[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

ارزیابی عملکرد و تحمل خشکی در ارقام اسپرس زراعی ایرانی

سیاره ایرانی[۱]، محمدمهدی مجیدی[۲*] و آقافخر میرلوحی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰)

چکیده

این آزمایش به‌منظور بررسی واکنش ارقام اسپرس ایرانی از نظر عملکرد، صفات زراعی و مورفولوژیک تحت شرایط تنش خشکی، مقایسه شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی و شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی اجرا گردید. تعداد ۳۰ رقم محلی اسپرس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو محیط بدون تنش (۴۰ درصد تخلیه رطوبتی) و تنش خشکی (۸۰ درصد تخلیه رطوبتی) در مزرعهٔ تحقیقات کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان طی دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که اثر رقم برای همه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل محیط رطوبتی و رقم در همه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که حاکی از واکنش متفاوت ارقام از نظر صفات ذکرشده در دو محیط می‌باشد. در میان شاخص‌های تحمل خشکی مورد بررسی، شاخص‌های STI ، GMP و MP با دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش به‌عنوان شاخص‌های مطلوب در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در اسپرس شناخته شدند. در این میان، شاخص GMP بیشترین همبستگی را با عملکرد علوفه خشک در محیط تنش خشکی داشت. براساس نتایج شاخص‌های بررسی‌شده و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ارقام ۱۶ (بردسیر)، ۲۱ (فریدون‌شهر ۲)، ۲۳ (نجف‌آباد ۲) و ۲۷ (بروجرد) در بیشتر شاخص‌های تحمل خشکی مورد بررسی دارای وضعیت مطلوبی بودند و به‌عنوان ارقام متحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: اسپرس، تنش خشکی، شاخص تحمل تنش، تجزیه به مؤلفه‌ها

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

مقدمه

اسپرس (*Onobrychis viciifolia* Scop.) یکی از گیاهان علوفه‌ای خانواده بقولات است که مقاومت به خشکی و سازگاری به مناطق سردسیر، آن‌را برای کشت در دامنه وسیعی از مناطق و مراتع مطلوب ساخته است (۱۲). مقادیر زیاد تانن در برگ اسپرس مانع نفخ در دام و افزایش جذب اسید آمینه‌ها در روده آنها می‌شود (۳۵). اسپرس مانند سایر گونه‌های بقولات به‌صورت همزیستی با باکتری‌های ریزوبیوم نیتروژن را تثبیت می‌کند، اگرچه کارائی تثبیت نیتروژن در اسپرس پایین‌تر از یونجه است (۳۶).

در ایران تحقیقات اندکی بر روی اسپرس انجام شده است و نمونه‌های ژنتیکی کشور بیشتر به‌نام محل رویش خود نام‌گذاری شده‌اند (۳۲). این در حالی است که ایران یکی از زیستگاه‌های اصلی و مراکز پراکنش اسپرس محسوب می‌گردد و دارای منابع غنی ژرم‌پلاسم اسپرس می‌باشد (۱۶).

تنش خشکی مهم‌ترین فاکتور محدود کننده رشد و عملکرد در مناطق مختلف جهان است. اصلاح برای تحمل به تنش یکی از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی در گیاهان مختلف است. ویسی‌پور و همکاران (۳۴) در بررسی ۱۰ تودهٔ محلی اسپرس تحت دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی بیان کردند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر روی اکثر صفات مورد مطالعه داشته است. این محققین کاهش ۱۵/۵ درصد عملکرد علوفه خشک را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. نصیرزاده و خرم‌شکوه (۱۸) اثرات چهار سطح تنش خشکی (۰، ۰/۳، ۰/۷، ۱/۱ مگاپاسکال) را بر روی ۶ گونه اسپرس بررسی کردند و تفاوت معنی‌داری برای درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه مشاهده کردند. رامک و همکاران (۲۰) گزارش کردند تنش آبی ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه سبب کاهش میزان ماده خشک، افزایش طول و وزن ریشه، کاهش کلروفیل و کاروتن‌ها، افزایش گزانتوفیل در دو گونه اسپرس (*O. radiata* و *O. viciifolia*) شد. محتوی نسبی آب برگ به‌طور وسیع به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیک به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مورد استفاده قرار گرفته است. بسیاری از محققین اظهار کرده‌اند که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مقادیر بالاتر محتوی نسبی آب برگ را نسبت به ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی دارا می‌باشند (۸، ۱۵ و ۳۱).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پتانسیل عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار تحمل به خشکی محسوب نمی‌شود، بلکه بررسی عملکرد نسبی در شرایط تنش و بدون تنش به‌عنوان یک شاخص مناسب برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی، انتخاب ژنوتیپ برای اصلاح در محیط خشک و شناخت فرایند تحمل به خشکی به‌کار گرفته می‌شود (۴ و ۲۷). کلارک و همکاران (۶) اظهار نمودند که ارزیابی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش اولین مرحله برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. ویسی‌پور و همکاران (۳۴) با بررسی ۱۰ توده محلی اسپرس تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند برای اصلاح عملکرد علوفه در هریک از شرایط تنش رطوبتی و عدم تنش باید به‌طور مستقل نسبت به تعیین یک شاخص انتخاب مناسب اقدام کرد. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آنها ارائه شده است. فیشر و مائور(۱۱) با معرفی شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان دادند که مقدار کمتر SSI، تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ را بیان می‌کند. روزیل و هامبلین (۲۲) شاخص‌های تحمل(TOL) و میانگین حسابی (MP) را معرفی کردند. شاخص تحمل(TOL) نشان‌دهندهٔ اختلاف عملکرد ارقام در دو شرایط تنش و بدون تنش است. مقدار بالای TOL نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها براساس مقادیر کم TOL مطلوب است. شاخص میانگین حسابی (MP) منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا ولی با تحمل به تنش پایین می‌شود. انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی براساس مقادیر بالای

MP است. فرناندز (۱۰) با بررسی عملکرد ارقام ماش (*Vigna radiata* L.) در دو محیط تنش و بدون تنش، ژنوتیپ‌ها را از نظر واکنش به دو محیط در چهار گروه طبقه‌بندی نمود: گروه الف) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد نسبی یکنواختی در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارند، ب) ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد خوبی دارند، ج) ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد نسبی بالاتری دارند و د) ژنوتیپ‌هایی که در شرایط بدون تنش و تنش عملکرد کمی دارند. از نظر فرناندز (۱۰) مناسب‌ترین معیار شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه الف را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. امکان تفکیک ژنوتیپ‌های گروه ب و ج از یکدیگر با استفاده از شاخص‌های SSI، TOL و MP براساس تقسیم‌بندی فرناندز وجود دارد. هم‌چنین فرناندز (۱۰) بیان کرد که شاخص تحمل تنش (STI) قادر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و تحمل بیشتر به تنش است. در این شاخص هر عملکرد با متوسط عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تصحیح می‌گردد و مقادیر بالای STI برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش و پتانسیل عملکرد بالاتر است. بنابراین با استفاده از این شاخص ژنوتیپ‌های گروه الف از سایر گروه‌ها قابل تفکیک می‌باشند. هم‌چنین بنا به اظهارات فرناندز (۱۰) شاخص GMP (میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت تنش و بدون تنش) برخلاف MP به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش حساسیت کمتری نشان می‌دهد، بنابراین در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه الف از سه گروه دیگر مناسب‌تر است. شاخص‌های تحمل به خشکی متعددی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر مبنای وضعیت عملکرد آنها در محیط‌های دارای تنش پیشنهاد شده که انتخاب شاخص‌های مناسب منجر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا می‌شود. ابوالحسنی و سعیدی (۱) در گلرنگ و اشنایدر و همکاران (۲۶) در لوبیا با بررسی شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش، به‌ترتیب STI و GMP را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر معرفی کردند.

بنابراین هدف از این مطالعه بررسی واکنش ارقام محلی اسپرس از نظر صفات زراعی و مورفولوژیک تحت شرایط تنش خشکی، مقایسه شاخص‌های مختلف تحمل وحساسیت به خشکی و شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی در اسپرس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی ارقام متحمل به شرایط تنش خشکی در اسپرس، ۳۰ رقم محلی اسپرس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی (براساس ۴۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی) در مزرعه تحقیقات کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و۳۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه در دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ ارزیابی شدند. این ارقام طی برنامه اصلاحی از توده‌های بومی کشور انتخاب و به‌عنوان ارقام امیدبخش، مطالعات بر روی آنها ادامه دارد. هر واحد آزمایشی شامل ۴ ردیف به طول ۳ متر، با فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر بود. تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. مقدار آب خاک در ناحیه مورد دسترس گیاه بین ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی، کل آب قابل استفاده گیاه در خاک (TAW) تعریف شد که براساس فرمول آلن و همکاران (۳) محاسبه گردید:

$$TAW = \frac{(W_{PC} - W_{WP}) \times Bd \times V}{Bd_w} \quad (1)$$

در این فرمول W_{PC} و W_{WP} به‌ترتیب درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمربع)، V حجم لایه خاک در منطقه توسعه ریشه (مترمکعب) و Bd_W جرم مخصوص ظاهری آب (گرم بر سانتی‌مترمربع) می‌باشد. کسری از رطوبت قابل استفاده خاک که گیاه به سهولت و بدون احساس تنش، توانایی جذب آن از منطقه توسعه ریشه را دارد، آب سهل‌الوصول (RAW) نامیده می شود و از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید (۳).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

$$RAW = \rho \times TAW \quad (۲)$$

پارامتر ρ کسری از رطوبت قابل استفاده خاک است، به‌طوری‌که در آن بازه گیاه تنش را تجربه نمی‌کند. در شرایط تبخیر و تعرق کم (۵ میلی‌متر در روز ≤ ETc)، مقدار ρ توصیه شده برای یونجه ۰/۵۵ پیشنهاد شده است که در این مطالعه از همین مقدار برای اسپرس استفاده شد (۲). ρ تابعی از قدرت تبخیرکنندگی هوا است و براساس رابطه ۳ به‌دست می‌آید:

$$\rho=\rho_{rec}+۰/۰۴(۵-ET_c) \quad (۳)$$

ρ_{rec} مقدار پیشنهادی برای یونجه (۰/۵۵) و ρ مقدار تطبیق‌شده براساس تبخیر و تعرق گیاه (ETc، میلی‌متر در روز) می‌باشد. پس از تعیین ρ، سطوح آبیاری براساس درصد حداکثر تخلیه رطوبتی مجاز (MAD) از رطوبت قابل استفاده خاک، برنامه‌ریزی شد. بر این اساس و با توجه به شرایط محیط آزمایش مشخص شد تا ۶۰ درصد تخلیه آب موجود خاک به گیاه اسپرس تنش وارد نمی‌شود. بنابراین آبیاری پس از تخلیهٔ ۴۰ درصد آب قابل استفاده خاک به‌عنوان تیمار بدون تنش و پس از تخلیهٔ ۸۰ درصد به‌عنوان تیمار تنش خشکی تعیین شد. پتانسیل آب خاک در درصد تخلیه‌های رطوبت قابل استفاده خاک، براساس منحنی رطوبتی خاک تعیین گردید. از دستگاه TDR (TDR Trase System, Model 6050XI; Soil Moisture, Santa Barbara, CA) به‌منظور اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک استفاده شد و اندازه‌گیری‌ها از دو روز پس از آبیاری تا یک روز پیش از آبیاری بعدی ادامه داشت. حجم آب مورد نیاز برای هر پلات در هر سطح آبیاری و با هدف افزایش محتوی آب در ناحیه توسعه ریشه تا حد ظرفیت مزرعه براساس رابطه ۴ محاسبه شد:

$$\text{حجم آب مورد نیاز برای هر سطح آبیاری} = \frac{TAW \times f}{E_a} \quad (۴)$$

در این رابطه f درصد تخلیه رطوبت از کل آب قابل استفاده خاک (۴۰ و ۸۰ درصد) است که بیان کنندهٔ سطوح آبیاری در این آزمایش می باشد و E_a کارایی آبیاری با فرض ۶۵ درصد در طی فصل رشد است. سپس حجم آب آبیاری محاسبه شده برای هر پلات، از طریق لولهٔ خرطومی ۳ اینچی که متصل به کنتور بود، به پلات مربوطه وارد شد. تیمارهای آبیاری از اواخر فروردین تا اواخر مهر ماه هر سال (۹۱ - ۱۳۹۰) ادامه داشت. برای دو محیط بدون تنش و تنش خشکی به‌ترتیب در سال ۱۳۹۰ تعداد ۳۰ و ۱۷ آبیاری و در سال ۱۳۹۱ تعداد ۲۵ و ۱۴ آبیاری اعمال شد. میانگین آب مصرفی در هر آبیاری، در سال ۱۳۹۰، ۴۴ (بدون تنش) و ۸۹ (تنش خشکی) لیتر در مترمربع و در سال ۱۳۹۱، ۶۷ (بدون تنش) و ۱۳۳ (تنش خشکی) لیتر در مترمربع بود. صفات روز تا ۵۰٪ درصد گل‌دهی، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول گل آذین (سانتی‌متر)، تعداد گره در ساقه اصلی، تعداد ساقه گل‌دهنده در بوته، تعداد ساقه در مترمربع، نسبت وزن خشک برگ به ساقه، عملکرد ماده تر و خشک علوفه طی چهار چین در هر سال یادداشت‌برداری شدند. در هر کرت از ۲۰ بوته تصادفی برای اندازه‌گیری‌ها استفاده شد. همه صفات در مرحله ۵۰٪ درصد گل‌دهی اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد ماده خشک، نمونه‌های علوفه تازه در آون ۷۲ درجه برای ۴۸ ساعت قرار داده شدند. به‌منظور اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ (RWC)، در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی و قبل از تیمار آبیاری و نزدیک طلوع آفتاب، تعدادی برگ از برگ‌های بالغ و جوان بالای ساقه گیاه قطع گردید. پس از توزین قطعات با کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)، آنها را به پتری دیش‌های دربدار حاوی آب مقطر منتقل کرده و به‌مدت ۴ ساعت در دمای محیط و در تاریکی قرار داده شد. پس از خارج کردن قطعات از آب مقطر، جهت حذف رطوبت اضافی سطح قطعات برگی را در بین دو لایه کاغذ صافی خشک کرده و سپس وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین وزن آماس قطعات برگی، آنها را به آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل کرده و پس از گذشت ۴۸ ساعت وزن خشک آنها تعیین می‌گردید و با استفاده از رابطه زیر RWC محاسبه گردید (۳۳).

$$RWC = \frac{\text{وزن برگ خشک} - \text{وزن برگ تازه}}{\text{وزن برگ خشک} - \text{وزن برگ آماس}} \quad (۵)$$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

داده‌های هر چین (۴ چین در هر سال) به‌صورت جداگانه یادداشت‌برداری شد اما از میانگین آنها در هر سال برای محاسبه شاخص‌ها استفاده گردید. ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های زیر انجام شد:

(۶) شاخص حساسیت به تنش (SSI): (۱۱)

$$SSI = \frac{1 - Y_S/Y_P}{1 - \bar{Y}_S/\bar{Y}_P}$$

(۷) شاخص تحمل تنش (STI): (۱۰)

$$STI = \frac{Y_P \times Y_S}{(\bar{Y}_P)^2}$$

(۸) شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP): (۱۰)

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S}$$

(۹) شاخص تحمل (TOL): (۲۲)

$$TOL = Y_P - Y_S$$

(۱۰) شاخص میانگین عملکرد (MP): (۲۲)

$$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2}$$

در معادلات بالا، Y_P عملکرد هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش، Y_S عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش، $\bar{Y}_P$ میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و $\bar{Y}_S$ میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش می‌باشد. تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو محیط و دو سال، مقایسات میانگین با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و همبستگی فنوتیپی بین صفات در هر سال با نرم‌افزار آماری SAS (۲۵) انجام شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی همراه با رسم نمودار بای‌پلات با استفاده از شاخص‌های انتخاب برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی با نرم‌افزار Statgraphics (۳۰) و SigmaPlot 12.5 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مختلف اسپرس در دو شرایط تنش و بدون تنش و دو سال ۹۱ – ۱۳۹۰ در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر محیط رطوبتی در سطح احتمال ۱ بر همهٔ صفات بسیار معنی‌داری بود و ارقام از نظر صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری را در هر دو سال نشان دادند که حاکی از متفاوت بودن توان ژنتیکی ارقام در بروز صفات مختلف می‌باشد (جدول ۱). هم‌چنین اثر متقابل رقم و محیط رطوبتی برای همه صفات مورد مطالعه معنی‌دار بودکه حاکی از واکنش متفاوت ارقام از نظر صفات ذکر شده در دو محیط می‌باشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین برای دو محیط رطوبتی در طی دو سال با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در جدول ۲ نشان داده شده است. در محیط بدون تنش همه صفات مورد بررسی میانگین بالاتری از محیط تنش خشکی دارا بودند.

عملکرد خشک علوفه تحت تنش خشکی به‌میزان ۳۷/۹ و ۵۵/۶ درصد به‌ترتیب در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ نسبت به محیط بدون تنش کاهش یافت. سعید و النادی (۲۴) گزارش کرد تنش خشکی تعداد بوته در مترمربع، ارتفاع بوته و عملکرد ماده خشک در یونجه را کاهش داد. افشارمنش (۲) واکنش ۵ رقم یونجه تحت سه تیمار تنش رطوبتی را بررسی کرد و و اظهار داشت با افزایش سطح تنش صفات ارتفاع بوته، تعداد بوته در مترمربع، عملکرد ماده تر و خشک به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی تحت تنش خشکی به‌میزان ۱۱/۶ و ۲۲/۹ درصد به‌ترتیب در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ کاهش یافت که نشان می‌دهد گیاهان چندساله مانند گیاهان یک‌ساله قابلیت فرار از تنش خشکی را دارا هستند. در این مطالعه صفت نسبت برگ به ساقه تحت تنش خشکی به‌میزان ۱۵/۳ و ۲۲/۲ درصد نسبت به شرایط بدون تنش به‌ترتیب در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ کاهش یافت. برخی محققین افزایش نسبت برگ به ساقه را تحت تنش خشکی در یونجه بیان کردند (۲، ۵ و ۱۴) که این تناقض می‌تواند ناشی از اعمال تنش شدید در این مطالعه نسبت به دیگر مطالعات باشد. ارقام ۱۶، ۲۱، ۲۷ و ۲۳ به‌ترتیب با ۷۵۳، ۶۸۲، ۶۷۳ و ۶۶۷ گرم در مترمربع در سال ۱۳۹۰ و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353] [DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات مختلف در ۳۰ رقم اسپرس ایرانی در دو محیط تنش و عدم تنش طی دو سال زراعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات صفات									
		روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی	ارتفاع بوته	طول گل آذین	تعداد گره در ساقه اصلی	تعداد ساقه گل‌دهنده در بوته	تعداد ساقه در مترمربع	عملکرد ماده تر علوفه	عملکرد ماده خشک علوفه	نسبت برگ به اندام هوایی	محتوی نسبی آب برگ
سال	۱	۳۵۹/۷۰**	۴۶۲۹/۷۳**	۷/۶۱**	۰/۰۸*	۱۰۲/۰۳**	۲۰۸۲/۴۸**	۶۷۶۰۹۴۹/۶**	۳۲۶۶۲۳۹/۹**	۰/۴۰۹۲**	۱۵۲/۷۴**
محیط	۱	۳۷۰۲/۵۲**	۱۸۸۳۸/۸۸**	۳۷۳/۸۲**	۷۵/۸۶**	۱۱۵۸/۶۳**	۲۱۵۸۰۹/۵**	۴۳۷۶۲۷۴۷/۹**	۱۲۰۲۰۵۹۶/۱**	۴/۰۱۶**	۱۶۵۲۴/۷۲**
سال × محیط	۱	۴۰۵/۳۸**	۱۲۵۲/۰۷**	۴۵/۳۰**	۱۲/۱۱**	۱۴۷/۲۴**	۴۵۳۸/۸۵**	۴۵۹۰۷۲۱/۹**	۱۸۸۸۳۸۸/۲**	۰/۱۰۳۲**	۲۵۱/۷۱**
تکرار (سال × محیط)	۸	۲۱۸/۷۱	۱۴۶۱/۰۱	۵/۲۳	۲/۱۲	۱۵/۰۸	۲۶۷۹/۲۸	۹۳۲۵۴/۶	۳۶۳۱۲/۱	۰/۲۱۵۳	۷۳۵/۲۰
رقم	۲۹	۶۵/۱۹**	۵۱۲/۶۷**	۴/۵۳**	۲/۹۷**	۴/۱۲**	۲۵۱۶/۵۰**	۱۱۴۴۵۳۳/۵**	۲۷۹۴۶۷/۳**	۰/۰۵۶۳**	۵۱۰/۳۴**
سال × رقم	۲۹	۰/۰۹	۲/۴۸	۰/۱۱	۰/۰۲**	۰/۱۱**	۱۱/۴۴	۲۶۹۶۷/۳	۶۵۷۹/۸	۰/۰۰۳۰**	۸/۲۲
محیط × رقم	۲۹	۲/۸۶**	۳۸/۹۵**	۰/۷۳**	۰/۰۳**	۰/۱۰**	۵۴۷/۶۱**	۳۸۲۲۲۴/۶**	۸۹۵۵۹/۳**	۰/۰۳۲۶**	۸۲/۷۳**
سال × محیط × رقم	۲۹	۰/۰۸	۱/۲۹	۰/۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۵/۵۵	۲۰۲۱۹/۹	۶۲۶۳/۱	۰/۰۰۳۱**	۷/۰۵
خطای آزمایشی	۲۳۲	۰/۱۵	۱۷/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۴	۲۲۱/۳۲	۱۰۰۳۸۸/۶	۲۷۲۴۶/۶	۰/۰۰۱۴	۲۱/۹۶
ضریب تغییرات (CV)		۱/۱۶	۶/۴۷	۳/۷۶	۲/۳۴	۲/۱۳	۲۱/۲۲	۲۸/۹۴	۲۹/۱۴	۳/۷۶	۷/۲۵

* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مختلف اسپرس در شرایط تنش و عدم تنش در دو سال زراعی

صفات	سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۹۱	
	بدون تنش خشکی	تنش خشکی	بدون تنش خشکی	تنش خشکی
روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی	۳۷/۰۴[a]	۳۲/۷۴[b]	۳۷/۱۶[a]	۲۸/۶۲[b]
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۶۵/۸۶[a]	۵۵/۱۲[b]	۷۶/۷۶[a]	۵۸/۵۶[b]
طول گل‌آذین (سانتی‌متر)	۸/۲۴[a]	۶/۹[b]	۸/۶۵[a]	۵/۹۱[b]
تعداد گره در ساقه اصلی	۵/۱۳[a]	۴/۵۸[b]	۵/۴۷[a]	۴/۱۸[b]
تعداد ساقه گل‌دهنده در بوته	۱۰/۵۴[a]	۸/۲۳[b]	۱۲/۸۸[a]	۸/۰۲[b]
تعداد ساقه در مترمربع	۸۸/۶[a]	۴۶/۷[b]	۱۰۰/۵۲[a]	۴۴/۴۵[b]
عملکرد علوفه تر (گرم در مترمربع)	۱۱۹۳/۱۴[a]	۷۲۱/۶۷[b]	۱۶۹۳/۰۸[a]	۷۶۹/۹۱[b]
عملکرد علوفه خشک (گرم در مترمربع)	۵۸۱/۴۸[a]	۳۶۰/۸۷[b]	۹۱۶/۸۳[a]	۴۰۶/۵۲[b]
نسبت برگ به ساقه	۱/۱۱[a]	۰/۹۴[b]	۱/۰۸[a]	۰/۸۴[b]
محتوی نسبی آب برگ (درصد)	۷۱/۵۵ [a]	۵۶/۳۳[b]	۷۱/۱۸[a]	۵۹/۳۰[b]

برای هر صفت و در هر سال میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۱۰۳۳، ۹۴۳، ۹۴۰ و ۹۳۷ گرم در مترمربع در سال ۱۳۹۱ بالاترین عملکرد علوفه خشک را داشتند. در مقابل، رقم ۴ با ۲۳۳ گرم در مترمربع در سال ۱۳۹۰ و ۳۴۴ گرم در مترمربع در سال ۱۳۹۱ کمترین عملکرد را داشت. محتوی نسبی آب برگ تحت تنش خشکی ۲۱ و ۱۶ درصد به‌ترتیب در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در مقایسه با عدم تنش کاهش یافت (جدول ۲). استویانو (۳۱) کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ را در شرایط تنش خشکی در لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) گزارش کرد. بیشترین محتوی نسبی آب برگ در رقم شماره ۱۶ و کمترین آنها در رقم شماره ۴ مشاهده شد. تفاوت در مقادیر محتوی نسبی آب برگ در ارقام مختلف به‌علت تفاوت ارقام در میزان جذب آب از خاک، تفاوت در توانایی در میزان کاهش آب از طریق روزنه‌ها و یا توانایی آنها در تجمع مواد اسمزی و تنظیم بهتر فشار اسمزی است (۸ و ۱۵).

بین ارقام تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و همهٔ شاخص‌های مورد مطالعه به استثنای SSI مشاهده شد. صبا و همکاران (۲۳) و قلی‌پور و همکاران (۱۳) تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های گندم برای SSI مشاهده نکردند که با نتایج این مطالعه مطابقت داشت. نتایج جدول ۳ نشان داد که براساس شاخص SSI رقم ۱ (بروجن ۱) شاخص حساسیت به تنش پایین‌تری برخوردار بود که به‌عنوان متحمل‌ترین رقم در هر دو سال مورد بررسی محسوب شد. هم‌چنین رقم شماره ۱۵ (کرمان) با بیشترین میزان SSI حساس‌ترین رقم به تنش خشکی براساس شاخص SSI شناخته شد. مقدار این شاخص برای ارقام بین ۰/۱۰ و تا ۱/۵۷ تغییرات داشت. رامیرز- والجو و کلی (۲۱) مقدار شاخص SSI را بین ۰/۴۶ تا ۱/۲۴ در لوبیا گزارش کردند. شاخص SSI دارای محدودیت‌هایی در بررسی ژنوتیپ‌های متحمل به شرایط تنش می‌باشد، زیرا این شاخص براساس کاهش کمتر عملکرد در محیط‌های تنش در مقایسه با محیط‌های بدون تنش می‌باشد و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط را در نظر نمی‌گیرد. هرچه مقدار عددی شاخص TOL (کم بودن اختلاف Yp و Ys) کوچک‌تر باشد ژنوتیپ متحمل‌تر است. اختلاف کم بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در شاخص TOL می‌تواند به‌علت بالا بودن عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و یا

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353] [DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]

جدول ۳. میانگین شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد علوفه خشک (گرم در مترمربع) در شرایط تنش وعدم تنش در ۳۰ رقم اسپرس طی دو سال زراعی

ارقام		سال ۱۳۹۰							سال ۱۳۹۱						
		Yp	Ys	SSI	STI	GMP	TOL	MP	Yp	Ys	SSI	STI	GMP	TOL	MP
۱	بروجن ۱	۳۶۳/۴^{hij}	۳۴۹/۶$^{b-g}$	۰/۱۰^{f}	۰/۳۷^{ij}	۳۵۶/۳$^{h-m}$	۱۳/۸^{j}	۳۵۶/۵$^{h-l}$	۵۸۹/۳^{lm}	۴۰۸/۶$^{a-f}$	۰/۵۵^{d}	۰/۲۹$^{e-h}$	۴۹۰/۵$^{f-j}$	۱۸۰/۷^{h}	۴۹۹/۰$^{g-k}$
۲	گلپایگان ۱	۵۴۸/۶$^{d-h}$	۴۱۲/۰$^{a-f}$	۰/۵۶$^{c-f}$	۰/۶۶$^{d-j}$	۴۶۹/۵$^{c-k}$	۱۳۶/۶$^{e-j}$	۴۸۰/۳$^{d-j}$	۸۶۹/۳$^{e-l}$	۴۶۸/۶$^{a-e}$	۰/۶۴^{cd}	۰/۴۷$^{c-h}$	۶۲۲/۵$^{b-i}$	۴۰۰/۷$^{d-h}$	۶۶۹/۰$^{c-j}$
۳	نجف آباد ۱	۳۹۲/۲^{hij}	۲۷۴/۱$^{d-g}$	۰/۶۱$^{b-f}$	۰/۳۱^{ij}	۳۲۳/۲$^{j-m}$	۱۱۸/۱$^{f-j}$	۳۳۳/۱^{jkl}	۶۴۱/۴^{klm}	۳۱۳/۵$^{c-f}$	۰/۷۴^{bcd}	۰/۲۳^{fgh}	۴۳۷/۵^{hij}	۳۲۷/۹$^{e-h}$	۴۷۷/۵$^{h-k}$
۴	اراک ۱	۲۷۶/۹^{j}	۱۸۹/۲^{g}	۰/۷۹$^{a-f}$	۰/۱۶^{ij}	۲۲۸/۵^{m}	۸۷/۷$^{g-j}$	۲۳۳/۰^{l}	۴۷۴/۸^{m}	۲۱۴/۶^{f}	۰/۹۲$^{a-d}$	۰/۱۲^{h}	۳۱۷/۷^{j}	۲۶۰/۲^{fgh}	۳۴۴/۷^{k}
۵	سمیرم ۱	۳۷۶/۹^{hij}	۲۵۹/۰$^{d-g}$	۰/۸۳$^{a-f}$	۰/۳۱^{ij}	۳۱۱/۶^{klm}	۱۱۷/۹$^{f-j}$	۳۱۷/۹^{jkl}	۶۳۵/۹^{klm}	۲۹۸/۲^{def}	۰/۹۱$^{a-d}$	۰/۲۵^{fgh}	۴۳۲/۲^{hij}	۳۳۷/۷$^{e-h}$	۴۶۷/۰^{ijk}
۶	خوانسار ۱	۴۲۳/۷^{hij}	۳۵۱/۶$^{b-g}$	۰/۴۷^{def}	۰/۴۶$^{f-j}$	۳۸۵/۳$^{f-m}$	۷۲/۲^{hij}	۳۸۷/۶$^{f-l}$	۶۴۵/۵$^{j-m}$	۳۹۸/۷$^{a-f}$	۰/۶۶^{cd}	۰/۳۲$^{d-h}$	۵۰۶/۶$^{e-j}$	۲۴۶/۷^{gh}	۵۲۲/۱$^{f-k}$
۷	گلپایگان ۲	۴۶۸/۵$^{e-j}$	۴۲۷/۳$^{a-e}$	۰/۲۲^{ef}	۰/۶۰$^{e-j}$	۴۴۷/۳$^{d-l}$	۴۱/۲^{ij}	۴۴۷/۸$^{d-k}$	۷۷۹/۴$^{f-m}$	۴۹۳/۶$^{a-d}$	۰/۶۵^{cd}	۰/۴۷$^{c-h}$	۶۲۰/۱$^{c-i}$	۲۸۵/۷^{fgh}	۶۳۶/۵$^{c-j}$
۸	خمین ۱	۳۸۷/۲^{hij}	۳۱۵/۶$^{c-g}$	۰/۴۶^{ef}	۰/۳۵^{ij}	۳۴۵/۹$^{h-m}$	۷۱/۶^{hij}	۳۵۱/۳$^{i-l}$	۶۷۹/۹$^{h-m}$	۳۷۱/۶$^{b-f}$	۰/۷۵^{bcd}	۰/۳۰$^{e-h}$	۴۹۵/۱$^{g-j}$	۳۰۸/۳^{fgh}	۵۲۵/۸$^{e-k}$
۹	سنندج	۳۱۸/۵^{ij}	۲۴۰/۴^{efg}	۰/۶۵$^{b-f}$	۰/۲۳^{j}	۲۷۵/۹^{lm}	۷۸/۱^{hij}	۲۷۹/۴^{kl}	۵۵۵/۵^{lm}	۲۷۵/۷^{def}	۰/۸۷$^{a-d}$	۰/۱۸^{gh}	۳۸۹/۴^{ij}	۲۷۹/۸^{fgh}	۴۱۵/۶^{jk}
۱۰	گلپایگان ۳	۵۳۹/۴$^{d-h}$	۳۱۷/۴$^{c-f}$	۱/۰۸$^{a-d}$	۰/۵۰$^{e-j}$	۴۱۱/۷$^{e-l}$	۲۲۲/۰$^{b-j}$	۴۲۸/۳$^{e-k}$	۸۴۱/۵$^{e-m}$	۳۶۱/۶$^{b-f}$	۰/۹۷$^{a-d}$	۰/۳۶$^{d-h}$	۵۴۵/۵$^{d-j}$	۴۷۹/۹$^{c-h}$	۶۰۱/۶$^{d-k}$
۱۱	فریدون شهر ۱	۴۶۲/۰$^{f-j}$	۳۲۶/۷$^{c-f}$	۰/۷۴$^{a-f}$	۰/۴۴$^{f-j}$	۳۸۳/۸$^{f-m}$	۱۳۵/۳$^{e-j}$	۳۹۴/۳$^{f-l}$	۷۲۰/۷$^{g-m}$	۳۷۰/۲$^{b-f}$	۰/۸۹$^{a-d}$	۰/۳۱$^{d-h}$	۵۱۲/۱$^{e-j}$	۳۵۰/۵$^{e-h}$	۵۴۵/۵$^{e-k}$
۱۲	ناشناخته	۴۲۵/۳^{hij}	۳۲۱/۶$^{c-f}$	۰/۶۸$^{b-f}$	۰/۴۱$^{g-j}$	۳۶۵/۴$^{g-m}$	۱۰۳/۷$^{f-j}$	۳۷۳/۴$^{e-l}$	۶۵۹/۰$^{i-m}$	۳۶۱/۶$^{b-f}$	۰/۸۵$^{a-d}$	۰/۲۹$^{e-h}$	۴۸۳/۴$^{f-j}$	۲۹۷/۳^{fgh}	۵۱۰/۳$^{f-k}$
۱۳	خوانسار ۲	۴۴۶/۵^{hij}	۳۳۰/۰$^{c-f}$	۰/۷۲$^{b-f}$	۰/۴۳$^{f-j}$	۳۸۱/۰$^{f-m}$	۱۱۶/۵$^{f-j}$	۳۸۸/۲$^{f-l}$	۷۶۰/۶$^{g-m}$	۳۸۱/۳$^{b-f}$	۰/۸۹$^{a-d}$	۰/۳۵$^{d-h}$	۵۳۳/۴$^{e-j}$	۳۷۹/۳$^{d-h}$	۵۷۰/۹$^{e-j}$
۱۴	کرج	۴۴۹/۲$^{g-j}$	۲۸۴/۱$^{d-g}$	۱/۰۰$^{a-e}$	۰/۳۹^{hij}	۳۵۶/۵$^{h-m}$	۱۶۵/۱$^{d-j}$	۳۶۶/۶$^{g-l}$	۷۱۹/۰$^{g-m}$	۳۲۶/۸$^{c-f}$	۰/۹۹$^{a-d}$	۰/۲۹$^{e-h}$	۴۸۳/۵$^{f-j}$	۳۹۲/۲$^{d-h}$	۵۲۲/۹$^{f-j}$
۱۵	کرمان	۵۲۳/۸$^{d-i}$	۲۱۱/۴^{fg}	۱/۵۷^{a}	۰/۳۳^{ij}	۳۳۱/۲$^{i-m}$	۳۱۲/۴$^{a-g}$	۳۶۷/۶$^{g-l}$	۸۳۴/۴$^{e-m}$	۲۴۱/۰^{ef}	۱/۲۸^{a}	۰/۲۵^{fgh}	۴۴۶/۸$^{g-j}$	۵۹۳/۴$^{a-g}$	۵۳۷/۷$^{e-k}$
۱۶	بردسیر	۹۶۹/۹^{a}	۵۳۶/۲^{ab}	۱/۱۱$^{a-d}$	۱/۵۲^{a}	۷۱۶/۷^{a}	۴۳۳/۷^{abc}	۷۵۳/۰^{a}	۱۴۸۷/۶^{a}	۵۷۹/۳^{ab}	۱/۰۸^{abc}	۱/۰۴^{a}	۹۲۴/۹^{a}	۹۰۸/۳^{ab}	۱۰۳۳/۴^{a}
۱۷	خمین ۲	۶۷۳/۶^{cde}	۳۳۷/۹$^{b-g}$	۱/۱۹$^{a-d}$	۰/۶۴$^{d-j}$	۴۶۳/۵$^{c-k}$	۳۳۵/۷$^{a-f}$	۵۰۵/۷$^{c-i}$	۱۰۵۹/۴$^{b-h}$	۳۷۵/۲$^{b-f}$	۱/۰۹^{abc}	۰/۴۴$^{c-h}$	۶۰۹/۷$^{c-g}$	۶۸۴/۲$^{a-e}$	۷۱۷/۳$^{b-i}$
۱۸	سمیرم ۲	۶۶۴/۷$^{c-f}$	۴۲۴/۰$^{a-e}$	۱/۰۱$^{a-e}$	۰/۸۹$^{b-h}$	۵۲۴/۵$^{b-h}$	۲۴۰/۷$^{b-j}$	۵۴۴/۳$^{b-f}$	۱۰۳۷/۸$^{b-i}$	۴۷۳/۵$^{a-e}$	۱/۰۲^{abc}	۰/۶۱$^{b-f}$	۶۹۶/۴$^{a-g}$	۵۶۴/۲$^{b-g}$	۷۵۵/۶$^{b-g}$
۱۹	گلپایگان ۴	۶۷۸/۴^{cd}	۴۳۶/۸$^{a-e}$	۰/۹۷$^{a-e}$	۰/۹۰$^{b-g}$	۵۳۷/۶$^{a-g}$	۲۴۱/۷$^{b-j}$	۵۵۷/۶$^{b-f}$	۹۸۵/۲$^{c-j}$	۴۸۷/۸$^{a-d}$	۰/۹۱$^{a-d}$	۰/۵۲$^{b-g}$	۶۸۴/۳$^{a-h}$	۴۹۷/۵$^{c-h}$	۷۳۶/۵$^{b-h}$
۲۰	خوانسار ۳	۶۵۶/۷$^{c-g}$	۳۹۰/۳$^{a-f}$	۱/۰۲$^{a-e}$	۰/۷۷$^{c-i}$	۵۰۳/۴$^{b-i}$	۲۶۶/۳$^{a-i}$	۵۲۳/۵$^{b-h}$	۱۰۲۵/۱$^{b-j}$	۴۳۸/۸$^{a-f}$	۱/۰۲^{abc}	۰/۵۴$^{b-g}$	۶۶۸/۸$^{a-h}$	۵۸۶/۳$^{a-g}$	۷۳۱/۹$^{b-h}$
۲۱	فریدون شهر۲	۹۲۹/۷^{ab}	۴۳۶/۳$^{a-e}$	۱/۳۱^{abc}	۱/۱۴$^{a-d}$	۶۲۱/۴$^{a-d}$	۴۹۳/۴^{a}	۶۸۲/۹^{ab}	۱۴۱۴/۵^{ab}	۴۷۳/۳$^{a-e}$	۱/۱۵^{ab}	۰/۷۶^{abc}	۷۹۷/۵$^{a-d}$	۹۴۱/۲^{a}	۹۴۳/۹^{ab}
۲۲	سیرجان	۸۲۹/۷^{abc}	۳۸۱/۴$^{a-f}$	۱/۴۳^{ab}	۰/۹۴$^{b-e}$	۵۵۵/۷$^{a-f}$	۴۴۸/۳^{ab}	۶۰۵/۵$^{a-d}$	۱۳۳۰/۵^{abc}	۴۱۳/۲$^{a-f}$	۱/۲۴^{a}	۰/۶۵$^{b-e}$	۷۳۲/۷$^{a-f}$	۹۱۷/۳^{ab}	۸۷۱/۹^{abc}
۲۳	نجف آباد ۲	۸۴۷/۴^{abc}	۴۸۸/۳^{abc}	۱/۰۹$^{a-d}$	۱/۲۶^{abc}	۶۴۰/۴^{abc}	۳۵۹/۱$^{a-e}$	۶۶۷/۸^{abc}	۱۳۳۷/۳^{abc}	۵۴۳/۷^{abc}	۱/۰۴^{abc}	۰/۹۲^{ab}	۸۴۵/۸^{abc}	۷۹۳/۶^{abc}	۹۴۰/۵^{ab}
۲۴	اراک ۲	۵۷۰/۳$^{d-h}$	۳۵۶/۹$^{a-g}$	۰/۹۶$^{a-e}$	۰/۶۱$^{e-j}$	۴۵۰/۴$^{d-k}$	۲۱۳/۳$^{c-j}$	۴۶۳/۶$^{d-j}$	۸۵۶/۱$^{d-m}$	۴۱۰/۰$^{a-f}$	۰/۹۱$^{a-d}$	۰/۴۲$^{c-h}$	۵۹۱/۵$^{c-i}$	۴۴۶/۰$^{c-h}$	۶۳۳/۱$^{c-j}$
۲۵	کبوترآباد	۷۹۳/۰^{ac}	۴۱۶/۶$^{a-e}$	۱/۲۶$^{a-d}$	۰/۹۸$^{b-e}$	۵۷۳/۵$^{a-e}$	۳۷۶/۴$^{a-d}$	۶۰۴/۸$^{a-d}$	۱۲۰۴/۲$^{a-e}$	۴۸۱/۵$^{a-d}$	۱/۰۷^{abc}	۰/۷۰$^{a-d}$	۷۵۹/۷$^{a-e}$	۷۲۲/۷$^{a-d}$	۸۴۲/۸$^{a-d}$
۲۶	اصفهان	۷۰۱/۰^{cd}	۴۴۳/۳$^{a-d}$	۰/۸۷$^{a-f}$	۰/۹۰$^{b-e}$	۵۳۸/۵$^{a-g}$	۲۵۷/۷$^{b-h}$	۵۷۲/۱$^{b-e}$	۱۰۹۷/۸$^{b-g}$	۴۷۴/۸$^{a-d}$	۱/۰۰$^{a-d}$	۰/۶۰$^{b-f}$	۷۰۰/۷$^{a-f}$	۶۲۳/۰$^{a-f}$	۷۸۶/۳$^{a-e}$
۲۷	بروجرد	۷۸۹/۴^{abc}	۵۵۸/۱^{a}	۰/۸۷$^{a-f}$	۱/۲۹^{ab}	۶۶۰/۸^{ab}	۲۳۱/۳$^{b-j}$	۶۷۳/۷^{abc}	۱۲۴۵/۵$^{a-d}$	۶۲۸/۶^{a}	۰/۸۶$^{a-d}$	۰/۹۲^{ab}	۸۷۸/۵^{ab}	۶۱۶/۹$^{a-g}$	۹۳۷/۱^{ab}
۲۸	سنندج	۷۲۸/۰^{bcd}	۳۳۸/۵$^{b-g}$	۱/۴۲^{ab}	۰/۷۶$^{e-i}$	۴۹۱/۲$^{b-j}$	۳۸۹/۵$^{a-d}$	۵۳۳/۲$^{b-g}$	۱۱۵۹/۲$^{a-f}$	۳۷۹/۵$^{b-f}$	۱/۲۲^{a}	۰/۵۲$^{b-g}$	۶۵۹/۰$^{b-h}$	۷۷۹/۶^{abc}	۷۶۹/۴$^{b-f}$
۲۹	بافت	۶۶۴/۲$^{c-f}$	۳۷۶/۸$^{a-g}$	۱/۱۶$^{a-d}$	۰/۷۵$^{d-i}$	۴۹۶/۶$^{b-j}$	۲۸۷/۵$^{a-h}$	۵۲۰/۴$^{b-i}$	۱۰۳۲/۶$^{c-j}$	۴۱۲/۷$^{a-f}$	۱/۰۹^{abc}	۰/۵۳$^{b-g}$	۶۴۷/۹$^{b-h}$	۶۱۹/۹$^{a-f}$	۷۲۲/۷$^{b-i}$
۳۰	بروجن۲	۵۴۶/۱$^{d-h}$	۲۹۴/۵$^{c-g}$	۱/۱۸$^{a-d}$	۰/۵۰$^{e-j}$	۳۹۶/۰$^{e-m}$	۲۵۱/۶$^{b-i}$	۴۲۰/۲$^{c-k}$	۸۲۶/۰$^{e-m}$	۳۳۷/۹$^{c-f}$	۱/۰۵^{abc}	۰/۳۶$^{d-h}$	۵۲۰/۷$^{e-j}$	۴۸۸/۱$^{c-h}$	۵۸۱/۹$^{d-k}$

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

کاهش کم عملکرد در شرایط تنش باشد که تفکیک این دو مورد از همدیگر امکان‌پذیر نیست. بنابراین این شاخص نیز پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط را در نظر نمی‌گیرد. براساس این شاخص رقم ۱ (بروجن) با کمترین مقدار شاخص TOL به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش و رقم ۲۱ (فریدون‌شهر ۲) با بیشترین مقدار شاخص TOL به‌عنوان رقم حساس به تنش شناسایی شد (جدول ۳). ابراهیمیان و همکاران (۷) گزارش کردند شاخص‌های حساسیت (SSI و TOL) قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل به تنش با عملکرد بالا در فسکیوی بلند نیستند. هم‌چنین نادری و همکاران (۱۷) در گندم و سورنینیا و همکاران (۲۹) در آفتابگردان گزارش کردند که براساس شاخص‌های SSI ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد پایین انتخاب می‌شوند و بهتر است از این شاخص‌ها در حذف ارقام حساس استفاده کرد. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که شاخص SSI و TOL ارقام را فقط بر مبنای تحمل و حساسیت به تنش محیطی و بدون توجه به عملکرد آنها طبقه‌بندی می‌کند. براساس شاخص‌های STI، GMP و MP ارقام ۱۶ (بردسیر)، ۲۱ (فریدون‌شهر ۲)، ۲۳ (نجف‌آباد ۲) و ۲۷ (بروجرد) با بیشترین مقادیر شاخص‌های فوق به‌عنوان ارقام متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند و درمقابل ارقام ۴ (اراک ۱) و ۹ (سنندج) با دارا بودن کمترین مقادیر شاخص‌های فوق به‌عنوان ارقام حساس به تنش خشکی شناسایی شدند (جدول ۳). محققین بیان کرده‌اند شاخص STI برای غربال کردن ارقام متحمل به تنش خشکی و گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بیشتر در هر دو شرایط بدون تنش و تنش موفق‌تر از سایر شاخص‌هاست (۷، ۱۰ و ۲۸). رامیرز- والجو و کلی (۲۱) و اشنایدر و همکاران (۲۶) گزارش کردند بهترین روش برای اصلاح برای مقاومت به خشکی در لوبیا براساس مقادیر بالای GMP می‌باشد.

مقادیر همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۴ ارائه شده است. عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش (Yp) با تمام شاخص‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. هم‌چنین عملکرد علوفه در شرایط تنش خشکی (YS) با تمام شاخص‌ها به استثنای SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. بالاترین ضریب همبستگی عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش با شاخصMP به‌دست آمده ولی در شرایط تنش (YS) بالاترین ضریب همبستگی عملکرد علوفه با شاخص GMP حاصل گردید. برطبق نتایج فرناندز (۱۰) شاخص‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد باشند، به‌عنوان شاخص برتر معرفی می‌شوند. بنابراین شاخص STI، GMP و MP با دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار در هر دو شرایط تنش و بدون تنش به‌عنوان شاخص‌های مطلوب در شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی در اسپرس شناخته شدند (جدول ۴). به‌منظور انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی، محققین از همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد در محیط تنش و بدون تنش استفاده کرده‌اند (۷، ۲۸ و ۲۹). ابراهیمیان و همکاران (۷)، فرشادفر و یوتکا (۹) و سورنینیا و همکاران (۲۹) گزارش کردند که شاخص‌های STI، GMP و MP بهترین کارایی را به‌ترتیب برای انتخاب ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند، گندم و آفتابگردان دارند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

رگرسیون خطی عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) در شکل ۱ نشان داده شده است. از نظر تئوری اگر همبستگی عملکرد تحت تنش خشکی و بدون تنش برابر واحد باشد، محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش لزومی ندارد. در این مطالعه اگرچه ارتباط مثبت بین عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان می‌دهد که انتخاب ارقام برتر در شرایط بدون تنش تاحدودی منجر به انتخاب ارقام برتر در شرایط تنش خشکی می‌شود، ولی با وجود ضریب تبیین متوسط (R^2=۰/۵۶)، استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش موجب افزایش کارایی انتخاب ارقام متحمل می‌شود که با نتایج ابراهیمیان و همکاران (۷) در فسکیوی بلند نیز مطابقت دارد.

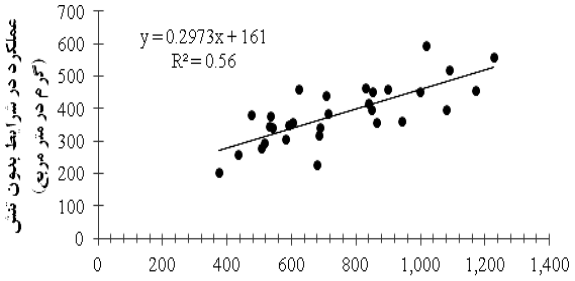
به‌منظور درک بیشتر ارتباط بین شاخص‌ها، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید (شکل ۲). دو مؤلفه اول با مقادیر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش در سال ۱۳۹۰ (پایین قطر) و ۱۳۹۱ (بالای قطر)

صفات	Yp	Ys	SSI	STI	GMP	TOL	MP
Yp	۱	۰/۷۳**	۰/۶۱**	۰/۹۳**	۰/۹۴**	۰/۹۵**	۰/۹۸**
Ys	۰/۷۷**	۱	-۰/۰۲	۰/۸۹**	۰/۹۱**	۰/۴۹**	۰/۸۴**
SSI	۰/۶۲**	۰/۰۳	۱	۰/۳۷*	۰/۳۵	۰/۷۹**	۰/۴۷**
STI	۰/۹۴**	۰/۹۱**	۰/۳۹*	۱	۰/۹۸**	۰/۸۰**	۰/۹۷**
GMP	۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۳۹*	۰/۹۹**	۱	۰/۸۰**	۰/۹۸**
TOL	۰/۹۰**	۰/۴۳*	۰/۸۷**	۰/۷۳**	۰/۷۳**	۱	۰/۸۸**
MP	۰/۹۷**	۰/۸۹**	۰/۴۶**	۰/۹۸**	۰/۹۹**	۰/۷۹**	۱

* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



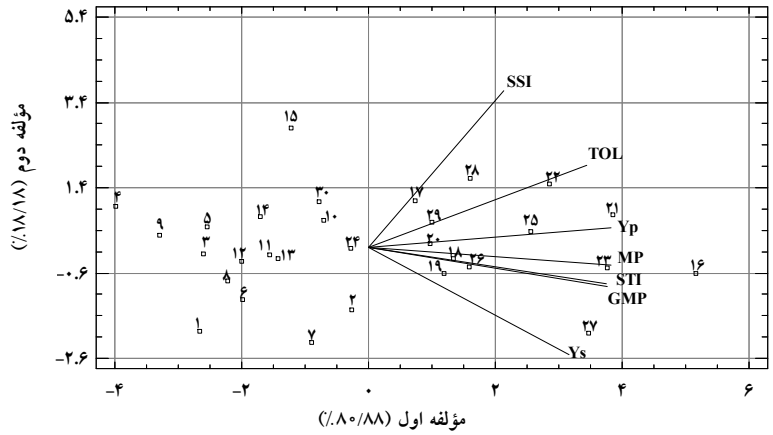
عملکرد در شرایط تنش خشکی (گرم در مترمربع)

شکل ۱. رابطه بین عملکرد علوفه تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش در ۳۰ رقم محلی اسپرس

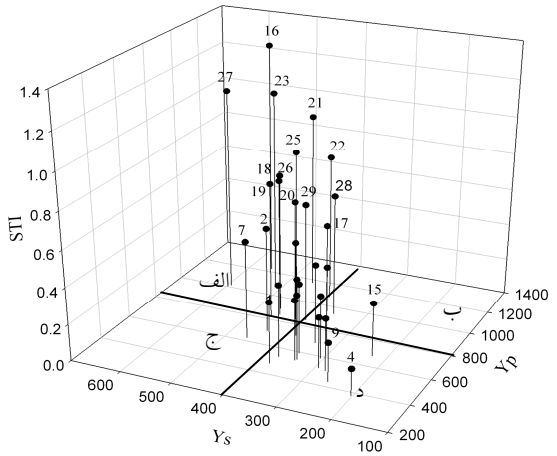
ویژه بالاتر از یک، ۹۹ درصد از کل تغییرات مربوط به شاخص‌ها را توجیه نمودند. مؤلفه اول ۸۰/۹ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و در آن ضرایب مربوط به شاخص‌های STI ، GMP و MP بالاتر بود. از آنجایی که مقادیر بزرگ‌تر این شاخص‌ها مطلوب است و هم‌چنین نظر به مثبت و قابل‌توجه بودن ضرایب مربوط به عملکرد در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) در این مؤلفه می‌توان نتیجه گرفت که رقمی که دارای مقدار عددی بزرگتری برای این مؤلفه هستند دارای عملکرد بیشتری بوده و به‌عبارت دیگر این مؤلفه قادر به جداسازی رقم مقاوم‌تر است. بنابراین این مؤلفه به‌نام "پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی" نام‌گذاری شد. دومین مؤلفه ۱۸/۲ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی منفی و بالا با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت و بالا با شاخص SSI و TOL داشت. در نتیجه رقمی که دارای مقدار عددی بزرگتری برای این مؤلفه هستند دارای عملکرد کمتری بوده و به‌عبارت دیگر نسبت به سایر ارقام حساس‌تر هستند، بنابراین این مؤلفه به‌نام مؤلفه "حساسیت به تنش خشکی" نام‌گذاری شد. نظری و پاک‌نیت (۱۹) در بررسی ژنوتیپ‌های جو دو مؤلفه را که در مجموع ۷۰ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد، معرفی کردند که مشابه با مؤلفه‌های این مطالعه نام‌گذاری گردید. در کل انتخاب ژنوتیپ‌هایی که مقادیر بالایی از مؤلفه اول و مقادیر پایینی از مؤلفه دوم دارند، حداکثر کارایی را برای هر دو شرایط تنش و بدون تنش خواهند داشت. بر این اساس، ارقام ۱۶، ۲۷، ۲۳، ۲۱ و ۲۵ که در قسمت سمت راست شکل ۲ و در مجاورت شاخص‌های تحمل به تنش خشکی قرار گرفتند، به‌عنوان ارقام با پتانسیل عملکرد بالا و تحمل به تنش خشکی معرفی می‌شوند.

به‌منظور شناسایی بهتر ارقام از نمودار سه بعدی بین عملکرد تنش (Ys)، بدون تنش (Yp) و یکی از شاخص‌های برتر (STI) استفاده گردید (شکل ۳). براساس آن ارقام به چهار گروه طبقه‌بندی شدند و ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط (گروه الف) و و ارقام با عملکرد پایین در هر دو محیط (گروه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]



شکل ۲. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش و شاخص‌های تحمل خشکی در ۳۰ رقم اسپرس ایرانی



شکل ۳. نمودار سه بعدی پراکنش ۳۰ رقم اسپرس ایرانی براساس شاخص تحمل خشکی (STI) و عملکرد در شرایط تنش (Ys) و عدم تنش (Yp). الف، ب، ج و د، چهار محیط ایجاد شده براساس تقسیم‌بندی فرناندز (۱۹۹۲) می‌باشند (۱۰).

د) شناسایی شدند (شکل ۳). ارقام ۱۶، ۲۷، ۲۳، ۲۱ و ۲۵ در گروه "الف" قرار گرفتند که دارای پتانسیل عملکرد بالا و تحمل به تنش خشکی هستند. ارقام ۴ و ۹ در هر دو شرایط محیطی عملکرد پایینی داشتند و در گروه "د" قرار گرفتند.

در مجموع تنوع بالایی برای اکثر صفات مورد مطالعه بین ارقام اسپرس مشاهده شد که کارایی بالای روش‌های اصلاحی را در بهبود صفات نشان می‌دهد. در میان شاخص‌های تحمل خشکی مورد بررسی، شاخص STI، GMP و MP با دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش به‌عنوان شاخص مطلوب در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در اسپرس شناخته شدند. براساس نتایج شاخص‌ها و مؤلفه‌های اصلی، ارقام ۱۶ (بردسیر)، ۲۱ (فریدون‌شهر)، ۲۳ (نجف‌آباد) و ۲۷ (بروجرد) دارای وضعیت مطلوبی بودند و به‌عنوان ارقام متحمل به تنش در این مطالعه شناخته شدند که می‌توانند در مطالعات بعدی استفاده شوند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

منابع مورد استفاده

1. Abolhassani, K. H. and G. H. Saeidi. 2006. Evluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. *The Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 10: 407-418. (In Farsi).
2. Afsharmanesh, G. 2009. Study of some morphological traits and selection of drought-resistant alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) in Jiroft, Iran. *Plant Ecophysiology* 3: 109-118.
3. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome.
4. Calhon, D. S. A., G. Miranda, S. Gebeyehu, B. Rajram and M. Van-Ginkel. 1995. Choosing evaluation environments to increase wheat grain yield under drought conditions. *Crop Science* 34: 673-678.
5. Carter, P. R. and C. C. Sheaffer. 1983. Alfalfa response to soil water deficit. I. Growth, forage quality, yield, water use, and water use efficiency. *Crop Science* 23: 669–675.
6. Clark, J. M. R., M. Depauw and T. F. Ownley-Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science* 32: 723-728.
7. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi and M. Gheysari. 2012. Drought-tolerance indices in a tall fescue population and its polycross progenies. *Crop and Pasture Science* 63: 360-369.
8. El-Tayeb, M. A. 2006. Differential responses of pigments, lipid per-oxidation, organic solutes, catalase and per-oxidase activity in the leaves of two *Vicia faba* L. cultivars to drought. *Intenational Journal of Agriculture and Biology* 8: 116-122.
9. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Research Communications* 31: 33–39.
10. Fernandez, G. C. I. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In:* Proceedings of the International Symposium "Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, AVRDC Publication. Tainan, Taiwan, pp. 257-270.
11. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
12. Frame, J. 2005. Forage Legumes for Temperate Grasslands. Science Publishers Inc. Enfield, NH, USA.
13. Gholipouri, A., M. Sedghi, R. S. Sharifi and N. M. Nazari. 2009. Evaluation of drought tolerance indices and their relationship with grain yield in wheat cultivars. *Recent Research in Science and Technology* 1: 195-198.
14. Halim, R. A., D. R. Buxton, M. J. Hattendorf and R. E. Carlson. 1989. Water deficit effects on alfalfa at various growth stages. *Agronomy Journal* 81: 765–770.
15. Keyvan, S. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Science* 8: 1051-1060.
16. Majidi, M. M. and A. Arzani. 2009. Evaluation of yield potential and genetic variation of morphological, agronomic and qualitative traits in sainfoin populations (*Onobrychis viciifolia* Scop.). *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Reources* 47: 557-570. (In Farsi).
17. Naderi, A., E. Majidi-Hervan, A. Hashemi-Dezfoli, A. Rezaei and G. Nourmohammadi. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. *Seed and Plant* 15: 390-402. (In Farsi).
18. Nasirzadeh, A. A. R. and M. Khoram Shokouh. 2003. Physiological effects of drought on germination and elongation in *Onobrychis* species. *Iranian Journal of Rangelands, Forest and Plant Breeding and Genetic Research* 11: 465-478. (In Farsi).
19. Nazari, L. and H. Pakniyat. 2010. Assessment of drought tolerance in barley genotypes. *Journal of Applied Science* 10: 151-156.
20. Ramak, P., R. Khavari Nezhad, H. Heidari Sharif Abad, M. Rafiee and K. Khademi. 2006. The effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two sainfoin species. *Iranian Journal of Rangelands, Forest and Plant Breeding and Genetic Research* 14: 80-91. (In Farsi).
21. Ramirez-Vallejo, P. and J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
22. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
23. Saba, J., M. Moghaddam, K. Ghassemi and M. R. Nishabouri. 2001. Genetic properties of resistance indices. *Journal of Agricultural Science and Technology* 3: 43-49.
24. Saeed, I. A. M. and A. H. El-Nadi. 1997. Irrigation effects on the growth, yield, and water use efficiency of alfalfa. *Irrigation Science* 17: 63– 68.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]

25. SAS. 1999. SAS/STAT users guide. SAS Institute, Inc, Cary, NC.
26. Schnider, K. A, R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Cazares-Enriques, J. A. Acosta-Gallegos, P. Ramirez-Vallejo, N. Wassimi and J. D. Kelly. 1997. Improvving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37: 43-50.
27. Simane, B., P. C. Struik, M. Nachit and J. M. Peacock. 1993. Ontogenetic analysis of yield omponents and yield stability of durum wheat in water limited environments. *Euphytica* 71: 211-219.
28. Sio-se Mardeh, A., A. Ahmadi and K. Poustini. 2006. Indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222–229.
29. Soorninia, F., M. Toorchi, M. Norouzi and M. R. Shakiba. 2012. Evaluation of Sunflower Inbred Lines under Drought Stress. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 2: 70-76.
30. Statgraphics. 2007. Statgraphics. Version 15.2.11: Stat Point Inc.
31. Stoyanov, Z. Z. 2005. Effects of water stress on leaf water relations of young bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central Europe Agriculture* 6: 5-14.
32. Tourchi, M., S. Aharizad, M. Moghaddam, F. Etedali and S. H. Tabataba Vakili. 2007. Determination of genetically parameters and combining ability of native sainfoin ecotypes for forage yield. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Reources* 40: 213-222. (In Farsi).
33. Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58: 339–366.
34. Vasipour, A., M. M. Majidi and A. Mirlohi. 2011. Traits Relationship in Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) under Normal and Water Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42: 745-756. (In Farsi).
35. Waghorn, G. C., W. T. Jones, I.D. Shelton and W. C. McNabb. 1990. Condensed tannins and the nutritive value of pasture. *In:* Proceedings of the New Zealand Grassland Association. pp. 171-176.
36. Witty, J. F., F. R. Minchin, J. E. Sheehy. 1983. Carbon costs of nitrogenase activity in legume root nodules determined using acetylene and oxygen. *Journal of Experimental Botany* 34: 951-963.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-16]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1394.5.18.29.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.353]