



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال دوازدهم/ شماره چهارم/ ۱۴۰۴ (۶۲-۴۱)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2026.97141



پاسخ تأثیر منابع تغذیه‌ای و تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی و هدایت الکتریکی بذرهای حاصل از گیاه مادری گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*)

پروین رستم پور^۱، امین صالحی^{۲*}، محسن موحدی دهنوی^۳، رضا نقی‌ها^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۲۱

چکیده

مرحله جوانه‌زنی یکی از مهمترین و حساس‌ترین مراحل زندگی یک گیاه محسوب می‌شود. بروز تنش خشکی روی گیاه مادری می‌تواند سبب کاهش جوانه‌زنی و رشد بذور گیاهان تحت این شرایط شود. از سوی دیگر تغذیه مناسب گیاه مادری نقش مهمی در تولید بذرهای با بنیه زیاد دارد. استفاده از ترکیبات زیستی و آلی در تنش‌های محیطی سبب تولید بذور با قابلیت جوانه‌زنی بهتر می‌شود. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر منابع تغذیه‌ای و تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذرهای حاصل از گیاه مادری گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شهرستان نورآباد ممسنی واقع در استان فارس، به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح، بدون تنش (آبیاری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، تنش ملایم (آبیاری با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) و تنش شدید (آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی به صورت فاکتوریل شامل قارچ میکوریزا گونه تجاری *Glomus mosae* در دو سطح (بدون قارچ و تلقیح با قارچ) و سطوح تغذیه‌ای شامل: شاهد، تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی، تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی، تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی و کود شیمیایی بود. نتایج نشان داد که با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، حداکثر جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و وزن هزار دانه حاصل شد. میکوریزا آربوسکولار توانست سبب افزایش صفات فوق در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی شود. در بین تیمارهای تغذیه‌ای، بیشترین میزان این صفات به خصوص درصد و سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی بود. زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذور گیاه گل گاوزبان ایرانی و هدایت الکتریکی آن‌ها با افزایش تنش خشکی افزایش یافت. تلقیح با میکوریزا سبب کاهش زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی و مقدار هدایت الکتریکی بذرهای حاصل شد. همچنین کمترین زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی و مقدار هدایت الکتریکی مربوط به تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی بود. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که قارچ میکوریزا گونه *Glomus mosae* و کمپوست (به خصوص تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی) توانست درصد و سایر خصوصیات مرتبط با جوانه‌زنی و اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، درصد جوانه‌زنی، کمپوست، میکوریزا آربوسکولار

P.rostampour@stu.yu.ac.ir

aminsalehi@yu.ac.ir

movahhedi1354@yu.ac.ir

r.naghiha@scu.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۴- دانشیار، گروه پاتوبیولوژی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: aminsalehi@yu.ac.ir

مقدمه

گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & C.) A. Mey گیاهی دارویی از تیره Boraginaceae، راسته Polemoniales، جنس *Echium* و از گیاهان دولپه‌ای و مقاوم به خشکی است. از آنجا که کشت این گیاه دارویی مد نظر بوده است، بررسی عوامل مختلف مؤثر بر رشد آن اهمیت دارد. این گیاه از دیرباز در طب سنتی ایران به شکل آرامبخش، مدر، معرق، شیرافزا، ضدسرفه و آسم، نرم‌کننده، خلط‌آور، کاهش‌دهنده تپش قلب، کاهش‌دهنده فشار خون، تقویت‌کننده و تصفیه‌کننده خون استفاده داشته است (Abed et al., 2014). شکستن خواب بذر گل گاوزبان ایرانی از جمله چالش‌های اصلی کشاورزان برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها می‌باشد. در مطالعه‌ای اثر سرمادهی و تیمارهای شیمیایی بر جوانه‌زنی بذر گل گاوزبان ایران (*Echium amoenum*) در دو جمعیت مشهد و جواهرده بررسی شد که تیمارهای آن شامل جیبرلیک اسید ۵۰۰ ppm، ۵۰۰، اسید سولفوریک ۵۰ درصد، گذاشتن بذر در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای ۷، ۱۴، ۲۱ روز و شاهد بود، بر اساس نتایج به دست آمده، طول ریشه‌چه در بین دو جمعیت مشهد و جواهرده معنی‌دار بود. همچنین در تیمارهای استفاده شده درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، وزن تر و وزن خشک گیاه‌چه معنی‌دار شدند. با توجه به نتایج بدست آمده تیمار ۷ روز سرمادهی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد مناسب‌ترین تیمار برای شکستن سریع‌تر خواب بذر معرفی گردید و ثابت شده که جمعیت جواهرده برای کاشت انبوه از جمعیت مشهد مناسب‌تر بود (Khorsandi et al., 2019).

جوانه‌زنی بذر یکی از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک گیاهان است که تعیین‌کننده‌ی میزان تولید هر محصول می‌باشد. جوانه‌زنی بذر، سبز شدن و رشد گیاهچه در گیاهان زراعی به عواملی از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه‌ی بذر بستگی دارد. افزایش هر یک از این مولفه‌ها می‌تواند در افزایش قدرت اولیه بذر مؤثر باشد (Elouaer and Hannachi, 2012).

مطالعه خصوصیات جوانه‌زنی و بیولوژیکی بذر از مطالعات بنیادی و اولیه در خصوص اهلی کردن گیاهان دارویی می‌باشد. یکی از مشکلات بذرهای گیاهان دارویی این است که در شرایط طبیعی به خوبی جوانه‌زده و رشد

می‌کنند ولی جوانه‌زنی آنها در شرایط آزمایشگاهی و زراعی صورت نمی‌گیرد یا نامطوب می‌باشد. این امر می‌تواند ناشی از سرعت جوانه‌زنی پایین و یا نیازهای اکولوژیکی خاص هر گونه برای جوانه‌زنی و رشد باشد (Piri et al., 2021). محققان گزارش کردند که تنش‌های محیطی می‌تواند در طول دوره رشد گیاه مادری بر کیفیت بذر تولیدی مؤثر باشد. وقوع تنش پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و قبل از برداشت می‌تواند سبب کاهش جوانه‌زنی و بنیه بذر شود (Hamidi et al., 2016). تنش خشکی روی گیاه مادری با تأثیر بر انتقال مواد ذخیره‌ای از گیاه به بذر و سنتز ترکیبات آلی، سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر می‌شود (Attarzadeh et al., 2019). تقریباً تمام واکنش‌های متابولیک سلول تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته، بنابراین تولید و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه سنتز پروتئین کاهش و در نهایت بر رشد سلول تأثیر منفی می‌گذارد (Farooq et al., 2009). قاسمی گل‌دانی و همکاران (Ghassemi-Golezani et al., 2013) کاهش جوانه‌زنی در اثر اعمال تنش خشکی روی گیاه مادری را گزارش نمود.

یافته‌های بسیاری از پژوهشگران مؤید این حقیقت است که حضور ترکیبات زیستی و آلی در نظام‌های مختلف کشاورزی پایدار از طریق اثرات هم‌افزایی و تشدیدکننده‌ای که میان آنها بوجود می‌آید، می‌تواند با ایجاد یک بستر مناسب و متعاقب آن دسترسی مطلوب گیاه به عناصر غذایی، موجب رشد و افزایش بیوماس گیاه گردد (Chandrasekaran, 2022). در یک پژوهش اثر بیوسولفور در جذب عناصر غذایی و عملکرد سوبا (*Glycine max* L.) بررسی و گزارش شد که کاربرد ۳ تن در هکتار گوگرد به همراه کود بیولوژیک بیوسولفور منجر به تولید بیشترین عملکرد کمی و کیفی دانه شد، به‌طوری‌که بذرهای حاصل از بوته‌های تیمار شده با این کود از کیفیت بالاتری برخوردار بودند (Babayee et al., 2012). در بسیاری از بررسی‌های مرتبط با کشاورزی پایدار، وجود رابطه هم‌افزایی بین موجودات ریز خاک از جمله قارچ‌های میکوریزا با گیاهان مختلف گزارش شده است. به‌طوری‌که

تلقیح هم زمان آن‌ها با این خانواده از گیاهان افزایش جذب فسفر و رشد گیاه را در پی داشته است (Bauma et al., 2015). موجودات ریز خاک به عنوان یک جز بسیار مهم در سامانه خاک می‌توانند از طریق سازوکارهای مختلف سبب تحریک و بهبود رشد و تغذیه گیاهان شوند. قارچ مایکوریزا آربوسکولار می‌تواند با ریشه ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی در ارتباط همزیستی داشته باشد (Smith and Resd, 2008). شواهد قابل توجهی نشان می‌دهد که قارچ مایکوریزا آربوسکولار سبب افزایش تحمل گیاهان میزبان در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Lazcano et al., 2014). غلامی گنجه و همکاران (Gholami ganjeh et al., 2015) گزارش کردند که استفاده از قارچ مایکوریزا از طریق جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر توسط گیاه مادری منجر به بهبود اکثر شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاه زیره سبز می‌گردد. حمیدی و همکاران (Hamidi et al., 2016) با بررسی باکتری سودوموناس و قارچ مایکوریزا بر جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه‌های گیاه مادری سویا در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که ریزجانداران مفید خاکزی به ویژه باکتری‌های تحریک‌کننده رشد سبب بهبود و احیای کیفیت جوانه‌زنی و بنیه بذر می‌گردد.

استفاده بهینه از کودهای آلی و منابع بیولوژیک نه تنها دارای اثرات مثبت بر خصوصیات خاک است، بلکه دارای جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مفید بوده و می‌تواند جایگزین خوبی برای نهاده‌های شیمیایی باشد (Moradi and Taleshi, 2018). کودهای آلی حاوی مقدار زیادی ماده‌ی آلی هستند و منبع اولیه‌ی نیتروژن به‌شمار می‌روند و در بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نقش کلیدی دارند (Motta and Maggiore, 2013). این کودها ضمن ذخیره‌سازی مواد آلی خاک منجر به اصلاح خاک‌های آلوده می‌شوند (Weber et al., 2014). استفاده از مواد آلی، باعث بهبود فعالیت‌های بیولوژی و میکروبی خاک، تأمین بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، بهبود رشد و عملکرد گیاه، افزایش کیفیت و سلامت محصول، افزایش انحلال و تحرک عناصر غذایی شده و

دسترسی به آن‌ها را برای گیاه تسهیل و باعث کاهش تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی می‌شود (Mengistu et al., 2017). در پژوهشی پس از بررسی اثر سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی گل ختمی (*Althaea officinalis*) گزارش شد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست منجر به افزایش ۳ تا ۲ برابری درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر این گیاه شد (Sadeghi et al., 2014) و امیری و همکاران (Amiri et al., 2012) پس از بررسی خصوصیات جوانه‌زنی بذور رازیانه (*Foeniculum vulgare*) تولید شده تحت شرایط استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی گزارش کردند که تیمار کمپوست به علاوه‌ی ورمی‌کمپوست از نظر درصد، سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی نسبت به سایر تیمارها برتری داشت.

از آنجایی که تنش خشکی عامل محدودکننده‌ای برای بسیاری از گیاهان زراعی محسوب می‌شود. از سوی دیگر با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت ترکیبات زیستی و آلی، در پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد تا خصوصیات جوانه‌زنی و کیفیت بذرها حاصل از گیاه مادری گل گاوزبان ایرانی در ارتباط با تأثیر قارچ مایکوریزا آربوسکولار و تلفیق کمپوست و ژئولیت در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شهرستان نورآباد ممسنی واقع در استان فارس، به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح، بدون تنش (آبیاری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، تنش ملایم (آبیاری با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) و تنش شدید (آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی به صورت فاکتوریل شامل قارچ مایکوریزا در دو سطح (بدون قارچ و تلقیح با قارچ به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار) و سطوح تغذیه‌ای شامل: شاهد (عدم مصرف کود)،

تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن (معادل ۹۰ کیلوگرم در هکتار) از طریق کمپوست دامی، تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی، تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی و در نهایت کود شیمیایی (N-P-K) بود. قبل از کاشت از خاک مزرعه نمونه‌برداری شده و خصوصیات خاک در آزمایشگاه بررسی گردید (جدول ۱). سپس عملیات تهیه زمین انجام و کرت بندی انجام شد. در مهرماه عملیات کاشت بذر تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان، در سینی نشاء انجام گرفت و پس از جوانه‌زدن و وارد شدن گیاه به مرحله ۴ تا ۶ برگ، اواخر آبان‌ماه نشاءها به تعداد ۴۳۲۰ بوته به زمین اصلی منتقل شد. گیاهچه‌ها از نظر اندازه یکسان انتخاب شد. به‌منظور تلقیح میکوریزا، خاک حاوی این قارچ‌ها به‌میزان ۲۰ گرم به‌ازای هر بوته (حاوی تعداد ۱۲۰ اسپور به‌ازای هر گرم خاک) در هنگام کاشت و داخل کپه‌های حفر شده برای کشت نشاء قرار داده شد. میکوریزا گونه تجاری *Glomus mosae* از شرکت تولیدی زراعی ارگانیک تهیه شد.

مراحل آماده‌سازی زمین مورد نظر جهت کشت نشاءها به مساحت تقریبی ۱۰۰۰ مترمربع (کرت‌ها و حاشیه‌ها) شامل عملیات خاکورزی از جمله شخم با عمق مناسب، دیسک‌زدن و عملیات آماده‌سازی بستر کشت، تسطیح و ایجاد جوی و پشته بود. سپس به ۳۰ کرت جداگانه به ابعاد ۳/۵×۲/۵ متر مربع تقسیم و در هر کرت ۶ پشته با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین دو پشته ایجاد شد. برای به حداقل رساندن خطاها و اثر حاشیه‌ای، فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی (تیمار آبیاری) دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر در نظر گرفته شد. نشاء مورد نیاز با فاصله ۵۰ سانتی‌متری روی ردیف و در وسط پشته (با تراکم ۴ بوته در هر مترمربع) در تاریخ مناسب (اواخر آبان‌ماه) کاشته شد. عملیات تلقیح قارچ همزمان با کشت نشاءها انجام گرفت. به‌منظور تهیه کمپوست‌های مناسب برای اجرای آزمایش، ابتدا از کود دامی تازه (کودی که از جمع‌آوری آن در دامداری بیش از ۲۰ روز نگذشته بود) برای تعیین خصوصیات شیمیایی، نمونه‌ای تهیه و مورد

بررسی قرار گرفت. سپس، دو ردیف هم وزن به طول ۵ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر از کود دامی توزین شد، که در یکی از ردیف‌ها هیچگونه ماده اضافی مصرف نشده ولی در ردیف دیگر ۱۰ درصد وزن کود دامی، زئولیت طبیعی با کود دامی مخلوط گردید و برای جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید بر ردیف‌های کود دامی، سطح ردیف‌ها بوسیله‌ی کاه و کلش به‌طور کامل پوشانده شد. طول دوره تبدیل کود دامی تازه به کمپوست‌های قابل استفاده ۴۵ روز بود که در این مدت تأمین رطوبت مورد نیاز و شرایط هوازی، برای فعالیت ریزجاندارها در ردیف‌های کود دامی لحاظ گردید. در چند نوبت علاوه بر برهم زدن ردیف‌های کودی، دمای توده کود در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی-متری به‌وسیله دماسنج جیوه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت تا از رسیدن دمای ردیف‌های کودی به مقدار مناسب (حدود ۵۵ تا ۶۰ درجه) برای از بین رفتن بذور علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها اطمینان حاصل شد (Eghball et al., 2011). برای اعمال کودهای آلی، میزان عناصر غذایی کمپوست مورد استفاده تعیین (جدول ۲) و سپس بر حسب نیاز غذایی گاو‌زبان ایرانی، در سطح کرت‌های مورد نظر به‌طور یکنواخت پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. بر اساس منابع موجود نیاز کودی گاو‌زبان ایرانی برای نیتروژن از منبع شیمیایی، ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص تعیین شده که نیمی از این مقدار در زمان کاشت و نیم دیگر آن بعد از انجام عملیات تنک کردن به خاک مزرعه اضافه شد (این میزان نیتروژن خالص توسط کود شیمیایی اوره تأمین می‌شود) (Amiri et al., 2019). جهت استقرار گیاه تمامی تیمارها پس از کشت بذر با فاصله هر ۷ روز یک‌بار آبیاری شد. گیاه در طول زمستان به صورت روزت بوده و اعمال تیمار آبیاری در پس از زمستان‌گذرانی و استقرار کامل بوته‌ها به صورت نوار تیپ قطره‌ای و اعمال تنش با نصب کنتور حجمی صورت گرفت (Shahinroksar et al., 2016).

برای اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه به منظور اعمال سطوح مختلف آبیاری، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع با

استفاده از معادله پنمن-مانتیت و اطلاعات داده‌های هواشناسی منطقه که شامل داده‌های مربوط به دمای حداقل و حداکثر، مقدار بارندگی، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی می‌باشد از ایستگاه هواشناسی نورآباد اخذ و سپس با استفاده از نرم‌افزار Cropwat ارائه شده توسط FAO، نیاز آبی گیاه محاسبه شد. (Zare hagh et al., 2016).

بذرگیری از گیاه مادری در خردادماه سال ۱۴۰۰ انجام گرفت و تا زمان اجرای آزمایش جوانه‌زنی، بذرها در مکانی خشک و هواگیر و در درجه حرارت حدود ۱۸ درجه سانتی-گراد به مدت ۱ ماه نگهداری شدند. بذره‌ای حاصل از گیاهان مادری تیمار شده با عوامل زراعی ذکر شده (کود و تنش خشک) برای آزمایش جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس برای شکستن خواب فیزیولوژیکی بذر آنها به مدت ۳۰ روز در دمای ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و در مدت ۱۲ ساعت با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس پیش تیمار شد (Ansari et al., 2016). این پژوهش با ۳ تکرار انجام شد و در هر تکرار تعداد ۲۱ عدد بذر سالم به طور تصادفی از هر تیمار انتخاب گردید. بذرها پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۳۰ ثانیه، به پتری دیش‌های ۳۰ میلی‌متری استریل شده روی کاغذ صافی منتقل گردیدند. پس از آب‌دهی با آب مقطر، پتری‌ها به داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس انتقال داده شدند و به مدت ۱۴ روز تعداد بذور جوانه‌زده شمارش شدند (Amiri et al., 2006). در روز آخر جوانه‌زنی، پس از شمارش تعداد کل بذره‌ای جوانه‌زده، طول ریشه‌چه و ساقه-چه‌ی آن‌ها با خطکش بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن خشک گیاهچه (وزن خشک ریشه‌چه+وزن خشک ساقه‌چه) پس از قرار گرفتن در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۵ ساعت تعیین گردید. برای محاسبه حداکثر جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از نرم‌افزار Germin

استفاده شد (Soltani et al., 2001). در این برنامه زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D50) با استفاده از روش درونیابی خطی در منحنی جوانه‌زنی تجمعی محاسبه شد. سرعت جوانه‌زنی (R50) به صورت عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر درصد جوانه‌زنی از طریق معادله ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

معادله ۱ $R50 = 1/D50$ (سرعت جوانه‌زنی)
همچنین شاخص بنیه بذر با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید (Abdul baki and Anderson, 1973).
معادله ۲ میانگین طول گیاهچه‌ها $\times 100 / \text{درصد جوانه‌زنی} =$
بنیه‌ی بذر

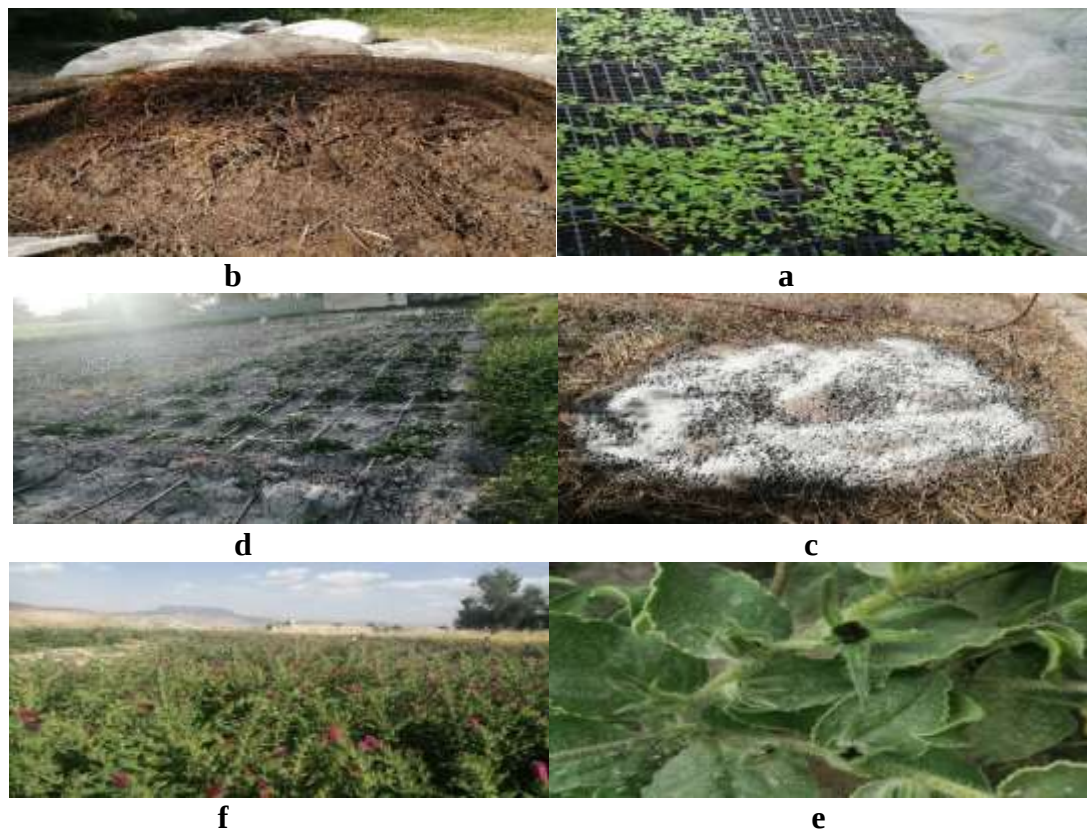
برای انجام آزمون هدایت الکتریکی از هر تیمار ۳ تکرار ۱۰۰ عددی بذر به صورت تصادفی جدا گردید. در ابتدا وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها به صورت جداگانه در داخل ظروف در بسته با فویل آلومینیومی حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر، به مدت ۲۵ ساعت غوطه‌ور شدند و یک ظرف محتوی آب دو بار تقطیر شده بدون بذر نیز به‌عنوان شاخصی از کیفیت آب (شاهد) در نظر گرفته شد. ۲۵ ساعت قبل از انجام آزمایش ظروف محتوی آب دو بار تقطیر شده در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا از لحاظ دما به تعادل برسند. بعد از مدت ۲۵ ساعت با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (EC متر)، هدایت الکتریکی هر ظرف اندازه‌گیری شد. سپس میزان هدایت الکتریکی هر نمونه بذر با استفاده از فرمول هدایت الکتریکی تعیین شد که به صورت عدد خوانده شده از EC متر بر وزن خشک ۱۰۰ عدد بذر بدست آمده و بر اساس درصد گزارش شد (ISTA, 2003). از بذره‌ای برداشت‌شده مزرعه در هر کرت به طور تصادفی ۱۰۰ عدد بذر جدا گردید و برای تعیین وزن هزار دانه مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) و همچنین مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	کربن آلی (درصد)	واکنش خاک (اسیدیته)	هدایت الکتریکی (دسی زمینس بر متر)	آهک (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مس
سیلتی لوم	۰/۹۱	۷/۸	۲/۰	۳۲	۰/۰۹	۹	۱۹۹	۳/۸	۳/۴	۲/۷	۲/۸

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کمپوست

کربن آلی (%)	مواد آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	آهن	منگنز	روی (mg/kg)	مس
۲۸/۸	۵۰	۱/۲۵	۰/۶۲	۲/۸۷	۵۰۴۰	۴۲۴	۹۹/۳	۲۵



شکل ۱- تصاویر مربوط به a (تولید نشاء)، b (تهیه کمپوست)، c (کاربرد زئولیت)، d (آبیاری قطره‌ای و اعمال تنش خشکی)، e و f (گلدهی و تولید بذر از پایه مادری)

نتایج و بحث

حداکثر جوانه‌زنی و زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به درصد جوانه‌زنی بذور گل‌گاوزبان ایرانی (جدول ۳)، نشان داد که اثر رژیم آبیاری، میکوریزا و منابع تغذیه‌ای بر درصد جوانه‌زنی بذور گیاه گل‌گاوزبان ایرانی معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که، درصد جوانه‌زنی بذرهای گل‌گاوزبان ایرانی با کاهش میزان آب در دسترس گیاه از ۱۰۰ به ۷۵ و سپس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش یافت، به طوری که آبیاری پس از تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب سبب کاهش ۳۰/۴۳ و ۱۵/۵۱ درصدی جوانه‌زنی نسبت به آبیاری پس از تأمین

۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه شد. گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی، درصد جوانه‌زنی را ۴/۶۳ درصد افزایش دادند. همچنین در بین تیمارهای تغذیه‌ای مورد استفاده، تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی نسبت به بقیه تیمارها، درصد جوانه‌زنی را بهبود بخشید که البته اختلاف معنی‌داری را با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی نشان نداد. تیمارهای تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی و تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی و همچنین تیمارهای تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی و کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری را در افزایش درصد جوانه‌زنی نشان ندادند. همچنین کم‌ترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۶۳/۳۳ درصد از کرت شاهد

بدست آمد که نسبت به سطوح ترکیبات مختلف کودی اختلاف معنی داری را نشان داد (جدول ۴). چنین به نظر می‌رسد که کاهش جذب آب بوسیله بذر در اثر اعمال تنش خشکی منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی بذر گاوزبان ایرانی شده است. با توجه به اینکه فرایند جوانه‌زنی تا حدود زیادی وابسته به دسترسی به میزان زیاد آب در خاک است، پس احتمالاً این خاصیت یکی از علت‌های تقویت جوانه‌زنی توسط کمپوست است. اگر چه استفاده از کود شیمیایی منجر به بهبود درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد، ولی این کود در مقایسه با کمپوست‌های مورد استفاده از اثرات مثبت کمتری برخوردار بود.

اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و عامل‌های کودی مورد استفاده بر زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی گاوزبان ایرانی معنی‌دار بود اما این صفت تحت تأثیر عامل‌های آزمایش قرار نگرفت (جدول ۳). زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذرهای گیاه گل گاوزبان ایرانی با افزایش تنش خشکی افزایش یافت به طوریکه در زمان آبیاری پس از تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی ۱۹۰ ساعت بود که از لحاظ آماری با دو سطح دیگر (آبیاری پس از تأمین ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) اختلاف معنی‌داری را نشان داد.

تلقیح با میکوریزا سبب کاهش زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی شد. همچنین در بین منابع تغذیه‌ای کمترین زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی مربوط به تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زنولیتی با میانگین ۱۵۹ ساعت بود که از لحاظ آماری با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی (۱۶۴ ساعت) اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. تیمار کود شیمیایی و تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زنولیتی (به ترتیب با میانگین ۱۷۵ و ۱۷۰ ساعت) در یک گروه آماری قرار گرفته و تفاوت معنی‌داری را با هم نشان ندادند. همچنین دو تیمار تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زنولیتی و تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی نیز اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند. اختلاف همه تیمارهای تغذیه‌ای با شاهد (۱۸۹ ساعت) معنی‌دار گردید.

چنین به نظر می‌رسد که اعمال تنش خشکی روی گیاه مادری منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گل گاوزبان ایرانی شده است. محققین نیز واکنش متفاوت

گیاهان نسبت به تنش خشکی را به عوامل مختلفی از جمله جذب کمتر آب توسط گیاه مادری و بذر نسبت داده‌اند (Hamidi et al., 2016). بسیاری از گزارش‌ها کاهش مولفه‌های جوانه‌زنی در اثر اعمال تنش خشکی را با کاهش بیان سنتز هورمون‌ها و آنزیم‌های موثر در جوانه‌زنی مرتبط دانسته‌اند (Llanes et al., 2016). در شرایط رطوبتی مناسب، جذب آب توسط بذر، منجر به فعال شدن آنزیم‌ها، هورمون‌ها و فرآیندهای متابولیک در داخل بذر شده و به دنبال آبیاری بذر، جوانه‌زنی انجام می‌شود (Sharafi et al., 2021). محققان نیز کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه نخود ناشی از تعویق آبیاری گیاه مادری را در مراحل مختلف رسیدگی بذر نخود گزارش کردند (Ghassemi-Golezani et al., 2013). هم‌چنین هادی و همکاران (Hadi et al., 2010) ضمن بررسی اثر تنش خشکی روی گیاه مادری در دوره تکوین بذر، کاهش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر و کاهش برخی خصوصیات مرتبط با بهبود و احیا کیفیت جوانه‌زنی بذر در اثر تنش خشکی را گزارش کردند.

ترکیبات زیستی می‌توانند از طریق ایجاد تعادل در سطح آنزیم‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد سبب بهبود خصوصیات ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مولفه‌های جوانه‌زنی شود (Hafeez et al., 2004). قارچ‌های میکوریزا به عنوان یک کود زیستی، احتمالاً با کمک به گیاه در جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر (Roesti et al., 2006) در مزرعه، تولید بذرهایی با خصوصیت جوانه‌زنی مطلوب‌تر را سبب شده است. در یک پژوهش، درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذرهای حاصله از مزرعه گاوزبان ایرانی تیمار شاده با میکوریزا گونه تجاری *Glomus mosae* به ترتیب ۱۸ و ۳۲ درصد بیشتر از شاهد بود (Amiri et al., 2018).

برای دستیابی به بذرهای مناسب با کیفیت مطلوب توجه به نیازهای غذایی گیاه مادری ضروری است، چرا که گیاه با در اختیار داشتن کافی مواد غذایی مورد نیاز خود، زمینه را برای تولید بذرهایی با کیفیت بالا که منجر به افزایش تولید در واحد سطح می‌شود فراهم می‌سازد (Amiri et al., 2015). افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی به دلیل فعالیت‌های متابولیکی و آنزیم‌ها در بذر و با در دسترس بودن عناصر غذایی مرتبط است (Salar et al., 2013). کمبود عناصر غذایی در طول دوره‌ی رشد گیاه مادری می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم قدرت

رویشی بذور حاصله را تحت تأثیر قرار دهد. کمپوست غنی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌صرف بوده (Gutierrez *et al.*, 2007) که با آزادسازی تدریجی این عناصر در مراحل مختلف رشدی گیاه، منجر به ایجاد بذری با ذخایر غذایی بیشتر می‌شوند، بنابراین به‌نظر می‌رسد که برتری کمپوست به خصوص در ترکیب با زئولیت نسبت به شاهد و کود شیمیایی از نظر اکثر خصوصیات جوانه‌زنی، به ذخایر غذایی بیشتر بذور حاصل از اعمال این کودها در مزرعه مرتبط باشد. نیتروژن موجود در این کودها یک عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب دانه است و از آنجایی که در ترکیب اکثر آنزیم‌های جوانه‌زنی، نیتروژن به عنوان یک جزء اصلی حضور دارد، لذا با فراهمی این عنصر به اندازه کافی برای گیاه، درصد و سرعت جوانه‌زنی تسریع می‌شود (Emam and Nicknejad, 1995). از طرفی دیگر کمپوست دارای ویتامین‌ها و مواد تنظیم کننده رشد می‌باشند (Padmavathiamma *et al.*, 2008). به نظر می‌رسد که آنزیم‌های درگیر در فرآیندهای جوانه‌زنی (آنزیم‌های هیدرولیتیک) بذور حاصل از مصرف آن‌ها در مزرعه، سریع‌تر از سایر تیمارها فعالیت خودشان را آغاز و لذا میانگین زمان جوانه‌زنی کمتری داشته باشند. امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2012)، پس از بررسی خصوصیات جوانه‌زنی بذور رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) تولید شده تحت شرایط استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی گزارش کردند که تیمار کمپوست از نظر درصد، سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی نسبت به سایر تیمارها برتری داشت. آن‌ها گزارش کردند که کمپوست و ورمی کمپوست غنی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بوده که با آزادسازی تدریجی این عناصر در مراحل مختلف رشدی گیاه، منجر به ایجاد بذری با ذخایر غذایی بیشتر می‌شوند، بنابراین به نظر می‌رسد برتری این تیمار کمپوست و ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارها از نظر اکثر خصوصیات جوانه‌زنی، به ذخایر غذایی بیشتر بذور حاصل از اعمال این تیمار در مزرعه مرتبط باشد.

بنیه بذر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به بنیه بذر گیاه گل گاوزبان ایرانی (جدول ۳)، حاکی از معنی‌دار بودن اثر ساده رژیم‌های متفاوت آبیاری، میکوریزا و منابع تغذیه‌ای و غیر معنی‌دار بودن برهم‌کنش این عوامل

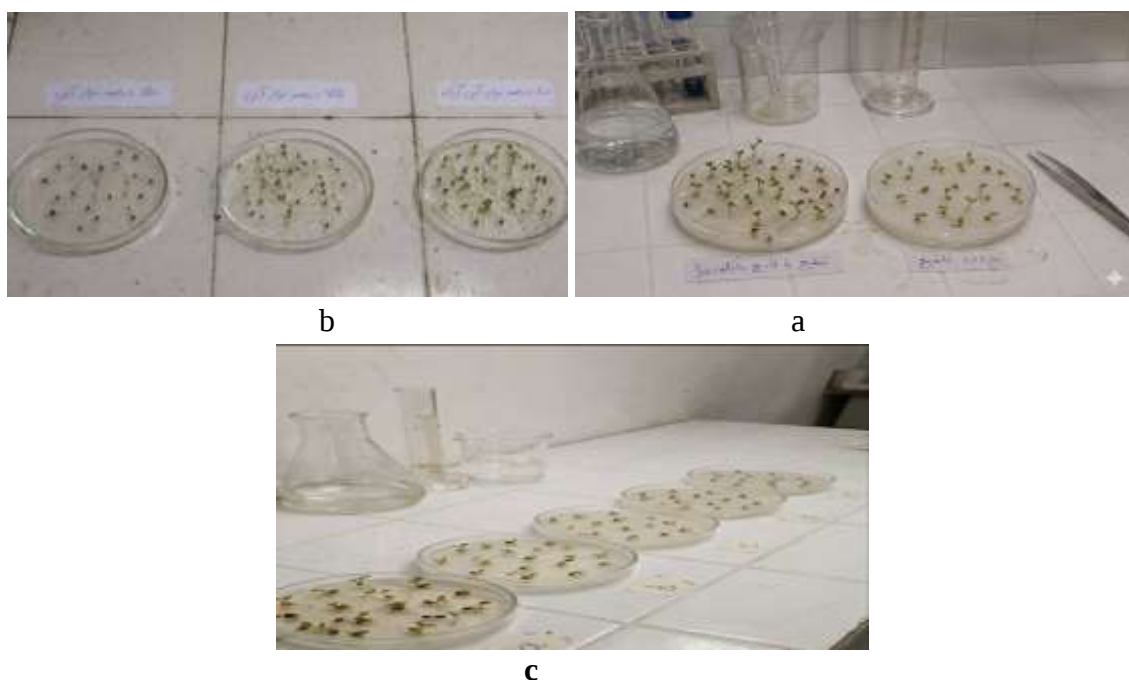
آزمایشی بر صفت مذکور بود. تغییرات بنیه بذر با کاهش میزان آب در دسترس گیاه روند کاهشی را نشان داد، به طوری که آبیاری پس از تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب سبب کاهش ۷۰ و ۲۷/۱۰ درصدی بنیه بذر نسبت به آبیاری پس از تأمین ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه شد. گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی شاخص بنیه بذر را افزایش دادند. همچنین در بین تیمارهای تغذیه‌ای مورد استفاده، بیشترین شاخص بنیه بذر مربوط به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی بود که اختلاف معنی‌داری را با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی نشان نداد. تیمارهای تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی و تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی و همچنین تیمارهای تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی و کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری را در افزایش شاخص بنیه بذر نشان ندادند. همچنین کم‌ترین شاخص بنیه بذر میانگین ۳/۲۱ درصد در تیمار شاهد بدست آمد که نسبت به سطوح ترکیبات مختلف کودی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که افزایش تنش خشکی از طریق کاهش جذب آب توسط گیاه مادری و در نهایت کاهش جذب آب بذر حاصله، سبب تولید بذرهایی با کیفیت پایین شده است. در واقع تنش خشکی روی گیاه مادری با کاهش درصد جوانه‌زنی و طول ریشه چه و ساقه چه، منجر به کاهش بنیه‌ی بذر گاوزبان ایرانی گردید. تنش خشکی روی گیاه مادری سبب کاهش ضخامت پوسته بذر و افزایش نفوذپذیری غشا سلولی شده و در نتیجه باعث کاهش بنیه بذر می‌گردد (Atardi *et al.*, 2011). محققان نیز کاهش قابلیت جوانه‌زنی و شاخص‌های کیفی بذر در اثر اعمال تنش خشکی بر گیاه مادری را مشاهده کردند، همچنین بهبود بیشتر کیفیت جوانه‌زنی و بنیه بذرهایی تنش خشکی دیده را با تیمار با ترکیبات زیستی گزارش کردند (Hamidi *et al.*, 2016).

بنیه و جوانه‌زنی بذر از خصوصیات فیزیولوژیک کیفی بذر هستند. جوانه‌زنی بذر بیانگر میزان تولید نشای نرمال در شرایط مطلوب در مزرعه بوده و بنیه بذر نیز قدرت نشاهای تولیدی را تعیین نموده ضمن اینکه سرعت سبز شدن، یکنواختی و درصد سبز شدن بذر در مزرعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در همین ارتباط عوامل مختلفی از

جمله ژنتیک، محیط، وضعیت تغذیه گیاه مادری، وزن و اندازه بذر بر بنیه بذر تأثیر گذارند (koocheki and Khjehhosseini, 2008). به طور معمول بذر بزرگتر از قابلیت جوانه زنی بهتری برخوردار بوده ضمن اینکه گیاهچه قوی تری نیز تولید می کند که این امر به دلیل وجود ذخایر غذایی بیشتر در بذر بزرگتر می باشد هر چند که در برخی گونه ها بذور متوسط نسبت به بزرگ برتری نشان داده اند. اندازه بذر و بنیه آن به طور مستقیم همبستگی با رشد، سلامت و بنیه گیاه مادری دارد. با تغییر شرایط رشد گیاه مادری از طریق کوددهی، زمان رسیدگی و غیره، جوانه زنی و بنیه گیاهچه تغییر می یابد (Al-Arjani et al., 2020).

وجود ذخایر غذایی در بذر برای شروع جوانه زنی بذر لازم است (Miransari and Smith, 2014)، از طرفی بهبود کیفیت خاک با کاربرد کودهای آلی و زیستی، به طور مثبت جوانه زنی بذر و رشد و توسعه گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد (Celik et al., 2004). گزارش های متعددی حاکی از بهبود ویژگی های کیفی بذر گیاهان دارویی و

معطر با کاربرد کودهای آلی و زیستی وجود دارد از جمله بهبود وزن هزار دانه و عملکرد بذر در شوید (*Anethum graveolens* L.) (Darzi and Haj Seyed Hadi, 2012) و افزایش درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر همیشه بهار شد (Miri et al., 2013). بنابراین به نظر می رسد تغذیه گیاه گل گاوزبان ایرانی با کودهای آلی و زیستی بدلیل عرضه مناسب عناصر غذایی، ضمن تولید بذور بزرگتر، منجر به افزایش بنیه و قدرت جوانه زنی بذور و متعاقباً رشد بهتر گیاهچه این گیاه دارویی شده و مؤید این امر است که گونه های با بذور بزرگتر، به دلیل ذخیره مواد غذایی بیشتر، از قابلیت جوانه زنی بهتر و بنیه بذر بیشتری برخوردارند. نتایج پژوهش تبریزی و کوچکی (Tabrizi and Koocheki, 2014) روی گیاه همیشه بهار نشان که کاربرد تلفیقی کود آلی و زیستی شاخص بنیه بذر را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار داد و سبب بهبود صفات مورد بررسی نسبت به عدم کاربرد کود شد.



شکل ۲- جوانه زنی بذور گاوزبان ایرانی حاصل از پایه مادری در زمان کاربرد تیمارهای a (تنش خشکی در سه سطح)، b (قارچ میکوریزا در دو سطح)، c (منابع تغذیه ای در پنج سطح شامل a (تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی) b (تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی)، c (تأمین ۵۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی)، d (کود شیمیایی N-P-K) و e (شاهد))

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رژیم آبیاری، میکوریزا و منابع تغذیه‌ای بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذور گل گاوزبان ایرانی

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) of the effect of irrigation regime, mycorrhiza and nutritional sources on some germination indices of Persian borage seeds

منابع تغییرات s.o.v	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Maximum germination	زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی Time to 50% germination	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
تکرار Repetition	2	548.54**	2742.8**	7.9763**
رژیم آبیاری Irrigation regime	2	2755.54**	13363.5**	37.411**
خطای ۱ Error 1	4	13.911	109.94	0.3285
مایکوریزا Mycorrhiza	1	243.38*	3348.9**	7.1234**
منابع تغذیه‌ای Nutritional resources	4	641.71**	2328.1**	11.256**
آبیاری*مایکوریزا Irrigation*Mycorrhiza	2	5.5444 ^{ns}	179.10 ^{ns}	0.0384**
آبیاری*منابع تغذیه‌ای Irrigation*Nutritional resources	8	4.9611 ^{ns}	38.211 ^{ns}	0.0597 ^{ns}
مایکوریزا*منابع تغذیه‌ای Mycorrhiza*Nutritional sources	4	10.156 ^{ns}	60.594 ^{ns}	0.1004 ^{ns}
آبیاری*مایکوریزا*منابع تغذیه‌ای Irrigation*Mycorrhiza*Nutritional sources	8	3.6556 ^{ns}	27.628 ^{ns}	0.0108 ^{ns}
خطای ۲ Error 2	54	44.147	157.83	0.3929
ضریب تغییرات (درصد) C.V		9.15	7.31	14.55

ns, * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است

ns, *, and **: No significant difference and significant difference at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر رژیم آبیاری، میکوریزا و منابع تغذیه‌ای بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذور گل گاوزبان ایرانی

Table 4. Comparison of the average effect of irrigation regime, mycorrhiza and nutritional sources on some germination traits of Persian borage seeds

تیمارها Treatments	حداکثر جوانه‌زنی Maximum germination (درصد)	زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی Time to 50% germination (ساعت)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
رژیم آبیاری (نیاز آبی گیاه) Irrigation regime			
100%	82.17 ^a	150 ^c	5.44 ^a
75%	72.77 ^b	172 ^b	4.28 ^b
50%	63.00 ^c	192 ^a	3.20 ^c
قارچ میکوریزا Mycorrhiza			
تلقیح شده Inoculated	74.29 ^a	165.71 ^b	4.59 ^a
تلقیح نشده Not inoculated	71.00 ^b	177.91 ^a	4.03 ^b
منابع تغذیه‌ای Nutritional resources			
شاهد Control	63.33 ^d	189.11 ^a	3.21 ^d
تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی Providing 100% nitrogen through livestock compost	76.00 ^{ab}	164.61 ^{cd}	4.67 ^b
تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی Providing 100% nitrogen through zeolite animal compost	79.00 ^a	159.50 ^d	5.35 ^a
تأمین ۵۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی Providing 50% nitrogen through zeolite animal compost	73.89 ^{bc}	170.44 ^{bc}	4.38 ^{bc}
کود شیمیایی N-P-K chemical fertilizer NPK	71.00 ^c	175.35 ^b	3.96 ^c

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with the same letters are not significantly different at the 5% statistical probability level based on the LSD test

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه

تأثیر عامل‌های آزمایش بر طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه گیاهچه گل گاوزبان ایرانی معنی‌دار ولی بر هم‌کنش عوامل آزمایش بر این صفات معنی‌دار نگردید (جدول ۵). سطوح متفاوت رژیم آبیاری اختلاف معنی‌داری را از نظر تأثیر بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و نسبت آن‌ها بر گیاهچه گل گاوزبان ایرانی نشان دادند به طوریکه با افزایش تنش خشکی از تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، میزان این صفات کاهش یافت. تلقیح با میکوریزا سبب افزایش ۱۰/۳۶، ۷/۱۰ و ۳/۳۳ درصدی به ترتیب طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و نسبت آن‌ها در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی شد؛ همچنین در بین سطوح تغذیه‌ای بیشترین طول ریشه‌چه (۳۵/۴ میلی‌متر)، طول ساقه‌چه (۲۵/۲ میلی‌متر) و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (۱/۹۳ میلی‌متر) از تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی به دست آمد و اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارهای کودی نشان داد. دو تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی و تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی اختلاف معنی‌داری را در افزایش صفات مذکور در گیاهچه‌های این گیاه دارویی نشان ندادند. کمترین میزان این صفات نیز مربوط به تیمار عدم کاربرد منابع تغذیه‌ای بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای تغذیه‌ای در کاهش طول ریشه‌چه نشان داد ولی در مورد طول ساقه‌چه با تیمار کود شیمیایی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶). رابطه‌ی بین طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه رابطه‌ای قوی و مثبت بوده و از آنجایی‌که استفاده از کودهای آلی و زیستی منجر به افزایش طول ریشه‌چه نسبت به شاهد شدند (جدول ۶)، لذا افزایش طول ساقه‌چه در شرایط کاربرد کودهای آلی و زیستی منطقی به نظر می‌رسد. احتمالاً دلیل تأثیر مثبت قارچ میکوریزا در بهبود شرایط جوانه‌زنی، افزایش بیان و سنتز هورمون‌ها به کمک این ترکیبات زیستی است. همانند سایر خصوصیت‌های مرتبط با جوانه‌زنی، کمپوست نیز رشد ریشه و ساقه را افزایش داد. این نتایج بیان‌کننده این است که کمپوست بذر را تقویت می‌کند.

اختلال در جذب آب در مراحل مختلف رشد باعث کاهش و یا عدم انتقال مواد غذایی به لپه‌ها شده که در

نهایت منجر به کاهش رشد و تولید گیاهچه‌های ضعیف می‌گردد (Piri et al., 2021). جذب کمتر آب نیز کاهش آماس سلول‌های جنینی بذر را به دنبال داشته و با توجه به اینکه یکی از فاکتورهای تقسیم سلولی، آماس سلول است در نتیجه با کاهش آب قابل دسترس بذر و در نتیجه آماس، در نهایت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش می‌یابد (Khoraki and Farhoudi, 2021). از سوی دیگر نتایج بدست آمده توسط محققان نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریزا نسبت به شاهد سبب افزایش طول ریشه‌چه در گیاه ذرت گردید (Noumavo et al., 2013). به نظر می‌رسد احتمالاً دلیل تأثیر مثبت قارچ میکوریزا در بهبود شرایط جوانه‌زنی، افزایش بیان و سنتز هورمون‌ها به کمک این ترکیبات زیستی است (Vurukonda et al., 2016).

طبق مطالعات انجام گرفته بر روی بذر گیاهان مختلف، برخی محققین اعلام داشتند که اکثر ویژگی‌های جوانه زنی و رشد گیاهچه در توده‌های بذر با قدرت رویش پایین، کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت بذر نقش تعیین‌کننده‌ای در ظهور و کیفیت گیاهچه‌های حاصله در مزرعه به ویژه در شرایط نامساعد محیطی داشته و در صورتی که میزان گیاهچه‌های سبز شده در مزرعه زیر حد بحرانی باشد، کاهش عملکرد محصول را به همراه خواهد داشت (Miransari and Smith, 2014). به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای آلی به خصوص کمپوست احتمالاً از طریق بهبود ساختمان خاک، افزایش نفوذپذیری خاک، افزایش میزان هوموس و ظرفیت بافری خاک و افزایش برخی آنزیم‌ها و تأثیر بر جمعیت میکروبی خاک (Hatam and Ronaghi, 2011)، منجر به بهبود خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذور گاوزبان ایرانی شد. بالا بودن ظرفیت نگهداری آب در کمپوست، سبب افزایش آب قابل دسترس، فتوسنتز و افزایش کیفیت بذر حاصله از پایه مادری، بهبود رشد و افزایش تعداد شاخه‌ها و همچنین بهبود رشد اندام‌های زایشی گیاه می‌گردد (Taiz and Zeiger, 2015).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رژیم آبیاری، میکوریزا و منابع تغذیه‌ای بر شاخص‌های جوانه‌زنی و وزن هزار دانه بذور گل گاوزبان ایرانی

Table 5. Results of variance analysis (mean square) of the effect of irrigation regime, mycorrhiza and nutritional sources on germination indices and thousand-seed weight of Persian borage seeds

منابع تغییرات S-O-V	درجه آزادی df	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Shoot length	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه Ratio of Radicle length to Shoot length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	وزن هزار دانه Thousand-grain weight
تکرار Repetition	2	2.4777**	0.1767**	0.1568**	0.00007 ^{ns}	213.00**	26.909**
رژیم آبیاری Irrigation regime	2	10.304**	1.0966**	0.4474**	0.0016**	401.11**	22.497**
خطای ۱ Error 1	4	0.1304	0.0091	0.0208	0.000003	2.9855	2.699
مایکوریزا Mycorrhiza	1	3.0840*	0.4637**	0.0661**	0.00058**	68.609*	16.718**
منابع تغذیه‌ای Nutritional resources	4	3.7925**	0.4541**	0.1430*	0.00082**	104.01**	7.355**
آبیاری*مایکوریزا Irrigation*Mycorrhiza	2	0.0105 ^{ns}	0.0087 ^{ns}	0.0094 ^{ns}	0.000007 ^{ns}	0.4744 ^{ns}	0.0143 ^{ns}
آبیاری*منابع تغذیه‌ای Irrigation*Nutritional resources	8	0.0124 ^{ns}	0.0049 ^{ns}	0.0011 ^{ns}	0.000048 ^{ns}	1.2585 ^{ns}	0.0193 ^{ns}
مایکوریزا*منابع تغذیه‌ای Mycorrhiza*Nutritional sources	4	0.0179 ^{ns}	0.0053 ^{ns}	0.0015 ^{ns}	0.000036 ^{ns}	1.8786 ^{ns}	0.0215 ^{ns}
آبیاری * مایکوریزا * منابع تغذیه‌ای Irrigation*Mycorrhiza*Nutriti onal sources	8	0.0034 ^{ns}	0.0033 ^{ns}	0.0018 ^{ns}	0.000004 ^{ns}	1.0893 ^{ns}	0.0248 ^{ns}
خطای ۲ Error 2	54	0.0855	0.0311	0.0057	0.00003	13.044	0.3938
ضریب تغییرات (درصد) C.V		7.91	8.65	4.12	14.90	8.57	9.64

ns, * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, *, and **: No significant difference and significant difference at the 5 and 1 percent probability levels, respect

وزن خشک گیاهچه

طبق بررسی جدول تجزیه واریانس صفات مورد بررسی (جدول ۳)، اثرات اصلی عامل‌های آزمایش بر وزن خشک گیاهچه گیاه گل گاوزبان ایرانی معنی‌دار بود. ولی این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش این عوامل قرار نگرفت. با کاهش میزان آب در دسترس گیاه از ۱۰۰ به ۷۵ و سپس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، وزن خشک گیاهچه گل گاوزبان ایرانی کاهش پیدا کرد بطوریکه بیشترین میزان وزن خشک گیاهچه (۰/۰۴۷ میلی گرم) در شرایط بدون تنش آبی یعنی آبیاری پس از تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در خاک مشاهده شد (جدول ۴). تلقیح با مایکوریزا سبب افزایش ۱۳/۵۱ درصدی وزن خشک گیاهچه این گیاه در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی شد؛ همچنین در بین سطوح تغذیه‌ای بیشترین وزن خشک گیاهچه گل گاوزبان ایرانی (۰/۰۵۰ میلی گرم) از تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی ژئولیتی به دست آمد و اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارهای کودی نشان داد. سایر تیمارهای تغذیه‌ای تفاوت معنی‌داری را در افزایش وزن خشک گیاهچه گل گاوزبان ایرانی با هم نشان ندادند ولی اختلافشان با تیمار شاهد (۰/۰۳۲ میلی گرم) معنی‌دار گردید.

به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش وزن گیاهچه در شرایط تنش خشکی تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آن‌ها به بذر و در نتیجه کاهش مواد ذخیره‌ای بذر باشد که تولید گیاهچه‌های ضعیف‌تری می‌نماید (Farhadi et al., 2017). هم‌چنین براساس گزارش محققان، ترکیبات زیستی مقدار اسید ایندول استیک و سیتوکینین را در شرایط تنش‌های محیطی در گیاه افزایش داده و در نتیجه رشد گیاهچه بیشتر نسبت به شاهد بیانگر این مطلب می‌باشد (Cakmakçi et al., 2006). قارچ مایکوریزا آربوسکولار به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب و تولید هورمون‌های رشد و افزایش تحمل گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا، به عنوان تیمار موثری در بهبود جوانه‌زنی و رشد مورد توجه واقع شده است (Bauma et al., 2015).

کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقدار زیادی مواد آلی هستند و می‌توانند به عنوان منبع غنی از عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به

شمار آیند (Azeez et al., 2010) و به مرور این عناصر را در اختیار گیاه قرار دهند ضمن اینکه این کودها به طور مؤثری منجر بهبود ساختمان فیزیکی و ذخیره رطوبت خاک می‌شوند (Lee, 2010). با توجه به اینکه جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه نیازمند انرژی فراوان است که از طریق آزادسازی انرژی موجود در پیوندهای شیمیایی مواد ذخیره‌ای بذر شامل کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها طی فرآیند تنفس تأمین می‌گردد (Koocheki and Sarmadnia, 2000)، لذا می‌توان چنین استدلال کرد، که احتمالاً کود آلی کمپوست با دارا بودن عناصر غذایی از جمله نیتروژن و قارچ‌های مایکوریزا نیز با توجه به فرار بودن عنصر نیتروژن با نفوذ به اعماق بیشتر خاک و قرار دادن حجم زیادی از خاک در اختیار ریشه گیاه مانع آبشویی نیتروژن از سطح خاک می‌شوند و متعاقب آن نیتروژن می‌تواند در سنتز مواد ذخیره‌ای از جمله پروتئین‌ها ایفای نقش نماید. لذا بالا بودن میزان این ذخایر موجب جوانه‌زنی سریع و یکنواخت بذر و تولید گیاهچه‌های قوی‌تر شده که می‌تواند از طریق افزایش سطح برگ، ارتفاع گیاه و کارایی فتوسنتز موجب افزایش عملکرد شود. از طرفی با توجه به اینکه مصرف کود نیتروژن بر فعل و انفعالات بیوشیمیایی، فتوسنتز، افزایش طول دوره رویش و تجمع ماده خشک بیشتر اندامهای هوایی و اجزای عملکرد دانه مؤثر است، به نظر می‌رسد که فراهمی مناسب این عنصر با ایجاد شرایط مناسب جهت تولید بذور قوی‌تر بر روی گیاه مادری، بر خصوصیات جوانه‌زنی دانه مؤثر باشد (Lopez et al., 1995). در یک پژوهش اثر کودهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی آویشن و مرزنجوش بررسی و گزارش شد که کاربرد ۹ تن در هکتار کود کمپوست خصوصیات کمی و کیفی گیاهان مذکور را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید (Csizinsky, 2002).

هدایت الکتریکی

اثر ساده رژیم‌های متفاوت آبیاری، مایکوریزا و منابع تغذیه‌ای بر هدایت الکتریکی بذرهای گل گاوزبان ایرانی معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۵). هدایت الکتریکی بذرهای گل گاوزبان ایرانی با افزایش تنش خشکی روند افزایشی را نشان داد، به‌طوری‌که کم‌ترین هدایت الکتریکی در تیمار

در رابطه با تأثیر کودهای آلی و زیستی، واریج و همکاران (Warraich *et al.*, 2002) گزارش کردند که با افزایش میزان نیتروژن مصرفی، میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد. با تغذیه بهنیه نیتروژن گیاه مادری از طریق افزودن کودهای آلی و زیستی که این عناصر را برای گیاه فراهم می‌کند، بذرهایی با غشاء سلولی کمتر آسیب دیده تولید می‌شود و نشت متابولیت‌ها از بذرها کاهش می‌یابد. در نتیجه، درصد جوانه‌زنی و قدرت بذرها بهبود می‌یابد.

وزن هزار دانه

اثر رژیم‌های آبیاری، میکوریزا و منابع تغذیه‌ای بر وزن هزار دانه بذرهایی گل‌گاوزبان ایرانی معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۵). وزن هزار دانه بذرهایی گل‌گاوزبان ایرانی با افزایش شدت تنش خشکی از تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاهش یافت، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی، وزن هزار دانه ۷/۴۷ گرم بود، اما تیمار آبیاری پس از ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب سبب کاهش ۱۸/۹۵ و ۲۹/۲۳ درصد وزن هزار دانه نسبت به شرایط عدم تنش خشکی گردید (جدول ۶). گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی وزن هزار دانه را ۱۴/۱۴ درصد افزایش دادند. از سوی دیگر بیش‌ترین وزن هزار دانه گیاه گل‌گاوزبان ایرانی، در ترکیب کودی تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی ژئولیتی با میانگین ۷/۲۵ گرم بود، که نسبت به ترکیبات دیگر کودی اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۶).

آبیاری پس از ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی به میزان ۳۸/۵۷ درصد مشاهده گردید (جدول ۶). نتایج بدست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی بذرهایی گل‌گاوزبان ایرانی در هر ۳ سطح رژیم آبیاری از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). تلقیح با میکوریزا سبب کاهش هدایت الکتریکی بذرهایی این گیاه در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی شد. همچنین در بین سطوح تغذیه‌ای کمترین هدایت الکتریکی (۳۸/۷۲ درصد)، از تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی ژئولیتی حاصل شد که سبب کاهش ۱۶/۱۴ درصدی نسبت به شاهد شد و تفاوت معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان داد. پس از آن تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی سبب کاهش هدایت الکتریکی بذور شد که با تیمار تأمین ۵۰ درصد نیتروژن از طریق کمپوست دامی ژئولیتی در یک گروه آماری قرار گرفتند. بیشترین میزان هدایت الکتریکی بذر نیز از شاهد به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی NPK نداشتند.

اعمال تنش در مراحل رشدی گیاه باعث تولید بذوری با کیفیت پایین می‌گردد، زیرا در این شرایط نشت مواد از پوسته بذر افزایش می‌یابد که این امر به علت پوسته آسیب دیده بذور، سهولت پاره شدن پوسته و افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی است (Atardi *et al.*, 2011). در طی آب‌گیری بذور، غشاء قابلیت و توانایی از دست رفته خود را مجدداً بدست می‌آورد، ولی بذور قوی احتمالاً غشاهای خود را با سرعت بیشتری سازمان‌دهی مجدد می‌کنند، لذا تراوش از آن‌ها نسبت به بذور ضعیف‌تر کمتر خواهد بود و در نتیجه هدایت الکتریکی کمتری خواهند داشت (Miri *et al.*, 2013).



شکل ۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بذور گل‌گاوزبان ایرانی حاصل از پایه مادری

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر رژیم آبیاری، میکوریزا و منابع تغذیه‌ای بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و وزن هزار دانه بذور گل گاوزبان ایرانی

Table 6. Comparison of the average effect of irrigation regime, mycorrhiza and nutritional sources on some germination indices and thousand-seed weight of Persian borage seeds

تیمارها Treatments	طول ریشه‌چه Radicle Length (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه Shoot length (سانتی‌متر)	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه Ratio of Radicle to Shoot length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (گرم)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (درصد)	وزن هزار دانه Thousand-grain weight (گرم)
رژیم آبیاری (نیاز آبی گیاه) Irrigation regime						
100%	4.35 ^a	2.21 ^a	1.97 ^a	0.047 ^a	38.57 ^c	7.47 ^a
75%	3.74 ^b	2.08 ^b	1.79 ^b	0.040 ^b	41.99 ^b	6.28 ^b
50%	3.18 ^c	1.83 ^c	1.73 ^b	0.032 ^c	45.88 ^a	5.78 ^b
قارچ میکوریزا Mycorrhiza						
تلقیح شده Inoculated	3.94 ^a	2.11 ^a	1.86 ^a	0.042 ^a	41.27 ^b	6.49 ^a
تلقیح نشده Not inoculated	3.57 ^b	1.97 ^b	1.80 ^b	0.037 ^b	43.08 ^a	6.08 ^b
منابع تغذیه‌ای Nutritional resources						
شاهد	3.11 ^d	1.84 ^c	1.68 ^c	0.032 ^c	44.97 ^a	5.57 ^d
تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی Providing 100% nitrogen through livestock compost	3.96 ^b	2.12 ^b	1.86 ^b	0.040 ^b	41.20 ^c	6.83 ^b
تأمین ۱۰۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی Providing 100% nitrogen through zeolite animal compost	4.35 ^a	2.25 ^a	1.93 ^a	0.050 ^a	38.72 ^d	7.25 ^a
تأمین ۵۰٪ نیتروژن از طریق کمپوست دامی زئولیتی Providing 50% nitrogen through zeolite animal compost	3.81 ^b	2.05 ^b	1.85 ^b	0.039 ^b	42.11 ^{bc}	6.66 ^{bc}
کود شیمیایی N-P-K chemical fertilizer NPK	3.56 ^c	1.93 ^c	1.83 ^b	0.037 ^b	43.72 ^{ab}	6.24 ^c

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with the same letters are not significantly different at the 5% statistical probability level based on the LSD test

نیتروژن بدست آمد و کمترین مقدار صفات مذکور متعلق به تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و عدم مصرف کود بود (Bikian et al., 2008).

نتیجه‌گیری

تنش خشکی اعمال شده روی گیاه مادری سبب تأثیر نامطلوبی بر درصد جوانه‌زنی بذر، بنیه بذر، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و وزن هزار دانه گیاه گل‌گاوزبان ایرانی شد. همچنین زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی و هدایت الکتریکی بذرهای گل‌گاوزبان ایرانی با افزایش تنش خشکی روند افزایشی را نشان داد.

کود زیستی مورد استفاده (مایکوریزا گونه تجاری *Glomus mosae*) اثر مثبتی بر خصوصیات جوانه‌زنی داشت. این افزایش احتمالاً به دلیل تولید تنظیم‌کننده‌های رشد توسط کودهای زیستی و اثر آن‌ها بر رشد ریشه بوده که جذب آب را بهبود بخشیده و در نتیجه باعث افزایش کیفیت خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گل‌گاوزبان ایرانی گردید. کمپوست نیز احتمالاً با ذخیره‌سازی و جذب برخی عناصر غذایی در بذر توانسته نقش بسزایی در شاخص‌های جوانه‌زنی داشته باشد. در مجموع نتایج این پژوهش همزیستی موفق کودهای زیستی و آلی با گل‌گاوزبان ایرانی را در بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی نشان داد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش مربوط به رساله دکتری، تحت حمایت مالی دانشگاه یاسوج اجرا گردیده است. از مسئول محترم آزمایشگاه ژنتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج سرکار خانم مهندس کرمی که در اجرای این تحقیق مساعدت کردند، تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

کودهای زیستی با مکانیسم‌های متعددی همچون افزایش دسترسی به نیتروژن به واسطه‌ی تثبیت نیتروژن، آزاد کردن متابولیت‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، افزایش جذب آب و مواد غذایی و کنترل بیولوژیک پاتوژن‌های خاکزاد موجب بهبود رشد گیاه می‌گردند (Sahin et al., 2004). به نظر می‌رسد تلقیح مایکوریزایی موجب گردیده که در مرحله پر شدن دانه‌ها، شیره پرورده کافی به دانه‌ها منتقل شده و سبب بهبود وزن هزاردانه گردد. همسو با یافته‌های این پژوهش نقیبی و همکاران (Naghibi et al., 2015) گزارش کردند که تلقیح گیاه دارویی کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum* Jacq) با قارچ مایکوریزا، افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد را به دنبال داشت. به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی با بهبود شرایط فیزیکی و ساختمانی خاک، حفظ و نگهداری رطوبت و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود فعالیت میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و نیز آزاد سازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه گل‌گاوزبان ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه باعث افزایش سطح برگ، افزایش ارتفاع و در نهایت افزایش وزن هزار دانه گردید.

با مصرف کود آلی کمپوست، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بهبود یافته و موجب رشد بهتر گیاه شده و مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شده و به سمت دانه‌ها منتقل می‌شود. همچنین با توجه به فراهمی بیشتر رطوبت خاک، طول دوره پر شدن دانه افزایش یافته و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می‌یابد (Javanmard et al., 2015). در یک پژوهش اثر سطوح مختلف تراکم و کود نیتروژن بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی بذر حاصل از گیاه دارویی ماریتیغال بررسی و گزارش شد که بیشترین وزن هزار دانه، درصد جوانه‌زنی و وزن تر و خشک گیاهچه در تراکم ۵ بوته در متر مربع و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار

منابع

- Abed, A., Vaseghi, G., Jafari, E., Fattahian, E., Babadiashar, N. and Abed, M. 2014. *Echium amoenum* Fisch. Et Mey: A review on its pharmacological and medicinal properties. Asian Journal of Medicinal Pharmaceutical Researches 4(1): 21-23. (Journal)
- Al-Arjani, A.B.F., Hashem, A., and Abd-Allah, E.F. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. Saudi Journal of Biological Sciences, 27: 380-394. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.10.008>. (Journal)

- Amiri, H., Ismaili, A. and Armand, N. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry) under drought stress condition. Iranian Journal of Pulses Research, 6:42-53. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i1.43942>. (In Persian) **(Journal)**
- Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P. and Jahan, M. 2018. Evaluation of germination characteristics and seedling growth of Iranian Ox-Tongue (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) seed resulting from the rootstock treatment by biological and chemical fertilizers in different planting dates and methods. Iranian. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7(1): 181-199. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.108320.1025> (In Persian) **(Journal)**
- Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P. and Jahan, M. 2019. Evaluation of morphological characteristics, quantitative and qualitative yield of *Echium amoenum* as affected by plant density and application of chemical fertilizer and different organic fertilizers. Journal of Horticulture Science, 33(3): 387-403. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i3.70323>. (In Persian) **(Journal)**
- Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P. Ehyai, H.R., Fallahi, J. and Aghhavan shajari. M. 2011. Effect of osmotic and salinity stresses on germination and seedling growth indices of artichoke (*Cynara scolymus*) and purple coneflower (*Echinacea purpurea*). Environmental Stresses in Crop Sciences, 3(2): 165-176. (In Persian) **(Journal)**
- Ansari, K., Salehi, A., Movahedi Dehnavi, M. and Heydari, S. 2016. Effect of different seed priming on germination characteristics and some antioxidant enzymes activity of *Echinacea purpurea*, Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(3): 1-10. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763780.1395.3.3.1.9>. (In Persian) **(Journal)**
- Atardi, H., Irannejad, H., Shirani-Rad, A.H., Amiri, R. and Akbari, G.A. 2011. Assessment of drought stress and planting date effects applied on original plant, on its seed electrical conductivity rate. Iranian Journal of Field Crops Research, 9(2): 242-247. <https://doi.org/10.22067/gsc.v9i2.10999>. (In Persian) **(Journal)**
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A. and Rajaie, M. 2019. Response of germination and electrical conductivity of seeds produced by *Echinacea purpurea*'s mother plants under the influence of biological fertilizers and drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 8(1): 185-200. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2019.115796.1141>. (In Persian) **(Journal)**
- Azeez, J.O., Van Averbek, W. and Okorogbona, A.O.M. 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. Bioresource Technology, 101: 2499-2505. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.095>. **(Journal)**
- Bauma, C., El-Tohamy, W. and Gruda, N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. Scientia Horticulturae, 187: 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>. **(Journal)**
- Bikian, M., Haj Seyyed Hadi, M.R. and Delkhosh, B. 2008. Effect of different levels of plant density and nitrogen fertilizer on some of morphological characteristics of seeds resulting from *Silybum marianum*. Journal of Plants and Ecosystems, 16: 46-60. <https://doi.org/10.22034/IJSSST.2019.114567.1111>. (In Persian) **(Journal)**
- Cakmakçi, R., Dönmez, F. Aydın, A. and Şahin, F. 2006. Growth promotion of plants by plant growth promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. Soil Biology and Biochemistry, 38: 1482-1487. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.09.019>. **(Journal)**
- Celik, I., Ortas, I. and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research, 78: 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.012>. **(Journal)**
- Chandrasekaran, M. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: A Meta-Analysis. *Journal of Fungi*, 8(7), 660. <https://doi.org/10.3390/jof8070660>. **(Journal)**
- Csizinszky, A.A. 2002. Reduced input production of herbs under sub tropical conditions in Florida. XXVIth International Horticultural Congress. 11-17 August, Toronto, Ontario. pp: 196. **(Conference)**
- Darzi, M.T. and Haj Seyed Hadi, M.R. 2012. Effects of the application of organic manure and biofertilizer on the fruit yield and yield components in dill (*Anethum graveolens*). Journal of Medicinal Plants Research, 6: 3345-3350. <https://doi.org/10.5897/JMPR12.204>. **(Journal)**

- Eghball, B., Wienhold, B. and Gilley, J. 2001. Comprehensive manure management for improved nutrient utilization and environment quality, Soil and Water Conservation Research, 1:128-135. (In Persian) **(Journal)**
- Elouaer, M.A. and Hannachi, C. 2012. Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. Eurasian Journal of Biosciences, 6: 76-84. <https://doi.org/10.5053/ejobios.2012.6.0.9>. **(Journal)**
- Emam, Y. and Nicknejad, M. 1995. Introduction to crop physiology (translation). Shiraz University Press. PP: 572. (In Persian).
- Farhadi, H., Azizi, M. and Nemati, S.H. 2017. Study of germination characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) population under salinity and drought stress. Journal of Horticulture Science, 31(1): 49-60. (In Persian) **(Journal)**
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29: 185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>. **(Journal)**
- Ghassemi-Golezani, K. and Ghassemi, S. 2013. Effects of water supply on seed development and quality of chickpea cultivars. Plant Breeding and Seed Science, 67: 37-44. <https://doi.org/10.2478/v10129-011-0068-0>. (In Persian) **(Journal)**
- Gholami ganjeh, S., Salehi, A. and Moradi, A. 2015. Effects of maternal plant nutrition on the absorption of some nutritional elements and germination characteristics of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Seed Science and Research and Technology, 4(1): 109-118. http://ijsst.areo.ir/article_107276.html (In Persian) **(Journal)**
- Gutierrez, F.A., Santiago, J., Molina, J.A.M., Nafate, C.C., Abud, M., Llaven, M.A.O., Rincon, R. and Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). Bioresource Technology, 98: 2781-2786. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.032>. **(Journal)**
- Hadi, H., Daneshian, J., Hamidi, A., Asgharzade, A. and Zarghami, R. 2010. Effect of rhizobacteria on seedling characteristics of seeds produced under deficit irrigation. Journal of Pajouhesh and Sazandegi, 86: 42-50. <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.2654>. (In Persian) **(Journal)**
- Hamidi, A., Daneshian, J. and Asgharzadeh, A. 2016. A review of drought stress on mother plant effect on soybean seed germination and vigour improvement by some beneficial soil microorganisms treatment assessment. Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(2): 109-124. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763780.1395.3.2.10.6>. (In Persian) **(Journal)**
- Hafeez, F.Y., Safdar, M.E., Chaudry, A.U. and Malik, K.A. 2004. Rhizobial inoculation improves seedling emergence, nutrient uptake and growth of cotton. Australian Journal of Experimental Agriculture, 44: 617-622. <https://doi.org/10.1071/EA03074>. **(Journal)**
- Hatam, Z. and Ronaghi, A.M. 2011. Effect of compost and compost leachate on growth and chemical composition of barley and bioavailability of some nutrients in the sandy and claloam soil. Journal of Water and Soil Science, 15:109- 122. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.58.10.4>. (In Persian) **(Journal)**
- ISTA. 2003. Handbook for seedling evaluation (3rd.ed). International seed testing association. Zurich, Switzerland.
- Javanmard, A.A., Mostafavi, S.H., Khazri, A. and Mohammadi, G.R. 2015. Improvement of macro and micro nutrients accumulation in Maize (*Zea mays* L.) grain by application of chemical and biological fertilizers. Special issue of the Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25(1): 43-27. (In Persian) **(Journal)**
- Khoraki, M. and Farhoudi, R. 2021. Effect of halopriming on germination and seedling growth of single cross 704 corn seeds under salinity stress condition. Iranian Journal of Seed Science and Research, 7(4): 447-461. <https://doi.org/10.22124/jms.2020.4642>. (In Persian) **(Journal)**
- Khorsandi Aghaeey, M., Ghasemnezhad, A., Mousavi, S.J. and Babakhanzadeh, A. 2019. Karyotype analysis in Ssome accessions of Iranian Borage (*Echium Amoenum*). Journal of Plant Physiology and Breeding, 9(2):57-66. <https://doi.org/10.22034/jppb.2019.10553>. (In Persian) **(Journal)**
- Koocheki, A. and Khajeh-hosseini, M. 2008. New agronomy. Jihade-daneshgahi of Mashhad. PP: 704. (In Persian) **(Book)**
- Koocheki, E. and Sarmadnia, G.h. 2000. Physiology of crop plants (translated). Mashhad Jahad Daneshgahi Press. PP: 400.

- Lazcano, C., Barrios-Masias, F.H. and Jackson, L.E. 2014. Arbuscular mycorrhizal effects on plant water relations and soil greenhouse gas emissions under changing moisture regimes. *Soil Biology and Biochemistry*, 74: 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.010>. **(Journal)**
- Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124: 299-305. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.004>. **(Journal)**
- Llanes, A., Andrade, A., Masciarelli, O., Alemano, S. and Luna, V. 2016. Drought and salinity alter endogenous hormonal profiles at the seed germination phase. *Seed Science Research*, 26: 1-13. <https://doi.org/10.1017/S0960258515000331>. **(Journal)**
- Lopez Castaneda, C., Richards, R.A. and Farquhar, D.G. 1995. Variation in early vigour between wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Science*, 35: 472-479. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500020032x>. **(Journal)**
- Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K., Woldetsadik, K., Shimelis, B. and Yadav, H. 2017. The integrated use of excreta-based vermicompost and inorganic NP fertilizer on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. *International Journal of Recycling of organic waste in agriculture*, 6: 63-77. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0153-y>. **(Journal)**
- Miransari, M. and Smith, D.L. 2014. Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99:110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>. **(Journal)**
- Miri, Y., Baser Kochehbagh, S. and Mirshekari, B. 2013. Effect of seed bio-fertilization influences germination and early growth of Marigold (*Calendula officinalis*). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4 (2): 217-222. **(Journal)**
- Moradi, M. and Taleshi, K. 2018. Effect of manure and biological fertilizer on yield and yield components of mung bean cv. Gohar in Khorramabad region. *Agroecology Journal*, <https://doi.org/10.22034/aej.2018.545941>. 14(4): 45-55. (In Persian) **(Journal)**.
- Motta, S.R. and Maggiore, T. 2013. Evaluation of nitrogen management in maize cultivation grows on soil amended with sewage sludge and urea. *European Journal of Agronomy*, 45: 59- 67. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.007>. **(Journal)**
- Naghibi, R., Rezvani Moghadam, P., Balandari, A. and Ghorbani, Z. 2015. The effects of organic fertilizers and mycorrhizae inoculation (*Glomus mosseae* and *G. intraradices*) on quantitative and qualitative yield of Dwarf Chicory (*Cichorium pumilum* Jacq.) in different cuttings. *Journal of Horticultural Science*, 29(2): 302-313. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.36706>. (In Persian) **(Journal)**
- Noumavo, P.A., Kochoni, E., Didagbe, Y.O., Adjanohoun, A., Allagbe, M., Sikirou, R., Gachomo, E.W., Kotchoni, S.O. and Baba-Moussa, L. 2013. Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 1013-1021. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.45125>. **(Journal)**
- Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y. and Kumari, U.R. 2008. An experimental study of verminbiowaste composting for agriculture soil improvement. *Bioresource Technology*, 99: 1672-1681. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.028>. **(Journal)**
- Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H.R. 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(4): 11 -26. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2019.109182.1054>. (In Persian) **(Journal)**
- Roesti, D., Gaur, R., Johri, B. N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K. and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 1111-1120. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.09.010>. **(Journal)**
- Sadeghi, A.A., Bakhsh Kelarestaghi, K. and Haj Mohammadnia, K. 2014. Effects of urea and vermicompost fertilizers on quantitative and qualitative yield of *Althea officinalis* L. *Agroecology*, 6: 42-50. <https://doi.org/10.22067/jag.v6i1.35655>. (In Persian) **(Journal)**
- Salar, M., Mobasser, H.R. and Ghanbari-Malidarreh, A. 2013. Effects of nitrogen and potassium rates of mother plant on seed N and K content, germination and seedling growth of rice seeds. *Advances in Environmental Biology*, 7(1): 147-152. <http://www.aensiweb.com/aeb/2013/3963-3968.pdf>. **(Journal)**

- Shahinrokhsar, P., Amamnzadeh, B.A., Mostafavy, M. and Abbasi, N. 2016. Supplementary Irrigation Management of *Echium amoenum* Fisch in low land of Gilan plain, Journal of Water Management in Agriculture, 4(2): 63-70. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764531.1396.4.2.7.5>. (In Persian) **(Journal)**
- Sharafi, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Heidarzadeh, A. 2021. Some germination characteristics of *Portulaca oleracea* L., *Malva neglecta* Wallr, and *Amaranthus retroflexus* L. under salinity and drought Stress conditions. Iranian Journal of Seed Science and Research, 8(1): 1-12. <https://doi.org/10.22124/jms.2021.5199>. (In Persian) **(Journal)**
- Smith, S.E. and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Third Ed. Academic Press, London. **(Book)**
- Soltani, A., Galashi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2001. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology, 30(1): 51-60. **(Journal)**
- Tabrizi, L. and Koocheki, A.R. 2014. Evaluation of medicinal plant seed quality calendula (*Calendula officinalis* L.) by application organic inputs. 17th National Congress and 3rd International Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. (In Persian) **(Conference)**
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M. and Murphy, A. 2015. Plant physiology and development, Sunderland, MA: Sinauer Associates. **(Book)**
- Vurukonda, S.S., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and Skz, A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiology Research, 184: 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>. **(Journal)**
- Warraich, E.A., Basar, S.M.A., Ahmad, N., Ahmad, R. and Aftab, M. 2002. Effect of nitrogen on grain quality and vigour in wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agricultural Biology, 4: 517-520. **(Journal)**
- Weber, J., Kocowicz, A., Bekier, J., Jamroz, E., Tyszka, R., Debicka, M., Parylak, D. and Kordas, L. 2014. The effect of a sandy soil amendment with municipal solid waste (MSW) compost on nitrogen uptake efficiency by plants. European Journal of Agronomy, 54: 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.014>. **(Journal)**
- Zare hagh, D., Neyshabouri, M.R., Majnooni Heris, A., Hasanpour, R. and Mirzaeiin Tabriz, S.H. 2016. Determination of single and basal crop coefficients of Borage medicinal plant in the region of Karkaj Authors. Journal of Water and Soil Science, 26(1): 25-37. (In Persian) **(Journal)**



Response of the effect of nutrient resources and drought stress on germination characteristics and electrical conductivity of seeds obtained from the mother plant of Persian borage (*Echium amoenum*)

Parvin Rostampour¹, Amin Salehi^{2*}, Mohsen Movahhedi Dehnavi³, Reza Naghiha⁴

Received: February 10, 2026

Accepted: May 11, 2026

Abstract

The germination stage is one of the most important and sensitive stages in the life of a plant. The occurrence of drought stress on the mother plant can reduce the germination and growth of plant seeds under these conditions. On the other hand, proper nutrition of the mother plant plays an important role in producing seeds with high vigor. The use of biological and organic compounds in environmental stresses produces seeds with better germination capacity. Therefore, this study aimed to investigate the effect of nutritional resources and drought stress on the germination characteristics of seeds obtained from the mother plant of Persian borage (*Echium amoenum*), in Noorabad Momsani County, Fars Province, as a split factorial design in a randomized complete block design with three replications. The main factor included different irrigation regimes at three levels, no stress (irrigation with 100% of the plant's water requirement), mild stress (irrigation with 75% of the plant's water requirement), and severe stress (irrigation with 50% of the plant's water requirement), and the sub-factorial factor included the commercial mycorrhizal fungus *Glomus mosae* at two levels (without fungus and inoculated with fungus) and nutritional levels included: control, 100% nitrogen supply through livestock compost, 100% nitrogen supply through zeolite livestock compost, 50% nitrogen supply through zeolite livestock compost and chemical fertilizer. The results showed that by providing 100% of the plant's water requirement, maximum germination, seed vigor, root length, shoot length, seedling dry weight, and 1000-seed weight were achieved. Arbuscular mycorrhiza was able to increase the above traits compared to non-mycorrhizal plants. Among the nutritional treatments, the highest values of these traits, especially the percentage and speed of germination, were related to the treatment of providing 100% nitrogen through zeolite livestock compost. The time to 50% germination of Persian borage seeds and their electrical conductivity increased with increasing drought stress. Inoculation with mycorrhiza caused a decrease in the time to 50% germination and the electrical conductivity of the seeds. Also, the lowest time to 50% germination and the electrical conductivity were related to providing 100% nitrogen through zeolite livestock compost. Overall, the results of this study showed that mycorrhizal fungi of the species *Glomus mosae* and compost (especially the treatment providing 100% nitrogen through zeolite animal compost) were able to improve the percentage and other characteristics related to germination and the negative effects of drought stress.

Keywords: Arbuscular mycorrhiza, Compost, Germination percentage, Seed vigor

How to cite this article

Rostampour, P., Salehi, A., Movahhedi Dehnavi, M. and Naghiha, R. 2026. Response of the effect of nutrient resources and drought stress on germination characteristics and electrical conductivity of seeds obtained from the mother plant of Persian borage (*Echium amoenum*). Iranian Journal of Seed Science and Research, 12(4): 41-62. (In Persian)(Journal)
DOI: 10.22124/jms.2026.97141

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. Ph.D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran. P.rostampour@stu.yu.ac.ir
2. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran. aminsalehi@yu.ac.ir
3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran. movahhedi1354@yu.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Pathobiology, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. r.naghiha@scu.ac.ir

*Corresponding author: aminsalehi@yu.ac.ir