تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۱۳-۴۲۷

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع صفات مورفولوژیک در اکوتیپ‌های مختلف رازیانه با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره

شهرام ریاحی نیا[1]، مریم دانش گیلوایی[1*]

۱- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

* مسئول مکاتبه: daneshg_maryam@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۲/۰۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.334423.1213**

چکیده

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات مورفولوژیک، آزمایشی بر روی ۱۱ اکوتیپ رازیانه با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، در گلخانه دانشگاه پیام نور قم در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری میان اکوتیپ‌های مورد مطالعه برای همه صفات مشاهده گردید. اکثر صفات مورد مطالعه از وراثت‌پذیری عمومی بالایی برخوردار بودند. عملکرد دانه در گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد چترک در چتر (۰/۶۴)، تعداد چتر در بوته (۰/۵۹) و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۶) داشت. تجزیه به عامل‌ها نشان داد که سه عامل اصلی و مستقل ۷۸/۷۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش وارد، ۱۱ اکوتیپ مورد بررسی را در چهار خوشه مجزا گروه‌بندی کرد. اکوتیپ‌های خوشه دوم (اردبیل و مغان) به علت داشتن مقادیر بالای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد گل در چترک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ارزشمند هستند و می‌توان از این اکوتیپ‌ها برای گزینش اکوتیپ‌های پر محصول و صفات مورفولوژیک مطلوب در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به عامل، تجزیه خوشه‌ای، وراثت‌پذیری، همبستگی

مقدمه

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) یک گیاه دارویی قدیمی است که معمولاً به‌عنوان غذا و داروی سنتی استفاده می‌شود (Hosseini *et al.*, 2021). رازیانه، گیاهی معطر دوساله متعلق به خانواده Apiaceae است و بومی سواحل دریای مدیترانه است. در اکثر نقاط جهان، رازیانه در مناطق خشک نزدیک به مناطق ساحلی و در سواحل رودخانه اهلی شده است (Diaaz-Maroto *et al.*, 2006). داروها و اسانس‌های استخراج‌شده از رازیانه دارای خواص ضدالتهابی، ضد درد، ادرارآور و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی هستند (Novais *et al.*, 2004).

اصلاح‌گران گیاهی موفقیت خود را در گذشته، حال و آینده مدیون تغییرات ژنتیکی در محصولات و خویشاوندان وحشی آن‌ها هستند. ارقام بومی با صفات منحصربه‌فرد خود برای برنامه‌های اصلاحی امیدبخش هستند (Sharma *et al.*, 2003). هدف اصلی مطالعه تنوع ژنتیکی و روابط بین مجموعه‌های ژرم‌پلاسم، به‌کارگیری اطلاعات حاصل از تنوع ارقام بومی برای توسعه و انتشار ارقام با عملکرد بیشتر در میان گونه‌های کشت شده است (Alawala *et al.*, 2006).

در بررسی ۱۲ اکوتیپ رازیانه در اصفهان، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین عملکرد گیاه با صفات تعداد چترک در چتر و روز تا رسیدگی کامل گزارش شد (Safaei *et al.*, 2011). بر اساس نتایج مطالعه‌ای روی ۱۵ اکوتیپ رازیانه در نجف‌آباد اصفهان، وراثت‌پذیری متوسط تا بالا برای صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد سبز شدن، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی در گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گیاه گزارش شد. آن‌ها بیان نمودند که بالا بودن میزان وراثت‌پذیری صفات بیانگر این است که صفت‌های مطالعه شده کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند و روش‌های مبتنی بر گزینش برای این صفات از کارایی بالایی برخوردار خواهد بود. هم‌چنین آن‌ها رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد شاخه فرعی در گیاه گزارش دادند (Maghsudi Kelardashti *et al.*, 2014).

نتایج آزمایش دیگری بر روی هفت اکوتیپ والدینی و سه

رقم سنتتیک رازیانه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که در شرایط بدون تنش، عملکرد دانه با صفات قطر گل، تعداد چتر، تعداد چترک و تعداد دانه در چتر و در شرایط تنش با صفات قطر گل، قطر ساقه، تعداد چتر و تعداد چترک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در این آزمایش، صفات مستقل معنی‌دار در عملکرد دانه در شرایط بدون تنش شامل تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در چتر و قطر ساقه و در شرایط تنش شامل تعداد گره، قطر ساقه و تعداد چتر بودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که یکی از مهم‌ترین صفات زراعی در گزینش ارقام رازیانه با عملکرد دانه بالا صفت تعداد چتر بود (Akbari *et al.*, 2015). در تحقیقی در بیرجند، تنوع قابل ملاحظه‌ای بین ۳۳ اکوتیپ مختلف رازیانه مشاهده گردید. بر اساس نتایج این مطالعه، صفات مطلوب برای بهبود کارایی انتخاب اکوتیپ‌های مطلوب شامل تعداد چتر، تعداد دانه در چتر اصلی، تعداد چتر بارور گیاه و تعداد چترک در چتر اصلی بودند که همبستگی مثبت معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند (Izanloo *et al.*, 2017).

در گزارش دیگری، در ارزیابی ۱۹ اکوتیپ رازیانه در تبریز نشان داده شد که عملکرد دانه با تعداد چتر، تعداد دانه در چتر، شاخص برداشت، محتوای اسانس و طول میانگره اول همبستگی مثبت داشت. تعداد چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه به دلیل باقی ماندن در مدل رگرسیون گام‌به‌گام به‌عنوان اجزای مؤثر بر عملکرد دانه در نظر گرفته شدند (Sefidan *et al.*, 2014). در بررسی تنوع فنوتیپی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کرمانشاه، بین صفت ارتفاع گیاه با وزن خشک بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات تعداد چتر در گیاه و تعداد ساقه فرعی همبستگی منفی و معنی‌دار گزارش شد. تغییرات صفت تعداد ساقه فرعی با تعداد چتر در بوته و تعداد چترک در چتر همبستگی هم‌سو و معنی‌دار بود. هم‌چنین، تغییرات هم‌سو و معنی‌دار بین صفت تعداد گل در چترک و تعداد چترک در چتر مشاهده شد (Farshadfar *et al.*, 2017).

در مطالعه ۵۰ ژرم‌پلاسم رازیانه در هند، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دلنه در چتر، وزن دلنه، عملکرد دانه و تعداد شاخه‌های فرعی وراثت‌پذیری بالایی نشان دادند. آن‌ها بیان کردند که برای بهبود ژنتیکی رازیانه باید بر روی صفاتی مانند تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر و وزن دانه که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارند تأکید بیشتری شود (Kumar *et al.*, 2017). پژوهش‌گران دیگری در مطالعه ۱۰ اکوتیپ رازیانه گزارش نمودند که عملکرد دانه با ارتفاع، تعداد برگ، تعداد شاخه، تعداد چتر، تعداد چترک و طول دمگل رابطه مثبت و معنی‌داری نشان داد (Kalleli *et al.*, 2019).

در اصلاح گیاهان، اولین گام، گزینش مناسب‌ترین و بهترین پایه‌ها است؛ بنابراین باید ابتدا مواد ژنتیکی را جمع‌آوری، بررسی و ارزیابی کرده، سپس روش‌های اصلاحی متفاوت را بر آن‌ها اعمال کرد (Bahmani *et al.*, 2012). رازیانه گیاهی دگرگشن بوده و دارای تنوع ژنتیکی بالایی است؛ بنابراین، نیاز به توجه بیشتری برای تعیین خصوصیت ژرم‌پلاسم آن دارد. آگاهی از تنوع ژنتیکی به‌ویژه در گیاهان دارویی اولین قدم در تعیین خصوصیت ژرم‌پلاسم است. بنابراین، اطلاع از تنوع ژنتیکی، تعیین خصوصیات ژرم‌پلاسم و حفاظت از ذخایر ژنتیکی کمک بزرگی به درک فرایندهایی از جمله اصلاح ژنتیکی، فرسایش ژنتیکی و تکامل رازیانه می‌نماید (Izanloo *et al.*, 2017). این پژوهش، با توجه به اهمیت رازیانه در حوزه سلامت جامعه، به‌منظور تعیین میزان تنوع و وراثت‌پذیری صفات مورفولوژیک بین اکوتیپ‌های مختلف رازیانه و انتخاب اکوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه پیام نور قم واقع در استان قم (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۳۷ متر) انجام شد. در این تحقیق، تعداد ۱۱ اکوتیپ مختلف رازیانه از مناطق مختلف کشور (جدول ۱) جمع‌آوری شد و آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

بذرهای رازیانه در عمق ۰/۵ سانتی‌متر در گلدان‌های با ارتفاع و قطر متوسط ۳۰ سانتی‌متر دارای خاک با بافت لوم رسی سیلتی (جدول ۲) و تحت شرایط میانگین ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و دمای روزانه ۲ ± ۲۸ و دمای شبانه ۲ ± ۱۶ سلسیوس کشت شدند و هر سه روز آبیاری صورت گرفت. صفات تعداد روز از کاشت تا سبز شدن، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (تعداد روز از کاشت تا

۵۰ درصد گل‌دهی بوته)، تعداد روز تا رسیدگی کامل (تعداد روز از زمان کاشت تا برداشت بذر)، ارتفاع بوته (فاصله طوقه تا رأس انتهایی چتر بر حسب سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی در گیاه (تعداد شاخه‌های موجود بر روی ساقه اصلی)، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد گل در چترک، وزن هزار دانه، عملکرد بوته اندازه‌گیری شدند.

بعد از جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین (با آزمون دانکن)، همبستگی بین صفات (با استفاده از روش پیرسون) و رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد. برای تعیین سهم نسبی هر یک از صفات اندازه‌گیری شده در ایجاد تنوع بین اکوتیپ‌های مورد بررسی، از تجزیه به عامل‌ها و برای گروه‌بندی آن‌ها از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) استفاده گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. اجزای واریانس محیطی، ژنتیکی و فنوتیپی براساس امید ریاضی میانگین مربعات برای محاسبه وراثت‌پذیری صفات (Burton and Devane, 1953) با نرم‌افزار Excel برآورد گردید. واریانس ژنتیکی براساس امید ریاضی میانگین مربعات با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$\sigma_g^2 = \frac{MS_g - MS_e}{r}$$

رابطه (۱)

که در آن، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی، MS_g میانگین مربعات تیمار، MS_e میانگین مربعات خطا و r تعداد تکرار بود.

واریانس فنوتیپی براساس میانگین تیمار و از طریق امید ریاضی میانگین مربعات با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{r}$$

رابطه (۲)

که در آن، σ_p^2 واریانس فنوتیپی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی، σ_e^2 واریانس خطا (برابر با MS_e) و r تعداد تکرار بود.

وراثت‌پذیری عمومی صفات بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$h_B^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}$$

رابطه (۳)

که در آن، h_B^2 وراثت‌پذیری عمومی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی و σ_p^2 واریانس فنوتیپی بود.

جدول ۱- فهرست اکوتیپ‌های رازیانه مورد بررسی جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف کشور

Table 1- List of studied fennel ecotypes collected from different regions of the country

شماره Number	استان County	منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (°′)	عرض جغرافیایی Latitude (°′)	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)
1	مرکزی Markazi	اراک Arak	49 46 E	34 6 N	1708
2	اردبیل Ardebil	اردبیل Ardebil	48 17 E	38 15 N	1332
3	فارس Fars	فسا Fasa	53 41 E	28 58 N	1288
4	هرمزگان Hormozgan	حاجی‌آباد Hajiabad	55 55 E	28 19 N	931
5	سیستان و بلوچستان Sistan and Balochestan	خاش Khash	61 12 E	28 13 N	1405
6	مرکزی Markazi	محلات Mahalat	50 45 E	33 91 N	1775
7	اردبیل Ardebil	مغان Moghan	47 55 E	39 39 N	31
8	قزوین Ghazvin	قزوین Ghazvin	50 0 E	36 15 N	1278
9	خراسان رضوی Khorasan Razavi	سبزوار Sabzevar	57 43 E	36 12 N	987
10	آذربایجان غربی Western Azerbaijan	سردشت Sardasht	45 30 E	36 9 N	1670
11	مازندران Mazandaran	ساری Sari	53 0 E	36 33 N	23

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 2- Some physical and chemical properties of the studied soil

بافت خاک Soil texture	لای Loam (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	منگنز Mn (mg kg^{-1})	مس Cu (mg kg^{-1})	روی Zn (mg kg^{-1})	آهن Fe (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	نیتروژن N (%)	اسیدیته Acidity (Ph)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})
رسی Clay	38.5	41.3	20.2	77	4.5	87	375	720	59	0.4	7.6	1.4

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اختلاف اکوتیپ‌ها برای تمام صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی، تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برای اکثر صفات بین اکوتیپ‌ها مشاهده شد و اکثر صفات دارای قابلیت توارث بالایی بودند. به دلیل نزدیکی واریانس فنوتیپی و ژنتیکی می‌توان نتیجه گرفت که ژن‌ها تأثیر زیادی بر تنوع مشاهده شده داشتند (جدول ۳). وراثت‌پذیری ارتفاع گیاه ۹۹/۲۴ درصد، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی ۹۸/۱۴ درصد، تعداد روز تا رسیدگی ۹۷/۳۲ درصد، تعداد روز تا سبز شدن ۹۲/۱۶ درصد، وزن هزار دانه ۸۲/۷۲ درصد، تعداد چترک در چتر ۸۱/۸۲ درصد، عملکرد دانه در گیاه ۷۹/۹۳ درصد، تعداد چتر در بوته ۷۵/۵۲ درصد، تعداد گل در چترک ۷۳/۳۳ درصد و تعداد شاخه فرعی در گیاه ۵۹/۵۹ درصد برآورد شد.

در بررسی ۱۵ اکوتیپ رازیانه در نجف‌آباد اصفهان، وراثت‌پذیری تعداد روز تا ۵۰ درصد سبز شدن ۷۰/۴۲ درصد، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی ۹۸/۵۰ درصد، ارتفاع گیاه ۹۸/۸۳ درصد، تعداد شاخه فرعی در گیاه ۹۷/۰۴ درصد، وزن هزار دانه ۸۴/۰۸ درصد و عملکرد دانه در گیاه ۹۰/۵۱ درصد گزارش شد (Maghsudi Kelardashti *et al*., 2014). آن‌ها بیان نمودند که بالا بودن میزان وراثت‌پذیری صفات بیانگر این است که صفت‌های مطالعه شده کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند و روش‌های مبتنی بر گزینش برای این صفات از کارایی بالایی برخوردار خواهد بود (Maghsudi Kelardashti *et al*., 2014). در تحقیقی در بررسی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کاداپا در هند، وراثت‌پذیری تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی ۵۰/۸۶ درصد، تعداد روز تا رسیدگی ۲۸ درصد، ارتفاع گیاه ۹۰/۴۶ درصد، تعداد شاخه فرعی در گیاه ۸۰/۸۴ درصد، تعداد چتر در بوته ۸۷/۱۹ درصد، تعداد چترک در چتر ۸۶/۴۳ درصد، وزن دانه ۴۹/۶۹ درصد و عملکرد دانه در گیاه ۹۵/۶۱ درصد گزارش شد (Hadli *et al*., 2021). آن‌ها بیان کردند که انتخاب برای بهبود صفات با وراثت‌پذیری بالا و متوسط مؤثر خواهد بود (Hadli *et al*., 2021).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، دامنه تغییرات صفت تعداد روز از کاشت تا سبز شدن از ۱۷/۳۳ تا ۲۶/۳۳ روز متغیر بود و اکوتیپ حاجی‌آباد، ساری، خاش و قزوین به‌ترتیب بیشترین و اکوتیپ اراک، محلات و سبزوار به‌ترتیب کمترین تعداد روز از کاشت تا سبز شدن را به خود اختصاص دادند. حداقل و حداکثر تعداد روز تا گل‌دهی به‌ترتیب ۶۵ و ۱۳۷ روز بود و حداکثر این صفت مربوط به اکوتیپ‌های ساری، سردشت، حاجی‌آباد و قزوین و حداقل آن مربوط به اکوتیپ‌های محلات، فسا، سبزوار و اراک بود. صفت تعداد روز تا رسیدگی بین ۱۱۰ تا ۲۰۱/۶۷ روز بود و دیررس‌ترین اکوتیپ‌ها شامل ساری، سردشت، قزوین و حاجی‌آباد و زودرس‌ترین اکوتیپ‌ها شامل فسا و سبزوار بودند. دامنه تغییرات صفت ارتفاع بوته از ۸۲/۰۳ تا ۱۷۹/۵۷ سانتی‌متر متغیر بود و اکوتیپ‌های ساری و مغان پا بلندترین و اکوتیپ محلات، فسا و سبزوار پا کوتاه‌ترین اکوتیپ‌ها بودند. کمترین و بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه به‌ترتیب ۳/۶۷ و ۷/۶۷ بود و بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه متعلق به اکوتیپ‌های مغان، اردبیل، اراک و خاش و کمترین آن مربوط به ساری، سردشت، سبزوار و قزوین بود. تعداد چتر در بوته بین ۳/۶۷ تا ۹/۳۳ متفاوت بود و اکوتیپ‌های اردبیل، مغان، فسا و خاش حداکثر و سبزوار و قزوین حداقل تعداد چتر در بوته را به خود اختصاص دادند. محدوده تغییر صفت تعداد چترک در چتر بین ۷/۶۷ تا ۱۹/۳۳ بود و بیشترین

تعداد چترک در چتر متعلق به اکوتیپ‌های اردبیل و اراک و کمترین آن مربوط به ساری و حاجی‌آباد بود. دامنه تغییرات صفت تعداد گل در چترک از ۱۲/۳۳ تا ۱۹/۳۳ متغیر بود و حداکثر تعداد گل در چترک متعلق به اکوتیپ‌های فسا و سبزوار و حداقل آن مربوط به قزوین و سردشت بود. دامنه‌ی صفت وزن هزار دانه بین ۲/۵۷ تا ۶/۲۰ گرم متفاوت بود و اکوتیپ‌های اراک و محلات بیشترین و سردشت و ساری کمترین میزان این صفت را به خود اختصاص دادند. عملکرد دانه از ۳/۳۳ تا ۷/۴۲ گرم متغیر بود و بیشترین میزان عملکرد دانه در گیاه مربوط به اکوتیپ اردبیل و مغان و کمترین آن مربوط به اکوتیپ ساری و سبزوار بود. محققان پیشین نیز با مطالعه تنوع ژنتیکی برای عملکرد و اجزاء عملکرد، تنوع قابل ملاحظه‌ای را بین اکوتیپ‌های رازیانه گزارش نمودند (Safaei *et al.*, 2011; Bahmani *et al.*, 2013; Maghsudi Kelardashti *et al.*, 2014; Sefidan *et al.*, 2014; Farshadfar *et al.*, 2017; Izanloo *et al.*, 2017; Kalleli *et al.*, 2019).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس، واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

Table 3- Analysis of variance, genotypic and phenotypic variation and broad sense heritability of studied traits in ecotypes of fennel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	روز تا سبز شدن Days to germination	روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant
اکوتیپ Ecotypes	10	29.65**	2118.61**	2498.61**	4079.16**	5.42**
خطا Error	22	0.82	13.27	22.73	10.37	1.00
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.17	3.82	3. 12	2.65	19.41
واریانس ژنوتیپی Genotypic variation		9.61	701.78	825.29	1356.26	1.47
واریانس فنوتیپی Phenotypic variation		10.43	715.05	848.02	1366.63	2.47
وراثت‌پذیری عمومی Broad sense heritability (%)		92.16	98.14	97.32	99.24	59.59

جدول ۳- ادامه

Table 3- Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant
اکوتیپ Ecotypes	10	11.50**	34.72**	14.85**	3.07**	3.45**
خطا Error	22	1.12	2.39	1.61	0.20	0.27
ضریب تغییرات CV (%)	-	16.63	11.09	7.74	11.11	10.32
واریانس ژنوتیپی Genotypic variation		3.46	10.78	4.42	0.96	1.06
واریانس فنوتیپی Phenotypic variation		4.58	13.17	6.02	1.16	1.33
وراثت‌پذیری عمومی Broad sense heritability (%)		75.52	81.82	73.33	82.72	79.93

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (P < ۰/۰۱)

** Significant at 0.01 probability level

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

of studied traits in ecotypes of fennel Table 4- Mean comparison

اکوتیپ Ecotypes	روز تا سبز شدن germination Days to	روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant
اراک Arak	17.33 d	75.33 e	146.67 c	82.03 h	6.00 ab
اردبیل Ardebil	21.33 c	94.00 c	145.00 c	157.87 c	7.00 a
فسا Fasa	20.67 c	65.67 f	110.00 d	83.23 h	4.33 bc
حاجی‌آباد Hajiabad	26.33 a	119.00 b	163.33 b	118.53 f	5.00 bc
خاش Khash	25.33 ab	82.33 d	141.33 c	104.43 g	6.00 ab
محلات Mahalat	18.33 d	65.00 f	147.67 c	82.57 h	5.00 bc
مغان Moghan	21.00 c	94.33 c	145.33 c	166.27 b	7.67 a
قزوین Ghazvin	24.00 b	115.00 b	170.67 b	125.50 e	4.00 c
سبزوار Sabzevar	18.67 d	68.67 f	113.33 d	86.80 h	4.00 c
سردشت Sardasht	20.33 c	131.33 a	195.53 a	150.50 d	4.00 c
ساری Sari	25.67 a	137.00 a	201.67 a	179.57 a	3.67 c

جدول ۴- ادامه

Table 4- Continued

اکوتیپ Ecotypes	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	وزن هزار دانه 1000 grain weight (gr)	عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant (gr)
اراک Arak	6.00 cd	16.67 ab	16.33 d	5.37 a	5.02 cd
اردبیل Ardebil	9.33 a	19.33 a	16.00 d	4.43 c	7.42 a
فسا Fasa	7.67 abc	15.67 bc	19.33 a	4.13 cd	4.51 de
حاجی‌آباد Hajiabad	5.00 de	9.33 ef	16.00 d	3.56 de	4.73 cde
خاش Khash	8.33 ab	13.33 cd	18.67 abc	3.50 de	5.58 bc
محلات Mahalat	6.00 cd	13.67 cd	16.00 d	6.20 b	4.97 cd
مغان Moghan	8. ab	17.00 ab	17.00 bcd	3.80 cde	5.98 b
قزوین Ghazvin	4.00 e	14.67 bc	13.00 e	3.77 cde	5.22 bcd
سبزوار Sabzevar	3.67 e	11.67 de	19.00 ab	3.80 cde	3.97 ef
سردشت Sardasht	7.33 bc	14.33 bcd	12.33 e	2.57 f	4.64 cde
ساری Sari	4.33 de	6.67 f	16.67 cd	3.17 ef	3.33 f

حروف مختلف در یک ستون نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار است که توسط آزمون دانکن تعیین شده است (P = 0.01)

Different letters within a column indicate significant differences as determined by the Duncan test (P = 0.01)

ضرایب همبستگی ساده پیرسون (جدول ۵) بین صفات مختلف اندازه‌گیری شده نشان داد که عملکرد دانه در گیاه با تعداد چترک در چتر (۰/۶۴)، تعداد چتر در بوته (۰/۵۹) و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۶) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. تحقیقات پیشین ارتباط بین عملکرد دانه با تعداد چتر در بوته (Bahmani *et al.*, 2013; Akbari *et al.*, 2015; Izanloo *et al.*, 2017; Kalleli *et al.*, 2019)، تعداد چترک در چتر (Abhay and Sastry, 2011; Safaei *et al.*, 2011; Yadav *et al.*, 2013; Akbari *et al.*, 2015; Izanloo *et al.*, 2017; Kalleli *et al.*, 2019) و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (Yadav *et al.*, 2013; Maghsudi Kelardashti *et al.*, 2014; Kalleli *et al.*, 2019) را مثبت و معنی‌دار گزارش نمودند که مطابق نتایج تحقیق حاضر بود. با توجه به نتایج بررسی‌های انجام شده و تحقیق حاضر، این صفات اجزای اصلی برای عملکرد دانه در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، هنگام انتخاب برای بهبود عملکرد رازیانه باید این صفات را در نظر گرفت.

صفت زمان سبز شدن رابطه مثبت و معنی‌داری با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (۰/۶۱)، روز تا رسیدگی کامل (۰/۴۳) و ارتفاع بوته (۰/۴۴) نشان داد در حالی‌که رابطه منفی و معنی‌داری با تعداد چترک در چتر (۰/۴۶) و وزن هزار دانه (۰/۵۸) نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مراحل مختلف فنولوژیک با همدیگر ارتباط مثبت و معنی‌دار داشته و با طولانی شدن یک صفت فنولوژیک، بقیه صفات فنولوژیک نیز از آن متأثر خواهند شد که این موضوع می‌تواند در طولانی شدن رشد و دیررسی حایز اهمیت باشد.

صفت تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی با زمان سبز شدن (۰/۶۱)، روز تا رسیدگی کامل (۰/۹۰) و ارتفاع بوته (۰/۷۷) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت اما با تعداد چترک در چتر (۰/۳۷)، تعداد گل در چترک (۰/۵۶) و وزن هزار دانه (۰/۶۵) همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و ارتفاع بوته ارتباط مثبت و با تعداد روز تا مرحله خمیری دانه، تعداد چتر و عملکرد دانه ارتباط منفی داشت (Sefidan *et al.*, 2014). در تحقیق دیگری، همبستگی مثبت بین تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی با روز تا رسیدگی کامل و ارتفاع بوته و همبستگی منفی با وزن هزار دانه گزارش شد (Bahmani *et al.*, 2013). تغییرات صفت تعداد چتر در بوته با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۱)، تعداد چترک در چتر (۰/۵۵) هم‌سو و معنی‌دار بود و صفت تعداد چترک در چتر با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۵) رابطه مثبت و معنی‌دار و با صفات زمان سبز شدن (۰/۴۶)، با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (۰/۳۷) و روز تا رسیدگی کامل (۰/۳۷) رابطه منفی و معنی‌دار داشت. پژوهش‌گران دیگری در بررسی رازیانه گزارش نمودند که ارتباط بین تعداد چترک در چتر با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و تعداد چتر مثبت (Akbari *et al.*, 2015; Kalleli *et al.*, 2019) و با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی منفی (Sefidan *et al.*, 2014) بود.

همبستگی منفی و معنی‌داری بین صفت وزن هزار دانه با صفات زمان سبز شدن (۰/۵۸)، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (۰/۶۵)، روز تا رسیدگی کامل (۰/۴۰) و ارتفاع بوته (۰/۵۳) وجود داشت. نتایج سایر آزمایش‌ها نیز حاکی از ارتباط منفی بین وزن هزار دانه با صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا رسیدگی کامل (Bahmani *et al.*, 2013) و ارتفاع بوته (Bahmani *et al.*, 2013; Kalleli *et al.*, 2019) بود. در صفاتی که همبستگی مثبت معنی‌داری نشان می‌دهند می‌توان نسبت به اتخاذ برنامه‌های اصلاحی در جهت بهبود هم‌زمان صفات اقدام نمود.

با استفاده از مدل رگرسیونی گام‌به‌گام، صفات کم تأثیر و یا بی‌تأثیر از مدل حذف گردیدند. برای این منظور، عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند. در نهایت دو صفت تعداد چترک در چتر و تعداد چتر در بوته به‌عنوان صفات تأثیرگذار وارد مدل شدند و ۴۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند (جدول ۶). رابطه رگرسیونی به‌دست‌آمده به‌صورت رابطه (۱) بود:

$$Y = 1.86 + 0.14\ X_1 + 0.19\ X_2 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، Y عملکرد دانه، X_1 و X_2 به ترتیب صفات تعداد چترک در چتر و تعداد چتر در بوته و عدد ۱/۸۶ نیز عرض از مبدأ رگرسیون است.

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

Table 5- Correlation coefficients among studied traits in ecotypes of fennel

صفت Trait	روز تا سبز شدن Days to germination	روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	وزن هزار دانه 1000 grain weight
روز تا سبز شدن Days to germination	1								
روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	0.61**	1							
روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	0.43*	0.90**	1						
ارتفاع بوته Plant height	0.44*	0.77**	0.66**	1					
تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	-0.08	-0.25	-0.25	0.15	1				
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	-0.11	-0.19	-0.20	0.17	0.51**	1			
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	-0.46**	-0.37*	-0.37*	-0.05	0.55**	0.54**	1		
تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	-0.01	-0.56**	-0.65**	-0.35*	0.20	0.07	-0.05	1	
وزن هزار دانه 1000 grain weight	-0.58**	-0.65**	-0.40*	-0.53**	0.17	0.04	0.30	0.12	1
عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant	-0.07	-0.17	-0.19	0.16	0.56**	0.59**	0.64**	-0.06	0.18

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

* and **: significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۶- رگرسیون گام به گام با در نظر گرفتن عملکرد به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات مورد مطالعه به‌عنوان متغیر مستقل

Table 6- Stepwise regression with regard to yield as dependent variable and other studied traits as independent variable

متغییرهای وارد شده به مدل Variables entered in the model	ضرایب رگرسیون Regression coefficient	اشتباه استاندارد Standard error	ضریب تبیین R^2	ضریب تبیین تصحیح شده Adjusted R^2	F	ضریب تورم واریانس VIF
عرض از مبدأ Intercept	1.86	0.61				
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	0.14	0.05	0.40	0.39	21.13**	1.41
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	0.19	0.08	0.49	0.46	14.53**	1.41

نتایج بررسی ۱۹ اکوتیپ رازیانه در تبریز نشان داد که تعداد چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه در رگرسیون گام‌به‌گام باقی ملندند و به‌عنوان اجزای مؤثر بر عملکرد دانه در نظر گرفته شدند (Sefidan *et al.*, 2014). نتایج تجزیه رگرسیون

گام‌به‌گام در ارزیابی ۱۰ اکوتیپ رازیانه در تهران نشان داد که صفات مستقل مؤثر در عملکرد دانه در شرایط بدون تنش شامل قطر ساقه، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در چتر و در شرایط تنش شامل تعداد گره در ساقه، قطر ساقه و تعداد چتر بودند (Akbari *et al.*, 2015). در تحقیقی دیگر، در بررسی ۳۳ اکوتیپ مختلف رازیانه در بیرجند، صفات مطلوب برای بهبود کارایی گزینش اکوتیپ‌های مطلوب شامل تعداد چتر بارور در گیاه، تعداد چتر، تعداد دانه در چتر اصلی و تعداد چترک در چتر اصلی گزارش گردید (Izanloo *et al.*, 2017).

با توجه به وجود تنوع میان اکوتیپ‌های مطالعه شده، از تجزیه به عامل برای تعیین نقش هر یک از صفات در تنوع موجود استفاده گردید (جدول ۷). بیشترین سهم را در واریانس مشترک عامل‌های استخراج‌شده صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا رسیدگی کامل، تعداد گل در چترک و ارتفاع بوته داشتند و کمترین سهم مربوط به تعداد چتر در بوته بود. صفات مورد مطالعه در سه عامل گروه‌بندی شدند که ۷۸/۷۴ درصد تغییرات داده‌ها را به‌شرح زیر توجیه کردند: عامل اول ۴۰/۶۲ درصد تغییرات کلی داده‌ها را تبیین کرد. در این عامل صفات روز تا سبز شدن، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا رسیدگی کامل، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد چترک در چتر همبستگی بالاتری را نسبت به سایر صفات با عامل اول به خود اختصاص دادند و ضریب عاملی روز تا وزن هزار دانه و تعداد چترک در چتر منفی و بقیه صفات مثبت بود. ضرایب بالای صفات مذکور نشان می‌دهد که این صفات در این عامل دارای بالاترین میزان تنوع بوده و سایر صفات دارای تنوع کمتری هستند؛ بنابراین انتخاب جهت بهبود یا افزایش این صفات در این عامل کارایی خواهد داشت. عامل دوم ۲۵/۰۱ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. عملکرد دانه، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و ارتفاع بوته همبستگی بالاتری را نسبت به سایر صفات با عامل دوم به خود اختصاص دادند و ضرایب عاملی همه آن‌ها مثبت بود. عامل سوم ۱۳/۱۱ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. ضرایب عاملی معنی‌دار مربوط به روز تا سبز شدن و تعداد گل در چترک بودند که ضرایب عاملی همه آن‌ها مثبت بودند.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در بررسی تنوع فنوتیپی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کرمانشاه نشان داد که چهار عامل مستقل و اصلی، ۸۱/۴۰ درصد تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (Farshadfar *et al.*, 2017). در مطالعه ۱۰ اکوتیپ رازیانه در کشور تونس در آفریقا، نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو عامل مستقل و اصلی، ۸۵/۰۹ درصد تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (Kalleli *et al.*, 2019).

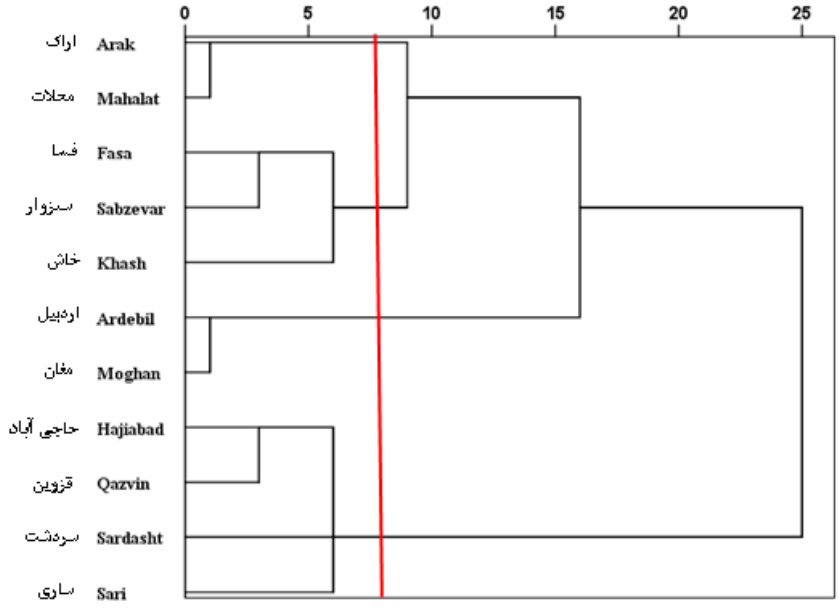
برای گروه‌بندی اکوتیپ‌ها، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) بر روی صفات اندازه‌گیری شده انجام شد. گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با روش وارد (شکل ۱) اکوتیپ‌ها را در ۴ گروه (دو اکوتیپ در خوشه اول، دو اکوتیپ در خوشه دوم، سه اکوتیپ در خوشه سوم و چهار اکوتیپ در خوشه چهارم) قرار داد. مقایسه میانگین برای صفات مورد نظر نیز انجام شد (جدول ۸). اکوتیپ‌های خوشه اول (اراک و محلات) بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و وزن هزار دانه را نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل به خود اختصاص دادند. از نظر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر و تعداد گل در چترک اکوتیپ‌های خوشه دوم (اردبیل و مغان) ارزشی بالاتر از میانگین کل ۱۱ اکوتیپ را داشتند. اکوتیپ‌های خوشه سوم (فسا، خاش و سبزوار) بیشترین تعداد گل در چترک در مقایسه با خوشه‌های دیگر و میانگین کل داشتند. بیشترین انحراف مثبت از میانگین کل از نظر صفات روز تا سبز شدن، روز تا ٪۵۰ گل‌دهی و روز تا رسیدگی کامل مربوط به اکوتیپ‌های خوشه چهارم (حاجی‌آباد، قزوین، سردشت و ساری) بود.

نتایج تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) ۱۹ اکوتیپ مختلف رازیانه کشت‌شده در شرایط آب و هوایی تبریز را در دو گروه طبقه‌بندی نمود (Sefidan *et al.*, 2014). در بررسی تنوع فنوتیپی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کرمانشاه، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد اکوتیپ‌های مورد مطالعه را در چهار گروه طبقه‌بندی نمود (Farshadfar *et al.*, 2017). در بررسی ۳۳ اکوتیپ مختلف رازیانه بررسی‌شده در شرایط آب و هوایی بیرجند، نتایج تجزیه خوشه‌ای به روش وارد اکوتیپ‌ها را در دو خوشه قرار داد (Izanloo *et al.*, 2017). در مطالعه ۱۰ اکوتیپ رازیلنه در کشور تونس در آفریقا، تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA اکوتیپ‌های مورد مطالعه را در سه گروه طبقه‌بندی نمود (Kalleli *et al.*, 2019).

جدول ۷- ضرایب عامل‌های مشترک، واریانس‌های نسبی و تجمعی و میزان اشتراک عامل‌ها صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

Table 7- Coefficients of common factor, relative variance and cumulative variance and percentage for studied traits in ecotypes of fennel

صفت Trait	ضرایب عامل‌های مشترک Coefficients of the common factor			واریانس مشترک Common variance
	1	2	3	
روز تا سبز شدن germination Days to	0.66	0.14	0.56	0.77
روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	0.94	0.28	-0.07	0.97
روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	0.86	0.23	-0.31	0.89
ارتفاع بوته Plant height	0.64	0.63	0.07	0.81
تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	-0.45	0.64	0.25	0.68
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	-0.39	0.70	0.15	0.66
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	-0.62	0.59	-0.24	0.79
تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	-0.48	-0.30	0.75	0.89
وزن هزار دانه 1000 grain weight	-0.68	-0.19	-0.43	0.68
عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant	-0.40	0.76	-0.02	0.74
واریانس نسبی Relative variance	40.62	25.01	13.11	
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	40.62	65.63	78.74	
مقادیر ویژه Eigenvalue	4.06	2.50	1.31	



شکل ۱- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های مورد بررسی رازیانه با استفاده از روش وارد

Figure 1- Dendrogram of cluster analysis in studied ecotypes of fennel by Ward method

جدول ۸- میانگین تجزیه خوشه‌ای برای ترکیب‌های موجود در اسانس برگ اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Table 8- The mean of cluster analysis for composition of leaf essential oils in studied ecotypes of fennel

صفت Trait	میانگین و انحراف معیار میانگین Mean and standard error of mean				میانگین کل Total mean
	خوشه ۱ Cluster 1	خوشه ۲ Cluster 2	خوشه ۳ Cluster 3	خوشه ۴ Cluster 4	
روز تا سبز شدن Days to germination	17.83 ± 0.50	21.17 ± 0.16	21.56 ± 1.97	24.08 ± 1.34	21.73 ± 0.95
روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	70.17 ± 5.17	94.17 ± 0.16	72.22 ± 5.13	125.58 ± 5.15	95.24 ± 8.01
روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	147.17 ± 0.50	145.17 ± 0.34	121.55 ± 0.62	182.75 ± 0.29	152.76 ± 0.41
ارتفاع بوته Plant height	82.30 ± 0.27	162.07 ± 4.20	91.49 ± 6.55	143.53 ± 13.84	121.57 ± 11.12
تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	5.50 ± 0.50	7.34 ± 0.34	4.78 ± 0.62	4.17 ± 0.29	5.15 ± 0.41
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	6.00 ± 0.00	8.83 ± 0.50	6.56 ± 1.46	5.17 ± 0.75	6.36 ± 0.59
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	15.17 ± 1.50	18.17 ± 1.17	13.56 ± 1.16	11.50 ± 1.77	13.94 ± 1.03
تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	16.17 ± 0.16	16.50 ± 0.50	19.00 ± 0.19	14.50 ± 1.08	16.39 ± 0.67
وزن هزار دانه 1000 grain weight	5.78 ± 0.42	4.12 ± 0.32	3.81 ± 0.18	3.27 ± 0.26	4.03 ± 0.30
عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant	4.99 ± 0.03	6.70 ± 0.72	4.69 ± 0.47	4.48 ± 0.40	5.03 ± 0.32

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل نشان داد که اکوتیپ‌های رازیانه از نظر صفات مورد مطالعه تفاوت‌های زیادی با هم داشتند. از جمله این‌که اکوتیپ‌های زودرس (اردبیل و مغان) با تعداد چتر در بوته، چترک در چتر و گل در چترک بالا، تعداد شاخه‌های فرعی بالا، دارای عملکرد دانه بالایی بودند. در حالی‌که اکوتیپ‌های دیررس (حاجی‌آباد، قزوین، سردشت و ساری) با تعداد چتر در بوته، چترک در چتر و گل در چترک پایین، تعداد شاخه‌های فرعی کم، دارای عملکرد دانه کمی بودند. اکوتیپ‌های زودرس، وزن هزار دانه بیشتری داشتند. بنابراین، جهت تولید اکوتیپ‌های با خصوصیات زراعی مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی و انتخاب می‌توان با انجام تلاقی بین اکوتیپ‌های برتر از خوشه‌های مختلف و آزمون نتایج آن‌ها اقدام نمود. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با تجزیه همبستگی ساده مطابقت داشت به‌طوری‌که تعداد چترک در چتر که بالاترین ضریب همبستگی را با عملکرد داشت به‌عنوان اولین صفت وارد مدل شد. صفت بعدی، تعداد چتر در بوته وارد مدل گردید که دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بود. با توجه به اینکه صفات تعداد چتر در بوته و تعداد چترک در چتر شاخص خوبی برای توجیه عملکرد بودند بنابراین، انتخاب این صفات می‌تواند موجب حداکثر افزایش عملکرد در مقایسه با سایر صفات اجزای عملکرد گردد. در این تحقیق، اکوتیپ‌های اردبیل و مغان به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر معرفی می‌گردند که می‌توان با استفاده از این اکوتیپ‌ها انواع روش‌های اصلاحی را بر آن‌ها اعمال کرد و به تولید اکوتیپ‌های با خصوصیات مورفولوژیک مطلوب دست یافت.

References

Abhay, D. and Sastry, E.V.D., 2011. Variability, character association and path coefficient analysis in fennel. *Indian Journal of Horticulture*, *68*(3), PP.351-356.

Akbari, A., Izadi-Darband, A., Bahmani, K. and Ramshini, H.A., 2015. Relationships between seed yield and plant characteristics in synthetic cultivars and elite ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *17*(4), PP.301-314 [In Persian].

Alawala, S., Suman, A., Arro, J.A., Veremis, J.C. and Kimbeng, C.A., 2006. Target region amplification polymorphism (TRAP) for assessing genetic diversity in sugarcane germplasm collections. Crop Science, *46*, PP.448-455. **doi: 10.2135/cropsci2005.0274**

Bahmani, K., Izadi Darbandi, A. and Baghcheghi, R., 2012. Assessment of genetic diversity of Iranian fennel Rapid marker. *Special Twelfth Iranian Genetics Congress*, *12*, PP.99-105 [In Persian].

Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Noori, S.A.S., Jafari, A.A. and Moradi, N., 2013. Determination of interrelationships among phenotypic traits of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) using correlation, stepwise regression and path analyses. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *15*(3), PP.424-444. **doi: 10.1080/0972060x.2012.10644070**

Burton, G.W. and Devane, D.E., 1953. Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, *45*(10), PP.478-481. **doi: 10.2134/agronj1953.00021962004500100005x**

Diaaz-Maroto, M.C., Pea Rez-Coello, M.S., Esteban, J. and Sanz, J., 2006. Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare* Mill.) from central spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(18), PP.6814-6818. **doi: 10.1021/jf0609532**

Farshadfar, M., Moradzade, N., Farshadfar, E. and Shirvani, H., 2017. Genetic diversity among fennel (*Fueniculum vulgare* Mill.) accessions using morphological and SCoT markers. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *25*(2), PP.212-231 [In Persian].

Hadli, A.A., Yuvaraj, K.M., Srinivasulu, B., Jayaprada, M., Kiran, Y.D. and Vali, D.M., 2021. Genetic variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under Rayalaseema region of Andhra Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *10*(1), PP.1755-1760. **doi: 10.22271/phyto.2021.v10.i1y.13605**

Hosseini, E., Majidi, M.M., Ehtemam, M.H., Ghanadian, M. and Huyghe, C., 2021. Variation in a worldwide collection of fennel (*Foeniculum vulgare* var. vulgare). *Crop and Pasture Science*, *72*(12), PP.1008-1021. **doi: 10.1071/cp21149**

Izanloo, A., Jami, A., Zabet, M. and Samadzadeh, A.R., 2017. Assessment of genetic diversity of different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) ecotypes based on morpho-phenological traits. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *33*(5), PP.779-792 [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2017.108103.1874**

Kalleli, F., Rebey, I.B., Razgallah, N., Tounsi, M.S. and M'Hamdi, M., 2019. Comparative analysis of morphological and chemical variability in different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) cultivars.

International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch, *4*(4), PP.200-217. **doi: 10.35410/ijaeb.2019.4418**

Kumar, R., Meena, R.S., Verma, A.K., Hemant, A. and Panwar, A., 2017. Analysis of genetic variability and correlation in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) germplasm. *Agricultural Research and Technology*, *3*(4), PP.125-129. **doi: 10.19080/artoaj.2017.03.555616**

Maghsudi Kelardashti, H., Rahimmalek, M., Sabzalian, M.R. and Talebi, M., 2014. An assessment of morphological genetic variations and heritability of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Taxonomy and Biosystematics*, *6*(18), PP.77-86 [In Persian].

Novais, H.M., Santos, I., Mendes, S. and Pinto-Gomes, C., 2004. Studies on pharmaceutical ethnobotany in arrabida natural park (Portugal). *Journal of Ethnopharmacology*, *93*(2-3), PP.183-195. **doi:10.1016/j.jep.2004.02.015**

Safaei, L., Zeinali, H. and Afiuni, D., 2011. Study of genetic variation of agronomic characteristics in *Foeniculum vulgare* Mill. genotypes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *19*(1), PP.167-180 [In Persian]. **doi: 10.22092/ijrfpbgr.2011.10076**

Sefidan, A.Y., Valizadeh, M., Aharizad, S. and Sabzi, M., 2014. Path analysis of grain yield, some morphological traits and essential oil content in different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, *4*(5), PP.10-15.

Sharma, K.K., Crouch, J.H. and Hash, C.T., 2003. Application of biotechnology for crop improvement: Prospects and constraints. *Plant Sci*ence, *163*, PP.381-397. **doi: 10.1016/s0168-9452(02)00133-4**

Yadav, P.S., Pandey, V.P. and Yadav, Y.P., 2013. Variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *22*(2), PP.203-208.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 413-427

Evaluation of morphological traits variation in different fennel ecotypes using multivariate statistical methods

Shahram Riahinia[1], Maryam Danesh Gilevaei[1*]

[1] Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran
[*]Corresponding Author: daneshg_maryam@yahoo.com

Received: 16 March 2022 Accepted: 24 April 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.334423.1213**

Abstract

Introduction: Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) is an old medicinal plant that is usually used as food and traditional medicine. The main goal of studying genetic diversity and relationships between germplasm sets is to use the information obtained from the diversity of native cultivars to develop and release cultivars with higher yields among cultivated species.

Materials and methods: To investigate genetic diversity and relationships among morphological traits, an experiment was performed using a completely randomized design with 3 replications on 11 fennel ecotypes in the greenhouse of Payame Noor University of Qom, in 2020. The measured traits included number of days to germination, number of days to 50% flowering, number of days to maturity, plant height, the number of branches per plant, the number of umbels per plant, the number of umbellets per umbel, the number of flowers per umbellets, 1000-seed weight, and grain yield per plant. After data collection, analysis of variance, mean comparison (with Duncan's test), correlation between traits (using Pearson's method) and stepwise regression were performed. In order to determine the relative contribution of each of the measured traits in creating diversity among the studied ecotypes, factor analysis was used, and Ward's cluster analysis was used to group them. SPSS software was used to analyze the data. Environmental, genetic and phenotypic variance components were estimated based on mathematical expectation of mean squares to calculate trait heritability with Excel software.

Results and discussion: Based on the results of the analysis of variance, a significant difference was observed among the studied ecotypes for all traits. Most of the studied traits had high broad-sense heritability. Seed yield per plant had a positive and significant correlation with the number of umbellets per umbel (0.64), number of umbels per plant (0.59), and number of branches per plant (0.56). Factor analysis showed that three main and independent factors explained 78.74 percent of the total variance in all ecotypes. Cluster analysis using the Ward method grouped 11 studied ecotypes into four separate clusters. The second cluster ecotypes (Ardebil and Moghan) are valuable due to their high values of plant height, number of branches per plant, number of umbels per plant, number of umbellets per umbel, number of flowers per umbellets, 1000-seed weight, and seed yield, and these ecotypes can be used to select of high yielding ecotypes and desirable morphological traits in breeding programs.

Conclusion: The results showed that fennel ecotypes had many differences in terms of the studied traits. Among them, the early maturing ecotypes (Ardebil and Moghan) with high values of the number of umbels per plant, umbellets per umbels and flowers in umbellets, and number of branches per plant had high seed yield. While long maturing ecotypes (Hajiabad, Qazvin, Sardasht and Sari) with low values of the number of umbels per plant, umbellets per umbels and flowers per umbellets, the number of branches per plant had low seed yield. Therefore, in order to produce ecotypes with desirable agricultural characteristics in breeding and selection programs, crossing between superior ecotypes from different clusters and testing their results can be done. The results of stepwise regression analysis were consistent with correlation analysis, so that the number of umbellets per umbels, which had the highest correlation coefficient with yield, was entered into the model as the first trait. The next trait, the number of umbels per plant, was entered into the model, which had a positive and significant correlation with yield. Considering that the traits number of umbels per plant

and number of umbellets per umbels were good indicators for yield, therefore, the selection of these traits can cause the maximum increase in yield compared to other traits of yield components. In this research, the ecotypes of Ardebil and Moghan are introduced as superior ecotypes, which can be used to apply all kinds of improvement methods on them and achieve the ecotypes with favorable morphological characteristics.

Keywords: Cluster analysis, Correlation, Factor analysis, Heritability