نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰
۳۱-۴۸
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:10.22069/EJCP.2021.18084.2339

# اثر محلول‌پاشی براسینولید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شرایط تنش خشکی

مرضیه قاسمی[۱]، شاهرخ جهانبین[۲*]، حجت‌اله لطیف‌منش[۲]، هوشنگ فرجی[۳]، امین میرشکاری[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
[۲]استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
[۳]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

## چکیده

**سابقه و هدف:** آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) از مهم‌ترین گیاهان روغنی می‌باشد که به دلیل برخورداری از درصد بالای روغن دانه و سازگاری به شرایط مختلف اقلیمی و خاکی در سطح وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کشت می‌شود. با توجه به اینکه احتمال تنش خشکی در این مناطق زیاد می‌باشد، ضروری است جهت مقابله با این تنش در این مناطق اقدام شود. یکی از روش‌های مقابله با تنش خشکی استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی می‌باشد. با توجه به اینکه براسینولید ماده استروئیدی تنظیم رشد گیاهی است که می‌تواند در افزایش تحمل گیاه در مقابل تنش‌های مختلف اثرگذار باشد، لذا هدف این پژوهش بررسی اثرات محلول‌پاشی براسینولید بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و زراعی آفتابگردان در یکی از مناطق نیمه خشک کشور بود.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش در منطقه نورآباد استان فارس به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و نه تیمار در سال زراعی ۱۳۹۷ اجرا شد. عامل اصلی آزمایش شامل آبیاری در سه سطح بدون تنش (۱۰۰ درصد آبیاری کامل)، تنش متوسط (۷۵ درصد آبیاری کامل) و تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری کامل) بر اساس تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و عامل فرعی شامل کاربرد هورمون براسینولید در سه سطح (صفر، ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که عملکرد، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه آفتابگردان تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند، استفاده از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر محلول‌پاشی براسینولید در شرایط تنش شدید خشکی می‌تواند باعث افزایش معنی‌داری در میزان کلروفیل و تعداد برگ در بوته گردد، در نتیجه عملکرد، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین عملکرد دانه (۳۱۳/۳ گرم بر مترمربع) در تیمار آبیاری کامل و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر محلول‌پاشی براسینولید حاصل شد، به‌طوری‌که مقدار عملکرد دانه ۵۵ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود. همچنین، درصد و عملکرد روغن نیز تحت تأثیر تنش خشکی کاهش پیدا کرد، ولی با کاربرد هورمون براسینولید مقدار این دو صفت افزایش پیدا کرد. در رابطه با پرولین نیز در سطح تنش شدید بیش‌ترین میزان پرولین برگ در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر محلول‌پاشی براسینولید و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار شاهد به‌دست آمد.

*مسئول مکاتبه: Jahanbin@yu.ac.ir

**نتیجه‌گیری**: نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از محلول‌پاشی براسینولید در شرایط تنش شدید خشکی می‌تواند ۶۳ درصد تحمل به خشکی را افزایش دهد. بنابراین، در شرایط تنش شدید خشکی استفاده از محلول‌پاشی براسینولید می‌تواند راهکاری برای افزایش تولید در گیاه آفتابگردان باشد.

***واژه‌های کلیدی***: براسینولید، تنش خشکی، عملکرد.

## مقدمه

آفتابگردان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که برخورداری از روغن بالای دانه و سازگاری به شرایط مختلف اقلیمی و خاکی، موجب شده است که در سطح وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کشت آن گسترش یابد، ولی کمیت و کیفیت آن تا حدود زیادی تحت تأثیر حاصلخیزی خاک و تنش‌های محیطی موجود در طول دوره رشد قرار می‌گیرد (۳۶). یکی از تنش‌های محیطی در مناطق وسیعی از ایران، تنش خشکی می‌باشد، که در مناطق خشک و نیمه خشک به‌طور جدی تولید محصولات زراعی را محدود می‌کند که سبب ایجاد واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوتی در گیاهان زراعی می‌شود (۲۶). تنش خشکی خود باعث ایجاد تنش اسمزی می‌شود که این تنش از عوامل مشکلات جدی برای کاهش رشد و عملکرد گیاهان محسوب می‌شود (۱۵). همچنین، در آفتابگردان تنش خشکی افزایش محتوای پرولین برگ را درپی دارد و باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ‌های آن می‌شود (۲۰). علاوه بر این، تنش خشکی با تأثیر بر میزان فتوسنتز گیاه و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث کاهش عملکرد می‌گردد (۱۲). با توجه به اینکه تنش خشکی بر رشد، عملکرد، پایداری ساختار و عملکرد غشای سلولی، تورژسانس سلولی، تطابق اسمزی و روابط آبی گیاه، محتوای رنگ‌دانه‌ها و فعالیت فتوسنتزی، عملکرد و کیفیت دانه تأثیر قابل توجهی دارد، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود.

در شرایط تنش خشکی، گیاه به‌منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی (ازجمله پرولین) و ممانعت از تجزیه پرولین و جلوگیری از ورود آن به چرخه ساخت یا افزایش تجزیه پروتئین وارد عمل می‌شود، باتوجه به اینکه حلالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف تحت تأثیر پرولین قرار می‌گیرد و از طرفی مانع از تغییر ماهیت آن‌ها می‌شود (۷)، در این شرایط گیاه ممکن است با کاهش رشد مواجه شود. بررسی تأثیر تنش خشکی بر رشد و تغییرات بیوشیمیایی پنج رقم آفتابگردان نشان داد که کل محتوای کلروفیل این گیاهان در معرض تنش در مقایسه با شاهد کاهش یافت (۲۳). در تحقیقی که توسط ماندگار و همکاران (۲۲) صورت گرفت، تنش خشکی در مرحله گلدهی سبب کاهش تعداد دانه در طبق آفتابگردان شد. در آزمایش دیگری تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی روی برخی ارقام گندم کاهش عملکرد دانه و کاهش وزن هزار دانه را نشان داد (۳۴). که این مسئله می‌تواند به دلیل کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی باشد که این عامل در افت تعداد گلچه‌های بارور سطح طبق و نهایتاً در تعداد و وزن دانه در طبق مؤثر می‌باشد(۲۸). در شرایط تنش خشکی انواع گونه‌های فعال اکسیژن در محیط سلول تولید شده که منجر به خسارت اکسیداتیو در گیاهان می‌شوند، این مسئله اختلال در اعمال فیزیولوژیک سلول ایجاد می‌نماید (۱۳). بنابراین، لازم است جهت مقابله با تنش خشکی اقدام نمود که در این میان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به عنوان یکی از راهکارها مورد استفاده قرار می‌گیرد

(۲۷). باتوجه به فعال شدن فرآیندهای مخرب غشا در شرایط تنش که منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌شوند، استفاده از براسینواستروئیدها که باعث کاهش مقدار تجمع مالون دی‌آلدهید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و همچنین، بر تجمع مواد محلول، ترکیب اسیدهای چرب و نفوذپذیری غشا اثر مثبت دارند، مفید است (۱۹). براسینولیدها گروهی از تنظیم‌کننده‌ها و مواد محرک رشد گیاهی هستند که باعث القای اثرات مثبتی در کارکرد گیاهان از جمله حفظ فعالیت فتوسنتزی، فعال کردن آنتی‌اکسیدان‌ها، تجمع مواد حفاظت‌کننده اسمزی و القای فعالیت سایر هورمون‌ها می‌شوند (۱). براسینولید رشد گیاهان را از طریق افزایش برخی از فعالیت‌های متابولیک مانند فتوسنتز، بیوسنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها افزایش می‌دهد. بنابراین، افزایش عملکرد و شاخص‌های کیفی محصولات با مصرف مناسب و به‌موقع تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی قابل حصول است (۳۲). این تنظیم‌کننده‌های رشد احتمالاً از طریق تحریک شبکه‌های پیام‌رسانی سایر هورمون‌های گیاهی، نقش تنظیم‌کنندگی در رشد محصول دارند. از طرف دیگر، براسینواستروئیدها از طریق تغییر در متابولیسم گیاه و حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی، منجر به افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (۳۳). محلول‌پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۶۹۰ کیلوگرم در هکتار در گیاه ماش می‌شود که این موضوع می‌تواند به علت جلوگیری از ریزش گل‌ها به دلیل وجود ترکیبات فنلی در آن‌ها باشد (۲). همچنین، براسینواستروئیدها اثر مثبت بر عملکرد دانه گیاهان برنج و ذرت به‌صورت افزایش شکل فعال براسینواستروئید از طریق اصلاح، تغییر در اجزای سازنده، متابولیسم و یا مصرف خارجی آن دارند (۳۵). با اینکه تحقیقات زیادی در خصوص براسینولید در گیاهان مختلف صورت گرفته است، اما اطلاعات اندکی در مورد اثرات براسینولید در شرایط تنش خشکی گیاه آفتابگردان وجود دارد. از طرفی، با توجه به شرایط اقلیمی کشور ضروری است که جهت افزایش محصول آفتابگردان در مناطق خشک و نیمه‌خشک اقدام گردد. بنابراین، در تحقیق حاضر اثرات براسینولید بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط تنش خشکی گیاه آفتابگردان، بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش مربوط به دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج و در منطقه نورآباد استان فارس، با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۷ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۹۲۰ متری از سطح دریا در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی آزمایش شامل آبیاری در سه سطح بدون تنش (۱۰۰درصد آبیاری کامل)، تنش متوسط (۷۵ درصد آبیاری کامل) و تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری کامل) با توجه به تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و عامل فرعی شامل کاربرد هورمون براسینولید (محصول شرکت شیمی دانش آزمای تهران) بر اساس تحقیقات مشابهی که صورت گرفته بود (۱۰، ۲۴) در سه سطح (صفر، ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. قبل از انجام عملیات زراعی به‌منظور تعیین میزان حاصلخیزی خاک و نیاز کودی، از ۱۰ نقطه مزرعه آزمایشی، نمونه خاکی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و به آزمایشگاه آب‌وخاک منتقل شد. نتایج آزمایش خاک در جدول (۱) آمده است.

کرت‌ها به طول ۵ متر و عرض ۴ متر ایجاد شدند به‌طوری‌که هر کرت شامل ۶ ردیف به فاصله ۶۰

سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۳ متر در نظر گرفته شد. رقم آفتابگردان انتخابی مورد استفاده در این آزمایش، آفتابگردان هیبرید اسکار (زودرس با عملکردی پایدار و سازگار با شرایط محیطی مختلف که دارای پتانسیل ژنتیکی بیش از ۵/۵ تن در هکتار است) بود. کاشت در تاریخ ۲۵ تیرماه به‌صورت جوی و پشته‌ای و هیرم کاری انجام گرفت. عمق کاشت با توجه به اندازه بذر ۵ تا ۷ سانتی‌متر بود. کاشت بذرها به‌صورت کپه‌ای (کشت ۲ تا ۳ بذر در هر کپه) و با دست انجام شد که در نهایت فاصله بوته روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر بود.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت انجام گرفت. تا زمان خروج گیاهچه‌ها مزرعه هر سه روز یک‌بار آبیاری گردید و بعد از مرحله سبز شدن هر ۷ روز یک‌بار انجام گرفت. تنش خشکی از مرحله گلدهی اعمال شد. در زمان اعمال تنش خشکی، همه کرت‌ها طبق روال معمول هر ۷ روز یک‌بار آبیاری شدند. محلول‌پاشی براسینولید در دو مرحله‌ی رشد رویشی یعنی ۴ و ۸ برگی (با غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) برای هر کرت انجام شد. محلول‌پاشی به‌صورتی انجام گردید که روی تمام قسمت‌های بوته آفتابگردان قطرات محلول جاری شوند. به‌منظور جذب بهتر و خیس نمودن بهتر برگ‌ها، از ماده سورفکتانت (pH کنترل) استفاده شد. در این آزمایش دور آبیاری آفتابگردان با استفاده از تشتک تبخیر تعیین گردید. از ابتدای کشت تا هنگام برداشت، روزانه داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A یادداشت برداری گردید تا زمان آبیاری مشخص گردد. همچنین، با در نظر گرفتن ضریب گیاهی Kc میزان تبخیر و تعرق مشخص و بر اساس تخلیه رطوبتی و طبق تیمارهای مذکور تا رسیدن رطوبت خاک به حد FC میزان آب مورد نیاز محاسبه و حجم آب مورد نیاز هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

در مرحله گلدهی جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل موجود در برگ، برگ‌های جمع‌آوری شده (آخرین برگ توسعه یافته) ابتدا به‌وسیله قیچی به قطعاتی به پهنای ۵ میلی‌متر بریده شدند و ۰/۵ گرم از بافت تازه خرد شده را در یک هاون چینی ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد و ۰/۵ گرم پودر کربنات کلسیم اضافه گردید. هاون را در یک حمام یخی قرار داده و عملیات ساییدن نمونه‌های برگی را در محیطی با نور کم آنقدر ادامه داده تا مخلوطی کاملاً یکنواخت به‌دست آمد و تمام کلروفیل برگ به این صورت استخراج گردید. مخلوط حاصل را درون لوله‌های مخصوص سانتریفوژ ریخته و آن‌ها را در دمای پایین به‌مدت ۱۵ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ کرده، سپس محلول صاف شده رویی (سوپرناتانت) را برداشته و میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Lambda Ez۲۱۰ قرائت شد (۵). اندازه‌گیری محتوای نسبی آب نیز در مرحله گلدهی انجام گرفت. نمونه‌برداری با استفاده از قیچی از برگ رفرنس (آخرین برگ توسعه یافته) تمامی تیمارهای آزمایشی انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد، سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در سردخانه (Cold Room) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد (۲۹). با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازو در رابطه ۱، مقدار عددی محتوای آب نسبی (RWC) به‌دست آمد.

رابطه ۱:

$$RWC= F_w - D_w / S_w - D_w \times ۱۰۰$$

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1- Physical and chemical properties of soil.

| ویژگی‌ها<br>Property | واحد شاخص<br>Index unit | مقدار شاخص<br>Index amount |
|---|---|---|
| شن<br>Sand | درصد<br>% | 20 |
| سیلت<br>Silt | درصد<br>% | 64 |
| رس<br>Clay | درصد<br>% | 16 |
| گروه بافتی<br>Tissue group | - | لوم سیلتی<br>Silty loam |
| اسیدیته<br>pH | - | 7.23 |
| هدایت الکتریکی<br>EC | دسی زیمنس بر متر<br>dS/m | 1 |
| کربن آلی<br>Organic carbon | درصد<br>% | 0.60 |
| نیتروژن کل<br>Total N | درصد<br>% | 0.07 |
| فسفر<br>P | قسمت در میلیون<br>ppm | 15 |
| پتاسیم<br>K | قسمت در میلیون<br>ppm | 220 |

در این رابطه $F_w$: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، $D_w$: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون و $S_w$: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشند.

جهت اندازه‌گیری پرولین ابتدا به تعداد تیمارها، لوله‌های آزمایش دربدار به ظرفیت ۵۰ میلی‌لیتر تهیه گردید. در مرحله بعد یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی از برگ‌های تهیه شده، انتخاب گردید و به لوله‌های مذکور منتقل شد و ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده به آن اضافه گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر نین هیدرین به هر نمونه اضافه شد. بعد از آن ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به هر نمونه اضافه گردید و نمونه‌ها داخل حمام آب جوش (بن‌ماری) به‌مدت ۴۵ دقیقه قرار داده شدند. پس از خنک شدن از بنزن برای استخراج پرولین استفاده و میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (۲۵). برداشت نمونه‌ها پس از رسیدگی فیزیولوژیک آفتابگردان در ۲۰ آبان ماه از سطح سه مترمربع (پس از حذف حاشیه‌ها) در هر کرت انجام شد. به‌منظور ارزیابی صفات مختلف تعداد ۲۰ بوته آفتابگردان در هر کرت علامت‌گذاری شدند. در سطوح مذکور کلیه بوته‌ها از سطح خاک توسط قیچی باغبانی جدا، شمارش و وزن گردیدند. در این تحقیق ویژگی‌هایی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، بزرگ‌ترین قطر ساقه، قطر طبق و تعداد طبق در متر مربع قبل از برداشت اندازه‌گیری شد. تعداد دانه در طبق، وزن طبق با دانه، وزن طبق بدون دانه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن دانه، عملکرد روغن، عملکرد زیستی در واحد سطح و شاخص برداشت بعد از کف برکردن بوته‌ها در هر تیمار محاسبه شد. تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی به‌روش LSD در سطح ۵ درصد و با

معنی‌دار شدن برهم‌کنش عامل‌های آزمایش برای صفات اندازه‌گیری شده، مقایسه میانگین برش‌دهی با رویه LSMEANS در سطح احتمال خطای ۵ درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفت. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

## نتایج و بحث

**ارتفاع بوته:** اثر آبیاری در سطح احتمال خطای یک درصد و محلول‌پاشی براسینولید در سطح احتمال خطای پنج درصد بر میزان ارتفاع بوته معنی‌دار گردیدند، اما برهم‌کنش آن‌ها بر میزان ارتفاع بوته معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری کامل (۱۷۸/۵۹ سانتی‌متر) به‌دست آمد که با تیمار تنش متوسط (۱۶۸/۳۵ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین ارتفاع بوته در تیمار تنش شدید (۱۲۶/۸۱ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۳). ازجمله حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیک به خشکی در اثر کاهش فشار آماس سلولی رشد سلول است. فرایند رشد در نتیجه تقسیم سلول‌های مریستمی، تولید سلول‌های دختری و به دنبال آن بزرگ شدن سلول‌های جوان است. تحت تنش خشکی در اثر اختلال در جریان آب از آوندهای چوب به سلول‌های در حال رشد، طویل شدن سلول‌های گیاهان عالی می‌تواند متوقف گردد. خشکی موجب مختل شدن میتوز، طویل و حجیم شدن سلول و در نتیجه کاهش رشد از جمله کاهش ارتفاع ساقه می‌شود (۴). تنش خشکی با کاهش جذب آب و مواد غذایی و ایجاد رقابت بین اندام‌های گیاه، کاهش ارتفاع بوته را سبب می‌شود. براسینولیدها طیف وسیعی از واکنش‌ها از قبیل تحریک رشد طولی بافت‌های جوان از طریق تقسیم و طویل شدن سلولی و همچنین، تمایز آوندی را القا می‌کنند که فرآیند نموی مهمی برای رشد گیاه محسوب می‌شود (۶). در این تحقیق، مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی براسینولید نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۶۶/۹۷ سانتی‌متر) در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به‌دست آمد که با تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید (۱۶۰/۵۰ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت درحالی‌که به‌طور معنی‌داری کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۴۶/۲۷ سانتی‌متر) در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). به طور کلی، این نتایج نشان داد که تنش خشکی ارتفاع بوته را کاهش داد، اما کاربرد براسینولید میزان این صفت را افزایش داد. که این افزایش ارتفاع بوته در نتیجه استفاده از براسینولید می‌تواند به‌علت تحریک رشد طولی بافت‌های جوان از طریق تقسیم و طویل شدن سلول‌های گیاهی، اثر مثبت بر بافت‌های مریستمی گیاه و افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها نسبت به تیمار شاهد باشد (۸). این مسئله بیانگر کاهش اثرات تنش خشکی بر ارتفاع بوته در نتیجه استفاده از براسینولید می‌باشد.

**تعداد برگ در بوته:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری و براسینولید برای تعداد برگ در بوته معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش آبیاری و براسینولید بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ در بوته (۱۷۸/۵۹) در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد آبیاری مطلوب ) و کم‌ترین تعداد برگ در بوته (۱۲۶/۸۱) در تیمار تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری مطلوب) به‌دست آمد (جدول ۳). کاهش تعداد برگ در زمان تنش می‌تواند به علت پیری زودرس، به‌منظور کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی باشد. حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد برگ در بوته نخود گردید (۱۷).

مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی براسینولید نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ در بوته (۱۶۶/۹۷ عدد) در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد که با تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر (۱۶۰/۵ عدد) تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین تعداد برگ در بوته (۱۴۶/۲۷ عدد) در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). براسینولید با تأثیر مستقیم بر رشد گیاه سبب افزایش تعداد برگ در بوته آفتابگردان گردید. صفدری (۲۰۱۴) تأثیر معنی‌دار هورمون‌های رشد را بر تعداد برگ در بوته پیاز خوراکی گزارش کرد (۳۱).

**کلروفیل:** اثر آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید بر غلظت کلروفیل (a+b) معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش آن‌ها بر صفت مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری نشان داد، بیش‌ترین میزان کلروفیل (a+b) در تیمار آبیاری کامل (۱/۶۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار تنش شدید (۱/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) به‌دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تنش خشکی باعث تجزیه کلروفیل گردیده و گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است، در اثر این تنش به پرولین تبدیل شده و درنتیجه محتوای کلروفیل کاهش یافته است. همچنین، کوچک شدن سطح برگ در تیمارهای تحت تنش، دلیل دیگر این کاهش می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج ماندگار (۲۲) که گزارش کردند، بیش‌ترین میزان کلروفیل a و b آفتابگردان در تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین میزان کلروفیل a و b در تیمار تنش خشکی شدید به‌دست آمده است، هم‌سویی دارد.

مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی براسینولید نشان داد؛ بیش‌ترین میزان کلروفیل در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر (۱/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) به‌دست آمد که با تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر (۱/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار شاهد (۱/۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) با اختلاف معنی‌داری نسبت به استفاده از براسینولید مشاهده شد (جدول ۳). برا و همکاران (۸) نیز افزایش میزان کلروفیل در اثر کاربرد هموبراسینولید در آفتابگردان را گزارش کردند.

**پرولین:** برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید بر میزان پرولین برگ در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). اثر محلول‌پاشی براسینولید در آبیاری کامل در سطح احتمال خطای پنج درصد و در سطح تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری کامل) در سطح احتمال خطای پنج درصد برای میزان پرولین برگ معنی‌دار گردید (جدول ۴). در سطح آبیاری کامل بیش‌ترین میزان پرولین برگ در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید (۱/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار شاهد (۰/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) به‌دست آمد. در سطح تنش شدید نیز بیش‌ترین میزان پرولین برگ در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید (۶/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار شاهد (۵/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) به‌دست آمد (شکل ۱).

با توجه به اینکه پرولین، پروتئین محلولی است که در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد (۹) با کاربرد براسینولید میزان پرولین برگ افزایش معنی‌داری یافت. می‌توان گفت که براسینولید در افزایش محتوای پرولین مؤثر بوده و می‌تواند تحمل آفتابگردان را در برابر تنش خشکی افزایش داده و از قرار گرفتن در شرایط بحرانی نجات دهد. کاربرد خارجی ۲۴-اپی‌براسینولید سبب افزایش بیش‌تر مقدار پرولین در گیاه ترب (۲۱) و در برگ پرچم ارقام برنج (۱۱) تحت اثر تیمار کم آبی شده است، که با این تحقیق هم‌خوانی داشت.

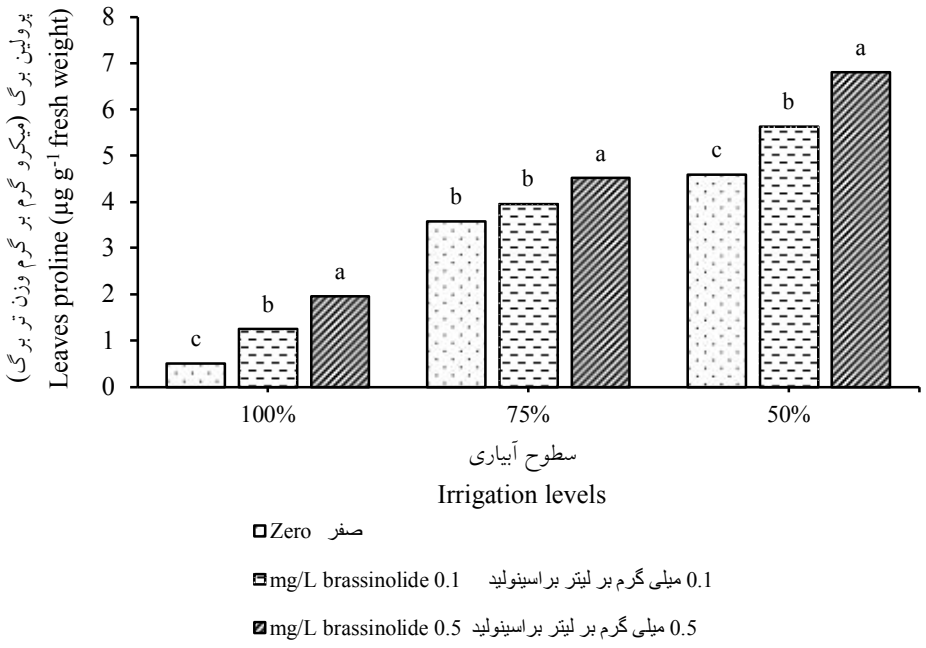
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید برای برخی صفات آفتابگردان.

Table 2- Analysis of variance for the effects of irrigation and brassinolide foliar application on some sunflower characteristics.

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی df | میانگین مربعات (Mean of squares) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع Height | تعداد برگ در بوته Number of leaves. Plant$^{-1}$ | کلروفیل Chlorophyll | پرولین Proline | قطر ساقه Stem diameter | قطر طبق Head diameter | تعداد طبق در متر مربع Number of head($m^{-2}$) | تعداد دانه در طبق Number of seeds. head$^{-1}$ | وزن هزار دانه 1000 seeds weight | عملکرد دانه Seed yield | عملکرد زیستی Biological yield | شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%) | درصد روغن Oil percentage | عملکرد روغن Oil yield |
| تکرار (Replication) | 2 | 974.42 | 6.66 | 0.078 | 0.26 | 0.09 | 6.16 | 1.85 | 12354.08 | 263.99 | 356.87 | 2999.84 | 10.73 | 14.07 | 24071.89 |
| آبیاری (Irrigation) | 2 | 6768.48** | 70.08** | 0.36** | 45.46** | 0.85** | 80.46 ** | 2.76 * | 543387.21** | 314.57* | 68881.23** | 1647594.32** | 6.83* | 98.02* | 1261177.71** |
| خطای اصلی (Error A) | 4 | 71.4 | 0.69 | 0.007 | 0.06 | 0.01 | 0.4 | 0.3 | 2158.62 | 27.49 | 134.53 | 1946.56 | 0.77 | 12.41 | 13239.85 |
| براسینولید (Brassinolide) | 2 | 1008.84* | 80.80** | 0.154** | 5.28** | 0.03 * | 3.90 ns | 2.81** | 207500.16** | 798.39** | 15557.62** | 193977.89** | 18.15** | 21.81* | 298393.41** |
| آبیاری × براسینولید (Irrigation × Brassinolide) | 4 | 59.15 ns | 0.94ns | 0.006ns | 0.30** | 0.01 ns | 0.84 ns | 0.25ns | 53.05 ns | 182.36 ns | 624.31* | 9332.02 * | 0.85 ns | 5.34ns | 19834.73* |
| خطای فرعی (Error B) | 12 | 165.93 | 0.86 | 0.009 | 0.05 | 0.01 | 1.13 | 0.25 | 3189.26 | 73.71 | 128.13 | 2561.47 | 1.72 | 4.16 | 3771.96 |
| ضریب تغییرات (درصد) (CV %) | | 8.15 | 7.55 | 6.67 | 6.34 | 6 | 7.97 | 7.22 | 9.7 | 16.22 | 5.52 | 4.74 | 6.92 | 5.54 | 7.9 |

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال خطای ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

* and ** and ns, respectively, indicate significantly different at 5% and 1% probability and are not significant.




شکل ۱- اثر استفاده از محلول‌پاشی براسینولید در هر یک از سطوح آبیاری بر میزان پرولین برگ، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد.

Figure 1- Effect of brassinolide foliar application on leaf proline content at each irrigation level, based on LSD test at 5% probability level.

**قطر ساقه:** نتایج نشان داد که اثر آبیاری در سطح احتمال خطای پنج درصد و محلول‌پاشی براسینولید در سطح احتمال خطای یک درصد بر قطر ساقه معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش آبیاری و براسینولید بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که بیش‌ترین قطر ساقه در تیمار آبیاری کامل (۱/۷۱ سانتی‌متر) و کم‌ترین قطر ساقه در تیمار تنش شدید (۱/۱۳ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به اینکه با کمبود آب، سلول‌های تازه تشکیل یافته رشد و گسترش کم‌تری پیدا می‌کنند، لذا تنش خشکی می‌تواند بر کاهش قطر ساقه آفتابگردان اثر گذار باشد (۱۴).

مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی براسینولید نشان داد که بیش‌ترین قطر ساقه در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر (۱/۴۳ سانتی‌متر) به‌دست آمد و کم‌ترین قطر ساقه در تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر (۱/۳۴ سانتی‌متر) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (۱/۳۲ سانتی‌متر) نداشت. افزایش قطر درنتیجه کاربرد براسینولید و درنتیجه افزایش محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز برگ‌ها، افزایش انتقال مواد و نهایتاً افزایش قطر ساقه می‌باشد (۹).

**قطر طبق:** نتایج نشان داد که فقط اثر آبیاری در سطح احتمال خطای یک درصد بر قطر طبق معنی‌دار گردید (جدول ۲). تنش شدید خشکی سبب کاهش قابل‌توجه قطر طبق گردید. مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که بیش‌ترین قطر طبق (۱۶/۰۵ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین قطر طبق (۱۰/۱۴ سانتی‌متر) در تیمار تنش شدید به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده، گزارش یدالهی و همکاران (۲۰۱۵) را در خصوص تأثیر معنی‌دار تنش خشکی در کاهش قطر طبق آفتابگردان تأیید می‌کنند

(۳۶). به نظر می‌رسد کاهش قطر طبق در نتیجه کاهش دوره پر شدن دانه‌ها و در نتیجه کاهش وزن و اندازه دانه باشد (۳۷).

**تعداد طبق در متر مربع:** اثر آبیاری در سطح احتمال خطای یک درصد و محلول‌پاشی براسینولید در سطح احتمال خطای پنج درصد بر تعداد طبق در متر مربع معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که بیش‌ترین تعداد طبق (۷/۵۶ طبق در متر مربع) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد که با تیمار تنش متوسط (۶/۹۸ طبق در متر مربع) تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین تعداد طبق (۶/۴۶ طبق در متر مربع) نیز در تیمار تنش شدید به‌دست آمد (جدول ۳). دیواره طبق در حال رشد با دانه‌های درحال‌توسعه، برای جذب مواد فتوسنتزی و آب به‌شدت رقابت می‌کنند که در زمان افزایش تنش‌های محیطی این رقابت بیش‌تر شده و منجر به کاهش تعداد کپسول‌ها از طریق ریزش آن‌ها می‌شود.

مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی براسینولید نشان داد که بیش‌ترین تعداد طبق در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید (۷/۶۳ طبق در متر مربع) و کم‌ترین تعداد طبق در تیمار شاهد (۶/۵۶ طبق در متر مربع) به‌دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاربرد براسینولید با افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی (۳) سبب حفظ گل‌های بارور در روی ساقه اصلی و درنتیجه افزایش تعداد طبق در متر مربع در آفتابگردان شده است.

**تعداد دانه در طبق:** نتایج نشان داد اثر آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید بر تعداد دانه در طبق در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید، اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد، بیش‌ترین تعداد دانه در طبق (۷۷۷/۰۲ عدد) در تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین تعداد دانه در طبق (۳۰۵/۷۶ عدد) در تیمار تنش شدید به‌دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی باعث افت تعداد دانه در طبق شد و این امر حاصل سقط و از بین رفتن گل‌ها و طبق‌ها بود. همچنین، تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود. نتایج این تحقیق با پژوهش حسینی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) در آفتابگردان مشابهت داشت (۱۶).

براسینولید می‌تواند از طریق تلقیح مناسب‌تر یا افزایش در شدت انتقال مواد فتوسنتزی به طبق در حال تشکیل و یا دانه‌ها، باعث افزایش تعداد دانه در طبق گردد (۱). مقایسه میانگین سطوح براسینولید نشان داد بیش‌ترین تعداد دانه در طبق (۷۲۹/۹۰ دانه) در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید و کم‌ترین تعداد دانه در طبق (۴۲۶/۴۵ دانه) در تیمار شاهد به‌دست آمد. دهقان و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند استفاده از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر براسینولید نسبت به عدم مصرف آن باعث افزایش۹/۱۷ درصدی تعداد دانه در سنبله گندم گردید (۱۰).

**وزن هزار دانه:** نتایج نشان داد که اثر آبیاری در سطح احتمال خطای پنج درصد و محلول‌پاشی براسینولید در سطح احتمال خطای یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۲). در حالی‌که یدالهی و همکاران (۲۰۱۷) کاهش وزن هزاردانه را درنتیجه اعمال تنش خشکی ارائه نمودند (۳۷)، همچنین، سعیدی و عبدلی (۲۱۰۵) در آزمایشی بر روی برخی ارقام گندم نشان دادند که تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی باعث کاهش عملکرد دانه و کاهش وزن هزار دانه گردید (۳۰). در این تحقیق مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد بیش‌ترین وزن هزار دانه (۵۷/۳۳ گرم) در تیمار تنش شدید به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش متوسط (۵۵/۲۲ عدد) نداشت، اما کم‌ترین وزن هزار دانه (۴۶/۲۰ گرم) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد

(جدول ۳). با توجه به اینکه در تیمار تنش شدید خشکی، تعداد طبق و همچنین تعداد دانه در طبق (مخازن) کاهش یافته، در نتیجه سهم تخصیص مواد فتوسنتزی به مخازن افزایش یافته و وزن هزار دانه آن‌ها افزایش یافته است.

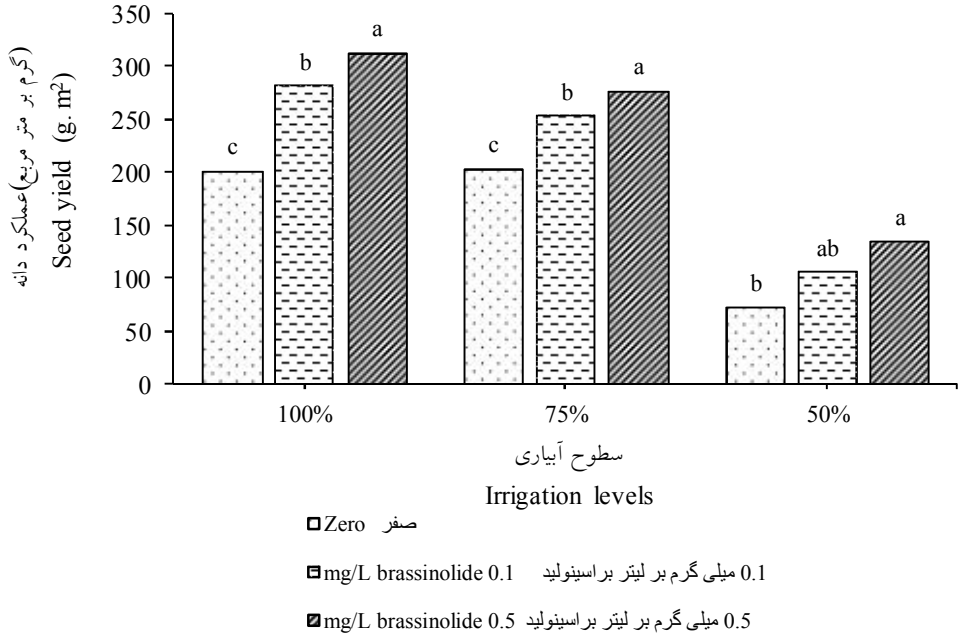
جدول ۴- تجزیه واریانس برش دهی اثر براسینولید در هر سطح آبیاری برای برخی صفات آفتابگردان

Table 4- Analysis of variance for the effect of brassinolide on each irrigation level for some sunflower traits

| سطوح آبیاری<br>Irrigation levels | درجه آزادی<br>df | عملکرد دانه<br>Seed yield | عملکرد زیستی<br>Biological yield | پرولین<br>Prolin | عملکرد روغن<br>Oil production |
|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری کامل<br>Full irrigation | 2 | 31475.28** | 4422.26* | 4107.58* | 284182.11** |
| ۷۵٪ آبیاری مطلوب<br>75% Optimal irrigation | 2 | 48030.03* | 4107.58* | 590.90ns | 428650.12* |
| ۵۰٪ آبیاری مطلوب<br>50% Optimal irrigation | 2 | 4888.11ns | 590.90ns | 4422.26** | 82737.92 ns |

ns، ** و * به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال خطای ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

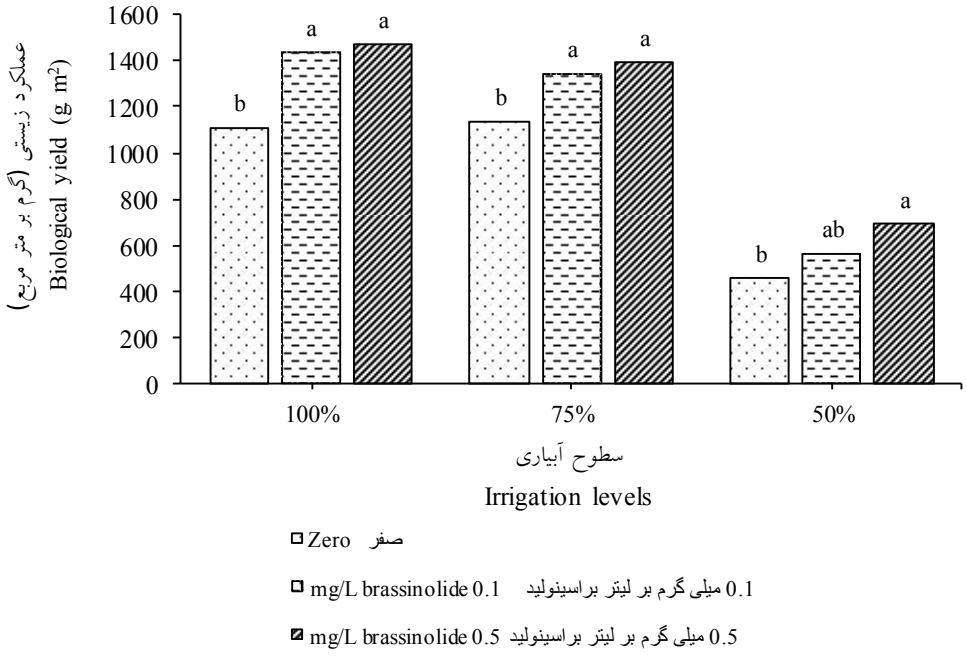
* and ** and ns, respectively, indicate significantly different at 5% and 1% probability and are not significant




شکل ۲- اثر محلول‌پاشی براسینولید در هر یک از سطوح آبیاری بر عملکرد دانه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد.

Figure 2- Effect of brassinolide foliar application at each irrigation level on grain yield, based on LSD test at 5% probability level.

مقایسه میانگین سطوح براسینولید نشان داد، بیش‌ترین وزن هزار دانه (۶۲/۴۶ گرم) در تیمار شاهد و کم‌ترین وزن هزار دانه (۴۳/۶۳ گرم) در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به‌دست آمد (جدول ۳). احتمالاً براسینولید با افزایش رشد رویشی و کوتاه کردن دوره پر شدن دانه موجب کاهش وزن هزار دانه گردیده است.




شکل ۳- اثر محلول‌پاشی براسینولید در هر یک از سطوح آبیاری بر عملکرد زیستی، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد.

Figure 3- Effect of brassinolide foliar application at each irrigation level on biological yield, based on LSD test at 5% probability level.

**عملکرد دانه:** برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید بر عملکرد دانه در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). تجزیه واریانس برش دهی اثر محلول‌پاشی براسینولید در سطح آبیاری کامل در سطح احتمال خطای یک درصد و تنش متوسط در سطح احتمال خطای پنج درصد برای عملکرد دانه آفتابگردان معنی‌دار گردید (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین در این سطوح آبیاری نشان داد، با افزایش میزان براسینولید تا ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر، کاهش اثرات تنش خشکی میزان عملکرد دانه ملاحظه شد. به‌طوری‌که در سطح آبیاری کامل بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۱۳/۳۹ گرم بر مترمربع) در سطح ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید و کم‌ترین میزان عملکرد دانه (۲۰۲/۰۹ گرم بر مترمربع) در سطح شاهد براسینولید به‌دست آمد. در سطح تنش متوسط نیز بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۲۲۷/۵۵ گرم بر مترمربع) در سطح ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید و کم‌ترین میزان عملکرد دانه (۲۰۴/۲۲ گرم بر مترمربع) در سطح شاهد براسینولید به‌دست آمد (شکل ۲). می‌توان بیان داشت که استفاده از براسینولید در شرایط آبیاری کامل و تنش متوسط باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل سقط و از بین رفتن کپسول‌ها و عدم باروری گیاه در این مرحله از رشد باشد که این افزایش عملکرد دانه با کاربرد براسینولید می‌تواند به دلیل افزایش تجمع رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل و محتوای بیش‌تر پروتئین‌های محلول باشد که این موارد باعث افزایش راندمان فتوشیمیایی بالاتر ازنظر جذب دی‌اکسید کربن می‌شوند (۶).

**عملکرد زیستی:** برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید بر عملکرد زیستی در سطح احتمال خطای

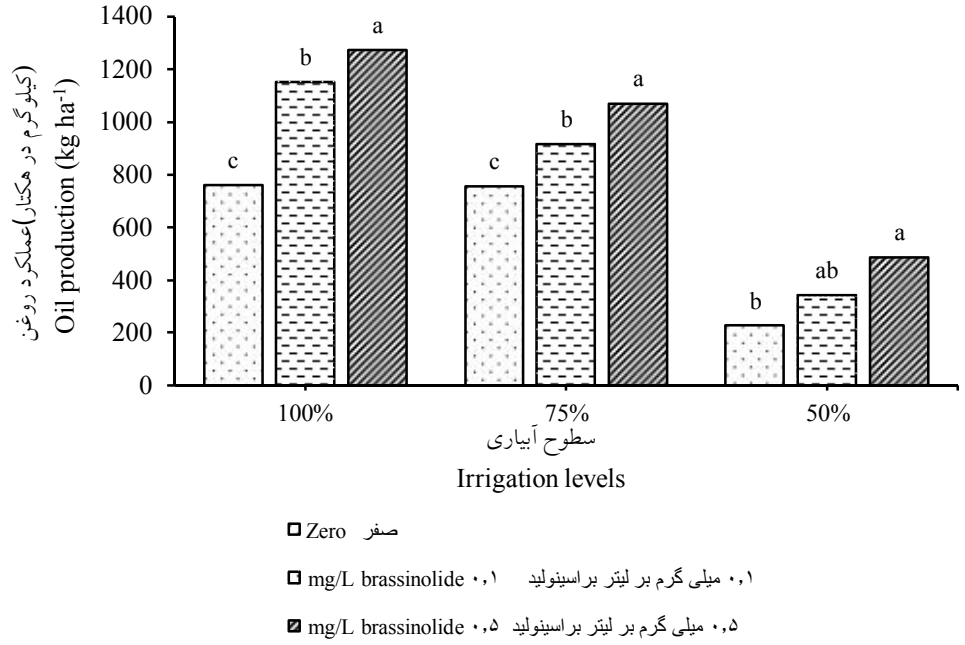
پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). تجزیه واریانس برش دهی اثر محلول‌پاشی براسینولید در آبیاری کامل در سطح احتمال خطای یک درصد و تنش متوسط در سطح احتمال خطای پنج درصد برای عملکرد زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین در سطوح آبیاری نشان داد که محلول‌پاشی براسینولید با کاهش اثرات تنش خشکی میزان عملکرد زیستی را افزایش داد به‌طوری‌که در سطح آبیاری کامل بیش‌ترین میزان عملکرد زیستی (۱۴۶۶/۷۷ گرم بر مترمربع) در سطح ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به‌دست آمد که با سطح ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان عملکرد زیستی (۱۱۰۹/۱۹ گرم بر مترمربع) در سطح شاهد براسینولید به‌دست آمد.

در سطح تنش متوسط نیز بیش‌ترین میزان عملکرد زیستی (۱۳۸۸/۹۶ گرم بر مترمربع) در سطح ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به‌دست آمد که با سطح ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان عملکرد زیستی (۱۱۳۵/۵۳ گرم بر مترمربع) در سطح شاهد براسینولید به‌دست آمد (شکل۳). افزایش عملکرد زیستی با کاربرد براسینولید می‌تواند به دلیل گسترش بیش‌تر سطح برگ باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیک کارآمد برای استفاده هرچه بیش‌تر از نور دریافتی باعث افزایش عملکرد زیستی بیش‌تر شده است (۱۸). دهقان و همکاران (۲۰۱۷) نیز افزایش در میزان عملکرد زیستی در گندم که با براسینولید محلول‌پاشی شده بود را گزارش نمودند (۱۰).

**شاخص برداشت:** اثر آبیاری در سطح احتمال خطای پنج درصد و محلول‌پاشی براسینولید در سطح احتمال خطای یک درصد بر میزان شاخص برداشت معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش آن‌ها بر شاخص برداشت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد، بیش‌ترین شاخص برداشت (۱۹/۸۰ درصد) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش متوسط (۱۸/۹۷ درصد) نداشت و کم‌ترین شاخص برداشت (۱۸/۰۵ درصد) در تیمار تنش شدید به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل بالا بودن قدرت منبع و مخزن منجر به افزایش شاخص برداشت شد که این مسئله ناشی از تشکیل تعداد زیادتر دانه در بوته بود که موجب اختصاص بیش‌تر مواد فتوسنتزی به دانه شد، درنتیجه شاخص برداشت افزایش یافت. در شرایط تنش خشکی کمبود آب باعث کاهش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی، ساخت و انتقال مواد پرورده می‌شود و این امر شاخص برداشت را کاهش می‌دهد.

مقایسه میانگین سطوح براسینولید نشان داد استفاده از براسینولید اثر مثبت در شاخص برداشت دارد به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص برداشت (۲۰/۳۱ درصد) در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به‌دست آمد که با تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید (۱۹/۰۳ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی با اختلاف معنی‌دار کم‌ترین شاخص برداشت (۱۷/۴۸ درصد) در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳).

**درصد روغن:** اثر آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید بر درصد روغن در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش آن‌ها بر درصد روغن معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد، بیش‌ترین درصد روغن در تیمار آبیاری کامل (۳۹/۸۰ درصد) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش متوسط (۳۷/۱۲ درصد) نداشت و کم‌ترین درصد روغن در تیمار تنش شدید (۳۳/۲۵ درصد) به‌دست آمد (جدول ۳).




شکل ۴- اثر محلول‌پاشی براسینولید در هر یک از سطوح آبیاری بر عملکرد روغن، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد.

Figure 4- Effect of brassinolide foliar application at each irrigation level on oil yield, based on LSD test at 5% probability level.

به نظر می‌رسد که تنش خشکی طول دوره پر شدن دانه‌ها را کاهش داده و فرصت بیشتری برای تجمع پروتئین در دانه فراهم نموده است، درنتیجه عملکرد روغن کاهش می‌یابد. مقایسه میانگین سطوح براسینولید نشان داد بیش‌ترین درصد روغن (۳۸/۳۶ درصد) در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به‌دست آمد که با تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید (۳۶/۶۵ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت اما تیمار شاهد با اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید کم‌ترین درصد روغن (۳۵/۲۵ درصد) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد اثرات مثبت براسینولید از طریق افزایش سطح برگ سبب افزایش میزان فتوسنتز شده و این امر خود موجبات تولید آسیمیلات بیش‌تر و بهبود رشد را فراهم نوده، که درنهایت موجب افزایش درصد روغن دانه در گیاه در مقایسه با تیمار عدم کاربرد براسینولید شده است.

**عملکرد روغن:** برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی براسینولید بر عملکرد روغن در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). تجزیه واریانس برش دهی اثر محلول‌پاشی براسینولید در سطح آبیاری کامل در سطح احتمال خطای یک درصد و تنش متوسط در سطح احتمال خطای پنج درصد برای عملکرد روغن آفتابگردان معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین در این سطوح آبیاری نشان داد با افزایش میزان براسینولید تا ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر با کاهش اثرات تنش خشکی، میزان عملکرد روغن افزایش یافت. به‌طوری‌که در سطح آبیاری کامل بیش‌ترین میزان عملکرد روغن (۱۲۳۷/۱۳ کیلوگرم در هکتار) در سطح ۰/۵ میلی‌گرم

بر لیتر براسینولید و کم‌ترین میزان عملکرد روغن (۷۶۲/۱۹ کیلوگرم در هکتار) در سطح شاهد براسینولید به‌دست آمد. در سطح تنش متوسط نیز بیش‌ترین میزان عملکرد روغن (۱۰۶۹/۴۱ کیلوگرم در هکتار) در سطح ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید و کم‌ترین میزان عملکرد روغن (۷۵۵/۸۱ کیلوگرم در هکتار) در سطح شاهد براسینولید به‌دست آمد (شکل۴). در تیمارهای تنش خشکی، کاهش عملکرد روغن نسبت به شرایط آبیاری کامل مشاهده شد که این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش باشد چراکه عملکرد روغن حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن می‌باشد.

## نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج بیانگر آن است که خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کلیه صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش تأثیر گذاشت. در شرایط آبیاری کامل با کاربرد هورمون براسینولید میزان عملکرد نسبت به تیمار شاهد افزایش چشم‌گیری داشت درعین حال در شرایط تنش استفاده از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد و محتوای روغن شد. بنابراین، به منظور کاهش اثرات تنش و افزایش محصول استفاده از براسینولید امیدبخش است.

## Refrences


1. Ahmadi Mousavi, A.A., Manouchehri Kalantari, K.H., Jafari, S., Hasibi, N., and Mahdavian, K. 2011. Effects of 24-epibrassinolide and drought stress on some physiological parameters of canola. Iran. J. Biol. 23: 2. 275-286. (In Persian)
2. Ananthi, M., Sasthri, G., and Srimathi, P. 2013. Integrated seed and crop management techniques for increasing productivity of greengram cv. CO6. IJSR. 2: 11. 37-38.
3. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., and Zou, C.M. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. J. Agron. Crop Sci. 197: 3. 177-185.
4. Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Afr. J. Agric. Res. 6: 9. 2026-2032.
5. Arnon, D.I. 1949. Copper enzyme in isolated choloroplast and poly phenol oxidase in *beta vulgaris* L. Plant Physiol. 24: 1. 15-17.
6. Asha, A., and Lingakumar, K. 2015. Effect of 24-epibrassinollide on the morphological and biochemical constitutions *Vigna unguiculata* L. seedlings. INDJSRT. 3: 1. 35-39.
7. Bandurska, H., and Stroinski, A. 2003. ABA and proline accumulation in leaves and roots of wild (*Hordeum spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare* Maresi) barley genotypes under deficit water conditions. Acta Physiol. Plant. 25: 55-61.
8. Bera, A.K., Pramanik, K., and Mandal, B. 2014. Response of biofertilizers and homobrassinolide on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Afr. J. Agric. Res. 9: 48. 3494-3503.
9. Borujerdnia, M., Hamta, M.R., Alemisaeed, Kh., and Abdousi, V. 2016. Effect of drought stress on proline content, soluble carbohydrates, electrolyte leakage and relative water content of lima beans (*Phaseolus lunatus* L.). J. Crop Physiol. 8: 29. 23-41. (In Persian)
10. Dehghan, M., Balouchi, H.R.,Yadavi, A.R., and Safikhani, F. 2017. Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress conditions. Iran. J. Crop Sci. 19: 1. 40-56. (In Persian)

11. Farooq, M., Wahid, A., Basra, S.M.A. and Din, I.U. 2009. Improving the water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. J. Agron. Crop Sci. 195: 4. 262-269
12. Flowers, T.J., Troke, P.F., and Yeo, A.R. 2000. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annu J. Plant Physiol. 28: 89-121.
13. Fu, J., and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environ. Exp. Bot. 45: 2. 105-114.
14. Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., and Dagustu. N. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Res. 87: 2-3. 167-178.
15. Hmida-Sayari, A., Gargouri-Bouzid, R., Bidani, A., Jaoua, L., Savoure, A., Jaoua, S. 2005. Overexpression of $\Delta^1$-pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers salt tolerance in transgenic potato plants. Plant Sci. 169: 4. 746-752.
16. Hoseininejad, S.M., Masoud sinaki, J., Biabani, A., and Abedini, M. 2015. Effects of drought stress and mycorrhizae fungi application on yield and some agronomical and physiological characteristicsof sunflower cultivars. Agron J. (Pajo. Saz). 110: 95-102. (In Persian)
17. Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., and Ganjali, A. 2012. Effect of methanol on morphological characteristics of chickpea plant under drought stress. J Environ. Stress. Crop Sci. 4: 2. 139-150. (In Persian)
18. Jacobs, B.C., and Pearson, C.J. 1991. Potential yield of maize determined by rate of growth and development of ears. Field Crops Res. 27: 281-298.
19. Khripach, V.A., Zhabinskii, V.N., and Groot, A.E. 1998. Brassinosteroids:a new class of plant hormones. Academic press, United States of America. 460 p.
20. Majdam, M. 2016. Effect of drought stress on physiological characteristics and yield of sunflower at different levels of nitrogen. J. Crop Prod. 9: 4. 121-136. (In Persian)
21. Mahesh, K., Balaraju, P., Ramakrishna, B., and Rao, S.S. 2013. Effect of brassinosteroids on germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG- 6000 induced water stress. Am J. Plant Sci. 4: 12. 2305-2313.
22. Mandegar, S., Mojaddam, M., Soltanihovayzeh, M., and Shokuhfar, A.R. 2012. Effect of irrigation ending date on physiological growth parameters and yield of sunflower hybrids. Adv. Environ. Biol. 6: 1. 33-41.
23. Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishorekumer, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A., and Panneerselvam, R. 2015. Growth, biochemical and Surfaces, modification and proline metabolism in (*Helianthus annus* L.) as induced by drought stress. J. Plant Nutr. 59: 2. 141-149.
24. Pahlavan, F., Galavi, M., Ramroudi, M., and Khumri, A., 2016. Effect of three types of fertilizers on oil percentage and osmotic regulators in Pursanfa medicinal plant under drought stress, 2nd International and 5th National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan, https://civilica.com/doc/958947. (In Persian)
25. Paquine, R., and Lechasseur. P. 1979. Observations surune methode dosage labrie dans lesde plantes. Can J. Bot. 57: 1851-1854.
26. Pattangual, W., and Mador, M. 1999. Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in Coleus. Plant Physiol. 121: 3. 998-993.
27. Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2019. The role of plant growth regulators in enhancing crop yield under saline conditions: from theory to practice. Iranian J. Crop Sci. 21: 3. 188-209. (In Persian)
28. Rabbani, J., and Imam, Y., 2011. Response of corn hybrid grain yield to drought stress at different growth stages. J. Agric. Hortic. Prod Process. 1: 2. 78-65. (In Persian)

29. Ritchie, S.W., and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30: 1. 105-111.
30. Saeidi, M., and Abdoli, M. 2015. Effect of drought stress during grain filling on yield and itscomponents, gasexchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. J. Agric Sci. Technol. 17: 4. 885-898.
31. Safdari, M. 2014. Effects of Gibberellin hormone on growth and yield of edible onion through seed treatment. M.Sc thesis. Faculty of Basic Sciences, Payame Noor University of Tehran Province, 153 p. (In Persian)
32. Sengupta, K., Mitra, S., and Ray, M. 2009. Effect of brassinolide on growth and yield of summer green gram crop. J. Crop Weed. 7: 2. 152-154.
33. Talaat, N.B., and Shawky, B.T. 2013. 24-Epibrassinolide alleviates salt-induced inhibition of productivity by increasing nutrients and compatible solutes accumulation and enhancing antioxidant system in wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta Physiol. Plant. 35: 3. 729-740.
34. Tavakoli, A., Ahmadi, A., and Alizadeh, E., 2009. A study of some physiological aspects of the yield in drought tolerant VS. susceptible wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under post anthesis drought stress conditions . Ir J. field Crop Sci. 40: 197-211. (In Persian)
35. Vriet, C., Russinova, E., and Reuzeau, C. 2012. Boosting crop yields with plant steroids. Plant Cell. 24: 3. 842-857.
36. Yadollahi, P., Bagheri, A.A., Amiri, A., and Esmailzadeh, S. 2015. Effects of drought and foliar application on yield and photosynthetic pigments sunflower. J. Crop Physiol. 6: 2. 73-83. (In Persian)
37. Yadollahi, P., Ashgaripour, M.A., Marvane, H., and Kheiri, N. 2017. The effects of drought stress on grain and oil yield of two cultivars of sunflower. J. Crop Sci. Res Arid Reg. 1: 1. 65-75. (In Persian)