Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 47, No 4, Winter 2017 (617-630)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.119292.723

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۵ (ص ۶۳۰-۶۱۷)

بررسی تنوع ریخت‌شناختی و ترکیب‌پذیری عمومی در بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل

علیرضا یاوری[۱]، مجید شکرپور[۲*]، لیلا تبریزی رائینی[۳] و جواد هادیان[٤]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق دکتری، دانشیار و استادیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
٤. دانشیار، پژوهشکدهٔ گیاهان و مواد اولیهٔ دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۳/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/٦/۳۱)

چکیده

سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) یکی از گیاهان دارویی با ارزش از خانوادهٔ کاسنی (Asteraceae) است که توانسته در دو دههٔ اخیر جایگاه مهمی در صنایع داروسازی پیدا کند. اندام‌های مختلف گیاه به‌ویژه ریشه‌های آن حاوی ترکیب‌های دارویی ارزشمندی است که در تحریک سامانهٔ ایمنی بدن برای مقابله با عامل‌های ویروسی و باکتریایی اثرگذاری‌های شگرفی دارد. با توجه به ارزش اقتصادی شایان توجه و اهمیت دارویی سرخارگل، اصلاح و گزینش ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ ویژگی‌های ریخت‌شناختی (مورفولوژیک) و فیتوشیمیایی اهمیت بسزایی دارد. به‌منظور دستیابی به این هدف، این تحقیق بر پایهٔ گزینش ژنوتیپ‌های برتر و ارزیابی نتاج آن‌ها در یک جمعیت دارای تنوع، طراحی و اجرا شد. بدین ترتیب پس از آماده‌سازی زمین، تیمار پیش‌رویشی بذرها و تولید نشاء گونهٔ یادشده بر پایهٔ طرح آزمایشی لاتیس ساده با دو تکرار کشت‌شده و مراحل فنولوژی و عملکرد زراعی آن‌ها شامل اندام‌های هوایی و یازده ویژگی دیگر بررسی شد. نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی (تیمار) تفاوت معنی‌داری بر پایهٔ همهٔ ویژگی‌های مورد بررسی مانند سطح برگ، آغاز گلدهی، شمار غنچه، شمار گل، ارتفاع، قطر گل، وزن تر و وزن خشک در سطح ۱ درصد داشتند. با توجه به نتایج، خانواده‌های با شماره‌های ۹۳، ۷۲، ۹۲ و ۹۷ در ویژگی‌هایی مانند سطح برگ، شمار غنچه، شمار گل، ارتفاع، قطر گیاه، شمار انشعاب از قاعده و وزن خشک نسبت به دیگر خانواده‌ها برتر بودند که با توجه به ترکیب‌پذیری عمومی شایان‌توجه آن‌ها، ترکیب بذرهای والدینی آن‌ها برای تشکیل جمعیت بهبودیافتهٔ بعدی می‌تواند سودمند واقع شود.

واژه‌های کلیدی: **تجزیهٔ واریانس، ترکیب‌پذیری عمومی، تنوع ریخت‌شناختی، خانوادهٔ ناتنی، سرخارگل.**

Analysis of morphological variation and general combining ability in half sib families of *Echinacea purpurea* L.

Alireza Yavari[1], Majid Shokrpour[2*], Leila Tabrizi[3] and Javad Hadian[4]
1, 2, 3. Former Ph.D. Student, Associate Professor and Assistant Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 31587-11167, Iran
4. Associate Professor, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
(Received: Jun. 17, 2015 - Accepted: Sep. 22, 2015)

ABSTRACT

Echinacea purpurea L., known collectively as a medicinal species of Asteraceae family, is a perennial herb found in eastern and central United States and southern Canada. Whole parts of the plants, especially their roots contain valuable compounds which are as an immune system booster and blood purifier. Due to *Echinacea purpurea* L. economical and medical valus, breeding and selection of the superior genotypes for morphological and phytochemical characters is important. To achive the aims, this study were designed to select the best genotypes bassed on evaluation of their progenies in a diverse population. Thus, after land preparation, treated seeds and seedlings of the species were sown on the basis of a simple lattice design with two replications and their phenological stages as well as crop yield and 12 different characters were studied. Analysis of variance of the collected data revealed that the half-sib families were significantly different ($p>0.01$) based on the studied characters such as leaf area, flowering commencement, bud number, flower number, plant height, flower diameter, plant fresh and dried weight. According to the results, based on the means and GCA of the studied traits such as leaf area, number of buds and flowers, plant height, plant diameter, the number of branches from the base and dried weight, families of the 93, 72, 92 and 97 were the best, for which by combining their parent seeds to form the next improved population might be optimistic.

Keywords: Analysis of variance, GCA, *Echinacea purpurea*, half sib, morphological variation.

* Corresponding author E-mail: shokrpour@ut.ac.ir Tel: +98 26 32248721

مقدمه

گیاهان دارویی از منابع بالقوهٔ عظیم خدادادی هستند که با برنامه‌ریزی درست می‌توانند در کاربردهای درمانی و دارویی، صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی، به‌ویژه در موارد اقتصاد بدون اتکا به نفت جایگاه ویژه‌ای داشته باشند. بسیاری از گیاهان دارویی به‌صورت خام از کشور صادر می‌شوند درحالی‌که فرآورده‌های حاصل از آن‌ها با قیمت گزاف به کشور وارد می‌شود (Ayinechi, 1986). سرخارگل (Purple Coneflower) با نام علمی *Echinacea purpurea* L.، گیاهی علفی و چندساله است. این گیاه متعلق به تیرهٔ کاسنی (Asteraceae)، راستهٔ آسترال‌ها (Asterales) و زیر خانوادهٔ آستروئیده (Asteroideae) بوده و منشأ آن شمال آمریکا گزارش شده است. سرخارگل در شمال رودخانهٔ میسوری به‌صورت انبوه می‌روید (Omidbaigi, 2010). این گیاه حاوی شمار زیادی ترکیب با فعالیت‌های شناخته‌شدهٔ داروشناختی (فارماکولوژیکی) است که در پیکر رویشی و ریشهٔ این گیاه حضور دارند. از جمله این ترکیب‌ها که توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند می‌توان به اسید کافئیک و مشتقات آن مانند اسید شیکوریک و اکیناکوزید، ترکیب‌های آلکیل آمیدی، پلی‌ساکاریدها و اسانس‌ها اشاره کرد. این ترکیب‌ها ویژگی ضد قارچی، ضد باکتریایی و ضدویروسی دارند و از آن‌ها داروهای پیشگیری‌کننده و همچنین معالجه‌کنندهٔ سرماخوردگی تهیه می‌شود (Omidbaigi, 2010). مواد مؤثرهٔ سرخارگل سبب تقویت سامانهٔ دفاعی بدن و نیز باعث افزایش تولید ایمونوگلوبولین جی (Immunoglobulin G) می‌شود که برای مبارزه با یاخته‌های سرطانی مؤثر است (Omidbaigi, 2010). به دلیل کاربرد بالای ترکیب‌های دارویی حاصل از این گیاه، سرخارگل پس از گل محمدی و سیر، سومین گیاه پرمصرف در اروپا به شمار می‌آید که میزان فروش سالانهٔ آن بیش از ۲۵۰ میلیون دلار است (Abbasi *et al.*, 2007).

تنوع ژنتیکی پایهٔ بررسی‌های اصلاحی در گونه‌های گیاهی است، اما تاکنون بشر تنها توانسته یک گام مقدماتی برای شناسایی توانمندی گستردهٔ آن بردارد. برای استفاده از این سرمایهٔ عظیم، اطلاع از ماهیت و میزان تنوع موجود در ذخائر توارثی (ژرم‌پلاسم)، اهمیت بسیار زیادی در برنامه‌های بهنژادی دارد. انتخاب والدین مناسب یکی از موارد مهم در اصلاح گیاهان و یکی از رموز اساسی موفقیت بهنژادگران است. والدینی که از لحاظ ژنتیکی متفاوت هستند، دورگ (هیبرید)هایی با دورگ برتری (هتروزیس) بیشتر تولید می‌کنند و احتمال به‌دست آوردن نتاج تفرق‌یافتهٔ برتر (جداسازی متجاوز) افزایش می‌یابد. از سوی دیگر تعیین مشخصات و گروه‌بندی ذخائر توارثی به بهنژادگران این امکان را می‌دهد تا از دوباره‌کاری در نمونه‌گیری از جمعیت‌ها پرهیز کنند (Von Braun & Virchow, 1996). انواع مختلف سامانه‌های نشانگری به‌منظور تجزیه‌وتحلیل و شناسایی تنوع ژنتیکی استفاده شده‌اند. میزان کارایی و قابل‌اعتماد بودن هر نشانگر ژنتیکی به وراثت‌پذیری و میزان چندشکلی آن بستگی دارد. هر چه میزان وراثت‌پذیری و چندشکلی نشانگر بیشتر باشد، در بررسی ذخائر توارثی ارزش بیشتری دارد (Pank, 2007). ویژگی‌های فنوتیپی جزو نخستین نشانگرها به شمار می‌آیند و از زمان‌های بسیار دور، پیش از هنگامی‌که محل ژن‌ها روی کروموزوم‌ها مشخص شود، استفاده شده‌اند. این روش آسان‌ترین راه ارزیابی مستقیم تنوع ژنتیکی درون و بین جمعیت‌ها برای برآورد تفاوت‌های ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) بدون نیاز به ابزاری پیچیده است که برای شناسایی و رده‌بندی گیاهان در گذشته نیز استفاده شده است (Weising *et al.*, 2005). ایجاد رقم‌های مصنوعی (سنتتیک) و اصلاح جمعیت‌های ناهمگن، عمومی‌ترین روش در اصلاح گونه‌های علفی دگر گرده‌افشان، دائمی و با تولیدمثل جنسی است (Nguyen & Sleper, 1983). یکی از مراحل اساسی در تولید رقم (واریته)های مصنوعی، انتخاب والدین مناسب از بین والدین پرشمار است. این ارزیابی می تواند از راه ارزیابی خود والدین، نتاج حاصل از خودباروری آن‌ها و یا برآورد ترکیب‌پذیری عمومی حاصل از آزمون پلی‌کراس و یا تاپ‌کراس صورت گیرد که متداول‌ترین آن‌ها روش پلی‌کراس است. در این روش بهترین والدین از نظر توان ترکیب‌پذیری عمومی

انتخاب و برای ایجاد رقم مصنوعی استفاده می‌شوند (Aastveit & Aastveit, 1990). با توجه به اینکه در روش‌های مختلف گزینش به‌طور متفاوتی از واریانس افزایشی استفاده می‌شود، لذا آگاهی از میزان واریانس افزایشی نسبت به کل واریانس ژنتیکی اهمیت دارد (Annicchiarico, 2006).

تاکنون تحقیقات اصلاحی اندکی روی گیاه سرخارگل صورت گرفته است که عمدهٔ آن‌ها درزمینهٔ تعیین عملکرد و نوع ترکیب‌های شیمیایی است. گونهٔ *E. purpurea*، گونه‌ای خود ناسازگار و دگرگشن است که گرده‌افشانی در آن به‌وسیلهٔ حشرات صورت می‌گیرد. به دلیل ساختار ویژهٔ گل‌ها، اخته کردن گل در آن دشوار است؛ بنابراین بیشتر سامانه‌های اصلاحی در سرخارگل، روش‌هایی هستند که نیازی به اخته کردن ندارند (Stephens, 2008). در این زمینه Lin-na (2013)، با استفاده از نشانگرهای ریخت‌شناختی اقدام به بررسی چهارده توده از گیاه سرخارگل کرد. نتایج نشان داد که چهارده توده در گروه‌های متفاوت بر پایهٔ ویژگی‌های ریخت‌شناختی مانند ارتفاع گیاه، شمار گل، شمار برگ و اندازهٔ برگ قرار گرفتند. از این گذشته نتایج این آزمایش نظریهٔ آغاز غربالگری گیاهان در مزرعه برای ارزیابی ذخائر توارثی را تأیید کرد؛ زیرا محیط رشدی می‌تواند تأثیر زیادی بر ساختار ظاهری گیاه داشته باشد. همین‌طور Hassel *et al.* (2004)، تأثیر اندازه و منبع تهیهٔ بذر و دما را روی جوانه‌زنی بذرهای هر سه گونهٔ سرخارگل بررسی کردند. نتایج این آزمایش نشان داد که بذرهای گونهٔ *E. angustifolia* پس از سیزده روز و در دمای ۲۸ تا ۳۲ درجهٔ سلسیوس بیشترین میزان جوانه‌زنی را داشتند که در این بین بذرهای بزرگ‌تر با درصد جوانه‌زنی بیشتری همراه بودند. بذرهای تهیه‌شده از گیاهان مادری یک‌ساله با درصد جوانه‌زنی متغیری همراه بودند. این حالت برای بذرهای ریز و در مقایسه با بذرهایی با اندازهٔ بزرگ‌تر نیز مشاهده شد. در تحقیق دیگری تأثیر تاریخ نشاکاری روی عملکرد و کیفیت ریشه در گونهٔ *E. purpurea* در کشور لهستان ارزیابی شد. نتایج این تحقیق گویای افزایش عملکرد ریشه در تاریخ‌های نشاکاری در ماه‌های اردیبهشت تا خرداد بود. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که تاریخ نشاکاری تأثیر معنی‌داری روی میزان اسید فنولیک ریشه ندارد. میزان این ترکیب در ریشهٔ گیاهان سه‌ساله بیش از گیاهان دوساله بود. گیاهان سه‌ساله همچنین حاوی میزان اسید کوماریک بیشتر و اسید کافئیک کمتر بودند (Biesiada *et al.*, 2004). در بررسی Callan *et al.* (2005) تأثیر عامل‌های زراعی مانند تراکم کاشت و شرایط فصلی روی عملکرد اندام‌های هوایی و مواد مؤثرهٔ گونهٔ *E. purpurea* بررسی شد. نتایج این آزمایش نشان داد که تراکم بالای کشت شامل بیش از پانزده گیاه در هر مترمربع با بیشترین میزان تولید زیست‌توده (بیوماس) همراه بود اما میزان اسید شیکوریک در بافت گیاه را کاهش داد. در تراکم ۹ تا ۱۰ بوته در هر مترمربع میزان اسید شیکوریک ریشه در حدود ۱۲ میلی‌گرم در هر گرم ریشهٔ خشک و در سال دوم به دست آمد. بیشترین غلظت اسید شیکوریک در گل‌های نابالغ شناسایی شد اما بیشترین میزان برای این ترکیب در گل‌های باز شدهٔ کامل و پیش از پیر شدن گلبرگ‌ها به‌دست آمد. بیشترین میزان اسید شیکوریک موجود در ریشه‌ها پیش از گلدهی به دست آمد. آنان همچنین گزارش کردند که برداشت گل‌ها پیش از برداشت ریشه‌ها هیچ تأثیر معنی‌داری بر میزان عملکرد ریشه‌ها نداشته است. میزان عملکرد زیست‌تودهٔ گونهٔ *E. purpurea* در کشور اسلوونی نیز بررسی شد. در این تحقیق مشاهده شد که ویژگی‌های ریخت‌شناختی با افزایش سن گیاه تغییر می‌یابد درحالی‌که این عامل روی میزان مواد مؤثرهٔ گیاه شامل ترکیب‌هایی مانند اسید شیکوریک و اسید کافتریک هیچ تأثیر معنی‌داری ندارد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد، میانگین وزن برگ‌ها و ساقه‌ها در گیاهان شش‌ساله بیش از ۶ برابر کمتر از گیاهان یک‌ساله بود. این میزان برای گل‌ها در حدود ۴ برابر کمتر بود. میزان مواد مؤثرهٔ اسید شیکوریک و اسید کافتریک موجود در برگ‌ها در بین مناطق مختلف تفاوت معنی‌داری داشت درحالی‌که اثر معنی‌داری برای ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاه در بین مناطق مختلف مشاهده نشد (Kreft, 2005).

با توجه به ارزش اقتصادی شایان‌توجه و اهمیت دارویی سرخارگل، اصلاح و گزینش ژنوتیپ‌های برتر از

لحاظ ویژگی‌های ریخت‌شناختی و فیتوشیمیایی اهمیت بسزایی دارد. به‌منظور دستیابی به این هدف، این تحقیق بر پایهٔ گزینش ژنوتیپ‌های برتر و ارزیابی نتاج آن‌ها در یک جمعیت دارای تنوع طراحی و اجرا شد. نتایج این تحقیق می‌تواند در ایجاد یک جمعیت اصلاح‌شده برای ویژگی‌های مطلوب که برای شرایط اقلیمی کشور مناسب باشد، سودمند واقع شود.

مواد و روش‌ها

تهیهٔ بذر

در حدود دویست تک بوته در مرحلهٔ گلدهی از بین یک جمعیت اولیه دارای تنوع ژنتیکی کشت‌شده در ایستگاه تحقیقات گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تهران، واقع در محمدشهر کرج، در سال ۱۳۹۱ گزینش شدند. گزینش بوته‌ها بر پایهٔ ویژگی‌های ریخت‌شناختی و فنوتیپی مانند شمار گل بیشتر، فاصلهٔ میانگرهٔ کمتر، شمار برگ‌های بیشتر و آلودگی نداشتن به آفات و بیماری‌ها صورت گرفت. منشأ بذر جمعیت اولیه از دانشگاه علم و فناوری آدانا از کشور ترکیه (Adana Science and Technology University) است. بذرگیری از تک بوته‌های انتخابی به‌صورت جداگانه در مرحلهٔ رسیدن بذر انجام شد. با توجه به گرده‌افشانی باز در بین بوته‌های جمعیت یادشده، بذرهای برداشتی از هر بوته انتخابی شامل یک خانوادهٔ خواهر- برادر ناتنی (Half-sib) بود. پیش از کشت، بذرهای هر خانواده به‌مدت ده روز درون پرلیت مرطوب و دمای ۵ درجهٔ سلسیوس سرمادهی شدند تا رکود آن‌ها برطرف شود. سپس برای تولید نشاء درون گلخانه کشت شدند.

آماده‌سازی خزانه و کاشت بذرها

بذرهای خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل پس از سرمادهی مرطوب، در گلخانهٔ گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز به‌صورت مشخص در سینی‌های نشا با بستری یکنواخت شامل مخلوطی از کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۴ در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۹ کاشته شدند و تا مرحلهٔ انتقال به مزرعهٔ اصلی، بستر کاشت مرتب با محلول غذایی کامل فوسامکو ۴، به غلظت ۵ در هزار آبیاری شد تا بستر همیشه مواد غذایی داشته باشد. نشاهای گیاهان تولیدشده، هشتاد روز پس از کاشت و به زمین اصلی انتقال داده شدند (شکل ۱). در فرآیند پرورش نشاها در گلخانه، شماری از نشاها به دلیل رشد بسیار بطئی و کند و نیز ابتلا به بیماری‌ها، حذف شدند؛ به‌طوری‌که در نهایت صد خانواده با توان رشدی مناسب انتخاب و آمادهٔ انتقال به مزرعه شدند.

شکل ۱. نشاء خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)
یک سینی نشا (یک برگ حقیقی)، سمت راست؛ آمادهٔ انتقال به زمین اصلی، سمت چپ.
Figure 1. Transplants of *Echinacea purpurea* L. half-sib families.
A transplant tray (a true leaf), Right figure; Ready plants to transfer to the farm, Left figure.

آماده‌سازی زمین و اجرای نقشهٔ کاشت

در اواخر پاییز سال ۱۳۹۲ قطعه زمینی به مساحت ۷۵۰ مترمربع در ایستگاه تحقیقات گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در محمدشهر کرج با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا، در نظر گرفته شد و با اضافه کردن کود دامی کامل پوسیده به میزان ۲۰ تن در هکتار و شخم زدن آن، برای انتقال نشاء گیاهان

آماده شد. در اوایل بهار، با تسطیح قطعه زمین موردنظر، نقشهٔ کاشت بر پایهٔ طرح لاتیس ساده با دو تکرار برای کاشت صد خانوادهٔ خواهر- برادر ناتنی روی زمین اجرا شد. چیدمان تکرارها به‌صورتی بود که تکرار اول بر تکرار دوم عمود باشد. هر خانوادهٔ خواهر- برادر ناتنی شامل ۲۰ ژنوتیپ (فرد) بود که در هر تکرار در یک ردیف کشت و در مجموع دو تکرار ۲۰۰۰ ژنوتیپ از جمعیت خانواده‌های ناتنی کشت شدند.

فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف ۲۵ و بین دو ردیف ۷۰ سانتی‌متر انتخاب شده و آبیاری به‌صورت نواری انجام گرفت. مراقبت و نگهداری از گیاهان، شامل آبیاری منظم و یکنواخت، وجین علف‌های هرز و کنترل آفات و بیماری‌های احتمالی به‌منظور استقرار مناسب بوته‌ها در طول دورهٔ رشد گیاهان انجام گرفت.

ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری در مزرعه و آزمایشگاه

برای تعیین پدیدشناختی (فنولوژی) گیاه سرخارگل در شرایط آب و هوایی کرج (منطقهٔ محمدشهر- ایستگاه تحقیقات گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تهران) و به‌منظور تهیهٔ شناسنامهٔ پدیدشناختی سرخارگل، زمان‌های مربوط به هر یک از مراحل رشدی خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی با مبدأ زمانی تاریخ کاشت شامل مدت سبز شدن بذرها (خارج شدن برگ‌های لپه‌ای)، زمان دوبرگی و چهار برگی شدن، چند برگی شدن بوته‌ها برای انتقال به زمین اصلی، ظهور شاخه‌های گل‌دهنده (با ورود گیاهان به مرحلهٔ غنچه‌دهی)، باز شدن گل‌ها (با ظهور یک گل در هر بوته)، شکوفایی کامل گل‌ها، تشکیل بذر و رسیدن کامل بذر ثبت شد. بنابراین، برای بررسی مراحل پدیدشناختی در هر تکرار پنج بوته از هر خانوادهٔ ناتنی به‌صورت تصادفی نشانه‌گذاری و ثبت مراحل پدیدشناختی به‌صورت هفتگی، بر پایهٔ وارد شدن ۵۰ درصد بوته‌ها به یک مرحلهٔ پدیدشناختی ویژه تعیین شد. برای تعیین میزان عملکرد اندام‌های هوایی به‌صورت تازه و خشک، در هر تکرار شمار هفت بوته از هر خانواده در مرحلهٔ تمام گل به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین وزن تر آن‌ها محاسبه شد. همچنین با خشک‌کردن در شرایط سایه و دمای اتاق، عملکرد وزن خشک آن‌ها نیز محاسبه شد. سه ژنوتیپ باقیمانده از هر خانواده برای ثبت ادامهٔ مراحل پدیدشناختی شامل تشکیل بذر و رسیدن کامل بذر نگه‌داشته شدند. برای اندازه‌گیری صفت شاخص سطح برگ توسط دستگاه Leaf Area Meter، شمار پنج‌برگ بالغ از بخش روزت هر بوته انتخاب و جدا شد. در مجموع شمار پنجاه برگ بالغ برای هر خانواده برای تعیین میانگین سطح برگ آن خانواده به‌کار برده شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل و نشانه‌های اختصاری و واحد اندازه‌گیری در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل، نشانه‌های اختصاری و واحد اندازه‌گیری

Table 1. Measured characteristics, their abbreviations and units in evaluation of *Echinacea purpurea* L. half-sib families

No.	Characteristics	Abbreviation	Unit
1	Leaf area	LA	mm^2
2	Flowering start	FS	day
3	Number of bud	NB	-
4	Number of flower	NF	-
5	Height	H	cm
6	Flower diameter	FD	cm
7	Plant diameter	PD	cm
8	Main stem diameter	MSD	mm
9	Branch number	BN	-
10	Fresh weight	FW	gram
11	Dried weight	DW	gram

تجزیهٔ آماری داده‌ها

تجزیهٔ واریانس داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. برای تجزیهٔ همبستگی بین ویژگی‌ها و ترسیم نمودار ستونی (هیستوگرام) برخی از ویژگی‌های مهم از نرم‌افزار SPSS ver. 20 استفاده شد. اثر ترکیب‌پذیری عمومی از اختلاف میانگین هر خانوادهٔ خواهر- برادر ناتنی با میانگین کل ژنوتیپ‌ها برآورد شد (Hallauer & Miranda, 1981).

اجزای متشکلهٔ واریانس با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات در جدول تجزیهٔ واریانس برآورد شد. ضریب‌های تنوع فنوتیپی (CV_P) و تنوع ژنتیکی (CV_G) به‌ترتیب از نسبت جذر واریانس فنوتیپی و ژنتیکی خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی بر میانگین هر ویژگی محاسبه شد (Lothrop *et al.*, 1985; Ibrahim *et al.*, 1985):

$$\sigma_e^2 = \frac{MSe}{r}$$

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2$$

$$CV_p = \frac{100\sqrt{\sigma_p^2}}{\overline{X}}$$

$$CV_G = \frac{100\sqrt{\sigma_g^2}}{\overline{X}}$$

در این رابطه‌ها σ^2_e واریانس محیطی، σ^2_p واریانس فنوتیپی، σ^2_g واریانس ژنتیکی، MSe میانگین مربعات خطای آزمایش، CV_P ضریب تنوع فنوتیپی و CV_G ضریب تنوع ژنوتیپی هستند.

توارث‌پذیری از رابطه‌های زیر به‌دست آمد (Lothrop *et al*., 1985):

$$h^2 = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 p} = \frac{4\sigma^2 gca}{\frac{\sigma^2 e}{r} + 4\sigma^2 gca}$$

$$h^2_{Hs} = \frac{\sigma^2 gca}{\frac{\sigma^2 e}{r} + \sigma^2 gca}$$

در این رابطه‌ها h^2: وراثت‌پذیری خصوصی؛ h^2_{Hs}: وراثت‌پذیری بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی؛ r: شمار تکرار؛ σ^2_{gca}: واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و σ^2_e: برآورد واریانس خطای آزمایشی است.

نتایج و بحث

بررسی مراحل پدیدشناختی که بر پایهٔ شمار روز و دمای روزهای رشد صورت پذیرفت، نشان داد که بیش از ۵۰ درصد بذر خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی به‌طور میانگین ۹ روز پس از کاشت سبز شدند. تا پیش از زمان نشاکاری در زمین اصلی آزمایش (مرحلهٔ شش برگی شدن)، سه مرحله پس از سبز شدن بذرهای شامل مرحلهٔ دوبرگی، چهاربرگی و شش‌برگی شدن ثبت شد که مدت‌زمان وارد شدن به این مراحل پدیدشناختی در جدول ۲ آمده است. میانگین مدت‌زمان سبز شدن نسبت به بررسی‌های پیشین بین چهار الی هفت روز کاهش یافت. از این گذشته، مدت‌زمان لازم برای آماده شدن نشا برای انتقال به زمین اصلی به‌طور میانگین پانزده روز کمتر از دیگر تحقیقات انجام‌شده روی این‌گونه بود (Aghaalikhani *et al*., 2013; Caruso & Gwaltney, 2005). کوتاه بودن مدت‌زمان لازم برای سبز شدن بذرها تا آماده شدن نشا برای انتقال به زمین اصلی از نظر صرفه‌جویی در وقت و هزینه بسیار مهم است.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی تفاوت معنی‌داری از نظر همهٔ ویژگی‌های مورد بررسی مانند سطح برگ، آغاز گلدهی، شمار غنچه، شمار گل، ارتفاع، قطر گل، وزن تر و وزن خشک در سطح ۱ درصد داشتند (جدول ۴). ویژگی‌هایی که ضریب تغییر بالایی دارند، محدودهٔ گسترده‌تری از کمیت ویژگی را دارند و دامنهٔ انتخاب وسیع‌تری برای آن ویژگی به‌شمار می‌آیند (جدول۳). ویژگی‌های مهمی مانند سطح برگ، شمار غنچه، شمار گل، ارتفاع، قطر گل، قطر گیاه، وزن تر و وزن خشک بیشترین تنوع را داشتند.

جدول ۲. تاریخ کاشت، مدت‌زمان رشد و پدیدشناختی نشاء در جمعیت سرخارگل مورد بررسی

Table 2. Cultivation date, time to growth period and transplant phenology in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

Species	Cultivation date	Time to growth period (days after cultivation)			
		Emergence	Two leaf stage	Four leaf stage	Six leaf stage
E. purpurea	1392/11/9	2±9	5±39	4±56	4±75

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناختی در جمعیت خانواده‌های ناتنی سرخارگل مورد بررسی

Table 3. Variance analysis of morphological traits in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

SOV	df	Mean of Squares					
		LA	FS	NB	NF	H	FD
Replacation	1	36822361.29	13.52	536.28	620.57	36.55	9.20
Half-sib families	99	2927212.66**	41.48**	13.99**	50.12**	212.51**	2.42**
Within	18	191308.00 ns	1.33 ns	1.02 ns	8.11 ns	3.77 ns	0.14 ns
Error	99	291248.57	1.63	4.95	8.40	4.24	0.15
CV (%)		5.14	1.17	22.85	12.91	3.80	3.95

ns,*,**: Non significant, Significant at 5 and 1%, respectively. ns، *، ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

ادامه جدول ۳. تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناختی در جمعیت خانواده‌های ناتنی سرخارگل مورد بررسی
Countinued Table 3. Variance analysis of morphological traits in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

SOV	df	Mean of Squares				
		PD	MSD	BN	FW	DW
Replacation	1	10.44	14.74	22.04	13.06	4690.93
Half-sib families	99	35.05**	2.69**	12.31**	53512.21**	3083.23**
Within	18	9.22 ns	0.23 ns	0.12 ns	584.28 ns	40.27 ns
Error	99	8.85	0.24	8.42	1432.82	251.03
CV (%)		7.13	2.91	9.26	7.00	10.41

ns، *، ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد. ns,*,**: non significant, and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

با توجه به اینکه اثر بلوک درون تکرار در همهٔ ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار نبود، بنابراین تجزیهٔ واریانس بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد.

نتایج تجزیهٔ همبستگی سادهٔ ویژگی‌ها، نمایانگر روابط مثبت و منفی معنی‌دار بین برخی از ویژگی‌ها بود (جدول۴). بنابراین، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین اندازهٔ سطح برگ با شمار غنچه، شمار گل، ارتفاع و قطر ساقهٔ اصلی مشاهده شد. با توجه به اینکه برگ محل انجام نورساخت (فتوسنتز) و تولید مواد کربوهیدراتی لازم برای رشد و نمو گیاه است در نتیجه سطح برگ بیشتر موجب افزایش میزان نورساخت و تولید متابولیت‌های اولیهٔ لازم برای رشد رویشی و زایشی را فراهم خواهد ساخت (Heldt & Piechulla, 2010). هنگام گلدهی با بیشتر ویژگی‌ها همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۱درصد نشان داد. در گیاهان دارویی هر چه شمار روز لازم برای آغاز گلدهی بیشتر باشد کاهش عملکرد متابولیتی گیاه دارویی را به دنبال خواهد داشت. زیرا گیاه انرژی به‌دست‌آمده از تولید متابولیت اولیه را صرف استقرار و رشد رویشی خود کرده و به‌طورمعمول متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی هنگامی آغاز به تولید و به بیشترین میزان خود می‌رسند که گیاه وارد مرحلهٔ بحرانی که همان مرحلهٔ زایشی است، شده باشد (Wink, 2010; Omidbaigi, 2010). رابطهٔ مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد بین شمار گل در گیاه با ارتفاع، سطح برگ، قطر گل، قطر گیاه، قطر ساقهٔ اصلی، وزن تر و وزن خشک مشاهده شد. ویژگی ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با قطر گل، قطر گیاه، قطر ساقهٔ اصلی، وزن تر و وزن خشک نشان داد. ویژگی وزن خشک با شمار روز تا آغاز گلدهی رابطهٔ منفی و معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشته و از سوی دیگر با قطر گل، قطر گیاه، ارتفاع، شمار غنچه، قطر ساقهٔ اصلی و شمار انشعاب از قاعده و نیز وزن تر رابطهٔ مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشت. در این زمینه Lin-na (2013)، وجود همبستگی از نوع مثبت و معنی‌دار بین ویژگی‌های ارتفاع گیاه با طول برگ، عرض برگ و شمار برگ و نیز طول و عرض برگ با قطر گل را گزارش کرد. تأثیر منفی آسیب‌های ناشی از آفات و بیماری‌ها از جمله مهم‌ترین عامل‌های تهدیدکنندهٔ عملکرد است و استفاده از سموم شیمیایی در مبارزه با آن‌ها نیز تهدیدی جدی برای سلامت انسان و طبیعت به‌شمار می‌رود. بنابراین انتخاب خانواده‌هایی که به‌طور طبیعی تحمل بیشتری به آسیب آفات و بیماری‌ها داشته باشند می‌تواند تا حدود زیادی از مشکلات بکاهد. بنابر نتایج در نظر گرفتن شمار برگ بیشتر و داشتن سطح برگ بزرگ‌تر به دلیل میزان نورساخت بیشتر، قطر بزرگ‌تر ساقه، شمار بیشتر انشعاب از قاعده و زود گلدهی خانواده‌های انتخابی منجر به دسترسی به گیاهانی می‌شود که سطح نورساخت‌کنندهٔ بیشتر و در نتیجه افزایش تولید کربوهیدرات‌ها را در گیاهان برتر فراهم می‌سازد و کربوهیدرات‌ها درزمینهٔ تولید متابولیت‌های ثانویه و گیاپاد (فیتوآلکسین) در گیاه به کار گرفته‌شده و زمینهٔ کاهش آسیب آفات و بیماری‌ها را فراهم کرده و در نتیجه عملکرد بهبود می‌یابد (Wink, 2010; Heldt & Piechulla, 2010).

ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی در جدول ۵ مشاهده می‌شوند. ویژگی‌های وزن تر، وزن خشک، شمار گل و شمار انشعاب از قاعده بیشترین ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی و ویژگی زمان گلدهی کمترین میزان این ضرایب را داشتند. این موضوع

نشان می‌دهد که تنوع قابل ملاحظه‌ای در بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای ویژگی‌های وزن تر، وزن خشک، شمار گل و شمار انشعاب از قاعده در این آزمایش وجود دارد.

جدول ۴. ضریب‌های همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در جمعیت خانواده‌های ناتنی سرخارگل مورد بررسی

Table 4. Correlation coefficients of morphological traits in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

	LA	FS	NB	NF	H	FD	PD	MSD	BN	FW	DW
LA	1										
FS	- 0.13^{ns}	1									
NB	0.49**	- 0.40**	1								
NF	0.46**	- 0.49**	0.70**	1							
H	0.43**	- 0.55**	0.58**	0.62**	1						
FD	0.24*	- 0.24*	0.34**	0.42**	0.55**	1					
PD	0.18	- 0.46**	0.41**	0.55**	0.67**	0.53**	1				
MSD	0.55**	- 0.42**	0.52**	0.55**	0.64**	0.44**	0.54**	1			
BN	0.10^{ns}	- 0.26**	0.22*	0.18^{ns}	0.40**	0.35**	0.33**	0.30**	1		
FW	0.15^{ns}	- 0.48**	0.52**	0.51**	0.68**	0.59**	0.66**	0.49**	0.61**	1	
DW	0.16^{ns}	- 0.41**	0.41**	0.44**	0.51**	0.40**	- 0.44**	0.42**	0.61**	0.81**	1

ns,*,**: non significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns، *، ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

تنوع فنوتیپی برای همهٔ ویژگی‌های مورد بررسی بزرگ‌تر از ضرایب تنوع ژنتیکی بودند ولی در بیشتر موارد اختلاف این دو ناچیز بود (جدول ۵)، لذا استنباط می‌شود که تأثیر محیط در برآورد فراسنجه‌های ژنتیکی برای ویژگی‌های مورد بررسی ناچیز باشد. نزدیک بودن مقادیر ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی به‌عنوان دلیلی بر تأثیر ناچیز محیط بر برآورد فراسنجه‌های ژنتیکی توسط Estilai *et al.* (1992)، نیز گزارش شد. مقادیر بالای وراثت‌پذیری خصوصی و وراثت‌پذیری بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای ویژگی‌های مورد بررسی احتمال دارد به دلیل اریب در برآوردها باشد که ناشی از وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در درون واریانس ژنتیکی است. بدیهی است برآورد دقیق‌تر فراسنجه‌های یادشده نیازمند تکرار آزمایش در محیط‌ها یا سال‌های مختلف است تا جداسازی واریانس ژنتیکی از اثر متقابل آن با محیط امکان‌پذیر باشد. در مجموع میزان وراثت‌پذیری برای ویژگی‌های وزن تر و ارتفاع، بیشتر و برای ویژگی شمار انشعاب از قاعدهٔ کمتر از دیگر ویژگی‌های به‌دست آمد.

بررسی نمودار ستونی میانگین و ترکیب‌پذیری عمومی خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل برای ویژگی سطح برگ نشان داد، خانواده‌های ۷۴، ۷۲، ۷۳ و ۴۳ بیشترین و خانوادهٔ ۱۲ کمترین میزان را داشتند (شکل ۳). همچنین بررسی فراوانی نشان داد که ۵۸ خانواده خواهر- برادر ناتنی اندازهٔ سطح برگ میانگین دارند.

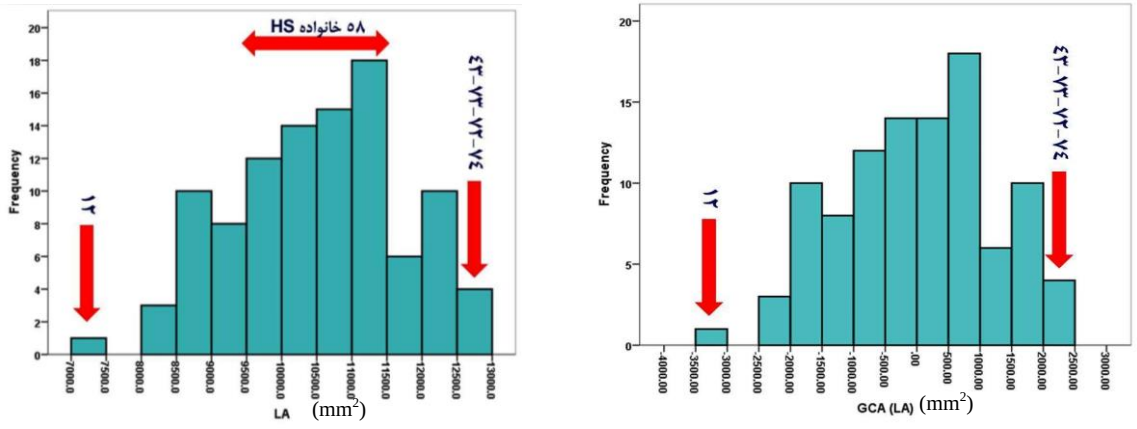
جدول ۵. برآورد واریانس، وراثت‌پذیری و ضریب‌های تنوع فنوتیپی و ژنتیکی در خانواده‌های ناتنی سرخارگل برای ویژگی‌های مورد بررسی

Table 5. Estimations of variance, heritability, genetic and phenotypic variation coefficients in studied traits of *Echinacea purpurea* L. half-sib families

No.	Characteristic	σ^2_A	σ^2_{gca}	σ^2_p	h^2	h^2_{Hs}	CV_P	CV_G
1	Leaf area	5271929.32	1317982.33	5417553.61	0.97	0.90	11.52	10.93
2	Flowering start	79.68	19.92	80.50	0.98	0.96	4.19	4.11
3	Number of bud	18.08	4.52	20.56	0.87	0.64	7.62	6.12
4	Number of flower	83.44	20.86	87.64	0.95	0.83	22.29	20.33
5	Height	416.52	104.13	418.64	0.99	0.98	19.06	18.87
6	Flower diameter	4.56	1.14	4.63	0.98	0.94	11.30	11.01
7	Plant diameter	52.40	13.1	56.82	0.92	0.74	10.03	8.67
8	Main stem diameter	4.92	1.23	5.04	0.97	0.91	6.88	6.57
9	Branch number	7.76	1.94	11.97	0.65	0.31	21.06	19.92
10	Fresh weight	104158.80	26039.70	104875.21	0.99	0.97	30.29	29.86
11	Dry weight	5664.40	1416.1	5664.40	0.97	0.91	25.79	24.72

σ^2_A: واریانس افزایشی؛ σ^2_{gca}: واریانس ترکیب‌پذیری عمومی؛ σ^2_p: واریانس فنوتیپی؛ h^2: وراثت‌پذیری خصوصی؛ h^2_{Hs}: وراثت‌پذیری بین خانواده‌های ناتنی؛ CV_P: ضریب تنوع فنوتیپی و CV_G: ضریب تنوع ژنوتیپی.

σ^2_A: Additive variance; σ^2_{gca}: GCA variance; σ^2_p: Phenotypic variance; h^2: narrow-sense heritability; h^2_{Hs}: Heritability among half-sib families; CV_P: Phenotypic variation coefficient and CV_G: Genetic variation coefficient.



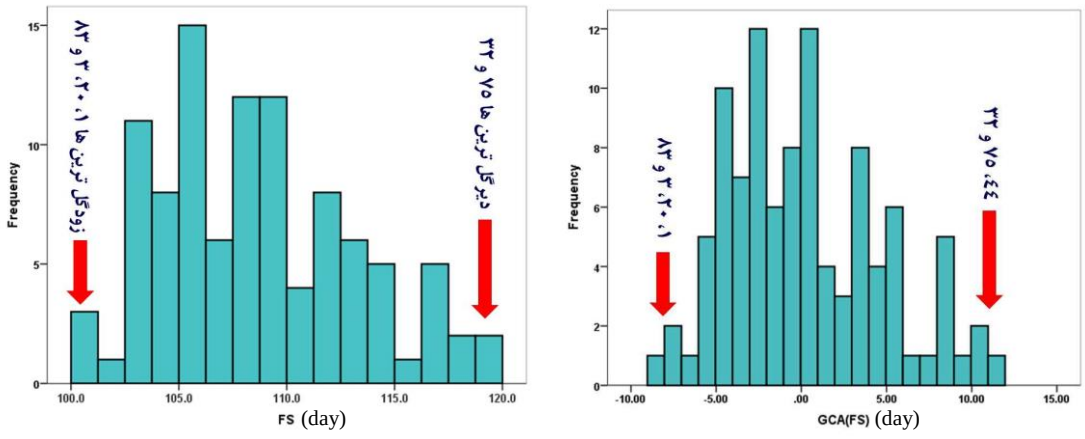
(a) (b)

شکل ۳. هیستوگرام میانگین (a) و ترکیب‌پذیری عمومی (b) خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای ویژگی سطح برگ

Figure 3. Mean (a) and GCA (b) histogarms of Laef area trait in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

یکی از هدف‌های اصلاحی در گیاه دارویی سرخارگل، تولید رقم‌هایی است که سطح برگ بیشتری در واحد سطح دارند. زیرا این شاخص افزون بر نقشی که در افزایش میزان نورساخت گیاه در واحد سطح دارد، باعث تأمین متابولیت‌های اولیه‌ای می‌شود که خود پیش‌ماده برای تولید ترکیب‌های ثانویه ارزشمند در سرخارگل همچون اسید شیکوریک می‌شوند (Heldt & Piechulla, 2010). از سوی دیگر مشخص شده است که در اندام‌های هوایی گیاه سرخارگل، برگ‌ها از عمده مکان‌های تجمع اسید شیکوریک هستند (Letchamo *et al.*, 2002). بنابراین یکی از مهم‌ترین معیارها در گزینش خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای تشکیل نسل بعد، شاخص سطح برگ است که خانواده‌های ۷۴، ۷۲، ۷۳ و ۴۳ بیشترین میزان اندازهٔ سطح برگ را دارند.

هیستوگرام میانگین ویژگی شمار روز تا آغاز گلدهی بین خانواده‌های خواهر برادر ناتنی نشان داد، خانواده‌های ۳۲ و ۷۵ با نیاز تقریبی ۱۲۰ روز برای آغاز گلدهی، دیر گل‌ترین خانواده‌ها و چهار خانوادهٔ ۱، ۲۰، ۳ و ۸۳ با نیاز تقریبی ۱۰۰ الی ۱۰۱/۵ روز، زود گل‌ترین خانواده‌ها بودند (شکل ۴-۱). همچنین با بررسی هیستوگرام ترکیب‌پذیری عمومی ویژگی شمار روز تا آغاز گلدهی مشخص شد که خانواده‌های ۳۲، ۷۵ و ۴۴ بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی و خانواده‌های ۱، ۲۰، ۳ و ۸۳ کمترین میزان را داشتند (شکل ۴-۲).



(a) (b)

شکل ۴. هیستوگرام میانگین (a) و ترکیب‌پذیری عمومی (b) خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای ویژگی شمار روز تا آغاز گلدهی

Figure 4. Mean (a) and GCA (b) histogarms o flowering start trait in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

ویژگی‌های کمّی مانند زود گلدهی در انتخاب و تولید رقم‌های جدید گیاهان دارویی که با شرایط محیطی مختلف سازگار باشند، بسیار مهم است (Jung & Muller, 2009). در گیاه سرخارگل که پیکرهٔ رویشی گیاه افزون بر ریشه به‌عنوان بخش دارویی کاربرد دارد، ازآنجاکه مرحلهٔ گلدهی مقارن با تولید و انباشت بیشینه‌ای اسید شیکوریک در اندام‌های هوایی است، بنابراین هرچه چرخه‌های رشد رویشی گیاه در مدت‌زمان کوتاه‌تری به پایان برسد تا گیاه وارد مرحلهٔ زایشی شود، امکان برداشت زودتر گیاه فراهم خواهد شد (Letchamo *et al.*, 2002). از نظر اقتصادی، با در نظر گرفتن این نکته که هرگاه قابلیت شمار بارهای برداشت بیشتری در گیاهان چندساله مانند سرخارگل برای کشاورزان در طی فصل زراعی وجود داشته باشد، از سویی منجر به افزایش عملکرد در واحد سطح شده و از سوی دیگر توجیه اقتصادی برای کشت توسط کشاورزان خواهد داشت (Salami & Ansari, 2009). مدت‌زمان لازم تا آغاز گلدهی در بین خانواده‌های مختلف خواهر- برادر ناتنی سرخارگل بین ۱۰۰ الی ۱۲۰ روز است. مقایسهٔ این دامنهٔ تغییرپذیری با طول دورهٔ رشدی گیاه، امکان انتخاب خانواده‌های مختلف برای اصلاح برای مناطق مختلف را فراهم می‌سازد. با توجه به شرایط کم‌آبی و خشک‌سالی کشور، گلدهی زودهنگام اهمیت فراوانی دارد؛ بدین منظور برای تشکیل جمعیت نسل بعد، ترکیب بذرهای والدینی خانواده‌های ۱، ۲۰، ۳ و ۸۳ می‌تواند منجر به بهبود تاریخ گلدهی سرخارگل شود.

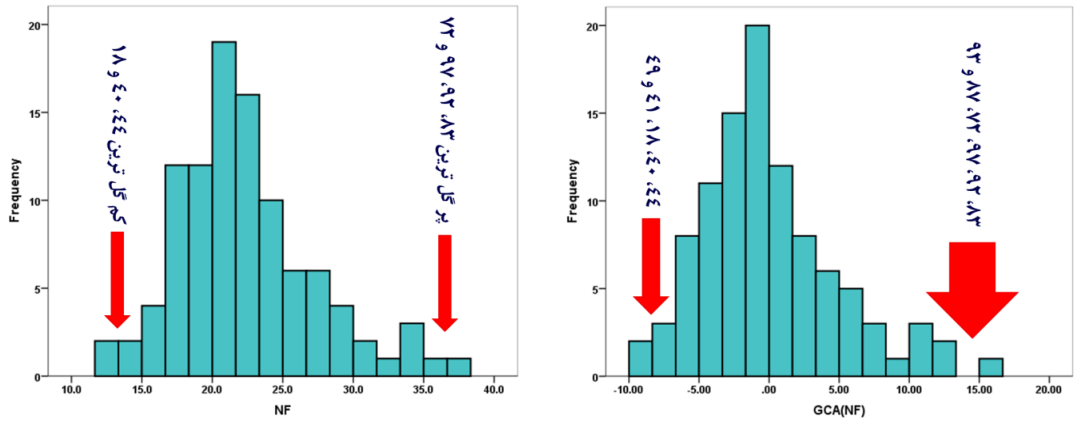
با بررسی نتایج هیستوگرام میانگین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل برای ویژگی شمار گل در بوته مشخص شد که خانواده‌های ۸۳، ۹۲، ۹۷ و ۷۲ بیشترین و خانواده‌های ۴۴، ۴۰ و ۱۸ کمترین شمار گل در بوته را دارند (شکل ۵-۱). افزون بر این، بررسی هیستوگرام ترکیب‌پذیری عمومی این ویژگی نشان داد که خانواده‌های ۸۳، ۹۲، ۹۷، ۷۲، ۸۷ و ۹۳ بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خانواده‌های ۴۴، ۴۰، ۱۸، ۴۱ و ۴۹ کمترین میزان را دارند (شکل ۵-۲).

هدف از کشت و کار تجاری گیاهان دارویی، تولید محصولی با عملکرد بالا در هکتار به همراه بالا بودن میزان مادهٔ مؤثرهٔ موردنظر در آن است. در فرآیند اصلاح یک‌گونهٔ دارویی، به دلیل خطای ناشی از نبود آگاهی در شناسایی اندام‌های مهم در تولید و انباشت ترکیب‌های دارویی، امکان تأثیرگذاری منفی در عملکرد متابولیتی محصول وجود دارد. چراکه ممکن است با تولید حجم بزرگی از محصول روبه‌رو باشیم که بدون کمترین میزان ترکیب دارویی باشد (Dufault *et al.*, 2002; Pank, 2007). از عمده مراکز تولید و تجمع ترکیب‌های دارویی در سرخارگل، اندام‌های زایشی آن است که با توجه به وزن بالایی که نهنج این گیاه در تعیین عملکرد آن دارد از یک سو و از سوی دیگر در مدت سه سال از چهار سال طول دورهٔ کشت که تنها پیکرهٔ رویشی این گیاه قابل‌برداشت و عرضه است، هر چه شمار گل بیشتر باشد، شمار گل‌آذین و شمار انشعاب از قاعده و در نتیجه مراکز تولید و انباشت ترکیب‌های ثانوی بیشتر و در نتیجه عملکرد وزنی هم بیشتر خواهد شد (Van Gaal *et al.*, 1998). با در نظر گرفتن عامل‌های مؤثر در افزایش عملکرد متابولیتی و کل در گیاه سرخارگل که یکی از مهم‌ترین آن‌ها ویژگی شمار گل است، خانواده‌های ۸۳، ۹۲، ۹۷ و ۷۲ را که بیشترین میانگین شمار گل و ترکیب‌پذیری در بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی دارند از نظر این ویژگی می‌توان برای ادامهٔ فرایند اصلاح برای تشکیل نسل بعد، انتخاب کرد.

هیستوگرام میانگین و ترکیب‌پذیری عمومی ویژگی ارتفاع بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی نشان داد چهار خانوادهٔ ۹۲، ۸۸، ۸۷ و ۸۶ با میانگین ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر، بلندترین خانواده‌ها و خانواده‌های ۷۵، ۶۲، ۶۵، ۷۰ و ۶۸ با ارتفاع تقریبی ۳۰ الی ۳۳ سانتی‌متر، کوتاه‌ترین خانواده‌ها بودند که به‌ترتیب بیشترین و کمترین ترکیب‌پذیری عمومی را داشتند (شکل ۶).

از دیگر هدف‌های مهم اصلاحی در گونه‌های مختلف گیاهان دارویی، معرفی رقم‌هایی است که به دلیل برخورداری از ارتفاع مطلوب، قابلیت برداشت مکانیزه داشته باشد. از سوی دیگر گیاهان دارای ارتفاع بیشتر، خود تاج‌پوشش (کانوپی) بزرگ‌تری در سطح زمین خواهند داشت که با ایجاد سایه روی علف‌های هرز افزون بر جلوگیری از رشد آن‌ها، بازدارندهٔ ایجاد

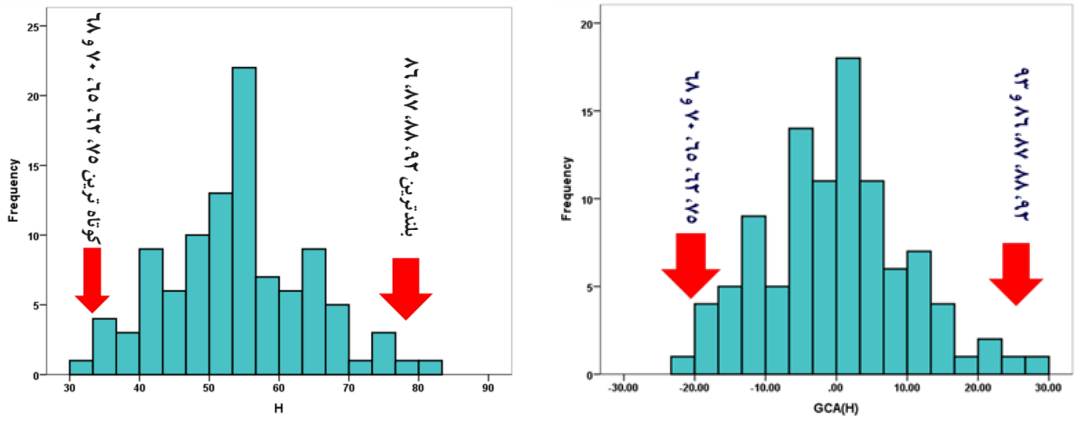
هزینه‌های مازاد برای کشاورزان برای مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت شیمیایی و مکانیکی خواهد شد (Falster & Westoby, 2003). همچنین در گونه‌های دارویی مانند سرخارگل که همهٔ اندام‌های هوایی آن‌ها کاربرد درمانی دارد، گیاهان بلندتر به دلیل داشتن شمار برگ بیشتر و نیز موفق بودن در دریافت نور آفتاب بیشتر، ظرفیت نورساخت بیشتری هم خواهند داشت که مجموعهٔ این عامل‌ها منجر به افزایش عملکرد نهایی در واحد سطح می‌شود (Fernandez *et al.*, 2009). بیشتر ویژگی‌های فنوتیپی مانند ویژگی ارتفاع از جمله ویژگی‌های کمّی در گیاهان است که توسط چندین مکان ژنی (QTL) کنترل شده و توزیع پیوسته دارد. وراثت ویژگی ارتفاع در گیاه توسط ژن‌های زیادی که اثرگذاری کوچک دارند کنترل می‌شود (Choukan, 2008; Fernandez *et al.*, 2009). آگاهی از عامل‌هایی که در ارتفاع گیاه تأثیرگذار هستند مانند QTLها و مسیرهای تولید تنظیم‌کننده‌های رشدی و ژن‌های کنترل‌کنندهٔ آن‌ها مانند جیبرلیک اسیدها و براسینواتروئیدها می‌توانند در انتخاب دقیق‌تر در امر اصلاح کمک قابل‌ملاحظه‌ای کنند (Fernandez *et al.*, 2009). با توجه به اینکه چهار خانوادهٔ ۹۲، ۸۸، ۸۷ و ۸۶ میانگین ارتفاع بیشتر و قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی بالاتری دارند، برای ادامهٔ فرآیند اصلاح برای تشکیل نسل بعد پیشنهاد می‌شوند.



(a) (b)

شکل ۵. هیستوگرام میانگین (a) و ترکیب‌پذیری عمومی (b) خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای ویژگی شمار گل در بوته

Figure 5. Mean (a) and GCA (b) histogarms of number of flower trait in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

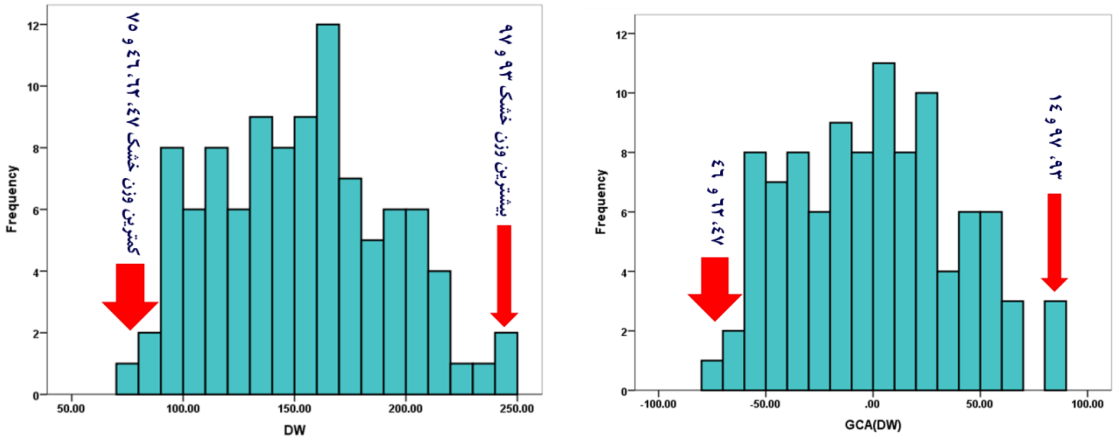


(a) (b)

شکل ۶. هیستوگرام میانگین (a) و ترکیب‌پذیری عمومی (b) خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای ویژگی ارتفاع گیاه

Figure 6. Mean (a) and GCA (b) histogarms of Height trait in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

بررسی هیستوگرام میانگین ویژگی وزن خشک بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل نشان داد که خانواده‌های ۹۳ و ۹۷ بیشترین میزان اندازهٔ وزن خشک را داشته و خانواده‌های ۴۷، ۶۲، ۴۶ و ۷۵ کمترین میزان را دارند (شکل ۷-۱). از سوی دیگر با بررسی هیستوگرام ترکیب‌پذیری عمومی ویژگی وزن خشک بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی مشخص شد که خانواده‌های ۹۳، ۹۷ و ۱۴ بیشترین و خانواده‌های ۴۷، ۶۲ و ۴۶ کمترین میزان را داشتند (شکل ۷-۲).



(a) (b)

شکل ۷. هیستوگرام میانگین (a) و ترکیب‌پذیری عمومی (b) خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی برای ویژگی وزن خشک گیاه

Figure 7. Mean (a) and GCA (b) histogarms of dry weight trait in *Echinacea purpurea* L. half-sib families

ویژگی وزن خشک جزو ویژگی‌های کمّی است که به‌طورمعمول با عمل مرکب چندین مکان ژنی کنترل می‌شود. تفرق در چندین مکان ژنی منجر به گروه‌های متنوع نتاج می‌شود (Choukan, 2008). یکی از مهم‌ترین اهداف در اصلاح گیاهان دارویی، افزایش زیست‌توده یا همان ویژگی وزن خشک در واحد سطح است. وزن خشک منعکس‌کنندهٔ نمود همهٔ اجزای گیاه است و ممکن است به‌عنوان نتیجهٔ نهایی چندین ویژگی در نظر گرفته شود (Pank, 2007). به‌عنوان‌مثال یک رابطهٔ مستقیم و قوی بین ویژگی سطح برگ و میزان وزن خشک گیاه وجود دارد؛ بدین‌صورت که هر چه یک گیاه میزان سطح برگ بیشتری داشته باشد، دارای ظرفیت تثبیت CO_2 بالاتری برای نورساخت و تولید ترکیب‌ها کربوهیدراتی خواهد بود (Heldt & Piechulla, 2010). از سوی دیگر با توجه به اینکه در گیاه سرخارگل، بخش نهنج گل وزن بالایی دارد، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که شمار گل و گل‌آذین بیشتری دارند در نتیجه وزن بالاتری هم خواهند داشت (Omidbaigi, 2010).

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نیز با نتایج تحقیق Lin-na (2013)، در چین روی چهارده توده از گیاه سرخارگل (*Echinaceae purpurea* L.) که نقش داشتن مجموعه عامل‌هایی مانند شمار گل، سطح برگ، ارتفاع و شمار انشعاب در ویژگی وزن خشک را گزارش کرده است، تأیید می‌کند. بیشترین وزن خشک گزارش شده در جهان برای سرخارگل از ایالت کالیفرنیا در آمریکا به میزان ۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و پس‌ازآن در اروپا، ۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار از آلمان است (Letchamo *et al.*, 2002). میانگین کمترین و بیشترین وزن خشک به‌ترتیب مربوط به خانواده‌های ۴۷ و ۹۳ در این تحقیق بود که ۸۰ و ۲۴۰ گرم به دست آمد که با در نظر گرفتن تراکم کاشت دست‌کم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار با عملکردی کمینه ۶۴۰۰ و بیشینه ۱۹۲۰۰ کیلوگرم در هکتار روبه‌رو خواهیم شد. میانگین عملکرد خانواده‌ها ۱۵۲/۲ گرم محاسبه شد که با در نظر گرفتن تراکم کاشت دست‌کم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار با عملکرد میانگین ۱۲۱۷۶ کیلوگرم در هکتار روبه‌رو خواهیم شد. با توجه به اینکه در بروز یک ویژگی افزون بر ژنتیک گیاه، عامل‌های محیطی

نیز تأثیرگذار هستند، اگر از یک سو مکان‌یابی برای کشت به‌صورت بهینه انجام گیرد و از سوی دیگر رقم مناسبی که بیشترین اندام‌های هوایی را تشکیل دهد برای آن اقلیم معرفی شود، بیشترین عملکرد به‌دست خواهد آمد (Yavari *et al.*, 2010). با در نظر گرفتن عامل‌های مؤثر در افزایش وزن خشک در گیاه سرخارگل، خانواده‌های ۹۳، ۹۷، ۹۲ و ۷۲ با بیشترین میزان وزن خشک و قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی بالا در بین خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی می‌توان برای ادامهٔ فرآیند اصلاح برای تشکیل نسل بعد، انتخاب کرد.

نتیجه‌گیری نهایی

انتخاب والدین مناسب یکی از موارد مهم در اصلاح گیاهان و یکی از رموز اساسی موفقیت بهنژادگران است. در این رابطه پرسشی که برای یک اصلاحگر مطرح است این است که ویژگی یا ویژگی‌های موردنظر تا چه اندازه نسبت به گزینش پاسخ می‌دهد. در بسیاری از موارد برای پیدا کردن پاسخ، نخستین راه توجه به ویژگی‌های ظاهری والدین است؛ راه دوم توجه به ویژگی‌های کمی و کیفی والدین از نظر ویژگی موردنظر است. داشتن حد بالایی از یک ویژگی نشان‌دهندهٔ یک والد مناسب نیست و به‌حتم منجر به موفقیت نمی‌شود، زیرا ویژگی‌ها ممکن است وراثت‌پذیری‌های متفاوتی داشته باشند. راه سوم، شناخت نحوهٔ کنترل ژنتیکی ویژگی و از همه مهم‌تر قدرت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین است که برای بهنژادگر مهم بوده و نقش بسزایی در انتخاب والدین مناسب خواهد داشت. همچنین سهم اجزای واریانس ژنتیکی از کل آن نیز اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت. در این راستا، فعالیتهای صورت گرفته درزمینهٔ گزینش و اصلاح سرخارگل باید دربرگیرندهٔ هدف‌هایی مانند بیشترین عملکرد ریشه و اندام‌های هوایی، قابلیت برداشت مکانیزه، رشد یکنواخت، یکنواختی در رسیدن گل‌ها و بذرها، بالا بودن میزان و شمار برگ، بالا بودن نسبت برگ به ساقه، مقاوم بودن به بیماری‌ها و آفات و نیز بالا بودن میزان اسید شیکوریک، ایزوبوتیل آمیدها و اسانس باشد تا بتوان رقم‌های مناسب دارای ویژگی‌های نامبرده را برای کشت و کار به کشاورزان معرفی کرد. با توجه به کارایی نشانگرهای ریخت‌شناختی در قابلیت جداسازی خانواده‌های خواهر- برادر ناتنی سرخارگل، تنوع ژنتیکی در خانواده‌های مورد بررسی از نظر ویژگی‌هایی مانند سطح برگ، شمار غنچه، شمار گل، ارتفاع، قطر گل، قطر گیاه، شمار انشعاب از قاعده و وزن خشک مناسب است. با توجه به نتایج، خانواده‌های ۹۳، ۷۲، ۹۲ و ۹۷ نسبت به دیگر خانواده‌ها در ویژگی‌هایی مانند سطح برگ، شمار غنچه، شمار گل، ارتفاع، قطر گیاه، شمار انشعاب از قاعده و وزن خشک برتر هستند که ترکیب بذرهای والدینی آن‌ها برای تشکیل جمعیت بعدی به‌منظور بهبود میانگین این ویژگی‌های سودمند واقع می‌شود.

REFERENCES

1. Aastveit, A. H. & Aastveit, K. (1990). Theory and application of open-pollination and polycross in forage grass breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 79, 618-624.
2. Abbasi, B. H., Saxena, P. K., Murch, S. J. & Liu, Ch. Z. (2007). *Echinacea* biotechnology: Challenges and opportunities. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 43, 481-492.
3. AghaAlikhani, M., Iranpour, A. & Naghdi Badi, H. (2013). Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower (*Echinaceae purpurea* (L.) Moench) under urea and three biofertilizers application. *Medicinal Plants Journal*, 12(46), 121-136.
4. Annicchiarico, P. (2006). Diversity, genetic structure, distinctness and agronomic value of Italian lucerne (*Medicago sativa* L.). *Euphytica*, 148, 269-282.
5. Aynechi, Y. (1986). *Pharmacogynosy and Medicinal Plants of Iran*. University of Tehran Press. (in Farsi)
6. Biesiada, A., Oszmianski, J. & Woloszczak, E. (2004). The effect of transplanting date on yield and quality of coneflower roots (*Echinacea purpurea* (L.) Moench.). *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura*, 95, 17-20.
7. Callan, N. W., Yokelson, T., Wall-Maclane, S., Westcott, M. P., Miller, J. B. & Ponder, G. (2005). Seasonal trends and plant density effects on cichoric acid in *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 11, 35-46.

8. Caruso, T. J. & Gwaltney, J. M. (2005). Treatment of the common cold with *Echinacea*: a structured review. *Clinical Infectious Diseases*, 40, 807-810.
9. Choukan, R. (2008). *Methods of genetical analysis of quantitative traits in plant breeding*. Seed and Plant Improvement Institute. (in Farsi)
10. Dufault, R. J., Rushing, J., Hassell, R., Shepard, B. M., McCutcheon, G. & Ward, B. (2003). Influence of fertilizer on growth and marker compound of field-grown *Echinacea* species and feverfew. *Scientia Horticulturae*, 98, 61-69.
11. Estilai, A. B., Ehdaie, B., Naqvi, H. H., Dierig, D. A., Ray, D. T. & Thompson, A. E. (1992). Correlations and path analysis of agronomic traits in guayule. *Crop Science*, 32, 953-957.
12. Falster, D. S. & Westoby, M. (2003). Plant height and evolutionary games. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(7), 337-343.
13. Fernandez, M. G. S., Becraft, P. W., Yin, Y. & Lubberstedt, T. (2009). From dwarves to giants? Plant height manipulation for biomass yield. *Trends in Plant Science*, 14(8), 454-461.
14. Hallauer, A. R. & Miranda, J. B. (1981). *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
15. Hassell, R. L., Dufault, R. & Phillips, T. (2004). Relationship among seed size, source and temperature on germination of *Echinacea angustifolia*, *pallida* and *purpurea*. *Acta Horticulturae*, 629, 239-243.
16. Heldt, H. W. & Piechulla, B. (2010). *Plant Biochemistry*. Academic Press.
17. Ibrahim, O. E., Nuquist, W. E. & Axtell, J. D. (1985). Quantitative inheritance and correlations of agronomic and grain quality traits of sorghum. *Crop Science*, 25, 649-654.
18. Jung, Ch. & Muller, A. E. (2009). Flowering time control and applications in plant breeding. *Trends in Plant Science*, 14(10), 563-573.
19. Kreft, S. (2005). Cichoric acid content and biomass production of *Echinacea purpurea* plants cultivated in Slovenia. *Pharmaceutical Biology*, 43, 662-665.
20. Letchamo, W., Polydeonny, L. V., Gladisheva, N. O., Arnason, T. J., Livesey, J. & Awang, D. V. C. (2005). Factors Affecting *Echinacea* Quality. *Trends in New Crops and New Uses*, 514-521.
21. Lin-na, H. (2013). The morphological markers of Different phenotypes *Echinacea purpurea*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3, 78-80.
22. Lothrop, J. E., Atkins, R. E. & Smith, O. S. (1985). Variability for yield and yield components in IAPIR grain sorghum random mating population II. Correlations, estimated gain from selection, and correlated responses to selection. *Crop Science*, 25, 240-244.
23. Nguyen, H. T. & Sleper, A. (1983). Theory and application of half-sib matings in forage breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 64, 187-196.
24. Omidbaigi, R. (2010). *Production and Processing of Medicinal Plants* (Vol. 1 & 4). Beh Nashr Press. (in Farsi)
25. Pank, F. (2007). Breeding of Medicinal Plants. In:. O. Kayser, & J. Quax (Eds.), *Medicinal Plant Biotechnology, from basic research to industrial applications*. (pp. 417-447.) John and Wiley.
26. Salami, H. & Ansari, V. (2009). The Role of Agriculture in Job Creation and Income Distribution: A path Decomposition Analysis. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development*, 40(3), 1-20. (in Farsi)
27. Stephens, L. C. (2008). Self-incompatibility in *Echinacea purpurea*. *Hort Science*, 43(5), 1350-1354.
28. Van Gaal, T., Galatowitsch, S. & Strefeler, M. (1998). Ecological consequences of hybridization between a wild species (*Echinacea purpurea*) and related cultivar (*E. purpurea* 'White Swan'). *Scientia Horticulturae*, 76, 73-88.
29. Von Braun, J. & Virchow, D. (1996). Economic evaluation of biotechnology and plant diversity in developing countries. *Plant Research and Development*, 43, 50-61.
30. Weising, K., Nybon, H., Wolff, K. K. & Gunter, K. (2005). *DNA Fingerprinting in Plants, Principle, Methods and Applications.* (2nd ed.). CRC Press.
31. Wink, M. (2010). *Biochemistry of Plant Secondary Metabolism* (2nd ed.). Blackwell Publishing Ltd.
32. Yavari, A., Nazeri, V., Sefidkon, F. & Hassani, M. E. (2010). Influence of Some Environmental Factors on the Essential Oil Variability of *Thymus migricus*. *Natural Product Communications*, 5(6), 943-948.