نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۶۲-۶۵۱

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 651-662

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذر و کارایی مصرف آب برگ و بذر چهار اکوتیپ وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) در شرایط تنش کم‌آبی

فرامرز رستگاری[۱]، عنایت‌اله توحیدی‌نژاد[۲*] و قاسم محمدی‌نژاد[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۲

رستگاری، ف.، توحیدی‌نژاد، ع.، و محمدی‌نژاد، ق.، ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذر و کارایی مصرف آب برگ و بذر چهار اکوتیپ وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) در شرایط تنش کم‌آبی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۶۲-۶۵۱.

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از راه‌های ممکن، جهت دست‌یابی به پایداری تولیدات گیاهی، استفاده بهتر از آب به‌واسطه کاشت گیاهان متحمل به کم‌آبی با نیاز آبی کمتر می‌باشد. وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) گیاهی فراموش شده و دارویی- صنعتی از خانواده بقولات است که در صنعت برای رنگ‌زایی و در طب سنتی برای درمان تنگی نفس و اسپاسم روده‌ای و نیز برای تقویت رشد مو و ... استفاده می‌شود. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد برگ خشک و بذر و کارایی مصرف آب چهار اکوتیپ وسمه در طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴، به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان جیرفت استان کرمان اجرا شد. عوامل کرت اصلی و فرعی به‌ترتیب شامل تنش کم‌آبی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) و اکوتیپ (جیرفت، رودبار، قلعه گنج و ریگان) بودند. میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی وسمه ۶۸۰۰ مترمکعب می‌باشد. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد برگ خشک وسمه، عملکرد بذر و کارایی مصرف آب بر پایه عملکرد برگ و بذر بود. نتایج نشان داد که تنش ۷۵ (تنش ملایم) و ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) عملکرد برگ خشک را به‌ترتیب ۸ و ۲۴ درصد و عملکرد بذر را ۱۶و ۵۹ درصد، نسبت به شاهد، کاهش داد. همچنین تنش ملایم و شدید به‌ترتیب موجب افزایش ۲۲ و ۵۳ درصدی کارایی مصرف آب برگ گردید. کارایی مصرف آب بذر در شرایط تنش ملایم، به‌میزان ۱۰ درصد افزایش یافت. در حالی‌که اعمال تنش شدید، کاهش۲۰ درصدی این پارامتر را به همراه داشت. در شرایط تنش شدید، بیشترین عمکلرد برگ خشک و بذر و نیز کارایی مصرف آب برگ، به‌ترتیب به‌طور میانگین به‌میزان ۵۱۰۰/۹ کیلوگرم در هکتار، ۳۳۱/۷۵ کیلو گرم در هکتار و ۱/۲۴ کیلو گرم در مترمکعب مربوط به اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار بود. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و نیز با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک جنوب کرمان و از طرفی، ضرورت تغییر الگوی کشت با محوریت صرفه‌جویی در مصرف آب و برتری ارزش اقتصادی، پیشنهاد می شود اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار جنوب وسمه را به‌عنوان گیاهی با نیاز آبی پایین در فصل تابستان و بعد از برداشت گندم و محصولات جالیزی کشت نمایند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کارایی مصرف آب بر پایه برگ و بذر، گیاه دارویی

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کم‌آبی عامل اصلی محدودکننده تولید گیاهان زراعی، باغی و داروئی محسوب شده (Reddy et al., 2004) که به‌واسطه ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و اختلالات متابولیسمی، بقاء و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Claeys & Inzé, 2013). در این مناطق، استفاده کارآمد از آب، از طریق توسعه گیاهانی با نیاز آبی کمتر و تحمل بیشتر به کم‌آبی، از جمله راهبردهای اساسی و میسر برای دست‌یابی به تضمین و پایداری تولید می‌باشد (Maleki et al., 2013). با توجه به موقعیت جغرافیایی

۱- دانشجوی دکتری زراعت گرایش اکولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: e_tohidi@mail.uk.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v12i4.77250

و اقلیمی ایران که در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد با وجود بحران آب، انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و لازمه آن کاشت گیاهان مقاوم به خشکی و با نیاز آبی کم می‌باشد (Safarnejad, 2004). در این خصوص، تعیین و انتخاب گیاهان دارویی متحمل به خشکی به‌لحاظ ارزش دارویی و اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد (Omidbaigi, 2008).

گیاه فراموش‌شده وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) گونه‌ای ارزشمند از خانواده بقولات است و در بسیاری از کشورهای جهان به‌عنوان گیاه زینتی برای تولید رنگ ایندیگو (رنگ‌های آبی برای رنگ‌آمیزی منسوجات) و همچنین به‌عنوان یک گیاه علفی- دارویی کاشت می‌گردد (Luiz-Ferreira et al., 2011; Puri et al., 2007). گونه‌های زراعی اصلی وسمه که برای تولید تجاری رنگ طبیعی آبی کاشت می‌شوند، شامل گونه بومی هند و آسیا (*Indigofera tinctoria* L.) و نیز گونه آنیل (*Indigofera suffruticosa* L.) بومی آمریکای مرکزی و جنوبی هستند (Cardon, 2007). ماده مؤثره موجود در برگ‌های گیاه وسمه، یک متابولیت ثانویه به‌نام گلوکوزید ایندیکان می‌باشد که پس از فرآوری و اکسیداسیون گیاه، رنگ آبی، رنگ ایندیگو، را تولید می‌کند (Feeser et al., 2012). در طب سنتی عصاره گیاهی وسمه برای سمیت‌زدایی خون، درمان تنگی نفس (Bangar et al., 2011)، درمان اسپاسم روده‌ای (Elghazali et al., 2003) و تقویت رشد مو (Muthulingam, 2010) توصیه می‌شود. همچنین بذر این گیاه دارای شش نوع روتنوئید (دگواتین، دهیدرودگواتین، روتنول، روتنون، تفروسین و سوماترول) می‌باشد (Annie Felicia, 2012).

کاشت گیاه داروئی- صنعتی وسمه در مناطق گرم و خشک جیرفت، کهنوج، بم و ایرانشهر استان کرمان سابقه طولانی دارد. اگرچه گیاه وسمه از جمله گیاهان سازگار به شرایط گرم و خشک است، امّا در مرحله جوانه‌زنی و استقرار اولیه به تنش کم‌آبی حساس می‌باشد. همچنین برای تولید بذر آن، دسترسی به آب کافی در زمان گل‌دهی لازم است (Taati et al., 2014). در همین راستا، محققین گزارش نموده‌اند که عملکرد زیست‌توده برگی، اجزای عملکرد و محتوی گیاه رنگ علاوه‌بر عوامل ژنتیکی به‌طور قابل توجهی متأثر از عوامل محیطی رشد می‌باشد (Angiliny et al., 2007) و تنش خشکی موجب کاهش زیست‌توده گیاه دارویی- صنعتی وسمه گردید (Sarhadi et al., 2014). تنش خشکی از طریق کاهش جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی، کاهش کارایی استفاده از تشعشعات فعال فتوسنتزی و در نهایت، کاهش شاخص برداشت، عملکرد گیاهان دارویی را کاهش می‌دهد (Earl & Davis, 2003; Barnabas et al., 2007).

در بررسی‌های انجام شده پیرامون فنولوژی گل‌دهی گیاه وسمه، گزارش گردید بیشترین تغییرات در مرحله آغازش و تشکیل اندام‌های تولیدمثلی بوده و در اواخر گل‌دهی تغییرات ثابت و یکنواخت بوده است (Kremer, 2002). چنین استنباط می‌گردد تأثیر هر گونه عامل تنش‌زا با شروع فعالیت‌های نموی منطبق بر تغییرات شدید آغاز گل‌دهی، تشکیل و تعداد اندام‌های تولیدمثلی از جمله تعداد غلاف و تعداد دانه را هدف قرار می‌دهد. در همین راستا، محقیقن متعددی حساسیت گیاه وسمه به تنش آبی در مراحل نموی و گل‌دهی را مورد تأیید قرار داده‌اند (Taati et al., 2014; Mohammed, 2006). محققین با بررسی اثر سطوح مختلف کود دامی و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد بذر و برگ گیاه وسمه، گزارش نمودند که بیشترین عملکرد برگ این گیاه در شرایط مصرف ۳۰ تن کود دامی در هکتار و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع حاصل شده است (Khorramdel et al., 2016).

با توجه به اهمیت گیاه دارویی- صنعتی وسمه، این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذر وکارایی مصرف آب اکوتیپ‌های رایج در شهرستان جیرفت استان کرمان در شرایط تنش خشکی، به‌منظور معرفی برترین اکوتیپ این گیاه جهت توصیه مجدد کاشت این گیاه در الگوی این شهرستان، به‌اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شهرستان جیرفت، اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان واقع در محدوده ۵۷ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی، ۴۲ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۷۱۰ متر از سطح دریا، در طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. خاک اراضی مورد نظر دارای بافت متوسط (لومی- شنی)، اسیدیته ۷/۸ و هدایت الکتریکی (EC) ۱/۵دسی‌زیمنس بود. میانگین دما و بارندگی در سال اول آزمایش به‌ترتیب ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۵۳ میلی‌متر و در سال دوم آزمایش ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد و ۲۱۱ میلی‌متر بود (جدول ۱). آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که

تنش خشکی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی محصول) به‌عنوان فاکتور اصلی و چهار اکوتیپ وسمه (جیرفت، رودبار ، قلعه گنج و ریگان) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. فاصله بین بلوک‌ها و کرت‌ها به‌ترتیب ۱/۵ و ۱ متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی شامل شش خط به‌طول چهار متر بود.

جدول ۱- میزان بارندگی و دما ماهیانه و میانگین سالیانه در دو سال آزمایش

Table 1- Monthly precipitation and temperature as well as annual average in two years of experiment

		ماه‌های سال Months of year												
	سال Year	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	میانگین سالیانه Average annual
بارندگی Precipitation (mm)	2015	29.0	13.6	-	–	–	–	–	–	0.2	23.4	8.1	78.7	153.0
	2016	7.6	8.7	–	–	–	–	–	129	–	59.8	0.9	5.0	211.0
دما Temperature (°C)	2015	22.1	27.9	33.5	35.32	35.5	32.3	28.7	20.0	15.6	13.8	16.5	15.9	25.0
	2016	24.8	30.4	34.6	36.2	35.3	32.7	28.7	21.6	14.9	13.5	13.7	19.6	25.6

بذر اکوتیپ‌های نام‌برده از بانک بذری مدیریت‌های جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان تهیه گردید. کاشت در اول خرداد ماه به‌صورت کپه‌ای با قرار دادن سه تا پنج بذر در کپه‌های به‌عمق سه سانتی‌متر و فاصله ۳۰ سانتی‌متر روی خط و ۵۰ سانتی‌متر بین خطوط انجام شد. در مرحله چهار برگی، عملیات تنک‌کاری صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت، انجام شد. با توجه به آسیب‌پذیری گیاه وسمه در مرحله سبز شدن و جوانه‌زنی (Mohammed, 2006)، به‌منظور جلوگیری از تنش کم‌آبی و سله‌بندی خاک، آبیاری‌های بعدی با فاصله یک روز در میان تا مرحله سبز شدن و ظهور گیاهچه ادامه یافت. پس از آن آبیاری به‌صورت هفتگی انجام شد. پس از استقرار کامل گیاه (ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری)، تیمارهای آبیاری بر حسب میزان تبخیر و تعرق روزانه از تشتک تبخیر و میزان آب مصرفی برآورد و اعمال شد. میزان آب مصرفی از طریق معادله ۱ برآورد شد (Alizadeh, 2oo4).

$$ETO = Kp \times Epan \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، ETO: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، Epan: تبخیر از تشتک و Kp: ضریب تشتک (معادل ۰/۷) می‌باشد. سپس میزان آب مصرفی گیاه با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Alizadeh, 2004).

$$ETc = ETO \times Kc \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، ETc: آب مصرفی گیاه و Kc: فاکتورهای گیاهی (با توجه به درختچه‌ای بودن وسمه این مقدار، ۱/۱ لحاظ گردید) می‌باشد.

در هر سه تیمار رطوبتی، آبیاری تا زمان استقرار کامل گیاه (۲۰ روز پس از کاشت)، در حد ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد. پس از استقرار کامل گیاه، آبیاری کرت‌های مربوط به تنش خشکی، در حد ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تنظیم گردید. در حالی‌که، در تیمار آبیاری نرمال تا انتهای فصل رشد، آبیاری کرت‌های آزمایشی در حد ۱۰۰ درصد نیاز آبی ادامه یافت. لازم به ذکر است مقدار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه وسمه ۶۸۰۰ مترمکعب می‌باشد که با احتساب راندمان آبیاری، میزان آب مصرفی در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در سال اول به‌ترتیب ۸۲۱۰، ۶۳۵۸ و ۴۳۰۵ و در سال دوم به‌ترتیب ۸۳۰۰، ۶۴۲۵ و ۴۳۵۰ مترمکعب در هکتار بود که توسط کنتور حجمی تنظیم و در اختیار گیاه قرار گرفت.

براساس نتایج آزمون خاک، جهت تغذیه گیاهی و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز (N-P-K) از منابع کودی اوره، سوپرفسفات تریپل و

سولفات پتاس با مصرف کل کود فسفاته و پتاسه و یک‌سوم نیتروژن همراه با تهیه زمین و باقی‌مانده نیتروژن یک ماه پس از سبز شدن، انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد برگ خشک در دو مرحله ۶۵ و۱۳۰ روز پس از سبز شدن، گیاه از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک برداشت شد. برگ‌ها جدا و با قرار دادن در آون به‌مدت ۴۸ ساعت با دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. در پایان فصل رشد (نیمه اول آبان ماه) پس از قهوه‌ای شدن غلاف‌ها و رطوبت ۱۲ درصدی دانه‌ها، برداشت از سطح دو مترمربع با لحاظ اثر حاشیه‌ای، صورت گرفت. پس از کوبیدن غلاف‌ها و جداسازی بذر، عملکرد بذر محاسبه شد. برای محاسبه کارایی مصرف آب ماده خشک برگ و بذر به‌ترتیب از نسبت عملکرد ماده خشک برگ و بذر به‌میزان آب مصرفی بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شد. با توجه به اینکه در طی فصل رشد بارندگی صورت نگرفت، فقط محتوی آب آبیاری لحاظ شد.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS v9.4 و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد خشک برگ اکوتیپ‌های مورد مطالعه داشت (جدول ۲). بالاترین عملکرد برگ خشک (۶۲۶۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد. تیمارهای ۷۵ (تنش ملایم) و ۵۰ درصد نیازی آبی (تنش شدید)، به‌ترتیب ۸/۵ و ۲۴ درصد، عملکرد خشک برگ را کاهش داد (جدول ۳). در بین اکوتیپ‌ها، بالاترین عملکرد خشک برگ (۵۹۹۸ کیلوگرم در هکتار) از اکوتیپ جیرفت به‌دست آمد و اکوتیپ‌های رودبار، قلعه گنج و ریگان به‌ترتیب با ۵۸۸۶، ۵۷۰۰ و ۴۷۶۷ کیلوگرم در هکتار (با ۲، ۵ و ۲۱ درصد کاهش) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر متقابل سال×تنش در سطح پنج درصد بر عملکرد برگ خشک معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بالاترین عملکرد برگ خشک ($kg.ha^{-1}$ ۶۵۸۳) درشرایط آبیاری کامل در سال دوم و کمترین عملکرد ($kg.ha^{-1}$ ۴۵۲۱/۳) در سال اول و تنش شدید به‌دست آمد. (جدول ۳). اثر متقابل سال×اکوتیپ نیز در سطح پنج درصد برعملکرد برگ خشک معنی‌دار بود، بالاترین عملکرد ($kg.ha^{-1}$ ۶۳۳۰) در سال دوم از اکوتیپ جیرفت و کم‌ترین عملکرد ($kg.ha^{-1}$ ۴۴۲۷/۳) در سال اول و از اکوتیپ ریگان به‌دست آمد. به‌علاوه در سال اول اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

همچنین عملکرد برگ خشک در سطح پنج درصد تحت تأثیر اثر متقابل تنش×اکوتیپ قرار گرفت. به‌طوری‌که بالاترین عملکرد برگ خشک از اکوتیپ‌های جیرفت ($kg.ha^{-1}$ ۶۶۵۶/۶) و رودبار جنوب ($kg.ha^{-1}$ ۶۵۸۳/۱) در شرایط نرمال آبیاری و در مقابل، کم‌ترین عملکرد از اکوتیپ‌های قلعه گنج ($kg.ha^{-1}$ ۴۸۴۴/۰) و ریگان ($kg.ha^{-1}$ ۴۰۲۴/۷) در شرایط تنش شدید حاصل گردید. لازم به ذکر است در شرایط تنش شدید بین اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۶). رشد گیاهان به‌واسطه یک سری فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نظیر فتوسنتز، تنفس، انتقال مواد، جذب یون‌ها و متابولیسم فراورده‌ها و مواد غذایی که مسئول وزن خشک گیاه هستند، تحقق می‌یابد (Kafi et al., 2010) و این فرایندها به‌طور مستقیم تحت تأثیر مقدار و پایداری آب قابل دسترس می‌باشند که با افزایش فاصله آبیاری این فرایندها دچار اختلال شده وگیاه نمی‌تواند به حداکثر پتانسیل تولید ماده خشک دست یابد (Emam & Zavareh, 2006).

از طرفی، تولید گیاه زراعی در شرایط تنش خشکی شدیداً تابع فرآیندهای تقسیم ماده خشک و توزیع در زیست‌توده می‌باشد و اغلب در این شرایط عمده مواد تولیدی از برگ‌ها با حفظ اولویت به اندام‌های زیرزمینی و سایر مقاصد فیزیولوژیکی ارسال و تخصیص می‌یابد (Kage, 2004)، به‌عبارتی، تنش خشکی جذب آب و مواد غذایی، سرعت رشد گیاه، طول فصل رشد، فتوسنتز گیاه، ارتفاع گیاه، سرعت رشد و توسعه ریشه را کاهش می‌دهد و در نهایت، مجموعه این عوامل موجب کاهش تولید ماده خشک گیاه می‌گردند (Pessarkli, 1999). چنین استنباط می‌گردد که با وجود اینکه گیاه وسمه در مراحل رشد رویشی به کم‌آبی سازگار می‌باشد، امّا به‌دلیل منطبق بودن تقویم زراعی رشد گیاه بر روزهای گرم تابستان با تبخیر و تعرق بالا، وقوع تنش کم‌آبی و همچنین خشکی هوا، با اختلال در فعالیت روزنه‌ای و تبادلات گازی، محدودیت فتوسنتز و افزایش تنفس گیاهی میزان رشد ساختار گیاه، توسعه برگ و در نهایت، تولید ماده خشک را

محدود نموده‌است. با این وجود، نتایج این مطالعه با یافته‌های قبلی در گیاه وسمه (Sarhadi et al., 2014; Mohammed, 2006) و گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) (Rezapour et al., 2012) مطابقت دارند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و کارایی مصرف آب اکوتیپ‌های وسمه

Table 2- Analysis of variance (mean squares) for drought stress effects on yield and water use efficiency (WUE) in indigo ecotypes

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	وزن خشک برگ Leaf dry weight	عملکرد بذر Seed yield	کارایی مصرف آب برگ WUE_{leaf}	کارایی مصرف آب بذر WUE_{Seed}
سال Year	1	6365193.07**	156705.75**	0.11^{ns}	0.003**
تکرار (سال) Replication (year) (Y)	4	1839949.7	122439.5	0.05^{ns}	0.003
تنش خشکی Drought stress (D)	2	13804858.7**	1269425.07**	0.96**	0.005**
D ×Y	2	47016.7^{*}	9241.9**	0.002*	0.00006**
خطا Error	8	440705.6	6200.1	0.001	0.00003
اکوتیپ Ecotype (E)	3	5666295**	54119.5**	0.17**	0.0015**
Y× E	3	53308.2*	734.14*	0.002*	0.00002^{ns}
تنش × اکوتیپ D × E	6	17971.5^{*}	1570.3**	0.004**	0.000004^{ns}
Y×E×Dt	6	9660.9^{ns}	325.1^{ns}	0.005^{ns}	0.00001^{ns}
خطا Error	36	15142.61	422.11	0.0006	0.000011
ضریب تغییرات CV (%)		2.2	3.66	2.62	3.69

ns: عدم اختلاف معنی‌دار

ns: Non-significant.

*و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **:Significant at 5 and 1% probability level, respectively.

عملکرد بذر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد بذر اکوتیپ‌های مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که تنش ملایم و شدید عملکرد بذر را به‌ترتیب ۱۶ و ۵۹ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش داد (جدول ۳). اختلاف بین اکوتیپ‌ها نیز معنی‌دار بود، به‌طوری‌که اکوتیپ جیرفت با ۶۱۵ کیلوگرم در هکتار برترین و اکوتیپ‌های رودبار، قلعه‌گنج و ریگان با ۵۸۷،۵۵۲ و ۴۸۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با ۴، ۱۰ و ۲۱ درصد اختلاف در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۳). اثر متقابل تنش و اکوتیپ در سطح پنج درصد به‌طور معنی‌داری عملکرد بذر را متأثر ساخت. به‌طوری‌که بالاترین عملکرد بذر ($kg.ha^{-1}$ ۸۱۲/۷) از اکوتیپ جیرفت در شرایط نرمال آبیاری و کم‌ترین عملکرد بذر ($kg.ha^{-1}$ ۲۹۴/۵) نیز از اکوتیپ قلعه‌گنج در شرایط تنش شدید حاصل شد، به‌علاوه در شرایط تنش شدید اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۶). عملکرد بذر اکوتیپ‌های مطالعه شده در سطح احتمال پنج درصد نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات متقابل سال× اکوتیپ قرار گرفت، بالاترین عملکرد بذر ($kg.ha^{-1}$ ۶۶۲/۲) در سال دوم و از اکوتیپ جیرفت و کمترین عملکرد بذر ($kg.ha^{-1}$ ۴۳۳/۴) با ۳۵ درصد اختلاف در سال اول از اکوتیپ ریگان به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات گیاهی چهار اکوتیپ وسمه در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 3- Means comparison of plant characteristic of indigo ecotypes under normal and drought stress conditions

تیمارها Treatments	عملکرد خشک برگ Leaf dry yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بذر Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب برگ Leaf water use efficiency ($kg.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب بذر Seed water use efficiency ($kg.m^{-3}$)
سال Year				
2014-15	5290.3 a*	513.63 a	0.91 a	0.083 a
2015-16	5885 a	606.93 a	0.99 a	0.095 a
تنش خشکی Stress				
شاهد Normal	6263.94 a	747.31 a	0.76 c	0.09 b
تنش ملایم Mild stress	5731.32 b	630.02 b	0.93 b	0.1 a
تنش شدید Severe stress	4767.65 c	303.50 c	1.16 a	0.07 c
اکوتیپ‌ها Ecotypes				
جیرفت Jiroft	5998.2 a	614.8 a	1.02 a	0.098 a
رودبار Roudbar	5885.97 b	586.7 b	1.00 b	0.093 b
قلعه گنج Ghale-Ganj	5699.85 c	552.01 c	0.97 c	0.087 c
ریگان Rigan	4766.53 d	487.6 d	0.81 d	0.077 d

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column, followed by similar letter(s) for each component are not significantly different at 5% probability level, using Duncan´ s Multiple Rang Test.

اثر متقابل سال×تنش در سطح احتمال پنج درصد نیز بر عملکرد بذر معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد ($۸۰۶/۲ kg.ha^{-1}$) در سال دوم و شرایط نرمال آبیاری و کم‌ترین عملکرد ($۳۰۳/۵ kg.ha^{-1}$) طی دو سال و شرایط شدید تنش حاصل شد، به‌علاوه عملکردهای حاصل از سال اول و شرایط نرمال آبیاری با عملکردهای سال دوم و تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴). فراهم بودن رطوبت قابل دسترس خاک به‌واسطه توسعه ساختار گیاه و جذب انرژی تابشی بیشتر موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهی می‌گردد. به عبارتی دیگر، تنش وارده از طریق ایجاد محدودیت در رشد و تولید ماده خشک، تخصیص و تسهیم بین اندامی و انتقال مجدد، متأثر ساختن تعداد و اندازه دانه شاخص برداشت را کاهش می‌دهد (Goldani & Rezvani Moghaddam, 2006). در تأیید این موضوع می‌توان به نتایج مطالعات انجام شده توسط سایر محققین در تأیید حساسیت گیاه وسمه به تنش کم‌آبی در مراحل نموی و گل‌دهی و همچنین اتفاق نظر محققین مبنی بر کاهش شاخص برداشت گیاهان دارویی و معطر تحت شرایط خشکی اشاره نمود (Barnabas et al., 2007; Earl & Davis, 2003). با این وجود، نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات قبلی ارائه شده در گل مکزیکی (*Agastache foeniculum* L.) (Mohammed et al., 2002)، در سویا (*Glycine max* L.) (Kobraei et al., 2011) و در کدو تنبل (*Cucurbita maxima* L.) (Aghayee & Ehsanzadeh, 2012) مطابقت دارد.

جدول ٤- اثر متقابل تیمارهای سال (سال اول: ٩٤-١٣٩٣ و سال دوم: ٩٥-١٣٩٤) و تنش خشکی بر عملکرد برگ، بذر و کارایی مصرف آب وسمه
Table 4- Mean comparisons for interaction effects of year (first year: 2014-2015 and second year: 2015-2016) and drought stress on dry leaf yield, grain yield and water use efficiency (WUE) of seed and leaf

تنش Stress	عملکرد برگ خشک Leaf dry weight ($kg.ha^{-1}$)		عملکرد بذر Seed yield ($kg.ha^{-1}$)		کارایی مصرف آب برگ Leaf water use efficiency ($kg.m^{-3}$)		کارایی مصرف آب بذر Seed water use efficiency ($kg.m^{-3}$)	
	سال Year							
	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second
شاهد Control	5944.1 *b	6583.8 a	688.4 b	806.2 a	0.73 f	0.79 e	0.08 c	0.09 b
تنش ملایم Mild stress	5405.5 c	6057.12 b	573.0 c	687.1 b	0.88 d	0.97 c	0.09 b	0.11 a
تنش شدید Severe stress	4521.3 e	5014.0 d	279.4 d	327.5 d	1.11 b	1.21 a	0.07 e	0.08 d

* در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* Means in each column and for each parameter, followed by similar letter(s) for each component are not significantly different at 5% probability level, using Duncan´ s Multiple Rang Test.

کارایی مصرف آب برگ (WUE_{leaf})

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب برگ اکوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی-دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین صفت مذکور نشان داد که با افزایش شدت تنش ملایم و شدید کارایی مصرف آب برگ به‌ترتیب ۲۲ و ۵۳ درصد افزایش یافت (جدول ۲). تفاوت کارایی مصرف آب برگ اکوتیپ‌ها نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که اکوتیپ جیرفت با کارایی مصرف ۱/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب برترین و اکوتیپ‌های رودبار جنوب، قلعه‌گنج و ریگان به‌ترتیب با کارایی مصرف آب ۱، ۰/۹۷ و ۰/۸۱کیلوگرم بر مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش×اکوتیپ در سطح احتمال پنج درصد بر کارایی مصرف آب برگ معنی‌دار بود. به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید، بالاترین کارایی مصرف آب برگ بدون اختلاف آماری معنی‌دار از اکوتیپ‌های جیرفت (۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و رودبار جنوب (۱/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و در مقابل، کم‌ترین آن مربوط به اکوتیپ ریگان (۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب) بود (جدول ۶). اثرات متقابل سال×اکوتیپ نیز بر صفت مذکور در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، برترین کارایی مصرف آب برگ (۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) در سال دوم به اکوتیپ جیرفت و کم‌ترین آن (۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در سال اول به اکوتیپ ریگان تعلق گرفت، ضمن اینکه بین اکوتیپ جیرفت در سال اول با قلعه‌گنج در سال دوم، رودبار و قلعه‌گنج در سال اول تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

علاوه‌براین اثرات متقابل سال×تنش بر صفت مذکور معنی‌دار بود، برترین کارایی مصرف آب برگ (۱/۲کیلوگرم بر مترمکعب) از سال دوم و شرایط تنش شدید و کم‌ترین آن (۰/۷۳کیلوگرم بر مترمکعب) از سال اول و شرایط نرمال آبیاری حاصل شد (جدول ۴). چروت و همکاران (Cheruth et al., 2008) در بررسی و ارزیابی واکنش دو واریته گل پریوش (*Catharanthus roseus* L.) به تنش آبی گزارش کردند که کارایی مصرف آب هر دو واریته در شرایط تنش افزایش یافته‌است. در شرایط تنش ملایم به‌دلیل بسته شدن جزئی روزنه‌ها و کاهش تعرق کارایی مصرف آب افزایش، امّا در شرایط تنش شدید به‌دلیل بسته شدن کامل روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و عملکرد، کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد (Emam & Zavareh, 2006).

باتوجه به سازگاری بلندمدت اکوتیپ‌ها متأثر از شرایط اقلیمی استنباط می‌گردد ساختار رشد بوته‌ای بسته،کوتاه‌تر و زودرسی در

مراحل فنولوژی در اکوتیپ‌های قلعه گنج و ریگان تا انشعابات باز، بلندتر و رسیدگی متعادل‌تر در اکوتیپ‌های رودبار و جیرفت متأثر از شرایط گرم و خشک‌تر همراه با وزش بادهای گرم تابستانه قلعه‌گنج و ریگان نسبت به شرایط مناسب و مطلوب‌تر در جیرفت می‌تواند زمینه برتری اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار جنوب در کارایی جذب تشعشع، تولید و تسهیم ماده خشک و در نهایت، تفاوت در عملکرد زیست‌توده و بذر را فراهم نماید.

جدول ۵- اثر متقابل تیمارهای سال (سال اول: ۹۴-۱۳۹۳ و سال دوم: ۹۵-۱۳۹۴) و اکوتیپ بر عملکرد بذر، برگ خشک و کارایی مصرف آب
Table 5- Interaction effect of year (first year: 2014-2015 and second year: 2015-2016) and ecotype on seed yield, dry leaf yield and water use efficiency (WUE)

اکوتیپ‌ها Ecotypes	عملکرد برگ خشک Leaf dry weight ($kg.ha^{-1}$)		عملکرد بذر Seed yield ($kg.ha^{-1}$)		کارایی مصرف آب برگ WUE_{Leaf} ($kg.m^{-3}$)	
	سال Year					
	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second
جیرفت Jiroft	5666.1 *d	6330.3 a	567.4 d	622.2 a	0.97 cd	1.07 a
رودبار Roudbar	5588.2 de	6183.7 b	540.2 e	633.2 b	0.96 ed	1.04 b
قلعه گنج Ghale-Ganj	5479.5 e	5920.2 c	513.5 f	590.5 c	0.94 e	0.99 c
ریگان Rigan	4427.4 g	5105.6 f	433.45 g	541.73 e	0.76 g	0.86 f

* در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* Means in each column and for each parameter, followed by similar letter(s) for each component are not significantly different at 5% probability level, using Duncan´ s Multiple Rang Test.

جدول ٦- اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و اکوتیپ بر عملکرد برگ خشک، بذر و کارایی مصرف آب برگ
Table 6- Interaction effect of year and ecotype on seed yield, dry leaf yield and leaf water use efficiency (WUE)

اکوتیپ‌ها Ecotypes	عملکرد برگ خشک Leaf dry weight ($kg.ha^{-1}$)			عملکرد بذر Seed yield ($kg.ha^{-1}$)			کارایی مصرف آب برگ WUE_{Leaf} ($kg.m^{-3}$)		
	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress
جیرفت Jiroft	6659.6 *a	6199.4 c	5135.7 g	812.7 a	689.3 d	342.3 h	0.81 f	1.00 c	1.25 a
رودبار Roudbar	6583.12 a	6008.7 d	5066.1 g	782.7 b	656.12 e	321.2 h	0.80 f	0.97 ed	1.23 a
قلع گنج Ghale-Ganj	6412.12 b	5843.3 e	4844.0 h	737.4 c	624.1 f	294.5 i	0.78 f	0.95 e	1.18 b
ریگان Rigan	5400.90 f	4873.8 h	4024.7 i	656.3 e	550.5 g	256 j	0.66 g	0.79 f	0.98 cd

* در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* Means in each column and for each parameter, followed by similar letter(s) for each component are not significantly different at 5% probability level, using Duncan´ s Multiple Rang Test.

کارایی مصرف آب بذر (WUE_{seed})

نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب بذر اکوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)، به‌طوری که کارایی مصرف آب بذر در شرایط نرمال آبیاری ۰/۰۰۹

کیلوگرم بر مترمکعب بود و در شرایط تنش ملایم با ۱۰ درصد افزایش به ۰/۱ کیلوگرم بر مترمکعب رسید و با افزایش شدت تنش با ۲۰ درصد کاهش به ۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب نقصان یافت (جدول ۳). تفاوت کارایی مصرف آب بذر اکوتیپ‌ها نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که اکوتیپ جیرفت با کارایی مصرف ۰/۰۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب برترین و اکوتیپ‌های رودبار جنوب، قلعه‌گنج و ریگان به‌ترتیب با کارایی مصرف آب بذر ۰/۰۹۳، ۰/۰۸۷و ۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

اثر متقابل سال×تنش نیز در سطح احتمال پنج درصد بر صفت کارایی مصرف آب بذر اکوتیپ‌های مطالعه شده معنی‌دار بود، بالاترین کارایی (۰/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب) در سال دوم و تنش ملایم و کم‌ترین کارایی (۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در سال اول و تنش شدید حاصل شد، ضمن اینکه بین کارایی حاصل از سال دوم و شرایط نرمال آبیاری باکارایی سال اول و تنش ملایم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). در تحقیقات انجام شده افزایش کارایی مصرف آب در نتیجه اعمال تنش خشکی گزارش شده است و علت این امر می‌تواند به‌دلیل هدررفت آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در شرایط عدم تنش در مقایسه با تنش خشکی باشد (Allen & Maski, 1993). همچنین در تحقیق انجام شده روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مشاهده شد که در شرایط تنش آبی و در نتیجه، تعرق کمتر گیاه،کارایی مصرف آب لوبیا افزایش قابل توجهی یافت که این نتایج با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت داشت (Wakarim et al., 2005).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر می توان بیان داشت که تنش کم‌آبی عملکرد برگ خشک و بذر و نیز کارایی مصرف آب گیاه وسمه را تحت تأثیر قرار داد. اگرچه اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار جنوب وسمه، نسبت به اکوتیپ‌های قلع گنج و ریگان از تنش خشکی کمتر اثر پذیرفتند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و نیز با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک جنوب کرمان و از طرفی، ضرورت تغییر الگوی کشت با محوریت صرفه‌جویی در مصرف آب و برتری ارزش اقتصادی، می‌توان کاشت اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار جنوب را در فصل تابستان در تناوب بعد از گندم و محصولات جالیزی توصیه نمود.

References

Aghayee, A.H., and Ehsanzadeh, M., 2012. Effect of irrigation and nitrogen on yield and some physiological parameters of pumpkin paper. Journal Horticultural Science 42(3): 291-299.

Alizadeh, A., 2004. Soil water-plant relationship publishing center of Mashhad, Imam Reza University, 6th Ed., ISBN: 964-6582-57-5, p. 302. (In Persian with English Summary)

Allen, R.R., and Musik, J.T., 1993. Planting date, water management and maturity length relations for irrigated grain sorghum. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 36: 1123-1129.

Bangar, V.A., and saralaya, M.G., 2011. Anti-hyperglycaemic activity of ethanol extract and chlroform extract of *Indigofera tinctoria* leaves in streptozotocin induced diabetic mice (Family- Papilionaceae). Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Science 2(1): 445-455.

Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A., 2007. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant, Cell and Environment 31(1): 11-38.

Cardon, D., 2007. Natural Dyes: Sources, Tradition, Technology and Science, Archetype Publications, London.

Cheruth, A.J., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M., and Panneerselvam, R., 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. Comptes rendus Biologies 331(1): 42-47.

Claeys, H., and Inzé, D., 2013. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. Plant Physiology 162: 1768-1779.

Earl, H., and Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696.

ElGhazali, G.E., Abdalla, W.E., Khalid, H.E., Khalafal, M.M., and Hamad, A.A., 2003. Medicinal plants of the Sudan .Medicinal plants of the Ingassana area. Part V. Ministry of Science and Technology, National Centre for Research, Medicinal and Aromatic Plants Institute, Khartoum.

Emam, Y., and Zavaerh, M., 2006. Drought Tolerance in Higher Plants. Publishing Center of Tehran University, p. 186. (In Persian)

Feeser, A., Goggin, M.D., and Tobin, B.F., 2012. The Materiality of Color- The production, circulation and application of dyes and pigments. MPG Books Group, UK.

Goldani, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2006. Effect of planting date and drought levels on yield and yield components of rain fed and irrigated pea in Mashhad. Journal of Agricultural Research 2(2): 229-239. (In Persian with English Summary)

Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, A., Kamandi, A., Massomi, A., and Nabati, C.J., 2010. The Physiology of Environmental Stress in Plants. Published by University of Mashhad, Mashhad, Iran. p. 502. (In Persian)

Kage, H., Kochler, M., and Stutzel, H., 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. European Journal of Agronomy 20: 379-394.

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Houshmand, M., and Moallem-Benhangi, F., 2016. Effect of different levels of manure and plant density on yield and yield components of grain and leaf of indigo. Plant Products Research Journal 23: 117-143.

Kobraei, S., Etminan, A., Mohammadi, R., and Kobraee, S.O., 2011. Effects of drought stress on yield and yield components of soybean. Annals of Biological Research 2(5): 504-509.

Kremer, D., 2002. Phenology of summer flowering of some woody plants in the botanical garden of the faculty of natural sciences and mathematics. Sumarski-List 126: 489-499.

Luiz-Ferreira, A., Cola, M., Barbastefano, V., Farias-Silva, E., Calvo, T.R., Almeida, A.B.A.D., Pellizzon, C.H., Hiruma-Lima, C.A., Vilegas, W., and Souza-Brito, A.R.M., 2011. *Indigofera suffruticosa* Mill. as new source of healing agent: involvement of prostaglandin and mucus and heat shock proteins. Journal of Ethnopharmacology 137: 192–198.

Maleki, A., Naderi, R., Naseri, A., Fathi, A., Bahamin, S., and Maleki, R., 2013. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. Bulletin of Environment Pharmacology and Life Science 2(6): 38-44.

Mohammed, N., 2006. Potentialities of indigo plant (*Indigofera tinctoria*) production in the Sudan for domestic use, and exportation. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Khartoum.

Muthulingam, M., Mohandoss, P., Indra, N., and Sethupathy, S., 2010. Anti-hepatotoxic efficacy *Indigofera tinctoria* (Linn.) on paracetamol induced liver damage in rats. International Journal of Pharmacy and Biological Research (1): 13-18.

Omidbaigi, R., 2008. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Ghods Press, Mashhad, Iran.Vol. 3, 5th Ed. P. 348. (In Persian)

Pessarkli, M., 1999. Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker. New York Inc. p. 697.

Puri, A., Khaliq, T., and Rajendran, S.M., 2007. Antidyslipidemic activity of *Indigofera tinctoria*. Journal of Pharmaceutical and Herbal 7: 57–64.

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekananda, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plant. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.

Rezapour, A., Heidari, K., Golvi, K., and Ramroudi, K., 2012. Effects of drought stress and different amounts of sulfur fertilizer on yield and yield components of black cumin grains and adjustment of osmotic regulators. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Researches 27(3): 396-384. (In Persian with English Summary)

Safarnejad, A., 2004. Characterization of somaclones of *Medicago sativa* L. for drought tolerance. Journal of Agricultural Science and Technology 6: 121-127.

Sarhadi, H., Afsharmanesh, G.R., and Mokhtari, Z., 2014. Effect of drought Stress on some morphological traits and seed yield of indigo (*Indigofera Tinctoria* L.) under different levels of nitrogen. International Journal of Science 3: 2319-5037.

Taati, F., Talebi, H., Ebadi, M.T., Khoshnood Yazdi, A., and Dadkhah, A., 2014. Effect of drought and salt stress conditions on germination factors of indigo (*Indigofera tinctoria*). Environmental Stresses in Crop Science 7: 119-112.

Wakarim, A., Aganchich, H., Tahi, H., Serraj, R., and Wahabi, S., 2005. Comparative effects of PRD and regulated deficit irrigation on water relation and water use efficiency in *common bean*. Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 275-782.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 651-662

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۶۲-۶۵۱

Evaluating the Yield of Dry Leaf and Seed and Leaf and Seed Water Use Efficiency of four Indigo (*Indigofera tinctorial* L.) Ecotypes under Water Deficit conditions

F. Rastegari[1], E. Tohidinejad[2*] and G. Mohammadi-nejad[2]

Submitted: 17-11-2018
Accepted: 22-01-2019

Rastegari, F., Tohidinejad, E., and mohamadi-nejad, G., 2021. Evaluation of yield of dry leaf and seed and leaf and seed water use efficiency of four indigo (*Indigofera tinctorial* L.) ecotypes under water deficit conditions. Journal of Agroecology 12(4):651-662.

Introduction

In arid and semi-arid regions, efficient use of water through improved cultivars with less water requirement and more drought tolerance is a basic important way to achieve assurance and stability of crop production. Water use efficiency (WUE) indicates the amount of consumed water for yield production and is defined as the ratio of dry matter or economic yield weight (g) to used water weight (m^3). Indigo varieties are grown in many countries as ornamental plants for indigo color production and also as medicinal vegetative plants. Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) is a valuable species of legumes that it's cultivation have an old background in Jiroft, Kahnooj, Bam and Iranshahr. It is known as a drought tolerant plant but in seedling stage, it is sensitive to water stress and requires sufficient water for seed production in flowering time. The aim of this experiment is evaluation of leaf and grain yield and WUE in existent and prevalent indigo ecotypes in Kerman south region in order to select the best ecotype for planting in this region in future.

Material and Methods

This experiment was conducted during two years in Jiroft, Kerman, as split plot based on a randomized complete block design with three replications. Different irrigation levels (50, 75 and 100% of water requirements) and four ecotypes (Jiroft, Kahnooj, Rigan and Ghaleh-Gange) were considered as the main and sub plots, respectively. The leaf dry weight, seed yield, water use efficiency base on leaf and seed were measured.

Results and Discussion

The results of ANOVA indicated that drought stress has significant effect on all of the measured traits. In addition the effect of drought × year was considerable on seed yield and seed WUE, while it was not on leaf yield and leaf WUE. The most seed yield obtained in normal condition in second year and the most seed WUE was reported in same year in average drought stress. For all of traits, the highest means obtained from normal conditions except for leaf WUE, which was obtained from severe stress conditions. Ecotype effect was remarkable for all of traits. Ecotype×year and ecotype×drought effects were significant for leaf WUE. Ecotype×drought was significant about seed yield too. For ecotype×year effect, highest leaf WUE was related to Jiroft ecotype in second year and for ecotype×drought effect the highest means of leaf WUE and seed yield were related to Jiroft in severe drought stress conditions and normal conditions, respectively. However, the results of this research showed that Jiroft and Roudbar ecotypes had higher leaf dry weight (5100.9 $kg.ha^{-1}$), seed yield

1- PhD Candidate in Agronomy-Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. P.O.Box: 76169-133.
(*- Corresponding Author Email: e_tohidi@mail.uk.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i4.76653

(331.75 kg.ha^{-1}) and water use efficiency of leaf (1.24 kg.m^{-3}) compared to other ecotypes under severe water stress conditions.

Conclusion

The results of this experiment indicated that drought stress notably influences leaf and seed yield in indigo. With consideration of drought × ecotype effect, in severe drought conditions Jiroft and south Roodbar ecotypes had no significant difference and these two ecotypes had the highest means for all of traits. Management of production conditions in order to leaf yield improvement is necessary since the aim of indigo cultivation is leaf production and color industry. In this way, as warm and drought climate conditions in sought of Kerman and necessity of cultivation pattern change in order to water economize and increase economic value, cultivation of these two ecotypes is recommended in alternation after wheat and vine crops.

Keywords: Drought stress, Water use efficiency base on leaf and seed