

ارزیابی تحمل خشکی در ارقام سنتتیک و اکوتیپ‌های برتر رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)
Evaluation of drought tolerance in synthetic varieties and superior ecotypes of fennel
(*Foeniculum vulgare* Mill.)

اعظم اکبری^۱، علی ایزدی دربندی^۲، کیوان بهمنی^۳ و حسینعلی رامشینی^۴

چکیده

اکبری^۱، ع. ایزدی دربندی، ک. بهمنی و ح.ع. رامشینی. ۱۳۹۴. ارزیابی تحمل خشکی در ارقام سنتتیک و اکوتیپ‌های برتر رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.).
مجله علوم زراعی ایران. ۱۷(۳): ۱۹۳-۲۰۴.

به منظور ارزیابی تحمل تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل رازیانه، نتاج نسل اول سه رقم سنتتیک و هفت اکوتیپ والدی رازیانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی بعد از گلدهی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۲ در پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر کلیه صفات مورد ارزیابی اختلاف بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هر دو شرایط وجود داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های سنتتیک میانرس و مشکین شهر با ۲۳۵۷ و ۲۲۰۸ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی نیز ژنوتیپ‌های مشکین شهر و سنتتیک میانرس با ۱۰۹۱ و ۱۰۸۱/۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. از نظر شاخص‌های تحمل خشکی، بیشترین مقادیر شاخص میانگین حساسی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص تحمل (STI)، متعلق به ژنوتیپ‌های سنتتیک میانرس، مشکین شهر و مغان بود. همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، YI و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشتند و به عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ارقام پرمحصول رازیانه در هر دو شرایط شناسایی شدند. نتایج این آزمایش نشان داد که روش تولید رقم سنتتیک برای گیاه رازیانه مناسب بوده و این ارقام در محیط‌های با آب و هوای متغیر، به خصوص شرایط کمبود آب می‌توانند عملکرد رضایت بخشی تولید کنند.

واژه‌های کلیدی: ارقام سنتتیک، تنش خشکی، رازیانه و شاخص‌های تحمل.

مقدمه

رازیانه یکی از مهم ترین گیاهان دارویی در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی محسوب می شود و زیر گونه رازیانه تلخ (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *vulgare*) به عنوان منبع اصلی استحصال مواد موثره این گیاه به صورت گسترده کشت می شود. رازیانه تلخ (که از این به بعد فقط رازیانه نامیده می شود) دارای گل های چتری دوجنسی و دگرگرده افشان می باشد (Majnoon Hoseini and Dvazdah Emami, 2007). اجزای اصلی اسانس رازیانه ترانس آنثول، استراگول، فنچون و لیمونن می باشند که در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی کاربرد گسترده ای دارند (Bahmani et al., 2013a). با توجه به رشد روزافزون تقاضا برای دانه و اسانس رازیانه و با محدود شدن میزان بارندگی و کاهش منابع آبی، به ویژه در مناطق خشک مانند ایران، اصلاح این گیاه برای تحمل تنش خشکی باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. کوچکی و همکاران (Koochehi et al., 2006) اثر منفی تنش خشکی را بر صفات ارتفاع بوته، زیست توده، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در دو توده بومی رازیانه گزارش کردند. رازیانه های ایرانی از لحاظ صفات آگرومورفولوژیک (Bahmani et al., 2012b)، ژنتیکی (Bahmani et al., 2012a and 2013) و فیتوشیمیایی (Bahmani et al., 2014) دارای تنوع قابل ملاحظه ای هستند و ژنوتیپ های با ارزشی جهت استفاده در برنامه های اصلاحی شناسایی شده اند. اصلاح کلاسیک به عنوان عملی ترین راه برای توسعه ارقام گیاهانی مانند رازیانه محسوب می شود (Farsi and Baqheri, 2006) و روش تولید ارقام سنتتیک به طور گسترده ای در اصلاح گیاهان دگرگشن به کار می رود. رقم سنتتیک امکان استفاده بخشی از هتروزیس را در گیاهانی که کنترل گرده افشانی در آنها میسر نیست را فراهم می کند و در شرایط تنش مانند خشکی، عملکرد ارقام

سنتتیک به مراتب بهتر از ارقام هیبرید می باشد (Nematzadeh and Kiani, 2005)، بنابراین تولید ارقام سنتتیک روش اصلاحی مناسبی برای افزایش عملکرد رازیانه، حتی در شرایط تنش خشکی به نظر می رسد. شاخص های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان در شرایط محیطی متفاوت و تعیین تحمل و حساسیت آنها ارائه شده است. شاخص حساسیت به تنش (SSI) با مقدار پایین تر، نشان دهنده تحمل به خشکی ژنوتیپ است. انتخاب براساس شاخص SSI باعث گزینش ژنوتیپ های با عملکرد پایین در شرایط بدون تنش، ولی عملکرد بالا در شرایط تنش می گردد (Fisher and Maurer, 1978). شاخص تحمل (TOL) به صورت اختلاف عملکرد محیط تنش و بدون تنش است و هرچه اختلاف بین آنها کمتر باشد، مقدار TOL کمتر است و این نشان دهنده تحمل بیشتر رقم به خشکی می باشد (Rosielle and Hamblin, 1981). میانگین شاخص بهره وری (MP) مشخص کننده ارقام با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش ولی عملکرد کم در شرایط تنش است (Rosielle and Hamblin, 1981). شاخص STI تحت عنوان شاخص تحمل تنش جهت شناسایی ژنوتیپ هایی با عملکرد بالا در دو محیط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است، هر چه مقدار STI بالاتر باشد، نشان دهنده تحمل بیشتر به تنش خشکی است (Fernandez, 1992). میانگین هندسی بهره وری نیز به عنوان شاخص GMP معرفی گردیده است. شاخص GMP حساسیت کمتری نسبت به مقادیر متفاوت عملکرد در محیط تنش و بدون تنش دارد (Fernandez, 1992). شاخص پایداری عملکرد (YSI) عملکرد در شرایط تنش یک ژنوتیپ را وابسته به عملکرد آن در شرایط غیر تنش ارزیابی می کند، ارقامی با YSI بالاتر، در هر دو شرایط عملکرد بالاتری دارند (Bousslama and Schapaugh, 1984). شاخص عملکرد YI ارقام را براساس عملکرد

هدف این آزمایش ارزیابی تحمل خشکی ارقام سنتتیک و اکوتیپ‌های برتر رازیانه ایرانی و انتخاب بهترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به منظور بهره‌برداری اصلاح‌گران و تولید کنندگان گیاهان دارویی بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت استان تهران اجرا شد. 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. منطقه پاکدشت جزء مناطق خشک محسوب شده و بارندگی‌ها عمدتاً در دو فصل پاییز و زمستان به میزان ۱۷۰ میلی‌متر صورت می‌گیرد. درجه حرارت متوسط سالیانه ۱۶/۸ درجه سانتیگراد و میزان تبخیر و تعرق سالیانه آن بیشتر از بارندگی سالیانه می‌باشد. خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تفکیک نمی‌کند (Gavuzzi et al, 1997). شاخص پاسخ به خشکی (DRI) عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی برای تنوع در تاریخ گلدهی و عملکرد در شرایط بدون تنش تصحیح می‌کند و اطمینان می‌دهد که ژنوتیپ‌های منتخب صفات تحمل خشکی را خواهند داشت (Ouk et al., 2006). از شاخص ضریب رگرسیونی (β) نیز می‌توان برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش شدید استفاده کرد. بنسال و سینها (Bansal and Sinha, 1991) اظهار داشتند مقدار پایین شیب خط رگرسیون عملکرد روی میانگین شرایط محیطی (β) نشان دهنده تحمل به تنش خشکی است. از آنجا که هر یک از این شاخص‌ها ممکن است گروه‌بندی متفاوتی را نسبت به سایر شاخص‌ها ایجاد نمایند، استفاده از معیاری که با در نظر گرفتن همه این شاخص‌ها یک نتیجه واحد دهد، مناسب‌تر می‌باشد. یکی از معیارهایی که برای این منظور می‌تواند استفاده شود، نمره تحمل تنش (Stress Tolerance Score; STS) است (Abdolshahi et al., 2013).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil in experimental site

عمق	نسبت رس	نسبت ماسه	هدایت الکتریکی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	اسیدیته	بافت خاک	عمق
Depth	Clay	Sand	EC (dS.m ⁻¹)	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total N	pH	Soil texture	Depth
(cm)	(%)	(%)		(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(%)			(cm)
0-30	22	66	2.5	525	34	0.08	7.37	Loamy clay	

بودند. برای تولید ارقام سنتتیک پر محصول ابتدا غربالگری ۵۰ اکوتیپ رازیانه که از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری شده بودند، در سال زراعی ۸۸-۸۹ و ۸۹-۹۰ انجام گرفت و اکوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد دانه و محتوای اسانس در هر سه تیپ رشدی زودرس، میانس و دیررس انتخاب شدند. پس از

مواد گیاهی مورد استفاده در این تحقیق نتاج نسل اول (syn1) سه رقم سنتتیک و هفت اکوتیپ والدی شامل رقم سنتتیک زودرس و دو اکوتیپ والدی آن (فسا و رفسنجان)، رقم سنتتیک میانس و سه اکوتیپ والدی آن (مشکین شهر، مغان و خاش) و رقم سنتتیک دیررس و دو اکوتیپ والدی آن (حاجی آباد و قزوین)

بر آورد مقدار ترکیب پذیری عمومی، بلوک های تلاقی ایزوله برای اکوتیپ های منتخب هر تیپ رشدی شامل ۱۰ اکوتیپ منتخب زودرس، ۱۰ اکوتیپ منتخب میانرس و ۵ اکوتیپ منتخب دیررس ایجاد گردید و پلی کراس بین اکوتیپ های والدی صورت گرفت. در هر سه تیپ رشدی مقدار مساوی از بذر هر اکوتیپ والدی به صورت جداگانه نمونه برداری شده و با هم مخلوط شدند و بذور نسل اول ارقام سنتتیک (syn1) تشکیل شد.

طرح مورد استفاده در این آزمایش بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بود. کاشت ژنوتیپ ها (شامل ارقام سنتتیک و اکوتیپ های برتر والدینی آنها) در هر تکرار در یک کرت ۱/۵ در ۱/۵ متری صورت گرفت که فاصله ردیف ها از هم ۳۰ سانتیمتر منظور شد و بذور با عمق کاشت ۳-۲ سانتیمتر در ۲۴ فروردین کشت شدند. برای مبارزه با علف های هرز از علف کش ترفلان به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار قبل از کاشت استفاده شد. آبیاری مزرعه آزمایشی در هر دو محیط تنش و بدون تنش، تا مرحله ۵۰ درصد گلدهی بوته ها به طور یکسان و به صورت غرقابی انجام شد و از مرحله ۵۰ درصد گلدهی در شرایط آبیاری مطلوب بعد از ۶۰ میلی متر و در شرایط تنش خشکی بعد از ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد، به نحوی که دور آبیاری برای شرایط آبیاری مطلوب حدود هفت روز و برای شرایط تنش هر ۱۴ روز یک بار اعمال گردید. صفات تعداد چتر (تعداد چتر مرکب در بوته) و تعداد چترک (تعداد چترهای ثانویه در هر چتر مرکب) در مرحله ۷۰ درصد خمیری دانه ها روی ۳ بوته از هر کرت به طور تصادفی اندازه گیری شد. وزن هزار دانه از توزین ۱۰۰۰ عدد بذر بعد از برداشت بدست آمد. برای اندازه گیری عملکرد دانه، در زمان رسیدگی کامل با رعایت اثر حاشیه محصول کل بوته های هر کرت برداشت و بر حسب کیلوگرم در هکتار ثبت شد.

عملکرد بیولوژیک از مقدار کل ماده خشک هر کرت بدست آمد و مقدار ماده خشک در واحد سطح محاسبه شد. پس از اندازه گیری و ارزیابی شاخص های مختلف، تجزیه واریانس ساده صفات در هر دو محیط و تجزیه واریانس مرکب آنها در قالب تجزیه ادغام شده برای داده های دو محیط انجام شد. ضرایب همبستگی بین شاخص ها و عملکرد در هر دو شرایط محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) انجام شد. برای بررسی میزان خسارت و تغییر در هر صفت، درصد تغییرات (C) با استفاده از رابطه یک محاسبه شد (Choukan et al., 2006).

$$C = \left(\frac{\bar{Y}_P - \bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

با استفاده از عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش، ارزیابی ژنوتیپ ها از نظر تحمل و حساسیت به خشکی با استفاده از شاخص های زیر محاسبه گردید.

$$\text{شدت تنش (Fischer and Maurer, 1978)} \\ SI = 1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{شاخص حساسیت به تنش (SSI) (Fischer and Maurer, 1978)} \\ SSI = \frac{\left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \right)}{SI} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{شاخص تحمل (TOL) (Rosielle and Hamblin, 1987)} \\ TOL = Y_P - Y_S \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{میانگین شاخص بهره‌وری (MP) (Rosielle and Hamblin, 1987)} \\ MP = \frac{Y_P + Y_S}{2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\text{شاخص تحمل تنش (STI) (Fernandez, 1992)} \\ STI = \frac{Y_P \times Y_S}{(\bar{Y}_P)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\text{میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) (Fernandez, 1992)} \\ GMP = \sqrt{(Y_P)(Y_S)} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\text{شاخص عملکرد (YI) (Gavuzzi et al., 1997)} \\ YI = \frac{Y_S}{Y_P} \quad \text{رابطه (۸)}$$

مطلوب، ژنوتیپ‌های سنتیک میانرس، مشکین شهر و مغان (به ترتیب با ۲۳۵۷، ۲۲۰۸ و ۲۱۰۷ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش خشکی نیز ژنوتیپ‌های مشکین شهر، سنتیک میانرس و مغان (به ترتیب با ۱۰۹۱، ۱۰۸۱/۵، ۱۰۳۷/۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. کمترین عملکرد دانه در محیط بدون تنش و تنش خشکی متعلق به ژنوتیپ والدی دیررس قزوین (به ترتیب ۴۸۴/۴ و ۴۵۲/۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۲). بالا یا پایین بودن عملکرد در این ژنوتیپ‌ها را می‌توان با متغیر بودن اجزای عملکرد در آنها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست.

جهت انجام تجزیه واریانس مرکب، ابتدا آزمون یکنواختی واریانس‌ها (آزمون بارتلت) انجام شد که نتایج نشان دهنده یکنواخت بودن واریانس‌ها بود. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه در دو محیط در سطح آماری یک درصد وجود داشت. میانگین عملکرد دانه در آبیاری مطلوب و شرایط تنش به ترتیب ۱۴۴۵/۱ و ۷۹۴/۱ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی، مربوط به عملکرد دانه بود که در حدود ۴۵ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب کاهش نشان داد (جدول ۲). به نظر می‌رسد که این آسیب ناشی از کاهش اجزای عملکرد (تعداد چترک در چتر، وزن هزار دانه و تعداد چتر) بوده است که دلیل آن اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه می‌باشد. این نتایج با یافته‌های کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2006) و نخزری مقدم (Nakhzari Moghadam, 2009) مطابقت دارد. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نیز برای صفت عملکرد معنی‌دار بود. ارقامی که بیشترین اختلاف عملکرد بین محیط بدون تنش و تنش را دارا هستند، دارای پایداری پایین بوده و عموماً حساس به تنش خشکی هستند و ارقام با اختلاف کم، از پایداری بالایی در تولید

شاخص پایداری عملکرد (YSI) (Bouslama and Schapaugh, 1984)

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P} \quad \text{رابطه (۹)}$$

شاخص پاسخ به خشکی (DRI) (Bidinger et al., 1987)

$$DRI = \frac{Y_{act.i} - Y_{est.i}}{S.E. \text{ of } Y_{est}} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

Y_{act} و Y_{est} به ترتیب عملکرد واقعی و عملکرد برآورد شده برای هر ژنوتیپ در شرایط تنش هستند.

$S.E. \text{ of } Y_{est}$ خطای استاندارد عملکرد دانه برآورد شده برای همه ژنوتیپ‌ها است. عملکرد برآورد شده با استفاده از رگرسیون چندگانه به صورت زیر محاسبه شد.

$$Y_{est.i} = a + bY_{p.i} + FL_i \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$Y_{p.i}$ عملکرد بالقوه ژنوتیپ i در شرایط بدون تنش و FL_i روز تا گلدهی ژنوتیپ i در شرایط بدون تنش است و a و b پارامترهای رگرسیونی برآورد شده به روش حداقل مربعات هستند (Ouk et al., 2006)

نمره تحمل به تنش (STS) (Abdolshahi et al., 2013)

$$STS = MP + STI + GMP + YI + DRI + YSI - SSI - TOL - \beta \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

اعداد مربوط به هر شاخص ابتدا استاندارد و سپس STS محاسبه شد.

در این شاخص‌ها Y_P : میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، Y_S : میانگین عملکرد در شرایط تنش و β : شیب خط رگرسیون عملکرد ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیط می‌باشند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ساده در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر کلیه صفات مورد اندازه‌گیری داشتند. این موضوع نشان دهنده تنوع ژنتیکی و امکان گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در محیط آبیاری

عملکرد دانه در شرایط تنش بر خوردارند. کاهش عملکرد دانه به دلیل تنش خشکی در برخی ژنوتیپ‌ها کمتر و در برخی بسیار زیاد بود. بعنوان مثال ژنوتیپ والدی دیررس حاجی آباد با ۶۳ درصد، بیشترین کاهش عملکرد را داشت. این ژنوتیپ با اینکه در شرایط بدون تنش از عملکرد بالایی برخوردار بود، در شرایط تنش افت عملکرد زیادی داشت و ژنوتیپ والدی دیررس قزوین با ۷ درصد کاهش، کمترین افت عملکرد را داشت، هر چند که مقدار عملکرد آن در هر دو محیط پایین بود. از عکس العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌توان برای دستیابی به ارقامی استفاده کرد که در محیط‌های متفاوت عملکرد با ثبات و رضایت‌بخشی داشته باشند. برای انتخاب دقیق‌تر در جهت بهبود تحمل به خشکی بهتر است که گزینش نه فقط براساس عملکرد دانه باشد، بلکه اجزای عملکرد و سایر صفات مرتبط با عملکرد دانه نیز مد نظر قرار داده شوند.

از نظر تعداد چتر در بوته در شرایط بدون تنش بیشترین تعداد چتر مربوط به ژنوتیپ‌های سنتتیک میانرس و مغان (به ترتیب ۲۰/۴ و ۲۰/۲) و در شرایط تنش ژنوتیپ‌های سنتتیک زودرس و مغان (به ترتیب ۱۴/۱ و ۱۳/۷) برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های مشکین شهر و مغان (به ترتیب ۲۶/۱ و ۲۴/۶) و در شرایط تنش خشکی مغان و سنتتیک زودرس (به ترتیب ۲۰/۶ و ۱۹/۶) بیشترین تعداد چترک در چتر را داشتند. تعداد چتر و چترک به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفتند. بیشترین و کمترین تعداد چتر در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به ترتیب ۲۰/۴ و ۷/۴ عدد در بوته ثبت شد (جدول ۲). در شرایط تنش تعداد چتر کمتری تولید شد. لاریبی و همکاران (Laribi et al., 2009) در آزمایشی روی گیاه زیره سیاه دریافتند که تعداد چتر در بوته با افزایش دور آبیاری به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که با

نتیجه آزمایش حاضر مطابقت دارد. پسرکلی (Pessarkli, 1999) معتقد است که تنش آب با تأثیر بر منبع فتوسنتز و مخزن (اجزای عملکرد) باعث افت معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. به نظر می‌رسد که تعداد چتر در تیره چتریان یکی از اجزای اصلی و تعیین کننده عملکرد نهایی این گیاهان است که تعیین کننده پتانسیل عملکرد می‌باشد، زیرا چتر در برگیرنده تعداد چترک و دانه‌ها می‌باشد. ژنوتیپ‌های رفسنجان و سنتتیک زودرس بیشترین وزن هزار دانه را در شرایط بدون تنش و تنش دارا بودند. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که میانگین وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها در دو محیط با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. میانگین وزن هزار دانه در دو محیط بدون تنش و تنش به ترتیب ۳/۴ و ۲/۷ گرم بود که در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش حدود ۱۹/۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). کمبود مواد فتوسنتزی طی پر شدن دانه‌ها، وزن تک دانه‌ها را کاهش می‌دهد که دلیل این موضوع بیشتر مربوط به کاهش سطح برگ و طول دوره پر شدن دانه و همچنین اختلال در انتقال مواد پرورده به دانه‌ها می‌باشد.

در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های حاجی آباد و سنتتیک میانرس (به ترتیب با ۱۱۲۸۰ و ۱۰۸۰۱ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های مغان و مشکین شهر (به ترتیب با ۹۳۱۸ و ۸۶۴۷ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بیولوژیک بیشتری داشتند. اثر محیط، اثر ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای صفت عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود که این موضوع حاکی از واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر این صفت در دو محیط می‌باشد. عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب ۸۳۴۱/۸ و ۶۵۵۵/۸ کیلوگرم در هکتار بود. بدین ترتیب در شرایط تنش خشکی عملکرد بیولوژیک حدود ۲۱ درصد کاهش داشت. تنش خشکی باعث کاهش فشار

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات گیاهی ژنوتیپ‌های رازیانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 2. Mean comparison of plant characteristics of fennel genotypes in non-stress and stress conditions

صفات گیاهی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	تعداد چتر در بوته	تعداد چترک در چتر	وزن هزار دانه
Plant characteristics	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Umbel.plant ⁻¹	Umbelets.umbel ⁻¹	1000 Seed weight (g)
ژنوتیپ‌های رازیانه	تنش	بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش
Fennel genotype	Stress	Non-stress	Stress	Non-stress	Stress
Fasa	755.7bcd	1075.1e	4303.9c	5105.0 c	12.8ab
Rafsanjan	618.8Cde	830.1ef	4092.9c	4854.0 c	7.4cd
Synthetic1	848.8abc	1181.6de	4359.4c	5946.0 c	14.1a
Khash	1037.0a	2107.3ab	9318.5a	10107.1a	13.7a
Moghan	906.1ab	1719.1bc	6849.9b	10164.1 a	9.8c
Meshkinshahr	1091.9a	2208.1a	8647.4ab	9393.1 a	7.2e
Synthetic2	1081.5a	2357.1a	7037.0b	10801.2a	8.8cde
Ghazvin	452.7e	484.4f	6673.5b	6710.1bc	9.7cd
Hajiabad	571.8 de	1576.3cd	6660.7b	11280.1a	13.2ab
Synthetic3	577.8de	908.7e	7614.7ab	9057.1 ab	11.2bc
Mean	794.1	1445.1	6555.8	8341.8	10.9
Reduction(%)		45.1		-21.4	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test
Synthetic1 سنتتیک زودرس و Synthetic2 سنتتیک میانس و Synthetic3 سنتتیک دیررس

جدول ۳- شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های رازیانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Drought tolerance indices for fennel genotypes in non-stress and stress conditions

ژنوتیپ‌های رازیانه	Yp	Ys	SSI	GM	TOL	STI	MP	YI	YSI	β	DRI	STS
Fennel genotype												
Fasa	1075.1	755.7	0.66	901.3	319.4	0.39	915.4	0.95	0.70	0.49	-0.22	0.77
Rafsanjan	830.1	618.8	0.57	716.7	211.2	0.25	724.4	0.78	0.75	0.32	-1.03	-0.90
Synthetic1	1181.6	848.3	0.63	1001.1	333.3	0.48	1014.9	1.07	0.72	0.51	0.57	2.75
Khash	1719.1	906.2	1.05	1248.1	812.8	0.75	1312.6	1.14	0.53	1.25	0.23	0.32
Moghan	2107.2	1037.1	1.13	1478.2	1070.2	1.05	1572.1	1.31	0.49	1.64	0.60	1.61
Meshkinshahr	2208.3	1091.8	1.12	1552.7	1116.4	1.15	1650.1	1.37	0.49	1.72	0.77	2.46
Synthetic2	2357.1	1081.4	1.20	1596.5	1275.5	1.22	1719.2	1.36	0.46	1.96	-0.09	0.91
Ghazvin	1576.3	571.8	1.42	949.4	1004.4	0.43	1074.1	0.72	0.36	1.54	-2.46	-8.62
Hajiabad	487.4	452.7	0.16	469.7	34.6	0.11	470.1	0.57	0.93	0.05	0.78	1.48
Synthetic3	908.7	577.7	0.81	724.6	330.9	0.25	743.2	0.73	0.64	0.51	0.86	-1.00

Yp: Yield in non-stress condition
MP: Mean Productivity
SSI: Stress Susceptibility Index
YI: Yield Index
TOL: Tolerance Index
B: Linear regression coefficient
Synthetic2

عملکرد در شرایط بدون تنش
میانگین شاخص بهره‌وری
شاخص حساسیت به تنش
شاخص عملکرد
شاخص تحمل
ضریب رگرسیون خطی
سنتتیک میانس

Ys: Yield in drought stress condition
GMP: Geometric Mean Productivity
STI: Stress Tolerance Index
YSI: Index Stability Yi
DRI: Drought Response Index
Synthetic1
Synthetic3

عملکرد در شرایط تنش
میانگین هندسی بهره‌وری
شاخص تحمل به تنش
شاخص پایداری عملکرد
شاخص پاسخ به خشکی
سنتتیک زودرس
سنتتیک دیررس

با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش بودند (جدول ۴)، بنابراین شاخص‌های فوق برای غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که در شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند، مناسب هستند. این نتایج با یافته‌های سی و سه مرده و همکاران (Sio-Se Marde *et al.*, 2006) مطابقت دارد. با توجه به مقادیر عددی شاخص‌های STI، MP، GMP و YI ژنوتیپ‌های سنتتیک میانرس، مشکین شهر و مغان به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند. YSI دارای همبستگی منفی و معنی دار با عملکرد در شرایط بدون تنش بود، بنابراین این شاخص توانایی شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد ضعیف در شرایط بدون تنش را دارد.

بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_p) و تنش خشکی (Y_s) همبستگی معنی داری وجود داشت، بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در محیط بدون تنش، در محیط دارای تنش عملکرد بالایی دارند. وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با شاخص TOL نشان دهنده نامناسب بودن آن برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌باشد (Fernandez, 1992). همبستگی شاخص SSI با عملکرد دانه زیاد بود (جدول ۴). این نوع همبستگی میان این شاخص‌ها و عملکرد دانه

آماس سلولی و به دنبال آن کاهش نمو سلول و رشد اندام‌های گیاه می‌شود. از طرف دیگر، تنش میزان جذب آب و عناصر غذایی، سطح برگ، سرعت رشد گیاه، طول دوره رشد گیاه و سطح فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد و این عوامل در نهایت منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شوند (Goldani and Rezvani Moghadam, 2005).

ژنوتیپ قزوین از نظر شاخص‌های SSI و TOL دارای کمترین مقدار در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۳). باید توجه داشت که پائین بودن مقادیر شاخص‌های SSI و TOL الزاماً به معنی بالاتر بودن عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش نیست، زیرا همچنان که در مورد ژنوتیپ قزوین مشاهده می‌شود، ممکن است ژنوتیپی با وجود حساسیت کم به تنش خشکی، پتانسیل عملکرد پائینی داشته باشد، بنابراین این ژنوتیپ فقط دارای حساسیت کم به تنش خشکی بوده و از لحاظ عملکرد بالقوه مطلوب نمی‌باشد. ریزا و همکاران (Rizza *et al.*, 2004) گزارش کردند که انتخاب بر اساس حداقل کاهش عملکرد تنش نسبت به عملکرد غیر تنش (TOL) منجر به شکست در شناسایی بهترین ژنوتیپ‌های جو می‌شود.

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که شاخص‌های GMP، MP، STI، YI دارای همبستگی مثبت و معنی دار

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش

Table 4. Correlation coefficients between tolerance indices and Y_p and Y_s in non-stress and stress conditions

	Y_p	Y_s	SSI	GM	TOL	STI	MP	YI	YSI	B	DRI
Y_p	1.00	0.85**	0.81**	0.98**	0.97**	0.98**	1.00**	0.85**	-0.82**	0.96**	-0.10
Y_s		1.00	0.44	0.90**	0.77**	0.91**	0.85**	1.00**	-0.46	0.75*	0.06

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Y_p : Yield in non-stress condition

عملکرد در شرایط بدون تنش

Y_s : Yield in drought stress condition

عملکرد در شرایط تنش

MP: Mean Productivity

میانگین شاخص بهره وری

GMP: Geometric Mean Productivity

میانگین هندسی بهره وری

SSI: Stress Susceptibility Index

شاخص حساسیت به تنش

STI: Stress Tolerance Index

شاخص تحمل به تنش

YI: Yield Index

شاخص عملکرد

YSI: Index Stability Yi

شاخص پایداری عملکرد

TOL: Tolerance Index

شاخص تحمل

DRI: Drought Response Index

شاخص پاسخ به خشکی

B: Linear regression coefficient

ضریب رگرسیون خطی

نتایج آزمایش حاضر نشان دهنده برتری نسبی ارقام سنتتیک نسبت به والدین بود. رقم سنتتیک میانرس از لحاظ صفت عملکرد دانه بیشترین میزان را در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی به خود اختصاص داد که با بالا بودن وزن هزار دانه، تعداد چتر در بوته و تعداد چترک در چتر در این رقم در ارتباط بود. جمع بندی نتایج حاصل از همبستگی عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش با شاخص‌های تحمل و حساسیت نشان داد که شاخص‌های MP، STI، YI و GMP بهترین شاخص‌ها برای شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در بین ژنوتیپ‌های رازیانه می‌باشند. بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های مغان، مشکین شهر و سنتتیک میانرس به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش شناسایی شدند. بر اساس نمره تحمل به تنش (STS)، رقم سنتتیک زودرس و مشکین شهر از STS بالاتری نسبت به سایرین ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند و با داشتن میانگین عملکرد مناسب به عنوان ارقام متحمل به خشکی شناسایی شدند.

در شرایط بدون تنش نشان دهنده این است که ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط تنش از کاهش عملکرد بیشتری برخوردار هستند. شاخص DRI فاقد همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش بود، بنابراین به نظر می‌رسد که این شاخص برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مناسب نیست. ارقام سنتتیک زودرس و مشکین شهر به ترتیب بالاترین مقدار نمره تحمل تنش را داشتند و با میانگین عملکرد بالا به عنوان ارقام متحمل به خشکی شناسایی شدند (جدول ۳).

نتایج این تحقیق نشان داد که صفات مطلوب و مفیدی در ارتباط با عملکرد و تحمل به خشکی از طریق تولید ارقام سنتتیک در رازیانه قابل بهره‌برداری است. از سوی دیگر، گسترش پایه ژنتیکی منابع به منظور به حداقل رساندن خطر فرسایش ژنتیکی ضروری است و اعتقاد بر این است که استفاده از مواد متنوع ژنتیکی، تضمین کننده افزایش توان تولید و پایداری عملکرد است.

References

منابع مورد استفاده

- Abdolshahi, R., A. Safarian, M. Nazari, S. Pourseyedi and G. Mohamadi-Nejad. 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Arch. Agron. Soil Sci. 59(5): 685-704.
- Bahmani, K., A. Izadi Darbandi, A. A. Jafari, S. A. Sadat Noori and M. Farajpour. 2012a. Assessment of genetic diversity in Iranian fennels using ISSR markers. J. Agric. Sci. 4(9): 79-84.
- Bahmani, K., A. Izadi Darbandi and S. A. Sadat Noori. 2014. Evaluation of essential oil content and components in some Iranian fennel ecotypes. J. Crop Improv. 15(4): 13-24. (In Persian with English abstract).
- Bahmani, K., A. Izadi Darbandi, S. A. Sadat Noori and A. A. Jafari. 2013. Assessment of the genetic diversity in Iranian fennels by RAPD m Markers. J. Herbs, Spices Medic. Plants. 19: 275-285.
- Bahmani, K., A. Izadi Darbandi, S. A. Sadat Noori, A. A. Jafari and N. Moradi. 2012b. Determination of interrelationships among phenotypic traits of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) using correlation, stepwise regression and path analyses. J. Essential Oil Bearing Plant. 15 (3): 424 - 444.
- Bansal, K. C. and S. K. Sinha. 1991. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum*

- and related species. Part I: total dry matter and grain yield stability. *Euphytica*, 56: 7–14.
- Bidinger, F. R., V. Mahalakshmi and G. D. P. Rao. 1987.** Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). II. Estimation of genotype response to stress. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 49-59.
- Bouslama, M., and W. T. Schapaugh. 1984.** Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Sci.* 24: 933- 937.
- Choukan, R., T. Taherkhani, M. R. Ghannadha and M. Khodarahmi. 2006.** Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iran. J. Agric. Sci.* 8: 79-89. (In Persian with English abstract).
- Farsi, M. and A. Baqheri. 2006.** Principles of Plant Breeding (Third Ed.). Jahad Daneshgahi Mashhad Press. pp. 116. (In Persian).
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance, In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, 13-16 August, Avrrdc, Shanhua Taiwan, pp. 257-270.
- Fisher, R. A. and R. Maurer. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997.** Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Can. J. Plant Sci.* 77: 523- 531.
- Goldani, M. and P. Rezvani Moghadam. 2005.** The effects of drought and planting date on yield and yield components of rainfed and irrigated varieties of chickpea in Mashhad. *Iran. J. Field Crop Res.* 2(2): 1-12. (In Persian with English abstract).
- Koocheki, A., M. Nassiri Mahallati and G. Azizi. 2006.** The effect of different irrigation intervals and plant densities on yield and yield components of two fennel (*Foeniculum vulgare*) landraces. *J. Iranian Field Crop Res.* 4(1): 131-140. (In Persian with English abstract).
- Laribi, B., I. Bettaie, K. Kouki, A. Sahli, A. Mougou and B. Marzouk. 2009.** Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Indust. Crops Prod.* 30: 372–379.
- Majnoon Hooseini, N. and S. A. Davazdah Emami. 2007.** Cultivation and production of a certain medicinal plants and spices. Tehran University Press, pp. 300. (In Persian).
- Nakhzarei Moghadam, A. 2009.** Effect of plant density and water stress stage on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *J. Iranian Field Crop Sci.* 40(3): 63-69. (In Persian)
- Nematzadeh, G. and G. Kiani. 2005.** Plant Breeding. University of Mazandaran Press. pp. 456. (In Persian).
- Ouk, M., J. Basnayake, M. Tsubo, S. Fukai, K. S. Fischer, M. Cooper and H. Nesbitt. 2006.** Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. *Field Crops Res.* 99: 48-58.
- Pessarkli, M. 1999.** Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker. New York Inc. pp. 697.
- Rizza, F., F. W. Badeckb, L. Cattivellia, O. Lidestric, N. De Fonzok and A. M. Stancaa. 2004.** Use of a water

stress index to identify barely Ecotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. Crop Sci. 42: 1441-1446.

Rosielle, A. A. and J. Hamelin. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21: 943-946.

Sio- Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Res. 98: 222-229.

Evaluation of drought tolerance in synthetic varieties and superior ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Akbari, A.¹, A. Izadi Darbandi², K. Bahmani³ and H. A. Ramshini⁴

ABSTRACT

Akbari, A., A. Izadi Darbandi, K. Bahmani and H. A. Ramshini. 2015. Evaluation of drought tolerance in synthetic varieties and superior ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 17(3):193 -204. (In Persian).

To evaluate drought stress tolerance and identifying of tolerant fennel varieties/ecotypes, three synthetic fennel varieties and their seven parents in two separated experiment; normal irrigation and post flowering drought stress were carried out in a complete block design with three replications in 2013 in Aburihan campus, university of Tehran, Iran. Analysis of variance showed that there was a significant difference among varieties/ecotypes for all the traits in two experiments, which implies genetic variation among the fennel germplasm studied. Mean comparison showed that the highest seed yield in normal irrigation belonged to medium maturity synthetic variety and Meshkinshahr ecotype with 2357 and 2208 kg.ha⁻¹, respectively. In drought stress condition Meshkinshahr ecotype and medium maturity synthetic variety produced 1091 and 1081.5 kg.ha⁻¹, respectively. Considering drought tolerance indices, the highest mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), yield index (YI), stress tolerance index (STI) belonged to medium maturity synthetic variety, Meshkinshahr and Moghan ecotypes. Correlation coefficients between drought tolerance indices and seed yield showed that in both normal and drought stress conditions MP, GMP, YI and STI indices had positive and significant relationship with seed yield, and this implies that selection of drought tolerant varieties are possible. In conclusion, development of synthetic varieties of fennel is recommendable and developed varieties may produce better yield in water deficit prone environments.

Key words: Drought Stress, Drought Tolerance Indices, Fennel and Synthetic varieties.

Received: May, 2015

Accepted: November, 2015

1- Former MSc Student, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Prof., Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran (Corresponding author) (Email: aizady@ut.ac.ir)

3- PhD Student, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

4- Assistant Prof., Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran