تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۴۳۵-۴۲۱

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش بر عملکرد دانه و اسانس زیره سبز در شرایط دیم و فاریاب

فریدون تیماچی[۱]، محمد آرمین[۲*]، متین جامی معینی[۲]، عباس ابهری[۳]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۳- گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: moh.armin@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ /۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.298527.1116**

چکیده

تعدیل‌کننده‌های تنش یک روش ساده و کم‌هزینه برای کاهش اثرات تنش می‌باشد. به منظور بررسی پاسخ عملکرد دانه و اسانس زیره سبز به محلول‌پاشی تعدیل‌کننده‌های تنش در شرایط دیم و فاریاب آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایهٔ بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه شخصی در شهرستان جغتای (خراسان رضوی) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شرایط کشت در دو سطح دیم و فاریاب به عنوان فاکتور اصلی و نوع تعدیل‌کننده‌های تنش در چهار سطح شامل شاهد، گلایسین بتائین ۱/۵ مولار، برازینواستروئید 10^{-7} مولار و سدیم نیتروپروساید 10^{-3} مولار به عنوان فاکتور فرعی بود. برش‌دهی اثر متقابل نوع تعدیل کننده در سطوح روش کاشت نشان داد که محلول‌پاشی با برازینواستروئید در شرایط فاریاب و دیم سبب افزایش تعداد چتر در بوته (۱۵۰ و ۱۳۷ درصد) تعداد دانه در بوته (۸۵/۵ و ۴۱/۷ درصد) و عملکرد دانه (۵۷/۹ و ۴۴/۸ درصد) در مقایسه با عدم محلول‌پاشی شد. تعداد شاخه جانبی و عملکرد اسانس در شرایط فاریاب تحت تأثیر نوع تعدیل‌کننده‌های تنش قرار گرفت و محلول‌پاشی با گلایسین بتائین بالاترین تعداد شاخه جانبی و محلول‌پاشی با برازینواستروئید بالاترین عملکرد اسانس را تولید کرد. محلول‌پاشی با برازینواستروئید در شرایط فاریاب درصد اسانس را ۸/۸۱ درصد کاهش داد. در مجموع نتایج آزمایش نشان داد در زیره سبز، جهت حصول عملکرد دانه و اسانس مناسب باید کشت به صورت فاریاب انجام شود و مناسب‌ترین تعدیل‌کننده‌ها برای به دست آوردن حداکثر عملکرد دانه و اسانس را می‌توان به صورت برازینواستروئید> گلایسین بتائین> سدیم نیتروپروساید در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، روش کاشت، گیاهان دارویی، محافظ‌های گیاهی، محلول‌پاشی

مقدمه

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* گیاهی یک‌ساله از خانواده چتریان است که به دلیل طول دوره رشد کوتاه و هم‌زمانی مراحل حساس به تنش خشکی آن با بارندگی‌های فصلی بهاره، در صورت بارش مناسب عملکرد اقتصادی قابل قبولی را تولید می‌کند. این گیاه یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی است و به دلیل خصوصیات خاص خود جایگاه مناسبی در الگوی کشت محصولات زراعی را به خود اختصاص داده است (Kafi, 2006). در بین گیاهان دارویی کشت شده در کشور، زیره سبز با سطح زیر کشت ۱۸ هزار هکتار رتبه نخست سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. استان خراسان رضوی به عنوان یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان این گیاه دارویی محسوب می‌شود. سالیانه در ۸۱۰۰ هکتار از اراضی استان خراسان زیره سبز به صورت آبی و در ۴۰۰۰ هکتار به صورت دیم کشت می‌شود (Nassabadi *et al.*, 2019). گزارش شده است در سال پرباران عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز واکنشی به زمان قطع آبیاری نشان نمی‌دهد اما در سال کم‌باران بالاترین عملکرد دانه و اسانس با آبیاری کامل به دست می‌آید و تأخیر در زمان قطع آبیاری اثرات منفی کمتری بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز دارد (Bahrami *et al.*, 2021). در کشت به صورت فاریاب، زیره سبز از ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد اقتصادی بیشتری نسبت به کشت دیم برخوردار بود (Nasarabadi *et al.*, 2019). در پژوهش دیگری گزارش شده است که در سال‌های کم‌باران کشت دیم زیره سبز عملکرد اقتصادی مطلوبی را تولید نمی‌کند و در این شرایط برای حصول

عملکرد مناسب آبیاری زیره‌سبز ضروری می‌باشد و تعداد چتر در بوته و دانه در چتر از اجزای عملکرد مهمی هستند که در شرایط کشت دیم کاهش پیدا می‌کنند و در نتیجه سبب کاهش عملکرد دانه می‌شوند (Armin and Miri, 2014).

روش‌های فراوانی برای کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی گزارش شده است. امروزه استفاده از هورمون‌ها، شبه هورمون‌ها (برازینواستروئید) یا اسمولیت‌های سازگار (پرولین، گلایسین بتایین) که می‌توانند سبب تعدیل اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی شوند از راهکارهای مؤثر و کم‌هزینه در کاهش اثرات تنش‌های محیطی می‌باشد (Hossain *et al.*, 2019; Namvar *et al.*, 2018). انواع مختلفی از این مواد جهت کاهش اثرات تنش‌های محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. گلایسین بتائین به عنوان محافظ اسمزی (Giri, 2011)، برازینواستروئید به عنوان یک هورمون جدید (Ahammed *et al.*, 2020)، اسید سالیسیلیک به عنوان یک شبه هورمون (Lefevere *et al.*, 2020) از جمله تعدیل کننده‌هایی می‌باشند که در کاهش اثرات تنش‌های محیطی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

گلایسین بتائین یکی از معمول‌ترین و فراوان‌ترین مواد آلی است که در بسیاری از گونه‌های گیاهی خصوصاً هالوفیت‌ها در پاسخ به انواع تنش‌های محیطی سنتز می‌شود (Dikilitas *et al.*, 2020). اگرچه سنتز این ماده به عنوان یک واکنش طبیعی در گیاهان در پاسخ به تنش صورت می‌گیرد، امّا اثرات مفید کاربرد خارجی این ماده در کاهش اثرات تنش‌های محیطی در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Armin and Miri, 2014; Miri *et al.*, 2021; Namvar *et al.*, 2018). در زیره سبز گزارش شده است عملکرد دانه تحت تأثیر نوع مواد اسمولیتی مصرفی (اسید سالیسیلیک و گلایسین بتائین) قرار نگرفت، اما استفاده از اسید سالیسیلیک سبب افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به مصرف گلایسین بتائین شد (Armin and Miri, 2014). گزارش شده است که محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک سبب کاهش کمتر عملکرد دانه، رنگیزه‌های کلروفیل b و کارتنوئید زیره سبز در شرایط کاهش فراهمی آب می‌گردد و اثرات مخرب تنش خشکی را بهبود می‌بخشد (Sartip and Sirousmehr, 2017). در یک بررسی دیگر گزارش شده است مصرف ۰/۷ و ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی سبب افزایش عملکرد زیره سبز در شرایط کرج می‌شود (Esfini *et al.*, 2012).

برازینواستروئیدها[1] هورمون‌های استروئیدی هستند که رشد و نمو گیاه را تنظیم می‌کنند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که برازینواستروئیدها می‌توانند موجب طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های سلولی مثل طویل شدن ساقه، رشد لوله دانه گرده، القا بیوسنتز اتیلن، فعال کردن پمپ پروتون و تنظیم بیان ژن شوند (Hayat *et al.*, 2003). گزارش شده است کاربرد برازینواستروئید از راه بیان ژن‌های مربوط به آنزیم کاتالاز و کلروفیل موجب افزایش تحمل گیاه به خشکی می‌گردد (Yang *et al.*, 2018). گزارش شده است در زیره سبز هم در شرایط فاریاب و هم دیم، استفاده از برازینواستروئیدها باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی یا غیرآنزیمی می‌گردد. تحت شرایط دیم، محلول‌پاشی با برازینواستروئیدها میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و پرولین و کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز را در مقایسه با شاهد افزایش و میزان H_2O_2 را کاهش داد (Timachi *et al.*, 2020).

سدیم نیتروپروساید[2] (SNP) ماده تولیدکننده اکسید نیتریک (NO) به شمار می‌رود. این ماده از طرف دیگر هم می‌تواند به عنوان واسطه در عمل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و متابولیسم ROS شرکت کند و هم در انتقال پیام و هم‌چنین پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده تأثیرگذار باشد (Namvar *et al.*, 2018). بسته به غلظت، نوع گیاه، بافت گیاهی، سن گیاه و نوع تنش وارده به گیاه ممکن است SNP نقش سمی یا حفاظتی داشته باشد (Lei *et al.*, 2007). در شرایط آبیاری مطلوب، SNP (۳۰ و ۶۰ میکرومولار) به طور قابل توجهی رشد، عملکرد اسانس، سیستم آنتی‌اکسیدانی و بهره‌وری مصرف آب را در مقایسه با عدم کاربرد این ماده (۰ میکرومولار SNP) را در مرزنجوش افزایش داد. در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی با SNP با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی اثرات تعدیل کنندگی بر تنش خشکی داشت و با افزایش بهره‌وری آب سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی و اسانس شد (Farouk and Al-Huqail, 2020). محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید در غلظت ۱۰۰ میکرومولار به عنوان مناسب‌ترین تعدیل کننده برای افزایش

۱. Brassinosteroids (BRs)

۲. Sodium nitroprusside (SNP)

فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی در شرایط تنش شوری در پنبه گزارش شده است (Zare *et al.*, 2021).

با توجه به اینکه امروزه استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش در گیاهان زراعی در حال گسترش است، در مورد گیاهان زراعی که صرفاً خاص ایران است، مطالعات اندکی صورت گرفته است. با توجه به اینکه کشت زیره سبز به عنوان یک گیاه دارویی در شهرستان جغتای هم به صورت دیم و هم به صورت فاریاب انجام می‌شود، ثبات عملکرد آن خصوصاً در شرایطی که میزان بارندگی کمتر از حد نرمال است اهمیّت خاصی دارد. لذا این بررسی به منظور تأثیر عوامل تعدیل‌کننده تنش بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز در شرایط دیم و فاریاب انجام شد.

مواد و روش‌ها

این بررسی در مزرعه شخصی در شهرستان جغتای (خراسان رضوی) با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شرایط کشت در دو سطح دیم و فاریاب به عنوان فاکتور اصلی و نوع تعدیل کننده‌های تنش در چهار سطح شامل شاهد، گلایسین بتائین ۱/۵ مولار (Armin and Miri, 2014)، برازینواستروئید $۱۰^{-۷}$ مولار (Ahammed *et al.*, 2020) و سدیم نیتروپروساید $۱۰^{-۳}$ مولار (Manshoori *et al.*, 2019) بود.

مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۲ آورده شده است. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت به طول ۴ متر، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود. از توده محلی سبزوار که توده رایج و سازگار به منطقه می‌باشد برای کاشت استفاده شد. کشت در تاریخ ۱۳۹۷/۹/۲۵ انجام شد. در سیستم کشت آبی، از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاس و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود دی فسفات آمونیوم برای تأمین عناصر مورد نیاز گیاه استفاده شد که یک‌سوم کود نیتروژنه به همراه فسفر و پتاسیم در هنگام کاشت و مابقی نیتروژن در زمان تشکیل شاخه‌های جانبی مصرف شد. در شرایط دیم مقدار مصرف کود اوره به ۵۰ کیلوگرم کاهش پیدا کرد. با توجه به این‌که در این آزمایش تعدیل کننده‌های تنش مورد استفاده قرار گرفتند از مصرف هرگونه علف‌کش و آفت‌کش خودداری گردید تا اثرات نامطلوبی بر تعدیل کننده‌های تنش نگذارند، در نتیجه مبارزه با علف‌های هرز در طول مدت آزمایش در چندین نوبت و فقط به صورت مکانیکی (دستی) صورت گرفت و چون در طول دورهٔ آزمایش آفتی مشاهده نگردید هیچ‌گونه آفت‌کشی استفاده نشد. در ۱۹ فروردین‌ماه، در کلیه کرت‌ها اعم از دیم و فاریاب به جزء کرت‌های شاهد محلول‌پاشی در مرحلهٔ رویشی و مرحله زایشی انجام شد. در هنگام تهیه محلول مواد تعدیل کننده تنش، تریتون ۱۰۰ X که به عنوان سورفاکتانت برای جذب بهتر مواد مؤثره تعدیل کننده‌ها است با غلظت ۱ درصد به محلول‌ها افزوده شد. در شرایط دیم تنها یک‌بار آبیاری در هنگام کاشت صورت گرفت و در روش فاریاب در ۳ مرحله حساس رشد گیاه یعنی شاخه‌دهی، گل‌دهی و دانه‌بندی آبیاری به صورت غرقاب انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil at the test site

عمق Depth (cm)	فسفر Phosphorous (ppm)	پتاسیم Potash (ppm)	نیتروژن Nitrogen (٪)	شن Sand (٪)	رس Clay (٪)	سیلت Silt (٪)	EC ($dS\ m^{-1}$)	$pH_{(1:5)}$
0-30	10.6	223	0.048	56	20	24	4.2	7.9

در پایان فصل رشد، برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه، ۲ مترمربع از سطح هر کرت با حذف اثر حاشیه، به طور کامل برداشت شد. با توجه به رسیدگی غیر یکنواخت در زیره سبز، کلیه بوته‌های برداشت شده در هوای آزاد به مدت یک هفته قرار داده شد. عملکرد دانه بعد از کوبیدن دستی بوته‌ها و تمیز کردن آن‌ها محاسبه شد. برای تعیین اجزای عملکرد تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی قبل از برداشت نهایی از هر کرت انتخاب و در آن تعداد شاخه‌جانبی، تعداد چتر در بوته و تعداد

دانه در بوته اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه از شمارش ۳ دسته تصادفی ۱۰۰ تایی از هر کرت از دانه‌های برداشت شده بعد از تعیین عملکرد دانه به دست آمد. برای تعیین درصد اسانس، بذور برداشت‌شده بوجاری و با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی به صورت پودر درآمده، بلافاصله ۳۰ گرم از بذر پودر شده در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مخلوط و به مدت ۳ ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده شد. فاز روغنی حاصله جدا و به کمک سولفات سدیم آبدار خشک و درصد اسانس بر اساس روش وزنی تعیین شد (Nasarabadi *et al.*, 2019). عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب درصد وزنی اسانس در عملکرد دانه در واحد سطح به دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با روش FLSD صورت گرفت. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل برای اکثر صفات مورد بررسی، برش‌دهی اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش در هر روش کاشت انجام و نتایج مقایسات میانگین بر اساس برش‌دهی گزارش شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر روش کاشت بر تعداد شاخه جانبی و تعداد چتر در بوته معنی‌دار نبود اما تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، درصد اسانس، عملکرد اسانس تحت تأثیر روش کاشت قرار گرفت. نوع تعدیل کننده مصرفی اثر معنی‌داری بر تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه داشت. اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده بر روی کلیه صفات به جز وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی زیره سبز تحت تأثیر روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش

Table 2- Anal sis of variance of investigated traits of cumin as affected by planting method and stress modulator type

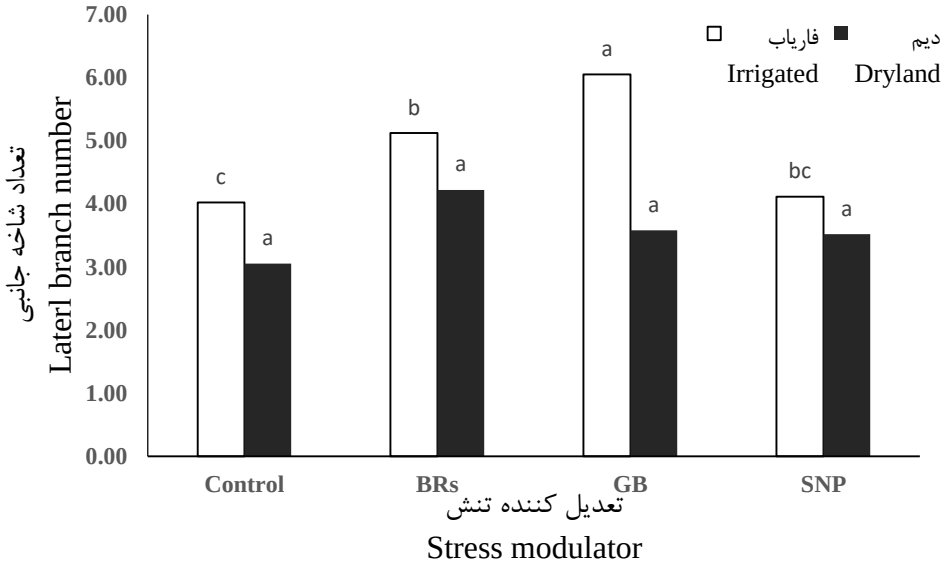
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	شاخه جانبی Lateral branch	چتر در بوته Umbrellas per plant	دانه در بوته Seed per plant	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	113 ^{ns}	6.13 ^{ns}	21.1 ^{ns}	0.191 ^{ns}	630^{ns}	11380^{ns}	0.192^{ns}	28.8^{ns}
روش کاشت Planting method (A)	3	938 ^{ns}	9.38 ^{ns}	96774**	3.725 *	12171783**	4256142**	1.815*	2592**
خطای a Error a		113	3.13	635	0.158	13203	9809	0.027	5.75
تعدیل کننده تنش Stress modulator (B)	1	138 ^{ns}	397**	11259**	0.491*	334155**	32152**	0.046^{ns}	26.7^{ns}
AB	3	238*	34.4*	2967**	0.234 ^{ns}	55867^{ns}	9949*	0.435*	65.5*
خطای b Error b		45.8	5.95	91.1	0.100	31444	2083	0.080	13.6
ضریب تغییرات CV (%)		16.4	12.45	18.06	3.98	17.05	15.6	18.4	16.4
برش‌دهی اثر متقابل روش کاشت*تعدیل کننده تنش در سطوح مختلف روش کاشت Slicing of planting method*Stress modulator interaction at different levels of planting method									
فاریاب Irrigated		275**	129**	12810**	--	--	5349*	0.191^{ns}	76.7*
دیم Dryland		100^{ns}	302**	1416^{ns}	---	--	36750**	0.289*	15.4^{ns}

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

*, ** and ns represent significant difference at P < 0.05 and P < 0.01 and not significant, respectively.

تعداد شاخه‌جانبی

برش‌دهی اثر متقابل روش کاشت×نوع تعدیل کننده اسمزی نشان داد که در کشت دیم، محلول‌پاشی تعدیل کننده‌های تنش اثری بر تولید تعداد شاخه‌جانبی نداشته است درحالی‌که در شرایط فاریاب استفاده از تعدیل کننده‌های تنش سبب افزایش تعداد شاخه‌جانبی در هر بوته شد. مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین تعداد شاخه‌جانبی در روش فاریاب با مصرف گلایسین‌بتائین به دست آمد. محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید اگرچه سبب افزایش تعداد شاخه‌جانبی در مقایسه با تیمار شاهد شد اما اختلاف آماری معنی‌داری بین این دو تیمار مشاهده نشد. در شرایط دیم نیز اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (شکل ۱). به نظر می‌رسد عدم واکنش تعداد شاخه‌جانبی در شرایط دیم به این دلیل باشد که در شرایط دیم سطح برگ کافی برای جذب تعدیل کننده‌های تنش تولید نشده است یا انتقال این مواد به نقاط حساس رشد به خوبی انجام نشده است. در زیره سبز گزارش شده است اختلاف آماری معنی‌داری از نظر تعداد شاخه‌جانبی بین مصرف اسید سالیسیلک و گلایسین‌بتائین وجود ندارد ولی استفاده از گلایسین بتائین سبب افزایش بیشتر تعداد شاخه‌جانبی در گیاه نسبت به مصرف اسید سالیسیلیک می‌شود (Jamimoeini, 2010). گزارش شده است در شرایط دیم به علّت وجود فضای خالی بیشتر به دلیل از بین رفتن گیاهان در طول دورهٔ رویشی شاخه‌های‌جانبی زیادتری حاصل شده است (Armin and Miri, 2014).



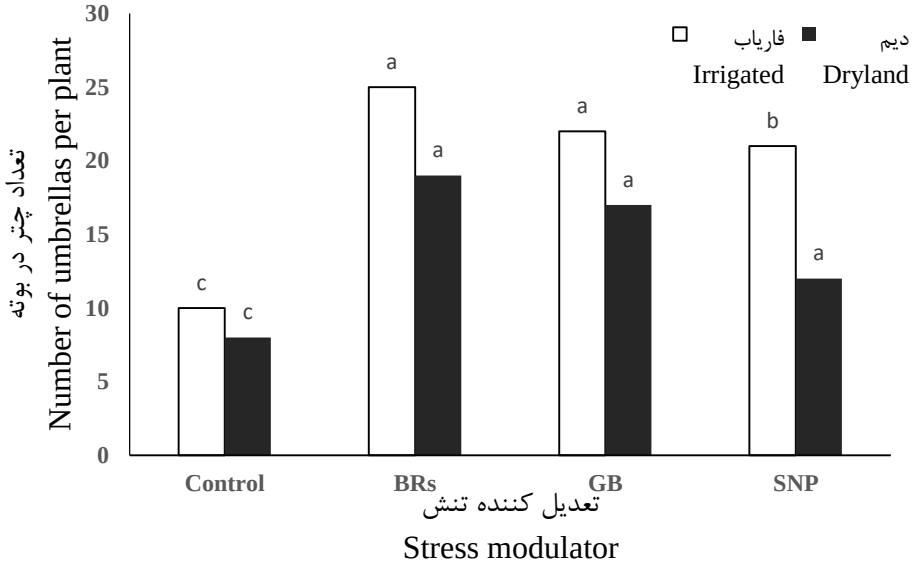
شکل ۱- اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش بر تعداد شاخه جانبی (**BRs**، **GB** و **SNP** به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 1- Interaction between planting method and type of stress modulator on lateral branch number (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

تعداد چتر در بوته

در هر دو روش کاشت استفاده از برازینواستروئید بالاترین تعداد چتر در بوته را تولید کرد که اختلاف آماری معنی‌داری با محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین نداشت. محلول‌پاشی با برازینواستروئید ۳۱/۶ درصد، محلول‌پاشی با گلایسین‌بتائین ۲۹/۴ درصد و محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید ۷۵ درصد تعداد چتر در بوته را در شرایط فاریاب در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد. در شرایط عدم محلول‌پاشی کشت فاریاب در مقایسه با کشت دیم ۲۵ درصد سبب افزایش تعداد چتر در بوته شد (شکل ۲). بالا بودن تعداد شاخه‌جانبی در شرایط فاریاب دلیل اصلی افزایش تعداد چتر در بوته در شرایط فاریاب است. گزارش شده است که تعداد دفعات آبیاری نقش مهمی در تفاوت بین شرایط دیم و فاریاب در تولید چتر در بوته دارد به‌نحوی‌که اگر در طول دوره رشد ۲ یا ۳ بار آبیاری صورت گیرد، تعداد چتر در

بوته اختلافی با شرایط دیم ندارد اما در صورتی که تعداد دفعات آبیاری به ۳ یا ۴ بار در طول فصل رشد برسد، تعداد چتر در بوته به صورت معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند که این امر سبب افزایش عملکرد نهایی گیاه نیز خواهد شد (Aminpour and Mousavi, 1997). مصرف تعدیل کننده‌های تنش می‌توانند سبب افزایش سطح برگ شوند که سطح برگ بالاتر به دلیل تأخیر در زوال و ریزش برگ می‌باشد. افزایش سطح برگ در اثر کاربرد براسینولید با توانایی گیاه در جذب بیش‌تر نور و در نتیجه بهبود کارایی فتوسنتز مرتبط است (Yang *et al.*, 2018).

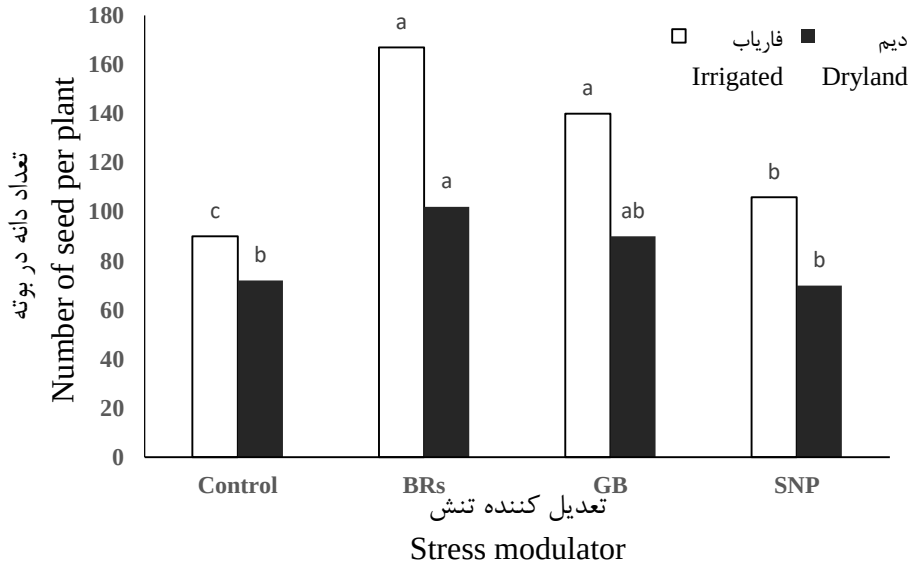


شکل ۲- اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش بر تعداد چتر در بوته (BRs، GB و SNP به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 2- Interaction between planting method and type of stress modulator on the number of umbrellas per plant (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

تعداد دانه در بوته

مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین تعداد دانه در بوته از مصرف برازینواستروئید در شرایط فاریاب به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با مصرف گلایسین‌بتایین نداشت. در شرایط دیم تعداد دانه در بوته واکنش کمتری به تعدیل کننده‌های تنش نشان داد به‌نحوی‌که محلول‌پاشی با گلایسین‌بتائین یا سدیم نیتروپروساید در مقایسه با شاهد اگرچه سبب افزایش تعداد دانه در بوته شد اما اختلاف آماری معنی‌داری بین این تیمارها مشاهده نشد. شرایط فاریاب در کلیه سطوح تعدیل کننده تنش تعداد دانه در بوته بیشتری در مقایسه با شرایط دیم داشت (شکل ۳). به نظر می‌رسد کمتر بودن تعداد دانه در بوته در شرایط دیم به این دلیل باشد که اکثر گیاهان به تنش در مرحله زایشی حساس هستند و کمبود آب در این مرحله با کاهش تولید مواد فتوسنتزی، کاهش باروری و یا ریزش جوانه‌های گل سبب کاهش تعداد دانه تولیدی در هر بوته خواهد شد. در شرایط فاریاب گیاه ارتفاع بیشتر و تعداد شاخه و چتر در بوته بیشتری را تولید می‌کند که در نهایت تعداد دانه در بوته افزایش خواهد یافت اما در شرایط دیم با وجود اثرات مثبت تعدیل کننده‌های تنش در افزایش تعداد چتر در بوته و شاخه جانبی، این افزایش به مقداری نبوده است که بتواند جایگزین آبیاری شود. محلول‌پاشی پوتریسین در مرحله گل‌دهی آفتابگردان باعث افزایش تعداد دانه در طبق گردید (Kahrobaiyan *et al.*, 2019). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خصوص برای دانه‌هایی می‌شود که در مرکز طبق قرار دارند که این امر می‌تواند افزایش تعداد دانه را توجیه کند (Esfini *et al.*, 2012; Sartip and Sirousmehr, 2017).



شکل ۳- اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش بر تعداد دانه در بوته (BRs، GB و SNP به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 3- Interaction between planting method and type of stress modulator on number of seeds per plant (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

وزن هزار دانه

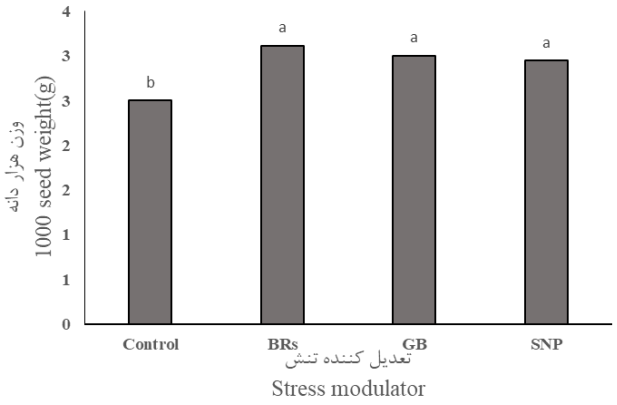
کشت به صورت فاریاب وزن هزار دانه (۳/۴۸ گرم) بیشتری در مقایسه با کشت دیم (۲/۶۹ گرم) داشت. تنش خشکی به انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی بوته تأثیر منفی گذاشته و در نهایت مواد منتقل شده به دانه کاهش می‌یابد که این امر سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود. برخلاف نتایج فوق در شرایط دیم نسبت به شرایط آبی وزن هزار دانه بیشتر بوده است (Jamimoeini, 2010).

اگرچه محلول‌پاشی با برازینواستروئید بالاترین وزن هزار دانه را تولید کرد اما اختلاف آماری معنی‌داری بین محلول‌پاشی تعدیل کننده‌های مصرفی وجود نداشت و کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار کنترل مشاهده شد (شکل ۴). به نظر می‌رسد واکنش کمتر وزن هزار دانه به محلول‌پاشی تعدیل کننده‌های رشد، کاهش دسترسی به مواد فتوسنتزی به دلیل بالاتر بودن تعداد دانه در بوته در تیمارهای محلول‌پاشی و کمتر بودن تعداد دانه در بوته در تیمار کنترل بوده است. گزارش شده است که استفاده از هورمون‌های گیاهی مانند اسید سالیسیلیک سبب افزایش فتوسنتز برگ و تولید مواد پرورده بیشتر و یا حتی طولانی شدن دوره سبزمانی برگ‌ها می‌گردد که این امر سبب افزایش میانگین وزن دانه‌ها خواهد شد (Hayat and Ahmad, 2007). در مطالعه دیگری گزارش شده است محلول‌پاشی با گلایسین بتائین در مقایسه با اسید سالیسیلیک اثر بیشتری در وزن هزار دانه زیره سبز دارد (Armin and Miri, 2014).

عملکرد بیولوژیکی

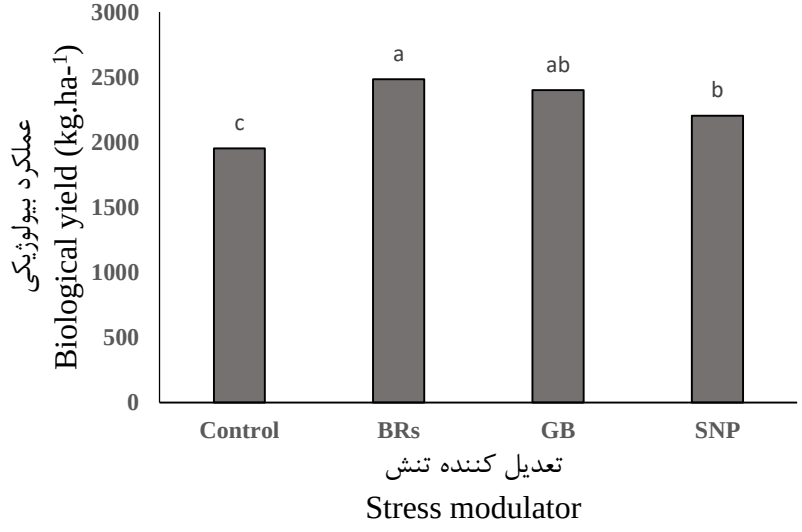
بیشترین عملکرد بیولوژیک در روش فاریاب (۲۹۷۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با شرایط دیم (۱۵۴۶ کیلوگرم در هکتار) داشت. مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک با مصرف برازینواستروئید (۲۴۸۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که با مصرف گلایسین‌بتائین اختلاف معنی‌داری نداشت، کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک را عدم مصرف تعدیل‌کننده تنش (۱۹۵۱ کیلوگرم در هکتار) داشت (شکل ۵). نقصان میزان عملکرد بیولوژیکی در تیمار شاهد را می‌توان ناشی از توانایی کمتر گیاه در جذب عناصر غذایی و کاهش سنتز و انتقال مواد پرورده در اثر آن دانست که باعث کاهش تجمع ماده خشک گردیده است. از طرف دیگر، افزایش ماده خشک تولیدی تحت شرایط مصرف تعدیل کننده‌های تنش را می‌توان به دلیل توسعه و گسترش بیشتر سطح جذب ریشه، سطح برگ و هم‌چنین دوام آن دانست که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد به منظور استفاده هر چه

بیشتر از آب و مواد غذایی و انرژی نوری دریافتی، باعث افزایش تولید ماده خشک شده است (Anjum *et al.*, 2011). براسینولید باعث بهبود جذب آب و مواد معدنی به ویژه نیتروژن می‌شود که موجب افزایش ساخت پروتئین، رشد و در نهایت عملکرد خواهد شد (Dehghan *et al.*, 2020). براسینواستروئیدها از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز کلروفیل و تحریک تولید آن‌ها، از کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی جلوگیری می‌کند. براسینواستروئیدها با غلبه بر محدودیت‌های روزنه‌ای و بالا بردن هدایت روزنه‌ای سبب افزایش کارایی تثبیت کربن فتوسنتزی می‌شوند (Siddiqui *et al.*, 2018). افزایش وزن گیاه بر اثر مصرف گلایسین‌بتائین می‌تواند به این دلیل باشد که گلایسین‌بتائین به عنوان یک اسمولیت مهم در گیاهان باعث افزایش پتانسیل اسمزی شده و در نتیجه، با جذب آب توسط گیاه آماس سلول‌ها افزایش پیدا می‌کند. از آنجا که رشد و نمو گیاهان بستگی به سرعت تولید و بزرگ شدن سلول‌های جدید دارد و گیاهان فقط در حالت آماس، قادر به تقسیم سلولی هستند، با ایجاد حالت آماس توسط گلایسین‌بتائین تقسیم سلولی افزایش پیدا کرده و با افزایش رشد و ارتفاع گیاه سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی می‌شود (Miri *et al.*, 2021).



شکل ۴- اثر نوع تعدیل کننده تنش بر وزن هزار دانه (BRs، GB و SNP به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 4- Effect of stress modulator type on 1000 seed weight (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

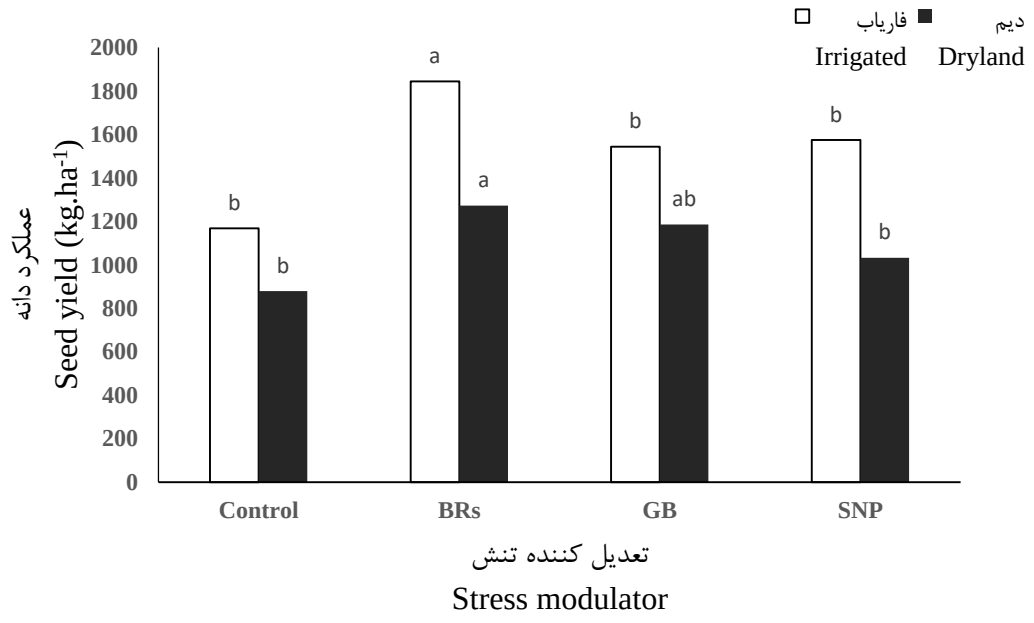


شکل ۵- اثر نوع تعدیل کننده تنش بر عملکرد بیولوژیکی (BRs، GB و SNP به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 5- Effect of stress modulator type on biological yield (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

عملکرد دانه

مقایسات میانگین‌های داده‌های آزمایش نشان داد که هم در کشت دیم و هم در کشت فاریاب بیشترین عملکرد دانه با محلول‌پاشی با برازینواستروئید به دست آمد که در کشت دیم اختلاف آماری معنی‌داری با محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین نداشت اما در کشت فاریاب محلول‌پاشی با برازینواستروئید اختلاف آماری معنی‌داری با محلول‌پاشی با گلایسین‌بتائین داشت. اگرچه محلول‌پاشی با تعدیل کننده‌های تنش سبب افزایش عملکرد در مقایسه با شاهد شد اما اثرات تعدیل کنندگی این مواد قادر به رفع کامل اثرات تنش خشکی در شرایط دیم نبود و در کلیه سطوح استفاده از تعدیل کننده‌های تنش، عملکرد دانه در شرایط دیم کمتر از فاریاب بود. محلول‌پاشی با برازینواستروئید ۴۵/۰۱ درصد، گلایسین‌بتائین ۳۰/۰۹ درصد و سدیم نیتروپروساید در شرایط فاریاب در مقایسه با شرایط دیم ۵۲/۰۵ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (شکل ۶). دلیل افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری نسبت به شرایط دیم می‌تواند به دلیل بیشتر بودن تعداد بوتهٔ باقی‌مانده در آخر فصل رشد و بیشتر بودن اجزای عملکرد در شرایط آبیاری باشد. اعتقاد بر این است که کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه دلیل کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی است (Wu *et al.*, 2008). گزارش شده است که براسینواستروئید سبب تحریک سنتز یا فعال‌سازی کربنیک انیدراز می‌شود. اثرات مثبت کاربرد منابع خارجی براسینواستروئید بر روی سیستم‌های فتوشیمیایی از جمله ارتقاء کارایی فتوسیستم II در بسیاری از گیاهان مشاهده گردیده است. بررسی‌های اخیر حاکی از آن است که تیمار گیاهان با براسینواستروئید به بیان برخی از ژن‌های دخیل در فتوسنتز می‌شود که می‌تواند نقش بسیار مهمی در ارتقای توان تحمل گیاهان در برابر تنش‌های غیر زیستی داشته باشد که این عوامل افزایش عملکرد را به همراه خواهند داشت (Ahammed *et al.*, 2020; Namvar *et al.*, 2018; Siddiqui *et al.*, 2018). محلول‌پاشی براسینواستروئید باعث افزایش عملکرد دانه و تعداد گل در گیاه ماش شده است که این موضوع می‌تواند به علّت جلوگیری از ریزش گل‌ها به دلیل وجود ترکیبات فنلی در آن‌ها باشد (Ananthi *et al.*, 2013). گزارش شده است که مصرف برازینواستروئید در گلخانه و مزرعه عملکرد گندم، برنج، سیب زمینی و کلزا را به میزان زیادی افزایش داد Zullo and Adam, (2002).

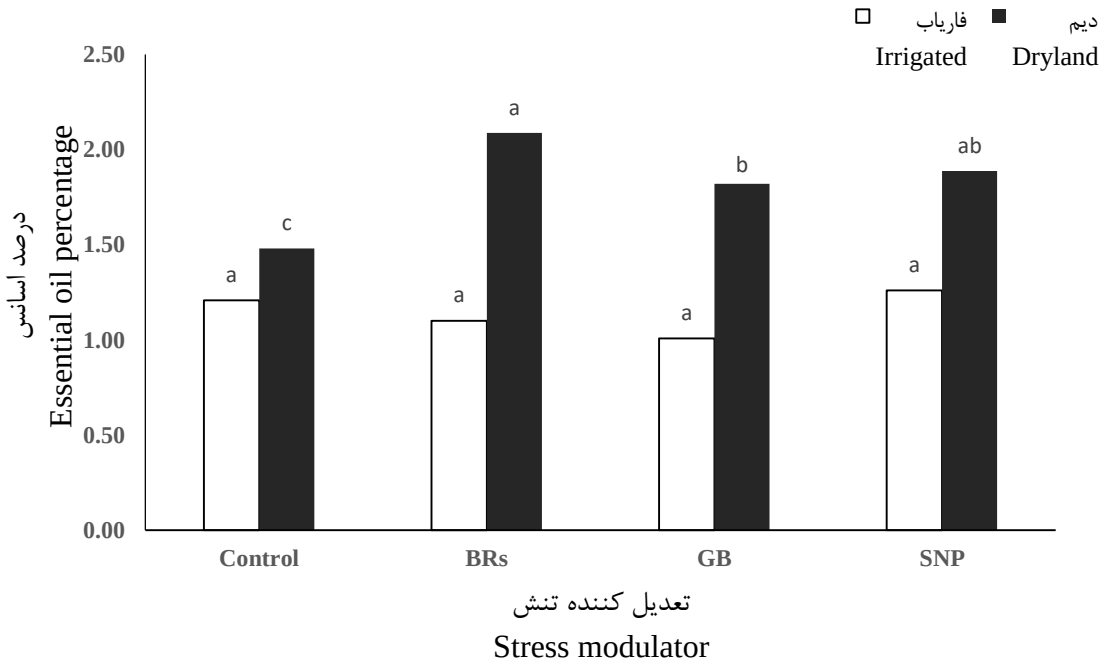


شکل ۶- اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش بر عملکرد دانه (BRs، GB و SNP به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 6- Interaction between planting method and type of stress modulator on seed yield (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

درصد اسانس

مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که مصرف برازینواستروئید در روش دیم بیشترین درصد اسانس (۲/۰۱ درصد) را دارا بود که با سایر تیمارهای مورد بررسی در این مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری داشت. در شرایط فاریاب، محلول‌پاشی با تعدیل کننده‌های تنش اثر معنی‌داری بر درصد اسانس نداشت و حتی محلول‌پاشی با برازینواستروئید و گلایسین‌بتائین در مقایسه با شاهد سبب کاهش درصد اسانس شد (شکل ۷). افزایش درصد اسانس در شرایط دیم یک واکنش فیزیولوژیکی گیاه جهت افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌باشد. در این شرایط گیاه با تولید متابولیت‌های ثانویه سعی در حفظ تورژسانس سلولی برای ادامه فعالیت‌های رشدی و فتوسنتزی خود دارد. مطابق با نتایج فوق هم در رقم مقاوم و هم در رقم حساس آویشن افزایش شدت تنش خشکی تا سطح ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه سبب افزایش درصد اسانس می‌گردد در حالی‌که افزایش شدت تنش به ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه، کاهش درصد اسانس را به همراه داشت (Sadeghi and Mohasseli, 2019). از آنجایی‌که بین میزان مواد فتوسنتزی و تولید متابولیت‌های ثانویه یک رابطه معکوس وجود دارد بنابراین هر عاملی که سبب کاهش رشد و تولید مواد فتوسنتزی شود سبب افزایش درصد متابولیت‌های ثانویه و اسانس گیاهان دارویی خواهد شد. در زیره سبز نیز تنش خشکی سبب افزایش درصد اسانس شده است (Ahmadian *et al.*, 2011). در تحقیقی بر روی گیاه آنیسون گزارش شده است که میزان اسانس در دانهٔ آنیسون با مقدار آب مصرفی رابطهٔ عکس داشت (Zehtab-Salmasi *et al.*, 2011). متابولیت‌های ثانویه گیاهی شامل اسانس توسط چندین مسیر سیگنال‌دهی درون‌زا کنترل می‌شوند. با این‌حال، اطلاعات کافی در مورد نقش این مواد بر تولید اسانس در گیاهان وجود ندارد و مطالعات زیادی در این مورد لازم است (Farouk and Al-Huqail, 2020). گزارش شده است که استفاده از SNP به میزان قابل توجهی باعث افزایش محتوای اسانس و بهبود ترکیب آن می‌شود (Mohasseli, Sadeghi and 2019).

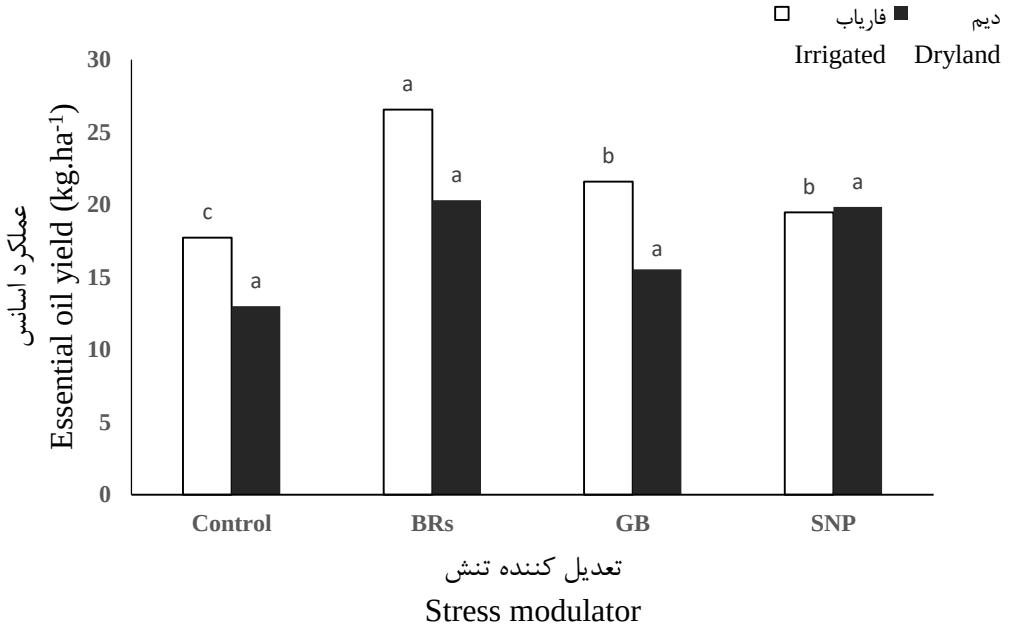


شکل ۷- اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش بر درصد اسانس (BRs، GB و SNP به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 7- Interaction between planting method and type of stress modulator on essential oil percentage (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

عملکرد اسانس

مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد بالاترین عملکرد اسانس زیره سبز از مصرف برازینواستروئید در روش فاریاب (۲۶/۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد در شرایط عدم مصرف تعدیل‌کننده مشاهده شد. در شرایط دیم اختلاف آماری معنی‌داری بین تعدیل کننده‌های تنش مشاهده نشد و کمترین عملکرد اسانس در محلول‌پاشی با گلایسین‌بتائین به دست آمد (شکل ۸). کم بودن عملکرد اسانس در تیمار عدم مصرف تعدیل‌کننده و در روش کاشت دیم به کمتر بودن عملکرد دانه در این روش ارتباط دارد. گزارش شده است با افزایش شدت خشکی، درصد اسانس زیره سبز به صورت خطی افزایش می‌یابد و بیشترین درصد اسانس در تنش خشکی شدید (آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و کمترین درصد اسانس در تیمار بدون تنش (آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) می‌باشد (Karimzadeh-Asl and Baghbani Arani, 2019). اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها نیاز ضروری به عناصری نظیر نیتروژن و فسفر دارد. از این‌رو ممکن است محلول‌پاشی با تعدیل کننده‌های اسمزی با تأثیر بر جذب نیتروژن و فسفر باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس زیره سبز شده باشند. گزارش شده است تنش خشکی به میزان قابل توجهی درصد اسانس را افزایش اما عملکرد اسانس را در مقایسه با گیاهان آبیاری شده کاهش می‌دهد. محلول‌پاشی با SNP در شرایط آبیاری مطلوب یا کم‌آبیاری به میزان قابل توجهی درصد اسانس و عملکرد اسانس را افزایش داد (Farouk and Al-Huqail, 2020).



شکل ۸- اثر متقابل روش کاشت و نوع تعدیل کننده تنش بر عملکرد اسانس (BRs، GB و SNP به ترتیب برازینواستروئید، گلایسین بتائین و سدیم نیتروپروساید)

Figure 8- Interaction between planting method and type of stress modulator on essential oil yield (BRs, GB and SNP, are brazinosteroids, glycine betaine and sodium nitroprusside, respectively)

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش اگرچه سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط دیم در مقایسه با تیمار عدم مصرف تعدیل‌کننده می‌شوند اما قادر به کاهش قابل‌توجه اثرات تنش خشکی و در نتیجه افزایش عملکرد در مقایسه با کشت فاریاب در زیره سبز نیستند. هم در شرایط فاریاب و هم در شرایط دیم محلول‌پاشی با برازینواستروئید در مقایسه با سایر تعدیل کننده‌های مورد استفاده عملکرد کمی و کیفی بیشتری را تولید کرد.

References

Ahammed, G.J., Li, X., Liu, A. and Chen, S. 2020. Brassinosteroids in plant tolerance to abiotic stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(4): 1-14.

Ahmadian, A., Tavassoli, A. and Amiri, E. 2011. The interaction effect of water stress and manure on yield components, essential oil and chemical compositions of cumin (*Cuminum cyminum*). *African Journal of Agricultural Research*, 6(10): 2309-2315.

Aminpour, R. and Mousavi, S.-F. 1997. The effects of number of irrigations on development stages, yield and yield components of cumin. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 1(1): 1-8. (In Persian).

Ananthi, K. and Vanangamudi, M. 2013. Foliar application of humic acid with brassinosteroid on chlorophyll content and yield of greengram (*Vigna radiata* (L.) wilczek). *Legume Research-An International Journal*, 36(3): 241-244.

Anjum, S.A., Xie, X.-y., Wang, L.-c., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9): 2026-2032.

Armin, M. and Miri, H.R. 2014. Effects of glycine betaine application on quantitative and qualitative yield of cumin under irrigated and rain-fed cultivation. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(4): 708-716.

Bahrami, H., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A. 2021. The effect of different irrigation cut-off times on yield and yield components of cumin in weed interference conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, In press. (In Persian).

Dehghan, M., Balouchi, H., Yadavi, A. and Zare, E. 2020. Improve wheat (*triticum aestivum*) performance by brassinolide application under different irrigation regimes. *South African Journal of Botany*, 130: 259-267.

Dikilitas, M., Simsek, E. and Roychoudhury, A. 2020. Role of proline and glycine betaine in overcoming abiotic stresses. *Protective chemical agents in the amelioration of plant abiotic stress: Biochemical and Molecular Perspectives*, 1-23.

Esfini, F.M., Paknejad, F., Bakhtiari, M.M., Alavi, S. and Hasibi, A. 2012. Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(3): 69-77. (In Persian).

Farouk, S. and Al-Huqail, A.A. 2020. Sodium nitroprusside application regulates antioxidant capacity, improves phytopharmaceutical production and essential oil yield of marjoram herb under drought. *Industrial Crops and Products*, 158: 113034.

Farouk, S. and Omar, M. 2020. Sweet basil growth, physiological and ultrastructural modification, and oxidative defense system under water deficit and silicon forms treatment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(3): 1307-1331.

Giri, J. 2011. Glycinebetaine and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 11(6): 1746-1751.

Hayat, S. and Ahmad, **A.** 2007. Salicylic acid-a Plant Hormone. Springer Science & Business Media.

Hayat, S., Ahmad, A. and Ahmad, A. 2003. Brassinosteroids: Bioactivity and Crop Productivity. Springer Science & Business Media.

Hossain, M.A., Kumar, V., Burritt, D.J., Fujita, M. and Mäkelä, P.S. 2019. Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants. *Proline Metabolism and Its Functions in Development and Stress Tolerance. Springer Nature Switzerland*, 41-72.

Jamimoeini, M. 2010. The effect of application method of salicylic acid and glycinebetaine on quality and quantities cumin's yield in rainfed and irrigation conditions. Final Report of the Research Project. Islamic Azad University of Sabzevar Branch. (In Persian).

Kafi, M. 2006. Cumin (*cuminum cyminum*): Production and Processing. CRC Press.

Kahrobaiyan, M., Nemati, S.H., Rahemi, M., Kholdebarin, B. and Tehranifar, A. 2019. Morphological responses of ornamental sunflower to putrescine treatment under drought conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3): 6117-6127.

Karimzadeh-Asl, K. and Baghbani Arani, A. 2019. Effect of different irrigation regimes and bio-fertilizers on grain yield, essential oil content, some physiologic traits and uptake of nutrient status in cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3): 817-830. (In Persian).

Lefevere, H., Bauters, L. and Gheysen, G. 2020. Salicylic acid biosynthesis in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1-7.

Lei, Y., Yin, C. and Li, C. 2007. Adaptive responses of *Populus przewalskii* to drought stress and SNP application. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(6): 519-526.

Manshoori, F., Armin, M. and Marvi, H. 2019. Role of sodium nitroprusside on mitigation of salt stress in sweet corn. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, 28(2): 196-210.

Miri, M., Ghooshchi, F., Tohidi-Moghadam, H.R., Larijani, H.R. and Kasraie, P. 2021. Ameliorative effects of foliar spray of glycine betaine and gibberellic acid on cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) yield affected by drought stress. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(10): 1-9.

Mohasseli, V .and Sadeghi, S. 2019. Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant specie of thymus under reduced irrigation. *Industrial Crops and Products*, 130: 130-136.

Namvar, A., Hadi, H. and Seyed sharifi, R. 2018. Role of exogenous phytoprotectants in mitigation of adverse effects of abiotic stresses. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 12(48): 103-128.

Nassabadi, H., Armin, M. and Marvi, H. 2019. The effect of weed interference duration on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in irrigated and rainfed condition. *Journal of Crop Production*, 12(2): 157-170. (In Persian).

Sartip, H. and Sirousmehr, A.R. 2017. Evaluation of salicylic acid effects on growth, yield and some biochemical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under three irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(4): 547-558. (In Persian).

Siddiqui, H., Hayat, S. and Bajguz, A. 2018. Regulation of photosynthesis by brassinosteroids in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(3): 1-15.

Timachi, F., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A. 2020. Physiological response of cumin to times and type of stress modulator in rain-fed and irrigated conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(6): 1163-1172.

Wu, F., Bao, W., Li, F. and Wu, N. 2008. Effects of drought stress and n supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of sophora davidii seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 63(1-3): 244-258.

Yang, A., Anjum, S., Wang, L., Song, J., Zong, X., Lv, J., Zohaib, A., Ali, I., Yan, R. and Zhang, Y. 2018. Effect of foliar application of brassinolide on photosynthesis and chlorophyll fluorescence traits of leymus chinensis under varying levels of shade. *Photosynthetica*, 56(3): 873-883.

Zare, M.S., Armin, M. and Marvi, H. 2021. Physiological responses of cotton to stress moderator application on different planting date under saline conditions. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 45(1): 11-25. (In Persian).

Zehtab-Salmasi, S., Javanshir, A., Omidbaigi, R., Alyari, H. and Ghassemi-Golezani, K. 2001. Effects of water supply and sowing date on performance and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Acta Agronomica Hungarica*, 49(1): 75-81.

Zullo, M.A.T. and Adam, G. 2002. Brassinosteroid phytohormones: Structure, bioactivity and applications. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14: 143-181.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 2, Autumn and Winter 2023, P. 421-435

The effect of stress modulator application on seed and essential oil yield of cumin in dryland and irrigated conditions

Feridon Timachi[1], Mohammad Armin[2*], Matin Jamimoeini[2], Abbas Abhari[3]

[1] Phd. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
[3] Department of Agronomy, Payame Noor University, Tehran, Iran

[*]Corresponding Author: moh.armin@iau.ac.ir

Received: 6 August 2021 Accepted: 30 September 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.298527.1116**

Abstract

Introduction: Cumin (*Cuminum cyminum* L.) is one of the most important medicinal plants grown in arid and semiarid environments. Cumin is suitable for rainfed cultivation due to its short growing season, leaf shape, canopy structure, and low water requirement. However, when rainfall falls short of crop requirements, rain-fed agriculture does not produce adequate economic yields. Several agronomic and physiological strategies have been implemented to mitigate the negative effects of drought stress and increase plant tolerance to it. Utilizing plant hormones is one of the realistic and promising strategies for increasing crop yields under stressful conditions. Few studies have examined the use of these substances as stress modulators in medicinal plants. This research was conducted to investigate the effect of stress modulator application on seed and essential oil yield of cumin in dryland and irrigated conditions.

Materials and Methods: The split-plot factorial experiment was done based on a randomized complete block design with 3 replications on a private farm in the city of Jaghtai (Khorasan Razavi) in 2017-18. The cultivation method at two levels (dryland and irrigated conditions) and sources of stress modulators at four levels (control, 1.5 M Glycine Betaine, 10^{-7} M Brassinosteroids, and 10^{-3} M Sodium nitroprusside) were studied as the main plot and subplot, respectively. The experimental field underwent wheat and barley cultivations in the previous first and second years. For soil preparation, the land was plowed in autumn. The fertilizers consisted of P_2O_5 (75 kg.ha^{-1}), K_2O (100 kg.ha^{-1}), and N (100 kg.ha^{-1}) represented ammonium diphosphate, potassium sulfate, and a form of urea, and were applied at sowing under irrigated conditions. In the rain-fed condition, nitrogen fertilizer application was reduced to 50 kg.ha^{-1}. At the end of the growing season, 10 plants were randomly selected from each plot and their cumin yield components were measured, including final plant height, number of branches, number of umbels per plant, number of seeds per plant, and 1000-seed weight. To determine grain yield and biological yield, a 2.5 m^2 area was harvested from each plot after removing the margins. Using the steam distillation method, the Clevenger apparatus was utilized to measure the essential oil. For this purpose, 50 grams of the seeds in each treatment were selected, crushed with a laboratory mill, and dissolved in 500 mL of water for three hours.The essential oil yield was obtained by multiplying the essential oil percentage by seed yield. ata analysis was performed using SAS software (ver. 9.4) and tables and charts were drawn using Word and Excel software. Mean data was compared with LSD method.

Results and Discussion: Slicing of moderator interaction at the planting method levels revealed that foliar application with brassinosteroids in irrigated and dryland conditions increased number of umbrellas per plant (150 and 137%), number of seeds per plant (85.5% and 41.7%) and seed yield (57.9% and 44.8%) relative to no foliar application. Under irrigated conditions, the type of stress modulators affected the number of lateral branches and essential oil yield, with foliar application of glycine betaine producing the highest number of lateral branches and foliar application of brassinosteroids producing the highest essential oil yield. Foliar application of brassinosteroids decreased the essential oil content of irrigated plants by 8.81%.

Conclusion: In general, the results of the experiment indicated that in cumin, in order to obtain proper seed and essential oil yield, cultivation should be done as irrigated and the most suitable modifiers to obtain maximum grain and essential oil yield could be classified as brassinosteroids > glycine betaine > Sodium nitroprusside.

Keywords: Drought stress, Foliar application, Medicinal plants, Planting method, Phytoprotectants