

مقاله پژوهشی

ارزیابی پارامترهای فیزیولوژیک و روابط آن‌ها با عملکرد دانه در لاین‌های لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری

علی اکبر اسدی و سید سودابه شبیری*

بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴)

چکیده

افزایش آگاهی از صفات فیزیولوژیک مؤثر در شکل‌گیری عملکرد دانه در شرایط متفاوت آبیاری می‌تواند معیاری مناسب جهت انتخاب این صفات برای اصلاح عملکرد دانه در این شرایط باشد. به‌منظور بررسی تغییرات این پارامترها و روابط آن‌ها با عملکرد در لوبیا چیتی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در دور آبیاری ۵ و ۹ روز در ایستگاه تحقیقات خیرآباد زنجان سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ انجام شد. بین دو شرایط آبیاری تفاوت معنی‌داری در صفات دمای برگ، تعرق، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، کارایی مصرف آب و عملکرد مشاهده شد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفات دمای برگ، CO_2 زیر روزنه‌ای، کارایی مصرف آب فتوسنتزی و عملکرد با هم اختلاف معنی‌داری نشان دادند که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ این صفات است. ژنوتیپ‌های G1، G2، G4، G9 و G12 میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارایی مصرف آب و هدایت مزوفیلی بالاتری نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها نشان دادند. ژنوتیپ‌های G10، G15 و G8 دارای بیشترین عملکرد نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها بودند. بیشترین کارایی مصرف آب فتوسنتزی مربوط به ژنوتیپ‌های G16 و G14 و کمترین میزان مربوط به ژنوتیپ G2 و G10 بود. بیشترین میزان فتوسنتز مربوط به ژنوتیپ‌های G4 و G13 و کم‌ترین میزان مربوط به ژنوتیپ‌های G11 و G14 بود. بین عملکرد با هیچ کدام از صفات فیزیولوژیک مورد بررسی در هر دو شرایط آبیاری همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. میزان فتوسنتز با هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب در هر دو شرایط آبیاری رابطه مثبت معنی‌دار داشت. فتوسنتز با میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای در دور آبیاری ۹ روز همبستگی مثبت معنی‌دار و در دور آبیاری پنج روز همبستگی مثبت و غیرمعنی‌دار داشت. این حالت نشان‌دهنده اهمیت هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش است. در هر دو شرایط آبیاری صفات میزان CO_2 زیر روزنه‌ای و دمای برگ با ضریب منفی و میزان تعرق با ضریب مثبت، توجه‌کننده میزان تغییرات فتوسنتز بودند و در شرایط دور آبیاری ۹ روز هدایت روزنه‌ای با ضریب منفی نیز در توجه تغییرات فتوسنتز دخالت دارد. بنابراین در انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به شرایط تنش استفاده از این صفات فیزیولوژیک می‌تواند مؤثر باشد. با توجه به وجود تنوع در برخی شاخص‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌ها، می‌توان این آزمایش را در شرایط مختلف تنش انجام داده و جهت انتخاب ژنوتیپ‌های کارآمد در شرایط تنش مورد بهره‌برداری قرار داد.

کلمات کلیدی: تعرق، دور آبیاری، فتوسنتز، لوبیا چیتی

*نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیک: s.shobeiri@yahoo.com

مقدمه

بهبود کارایی مصرف و استفاده بهینه از منابع آب به عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می رود. ایران دارای آب و هوای مدیترانه ای است و با متوسط نزولات ۲۳۵ میلی متر در سال در زمره مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد (آمارنامه بارندگی، ۱۴۰۲). حبوبات به ویژه لوبیا از منابع مهم تأمین کننده پروتئین در اکثر کشورها به خصوص کشورهای در حال توسعه است چرا که از نظر اقتصادی از پروتئین حیوانی ارزان تر بوده و تأمین کننده مناسبی برای ویتامین ها و مواد معدنی ضروری در جیره غذایی انسان است (Ebrahimi et al., 2010). لوبیا گیاهی یکساله، علفی و خودگشن از تیره Fabaceae بوده که به عنوان یکی از منابع تأمین غذای انسان دارای پروتئین بالا، فسفر، آهن، ویتامین های B1، C و فیبر بوده و فاقد کلسترول است (رضوانی مقدم و صادقی سمرجان، ۱۳۸۷).

لوبیا به تنش خشکی حساس بوده و عملکرد آن حتی در دوره های کوتاه مدت تنش، صدمه می بیند. هنگامی که تنش خشکی اتفاق می افتد هدایت روزنه ای به سرعت کاهش می یابد و محدودیت تثبیت دی اکسید کربن باعث کاهش فتوسنتز می شود (Yathisha et al., 2020). تنش خشکی باعث کاهش محتوای رطوبتی، منفی تر شدن پتانسیل آب برگ و نزول فشار آماس، انسداد روزنه و کاهش بزرگ شدن سلول و رشد آن می شود (Abdul Jaleel et al., 2009). نواحی رشد لوبیا در مناطق مختلف دنیا به وسیله تنش های متوالی یا متناوب قرار می گیرند، بنابراین اتخاذ روش هایی برای استفاده بهینه از منابع آب موجود از جمله استفاده از روش های کم آبیاری می تواند بسیار مؤثر باشد (Beheshti et al., 2016).

افزایش آگاهی از صفات فیزیولوژیک مؤثر در شکل گیری عملکرد دانه در شرایط متفاوت آبیاری می تواند معیاری مناسب جهت انتخاب این صفات برای اصلاح عملکرد دانه در این شرایط باشد. اولین مکانیسم سازگاری گیاهان در برابر تنش های محیطی مانند خشکی، شوری و گرما بستن روزنه ها است تا در این صورت از هدررفت آب به وسیله تعرق جلوگیری کند

(حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه تعرق عامل اصلی در کشش آب در آوند چوبی است بنابراین قطعاً کاهش تعرق منجر به اختلال در فرآیند انتقال غیرفعال می شود (Amiri et al., 2017). گیاهان با مکانیسم های کارآمد در ارتباط با تنظیم عملکرد روزنه های برگ قادر به تحمل بهتر شرایط تنش کم آبی خواهند بود، به طوری که با حفظ بیشتر آب درون برگ و اختلال کمتر در انتقال فعال و غیرفعال، امکان رشد و انجام فرایندهای سلولی را بهتر فراهم می نمایند (Jaleel et al., 2009). در مقابل ارقام حساس به تنش خشکی، توانایی جلوگیری از کاهش شدید تعرق را نداشته و در نهایت با اختلال در انتقال فعال و غیرفعال به ترتیب در آوندهای آبکش و چوب در معرض اثرات منفی کاهش فشار تورگر و پژمردگی قرار می گیرند. گیاهان در شرایط تنش آبی به ازای تولید هر واحد ماده خشک، آب کمتری مصرف نموده و در نتیجه کارایی مصرف آب بالاتری دارند (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶). Wakrim و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی مقدار کارایی مصرف آب در عملکرد غلاف لوبیا را در شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب ۱/۹۱ و ۲/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. کاهش عملکرد در اثر کم آبی را می توان به حساس بودن گیاه به تنش آبی و در نتیجه کاهش فتوسنتز و انتقال مواد به غلاف دانست (برزگر و همکاران، ۱۳۹۷؛ Mahajan and Tuteja, 2005; Sarker et al., 2005). Muchow و Ludlow (۱۹۹۰) نشان دادند که در آبیاری یک در میان جوی ها به علت کم آبی، از میزان فتوسنتز و تولید مواد در گیاه به سرعت کاسته شده، در حالی که تنفس بسیار آهسته تر کاهش می یابد و حتی در مراحل اولیه خشکی ممکن است افزایش یابد. در پژوهشی دیگر مشاهده شد که تعداد غلاف های بوته در آبیاری یک در میان جوی ها کاهش یافته و همچنین در اثر کم آبی، از فتوسنتز و تولید مواد در گیاه کاسته می شود و چون انتقال مواد در آوندهای آبکش نیاز به پتانسیل فشاری دارد، بنابراین از انتقال مواد به سمت مخازن (دانه ها) نیز کاسته می شود (Taiz and Zeiger, 1998).

تغییر در رژیم آبیاری باعث تغییر در ساختمان پوشش

راندمان مصرف آب کاهش یافتند (Islam, 2022; Papathanasiou, 2022). در مطالعه بر روی شناسایی ارقام متحمل و حساس گیاه لوبیا به تنش کم‌آبی مشاهده شد که ارقام مقاوم در تنش‌های ملایم (۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) دارای محتوای کلروفیل، میزان تعرق، غلظت CO_2 زیر روزنه و فتوسنتز خالص بیشتری بودند (Rasti et al., 2014). مطالعه دیگری روی ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم لوبیا نشان داد که در ژنوتیپ‌های مقاوم، بازماندن طولانی مدت روزنه و تثبیت کربن بالاتر منجر به افزایش فتوسنتز گردید (Polania et al., 2022). با افزایش سن برگ، هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. ضمن اینکه رابطه ضعیفی بین فتوسنتز و میزان هدایت روزنه‌ای مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که روزنه‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله نور، میزان رطوبت، غلظت دی‌اکسید کربن و وضعیت آبی گیاه قرار می‌گیرند (Brownlee, 2001). تحقیقات نشان داد هدایت روزنه‌ای نقش مهمی در محدودیت فتوسنتز دارد (Baath et al., 2020). تحقیقات بر روی ارقام عدس و نخود نشان داد که ثبات ویژگی‌های فیزیولوژیک و حفظ توان فتوسنتزی گیاه اهمیت زیادی در مطالعات مرتبط با تحمل به خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم جهت کشت دارد (رهباریان و همکاران، ۱۳۹۲؛ Ahmadpour et al., 2017).

تحقیقات متعددی بر روی شاخص‌های فتوسنتزی در گیاهان زراعی با تعداد محدود ژنوتیپ در شرایط تنش اجرا شده است. اما با توجه به واکنش متفاوت شاخص‌های فتوسنتزی در شرایط محیطی متفاوت، آگاهی از تغییرات شاخص‌های فتوسنتزی در شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری و تغییرات روابط آنها با عملکرد کل دانه حائز اهمیت است، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی عوامل فتوسنتزی و روابط آن‌ها با عملکرد دانه کل در ۱۶ رقم و لاین لوبیا چیتی در دو شرایط نرمال و کم آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی عوامل فتوسنتزی و روابط آن‌ها با عملکرد کل در لوبیا چیتی، چهارده ژنوتیپ امیدبخش لوبیا چیتی حاصل از

گیاهی، الگوی انتشار تابش درون پوشش گیاهی و در نهایت کارایی مصرف تابش گیاه می‌شود. کمبود آب خاک، تولید ماده خشک گیاهان را به علت کاهش جذب تابش فعال فتوسنتزی ناشی از سطح برگ، پژمردگی، جمع شدن پهنک و در نهایت پیری زودرس برگ‌ها و همچنین کاهش کارایی تبدیل تابش جذب شده به ماده خشک تحت تأثیر قرار می‌دهد (Earl and Davis, 2003). در شرایط کم‌آبی به دلیل آسیب دیدن فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، از جمله فتوسنتز، تولید گیاه کم می‌شود. کاهش ساخت مواد فتوسنتزی و افزایش رقابت درون بوته‌ای حاصل از آن، به همراه ریزش گل‌ها در اثر تنش کمبود آب موجب کاهش تعداد غلاف و ناباروری تعداد بیشتری از غلاف‌های تشکیل شده می‌شود (Wakrim et al., 2005; Santos et al., 2006). دلیل احتمالی دیگر می‌تواند این باشد که در پایان دوره رشد به دلیل کمبود آب قابل دسترس، قدرت انتقال مواد پرورده به دانه کاهش یافته و منجر به افت عملکرد دانه می‌شود. عدم تشکیل دانه یا کاهش شدید آن در تیمارهای کم‌آبیاری شدید در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (حبیبی و بی‌همتا، ۱۳۸۶؛ Porch et al., 2009; Bayat et al., 2010; Ramirez-Llodra et al., 2011). کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی در اثر محدودیت آب، توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Ramirez-Llodra et al., 2011). افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی، باعث افزایش تولید ماده خشک شده است (لک و همکاران، ۱۳۸۶؛ Bayat et al., 2010). تنش آبی منجر به کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید مواد غذایی می‌شود. تنش آبی همچنین، باعث کاهش انتقال مواد غذایی از برگ‌ها به دانه‌ها شده و باعث تسریع در رسیدگی و در نهایت کاهش وزن دانه و در نهایت عملکرد خواهد شد (Hemati Far and Rahimi, 2015). نتایج تحقیقات محققین نشان داد در ژنوتیپ‌های ماش و لوبیا با کاهش رطوبت خاک، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و

جدول ۱- ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی مورد مطالعه در دو شرایط نرمال و کم آبیاری

ژنوتیپ	کد	ژنوتیپ	کد
Genotype	Code	Genotype	Code
KS21607	G9	KS21500	G1
KS21492	G10	KS21538	G2
KS21255	G11	KS21565	G3
KS21184	G12	KS21563	G4
TAYLOR	G13	KS21597	G5
KS21495	G14	KS21600	G6
Sadri (Check)	G15	KS21601	G7
Kosha (Check)	G16	KS21606	G8

جدول ۲- مشخصات خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

بافت خاک	رس %	سیلت %	شن %	کربن آلی %	مواد خثی شونده %	واکنش گل اشباع (PH)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس) اشباع	درصد لومی سیلتی
لومی سیلتی	۲۰	۴۶	۳۴	۰/۵۴	۴/۷	۷/۴	۰/۶۱	۴۶

جدول ۳- شرایط دمایی و میزان بارندگی ماهانه در طی دو سال انجام آزمایش در طول دوره رشد

سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	دما °C
۱۴۰۱	۸/۸	۱۲/۵	۲۸/۶	۱۵/۶	۲۳/۵	۱۸/۹	
۱۴۰۲	۹/۹	۱۳/۷	۲۹/۹	۱۶/۹	۲۵/۴	۲۱/۷	
۱۴۰۱	۱۴/۲	۳۰/۹	۳/۱	۰	۱۳/۴	۰	بارندگی (mm)
۱۴۰۲	۳۶/۵	۵۳/۳	۱۵/۷	۱/۸	۱۳/۲	۰/۱	

برنامه‌های اصلاحی در مرکز تحقیقات لوبیای خمین (جدول ۱) در سال زراعی ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ به همراه ارقام رایج منطقه (صدری و کوشا)، در ایستگاه تحقیقات خیرآباد زنجان در دو شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری مورد بررسی قرار گرفتند. اعمال کم آبیاری پس از استقرار کامل گیاهچه و در مرحله سومین سه برگچه‌ای لوبیا صورت گرفت. در شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری، دور آبیاری به ترتیب براساس ۵ و ۹ روز یکبار بود. آزمایش در قالب تجزیه مرکب با دو شرایط آبیاری با طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم پاییزه و بهاره، دیسک و استفاده از لولر بود. قبل از کاشت برای مبارزه با علف‌های هرز از سم ترفلان به میزان ۲ لیتر در هکتار استفاده شد. کودهای مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) قبل از کاشت به زمین آزمایش داده شد. بر این اساس ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار

سوپرفسفات تریپل، ۸۰ کیلو در هکتار پتاس قبل کاشت، ۱۰۰ کیلو در هکتار اوره در دو مرحله و در نهایت اسید هیومیک به میزان ۴ کیلو در هکتار همراه با آب آبیاری استفاده شد. بذور ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی (تهیه شده از ایستگاه تحقیقات حبوبات خمین) قبل از کاشت با سم قارچ‌کش ضدعفونی شدند. شرایط دمایی و میزان بارندگی در طی دو سال مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. بذور هر ژنوتیپ در یک کرت شامل ۴ ردیف به طول ۴ متر با فواصل بین ردیف ۵۰ و فواصل بوته در روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر کشت شدند. در طول مرحله رشد مراقبت‌های زراعی معمول از قبیل وجین علف‌های هرز و سم‌پاشی علیه آفات (پروپارزیت به میزان دو لیتر در هکتار طی دو مرحله جهت کنترل آفت کنه) انجام شد. صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی شامل عملکرد دانه (تن در

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. بین دو شرایط آبیاری تفاوت معنی داری در صفات دمای برگ، تعرق، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، کارایی مصرف آب و عملکرد مشاهده شد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفات دمای برگ، CO_2 زیر روزنه‌ای، کارایی مصرف آب فتوسنتزی و عملکرد با هم اختلاف معنی داری نشان دادند. این نتایج حاکی از تنوع بالای ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مرتبط با فتوسنتز و در نتیجه ظرفیت عملکرد بوده است. اثر متقابل ژنوتیپ در سال در هیچ کدام از صفات معنی دار نشد که نشان می‌دهد روند تغییرات این صفات بین ژنوتیپ‌ها در طول دو شرایط مورد بررسی یکسان بود، بنابراین تجزیه‌های واریانس جداگانه بین ژنوتیپ‌ها در سطح هر کدام از دوره‌های آبیاری مورد نیاز نبود (جدول ۶).

تشعشع فعال فتوسنتزی: اختلاف مشاهده شده از نظر میزان تشعشع فعال فتوسنتزی بین دو شرایط آبیاری و بین ژنوتیپ‌ها معنی دار نبود (جدول ۴). با این حال دور آبیاری ۹ روز باعث افزایش میزان تشعشع فعال فتوسنتزی شد (جدول ۵). از طرف دیگر بیشترین میزان تشعشع فعال فتوسنتزی مربوط به ژنوتیپ‌های G1، G15 و G11 و کم‌ترین میزان مربوط به ژنوتیپ G3 بود (جدول ۶). تغییر در رژیم آبیاری باعث تغییر در ساختمان پوشش گیاهی، الگوی انتشار تابش درون پوشش گیاهی و در نهایت کارایی مصرف تابش گیاه می‌شود. کمبود آب خاک، تولید ماده خشک گیاهان را به علت کاهش جذب تابش فعال فتوسنتزی ناشی از سطح برگ، پژمردگی، جمع شدن پهنک و در نهایت پیری زودرس برگ‌ها و همچنین کاهش کارایی تبدیل تابش جذب شده به ماده خشک تحت تأثیر قرار می‌دهد (Earl and Davis, 2003).

محققین با برآورد کارایی مصرف تابش از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک تجمعی و میزان نور جذب شده تجمعی، گزارش کردند کارایی مصرف تابش با توزیع بهتر تشعشع فعال فتوسنتزی در پوشش گیاهی تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد و تأثیر تنش خشکی بر کاهش عملکرد

هکتار)، میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول بر متر مربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع در ثانیه)، میزان تعرق (میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه)، تشعشع فعال فتوسنتزی (میکرومول بر متر مربع در ثانیه)، غلظت داخلی دی‌اکسید کربن (میکرومول بر مول)، کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول آب) با تقسیم میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی (میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر متر مربع) با تقسیم فتوسنتز به غلظت دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای و کارایی مصرف آب (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول آب) با تقسیم میزان فتوسنتز بر تعرق حاصل محاسبه شد. اندازه‌گیری‌های شاخص‌های فتوسنتزی توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادل گازی قابل حمل مدل L.C.I ساخت کشور انگلستان انجام شد.

میزان کمتر فتوسنتز و فرآوری دی‌اکسید کربن در حضور مقادیر بالای دی‌اکسید کربن داخل روزنه‌ای به مفهوم پایین بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلول‌های مزوفیل در استفاده از دی‌اکسید کربن است. کارایی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازای هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی طی یک نوبت برای هر ژنوتیپ در مرحله انتهای غلاف‌دهی در ساعات ۱۰ تا ۱۲ صبح و در شدت نور بیشتر از ۱۰۰۰ PAR انجام شد. صفات موردنظر از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته سالم و بالغ از قسمت میانی بوته‌های مربوط به هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس مرکب بر اساس طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی توسط نرم‌افزار SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه همبستگی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر تابع میزان فتوسنتز نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد (لازم به ذکر است در تجزیه رگرسیون از صفاتی که به صورت گام‌به‌گام با متغیر فتوسنتز از صفاتی که در محاسبه فتوسنتز به کار رفته‌اند استفاده نشد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات فتوسنتزی و عملکرد دانه در ۱۶ لاین لوبیا چیتی در دو شرایط نرمال و کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	تشعشع فعال فتوسنتزی	دمای برگ	CO ₂ زیر	تعرق	هدایت روزنه‌ای	میزان فتوستتوز	کارایی مصرف آب فتوستتوزی	هدایت مزوفیلی	کارایی مصرف آب	عملکرد کل	میانگین مربعات									
دور آبیاری	۱	۷۰۱۱۰۰/۲	۷۱۲/۳***	۴۶/۷۶	۴۷۵/۶***	۰/۴۹۹	۱۸/۴۳	۲۸۷۵/۷*	۰/۰۰۰۴۲	۱۷/۷۶***	۴/۸۴***										
خطای ۱	۴	۱۸۵۷۶۱/۸	۱۳/۸	۹۰۴/۳	۱۱/۸۲	۰/۱۹۶	۱۴/۷۸	۵۲۰/۹۱	۰/۰۰۰۱۳	۰/۲۶۹	۰/۱۴۳										
ژنوتیپ	۱۵	۲۷۲۶۹/۳	۰/۶۶۹*	۶۱۵*	۱/۰۰۳	۰/۰۳۱	۸/۸۶	۱۷۷/۳**	۰/۰۰۰۲۷	۰/۱۰۱	۰/۶۸۲***										
رقم × آبیاری	۱۵	۳۱۱۰۹/۹	۰/۲۴۸	۴۹۲/۸	۰/۷۳	۰/۰۱۹	۴/۷۴	۱۲۹/۲۵	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۲										
خطای ۲	۶۰	۳۱۲۱۴/۹	۰/۳۹۹	۳۸۳/۳	۰/۹۶۷	۰/۰۲۳	۱۰/۴۲	۹۱/۷۴	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۸	۰/۱۵۹										
CV%		۹/۸۵	۱/۸۱	۷/۸	۱۰/۵	۳۴/۶	۱۷/۹۴	۲۱/۲	۲۲/۸	۱۳/۸۹	۲۳/۸										

***، ** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱، ۵ و ۱۰ درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مرتبط با فتوستتوز و عملکرد در دو شرایط نرمال و کم آبیاری

دور آبیاری	تشعشع فعال فتوستتوزی	تعرق	دمای برگ	CO ₂ زیر	هدایت روزنه‌ای	کارایی مصرف آب فتوستتوزی	کارایی مصرف آب	هدایت مزوفیلی	عملکرد کل										
روز	μmol/m ² s	mmol/m ² s	°C	μmol/mol	mol/m ² s	μmol CO ₂ /mol H ₂ O	μmol CO ₂ /mol H ₂ O	mmol CO ₂ /m ² s	ton/ha										
۵ روز	۱۷۰۷/۸ ^a	۱۸/۴۳۳ ^a	۱۱/۵۶۷ ^a	۳۲/۲ ^a	۲۵۱/۷۳ ^a	۰/۵۰۹۸ ^a	۳۹/۷۷۳ ^b	۱/۶۱ ^b	۰/۰۷۴۷ ^a	۱/۹۰۴۶ ^a									
۹ روز	۱۸۷۸/۸ ^a	۱۷/۵۵۷ ^a	۷/۱۱۷ ^b	۳۷/۶ ^b	۲۵۰/۳۳ ^a	۰/۳۶۵۶ ^a	۵۰/۷۱۹ ^a	۲/۴۷ ^a	۰/۰۷۰۴ ^a	۱/۴۵۵۴ ^b									

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

از طریق کاهش سطح برگ و تسریع پیری برگ‌ها بسیار مهم‌تر از تأثیرگذاری آن بر فتوستتوز است (Araus et al., 2002). در شرایطی که کمبود آب و مواد غذایی وجود نداشته باشد و در غیاب مشکل آفات و بیماری‌ها، تولیدات گیاهی یک رابطه خطی با مقدار تابش تجمعی دریافتی دارند و تابش فعال فتوستتوزی جذب‌شده به عنوان مهم‌ترین عامل رشد گیاه خواهد بود (Tohidi et al., 2012).

دمای برگ: بین دو شرایط آبیاری از نظر دمای برگ تفاوت معنی‌داری وجود داشت به‌طوری‌که در شرایط دور آبیاری ۹ روز دمای برگ ۳۷/۶ و در شرایط آبیاری ۵ روز ۳۲/۲ درجه بود (جدول ۵). دامنه تغییرات دمایی برگ در بین ژنوتیپ‌ها بین ۳۴/۳۸ برای ژنوتیپ G1 تا ۳۵/۴۳ برای ژنوتیپ G16 متغیر بود (جدول ۶). با بررسی ژنوتیپ‌های سویا مشخص شد که تنش کمبود آب، باعث افزایش دمای برگ می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۴۰۰) و در ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در مقایسه با

سایر ژنوتیپ‌ها، این تغییرات کمتر و پایداری عملکرد بیشتر است. به‌طورکلی دمای برگ با تنش خشکی مطابقت دارد و به دنبال کاهش آب قابل استفاده خاک، پتانسیل آب گیاه و در نهایت تعرق آن نیز کاهش می‌یابد (Pasban Eslam, 2011; Khatun et al., 2021). بر مبنای بیلان انرژی در سطح برگ، کاهش تعرق منجر به افزایش دمای برگ می‌شود (Carcova et al., 1998). در یک آزمایش مزرعه‌ای روی سه ژنوتیپ یونجه مشاهده شد که مقادیر پایین‌تر هدایت روزنه‌ای با دماهای بالاتر تاج پوشش برگ مطابقت دارد (Johnson and Rumbaugh, 1995).

CO₂ زیر روزنه‌ای: اختلاف مشاهده‌شده از نظر میزان CO₂ زیر روزنه‌ای (کاهش اندک در شرایط آبیاری ۹ روز) بین دو شرایط آبیاری معنی‌دار نبود (جدول ۵). غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای به ترتیب در ژنوتیپ‌های G2، G10 و G1 بیشترین و ژنوتیپ G16 کمترین مقدار بود (جدول ۶). در گیاهان اولین

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مرتبط با فتوسنتز و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا چیتی

عملکرد کل ton/ha	هدایت مزوفیلی mmol CO ₂ /m ² s	کارایی مصرف آب μmol CO ₂ /mol H ₂ O	کارایی مصرف آب فتوستتزی	هدایت روزنه‌ای mol/m ² s	تعرق mmol/m ² s	CO ₂ زیر روزنه‌ای μmol/mol	دمای برگ °C	فتوستتزر	تشعشع فعال		ژنوتیپ
									فتوستتزی	μmol/m ² s	
۱/۴۸ ^{bcdef}	۰/۰۷۴ ^a	۲/۰۷ ^{ab}	۳۹/۷ ^{bc}	۰/۵۱ ^{ab}	۹/۶۵ ^{ab}	۲۶۰/۲ ^{abc}	۳۴/۳۸ ^c	۱۸/۹ ^a	۱۸۶۷/۳ ^a		G1
۱/۳۱۸ ^{ef}	۰/۰۶۵ ^a	۱/۸ ^b	۳۳/۲ ^c	۰/۶۱ ^a	۱۰/۴۴ ^a	۲۷۲/۷ ^a	۳۴/۷۵ ^{abc}	۱۷/۷ ^a	۱۷۹۵/۸ ^{ab}		G2
۱/۶۸۴ ^{abcde}	۰/۰۷۶ ^a	۲/۲۱ ^a	۴۹/۸ ^{ab}	۰/۳۹ ^b	۸/۹۷ ^b	۲۴۳/۸ ^{bc}	۳۴/۷۲ ^{abc}	۱۸/۶ ^a	۱۵۸۰/۵ ^b		G3
۱/۴۹۹ ^{bcde}	۰/۰۷۸ ^a	۲/۱۱ ^{ab}	۴۱/۶ ^{abc}	۰/۴۸ ^{ab}	۹/۸۶ ^{ab}	۲۵۳/۷ ^{abc}	۳۴/۶۷ ^{abc}	۱۹/۶۵ ^a	۱۸۱۵/۶۷ ^{ab}		G4
۱/۸۷۵ ^{abcd}	۰/۰۷۶ ^a	۲/۱۵ ^{ab}	۴۶/۱۴ ^{abc}	۰/۵۶ ^{ab}	۹/۴۶ ^{ab}	۲۴۷/۷ ^{abc}	۳۴/۶۲ ^{abc}	۱۸/۷ ^a	۱۷۵۲/۱۷ ^{ab}		G5
۱/۳۹۲ ^{def}	۰/۰۷۷ ^a	۲/۱۵ ^{ab}	۴۳/۹ ^{abc}	۰/۴۵ ^{ab}	۹/۳۳ ^{ab}	۲۴۸/۸ ^{abc}	۳۴/۵۸ ^{abc}	۱۹/۱ ^a	۱۷۹۳/۸ ^{ab}		G6
۱/۵۶۵ ^{bcde}	۰/۰۷۵ ^a	۲/۰۸ ^{ab}	۴۲/۷ ^{abc}	۰/۴۵ ^{ab}	۹/۲۳ ^{ab}	۲۵۴/۲ ^{abc}	۳۴/۵۲ ^{bc}	۱۸/۵ ^a	۱۷۶۱/۳ ^{ab}		G7
۲/۰۲ ^{ab}	۰/۰۶۷ ^a	۱/۹۵ ^{ab}	۴۲/۴ ^{abc}	۰/۴۳ ^{ab}	۹/۳۳ ^{ab}	۲۵۷/۷ ^{abc}	۳۴/۸۲ ^{abc}	۱۷/۱ ^a	۱۸۳۱/۸۳ ^a		G8
۱/۹۸۱ ^{ab}	۰/۰۷۲ ^a	۲/۰۵ ^{ab}	۵۰/۸۴ ^{ab}	۰/۳۶ ^b	۸/۹۳ ^b	۲۴۲/۷ ^{bc}	۳۵/۲۵ ^{abc}	۱۷/۶ ^a	۱۷۹۸ ^{ab}		G9
۲/۲۰۶ ^a	۰/۰۶۲ ^a	۱/۸ ^b	۳۹/۵ ^{bc}	۰/۴۳ ^{ab}	۹/۵۷ ^{ab}	۲۶۴/۷ ^{ab}	۳۵/۰۲ ^{abc}	۱۶/۴ ^a	۱۷۷۴ ^{ab}		G10
۱/۸۶ ^{abcd}	۰/۰۶۲ ^a	۱/۹۲ ^{ab}	۴۶/۴ ^{abc}	۰/۳۸ ^b	۸/۹۶ ^b	۲۵۴/۲ ^{abc}	۳۵/۱۳ ^{abc}	۱۵/۹ ^a	۱۸۶۲/۲ ^a		G11
۱/۵۲۸ ^{bcde}	۰/۰۶۴ ^a	۱/۸۸ ^{ab}	۴۴/۱ ^{abc}	۰/۴۲ ^{ab}	۹/۴۳ ^{ab}	۲۵۶/۵ ^{abc}	۳۵/۲۸ ^{ab}	۱۶/۶ ^a	۱۷۷۰ ^{ab}		G12
۰/۹۷۱ ^f	۰/۰۸۲ ^a	۲/۱۹ ^{ab}	۴۸/۹ ^{ab}	۰/۴۱ ^{ab}	۸/۹۹ ^b	۲۳۹/۸ ^{bc}	۳۴/۷۱ ^{abc}	۱۹/۲۸ ^a	۱۷۸۹/۵ ^{ab}		G13
۱/۹۵۱ ^{abc}	۰/۰۶۷ ^a	۲/۰۳ ^{ab}	۵۲/۰۷ ^{ab}	۰/۳۶ ^b	۸/۸۴ ^b	۲۴۴/۸ ^{bc}	۳۵/۴ ^a	۱۶/۱۲ ^a	۱۷۹۹/۱۷ ^{ab}		G14
۲/۱۱ ^a	۰/۰۷۸ ^a	۲/۰۸ ^{ab}	۴۸/۶ ^{ab}	۰/۳۹ ^b	۹/۲۴ ^{ab}	۲۴۱/۸ ^{bc}	۳۵/۱۳ ^{abc}	۱۸/۸ ^a	۱۸۶۴/۷ ^a		G15
۱/۴۳۱ ^{cdef}	۰/۰۸۱ ^a	۲/۱۵ ^{ab}	۵۴/۰۵ ^a	۰/۳۸ ^b	۹/۲۵ ^{ab}	۲۲۲/۳ ^c	۳۵/۴۳ ^a	۱۸/۸ ^a	۱۸۳۶/۶۷ ^a		G16

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

اندام حس‌کننده تنش خشکی ریشه‌ها بوده و در مواجهه با تنش این ریشه‌ها (ریشه‌های دھیدراته) منجر به تولید هورمون آبسزیک اسید شده و در نتیجه روزنه‌ها تحت تأثیر این هورمون بسته می‌شوند (Karimi et al., 2015). بسته‌شدن روزنه‌ها در طی تنش خشکی گرچه به‌منظور کاهش هدررفت آب صورت می‌گیرد اما به علت ممانعت از ورود CO₂ می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Yordanov et al., 2003). در شرایط تنش‌های محیطی تنظیم عملکرد روزنه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و بسته‌شدن روزنه‌ها موجب کاهش ورود CO₂ به سلول‌های زیر روزنه شده که در نهایت کاهش غلظت CO₂ درون‌سلولی را به دنبال دارد (Zlatev and Yordanov, 2004). تحقیقات بر روی حبوبات از قبیل نخود، عدس و لوبیا

نشان داده است که تحت تأثیر تنش خشکی غلظت CO₂ درون برگ‌ها به‌واسطه بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد (Amiri et al., 2017; Armand et al., 2015). با کاهش غلظت CO₂ داخل برگ و کاهش انتقال آن به کلروپلاست، فتوسنتز محدود می‌گردد (Kicheva et al., 1994).

تعرق: با افزایش دور آبیاری به دور آبیاری ۹ روز، کاهش معنی‌دار در میزان تعرق مشاهده شد (جدول ۵). بستن روزنه‌ها موجب کاهش هم‌زمان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای می‌شود. روزنه‌ها میزان کارایی مصرف آب و در نهایت ظرفیت عملکرد را در فرایند فتوسنتزی تحت تأثیر قرار می‌دهند. اندازه روزنه‌ها عموماً در واکنش به عوامل محیطی و درونی تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه مقدار آب تعرق یافته و گاز کربنیک جذب

شده تغییر می‌یابد. نتایج مطالعات متعدد حاکی از این است که درصد بالایی از آب وارد شده در گیاه از طریق تعرق روزنه‌ای خارج می‌شود و در نتیجه کاهش تعرق منجر به کاهش فتوسنتز و کارایی مصرف آب می‌شود (Cornic and Massacci, 1996; Khatun et al., 2021). در واقع گیاهان در معرض نور کم و تنش کمبود آب بیشتر تحت تنش خواهند بود (Aranda et al., 2005). نتایج برخی پژوهش‌ها که بر روی گندم انجام گرفت نشان داد که کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای، منجر به مصرف آب کمتر در گیاه و نیز موجب افزایش پتانسیل آب برگ پرچم می‌شود. برخی گزارشات نشان می‌دهند که با افزایش آب موجود در گیاه میزان تعرق در گیاه افزایش می‌یابد (Brownlee, 2001). در بین ژنوتیپ‌ها در دو شرایط مورد بررسی نیز بیشترین میزان تعرق در ژنوتیپ G2 و کمترین در ژنوتیپ G2 مشاهده شد (جدول ۶).

هدایت روزنه‌ای: دور آبیاری ۹ روز باعث کاهش غیر معنی‌دار در میزان هدایت روزنه‌ای شد (جدول ۵). کمترین هدایت روزنه‌ای مربوط به ژنوتیپ‌های G9 و G14 و بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای متعلق به ژنوتیپ G2 بود (جدول ۶). حساس‌ترین شاخص برای بررسی وضعیت فیزیولوژیکی گیاه، بررسی رفتار روزنه‌هاست. واکنش برگ‌ها به عنوان اندام اصلی فتوسنتزکننده با توجه به دمای هوا، دمای برگ، رطوبت نسبی هوا و سایر خصوصیات محیطی متفاوت است. حفظ و نگهداری سرعت طبیعی تبادلات گازی از جمله خصوصیتی است که باعث افزایش رشد و عملکرد می‌شود. روزنه‌ها مدخل اصلی گیاه هستند و شکاف روزنه‌ها نقش مهمی را در کنترل تبادلات گازی، تعرق و فتوسنتز ایفا می‌کنند (Anyia and Herzog, 2004). زمانی که گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود، در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نهایت سرعت تعرق و فتوسنتز به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Pinheiro et al., 2004; Kruger et al., 1995; Khatun et al., 2021; Chartzoulakis et al., 2002). جلوگیری از رشد همراه با بسته شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به خشکی است (Kruger et al., 1995) و بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به

کمبود آب رفتار مشترکی است که در میان گونه‌های گیاهی به چشم می‌خورد (Pearce et al., 2006). محققین گزارش کردند که با گذشت زمان از استرس خشکی، در لوبیا چشم‌بلبلی، سرعت فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای کاهش و در مقابل غلظت CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای افزایش می‌یابد. آن‌ها بیان کردند که علت این امر ممکن است به خاطر پیری برگچه‌ها باشد. همچنین، کاهش در سرعت آسیمیلاسیون عمدتاً به خاطر بسته شدن روزنه‌ها بود. با این حال بعضی محدودیت‌های ناشی از تنظیم غیرروزنه‌ای نیز مشاهده شده بود (Anyia and Herzog, 2004). سازگاری به خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی وابسته به حداقل رسانیدن تلفات آب به وسیله کنترل شکاف روزنه است (De Carvalho et al., 1998). اثبات شده است که لوبیا قادر به نگهداری پتانسیل آب برگ‌ها بالا یا محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها بالا، طی تنش آبی است (Souza et al., 2004) در نتیجه می‌تواند از پسابیدگی بافت جلوگیری کند. این راهبرد به واسطه بسته شدن روزنه‌ها، ممکن است باعث کاهش در آسیمیلاسیون CO_2 و کاهش رشد و عملکرد شود. طی تحقیقات انجام گرفته توسط Winter و همکاران (۱۹۸۸) بر روی گندم، مشخص گردید که هدایت روزنه‌ای فاکتور مناسبی جهت غربال کردن ژنوتیپ‌ها نیست و این شاخص بسته به شرایط محیطی متفاوت خواهد بود. برخی محققین اعلام داشتند بین صفات فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه در گیاه کلزا ارتباطی وجود ندارد (Wells et al., 1982) و برخی دیگر در گیاه نخود بین فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای ارتباط معنی‌داری را گزارش کرده‌اند (Hobbs and Mahon, 1982). طی تحقیق دیگری که بر روی گندم انجام گرفت ارتباط معنی‌دار بین هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز مشاهده شد (Austin et al., 1980).

فتوسنتز: اختلاف مشاهده شده از نظر میزان فتوسنتز بین دو شرایط آبیاری و بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۵). با این حال دور آبیاری ۹ روز باعث کاهش میزان فتوسنتز شد. از طرف دیگر بیشترین میزان فتوسنتز مربوط به ژنوتیپ‌های G4 و G13 و کمترین میزان مربوط به ژنوتیپ‌های G11 و G14 بود (جدول ۶). فتوسنتز مهم‌ترین فرایند گیاهی است که نقش

بسزایی در تثبیت کربن و تولید مواد آلی در گیاهان دارد (Bishop and Bugbee, 1998). میزان فتوستتزی گیاه زراعی به سرعت فتوستتزی در واحد سطح برگ و مساحت سطح برگ بستگی داشته است (Winter et al., 1988). کاهش هماهنگ فتوستتزی و هدایت روزنه‌ای تحت شرایط دور آبیاری ۹ روز، نشان‌دهنده محدودیت روزنه‌ای در فتوستتزی است (Austin, 1989). بسته شدن روزنه‌ها موجب توقف فتوستتزی می‌گردد که علی‌رغم حفظ آب، به علت افزایش دمای برگ نامطلوب است. نرخ بالاتر فتوستتزی بدون وجود تغییرات قابل توجه در عملکرد می‌تواند به دلیل اثرات چندرئی عملکرد در طی پر شدن دانه و یا به دلیل روش اندازه‌گیری میزان فتوستتزی (به عنوان مثال، در یک برگ و تنها برای یک دوره کوتاه از زمان) باشد. آسمیلایسیون خالص CO_2 از طریق فرایند فتوستتزی، اولین مرحله تولید بیوماس است (Anyia and Herzog, 2004) و سرعت آسمیلایسیون خالص حساس‌ترین جزء ظرفیت بیوشیمیایی به تنش کم‌آبی است و می‌تواند نقطه کنترل کلیدی تحمل خشکی باشد (Kruger et al., 1995). محققین نشان دادند که تنش کم‌آبی در طول مدت پر شدن دانه میزان فتوستتزی خالص و هدایت روزنه‌ای را کاهش داده و پیری برگ را تسریع می‌کند (Zou et al., 2007; Olorunwa et al., 2021; Khatun et al., 2021; Hlahla, 2021). از مهم‌ترین عوامل محدودکننده فتوستتزی در شرایط تنش خشکی عبارتند از عوامل محدودکننده روزنه‌ای، که با بسته شدن روزنه‌ها همراه بوده و ورود CO_2 به عنوان عامل اصلی، آنزیم روبیسکو را محدود می‌کند، در نتیجه با کاهش CO_2 در اطراف آنزیم روبیسکو فرایند اکسیژناسیون (تنفس نوری) به جای کربوکسیلاسیون (فتوستتزی) انجام خواهد شد (Pagter et al., 2005). در مرتبه دوم عوامل محدودکننده غیر روزنه‌ای که شامل کاهش رنگ‌دانه‌های فتوستتزی در اثر تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن در زنجیره انتقال الکترون فتوستتزی (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳) کاهش مقدار و فعالیت آنزیم روبیسکو، مهار سنتز ریبولوز بیس فسفات و کاهش انتقال الکترون فتوستتزی به فتوسیستم II است (Pagter et al., 2005). افزایش فتوستتزی خالص در نخود رقم کرج

نسبت به دو رقم دیگر (عادل و آزاد)، نشان‌دهنده وجود سازوکارهای سازگاری با تنش در جهت جلوگیری از کاهش فتوستتزی و تحمل بیشتر این رقم در برابر تنش خشکی است (Ganjeali et al., 2011). برخی مطالعات گزارش کردند که ممانعت از فتوستتزی در شرایط تنش خشکی با افزایش غلظت CO_2 محیط بهبود می‌یابد که این امر تعیین‌کننده نقش کلیدی روزنه‌ها در کاهش فتوستتزی است (Armand et al., 2015).

کارایی مصرف آب فتوستتزی: اختلاف مشاهده‌شده بین دو شرایط آبیاری معنی‌دار بود و دور آبیاری ۹ روز باعث افزایش کارایی مصرف آب فتوستتزی شد (جدول ۵) به همین دلیل میزان فتوستتزی در اکثر ژنوتیپ‌ها در دور آبیاری ۹ روز نسبتاً بیشتر بود. بیشترین کارایی مصرف آب فتوستتزی مربوط به ژنوتیپ‌های G16 و G14 و کمترین میزان مربوط به ژنوتیپ G2 و G10 بود (جدول ۶). به‌منظور به دست آوردن کارایی مصرف آب لحظه‌ای، میزان فتوستتزی بر هدایت روزنه‌ای تقسیم می‌شود (Ritchie et al., 1990). هنگام تنش رطوبتی، پایداری گیاه بسیار مهم است؛ بنابراین نسبت جذب دی‌اکسید کربن به تعرق ثابت نمی‌ماند. به همین دلیل عمده تفاوت بین بازده مصرف آب فتوستتزی در رژیم‌های مختلف رطوبتی ناشی از این امر است که تنش خشکی به میزان متفاوتی فتوستتزی و تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در نهایت منجر به تفاوت معنی‌دار بازده مصرف آب فتوستتزی بین رژیم‌های مختلف رطوبتی می‌گردد (El Hafid et al., 1998).

هدایت مزوفیلی: اختلاف مشاهده‌شده از نظر میزان هدایت مزوفیلی بین دو شرایط آبیاری و بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). با این حال دور آبیاری ۹ روز باعث کاهش میزان هدایت مزوفیلی شد (جدول ۵). از طرف دیگر بیشترین میزان هدایت مزوفیلی مربوط به ژنوتیپ G13 و کم‌ترین میزان مربوط به ژنوتیپ‌های G11 و G10 بود (جدول ۶). عامل اصلی محدودکننده فتوستتزی، کاهش هدایت مزوفیلی است (Barutcular et al., 2000). در شرایط محیطی یکسان ارقام مختلف گیاهان زراعی توانایی تبادلات گازی متفاوتی نشان می‌دهند که ناشی از اختلاف در تعداد روزنه در واحد سطح

برگ و نیز اندازه متفاوت روزنه در برگ‌هاست. در گیاه نی مشخص شده است که سرعت بیشتر فتوسنتز به واسطه هدایت مزوفیلی بیشتر است و بالا بودن هدایت مزوفیلی بیانگر کارایی فرآوری بیشتر کربن است (Pagter et al., 2005). در این تحقیق نیز این موضوع اثبات می‌شود که ژنوتیپ‌هایی که دارای هدایت مزوفیلی بیشتری هستند دارای میزان فتوسنتز بالایی نیز می‌باشند بنابراین همان‌طور که از مقایسه‌ها برمی‌آید ژنوتیپ‌های G4، G13 و G6 دارای بیشترین میزان فتوسنتز، هدایت مزوفیلی و تا حدودی کارایی مصرف آب هستند درحالی‌که ژنوتیپ G11 دارای کم‌ترین میزان این پارامترها است. روزنه‌ها در دوره‌های کمبود آب می‌توانند از طریق بسته شدن، میزان اتلاف آب را کنترل کرده و به مقاومت گیاه در مقابله با تنش خشکی کمک کنند (Schmidt, 1983; Khatun et al., 2021). محققین معتقدند که یکی از عوامل مهم در کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب است که سبب کاهش هدایت روزنه‌ای شده و در نهایت کاهش میزان فتوسنتز را به همراه دارد. در واقع محدودیت روزنه‌ای سبب کاهش میزان فتوسنتز و غلظت دی‌اکسید کربن در فضای بین سلولی برگ شده که به نوبه خود سبب جلوگیری از سوخت‌وساز گیاه می‌شود (Lawler and Cornic, 2002). اما در ارتباط با محدودیت‌های غیرروزنه‌ای، صفت هدایت مزوفیلی (میزان فتوسنتز به غلظت CO_2 درون روزنه‌ای) مهم است و بنا به گفته برخی دیگر از محققین کاهش هدایت مزوفیلی عامل اصلی محدودکننده فتوسنتز است (Fischer et al., 1998; Barutcular et al., 2000).

کارایی مصرف آب: اختلاف مشاهده شده از نظر میزان کارایی مصرف آب بین دو شرایط آبیاری معنی‌دار و بین ژنوتیپ‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۵). محققین دیگر نیز اثر شرایط آبیاری بر کارایی مصرف آب را معنی‌دار ولی ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری روی کارایی مصرف آب نداشت (Soureshjani et al., 2019). دور آبیاری ۹ روز باعث افزایش میزان کارایی مصرف آب شد. از طرف دیگر بیشترین میزان کارایی مصرف آب مربوط به ژنوتیپ‌های G3، G13 و G16 و

کم‌ترین میزان مربوط به ژنوتیپ‌های G2 و G10 بود (جدول ۶). یکی از شاخص‌های اساسی در تعیین استفاده کارا از آب جهت تولید محصولات کشاورزی، شاخص کارایی مصرف آب است. افزایش کارایی مصرف آب می‌تواند با راهبردهای بسیاری حاصل گردد که یکی از آنها تغییر توان گیاهان زراعی برای تولید عملکرد قابل قبول در شرایط کم آبی است (Alinezhad et al., 2017; Hong Bo et al., 2008). کارایی مصرف آب همچنین یکی از خصوصیات مهم فیزیولوژیک بوده که نشان‌دهنده توانایی گیاه در مقابله با تنش است. با توجه به محدودیت منابع آب در ایران، اعمال تنش آبی یا کم‌آبیاری بر روی بعضی از محصولات زراعی امری اجتناب‌ناپذیر است (Sobhani and Hamidi, 2015). اگر چه نتیجه کم آبیاری کاهش عملکرد در واحد سطح است، اما کارایی مصرف آب و کارایی آبیاری افزایش می‌یابد (Sobhani and Hamidi, 2015; Khatun et al., 2021; Shayannejad and Moharrari, 2010). هر چه میزان فتوسنتز بیشتر و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای کمتر باشد، کارایی مصرف آب بیشتر خواهد بود (Martin and Ruiz-Torres, 1992). برخی پژوهشگران بیان داشتند استفاده از فن‌آوری‌های آبیاری، اندازه زمین و شیوه‌های آبیاری بر کارایی مصرف آب مؤثر هستند (Frija et al., 2009). کاهش رطوبت خاک ممکن است از طریق انسداد روزنه‌ها سبب افزایش کارایی مصرف آب در برخی گیاهان از جمله ذرت دانه‌ای گردد (Sander and Bastiaanssen, 2004).

عملکرد کل: اختلاف مشاهده شده از نظر میزان عملکرد بین دو شرایط آبیاری و بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۴). با این حال دور آبیاری ۹ روز باعث کاهش میزان عملکرد شد (جدول ۵). از طرف دیگر بیشترین عملکرد دانه به ژنوتیپ‌های G10، G15، G8، G9 و G14 و کمترین میزان عملکرد مربوط به ژنوتیپ‌های G2، G13، G6 و G16 بود (جدول ۶). اندازه‌گیری عملکرد دانه یکی از شاخص‌های مهم در برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی برای مقامت به خشکی است؛ اما به دلیل وراثت‌پذیری پایین این صفت، اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با تنش

خشکی در کنار آن ضروری به نظر می‌رسد (Blum, 1985).

روابط بین صفات: نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۷) نشان

داد که بین بین عملکرد با هیچ کدام از صفات فیزیولوژیک مورد بررسی در هر دو شرایط آبیاری همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. اگرچه میزان فتوستتزر عامل اصلی کنترل رشد بوته و عملکرد است، اما رابطه بین میزان فتوستتزر و عملکرد دانه بسیار پیچیده است و از این‌رو، نتایج متناقض در مورد این ارتباط مشاهده شده است. به‌طوری‌که در گزارشی بین صفات فتوستتزر، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه در گیاه کلزا ارتباطی وجود نداشته است و از طرفی در گیاه سویا بین فتوستتزر و هدایت روزنه‌ای ارتباط معنی‌داری گزارش شده است (Wells et al., 1982). فتوستتزر تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به‌واسطه محدودشدن فتوستتزر صورت می‌گیرد. کاهش فتوستتزر را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش می‌یابد. بسته‌شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به‌منظور کاهش هدررفت آب صورت می‌گیرد، اما به‌واسطه جلوگیری از ورود CO₂ می‌تواند فتوستتزر را به کم‌تر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Ashraf and Harris, 2004).

فتوستتزر با میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای در دور آبیاری ۹ روز همبستگی مثبت معنی‌دار و در دور آبیاری ۵ روز همبستگی مثبت و غیرمعنی‌دار داشت. این حالت نشان‌دهنده اهمیت هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش است. میزان فتوستتزر با CO₂ زیرروزنه‌ای در شرایط دور آبیاری ۵ روز همبستگی منفی معنی‌دار و در دور آبیاری ۹ روز بدون همبستگی بود. از طرف دیگر میزان فتوستتزر با هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب در هر دو شرایط آبیاری رابطه مثبت معنی‌دار داشت. رابطه مثبت فتوستتزر و هدایت روزنه‌ای می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش هدایت روزنه‌ای میزان CO₂ ورودی برای استفاده در فتوستتزر، بیشتر می‌شود. هدایت روزنه‌ای برای بخارآب به دلیل مشترک بودن مسیرهای انتشار برای دی‌اکسید کربن و آب، با فتوستتزر رابطه دارد (Blanco et al., 2000). رابطه بین هدایت

روزنه‌ای با فتوستتزر، نشان از اهمیت آن در تولید دارد. بسته شدن روزنه اولین دلیل کم‌شدن سرعت فتوستتزر در شرایط خشکی متوسط است (Cornic, 2000). از طرفی احتمالاً در دسترس بودن CO₂ در کلروپلاست که عمدتاً توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، در پاسخ به کمبود آب، به‌عنوان سیگنالی برای تنظیم متابولیسمی در برگ عمل می‌کند (Flexas and Medrano, 2002). همبستگی سرعت فتوستتزر و هدایت روزنه‌ای با عملکرد دانه، توسط محققین دیگری (میری و همکاران، ۱۳۸۶) نیز گزارش شده است. کلروفیل‌ها، مولکول‌های ضروری هستند که مسئول دریافت انرژی خورشیدی در سیستم‌های فتوستتزی هستند (Tanaka and Tanaka, 2006). برخی از محققین اظهار داشتند که تحت تنش خشکی و گرما محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد و مقدار کاهش در این صفت بسته به نوع گونه و مدت‌زمان تنش فرق می‌کند و لذا کاهش کلروفیل در شرایط تنش آبی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به حساب آید (Sairam et al., 2001; Jiang and Huang, 1997). در شرایط دور آبیاری ۹ روز هدایت روزنه‌ای با هدایت مزوفیلی همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. کاهش هدایت روزنه‌ای می‌تواند به دلیل بسته‌شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی باشد تا از این طریق تلفات آب به حداقل برسد. بیش از ۹۹ درصد آب جذب شده توسط ریشه‌های گیاه از طریق تعرق و به‌ویژه توسط روزنه‌های برگ از دست می‌رود. تحت تنش آبی، گیاه سعی می‌کند محتوای آب خود را با کاهش هدایت روزنه‌ای حفظ کند (Anjum et al., 2011).

در هر دو شرایط آبیاری میزان تعرق با هدایت روزنه‌ای در سطح یک درصد همبستگی مثبت معنی‌دار و با کارایی مصرف آب فتوستتزی در سطح یک درصد همبستگی منفی معنی‌دار نشان می‌دهد. البته در دور آبیاری ۹ روز بین میزان تعرق با میزان فتوستتزر همبستگی مثبت در سطح یک درصد مشاهده شد. بین میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه کلزا و عملکرد آن رابطه خطی وجود دارد (Habir et al., 1989). همچنین در کلزا بین میزان فتوستتزر برگ در مرحله گلدهی و هدایت روزنه‌ای با

جدول ۷- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مطالعه‌شده

کارایی مصرف آب	هدایت مزوفیلی	کارایی مصرف آب فتوستتزی	میزان فتوستتز	هدایت روزنه‌ای	میزان تعرق	CO ₂ زیر روزنه‌ای	دمای برگ	تشعشع فعال فتوستتزی
								۱
								تشعشع فعال
								۱
								فتوستتزی
							۱	-۰/۲۲
							۱	۰/۳۳*
						۱	-۰/۲۲	-۰/۰۳
						۱	-۰/۴۳**	-۰/۲۳
					۱	۰/۳۶*	۰/۲۶	۰/۱۹
					۱	۰/۵۸**	-۰/۲۴	-۰/۰۲
				۱	۰/۷۲**	۰/۴۹**	-۰/۳۴*	۰/۲۲
				۱	۰/۹۳**	۰/۶۲**	-۰/۵۳**	-۰/۱۶
			۱	۰/۲	۰/۲۱	-۰/۶۶**	-۰/۱۸	۰/۲۸
			۱	۰/۷۶**	۰/۷۱**	۰/۰۱	-۰/۴۳**	۰/۰۱
		۱	۰/۳۴*	-۰/۷۱**	-۰/۶۳**	-۰/۹۲**	۰/۲۷	-۰/۰۹
		۱	-۰/۳۹**	-۰/۸۶**	-۰/۸۳**	-۰/۹۱**	۰/۵**	۰/۱۹
	۱	۰/۶**	۰۰/۹۵**	-۰/۰۶	۰	-۰/۸۵**	-۰/۰۳	۰/۲۱
	۱	۰	۰/۹۲**	۰/۴۵**	۰/۴۲**	-۰/۳۹**	-۰/۲۲	۰/۱
۱	۰/۸۶**	-۰/۶۹**	۰/۷۹**	-۰/۲۲	-۰/۴۳**	-۰/۸۲**	-۰/۳۶*	۰/۱۳
۱	۰/۸۳**	۰/۳۷**	۰/۶۳**	۰/۰۵	-۰/۱	-۰/۶۳**	-۰/۳۴*	۰/۰۳
-۰/۰۶	-۰/۰۶	۰	-۰/۰۶	-۰/۰۳	۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷
-۰/۱۳	-۰/۲۱	-۰/۰۲	-۰/۱۷	-۰/۰۹	-۰/۱	۰/۱	-۰/۰۲	-۰/۲۴
								عملکرد کل

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار گزارش شده است (میری و همکاران، ۱۳۸۶).

در هر دو شرایط آبیاری، CO₂ زیر روزنه‌ای با میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای دارای همبستگی مثبت معنی‌دار و با کارایی مصرف آب فتوستتزی، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب دارای همبستگی منفی معنی‌دار بود. دمای برگ نیز در هر دو شرایط آبیاری با هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد و در نهایت کارایی مصرف آب با هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوستتزی در هر

دو شرایط آبیاری همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات فیزیولوژیک بر فتوستتز (جدول ۸) به‌عنوان متغیر تابع نشان داد در دور آبیاری پنج روز، صفات میزان CO₂ زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای و دمای برگ با ضریب منفی و میزان تعرق با ضریب مثبت، وارد مدل شده و با میزان ضریب تبیین ۰/۹۸ میزان تغییرات فتوستتز را توجیه می‌کنند. در مقابل در دور آبیاری ۹ روز صفات میزان CO₂ زیر روزنه‌ای و دمای برگ با ضریب منفی و میزان تعرق با ضریب مثبت، وارد مدل شده و با میزان ضریب تبیین ۰/۹۷

جدول ۸- جدول تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مورد بررسی بر روی میزان فتوستت

دور آبیاری ۵ روز					دور آبیاری ۹ روز				
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	R^2	$\bar{R}^2$	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	R^2	$\bar{R}^2$
رگرسیون	۴	۵/۴۵۸**	۰/۹۸۶	۰/۹۸	رگرسیون	۳	۸/۸۷۸**	۰/۹۷	۰/۹۶
باقیمانده	۱۱	۰/۰۲۹			باقیمانده	۱۲	۰/۰۶۷		
Constant		۱۳۷/۹۱**±۶/۶۴			Constant		۸۹/۴۶**±۸/۵۷		
دمای برگ		-۳/۱۸۹**±۰/۱۹۵			دمای برگ		-۱/۹۱۵**±۰/۲۴۲		
CO ₂ زیر روزنه‌ای		-۰/۱۴۴**±۰/۰۰۶			CO ₂ زیر روزنه‌ای		-۰/۱۳**±۰/۰۰۹		
میزان تعرق		۳/۳۰۱**±۰/۲۶۷			میزان تعرق		۳/۱۳۷**±۰/۲۴۶		
هدایت روزنه‌ای		-۷/۵۸**±۱/۵۹۴							

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

میزان تغییرات فتوستت را توجیه می‌کنند. صفات میزان CO₂ زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای و دمای برگ با ضریب منفی و میزان تعرق با ضریب مثبت، وارد مدل شده و با میزان ضریب تبیین ۰/۹۸ میزان تغییرات فتوستت را توجیه می‌کنند. ارتباط مثبت بین میزان فتوستت و عملکرد توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (Shobeiri et al., 2021; Monneveux et al., 2006; Martin and Ruiz-Torres, 1992; Khatun et al., 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری، ژنوتیپ‌های G14، G15 و G9 میزان فتوستت، کارایی مصرف آب و عملکرد بالاتری نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها دارند. از طرف دیگر در هر دو شرایط آبیاری میزان فتوستت با هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب در هر دو شرایط آبیاری رابطه

منابع

آمارنامه بارندگی. (۱۴۰۲). سازمان هواشناسی کل کشور.

برزگر، طاهر، مرادی، پوریا، حسن‌زاده، زیبا، قهرمانی، زهرا، و نیکبخت، جعفر (۱۳۹۷). ارزیابی رشد، عملکرد و میزان ویتامین ث بامیه با کاربرد پوترسین و اسید هیومیک تحت تنش کم آبی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۸(۱)، ۱۰۹-۱۲۳.

حبیبی، غلامرضا، و بی‌همتا، محمدرضا (۱۳۸۶). مطالعه عملکرد دانه و برخی صفات مؤثر بر آن در لوبیا چیتی تحت شرایط آبیاری محدود. مجله پژوهش و سازندگی، ۲۰(۱)، ۳۴-۴۶.

- حسین‌زاده، سعیدرضا، چنیانی، منیره، و سلیمی، اعظم (۱۳۹۳). بررسی اثر متانول بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تنش خشکی. *نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران*، ۵(۲)، ۷۱-۸۲. DOI:10.22067/ijpr.v1393i2.47031
- رضوانی‌مقدم، پرویز، و صادقی سمرجان، رضا (۱۳۸۷). بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم ILC3279 در شرایط آب و هوایی نیشابور. *مجله پژوهش‌های زراعی ایران/ایران*، ۶(۲)، ۳۱۵-۳۲۵. DOI:10.22067/gsc.v6i2.2438
- رهبان‌ریان، راهل، خاوری‌نژاد، رمضانعلی، گنجعلی، علی، باقری، عبدالرضا، و نجفی، فرزانه (۱۳۹۲). بررسی اثرات تنش خشکی بر فتوسنتز، فلئوئورسانس کلروفیل و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس نخود (*Cicer arietinum* L.). *پژوهش‌های حبوبات ایران*، ۴(۲). DOI: 10.22067/ijpr.v1392i2.41277
- صادقی، لیلا، رفیعی، مسعود، و دانشیان، جهانفر (۱۴۰۰). اثرات تنش خشکی و ریزگرد بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک در گیاه سویا. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۰(۴۱)، ۲۶۳-۲۷۷.
- عزیزی، زینب، برزگر، طاهر، و قهرمانی، زهرا (۱۳۹۶). تأثیر اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و کیفیت میوه خربزه زرد جلالی تحت تنش کم آبی. *مجله به زراعی کشاورزی*، ۱۹(۲)، ۳۸۷-۴۰۰.
- لک، شهرام، نادری، احمد، سیادت، عطاءالله، آینه‌بند، امیر، و نورمحمدی، قربان (۱۳۸۶). اثرات تنش کمبود آب بر عملکرد و کارایی نیتروژن ذرت هیبرید دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم گیاهی. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ایران*، ۱۴(۲)، ۶۳-۷۶.
- میری، حمیدرضا، امام، یحی، و نورمحمدی، قربان (۱۳۸۶). ارزیابی برخی صفات مورفوفیزیولوژیک مؤثر بر افزایش عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.). *مجله علوم کشاورزی*، ۱۷(۳)، ۱۰۱-۱۱۷.
- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105. DOI: 08.305/IGC-DYT/2009/11.1.100.105
- Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S. R., Armand, N., & Chashiani, S. (2017). Evaluation of growth features, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of lentils cultivars in response to water stress. *Nova Biologica Reperta*, 4(3), 226-235. DOI:10. 21859/acadpub.nbr.4.3.226
- Alinezhad, S., Sinki, J. M., & Zarei, M. (2017). Investigation on the effect of humic and biominic acid foliar on yield and yield components of barley under cut irrigation condition. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 3(14), 193-203.
- Amiri, H., Ismaili, A., & Hosseinzadeh, S. R. (2017). Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Karaj). *Compost Science and Utilization*, 26, 1-14. DOI:10.1080/1065657X.2016.1249313
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., & Zou, C. M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants of leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 177-185. DOI:10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x
- Anyia, A. O., & Herzog, H. (2004). Water use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Journal of Agronomy*, 20, 327-339. DOI:10.1016/S1161-0301(03)00038-8
- Aranda, I., Gil, L., & Pardos, J. (2005). Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. *Forest Ecology and Management*, 2(10), 117-129. DOI:10.1016/j.foreco.2005.02.012
- Araus, J. L., Salfer, G. A., Reynold, M. P., & Royo, C. (2002). Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? *Annals of Botany*, 89, 925-240.
- Armand, N., Amiri, H., & Ismaili, A. (2015). Interaction of methanol spray and water deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. *Photochemistry and Photobiology*, 92(1), 1-219. DOI:10.1111/php.12548
- Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166, 3-16. DOI:10.1016/j.plantsci.2003.10.024
- Austin, R. B. (1989). Genetic variation in photosynthesis. *Journal of Agricultural Science*, 112, 287-293.

DOI:10.1017/S0021859600085737

- Austin, R. B., Bigham, J., Blackwell, R. D., Evans, L. T., Ford, M. A., Morgan, C. L., & Taylor, M. (1980). Genetic improvement in winter wheat yields during 1900 and associated physiological changes. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 94, 675-89. DOI:10.1017/S0021859600028665
- Baath, G. S., Rocateli, A. C., Kakani, V. G., Singh, H., Northup, B. K., Gowda, P. H., & Katta, J. R. (2020). Growth and physiological responses of three warm-season legumes to water stress. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Barutcular, C., Genc, I., & Koc, M. (2000). Photosynthetic water use efficiency of old and modern durum wheat genotypes from southeastern Turkey. In: Proceeding Seminar on durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Series A.
- Bayat, A. A., Sepehri, A., Ahmadvand, G., & Dorri, H. R. (2010). Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(1), 42-54. (In Persian). DOR: 20.1001.1.15625540.1389.12.1.4.1
- Beheshti, S., Tadayyon, A., & Falah, S. (2016). Effect of humic acid on the yield and yield components of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2), 175-187. (In Farsi). DOI:10.22067/ijpr.v7i2.46533
- Bishop, D. L., & Bugbee, B. G. (1998). Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat. *Journal of Plant Physiology*, 153, 558-565. DOI:10.1016/S0176-1617(98)80204-6
- Blanco, I., Rajaram, A. S., Kronstad, W. E., & Reynolds, M. O. (2000). Physiological performance of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Science*, 40, 1257-1263. DOI: 10.2135/cropsci2000.4051257x
- Blum, A. (1985). Breeding crop varieties for stress environments. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2, 199-238. DOI:10.1080/07352688509382196
- Brownlee, C. (2001). The long and short of stomatal density signals. *Trends in Plant Science*, 6, 441-442. DOI:10.1016/S1360-1385(01)02095-7
- Carcova, J., Maddonni, G. A., & Ghera, C. M. (1998). Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. *Field Crops Research*, 55, 165-174. DOI:10.1016/S0378-4290(97)00076-2
- Chartzoulakis, K., Patakas, A., Kofidis, G., Bosabalidis, A., & Nastoub, A. (2002). Water stress affects on leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae*, 95(1), 39-50. DOI:10.1016/S0304-4238(02)00016-X
- Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Tactical Information Broadcast Service*, 5, 187-188. DOI:10.1016/S1360-1385(00)01625-3
- Cornic, G., & Massacci, A. (1996). Leaf photosynthesis under drought stress. In: Photosynthesis and Environment (ed. Baker, N. R.). Pp. 347-366. Kluwer Academic Publisher. DOI:10.1007/0-306-48135-9_14
- De Carvalho, M. H. C., Laffray, D., & Louquet, P. (1998). Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 40, 197-207. DOI:10.1016/S0098-8472(98)00037-9
- 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, 688-696. DOI:10.2134/agronj2003.6880
- Ebrahimi, M., Bihanta, M. R., Hoseinzade, A., Khialparast, F., & Golbashi, M. (2010). Studing the response of some white varieties of common bean to limited irrigation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(2), 348-357 (In Persian). DOI:10.22067/jcsc.2010.41785
- El Hafid, K., Smith, D., Karrou, M., & Sqmir, K. (1998). Physiological response of spring durum wheat cultivars to early-season drought in a Mediterranean environment. *Annals of Botany*, 81, 363-370. DOI:10.1006/anbo.1997.0567
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2019). Production and trade yearbook. FAO, Rome. Available online at: <https://www.fao.org>. Accessed 22 June 2019.
- Flexas, L., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plant: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. *Annoual of Botany*, 89, 183-189. DOI:10.1093/aob/mcf027
- Frija, A., Chebil, A., Speelman, S., Buysse, J., & Van Huylenbroeck, G. (2009). Water use and technical efficiencies in horticultural green houses in Tunisia. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1509-1516. DOI:10.1016/j.agwat.2009.05.006
- Fischer, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Candon, A. G., & Saavedra, A. L. (1998). Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, 38(6), 1467-1475. DOI:10.2135/cropsci1998.0011183X003800060011x
- Ganjeali, A., Porsa, H., & Bagheri, A. (2011). Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. *Agriculture Water Management*, 98, 1477-1484. DOI:10.1016/j.agwat.2011.04.017
- Hlahla, J. M. (2021). Photosynthetic Efficiency and Biochemical Responses of Vegetable-type Soybean Cultivars under Drought Stress. University of the Free State.
- Habir, S. K., Jarwal, S. D., Singht, D. S., & Tank, D. S. (1989). Water production function for Indian rape. *Oilseeds Research*, 6, 316-321. DOI:10.1016/0550-3213(89)90033-3

- Hemati Far, K, & Rahimi, M. M. (2015). Effect of different levels of uperabsorbent polymers on water use efficiency and characteristics of sorghum in different water regimes. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(31), 32-41. DOR:20.1001.1.20085958.1396.9.31.5.1
- Hobbs, S. L. A, & Mahon, J. D. (1982). Variation, heritability and relation to yield of physiological characters in peas. *Crop Science*, 32, 773-7799. DOI:10.2135/cropsci1982.0011183X002200040018x
- Hong-Bo, S., Li-Ye, C., Jaleel, C. A., & Chang-Xing, Z. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 215-22. DOI:10.1016/j.crvi.2008.01.002
- Islam, M. T. (2022). Effect of drought stress on photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and yield of mungbean genotypes under high temperature. *Bangladesh Journal of Nuclear Agriculture*, 36(1), 83-91.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of agriculture and biology*, 11, 100-105. DOI: 08.305/IGC-DYT/2009/11.1.100.105
- Jiang, Y, & Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool season Turfgrasses in relation to antioxidant metabolim and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, 436-442. DOI:10.2135/cropsci2001.412436x
- Johnson, D. A, & Rumbaugh, M. D. (1995). Genetic variation and inheritance characteristics for carbon isotope discrimination in alfalfa. *Range Management Journal*, 48, 126-131. DOI:10.2307/4002798
- Karimi, S., Yadollahi, A., & Arzani, K. (2015). Gasexchange response of almond genotypes to water stress. *Photosynthetica*, 53, 29-34. DOI:10.1007/s11099-015-0070-0
- Kicheva, M. L., Tsonev, T. D., & Popova, L. P. (1994). Stomatal and nonstomatal limitation to photosynthesis in two wheat cultivars subjected to water stress. *Photosynthetica*, 30, 107-116.
- Kruger, G. H. J., Van Rensburg, L., & Mahtis, P. (1995). Carbon dioxide fixation: Stomatal and non-stomatal limitations in drought stressed *Nicotina tobacum* L. cultivar. 10th International Photosynthesis Congress, Montpellier, France. DOI:10.1007/978-94-009-0173-5_816
- Khatun, M., Sarkar, S., Era, F. M., Islam, A. M., Anwar, M. P., Fahad, S., ... & Islam, A. A. (2021). Drought stress in grain legumes: Effects, tolerance mechanisms and management. *Agronomy*, 11(12), 2374. DOI:10.3390/agronomy11122374
- Lawler, D. W, & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environment*, 25, 275-294. DOI:10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x
- Ludlow, M. M, & Muchow, R. C. (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Advances in Agronomy*, 43, 107-153. DOI:10.1016/S0065-2113(08)60477-0
- Mahajan, S, & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses. *Biochemistry and Biophysics*, 444, 139-158. DOI:10.1016/j.abb.2005.10.018
- Martin, B, & Ruiz-Torres, N. A. (1992). Effect of water-deficit stress on photosynthesis, its components and component limitations and on water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*, 100, 733-739. DOI:10.1104/pp.100.2.733
- Monneveux, P. H., Rekika, D., Acevedo, E., & Merah, O. (2006). Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotopes discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science*, 170, 867-872. DOI:10.1016/j.plantsci.2005.12.008
- Olorunwa, O. J., Shi, A., & Barickman, T. C. (2021). Varying drought stress induces morpho-physiological changes in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) genotypes inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. *Plant Stress*, 2, 100033. DOI:10.1016/j.stress.2021.100033
- Papathanasiou, F., Ninou, E., Mylonas, I., Baxevanos, D., Papadopoulou, F., Avdikos, I., ... & Kargiotidou, A. (2022). The evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under water stress based on physiological and agronomic parameters. *Plants*, 11(18), 2432.
- Polania, J. A., Salazar-Chavarria, V., Gonzalez-Lemes, I., Acosta-Maspons, A., Chater, C. C., & Covarrubias, A. A. (2022). Contrasting Phaseolus crop water use patterns and stomatal dynamics in response to terminal drought. *Frontiers in Plant Science*, 13, 894657.
- Pagter, M., Bragato, C., & Brix, H. (2005). Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, 81, 285-299. DOI:10.1016/j.aquabot.2005.01.002
- Pasban Eslam, B. (2011). Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 13, 327-338.
- Pearce, D. W., Millard, S., Bray, D. F., & Rood, S. B. (2006). Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. *Tree Physiology*, 26, 211-218. DOI:10.1093/treephys/26.2.211
- Pinheiro, C., Passarinhoa, J. A., & Ricardo, C. P. (2004). Effect of drought and reatering on the merabolism of *Pinus albus* organs. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1203-1210. DOI:10.1016/j.jplph.2004.01.016
- Porch, T. G., Ramirez, V. H., Santana, D., & Harmsen, E. W. (2009). Evaluation of common bean for drought tolerance in Juana Diaz, Puerto Rico. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(5), 328-334. DOI:10.1111/j.1439-037X.2009.00375.x

- Ramirez-Llodra, E., Tyler, P. A., Baker, M. C., Bergstad, O. A., Clark, M. R., Escobar, E., Levin, L. A., Menot, L., Rowden, A. A., Smith, C. R., & Van Dover, C. L. (2011). Man and the last great wilderness: Human impact on the deep sea. *PLoS One*, 6(8), e22588. DOI:10.1371/journal.pone.0022588
- Rasti Sani, M., Lahouti, M., & Ganjeali, A. (2014). Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 5(1), 103-116. DOI:10.22067/ijpr.v1393i1.46210
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111. DOI:10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x
- Soureshjani, H. K., Nezami, A., Kafi, M., & Tadayon, M. (2019). Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 213, 270-279. DOI:10.1016/j.agwat.2018.09.038
- Sairam, P. K., Deshmukh, P. S., & Shukla, D. S. (1997). Tolerance of drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 178, 171-178. DOI:10.1111/j.1439-037X.1997.tb00486.x
- Sander, J. Z., & Bastiaansen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigation wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69, 115-33. DOI:10.1016/j.agwat.2004.04.007
- Santos, M. G., Ribeiro, R. V., de Oliveira, R. F., Machado, E. C., & Pimentel, C. (2006). The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. *Plant Science*, 170(3), 659-664. DOI: 10.1016/j.plantsci.2005.10.020
- Sarker, B. C., Hara, M., & Uemura, M. (2005). Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulturae*, 103(4), 387-402. DOI:10.1016/j.scienta.2004.07.010
- Schmidt, J. W. (1983). Drought resistance and wheat breeding. *Agricultural Water Management*, 7(1), 181-194. DOI:10.1016/0378-3774(83)90082-3
- Shayannejad, M., & Mohrhari, A. (2010). The effect of water stress on the quality characteristics of wheat and potato in Shahrekord. *Journal of Water Research in Agriculture*, 24(1), 65-74.
- Shobeiri, S. S., Asadi, A. A., Azimi, M., & Sohrabi, I. (2021). Evaluation of photosynthetic parameters and their relationships with grain yield in red bean lines in field conditions. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 63-76. DOI:10.52547/jcb.13.39.63
- Sobhani, A. R., Hamidi, H. (2015). Effects of water stress and different potassium levels on yield, water use efficiency and harvest index in potato. *Plant Production Technology*, 7(1), 99-112.
- Souza, R. P., Machado, E. C., Silva, J. A. B., Lagoa, A. M. M. A., & Silveira, J. A. G. (2004). Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51, 45-56. DOI:10.1016/S0098-8472(03)00059-5
- Taiz, L., & Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology*. 2nd Ed. Sinauer Associates, Inc.
- Tanaka, A., & Tanaka, R. (2006). Chlorophyll metabolism. *Plant Biology*, 9, 248-255. DOI:10.1016/j.pbi.2006.03.011
- Tohidi, M., Nadery, A., Siadat, S., & Lak, S. (2012). Variables productivity of light interception in grain maize hybrids at various amount of nitrogen. *World Applied Sciences Journal*, 16, 86-93.
- Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B., & Serraj, R. (2005). Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 275-287. DOI:10.1016/j.agee.2004.10.019
- Wells, R., Schulze, L. L., Ashley, D. A., Boerma, H. R., & Brown, R. H. (1982). Cultivars differences in canopy apparent photosynthesis and their relationship to yield in soybeans. *Crop Science*, 22, 886-90. DOI:10.2135/cropsci1982.0011183X002200040044x
- Winter, S. R., Musick, J. T., & Porter, K. B. (1988). Evaluation of screening techniques for breeding drought-resistance winter wheat. *Crop Science*, 28, 512-516. DOI:10.2135/cropsci1988.0011183X002800030018x
- Yathisha, N. S., Barbara, P., Gugi, B., Yogendra, K., Jogaiah, S., Azeddine, D., & Sharatchandra, R. G. (2020). Vegetative desiccation tolerance in *Eragrostiella brachyphylla*: Biochemical and physiological responses. *Heliyon*, 6(9), e04948.
- Yordanov, I., Velikova, V., & Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarestan Journal of Plant Physiology*, 2, 187-206.
- Zlatev, Z. S., & Yordanov, I. T. (2004). Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarestan Journal of Plant Physiology*, 30, 3-18.
- Zou, G. H., Liu, H. Y., Mei, H. W., Liu, G. L., Yu, X. Q., Li, M. S., Wu, J. H., Chen, L., & Luo, L. J. (2007). Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49, 1508-1516. DOI:10.1111/j.1672-9072.2007.00560.x

Evaluation of photosynthetic parameters and their relationships with grain yield in Chitti bean lines (*Phaseolus vulgaris*) in deficit and normal irrigation

Ali Akbar Asadi and Seyedeh Soudabeh Shobeiri*

Assistant Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Zanjan, Iran

(Received: 2024/11/04, Accepted: 2025/03/04)

Abstract

Increasing awareness of the physiological traits effective in the formation of seed yield in different irrigation conditions can be a suitable criterion for selecting these traits to improve seed yield in these conditions. In order to investigate the changes of these parameters and their relationship with the yield in chiti beans, an experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications in 5 and 9 day irrigation cycles at the Khairabad Zanjan research station in the crop year 2023-2024. Between the two irrigation conditions, a significant difference was observed in the characteristics of leaf temperature, transpiration, photosynthetic water use efficiency, water use efficiency, and yield. The studied genotypes showed significant differences in leaf temperature, substomatal CO₂, photosynthetic water consumption efficiency, and yield, which indicates the existence of genetic diversity between genotypes in terms of these traits. Genotypes G1, G2, G4, G9, and G12 showed higher photosynthesis rates, stomatal conductance, water use efficiency, and mesophilic conductance than other genotypes. Genotypes G10, G15 and G8 had the highest yield compared to other genotypes. The highest efficiency of photosynthetic water consumption was related to G16 and G14 genotypes, and the lowest was related to G2 and G10 genotypes. The highest rate of photosynthesis was related to G4 and G13 genotypes, and the lowest rate was related to G11 and G14 genotypes. No significant correlation was observed between yield and any of the investigated physiological traits in both irrigation conditions. The rate of photosynthesis had a significant positive relationship with mesophilic conductance and water use efficiency in both irrigation conditions. Photosynthesis rate had a significant positive correlation with the transpiration and stomatal conductance in the irrigation cycle of 9 days, and in the irrigation of the 5-day cycle, there was a positive and non-significant correlation. In both irrigation conditions, sub-stomatal CO₂ and leaf temperature with a negative coefficient and transpiration with a positive coefficient justified the changes in photosynthesis. In irrigation of a 9-day cycle, stomatal conductance with a negative coefficient is also involved in justifying the changes in photosynthesis. Due to the existence of variation in some photosynthetic indices in genotypes, this test can be performed in different stress conditions and used to select efficient genotypes in stress conditions.

Keywords: Chiti beans, Irrigation cycle, Photosynthesis, Transpiration

Corresponding author, Email: s.shobeiri@yahoo.com