DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2016.106165

دو فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران
جلد ۲۴، شماره ۱، صفحه ۴۱-۲۹ (۱۳۹۵)

تولید ارقام سنتتیک مقاوم به خشکی رازیانه و ارزیابی آن‌ها در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی در مرحله پس از گلدهی

کیوان بهمنی[۱]، علی ایزدی دربندی[۲*] و اعظم اکبری[۳]

۱-دانشجوی دکتری، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲*-نویسنده مسئول مکاتبات، دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران،

پست الکترونیک: aizady@ut.ac.ir

۳-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۰۴

چکیده

رازیانه از مهم‌ترین گیاهان دارویی است که دانه و اسانس آن در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی کاربرد فراوان دارد. در این پژوهش نحوه تولید دو رقم سنتتیک رازیانه زودرس و میان‌رس با ویژگی تحمل به خشکی بررسی و همچنین نتاج نسل اول آن‌ها به‌همراه چهار اکوتیپ والدی در دو آزمایش جداگانه در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی ارزیابی شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر کلیه صفات مورد بررسی اختلاف بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هر دو شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی وجود داشت. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که در شرایط آبیاری معمول بیشترین عملکرد دانه متعلق به اکوتیپ‌های والدی فزوه و مشکین شهر و در شرایط تنش بیشترین عملکرد دانه متعلق به ارقام سنتتیک میانرس و زودرس بود. بررسی مقایسات مستقل بین ارقام سنتتیک و اکوتیپ‌های والدی در هر تیپ رشدی نشان داد در شرایط تنش خشکی ارقام سنتتیک نسبت به ژنوتیپ‌های والدی دارای میانگین عملکرد دانه و عملکرد اسانس بیشتری بودند. در نهایت می‌توان گفت ایجاد ارقام سنتتیک به‌عنوان یک روش اصلاحی برای ایجاد تحمل به خشکی در رازیانه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: ارقام سنتتیک، تنش خشکی، رازیانه، عملکرد.

مقدمه

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان (Apiaceae) است گیاهی علفی معطر و چندساله است. مهم‌ترین ترکیب اسانس رازیانه را آنتول تشکیل می‌دهد که اهمیت فراوانی در صنایع داروسازی و عطرسازی دارد. ترکیبات مهم دیگر شامل فنچون، لیمونن، استراگول و آلفاپنین می‌باشند. تمامی پیکر رویشی گیاه حاوی اسانس است که در صنایع داروسازی از مواد مؤثره آن به‌عنوان ضد سرفه، ضد نفخ و شیرافزا استفاده می‌شود (Lozano, 1998). اسانس رازیانه به‌دلیل داشتن ویژگی‌های ضد میکروبی و ضد اکسایشی که به‌علت حضور فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، کاروتنوئیدها، و کومارین‌هاست، در انواع مواد غذایی و نوشیدنی‌ها

به‌عنوان طعم‌دهنده نیز استفاده می‌شود (Singh *et al.*, 2006). قسمت تجاری گیاه رازیانه دانه آن است که مستقیماً و یا برای استخراج اسانس مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان تولید جهانی دانه رازیانه ۸۳۰ هزار تن در سال است که ایران با تولید حدود ۵٪ این مقدار چهارمین تولیدکننده بزرگ آن است (FAO, 2012). با توجه به‌رشد روزافزون تقاضا در بازارهای جهانی برای دانه رازیانه، اصلاحگران باید بیش از پیش به این گیاه توجه کنند (Dashora *et al.*, 2003).

در محیط‌های طبیعی گیاهان دستخوش انواع تنش‌ها می‌شوند که آثار منفی بر رشد آنها دارد. دما، نور و آب در دسترس از جمله عوامل غیرزنده‌ای است که به‌طور مؤثر بر رشد گیاهان اثر می‌گذارد. از میان این عوامل، خشکی بزرگترین عامل محدودکنندهٔ تولید محصولات کشاورزی است (Saneoka *et al.*, 2004). در همین رابطه Koocheki و همکاران (۲۰۰۶) اثرات منفی تنش خشکی را بر صفات ارتفاع، بیوماس، تعداد چتر، تعداد چترک در چتر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در دو توده بومی رازیانه تائید کردند. در ضمن Pouryousef و همکاران (۲۰۱۲) نیز طی آزمایشی بر روی رازیانه گزارش کردند که عملکرد دانه و اسانس رازیانه تحت تأثیر تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

تاکنون کار اصلاحی خاصی بر روی رازیانه‌های ایرانی انجام نشده ولی به‌نظر می‌رسد که روش‌های اصلاح کلاسیک به‌عنوان عملی‌ترین راه برای ایجاد ارقام گیاهی رازیانه است (Farsi & Baqheri, 2006). رازیانه حالت پروتاندری دارد و دارای گرده‌افشانی آزاد است بنابراین ماهیت ژنتیکی آن به‌صورت هتروزیگوس- هتروژن است و تکامل این گونه گیاهان به‌نحوی است که خودگشنی در آن اثر منفی می‌گذارد. روش‌های اصلاحی این گونه گیاهان باید به‌نحوی باشد که خودگشنی و خلوص در آن‌ها به‌حداقل برسد و در این راستا می‌توان اقدام به تولید ارقام هیبرید یا سنتتیک کرد (Nemat Zadeh & Kiani, 2005). استفاده از رقم سنتتیک نسبت به‌روش هیبرید دارای چندین مزیت است مانند عدم نیاز به کنترل دقیق گرده‌افشانی، عملکرد بهتر ارقام سنتتیک در شرایط محیطی متغیر، هزینه پایین تولید بذر سنتتیک و اینکه ارقام سنتتیک به‌عنوان مخزن غنی ژنتیکی هستند (Singh, 1990). با توجه به این که گل آذین رازیانه به‌صورت چتر است و گل‌های کوچک آن بدون طبق، هرمافرودیت دارای ۵ کاسبرگ کوچک، ۵ گلبرگ، ۵ پرچم و ۲ تخمدان تحتانی با دو برچه هستند (Omidbeigi, 2007). کنترل گرده‌افشانی در گل‌های رازیانه بسیار دشوار است و نتیجه هر تلاقی نیز نهایتاً به‌تولید دو بذر می‌انجامد پس روش اصلاحی ارقام سنتتیک در مورد رازیانه منطقی و مناسب به‌نظر می‌رسد.

اولین مرحله اساسی در تولید ارقام سنتتیک، انتخاب والدین مناسب از بین جمعیت‌های اولیه است. این ارزیابی می‌تواند از طریق ارزیابی خود والدین، نتاج حاصل از خودباروری آن‌ها و یا برآورد ترکیب‌پذیری عمومی حاصل از آزمون پلی‌کراس یا تاپ کراس صورت گیرد که متداول‌ترین آن‌ها روش پلی‌کراس است (Aastveit & Aastveit,1990). پس از انتخاب والدین، کلیه تلاقی‌های ممکن بین لاین‌های انتخابی در یک محیط ایزوله صورت می‌گیرد (لاین‌های والدینی تشکیل Syn0 را می‌دهند) مقادیر مساوی از بذرهای هر تلاقی باهم مخلوط شده و تشکیل یک رقم سنتتیک را می‌دهند. جامعه‌ای که از این بذرهای مخلوط به‌دست می‌آید را Syn1 نامند. نتاج حاصل از آزاد گرده‌افشانی Syn1 را اصطلاحاً Syn2 نامند. همچنین از Syn2 نسل Syn3 به‌دست می‌آید. باید توجه داشت که عملکرد Syn2 از Syn1 کمتر و نیز عملکرد Syn3 از Syn2 کمتر خواهد بود (Nemat Zadeh & Kiani, 2005). نسل اول رقم به‌دست آمده (Syn1) دارای بیشترین هتروزیس است و نسل‌های بعدی به‌علت پسروی ناشی از خویش‌آمیزی، هتروزیس کمتری دارند البته شدت این پسروی به اندازه ارقام هیبرید نیست و از سویی دیگر تولید مجدد ارقام سنتتیک هزینه‌بر نیست. روش تولید

رقم سنتتیک در گیاهان مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر ارقام معرفی شده یونجه در ۳۰ سال گذشته سنتتیک بوده به‌طوری که می‌توانند به‌عنوان جمعیتی هتروژن از افراد هتروزیگوت در نظر گرفته شوند این ناهمگنی موجب بهبود عملکرد و پایداری این جمعیت‌ها می‌شود (Fehr, 1987). ارقام آپکس و واشو یونجه ارقامی هستند که به‌روش پلی‌کراس تولید شده‌اند (Hanson, 1988). آماتو و همکاران (Amato *et al*., 1997) از روش پلی‌کراس برای ایجاد ارقام سنتتیک در ماش (*Hedysarum coronarium* L.) استفاده کردند.

رازیانه‌های ایرانی از لحاظ صفات اگرومورفولوژی (Bahmani *et al*., 2012b & 2015)، ژنتیکی (Bahmani *et al*., 2012a and 2013)، سیتوژنتیکی (Sheidai *et al*., 2007) و فیتوشیمیایی (Bahmani *et al*., 2014) تنوع قابل ملاحظه‌ای دارند و در این میان ژنوتیپ‌های با ارزشی جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی شناسایی شده است. متوسط عملکرد دانه اکوتیپ‌های زودرس، میان‌رس و دیررس رازیانه‌های ایرانی در شرایط آبیاری معمول به‌ترتیب برابر با ۱۴۶، ۲۵۴ و ۱۹۰ گرم در متر مربع است (Bahmani *et al*., 2015) که در شرایط متغیر آب و هوایی مخصوصاً تنش خشکی این مقادیر به‌شدت افت می‌کند (Pouryousef *et al*., 2012).

هدف از این مطالعه معرفی نحوه ایجاد دو رقم سنتتیک مقاوم به خشکی زودرس و میان‌رس رازیانه و ارزیابی موفقیت این روش از طریق مقایسه عملکرد این ارقام با بهترین اکوتیپ‌های والدی در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت استان تهران اجرا شد. از لحاظ جغرافیایی این مکان در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۲۷ متری از سطح دریا واقع شده است.

انتخاب والدین ارقام سنتتیک

بذرهای ۵۰ اکوتیپ رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) که بذرهای ۲۵ اکوتیپ آن‌ها از مؤسسهٔ تحقیقاتی جنگل‌ها و مراتع کشور دریافت شد و سایر اکوتیپ‌ها به‌صورت پیمایش استانی از مناطق اقلیمی مختلف ایران جمع‌آوری شدند (جدول ۱) به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفتند (Bahmani *et al*., 2012a, 2012b, 2013, 2014 and 2015). این خزانه ژنتیکی در حال حاضر در بانک ژن پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری می‌شود. با توجه به‌هدف این پژوهش که تولید ارقام سنتتیک مقاوم به خشکی بود، برای تولید ارقام سنتتیک رازیانه با خصوصیت عملکرد دانه و عملکرد اسانس بالا در شرایط تنش ابتدا انتخاب بهترین والدین از بین این ۵۰ اکوتیپ رازیانه در سطح جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی در سال ۹۰- ۸۹ انجام شد و اکوتیپ‌هایی که دارای خصوصیاتی مانند درصد و سرعت جوانه‌زنی بالا، وزن تر و خشک گیاهچه، طول ریشه و هیپوکوتیل بیشتری بودند انتخاب شدند (Moradi, 2012)، سپس این اکوتیپ‌ها در آزمایش مزرعه‌ای در شرایط تنش خشکی در سال ۹۱- ۹۰ مورد بررسی قرار گرفتند و بهترین اکوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت انتخاب شدند (Baghchghi, 2014) و برای تائید این انتخاب از آزمون ترکیب‌پذیری عمومی استفاده شد به این صورت که نتاج والدین مزرعه مادری در محل جداگانه‌ای کشت شد و بر اساس اطلاعات حاصله از عملکرد دانه آن‌ها مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی محاسبه شد. اثرات قابلیت ترکیب عمومی (GCA) از اختلاف بین میانگین هر اکوتیپ با میانگین کل اکوتیپ‌ها برآورد شد (Hallauer *et al*., 1981).

پس از بررسی اکوتیپ‌ها، ۷ اکوتیپ والدی برتر زودرس و ۷ اکوتیپ والدی برتر میان‌رس انتخاب شدند. بعضی از این اکوتیپ‌ها گاهاً فاقد ترکیب‌پذیری عمومی بالایی بودند که به‌علت برخی از ویژگی‌های مطلوب نسبت به‌سایرین انتخاب شدند و والدین ارقام سنتتیک را تشکیل دادند (جدول ۲).

جدول ۱- مشخصات اقلیمی و جغرافیایی اکوتیپ‌های جمع‌آوری شده از رازیانه ایران

اکوتیپ	ارتفاع محل (متر)	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	اکوتیپ	ارتفاع محل (متر)	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی
	اکوتیپ‌های زودرس			شبستر	۱۳۵۰	۴۶° ۱۱	۳۸ ° ۰
اردکان	۱۶۲۰	۵۲° ۲۶	۳۰ ° ۱۳	شیراز	۱۴۸۸	۵۲° ۳۲	۲۹ ° ۳۶
رزن	۱۸۷۰	۴۹° ۴	۳۵ ° ۲۱	قم	۸۷۷	۵۰° ۵۱	۳۴ ° ۴۲
اصفهان	۱۵۵۰	۵۱° ۴۰	۳۲ ° ۳۷	بجستان	۱۲۵۶	۵۸° ۱۷	۳۴ ° ۵۱
محلات	۱۷۷۵	۵۰° ۴۵	۳۳ ° ۹۱	آباده	۲۰۳۰	۵۲° ۴۰	۳۱ ° ۱۱
نیریز	۱۶۳۲	۵۴° ۲۰	۲۹ °۱۲	سرپل ذهاب	۵۴۸	۴۵° ۵۴	۳۴ ° ۲۷
اراک	۱۷۰۸	۴۹° ۴۶	۳۴ ° ۶	دیواندره	۲۱۴۲	۴۶° ۵۵	۳۶ ° ۴۰
سنندج	۱۳۷۳	۴۷° ۰	۳۵ ° ۲۰		اکوتیپ‌های میانرس		
فسا	۱۲۸۸	۵۳° ۴۱	۲۸ ° ۵۸	گیوی	۱۶۸۲	۴۸° ۲۸	۳۷ ° ۴۱
هشتگرد	۱۴۲۶	۵۰° ۴۳	۳۵ ° ۶۵	خلخال	۱۷۶۹	۴۸° ۳۱	۳۷ ° ۳۸
آران بیدگل	۸۵۰	۵۲° ۳۰	۳۴ ° ۷۰	مرودشت	۱۵۰۲	۵۲° ۵۳	۲۹ ° ۸۰
سبزوار	۹۷۷	۵۷° ۴۳	۳۶ ° ۱۲	کاشان	۹۸۲	۵۱° ۲۷	۳۳ ° ۵۹
اینچه برون	۴۶۰	۵۵° ۵۵۷	۳۷ ۵۳	کوهین	۱۵۲۷	۴۹° ۶۷	۳۶ ° ۳۶
همدان	۱۷۴۹	۴۸° ۳۲	۳۴ ° ۵۱	دماوند	۲۰۰۰	۵۲° ۱۵	۳۵ ° ۴۳
یزد	۱۲۳۰	۵۴° ۲۴	۳۱ °۵۴	مغان	۳۱	۴۷° ۵۵	۳۹ ° ۳۹
کرمان	۱۷۵۳	۵۶° ۵۸	۳۰ °۱۵	خاش	۱۳۹۴	۶۱° ۱۲	۲۸ ° ۱۳
ارومیه	۱۳۱۳	۴۵° ۵	۳۷ ° ۳۲	الموت	۱۵۰۰	۵۰° ۴۷	۳۶ ° ۴۵
تفرش	۱۹۷۸	۵۰° ۱	۳۴ ° ۴۱	مشکین‌شهر	۱۵۶۸	۴۷° ۴۰	۳۸ ° ۲۳
تبریز	۱۳۶۱	۴۶° ۱۷	۳۸ ° ۵	اردبیل	۱۳۳۲	۴۸° ۱۷	۳۸ ° ۱۵
رفسنجان	۱۵۸۰	۵۵° ۵۴	۳۰ ° ۲۵	فزوه	۱۶۱۲	۵۱° ۲۶	۳۲ ° ۳۶
کامیاران	۱۴۶۴	۴۶° ۵۶	۳۴ ° ۴۷		اکوتیپ‌های دیررس		
برازجان	۸۰	۵۱° ۲۰	۲۹ ° ۲۶	ساری	۲۳	۵۳° ۰	۳۶ ° ۳۳
دهگلان	۱۹۷۰	۴۷° ۳۰	۳۵ °۱۰	چاهستان	۲۷	۵۶° ۲۲	۲۷ ° ۱۳
سردشت	۱۶۷۰	۴۵° ۳۰	۳۶ ° ۹	قزوین	۱۲۷۸	۵۰° ۰	۳۶ ° ۱۵
سقز	۱۵۲۲	۴۶° ۱۶	۳۶ ° ۱۵	حاجی‌آباد	۹۳۱	۵۵° ۵۵	۲۸ ° ۱۹
تهران	۱۱۹۰	۵۱° ۱۹	۳۵ ° ۴۱	کلیبر	۱۱۸۰	۴۷ ° ۱	۳۸ ° ۵۲
اهواز	۲۲	۴۸° ۴۰	۳۱ ° ۲۰				

جدول ۲- قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی در والدین ارقام سنتتیک برای صفت عملکرد دانه

اکوتیپ‌های برتر زودرس	قابلیت ترکیب	اکوتیپ‌های برتر میان‌رس	قابلیت ترکیب
اراک	۳۲/۳۲	الموت	-۳۲/۶۰
فسا	۱۳/۴۱	خاش	-۴/۲۰
هشتگرد	۱۲/۳۰	مشکین شهر	۱۸۰/۲۰
یزد	۵۵/۰۷	فزوه	۵۵/۵۰
سرپل ذهاب	۲۲/۳۰	مرودشت	۲۵/۲۰
ارومیه	۷/۳۲	مغان	۲۰/۸۵
رزن	-۵۴/۹۲	کاشان	-۸۲/۰
مقدار F	۶/۲۳**		۶/۶۳**

ایجاد خزانه پلی‌کراس

پس از انتخاب والدین مقاوم به خشکی با قابلیت ترکیب‌پذیری بالا، با استفاده از بذرهای مادری موجود در خزانه ژنتیکی بلوک‌های تلاقی ایزوله برای اکوتیپ‌های والدی (Syn0) هر تیپ رشدی به‌صورت جداگانه در قالب طرح مربع لاتین ۷ در ۷ ایجاد شد به این‌منظور کاشت اکوتیپ‌ها پس از عملیات آماده‌سازی زمین (شخم، دیسک و تسطیح) هر تکرار در یک کرت ۱ در ۱ متری صورت گرفت که فاصله ردیف‌ها از هم ۳۰ سانتی‌متر منظور شد و بذرها با عمق کاشت ۳-۲ سانتی‌متر در اردیبهشت ۱۳۹۲ کشت شدند. تراکم بوته‌ها از طریق تنک کردن به‌صورتی که تراکم نهایی ۱۰ بوته در یک متر مربع باشد انجام شد (Khorshidi *et al.*, 2010). جنس خاک رسی- شنی و از لحاظ میزان مواد غذایی در حد نرمال و قابل قبول برای گیاهان زراعی بود و از هیچ نوع کودی استفاده نشد. مبارزه با علف‌های هرز توسط وجین دستی صورت گرفت. پلی‌کراس بین اکوتیپ‌های والدی صورت گرفت، زمان برداشت بذر در اواسط مهرماه پس از رسیدگی کامل اکوتیپ‌ها انجام شد و در هر دو تیپ رشدی مقدار مساوی از بذر هر اکوتیپ والدی به‌صورت جداگانه با هم مخلوط شدند و بذرهای نسل اول ارقام سنتتیک مقاوم به خشکی رازیانه (Syn1) تشکیل شد.

ارزیابی و مقایسه ارقام سنتتیک با والدین برتر تحت شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی

جهت ارزیابی موفقیت روش رقم سنتتیک برای ایجاد تحمل به‌خشکی در رازیانه، نتاج نسل اول (syn1) دو رقم سنتتیک و چهار اکوتیپ والدی شامل یک رقم سنتتیک زودرس مقاوم به‌خشکی و دو اکوتیپ والدی آن (فسا و هشتگرد) که از ترکیب‌پذیری خوبی برخوردار بودند، یک رقم سنتتیک میانرس مقاوم به‌خشکی و دو اکوتیپ برتر والدی آن (مشکین شهر و فزوه) که نسبت به‌سایر والدین ترکیب‌پذیری عمومی بالاتری داشتند در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفتند.

طرح مورد استفاده در این مطالعه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی بود. کاشت ژنوتیپ‌ها (شامل ارقام سنتتیک و اکوتیپ‌های برتر والدینی) در هر تکرار در یک کرت ۱/۵ در ۱/۵ متری صورت گرفت که فاصله ردیف‌ها از هم ۳۰ سانتی‌متر منظور شد و بذرها با عمق کاشت ۳-۲

سانتی‌متر در فروردین ۱۳۹۳ کشت شدند. مبارزه با علف‌های هرز با وجین دستی صورت گرفت. در طول دوره رشد و نمو هیچ گونه آفت و بیماری مشاهده نشد. تراکم بوته‌ها از طریق تنک کردن به‌صورتی که تراکم نهایی ۱۰ بوته در یک متر مربع باشد انجام شد (Khorshidi *et al.*, 2010). آبیاری مزرعه در هر دو محیط تنش و آبیاری معمول، تا مرحله ۵۰٪ گلدهی ژنوتیپ‌ها به‌طور یکسان و در زمان ۵۰٪ ظرفیت مزرعه انجام شد و از مرحله ۵۰٪ گلدهی به بعد در شرایط آبیاری معمول بعد از ۶۰ میلی‌متر و در شرایط تنش خشکی بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد، به‌نحوی که دور آبیاری برای شرایط آبیاری معمول تقریبا هر ۷ روز و برای شرایط تنش هر ۱۴ روز یک بار اعمال شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، در زمان رسیدگی کامل با رعایت اثر حاشیه عملکرد کل بوته‌های هر کرت برداشت و برحسب کیلوگرم در هکتار بیان شد. عملکرد بیولوژیک از مقدار کل ماده خشک در یک کرت به‌دست آمد و مقدار ماده خشک در واحد سطح محاسبه شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد. به‌منظور استخراج اسانس از دستگاه کلونجر به‌روش تقطیر آبی بذرهای آسیاب شده استفاده شد (Boyadzhieva & Angelov, 2014) . پس از تعیین محتوی اسانس، عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و محتوی اسانس محاسبه شد.

به منظور بررسی اثر محیط و ژنوتیپ بر صفات بررسی شده، برای هر یک از شرایط موجود در آزمایش (شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی) تجزیه واریانس ساده و تجزیه واریانس مرکب(شرایط آبیاری معمول تنش خشکی) انجام شد.

از نرم‌افزار آماری SAS برای تجزیه واریانس، مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و بررسی مقایسات مستقل بین ارقام سنتتیک و اکوتیپ‌های والدی استفاده شد. برای بررسی میزان اثر تنش و تغییر در هر صفت، مقدار درصد تغییرات (C) با فرمول زیر محاسبه شد (Choukan *et al.*, 2006).

$$C = \frac{\overline{Yp} - \overline{Ys}}{\overline{Yp}}$$

در این فرمول $\overline{Y}_P$ و $\overline{Y}_s$ به‌ترتیب میانگین صفت در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی است.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس ساده نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر کلیه صفات مورد اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳ و ۴). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری معمول بیشترین عملکرد دانه متعلق به اکوتیپ‌های میان‌زس والدی فزوه و مشکین‌شهر به‌ترتیب با ۱۱۲۵/۹۳ و ۱۰۲۲/۲۲ کیلوگرم در هکتار و در محیط تنش خشکی بیشترین عملکرد دانه متعلق به ارقام سنتتیک میانرس، سنتتیک زودرس و مشکین شهر به‌مقدار ۶۲۹/۶۳، ۵۶۲/۹۶ و ۵۴۵/۹۳ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین عملکرد دانه در محیط آبیاری معمول و تنش متعلق به اکوتیپ زودرس والدی فسا به‌مقدار ۶۴۴/۴۴ و ۴۳۴/۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. بالا یا پایین بودن عملکرد در این ژنوتیپ‌ها را می‌توان با متغیر بودن اجزاء عملکرد در آنها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به‌شرایط محیطی مرتبط دانست. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای هر دو محیط آبیاری معمول و تنش خشکی در جدول ۳ ارایه شده است. تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه در دو محیط در سطح آماری یک درصد وجود داشت.

اثر متقابل ژنوتیپ در تنش هم برای صفت عملکرد معنی‌دار بود (جدول ۳)، ارقامی که بیشترین اختلاف عملکرد بین محیط آبیاری معمول و تنش را داشتند، پایداری پایین داشته و عموماً حساس به تنش خشکی بودند و ارقام با

اختلاف کم، از پایداری بالایی در تولید عملکرد دانه در شرایط تنش در مقایسه با محیط آبیاری معمول برخوردار بودند. همچنین بررسی مقایسات مستقل برای صفت عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول نشان داد که رقم سنتتیک میان‌رس در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری با والدین خود داشت و رقم سنتتیک زودرس فاقد تفاوت معنی‌داری با والدین خود بود (جداول ۴). این ارقام در شرایط آبیاری معمول میانگین عملکرد بالاتری نسبت به والدین خود نداشتند.

در شرایط تنش خشکی ارقام سنتتیک زودرس و میان‌رس از لحاظ صفت عملکرد دانه در سطح ۱٪ دارای تفاوت معنی‌داری با والدین خود بودند (جدول ۵) و عملکرد دانه بالاتری نسبت به میانگین عملکرد والدین خود داشتند. اگرچه این ارقام سنتتیک فاقد عملکرد بالاتری نسبت به سایرین در شرایط آبیاری معمول بوده ولی در شرایط تنش دارای عملکرد بالاتر و مطلوبی بودند، به‌عبارت دیگر می‌توان گفت ارقام سنتتیک زودرس و میان‌رس رازیانه دارای سازگاری اختصاصی با شرایط تنش خشکی هستند.

در شرایط آبیاری معمول اکوتیپ فزوه با ۱۰۵۹۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدارعملکرد بیولوژیک را داشت و با ژنوتیپ‌های سنتتیک زودرس، سنتتیک میانرس و هشتگرد تفاوت معنی‌داری نداشت. و در شرایط تنش خشکی رقم سنتتیک میانرس با ۵۳۷۷ کیلوگرم در هکتار نسبت به‌سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه عملکرد بیولوژیک بیشتری داشتند. اثر تنش، اثر ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش برای صفت عملکرد بیولوژیک معنی‌دار است که حاکی از واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر این صفت در دو محیط می‌باشد عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری معمول و تنش به‌ترتیب ۶۲۲۳/۴۵ و ۴۱۸۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار بود به‌این ترتیب در شرایط تنش خشکی عملکرد بیولوژیک حدود ۳۲ درصد کاهش نشان داد.

برای صفت شاخص برداشت در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی ژنوتیپ‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند و کلیه ژنوتیپ‌ها به‌جز فزوه در یک گروه قرار گرفتند که ژنوتیپ میانرس مشکین شهر با ۱۹/۱۸ در شرایط آبیاری معمولی و ژنوتیپ زودرس هشتگرد با ۱۶/۴۱ در شرایط تنش بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند.

اثر تنش خشکی و اثر ژنوتیپ برای صفت محتوی اسانس معنی‌دار بود . محتوی اسانس در شرایط تنش خشکی نسبت به‌شرایط آبیاری معمول ۱۵/۴ درصد افزایش یافت. در شرایط آبیاری معمول اکوتیپ والدی فزوه دارای بالاترین محتوی اسانس بود و در شرایط تنش خشکی اکوتیپ فزوه و ارقام سنتتیک زودرس و میانرس دارای محتوی اسانس بالایی بودند. مقایسات مستقل هم نشان داد هر دو شرایط ارقام سنتتیک زودرس و میان‌رس نسبت به والدین خود تفاوت معنی‌داری نداشتند.

نتایج تجزیه مرکب همچنین نشان داد که اثر تنش ، اثر ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در تنش برای صفت عملکرد اسانس معنی‌دار بود. از نظر عملکرد اسانس در شرایط آبیاری مطلوب اکوتیپ فزوه با ۳۷/۸۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی ارقام سنتتیک میانرس و سنتتیک زودرس با ۲۴/۴۰ و ۲۲/۰۷ کیلوگرم در هکتار دارای بالاترین عملکرد اسانس بودند. مقایسات مستقل برای عملکرد اسانس در شرایط تنش نشان داد که ارقام سنتتیک زودرس و میانرس با والدین خود دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ بودند که ارقام سنتتیک زودرس و میانرس از عملکرد اسانس بالاتری نسبت به میانگین والدین خود برخوردار بودند (جدول ۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات مختلف در ژنوتیپ‌های رازیانه در دو محیط آبیاری معمول و تنش خشکی

منابع تغییر	DF	محتوی اسانس	عملکرد اسانس	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
تنش	۱	۱/۶۹ **	۴۸۸/۶۹ **	۱/۸۹ ^{ns}	۵۷۹۶۲/۴۴ **	۱۰۲۷۸۹۵/۵۷ **
خطای الف	۴	۰/۱۷	۷/۵۶	۴/۱۹	۸۵۹۶/۳۰	۸۴۱۴/۷۹
ژنوتیپ	۵	۰/۸۳ **	۱۰۷/۸۴ **	۲۵/۱۳ **	۹۷۹۳۱/۸۷ **	۵۹۷۷۸/۷۳ **
ژنوتیپ * تنش	۵	۰/۰۲ ^{ns}	۸۵/۴۷ **	۲۳/۷۶ **	۴۶۸۴۱/۶۱ *	۶۵۹۹۲/۹۶ **
خطای ب	۲۰	۰/۱۲	۱۲/۴۸	۴/۲۸	۱۵۷۴۶/۰۶	۶۱۹۸/۲۸
ضریب تغییرات	–	۱۱/۵۳	۱۷/۲۷	۱۵/۹۰	۲۳/۰۰	۱۱/۵۹

ns و** : به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسات مستقل صفات مختلف ژنوتیپ‌های رازیانه تحت شرایط آبیاری معمول

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوی اسانس	عملکرد دانه	عملکرد اسانس	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	۲	۰/۱۵ ^{ns}	۶۰۰۸/۲۳ ^{ns}	۳/۳۳ ^{ns}	۱۵۷۹۰/۲۳ ^{ns}	۴/۱۳ ^{ns}
ژنوتیپ	۵	۰/۴۱ **	۱۰۵۲۶۷/۴۸ **	۱۵۲/۳۸ **	۱۱۳۶۰۰/۴۸ *	۲۸/۶۶ **
مقایسه مستقل ۱	۱	۰/۲۴ ^{ns}	۲۴۶/۹۱ ^{ns}	۸/۰۱ ^{ns}	۲۱۶/۰۱ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}
مقایسه مستقل ۲	۱	۰/۰۳ ^{ns}	۱۴۲۲۲۲/۲۲ **	۸۶/۷۱ ^{ns}	۶۶۹۶۰/۹۱ ^{ns}	۱/۱۸ ^{ns}
خطا	۱۰	۰/۱۸	۱۲۹۶۰/۹۰	۱۹/۳۱	۱۲۹۶۰/۹۰	۴/۲۱
ضریب تغییرات(٪)		۱۴/۸۵	۱۳/۱۶	۱۸/۲۰	۲۴/۲۱	۱۵/۴۸

ns و** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه مستقل ۱: رقم سنتتیک زودرس در مقابل والدینش

مقایسه مستقل ۲: رقم سنتتیک میان‌رس در مقابل والدینش

جدول ۵ – تجزیه واریانس(میانگین مربعات) ومقایسات مستقل صفات مختلف ژنوتیپ‌های رازیانه تحت شرایط تنش

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوی اسانس	عملکرد دانه	عملکرد اسانس	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	۲	۰/۱۸ ^{ns}	۲۶۴۳/۸۲ ^{ns}	۱۱/۹۳ ^{ns}	۱۶۰۰/۲۳ ^{ns}	۴/۲۳ ^{ns}
ژنوتیپ	۵	۰/۴۲ **	۱۹۷۲۲/۳۱ **	۴۰/۹۸ **	۳۱۱۷۳/۰۸ **	۲۰/۲۶ **
مقایسه مستقل ۱	۱	۰/۵۶ ^{ns}	۲۹۲۴۶/۱۵ **	۸۸/۵۶ **	۲۲۶۹۲/۳۱ ^{ns}	۲/۹۱ ^{ns}
مقایسه مستقل ۲	۱	۰/۱۸ ^{ns}	۳۷۷۴۱/۲۳ **	۹۰/۶۸ **	۶۶۷۶/۹۱ ^{ns}	۴/۳۸ ^{ns}
خطا	۱۰	۰/۰۷	۱۹۶۲۱/۲۶	۵/۵۰	۴۹۸۳/۹۰	۴/۳۶
ضریب تغییرات (٪)		۸/۱۱	۸/۶۸	۱۴/۱۷	۱۶/۸۱	۱۶/۳۳

ns و** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه مستقل ۱: رقم سنتتیک زودرس در مقابل والدینش

مقایسه مستقل ۲: رقم سنتتیک میان‌رس در مقابل والدینش

جدول ۶- مقایسه میانگین برای صفات مختلف در ژنوتیپ‌های رازیانه در محیط آبیاری معمول و تنش خشکی

صفات	عملکرد دانه (kg/ha)		عملکرد بیولوژیک (kg/ha)		شاخص برداشت (٪)		محتوی اسانس (٪)		عملکرد اسانس (kg/ha)	
ژنوتیپ	تنش	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول
فسا	۴۳۴/۰۷c	۶۴۴/۴۴c	۴۳۰۳/۹۰c	۵۴۸۱/۰۰b	۱۳/۶۶ab	۱۱/۷۵ ab	۳/۰۳b	۲/۷ab	۱۳/۱۳c	۱۷/۴b
هشتگرد	۴۵۰/۰۰c	۷۸۵/۱۹bc	۴۰۹۲/۹۲c	۶۵۶۳/۰۰ab	۱۶/۴۱a	۱۲/۳۲ ab	۳/۰۳b	۲/۶b	۱۳/۷۳c	۲۰/۵b
مشکین شهر	۵۴۵/۹۳abc	۱۰۲۲/۲۲a	۴۴۴۴/۴۴ab	۵۴۰۷/۰۱b	۱۲/۳۴ ab	۱۹/۱۸a	۲/۷۶b	۲/۳b	۱۵/۰۶c	۲۳/۷b
فزوه	۴۳۸/۵۹c	۱۱۲۵/۹۳a	۵۱۵۵/۶۰a	۱۰۵۹۳/۱۱a	۸/۵۶b	۱۰/۵۰b	۳/۷۰a	۳/۴a	۱۶/۲۳bc	۳۷/۸a
سنتتیک زودرس	۵۶۲/۹۶ab	۷۰۳/۷۰c	۴۰۸/۸۹ab	۶۱۲۶/۱ ab	۱۳/۸۲ab	۱۱/۵۳ ab	۳/۵۶ a	۳/۰ab	۲۰/۰۷ ab	۲۱/۰b
سنتتیک میانرس	۶۲۹/۶۳a	۸۰۷/۴۱bc	۵۳۷۷/۸۰a	۶۱۷۰/۰ab	۱۱/۹۳ab	۱۴/۱۱ab	۳/۵۶a	۳/۰ab	۲۲/۴۰a	۲۴/۲b
میانگین	۵۱۰/۱۹	۸۴۸/۱۴	۴۱۸۵/۶۷	۶۲۲۳/۴۵	۱۲/۷۹	۱۳/۰۶	۳/۲۷	۲/۸۳	۱۶/۷۷	۲۴/۱۴
کاهش٪	-۳۹/۸۴		-۳۲/۷۴		-۱۳/۳۳		۱۵/۵۴		-۳۰/۵۳	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال 5% تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۷- میانگین صفات درارقام سنتتیک و اکوتیپ‌های والدینی رازیانه در شرایط آبیاری معمول و تنش

صفات	عملکرد دانه (kg/ha)		عملکرد بیولوژیک (kg/ha)		شاخص برداشت (٪)		عملکرد اسانس (kg/ha)		محتوی اسانس (٪)	
	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول	تنش	آبیاری معمول	تنش
سنتتیک زودرس	۷۰۳/۰ ۷ a	۵۶۲/۹ a	۶۱۲۶ a	۴۰۸/۸۹ a	۱۳/۸۲ a	۱۱/۵۳ a	۲۱/۰ a	۲۰/۰۷ a	۳/۰۰ a	۳/۵۶ a
والدین زودرس	۷۱۴/۸۱ a	۴۴۲/۰ b	۶۰۲۲ a	۴۱۹۸/۴۱ a	۱۵/۰۳ a	۱۱/۹۴ a	۱۸/۹ a	۱۳/۴۳b	۲/۵۶ a	۳/۰۳ a
سنتتیک میانرس	۸۰۷/۴۱ b	۶۲۹/۶ a	۶۱۷۰ a	۵۳۷۷/۸۰ a	۱۱/۹۳ a	۱۰/۴۵ a	۲۹/۴ a	۲۲/۴۰ a	۳/۰۰ a	۳/۲۳ a
والدین میانرس	۱۰۷۴/۰۷a	۴۹۲/۳ b	۸۰۰۰ a	۴۸۰۰/۰۲ a	۱۰/۴۰ a	۱۴/۱۱ a	۲۴/۲ a	۱۵/۶۴b	۲/۸۶ a	۳/۵۶ a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

بحث

یکی از اهداف راهبردی در برنامه‌های به‌نژادی در مناطق دارای تنش، معرفی ژنوتیپ‌هائی است که از عملکرد بالاو پایداری عملکرد در پاسخ به تغییرات شرایط محیطی برخوردار باشد

میانگین عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی به‌ترتیب ۸۴۸ و ۵۱۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶) بدین ترتیب در شرایط تنش عملکرد دانه حدود ۴۰ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری معمول کاهش یافت برای عملکرد دانه آب مهم‌ترین عامل محدودکننده می‌باشد، با کاهش میزان آب عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. بروز تنش خشکی طی مراحل مختلف نموی مخصوصاً مرحله زایشی سبب کاهش طول دوره فتوسنتزی، انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده ساقه به دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (Pouryousef *et al*., 2012). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در گیاه رازیانه با نتایج (Mohamed & Abdu, 2004; Osman, 2009; Pouryousef *et al*., 2012) مطابقت داشت.

عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری معمول و تنش به‌ترتیب ۶۲۲۳/۴۵ و ۴۱۸۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار بود در شرایط تنش خشکی عملکرد بیولوژیک حدود ۳۲ درصد کاهش نشان داد. تنش خشکی سبب کاهش فشار تورژسانس سلولی و به‌دنبال آن کاهش نمو سلولی و رشد اندام‌های گیاه می‌شود. از طرف دیگر، تنش خشکی میزان جذب آب و عناصر غذایی، سطح برگ، سرعت و طول دوره رشد گیاه و همچنین سطح فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد و همه این عوامل نهایتا منجر به کاهش تولید ماده خشک بیولوژیک می‌گردد (Goldani & Rezvanimoghadam, 2005). قابل ذکر است که در شرایط تنش کاهش، بیشتر عملکرد دانه در مقایسه با کاهش عملکرد بیولوژیک (به ترتیب ۴۰٪ و ۳۲٪ کاهش برای عملکرد دانه و بیولوژیک) موجب شد که شاخص برداشت در شرایط خشکی در مقایسه با شرایط آبیاری معمول کاهش یابد. در تحقیق Esfandiari و همکاران (۲۰۱۰) در زیره سبز نتیجه مشابه‌ای به‌دست آمده است.

در شرایط تنش خشکی عملکرد اسانس حدود ۳۵/۵۸ درصد نسبت به شرایط آبیاری معمول کاهش نشان داد. اگرچه تنش خشکی باعث افزایش محتوی اسانس می‌شود، اما به‌دلیل کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی عملکرد اسانس به‌شدت کاهش یافت که این یافته با نتایج جمشیدی و همکاران (Jamshidi *et al*., 2012) در گیاه رازیانه و حیدری و همکاران (Heidari *et al*., 2010) در گیاه انیسون مطابقت دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که صفات مطلوب و مفیدی در شرایط تنش از طریق تولید ارقام سنتتیک رازیانه قابل بهره‌برداری است. از سوی دیگر، گسترش پایه ژنتیکی منابع به‌منظور به‌حداقل رساندن خطر فرسایش ژنتیکی ضروری است، همچنین اعتقاد بر این است که استفاده از مواد متنوع ژنتیکی متضمن افزایش توان تولید و پایداری عملکرد است (Rajaram, 2000).

نتایج حاکی نشان داد که ارقام سنتتیک مقاوم به‌خشکی ایجاد شده، نسبت به‌ژنوتیپ‌های والدی خود از لحاظ عملکرد دانه و عملکرد اسانس در شرایط تنش خشکی برتری داشتند. تنوع زیادی که در اثر تلاقی چندین جزء با قابلیت ترکیبی بالا در ارقام سنتتیک به‌وجود می‌آیند به‌آنها در مقایسه با رقم‌های معمولی انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق زیادی را می‌دهند (Honarnejad, 1993) که باعث عملکرد بهتر این ارقام نسبت به والدینشان در شرایط تنش خشکی می‌شود. به‌عنوان نتیجه باید گفت که روش اصلاحی ایجاد ارقام سنتتیک مقاوم به‌خشکی در گیاه رازیانه موفقیت‌آمیز می‌باشد، طوری که در شرایط تنش خشکی ارقام سنتتیک دارای عملکرد دانه و عملکرد اسانس بالاتری نسبت به اکوتیپ‌های والدی هستند تظاهر موفق ارقام سنتتیک رازیانه در شرایط محیطی نسبتا سخت تنش خشکی امکان استفاده از این ارقام در شرایط گرم و خشک را نوید می‌دهد. در حال حاضر رازیانه در کردستان، کرمانشاه و همدان با بارندگی سالانه ۴۵۰ میلی‌متر به‌صورت دیم کشت می‌شود. در صورت داشتن ارقام مقاوم به خشکی می‌توان در همین مناطق عملکرد بیشتری داشت و حتی کشت دیم را در مناطق با بارندگی‌های کمتر نیز گسترش داد.

منابع مورد استفاده

- Aastveit, A. H. and Aastveit. K., 1990. Theory and application of open-pollination and polycross in forage grass breeding. Theoretical and Applied Genetics, 79: 618-624.
- Amato, G., Stringia, L. and Glamal, D., 1997. Evaluation of progenies of sulla (*Hedgsarum Coronarium* L.) derive from Sicilian landraces. Rivista di Agronomia, 31: 166-769.
- Baghchghi, R., 2014. Evolution of morphological variation and yield components for fennel ecotypes after plantlet stabilization under drought stress conditions, M.Sc. thesis. College of Aburaihan, University of Tehan, Iran, (in Persian).
- Bahmani, K., Izadi Darbandi, A. and Sadat Noori, S.A., 2014. Evaluation of essential oil content and components in some iranian fennel ecotypes. Journal of Crop Improvement, 15: 13-24. (in Persian)
- Bahmani, K., Izadi Darbandi, A., Sadat Noori, S.A., Jafari, A.A. and Moradi, N., 2012a. Determination of interrelationships among phenotypic traits of iranian fennel *(Foeniculum vulgare* Mill.) using correlation, stepwise regression and path analyses. Journal of Essential Oil Bearing Plant, 15: 424 - 444.
- Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Jafari, A.A., Sadat Noori, S.A. and Farajpour, M., 2012b. Assessment of genetic diversity in iranian fennels using ISSR markers. Journal of Agricultural Science, 4: 79-84.
- Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Sadat Noori, S.A. and Jaari, A.A., 2013. Assessment of the genetic diversity in iranian fennels by RAPD markers. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, 19: 275–285.
- Bahmani. K., Izadi Darbandi, A., Ramshini, H.A., Moradi, N. and Akbari, A., 2015. Agro-morphological and phytochemical diversity of various Iranian fennel landraces. Industrial Crops and Products, 77; 282–294.
- Boyadzhieva, S. and Angelov, G., 2014. Optimization of water extraction of fennel seeds. The Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 49: 447-450.
- Choukan, R., Taherkhani T., Ghannadha. M.R. and Khodarahmi. M., 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 8: 79-89 (in Persian).
- Dashora, A., Sastry, E.V.D., Singh. D. and Nagda. A.K., 2003. Combining ability analysis in varietal crosses of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, 63: 89–90.
- Esfandiari, T., Saberi, M. and Mollafilabi, A., 2010. Effects of planting date and irrigation date on qualitative and quantitative characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Acta Horticulturae, 853: 47-52.
- FAO, 2012. stat3.fao.org/faostat-gateway/go/to /download/P/PM/E.
- Farsi, M. and Baqheri. A., 2006. Principles of Plant Breeding. Publication of Jahad Daneshgahi of Mashhad. Third edition: 116 p. (in Persian).
- Fehr, W. R., 1987. Priciples of Cultivar Development. Vol II, MacMillan Pub. Co., New York
- Goldani, M. and Rezvanimoghadam, P., 2005. The effects of drought and planting date on yield and yield components of rainfed and irrigated varieties of chickpea in Mashhad. Journal of Iranian Field Crop Research, 2: 1-12.
- Hallauer, A.R. and Miranda, J.,1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Hanson, A.A., 1988. Alfalfa and Alfalfa Improvement. Madison, Wisconsin, US
- Heidari, N., Pouryousef, M., Tavakoli, A. and Saba, J., 2012. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28: 121-130 (In Persian).
- Honarnejad, R., 1993. Principles of Plant Breeding. Publication of University of Gilan, 275 p. (in Persian).
- Jamshidi, E., Ghalavand, A., Sefidkon, F. and Goltaph, E.M., 2012. Effects of different nutrition systems (organic and chemical) on quantitative and qualitative characteristics of Fennel (*Foeniculum valgare* Mill.) under water deficit stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28: 309-323.
- Khorshidi, J., Fazel Mirahmadi, S. and Fakhr Tabatabaei, M., 2010. Oil content and yield of *Foeniculum vulgare* Mill. cv. Soroksary seeds as affected by different plant cultivation densities. Journal of American Science, 6 : 1098-1100.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Azizi, G., 2006. The effect of different irrigation intervals and plant densities on yield and yield components of two fennel (*Foenicolum vulgare*) landraces. Journal of Iranian Field Crop Research, 4: 131-140 (in Persian).
- Lozano, G. A., 1998. Parasitic stress and self-medication in wild animals. p. 291–317. In A. L. Page et al. (ed.) Advances in the Study of Behavior. Part 27. 1st. London.
- Mohamed, M.A.H. and Abdu, M., 2004. Effect of irrigation and organic fertilization on growth and oil production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). Biological Agriculture and Horticulture, 22: 31-39.

harvesting time on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). National Congress on Medicinal Plants, Kish Island, 16-17 May: 315.
- Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S. and Fujita, K., 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. Environmental and Experimental Botany, 52: 131-138.
- Sheidai, M., Kalhor Home, N. and Poorneydanei, A., 2007. Cytogenetic study of some populations of *Foeniculum vulgare* (Umbelliferae) in Iran. Caryologia, 60: 257-261.
- Singh, G., Maurya, S., Lampasona, M.P. and Catalan, C., 2006. Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. Food Control, 17: 745–752.
- Moradi, N., 2012. Effect of salinity and drought stresses on germination and plantlet growth in Iranian Fennels (*Feoniculum vulgare* Mill). M.Sc. thesis. College of Aburaihan, University of Tehan, Iran, (in Persian).
- Nematzadeh, G. and Kiani. G., 2005. Plant Breeding. Publication of University of Mazandaran.1, Sari, Iran, 456p. (in Persian).
- Omid-beigi, R., 2007. Production and processing of medicinal plants.Vol. 1. Astan–Quds pub. 347p, (In Persian).
- Rajaram, S., 2000. International wheat breeding: past and present achievements and future directions. Special Report of CIMMYT, Mexico, DF. Mexico.
- Osman, Y.A.H., 2009. Comparative study of some agricultural treatments effects on plant growth, yield and chemical constituents of some fennel varieties under Sinai conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5: 541-554.
- Pouryousef, M., Tavakoli, A., Maleki, M. and Barkhordari, K., 2012. Effects of drought stress and

Development of drought tolerant synthetic cultivars of fennel and their assessment under normal and drought conditions at stage after flowering

K. Bahmani[1], A. Izadi Darbandi[2*] and A. Akbari[3]

1- Ph.D student, Department of Agronomy and Plant Breeding Science, College of Abureihan, University of Tehran, I.R.Iran.
2*- Corresponding author, Assoc. Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding Science, College of Abureihan, University of Tehran, I.R.Iran, Email: aizady@ut.ac.ir
3- M.Sc., Department of Agronomy and Plant Breeding Science, College of Abureihan, University of Tehran, I.R.Iran.

Received: 01.11.2015 Accepted: 24.01.2016

Abstract

Fennel (*Foeniculum vulgare*) is one of the most important medicinal plants with many usages in medical, food and cosmetic industries. Development method of two early and medium maturity synthetic cultivars of fennel with the aim of drought tolerance is discussed. The synthetic cultivars were assessed along with their elite parents at two separate environments, with normal irrigation and drought stress conditions. Results showed on the two environmental conditions, there were significant differences among the genotypes. Mean comparison of genotypes showed that in non-stress conditions, the most seed yield belonged to parental medium maturity genotypes of Meshkinshahr and Fozveh; and in drought stress conditions belonged to early and medium maturity synthetic cultivars. Independent mean comparison among the synthetic cultivars and the parents in each growth conditions showed that; in stress conditions according to the elite parents the synthetic cultivars had higher seed and essential oil yields. Finally, for enhancement of drought tolerance of fennel species, breeding method of synthetic cultivar is recommended, so that in environments with variable climate, especially water shortage, the mentioned cultivars can produce satisfactory yield.

Keywords: Drought stress, fennel, synthetic cultivar, yield.