به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ٤ ■ زمستان ١٤٠٠
صفحه‌های ۸۰۸-۷۹۵
DOI: 10.22059/jci.2021.312132.2465

مقاله پژوهشی:

ارزیابی تحمل تنش آبی، عملکرد علوفه خشک و صفات بیوشیمیایی پنج رقم یونجه

محمود مرادی چگنی[۱]، احمدعلی شوشی دزفولی[۲*]، محمود توحیدی[۳]، مهدی صادقی[۳]، فربد فتوحی[۳]
۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران.
۲. استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.
۳. استادیار، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹

چکیده
یکی از اقدامات مهم جهت دستیابی به ارقام متحمل به خشکی، غربال‌گری و انتخاب ارقام براساس عملکرد و صفات بیوشیمیایی می‌باشد. این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به‌روش کرت‌های یک‌بار خردشده در سه تکرار طی دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۶) در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول انجام شد. در کرت‌های اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری براساس ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیازآبی و در کرت‌های فرعی پنج رقم یونجه بغدادی، نیک‌شهری، یزدی، امید و مساسرسا مقایسه شدند. نتایج نشان داد تنش آبی ناشی از رژیم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه خشک و تغییرات معنی‌دار مقدار قند محلول، میزان گلوتاتیون پراکسیداز و میزان کاتالاز موجود در برگ یونجه شد، اما تأثیر معنی‌دار بر پروتئین کل محلول نداشت. برترین کلاس آماری عملکرد علوفه خشک هر چین به رقم بغدادی با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی با عملکرد علوفه خشک ۲/۸۲٤ تن در هکتار و کم‌ترین کلاس آماری نیز به رقم‌های یزدی و مساسرسا با آبیاری براساس ۲۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با عملکرد علوفه خشک ۰/۵۹۸ و ۰/٥٤٦ تن در هکتار تعلق داشت. بین رقم‌های مورد بررسی، رقم یزدی به‌دلیل پایداری عملکرد علوفه خشک و هم‌چنین مقادیر بالای آنتی‌اکسیدان در برگ تحت تنش آبی، به‌عنوان رقم متحمل به تنش آبی شناخته شد.

کلیدواژه‌ها: آنتی‌اکسیدان، تنش آبی، علوفه، قند محلول، کاتالاز.

Evaluation of Water Stress Tolerance, Dry Forage Yield and Biochemical Traits of Five Alfalfa Cultivars

Mahmood Moradi Chegeni[1], Ahmad Ali Shoushi Dezfuli[2*], Mahmood Tohidi[3], Mehdi Sadeghi[3], Farbod Fotouhi[3]
1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Dezful branch, Dezful, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Seed and Plant Improvement Research Department, Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Resources Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Dezful branch, Dezful, Iran.
Received: November 23, 2020 Accepted: May 9, 2021

Abstract
One of the important activities to achieve drought tolerant cultivars is screening and selection of cultivars, based on yield and biochemical characteristics. A split-plot experiment arranged in a randomized complete blocks design with three replications has been carried out in Safiabad Agricultural Research Center during two growing seasons (2017-19). The main plots are consisted of different irrigation regimes based on crop's water requirement (25%, 50%, 75%, and 100%) and sub plots include five levels of alfalfa cultivars (Baghdadi, Nikshahri, Yazdi, Omid, and american Mesa-Sirsa). Results show that drought stress due to irrigation regimes have resulted in a significant reduction of forage dry matter yield and considerable changes of soluble sugar, glutation peroxidase, and catalase in alfalfa leaves. However, it has not greatly affected total protein. For forage dry matter yield, the highest statistical class belongs to Baghdadi cultivar under 100% water requirement supply treatment (2.824 $t.ha^{-1}$). The lowest statistical class for forage dry matter yield has been observed in Yazdi and Mesa-Sirsa cultivars under 25% water requirement supply treatment (0.598 and 0.546 $t.ha^{-1}$), respectively. Among the cultivars, examined in this experiment, Yazdi has been identified as a drought tolerant cultivar due to the stability of dry forage yield as well as high leaf antioxidants content.

Keywords: Antioxidant, water stress, fodder, soluble sugar, catalase.

* نویسنده مسئول
Email: a.shoushi@areeo.ac.ir

۱. مقدمه

یونجه (*Medicago sativa* L.) مهم‌ترین گیاه علوفه‌ای ایران و بسیاری از نقاط جهان بوده و به ملکه نباتات علوفه‌ای مشهور است (Nekoyanfar *et al*., 2017). خاستگاه یونجه منطقه شمال‌غرب ایران، آناتولی شمال ترکیه و قفقاز می‌باشد. عقیده کلی بر این است که یونجه از ایران منشأ گرفته و اولین بار به‌وسیله اروپایی‌ها به شمال امریکا انتقال یافته است (Lacefied *et al*., 2005). براساس اطلاعات مندرج در برخی منابع، یونجه دارای ۵۱ گونه چندساله و دگرگشن (از جمله گونه زراعی *Medicago sativa*) و ۳٤ گونه یک‌ساله و خودگشن می‌باشد (Small & Jomphe, 1988). براساس بررسی‌های انجام‌شده طی دهه‌های ٦۰ و ۷۰ خورشیدی حدود ۱٤ گونه یونجه در ایران گزارش شده است (Diwan *et al*., 1997). یونجه نسبت به سایر گیاهان علوفه‌ای به‌دلیل کیفیت بالای علوفه تولیدی (دارابودن بیش از ۲۰ درصد پروتئین)، تنوع در مصرف (محصول تازه، خشک و سیلوی یونجه)، سازگاری بسیار بالا در اقلیم‌ها و شرایط مختلف طبیعی، نقش مهمی در کشاورزی پایدار و پایداری تولید دارد (Shoushi Dezfuli *et al*., 2017). کشور ایران از نظر شرایط آب و هوایی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و از ویژگی‌های این مناطق می‌توان به تبخیر زیاد، نزولات آسمانی کم و پراکنش نامنظم بارندگی و تجمع املاح در قشر سطحی و پروفیل خاک اشاره نمود (Majnoon Hoseini & Davazdah Emami, 2007). متوسط بازده آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری در اراضی فاریاب کشور صرف‌نظر از محصولات زراعی، تناوب و ریزش‌های جوی به‌ترتیب برابر ۳۷ درصد و ۰/۸ کیلوگرم محصول تولیدی به ازای واحد آب مصرفی (مترمکعب) گزارش شده که در مقایسه با متوسط جهانی پایین است (Ahmadi *et al*., 2015).

یونجه از گیاهان متحمل به خشکی است که قابلیت خواب در شرایط خشک‌سالی را دارد و بنابراین یکی از معدود گیاهانی است که می‌تواند دوباره احیا شود (Zhang *et al*., 2019). Yadavi *et al*. (2000) با آنالیز روند رشد یونجه تحت شرایط تنش آبی دریافتند که کاهش طول ساقه، ریشه و مساحت برگ بعد از ۱٤ روز اعمال تنش آبی ایجاد می‌شود. میزان خسارت وارده به گیاه یونجه در مراحل رشدی مختلف تحت تنش آبی، متفاوت است و بیش‌ترین خسارت تنش، در مراحل اولیه رشدی یا مرحله گیاهچه‌ای و هم‌چنین مرحله گلدهی و تولید بذر صورت می‌پذیرد (Defez *et al*., 2017). یونجه به‌دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق، گیاهی متحمل به خشکی با توانایی بقا در ماه‌های خشک برای مناطق کم‌آب محسوب می‌شود (Abadouz *et al*., 2013). با این وجود برای تولید یونجه با عملکرد مطلوب نیاز به مقادیر زیادی آب است (Shalhevet, 1993) و تنش آب مهم‌ترین عامل محدودیت فیزیولوژیکی، عملکرد، رشد و نمو و کیفیت علوفه یونجه محسوب می‌شود (Li *et al*., 2010).

مجموع اثرات تنش آبی، تنش اسمزی و یونی، منجر به وقوع تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی خواهد شد که ناشی از افزایش تولید انواع اکسیژن فعال (ROS)[1] است. انواع اکسیژن فعال از جمله محصولات اجتناب‌ناپذیر فرایندهای حیاتی سلول نظیر تنفس، فتوسنتز و تنفس نوری به شمار می‌آیند (Del Rio *et al*., 2006). سلول‌های گیاهی جهت مقابله با اثرات مخرب انواع اکسیژن فعال، از یکسری مکانیسم‌های دفاعی برخوردار هستند اکثر این مکانیسم‌های دفاعی، از همکاری آنتی‌اکسیدان‌ها و آنزیم‌های آن‌ها تشکیل شده است. از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌توان به سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز ردوکتاز، آسکوربات

1. Reactive oxygen species

پراکسیداز، مونودهیدرو آسکوربات ردوکتاز و دهیدروآسکوربات ردوکتاز اشاره کرد. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مختلف با میزان تحمل به شوری و خشکی در گیاهان همبستگی دارد (Demiral & Turkan, 2005).

Zeid & Shedeed (2006) گزارش نمودند که واکنش ارقام یونجه در برابر تنش آبی براساس رقم موردبررسی متفاوت است. به‌طوری‌که تعدادی از ارقام یونجه با بستن روزنه‌های خود باعث کاهش تعرق و تلفات آب شده و از این طریق کارایی مصرف آب افزایش خواهد یافت، برخی دیگر از ارقام نیز تعداد روزنه‌های خود را در هنگام تنش کاهش می‌دهند و یا با کاهش سطح برگ باعث کم‌کردن تلفات آب و افزایش راندمان مصرف آب می‌شوند. این پژوهش‌گران محتوای آب سلول را در شرایط رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه، ۷۹/۷ درصد و در شرایط تنش آبی شدید ٦٣/٨ درصد گزارش کردند.

شاخص‌های مختلفی جهت ارزیابی تحمل به خشکی در محصولات زراعی مورداستفاده قرار می‌گیرد. ارزیابی تحمل به خشکی ۱۱ اکوتیپ یونجه با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که در شرایط تنش ملایم و شدید آبی شاخص‌های GMP، MP، HARM و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تعیین ارقام متحمل در یونجه می‌باشند (Basafa & Taherian, 2010). در پژوهش دیگری تحمل به خشکی ۱۱ اکوتیپ یونجه همدانی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی بررسی شد هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش و عدم تنش آبی و شاخص‌های GMP، MP و STI نشان داد که شاخص‌های مذکور بهترین شاخص‌ها جهت ارزیابی تنش در یونجه می‌باشند (Beheshti, 2016). با توجه به محدودیت منابع آب و تنوع تنش آبی (مانند افزایش فاصله بین نوبت‌های آبیاری و کاهش مقدار آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری)، شناسایی سازوکارهای تحمل به تنش آبی با هدف بهبود و اصلاح عملکرد یونجه، اهمیت بالایی دارد. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تنش آبی ناشی از رژیم آبیاری بر عملکرد علوفه و مؤلفه‌های بیوشیمیایی یونجه اجرا شده است، تا با شناسایی این اثرات، علاوه بر ارزیابی پاسخ ارقام یونجه گرمسیری (به‌ویژه رقم جدید امید) به تنش آبی، امکان شناسایی ارقام متحمل به تنش در یونجه فراهم شود.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به‌روش کرت‌های یک‌بار خردشده در سه تکرار طی دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹٦) در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول اجرا شد. سال اول به‌عنوان سال استقرار یونجه در مزرعه در نظر گرفته شده و یادداشت‌برداری صفات انجام نشد. تعداد چین برداشتی در سال دوم (از ابتدای آبان‌ماه ۱۳۹۷ تا ابتدای آبان‌ماه ۱۳۹۸) ۱۱ نوبت بود که با توجه به بارش‌ها و عدم امکان پوشش کل سطح مزرعه آزمایش، اعمال رژیم‌های آبیاری در سال دوم برای شش چین ۱۲ خردادماه، ۹ تیرماه، ۵ مردادماه، ۲ شهریورماه، ۳۰ شهریورماه و ۱ آبان‌ماه انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۱) نشان داده شده است. براساس نتایج آزمون خاک پس از تهیه زمین، فسفات آمونیوم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم روی سطح خاک پاشیده شد و با عملیات دیسک مجدد با خاک مخلوط شده و پس از آن جویچه‌هایی به فواصل ٦٠ سانتی متر با توجه به نقشه طرح روی زمین پیاده شد. هر تکرار دارای چهار پلات اصلی (مربوط به مقادیر مختلف آبیاری شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی) و هر پلات اصلی شامل پنج پلات فرعی (ارقام یونجه بغدادی، امید، نیک شهری، یزدی و مساسرسا) بود.

جدول ۱. متوسط ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک (cm)	OC (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	رطوبت وزنی (درصد)		بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری ($gr.cm^{-3}$)
				FC	PWP		
۰–۳۰	۰/۷۵	۱/۲	۷/٤	۲۲	۱۲	لومی رسی سیلتی	۱/٦۱
۳۰–٦۰	۰/۵	۱/۱	۷/۳	۲۲	۱۲	لومی رسی سیلتی	۱/٦۸
٦۰–۹۰	۰/٤۷	۰/۸	۷/٤	۲۲	۱۲	لومی رسی سیلتی	۱/۷

PWP: رطوبت حد پژمردگی دائمی، **FC**: ظرفیت زراعی، **pH**: اسیدیته، **EC** هدایت الکتریکی، **OC**: کربن آلی خاک.

جدول ۲. خصوصیات ارقام مورداستفاده در پژوهش (Rahnama *et al.*, 2017; Khodabandeh, 2010; Mazahery Laghab, 2008)

رقم	مبدأ	بهترین منطقه کشت	میانگین ارتفاع بوته (cm)	عملکرد ماده خشک در سال زراعی ($ton.ha^{-1}$)	تعداد چین در هر سال	سازگاری محیطی
بغدادی	عراق	خوزستان و بوشهر	۸۰–۱۰۰	۱۷	۱۰–۱۱	تحمل بسیار بالا نسبت به گرما و خشکی
نیک‌شهری	ایران	نیک شهر، چابهار و بندر عباس	۱۰۰–۱۱۰	۱۵	۱۳	تحمل بالا نسبت به گرما و حساس به سرما
یزدی	ایران	یزد	۵۰–٦۵	۱٦	۷	تحمل بالا نسبت به گرما و خشکی و حساس به سرمای طولانی مدت
مساسرسا	آمریکا	مناطق گرمسیری	۸۰–۱۰۰	۱۸	۱۰–۱۱	تحمل بسیار بالا نسبت به گرما و خشکی
امید	ایران	مناطق گرمسیری‌ایران	۸۰–۱۰۰	۱۹	۱۰–۱۱	تحمل بسیار بالا نسبت به گرما

ارقام موردبررسی اکوتیپ‌های برتر مناطق گرمسیری به‌همراه اولین رقم معرفی‌شده مناطق گرمسیری ایران (رقم امید) بود (جدول ۲).

تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه و میزان بذر مصرفی نیز ۲۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد (Rahnama *et al.*, 2017). برای افزایش دقت در اعمال رژیم‌های آبیاری از روش آبیاری قطره‌ای تیپ (لوله‌های تیپ با ضخامت ۱۷۵ میکرون با فواصل روزنه ۲۰ سانتی‌متر) استفاده شد. مجموعه لوله‌های مربوط به هر یک از رژیم‌های آبیاری به یک کنتور دقیق و شیرفلکه متصل شد. اولین چین‌برداری در فروردین‌ماه سال اول انجام گرفت. رژیم‌های مختلف آبیاری براساس سطوح فاکتور اصلی برای شش چین بهاره و تابستانه در سال دوم انجام گرفت. به این‌صورت که برای هر نوبت آبیاری (رژیم آبیاری)، میزان آب آبیاری براساس نیاز آبی گیاه محاسبه شد. محاسبه نیاز آبی گیاه براساس رابطه ساده تشتک تبخیر $ETC=Kp\times Epan\times Kc$ بود. حجم آب برحسب مترمکعب براساس مساحت هر کرت (برحسب مترمربع) و عمق ناخالص (تبدیل میلی‌متر به متر) با توجه به رژیم آبیاری و دور آبیاری اعمال شد. دور آبیاری برای تمام رژیم‌های آبیاری ثابت و به‌صورت دو تا سه روزه بود. نمونه‌برداری برای صفات میزان قند محلول، پروتئین کل محلول، فعالیت آنزیم کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز در چین سوم یک روز قبل از چین‌برداری انجام گرفت به این‌صورت که از هر کرت ۱۰ بوته و از هر بوته پنج برگ توسعه‌یافته انتهایی و جوان (با موقعیت مشابه) به شکل تصادفی انتخاب شد و پس از عملیات عصاره‌گیری، میزان آنتی‌اکسیدان‌های موردمطالعه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک در

هر برداشت، نمونه یک کیلوگرمی از علوفه‌تر (پس از حذف خطوط حاشیه و نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت) به‌طور تصادفی بعد از عملیات چین‌برداری از هر کرت توزین و در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت سه روز قرار داده شد و عملکرد علوفه خشک برحسب تن در هکتار در هر چین، محاسبه شد. برای تجزیه واریانس از میانگین اعداد مربوط به شش چین استفاده شد. برای برآورد پروتئین کل محلول از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. جهت این کار برای هر نمونه گیاهی سه تکرار در نظر گرفته شد و با استفاده از از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Analytik Jena AG ساخت کشور ژاپن) در طول موج ۵۹۵ نانومتر مقدار پروتئین کل محلول نمونه‌ها محاسبه شد.

برای استخراج و اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در ٤ درجه سلسیوس از بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار شامل EDTA ۱ میلی‌مولار و PVPP ۲ درصد، استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز بدنبال کاهش جذب H_2O_2 با ضریب خاموش (۳۹/٤ Mm^{-1}/cm^{-1}) به‌مدت ۲ دقیقه در ۲٤۰ نانومتر طبق روش Chance & Maehly (1955) تعیین شد. جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز از روش Nickel & Cunningham (1969) استفاده شد. محلول واکنش، حاوی بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH= 7)؛ پیاکول ۲۵ میلی مولار، H_2O_2 ۱۰ میلی مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیم بود. فعالیت این آنزیم با افزایش جذب در ٤۷۰ نانومتر به‌مدت ۷۰ ثانیه قرائت شد.

میزان قند محلول برگ با استفاده از روش فنول سولفوریک اسید و استاندارد گلوکز تعیین شد (Desingh & Kangaraj, 2007). در پژوهش حاضر جهت تعیین رقم‌های متحمل و حساس به خشکی، شاخص‌های STI (شاخص تحمل به تنش)، MP (شاخص میانگین بهره‌وری)، TOL (شاخص تحمل)، SSI (شاخص حساسیت به تنش) و YSI (شاخص پایداری عملکرد) با استفاده از عملکرد علوفه خشک رقم‌های موردبررسی در سطوح تنش آبی (آبیاری برمبنای تأمین ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی برای سه حالت تنش به‌ترتیب ملایم، متوسط و شدید) طبق روابط زیر محاسبه شد.

$MP= (Yp + Ys)/2$ (Rosielle & Hamblin, 1981)
$TOL= Yp – Ys$ (Rosielle & Hamblin, 1981)
$SSI = 1– (Ys/ Yp) /SI$ (Fischer & Maurer, 1978)
$SI= 1 – (\hat{Y}s/ \hat{Y}p)$
$STI= (Ys). (Yp)/ (\hat{Y}p)^2$ (Fernandez, 1992)
$YSI=Y_S/Y_p$ (Fernandez, 1992)

در تمام معادلات بالا، Yp و Ys به‌ترتیب به معنای عملکرد علوفه خشک هر رقم تحت شرایط نرمال و تنش و $\hat{Y}p$ و $\hat{Y}s$ به‌ترتیب به معنای میانگین عملکرد علوفه خشک کل رقم‌ها تحت شرایط نرمال و تنش می‌باشد.

۲. ۱. تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به صفات یادشده، با نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹.۳) تجزیه و تحلیل واریانس و هم‌چنین مقایسه میانگین به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq ۰/۰۵$) انجام شد. جهت تعیین روند تغییرات صفات موردبررسی در سطوح مختلف تنش آبی، برای هر یک از ارقام موردمطالعه از روش رگرسیون پلی‌نومیال (به‌دلیل ضریب تبیین بالا) استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. عملکرد علوفه خشک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد علوفه خشک و صفات بیوشیمیایی نشان داد اثر رژیم آبیاری و هم‌چنین رقم در سطح یک درصد برای عملکرد علوفه خشک معنی‌دار بود، وجود اثر معنی‌دار (در سطح پنج درصد) برهم‌کنش رقم و رژیم آبیاری برای عملکرد علوفه خشک بیانگر عکس‌العمل متفاوت رقم‌های یونجه در سطوح مختلف رژیم آبیاری برای صفت مذکور بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم، برای

صفت عملکرد علوفه خشک در هر چین (مربوط به شش چین ۱۲ خردادماه، ۹ تیرماه، ۵ مردادماه، ۲ شهریورماه، ۳۰ شهریورماه و ۱ آبان‌ماه) در جدول (٤) نشان داده شده است. رابطه رگرسیونی و نمودار رگرسیون بین عملکرد علوفه خشک و تنش آبی ناشی از رژیم آبیاری برای ارقام یونجه مورد بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد علوفه خشک و صفات بیوشیمیایی

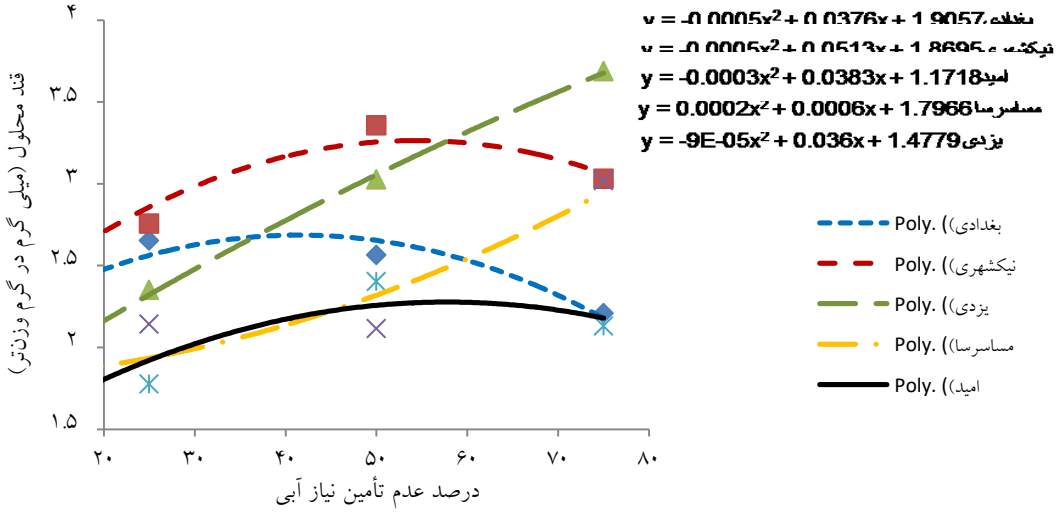
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد علوفه خشک	قند محلول	گلوتاتیون پراکسیدار (GSH)	پروتئین کل محلول	کاتالاز
تکرار	۲	۰/۱۸۱۱	۰/٦٤٤	۱٥٦/۰۱۹	۸۹۳٥۰	۰/۰٤۳
رژیم آبیاری (A)	۳	۷/٦۰۲٦**	٤/۲۰۸**	٤۲۲/۱۷۷*	۱۰٦۰٤ns	۰/۲۷٦*
خطا	٦	۰/۱٥۳۸	۰/۳۰٦	٥٤/٥۰۱	۳٦٦۸۲	۰/۰٥۲
رقم (B)	٤	۰/۹۰٦۲**	۱/٤٤٤**	۳۹۲/٥۳٥**	۳۷٤٥٤ns	۲/۹٦۳**
اثر متقابل A×B	۱۲	۰/۰۸۲٥*	۰/٤۳٤*	۱٦۲/۰۰۸**	۱٤۲۱٦ns	۰/۷٥۹**
خطا	۳۲	۰/۰۳۲۰	۰/۱٦۸	۳٦/٥٤۲	٤۷٦۷۰۱	۰/۰٥٦
ضریب تغییرات (%)		۱۱/۷۲	۱۷/۲۸	۱۳/۱۳	۱٤/۳۹	۱٥/۱۸

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری و رقم‌های یونجه

رژیم آبیاری	رقم	عملکرد علوفه خشک در هر چین (ton.ha^{-1})	قند محلول (mg.gr^{-1}FW)	گلوتاتیون پراکسیداز (واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ)	کاتالاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ)
۱۰۰ درصد	بغدادی	۲/۸۲٤a	۱/۸۷٦e-i	٤۲/٤٥۱e-g	۱/۳٤۷cde
۱۰۰ درصد	نیک شهری	۲/۲۷٦bc	۱/۹۰۳e-i	٤۳/۳۷۹d-g	۱/٥٥۳c
۱۰۰ درصد	یزدی	۱/٦٤٦d	۱/٤٦۸hi	۳۹/۸۸٤fg	۱/۲۲۰cde
۱۰۰ درصد	مساسرسا	۲/۰۰٤c	۱/۷۲۸hi	۳۸/۱۱۲fg	۱/۲۸۳cde
۱۰۰ درصد	امید	۲/۱٥۱c	۱/۲۲۰i	۳٥/۰۳٥g	۱/٥۱۱c
۷٥ درصد	بغدادی	۲/٥۱٥b	۲/٦۲٦b-e	۳۷/۰۳fg	۱/۰۲۹de
۷٥ درصد	نیک شهری	۲/۱۳٤c	۲/۷٥۷bcd	٥٥/۳۱٤bc	۱/٥٦۳c
۷٥ درصد	یزدی	۱/٦۲٦d	۲/۳٥۲c-g	٤۷/٤٥۷bf	۲/۳٤۰b
۷٥ درصد	مساسرسا	۱/۹٤۹c	۲/۱٤۱d-h	۳۹/۳۳٥fg	۱/٥٦۸c
۷٥ درصد	امید	۱/۹۸۸c	۱/۷۷۷f-i	٤۱/۱۷۱efg	۱/۳۱۷cde
٥۰ درصد	بغدادی	۱/٥۹۲d	۲/٥٦٥c-f	٥٤/۳۸۷bcd	۱/۲٦۱cde
٥۰ درصد	نیک شهری	۱/٤۷۳d	۳/۳٥٦ab	٤۲/٤۷۲efg	۱/۳۷۲cde
٥۰ درصد	یزدی	۰/۹٤٦e	۳/۰۲٦abc	٥۸/۱٦۷b	۲/٦۲۷b
٥۰ درصد	مساسرسا	۱/۰٤۷e	۲/۱۱٤dh	۳۹/٤٤٤fg	۱/۱۷۲cde
٥۰ درصد	امید	۱/۰۲۹e	۲/٤۰۲c-g	٤٦/٦۰٥c-g	۱/۳٤۸cde
۲٥ درصد	بغدادی	۰/۷۷۷ef	۲/۲۰۸d-h	٥۲/۸۱۲b-e	۱/٤۳۹cd
۲٥ درصد	نیک شهری	۰/۷۱٤ef	۳/۰۳۰abc	٤٥/۲۲٥c-g	۰/۹٦٥e
۲٥ درصد	یزدی	۰/٥۹۸f	۳/٦۷۸a	۷٤/۰۸۸a	۳/٥۷٥a
۲٥ درصد	مساسرسا	۰/٥٤٦f	۳/۰۱۸abc	٤٤/٥۲۹c-g	۱/٤٥۲cd
۲٥ درصد	امید	۰/۷۲۰ef	۲/۱۳۱d-h	٤۳/۷٥۸c-g	۱/۱٤۲cde

***: در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه در آزمون دانکن (پنج درصد) تفاوت معنی‌دار ندارند.**



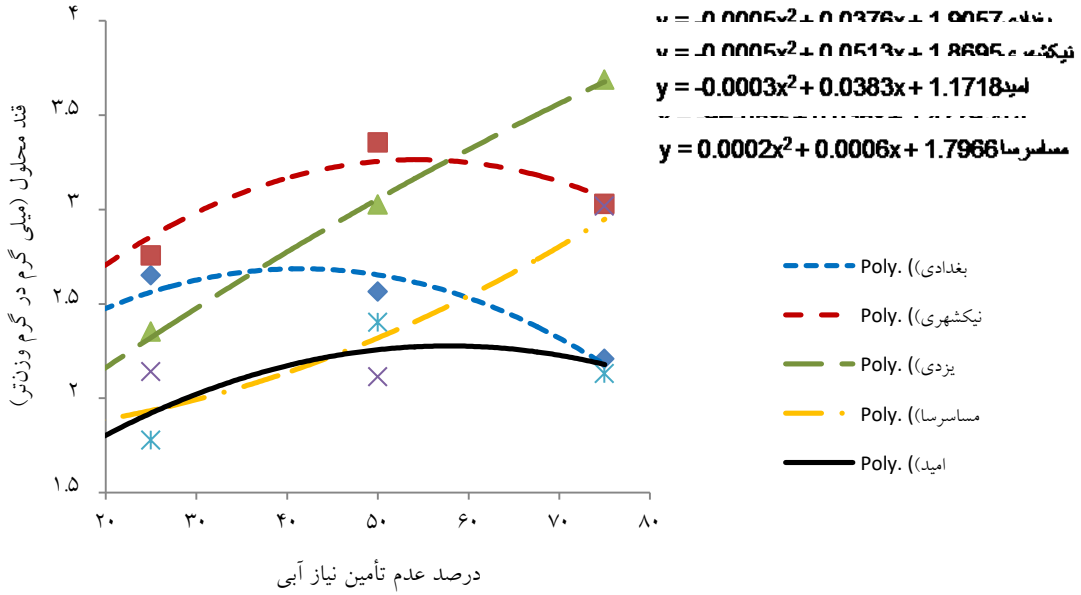
شکل ۱. نمودار و رابطه رگرسیونی بین عملکرد علوفه خشک و سطوح تنش آبی در ارقام موردمطالعه

براساس شکل (۱) با کاهش میزان آب آبیاری عملکرد علوفه خشک روندی کاهشی داشت، اما میزان کاهش برای صفت عملکرد علوفه خشک بین رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد) و آبیاری براساس ۷۵ درصد نیاز آبی کم بود (جدول ٤). طبق جدول (٤) برترین کلاس آماری برای عملکرد علوفه خشک مربوط به رقم بغدادی با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (با عملکرد علوفه خشک ۲/۸۲٤ تن در هکتار) و کم‌ترین کلاس آماری برای عملکرد علوفه خشک نیز به رقم‌های یزدی و مساسرسا با آبیاری براساس ۲۵ درصد نیاز آبی تعلق داشت (به‌ترتیب با عملکرد علوفه خشک ۰/۵۹۸ و ۰/٥٤٦ تن در هکتار). ولی اختلاف معنی‌دار بین رقم‌های مورد مطالعه در رژیم آبیاری براساس ۲۵ درصد نیاز آبی وجود نداشت (جدول ٤). در این آزمایش تنش آبی موجب کاهش عملکرد علوفه خشک شد. به‌طورکلی، در یونجه تنش آبی با کوتاه کردن دوره رشد گیاه (Muller *et al.*, 2011)، کاهش طول ساقه، ریشه و مساحت برگ (Yadavi *et al.*, 2000) و پیری زودرس برگ (Gregersen *et al.*, 2013) ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش عملکرد علوفه می‌شود. کاهش ماده خشک علوفه در اثر تنش آبی ناشی از رژیم آبیاری در این پژوهش با نتایج پژوهش‌های Mathobo (2017) و Li *et al.* (2010) در یک راستا بود.

۳. ۲. قند محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمارهای رژیم آبیاری و رقم بر صفت میزان قند محلول برگ یونجه در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). روند تغییرات میزان قند محلول در برگ با افزایش تنش آبی در ارقام موردبررسی روندی متفاوت داشت. به‌طوریکه با افزایش تنش آبی میزان قند محلول در ارقام یزدی و مساسرسا افزایشی ولی در ارقام دیگر تا سطح تنش ۵۰ درصد نیاز آبی افزایشی و با بیشتر شدن تنش آبی، کاهشی بود (شکل ۲).

در این پژوهش با افزایش تنش آبی ناشی از رژیم آبیاری، میزان قند محلول با شیب بیش‌تری در یونجه یزدی نسبت به دیگر رقم‌ها افزایش یافت (شکل ۲).



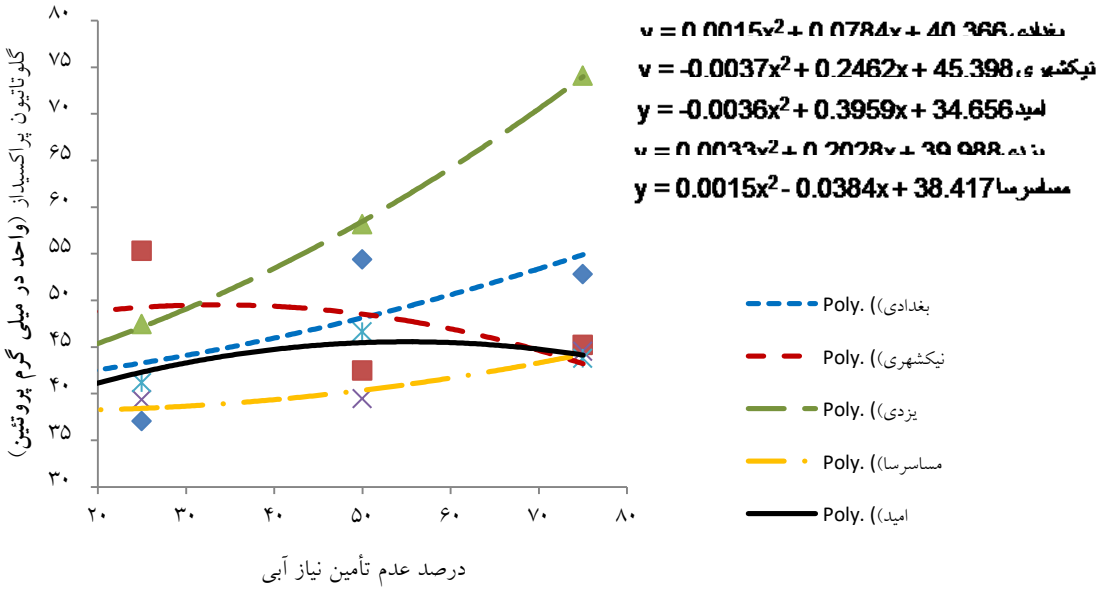
شکل ۲. نمودار و رابطه رگرسیونی بین میزان قند محلول در برگ و سطوح تنش آبی در ارقام مورد مطالعه

وضعیت مذکور در یونجه یزدی بیانگر تحمل بهتر تنش آبی این رقم نسبت به ارقام دیگر به‌دلیل پتانسیل اسمزی منفی‌تر در برگ و انجام بهتر تنظیم اسمزی از طریق تجمع قندهای محلول بود (Ghorbani *et al.*, 2006). بالاترین کلاس آماری برای قند محلول با ۳/٦٨ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ به رقم یزدی در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی تعلق داشت و کم‌ترین کلاس آماری با ۱/۲۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ به رقم امید در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی متعلق بود، هرچند که در سطح معنی‌دار پنج درصد در رژیم آبیاری براساس ۱۰۰ نیاز آبی تفاوتی بین رقم‌های موردمطالعه وجود نداشت (جدول ٤). مقدار بالای قند محلول در رقم یزدی در شرایط تنش آبی بیانگر تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، به‌منظور حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرایندهای وابسته به آن بوده و نوعی سازگاری به تنش آبی است. به‌طور کلی در زمان کمبود آب نگهداری پتانسیل آب برای رشد پیوسته و یکنواخت گیاه ضروری است و این امر از طریق سازوکارهای تنظیم اسمزی ناشی از تجمع مواد محلول سازگار مانند پرولین و قند محلول در سیتوپلاسم امکانپذیر است (Basu *et al.*, 2007).

۳. ۳. گلوتاتیون پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر رقم و برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر صفت گلوتاتیون پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد و رژیم آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). نمودار و رابطه رگرسیونی بین میزان گلوتاتیون پراکسیداز در برگ و سطوح تنش آبی در ارقام مورد مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است.

براساس شکل (۳) میزان گلوتاتیون پراکسیداز در برگ با افزایش تنش آبی در ارقام موردبررسی روندی متفاوت داشت. به‌طوری‌که با افزایش تنش آبی روند تغییرات گلوتاتیون پراکسیداز در ارقام یزدی، بغدادی و مساسرسا افزایشی ولی در ارقام دیگر تقریباً ثابت بود.



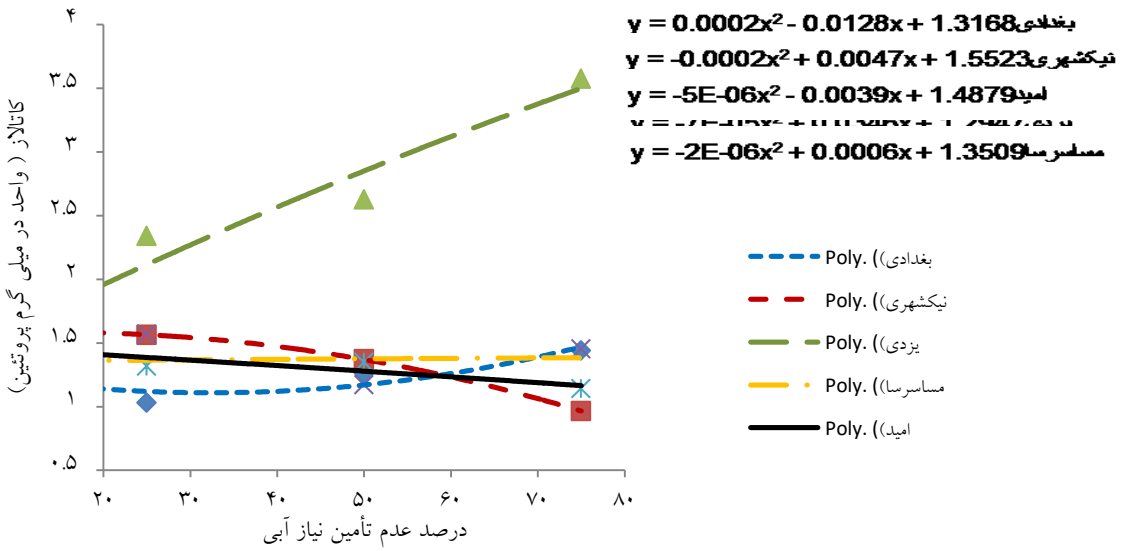
شکل ۳. نمودار و رابطه رگرسیونی بین میزان گلوتاتیون پراکسیداز در برگ و سطوح تنش آبی در ارقام مورد مطالعه

البته با افزایش تنش آبی شیب روند تغییرات گلوتاتیون پراکسیداز در رقم یزدی تندتر از ارقام بغدادی و مساسرسا بود (شکل ۳).

برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم نشان داد بیش‌ترین و بالاترین کلاس آماری برای صفت گلوتاتیون پراکسیداز با ۷٤/۰۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین به رقم یزدی در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی متعلق بود (جدول ٤). در رژیم آبیاری براساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی، اختلافی بین رقم‌های مورد مطالعه برای صفت میزان گلوتاتیون پراکسیداز وجود نداشت، اما در رژیم‌های آبیاری دیگر، رقم یزدی اختلاف معنی‌دار با دیگر رقم‌ها داشت. به‌عبارت دیگر، با افزایش تنش آبی مقادیر بیش‌تری از آنتی‌اکسیدان گلوتاتیون پراکسیداز در برگ‌های این رقم تجمع یافته بود (جدول ٤). آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز موجب شکسته‌شدن پراکسید هیدروژن در سلول می‌شود و بدین شکل از بالارفتن گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه تنش اکسیداتیو جلوگیری می‌کند (Foyer & Nector, 2005). در زمان وقوع تنش آبی در گونه‌های متحمل یونجه مقادیر بیش‌تری آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز نسبت به گونه‌های حساس به خشکی، ایجاد می‌شود (Naya *et al.*, 2007). در پژوهش حاضر، بالابودن میزان آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در برگ‌های یونجه یزدی نسبت به رقم‌های دیگر در زمان تنش آبی نشان‌دهنده تحمل بالای تنش در این رقم بود.

۳. ٤. پروتئین کل محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمارهای رژیم آبیاری، رقم و برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر صفت پروتئین کل محلول تأثیر معنی‌دار نداشتند (جدول ۳). در این پژوهش به‌دلیل عدم تأثیر معنی‌دار سطوح رژیم آبیاری، رقم و برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر صفت پروتئین کل محلول، مقایسات میانگین به‌روش دانکن و هم‌چنین نمودار و رابطه رگرسیونی بین پروتئین کل محلول در برگ و سطوح تنش آبی در ارقام مورد مطالعه رسم نشد.



شکل ٤. نمودار و رابطه رگرسیونی بین میزان کاتالاز در برگ و سطوح تنش آبی در ارقام مورد مطالعه

۳. ۵. کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمارهای رقم و برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر صفت کاتالاز در سطح احتمال یک درصد و رژیم آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). نمودار و رابطه رگرسیونی بین میزان کاتالاز در برگ یونجه و سطوح تنش آبی در ارقام موردمطالعه در شکل (٤) نشان داده شده است.

همانند آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز با افزایش تنش آبی ناشی از رژیم آبیاری، میزان کاتالاز در برگ رقم یونجه یزدی روندی افزایشی داشت، اما افزایش تنش آبی باعث تغییرات معنی‌داری در میزان کاتالاز ارقام دیگر یونجه موردمطالعه نشد. برای مقابله با تنش اکسیداتیو، مکانیسم دفاع آنتی‌اکسیدانی برای محافظت از گیاهان فعال می‌شود. کاتالاز به‌عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدانی عمل کرده و در حذف و جاروکردن پراکسید هیدروژن تولیدشده در پراکسیزوم‌ها و کاهش اثرات تخریبی گونه‌های اکسیژن فعال نقش مهمی بر عهده دارد (Simova-Stoilova *et al.*, 2008). در این مطالعه روند افزایشی میزان کاتالاز در برگ‌های یونجه یزدی در نتیجه افزایش تنش آبی بیانگر پتانسیل بالای دفاعی این رقم در مقابل تنش آبی بود. نتیجه مذکور با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده توسط Asilan *et al.* (2010) بر برخی ارقام یونجه ایرانی هماهنگی داشت. در مطالعه‌ای که بر شش رقم یونجه توسط دیگر پژوهش‌گران نیز انجام گرفت، نشان داده شد که در رقم متحمل یونجه Xinmo افزایش فعالیت کاتالاز سبب افزایش پتانسیل دفاعی گیاه در مقابل تنش آبی شده و میزان تحمل این گیاه نسبت به شرایط تنش آبی بهبود پیدا کرد (Wang *et al.*, 2009). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم نشان داد بالاترین کلاس آماری با بیش‌ترین کاتالاز با ۳/۵۷ واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ به رقم یزدی در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی و کم‌ترین کلاس آماری با ۱/۰۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ به رقم بغدادی در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی متعلق بود (جدول ٤). در این پژوهش، وجود مقادیر بالای کاتالاز در رقم یزدی بیانگر فعالیت بالاتر این آنزیم در رقم مذکور نسبت به دیگر رقم‌های موردمطالعه بود.

۳. ٦. ارزیابی تحمل تنش آبی رقم‌های یونجه

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی تحمل تنش در محصولات زراعی معرفی شده‌اند. در این پژوهش علاوه بر عملکرد علوفه خشک در سطوح تنش آبی (آبیاری بر مبنای تأمین ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی برای سه حالت تنش به‌ترتیب ملایم، متوسط و شدید) از شاخص‌های STI (شاخص تحمل به تنش)، TOL (شاخص تحمل)، SSI (شاخص حساسیت به تنش)، MP (میانگین بهره‌وری) و YSI (شاخص پایداری عملکرد) استفاده شد (جدول ۵).

برای محاسبه شاخص‌های تنش، مجموع عملکرد علوفه خشک حاصل از شش چین ۱۲ خردادماه، ۹ تیرماه، ۵ مردادماه، ۲ شهریورماه، ۳۰ شهریورماه و ۱ آبان‌ماه مورداستفاده قرار گرفت. براساس داده‌های جدول (۵)، رقم بغدادی دارای بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک در شرایط عدم تنش (۱٦/۹٤۸ تن در هکتار) و هم‌چنین تنش آبی (تنش ملایم ۱۵/۰۹٤ تن در هکتار، تنش متوسط ۹/۵۵۸ تن در هکتار و تنش شدید ٤/٦٦٤ تن در هکتار) بود. این رقم با ویژگی STI بالا درکلیه سطوح تنش آبی (۱۹/۵٦ در تنش ملایم، ۱۲/٤ در تنش متوسط و ٦/۰ در تنش شدید) متحمل‌ترین رقم بین رقم‌های یونجه گرمسیری مورد مطالعه شناخته شد.

از طرفی رقم یونجه یزدی با کم‌ترین عملکرد علوفه خشک در شرایط بدون تنش (۹/۹ تن در هکتار) و شرایط متفاوت تنش آبی (تنش ملایم ۹/۷۵٦ تن در هکتار، تنش متوسط ۵/٦۷۸ تن در هکتار و تنش شدید ۳/۵۹۲ تن در هکتار) و با داشتن کم‌ترین STI درکلیه سطوح تنش آبی (۷/۳٦۵ در تنش ملایم، ٤/۲۸ در تنش متوسط و ۲/۷۱۲ در تنش شدید)، حساس‌ترین رقم شناخته شد. شاخص STI معمولاً با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش هم‌بستگی دارد و رقم‌هایی که پتانسیل عملکرد بالاتری دارند از طریق این شاخص به‌عنوان رقم‌های متحمل‌تر شناسایی می‌شوند (Dehbalaei *et al*., 2013).

جدول ۵. عملکرد علوفه خشک و شاخص‌های تنش برای توده‌های مختلف یونجه در شرایط تنش ملایم، متوسط و شدید خشکی (ناشی از رژیم آبیاری)

سطوح تنش آبی	رقم	Yp	Ys	TOL	YSI	STI	SSI	MP
تنش ملایم	بغدادی	۱٦/۹٤۸	۱۵/۰۹٤	۱/۸۵٤	۰/۸۹۱	۱/٤۹٤	۱/۷۲۷	۱٦/۰۲۱
	نیک‌شهری	۱۳/٦۵۸	۱۲/۸۰٦	۰/۸۵۲	۰/۹۳۸	۱/۰۲۲	۰/۹۸۵	۱۳/۲۳۲
	یزدی	۹/۸۷۸	۹/۷۵٦	۰/۱۲۲	۰/۹۸۸	۰/۵٦۳	۰/۱۹۵	۹/۸۱۷
	مساسرسا	۱۲/۰۲۸	۱۱/٦۹٦	۰/۳۳۲	۰/۹۷۲	۰/۸۲۲	۰/٤۳٦	۱۱/۸٦۲
	امید	۱۲/۹۱۲	۱۱/۹۲۸	۰/۹۸٤	۰/۹۲٤	۰/۹۰۰	۱/۲۰۳	۱۲/٤۲
تنش متوسط	بغدادی	۱٦/۹٤۸	۹/۵۵۸	۷/۳۹۰	۰/۵٦٤	۰/۹٤٦	۰/۹۸۸	۱۳/۲۵۳
	نیک‌شهری	۱۳/٦۵۸	۸/۸٤۰	٤/۸۱۸	۰/٦٤۷	۰/۷۰۵	۰/۷۹۹	۱۱/۲٤۹
	یزدی	۹/۸۷۸	۵/٦۷۸	٤/۲۰۰	۰/۵۷۵	۰/۳۲۸	۰/۹٦۳	۷/۷۷۸
	مساسرسا	۱۲/۰۲۸	٦/۲۸٦	۵/۷٤۲	۰/۵۲۳	۰/٤٤۲	۱/۰۸۱	۹/۱۵۷
	امید	۱۲/۹۱۲	٦/۱۷۸	٦/۷۳٤	۰/٤۷۸	۰/٤٦٦	۱/۱۸۱	۹/۵٤۵
تنش شدید	بغدادی	۱٦/۹٤۸	٤/٦٦٤	۱۲/۲۸٤	۰/۲۷۵	۰/٤٦۲	۱/۰٤۷	۱۰/۸۰٦
	نیک‌شهری	۱۳/٦۵۸	٤/۲۸۸	۹/۳۷۰	۰/۳۱٤	۰/۳٤۲	۰/۹۹۱	۸/۹۷۳
	یزدی	۹/۸۷۸	۳/۵۹۲	٦/۲۸٦	۰/۳٦٤	۰/۲۰۷	۰/۹۲۰	٦/۷۳۵
	مساسرسا	۱۲/۰۲۸	۳/۲۷۸	۸/۷۵۰	۰/۲۷۳	۰/۲۳۰	۱/۰۵۱	۷/٦۵۳
	امید	۱۲/۹۱۲	٤/۳۲٤	۸/۵۸۸	۰/۳۳۵	۰/۳۲٦	۰/۹٦۱	۸/٦۱۸

Yp و Ys به‌ترتیب به معنای مجموع عملکرد علوفه خشک (مجموع شش چین) هر رقم تحت شرایط نرمال و تنش.

نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص‌های YSI، TOL و SSI با شاخص STI یکسان نبود، به‌طوری‌که رقم یزدی با وجود مقدار کم عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، پایداری عملکرد بالایی در شرایط تنش ملایم (با YSI ۰/۹۸۸) و شدید (با YSI ۰/۳٦٤) داشت (جدول ٥). معمولاً شاخص YSI با هیچ‌یک از عملکردها در شرایط با و یا بدون تنش هم‌بستگی ندارد و در انتخاب با این شاخص، پتانسیل عملکرد در نظر گرفته نمی‌شود (Bouslama & Schapaugh, 1984). بر این اساس رقم یزدی عملکرد پایین‌تری در شرایط بدون تنش داشت، اما پایداری عملکرد آن در شرایط تنش نسبت به رقم‌های دیگر بیش‌تر بود. این پایداری بالا نسبت به تنش آبی می‌تواند به‌دلیل قند محلول بالاتر، آنتی‌اکسیدان گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز بیش‌تر در شرایط تنش آبی در رقم یزدی نسبت به رقم‌های دیگر باشد (جدول ٤).

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش، بین رقم‌های مورد بررسی رقم بغدادی بالاترین عملکرد علوفه خشک را در تمامی رژیم‌های آبیاری تولید و هم‌چنان به‌عنوان رقم برتر جهت کشت در مناطق خشک و گرم‌سیر کشور و مناطق با اقلیم و خاک مشابه شرایط محل آزمایش توصیه می‌شود. رقم یزدی نیز به‌دلیل پایداری عملکرد علوفه خشک و هم‌چنین میزان آنتی‌اکسیدان بیش‌تر در شرایط تنش‌آبی، به‌عنوان متحمل‌ترین رقم نسبت به تنش آبی بین رقم‌های موردمطالعه معرفی می‌شود. رقم مذکور می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی به‌منظور افزایش تحمل خشکی در یونجه مورداستفاده قرار گیرد.

٥. تشکر و قدردانی

از کلیه پرسنل مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول به خاطر همکاری در طول انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٧. منابع

Abadouz, Gh. R., Rahnama, A., & Fathi, G. (2013). Effects of sowing patterns and density on grain yield and yield components of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cv. Mesa-Sirsa in South Khozestan conditions. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, *36*(3), 53-64. (In Persian).

Ahmadi, K., Gholizadeh, H. A., Ebadzadeh, H. R., Hosseinpour, R., Hatami, F., Fazil, B., Kazemian, A., & Rafi, M. (2015). Agricultural Statistics of 2013-2014. Ministry of Agriculture Jahad, Deputy of Planning and Economics, *Information and Communication Technology Center*, *1*, 40-43. (In Persian).

Asilan, K. S., Modares-Sanavi, M., & Hagilooei, S. (2010). Effects of drought stress on antioxidant system of alfalfa seedlings Perennial. *Iranian Journal* of *Field Crop Science, 41*(1), 67-77.

Basafa, M., & Taherian, M. (2010). Evaluation of drought tolerance in alfalfa (Medicago sativa) ecotypes using drought tolerance indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *3*(1), 69-81. (In Persian).

Basu, P.S., Berger, J.D., Turner, N.C., Chaturvedi, S.K., Ali, M., & Siddique, K.H.M. (2007). Osmotic adjustment of chickpea (*Cicer arietinum*) is not associated with changes in carbohydrate composition or leaf gas exchange under drought. *Annals of Applied Biology*, *150*, 217-225.

Beheshti, A.R. (2016). Evaluation of drought tolerance in Hamedani alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes by tolerance and sensitivity indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *9*(3), 257-266. (In Persian).

Bouslama, M., & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, *24*, 933-937.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology,* 11, 764-755.

Defez, R., Andreozzi, A., Dickinson, M., Charlton, A., Tadini, L., Pesaresi, P., & Bianco, C. (2017) Improved Drought Stress Response in Alfalfa Plants Nodulated by an IAA Over-producing Rhizobium Strain. *Frontiers in Microbiology, 8*, 2466.

Dehbalaei, S., Farshadfar, E., & Farshadfar, M. (2013). Assessment of drought tolerance in bread wheat cultivars based on resistance/ tolerance indices. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5*, 2352-2358.

Del Rio, L., Sandalio, L., Corpas, F., Palma, J., & Barroso, J. (2006). Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in paroxysms. Production, scavenging and role in cell signaling. *Plant Physiology, 141*, 330-335.

Demiral, T., & Turkan, I. (2005). Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, *53*, 247-257.

Desingh, R., & Kangaraj, G. (2007). Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative system in two cotton varieties. *Journal of Plant Physiology*, *33*, 221-234.

Diwan, N., Bhagwat, A. A., Bauchan, G. B., & Cregan, P., (1997). Simple sequence repeats DNA markers in alfalfa and perennial and annual Medicago species. *Genome*, *40*, 887-895.

Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, CG. (ed) Proceedings of the International Symposium on "Adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress. AVRDC Publication. Tainan. Taiwan.

Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research, 29*, 897-912.

Foyer, C.H., & Noctor, G. (2005). Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. *Plant Cell*, *17*, 1866-1875.

Ghorbani, J. M., Moradi, F., Akbari, A., & Allahdadi, I. (2006). The role of some metabolites on the osmotic adjustment mechanism in annual cut leaf medic [*Medicago laciniata* (L.) Mill] under drought stress. *Iranian Journal of Crop Sciences, 2*(8), 90-105. (In Persian).

Gregersen, P. L., Culetic, A., Boschian, L., & Krupinska, K. (2013). Plant senescence and crop productivity. *Plant Molecular Biology*, *82*, 603-622.

Khodabandeh, N. (2010). *Forage crops*. Publication of Iranian Agricultural Science, Tehran, Iran, 307 p. (In Persian).

Lacefied, G. D., Henning J. C., Rasnake, M., & Collins, M. (2005). *Alfalfa the Queen of Forage Crops*. University of Kentucky Cooperative Extension Service Publication AGR-76.

Li, W. R., Zhang, S. Q., Ding, S. Y., & Shan, L. (2010). Root morphological variation and water use in alfalfa under drought stress. *Acta Ecologica Sinica*, *30*, 5140-5150.

Majnoon Hosseini, N., & Davazdah-Emami, S. (2007). *Crops and the Production of Medicinal Plants and Spices*. Tehran University Publications, Tehran, Iran, 300 p. (In Persian).

Mathobo, R., Marais, D., & Steyn, J. M. (2017). The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agricultural Water Management*, *180*, 118-125.

Mazahery Laghab, H. (2008). Introduction to Forage crops. Publication of Bu-Ali Sina University. 290p. (In Persian).

Muller, B., Pantin, F., Génard, M., Turc, O., Freixes, S., Piques, M., & Gibon, Y. (2011). Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal Experiment Botany*, *62*, 1715-1729.

Naya, O., Ladrera, R., Ramos, J., Gonza´lez, E., Minchin, R., & Becana, M. (2007). The Response of carbon metabolism and antioxidant defenses of alfalfa nodules to drought stress and to the subsequent recovery of plants. *Plant Physiology*, *144*, 1104-111.

Nekoyanfar, Z., Lack, Sh., & Abadouz, Gh. R. (2017). Assessment Effect of Cutting Time and Soil Salinity on Quality and Quantity Forage Yield of Five Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Varieties under Ahvaz Conditions. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, *40*(3), 113-127. (In Persian).

Nickel, R. S., & Cunningham, B. A. (1969). Improved peroxidase assay method using Ieuco 2, 3, 6-trichlcroindophenol and application to comparative measurements of peroxidase catalysis. *Analytical Biochemistry, 27*(2), 292-299.

Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, *21*, 943-946.

Rahnama, A. A., Abadouz, G. R., Shoushi dezfuli, A. A., Danaee, K., Tabatabaee, A., Miri, K., & Dehghani, A. (2018). "Omid" improved alfalfa population suitable for subtropical regions. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *7*(1), 63-71. (In Persian).

Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, *21*, 943-946.

Shalhevet, J. (1993). Plants under water and salt stress. In: Fowden L, Mansfield T, Stoddart J ed. *Plant adaptation to environmental stress*. New York, Chapman & Hall, pp, 133-154.

Shoushi Dezfuli, A.A., Paknegad, A.R., Asareh, A., & Zarifinia, N. (2017). Evaluation of salinity tolerance of some alfalfa ecotypes using physiological and biochemical traits. *Crop Physiology Journal*, *9*(35), 105-120. (In Persian).

Simova-Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N., & Feller, U. (2008). Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant Soil Environment*, *54*, 529-536.

Small, E., & Jomphe, M. (1988). A synopsis of the genus Medicago (Leguminosae). *Canadian Journal of Botany*, 67, 3260-3294.

Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, H. S., Kim, K. Y., Deng, X. P., & Kwat, S. S., (2009). Analysis of antioxidant enzymes activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry, 47*, 570-577.

Yadavi, A., Modaress Sanavi, A., & Zarghami, R. (2000). The Effects of Drought Stress on Oats Species in Germination Step. Articles Summary in 6 Session of Agriculture and Plants Improvement Congress-Iran, Mazandaran University, pp, 235-236. (In Persian).

Zeid, I. M., & Shedeed, Z. A. (2006). Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia Plantarum, 50*, 635-640.

Zhang, C., Shi, S., Liu, Z., Yang, F., & Yin, G. (2019). Drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties is associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation. *Journal of Plant Physiology, 232*, 226-240.