تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۵۰۲-۴۸۷

مقاله پژوهشی

بررسی اثر سطوح آبیاری، تراکم بوته و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوار (*Cyamopsis Tetragonoloba* L.)

محسن شاه قاسی[۱]، محمدجواد ثقه‌الاسلامی[۲*]، سیدغلامرضا موسوی[۲]، فاطمه نخعی[۲]

۱- دانشجوی دکتری، گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- مرکز تحقیقات کشاورزی، گیاهان دارویی و علوم دامی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

* مسئول مکاتبه: Mjseghat@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ /۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.326353.1184**

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک بر گوار، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مشهد در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. سطوح آبیاری (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع) به عنوان عامل اصلی و فاکتوریل سطوح تراکم (۴/۴، ۶/۷ و ۱۳/۳ بوته در متر مربع) و اسید سالیسیلیک (عدم کاربرد و کاربرد با غلظت یک و نیم میلی‌مولار) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با کاهش میزان آبیاری در تیمار ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع عملکرد دانه در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد، حدود ۴۱ درصد کاهش یافت (از ۹۳۷/۲۷ به ۵۵۲/۶۲ کیلوگرم در هکتار). با کاهش تراکم بوته در سطوح آبیاری زیاد و متوسط، تولید دانه در غلاف به طور معنی‌دار افزایش یافت، اما افزایش تراکم، عملکرد دانه را کاهش داد. بیشترین تعداد غلاف در بوته (۴۷/۷۳)، تعداد غلاف در متر مربع (۳۴۷/۳)، وزن هزار دانه (۴۴/۳۳ گرم) و عملکرد بیولوژیک (۲۵۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تأمین آب زیاد و کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد. هم‌چنین تیمارهای کم‌آبیاری در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک، کاهش عملکرد بیولوژیک گوار را به دنبال داشت. در مجموع با توجه به محدودیت منابع آبی، آبیاری معادل ۷۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با تراکم ۴/۴ بوته در متر مربع در شرایط مشهد برای این گیاه توصیه می‌شود. هم‌چنین مصرف اسید سالیسیلیک در این گیاه، توجیهی ندارد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، شاخص برداشت، عملکرد دانه، غلاف

مقدمه

استفاده روزافزون از گیاهان دارویی و فرآورده‌های حاصل از آن نقش این گیاهان را در چرخه اقتصادی جهان پررنگ‌تر کرده است؛ به‌طوری‌که مصرف فزاینده آن‌ها تنها به کشورهای در حال توسعه محدود نبوده بلکه در کشورهای پیشرفته نیز توسعه فراوانی یافته‌اند (Forootan, 2011).

گیاه گوار با نام علمی *Cyamopsis tetragonoloba* از خانواده Fabaceae گیاهی علفی، دارویی و یک‌ساله است (Abidi *et al*., 2015). گوار گیاهی مقاوم به کم‌آبی (Lakshmi Sudhir *et al*., 2016) و شوری (Kalyani and Sunitha, 2011) است. این گیاه در دماهای بالا (حداکثر ۵۰ درجه سانتی‌گراد) و در خاک‌های ضعیف و مراقبت کم زراعی می‌تواند به خوبی رشد کند و وارد مرحله بذردهی شود (Pathak and Roy, 2015) و به واسطه سیکل کوتاه زندگی سه تا پنج ماهه (بهار و تابستان) مناسب اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و از جمله ایران است. از این گیاه در صنایع آرایشی و بهداشتی برای تولید کرم‌های نرم‌کننده، در صنایع پزشکی، صنایع غذایی و صنایع پتروشیمی استفاده می‌گردد (Kapur, 2012). هم‌چنین از فرآورده‌های حاصل از صمغ گوار در کاهش وزن، کاهش قند خون، برطرف کردن چاقی و کم‌اشتهایی استفاده می‌شود (Sharma *et al*., 2011). عصاره اتانولی تهیه شده از پودر بذر گوار دارای اثرات ضد سرطانی و خواص آنتی اکسیدانی است (Badr *et al*., 2014; Kobeasy *et al*., 2011). هم‌چنین بذر گوار حاوی مقدار زیادی مواد معدنی شامل آهن، پتاسیم، کلسیم، مس و برخی ویتامین‌ها می‌باشد (Sharif *et al*., 2014).

مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی و دارویی به عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها و وظایف محققین و کشاورزان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است (Mirzaei *et al*., 2005).

از جمله روش‌های به‌زراعی مناسب در شرایط کم‌آبی می‌توان به کاربرد ترکیبات مختلف کاهنده اثرات تنش اشاره کرد. علاوه بر این تراکم مناسب جهت استفاده بهینه از نور و سایر منابع به همراه اجتناب از رقابت بین بوته‌ای، نیز در این شرایط توصیه می‌شود.

اسید سالیسیلیک (۲- هیدروکسی بنزوئیک اسید با فرمول $c_7H_6o_3$) از ترکیبات فنولی و یکی از هورمون‌های گیاهی است که در همه اندام‌های گیاهی وجود دارد و می‌توان آن‌را به عنوان مولکول پیام‌رسان داخلی در نظر گرفت که در پاسخ‌های اختصاصی به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد (Amirikia and Jamshidi, 2018) اسید سالیسیلیک در تنظیم فرآیندهای متفاوت گیاهان شامل رشد و نمو، جوانه‌زنی بذر، جذب و انتقال یون، توزیع عناصر، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تنفس و گل‌دهی نقش مهمی ایفا می‌کند (Amirikia and Jamshidi, 2018) و کاربرد آن امروزه به صورت محلول‌پاشی در مزرعه جهت افزایش تحمل گیاه به تنش کم‌آبی مورد توجه قرار گرفته است.

نتایج پژوهشی (Tabiey *et al.*, 2014) نشان داد که دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، بیوماس، عملکرد دانه و شاخص برداشت عدس‌الملک (*Securigera securidaca*) داشت. هم‌چنین تحقیقات نشان داد که اثر کم‌آبیاری بر تعداد وزن دانه، تعداد غلاف بارور، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) معنی‌دار بود (Karim Zade *et al.*, 2017).

در تحقیقی که برای تعیین واکنش سه رقم گوار BR-99، S-4002 و BR-99 Super به فواصل کشت ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر انجام شد، مشخص گردید که بیشترین عملکرد دانه گوار مربوط به حداکثر تراکم بوته در واحد سطح بود (Akhtar *et al.*, 2012). در بررسی مشابه دیگری روی گوار مشاهده شد افزایش تراکم بوته، عملکرد دانه را به طور معنی‌داری افزایش داد (Ramanjaneyulu *et al.*, 2018) در بررسی اثر تراکم بوته و کاربرد اسید هیومیک بر رشد و عملکرد گوار مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه، ماده خشک، ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ از تراکم ۹۵ بوته در متر مربع و کاربرد ۱۵ کیلو گرم در هکتار اسید هیومیک بدست آمد، ولی وزن هزار دانه، شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (Ahmadi, 2017). افزایش معنی‌دار عملکرد دانه سویا (*Glycine max*) نیز با افزایش تراکم از ۳۰ به ۴۰ بوته در متر مربع گزارش شد (Sadeghi *et al.*, 2015). افزایش تعداد بوته در واحد سطح، می‌تواند کاهش تعداد غلاف‌های بوته را جبران کند و تعداد غلاف در متر مربع را افزایش دهد (Deka *et al.*, 2015). در بررسی تأثیر سطوح آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد در شنبلیله (*Trigonella foenum- graceum*) نتایج نشان داد با افزایش تراکم از ۲۲ به ۶۶ بوته در متر مربع عملکرد دانه و بیوماس به طور معنی‌داری افزایش یافت (Khosravi *et al.*, 2014).

هم‌چنین گزارش شده است محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در باقلا (*Vicia faba*) باعث افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف گردید (Khan *et al.*, 2010). افزایش ۹ درصدی وزن هزار دانه در ذرت (*Zea mays*) با کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نیز گزارش شده است (Taheri Oshtrinani and Fathi, 2016). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گندم با افزایش سطح برگ و اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه، افزایش وزن هزار دانه را باعث می‌گردد (Shakirova *et al.*, 2003). در بررسی تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در گلرنگ گزارش شده مصرف اسید سالیسیلیک بر عملکرد بیولوژیک گلرنگ اثر معنی‌داری نداشت، اما تنش کم‌آبی کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک را باعث گردید (Farjam *et al.*, 2014).

باتوجه به موارد فوق، انجام تحقیقات به‌زراعی به ویژه تعیین عکس‌العمل گیاه به سطوح آبیاری، تراکم مناسب و نیز چگونگی واکنش گیاه به اسید سالیسیلیک می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد اقتصادی گیاهان داشته باشد و از آنجایی‌که گیاه گوار به عنوان یک گیاه جدید با پتانسیل‌های ویژه برای کاشت در ایران مورد توجه قرار گرفته است انجام این مطالعه می‌تواند نقش مؤثری در یافتن روش‌های افزایش عملکرد آن داشته باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه شخصی واقع در ۲۰ کیلومتری جاده مشهد- چناران در استان خراسان رضوی با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۰۷۸ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. قبل از اجرای آزمایش نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام شد که نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است.

این آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در سه تکرار اجرا شد. آبیاری در چهار سطح (تأمین ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع) به عنوان عامل اصلی و سطوح تراکم (۴/۴، ۶/۷ و ۱۳/۳ بوته در متر مربع) و اسید سالیسیلیک (عدم کاربرد و محلول‌پاشی با غلظت یک و نیم میلی‌مولار) به صورت فاکتوریل در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که به ترتیب تراکم‌های ۱۳/۳، ۶/۷ و ۴/۴ بوته در متر مربع را باعث گردید. طول هر کرت آزمایشی ۴ متر و عرض آن ۳ متر و شامل شش ردیف کاشت بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1- Result of soil analysis for the experiment location

مشخصات Characteristics	مقدار Value	واحد Unit	مشخصات Characteristics	مقدار Value	واحد Unit
بافت خاک Soil texture	سیلتی-لوم Silt-Loam		پتاسیم قابل جذب K	494	mg/kg
درصد شن Sand	26	%	فسفر قابل جذب P	30	mg/kg
درصد سیلت Silt	52	%	نیتروژن کل Total nitrogen	0.09	%
درصد رس Clay	22	%	کربن آلی Organic carbon	0.92	%
درصد آهک CaCo3	11.9	%	واکنش خاک pH	7.79	
هدایت الکتریکی EC	1.46	dS/m			

عملیات تهیه زمین در اوایل اردیبهشت‌ماه انجام شد و بذور به صورت خشکه‌کاری با تراکم زیاد در تاریخ ۱۳۹۶/۳/۱۵ کشت شد. در مرحله چهار برگی از طریق تنک کردن تراکم‌های مورد نظر ایجاد گردید. اولین آبیاری نیز در همین تاریخ انجام شد. آبیاری توسط نوار تیپ صورت پذیرفت. اعمال تیمارهای آبیاری در مرحله چهار برگی و پس از تنک کردن صورت گرفت. در طول عملیات داشت دو مرتبه به صورت وجین دستی با علف‌های هرز مبارزه شد. آفت و بیماری خاصی نیز در مزرعه مشاهده نگردید. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در ابتدای مرداد هم‌زمان با شروع گل‌دهی و هم‌چنین دو هفته پس از آن، هم‌زمان با شروع غلاف‌دهی، صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد ۸ بوته از دو خط میانی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای به طور تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش تعیین شد. برای تعیین اجزای عملکرد و عملکرد دانه دو متر مربع از قسمت میانی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای و هم‌زمان با رسیدگی فیزیولوژیکی که غلاف‌ها به رنگ زرد متمایل می‌شوند، برداشت شده و غلاف‌های آن‌ها پس از جداسازی شمارش گردید. هم‌چنین از غلاف‌های برداشت شده هر کرت، تعداد ۲۰ غلاف به طور تصادفی انتخاب و تعداد دانه‌های آن‌ها شمارش شد تا میانگین تعداد دانه در غلاف بدست آید. دانه‌های همه غلاف‌های برداشت شده از مساحت ۲ متر مربع پس از خشک شدن جداسازی و بوجاری شد تا عملکرد دانه گوار در واحد سطح بدست آید. از توده بذور بوجاری شده با استفاده از دستگاه بذرشمار، تعداد ۱۰۰۰ بذر جدا شده و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. عملکرد بیولوژیک نیز از مجموع وزن غلاف با دانه و وزن شاخ و برگ بدست آمد. شاخص برداشت نیز از رابطه زیر محاسبه شد:

شاخص برداشت = عملکرد دانه/عملکرد بیولوژیک × ۱۰۰

پس از جمع‌آوری داده‌ها، نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل آبیاری و تراکم بوته، ارتفاع بوته را به طور معنی‌داری و در سطح یک درصد تحت تأثیر قرار داد و اثر ساده اسید سالیسیلیک نیز بر صفت ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک ارتفاع بوته را به طور معنی‌دار و به میزان ۶/۹ درصد افزایش داد (جدول ۳). در پژوهشی کاربرد غلظت ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۵ درصدی و معنی‌دار ارتفاع بوته رازیانه نسبت به شرایط عدم کاربرد (شاهد) شد (Salarpour Gharba and Farahbakhsh, 2013). این محققین معتقدند که اسید سالیسیلیک از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به نام پروتئین کیناز که وظیفهٔ تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول را بر عهده دارد، فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم می‌کند و نقش مؤثری در افزایش ارتفاع گیاه دارد. هم‌چنین گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک به طور معنی‌داری نشت یونی و تجمع یون‌های سمی را در گیاهان کاهش می‌دهد و سبب افزایش سیتوکینین‌ها نیز می‌شود (Krantev *et al.*, 2008) که می‌تواند تأثیر مثبتی بر رشد طولی گیاه داشته باشد.

جدول ۲- میانگین مربعات تأثیر سطوح آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گوار

Table 2- Mean square for the effect of irrigation levels, plant density and salicylic acid on seed yield and yield components of guar

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد غلاف در متر مربع Pod number per m^2	تعداد دانه در غلاف Seed number per pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biomass yield	شاخص برداشت Harvest index	شاخص سطح برگ Leaf area index
تکرار replication	2	58.597 *	113.42 **	5854.1 **	0.02722 ns	3.5817 ns	569608.1 **	208932.1 **	1209.6 **	0.1844 ns
آبیاری Irrigation (A)	3	972.056 **	1540.1 **	82439.02 **	8.1498 **	2.832 ns	554944.01 **	809536.1 **	752.17 **	16.1639 **
خطای اول Error a	6	11.097	10.63	710.14	0.00704	5.3465	27189.12	54891.5	78.57	0.0256
تراکم بوته Plant density (B)	2	382.35 **	2521.75 **	128748.04 **	1.22597 **	2.4817 ns	55030.31 ns	14230497.3 **	3796.36 **	31.926 **
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (C)	1	162.00 **	774.21 **	34516.51 **	0.000001 ns	0.0939 ns	19227.35 ns	6866230.2 **	2600.27 **	1.856 **
A*B	6	105.18 **	41.27 **	2118.0 **	0.34356 **	4.3654 ns	10188.04 ns	40805.02 ns	13.04 ns	4.334 **
A*C	3	9.333 ns	52.61 **	2362.23 **	0.01074 ns	26.2143 **	17339.08 ns	155689.3 **	1.25 ns	0.0171 ns
B*C	2	23.63 ns	60.33 **	490.01 ns	0.00292 ns	1.1089 ns	17574.16 ns	92636.05 *	255.48 *	0.1901 ns
A*B*C	6	14.46 ns	10.07 ns	314.1 ns	0.00644 ns	3.3659 ns	1313.098 ns	24955.4 ns	18.34 ns	0.095 ns
خطای دوم Error b	40	12.64	4.64	272.02	0.01308	5.4588	17388.25	23824.03	74.78	0.0683
ضریب تغییرات (%) CV		7.9	5.7	6	7.1	5.5	17.3	8.3	20.6	8.4

**، * و n.s به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns are significant at 5% and 1% probability and non-significant.

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و تراکم نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۵۹/۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار تأمین ۷۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تراکم ۴/۴ بوته در متر مربع بود. هم‌چنین کمترین ارتفاع بوته نیز در تیمار تأمین ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با تراکم ۶/۷ بوته در متر مربع، به دست آمد (جدول ۴). کاهش ارتفاع نهایی بوته با

کاهش رطوبت خاک را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه تنش کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دست‌یابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد. از سوی دیگر به نظر می‌رسد این نتایج با نتایج برخی محققین دیگر که افزایش ارتفاع بوته در تراکم‌های بالا را در حبوبات گزارش کرده‌اند، متفاوت است (Ahmadi, 2017; Akhtar *et al.*, 2012; Deka *et al.*, 2015). این موضوع می‌تواند ناشی از عدم حاصل‌خیزی مناسب خاک باشد که نتوانسته است رشد کافی برای افزایش ارتفاع بوته را در شرایط رقابتی ناشی از تراکم‌های بالا تأمین کند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیگ، عملکرد و اجزای عملکرد گوار

Table 3- Means comparison for the simple effects of irrigation, plant density and salicylic acid on yield and yield components of guar

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant density (cm)	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد غلاف در متر مربع Pod number per m^{-2}	تعداد دانه در غلاف Seed number per pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	شاخص سطح برگ Leaf area index
آبیاری (درصد نیاز آبی) Irrigation (%Water requirement)								
25	38.17 b	25.25 d	184.0 d	5.94 c	41.66 a	552.62 c	36.69 b	2.18 d
50	38.72 b	35.96 c	263.4 c	6.00 b	42.38 a	689.04 b	36.15 b	2.42 c
75	51.17 a	42.72 b	314.0 b	6.97 a	42.39 a	874.30 a	48.40 a	3.85 b
100	51.17 a	46.28 a	336.7 a	7.27 a	42.53 a	937.28 a	48.68 a	4.01 a
تراکم (بوته در متر مربع) Density ($Plant.m^{-2}$)								
13.3	42.00 b	26.45 c	352.6 a	6.38 b	41.93 a	725.84 b	28.80 c	4.41 a
6.7	43.04 b	39.56 b	263.7 b	6.46 b	42.22 a	746.83 ab	43.29 b	2.74 b
4.4	49.37 a	46.65 a	207.3 c	6.80 a	42.57 a	817.26 a	53.85 a	2.19 c
اسید سالیسیلیک Salicylic acid								
شاهد عدم محلول پاشی Not foliar application	43.31 b	34.27 b	252.7 b	6.55 a	43.20 a	746.97 a	35.97 a	2.96 b
محلول پاشی Foliar application (1.5 mM)	46.31 a	40.83 a	296.5 a	6.55 a	42.28 a	779.65 a	47.99 a	3.26 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with at least one same letter at each column, are not significantly different on the basis of Duncan test at 5% probability level

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و تراکم بوته در سطح یک درصد شاخص سطح برگ را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). با کاربرد اسید سالیسیلیک، شاخص سطح برگ به میزان ۱۰/۸ درصد افزایش یافت (جدول ۳). در تحقیقی محلول پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش سلول‌های پارانشیم نردبانی در گیاه سویا شد و میزان سطح برگ را افزایش داد (Bagher and Mohammad Ali Pour, 2011).

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و تراکم بوته نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ با میانگین ۶/۱، در تیمار آبیاری کامل و تراکم ۱۳/۳ بوته در متر مربع بدست آمد که از برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود. هم‌چنین کمترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار آبیاری معادل ۲۵

درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با تراکم ۶/۷ بوته در متر مربع بود (جدول ۴). در شرایط تنش کم‌آبی کاهش توان فتوسنتزی گیاه به علت بسته شدن روزنه‌ها از یک‌سو و کاهش تورژسانس سلولی و تقسیم سلولی از سوی دیگر باعث می‌شود تا گیاه دارای برگ‌های کوچک و توسعه‌نیافته باشد و بنابراین شاخص سطح برگ در مزرعه کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد در شرایط تأمین آب معادل ۱۰۰ و ۷۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به علت وجود شرایط بهتر برای جذب آب و مواد غذایی از خاک، شاخص سطح برگ گیاه با افزایش تراکم بهبود یافته است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و تراکم بوته بر ارتفاع و برخی اجزای عملکرد گوار

Table 4- Means comparison for the interaction of irrigation levels and plant density on yield and yield components of guar

تیمارها Treatments		ارتفاع بوته Plant density (cm)	شاخص سطح برگ LAI	تعداد دانه در غلاف Seed number per pod	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد غلاف در متر مربع Pod number per m^{-2}	شاخص برداشت Harvest index (%)
آبیاری (درصد نیاز آبی) Irrigation (%Water requirement)	تراکم (بوته در متر مربع) Density (Plant.m^{-2})						
100	13.3	52.50 b	6.19 a	6.87 d	32.10 f	428.0 a	6.19 a
	6.7	47.00 c	3.37 c	7.02 bc	48.53 c	323.6 c	3.37 c
	4.4	54.00 b	2.46 e	7.93 a	58.20 a	258.7 e	2.46 e
75	13.3	42.50 d	5.87 b	6.82 e	30.63 f	408.4 b	5.87 b
	6.7	51.50 b	3.34 c	6.95 cd	45.07 d	300.5 d	3.24 c
	4.4	59.50 a	2.44 e	7.13 b	52.45 b	258.3 e	2.44 e
50	13.3	40.17 de	2.70 de	6.00 fgh	25.28 g	337.1 c	2.70 de
	6.7	33.50 f	2.57 de	5.95 ghi	38.75 e	233.1 f	2.57 de
	4.4	42.50 d	1.99 f	6.07 fg	43.85 d	194.9 g	1.99 f
25	13.3	37.00 ef	2.87 d	5.86 i	17.77 h	236.9 f	2.87 d
	6.7	36.00 f	1.81 f	5.88 hi	25.88 g	172.6 h	1.81 f
	4.4	41.50 d	1.87 f	6.08 f	32.10 f	142.7 i	1.87 f

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with at least one same letter at each column, are not significantly different on the basis of Duncan test at 5% probability level.

اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل دوگانه آن‌ها در سطح یک درصد بر تعداد غلاف در بوته و اثر ساده آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و تراکم بوته و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد بر تعداد غلاف در متر مربع معنی‌دار بود (جدول ۲). هم‌چنین اثر ساده آبیاری و تراکم بوته و اثر متقابل دوگانه آن‌ها بر تعداد دانه در غلاف و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه گوار در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف با میانگین ۷/۲ عدد مربوط به آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) بود و تأمین ۵۰ و ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، کاهش معنی‌دار و به ترتیب ۱۷/۵ و ۱۸/۳ درصدی این صفت را باعث شد (جدول ۳). احتمالاً در شرایط کم‌آبی به علت کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به غلاف، تعداد دانه در غلاف به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. به عبارتی بروز تنش کم‌آبی در طی رشد گیاه از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرآیند شده و باعث کاهش تعداد دانه در غلاف می‌گردد.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و تراکم نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف با میانگین‌های به ترتیب ۵۸/۲ و ۷/۹ در تیمار آبیاری کامل و تراکم ۴/۴ بوته در متر مربع مشاهده شد، اما بیشترین تعداد غلاف در متر مربع با میانگین ۴۲۸ مربوط به تیمار آبیاری کامل و تراکم ۱۳/۳ بوته در متر مربع بود (جدول ۳). زیاد بودن تعداد غلاف در متر مربع در تراکم بالا ناشی از بیشتر بودن تعداد بوته تولید کننده غلاف در این تیمار بوده است، در هر حال افزایش تعداد غلاف در بوته در تراکم‌های کم بر اثر کاهش رقابت،

نتوانست کاهش تولید غلاف در متر مربع را به دلیل کاهش تعداد بوته‌ها در تراکم‌های پایین، جبران کند.

به نظر می‌رسد که با کاهش تراکم بوته از ۱۳/۳ به ۴/۴ بوته در متر مربع در سطوح آبیاری تأمین ۱۰۰ و ۷۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به علت کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در متر مربع و کاهش رقابت مخازن فیزیولوژیکی و نیز افزایش توان فتوسنتزی بوته‌ها به علت کاهش رقابت بین بوته‌ای، پتانسیل تولید دانه در غلاف به طور معنی‌دار و به ترتیب ۱۵/۴ و ۴/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۴).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و تراکم بوته بر تعداد غلاف در متر مربع بیانگر آن بود که افزایش تراکم بوته در همه سطوح آبیاری، افزایش معنی‌داری این صفت را به دنبال داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش تعداد بوته از ۴/۴ به ۱۳/۳ بوته در متر مربع در سطوح مختلف آبیاری، هر چند به علت رقابت بین بوته‌ای تعداد غلاف در بوته به طور معنی‌داری کاهش یافت اما افزایش تراکم بوته در واحد سطح در این تحقیق به گونه‌ای بوده است که در نهایت تعداد غلاف در متر مربع به طور معنی‌داری افزایش یافت. به عبارتی با افزایش تعداد بوته گوار در سطوح مختلف آبیاری، استفاده بهتری از نور و سایر منابع در جهت افزایش تولید غلاف در واحد سطح شده است (جدول ۴). در آزمایشی که به منظور بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و تراکم بوته در خصوص منداب انجام شد نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار آبیاری کامل با تراکم حداقل (۵۰ بوته در متر مربع) و بیشترین تعداد غلاف در متر مربع در تیمار آبیاری کامل با تراکم حداکثر (۱۵۰ بوته در متر مربع) بدست آمد (Ghavampoor and Moosavi, 2017).

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد غلاف در متر مربع در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و کاربرد اسید سالیسیلیک با میانگین‌های به ترتیب ۴۷/۷ و ۳۴۷/۲ عدد بدست آمد و تیمار تأمین ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک با کمترین تعداد غلاف در بوته و تعداد غلاف در متر مربع با کاهش معنی‌دار به ترتیب ۵۴ و ۵۳/۳ درصدی در صفات مذکور نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و کاربرد اسید سالیسیلیک مواجه گردید (جدول ۴). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن بود که هر چند کاربرد اسید سالیسیلیک در همه سطوح آبیاری منجر به افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته و تعداد غلاف در متر مربع گردید اما تأثیر مثبت کاربرد این اسید در شرایط تأمین ۲۵ و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر صفات مذکور به مراتب بیشتر از کاربرد این اسید در شرایط تأمین ۷۵ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع بود به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به خصوص در شرایط تنش کمبود آب، باعث افزایش میزان فتوسنتز و تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه می‌شود و با افزایش میزان مواد فتوسنتزی در گیاه، تعداد غلاف در بوته و تعداد غلاف در متر مربع تقویت شده و افزایش می‌یابد. برخی محققین معتقدند که استفاده از اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی باعث تأثیر بر بعضی از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، سنتز کلروفیل و پروتئین، جذب و انتقال عناصر می‌گردد (Arvin *et al*., 2011; Klessing and Malamy, 1994) که می‌تواند مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی را افزایش داده و سبب بهبود اجزای عملکرد در این شرایط شود. به عبارتی هر چند در شرایط تنش کم‌آبی به علت کاهش رشد رویشی و قدرت فتوسنتزی گیاه و نیز کاهش توان باروری دانه گرده، توان تولید غلاف در گیاه گوار کاهش یافت اما محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک اثر تعدیل‌کننده‌ای بر اثرات منفی تنش خشکی داشت. در بررسی تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و تنش کم‌آبی بر صفات لوبیا چشم بلبلی نیز بیان شده اثر متقابل تنش کم‌آبی و کاربرد اسید سالیسیلیک بر صفات تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته معنی‌دار شد و کاربرد ۴۵۰ میکرومول این اسید در سطوح مختلف آبیاری، افزایش معنی‌دار صفات مورد اشاره را باعث شد (Afshari *et al*., 2013).

در مورد صفت وزن هزار دانه، تنها اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). در تیمار آبیاری معادل ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت به شرایط عدم کاربرد، سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه از ۴۰/۷۳ به ۴۴/۳۳ به میزان حدود ۹ درصد شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به علت کاهش دوره پرشدن دانه و پیری زودرس گیاه باشد.

در پژوهش‌های دیگری (Qushchi *et al*., 2010; Soleimanipour *et al*., 2009) نیز کاهش وزن هزار دانه کلزا در شرایط کم‌آبی گزارش شده است.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تراکم و اسید سالیسیلیک نشان داد بیشترین تعداد غلاف در بوته (۵۰/۹)، مربوط به تیمار تراکم ۴/۴ بوته در متر مربع و کاربرد اسید سالیسیلیک بود که از برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود؛ به‌طوری‌که تعداد غلاف در بوته در این تیمار، نسبت به تیمار تراکم ۱۳/۳ بوته در متر مربع و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک، ۲/۰۳ برابر بود (جدول ۶). هم‌چنین کاربرد اسید سالیسیلیک در همه تراکم‌های مورد مطالعه اثر مثبت و معنی‌داری بر این صفت نشان داد؛ به‌طوری‌که کاربرد اسید سالیسیلیک در تراکم‌های ۴/۴، ۶/۷ و ۱۳/۳ بوته در متر مربع باعث افزایش به ترتیب ۲۰/۴، ۲۲/۹ و ۱۱/۶ درصدی تعداد غلاف در بوته گوار نسبت به شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد کاربرد اسید سالیسیلیک به ویژه در تراکم‌های کم که امکان تولید و رشد بیشتر انشعابات ساقه اصلی وجود دارد و رقابت بین بوته‌ای کمتری مشاهده می‌گردد، از طریق تحریک رشد رویشی گیاه امکان لازم برای افزایش تعداد غلاف در بوته را فراهم نموده است. در حقیقت هر چند با افزایش تراکم بوته امکان شاخه‌زنی کاهش می‌یابد، اما کاربرد اسید سالیسیلیک توانسته است افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته را باعث شود. احتمالاً در تراکم زیاد به جهت متراکم بودن برگ‌ها، جذب کافی اسید سالیسیلیک به منظور اثر بخشی آن صورت نگرفته است.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده آبیاری در سطح یک درصد بر عملکرد دانه گوار معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۹۳۷/۲۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد تأمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع بود. با کاهش آبیاری در تیمارهای تأمین ۵۰ و ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، عملکرد دانه نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به ترتیب ۳۶ و ۶۹/۶ درصد کاهش یافت (جدول ۳). احتمالاً کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر که منجر به کاهش دوره رشد رویشی و تعداد انشعابات ساقه اصلی می‌گردد را می‌توان به عنوان دلایل کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش کم‌آبی مطرح کرد. از سوی دیگر تیمار آبیاری معادل ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع از بیشترین شاخص سطح برگ نیز برخوردار بود (جدول ۳). شاخص سطح برگ زیاد، سبب افزایش جذب نور و فتوسنتز بیشتر شده و مواد پرورده بیشتری را در اختیار مقصدهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله غلاف و دانه قرار می‌دهد. مقایسه اجزای عملکرد دانه نیز نشان می‌دهد تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در متر مربع در این تیمار نسبت به سایر تیمارهای آبیاری بیشتر بود (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری در نتیجه تسریع پیری گیاه و کاهش طول دوره پر شدن دانه معرفی شده است (Kafi and Mahdavi Damghani, 2002) . هم‌چنین احتمالاً افزایش تولید آبسیزیک اسید و ارسال آن از ریشه به برگ در شرایط تنش کم‌آبی و القای بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه آن کاهش فتوسنتز خالص نیز در کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک مؤثر است. در شنبلیله (Khosravi *et al*., 2014) نیز کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را در شرایط تنش کم‌آبی گزارش شده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ و تعداد برگ‌های فعال، سطح جذب دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد (Golombek and Al-Ramamneh, 2002). در این آزمایش نیز کم‌آبیاری سبب کاهش شاخص سطح برگ شد (جدول ۲). نتیجه این امر کاهش توان فتوسنتزی و زایشی گیاه است که در نهایت منجر به کاهش تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در متر مربع شده و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد اثرات ساده و متقابل تراکم با آبیاری و اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). اگر چه در تراکم زیاد تعداد غلاف در متر مربع افزایش یافت و انتظار افزایش عملکرد وجود داشت، اما احتمالاً به دلیل افزایش رقابت بین بوته‌ای در تراکم‌های زیاد، باروری در برخی از غلاف‌ها رخ نداده و در واقع اگر چه غلاف وجود داشته است، اما برخی غلاف‌ها در تراکم زیاد خالی و بدون دانه بوده‌اند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر عملکرد بیولوژیک و برخی اجزای عملکرد گیاه گوار

Table 5- Means comparison for the interaction of irrigation levels and salicylic acid on yield and yield components of guar

تیمارها Treatments		وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد غلاف در متر مربع Pod number per m^{-2}	عملکرد بیولوژیک Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)
آبیاری (درصد نیاز آبی) Irrigation (%Water requirement)	اسید سالیسیلیک Salicylic acid				
100	محلول پاشی Foliar application (1.5 mM)	44.33 a	47.73 a	347.3 a	2543.3 a
	عدم محلول پاشی Not foliar application	40.73 c	44.82 b	326.2 b	1817.1 cd
75	محلول پاشی Foliar application (1.5 mM)	42.22 abc	45.51 b	331.7 ab	2272.8 b
	عدم محلول پاشی Not foliar application	42.57 abc	39.92 c	296.3 c	1702.5 d
50	محلول پاشی Foliar application (1.5 mM)	40.87 bc	41.52 c	301.04 c	2531.6 a
	عدم محلول پاشی Not foliar application	42.44 abc	30.40 d	225.9 d	1735.1 d
25	محلول پاشی Foliar application (1.5 mM)	41.69 bc	28.56 d	205.8 e	1891.9 c
	عدم محلول پاشی Not foliar application	43.08 ab	21.94 e	162.5 f	1520.6 e

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with at least one same letter at each column, are not significantly different on the basis of Duncan test at 5% probability level

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم بوته و اسید سالیسیلیک بر عملکرد بیولوژیک و برخی اجزای عملکردی گیاه گوار

Table 6- Means comparison for the interaction of plant density and salicylic acid on yield and yield components of guar

تیمارها Treatments		تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	عملکرد بیولوژیک Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
تراکم (بوته در متر مربع) Density ($Plant.m^{-2}$)	اسید سالیسیلیک Salicylic acid			
13.3	محلول پاشی Foliar application (1.5 mM))	27.90 d	3235.7 a	25.2 e
	عدم محلول پاشی Not foliar application	24.99 e	2495.8 b	32.4 d
6.7	محلول پاشی Foliar application (1.5 mM)	43.63 b	2066.7 c	38.6 cd
	عدم مصرف Non using	35.49 c	1445.2 e	48.00 b
4.4	محلول پاشی Foliar application (1.5 mM)	50.97 a	1631.9 d	44.13 bc
	عدم محلول پاشی Not foliar application	42.33 b	1140.4 f	63.57 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with at least one same letter at each column, are not significantly different on the basis of Duncan test at 5% probability level

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد و اثر متقابل تراکم بوته و اسید سالیسیلیک در سطح پنج درصد عملکرد بیولوژیک را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک (جدول ۵) نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۲۵۴۳/۳ کیلوگرم در هکتار در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع گیاه و کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد که هر چند با تیمار تأمین ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و کاربرد اسید سالیسیلیک در یک گروه آماری قرار گرفت اما از برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود. هم‌چنین کمترین عملکرد بیولوژیک (۱۵۲۰/۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و عدم مصرف اسید سالیسیلیک بود. در هر حال در تمام تیمارهای آبیاری مصرف اسید سالیسیلیک به طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک را افزایش داد. این افزایش در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به ترتیب حدود ۴۰، ۳۳، ۴۵ و ۲۵ درصد بود. لازم به ذکر است که در سطوح مختلف آبیاری کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار این صفت گردید (جدول ۴). تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح و دوام برگ‌ها و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی و فتوسنتز گیاه (Lack, 2013)، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب کاهش عملکرد بیولوژیک شده است. هم‌چنین تنش خشکی با تأثیر بر آنزیم‌های مؤثر در فرآیند فتوسنتز، بستن منفذ روزنه‌ها و کاهش میزان فتوسنتز باعث کاهش قدرت منبع می‌گردد (Robertson *et al*., 2004). از سوی دیگر با توجه به این‌که محتوی کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد (Ghosh *et al*., 2004) و تنش کم‌آبی باعث کاهش کلروفیل برگ می‌گردد، ظرفیت دریافت نور و توان فتوسنتزی گیاه کاهش یافته است (Mafakheri *et al*., 2011). به طور کلی می‌توان گفت احتمالاً تنش خشکی از طریق کاهش طول دوره رشد و کاهش شاخص سطح برگ (جدول ۳) و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز، کاهش طول دوره اسیمیلاسیون و انتقال شیره پرورده (Keshavarz *et al*., 2013) به طور معنی‌داری باعث کاهش عملکرد بیولوژیک این گیاه شده است. در مطالعه تنش کم‌آبی در نخود نیز اظهار شده که با افزایش تنش کم‌آبی، عملکرد بیولوژیک در این گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت (Ehyaee *et al*., 2011).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم و اسید سالیسیلیک (جدول ۶) نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۳۲۳۵/۶ کیلوگرم در هکتار، در تراکم ۱۳/۳ بوته در متر مربع و کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد که از برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود. هم‌چنین کمترین عملکرد بیولوژیک (۱۱۴۰/۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار تراکم ۴/۴ بوته در متر مربع و عدم مصرف اسید سالیسیلیک بود. در مجموع در هر سه تراکم مورد بررسی در این آزمایش، مصرف اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید. به نظر می‌رسد که هر چند کاهش تراکم از ۱۳/۳ به ۶/۷ و ۴/۴ بوته در متر مربع باعث شده تا شاخص سطح برگ برای جذب تابش خورشیدی و فتوسنتز در واحد سطح کاهش یافته و در نتیجه تولید ماده خشک (عملکرد بیولوژیک) کاهش یابد، اما کاربرد اسید سالیسیلیک به علت تأثیرات مثبتی که بر رشد رویشی و تعداد غلاف در واحد سطح داشته است باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک به میزان ۲۹/۶، ۴۳ و ۴۳/۱ درصد به ترتیب در تراکم‌های ۱۳/۳، ۶/۷ و ۴/۴ بوته در متر مربع گردید (جدول ۶). علت تأثیر بیشتر کاربرد این اسید در تراکم‌های پایین‌تر بر عملکرد بیولوژیک، رقابت بین بوته‌ای کمتر و داشتن فضای کافی برای تولید انشعابات بیشتر و بلندتر ساقه گیاه باشد. نتایج مشابهی در خصوص تأثیر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک بر عملکرد بیوماس گوار توسط محققین دیگر (Chamani *et al*., 2018) نیز گزارش شده است.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری، تراکم بوته و اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد و اثر متقابل تراکم بوته و اسید سالیسیلیک در سطح پنج درصد، شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی و تأمین ۵۰ و ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع شاخص برداشت به طور معنی‌داری کاهش یافت، با این وجود بین سطوح آبیاری کامل و تأمین ۷۵ درصد

تبخیر و تعرق گیاه مرجع تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به ترتیب ۴۸/۶۸، ۴۸/۴۰، ۳۶/۱۵ و ۳۶/۶۱ درصد بود (جدول ۳). می‌توان گفت که در شرایط کمبود آب هر چند عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد اما با اعمال تنش کم‌آبی شدیدتر، مقدار کاهش در عملکرد دانه به مراتب بیشتر از عملکرد بیولوژیک بوده و همین امر باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت دانه در شرایط تأمین ۵۰ و ۲۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع شده است. به عبارتی می‌توان گفت که در شرایط کمبود آب در گوار، سهم کمتری از مواد فتوسنتزی تولید شده در بوته به دانه‌های گیاه منتقل می‌گردد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم و اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین شاخص برداشت با میانگین ۶۳/۵ درصد، در تراکم ۴/۴ بوته در متر مربع و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک بدست آمد که از برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که در تراکم ۱۳/۳ بوته در متر مربع و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک کمترین شاخص برداشت دانه مشاهده شد (جدول ۶). این به آن معناست که در شرایط تراکم بالا به علت رقابت بین بوته‌ای از یک سو و رقابت درون بوته‌ای (بین بخش رویشی و زایشی) از سوی دیگر، سهم کمتری از مواد فتوسنتزی به مخازن فیزیولوژیکی (دانه‌ها) منتقل شده است. هم‌چنین در تراکم بالا به علت افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۳)، احتمالاً به علت سایه‌اندازی بیشتر لایه‌های بالای کانوپی بر بخش پائینی سایه‌انداز تنفس نگهداری در گیاه افزایش یافته و در نهایت باعث کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و کاهش شاخص برداشت دانه شده است. تأثیر کاهشی مصرف اسید سالیسیلیک بر شاخص برداشت نیز به این دلیل است که کاربرد این ترکیب از یک سو تأثیری بر عملکرد دانه نداشته است و از سوی دیگر عملکرد بیولوژیک را افزایش داده است (جدول ۳).

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی با در نظر گرفتن این موضوع که در شرایط نیمه‌خشک کاهش مصرف آب کشاورزی یکی از اولویت‌های مهم می‌باشد، می‌توان برای کشت گوار در مشهد آبیاری معادل ۷۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع را پیشنهاد نمود. هم‌چنین نظر به این‌که ظاهراً افزایش رقابت ناشی از تراکم‌های کاشت زیاد، تأثیر سوئی بر فرآیندهای زایشی و تلقیح گل‌ها و تشکیل بذر داشته است، کشت متراکم این گیاه توصیه نمی‌شود. تراکم مناسب برای تولید دانه در شرایط این آزمایش ۴/۴ بوته در متر مربع بود. در مورد اسید سالیسیلیک نیز اگرچه مصرف آن در تمام سطوح آبیاری مورد بررسی سبب بهبود عملکرد کل شد، اما از آنجا که سبب بهبود عملکرد دانه گوار نشد، کاربرد آن در این گیاه توجیهی ندارد.

References

Abidi, N., Liyanage, S., Auld, D., Imel, R.K., Norman, L., Grover, K., Angadi, S., Singla, S. and Trostle, C. 2015. Challenges and opportunities for increasing guar production in the United States to support unconventional oil and gas production. In Hydraulic Fracturing Impacts and Technologies. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2015; pp. 207-226.

Afshari, M., Shekari, F., Azimkhani, R., Habibi, H. and Fotokian, M.H. 2013. Effects of foliar application of salicylic acid on growth and physiological attributes of cowpea under water stress conditions. *Iran Agricultural Research*, 32(1): 56-70. (In Persian).

Ahmadi, N. 2017. Effect of plant density and application of humic acid on growth and yield of Guar. M.Sc. Thesis, University of Agriculture and Natural Resources of Ramin, Khuzestan. (In Persian).

Akhtar, L.H., Bukhari, S., Salah-ud-Din, S. and Minhas, R. 2012. Response of new guar strains to various row spacing. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences,* 49(4): 469-471.

Akhtar, L.H., Minhas, R.M., Bukhari, S. and Sajid Shah, S.A. 2015. Genetic analysis of some quantitative traits of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 4: 48-51.

Amirikia, F. and Jamshidi, A.M. 2018. Study of the role of salicylic acid in inducing some physiological responses of plants. 2nd International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment. (In Persian).

Arvin, M.J., Beidshki, A., Kramt, B. and Maghsodi, K. 2011. The study salicylic acid (SA) role in contrast with drought stress by affecting on morphological and physiological parameters in garlic plant. In: Proceeding of 7th Iranian Horticultural Science Congress, Isfahan Industrial University, Iran, 4-7 September. (In Persian).

Badr, S.E.A., Mohamed, S., Shahinaz, H., El-Sayed, **A.S.E., Abd, E. and Dina, M.S.** 2014. Evaluation of anticancer, antimycoplasmal activities and chemical composition of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) seeds extract. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 3(5): 413-423.

Bagheri, A.L. and Mohammad Ali Pour, Z. 2011. The effect of salicylic acid on yield components and growth of soybean (*Glycin max* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 3(8): 29-41. (In Persian).

Chamani, F., Tohidi Nejad, E. and Mohayyej, M. 2018. Effect of salicylic acid on morpho-agronomical traits of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(48): 569-580. (In Persian).

Deka, K.K., Das Milu, R., Bora, P. and Mazumder, N. 2015. Effect of sowing dates and spacing on growth and cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) in subtropical climate of Assam. *Indian Journal of Agricultural Research*, 49(3): 250-254.

Ehyaee, H., Parsa, M., Kafi, M. and Nasiri Mahallati, M. 2011. Effect of foliar application of methanol and irrigation regimes on yield and yield components of chickpea cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1(2): 37-48. (In Persian).

Farjam, S., Rokhzadi, A., Mohammadi, H. and Ghaleshakhati, S. 2014. Effect of cut irrigation tension and foliar application of salicylic acid on growth, yield and yield components of three safflower cultivars. *Crop Physiology Journal*, 6(23): 99-112.

Forootan, L. 2011. Reasons for approaching medicinal plants and the need to address related measures, challenges and solutions in this field. Regional Conference on Economic Jihad, Approaches and Strategies.

Ghavampoor, M. and Moosavi, S.G. 2017. Effect of irrigation, plant density and nitrogen levels on yield and yield components of *Eruca sativa*. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(3): 351-361. (In Persian).

Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Manna, M.C., Bandyopadhyay, K.G., Mandal, A.K. and Hati, K.M. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphor, compost and fertilizer- NPK on three cropping system in verti-soils of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bio-resource Technology*, 95: 85-93.

Golombek, S. and Al-Ramamneh, E.A.D. 2002. Drought tolerance mechanisms of pearl millet. University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany.

Kafi, M. and Mahdavi Damghani, A. 2002. Mechanisms of plants resistance to environmental stresses. Ferdowsi University of Mashhad Publications. 467p. (In Persian).

Karim Zadeh, H.A., Nezami, A. and Kafi, M. 2017. Effect of irrigation on performance and performance components genotypes cheetah beans in Shahrekord. *Iranian Cereals Research*, 8(1): 113-126. (In Persian).

Keshavarz, H., Modarressani, A.M., Zarin Kamar, F., Dolat Abadiyan, A., Panahi, M. and Sadat Asilan, K. 2012. Study of foliar application of salicylic acid on some biochemical properties of two canola cultivars (*Brassica napus* L.) under cold stress condition. *Iranian Journal Field Crop Science*, 42(4): 723-734. (In Persian).

Khan, N.A., Shabian, S., Masood, A., Nazar, A. and Iqbal, N. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*, 1: 1-8.

Khosravi, M., Moosavi, S.G. and Seghatoleslami, M. 2014. Effect of irrigation interval, nitrogen fertilizer rate and plant density on morphological traits, yield and water use efficiency of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(5): 682-691. (In Persian).

Klessig, D.F. and Malamy, J. 1994. The salicylic acid signal in plants. *Plant Molecular Biology*, 26: 1439-1458.

Kobeasy, I., Osama, M., Abdel- Fatah, M., El-Salam, S. and Zahrat El-Ola, M. 2011. Biochemical studies on *Plantago maijor* L. and *Cyamopsis tetragonoloba* L. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3(3): 83-91.

Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and Popova, L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, 165: 920-931.

Lack, S. 2013. Evaluation of physiological traits effective on seed yield of corn in different irrigation, nitrogen and plant density levels. *Crop Physiology Journal*, 5(19): 17-33.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C. and Sohrabi, Y. 2011. Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Australian Journal of Crop Sciences*, 5(10): 1255-1260.

Mirzaei, M.R., Rezvani, S.M. and Ghohari, J. 2005. Effect of drought stresses in different growth stage on yield and some physiological properties of sugar beet. *Sugar Beet Journal*, 21(1): 1-14. (In Persian).

Pathak, R. and Roy, M.M. 2015. Climatic responses, environmental indices and interrelationships between qualitative and quantitative traits in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) under arid conditions. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 85(1): 147-154.

Qushchi, F., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, G. and Hadi, H. 2010. Changes in yield and seed yield components of rapeseed cultivars in optimum and limited irrigation conditions. *Improvement Research*, 2(1): 13-28. (In Persian).

Ramanjaneyulu, A.V., Madhavi, A., Neelima, T.L., Naresh, P., Indudhar Reddy, K. and Srinivas, A. 2018. Effect of row spacing and sowing time on seed yield, quality parameters and nutrient uptake of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in semi-arid climate of southern Telanagana, India. *Legume Research*, 41(2): 287-292.

Robertson, M.J., Fukai, S. and Peoples, M.B. 2004. The effect of timing and severity of water deficit on growth development, yield accumulation and nitrogen fixation of Mung bean. *Field Crop Research*, 86(1): 67-80.

Salarpour Gharba, F. and Farahbakhsh, H. 2013. The effect of salicylic acid foliar application on some morphological traits and yield biological of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. 12th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction. September 26, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V. and Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164: 317-322.

Sharif, M., Nazar, M., Sultan, J.I., Bilal, M.Q., Shahid, M. and Hussain, A. 2014. Effect of replacing cotton seed cake with guar meal on growth performance and economics in Sahiwal calves. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(1): 28-32.

Sharma, P., Dubey, G. and Kaushik, S. 2011. Chemical and medico-biological profile of *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub: an overview. *Journal of Applied Pharmacology Science*, 1(2): 32-37.

Soleimanipour, S., Shirani Rad, A.H., Madani, H., Rezaie Zad, A. and Fareghi, S. 2009. Study the time effect of irrigation outage on agronomic traits of cultivars of winter rapeseed. *New Findings in Agriculture*, 3(3): 263-274. (In Persian).

Tabiey, H. and Baradaran, R. 2014. Investigating the effect of irrigation intervals and planting dates on agronomic characteristics lentils (*Securiger securidace* L.) in the area Birjand. *Iranian Journal of Crop Research*, 12(1): 89-90. (In Persian).

Taheri Oshtrinani, F. and Fathi, A. 2016. The impacts of mycorrhiza and phosphorus along with the use of salicylic acid on maize seed yield. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(39): 657-668.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 2, Autumn and Winter 2023, P. 487-502

To study the effect of irrigation, plant density and salicylic acid on yield and yield components of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.)

Mohsen Shahghasi[1], Mohammadjavad Seghatoleslami[2*], Seyyed Gholamreza Moosavi[2], Fatemeh Nakhaei[2]

[1] PhD Student, Department of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
[2] Agricultural, Medicinal Plants and Animal Sciences Research Center, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

[*]Corresponding Author: Mjseghat@yahoo.com

Received: 25 January 2022 Accepted: 15 March 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.326353.1184**

Abstract

Introduction: The increasing use of medicinal plants and their products has elevated the importance of these plants in the global economy. The global consumption of these plants is rising rapidly. The guar plant (*Cyamopsis tetragonoloba*) is an annual herbaceous and medicinal plant. This plant is suitable for arid and semiarid climates, including Iran, due to its short life cycle. This plant's extracts are used in the cosmetics and health industries to create moisturizing creams. In addition, this plant's products are utilized in the medical, food, and petrochemical industries. In Iran's arid and semiarid regions, the optimal use of water in the production of agricultural and pharmaceutical products is one of the foremost concerns of researchers. In Iran's arid and semiarid regions, the optimal use of water in the production of agricultural and pharmaceutical products is one of the foremost concerns of researchers. Utilizing compounds that reduce the effects of stress, such as salicylic acid, is one of the suitable agricultural practices during drought conditions. In these conditions, it is also advised to plant at a suitable density for optimal use of light and other resources, and to avoid interplant competition. This research was conducted to determine the impact of irrigation and salicylic acid at various densities on guar yield and some of its characteristics.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of irrigation, plant density, and salicylic acid on guar, an experiment was conducted in 2018 in Mashhad as a factorial split plot in a randomized complete block design with three replications. The main plot consisted of irrigation levels (25, 50, 75, and 100% evapotranspiration of the reference plant), while the sub-plot consisted of factorial levels of density (4.4, 6.7, and 13.3 plants per square meter) and salicylic acid (non-application and application).

Results and Discussion: The comparison of means revealed that the application of salicylic acid resulted in a 6.9% increase in plant height. Salicylic acid regulates various physiological processes, such as plant growth and development, through the synthesis of special proteins called protein kinase, which regulates cell division, differentiation, and morphogenesis, and has a significant impact on plant height. The full irrigation treatment produced the highest leaf area index (6.1) and plant density per square meter (13.3) compared to all other treatments. Under conditions of water stress, the decrease in photosynthetic capacity of the plant due to stomatal closure and the decrease in cell turgor and cell division cause the plant to have small and underdeveloped leaves, resulting in a decrease in the leaf area index in the field. Results indicated that providing 100% of the reference plant's evapotranspiration resulted in the highest average grain yield of 937.28 kg ha^{-1}. By decreasing plant density at 100 and 75% of the reference plant's evapotranspiration, seed production in pods increased significantly, whereas increasing plant density decreased grain yield. The highest number of pods per plant, number of pods per square meter, 1000-seed weight, and biological yield were obtained under conditions of providing 100% evapotranspiration and application of salicylic acid. Additionally,, poor irrigation practices in the absence of salicylic acid application decreased guar's biological yield.

Conclusion: Due to limited water resources, it is recommended that this plant receive irrigation equivalent to 75% of the evapotranspiration of the reference plant in Mashhad conditions. In

addition, intensive cultivation of this plant is not advised due to the impact of high densities on reproductive processes. Due to the lack of effect of salicylic acid on grain yield, its use in this plant, is not recommended.

Keywords: Harvest index, Plant height, Pod, Seed yield