به زراعی کشاورزی
دوره ۲۲ ■ شماره ٤ ■ زمستان ۱۳۹۹
صفحه‌های ٥٨٦-٥٧١

مقاله پژوهشی:

ارزیابی رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد دانه ارقام گلرنگ در شرایط قطع آبیاری

سید مجتبی موسوی[۱]، احسان بیژن‌زاده[۲*]، زهرا زینتی[۳]، وحید براتی[۳]
۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. دانشیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۳. استادیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸ /۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۶

چکیده
به‌منظور بررسی اثر قطع آبیاری آخر فصل بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد ارقام گلرنگ آزمایشی به‌صورت کرت خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ به‌اجرا درآمد. عامل اصلی شامل رژیم آبیاری در سه سطح آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از اواسط مرحله گل‌دهی و اوایل پرشدن دانه و عامل فرعی شامل ارقام گلرنگ به نام‌های پدیده، گلدشت، فرامان و محلی اصفهان بود. قطع آبیاری از گلدهی سبب کاهش ۳۰/۳۷ درصدی کلروفیل a و ۲۵/۸ درصدی کلروفیل b و افزایش ۱۵/۳۸ درصدی کارتنوئید، ۲۳/۳۸ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز و ۳٤/۹٤ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز شد که در رقم گلدشت بیش‌تر از سایر ارقام بود. در شرایط قطع آبیاری از گل‌دهی و پرشدن دانه بیش‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ۱۳۲ و ۱۵۰/۵ گرم در مترمربع در رقم گلدشت به‌دست آمد. به‌طورکلی، قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه به‌ترتیب ۳۲/۳ و ۱۹/۹۳ درصد عملکرد دانه را کاهش داد. در شرایط قطع آبیاری عملکرد دانه با محتوای کلروفیل a (r=۰/۷۷**)، کلروفیل b (r=۰/۸٦**)، کارتنوئید (r=۰/۷٤**)، کاتالاز (r=۰/۷۱**) و پراکسیداز (r=۰/۷۲**)، و شاخص برداشت (r=۰/۸۳**)، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در مجموع رقم گلدشت گلرنگ توانست با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیمی در شرایط کمبود آب در آخر فصل رشد عملکرد دانه بیش‌تری را نسبت به سایر ارقام به‌دست آورد.

کلیدواژه‌ها: رژیم آبیاری، رقم گلدشت، کاتالاز، کارتنوئید، محتوای کلروفیل.

Evaluation of photosynthetic pigments, antioxidant enzyme activity and seed yield of safflower cultivars under cutting off irrigation

Seyed Mojtaba Mosavi[1], Ehsan Bijanzadeh[2*], Zahra Zinati[3], Vahid Barati[3]
1. M.Sc. Student, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3. Assistance Professor, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
Received: December 15, 2019 Accepted: May 26, 2020

Abstract
In order to investigate the effect under late season cutting off irrigation on biochemical properties and yield of safflower cultivars a split factorial experiment in a randomized complete block design was conducted in three replicates at College of Agriculture and Natural resources of Darab, Shiraz University during 2017-2018 growing season. The main factor was irrigation regime in three levels included of normal irrigation, cutting off irrigation in the middle of the flowering, and in the early seed filling stages and sub factor was safflower cultivars including Padideh, Goldasht, Faraman and Isfahan local. Cutting off irrigation in flowering stage decreased 30.37% of chlorophyll *a* and 25.8% of chlorophyll *b*, and increased 15.38% carotenoid, 23.38% of catalase activity and 34.94 % of peroxidase activity, which in Goldasht cultivar was more than the other cultivars. Under cutting off irrigation at flowering and seed filling, the highest seed yield was obtained in Goldasht cultivar as 132 and 150.5 g/m^2, respectively. Overall, cutting of irrigation at flowering and seed filling stages reduced grain yield by 32.3 and 19.93%, respectively. Under cutting off irrigating, seed yield with chlorophyll *a* content (r=0.77**), chlorophyll *b* (r=0.86**), carotenoid (r=0.74**), catalase (r=0.71**), peroxidase (r=0.72**), and harvest index (r=0.83**) had positive and significant correlation. In addition, Goldasht cultivar of safflower could by increasing photosynthetic pigments and enzyme activity under water deficit in late season obtained the more seed yield compared to other cultivars.

Keywords: Chlorophyll content, carotenoids, catalase, Goldasht cultivar, irrigation regime.

* نویسنده مسئول
Email: bijanzd@shirazu.ac.ir

۱. مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از گیاهان بومی ایران بوده و از دیرباز کشت رقم‌های محلی آن به‌ویژه در حاشیه مزارع و با هدف‌های مختلف مانند پرچین مزارع، کاربرد گلبرگ‌های رنگی به‌عنوان رنگ غذا، کاربرد دارویی و حتی استفاده از روغن و پروتئین دانه رواج داشته است (Foroozan, 2005). این گیاه تحمل نسبتاً بالایی به خشکی دارد که علت این امر به‌خاطر داشتن ریشه‌هایی با توان جذب بالای آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک است (Foroozan, 2005). تحمل بالای گلرنگ در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری و گرما از یک‌سو (Shir Esmaeili *et al*., 2017) و داشتن تیپ‌های بهاره و پائیزه سازگار با شرایط آب‌وهوایی کشور از سوی دیگر (Tayebi *et al*., 2012) آینده نویدبخشی را برای توسعه کشت این دانه روغنی رقم می‌زند. در سال زراعی ۹۷ -۱۳۹۶ سطح کشت گلرنگ به ٦٦٤٦ هکتار افزایش یافت که علت آن را توجه کشاورزان به این گیاه به‌دلیل بروز خشک‌سالی، شوری آب و خاک و مقاومت این گیاه به این شرایط می‌توان دانست. تنش شوری و خشکی در تولید و مدیریت گلرنگ در بسیاری از نقاط جهان به یک مشکل مهم تبدیل شده است (Foroozan, 2005).

خشک‌سالی و تنش حاصل از آن یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبه‌رو ساخته و بازده استفاده از مناطق نیمه‌خشک را کاهش داده است (Ansari *et al*., 2013). در این راستا شناخت ارتباط کمبود آب خاک با رشد محصولات، بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی در ارتباط با تنش، کشت گیاهان مقاوم و سایر مواردی که امکان توسعه هرچه بیش‌تر گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک را فراهم می‌کند مفید و مطلوب خواهد بود (Ansari *et al*., 2013). تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی مختلف می‌باشد، که این اثر به‌طور عمده از طریق افت فتوسنتز صورت می‌پذیرد. کم‌آبی سبب طیف وسیعی از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود و یکی از سازوکارهای کارآمدی که گیاه به هنگام روبه‌روشدن با کم‌آبی، برای حفظ آماس سلولی به‌کار می‌گیرد، تنظیم اسمزی است (Pirzad *et al*., 2014). در طی این پدیده فیزیولوژیک، پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش، در اثر انباشت برخی مواد اسمزی در سلول‌ها کاهش می‌یابد و بنابراین فشار آماس سلول‌ها در حد مطلوب نگهداری می‌شود (Levitt, 1980).

کاهش قابل‌توجه در کلروفیل و کارتنوئید تحت تنش کم‌آبی نیز بر اثر کمبود آب و به‌طورعمده به‌دلیل آسیب به کلروپلاست توسط گونه‌های اکسیژن فعال روی می‌دهد (Agastin *et al*., 2007). کارتنوئیدها در این شرایط قادرند انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه را گرفته و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده، نقش اکسیدانی خود را ایفا کنند (Inze & Montagu, 2000). Amiri *et al*. (2016) در مطالعه‌ای بر گیاه گلرنگ تحت شرایط رژیم آبیاری مختلف نشان دادند که رژیم قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری سبب کاهش ۳۲ درصدی کلروفیل در گلرنگ شد و هم‌چنین میزان کارتنوئید را در گیاه گلرنگ ۷/۳۱ درصد کاهش داد ولی این کاهش معنی‌دار نبود. هم‌چنین ایشان بیان داشتند که، رژیم قطع آبیاری میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در این گیاه را افزایش داد ولی این افزایش تنها برای فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار شد. در مطالعه‌ای روی گیاه لوبیا لیما (*Phaseolus lunatus* L.)، Beheshti & Tadayyon (2017) اظهار داشتند که، قطع آبیاری به‌ترتیب سبب کاهش ۷/۲٤ درصدی کلروفیل و ۵۰ درصدی کارتنوئید در این گیاه شد.

Shir Esmaeili *et al.* (2017) در مطالعه‌ای بر ارقام مختلف گلرنگ نشان دادند که تیمار آبیاری بر ارتفاع، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت و قطع آبیاری باعث کاهش تعداد دانه در طبق و عملکرد گردید. هم‌چنین عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری در دوره پرشدن دانه و دوره گلدهی نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۱ و ٥٤ درصد کاهش را نشان داد و در بین ارقام مختلف رقم صفه و گلدشت دارای بالاترین عملکرد دانه بودند. یکی از اهداف اصلی در تولید بهینه گیاهان زراعی به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی برای سازگارکردن گیاهان به شرایط محیطی، درک مکانیسم‌های بیوشیمیایی مقاومت به تنش‌هاست. با توجه به این‌که ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود و شهرستان داراب دارای آب‌وهوای نیمه‌گرمسیری می‌باشد که میزان بارندگی در این شهرستان از ۳۵۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. بنابراین بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر گلرنگ جهت درک مکانیسم‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش‌ها ضروری می‌باشد. از این‌رو، این پژوهش به‌منظور بررسی اثر تنش‌های آبی آخر فصل بر تغییرات بیوشیمیایی، علمکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ انجام گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب در هفت کیلومتری شهرستان داراب، استان فارس با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. عامل‌های مطالعاتی شامل آبیاری در سه سطح آبیاری مطلوب، قطع آبیاری از اواسط مرحله گلدهی (مرحله ٦٥ مطابق با کدبندی فلمر) و قطع آبیاری از اوایل پرشدن دانه (مرحله ۸۱ مطابق با کدبندی فلمر) (Flemmer *et al.*, 2015) و ارقام گلرنگ شامل چهار رقم به نام‌های پدیده (پاییزه، مقاوم به سرما و خاردار)، گلدشت (بهاره متحمل به سرما، مخصوص مناطق گرم در کشت پاییزه، زودرس و بی‌خار)، فرامان (پاییزه، زودرس و بی‌خار) و محلی اصفهان (بهاره، پرمحصول و بی‌خار) بود. رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی و رقم گلرنگ به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. در جدول (۱) شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و در جدول (۲) داده‌های هواشناسی شهرستان داراب در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ قابل مشاهده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش در عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری

اسیدیته خاک (pH)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})
۷/٥٤	۳۱۰	۱٥	۰/۹۷	۰/۰۸٤	۳۸/۱٦	٤٤/۱٦	۱۷/۲٦	۱/۰۹

جدول ۲. داده‌های هواشناسی شهرستان داراب در سال زراعی ۱۳۹٦-۱۳۹۷

ماه / شاخص اقلیمی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
حداقل دما	۱٥/۹	۹/٥	٤/۷	۳/۳	٤/٥	۸/٦	۱۲/۱	۱٦/۹	۲۱/٦
حداکثر دما	۳۳	۲۷/٤	۱۹/٥	۲۰/۱	۲۱/٤	۲۲/٥	۲۸/٦	۳۲/۲	۳۹/٤
متوسط دما	۲٤/٥	۱۸/٥	۱۲/۱	۱۱/۷	۱۲/۹	۱٥/٦	۲۰/٤	۲٤/٥	۳۰/٥
بارندگی	۰	۱/۹	۲٦/۲	۱/۳	۰/٤	٦۲	٦/٤	۱/۷	۰

۲. ۱. اندازه‌گیری میزان آب

میزان آب موردنیاز برای هر کرت براساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲۵ درصد وزنی) محاسبه شد. در این روش ابتدا قطعه زمینی به مساحت دو مترمربع مشخص شد و به شکل حوضچه در آمد. سپس این حوضچه به‌طور سنگین آبیاری شد و روی آن با پلاستیک پوشانده شد. پس از قطع آبیاری و فروکش‌کردن آب، در فواصل زمانی هر ۱۲ ساعت یک‌بار از عمق صفر تا یک متری توسعه ریشه نمونه‌برداری کرده و مقدار رطوبت آن به‌روش وزنی اندازه‌گیری شد. این عمل آن قدر ادامه داده شد تا سرانجام مقدار رطوبت در دو اندازه‌گیری پشت سر هم تقریباً با هم برابر شدند که این مقدار رطوبت براساس رابطه (۱) برابر با رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد (Danesh *et al*., 2006; Araus *et al*., 2002).

رابطه (۱) [وزن خاک خشک/ (وزن خاک خشک –وزن خاک‌تر)] ×۱۰۰ = مقدار رطوبت

نیازآبی گلرنگ به‌صورت روزانه با استفاده از میانگین روزانه داده‌های پارامترهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب و با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Daneshmand *et al*., 2006). مراحل محاسبه نیاز آبی به‌طورخلاصه به‌شرح ذیل می‌باشد:

۱ – تبخیر– تعرق گیاه (ETc) درمراحل مختلف رشد گلرنگ با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

رابطه (۲) $ET_c = K_c . ET_0$

ETc: تبخیر– تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، ET_0: تبخیر -تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و Kc: ضریب گیاهی است که براساس (FAO, 2018) ضریب ۱/۵ در نظر گرفته شد. تبخیر– تعرق گیاه مرجع ET_0 با استفاده از داده‌های هواشناسی ثبتشده در ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب به‌دست آمد.

۲– میزان آب آبیاری در هر دور آبیاری با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

IR: میزان آب آبیاری، Ea: راندمان مصرف آب که ۸۵ درصد در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2006)، LR: میزان آب‌شویی که با توجه کیفیت مناسب خاک (جدول ۱) و راندمان مصرف آب از میزان آن چشم‌پوشی شد (Alizadeh, 2006).

رابطه (۳) $IR = ET_c / [Ea (1- LR)]$

پس از اندازه‌گیری میزان آب، آبیاری برای تمام کرت‌ها تا مرحله گلدهی به‌صورت یکسان و با استفاده از شیلنگ و کنتور انجام شد. از مرحله گلدهی و پرشدن دانه آبیاری تیمارهای قطع آبیاری در کرت‌های تعیین‌شده متوقف شد. در مجموع میزان آب مصرفی برای تیمار آبیاری مطلوب با ۱۱ دور آبیاری معادل ٤٨٨٤ مترمکعب در هکتار، برای تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی با نه دور آبیاری معادل ۳۹۷٦ مترمکعب در هکتار و برای تیمار قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه با ۱۰ دور آبیاری معادل ٤٤٤١ مترمکعب در هکتار بود.

روش کاشت به‌صورت جوی و پشته‌ای (شیاری) بوده و هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به‌طول سه متر، فاصله بین رأس دو پشته ۵۰ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر در کرت‌های به ابعاد ۳×۲ مترمربع و عمق کاشت سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین تکرارها دو متر و فاصله بین کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. برای کنترل علف‌های هرز در طول فصل رشد عملیات وجین دستی انجام گرفت. کلیه اصول زراعی برای هر محصول نظیر ضدعفونی بذر با استفاده از سم روورال تی‌اس به نسبت دو در هزار و کاشت به‌روش خشکه‌کاری و با دست انجام گرفت. از خاک مزرعه نمونه‌ای به آزمایشگاه منتقل و براساس نتایج آن عناصر غذایی موردنیاز گیاه به زمین داده شد. در مرحله چهار برگی

تعداد بوته‌های اضافی برای رسیدن به ٤٠ بوته در مترمربع حذف گردیدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه پس از حذف اثر حاشیه، از سطحی به وسعت یک مترمربع از هر کرت نمونه‌گیری انجام شد سپس دانه‌ها جدا و عملکرد دانه در واحد سطح برآورد شد. هم‌چنین صفاتی از قبیل کلروفیل a و b، کارتنوئید، کاتالاز و پراکسیداز در پایان مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. عملیات کشت در دوم آذرماه ١٣٩٦و برداشت در بیست و سوم خردادماه ١٣٩٧ به‌صورت دستی انجام شد.

٢. ٢. اندازه‌گیری فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی

جهت اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئید از چند برگ جوان ده روز پس از شروع پرشدن دانه نمونه‌گیری و عصاره‌گیری شد. سپس عصاره حاصل در تاریکی و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگه‌داری شد و مواد جامد به‌مدت ١٥ دقیقه در سانتریفیوژ با ٦٠٠٠ دور در دقیقه رسوب داده شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با نه میلی‌لیتر استون ٨٠ درصد به حجم ١٠ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب عصاره استخراج‌شده با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A-Japan) ساخت شرکت Shimadzu در طول‌موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ و ٤٧٠ نانومتر قرائت گردید و سپس میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از معادله‌های زیر محاسبه شد (Arnon, 1967).

رابطه (٤) $$\text{Chlorophyll } a = (19.3\times A\ 663 - 0.86\times A\ 645)\ V/100W$$

رابطه (٥) $$\text{Chlorophyll } b = (19.3\times A\ 645 - 3/6\times A663)V/100W$$

رابطه (٦) $$\text{Carotenoid} = (100\times A470) - (3.27\times \text{mg chl. a}) - (104\ \text{mg chl. b})\ /227$$

٢. ٣. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، ٠/١ گرم از نمونه برگی با استفاده از هاون چینی کاملاً سرد و با نیتروژن مایع ساییده شد و سپس به آن پنج میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH =٧) اضافه شد و پس از انتقال به میکروتیوپ‌های ml ٢ با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ مدل (Z326K-Germany) با ١٥٠٠٠ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به‌مدت ١٥ دقیقه سانتریفیوژ شد. نمونه‌های استخراج‌شده تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های فوق در دمای ٢٠- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Chance & Maehly, 1955). مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز شامل بافر فسفات ٥٠ میلی‌مولار، ١٥ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ٥٠ میکرولیتر از عصاره آنزیمی بود. پس از اضافه‌کردن عصاره آنزیمی میزان جذب در طول موج ٢٤٠ نانومتر به‌مدت ٣٠ ثانیه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A-Japan) ثبت شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی (٣٩/٤ $mM^{-1}\ cm^{-1}$) به‌صورت میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده و به‌صورت واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر بیان شد (Aebi, 1984).

مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز شامل بافر فسفات ٥٠ میلی‌مولار، ١٠ میلی‌مولار گایاکول، ١٥ میلی‌مول پراکسید هیدروژن و ٥٠ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. میزان جذب در طول موج ٤٧٠ نانومتر در مدت ٦٠ ثانیه قرائت شد. محلول شاهد شامل تمامی این مواد به‌جز عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌عنوان میزان ترا گایاکول تشکیل‌شده براساس واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر با ضریب خاموشی (٢٦/٦ $mM^{-1}\ cm^{-1}$) محاسبه شد (Chance & Maehly, 1955). پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده به‌کمک نرم‌افزار SAS (نسخه ٩/٢) انجام شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. از نرم‌افزار اکسل (نسخه ٢٠١٣) نیز برای ترسیم شکل‌ها استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. محتوای کلروفیل a و b

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد و بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر رقم بر محتوای کلروفیل a معنی‌دار نبود، ولی بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر کلروفیل a نشان داد که در شرایط قطع آبیاری کلروفیل a و کلروفیل b کاهش یافت و این کاهش در مرحله قطع آبیاری از مرحله گلدهی بیش‌تر بود و بیش‌ترین میزان کلروفیل a با میانگین ۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به شرایط آبیاری مطلوب بود که نسبت به قطع آبیاری از مرحله گلدهی با میانگین ۱/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه با میانگین ۱/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌ترتیب افزایش ۲۹/۳۵ و ۱۱/۷۱ درصدی را نشان داد (شکل ۱). هم‌چنین مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل b نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل b با میانگین ۰/٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به شرایط مطلوب آبیاری بود و قطع آبیاری از مرحله گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب باعث کاهش ۲۲/٦ و ۲۲ درصدی مقدار کلروفیل b نسبت به آبیاری مطلوب شد (شکل ۲- الف). نتایج اثر رقم بر میزان کلروفیل b نشان داد که بین ارقام مختلف از نظر میزان کلروفیل b اختلاف معنی‌داری وجود دارد و بیش‌ترین میزان این شاخص با میانگین ۰/۳۹ میلی گرم بر گرم وزن تر مربوط به رقم گلدشت بود ولی بین سایر ارقام محلی اصفهان، پدیده و فرامان اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲- ب).

محتوای کلروفیل به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت مبدأ شناخته می‌شود، زیرا کلروفیل برگ یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه است، بنابراین کاهش آن در شرایط رژیم آبیاری می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای در فتوسنتز به‌حساب می‌آید (Ghosh *et al.*, 2004). Amiri *et al.* (2016) در گیاه گلرنگ و Flexas & Medrano (2008) در گیاه لوبیا بیان داشتند که با افزایش شدت تنش میزان کلروفیل به‌ترتیب ۱۷ و ۲۲ درصد کاهش یافت که با نتایج این پژوهش که نشان‌دهنده کاهش در میزان کلروفیل در نتیجه قطع آبیاری بود مطابقت دارد.

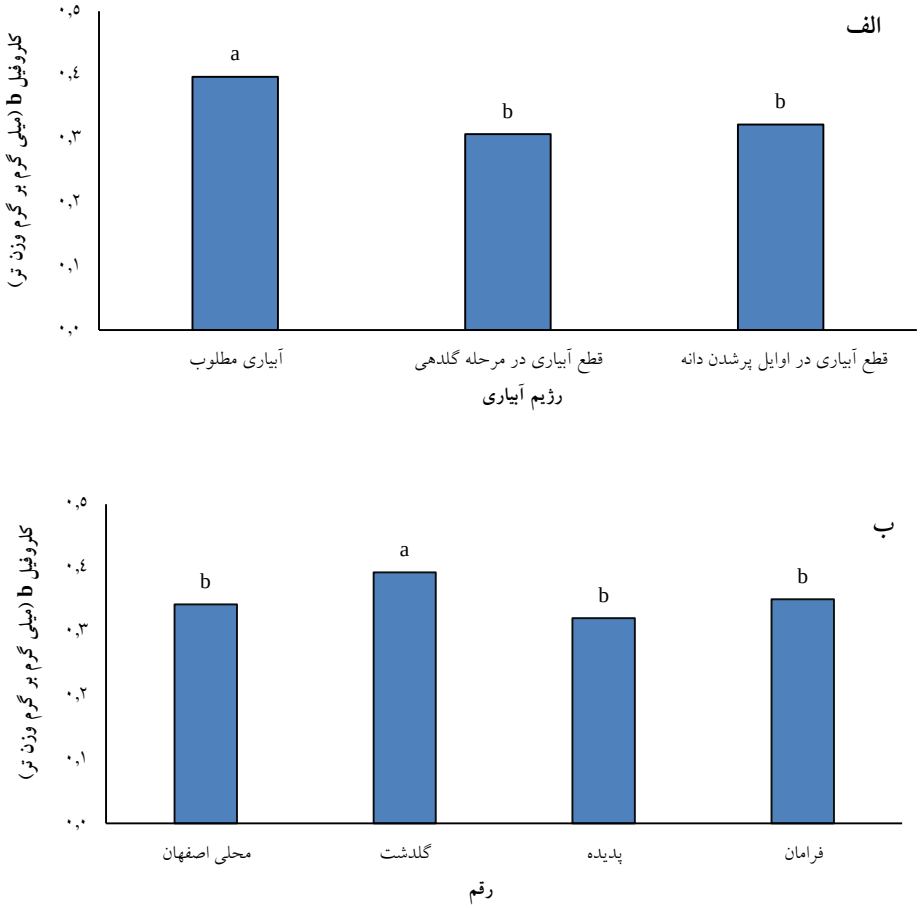
جدول ۳. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده ارقام گلرنگ در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	محتوای کارتنوئید	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پراکسیداز	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/٤۲ ns	۰/۰۵ns	۰/۰۵ns	۰/۰۲ns	۰/۰۳ns	۱۰۳٤۷/۵۸ns
رژیم آبیاری	۲	۰/۳۷*	۰/۰۸**	۰/۰۹**	۰/۰۸**	۰/۱۲**	٦۹۹٦٦۰/۲۲**
خطا ۱	٤	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۲۰٦٤/۲۲
رقم	۳	۰/۲۷*	۰/۰۹**	۰/۰۳*	۰/۰٦**	۰/۱**	۱۳۷۰/۰۸ns
تکرار× رقم	٦	۰/۰۹ns	۰/۰۳*	۰/۰۲ns	۰/۰۳*	۰/۰٤*	۲۹۲۳/۲۱ns
رژیم آبیاری× رقم	٦	۰/۱ns	۰/۰۵**	۰/۰۲ns	۰/۰۳*	۰/۱۳**	۱۷۲٤۷/۰۸**
خطا ۲	۱۲	۰/۰٦	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۱۱٦۳/۲۱
درصد ضریب تغییرات	-	۱٤/٦۳	۱٤/۸۸	۱۲/۵٤	۸/۳۳	۱٤/٦۵	۱٤/۹۸

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد.

شکل ۱. اثر رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل a گلرنگ.

(ستون‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)



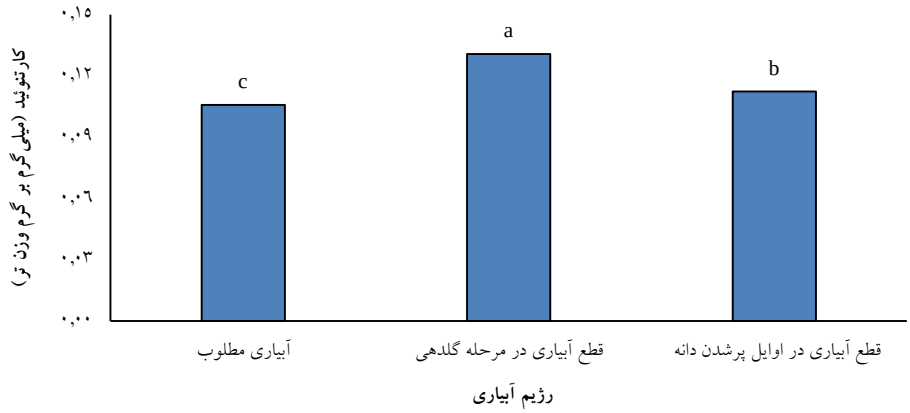
شکل ۲. اثر رژیم آبیاری (الف) و رقم (ب) بر میزان کلروفیل b گلرنگ.

(ستون‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که میزان کاهش کلروفیل در رژیم قطع آبیاری از مرحله گلدهی بیش‌تر از مرحله پرشدن دانه بود که دلیل آن را می‌توان طولانی‌ترشدن شرایط تنش کم‌آبی برای گیاه دانست. به‌نظر می‌رسد کاهش در محتوای کلروفیل‌ها می‌تواند به‌دلیل افزایش کاتابولیسم کلروفیل‌ها و تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد که این فرایند نیز خود نتیجه فراهم‌نبودن عوامل لازم جهت سنتز کلروفیل و تخریب ساختمان آن در شرایط تنش می‌باشد. در شرایط اکسیداسیون و تنش‌های محیطی مانند خشکی میزان تولید رادیکال‌های فعال و درنتیجه پراکسیداسیون لیپیدی افزایش می‌یابد و مشخص شده است که تخریب کلروفیل نتیجه پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تشکیل هیدرو پراکسید اسیدهای چرب موجود در غشا می‌باشد (Gong *et al.*, 2005). دیگر پژوهش‌گران نیز کاهش میزان کلروفیل در شرایط رژیم آبیاری را به افزایش رادیکال‌های آزاد نسبت می‌دهند که باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌شود (Flexas & Medrano, 2008). به‌طورکلی، کاهش میزان کلروفیل در نتیجه رژیم آبیاری به تجزیه کلروفیل تحت شرایط تنش نسبت داده شده است (Yadollahi Dehcheshmeh *et al.*, 2014). Agastin *et al.* (2000) کاهش قابل توجه در کلروفیل و کارتنوئیدها و کل رنگدانه‌ها تحت شرایط رژیم آبیاری را با توجه به کمبود آب و به‌طور عمده به‌دلیل آسیب به کلروپلاست توسط گونه‌های اکسیژن فعال توجیه می‌کند. محتوای کلروفیل بالا حداکثر تولید انرژی شیمیایی و متابولیسم را در گیاه القا می‌کند و از این راه سبب بهبود رشد گیاه می‌شود (Ayumi *et al.*, 2004). در پژوهش حاضر مشخص شد که بین ارقام مختلف محتوای کلروفیل a و b متفاوت بوده و بیش‌ترین آن مربوط به رقم گلدشت بود که با نتایج Meerajipour *et al.* (2012) که نشان دادند بین رقم‌های مختلف گلرنگ میزان کلروفیل در شرایط کمبود آب متفاوت می‌باشد مطابقت دارد.

۳. ۲. محتوای کارتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رژیم آبیاری بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). هم‌چنین محتوای کارتنوئید در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که نسبت به شرایط مطلوب آبیاری افزایش ۱۵/۳۸ و ۱۱ درصدی را نشان داد (شکل ۳).



شکل ۳. اثر رژیم آبیاری بر محتوای کارتنوئید گلرنگ.

(ستون‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)

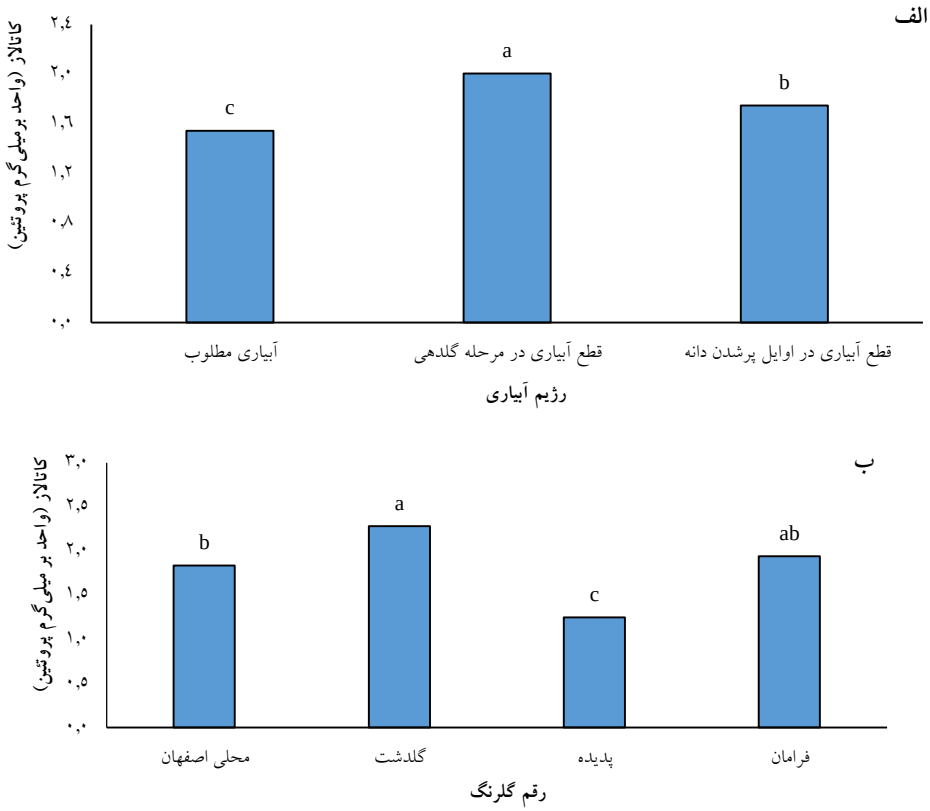
یکی از وظایف کارتنوئیدها، حفاظت نوری رنگیزه‌های فتوسنتزی است که در شرایط قطع آبیاری محتوای کارتنوئید کاهش یافته و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهند (Wang *et al*., 2010). کارتنوئید نقش کلیدی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه دارند، اما این رنگدانه بسیار حساس به آسیب اکسایش است و گزارش شده است که رژیم آبیاری موجب آسیب اکسایشی در بافت‌های گیاه می‌شود و از این طریق بر میزان کارتنوئید تأثیر می‌گذارد (Wang *et al*., 2010). کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و کارتنوئید در شرایط رژیم آبیاری می‌تواند به‌طور عمده به‌دلیل اکسیدشدن آن‌ها توسط گونه‌های فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد (Flexas *et al*., 2008). به‌نظر می‌رسد افزایش کارتنوئیدها با افزایش شدت تنش بیان‌کننده نقش حفاظتی آنها در شرایط خشکی باشد و با پیشرفت تنش به دلایلی از جمله پیری تسریع شده و تخریب آنها توسط عوامل مخرب (از جمله اکسیژن فعال) از سرعت افزایش آنها کاسته می‌شود (Chalker-Scott, 2002).

یکی از صدمات اکسیداتیو مهمی که در شرایط تنش ایجاد می‌شود، تخریب مولکول کلروفیل است که به‌دنبال این تخریب، گیاه رنگی به‌نظر می‌رسد و احتمالاً دلیل آن افزایش و قابل‌رؤیت‌شدن رنگیزه‌های محافظ مانند کارتنوئیدها و آنتوسیانین می‌باشد (Chalker-Scott, 2002). کارتنوئیدها در این شرایط قادرند انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه را گرفته و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده، نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا کنند (Inze & Montagu, 2000). بی‌تردید گونه گیاهی که بتواند کارتنوئید بیش‌تری داشته باشد در تنش اکسیداتیو ناشی از تنش آب عملکرد بهتری خواهد داشت و در مقابل تنش آب مقاومت بیش‌تری از خود نشان می‌دهد (Chalker-Scott, 2002). Arab *et al*. (2016) نشان دادند که تنش کم‌آبی میزان کارتنوئید گلرنگ را ۱۶ درصد افزایش داد که با نتایج پژوهش حاضر که نشان‌دهنده افزایش ۱۵/۳۸ درصدی در میزان کارتنوئید در نتیجه تیمار قطع آبیاری می‌باشد هم‌خوانی دارد.

۳. ۳. فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رژیم آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر کاتالاز نشان داد که قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری سبب افزایش کاتالاز در مقایسه با شرایط مطلوب آبیاری شد و میزان کاتالاز در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی با میانگین ۲/۰۱ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیش‌ترین فعالیت کاتالاز را داشت که نسبت به شرایط مطلوب و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه افزایشی ۲۳/۳۸ و ۱۲/۶۲ درصدی را نشان داد (شکل ٤- الف). اثر رقم بر میزان آنزیم کاتالاز نشان داد که بین ارقام مختلف از نظر فعالیت این آنزیم اختلاف معنی‌داری وجود دارد و بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین ۲/۲۸ واحد بر میلی‌گرم پروتئین مربوط به رقم گلدشت بود (شکل ٤- ب). میزان فعالیت این آنزیم برای ارقام پدیده، محلی اصفهان و فرامان به‌ترتیب ۱/۲٤، ۱/۸۳ و ۱/۹٤ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بود (شکل ٤- ب). قطع آبیاری از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن سبب تخریب غشای سلولی، سیستم فتوسنتزی و اکسیداسیون بسیاری از ترکیبات حیاتی گیاهان می‌شود (Borislev *et al*., 2016; Rahbarian *et al*., 2012). اولین سد دفاعی در مقابله با افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهان را آنزیم‌هایی نظیر پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز تشکیل می‌دهند، بنابراین افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در جهت کاهش اثر منفی رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت تنش کم‌آبی منطقی

است (Gunes *et al.*, 2006). ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی، سازوکارهایی برای مقابله با افزایش شدید رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند که یکی از این راه‌کارها تجزیه و پاک‌سازی سریع گونه‌های واکنش‌دهنده اکسیژن در سلول‌هاست. در مطالعات تحمل به تنش کم‌آبی گزارش شده است که افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و اکسیداز سبب افزایش پتانسیل دفاعی گیاه در مقابل با کمبود آب می‌شود و میزان تحمل آن را به تنش خشکی بهبود می‌بخشد (Borisĭev *et al.*, 2016; Rahbarian *et al.*, 2012). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش موازی و مشابهی را در سیستم دفاعی گیاه ایفا می‌کنند و وظیفه این آنزیم‌ها سم‌زدایی و تجزیه پراکسید هیدروژن تولیدشده در سلول می‌باشد (Rahbarian *et al.*, 2012). Taheri *et al.* (2018) در مطالعه‌ای روی گلرنگ نشان دادند که تنش کم‌آبی ملایم و شدید میزان کاتالاز را نسبت به شرایط آبیاری مناسب به‌ترتیب ٤٤ و ٦٣ درصد افزایش داد که با نتایج پژوهش حاضر که نشان داد قطع آبیاری از مرحله گلدهی فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد مطابقت دارد. هم‌چنین ایشان بیان داشتند که بین ارقام مختلف از نظر فعالیت آنزیم کاتالاز اختلاف معنی‌داری وجود دارد و بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به رقم گلدشت می‌باشد که با نتایج این پژوهش که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم گلدشت بود هم‌خوانی دارد (شکل ٦).



شکل ٤. اثر رژیم آبیاری (الف) و رقم (ب) بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گلرنگ.

(ستون‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)

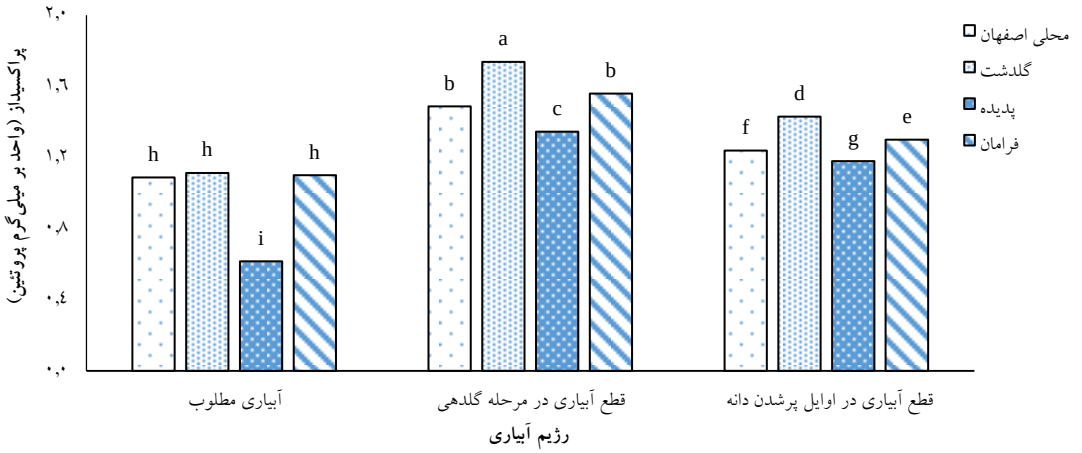
نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر آنزیم پراکسیداز نشان داد که قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری سبب افزایش آنزیم پراکسیداز در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب شد و میزان این آنزیم در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی ۱/۵۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بود که نسبت به شرایط مطلوب با میانگین ۰/۹۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین افزایشی ۳٤/۹٤ درصدی را نشان داد (شکل ٥- الف). هم‌چنین قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه با میانگین ۱/۲۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین افزایشی ۱۱/۹٥ درصدی را نشان داد. نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر میزان آنزیم پراکسیداز نشان داد که بین ارقام مختلف از نظر فعالیت این آنزیم اختلاف معنی‌داری وجود دارد و بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز با میانگین ۱/٤۲ واحد بر میلی‌گرم پروتئین مربوط به رقم گلدشت بود (شکل ٥- ب). میزان فعالیت این آنزیم برای ارقام محلی اصفهان، پدیده و فرامان به‌ترتیب ۱/۲۹، ۰/۹۸ و ۱/۳۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بود (شکل ٥- ب). نتایج نشان داد که بین ارقام گلدشت و فرامان و بین رقم محلی اصفهان و فرامان اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نشان داد که در شرایط قطع آبیاری میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تمامی رقم‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیش‌ترین میزان فعالیت این آنزیم در شرایط مطلوب آبیاری مربوط به ارقام محلی اصفهان، گلدشت و فرامان به‌ترتیب با میانگین ۱/۰۹، ۱/۱۱ و ۱/۰۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بود (شکل ٦). در ادامه نتایج نشان داد که در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی و پرشدن دانه بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌ترتیب با میانگین ۱/۷٤ و ۱/٤۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین مربوط به رقم گلدشت بود (شکل ٦). در مطالعه‌ای Akbarian & Arzani (2015) اظهار داشتند که بین رقم‌های مختلف از لحاظ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و رقم‌های با فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیش‌تر نسبت به شرایط رژیم آبیاری مقاومت بیش‌تری دارند. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که اثر قطع آبیاری از مرحله گلدهی شدت بیش‌تری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت به قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه داشت که دلیل آن را می‌توان به طولانی‌ترشدن تنش درشرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی دانست. Taheri *et al.* (2018) در گلرنگ نشان دادند که تنش کم‌آبی ملایم و شدید میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را نسبت به شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۰/۳۲ و ۳۳/٥ درصد افزایش داد که با نتایج پژوهش حاضر که نشان داد قطع آبیاری از مرحله گلدهی فعالیت آنزیم پراکسیداز را ۳٤/۹٤ درصد افزایش داد هم‌خوانی داشت. هم‌چنین ایشان بیان کردند بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به رقم صفه و گلدشت بود که با نتایج این پژوهش که نشان‌دهنده بیش‌تربودن فعالیت آنزیم پراکسیداز در رقم گلدشت بود مطابقت دارد.

۳. ٤. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری و رقم و برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد دانه نشان داد که در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۱۳۲ گرم در مترمربع مربوط به رقم گلدشت به‌دست آمد (شکل ۷). در ادامه نتایج نشان داد که قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری سبب کاهش عملکرد دانه ارقام گلرنگ شد و شدت کاهش عملکرد در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی بیش‌تر بود. کم‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۸۱ و ۸۳/۲٥ گرم در مترمربع به‌ترتیب مربوط به رقم پدیده و محلی اصفهان در تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی بود.

شکل ۵. اثر رژیم آبیاری (الف) و رقم (ب) بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز گلرنگ.

(ستون‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)



شکل ٦. اثر رژیم آبیاری و رقم بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز گلرنگ.

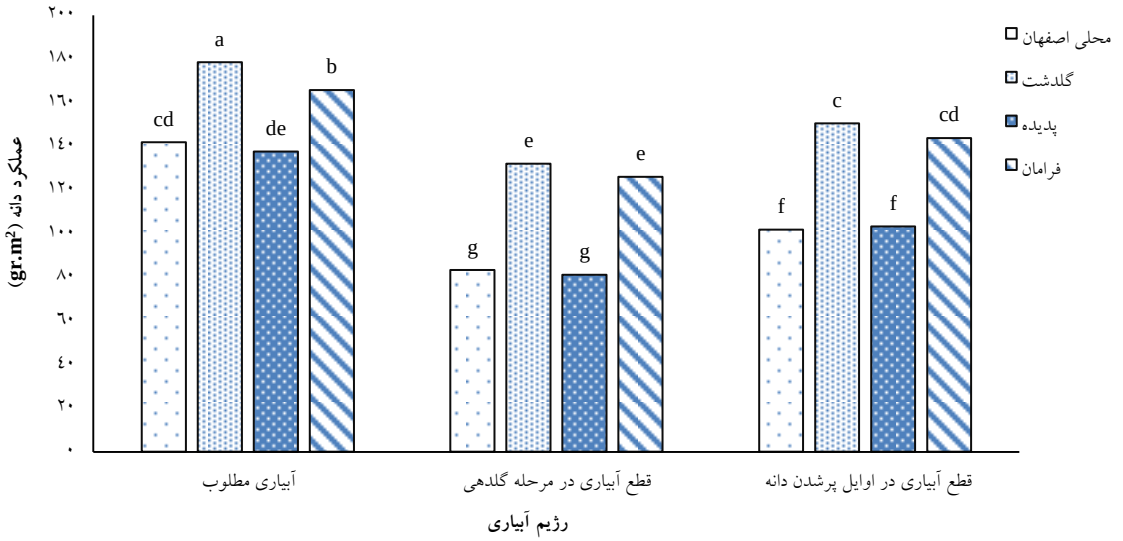
(ستون‌های با حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.)

مهم‌ترین عامل کم‌شدن عملکرد بر اثر رژیم آبیاری، کاهش میزان فتوسنتز و به‌دنبال آن کاهش تولید شیره پرورده می‌باشد (Ozturk *et al.*, 2008). وقوع قطع آبیاری از مرحله زایشی سبب کم‌شدن فتوسنتز و در نتیجه کمبود مواد پرورده و نیز کاهش تولید اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد می‌گردد که درنهایت کاهش عملکرد دانه را در

پی دارد. به‌طورکلی، عملکرد دانه نتیجه برآیند بین اجزای عملکرد دانه می‌باشد و کاهش اجزای عملکرد سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود. Tahmasebpour *et al.* (2017) بیان داشتند که بین ارقام مختلف گلرنگ از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. هم‌چنین بیان داشتند که مرحله بحرانی نیاز گلرنگ به آب در مرحله گلدهی می‌باشد و در شرایط قطع آبیاری، یک مرحله آبیاری باعث افزایش وزن خشک و عملکرد می‌شود. توانایی ارقام مختلف در انتقال و ذخیره مواد فتوسنتزی به‌ویژه از طبق به دانه‌ها از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر عملکرد گلرنگ می‌باشد.

Rostami (2003) در پژوهشی روی گلرنگ گزارش نمود که اثر زمان قطع آبیاری بر عملکرد دانه ممکن است به اندازه شدت تنش دارای اهمیت باشد و رقم‌هایی که دارای تعداد طبق کم‌تر و تعداد دانه بیش‌تر در طبق می‌باشند از عملکرد بالاتری برخوردارند. به‌نظر می‌رسد در مرحله رشد رویشی قطع آبیاری منجر به کوچک‌شدن سطح برگ، کاهش شاخص سطح برگ و فتوسنتز در واحد سطح برگ می‌شود و در نتیجه کاهش عملکرد در این مرحله به‌واسطه کاهش تعداد دانه در طبق می‌باشد. اما کاهش عملکرد در مرحله زایشی به‌واسطه کاهش طول دوره پرشدن دانه‌ها، کوچک شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها می‌باشد (Ferasat *et al.*, 2012).

Shir Esmaeili *et al.* (2017) در گیاه گلرنگ نشان دادند که با قطع آبیاری ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه کاهش یافت و در بین تیمارهای آبیاری تیمار آبیاری مطلوب، بیش‌ترین عملکرد و اجزای عملکرد را داشت و کم‌ترین عملکرد مربوط به قطع آبیاری از دوره گلدهی با میانگین ۱۵۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. هم‌چنین بیان داشتند که بین ارقام مختلف از لحاظ عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود دارد و بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم گلدشت و صفه به‌ترتیب با میانگین ۲۵۹۰ و ۲۵۳۰ کیلوگرم در هکتار بود که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر بالاتربودن عملکرد گلدشت نسبت به سایر ارقام و کم‌ترین عملکرد در شرایط قطع آبیاری از دوره گلدهی مطابقت دارد.



شکل ۷. برهم‌کنش رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد دانه گلرنگ.

(میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.)

۳. ۵. همبستگی بین عملکرد با سایر صفات در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی در مرحله پرشدن دانه

عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری با شاخص برداشت ($r=۰/۸۳^{**}$)، محتوای کلروفیل a ($r=۰/۷۷^{**}$)، کلروفیل b ($r=۰/۸٦^{**}$)، کارتنوئید ($r=۰/۷٤^{**}$)، آنزیم کاتالاز ($r=۰/۷۱^{**}$) و پراکسیداز ($r=۰/۷۲^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد (جدول ٤). Bagheri *et al.* (2006) و Khalili *et al.* (2015) در مطالعات جداگانه‌ای روی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ نشان دادند که عملکرد دانه با تعداد دانه در طبق، تعداد طبق، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد، که با نتایج پژوهش حاضر همسو می‌باشد.

به‌نظر می‌رسد در مرحله رشد رویشی تنش آبی منجر به کوچک‌شدن سطح برگ، کاهش شاخص سطح برگ و فتوسنتز در واحد سطح برگ می‌شود و در نتیجه کاهش عملکرد در این مرحله به‌واسطه کاهش تعداد دانه در طبق می‌باشد. اما کاهش عملکرد در مرحله زایشی به‌واسطه کاهش طول دوره پرشدن دانه‌ها، کوچک‌شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها می‌باشد (Ferasat *et al.*, 2012). Taheri *et al.* (2018) در مطالعه‌ای روی گلرنگ بیان داشتند که بین عملکرد دانه و فعالیت آنزیم کاتالاز همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد که با نتایج پژوهش حاضر که نشان‌دهنده همبستگی بالا بین عملکرد دانه و میزان فعالیت کاتالاز بود مطابقت دارد

٤. نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب ۳۲/۳ و ۱۹/۹۳ درصد عملکرد دانه را کاهش داد که در شرایط قطع آبیاری از ابتدای پرشدن دانه، بوته‌های گلرنگ به‌طور میانگین ٤٤۱ مترمکعب در هکتار آب کم‌تری نسبت آبیاری مطلوب دریافت کردند. هم‌چنین بررسی واکنش‌های بیوشیمیایی رقم‌های گلرنگ نشان داد که رقم گلدشت در شرایط کمبود آب در انتهای فصل رشد دارای بالاترین محتوای کلروفیل، فعالیت آنریم‌های کاتالاز و پراکسیداز و اجزای عملکرد دانه بود که موجب کارکرد بهتر این رقم در شرایط قطع آبیاری از آخر فصل رشد و درنهایت بالاترین عملکرد دانه شد که این رقم می‌تواند در نواحی جنوب ایران که به‌طور عمده با تنش کم‌آبی در انتهای فصل رشد مواجه هست رقمی قابل‌توصیه باشد.

جدول ٤. ضرایب همبستگی بین صفات بیوشیمیایی، اجزای عملکرد و عملکرد گلرنگ (بالای قطر در شرایط قطع آبیاری و پایین قطر در شرایط آبیاری مطلوب)

صفات	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	کاتالاز	پراکسیداز	عملکرد دانه
کلروفیل a		۰/۷۲۳*	۰/۳۲	-۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۷۷**
کلروفیل b	۰/۹۵**		۰/۵٤	-۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۸٦**
کارتنوئید	۰/۸٦**	۰/۷۵**		-۰/۱۲	۰/۲٦	۰/۷٤**
کاتالاز	۰/۱٦	۰/۳	۰/۰۱		۰/٦۱*	۰/۷۱**
پراکسیداز	-۰/۳۷	-۰/۳	-۰/۳۱	۰/۲۷		۰/۷۲**
عملکرد دانه	-۰/۰۱	-۰/۲٤	۰/۲۱	-۰/٤۳	-۰/٤۱	

۵. تشکر و قدردانی

از کارشناس محترم آزمایشگاه بخش اگرواکولوژی آقای مهندس عبدالله ستوده که در فراهم‌آوردن و به‌کارگیری وسایل آزمایشگاه یاری رساندند و مسئول محترم مرکز تحقیقات کشاورزی داراب (حسن‌آباد) در استان فارس، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Aebi, H. (1984). Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology. *105*, 121-126.

Agastin, P., Kingsley, S.J., & Vivekanandan, M. (2007). Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica, 38*, 287-290.

Akbarian, A., & Arzani, A. (2015). Effects of drought stress on antioxidant enzymes activity in triticale lines. *Journal of Crop Breeding, 7*(16), 158-167. (In Persian)

Alizadeh, A. (2006). Irrigation Systems Design. Emam Reza University Pub. 286 pp.

Amiri, A., Sirousmehr, A.R., Yadollahi, P., Asgharipour, A. R., & Esmaeilzadeh Bahbadi, S. (2016). Effect of drought stress and spraying of salicylic acid and chitosan on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in safflower. *Agricultural Crop Manegment, 18*(2), 453-466. (In Persian)

Ansari, O., Azadi, M.S., Sharif-Zadeh, F., & Younesi, E. (2013). Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *9*(3), 61-71.

Arab, S., Baradaran FiroozAbadi, M., Asghari, H., Gholami, A., & Rahimi, M. (2016). The effect of foliar application of ascorbic acid and sodium nitroprusside on grain protein content, yield and some agronomic traits of safflower under water deficit stress. *Journal of Crop Production*, *9*(1), 69-87.

Araus, J.L., Slafer, M. P., Reynolds, B., & Royo, C. (2002). Plant breeding and water relations in C3 cereals, what should we breed for? *Annals of Botany*, *89*, 925-94.

Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy, 23*, 112-121.

Ayumi, T., Masumi, H., & Ryoichi, T. (2004). Chlorophyll metabolism and plant growth. *Kagaku Seibutsu*, *42*, 93-98.

Bagheri, H., Saeedi, G., & Ehsanzade, P. (2006). Evaluation of agronomic traits of selected genotypes from native accessions of safflower in spring and summer sowing dates. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *10*, 375-390. (In Persian).

Beheshti, S., & Tadayyon, A. D. (2017). Effects of drought stress and humic acid on some physiological parameters of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). *Journal of Plant process and Function*, *6*(19), 1-13

BorisÏev, M., BorisÏev, I., Zupunski, M., Arsenvo, D., Pajevic, S., Curcic, Z., Vasin, J., & Djordjevic, A. (2016). Drought impact is alleviated in sugar beets (*Beta vulgaris* L.) by foliar application of fullerenol nanoparticles. *Plos One*, *10*, 1-20.

Chalker-Scott, L. (2002). Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Advances in Botanical Research, 37*, 103-106.

Chance, B., & Maehly, A.C. (1955). Assay of catalases and peroxidase. *Methods in Enzymology*, *2*, 764-775.

Daneshmand, M., Shirani Rad, A.R., & Ardakani, M.R. (2006). Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Agronomy Research*, *1*, 48-60. (In Persian).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation). (2018). Plant coefficient of safflower. Rome, Italy. http://www.fao.org/home/en/data.

Ferasat, M., Sajedi, N.A., & Mirzakhani, M. (2012). Effects of Drought Stress on Yield and Yield Components in Safflower Genotypes (*Carthamus tinctorius*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(2), 346-353. (In Persian).

Flemmer, A.C., Franchini, M.C., & Lindstrom, L.I. (2015). Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phonological growth stages according to the extended BBCH scale. Annals of Applied Biology. 166, 331-339.

Flexas, J., Bota, J., Gales, J., Medrano, H., & Ribas-Carbo, M. (2008). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologic Plant arum*, *127*,343-35.

Foroozan, K. 2005. Safflower production in Iran (past, now, future). (2005). P. 255-257. In E. Esendel (ed.) Proceedings of the 6th International Safflower Conference. 6-10 June. 2005. Istanbul, Turkey.

Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K, G., Mandal, A.K., & Hati, K.M. (2004). Comprative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer NPK on three cropping system in vertisoils of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technol, 95*, 85-93.

Gong, H., Chin, K.Z., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Journal of Plant Science, 169*, 313-321.

Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E., & Guzelordu, T. (2006). Genotypic response of chickpea (*Cicera rietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant and Soil Environent, 52*, 868-876.

Inze, D., & Montagu, M.V. (2000). Oxidative stress in plant. Tj International Ltd. Padstow, Cornawall, Great Britain.

Khalili, M., Naghavi, M.R., & Pour-Aboughadareh, A. (2015). Evaluation of grain yield and some of agro-morphological characters in spring safflowers genotypes under irrigated and rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, *7*(16), 139-148. (In Persian).

Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stress, Vol.2, Academic Press, New York.

Meerajipour, M., Movahhedi Dehnavi, M., Dehdari, A., Farajee, H., & Meerajipour, M. (2012). Effect of drought stress on some physiological characteristics of four spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Yasouj. *Environmental Stresses in Crop Science*, *5*(1), 125-134.

Ozturk, E., Ozer, H., & Potal, T. (2008). Growth and yield of safflower genotypes grown under irrigated and non-irrigated conditions in a highland environment. *Plant ant Soil Environment, 54*(10), 453-460.

Pirzad, A., M. R., Shakiba, S., Zehtab-Salmasi, S. A., & Mohammadi, R. (2014); Effects of water stress on some nutrients uptake in *Matricaria chamomilla* L. *Agronomy Journal, 104*, 1-7. (In Persian).

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., Najafi, F., & Roshanfekr, M. (2012). Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in Chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Agricultural Research, 7*, 5372-5380.

Rostami, M., Mirzaei, R. & Kafi, M. (2003). Assessment of drought resistance in four safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars at the germination stage. 7th International Conference on the Development of Drylands, 14-17 September 2003, Tehran, Iran.

Shir Esmaeili, G., Maghsoudi Mood, A.A., Khajoueinezhad, Gh., & Abdolshahi, R. (2017). Effect of irrigation cut treatment on yield and yield components of ten safflower cultivars in spring and summer crops. *Applied Research in Field Crops, 30*(3), 1-17. (In Persian).

Taheri, S., Gholami, A., Abbasdokht, H., & Makarian, H. (2018). Alleviation of water deficit stress effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by seed priming. *Crop Improvement (Journal of Agricultural Crops Production), 20*(2), 487-501.

Tayebi, A., Afshari, H., Farahvash, F., & Masood Sinki, J. (2012). Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. *Iranian Journal of Plant Physiology, 2*(3), 445-453. (In Persian).

Wang, L. I., Fan, W., Loescher, W., Dunan, G., Liu, J., Cheng, H., & Luo, S. Li. (2010). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biological, 10*, 34-48.

Yadollahi Dehcheshmeh, P., Bagheri, A.A., Amiri, A., & Esmailzadeh, S. (2014). Effects of drought and foliar application on yield and photosynthetic pigments sunflower. *Journal of Crop Physiology*, *6*(21), 73-83. (In Persian)