نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره چهارم، زمستان ۹۶
۱۲۱-۱۳۶
http://ejcp.gau.ac.ir

واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctoriuos* L.) به محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در شرایط کم آبیاری

سامان پارسامهر[۱]، *رقیه امینیان[۲] و فرهاد حبیب‌زاده[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه تولید و اصلاح نباتات و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین،
[۲]استادیار گروه تولید و اصلاح نباتات و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/٤/۱۰

چکیده

سابقه و هدف: از بین دانه‌های روغنی که با شرایط آب و هوایی ایران سازگاری خوبی دارند، گلرنگ به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی و شوری و همچنین به‌علت دارا بودن ارقام مختلف بهاره و پاییزه جایگاه خاصی دارد. تنش‌های محیطی از عوامل اصلی کاهنده رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی به‌شمار می‌آیند. از میان تنش‌های محیطی، تنش کم آبی از عمده‌ترین خطرات برای تولید موفق محصولات زراعی در ایران و جهان است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌های مختلف کشاورزی خصوصا در بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد. عنصر آهن یکی از عناصر ضروری کم مصرف برای تغذیه گیاه است. در شرایط کمبود آهن، تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله مقدار کلروفیل برگ کاهش می‌یابد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن بر عملکرد و برخی از صفات مهم زراعی ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط تنش کم آبی، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انجام شد. فاکتورهای اصلی شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و تنش آبی در مرحله گل‌دهی) و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در دو سطح (مصرف نانو اکسید آهن و عدم کاربرد آن) و فاکتور فرعی نیز شامل ۱۰ ژنوتیپ گلرنگ (به نام‌های گل‌مهر، پدیده، گلدشت، صفه، مکزیکی ۸۸، سینا، مکزیکی ۱۱، محلی اصفهان، فرامان و کوسه) بودند.

یافته‌ها: اثر آبیاری بر ارتفاع گیاه، تعداد دانه در غوزه، تعداد غوزه در گیاه و عملکرد دانه معنی‌دار شد. اثر کود تنها بر صفت تعداد شاخه‌های فرعی و اثر ژنوتیپ در تمام صفات معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ، کود در ژنوتیپ و آبیاری در کود در ژنوتیپ در همه صفات معنی‌دار شد. اثر متقابل آبیاری در کود در اکثر صفات به جز وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود. ژنوتیپ مکزیکی ۸۸ بیشترین میزان عملکرد دانه را در شرایط بدون تنش و اعمال نانو اکسید آهن داشت (٤۹۹/۵ گرم در مترمربع). تجزیه همبستگی نشان داد شاخص برداشت در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه نشان داد. براساس تجزیه خوشه‌ای در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های سینا، کوسه، گلدشت و مکزیکی ۸۸ و در شرایط تنش ژنوتیپ‌های فرامان، کوسه و مکزیکی ۸۸ دارای بالاترین عملکرد و اجزاء آن بودند.

*مسئول مکاتبه: roghayehaminian@yahoo.com

نتیجه‌گیری: در این پژوهش مشخص گردید که ژنوتیپ‌های مکزیکی ۸۸ و کوسه از نظر بیشتر صفات، ژنوتیپ‌های مناسبی برای کاشت در هر دو شرایط تنش و عدم تنش بودند.

واژه‌های کلیدی: تنش کم آبی، نانو اکسید آهن، گلرنگ، عملکرد

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت جهان در چند دهه اخیر، محدودیت شدید منابع انرژی غذایی را به دنبال داشته است، اگرچه گندم، برنج، ذرت و حبوبات به‌عنوان غذاهای اصلی مورد بحث قرار می‌گیرند، اما دانه‌های روغنی در مقام دوم منابع مهم انرژی غذایی برای انسان به‌شمار می‌آیند (۲). بر اساس آمار موجود، بیش از ۹۰ درصد از کل روغن مصرفی کشور از خارج وارد می‌شود (۱۳)، لذا افزایش تولید دانه‌های روغنی و گسترش برنامه‌های پژوهشی در این زمینه باید مورد توجه قرار گیرد.

رشد و عملکرد گیاهان زراعی تابعی از عوامل محیطی و اثرات متقابل آن‌هاست (۲۰). تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی از عوامل اصلی محدودکنندهٔ رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار آمده و همواره امنیت غذایی انسان‌ها را تهدید می‌کنند (۲۹). ایران از جمله کشورهایی است که در اکثر نقاط آن تنش‌های غیر زنده‌ای نظیر خشکی، شوری، دما، باد و همچنین تنش‌های زنده شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و حشرات موجب کاهش عملکرد شده است (۱۸). از مهم‌ترین اثرات خشکی بر گیاهان می‌توان به کاهش میزان فتوسنتز به‌علت بسته شدن روزنه‌ها، کاهش رشد گیاه، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پرکردن دانه و کاهش طول دوره پرشدن دانه‌ها اشاره نمود (۳۷).

از بین گیاهان دانه روغنی که با شرایط آب و هوایی کشور سازگاری خوبی دارد، گلرنگ به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی و شوری (٦) و همچنین به‌علت دارا بودن ارقام مختلف بهاره و پاییزه جایگاه خاصی دارد (۳۲). همچنین روغن گلرنگ به‌دلیل داشتن مقدار زیادی اسیدهای چرب غیراشباع به‌عنوان یک روغن بهداشتی و با ارزش محسوب می‌شود (۷). در پژوهشی بر گیاه گلرنگ در رژیم‌های مختلف آبیاری، تأثیر ژنوتیپ و رژیم آبیاری بر فتوسنتز برگ معنی‌دار بود. تنش کم آبی صفات شاخص سطح برگ، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن دانه در طبق را حدود ۲۷ درصد، عملکرد دانه را حدود ٤١ درصد و عملکرد ماده خشک را حدود ٣٤ درصد کاهش داد. تنش کم آبی با کاهش سطح برگ و تأثیر منفی بر میزان تثبیت دی اکسید کربن در واحد سطح برگ سبب افت عملکرد دانه و ماده خشک گلرنگ شد (۱۱). لذا هدف برنامه‌های اصلاحی در زمینه تحمل به خشکی معرفی ارقام و ژنوتیپ‌هایی است که بتوانند به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ارقام یا ژنوتیپ‌ها تنش خشکی را بهتر تحمل کرده و در شرایط یکسان افت عملکرد کمتری داشته باشند.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با مصرف کودهای ریزمغذی می‌توان مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری را افزایش داد (۷). در بین عناصر غذایی، آهن نقش بسیار مهمی در توسعهٔ کلروپلاست و در انتقال الکترون در فتوسیستم I دارد. علاوه‌بر این آهن به‌عنوان کوفاکتور در برخی از آنزیم‌هایی که در مسیر بیوسنتز کلروفیل نقش دارند، عمل می‌کند. کمبود آهن سبب کاهش تبادلات گازی، هدایت روزنه‌ای و کم شدن کارایی مصرف آب و افزایش تعرق در گیاهان می‌شود (۸). از آن‌جایی که با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک عناصر کم مصرف مانند آهن، منگنز، مس، روی و

مولیبدون در خاک کاهش می‌یابد، گیاه به‌طور فزاینده‌ای با کمبود این عناصر مواجه می‌گردد. لذا محلول‌پاشی یا تغذیهٔ برگی یکی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز گیاهان به عناصر کم مصرف می‌باشد. پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که محلول‌پاشی عنصر کم مصرف آهن در شرایط تنش خشکی موجب افزایش عملکرد دانه کلزا (۱)، سویا (۱۹)، کنجد (۱۷) و آفتابگردان (٤) گردیده است.

امروزه فناوری نانو در همهٔ عرصه‌های علمی از جمله بخش‌های مختلف کشاورزی در حال گسترش است. نانوتکنولوژی به‌عنوان یک فناوری قدرتمند نوین، توانایی ایجاد انقلاب و تحولات عظیم را در سیستم تأمین مواد غذایی و کشاورزی جهان دارد (٤٠). یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد (۳۸). در پژوهشی بر گیاه کنجد، اثر متقابل خشکی و نانواکسید آهن بر عملکرد دانه، زیست توده، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل b، کارتنوئید، هدایت روزنه‌ای و درصد نیتروژن دانه معنی‌دار بود. هرچند بیشترین عملکرد دانه و زیست توده تولیدی از مصرف نانواکسید آهن در شرایط بدون تنش به‌دست آمد، اما مصرف نانواکسید آهن در شرایط تنش موجب افزایش صفات عملکرد دانه و زیست توده نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد. با وجود این‌که در شرایط تنش خشکی، از میزان عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنجد کاسته شد، اما از طریق محلول‌پاشی نانواکسیدآهن تا حدی میزان رنگدانه‌های نورساختی، جذب عناصر کانی و اجزای عملکرد دانه افزوده و در نهایت عملکرد دانه افزایش یافت (۱۷). در پژوهش دیگری در گندم دیم، زمان محلول‌پاشی نانوکود آلی کلات آهن تأثیر معنی‌داری بر طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و میزان آهن بذر داشت و بیشترین مقدار این صفات در شرایط محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی به‌دست آمد (۳۰). مصرف نانواکسید آهن به‌همراه کمپوست دانه‌ای (گرانوله) گوگردی در یک خاک آهکی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و وزن خشک گیاه گندم نسبت به تیمار شاهد شد (۲۲).

با توجه به اهمیت گیاه گلرنگ و شرایط کمبود آب در کشور ایران و با عنایت به این‌که در زمینهٔ تأثیر تغذیهٔ نانو ذرات اکسیدآهن در گلرنگ تحقیقات زیادی صورت نگرفته است، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در شرایط تنش کم آبی بر عملکرد و برخی از صفات مهم زراعی در بعضی ارقام و ژنوتیپ‌های معروف گلرنگ، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) با عرض جغرافیایی ۵۰ درجه طول شرقی و ۳٦ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۲۷۸ متر از سطح دریا اجرا گردید. قبل از اجرای آزمایش نمونه مرکبی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از خاک مزرعه برداشت و آزمایش گردید که نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ آمده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای اصلی شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و تنش آبی در مرحله گل‌دهی) و محلول‌پاشی نانواکسید آهن در دو سطح (مصرف نانواکسید آهن و عدم کاربرد آن) و فاکتور فرعی نیز شامل ۱۰ ژنوتیپ گلرنگ به نام‌های گل‌مهر، پدیده، گلدشت، صفه، مکزیکی ۸۸، سینا، مکزیکی ۱۱، محلی اصفهان، فرامان و کوسه بودند. این ژنوتیپ‌ها که شامل شش رقم و دو توده اصلاح شده ایرانی و دو رقم اصلاح شده خارجی گلرنگ هستند با توجه به شرایط منطقه و با توصیه مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان و موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج مورد کشت قرار گرفتند. برخی از این ارقام دارای قابلیت تحمل به خشکی و عملکرد بالا نیز بودند. کرت‌های آزمایش شامل ٤ ردیف

کاشت به طول ۳ متر، عرض ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌های روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر، بین کرت‌های اصلی ٤ متر و بین تکرارها ٤ متر فاصله منظور گردید. براساس آزمایش خاک میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره، ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم استفاده شد. کودهای فسفر و پتاس پیش از کاشت با خاک مخلوط شدند. همچنین یک سوم کود نیتروژنه پیش از کاشت و باقی‌ماندهٔ آن به‌صورت سرک و پس از تنک کردن به گیاهان داده شدند. اولین آبیاری به‌صورت نم‌کاری خاک انجام شد. در شرایط آبیاری کامل، آبیاری‌های بعدی زمانی صورت گرفت که ٤۰ درصد رطوبت خاک به‌وسیله گیاه و یا تبخیر از سطح خاک تخلیه شده بود. برای تعیین رطوبت خاک یک هفته بعد از کاشت دومین آبیاری انجام شد به‌طوری‌که تمام کرت‌ها کامل پر از آب شدند تا خاک به‌طور کامل اشباع شود. پس از ۲٤ ساعت که آب موجود در خلل و فرج‌های درشت توسط نیروی ثقل خارج شد، چندین نمونه از قسمت‌های مختلف زمین تهیه گردید و بلافاصله وزن گردیدند، پس از توزین در آون با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به‌مدت ۲٤ ساعت قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها با ترازوی دقیق وزن و میزان رطوبت تبخیرشده، محاسبه شد. چند روز بعد مجددا مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شد و این کار ادامه یافت و زمانی‌که رطوبت خاک به مقدار رطوبت موردنظر نزدیک گردید آبیاری انجام گردید و آبیاری‌های بعدی نیز به همین صورت انجام شد. در شرایط تنش نیز آبیاری تا قبل از گلدهی مشابه شرایط آبیاری کامل بود و در زمان گلدهی، آبیاری زمانی انجام شد که ۸۰ درصد رطوبت خاک از دست رفته باشد. محلول پاشی نانو ذرات اکسیدآهن به مقدار ۲ در هزار و در زمان گلدهی با استفاده از سم‌پاش پشتی در ساعت ۷ عصر صورت پذیرفت. برای این منظور مقدار دو گرم از پودر نانو اکسیدآهن در هر لیتر آب با مختصری حرارت‌دهی حل گردید و محلول‌پاشی صورت گرفت، به‌طوری‌که سطح هر گیاه کامل خیس شد. نانو ذرات اکسیدآهن دارای اندازه بین ۲۰ تا ٤۰ نانومتر بودند، درصد خلوص بیش از ۹۸ درصد بود و از شرکت Research materials آمریکا توسط شرکت ایرانی نانو پاسارگاد نوین تهیه گردید. صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد شاخه فرعی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در غوزه، تعداد غوزه در گیاه، عملکرد دانه و شاخص برداشت بودند. همچنین برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS و SPSS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک.

Table 1. Soil physico-chemical properties.

درصد اشباع	SP (%)	33	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	K (mg/kg)	238
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	EC (dS/m)	0.33	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Fe (mg/kg)	0.84
واکنش گل اشباع	pH	7.85	بافت	Texture	S.L
درصد مواد خنثی شونده	T.N.V (%)	7.50	درصد رس	Clay (%)	17
کربن آلی (درصد)	O.C (%)	0.39	درصد سیلت	Silt (%)	21
درصد نیتروژن کل	Total N (%)	0.04	درصد شن	Sand (%)	62
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	P (mg/kg)	4.60			

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: اثر آبیاری و ژنوتیپ بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید اما اثر محلول پاشی نانو اکسید آهن بر ارتفاع معنی‌دار نبود. اثرات متقابل همه عامل‌ها نیز بر صفت ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). واکنش ژنوتیپ‌های مختلف از نظر ارتفاع بوته نسبت به شرایط تنش و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن متفاوت بود، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های گل‌مهر، پدیده، گلدشت، مکزیکی ۸۸ و کوسه شد و در سایر ژنوتیپ‌ها تأثیر چندانی نداشت (جدول ۳). به دنبال مواجه‌شدن گیاه با شرایط تنش، سرعت رشد رویشی گیاه کاهش می‌یابد که این کاهش سرعت رشد باعث کاهش ارتفاع گیاه نیز می‌گردد. رحیمی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که تنش خشکی اثر بسیار معنی‌داری بر ارتفاع بوته در آفتابگردان داشت و باعث کاهش ۲۵ درصدی این صفت شد (۳٤). در پژوهشی بر گیاه گلرنگ در سطوح مختلف تنش خشکی، ارتفاع به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که ارتفاع گلرنگ به موازات افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت. تنش خشکی باعث اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید مواد فتوسنتزی قابل عرضه به اندام‌های در حال رشد گیاه و نهایتا عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع می‌گردد (۲۸). در پژوهش دیگری نیز تفاوت بین ارقام گلرنگ از نظر ارتفاع معنی‌دار بود که با نتایج ما منطبق می‌باشد (۳٦).

محلول‌پاشی نانو اکسید آهن سبب افزایش معنی‌دار ژنوتیپ‌های پدیده، صفه، سینا، مکزیکی ۱۱، محلی اصفهان و فرامان در شرایط بدون تنش و افزایش معنی‌دار ژنوتیپ‌های مکزیکی ۸۸، محلی اصفهان، فرامان و کوسه در شرایط تنش خشکی گردید. ژنوتیپ‌های کوسه و مکزیکی ۸۸ که در شرایط تنش کاهش شدید ارتفاع بوته داشتند در اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در برترین گروه از نظر ارتفاع بوته قرار گرفتند (جدول ۳). مصرف آهن در شرایط کم آبیاری، با افزایش غلظت کلروفیل و فتوسنتز موجب افـزایش تولیـد مواد پرورده و در نتیجه افزایش تقسیم سلولی در جهت طولی می‌شود (۱۰).

قطر ساقه اصلی: اثر ژنوتیپ بر قطر ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر کود و آبیاری بر قطر ساقه اصلی معنی‌دار نبود. اثرات متقابل همه عامل‌ها بر صفت قطر ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردیدند (جدول ۲). هرچند اثر تنش بر میانگین قطر ساقه اصلی کل ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نبود اما باعث کاهش معنی‌دار این صفت در ژنوتیپ‌های فرامان و کوسه شد. محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در شرایط بدون تنش موجب افزایش معنی‌دار قطر ساقه اصلی در ژنوتیپ-های پدیده، محلی اصفهان و کوسه و کاهش معنی‌دار قطر ساقه اصلی رقم گل مهر نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین شرایط شد (جدول ۳). احتمالا اثر نانو اکسید آهن بر ارتفاع بوته رقم گل مهر بیشتر از قطر ساقه آن بوده است و بیشتر باعث افزایش تقسیم سلولی در جهت طولی نسبت به عرضی شده است. محلول پاشی نانو اکسید آهن در شرایط تنش موجب افزایش معنی‌دار قطر ساقه اصلی در ژنوتیپ‌های مکزیکی ۸۸، مکزیکی ۱۱، محلی اصفهان و فرامان شد. به‌نظر می‌رسد نانوذرات اکسید آهن اثر مثبتی در افزایش جذب آب و افزایش تقسیم سلولی و افزایش قطر ساقه این ژنوتیپ‌ها داشته است. پاک‌نژاد (۲۰۱۵) نیز با پژوهشی که بر گلرنگ انجام داد چنین نتیجه گرفت که در بین ارقام برای صفت قطرساقه اصلی تفاوت معنی‌داری وجود داشت که با نتایج حاضر مطابقت دارد (۳۱).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف زراعی در ژنوتیپ‌های گلرنگ.

Table 2. Results of analysis of variance for different agronomical traits of Safflower genotypes.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات صفات MS							
		ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه اصلی Main stem diameter	تعداد شاخه فرعی Subsidiary branch number	وزن هزار دانه 1000 seed weight	تعداد دانه در غوزه Seed number in boll	تعداد غوزه در گیاه Boll number in plant	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest: Index
تکرار Replication	2	19.69^{ns}	1.99^{ns}	7.36^{ns}	14.11^{ns}	1.23^{ns}	1.31^{ns}	1901.50^{ns}	20.86^{ns}
آبیاری Irrigation(I)	1	906.62**	6.15^{ns}	0.30^{ns}	2.85^{ns}	5740.83**	56.03**	315956.70**	9.53^{ns}
کود Fertilizer(F)	1	28.46^{ns}	0.05^{ns}	48.13**	1.52^{ns}	1.20^{ns}	0.03^{ns}	2242.10^{ns}	72.97^{ns}
آبیاری× کود F × I	1	998.56**	18.71**	20.83*	4.29^{ns}	2201.63**	53.33**	54353.40**	0.79^{ns}
خطای a Error a	6	11.50	1.37	1.78	9.09	21.26	2.21	3030.30	18.63
ژنوتیپ Genotype(G)	9	444.14**	9.73**	15.49**	657.39**	1574.61**	27.68**	73957.70**	487.59**
آبیاری× ژنوتیپ G × I	9	134.88**	10.46**	14.06**	86.06**	189.39**	25.29**	20607.50**	25.98*
کود× ژنوتیپ G × F	9	59.30**	8.50**	12.86**	41.08**	225.16**	32.92**	7980.30**	40.97**
آبیاری×کود× ژنوتیپ G × F ×I	3.	50.27**	5.65**	11.37**	13.50^{ns}	172.89**	36.55**	10624.50**	36.92**
خطای B Error b	72	12.44	0.90	2.41	11.41	31.07	1.92	944.80	9.77
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.87	11.47	23.99	12.00	15.30	18.63	16.01	12.82

ns، * و ** به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌دار، و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 % and 1 % probability levels, respectively.

تعداد شاخه‌های فرعی: اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و ژنوتیپ بر تعداد شاخه‌های فرعی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود. اثر متقابل آبیاری×کود بر صفت تعداد شاخه‌های فرعی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و سایر اثرات متقابل عامل‌ها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در ژنوتیپ‌های فرامان و کوسه شد. محلول‌پاشی نانو اکسید آهن موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی در ژنوتیپ محلی اصفهان در شرایط بدون تنش و افزایش معنی‌دار این صفت در ژنوتیپ‌های مکزیکی ۸۸، محلی اصفهان و فرامان گردید. در پژوهش دیگری بر گلرنگ اثر متقابل ژنوتیپ در محلول پاشی نانواکسید تیتانیوم معنی‌دار بود (۳۱). سیروس مهر و همکاران (۲۰۰۸) نیز اظهار داشتند که آبیاری بر تعداد شاخه فرعی تأثیر معنی‌داری ندارد که نتایج آن‌ها با یافته‌های این

پژوهش منطبق می‌باشد (٤١). غفارزاده گاوگانی (٢٠٠٥) گزارش کرد که تنش خشکی در اواسط گل‌دهی تأثیری بر تعداد شاخه فرعی گیاه ندارد، زیرا در مرحله شروع گل‌دهی، کلیه شاخه‌های فرعی گیاه ظاهر شده است. از سوی دیگر با توجه به این‌که صفت تعداد شاخه فرعی یک صفت ژنتیکی با وراثت‌پذیری بالا است، در مرحله شروع ساقه‌روی نیز تنش خشکی روی آن تأثیر معنی‌داری ندارد. به‌طور کلی تعداد شاخه فرعی در گیاه در نتیجه ترکیب ساختار ژنتیکی و شرایط محیطی است (١٢).

جدول ٣- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری×کود×ژنوتیپ بر ارتفاع و قطر ساقه اصلی گیاه گلرنگ.

Table 3. Mean comparisons of interaction effect of irrigation × fertilizer × genotype on height and main stem diameter of safflower plant.

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant Height (cm)				قطر ساقه اصلی (میلی‌متر) Main Stem Diameter (mm)			
	بدون تنش Non Stress		تنش خشکی Stress		بدون تنش Non stress		تنش خشکی Stress	
	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3
گل‌مهر Golmehr	58.93h-m	69.20a-d	43.53q	43.60q	9.63c-h	9.89c-g	10.34cd	4.87s
پدیده Padideh	51.87op	63.50d-i	44.80q	43.63q	10.11c-f	12.95a	8.54f-l	7.37l-q
گلدشت Goldasht	61.13g-k	56.80k-p	55.03l-p	52.41op	6.75n-r	6.85m-q	6.85m-q	7.98i-p
صفه Sofeh	64.47d-h	71.43abc	65.03d-g	65.13d-g	8.33g-m	8.71e-l	8.28h-n	8.03i-o
مکزیکی ٨٨ Mexican88	58.57i-n	63.07e-j	51.33p	71.20abc	8.72e-l	8.61e-l	8.31h-n	12.49ab
سینا Sina	60.40g-m	74.33a	61.67f-k	63.57d-i	6.86m-q	8.31g-n	7.40l-q	7.54k-q
مکزیکی ١١ Mexican11	53.07nop	61.03g-k	56.27k-p	61.70f-k	8.26h-n	7.80i-q	7.31l-q	9.22d-j
محلی‌اصفهان Isfahanmahali	59.73g-m	68.50b-e	57.37j-o	67.15c-f	6.26qrs	8.10h-n	7.76j-q	10.17cde
فرامان Faraman	54.70m-p	60.67g-l	51.20p	57.47j-o	7.42l-q	6.51o-r	5.26rs	9.35d-i
کوسه Kuseh	71.83ab	73.60ab	63.23e-i	71.57abc	9.08d-k	11.19bc	6.45pqr	7.78j-q

برای هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

For each trait, means denoted by at least one similar letter are not significantly different according to LSD test at $P<0.05$.

وزن هزار دانه: اثر ژنوتیپ بر صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر آبیاری و کود بر این صفت معنی‌دار نبود. اثرات متقابل همه عامل‌ها به‌جز اثر متقابل آبیاری× کود بر صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ٢). واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر وزن هزار دانه در شرایط تنش و بدون تنش، محلول‌پاشی و عدم محلول پاشی نانواکسید آهن متفاوت بود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم فرامان در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی نانواکسید آهن بود. محلول‌پاشی نانواکسید آهن موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه ارقام گل مهر و سینا در شرایط تنش شد (جدول ٤). افزایش وزن هزار دانه در هنگام بروز تنش خشکی در اثر مصرف کود آهن می‌تواند به‌علت افزایش دوره پر شدن دانه از طریق افزایش میزان کلروفیل و داوم سطح برگ باشد (٤٣).

مطالعات روی گلرنگ و سایر گیاهان زراعی نتایج متفاوتی از نظر تغییرات وزن هزار دانه ارائه داده‌اند. نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که تداوم تنش کمبود آب پس از مرحله گرده افشانی بر تعداد دانه‌های موجود در هر واحد زایشی گیاهان مختلف تأثیری ندارد، اما وزن دانه‌ها را کاهش می‌دهد (۱۱). پاک‌نژاد (۲۰۱۵) گزارش نمود به‌نظر می‌رسد کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی به‌علت کوتاه شدن دوره پرشدن دانه‌ها و پیری زود رس گیاه می‌باشد (۳۱). در آزمایشی روی ارقام گلرنگ در شرایط تنش و بدون تنش، گل‌پرور و قاسمی پیر بلوطی (۲۰۱۰) اعلام داشتند که اثر ژنوتیپ بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود که با نتایج ما منطبق است (۱٤).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری× کود× ژنوتیپ بر تعداد شاخه فرعی و وزن هزار دانه گیاه گلرنگ.

Table 4. Mean comparisons of interaction effect of irrigation × fertilizer × genotype on subsidiary branch number and 1000 seed weight of safflower plant.

ژنوتیپ Genotype	تعداد شاخه فرعی Subsidiary branch number				وزن هزار دانه (گرم) 1000 seed weight (gr)			
	بدون تنش Non stress		تنش خشکی Stress		بدون تنش Non stress		تنش خشکی Stress	
	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3
گل‌مهر Golmehr	7.00b-f	6.67b-g	7.00b-f	4.67fgh	19.6m-p	18.77nop	17.53op	24.23h-m
پدیده Padideh	7.00b-f	7.33b-e	6.33b-h	7.67bcd	23.8h-n	21.23k-o	18.37nop	15.53p
گلدشت Goldasht	7.33b-e	6.00c-h	6.00c-h	5.33d-h	36.87c	34.43cd	30.37d-g	34.00cde
صفه Sofeh	6.67b-g	5.00e-h	4.33gh	4.67fgh	25.13g-l	19.93l-p	25.60g-k	24.30h-m
مکزیکی ۸۸ Mexican88	7.00b-f	5.67d-h	6.33b-h	17.67a	28.43fgh	35.43cd	35.80cd	31.17def
سینا Sina	5.67d-h	6.33b-h	4.33gh	6.00c-h	24.9g-m	25.43g-k	21.57j-o	27.97f-i
مکزیکی ۱۱ Mexican11	6.33b-h	6.00c-h	7.00b-f	7.33b-e	23.53h-n	26.63f-k	37.50c	33.93cde
محلی اصفهان Isfahanmahali	4.33gh	7.33b-e	4.00h	7.00b-f	28.77e-h	27.00f-j	22.83i-o	25.03g-m
فرامان Faraman	8.67b	7.00b-f	4.00h	8.33bc	45.13b	51.63a	42.97b	37.03c
کوسه Kuseh	7.33b-e	5.67d-h	4.33gh	6.00c-h	23.73h-n	25.5g-k	26.6f-k	27.47f-i

برای هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

For each trait, means denoted by at least one similar letter are not significantly different according to LSD test at $P<0.05$.

تعداد دانه در غوزه: اثر محلول پاشی نانو اکسید آهن بر تعداد دانه در غوزه معنی‌دار نبود. اما اثر آبیاری و ژنوتیپ و اثرات متقابل همه عامل‌ها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). تنش باعث کاهش تعداد دانه در غوزه اکثر ژنوتیپ‌ها به‌جز مکزیکی ۱۱، محلی اصفهان و فرامان شد. بیشترین تعداد دانه در غوزه مربوط به ژنوتیپ محلی اصفهان در شرایط بدون تنش و محلول پاشی نانو اکسید آهن بود (جدول ۵).

با توجه به این که تنش در مرحله گل‌دهی اعمال شد، بنابراین شاهد کاهش تعداد دانه در غوزه بودیم. نتایج مطالعات پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که عدم آبیاری گلرنگ در مرحله گل‌دهی و قبل از آن باعث کاهش تعداد دانه در غوزه می‌شود و هر چه زمان

اعمال تنش به مرحله گل‌دهی نزدیک‌تر باشد، اثر بیشتری بر تعداد دانه خواهد گذاشت و اعمال تنش پس از پایان مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی تأثیر اندکی بر کاهش تعداد دانه داشته و بیشتر باعث کاهش وزن هزار دانه می‌شود (۳۹). نتایج ما با تحقیقی که گل پرور و قاسمی پیربلوطی (۲۰۱۰) روی ارقام گلرنگ انجام دادند و حاکی از معنی‌دار بودن اثر ارقام بر صفت تعداد دانه در غوزه بود، نیز مطابق است (١٤). در طول مرحله زایشی برای جذب کربوهیدرات‌ها بین اندام‌های زایشی و ریشه‌ها رقابت به‌وجود می‌آید. نتیجه این رقابت انتقال مواد غذایی به اندام‌های زایشی و کاهش فعالیت ریشه‌ها و در نتیجه کاهش جذب مواد غذایی از خاک می‌باشد. در این مرحله محلول‌پاشی عناصر غذایی مانند آهن باعث کاهش این رقابت می‌شود (۲۱). میثاق و همکاران (٢٠١٦) نیز گزارش نمودند بذور تولید شده در گیاهان وابسته به تشکیل گل‌های کافی، باروری مناسب آن‌ها و پر شدن بذور با عناصرغذایی کافی و مناسب می‌باشند (۲۳)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری× کود× ژنوتیپ بر تعداد دانه در غوزه و تعداد غوزه در گیاه گلرنگ.

Table 5. Mean comparisons of interaction effect of irrigation × fertilizer × genotype on seed number in boll and boll number in safflower plant.

ژنوتیپ Genotype	تعداد دانه در غوزه Seed number in boll				تعداد غوزه در گیاه Boll number in plant			
	بدون تنش Non stress		تنش خشکی Stress		بدون تنش Non stress		تنش خشکی Stress	
	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3
گل‌مهر Golmehr	25.67o-s	24.00qrs	8.00t	7.67t	4.33jk	4.33jk	9.33c-f	3.33k
پدیده Padideh	36.33h-n	27.00o-s	4.00t	28.67m-s	9.67cde	3.33k	5.00ijk	4.67ijk
گلدشت Goldasht	39.67g-k	43.00e-i	25.00p-s	33.00j-p	9.67cde	9.00c-f	5.33h-k	8.00efg
صفه Sofeh	44.67e-h	54.67cd	27.67n-s	32.00k-q	6.67ghi	6.33g-j	5.33h-k	5.33h-k
مکزیکی ۸۸ Mexican88	54.67cd	66.67ab	32.67j-q	41.00f-j	6.33g-j	9.00c-f	10.33cd	7.33fgh
سینا Sina	46.33d-g	59.67bc	25.00p-s	38.00g-l	6.67ghi	22.00a	5.00ijk	6.67ghi
مکزیکی ۱۱ Mexican11	36.00h-n	42.33f-i	34.33i-o	29.00m-s	7.67efg	11.00bc	6.33g-j	8.33d-g
محلی‌اصفهان Isfahanmahali	30.67l-r	71.00a	37.00h-m	44.00e-h	7.67efg	6.67ghi	4.33jk	8.00efg
فرامان Faraman	26.33o-s	21.33s	22.67rs	32.33j-q	7.67efg	9.00c-f	5.00ijk	13.00b
کوسه Kuseh	49.33def	67.67ab	37.00h-m	51.33cde	8.00efg	7.33fgh	5.00ijk	9.33c-f

برای هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

For each trait, means denoted by at least one similar letter are not significantly different according to LSD test at $P < 0.05$.

تعداد غوزه در گیاه: اثر آبیاری و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر صفت تعداد غوزه در گیاه معنی‌دار گردید اما اثر محلول پاشی نانو اکسید آهن بر این صفت معنی‌دار نبود. اثرات متقابل تمام عامل‌ها نیز بر صفت تعداد غوزه در گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش کم آبی باعث

کاهش تعداد غوزه در ژنوتیپ‌های گل مهر، پدیده، گلدشت، محلی اصفهان، فرامان و کوسه شد. بیشترین تعداد غوزه از رقم سینا در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن حاصل شد (جدول ۵). هر چه زمان اعمال تنش خشکی به مرحله تشکیل طبق‌ها نزدیک‌تر باشد، اثر آن بر تعداد طبق و نهایتا بر عملکرد دانه بیشتر خواهد شد. اعمال تنش خشکی پس از مرحله تشکیل طبق‌های اولیه باعث کاهش تعداد طبق‌های ثانویه و ثالثیه می‌شود که این طبق‌ها در مقایسه با طبق‌های اولیه قطر کمتری دارند (۹). کاهش تعداد طبق در بوته را می‌توان به قدرت رشد رویشی کمتر گیاه تحت شرایط تنش که از کاهش در صفاتی چون طول ساقه، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های فرعی ناشی می‌شود، نسبت داد. باغخانی و فرحبخش (۲۰۰۸) طی آزمایشی بیان داشتند تعداد طبق به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر خشکی قرار گرفت (۵). در پژوهش گل‌پرور و قاسمی پیربلوطی (۲۰۱۰) اثر آبیاری و ارقام بر تعداد غوزه در گیاه معنی‌دار بود که با نتایج ما انطباق داشت (١٤). فتحی امیر خیز و همکاران (۱۰) گزارش کردند که محلول پاشی آهن باعث افزایش تعداد غوزه در گلرنگ در شرایط کم آبیاری می‌شود. در پژوهش دیگری محلول‌پاشی منگنز در شرایط تنش خشکی موجب افزایش این صفت در گلرنگ شد (٢٦). با توجه به نقش مثبت آهن در فتوسیستم‌های نوری و در مسیر بیوسنتز کلروفیل، مصرف آهن در شرایط کم آبیاری، با افزایش غلظت کلروفیل موجب فراهمی مواد پرورده برای تشکیل غوزه‌های بیشتر در شاخه‌های فرعی از طریق دوام فتوسنتز می‌گردد (۱۰).

عملکرد دانه: اثر آبیاری و ژنوتیپ بر صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی محلول‌پاشی نانو اکسید آهن بر این صفت اثری نداشت. اثرات متقابل همه عامل‌ها نیز در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها گردید. این کاهش عملکرد را می‌توان به طولانی بودن دوره تنش نسبت داد که به‌دلیل کاهش سطح برگ و فتوسنتز در مواجه شدن با شرایط تنش رخ می‌دهد. نادری درباغشاهی و همکاران (۲۰۰۵) نیز کاهش عملکرد را در مواجه شدن گیاه گلرنگ با تنش خشکی گزارش کردند (۲۸). در نتایج محسن‌نیا و جلیلیان (۲۰۱۲) اثر آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود که با نتایج ما منطبق می‌باشد (۲۵). محلول‌پاشی نانو اکسید آهن سبب افزایش عملکرد ژنوتیپ‌های مکزیکی ۸۸، سینا و کوسه در شرایط بدون تنش و افزایش عملکرد ژنوتیپ‌های مکزیکی ۸۸، محلی اصفهان، فرامان و کوسه در شرایط تنش شد. بیشترین عملکرد دانه از رقم مکزیکی ۸۸ در شرایط بدون تنش و محلول پاشی نانو اکسید آهن حاصل شد (جدول ٦). در پژوهش فتحی امیر خیز (۲۰۱۵) محلول‌پاشی آهن در شرایط کمبود آب اثر مثبتی بر افزایش عملکرد دانه گلرنگ داشت (۱۰). در پژوهش دیگری محلول‌پاشی آهن در شرایط تنش عملکرد سویا را به میزان قابل توجهی افزایش داد (۱۵). آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد. با افزایش آهن در برگ میزان کلروفیل برگ افزایش یافته و فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و در نهایت افزایش عملکرد را در پی خواهد داشت (۱۰).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری×کود×ژنوتیپ بر عملکرد دانه و شاخص برداشت گیاه گلرنگ.

Table 6. Mean comparisons of interaction effect of irrigation × fertilizer × genotype on seed yield and harvest index in safflower plant.

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed Yield ($gr.m^2$)				شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%)			
	بدون تنش Non Stress		تنش خشکی Stress		بدون تنش Non Stress		تنش خشکی Stress	
	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3	بدون نانواکسید آهن Without Nano Fe_2O_3	با نانواکسید آهن With Nano Fe_2O_3
گل‌مهر Golmehr	83.90o-r	66.70pqr	56.90qr	53.40r	10.79o	10.11o	11.91o	12.32o
پدیده Padideh	96.60o-r	100.00o-r	56.20qr	58.30qr	13.25no	13.20no	12.18o	17.64mn
گلدشت Goldasht	440.40b	381.10c	115.10nop	136.00mno	34.68a	26.58d-k	24.17h-l	31.67a-d
صفه Sofeh	194.50h-l	193.20i-l	132.10mno	101.20o-r	26.61d-k	26.49d-k	29.44a-g	21.11lm
مکزیکی۸۸ Mexican88	248.30d-h	499.50a	232.80f-j	281.50def	23.97i-l	33.47ab	27.15d-k	33.04ab
سینا Sina	220.40g-k	358.90c	89.90o-r	159.20lmn	30.46a-e	28.97b-i	23.80i-l	26.51d-k
مکزیکی ۱۱ Mexican11	236.60e-i	211.10g-l	126.20mno	174.70klm	24.19g-l	22.72j-m	29.01b-i	25.11f-l
محلی‌اصفهان Isfahanmahali	217.40g-k	179.40j-m	103.60o-r	205.70h-l	30.24a-f	22.28klm	25.53e-l	26.67d-k
فرامان Faraman	235.30f-i	259.90d-g	129.90mno	294.50d	24.44g-l	27.55c-j	30.61a-e	32.45abc
کوسه Kuseh	289.60de	352.40c	107.60n-q	197.90h-l	29.39b-h	22.67j-m	24.25g-l	28.75b-i

برای هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون ال اس دی اختلاف معنی‌داری ندارند.

For each trait, means denoted by at least one similar letter are not significantly different according to LSD test at P<0.05.

شاخص برداشت: شاخص برداشت به‌عنوان یک خصوصیت فیزیولوژیک پتانسیل گیاه در اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه را نشان می‌دهد. در این پژوهش اثر ژنوتیپ بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر آبیاری و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن بر این صفت معنی‌دار نگردید. اثرات متقابل کود × ژنوتیپ، آبیاری × کود × ژنوتیپ و آبیاری × ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بودند اما اثر آبیاری × کود معنی‌دار نگردید (جدول ۲). بنابراین علاوه‌بر این‌که بین ژنوتیپ‌های مختلف از نظر این خصوصیت تفاوت وجود دارد، واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف نیز متفاوت می‌باشد. اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در شاخص برداشت می‌تواند احتمالا ناشی از اختلاف ژنتیکی بین آن‌ها از نظر ظرفیت اختصاص تولیدات فتوسنتزی به بخش زایشی و دانه باشد (۲۷). تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت در ارقام گلدشت و سینا و افزایش معنی‌دار رقم فرامان شد (جدول ٦). افزایش مصرف کود آهن در شرایط تنش کمبود آب، باعث بهبود توزیع نسبی فرآورده‌های فتوسنتزی در دانه‌های ارقام پدیده، گلدشت و مکزیکی ۸۸ شد. لذا شاخص برداشت در این ارقام افزایش یافت. براساس تحقیقات گذشته تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در شاخص برداشت گیاهان مختلف متفاوت است. به‌طوری‌که محلول پاشی آهن در شاخص برداشت کلزا تفاوت معنی‌داری نشان نداد (۱)، اما محلول‌پاشی روی و منگنز در برخی ارقام گلرنگ باعث افزایش شاخص برداشت

گردید (۲۶). شاخص برداشت در شرایط کمبود آب تابع نسبت آب استفاده شده پس از گرده افشانی است که هرچه بیشتر باشد، شاخص برداشت بیشترمی‌شود.

بررسی همبستگی صفات: در بین صفات مورد بررسی بیشترین همبستگی (r=۷۸۹**) بین عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط بدون تنش مشاهده شد (جدول ۷). در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در غوزه، تعداد غوزه در گیاه و شاخص برداشت و همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد دانه و قطر ساقه اصلی مشاهده شد (جدول ۷- قسمت پایین). در شرایط تنش، همبستگی عملکرد دانه با تمام صفات مورد بررسی مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۷- قسمت بالا).

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش و عدم تنش.

Table 7. Correlation coefficients between studied traits under stress and non- stress conditions.

	PH	SBN	MSD	1000SW	SNB	BNP	SY	HI
PH		0.262*	0.344**	0.178	0.734**	0.155	0.536**	0.552**
SBN	-0.018		0.701**	0.103	0.185	0.337**	0.505**	0.199
MSD	0.278*	0.270*		-0.097	0.208	0.455**	0.513**	0.190
1000SW	-0.274*	0.179	-0.521**		0 .271*	0.310*	0.545**	0.622**
SNB	0.423**	-0.090	0.085	-0.198		0.268*	0.580**	0.653**
BNP	0.185	-0.007	-0.240	0.180	0.293*		0.692**	0.395**
SY	0.144	-0.061	-0.276*	0.446**	0.479**	0.478**		0.746**
HI	0.088	-0.139	-0.541**	0.443**	0.387**	0.393**	0.789**	

قسمت بالا و پایین به‌ترتیب همبستگی در حالت تنش و بدون تنش. * و **: به‌ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

The top and bottom parts are the correlations in the stress and non- stress conditions, respectively.
*and **: significant correlation at the 5 % and 1 % of probability levels, respectively

PH= ارتفاع گیاه، SBN= تعداد شاخه فرعی، MSD= قطر ساقه اصلی، 1000SW= وزن هزار دانه، SNB= تعداد دانه در غوزه، BNP= تعداد غوزه در گیاه، SY= عملکرد دانه، HI= شاخص برداشت

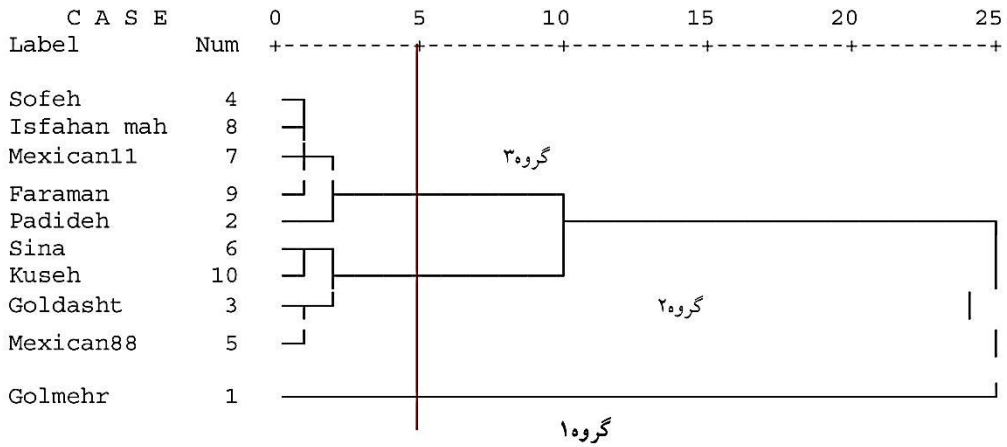
PH=Plant Height, SBN = Subsidiary Branch Number, MSD= Main Stem Diameter, 1000SW= 1000 Seed Weight, SNB= Seed Number in Boll, BNP = Boll Number in Plant, SY= Seed Yield, HI= Harvest Index

بنابراین در شرایط بدون تنش اجزاء عملکرد (تعداد غوزه، تعداد دانه در غوزه و وزن دانه‌ها) بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند. درحالی‌که در شرایط تنش علاوه‌بر اجزاء عملکرد صفات رویشی و بنیه گیاه نیز بر عملکرد تأثیر زیادی داشتند. رابطه مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با تعداد شاخه، تعداد غوزه، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۳، ۱۶، ۳۵ و ۴۲). نتایج حاصل از ارزیابی توده‌های ارقام محلی گلرنگ در شرایط دیم نشان داد که بالا بودن عملکرد ژنوتیپ‌های پر محصول ناشی از صفات تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه می‌باشد (۳۳). از آنجایی که عملکرد دانه صفت کمی پیچیده و با توارث‌پذیری پایینی می‌باشد، لذا برای اصلاح عملکرد دانه می‌توان از طریق صفاتی که همبستگی بالایی با آن دارند اقدام نمود.

تجزیه خوشه‌ای: در بین روش‌های مختلف تجزیه آماری چند متغیره، تجزیه خوشه‌ای یکی از

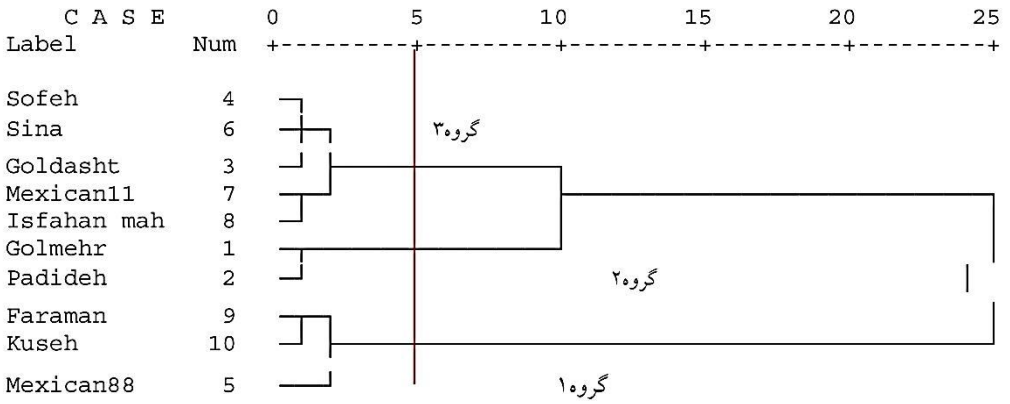
مهم‌ترین روش‌هایی است که کاربرد زیادی دارد (٢٤). در این مطالعه تمایز گروه‌ها بر اساس هشت صفت ارزیابی شده برای هر ژنوتیپ بود. با گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های مشابه بر اساس تشابه صفات مورد بررسی در یک گروه قرار گرفتند که از این اطلاعات می‌توان در برنامه به نژادی گیاه استفاده کرد.

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌ها را در سه گروه قرار داد (شکل ١). گروه اول شامل ژنوتیپ گل‌مهر بود، کمترین مقدار صفات تعداد دانه در غوزه، تعداد غوزه در بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت مربوط به‌این ژنوتیپ بود. گروه دوم، بیشترین میانگین را در صفات تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غوزه در گیاه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، ارتفاع، وزن هزار دانه و تعداد دانه در غوزه داشت و شامل ژنوتیپ‌های سینا، کوسه، گلدشت و مکزیکی ٨٨ بود. بنابراین این ژنوتیپ‌ها در مجموع صفات رویشی و زایشی برتر از ژنوتیپ‌های دیگر بودند. و گروه سوم نیز که شامل پنج ژنوتیپ صفه، محلی اصفهان، مکزیکی ١١، فرامان و پدیده بود حد واسط گروه دو و سه بود. در شرایط تنش نیز ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند. گروه اول بالاترین میانگین را در صفات وزن هزار دانه، تعداد غوزه در گیاه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، ارتفاع، تعداد دانه در غوزه، قطر ساقه اصلی و تعداد شاخه فرعی داشت که شامل ژنوتیپ‌های فرامان، کوسه و مکزیکی ٨٨ بود. لذا این ژنوتیپ‌ها در مجموع صفات رویشی و زایشی از ژنوتیپ‌های دیگر برتر بودند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های گل‌مهر و پدیده بود که کمترین میانگین را در صفات ارتفاع، وزن هزار دانه، تعداد دانه در غوزه، عملکرد دانه، قطر ساقه اصلی، تعداد شاخه فرعی، تعداد غوزه در گیاه و شاخص برداشت به خود اختصاص داد. گروه سوم نیز حد واسط دو گروه قبلی بود (شکل ٢).



شکل ١- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ١٠ ژنوتیپ گلرنگ از نظر ٨ صفت زراعی در شرایط عدم تنش به روش وارد.

Figure 1. Dendrogram of cluster analysis of 10 safflower genotypes based on 8 agronomic traits in non- stress conditions using Ward's method.



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۱۰ ژنوتیپ گلرنگ از نظر ۸ صفت زراعی در شرایط تنش به روش وارد.

Figure 2. Dendrogram of cluster analysis of 10 safflower genotypes based on 8 agronomic traits in stress conditions using Ward's method.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که بهترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و با مصرف کود نانو اکسید آهن برای رقم مکزیکی ۸۸ حاصل شد درحالی‌که کمترین عملکرد دانه مربوط به شرایط تنش و ژنوتیپ‌های گل‌مهر و پدیده بود. در شرایط تنش عملکرد دانه همه ارقام کاهش یافت. اما با مصرف کود نانو اکسید آهن از کاهش شدید عملکرد دانه کاسته شد و در برخی ژنوتیپ‌ها مثل ژنوتیپ محلی اصفهان، مصرف کود نانو اکسید آهن در شرایط تنش باعث افزایش دو برابری عملکرد نسبت به شرایط عدم مصرف کود نانو اکسید آهن شد. تجزیه ساده شود ژنوتیپ‌ها مشخص نمود که ژنوتیپ‌های کوسه ومکزیکی ۸۸ در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش از نظر عملکرد و سایر صفات مورد بررسی برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند.

منابع

1.Afshani, S., Amirnia, R., and Hadi, H. 2015. Study effect of foliar application of iron and zinc on yield and yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) under limited irrigation. Iran J. Field Crops Res., 13(1): 43-52.

2.Alessi, J., Power, J.F., and Zimmerman, D.C. 1981. Effect of seeding date and population on water-use efficiency and safflower yield. Agron. J., 73: 783-787.

3.Amini, F., Saeidi, Gh., and Arzani, A. 2008. The relationship between yield and its components in safflower genotypes. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resou., 45: 525-535. (In Persian)

4.Babaeian, M., Heidari, M., and Ghanbari, A. 2008. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (Alster cultivar) under water stress at three stages. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resou., 40(12): 119-129. (In Persian)

5.Baghkhani, F., and Farahbakhsh, H. 2008. Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. Agric. Res. J., 8: 45- 57. (In Persian)

6.Bassil, B.S., and Kaffka, S.R. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation, II Crop response to salinity. Agric. Water Manage., 54: 81- 92.

7.Baybordi, A. 2008. Safflower Plant Nutrition. Parivar Presss., 79p. (In Persian)

8.Bertamini, M., Nedunchezhian, N., and Borghi, B. 2004. Effect of iron deficiency induced changes on photosynthetic pigments, ribulose-1, 5-bisphoshpate carboxylase, and photosystem activities in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) Leaves. Photosynthetica., 39: 59-65.
9.Daju, L., and Mundel, H. 1996. Safflower (*Carthamus tinctorius* L). Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. IPGCPR, Catersleben, IPGRI, Roma, Italy. 83p.
10.Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., and Heshmati S. 2014. Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower cv. Goldasht under deficit irrigation conditions. Iran J. Crop Sci., 16(4): 308-321. (In Persian)
11.Fathian, Sh., and Ehsanzade, P. 2013. Association between some physiological characteristics and yield in spring safflower under two irrigation regimes. Iran. J. Filed Crop. Sci., 43: 649-659. (In Persian)
12.Ghaffarzadeh gavgani, A. 2005. Thorny and thornless safflower genotypes for resistance to water shortages late in the season. M.Sc. Thesis. Islamic Azad University of Karaj.
13.Golkar, P., Arzani, A., and Rezaei, A.M. 2012. Evaluation of genetic control of seed quality traits in safflower (*Carthamus tinctorious* L.). Iran. J. Crop Sci., 42: 833-844. (In Persian)
14.Golparvar, A.R., and Ghasemi Pirbalouti, A. 2010. Evaluation of correlation and path analysis of seed and oil yield in spring safflower cultivars under normal irrigation and drought stress conditions. J. New Find. Agric., 4: 3. 250- 263. (In Persian)
15.Goos, R.J., and Johnson, B.E. 2000. A comparison of three methods for reducing iron deficiency chlorosis in soybean. Agron. J. 92: 1135-1139.
16.Hajghani, M., Saffari, M., and Maghsudi Moud, A.A. 2009. Path coefficient analysis for the yield components of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) in Iran under different nitrogen levels. Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci., 6: 737-740.
17.Heidari, M., Goleg, M., Ghorbani, H., and Baradaran Firozabad, M. 2016. Effect of drought stress and foliar application of iron oxide nanoparticles on grain yield, ion content and photosynthetic pigments in sesame (*Sesamum indicum* L.). Iran. J. Filed Crop Sci., 46: 4. 619– 629. (In Persian)
18.Izadkhah, M., and Nezami, A. 2006. Drought Stress and its impact on Wheat. Young Researchers Club, Islamic Azad University of Boroujerd. (In Persian)
19.Jalil Shesh Bahre, M., and Movahedi Dehnavi, R. 2012. Effect of zinc and iron foliar application on soybesn seed vigour grown under drought stress. Elect. J. Crop Prod., 5(1): 19-35. (In Persian)
20.Levitt, J. 1980. Response of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press. New York, 607p.
21.Malakouti, M.J., and Tehrani, M.M. 2005. Effects of micronutrient on the yield and quality of agricultural products: Micronutrient with macro-effects. Tarbiat Modares Uni. Press. Tehran, Iran. 445p. (In Persian)
22.Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Effect of iron oxides (Ordinary and Nano) and municipal solid waste compost (MSWC) coated sulfur on wheat (*Triticum aestivum* L.) iron concentration and growth. Iran. J. Field Crops Res., 8: 855- 861. (In Persian)
23.Misagh, M., Movahhedi Dehnavi, M., and Yadavi, A.R. 2016. Improvement of yield, oil and protein percentage of sesame under drought stress by foliar application of zinc and boron. Elec. J. Crop Prod., 9(1): 163-180. (In Persian)
24.Mohammadi, S.A., and Prasanna, B.M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants-Salient statistical tools and considerations. Crop Sci., 43: 1235-1248.
25.Mohsennia, O., and Jalilian, J. 2012. Effects of drought stress on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) fertilizer sources. J. Agroecol., 4: 235- 245. (In Persian)

26.Movahedy Dehnavy, M., and Modarres Sanavy, S.A.M. 2007. Effect of Zn and Mn micronutrients on three winter safflowers under drought stress in Isfahan. J. Agric. Sci. Natur. Resour., 13(2): 1-10. (In Persian)
27.Naderi, M.R., Nour-mohammadi, G., Majidi, I., Darvish, F., Shirani-rad, A.H., and Madani, H. 2005. Evaluation of summer safflower reaction to different intensities of drought stress at Isfahan region. Iran. J. Crop Sci., 7: 212- 225.
28.Naderi Darbaghshahy, M.R., Noor Mohammadi, Gh., Majidi, A., Darvish, F., Shirani Rad, A.M. and Madani, H. 2004. Effects of drought stress and plant density on ecophysiological traits of three safflower lines in summer planting in Isfahan. Seed. Plant Prod. J., 20: 281-296.
29.Nakayama, N., Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., and Fujita, K. 2007. Response of growth, photosynthetic gas exchange, translocation of ^{13}C- labelled photosynthate and N accumulation in two soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars to drought stress. Int. J. Agr. Biol., 9: 669- 674.
30.Nazaran, M.H., Khalag, H., Labafi, M., Shamsabadi, M., and Razazi, A. 2008. Effect of Nano Iron. chelate fertilizer on quality and quantitative traits of wheat. Second National Conference on Applications of Nanotechnology in Agriculture, Karaj. (In Persian)
31.Paknejad, M. 2015. The effect of TiO_2 Nano particles spraying on yield and physiological parameters of *Carthamus tinctoriuos* L. under drought stress. M.Sc. Thesis. Imam Khomeini International University, Qazvin.
32.Pasban Eslam, B. 2001. Safflower. East Azarbaijan agriculture jahad organization. Iran., 694: 1-15. (In Persian)
33.Pourdad, S.S. 2008. Study on drought resistance indices in spring safflower. Acta. Agron. Hung., 56(2): 202-212.
34.Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Fizabady, A., Madani, H., and Soltani, E. 2012. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. Elec. J. Crop Prod., 3(1): 57-72. (In Persian)
35.Rao, V., and Ramachandram, M. 1997. An analysis of association of yield and oil in safflower. Fourth regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. Plant and Cell physiol., 38: 1095-1102
36.Rashed Mohasel, M., and Behdani, A. 1994. The effect of plant density and cultivar on yield and yield components of safflower. Agric. Sci. Technol. J., 8: 2. 110- 124. (In Persian)
37.Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol., 161: 1189-1202.
38.Rezai, R., Hosseini, S.M., Shabanali fami, H., and Safa, L. 2009. Identify and analyze the barriers to the development of nanotechnology in Iranian agriculture researcher. J. Science. Technol. Policy., 2: 17- 26. (In Persian)
39.Rostami, M. 2004. Late season drought stress on yield and physiological characteristics of wheat cultivars and determine the best index of drought resistance. M.Sc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
40.Salari, M., Pangekeh, N., and Kasraeai, S. 2008. Nano technology and its application in agriculture. J. Phytol. Food., 3: 36– 45. (In Persian)
41.Sirousmehr, A.R., Shakiba, M.R., Alyari, H., Toorchi, M., and Dabbagh Mohammadinasab, A. 2008. Effects of water deficit stress and plant density on yield and some morphological traits of Autumn-sown safflower cultivars. Pajouhesh-Va- Sazandegi J., 78: 80-87. (In Persian)
42.Tuncturk, M., and Ciftci, V. 2004. Relationships among traits using correlation and path coefficient analysis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) sown different fertilization levels and row spacing. Asian J. Plant Sci., 3: 683-686.
43.Ziaeian, A., and Malakouti, M.J. 1998. Effect of micronutrient application and application time on increasing yield. Soil Water., 2(1): 56-62. (In Persian)