C. T., Bidinger, F. R., Devos, K. M. & Howarth, C. J. (2004). Genomic regions associated with grain yield and aspects of post-flowering drought tolerance in pearl millet across stress environments and tester background. *Euphytica*, 136(3), 265-277.
51. Zhang, Y., Tang, Q., Zou, Y., Li, D., Qin, J., Yang, S., Chen, L., Xia, B. & Peng, S. (2009). Yield potential and radiation use efficiency of "super" hybrid rice grown under subtropical conditions. *Field Crops Research*, 114(1), 91-98.
52. Zlatev, Z. & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(1), 57-72.