Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 3, Autumn 2021 (79-96)
DOI: 10.22059/IJFCS.2020.305009.654732

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۰ (ص۹۶-۷۹)

تأثیر کم آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر عملکرد دانه و روغن، کارآیی مصرف آب و تولید اسیدهای چرب روغن دانه گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)

کیوان فتحی امیرخیز[۱]، مجید امینی دهقی*[۲]، سید علی محمد مدس ثانوی[۳]، علیرضا رضازاده[۴]

۱و۲- دانشجو و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران، ۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ٤- استادیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/٤/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/٦/۲۳)

چکیده

پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین بر عملکرد دانه، روغن و اسیدهای چرب در گلرنگ تحت تنش کم آبیاری، به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۹٦-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل آبیاری در دو سطح آبیاری کامل و کم آبیاری (به‌ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) به‌عنوان عامل اصلی و سطوح محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین به‌عنوان عامل فرعی در ۱۰ سطح شامل محلول‌پاشی با آب (شاهد)، محلول‌پاشی با پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین هر یک در غلظت‌های (۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار) بودند. در هر یک از سطوح آبیاری، محلول‌پاشی پوتریسین به‌طور معنی‌دار عملکرد دانه و روغن، شاخص برداشت، کارآیی مصرف آب و اسید اولئیک را افزایش داد. افزایش سطوح محلول‌پاشی پوتریسین و اسپرمین از ۰/۰۵ به ۰/۲ میلی‌مولار در شرایط تنش کم آبیاری، مقدار عملکرد زیستی را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ٤۰/٤ و ۳۸/۳ درصد افزایش داد. نتایج برش‌دهی اثرمتقابل نشان داد که محلول‌پاشی اسپرمین با بیشترین غلظت (۰/۲ میلی‌مولار) تحت تنش کم آبی، مقدار مجموع اسیدهای چرب غیراشباع دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش و درصد اسید پالمیتیک را کاهش داد. محلول‌پاشی اسپرمیدین موجب افزایش معنی‌دار میزان اسید لینولئیک روغن گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی شد. به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین جهت تولید بیشتر عملکرد دانه و روغن، افزایش کارآیی مصرف آب و بهبود کیفیت روغن گلرنگ در شرایط کم آبیاری مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید لینولئیک، تنش آبی، درصد روغن، شاخص برداشت، عملکرد زیستی.

Effect of deficit irrigation and foliar application of polyamines on seed and oil yields, water use efficiency and fatty acids production in spring safflower seed oil (*Carthamus tinctorius* L.)

Kayvan Fathi Amirkhiz[1], Majid Amini Dehaghi[2*], Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy[3], Alireza Rezazadeh[4]

1,2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University of Tehran, Iran. 3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran. 4. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahed University of Tehran, Iran.

(Received: June 28, 2020 - Accepted: October 14, 2020)

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effect of foliar application of polyamine compounds on seed and oil yields and fatty acids production in safflower under deficit irrigation stress. A split plot experiment based on randomized complete block design with four replications was conducted in the research farm of College of Agriculture, Shahed University in 2016-2017. Treatments were irrigation at two levels (normal irrigation and deficit irrigation (irrigation after 50 and 75% depletion of field capacity, respectively) as the main factor and foliar application of polyamine compounds at 10 levels (foliar application with water as control and foliar application with putrescine, spermidin and spermin at 0.05, 0.1 and 0.2 mM concentrations) as secondary factor. At each irrigation level, the putrescine foliar application significantly increased seed and oil yields, harvest index, water use efficiency and oleic acid. Increased levels of putrescine and spermin foliar application ranged from 0.05 to 0.2 mM under deficit irrigation stress conditions resulted in 40.4% and 38.3%, increase in the biological yield respectively, compared to control. Also, foliar application of the highest concentration of spermin (i.e. 0.2 mM) under water deficit stress significantly increased total yield of unsaturated fatty acids and reduced the percentage of palmitic acid. Spermidine foliar application significantly increased linoleic acid yield in

* Corresponding author E-mail: amini@shahed.ac.ir

safflower oil under water deficit conditions. It can be concluded that foliar application of polyamine compounds can increase seed and oil yields and water use efficiency and improve the quality of safflower oil in deficit irrigation conditions.
Keywords: Biological yield, harvest index, linoleic acid, oil percentage, water deficit stress.

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یک محصول دانه روغنی مهم در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که تحمل و سازگاری نسبتاً بالایی به محیط‌هایی با بارندگی محدود دارد (Zanetti *et al.*, 2013). سطح زیر کشت گلرنگ در جهان در سال ۲۰۱۸ برابر ۶۹۴۸۳۰ هکتار با تولید دانه ۶۲۷۶۵۳ تن در هکتار بود و سطح زیر کشت گلرنگ در کشور نیز حدود ۴۸۵۳ هکتار با میانگین عملکرد ۱۲۶۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAO, 2018). امروزه هدف از تولید گلرنگ، استخراج روغن از دانه‌های آن می‌است و به‌عنوان یک محصول دانه روغنی کشت می‌شود (de Oliveira *et al.*, 2018). دانه‌های گلرنگ به‌طور معمول از ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن، ۱۵ تا ۲۰ درصد پروتئین و ۳۵ تا ۴۵ درصد پوسته تشکیل شده است (Rahamatalla *et al.*, 2001). روغن دانه گلرنگ از لحاظ ترکیب اسیدهای چرب، تنوع زیادی دارد و دارای شش تا هشت درصد اسید پالمیتیک، سه درصد اسید استئاریک، ۲۰-۱۶ درصد اسید اولئیک و ۷۵-۷۱ درصد اسید لینولئیک می‌باشد (Gecgel *et al.*, 2007). یکی از بزرگترین چالش‌های بخش کشاورزی در ایران، کمبود آب می‌است و تقریباً ۹۰ درصد مناطق ایران، اقلیمی خشک و نیمه خشک دارند (Bannayan *et al.*, 2010). در پی بروز تغییرات اقلیمی، انتظار می‌رود که تکرار، شدت و مدت تنش خشکی در مناطق خشک و نیمه خشک افزایش یابد (Chaves *et al.*, 2003). تنش خشکی از طریق تغییر در رشد فیزیولوژی و فعالیت‌های متابولیکی گیاهان (Islam *et al.*, 2011)، بر عملکرد و کیفیت بسیاری از محصولات زراعی از جمله گیاهان دانه روغنی تأثیر نامطلوب می‌گذارد (Alqudah *et al.*, 2010). مرحله گلدهی از حساس‌ترین مراحل رشدی گلرنگ به خشکی است (Farooq, *et al.*, 2009; Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009) و کمبود آب در این مرحله، منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Singh *et al.*, 2016; Nazari *et al.*, 2017). برخی پژوهشگران گزارش کردند که تنش آب در زمان گلدهی و پر شدن دانه، اثر نامطلوب بسیاری بر عملکرد دانه گلرنگ بهاره دارد (Yau, 2007; Koutroubas *et al.*, 2009). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که رژیم آبیاری، درجه حرارت رشد و تنش‌های غیر زیستی ممکن است محتوا و ترکیب روغن‌های گیاه را تغییر دهند (Coşge *et al.*, 2007; Bagheri *et al.*, 2012). بررسی‌ها نشان بیانگر آن است که تنش خشکی، موجب افزایش میزان اسید اولئیک و کاهش میزان اسید لینولئیک در گلرنگ می‌شود (Mirshekari *et al.*, 2013; Nazari *et al.*, 2017). نتایج یک پژوهش نشان داد که قطع آبیاری در زمان گلدهی، موجب کاهش عملکرد دانه و زیستی و تعداد طبق در بوته در گلرنگ شد (Dehnavy*et al.*, 2009 Movahhedy). نتایج حاصل از یک بررسی نشان داد کم آبیاری (آبیاری پس از تخلیه ۸۵ درصد ظرفیت زراعی) در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، باعث کاهش عملکرد دانه و روغن، درصد روغن و شاخص برداشت در گلرنگ می‌شود (Akbari *et al.*, 2020). نتایج تحقیقی دیگر نیز نشان می‌دهد که تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی، موجب افزایش اسیدهای چرب اشباع و کاهش اسیدهای غیراشباع در ارقام مختلف گلرنگ شد (Movahedi-Dehnavi *et al.*, 2010). کارآیی مصرف آب یا مقدار ماده خشک تولیدی، نشان دهنده توانایی گیاه برای تولید مقدار معینی از عملکرد اقتصادی به ازای هر واحد آب مصرفی است؛ بنابراین می‌توان از کارآیی مصرف آب به‌عنوان یک شاخص جهت ارزیابی محصولات متحمل به خشکی استفاده نمود (Araus *et al.*, 2002). مطالعات انجام شده در آفتابگردان نشان داده است که آبیاری کامل، موجب افزایش کارآیی مصرف آب شد و کم آبیاری در اوایل مرحله گلدهی، کارآیی مصرف آب را کاهش داد (Karam *et al.*, 2007). در گیاهان عالی، پلی‌آمین‌ها

به‌طور عمده به شکل آزاد یافت می‌شوند و پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین، پلی‌آمین‌های اصلی گیاهان می‌باشند (Xu *et al.*, 2014; Mustafavi *et al.*, 2018) که در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیک نظیر نمو گل‌ها، جنین‌زایی و کنترل پیری مشارکت دارند (Xu, 2015) و از سوی دیگر، نقش مهمی در حفظ یکپارچگی غشاء، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل دارند (Duan *et al.*, 2006). پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها، موجب کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی می‌شود (Mustafavi *et al.*, 2015). در یک آزمایش دو ساله مشخص شد که محلول‌پاشی پوتریسین و اسپرمیدین در شرایط تنش خشکی، افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد در ذرت را در پی داشت (Ahmed *et al.*, 2015). تنظیم‌کننده‌های رشد از طریق بهبود رابطه منبع و مخزن و تحریک انتقال مواد فتوسنتزی، در شکل‌گیری گل‌ها، میوه‌ها و دانه‌ها موثر هستند. بر اساس نتایج پژوهش‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد با افزایش میزان فتوسنتز (منبع) و تسهیم مواد پرورده بین مخازن، رابطه بین منبع و مخزن را در محصولات زراعی بهبود می‌بخشند (Solamani *et al.*, 2001). در آزمایشی، تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر تسهیم مواد پرورده و عملکرد دانه در ماش سبز بررسی شد و نشان داده شد که محلول‌پاشی پوتریسین و اسپرمیدین به‌میزان ۲۰ پی‌پی‌ام، موجب افزایش معنی‌دار اجزاء عملکرد شد (Thavaprakash *et al.*, 2006). همچنین کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها می‌تواند با مهار پراکسیدلیپیدها، افزایش کارآیی مصرف آب و تعدیل متابولیسم گیاه تحمل گیاهان به خشکی را افزایش دهد (Sagor *et al.*, 2013). محلول‌پاشی پوتریسین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام، میزان روغن سویا را در مقایسه با تیمار شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Deotale *et al.*, 2016). با توجه به این‌که تا کنون مطالعات کمی در رابطه با اثر کم آبیاری و محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین بر عملکرد دانه و روغن و کیفیت روغن گلرنگ انجام شده است، بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کم آبیاری و محلول‌پاشی پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین در زمان گلدهی بر عملکرد دانه و روغن، کارآیی مصرف آب و ترکیب اسیدهای چرب انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین‌ها بر عملکرد دانه و روغن، اجزای عملکرد و ترکیب اسیدهای چرب دانه روغن گلرنگ (رقم گلدشت)، آزمایشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۹۰/۸ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه مورد بررسی با میانگین بارندگی سالانه ۲۳۸/۹ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد، جزو مناطق خشک محسوب می‌شود. قبل از شروع آزمایش و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از خاک محل آزمایش انجام شد. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی با وزن مخصوص ظاهری ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و میانگین اسیدتیه حدود ۷/۷۹ بود. سایر نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. این بررسی به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. در این آزمایش، تیمارهای آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح شامل آبیاری کامل (بدون تنش، آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و کم آبیاری (تنش رطوبتی) در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی (آبیاری بر اساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و تیمارهای محلول‌پاشی در ۱۰ سطح شامل محلول‌پاشی با آب (شاهد) و محلول‌پاشی با پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین هر یک در سه سطح (۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. محلول‌پاشی با ترکیبات پلی‌آمین‌ها در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی و در هنگام اعمال تیمار کم آبیاری، با آب مقطر و با استفاده از سمپاش انجام گرفت. جهت دستیابی به تهیه بستری مناسب برای کشت بذر،

عملیات زراعی شامل شخم، دیسک و لولر جهت تسطیح زمین صورت گرفت و ردیف‌های کشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر نیز به کمک فارو ایجاد شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کشت به‌طول پنج متر و فواصل ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود. فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر و تراکم ۴۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. بین کرت‌های اصلی یک متر و بین کرت‌های فرعی به نیم متر فاصله در نظر گرفته شد. بذرها قبل از کشت با قارچ‌کش کربوکسین تیرام آغشته شدند و کشت به‌صورت جوی و پشته و دستی در هفته سوم اسفند ماه سال ۱۳۹۵ انجام شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه کودی، ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به خاک اضافه شدند.

جدول ۱- نتایج آزمون فیزیکی و شیمیائی خاک محل آزمایش

Table 1. physiochemical properties of the experimental site soil

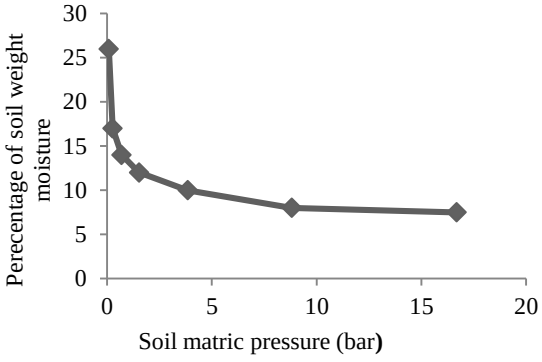
Depth (cm)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Organic Carbon (%)	Total Nitrogen (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	Soil Texture	Bulk Density ($g.cm^{-3}$)	FC (%)	PWP (%)
0-50	2.19	7.79	0.83	0.08	25.6	326.6	Loamy	1.45	16	8

یک سوم کود اوره قبل از کاشت و به‌صورت پایه، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله شروع ساقه‌دهی و ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیز در مرحله شروع طبق‌دهی به‌صورت سرک مصرف شد. کود سولفات پتاسیم نیز به‌صورت پایه در ابتدای کاشت به خاک اضافه شد. در طول دوره رشد، مبارزه با علف‌های‌هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. جهت مبارزه با مگس گلرنگ در مرحله طبق‌دهی، از سم پروتئوس به‌میزان دو در هزار استفاده شد. رقم گلرنگ مورد استفاده در این آزمایش گلدشت بود که از موسسه اصلاح و نهال بذر کرج تهیه شد. این رقم از طریق گزینش لاین‌های خالص از میان توده محلی گلرنگ آذربایجان شرقی، با تاکید بر زودرسی، تعداد بیشتر طبق، اندازه بزرگتر و بدون خار معرفی شده است (Omidi & Javidfar, 2011). جهت تعیین مراحل رشد و نمو گیاه گلرنگ (برای اعمال تیمارهای آبیاری)، از روش Flemmer *et al.* (2015) استفاده شد. بر اساس این روش، ابتدا مراحل رشد و نمو گلرنگ بر اساس مقیاس کددهی (BBCH[1]) تعیین شد و سپس زمان اعمال آبیاری در مراحل مختلف رشدی مشخص شد. بر این اساس، آبیاری تمامی کرت‌ها تا پایان مرحله رشد رویشی (مرحله طبق‌دهی، کد ۵۹) و تقریباً ۷۰ روز بعد از زمان کاشت و بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک انجام گرفت.

آبیاری در کرت‌های تحت تنش کم آبیاری نیز پس از اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک و رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی (کد ۶۵) و تا پایان مرحله گلدهی (کد ۶۹) انجام شد. به‌منظور تعیین درصد رطوبت خاک مزرعه در نقاط پتانسیلی ظرفیت زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و همچنین میزان درصد رطوبت خاک پس از تخلیه ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی از روش Saxton & Rawls (2006) و با استفاده از منحنی رطوبت خاک استفاده شد (شکل ۱).

بر این اساس، درصد رطوبت وزنی خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم به‌ترتیب ۱۶ و هشت درصد و میزان رطوبت خاک قبل از آبیاری برای تیمارهای آبیاری کامل و تنش رطوبتی، به‌ترتیب ۱۲ و ۱۰ درصد بود. در هر یک از سطوح آبیاری جهت تعیین زمان دقیق آبیاری، از روش وزنی (گراویمتریک) استفاده شد؛ برای این منظور، ۴۸ ساعت بعد از آبیاری به‌صورت روزانه و متوالی اقدام به برداشت نمونه خاک با اوگر از عمق توسعه ریشه (صفر تا ۵۰ سانتی‌متر) شد. سپس ها جهت تعیین درصد رطوبت وزنی خاک، وزن نمونه‌ها انازه‌گیری شد و در آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

[1] Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie.



شکل ۱- منحنی رطوبت خاک مزرعه

Figure 1. Moisture curve of the field soil

برای هر یک از تیمارهای آبیاری نیز میزان حجم آب مصرفی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Alizadeh, 2011):

$$V= (FC-\theta_m) \times \rho_b \times D \times A / Ei$$

که در این رابطه، V: حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب، FC: درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_m: درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، P_b: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D: عمق توسعه ریشه بر حسب متر، A: مساحت آبیاری شده بر حسب متر مربع و Ei: کارآیی آبیاری می‌باشد. بر این اساس، میزان حجم آب مصرفی در هر مرتبه آبیاری در هر یک از سطوح آبیاری محاسبه و بر اساس کارآیی توزیع آب ۹۰ درصد و با استفاده از پمپ و کنتور حجمی به‌صورت یکنواخت توزیعشد. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل و تنش رطوبتی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی به‌ترتیب پنج و سه مرتبه بود و میزان آب مصرفی تیمارهای گفته شده نیز به‌ترتیب ۱۹۴۵/۳ و ۱۷۵۰/۸ مترمکعب در هکتار بود. محاسبه کارآیی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایش نیز با استفاده از رابطه زیر و بر اساس نسبت عملکرد اقتصادی به کل آب مصرفی تعیین شد (Stanhill, 1986):

$$WUE = GY / TWU$$

که در این رابطه، WUE: بر حسب کیلوگرم در متر مکعب، GY: عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و TWU: کل میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد. در هنگام رسیدگی کامل محصول و به‌منظور تعیین اجزای عملکرد، از هر کرت آزمایشی پنج بوته به‌صورت تصادفی برداشت شد و سپس تعداد طبق و دانه در طبق و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. جهت تعیین عملکرد دانه و عملکرد زیستی، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌ها از دو ردیف میانی هر کرت به مساحت چهار متر مربع به‌صورت دستی برداشت شدند. بعد از جداسازی دانه‌ها از کاه و کلش، وزن دانه‌ها (با رطوبت ۱۰ درصد) با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. سپس به‌منظور محاسبه عملکرد زیستی، کاه و کلش جدا شده از دانه برای تعیین وزن خشک آن‌هابه مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس از مجموع وزن کل دانه‌ها و کاه و کلش، عملکرد زیستی حاصل شد. برای محاسبه شاخص برداشت بر حسب درصد، از نسبت عملکرد اقتصادی (برحسب کیلوگرم در هکتار) به عملکرد زیستی (بر حسب کیلوگرم در هکتار) ضرب در ۱۰۰ استفاده شد. عملکرد روغن دانه نیز از حاصل‌ضرب درصد روغن در میزان عملکرد دانه در واحد سطح اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد روغن، ۱۰ گرم از نمونه آسیاب شده از هر تیمار به مدت ۴/۵ ساعت در مجاورت حلال پترولیوم بنزین در دستگاه سوکسله قرار گرفت. پس از استخراج روغن، مقدار روغن در یک گرم نمونه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد (AOAC, 1995). برای اندازه‌گیری درصد اسیدهای چرب موجود در دانه‌ها، از روش Metcalfe *et al.* (1966) استفاده شد. برای

جداسازی اسیدهای چرب دانه‌ها از دستگاه کرماتوگرافی گازی Unicam 4600(GC) ساخت انگلستان، مجهز به آشکار ساز یونیزاسیون شعله‌ای و ستون کاپیلاری BPX 70 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر استفاده شد. حجم نمونه تزریق شده به دستگاه، ۰/۱ میکرولیتر و به مدت ۴۰ دقیقه بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.2 انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل، مقایسه میانگین‌های سطوح محلول‌پاشی در هر سطح آبیاری به‌طور جداگانه و با روش برش‌دهی اثرات متقابل انجام شد. برای انجام محاسبات و رسم نمودارها نیز نرم افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و اجزاء عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر پلی‌آمین و اثر متقابل کم آبیاری و پلی‌آمین بر عملکرد دانه گلرنگ در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر کم آبیاری در سطح آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مربوط به اثرات متقابل آبیاری و پلی‌آمین نشان داد که در سطوح آبیاری، تأثیر سطوح محلول‌پاشی پوتریسین نسبت به سایر محلول‌پاشی‌های پلی‌آمین بر عملکرد دانه بیشتر بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه، تعداد طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، عملکرد زیستی و کارآیی مصرف آب در گلرنگ تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها

Table 2. Variance analysis of seed yield, number of capitula per plant, number of seeds per capitula, 1000-seed weight, harvest index, biologic yield and water use efficiency of safflower affected by irrigation levels and foliar application of polyamines

S.O.V	df	Mean Squares						
		Seed yield	Number of capitula per plant	Number of seeds per capitula	1000- seed weight	Harvest index	Biological yield	WUE
Block	3	497123.6	15.6	13.8	1.61	1.7	4043385.6	5.3
I	1	4431.2ns	158.2ns	3.2ns	16.0ns	86.7ns	2126410.0ns	0.4ns
Main error	3	486977.1	40.4	8.2	11.8	129.6	3992735.5	5.2
P	9	397662.9*	151.9**	188.5**	1.1ns	51.3ns	5390154.6*	4.2*
I×P	9	415218.7*	26.2ns	82.7ns	3.6*	141.2**	9524339.6**	4.4*
Sub error	54	161093.7	21.9	44.5	1.6	1800.8	2021136.2	1.7
C.V (%)	-	14.0	20.4	19.76	2.52	15.5	17.9	14.0

I: آبیاری، P: پلی‌آمین. ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

I: irrigation, P: polyamines.ns, * and **: non significant and significance at 5% and 1% of probability levels, respectively.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح کم آبیاری از شاهد به ۷۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی در طول مرحله گلدهی و گرده‌افشانی، مقدار عملکرد دانه گلرنگ با محلول‌پاشی پوتریسین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار، از ۲۸۱۶/۶ به ۳۴۹۹/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. برش‌دهی اثر متقابل نیز نشان داد که با افزایش غلظت محلول‌پاشی پوتریسین به‌میزان ۰/۲ میلی‌مولار در شرایط آبیاری مطلوب (آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)، عملکرد دانه ۲۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳). تحقیقات نشان داده است که مرحله گلدهی گلرنگ، حساسترین مرحله به کم آبیاری است (Farooq *et al.*, 2009; Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009). تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی می‌تواند علاوه بر جذب عناصر و آب، روی میزان فتوسنتز و اندازه مخزن (تعداد دانه) گلرنگ نیز تأثیر گذارد؛ در نتیجه موجب محدود شدن عملکرد گلرنگ می‌شوند (Koutroubas & Papakosta 2010). تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی از طریق متوقف کردن جریان مواد فتوسنتزی به بخش‌های زایشی، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Farooq *et al.*, 2009).

پژوهش‌های متعدد انجام شده در گلرنگ نیز نشان داده است که تنش کمبود آب، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009; Sampaio *et al.*, 2016). افزایش عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری، به‌خصوص در شرایط تنش کم آبیاری در اثر محلول‌پاشی پوتریسین را می‌توان به افزایش اجزای عملکرد نسبت داد. تحقیقات نشان داده است که تولید عملکرد بالاتر در گلرنگ، با افزایش تعداد طبق‌ها در هر بوته و تعداد دانه‌ها در هر طبق مرتبط است (Johnson *et al.*, 2012). در این آزمایش نیز بین عملکرد دانه با تعداد طبق (r=0.60**) و تعداد دانه در طبق (r=0.48**)، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد (نتایج نشان داده نشده است).

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، عملکرد زیستی، کارآیی مصرف آب، عملکرد روغن و محتوای روغن، تحت تأثیر برهمکنش آبیاری و پلی‌آمین.

Table 3. Means comparison of seed yield, 1000-seed weight, biological yield, water use efficiency and oil yield and content affected by irrigation (I) and polyamines (P) interaction

		Seed yield (kg/ha)	1000 seed weight (g)	Harvest index (%)	Biological yield (kg/ha)	WUE (kg/m^3)	Oil yield (kg/ha)	Oil content (%)
	P1	2816.6 b-d	49.62 b	38.44 bc	8293 bc	0.493 b-d	645.67 a-e	22.94 bc
	P2	2675.4 b-d	50.13 ab	37.78 bc	7255 bc	0.478 b-d	604.44 b-e	22.59 c
	P3	3180.8 b	49.51 b	30.81 cd	8388 bc	0.530 ab	659.62 a-d	20.75 f
	P4	3499.6 a	49.85 ab	47.69 a	8261 bc	0.564 a	739.07 a	21.08 f
I1	P5	2280.3 d	51.85 a	36.54 cd	10559 a	0.437 d	529.18 e	23.20 b
	P6	2552.8 cd	50.75 ab	39.86 ab	8663 ab	0.465 cd	553.82 c-e	21.66 e
	P7	2520.7 cd	50.96 ab	44.70 ab	6988 bc	0.462 cd	548.61 de	21.78 de
	P8	3063.4 a-c	51.79 a	38.97 a-c	7577 bc	0.518 a-c	678.52 a-c	22.14 d
	P9	2897.9 bc	51.00 ab	28.55 d	6394 c	0.501 bc	710.75 ab	24.50 a
	P10	3128.5 ab	50.59 ab	38.90 bc	8404 bc	0.525 ab	707.36 ab	22.60 c
	P1	2781.7 b	52.57 a	34.33a-c	7457.9 bc	0.489 b	633.66 ab	22.78 a
	P2	2884.8 ab	51.28 a-c	40.12 ab	7229.4 bc	0.500 ab	614.21 a-c	21.30 c
	P3	3430.0 a	50.98 c	41.31 a	7366.7 bc	0.557 a	708.39 a	20.65 d
	P4	2602.1 b	52.76 a	32.21 bc	10477.5 a	0.471 b	515.05 c	19.80 e
I2	P5	2967.3 ab	51.20 a-c	28.58 c	6464.4 bc	0.508 ab	570.37 bc	19.22 f
	P6	3004.4 ab	51.09 bc	35.04 a-c	6687.5 bc	0.512 ab	579.55 bc	19.29 f
	P7	2576.4 b	50.77 c	37.35 ab	5643.2 c	0.468 b	542.13 bc	21.04 cd
	P8	2908.0 ab	50.78 c	37.77 ab	7852.7 b	0.502 ab	535.63 bc	18.49 g
	P9	2542.1 b	51.70 a-c	40.49 a	8030.7 b	0.464 b	558.45 bc	21.93 b
	P10	2770.4 b	51.86 a-c	34.21 a-c	10313.7 a	0.488 b	537.41 bc	19.38 ef

I1= آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (شاهد)، I2= آبیاری بر اساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش)، P1= محلول‌پاشی با آب (شاهد)، P2= ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین، P3= ۰/۱ میلی‌مولار پوتریسین، = ۰/۲ میلی‌مولار پوتریسین، P5= ۰/۰۵ میلی‌مولار اسپرمیدین، P6= ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین، P7= ۰/۲ میلی‌مولار اسپرمیدین، P8= ۰/۰۵ میلی‌مولار اسپرمین، P9= ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمین، P10= ۰/۲ میلی‌مولار اسپرمین.

I1: irrigation after 50% depletion of field capacity (control), I2: irrigation after 75% depletion of field capacity (stress), P1: control (foliar application of water), P2: 0.05 mM putrescine, P3: 0.1 mM putrescine, P4: 0.2 mM putrescine, P5: 0.05 mM spermidin, P6: 0.1 mM spermidin, P7: 0.2 mM spermidin, P8: 0.05 mM spermin, P9: 0.1 mM spermin, P10: 0.2 mM spermin.

افزایش عملکرد دانه گندم با سطوح محلول‌پاشی پوتریسین تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Karimi, 2016) که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد. در یک بررسی دو ساله بر روی ذرت نیز مشخص شد که محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین پوتریسین و اسپرمیدین طی کم آبیاری، سبب افزایش عملکرد و اجزاس آن شد. (Ahmed *et al.*, 2015). تحقیقات نشان داده است که پلی‌آمین‌ها در طیف گسترده‌ای از فرآیندهای رشد و نمو از قبیل تقسیم سلولی، جنین‌زایی، گلدهی، رسیدن میوه و دانه‌ها و همچنین در پاسخ به تنش‌های محیطی نقش دارند (Öztürk & Demir, 2003).

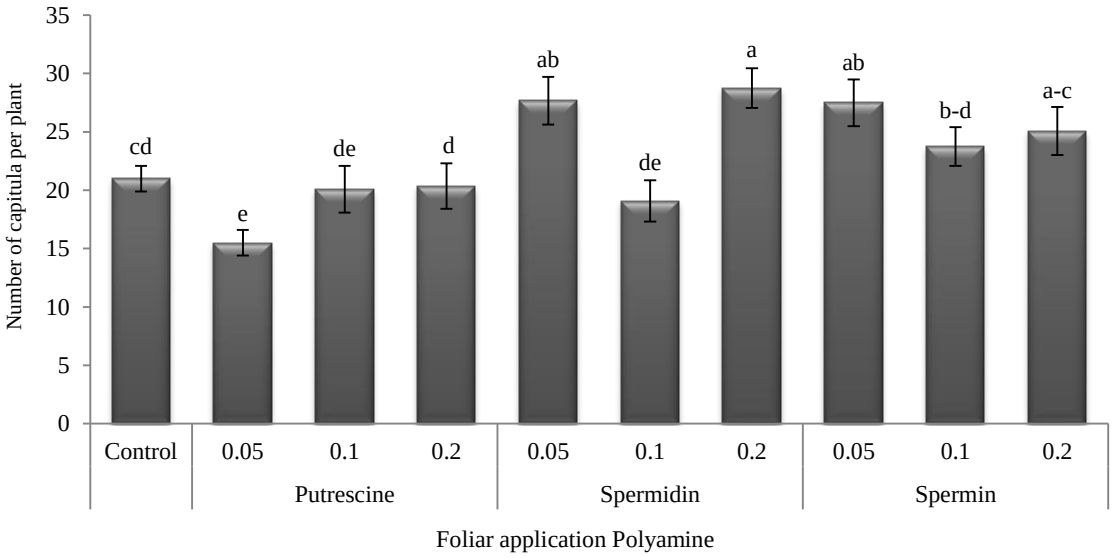
تحقیقات نشان داده شده است که پلی‌آمین‌ها از طریق مهار ACC سنتتاز و تبدیل ۱- آمینو سیکلو پروپان ۱- کربوکسیلیک (ACC) به اتیلن، پیری را در گیاه به تاخیر می‌اندازند (Li *et al.*, 2004)؛ بنابراین با افزایش سنتز پلی‌آمین‌ها و یا افزایش غلظت آن‌ها در گیاه،

سنتز اتیلن کاهش می‌یابد (Alcázar *et al.*, 2006). بنابراین تاخیر در پیری برگ می‌تواند به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری در گیاهان تحت شرایط تنش محسوب شود. به‌نظر می‌رسد که افزایش عملکرد دانه گلرنگ تحت شرایط تنش رطوبتی در اثر محلول‌پاشی برگی پوتریسین، به دلیل تاخیر در پیری برگ‌ها و افزایش دوام سطح برگ و همچنین افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به بخش‌های زایشی گیاه باشد. اثر مثبت محلول‌پاشی پوتریسین بر روی افزایش دوام سطح برگ گندم توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (Emadi *et al.*, 2013).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد وزن هزاردانه، تنها تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای آبیاری و پلی‌آمین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مشاهده اثر متقابل معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری و پلی‌آمین برای وزن هزار دانه نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی اسپرمیدین و اسپرمین، هر کدام با غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار در شرایط آبیاری کامل، موجب افزایش وزن هزار دانه آن‌ها شد و سایر تیمارها تأثیر کمتری بر وزن هزار دانه داشتند و کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار محلول‌پاشی آب مشاهده شد (جدول ۳). تیمارهای پوتریسین با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار و محلول‌پاشی آب نیز به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری میانگین وزن هزار دانه بیشتری نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی در هنگام اعمال کم آبیاری در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی دارا بودند. نتایج حاصل از یک بررسی نیز نشان داد که محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها با غلظت 10^{-3} مولار در مرحله ۵۰ درصد گلدهی سویا، سبب افزایش تعداد غلاف و وزن هزار دانه شده است. (Sharma, 1999). همچنین گزارش شده است که کاربرد خارجی پلی‌آمین‌های اسپرمیدین و اسپرمین به‌طور معنی‌داری سرعت پرشدن و وزن دانه گندم را افزایش داد (Liu *et al.*, 2013). معمولاً تنش‌های محیطی از جمله کم آبیاری و گرما در طی دوره پر شدن دانه‌ها، سبب پیری زودرس، کاهش زمان پر شدن دانه‌ها و کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن می‌شوند (Asseng & Van, 2003; Plaut *et al.*, 2004). در این آزمایش، محلول‌پاشی برگی ترکیبات پلی‌آمین، احتمالاً با افزایش دوام سطح برگ، میزان فتوسنتز و افزایش طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش وزن هزار دانه در گلرنگ شده است. به‌طورکلی و در شرایط کمبود آب، افزایش نسبی طول دوره پر شدن دانه‌ها می‌تواند از طریق افزایش انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، در افزایش وزن دانه‌ها موثر باشد. تعداد طبق در بوته و تعدا دانه در طبق، تحت تأثیر سطوح محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود؛ درحالی‌که اثر تیمار کم آبیاری و اثر متقابل کم آبیاری و پلی‌آمین معنی‌دار نبود (جدول ۲).

در این آزمایش، مقادیر و نوع محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر تعداد طبق گیاه تأثیر گذاشت و با افزایش غلظت اسپرمیدین از ۰/۱ به ۰/۲ میلی‌مولار، تعداد طبق گیاه نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی آب) و پوتریسین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار به‌ترتیب ۳۶/۹۲ و ۸۵/۵۳ درصد افزایش یافت (شکل ۲). در یک بررسی بر روی اثر کم آبیاری بر انتقال مجدد و وزن خشک اندام‌های گیاهی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ بهاره مشخص شد که در تخصیص ماده خشک بین اندام‌های هوایی گلرنگ در مرحله گلدهی، تقریباً حدود ۷۰ درصد به اندام‌های رویشی و ۳۰ درصد به اندام‌های زایشی اختصاص یافت (Behdani & Mousavifar, 2011). به‌نظر می‌رسد که ترکیبات پلی‌آمین در تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به بخش‌های زایشی، باعث افزایش بیشتر تعداد طبق در گلرنگ شده‌اند، زیرا این ترکیبات از طریق افزایش میزان سطح برگ (به‌عنوان یک منبع قوی فیزیولوژیک) و به دنبال آن افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها و مواد پرورده، در تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به بخش‌های زایشی در شکل‌گیری تعداد طبق‌ها در گلرنگ موثر بوده است. نتایج این آزمایش نشان داد که تأثیر محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها در افزایش تعداد دانه در طبق معنی‌دار بود، به شکلی که کمترین سطح محلول‌پاشی پوتریسین (۰/۰۵ میلی‌مولار)، تعداد دانه در طبق را ۷/۴ درصد نسبت به

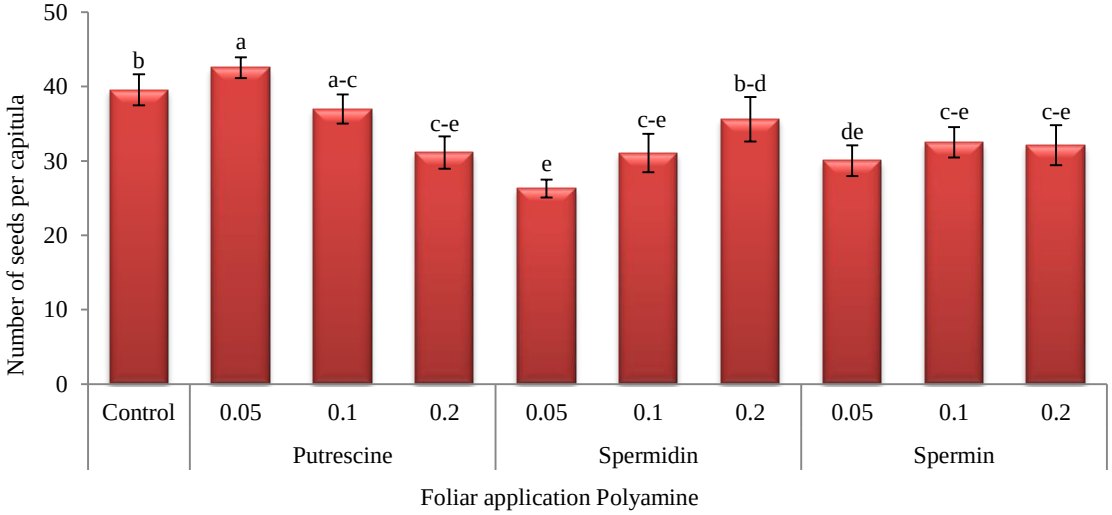
شاهد (محلول‌پاشی آب) و ۶۱/۶۷ درصد نسبت به محلول‌پاشی اسپرمیدین به‌میزان ۰/۱ میلی‌مولار افزایش داد (شکل ۳).



شکل۲- تأثیر محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر تعداد طبق در بوته گلرنگ

Figure 2. Effect of foliar application of polyamines on the number of safflower capitula per plant

بنظر می‌رسد که محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها، در حفظ و ثبات فرآیند تقسیم سلولی دانه‌های در حال رشد نقش داشته باشد؛ بنابراین کاربرد این ترکیب‌ها می‌تواند از کاهش تقسیم سلولی و پس از آن از کاهش اندازه مخزن‌ها (دانه‌ها) جلوگیری نمایند تحقیقات نشان داده‌اند که پلی‌آمین‌ها، نقش مهمی در فرآیندهای تقسیم سلولی، جنین‌زایی و شروع گلدهی دارند (Davies, 1995). بنابراین پایداری در تقسیم سلولی دانه‌ها در اثر استفاده از محلول‌پاشی ترکیب‌های پلی‌آمین می‌تواند منجر به افزایش تعداد طبق شود. تعداد طبق، تعداد شاخه‌ها، ارتفاع اولین شاخه مهم‌ترین ویژگی در افزایش بهبود عملکرد دانه گلرنگ می‌باشد (yang *et al.*, 2006).



شکل۳- تأثیر محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر تعداد دانه در طبق گلرنگ

Figure 3. Effect of polyamine foliar application on Number of seeds per capitula in safflowe

با توجه به این‌که پلی‌آمین‌ها در تقسیم سلولی نقش بسزایی دارند، بنابراین محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین ممکن است در حفاظت از تمامیت سلول‌ها و اندامک‌های درون سلولی و پایدار نگهداشتن تقسیم سلولی موثر باشند. افزایش تعداد طبق‌ها در اثر محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها می‌تواند ناشی از تخصیص بیشتر مواد فتوسنتز جاری به اندام‌های زایشی باشد که این امر، باعث شکل‌گیری بیشتر طبق‌ها در شاخه‌های فرعی می‌شود.

عملکرد زیستی و شاخص برداشت

در این آزمایش، اثر پلی‌آمین در سطح آماری پنج درصد و اثر متقابل کم آبیاری و پلی‌آمین بر عملکرد زیستی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). روند تغییرات مقدار عملکرد زیستی در سطوح مختلف محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین در هر یک از سطوح آبیاری نسبتاً زیاد بود. نتایج برش‌دهی اثر متقابل نشان داد که با اعمال تنش کم آبیاری در مرحله گلدهی، میزان عملکرد زیستی با افزایش سطوح محلول‌پاشی پوتریسین و اسپرمین از ۰/۰۵ به ۰/۲ میلی‌مولار در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۳۰۱۹/۶ و ۲۸۵۵/۸ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. اما در هنگام آبیاری مطلوب، کمترین غلظت محلول‌پاشی اسپرمیدین (۰/۰۵ میلی‌مولار) توانست مقدار عملکرد زیستی را از ۸۲۹۳ به ۱۰۵۵۹ کیلوگرم افزایش دهد و افزایش غلظت محلول‌پاشی اسپرمیدین از ۰/۰۵ به ۰/۲ میلی‌مولار، موجب کاهش ۵۱/۱ درصدی عملکرد زیستی شد (جدول ۳). به‌طورکلی در هنگام بروز کم آبیاری، تولید مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش فتوسنتز جاری گیاه کاهش می‌یابد و این موضوع می‌تواند موجب تخصیص کمتر مواد پرورده به اندام‌های رویشی و زایشی گیاه شود که در نهایت منجر به کاهش میزان ماده خشک در گیاه می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش می‌توان چنین برداشت کرد که افزایش غلظت سطوح محلول‌پاشی پوتریسین و اسپرمین در شرایط تنش رطوبتی، احتمالاً بر توزیع مقدار مواد پرورده بین اندام‌های رویشی و زایشی از طریق افزایش سطح برگ و دوام سطح برگ و فتوسنتز گیاه موثر بوده است و از این طریق، موجب افزایش عملکرد زیستی در شرایط تنش کم آبیاری شده‌اند. نتایج یک آزمایش نشان داد که کاربرد پوتریسین و اسپرمیدین به‌صورت محلول‌پاشی، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی در گیاه ذرت شد (Ahmed *et al.*, 2015). در این بررسی، اثر متقابل آبیاری و پلی‌آمین بر روی شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در ارزیابی اثر متقابل کم آبیاری و پلی‌آمین مشخص شد که استفاده از محلول‌پاشی پوتریسین، تأثیر مثبتی روی افزایش شاخص برداشت در هر یک از سطوح آبیاری داشت. مقایسه ترکیب‌های تیماری در تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش) مشخص کرد که محلول‌پاشی پوتریسین با بیشترین غلظت (۰/۲ میلی‌مولار) نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی آب)، شاخص برداشت ۲۴ درصد افزایش داشت. در شرایط تنش رطوبتی و کاهش میزان آب تا ۷۵ درصد ظرفیت زراعی نیز محلول‌پاشی پوتریسین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار باعث افزایش ۲۰/۳۳ درصدی شاخص برداشت در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۳). با توجه به این‌که شاخص برداشت بیانگر درصد انتقال مواد پرورده تولید شده از بخش‌های رویشی گیاه به دانه‌ها می‌باشد و تحت شرایط کمبود آب، مواد فتوسنتزی در گیاه به دلایل متعدد کاهش می‌یابد، بنابراین سهم هر یک از دانه‌ها از این مواد پرورده کمتر شده است که در نهایت موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود. بنابراین افزایش شاخص برداشت نشان دهنده آن است که درصد بیشتری از مواد فتوسنتزی تولید شده به دانه‌ها انتقال یافته است. احتمالاً محلول‌پاشی پوتریسین در شرایط کم آبیاری، میزان تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را از طریق تأخیر در پیری گیاه و تداوم سطح برگ‌ها و افزایش طول دوره پر شدن دانه افزایش داده باشد؛ از این رو باعث شاخص برداشت بیشتر شده است. در این زمینه پژوهش انجام شده در گندم نیز نشان داد که محلول‌پاشی پوتریسین، باعث افزایش شاخص برداشت شد (Karimi, 2016).

کارآیی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که تأثیر محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها و اثر متقابل کم آبیاری و پلی‌آمین (P<۰/۰۵) بر کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۴). در هر یک از سطوح آبیاری، محلول‌پاشی پوتریسین، از لحاظ کارآیی مصرف آب نسبت به سایر ترکیبات محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها برتر بود. مشاهده اثر متقابل معنی‌دار بین تیمارهای پلی‌آمین بر کارآیی مصرف آب نشان داد که با کاهش میزان تخلیه رطوبت خاک از ۷۵ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، افزایش غلظت محلول‌پاشی پوتریسین تا میزان ۰/۲ میلی‌مولار، موجب افزایش معنی‌دار ۱۴/۴ درصدی کارآیی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد شد. اما در هنگام افزایش تخلیه رطوبت خاک از ۵۰ درصد به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی گلرنگ، افزایش غلظت پوتریسین تا ۰/۱ میلی‌مولار توانست مقدار کارآیی مصرف آب را از ۰/۴۸۹ کیلوگرم در مترمکعب به ۰/۵۵۷ کیلوگرم در متر مکعب برساند (جدول ۳). بررسی برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی بر کارآیی مصرف آب نشان داد که در شرایط کم آبیاری، تیمارهای محلول‌پاشی پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین هر یک با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار توانستند کارآیی مصرف آبی مشابه تیمار شاهد (محلول‌پاشی آب) داشته باشند. می‌توان بیان داشت با کاربرد ۰/۲ میلی‌مولار از این ترکیبات در شرایط تنش رطوبتی برای تولید یک گرم دانه در متر مربع، تقریباً ۱۶/۴، ۱۸/۳ و ۱/۵ لیتر در هر مترمربع آب صرفه‌جوئی شده است. پلی‌آمین‌ها ترکیبات آلیفاتیک فراگیر هستند که به دلیل نقش‌شان در کاهش رادیکال‌های آزاد، تنظیم اسمزی و حفظ تعادل کاتیون‌ها و آنیون‌ها تحت تنش‌های غیر زیستی، موجب افزایش تحمل گیاهان می‌شوند. مشخص شده است که پلی‌آمین‌ها می‌توانند تحمل به خشکی گیاهان را با مهار پراکسیداسیون، افزایش کارآیی مصرف آب و همچنین با تعدیل متابولیسم گیاه بهبود بخشند (Sagor *et al.*, 2013). در پژوهشی نشان داده شد که محلول‌پاشی اسپرمیدین در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا، باعث افزایش کارآیی مصرف آب شد (Torabian *et al.*, 2018). در تحقیقی دیگر، با افزایش کمبود آب در گیاه بامیه، کارآیی مصرف آب کاهش معنی‌داری داشت، اما محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پوتریسین با غلظت ۲ میلی‌مولار، کارایی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Barzegar *et al.*, 2016). کارآیی مصرف آب با بسیاری از خصوصیات فیزیولوژیک مهم گیاهان از قبیل هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و تنظیم اسمزی همراه است (Bacon, 2009).

به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی پوتریسین از طریق بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک در گیاه نظیر افزایش کارآیی سطح فتوسنتز و بهبود روابط منبع و مخزن در گیاه، موجب افزایش کارآیی مصرف آب شده باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد و درصد روغن، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسیدهای چرب اشباع و اسیدهای چرب غیراشباع روغن دانه گلرنگ تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها

Table 4. Variance analysis of oil yield and content and palmitic, stearic, oleic, linoleic, saturate fatty and unsaturate fatty acids in safflower affected by irrigation levels and foliar application of polyamines

S.O.V	df	Mean Squares							
		Oil yield	Oil content	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Saturate fatty acid	Unsaturate fatty acid
Block	3	22792.1	0.1	32.4	0.6	0.6	20.9	12.4	0.4
I	1	67794.2ns	751.3**	3.4*	0.2ns	0.5ns	352.0**	0.1ns	22.5**
Main error	3	21474.9	0.9	0.34	0.3	0.4	0.5	5.7	0.6
P	9	15179.0*	83.1**	4.9ns	0.3ns	2.3*	266.0**	8.0ns	26.7**
I×P	9	20845.0**	40.3**	7.0*	0.6ns	4.3**	238.4**	25.6ns	31.5**
Sub error	54	7018.6	0.9	2.9	1.5	1.1	10.7	20.5	3.0
C.V (%)	-	13.7	1.4	2.4	15.6	2.3	4.3	4.7	1.6

I: آبیاری، P: پلی‌آمینns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

I: irrigation, P: polyamines.ns, * and **: non significant and significance at 5% and 1% of probability levels, respectively.

عملکرد روغن و درصد روغن

عملکرد روغن تحت تأثیر معنی‌دار پلی‌آمین (P<۰/۰۵) و اثر متقابل آبیاری و پلی‌آمین (P<۰/۰۱) قرار داشت (جدول ۴). برش‌دهی اثر متقابل کم آبیاری و پلی‌آمین نشان داد در هر یک از سطوح آبیاری، محلول‌پاشی پوتریسین تأثیر زیادی بر عملکرد روغن داشت. با افزایش میزان تخلیه رطوبت خاک به‌میزان ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی، محلول‌پاشی پوتریسین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار، موجب افزایش عملکرد روغن از ۶۳۳/۶۶ (در تیمار شاهد) به ۷۰۸/۳۹ کیلوگرم در هکتار شد. در این آزمایش، افزایش غلظت پوتریسین تا ۰/۲ میلی‌مولار در در شرایط آبیاری کامل، سبب افزایش ۱۴/۵ درصدی عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی آب) شد (جدول ۳). کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی باشد (Nakagawa *et al.*, 2018).با توجه به این‌که تنش خشکی در زمان گلدهی و گرده‌افشانی باعث کاهش سنتز مواد فتوسنتزی از طریق کاهش سطح برگ می‌شود، به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی برگی پوتریسین در هنگام اعمال تنش رطوبتی در مرحله گلدهی، با گسترش بیشتر و تداوم سطح برگ موجب فراهم شدن منبع فیزیولوژیک کافی جهت استفاده بیشتر گیاه از نور دریافتی شده باشد و از این طریق باعث افزایش میزان فتوسنتز جاری و تخصیص مواد پرورده به دانه‌های در حال رشد شده باشد. از سوی دیگر، احتمالاً محلول‌پاشی پوتریسین با افزایش طول دوره پر شدن موثر دانه، مدت زمان لازم جهت ذخیره سازی روغن در دانه‌ها را فراهم نموده است و این موضوع می‌تواند موجب افزایش عملکرد روغن تولید شده در واحد سطح شود. در گیاه سویا، محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین به‌میزان 10^{-3} مولار در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، موجب افزایش عملکرد روغن شد (Sharma, 1999). نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر آبیاری و پلی‌آمین و اثر متقابل آبیاری و پلی‌آمین روی درصد روغن (P<۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج برش‌دهی اثر متقابل آبیاری و پلی‌آمین نشان داد که در شرایط عدم محدویت رطوبتی (آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، افزایش درصد روغن در واکنش به محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها مثبت بود و محلول‌پاشی اسپرمین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار، سبب افزایش ۶/۸ درصدی روغن گلرنگ نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب) شد. اما در هنگام کاهش رطوبت خاک (آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)، اثر منفی تنش کمبود آب بر درصد روغن با استفاده از محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها جبران نشد و بیشترین درصد روغن با محلول‌پاشی آب به‌دست آمد (جدول ۳). کاهش درصد روغن گلرنگ در شرایط تنش خشکی، توسط برخی از پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Akbari *et al.*, 2020) که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. نتایج یک بررسی نشان داد که کاهش میزان روغن کلزا در اثر تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی، به علت اثرات آنی تنش خشکی بر تخریب فرایندهای متابولیک بذر، کاهش در انتقال مواد پرورده به دانه و احتمالاً تولید ترکیبات ثانویه نامطلوب در تولید روغن دانه می‌باشد (Bouchereau *et al.*, 1996). به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی آب در طی تنش کم آبیاری در مرحله گلدهی، احتمالاً با تأمین رطوبت بیشتر در دانه‌ها، از تأثیر آنی تنش خشکی بر فرآیندهای متابولیک بذر جلوگیری نموده است و از این طریق توانسته است ظرفیت دانه‌ها را در ذخیره سازی روغن افزایش دهد. گزارش شده است که محلول‌پاشی پوتریسین به‌میزان ۱۰۰ پی‌پی‌ام ۱۰ روز بعد از گلدهی و ۱۰ روز قبل از آن، محتوای روغن در سویا را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (Deotale *et al.*, 2016) . افزایش درصد روغن در شرایط آبیاری کامل با محلول‌پاشی اسپرمین نیز ممکن است به دلیل بهبود روابط منبع و مخزن و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن‌های در حال توسعه باشد که این امر در نهایت ممکن است موجب افزایش درصد روغن شده باشد.

اسیدهای چرب اشباع روغن دانه

اثر کم آبیاری و اثر متقابل کم آبیاری و پلی‌آمین بر روی اسید پالمیتیک (P<۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مربوط به اثرات متقابل تنش رطوبتی و تیمار محلول‌پاشی پلی‌آمین نشان داد که بیشترین درصد اسید پالمیتیک در هنگام افزایش تخلیه رطوبتی خاک به‌میزان ۷۵ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی آب (شاهد) به‌دست آمد، اما افزایش غلظت اسپرمین تا میزان ۰/۲ میلی‌مولار، موجب کاهش اسید پالمیتیک شد. در شرایط آبیاری مطلوب (آبیاری پس از تخیله ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) نیز محلول‌پاشی‌های اسپرمین و پوتریسین به‌ترتیب با غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار، سبب کاهش درصد اسید پالمیتیک شد (جدول ۵). در این آزمایش، اثر آبیاری، پلی‌آمین و اثر متقابل میان آن‌ها بر اسید استئاریک معنی‌دار نبود (جدول ۴). عدم وجود اثر متقابل معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری و پلی‌آمین برای اسید استئاریک نشان داد که اسید استئاریک در هر سطح از آبیاری به نحو نسبتاً یکسانی تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی قرار گرفته است. با این وجود، بیشترین غلظت محلول‌پاشی پوتریسین (۰/۲ میلی‌مولار)، تأثیر بیشتری در کاهش اسید استئاریک در شرایط آبیاری مطلوب داشت (جدول ۵). در این زمینه گزارش شده است که کم آبیاری در ارقام مختلف گلرنگ، سبب افزایش درصد اسید پالمیتیک شد، اما تحت کم آبیاری، درصد اسید استئاریک تغییرات کمی داشت (Nazari *et al.*, 2017). مطالعات نشان داده است که شرایط محیطی، تأثیر زیادی بر صفات کیفیت دانه، غلظت روغن و ترکیب اسیدهای چرب دارد (Jalilian *et al.*, 2012). اثر آبیاری، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر مجموع اسیدهای چرب اشباع دانه گلرنگ معنی‌دار نبود (جدول ۴). با وجود معنی‌دار نبودن اثر متقابل کم آبیاری و محلول‌پاشی بر مجموع اسیدهای چرب اشباع دانه گلرنگ، افزایش غلظت محلول‌پاشی اسپرمین در هنگام اعمال کم آبیاری در مرحله گلدهی، سبب کاهش مجموع اسیدهای چرب اشباع شد. در شرایط بدون تنش نیز تیمارهای اسپرمین و پوتریسین به‌ترتیب با غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۲ میلی‌مولار، موجب کاهش مجموع اسیدهای چرب اشباع شد (جدول ۵).

اثر محلول‌پاشی (P<۰/۰۱) و اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی (P<۰/۰۱) روی اسید اولئیک معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی برش‌دهی اثر متقابل نشان داد که محلول‌پاشی پوتریسین، تأثیر بیشتری بر روی افزایش درصد اسید اولئیک در هر یک از سطوح آبیاری داشته است. با افزایش سطح محلول‌پاشی پوتریسین از ۰/۰۵ به ۰/۲ میلی‌مولار در هنگام کاهش میزان تخلیه رطوبتی خاک تا ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، بر میزان اسید اولئیک به‌طور معنی‌داری افزوده شد، اما با افزایش مقدار رطوبت خاک تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، درصد اسید اولئیک با محلول‌پاشی پوتریسین به‌میزان ۰/۰۵ میلی‌مولار افزایشی معادل ۱۴/۹ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی آب نشان داد (جدول ۵). با توجه به جدول ۲، اثر آبیاری، محلول‌پاشی و اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر اسید لینولئیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به‌طورکلی شرایط محیطی در طی نمو بذر، بر اجزای اسیدهای چرب دانه تأثیر می‌گذارند (Carrera & Dardanelli, 2017) همچنین مشخص گردیده است که کمبود آب، اغلب ترکیبات و فرآیندهای بیوسنتزی اسیدهای چرب دانه را تغییر می‌دهد که این امر می‌تواند موجب کاهش عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب شود (Baldini *et al.*, 2000). در این زمینه Hamrouni *et al.* (2001) نیز با بررسی اثر تنش خشکی بر روی گلرنگ اظهار کردند که تنش خشکی از بیوسنتز اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه و همچنین از فعالیت آنزیم‌های اشباع‌زدایی اسیدهای چرب جلوگیری می‌کنند و از این طریق موجب کاهش درجه غیراشباعی در لیپیدهای برگ‌های گلرنگ می‌شوند. نتایج این تحقیق نشان داد که درصد اسید لینولئیک در هر یک از سطوح آبیاری، در واکنش به محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها مثبت بوده است. نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان می‌داد که اثر تیمارهای محلول‌پاشی اسپرمیدین با غلظت (۰/۰۱ میلی‌مولار)، پوتریسین با غلظت‌های (۰/۰۵ و ۰/۰۱ میلی‌مولار) و اسپرمین با غلظت (۰/۲

میلی‌مولار) بر افزایش درصد اسید لینولئیک در هنگام اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی گلرنگ یکسان بود. در شرایط آبیاری مطلوب نیز محلول‌پاشی پوتریسن به مقدار ۰/۰۵ میلی‌مولار، اسید لینولئیک را ۴/۰۷ درصد نسبت به تیمار محلولپاشی با آب (شاهد) افزایش داد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اسید پالمیتیک، استئاریک، اولئیک، لینولئیک و اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع روغن دانه تحت تأثیر برهمکنش آبیاری و پلی‌آمین.

Table 5. Means comparison of palmitic, stearic, oleic, linoleic, saturate fatty and unsaturated fatty acids affected by irrigation (I) × polyamines (P) interaction

		Palmitic acid (%)	Stearic acid (%)	Oleic acid (%)	Linoleic acid (%)	Saturated fatty acid	Unsaturated fatty acid
I1	P1	7.00 a-c	2.46 a	14.42 a-c	75.58 bc	9.46 b	90.49 b
	P2	7.12 ab	2.58 a	14.90 a	78.66 a	9.71 ab	94.26 a
	P3	6.85 c	2.56 a	14.18 bc	75.56 bc	9.41 b	90.46 b
	P4	6.90 bc	2.36 a	14.42 a-c	75.73 bc	9.26 b	90.81 b
	P5	6.90 bc	2.52 a	14.65 ab	75.30 c	9.43 b	90.57 b
	P6	6.91 bc	2.46 a	14.37 bc	75.53 bc	9.38 b	90.55 b
	P7	6.96 a-c	2.55 a	14.39 bc	75.45 bc	9.51 ab	90.53 b
	P8	6.85 c	2.41 a	14.14 c	75.91 b	9.26 b	90.73 b
	P9	6.92 bc	2.58 a	13.93 c	75.74 bc	9.51 ab	90.31 b
	P10	7.19 a	2.92 a	14.67 ab	74.70 d	10.11 a	90.16 b
I2	P1	7.21 a	2.47 a	14.68 a-c	75.08 bc	9.69 a	90.33 a
	P2	7.09 a-c	2.50 a	14.08 d	75.69 a	9.59 a	90.43 a
	P3	6.95 b-d	2.46 a	14.32 b-d	75.61 a	9.41 a	90.53 a
	P4	7.16 ab	2.56 a	15.06 a	74.62 d	9.73 a	90.50 a
	P5	6.87 cd	2.48 a	14.48 b-d	75.65 a	9.36 a	90.66 a
	P6	7.00 a-d	2.47 a	14.14 d	75.77 a	9.47 a	90.69 a
	P7	6.97 a-d	2.46 a	14.45 b-d	75.43 ab	9.43 a	90.57 a
	P8	7.05 a-c	2.61 a	14.75 ab	74.89 cd	9.67 a	90.45 a
	P9	6.90 cd	2.57 a	14.38 b-d	74.62 d	9.47 a	90.66 a
	P10	6.80 d	2.48 a	14.27 cd	75.66 a	9.28 a	90.69 a

I1= آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (شاهد)، I2= آبیاری بر اساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (تنش)، P1= محلول‌پاشی با آب (شاهد)، P2= ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین، P3= ۰/۱ میلی‌مولار پوتریسین، = ۰/۲ میلی‌مولار پوتریسین، P5= ۰/۰۵ میلی‌مولار اسپرمیدین، P6= ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمیدین، P7= ۰/۲ میلی‌مولار اسپرمیدین، P8= ۰/۰۵ میلی‌مولار اسپرمین، P9= ۰/۱ میلی‌مولار اسپرمین، P10= ۰/۲ میلی‌مولار اسپرمین.

I1: irrigation after 50% depletion of field capacity (control), I2: irrigation after 75% depletion of field capacity (stress), P1: control (foliar application of water), P2: 0.05 mM putrescine, P3: 0.1 mM putrescine, P4: 0.2 mM putrescine, P5: 0.05 mM spermidin, P6: 0.1 mM spermidin, P7: 0.2 mM spermidin, P8: 0.05 mM spermin, P9: 0.1 mM spermin, P10: 0.2 mM spermin.

ا سیدهای چرب غیراشباع روغن دانه

نتایج حاصل از یک بررسی نشان داد که محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر اسید سالسیلیک و پوتریسین در زمان اعمال کم آبیاری در مرحله گلدهی کلزا، موجب افزایش میزان اسید اولئیک شد (Ullah *et al.*, 2012). برخی از پژوهشگران گزارش کردند که پلی‌آمین‌ها از طریق فعال‌سازی سنتز برخی از آنزیم‌های که در متابولیسم اسیدهای چرب مشارکت می‌کنند، نقش دارند (Brown *et al.*, 1991). همچنین مشخص شده است که فعالیت برخی آنزیم‌های سنتز کننده اسیدهای چرب در دانه‌های کلزا، به ترکیبات پلی‌آمین‌ها بستگی دارد (Talaat & El-Din, 2007). بنابر این و با توجه به این‌که ترکیبات پلی‌آمین در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاهان و همچنین در رشد و نمو دانه‌ها نقش دارند، به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها از طریق به تاخیر انداختن پیری گیاه، موجب افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها شده باشد و از سوی دیگر با تأثیر بر فعالیت برخی آنزیم‌های که در سنتز اسیدهای چرب دانه مشارکت می‌کنند، موجب بهبود نسبی کیفیت روغن گلرنگ از نظر ترکیب اسیدهای چرب غیراشباع شده باشند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس بر روی مجموع اسیدهای چرب غیراشباع دانه گلرنگ نشان داد که اثر آبیاری، محلول‌پاشی و اثر متقابل

آبیاری و محلول‌پاشی بر مجموع اسیدهای چرب غیراشباع دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در طی دوره اعمال کم آبیاری و کاهش مقداد رطوبت خاک تا میزان ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، افزایش غلظت محلول‌پاشی اسپرمین، باعث افزایش مجموع اسیدهای چرب غیراشباع دانه گلرنگ شد. هر چند میان تیمار اسپرمین با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار و اسپرمیدین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در شرایط عدم محدویت رطوبتی خاک (آبیاری کامل)، محلول‌پاشی پوتریسین با غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار، مجموع اسیدهای چرب غیراشباع دانه را نسبت به تیمار شاهد ۴/۱۷ افزایش داد (جدول ۵). نتایج حاضر با نتایج سایر محققین (Hamrouni *et al.*, 2001) در گلرنگ همخوانی دارد آن‌ها بیان داشتند که در اثر تنش آب، کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع نسبت به اسیدهای چرب اشباع کاهش بیشتری داشت. همچنین گزارش شده است که میزان اسیدهای چرب غیراشباع در اثر تنش کمبود آب ممکن است به دلیل مهار بیوسنتز اسیدهای چرب غیراشباع و فعالیت آنزیم‌های اشباع‌زدایی اسیدهای چرب باشد (Pham-Thi *et al.*, 1985). به‌طورکلی، کمبود آب در سطح سلول می‌تواند در نفوذپذیری غشای سلولی و سیالیت آن‌ها تغییر ایجاد نماید؛ بنابراین کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع احتمالاً می‌تواند به معنای افزایش استحکام غشای سلولی باشد. به‌نظر می‌رسد که افزایش معنی‌دار میزان اسید چرب پالمیتیک و افزایش غیرمعنی‌دار مجموع اسیدهای چرب اشباع و همچنین کاهش میزان مجموع اسیدهای چرب غیراشباع در سطح کم آبیاری ممکن است به دلیل افزایش سطح سازگاری غشاها جهت کنترل کم آبیاری باشد و بدین طریق از سیالیت غشاها در برابر تنش محافظت کنند. به‌نظر می‌رسد که کاربرد خارجی اسپرمین تحت شرایط تنش رطوبتی، از طریق کاهش میزان اسید پالمیتیک و افزایش مجموع اسیدهای چرب غیراشباع، موجب بهبود کیفیت تغذیه‌ای روغن گلرنگ شده است.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از روش محلول‌پاشی برگی با کاربرد برخی از ترکیب‌های تنظیم‌کننده رشد به‌ویژه در دوره‌های بحرانی رشد گیاه نظیر مرحله گلدهی که حساسیت بیشتری به تنش‌های محیطی دارند، می‌تواند موجب افرایش بازده و کیفیت محصول شود. به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی برگی پوتریسین، موجب افزایش بیشتر مقدار عملکرد دانه و روغن، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب در گلرنگ را در دو شرایط آبیاری کامل و تنش کم آبیاری (نسبت به محلول‌پاشی اسپرمیدین و اسپرمین) شد و افزایش غلظت محلول‌پاشی برگی پوتریسین تحت شرایط کم آبیاری، به افزایش درصد اسید منجر شد. در این بررسی، اسپرمیدین بیشترین تأثیر را بر درصد اسید لینولئیک در شرایط تنش آبی داشت. در هنگام اعمال تیمار کم آبیاری در مرحله گلدهی، بیشترین غلظت اسپرمین باعث افزایش مجموع اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش اسید پالمیتیک شد. از این رو، کاربرد برونزای ترکیبات پلی‌آمین به‌صورت تغذیه برگی می‌تواند به علت فراهم شدن شرایط جذب مناسب‌تر برای گیاه در طول دوره گلدهی جهت افزایش عملکرد دانه و روغن و کارآیی مصرف آب و همچنین جهت دستیابی به روغنی با کیفیت مطلوب‌تر در گلرنگ به ویژه در شرایط اقلیمی مشابه مناسب باشد.

REFERENCES

1. Ahmed, M. A., Shalaby, M. A. & El-Komy, M. V. A. (2015). Alleviation of water stress effects on corn by polyamine compounds under newly cultivated sandy soil conditions. *International Journal of ChemTech Research*, 8(12), 497-508.
2. Akbari, G. A., Heshmati, S., Soltani, E. & Dehaghi, M. A. (2020). Influence of seed priming on seed yield, oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit. *International Journal of Plant Production*, 14, 245-258.

3. Alcázar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrando, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. F. & Altabella, T. (2006). Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology Letters*, 28(23), 1867-1876.
4. Alizadeh, A. (2011). *Soil, Water, Plant Relationship*. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
5. Alqudah, A. M., Samarah, N. H. & Mullen, R. E. (2011). Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality. In *Alternative farming systems, biotechnology, drought stress and ecological fertilisation* (pp. 193-213). Springer, Dordrecht.
6. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1995). *Official Methods of Analysis*, 16th Ed. AOAC International, Gaithersburg, MD. USA.
7. Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. & Royo, C. (2002). Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? *Annals of Botany*, 89(7), 925-940.
8. Asseng, S. & Van Herwaarden, A. F. (2003). Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant and Soil*, 256(1), 217-229.
9. Bacon, M. (Ed.). (2009). *Water use efficiency in plant biology*. John Wiley & Sons. Oxford, UK.
10. Bagheri, H., Andalibi, B., Moghaddam, M., Zangani, S. & Soleiman, S. (2012). Safflower (*Carthamus tinctorius* cv. Sina) oil and seed yield improvement in rainfed condition by atrazine foliar application. *Annals of Biological Research*, 3(2), 1202-1209.
11. Baldini, M., Giovanardi, R. & Vannozzi, G. (2000). Effect of different water availability on fatty acid composition of the oil in standard and high oleic sunflower hybrids. In *Proceedings of 15th International Sunflower Conference* 12-15.
12. Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S. & Mohamadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118(2), 105-114.
13. Barzegar, T., Moradi, P., Nikbakht, J. & Ghahremani, Z. (2016). Physiological response of Okra cv. Kano to foliar application of putrescine and humic acid under water deficit stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(2), 187-197.
14. Behdani, M. A. & Mousavifar, B. E. (2011). Effect of insufficient irrigation on plant dry mater and remobilization in three spring safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 3(3), 277-289.
15. Bouchereau, A., Clossais-Besnard, N., Bensaoud, A., Leport, L. & Renard, A. M. (1996). Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy*, 5(1-2), 19-30.
16. Brown, J. H., Paliyath, G. & Thompson, J. E. (1991). Physiological mechanisms of plant senescence. In *Plant Physiology* (pp. 227-275). Academic Press.
17. Carrera, C. S. & Dardanelli, J. L. (2017). Water deficit modulates the relationship between temperature and unsaturated fatty acid profile in soybean seed oil. *Crop Science*, 57(6), 3179-3189.
18. Chaves, M. M., Maroco, J. P. & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, *30*(3), 239-264.
19. Coşge, B., Gürbüz, B. & Kiralan, M. (2007). Oil content and fatty acid composition of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) varieties sown in spring and winter. *International Journal of Natural & Engineering Sciences*, *1*(3). 11-15.
20. Davies, P. J. (1995). *Plant Hormones: Physiology and Biochemistry and Biology*. Kluwer Academic Publishers, London.
21. de Oliveira, C. V. K., Santos, R. F., Siqueira, J. A. C., Bariccatti, R. A., Lenz, N. B. G., Cruz, G. S., Tokura, L.K. & Klajn, F. F. (2018). Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes. *Industrial Crops and Products*, 123, 192-196.
22. Deotale, R. D., Wagh, Y. A., Patil, S. R. & Kalamkar, V. B. (2016). Influence of Putrescine and indole-3-butyric acid on chemical and biochemical parameters and yield of soybean. *International Journal of Current Research*, 8(3), 27248-27255.
23. Duan, H. G., Yuan, S., Liu, W. J., Xi, D. H., Qing, D. H., Liang, H. G. & Lin, H. H. (2006). Effects of exogenous spermidine on photosystem II of wheat seedlings under water stress. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(8), 920-927.
24. Emadi, M. S., Hassibi, P., & Azimi, A. (2013). Effect of foliar application of putrescine and nutrient elements on grain yield and quality of two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *15*(3), 247-261. (In Persian)
25. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. B. S. M. A. & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable Agriculture* (pp. 153-188). Springer, Dordrecht. https

26. Flemmer, A. C., Franchini, M. C. & Lindström, L. I. (2015). Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 166(2), 331-339.
27. Food and Agriculture Organization. (2018). *Crops, Faostat in FAO*. From http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.
28. Gecgel, U., Demirci, M., Esendal, E. & Tasan, M. (2007). Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(1), 47-54.
29. Hamrouni, I., Salah, H. B. & Marzouk, B. (2001). Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. *Phytochemistry*, *58*(2), 277-280.
30. Islam, M. S., Akhter, M. M., El Sabagh, A., Liu, L. Y., Nguyen, N. T., Ueda, A., Masaoka, Y. & Saneoka, H. (2011). Comparative studies on growth and physiological responses to saline and alkaline stresses of Foxtail millet (*'Setaria italica*'L.) and Proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5(10), 1269-1277.
31. Jalilian, J., Modarres-Sanavy, S. A. M., Saberali, S. F. & Sadat-Asilan, K. (2012). Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. *Field Crops Research*, 127, 26-34.
32. Johnson, R. C., Petrie, S. E., Franchini, M. C. & Evans, M. (2012). Yield and yield components of winter-type safflower. *Crop Science*, 52(5), 2358-2364.
33. Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C. & Rouphael, Y. (2007). Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 90(3), 213-223.
34. Karimi, Z. (2016). Putrescine foliar application effect on physiologic and morphologic characteristics of wheat (*Tiriticum aestivum* var sw-82-9) under water deficit stress. *Biological Forum,* 8 (1), 532-539).
35. Koutroubas, S. D. & Papakosta, D. K. (2010). Seed filling patterns of safflower: Genotypic and seasonal variations and association with other agronomic traits. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 71-76.
36. Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K. & Doitsinis, A. (2009). Phenotypic variation in physiological determinants of yield in spring sown safflower under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 112(2-3), 199-204.
37. Li, C. Z., Wei, X. P., Li, W. & Wang, G. X. (2004). Relationship between ethylene and spermidine in the leaves of *Glycyrrhiza uralensis* seedlings under root osmotic stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51(3), 372-378.
38. Liu, Y., Gu, D., Wu, W., Wen, X. & Liao, Y. (2013). The relationship between polyamines and hormones in the regulation of wheat grain filling. *PLOS One*, *8*(10).
39. Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A. & Pelka, J. R. (1966). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*, *38*(3), 514-515.
40. Mirshekari, M., Majnoun, H. N., Amiri, R., Moslehi, A. & Zandvakili, O. R. (2013). Effects of sowing date and irrigation treatment on safflower seed quality. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 505-515.
41. Movahedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, S. A. & Barzegar, M. (2010). Effects of withholding irrigation and foliar application of Z and Mn on fatty acid composition and seed oil content in winter safflower. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 86 2-10. (In Persian)
42. Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S. A. M. & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2009). Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 82-92.
43. Mustafavi, S. H., Badi, H. N., Sękara, A., Mehrafarin, A., Janda, T., Ghorbanpour, M. & Rafiee, H. (2018). Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. *Acta Physiologiae Plantarum,* 40(6), 102.
44. Mustafavi, S. H., Shekari, F. & Abbasi, A. (2015). Putrescine improve low temperature tolerance of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 48(1), 69-76.
45. Nakagawa, A. C., Itoyama, H., Ariyoshi, Y., Ario, N., Tomita, Y., Kondo, Y., Iwaya-Inoue, M. & Ishibashi, Y. (2018). Drought stress during soybean seed filling affects storage compounds through regulation of lipid and protein metabolism. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(6), 111.
46. Nazari, M., Mirlohi, A. & Majidi, M. M. (2017). Effects of drought stress on oil characteristics of Carthamus species. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 94(2), 247-256.
47. Omidi, A.H. & Javidfar, F. (2011). *Safflower.* Agricultural Education Publication. 120 p. (In Persian)

48. Öztürk, L., & Demir, Y. (2003). Effects of putrescine and ethephon on some oxidative stress enzyme activities and proline content in salt stressed spinach leaves. *Plant Growth Regulation*, 40(1), 89-95.
49. Pham Thi, A. T. C., Borrel-Flood, C., da Silva, J. V., Justin, A. M. & Mazliak, P. (1985). Effects of water stress on lipid metabolism in cotton leaves. *Phytochemistry*, 24(4), 723-727.
50. Plaut, Z., Butow, B. J., Blumenthal, C. S. & Wrigley, C. W. (2004). Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research*, 86(2-3), 185-198.
51. Rahamatalla, A. B., Babiker, E. E., Krishna, A. G. & Tinay, A. E. (2001). Changes in fatty acids composition during seed growth and physicochemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56(4), 385-395.
52. Sagor, G. H. M., Berberich, T., Takahashi, Y., Niitsu, M., & Kusano, T. (2013). The polyamine spermine protects *Arabidopsis* from heat stress-induced damage by increasing expression of heat shock-related genes. *Transgenic Research*, 22(3), 595-605.
53. Sampaio, M. C., Santos, R. F., Bassegio, D., de Vasconselos, E. S., de Almeida Silva, M., Secco, D. & da Silva, T. R. B. (2016). Fertilizer improves seed and oil yield of safflower under tropical conditions. *Industrial Crops and Products*, 94, 589-595.
54. Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1569-1578.
55. Sharma, M. L. (1999). Polyamine metabolism under abiotic stress in higher plants: salinity, drought and high temperature. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *5*, 103-113.
56. Singh, S., Angadi, S. V., Grover, K. K., Hilaire, R. S. & Begna, S. (2016). Effect of growth stage based irrigation on soil water extraction and water use efficiency of spring safflower cultivars. *Agricultural Water Management*, 177, 432-439.
57. Solamani, A., Sivakumar, C., Anbumani, S., Suresh, T. & Arulmurugan, K. (2001). Role of plant growth regulators in rice production–A Review. *Agricultural Reviews*, 22(1), 33-40.
58. Stanhill, G. (1986). Water use efficiency. *Advances in Agronomy*, 39, 53-85.
59. Talaat, I. M. & El-Din, K. M. G. (2007). Physiological effect of putrescine and heat hardening on *Nigella sativa* L. plants. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 358-362.
60. Thavaprakash, N., Velayudham, K., Djanaguiraman, M., Subramanian, P., Panneerselvam, S. & Prabakaran, C. (2006). Influence of plant growth promoters on assimilate partitioning and seed yield of green gram (*Vigna radiata* L.). *Legume Research-An International Journal*, 29(1), 18-24.
61. Torabian, S., Shakiba, M. R., Nasab, A. D. M. & Toorchi, M. (2018). Leaf gas exchange and grain yield of common been exposed to spermidine under water stress. *Photosynthetica*, 56(4), 1387-1397.
62. Ullah, F., Bano, A. & Nosheen, A. (2012). Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 44(6), 1873-1880.
63. Xu, L. (2015). The effect of polyamine on flower bud differentiation and bud germination of chrysanthemum. *Shandong Agricultural University*. 31–36.
64. Xu, L., Xing, S. T. & Sun, X. (2014). Effects of polyamines on hormones contents and the relationship with the flower bud differentiation in chrysanthemum. *Plant Physiology*, 50, 1195-1202.
65. Yang, Y., Wei, W. U., Zheng, Y., Huang, C., Liu, R. & Chen, L. (2006). Correlation and path analysis on characters related to flower yield per plant of *Carthamus tinctorius*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 37(1): 105-111.
66. Yau, S. K. (2007). Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 26(3), 249-256.
67. Zanetti, F., Monti, A. & Berti, M. T. (2013). Challenges and opportunities for new industrial oilseed crops in EU-27: A review. *Industrial Crops and Products*, *50*, 580-595