علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۵ (ص ۶۹-۵۵)

مطالعه صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شرایط کاربرد کودهای آلی و شیمیایی و تراکم‌های مختلف گیاهی

محمد بهزاد امیری[1]، پرویز رضوانی مقدم[2]* و محسن جهان[3]
۱، ۲ و ۳. دانش آموخته دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد (استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد)، استاد و دانشیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۸/۱۰)

چکیده

به‌منظور مطالعه صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شرایط کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای و تراکم‌های مختلف، آزمایشی در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۰ در دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ۳ تراکم گیاهی (۱۰، ۵ و ۳ بوته در مترمربع) و ۵ نوع کود آلی و شیمیایی مختلف (کمپوست، ورمی‌کمپوست، گاوی، شیمیایی و شاهد) بودند. نتایج آزمایش نشان داد که تمامی کودهای آلی مورد مطالعه منجر به افزایش عملکرد گل نسبت به شاهد شدند، به‌طوری‌که عملکرد گل در تیمارهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی به‌ترتیب ۲۵، ۲۸ و ۲۷ درصد بیشتر از شاهد بود. نتایج رگرسیون چندمتغیره نشان داد که متغیرهای ارتفاع بوته، عملکرد اندام هوایی و تعداد گل در بوته، اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد گل بودند، ضمن اینکه سهم نسبی عملکرد اندام هوایی در مقایسه با ارتفاع بوته و تعداد گل در بوته به‌ترتیب ۱۶ و ۲۵ درصد بیشتر بود. بر اساس نتایج تحلیل مسیر، عملکرد اندام هوایی در بوته به طرق مختلف به‌طور غیرمستقیم عملکرد گل را تحت‌تأثیر قرار داد، ولی بیشترین اثر غیرمستقیم آن از طریق ارتفاع بوته بود.

واژه‌های کلیدی: **ارتفاع بوته، تحلیل مسیر، تراکم بهینه، رگرسیون چندمتغیره، کمپوست.**

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های آماری در کمی‌سازی اطلاعات کشاورزی، به انجام برنامه‌ریزی‌های هدفمند برای کاهش مشکلات کشاورزان کمک شایانی کرده است. از جمله این روش‌ها که امروزه در تمامی علوم به‌ویژه علوم کشاورزی کاربرد گسترده‌ای دارد، روش تحلیل رگرسیون چندمتغیره[1] است که به بررسی و مدل‌سازی رابطه بین متغیرها می‌پردازد (Kerlinger & Pedhazur, 1973). از آنجایی‌که ارزیابی کلیه رگرسیون‌های ممکن بین تمام متغیرها، به حجم زیادی محاسبه نیاز دارد، روش‌های مختلفی از رگرسیون چندمتغیره ایجاد شده که در آنها صرفاً تعداد کمی از مدل‌های رگرسیون از طریق افزودن و یا حذف کردن متغیرها در یک زمان مورد بررسی قرار می‌گیرند. این نوع رگرسیون‌ها به رگرسیون گام به گام[2] معروف هستند (Mesdaghi, 2011) و می‌توان آنها را در سه دسته کلی قرار داد: ۱- گزینش پیش‌رونده[3]، ۲- حذف پس‌رونده[4] و ۳- رگرسیون گام

* تلفن: ۰۹۱۵۳۱۷۹۰۸۵
E-mail: rezvani@um.ac.ir

1. Multivariate regression
2. Stepwise regression
3. Forward selection
4. Backward elimination

به گام (Rezaei & Soltani, 2008). روش آماری دیگری که امروزه در تحلیل و تبیین بسیاری از پدیده‌ها مؤثر واقع شده، روش تجزیه علیت یا تحلیل مسیر[1] است. تحلیل مسیر روش مناسبی برای تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم یک متغیر روی متغیر دیگر است، چرا که در بسیاری از پژوهش‌ها مشاهده شده که یک متغیر نه تنها دارای اثر مستقیم بر متغیر دیگر بوده، بلکه به‌طور غیرمستقیم از طریق سایر متغیرها بر آن اثر می‌گذارد. به عبارت دیگر، تجزیه علیت، ضریب همبستگی بین دو متغیر را به اثر مستقیم و غیرمستقیم تفکیک و تجزیه می‌کند (Rezaei & Soltani, 2008). در یک پژوهش روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) بررسی و گزارش شد که با توجه به نتایج رگرسیون گام به گام، عملکرد بیولوژیک، تعداد غوزه و شاخه فرعی و تعداد دانه در غوزه اصلی‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه بودند، در حالی‌که نتایج تجزیه علیت نشان داد که فقط دو صفت از چهار صفت یاد شده (عملکرد بیولوژیک و تعداد غوزه در بوته) به‌طور مؤثری عملکرد دانه را تحت‌تأثیر قرار دادند (Omidi Tabrizi, 2003).

امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت جهان، کشاورزی رایج توانایی پاسخگویی به تمام نیازهای غذایی بشر را ندارد. کشاورزی رایج ضمن تخریب ساختمان خاک، اختلال در حیات موجودات زنده خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش تولید در درازمدت و افزایش هزینه‌های تولید را به همراه دارد، بنابراین یافتن راهکاری برای کاهش مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی رایج ضروری به نظر می‌رسد (Singh *et al*., 2011). در حال حاضر، استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار به عنوان روش‌هایی برای نیل بسوی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Wu *et al*., 2005). بدون تردید، کاربرد کودهای آلی و دامی به‌خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک و افزایش مواد آلی آن دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مثمر ثمر واقع شده و می‌توانند جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی در بلندمدت باشند (Mao *et al*., 2005; Lee, 2010). کاربرد کود دامی باعث پوک‌شدن خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و بهبود دانه‌بندی خاک شده و ضمن افزایش کارایی مصرف آب، عملکرد محصول را نیز افزایش می‌دهد (Raja Sekar & Karmegam, 2010). کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست در اکثر مناطق دنیا به‌طور موفقیت‌آمیزی روی تعداد زیادی از محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Shamsodin *et al*., 2007; Doan *et al*., 2013)، با عرضه این کودها به خاک، علاوه بر بهبود جنبه‌های غذایی، شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اکوسیستم خاک نیز ارتقاء می‌یابد (Robin *et al*., 2001). در یک پژوهش، پس از بررسی اثر کودهای آلی مختلف بر خصوصیات کمی و کیفی چندین گیاه دارویی، گزارش شد که ورمی‌کمپوست باعث افزایش ارتفاع بوته سرخارگل (*Echinaceae purpurea*) و افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) شد (Delate, 2000). بر اساس نتایج پژوهشی روی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)، مصرف کودهای آلی به‌ویژه ورمی‌کمپوست، افزایش معنی‌دار تعداد ساقه فرعی در بوته و تعداد گل در بوته را به همراه داشت (Rezaee & Baradaran, 2011).

تراکم بوته به‌عنوان یک عامل زراعی تحت‌کنترل، نقش مؤثری در عملکرد محصولات مختلف ایفا می‌کند و مشخص نمودن تراکم گیاهی از اصول اولیه زراعت هر محصول به شمار می‌رود (Ibrahim, 2012). افزایش متعادل تراکم گیاهی، سبب تسریع بسته شدن تاج‌پوشش، افزایش سطح برگ، بهره‌وری بیشتر از عوامل محیطی، کاهش علف‌های هرز و در نهایت بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف می‌شود (Ndabamenye *et al*., 2013; Chauhan & Abugho, 2013). لازم به ذکر است که در تراکم‌های بسیار زیاد، به‌دلیل سایه‌اندازی و رقابت شدید گیاهان برای نور و کمبود منابع در دسترس و همچنین حساسیت بیشتر گیاهان به عوامل بیماری‌زا، سرعت

1. Path analysis

ریزش برگ‌ها افزایش یافته و در نتیجه بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه اثرات منفی می‌گذارد (Zhang *et al*., 2012). در پژوهشی، اثر تراکم‌های مختلف (۱۲/۵، ۱۶/۶ و ۲۵ بوته در مترمربع) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) بررسی و گزارش شد که با افزایش تراکم، تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و وزن خشک بوته با کاهش مواجه شد (Akhani *et al*., 2012). در آزمایشی دیگر، پس از بررسی اثر تراکم‌های مختلف گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی چای‌ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) گزارش شد که با افزایش فاصله بین ردیف‌های کاشت از ۵۰ به ۱۰۰ سانتی‌متر، عملکرد گل افزایش یافت (Mir *et al*., 2011).

گاوزبان ایرانی گیاهی چندساله و متعلق به خانواده گاوزبان است و از نظر خواص دارویی، گیاهی ارزشمند محسوب می‌شود (Mehrabani *et al*., 2005). این گیاه به صورت خودرو در مناطق شمالی کشور و استان قزوین پراکنش دارد (Sayyah *et al*., 2009). در طب سنتی از گلبرگ‌های این گیاه به‌عنوان مدر، مسکن، معرق و کاهنده فشار خون استفاده می‌شود (Nooriyan Soroor *et al*., 2013). نظر به اهمیت گیاه دارویی گاوزبان ایرانی و روند رو به رشد مصرف آن در طب سنتی و صنایع داروسازی و با توجه به اینکه اطلاعات در زمینه همبستگی‌های موجود بین عملکرد و صفات مورفولوژیک این گیاه اندک است، این پژوهش با هدف تعیین اصلی‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد گاوزبان ایرانی در شرایط کاربرد کودهای آلی و شیمیایی و در تراکم‌های مختلف گیاهی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین روابط بین عملکرد گل خشک و صفات مورفولوژیک گیاه و پی بردن به آثار مستقیم و غیرمستقیم این صفات بر عملکرد گل خشک، این پژوهش در سال‌های زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ۳ تراکم کاشت ۱۰، ۵ و ۳ بوته در مترمربع (به ترتیب با فواصل کاشت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر روی ردیف و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر) و ۵ نوع کود آلی و شیمیایی مختلف شامل۱۰ تن در هکتار کمپوست، ۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی و شاهد (بدون مصرف کود) بودند.

قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک نمونه‌گیری انجام و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه‌آزمایشی

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental field soil.

Soil texture	Nitrogen (ppm)	Phosphorous (ppm)	Potassium (ppm)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)
Silty loam	15.7	13.4	417	7.3	1.1

برای اعمال کودهای آلی، میزان عناصر غذایی هر یک از کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی تعیین (نتایج تجزیه کودهای آلی مورد استفاده در آزمایش در جدول ۲ آورده شده است) و سپس بر حسب نیاز غذایی گاوزبان ایرانی (Najafpoor Navaee, 2002) و همچنین در نظر گرفتن عرف منطقه به‌ترتیب بر مبنای ۱۰ تن در هکتار کود کمپوست، ۷ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، در اسفندماه ۱۳۹۰ در سطح کرت‌های مورد نظر به‌طور یکنواخت پخش و بلافاصله توسط کارگر و با بیل دستی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری وارد خاک و با آن مخلوط شدند. لازم به ذکر است که در اسفندماه ۱۳۹۱ نیز به‌منظور تقویت رشد مجدد گیاه، همین میزان کود توسط کارگر تا عمق ۱۰

سانتی‌متری به خاک کرت‌های مربوطه اضافه شد. بر اساس منابع موجود (Najafpoor Navaee, 2002)، نیاز کودی گاوزبان ایرانی برای نیتروژن از منبع شیمیایی، ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص تعیین شد که نیمی از این مقدار در زمان کاشت و نیم دیگر آن بعد از انجام عملیات تنک به خاک مزرعه اضافه گردید (این میزان نیتروژن خالص توسط کود شیمیایی اوره تأمین شد)، ضمن اینکه در دومین سال زراعی (۹۲-۱۳۹۱) نیز همین میزان کود شیمیایی طی دو مرحله (آغاز رشد مجدد گیاه در سال دوم و مرحله چهار برگی) در اختیار گیاه قرار گرفت.

جدول ۲. خصوصیات کودهای آلی مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Used organic fertilizers characteristics in the experiment.

Type of organic fertilizer	Nitrogen (%)	Phosphorous (%)	Potassium (%)
Compost	0.64	0.44	0.49
Vermicompost	0.89	1.53	0.96
Cow manure	0.21	0.29	1.04

برای آماده‌سازی زمین با تأکید بر عملیات زراعی اکولوژیک، خاکورزی حداقل انجام شد، به‌این‌ترتیب که پس از انجام دیسک سبک، کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۴/۸۰×۲/۵ متر ایجاد شدند. به‌دلیل کودی بودن ماهیت تیمارها و جلوگیری از اختلاط تیمارها با هم، برای هر بلوک آزمایشی یک جوی آب و پساب جداگانه در نظر گرفته شد. بذرهای گاوزبان ایرانی با منشاء توده مشهد از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و اواسط فرودین‌ماه ۱۳۹۱ در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و بسته به تیمار مورد بررسی با فاصله روی ردیف ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۷ روز یکبار تا آخر فصل رشد به روش نشتی انجام شد. برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله ۴ برگی عملیات تنک انجام گرفت. به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی در سال اول (به‌ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت) و یک نوبت وجین دستی در سال دوم (۳۰ روز پس از رشد مجدد گیاه در سال دوم) انجام شد. پس از اتمام سال زراعی اول (۹۱-۱۳۹۰) در مهرماه ۱۳۹۱ اندام هوایی و بقایای گیاهی گاوزبان از زمین خارج شدند. برای آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

در سال زراعی دوم (۹۲-۱۳۹۱)، از ابتدا تا انتهای فصل گلدهی، گل‌های تمام سطح کرت‌های آزمایشی به‌صورت روزانه برداشت و وزن تر و خشک گل‌ها اندازه‌گیری شد. مجموع وزن خشک گل‌ها در طی دوره گلدهی به عنوان عملکرد گل خشک در هر کرت در نظر گرفته شد، ضمن اینکه ۳ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و در طول مرحله گلدهی تعداد گل‌های آنها شمارش شدند. در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله رسیدگی دانه‌ها و خشک شدن اندام هوایی گیاه، تعداد ۳ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر عملکرد اندام هوایی، تعداد ساقه فرعی، طول ساقه فرعی، ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش آنها اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین عملکرد دانه، بوته‌های تمام سطح کرت‌های آزمایشی برداشت و وزن دانه آنها تعیین گردید.

به‌منظور تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل آماری داده‌های آزمایش و رسم نمودارها، از نرم‌افزارهای SAS Ver.9.1 و Slide Write Ver.2 استفاده شد. مقایسه کلیه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گردید. صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گل خشک، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و نرم‌افزار Minitab Ver.16 تعیین شدند و به‌منظور پی بردن به روابط علت و معلولی بین عملکرد و صفات مورفولوژیک مؤثر بر آن، از روش آماری تجزیه علیت استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر تیمارها بر عملکرد اندام هوایی تک بوته

اثر تراکم بر عملکرد اندام هوایی در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد اندام هوایی در بوته در تراکم متوسط مشاهده شد و تراکم ۵ بوته

در مترمربع به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۴ و ۴۷ درصدی عملکرد اندام هوایی در بوته نسبت به تراکم‌های ۱۰ و ۳ بوته در مترمربع شد. کودهای آلی و شیمیایی مختلف به‌طور معنی‌داری بر عملکرد اندام هوایی در بوته تأثیر داشتند (جدول ۳)، به‌طوری که تمامی کودهای آلی مورد مطالعه دارای اثر مثبت بر عملکرد اندام هوایی در بوته بودند و عملکرد اندام هوایی در بوته در کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی به‌ترتیب ۲۵، ۷ و ۱۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت، ضمن اینکه کود شیمیایی نیز منجر به افزایش ۱۷ درصدی عملکرد اندام هوایی در بوته نسبت به شاهد شد. کودهای کمپوست و گاوی عملکرد اندام هوایی در بوته را به‌ترتیب ۱۰ و ۲ درصد نسبت به کود شیمیایی افزایش دادند.

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد گاو زبان ایرانی تحت‌تأثیر تراکم‌های مختلف و کاربرد کودهای آلی و شیمیایی

Table 3. Analysis of variance (mean of squares) for some morphological characteristics and yield of *Echium amoenum* affected by different plant density and application of organic and chemical fertilizers.

	df	Mean of squares			
		Shoot yield per plant	Plant height	Flower number per plant	Dry flower yield
Block	2	8.80^{ns}	109.95^{ns}	221078^{ns}	339294^{ns}
Plant density	2	48116.71^{**}	0.82ns	2810317^{**}	13075569^{**}
Fertilizer	4	3396.94^{**}	540.38^{**}	1722380^{**}	2183909^{**}
Plant density×Fertilizer	8	9373.31^{**}	122.40^{ns}	923445^{**}	2497218^{**}
Experimental error	28	305.51	74.91	191739	266634
CV (%)	-	10.36	9.48	17.58	16.84

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم‌معنی‌داری.

**, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

بررسی اثر متقابل تراکم گیاهی و کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد اندام هوایی در بوته نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد اندام هوایی در بوته به‌ترتیب در تیمارهای تراکم ۵ بوته در مترمربع و کود کمپوست (۳۱۲/۱۵ گرم) و تراکم ۳/۳ بوته در مترمربع و شاهد (۶۱/۲۸ گرم) مشاهده شد (جدول ۴). با کاهش تراکم، روند تغییرات عملکرد اندام هوایی در بوته در کودهای آلی مختلف مشابه بود، به‌طوری‌که در تمامی کودهای آلی مورد مطالعه با کاهش تراکم تا سطح ۵ و ۳ بوته در مترمربع، عملکرد اندام هوایی در بوته ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که با کاهش تعداد بوته در مترمربع، احتمالاً عناصر غذایی موجود در کودهای آلی به‌طور مطلوب‌تر و مقدار مناسب در اختیار گیاه قرار گرفت، در نتیجه با کاهش تراکم گیاهی اثر مثبت کودهای آلی بر خصوصیات رشدی گیاه به‌طور بارزتری نمایان شد. برخی محققین (Liang *et al*., 2005) اثر کودهای آلی و شیمیایی را بر عملکرد و درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.) بررسی و گزارش کردند که گیاهان تحت‌تیمار ورمی‌کمپوست دارای ارتفاع بوته، عملکرد برگ و عملکرد تر و خشک اندام‌های هوایی بیشتری در مقایسه با سایر تیمارها بود (Tahami Zarandi *et al*., 2010). نتایج آزمایشی در کدوتنبل (*Cucurbita maxima* L.) نشان داد که کاربرد کودهای دامی مختلف باعث افزایش زیست‌توده محصول نسبت به تیمار شاهد شد (Azeez *et al*., 2010).

با توجه به نتایج جدول ۴، کود شیمیایی در تراکم‌های ۵ و ۳ بوته در مترمربع، عملکرد اندام هوایی در بوته را به‌ترتیب ۲۲ و ۶۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. نتایج حاصل از یک پژوهش روی کنجد نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی از طریق تأمین عناصرغذایی به‌ویژه نیتروژن باعث بهبود محتوای نیتروژن برگ و افزایش فتوسنتز گیاه شد و در نتیجه عملکرد بیولوژیک گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Kumar *et al*., 1996).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل تراکم‌های مختلف و کاربرد کودهای آلی و شیمیایی بر برخی ویژگی‌های کمی و عملکرد گاو زبان ایرانی

Table 4. Mean comparison for interaction effects of different densities and organic and chemical fertilizers application on some quantitative characteristics and yield of *Echium amoenum*

	Shoot yield per plant (g.plant^{-1})	Plant height (cm)	Flower number per plant	Dry flower yield (kg.ha^{-1})
	Density of 3 plants per m^2			
Compost	151.00ef*	99.00ab	2268.1ed	3914.4ab
Vermicompost	96.12h	86.33a-c	2594.9b-d	4340.7a
Cow manure	126.33f-h	90.00a-c	3348.3b	2996.6bc
Chemical fertilizer	170.98de	101.66a	2489.8cd	4392.1a
Control	210.01c	78.00c	2528.9b-d	4219.3a
	Density of 5 plants per m^2			
Compost	312.15a	101.33a	2178.3	3654.0ab
Vermicompost	262.27b	96.00ab	2535.7b-d	4242.9a
Cow manure	217.65c	98.66ab	4177.7a	3580.2ab
Chemical fertilizer	207.19c	82.33bc	2576.3b-d	2354.4c
Control	161.14de	77.66c	2650.4b-d	2142.7c
	Density of 10 plants per m^2			
Compost	116.84gh	100.00a	1844.6de	2504.4c
Vermicompost	105.58h	90.00a-c	3123.7bc	2117.3c
Cow manure	188.40cd	98.66ab	1871.6de	3818.6ab
Chemical fertilizer	143.30e-g	86.00a-c	1640.9e	913.8d
Control	61.28i	82.66bc	1524.6e	1183.4d

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level based on Duncan's multiple range.

اثر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع بوته

اگر چه اثر تراکم‌های مختلف بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود، ولی ارتفاع بوته تحت‌تأثیر کودهای آلی و شیمیایی مختلف قرار گرفت (جدول ۳)، به‌طوری‌که تمامی کودهای آلی مورد مطالعه منجر به افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شدند و کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی ارتفاع بوته را به‌ترتیب ۲۱، ۱۲ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند، ضمن اینکه ارتفاع بوته در کود شیمیایی نیز ۱۲ درصد بیشتر از شاهد بود. به‌نظر می‌رسد که با کاهش تراکم گیاهی، دسترسی گیاه به عوامل محیطی نظیر نور، آب و مواد غذایی بیشتر شد و در نتیجه خصوصیات رشدی گیاه از جمله ارتفاع آن بهبود یافت. تمامی کودهای آلی مورد مطالعه از نظر تأثیر بر ارتفاع بوته نسبت به کود شیمیایی دارای برتری بودند، به‌طوری‌که ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی به‌ترتیب ۱۰، ۱ و ۶ درصد در مقایسه با کود شیمیایی افزایش یافت.

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در تمامی تراکم‌های مورد مطالعه، کودهای آلی منجر به افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شدند، به‌طوری‌که ارتفاع بوته در کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی به‌ترتیب ۲۱، ۱۰ و ۱۳ درصد در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع، به‌ترتیب ۲۳، ۱۹ و ۲۱ درصد در تراکم ۵ بوته در مترمربع و به‌ترتیب ۱۷، ۸ و ۱۶ درصد در تراکم ۳ بوته در مترمربع نسبت به شاهد افزایش یافت، ضمن اینکه کود شیمیایی نیز در تراکم‌های ۱۰، ۵ و ۳ بوته در مترمربع عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۳، ۶ و ۴ درصد افزایش داد. اثرات مثبت کودهای آلی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان مختلف در آزمایشات متعددی (D'Hose *et al*., 2014; Lakhdar *et al*., 2011) مورد تأکید قرار گرفته است. به‌نظر می‌رسد که کودهای آلی احتمالاً از طریق افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک (Arancon *et al*., 2004) و بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری عناصرغذایی (Arancon *et al*., 2005) و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی، باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه و از جمله ارتفاع آن شدند. از نظر فیزیولوژی، در شرایطی که آب و مواد غذایی به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، آب تجمع یافته در سلول‌ها افزایش یافته و از طریق آماس به سلول‌های مجاور انتقال پیدا می‌کند و در نهایت منجر به افزایش ارتفاع گیاه خواهد شد. در پژوهشی، اثر کودهای آلی بر خصوصیات کمی

و کیفی گیاهان دارویی اسفرزه (*Plantago ovate* Forsk.)، قدومه شیرازی (*Alyssum homolocarpum* L.)، قدومه شهری (*Lepidium perfoilatum* L.) و تخم شربتی (*Lalementia iberica* L.) مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که تیمار کود گاوی منجر به تولید بیشترین ارتفاع بوته در مقایسه با سایر تیمارها شد، ضمن اینکه ارتفاع تمامی گیاهان مورد مطالعه در اثر کاربرد کودهای ورمی‌کمپوست، کمپوست قهوه و کمپوست قارچ نیز نسبت به شاهد بیشتر بود (Koocheki *et al*., 2013).

اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد گل در بوته

تراکم گیاهی به‌طور معنی‌داری بر تعداد گل در بوته تأثیر داشت (جدول ۳)، به‌طوری‌که با افزایش تراکم گیاهی تا سطح ۵ بوته در مترمربع، تعداد گل در بوته افزایش یافت، در حالی‌که افزایش بیشتر تراکم گیاهی (تا سطح ۱۰ بوته در مترمربع) منجر به کاهش تعداد گل در بوته شد، بنابراین به‌نظر می‌رسد که تراکم متوسط گیاهی بیشترین نقش را در افزایش تعداد گل در بوته ایفا کرد. احتمالاً در سطوح پایین تراکم‌گیاهی به‌دلیل دسترسی بیش از حد گیاه به مواد غذایی و عوامل محیطی و عدم‌استفاده کارآمد از فضاهای خالی مزرعه و در سطوح بالای تراکم گیاهی به‌دلیل رقابت گیاه بر سر آب و مواد غذایی و کمبود عوامل محیطی، تعداد گل در بوته در مقایسه با تراکم متوسط گیاهی کاهش یافت. بین کودهای آلی و شیمیایی مختلف، از نظر تأثیر بر تعداد گل در بوته تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳)، به‌طوری‌که کودهای ورمی‌کمپوست و گاوی، تعداد گل در بوته را به‌ترتیب ۱۹ و ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند، ضمن اینکه استفاده از این دو نوع کود آلی منجر به افزایش تعداد گل در بوته در مقایسه با کود شیمیایی نیز شد. به‌نظر می‌رسد که کودهای آلی احتمالاً از طریق تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (Motta & Maggiore, 2013) منجر به افزایش تعداد گل در بوته شدند.

در بررسی برهمکنش اثرات تراکم گیاهی و کودهای آلی و شیمیایی بر تعداد گل در بوته مشاهده شد که اثر کودهای آلی مورد مطالعه در تراکم‌های مختلف گیاهی متفاوت بود، به‌طوری‌که کود گاوی در تراکم‌های ۱۰ و ۵ بوته در مترمربع و کود ورمی‌کمپوست در تراکم ۳ بوته در مترمربع از برتری قابل‌توجهی نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند، ضمن اینکه هر یک از کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی بهترین کارایی خود را در افزایش تعداد گل در بوته به‌ترتیب در تراکم‌های ۱۰، ۳ و ۵ بوته در مترمربع نشان دادند (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که کودهای آلی از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک (Padmavathiamma *et al*., 2008)، افزایش ظرفیت نگهداری آب (Shamsodin *et al*., 2007) و فراهمی بیشتر عناصرغذایی (Motta & Maggiore, 2013)، سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی شدند (Atiyeh *et al*., 2002) که این مسئله در نهایت به افزایش گلدهی گیاه انجامید. در یک پژوهش اثر کودهای آلی و بیولوژیک مختلف روی گیاه دارویی مرزه مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد که ورمی‌کمپوست چه به تنهایی و چه در کاربرد همزمان با کودهای بیولوژیک نیتروکسین و نیتراژین منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه شد (Rezvani Moghaddam, 2013). در پژوهشی، اثر کودهای آلی و بیولوژیک مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست سبب افزایش تعداد گل، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و مقدار اسانس گیاه مورد نظر گردید (Darzi *et al*., 2006). همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، کود شیمیایی در تمامی تراکم‌های مورد مطالعه اثر چندانی در افزایش تعداد گل در بوته نسبت به شاهد نداشت، ولی به‌نظر می‌رسد که در تراکم ۵ بوته در مترمربع نقش مؤثرتری در افزایش تعداد گل در بوته ایفا کرد، به‌طوری‌که کاربرد آن در تراکم ۵ بوته در مترمربع به‌ترتیب منجر به افزایش ۳ و ۳۶ درصدی تعداد گل در بوته در مقایسه با کاربرد این کود در تراکم‌های ۱۰ و ۳ بوته در مترمربع شد.

اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد گل خشک

عملکرد گل خشک به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تراکم گیاهی قرار گرفت (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین

مقدار عملکرد گل (۳۹۷۲/۶ کیلوگرم در هکتار) در بالاترین تراکم گیاهی مشاهده شد و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع، عملکرد گل خشک را به‌ترتیب ۲۱ و ۴۷ درصد نسبت به تراکم‌های ۵ و ۳ بوته در مترمربع افزایش داد. اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد گل خشک معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که تمامی کودهای آلی مورد مطالعه منجر به افزایش عملکرد گل خشک نسبت به تیمار شاهد شدند، به‌این‌ترتیب که عملکرد گل خشک در اثر تیمارهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی به‌ترتیب ۲۵، ۲۸ و ۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. لازم به ذکر است که تمامی کودهای آلی مورد مطالعه از عملکرد گل خشک بیشتری نسبت به کود شیمیایی برخوردار بودند و عملکرد گل خشک در کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی به‌ترتیب ۲۴، ۲۷ و ۲۶ درصد نسبت به کود شیمیایی افزایش یافت.

اثر متقابل تراکم گیاهی و کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد گل خشک معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که با کاهش تراکم گیاهی، کارایی کودهای آلی در افزایش عملکرد گل خشک تشدید شد، به‌این‌ترتیب که در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع، کودهای آلی اثر چندانی در افزایش عملکرد گل خشک نسبت به شاهد نداشتند، در حالی‌که در تراکم ۵ بوته در مترمربع کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی عملکرد گل خشک را به‌ترتیب ۴۱، ۴۹ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند و در تراکم ۳ بوته در مترمربع نیز افزودن کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گاوی به خاک به‌ترتیب افزایش ۵۳، ۴۴ و ۶۹ درصدی عملکرد گل خشک را در مقایسه با شاهد به همراه داشت (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که در تراکم‌های بالای گیاهی، رقابت درون‌گونه‌ای افزایش یافته و عوامل محیطی به‌ویژه تابش خورشیدی به‌اندازه کافی در اختیار گیاه قرار نگرفته (Ndabamenye *et al*., 2013) که این موضوع منجر به کاهش عملکرد گل خشک شد. در یک پژوهش اثر تراکم‌های مختلف گیاهی (۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ بوته در مترمربع) بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) بررسی و گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه در تراکم گیاهی ۲۵ بوته در مترمربع حاصل گردید (Nabizadeh *et al*., 2012). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی اثر فاصله بین (۶۰، ۷۰ و ۸۰ سانتی‌متر) و روی (۲۵، ۳۵ و ۴۵ سانتی‌متر) ردیف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی مرزه (*Satureja khuzistanica* Jamzad) گزارش شد که بیشترین عملکرد گل و قطر تاج‌پوشش در فاصله روی ردیف ۴۵ سانتی‌متر مشاهده شد و تراکم ۶/۶۷ بوته در مترمربع بیشترین عملکرد ماده خشک تولیدی را به خود اختصاص داد (Hekmati *et al*., 2012). همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، اثر کودهای آلی مورد مطالعه در تراکم‌های گیاهی مختلف متفاوت بود، به طوری‌که در تراکم‌های ۱۰ و ۵ بوته در مترمربع کود ورمی‌کمپوست و در تراکم ۳ بوته در مترمربع کود گاوی عملکرد گل خشک بیشتری را نسبت به سایر تیمارها سبب شد. احتمالاً ورمی‌کمپوست به‌دلیل قدرت بالای ذخیره رطوبت نقش مهمی در فراهمی آب مورد نیاز گیاه ایفا کرده (Shamsodin *et al*., 2007) و از این طریق باعث تولید بیشتر عملکرد گل خشک شد. کود گاوی پوسیده در سطوح پایین تراکم گیاهی احتمالاً از طریق افزایش آزادسازی نیتروژن در خاک (Motta & Maggiore, 2013)، عملکرد گل خشک را به میزان قابل‌توجهی افزایش داد. برخی مطالعات نشان داده است که مصرف کودهای آلی باعث کاهش اثرات شوری و افزایش جذب فسفر و نیتروژن شده و در نتیجه بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاهان را به همراه دارد (Sabahi *et al*., 2010). در یک پژوهش اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار) بر خصوصیات کمی و کیفی بابونه آلمانی (*Matricaria chemmomilla*) بررسی و مشاهده شد که بیشترین ارتفاع و عملکرد تر و خشک گل در هکتار با کاربرد ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست حاصل شد (Haj Seyyed Hadi *et al*., 2013). در پژوهشی دیگر، اثر منابع کودی مختلف بر کمیت و کیفیت کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد که کودهای گاوی و گوسفندی منجر به افزایش عملکرد میوه نسبت به شاهد شدند (Jahan *et al*., 2013).

همبستگی صفات

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، تعداد ساقه فرعی در بوته تنها صفتی بود که اثر معنی‌داری بر تعداد گل در بوته داشت و تعداد گل در بوته‌هایی بیشتر بود که از تعداد ساقه فرعی بیشتری برخوردار بودند. همبستگی وزن تر و خشک گل در بوته با تمامی صفات مورد مطالعه به جز تعداد گل در بوته و قطر تاج‌پوشش مثبت و معنی‌دار بود و عملکرد دانه نیز تحت‌تأثیر اکثر صفات فیزیومورلوژیک مورد مطالعه قرار گرفت، به‌طوری‌که بدون در نظر گرفتن صفات تعداد گل در بوته و قطر تاج‌پوشش، افزایش سایر صفات نقش مؤثری در بهبود عملکرد دانه ایفا کرد. عملکرد اندام هوایی در بوته به‌طور معنی‌داری با وزن تر و خشک گل در بوته، عملکرد دانه و طول ساقه فرعی همبستگی داشت، به‌طوری‌که افزایش عملکرد اندام هوایی در بوته منجر به بهبود صفات فوق‌الذکر گردید (جدول ۵). اگر چه همبستگی تعداد ساقه فرعی در بوته با اکثر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود، ولی همبستگی آن با وزن تر ($r= ۰/۵۵^{**}$) و خشک گل در بوته ($r= ۰/۵۶^{**}$) بیشتر از همبستگی این صفت با سایر صفات بود. ارتفاع بوته و طول ساقه فرعی بر روی اکثر صفات مورد مطالعه تأثیرگذار بودند، ولی قطر تاج‌پوشش با هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵).

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در گاوزبان ایرانی تحت‌تأثیر تراکم‌های مختلف و کاربرد کودهای آلی و شیمیایی

Table 5. Correlation coefficients between studied traits in *Echium amoenum* affected by different densities and application of organic and chemical fertilizers

Code	Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Dry flower yield	1									
2	Flower number per plant	0.30*	1								
3	Fresh flower weight per plant	0.40**	0.10	1							
4	Dry flower weight per plant	0.36*	-0.01	0.76**	1						
5	Seed yield	0.26	-0.12	0.67**	0.67**	1					
6	Shoot yield per plant	0.42**	0.16	0.59**	0.47**	0.34*	1				
7	Branch number per plant	0.31*	0.30*	0.55**	0.56**	0.35*	0.22	1			
8	Branch length	0.28*	0.09	0.42**	0.41**	0.42**	0.35*	0.22	1		
9	Plant height	0.35*	0.03	0.41**	0.38**	0.34*	0.22	0.22	0.53**	1	
10	Canopy diameter	-0.05	0.09	-0.10	0.06	-0.10	0.14	0.12	0.23	0.05	1

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and * are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level, respectively.

همبستگی بین اکثر صفات مورفولوژیک مورد مطالعه و عملکرد گل خشک مثبت و معنی‌دار بود، که در این بین بالاترین همبستگی به‌ترتیب مربوط به صفات عملکرد اندام هوایی در بوته ($r= ۰/۴۲^{**}$)، وزن تر ($r= ۰/۴۰^{**}$) و خشک گل در بوته ($r= ۰/۳۶^{*}$) و ارتفاع بوته ($r= ۰/۳۵^{*}$) بود (جدول ۵). اثر تعداد ساقه فرعی در بوته، طول ساقه فرعی و تعداد گل در بوته نیز بر عملکرد گل خشک معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با افزایش هر یک از آنها عملکرد گل خشک بهبود یافت (جدول ۵). عملکرد گل، ویژگی پیچیده‌ای است که تحت‌تأثیر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی قرار می‌گیرد و نمود قابل اندازه‌گیری این ویژگی، در صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تجلی می‌یابد (Hobbs & Mahon, 1982). به نظر می‌رسد که وجود همبستگی ضعیف در برخی از صفات به تفاوت زمان اندازه‌گیری صفات مرتبط باشد، بدین ترتیب که به عنوان مثال صفات تعداد گل در بوته و وزن گل در بوته در طول مدت گلدهی اندازه‌گیری شدند، در حالی که صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته و قطر تاج پوشش پس از پایان دوره گلدهی مورد ارزیابی قرار گرفتند، در نتیجه برای تعیین دقیق سهم هر یک از صفات در بهبود عملکرد گل خشک گیاه، از تجزیه علیت استفاده گردید. اگر چه عملکرد اکثر گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی طی دهه‌های گذشته افزایش یافته است، ولی فرآیندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی زمینه‌ساز این افزایش عملکرد به خوبی

شناخته نشده‌اند (Tollenaar, 1991). برخی محققین به همبستگی مثبت صفات فیزیومورفولوژیک و عملکرد گیاهان دارویی پونه (*Mentha pulegium*)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) و آویشن (*Thymus vulgaris*) (Mirzaee Nadooshan *et al*., 2001; Kukreja *et al*., 1992) اشاره کرده‌اند. اگر منابع افزایش عملکرد گیاهان دارویی شناخته شوند، ممکن است بتوان راه‌هایی را برای بهبود پتانسیل عملکرد این گیاهان از طریق بهبود مدیریت زراعی و تغذیه‌ای مشخص نمود (Fraser & Eaton, 1983)، بنابراین در این پژوهش صفات فیزیومورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گاوزبان ایرانی با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره و تجزیه علیت تعیین گردید.

تعیین صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گل خشک با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره

نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که عملکرد گل خشک گاوزبان ایرانی با اغلب متغیرهای اندازه‌گیری شده در آزمایش، همبستگی داشت. بر این اساس، به‌منظور تحلیل عمیق‌تر رابطه بین عملکرد گل به‌عنوان متغیر تابع (Y) و صفات مؤثر بر آن (متغیرهای مستقل، X) از روش رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. به‌این منظور، ابتدا کلیه متغیرهای تحت بررسی شامل تعداد ساقه فرعی در بوته (X_1)، طول ساقه فرعی (X_2)، ارتفاع بوته (X_3)، قطر تاج پوشش (X_4)، عملکرد دانه (X_5)، عملکرد اندام هوایی در بوته (X_6)، وزن تر گل در بوته (X_7)، وزن خشک گل در بوته (X_8) و تعداد گل در بوته (X_9)، در مدل رگرسیون قرار گرفت. در اولین مرحله از اجرای رگرسیون، رابطه بین عملکرد گل (Y) و کلیه متغیرهای تحت‌بررسی ($X_1, \ldots, X_n$) برآورد گردید. ضریب همبستگی این مدل r= ۰/۶۲ محاسبه شد. سپس، به‌منظور حذف متغیرهای دارای تأثیر جزئی بر عملکرد، از روش رگرسیون گام‌به‌گام حذف پس‌رونده استفاده گردید. نتایج رگرسیون نشان داد که در این تحقیق، متغیرهای ارتفاع بوته (X_3)، عملکرد اندام هوایی در بوته (X_6) و تعداد گل در بوته (X_9)، اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد گل خشک گاوزبان ایرانی بودند (رابطه ۱).

$$Y = 0.01104 + (0.32 \times X_6) + (0.27 \times X_3) + (0.24 \times X_9) \quad (۱)$$
$$r = 0.55^*$$

که در آن:

Y= عملکرد گل خشک (کیلوگرم در هکتار)، X6= عملکرد اندام هوایی در بوته (گرم)، X3= ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، و X9= تعداد گل در بوته است.

ضرایب معادله مذکور، تأثیر نسبی تغییرات هر یک از متغیرهای موجود در مدل را بر عملکرد گل نشان می‌دهد. برای مثال، طبق ضرایب این معادله، تغییر عملکرد گل به ازای هر واحد تغییر عملکرد اندام هوایی در بوته، ۰/۳۲ واحد است، در حالی‌که این تغییر به ازای هر واحد افزایش یا کاهش ارتفاع بوته، ۰/۲۷ واحد خواهد بود. به بیان دیگر، سهم نسبی عملکرد اندام هوایی در بوته در مقایسه با ارتفاع بوته در حدود ۱۶ درصد بیشتر می‌باشد که به‌طور ضمنی بیانگر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک گاوزبان همچون تولید شاخه‌های جانبی فراوان و تشکیل گل در انتهای آن‌ها و در نهایت تأثیر این صفات بر عملکرد گل می‌باشد. البته جهت تفسیر بهتر این نتایج، باید به واحد اندازه‌گیری هر متغیر نیز توجه داشت، که به همین دلیل رگرسیون چندمتغیره روی داده‌های استاندارد شده صفات انجام گرفت. حال با توجه به تأثیر تیمارهای آزمایش (سطوح مختلف تراکم و انواع کود) موجود در مدل فوق، این امکان فراهم شد تا بر اساس میزان افزایش یا کاهش متغیرهای تحت‌تأثیر تیمارهای به‌کار رفته، پاسخ عملکرد گاوزبان را به صورت کمی ارزیابی نمود.

اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر عملکرد گل خشک با استفاده از روش تجزیه علیت

پس از تعیین اصلی‌ترین صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گل خشک با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، میزان اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر یک از این صفات با استفاده از روش تجزیه علیت برآورد گردید. نحوه تأثیرگذاری این صفات بر یکدیگر و بر عملکرد گل خشک در شکل ۱ نشان داده شده است.

در شکل ۱، به‌منظور محاسبه ضرایب اثرات مستقیم صفات مورفولوژیک بر یکدیگر و بر عملکرد گل خشک از

رابطه‌های ۲ تا ۷ استفاده گردید (Everitt & Dunn, 1991):

(۲) اثر مستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته بر ارتفاع بوته
$P_{21}= r_{12}$

(۳) اثر مستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته بر تعداد گل در بوته
$P_{31}= r_{13} - P_{32}r_{12}$

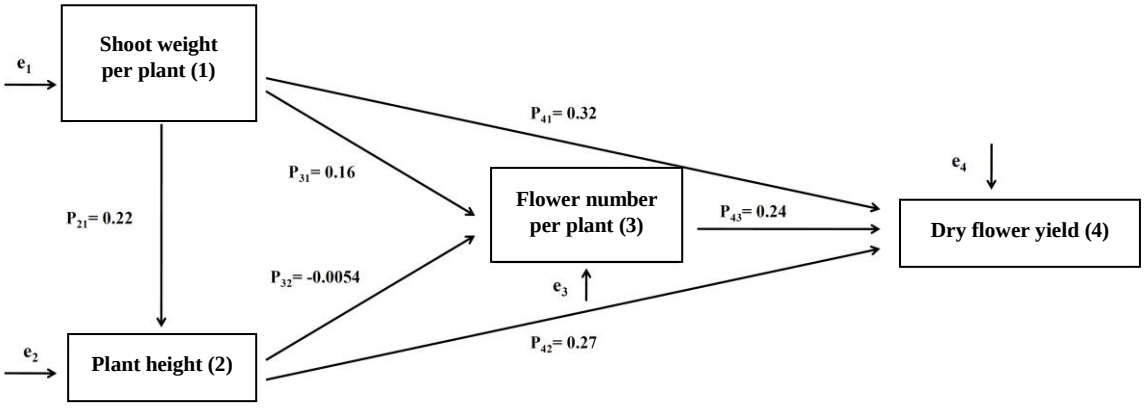
(۴) اثر مستقیم ارتفاع بوته بر تعداد گل در بوته
$P_{32}= r_{23} - P_{31}r_{12}$

(۵) اثر مستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته بر عملکرد گل خشک
$P_{41}= r_{14} - P_{42}r_{12} - P_{43}r_{13}$

(۶) اثر مستقیم ارتفاع بوته بر عملکرد گل خشک
$P_{42}= r_{24} - P_{41}r_{12} - P_{43}r_{23}$

(۷) اثر مستقیم تعداد گل در بوته بر عملکرد گل خشک
$P_{43}= r_{34} - P_{41}r_{13} - P_{42}r_{23}$

نحوه محاسبه اثر غیرمستقیم هر یک از صفات مورفولوژیک و تجزیه ضرایب همبستگی بین این صفات و عملکرد گل خشک به اثر مستقیم و غیرمستقیم در جدول ۶ آورده شده است.



شکل ۱. ضرایب مسیر نشان‌دهنده روابط بین عملکرد گل خشک و صفات مورفولوژیک گاوزبان ایرانی در شرایط کاربرد کودهای آلی و شیمیایی و تراکم‌های مختلف گیاهی (e نشان‌دهنده خطاهای غیر قابل اندازه‌گیری)

Figure 1. Path coefficients between dry flower yield and morphological characteristics of *Echium amoenum* in conditions of organic and chemical application and different plant densities (e represents an immeasurable errors)

بر اساس نتایج جدول ۶، اثر مستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته بر عملکرد گل خشک نسبت به اثر مستقیم ارتفاع بوته و تعداد گل در بوته بیشتر بود و ارتفاع بوته نیز از اثر مستقیم بیشتری بر عملکرد گل خشک نسبت به تعداد گل در بوته برخوردار بود.

عملکرد اندام هوایی در بوته از سه طریق به‌طور غیرمستقیم عملکرد گل خشک را تحت‌تأثیر قرار داد:

الف) اثر غیرمستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته از طریق ارتفاع بوته

ب) اثر غیرمستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته از طریق تعداد گل در بوته

ج) اثر غیرمستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته از طریق ارتفاع و تعداد گل در بوته

با توجه به نتایج جدول ۶، عملکرد اندام هوایی در بوته زمانی دارای بیشترین اثر غیرمستقیم بر عملکرد گل خشک بود که از طریق تأثیر بر ارتفاع بوته منجر به افزایش عملکرد گل خشک شد. با افزایش عملکرد اندام هوایی در بوته، ارتفاع بوته نیز افزایش یافت و از سوی دیگر، نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع بوته بهبود عملکرد گل خشک را به همراه داشت، بنابراین انتظار افزایش عملکرد گل خشک با افزایش عملکرد اندام هوایی در بوته منطقی به‌نظر می‌رسد. در یک پژوهش، صفات مؤثر بر عملکرد سرشاخه گلدار گیاه دارویی کافوری (*Camphorosma monspeliaca* L.) بررسی و گزارش شد که عملکرد اندام هوایی در بوته، یکی از صفاتی بود که با عملکرد سرشاخه گلدار همبستگی مثبت داشت، ضمن اینکه صفت تعداد پنجه که دارای بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد سرشاخه گلدار بود، به‌طور غیرمستقیم نیز از طریق ارتفاع بوته عملکرد را تحت‌تأثیر قرار داد (Abbaszadeh *et al*., 2012).

جدول ۶. تجزیه ضرایب همبستگی صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گل خشک به اثر مستقیم و غیرمستقیم
Table 6. Analysis of correlation coefficients of morphological characteristics affecting dry flower yield of *Echium amoenum* to direct and indirect effect

Direct effect	
Shoot yield per plant (P41)	0.32
Plant height (P42)	0.27
Flower number per plant (P43)	0.24
Indirect effect of shoot per plant via	
Plant height (P21×P42)	0.0594
Flower number per plant (P31×P43)	0.0384
Height and Flower number per plant (P21×P32×P43)	0.0002
Indirect effect of Plant height via	
Flower number per plant (P32×P43)	0.0012
Total direct and indirect effects of shoot yield per plant $P_{41} + [(P_{21} \times P_{42}) + (P_{31} \times P_{43}) + (P_{21} \times P_{32} \times P_{43})]$	0.418
Total direct and indirect effects of plant height $P_{42} + (P_{32} \times P_{43})$	0.271
Residual effects (error)	0.07

عملکرد اندام هوایی در بوته از طریق تعداد گل در بوته نیز بر عملکرد گل خشک تأثیر داشت (۰/۰۳۸۴= $P_{31} \times P_{43}$)، ولی زمانی که اثر غیرمستقیم آن از طریق ارتفاع و تعداد گل در بوته بر عملکرد گل خشک به‌طور همزمان محاسبه شد، این اثر چندان قابل‌توجه نبود (۰/۰۰۰۲= $P_{21} \times P_{32} \times P_{43}$).

ارتفاع بوته به‌طور غیرمستقیم از طریق تعداد گل در بوته بر عملکرد گل خشک تأثیر داشت، به‌این‌ترتیب که افزایش ارتفاع بوته، افزایش تعداد گل در بوته را به همراه داشت و افزایش تعداد گل در بوته نیز به نوبه خود منجر به افزایش عملکرد گل خشک شد، البته با توجه به نتایج جدول ۶ به‌نظر می‌رسد که اثر مستقیم ارتفاع بوته بر عملکرد گل خشک (۰/۲۶= P_{42}) بیشتر از اثر غیرمستقیم آن از طریق تعداد گل در بوته (۰/۰۰۱۲= $P_{32} \times P_{43}$) بود. در یک پژوهش، بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی مؤثر بر عملکرد گیاه دارویی پونه نشان داد که بهبود صفات ارتفاع بوته و تعداد ساقه فرعی در بوته منجر به افزایش عملکرد سرشاخه گلدار گیاه شد (Abbaszade *et al*., 2011).

نتایج تجزیه علیت حاکی از آن بود که تعداد گل در بوته تنها به‌صورت مستقیم بر عملکرد گل خشک تأثیر داشت، به‌طوری‌که با افزایش تعداد گل در بوته، عملکرد گل خشک افزایش یافت. از دیدگاه فیزیولوژی، تعداد گل در گیاهانی چون گل گاوزبان، آخرین جزء عملکرد بوده و نمی‌تواند نوسانات عملکردی (در این مورد، گل) را به جزء دیگری منتقل کند و بنابراین تحلیل مسیر انجام شده کاملاً با اصول فیزیولوژی گیاهی همخوانی دارد.

مقایسه صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گل خشک نشان داد که عملکرد اندام هوایی در بوته بیشتر از سایر صفات، عملکرد گل خشک را تحت‌تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که مجموع اثر مستقیم و غیرمستقیم عملکرد اندام هوایی در بوته نسبت به اثر سایر صفات مؤثر بر عملکرد گل خشک بیشتر بود (جدول ۶)، بنابراین به‌نظر می‌رسد برنامه‌ریزی جهت اعمال تیمارهایی که افزایش عملکرد اندام هوایی در بوته را به همراه داشته باشد، منجر به بهبود عملکرد گاوزبان ایرانی شود. نتایج یک پژوهش در آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) نشان داد که بین صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد اندام هوایی و عملکرد دانه همبستگی مثبت وجود داشت (Amirian *et al*., 2013). در پژوهشی دیگر، صفات عملکرد اندام هوایی، ارتفاع و تعداد دانه در بوته به‌عنوان تأثیرگذارترین صفات مؤثر بر عملکرد گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) شناخته شدند (Singh *et al*., 2012). برخی دیگر از محققین گزارش کردند که عملکرد اندام هوایی به‌ویژه وزن خشک چتر و وزن هزار دانه گیاه دارویی گشنیز، مهمترین خصوصیات مؤثر بر عملکرد این گیاه بودند (Dyulgerov & Dyulgerova, 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش نشان داد که بین عملکرد گل خشک و تمامی صفات مورفولوژیک مورد مطالعه به جز عملکرد دانه و قطر تاج‌پوشش همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت، ولی میزان ضریب همبستگی عملکرد گل خشک و صفات عملکرد اندام هوایی در بوته (r=۰/۴۲**)، وزن تر (r=۰/۴۰**) و خشک گل در بوته (r=۰/۳۶*) و ارتفاع بوته (r=۰/۳۵*) بیشتر از ضریب همبستگی سایر صفات بود. با توجه به نتایج رگرسیون چندمتغیره، عملکرد اندام هوایی در بوته، ارتفاع بوته و تعداد گل در بوته به‌عنوان اصلی‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد گل خشک شناخته شدند، که البته سهم نسبی ارتفاع بوته در مقایسه با عملکرد اندام هوایی و تعداد گل در بوته به‌ترتیب ۱۶ و ۲۵ درصد بیشتر بود. پس از بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مورفولوژیک بر عملکرد گل خشک مشخص شد که عملکرد اندام هوایی در بوته دارای بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد گل خشک بود، ضمن اینکه این صفت از سه مسیر (۱- ارتفاع بوته، ۲- تعداد گل در بوته و ۳- ارتفاع و سپس تعداد گل در بوته) به‌طور غیرمستقیم بر عملکرد گل خشک تأثیر داشت. همانطور که در شکل آنالیز مسیر مشاهده شد، احتمال اینکه عملکرد اندام هوایی در بوته، به‌واسطه افزایش ارتفاع بوته، منجر به افزایش تعداد گل در بوته شده و از این طریق افزایش عملکرد گل خشک را سبب شود، بسیار ضعیف است (P21 × P32 × P43= ۰۰۰۲)، در حالی‌که به نظر می‌رسد عملکرد اندام هوایی در بوته از طریق ارتفاع بوته، عملکرد گل خشک را تحت‌تأثیر قرار داد، به‌طوری که با افزایش عملکرد اندام هوایی در بوته، ارتفاع بوته افزایش یافت و افزایش ارتفاع بوته نیز به نوبه خود منجر به بهبود عملکرد گل خشک گیاه شد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که به‌نظر می‌رسد که با استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار و مدیریت‌های زراعی همچون کشت محصول در تراکم بهینه، می‌توان از طریق بهبود برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، ضمن حصول عملکردی برابر با سیستم‌های رایج، به سایر مزایای حاصل از کاربرد این نهاده‌ها، همچون تولید سالم و عاری از بقایای شیمیایی گیاه دارویی گاوزبان ایرانی دست یافت.

REFERENCES

1. Abbaszadeh, B., Rezaee, M. B. & Paknejad, F. (2011). Evaluation relationship between essential oil yield and some agriculture characters by using of path analysis of two ecotypes of *Mentha longifolia* (L.) Huds. Var. *amphilema* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27, 36-46. (in Farsi)
2. Abbaszadeh, B., Assareh, M.H., Ardakani, M.R., Paknejad, F., Layegh Haghighi, M. & Meshkizadeh, S. (2012). Sequential path analysis of effective characters on shoot yield and essential oil percentage of *Camphorosma monspeliaca* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28, 523-533. (in Farsi)
3. Akhani, A., Darzi, M. T. & Haj Seyed Hadi, M. R. (2012). Effects of biofertilizer and plant density on yield components and seed yield of coriander (*Coriandrum sativum*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4, 1205-1211.
4. Amirian, S., Golparvar, A. R. & Nassiri, B. M. (2013). Character association, regression and path analysis in sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3, 3640-3643.
5. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. & Metzger, J. D. (2004). Influence of vermicompost on field strawberries. *Bioresource Technology*, 93, 145-153.
6. Arancon, N. Q., Galvis, P. A. & Edwards, A. (2005). Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. *Bioresource Technology*, 96, 1137-1142.
7. Atiyeh, R.M., Lee, S.S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q. & Metzger, J. (2002). The influence of humic acid derived from earthworm-processed organic waste on plant growth. *Bioresource Technology*, 84, 7-14.
8. Azeez, J. O., Van Averbeke, W. & 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.
9. Chauhan, B. S. & Abugho, S. B. (2013). Effects of water regime, nitrogen fertilization, and rice plant density on growth and reproduction of lowland weed *Echinochloa crus-galli*. *Crop Protection*, 54, 142-147.
10. Darzi, M. T., Ghalavand, A., Rejali, F. & Sefidkon, F. (2006). Effects of biofertilizers application on yield and yield components in fennel (*Foeniculum vugare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22, 278-292. (in Farsi)

11. Delate, K. (2000). *Heenah mahyah student from herb trail*. Leopold center for sustainable agriculture. Annual Reports, Jowa State University. Ames, IA.
12. D'Hose, T., Cougnon, M., De Vliegher, A., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., Van Bockstaele, E. & Reheul, D. (2014). The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology*, 75, 189-198.
13. Doan, T.T., Ngo, P.T., Rumpel, C., Nguyen, B.V. & Jouquet, P. (2013). Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*, 160, 148-154.
14. Dyulgerov, N. & Dyulgerova, B. (2013). Correlation and path coefficient analysis of productivity elements in coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Central European Agriculture, 14, 1512-1517.
15. Everitt, B.S. & Dunn, G. (1991). *Applied multivariate data analysis*. Second edition, WIELY Publication.
16. Fraser, J. & Eaton, G. W. (1983). Applications of yield component analysis to crop research. *Field Crop Abstract*, 36, 787-797.
17. Guler, M., Sait Adak, M. & Ulukan, H. (2001). Determining relationships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy*, 14, 161-166.
18. Haj Seyyed Hadi, M. R., Darzi, M. T., Riazi, Gh. H. & Ghandarhari, Z. (2013). Evaluation of effect of vermicompost and aminoacids on yield and yield components of *Matricaria chemmomilla*. Iranian Journal of Plant and Ecosystem, 33, 67-80. (in Farsi)
19. Hekmati, M., Hadian, J. & Tabaei Aghdaei, S. R. (2012). Evaluating the effect of planting density on yield and morphology of savory (*Satureja khuzistanica* Jamzad). *Annals of Biological Research*, 3, 4017-4022.
20. Hobbs, S.L.A. & Mahon, J.D. (1982). Variation, heritability, and relationship to yield of physiological characters in peas. *Crop Science*, 22, 773-779.
21. Ibrahim, H. M. (2012). Response of some sunflower hybrids to different levels of plant density. *APCBEE Procedia*, 4, 175-182.
22. Jahan, M., Amiri, M. B., Aghhavani Shajari, M. & Tahami, M. K. (2013). Quantity and quality of *cucurbita pepo* L. as affected by winter cover crops (*Lathyrus sativus* and *Trifolium resopinatum*), PGPRs and organic manures. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11, 337-357.
23. Kerlinger, F. N. & Pedhazur, E. J. (1973). *Multiple regression in behavioral research*. Holt, Rinehart and Winston, Inc, NewYork.
24. Koocheki, A., Amirmoradi, Sh., Shabahang, J. & Kalantari Khandani, S. (2013). Effect of organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Plantago ovata* Forssk., *Alyssum homolocarpum* L., *Lepidium perfoilatum* L., and *Lalementia iberica* L. *Iranian Journal of Agroecology*, 5, 16-26. (in Farsi)
25. Kukreja, A. K., Dhawan, O. P., Ahuja, P. S., Sharma, S. & Mathur, A. K. (1992). Genetic improvement of mints: On the quantitative traits of essential oil of in vitro derived clons of Japanese mint (*Mentha arvensis* var *piperaascens* Holmes). Journal of Essential Oil Research, 4, 623-629.
26. Kumar, A. S., Prasad, T. N. & Prasad, U. K. (1996). Effect of irrigation and nitrogen on growth, yield/oil content, nitrogen uptake and water-use of summer sesame (*Sesamum indicum*). *Indian Journal of Agronomy*, 41, 111-115.
27. Lakhdar, A., Falleh, H., Ouni, Y., Oueslati, S., Debez, A., Ksouri, R. & Abdelly, Ch. (2011). Municipal solid waste compost application improves productivity, polyphenol content, and antioxidant activity of *Mesembryanthemum edule*. *Journal of Hazardous Materials*, 191, 373-379.
28. 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.
29. Liang, Y., Si, J., Nikolic, M., Peng, Y., Chen, W. & Jiang, Y. (2005). Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 1185-1195.
30. Mao, J., Olk, D.C., Fang, X., He, Z. & Schmidt-Rohr, K. (2008). Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IR spectroscopy. *Geoderma*, 146, 353-362.
31. Mehrabani, M., Ghassemi, N., Sajjadi, S. E., Ghannadi, A. & Shams-Ardakani, M. (2005). Main phenolic compounds of petals of *Echium amoenum* fisch. And C.A. Mey., a famous medicinal plant of Iran. *Daru*, 13, 65-69. (in Farsi)
32. Mesdaghi, M. (2011). *Statistical and regression methods*. Emam Reza university of Mashhad publications. (in Farsi)
33. Mir, B., Ghanbari, A., Ravan, S. & Asgharipour, M. (2011). Effects of plant density and sowing date on yield and yield components of *Hibiscus sabdarij* in Zabol region. *Advances in Environmental Biology*, 5, 1156-1161.

34. Mirzaee Nadooshan, H., Rezaee, M. B. & Jaimand, K. (2001). Path analysis of essential oil-related characters in *Mentha* spp. Flavour and Fragrance Journal, 16, 340-343.
35. Motta, S. R. & Maggiore, T. (2013). Evaluation of nitrogen management in maize cultivation grown on soil amended with sewage sludge and urea. *European Journal of Agronomy*, 45, 59-67.
36. Nabizadeh, E., Habibi, H. & Hosainpour, M. (2012). The effect of fertilizers and biological nitrogen and planting density on yield quality and quantity *Pimpinella anisum* L. *European Journal of Experimental Biology*, 2, 1326-1336.
37. Najafpoor Navaee, M. (2002). Evaluation of effect of phosphorous and nitrogen fertilizers on seed yield of *Echium amoenum*. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*, 13, 41-50. (in Farsi)
38. Ndabamenye, T., Van Asten, P. J. A., Blomme, G., Vanlauwe, B., Swennen, R., Annandale, J. G. & Barnard, R. O. (2013). Ecological characteristics and cultivar influence optimal plant density of East African highland bananas (*Musa* spp., AAA-EA) in low input cropping systems. *Scientia Horticulturae*, 150, 299-311.
39. Nooriyan Soroor, E., Rouzbehan, Y. & Alipour, D. (2013). Effect of *Echium amoenum* extract on the growth rate and fermentation parameters of Mehraban lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 184, 49-57.
40. Omidi Tabrizi, A. H. (2003). Correletion between traits and path analysis for grain and oil yield in spring safflower. *Iranian Journal of Seed and Plant Research*, 18, 229-240. (in Farsi)
41. Padmavathiamma, P. K., Li, L. Y. & Kumari, U. R. (2008). An experimental study of vermin-biowaste composting for agriculture soil improvement. *Bioresource Technology*, 99, 1672-1681.
42. Raja Sekar, K. & Karmegan, N. (2010). Earthworm casts as an alternate carrier material for biofertilizers: Assessment of endurance and viability of *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum*. *Scientia Horticulturae*, 124, 286-289.
43. Rezaee, M. & Baradaran, R. (2011). Effects of biofertilizers on the yield and yield components of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29, 635-650. (in Farsi)
44. Rezaei, A. & Soltani, A. (2008). *An introduction to applied regression analysis*. Publication Center of Isfehan University. (in Farsi)
45. Rezvani Moghaddam, P., Aminghafuri, A., Bakhshaee, S. & Jafari, L. (2013). Evaluation of effect of biofetilizer and organic fertilizer on some quantitative characteristics and amount of oil of *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Agroecology, 5, 105-112.
46. Robin, A., Szmidt, R. A. K. & Dickson, W. (2001). *Use of compost in agriculture, Frequently Asked Questions (FAQs)*. Remade Scotland., pp, 324- 336.
47. Sabahi, H., Takafooyan, J., Mahdavi Damghani, A. M. & Liaghati, H. (2010). Effects of integrated application of farmyard manure, plant growth promoting rhizobacteria and chemical fertilizers on production of canola (*Brassica napus* L.) in saline soil of Qum. *Iranian Journal of Agroecology*, 2, 287-291. (in Farsi)
48. Sayyah, M., Boostani, H., Pakseresht, S. & Malaieri, A. (2009). Efficacy of aqueous extract of *Echium amoenum* in treatment of obsessive-compulsive disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 33, 1513-1516.
49. Shamsodin, S. M., Maghsudi, K., Farahbakhsh, H. & Naseralavi, M. (2007). Compost and control of soil erosion. *2nd National Congress of Ecological Agriculture*, 25-26 October, Iran, Gorgan. (in Farsi)
50. Singh, J. S., Pandey, V. C. & Singh, D.P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 339-353.
51. Singh, B., Singh, G. & Pandey, V. P. (2012). Path analysis for seed yield and its component characters in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). New Agriculturist, 23, 185-187.
52. Tahami Zarandi, S. M. K., Rezvani Moghaddam, P. & Jahan, M. (2010). Comparison of effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil percentage of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Agroecology*, 2, 63-74. (in Farsi)
53. Toebe, M. & Filho, A. C. (2013). Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Cereal Science*, 57, 453-462.
54. Tollenaar, M. (1991). Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science*, 31, 119-124.
55. Wu, S. C., Caob, Z. H., Lib, Z. G., Cheunga, K. C. & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizers containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125, 155-166.
56. Zhang, Sh., Liao, X., Zhang, Ch. & Xu, H. (2012). Influences of plant density on the seed yield and oil content of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products*, 40, 27-32.

Iranian Journal of Horticultural Science, Vol. 47, No. 1, Spring 2016

Study the morphological characteristics affecting yield of *Echium amoenum* under different organic and chemical fertilizers and plant densities

Mohammad Bezad Amiri[1], Parviz Rezvani Moghaddam[2*] and Mohsen Jahan[3]

1, 2, 3. Former Ph.D. Student, Ferdowsi University of Mashhad (Assistant Professor of Gonabad University), Professor and Associate Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(Received: Mar. 15, 2014 - Accepted: Nov. 1, 2014)

ABSTRACT

In order to study the morphological characteristics affecting yield of *Echium amoenum* under different nutritional treatments and different plant densities, a factorial experiment based on RCBD design with three replications was conducted at Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, Iran in 2011-2013 growing seasons. The experimental treatments were all combination of three plant densities (10, 5 and 3 plant.m^{-2}) and five different types of organic and chemical fertilizers (compost, vermicompost, cow manure, chemical fertilizer and control). Results showed that organic fertilizers increased flower yield compared to control treatment. The flower yield of compost, vermicompost and cow manure treatments were 25, 28, and 27 percent more than control, respectively. Results of multivariate regression showed that variables of plant height, shoot dry weight, and number of flower per plant were the main factors affecting yield of flower; meanwhile, the relative contribution of shoot dry weight was approximately 16 and 25 percent more than plant height and number of flowers per plant, respectively. Based on the results of path analysis, shoot dry weight per plant had indirect effect on yield flower in different ways, but most of its indirect effect was imposed through plant height on the yield flower.

Keywords: compost, multivariate regression, optimal density, path analysis, plant height.

* Corresponding author E-mail: rezvani@um.ac.ir Tel: +98 915 3179085