



## به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰

صفحه‌های ۶۰۶-۵۹۳

مقاله پژوهشی:

### ارزیابی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و روغن بالنگوی شهری تحت شرایط کم آبیاری در واکنش به محلول‌پاشی براسینواستروئید

سعید ناصروفائی<sup>۱</sup>، یوسف سهرابی<sup>۲\*</sup>، پرویز مرادی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۳. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸

#### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی اثر براسینواستروئید بر برخی صفات فیزیولوژیکی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه و روغن بالنگوی شهری تحت شرایط کم آبیاری به اجرا درآمد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح آبیاری (آبیاری معمولی یا شاهد، قطع آبیاری از آغاز گل‌دهی تا پایان رسیدگی، قطع آبیاری از آغاز شاخه‌دهی یعنی ظهور ششمین جفت برگ ساقه اصلی تا رسیدگی فیزیولوژیکی) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی با براسینواستروئید با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵ میکرومولار و شاهد در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که قطع آبیاری از آغاز شاخه‌دهی موجب افت محتوای کلروفیل کل (۴۲/۸ درصد)، تعداد کپسول در بوته (۶۲/۷ درصد)، تعداد دانه در بوته (۶۶/۱ درصد)، وزن هزاردانه (۲۲/۳ درصد)، عملکرد بیولوژیکی (۶۲/۱ درصد) و دانه (۷۳/۵ درصد)، شاخص برداشت (۳۰/۸ درصد) و عملکرد روغن (۷۵/۱ درصد) شد. محلول‌پاشی با براسینواستروئید فقط موجب افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل کل برگ و درصد روغن دانه شد. بین سطوح محلول‌پاشی با براسینواستروئید به لحاظ غلظت کلروفیل کل برگ و درصد روغن دانه، تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. تصمیم‌گیری در ارتباط با میزان تأثیر این تنظیم‌کننده رشد بر بهبود رشد و عملکرد بالنگو تحت شرایط کم آبیاری نیاز به تحقیقات تکمیلی دارد.

**کلیدواژه‌ها:** تنظیم‌کننده رشد، عملکرد بیولوژیکی، قطع آبیاری، محتوای کلروفیل، محلول‌پاشی.

### Evaluation of Physiological Characteristics, Yield, Yield Components, and Oil Yield of Dragon's Head under Deficit Irrigation Conditions in Response to Foliar Application of Brassinosteroid

Saeid Naservafaei<sup>1</sup>, Yousef Sohrabi<sup>2\*</sup>, Parviz Moradi<sup>3</sup>

1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

3. Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.

Received: November 18, 2020

Accepted: January 11, 2021

#### Abstract

The present study has been conducted to investigate the effect of Brassinosteroid on some physiological traits, yield components, seed yield, and oil of Dragon's head under deficit irrigation conditions. The experiment has been conducted as split-plot based on a randomized complete block design with three replications during 2016-2017 and 2017-2018 in the research farm of Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Zanjan Province. Experimental treatments include deficit irrigation (normal or control irrigation, irrigation cut-off from the beginning of flowering to the end of maturity, irrigation cut-off from the beginning of branching (emergence of the sixth pair of main stem leaves to physiological maturity) in main and foliar spraying with Brassinosteroid with concentrations of 0.5, 1.5, 1.5  $\mu\text{M}$ , and control, all applied in the sub plots. Results show that irrigation cut-off from the beginning of branching has decreased in total the chlorophyll content (42.8%), number of capsules per plant (62.7%), number of seed per plant (66.1%), 1000-seed weight (22.3%), biological and seed yield (62.1%), harvest index (30.8%), and oil yield (75.1%). Foliar application with Brassinosteroids has only significantly increased the leaf total chlorophyll concentration and seed oil percentage under different levels of irrigation cut-off stress. There is a statistically significant difference between foliar application levels with Brassinosteroids for leaf total chlorophyll concentration and seed oil percentage traits. There is a need for complementary researches to prove the effectiveness of foliar application with this growth regulator to improve growth and yield of Dragon's head under deficit irrigation conditions.

**Keywords:** Biological yield, chlorophyll content, foliar application, growth regulator, irrigation cut-off.

## ۱. مقدمه

رشد و عملکرد گیاه تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد. کمبود آب از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که اثرات منفی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد و تولید محصول در ۲۵ درصد از اراضی زراعی جهان را محدود کرده است (Jaleel et al., 2009). اغلب اراضی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Azarakhshi et al., 2013). تنش کم‌آبی زمانی در گیاه رخ می‌دهد که مقدار تعرق از سطح برگ‌ها از ظرفیت ریشه برای جذب آب از خاک بیش‌تر شده و شرایط آب و هوایی موجب اتلاف مداوم آب به‌دلیل تعرق و تبخیر شود، که نتیجه آن رقابت بین گیاهان برای جذب آب از خاک است (Jaleel et al., 2009).

خشکی به‌عنوان یک تنش چندبعدی، اثرات گوناگونی بر گیاهان دارد و اغلب ویژگی‌های مورفولوژیکی و فرایندهای فیزیولوژیکی مرتبط با رشد و تولید عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. واکنش گیاهان به تنش خشکی به شدت و مدت تنش، گونه گیاهی و مرحله رشد بستگی دارد (Wang et al., 2016). این تنش با افت پتانسیل آب سلول و آماس، موجب افزایش غلظت املاح در مایعات درون و برون سلولی می‌شود. تحت شرایط تنش کم‌آبی، توسعه سلول محدود شده و یا متوقف می‌شود و در نتیجه رشد گیاه به تأخیر می‌افتد. در شرایط تنش خشکی طولانی مدت، بسیاری از گیاهان آب خود را از دست داده و از بین می‌روند (Lisar et al., 2012). خشکی نه تنها روابط آبی گیاه را از طریق کاهش محتوای آب و آماس تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه با محدود کردن تبادلات گازی، تعرق را کاهش داده و از جذب و تثبیت کربن جلوگیری می‌کند (Lisar et al., 2012). تنش خشکی به بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش شدت تعرق، افت پتانسیل آب بافت‌های گیاه، کاهش سرعت فتوسنتز و مهار

رشد، سنتز پروتئین‌ها و mRNA جدید، تشکیل ترکیبات مهارکننده رادیکال‌های آزاد (مانند آسکوربات، گلوتاتیون و آلفا توکوفرول) و تجمع املاح منجر شده و بیان ژن‌های ویژه تنش را القا می‌کند. تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن و بیوستز ترکیبات مهارکننده آن‌ها، اثرات نامطلوب کم‌آبی را تشدید می‌کند (Lisar et al., 2012). کاهش معنی‌دار صفات مختلف رشدی مانند تعداد برگ و وزن تر و خشک بوته تحت تنش کمبود آب در گیاهان دارویی گشنیز (Nourzad et al., 2014) و شوید (Setayesh-mehr et al., 2013) گزارش شده است.

افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی از روش‌های مختلف مانند به‌نژادی و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد قابل انجام است. در مقایسه با شیوه‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی مانند براسینواستروئید آسان و ارزان‌تر می‌باشد (Abbaspour & Rezaei, 2014). براسینواستروئیدها اولین بار از دانه گرده کلزا استخراج و به‌عنوان ششمین گروه از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در نظر گرفته شدند (Krishna et al., 2017). این تنظیم‌کننده‌های رشد موجب تحریک رشد و تقسیم سلولی شده و بر خصوصیات الکتریکی، نفوذپذیری غشا و پایداری و فعالیت آنزیم‌های غشا تأثیر دارند. تاکنون ۵۹ براسینواستروئید از گیاهان مختلف استخراج و ساختار و عملکرد آن‌ها شناسایی شده است (Yin et al., 2019). براسینواستروئیدها تحمل گیاهان به محدوده وسیعی از تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهند. این افزایش اغلب وابسته به تولید و رونویسی ژن‌های ضد تنش مانند پروتئین‌های شوک گرمایی به‌منظور بالابردن تحمل به تنش در گیاهان تیمار شده به‌وسیله براسینواستروئید بوده است (Ahammed et al., 2014). با وجود این‌که پژوهش‌های بسیاری در زمینه تأثیر مثبت براسینواستروئید در بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های شوری و دمای بالا انجام شده‌اند، ولی

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. مشخصات محل اجرای آزمایش مزرعه‌ای

این پژوهش در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان (ایستگاه خیرآباد) با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۶۴ متر از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی سالانه درازمدت منطقه ۳۰۷ میلی‌متر می‌باشد. منطقه اجرای طرح دارای زمستان توام با بارندگی و تابستان‌های گرم و خشک بوده و براساس تقسیم بندی آمبرژه دارای اقلیم سرد و خشک می‌باشد. در جدول (۱) داده‌های هواشناسی محل اجرای آزمایش در طی دو فصل زراعی انجام پژوهش نشان داده شده است. به منظور بررسی وضعیت خاک قطعه زمین مورد نظر در مزرعه، نمونه خاکی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول (۲) درج شده است.

### ۲.۲. عملیات مزرعه‌ای

شخم زمین محل اجرای آزمایش در پاییز سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ صورت گرفت. عملیات تکمیلی تهیه زمین (دیسک) و کرت‌بندی نیز در بهار سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. نوع آبیاری (۱- آبیاری معمولی یا شاهد، ۲- قطع آبیاری از آغاز گل‌دهی تا پایان رسیدگی، ۳- قطع آبیاری از آغاز شاخه‌دهی (ظهور ششمین جفت برگ ساقه اصلی تا رسیدگی فیزیولوژیکی) به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی با براسینواستروئید با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میکرومولار (Mohammadi *et al.*, 2018) و شاهد (محلول پاشی با آب مقطر) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند.

پژوهش‌های محدودی در زمینه اثربخشی کاربرد براسینواستروئید در کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی انجام شده است (Zafari *et al.*, 2017). بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) گیاهی علفی، سردسیری و یک‌ساله از خانواده Lamiaceae و بومی قفقاز بوده و در ترکیه، ایران، سوریه، هند، پاکستان، افغانستان و اروپا پراکنش دارد (Amanzadeh *et al.*, 2011). بذره‌های بالنگو دارای موسیلاژ است که در درمان اختلالات مختلف مانند برخی اختلالات عصبی، کبدی و بیماری‌های کلیوی به کار می‌روند و نیز به عنوان یک داروی محرک جنسی و خلط‌آور در بین داروهای محلی ایران استفاده می‌شود (Nasrollahzadeh & Aghaei, 2014). روغن این گیاه هم‌چنین در چرم‌سازی، رنگ‌سازی، روان‌کننده، به عنوان ماده جلوگیری کننده از فساد چوب، واکس مبل، جوهر چاپگر، تهیه صابون و در دباغی کاربرد دارد (Aghaei, 2015). (Gharachorlou & Nasrollahzadeh, 2015).

کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد مانند براسینواستروئید با تغییر بیان ژن و تغییر متابولیسم و بیوستز نوکلئیک‌اسیدها و پروتئین‌ها موجب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود و به عنوان یک روش برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش‌های محیطی است (Bajgaz, 2000; Ahammed *et al.*, 2014). با توجه به مشکلات کم‌آبی در کشور و کاربرد گسترده بالنگوی شهری در صنایع دارویی، آرایشی، بهداشتی و غذایی (Aghaei-Gharachorlou & Nasrollahzadeh, 2015)، این تحقیق به منظور بررسی اثرات محلول پاشی براسینواستروئید بر برخی از صفات فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل به تنش خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و نیز تولید روغن، به اجرا درآمد.

جدول ۱. داده‌های هواشناسی محل آزمایش در فصل رشد بالنگوی شهری در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

ماه	فروردین		اردیبهشت		خرداد		تیر		مرداد
سال های آزمایش	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶
بارندگی (mm)	۳۱/۵	۲۴/۶	۲۵/۷	۸۵/۸	۰	۵۷	۱/۵	۰	۰/۸
میانگین دما (°C)	۸/۳	۹/۸	۱۴/۴	۱۱/۸	۱۷/۸	۱۷/۷	۲۲/۵	۲۴	۲۳/۳
تبخیر (mm)	-	-	۱۷۸/۷	۱۳۰	۲۶۴/۹	۲۰۴/۸	۳۲۴/۸	۳۱۱/۴	۳۱۸
رطوبت نسبی (%)	۵۹	۴۹	۵۲	۶۵	۳۰	۵۵	۳۲	۳۳	۳۳

جدول ۲. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در دو سال اجرای آزمایش

سال	عمق نمونه	بافت	نیترژن کل (%)	ماده آلی (%)	فسفر قابل جذب (g/kg)	پتاسیم قابل جذب (g/kg)	هدایت الکتریکی (mmhos/cm)	اسیدیته
۱۳۹۶	۰-۳۰	لوم رسی	۰/۵۱	۰/۶۷	۱۲/۱	۴۶۳	۳/۱۳	۷/۴
۱۳۹۷	۰-۳۰	لوم رسی	۰/۴۹	۰/۶۱	۱۱/۸	۴۳۵	۳/۵۱	۷/۱

کرت معادل ۳۶ مترمربع) و آغاز گل‌دهی (۴ لیتر محلول برای هر کدام غلظت‌های تعیین شده برای نه کرت معادل ۳۶ مترمربع) به‌منظور اطمینان از اثر بخشی کامل تیمار محلول‌پاشی براسینواستروئید و هر بار عصر در زمان‌هایی که وزش باد وجود نداشت، با سم‌پاش دستی (مدل دستی- پستی (شارژی) ساخت چین FST-20DS) انجام گرفت. وجین علف‌های هرز، به‌صورت دستی و در چندین نوبت (هم‌زمان با مرحله تنک کردن بوته‌ها در مرحله ۴-۲ برگی و به‌طور مداوم بسته به غالبیت علف‌های هرز در مرحله ۸ برگی و آغاز گل‌دهی) انجام شد. در هر دو سال انجام آزمایش در اواخر تیرماه، زمانی که ۷۰ درصد کپسول‌ها کاملاً رسیده بودند (سال اول ۲۰ تیرماه و سال دوم ۲۵ تیرماه) و رنگ آن‌ها به زرد تغییر یافته بود، برداشت به‌صورت دستی انجام گرفت.

### ۲.۳. اندازه‌گیری محتوی کلروفیل‌های a، b و کل

اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌های a، b و کل با استفاده از روش Arnon (1949) انجام گرفت. بدین منظور، برگ

آبیاری هر هفت روز یک‌بار تا زمان شروع تیمارهای مربوط به نوع آبیاری، انجام شد. هر واحد آزمایشی دارای هشت ردیف کاشت دو متری بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (تراکم ۴۰ بوته در مترمربع) (Ahmadi & Omidi, 2018)، فاصله دو کرت مجاور از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر و فاصله تکرارها از یکدیگر ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت، به‌عنوان حاشیه لحاظ گردید. بذر بالنگوی شهری مورد استفاده در این پژوهش توده بومی زنجان بود. بذرها در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه پس از ضدعفونی کردن با قارچ کش کاربوکسین تیرام (با غلظت یک در هزار) با تراکم بالا در شیارهایی به عمق دو سانتی‌متر کشت و سپس در مرحله چهار تا شش برگی جهت رسیدن به تراکم مطلوب با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی خطوط کاشت تنک شدند.

محلول‌پاشی در دو نوبت، شش برگی (به میزان ۲ لیتر محلول برای هر کدام از غلظت‌های تعیین شده برای نه

عملکرد دانه، شاخص برداشت نیز محاسبه شد (Aghaei-Gharachorlou & Nasrollahzadeh, 2015).

#### ۵.۲. اندازه گیری درصد و عملکرد روغن

تعیین درصد روغن بالنگوی شهری با روش AOAC (1990)<sup>۱</sup> و با استفاده از دستگاه سوکسله (مدل SOX-406، کشور کره جنوبی) انجام شد. عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست آمد.

#### ۶.۲. تجزیه های آماری

قبل از تجزیه واریانس داده های به دست آمده، آزمون نرمال بودن و یکنواختی واریانس خطای داده ها با آزمون کولموگروف - اسمیرنوف انجام شد تا در صورت نیاز، تبدیل داده مناسب صورت گیرد. تجزیه واریانس داده ها برای هر سال به طور جداگانه انجام شد. در ادامه، آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی به دست آمده برای دو سال با استفاده از آزمون F هارتلی انجام گرفت و پس از اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی دو سال، تجزیه مرکب داده ها برای دو سال انجام شد. برای تجزیه آماری و مقایسات میانگین از نرم افزار آماری SAS (9.1) استفاده شد. میانگین داده ها نیز براساس آزمون چند دامنه ای دانکن مقایسه گردید. برای رسم نمودارها از نرم افزار 2010 Excel استفاده شد.

#### ۳. نتایج و بحث

##### ۳.۱. محتوای کلروفیل های a، b و کل

اثر کم آبیاری بر محتوای کلروفیل های a، b و کل معنی دار شد. اثر محلول پاشی با براسینواستروئید فقط بر غلظت کلروفیل کل برگ و اثر سال تنها برای غلظت کلروفیل b و اثر متقابل سال در کم آبیاری بر غلظت کلروفیل a معنی دار

تر گیاه در هاون چینی با استون به صورت تدریجی ساییده شده و در هر مرحله محلول شفاف روئی به بالن ژوژه منتقل شده و سپس محلول با استون به حجم رسانیده شد. محلول حاصل سانتریفیوژ و جذب نوری در طول موج های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر UV-2100 (مدل s2100 suv NEW JERSEY کشور آمریکا) اندازه گیری شد. در نهایت، غلظت کلروفیل های a، b و کل بر حسب میلی گرم در گرم بافت تر برگ از طریق فرمول های زیر محاسبه شد:

رابطه (۱) = کلروفیل a

$$\{12/7 (A_{663}) - 2/79 (A_{645})\} \times V/W \times 1000$$

رابطه (۲) = کلروفیل b

$$\{22/9 (A_{645}) - 4/78 (A_{663})\} \times V/W \times 1000$$

رابطه (۳) = کلروفیل کل

$$\{20/2 (A_{645}) - 8/02 (A_{663})\} \times V/W \times 1000$$

#### ۴.۲. اندازه گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه

در زمان رسیدگی محصول (سال اول ۱۸ تیرماه و سال دوم ۲۳ تیرماه) برای تعیین اجزای عملکرد دانه، از هر کرت ۱۰ بوته (معادل یک چهارم مترمربع) برداشت شد و تعداد چرخه گل در هر بوته، تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول ثبت گردید. سپس از هر واحد آزمایشی ۱۰ نمونه صدتایی دانه بالنگوی شهری شمارش شد و میانگین وزن آنها به عنوان وزن هزاردانه ثبت شد. هم چنین برای تعیین عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در واحد سطح، بوته های موجود در دو متر مربع از خطوط میانی هر کرت به روش دستی، کف بر و برداشت شدند. عملکرد بیولوژیکی نیز از مجموع زیست توده اندام های هوایی و عملکرد دانه محاسبه شد. درصد رطوبت دانه ها در زمان اندازه گیری در حدود ۱۴ درصد بود. پس از تعیین عملکرد بیولوژیکی و

آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه و تخریب این رنگیزه فتوستتزی شده است (Wang et al., 2016). بیشترین میانگین محتوای کلروفیل کل (۳/۷۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در نتیجه محلول پاشی با ۰/۵ میکرومولار براسینواستروئید به دست آمد که نسبت به شاهد (محلول پاشی با آب) افزایش معنی داری داشت. بین سطوح تیماری محلول پاشی با براسینواستروئید با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میکرومولار تفاوت معنی داری از نظر آماری مشاهده نشد (شکل ۱). احتمالاً براسینواستروئید به دلیل تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی (داده‌ها ارائه نشده) موجب تداوم جذب آب از خاک به ریشه و حفظ محتوای آب گیاه و در نتیجه، سنتز رنگیزه‌های فتوستتزی و جلوگیری از تخریب آن‌ها توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در اثر کمبود آب شده است. نتایج مشابهی نیز توسط Zafari et al. (2017) گزارش شده است.

بود (جدول ۳). غلظت کلروفیل‌های a، b و کل برگ بالنگو با کاهش آب قابل دسترس برای گیاه کاهش پیدا کرد (جدول ۴). در هر دو سال انجام آزمایش، قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و شاخه‌دهی به کاهش معنی دار غلظت کلروفیل a برگ در مقایسه با آبیاری کامل منجر گردید، ولی اثر قطع آبیاری در میزان کاهش محتوای کلروفیل a در سال اول نسبت به سال دوم بارزتر بود (جدول ۵). غلظت کلروفیل b برگ بالنگو در سال دوم به‌طور معنی داری بیش‌تر از سال اول بود (جدول ۴)، که دلیل آن را می‌توان به مناسب بودن شرایط رشدی بالنگوی شهری از نظر شرایط آب و هوایی در سال دوم نسبت به سال اول دانست که موجب افزایش بیوستتزی این رنگدانه فتوستتزی در برگ‌های بالنگو شد. کاهش شاخص کلروفیل برگ بالنگوی شهری تحت تنش کم‌آبی را می‌توان به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول‌های گیاه نسبت داد که این رادیکال‌های

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب مقادیر صفات کلروفیل و اجزای عملکرد دانه بالنگوی شهری تحت سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری و محلول پاشی با براسینواستروئید طی دو سال انجام آزمایش (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷)

میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	تعداد چرخه گل در بوته	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در هر چرخه
سال (Y)	۱	۰/۰۲۶ns	۰/۰۲۳۵**	۰/۱۰۳ns	۱۵۲/۷**	۵۹۵۶/۸**	۰/۰۰۶ns
تکرار (سال)	۴	۰/۱۱۸	۰/۰۲۹	۰/۰۶۶	۱/۴۹	۷۱/۲	۰/۰۴۶
آبیاری (I)	۲	۱۵/۵۹*	۰/۸۳۴**	۲۳/۴**	۶۵۱۶/۶**	۳۱۳۱۰۷/۹**	۳۴/۳۳**
Y × I	۲	۰/۵۱۰*	۰/۰۱۲ns	۰/۳۷۹ns	۲/۲۵**	۷۶/۴۹ns	۰/۰۰۳۴ns
خطای کرت اصلی	۸	۰/۰۶۳	۰/۰۲۸	۰/۱۰۸	۰/۲۰۳	۲۶/۲۰	۰/۰۲۱۱
براسینواستروئید (B)	۳	۱/۵۳ns	۰/۱۰۵ns	۲/۴۴*	۰/۵۷۱ns	۱۰۴/۹ns	۰/۰۸۴ns
B × I	۶	۰/۰۳ns	۰/۰۱۶ns	۰/۰۴۱ns	۰/۵۰۶ns	۳۰/۸۵ns	۰/۰۲۹ns
B × Y	۳	۰/۲۲۲ns	۰/۰۰۸ns	۰/۱۵۶ns	۰/۷۹۸ns	۲۷/۶۴ns	۰/۰۱۷ns
B × I × Y	۶	۰/۰۴۲ns	۰/۰۳۱ns	۰/۰۷۷ns	۰/۰۹۴ns	۲۱/۷۵ns	۰/۰۲۹ns
خطای کرت فرعی	۳۶	۰/۱۷۲	۰/۰۲۳	۰/۲۲۷	۰/۹۷۹	۶۲/۷۸	۰/۰۵۲
ضریب تغییرات (%)	-	۱۵/۸۸	۱۹/۲۷	۱۳/۹۸	۲/۵۰	۳/۰۶	۱/۷۰

ns و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و روغن بالنگوی شهری تحت شرایط کم آبیاری در واکنش به محلول پاشی براسینواستروئید

جدول ۴. مقایسه میانگین مقادیر صفات کلروفیل و صفات مرتبط با عملکرد گیاه بالنگوی شهری تحت سطوح مختلف آبیاری در دو سال انجام آزمایش (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷)

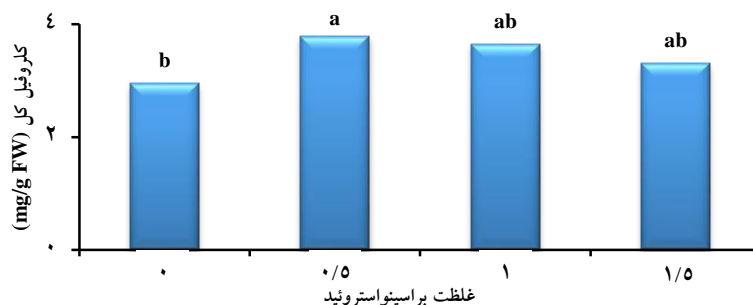
عامل آزمایش	کلروفیل b (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد روغن (kg/ha)
سال اول	۰/۷۳۵b	۳/۳۷a	۲۴۹/۵b	۱۳/۴۵a	۵۳۱/۶b	۳/۷۲a	۶۸۰/۳b	۲۱۰۵/۶b	۲۰۲/۷b
سال دوم	۰/۸۵۰a	۳/۴۵a	۲۶۷/۸a	۱۳/۴۴a	۵۶۹/۶a	۳/۷۵a	۷۳۲/۶a	۲۲۵۳/۰a	۲۲۳/۶a
آبیاری									
آبیاری کامل (شاهد)	۰/۹۸۰a	۴/۵۰a	۳۵۱/۱a	۱۴/۶۳a	۷۷۲/۵۱a	۴/۲۱a	۱۰۷۳/۳a	۳۰۰۷/۸a	۳۳۱/۱a
قطع آبیاری گل دهی	۰/۷۸۰b	۳/۱۵ab	۲۹۴/۰b	۱۳/۴۸b	۶۱۷/۳b	۳/۷۴b	۷۶۱/۹b	۲۳۸۸/۳b	۲۲۵/۷b
قطع آبیاری شاخه دهی	۰/۶۱۰c	۲/۵۷b	۱۳۱/۰c	۱۲/۲۴c	۲۶۲/۰c	۳/۲۷c	۲۸۴/۳c	۱۱۴۰/۲c	۸۲/۶۰c

حروف متفاوت در هر ستون مربوط به هر عامل، نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات کلروفیل a، تعداد چرخه گل و شاخص برداشت بالنگوی شهری تحت سطوح مختلف آبیاری در دو سال انجام آزمایش (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷)

عامل آزمایش	کلروفیل a (mg/g FW)		تعداد چرخه گل در بوته	شاخص برداشت (%)
	سال	قطع آبیاری		
آبیاری کامل	۳/۷۱	۵۱/۴۸	۳۵/۶۳	a
سال اول آبیاری تا گل دهی	۲/۲۸	۴۴/۵۶	۳۱/۵۹	b
آبیاری تا شاخه دهی	۱/۹۳	۱۹/۶۰	۲۴/۶۵	c
آبیاری کامل	۳/۳۴	۵۴/۱۳	۳۵/۷۳	d
سال دوم آبیاری تا گل دهی	۲/۴۶	۴۷/۰۳	۳۲/۲۰	e
آبیاری تا شاخه دهی	۲/۰۱	۲۳/۲۲	۲۵/۱۶	f

حروف متفاوت در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.



شکل ۱. تغییرات محتوای کلروفیل کل برگ بالنگوی شهری در واکنش به غلظت های مختلف محلول پاشی براسینواستروئید. حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

### ۲.۳. تعداد چرخه گل در بوته

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، تعداد چرخه گل در بوته به طور معنی داری تحت تأثیر سال، کم آبیاری و اثر متقابل سال  $\times$  کم آبیاری قرار گرفت. در هر دو سال آزمایش، با کاهش آب قابل دسترس برای گیاه، تعداد چرخه گل کاهش نشان داد، به طوری که بیشترین تعداد چرخه گل در بوته به تیمار آبیاری کامل در سال دوم با میانگین ۵۴/۱۳ چرخه گل در بوته مربوط بود (جدول ۵). میانگین تعداد چرخه گل در بوته در سال دوم بیش تر از سال اول بود (جدول ۵)، که این امر را می توان به شرایط جوی مناسب در سال دوم (جدول ۲) نسبت داد. یکی از دلایل کاهش تعداد چرخه گل در بوته تحت تنش کمبود آب، به طور عمده به دلیل افت فرایندهای مرتبط با رشد و در نتیجه کاهش میزان ماده خشک گیاه ناشی از این عوامل تنش زا می باشد. زیرا ماده خشک یکی از معیارهای کاربردی در تعیین واکنش گیاه به شرایط محیطی گوناگون است (Lambers et al., 2008).

### ۳.۳. تعداد کپسول در بوته

بین دو سال زراعی و سطوح آبیاری از نظر تعداد کپسول در بوته اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۳). میانگین تعداد کپسول در بوته در سال دوم (۲۶۷/۸) بیش تر از سال اول (۲۴۹/۵) بود (جدول ۴)، که دلیل آن را می توان به افزایش غلظت رنگدانه های فتوسنتزی در سال دوم در مقایسه با سال اول (جدول های ۴ و ۵) نسبت داد. در آزمایش حاضر، تشدید کم آبی به افت میانگین تعداد کپسول در بوته منجر شد. تعداد کپسول در بوته در تیمار آبیاری کامل به طور معنی داری بیش تر از سایر تیمارهای آبیاری بود (جدول ۴). تعداد کپسول در بوته از این نظر که به طور مستقیم در محصول دانه بالنگوی شهری نقش دارد، از صفات بسیار مهم به شمار

می آید. بنابراین، هر گونه تغییر در تعداد کپسول در بوته منجر به تغییر محصول دانه می شود. کاهش آب قابل دسترس خاک طی نمو زایشی به کاهش تولید گل و افزایش ریزش آن ها منجر می شود (Yeganehpoor et al., 2017). بنابراین تعداد گل کم تری به کپسول تبدیل می شوند و این باعث کاهش تعداد کپسول ها در بوته می شود (Thalooth et al., 2006).

### ۴. تعداد دانه در هر چرخه

اثر تیمار قطع آبیاری بر تعداد دانه در هر چرخه معنی دار به دست آمد (جدول ۳). در بررسی تیمارهای مختلف آبیاری، بیشترین تعداد دانه در هر چرخه به تیمار آبیاری کامل مربوط بود. قطع آبیاری گیاهان در مراحل گل دهی و شاخه دهی به کاهش ۷/۸ و ۱۶/۳ درصدی تعداد دانه در هر چرخه در مقایسه با آبیاری کامل منجر شد (جدول ۴). تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در هر چرخه شد که دلیل آن احتمالاً پژمردگی کلانه، پسابدگی دانه های گرده و عدم رشد لوله های گرده می باشد که تعداد دانه در کپسول را کاهش داده است (Wang et al., 2016). Thalooth et al. (2006) عنوان نمودند که کمبود مواد قابل انتقال در تیمار تنش خشکی در مرحله رویشی موجب سقط دانه در اندام زایشی می شود.

### ۵. تعداد دانه در بوته

تعداد دانه در بوته در دو سال زراعی از نظر آماری متفاوت بود. اثر کم آبیاری هم برای تعداد دانه در بوته معنی دار به دست آمد. اثرات اصلی محلول پاشی و اثر متقابل تیمارها برای تعداد دانه در بوته بالنگوی شهری معنی دار نشد (جدول ۶). در سال دوم آزمایش از بوته های بالنگو تعداد دانه بیش تری (۵۶۹/۶) نسبت به سال اول (۵۳۱/۶) به دست آمد (جدول ۴).



ارزیابی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و روغن بالنگوی شهری تحت شرایط کم آبیاری در واکنش به محلول پاشی پراسینواستروئید

جدول ۶. تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن دانه بالنگوی شهری تحت شرایط کم آبیاری و محلول پاشی با پراسینواستروئید طی دو سال انجام آزمایش (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷)

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد	درصد	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	وزن هزاردانه	تعداد دانه در بوته		
۷۸۴۱/۳**	۲/۵۶**	۲/۹۶**	۳۸۵۰۳۲/۳**	۴۹۱۰۴/۵**	۰/۰۲۷ns	۲۶۰۷۲/۲**	۱	سال (Y)
۱۰۰/۷۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۵۹۳/۹	۲۹۶/۹	۰/۰۱۰	۳۱۴/۲	۴	تکرار (سال)
۳۷۳۲۷۵/۱**	۱/۹۸ns	۷۱۶/۸**	۲۱۷۱۶۸۹/۲**	۳۷۹۰۵۴۳/۳**	۵/۲۸**	۱۶۴۳۶۲۶/۵**	۲	کم آبیاری (I)
۳۶۸/۱ns	۲۷/۲۶**	۰/۴۲۵**	۳۸۷۷/۵ns	۵۷/۹ns	۰/۰۰۷۰ns	۲۴۴/۷ns	۲	Y × I
۱۹۳/۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۵۲۴۵/۷	۴۳۵/۹	۰/۰۰۷۵	۱۱۸/۱۶	۸	خطای کرت اصلی
۵۸۱/۹ns	۲/۲۲ns	۰/۲۵۰ns	۲۲۱۰۷/۷ns	۳۰۵۶/۷ns	۰/۰۲۸ns	۴۶۸/۲۰ns	۳	پراسینواستروئید (B)
۸۹/۱۴ns	۰/۲۰۷ns	۰/۰۵۶۳ns	۳۰۳۱/۷ns	۴۵۱/۲ns	۰/۰۰۱ns	۱۴۵/۹۴ns	۶	B × I
۱۲۲/۷۰ns	۰/۵۸۸*	۰/۰۴۳ns	۵۸۶۶/۴ns	۶۸۳/۱ns	۰/۰۱۷ns	۱۲۵/۴۷ns	۳	B × Y
۴۲/۰۹ns	۰/۰۴۶**	۰/۰۱۳ns	۱۵۱۵/۵ns	۲۰۷/۳ns	۰/۰۰۲۵ns	۹۹/۴۵ns	۶	B × I × Y
۴۶/۷۶	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۶۱	۴۴۸۴/۱ns	۴۹۱/۸	۰/۰۰۱۱	۲۸۸/۳	۳۶	خطای کرت فرعی
۳/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۵	۳/۰۷	۳/۱۳	۰/۹۲	۳/۰۸	-	ضریب تغییرات (%)

ns و \*\*: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

گرفت. وزن هزاردانه در تیمار آبیاری کامل به طور معنی داری بیش تر از سایر تیمارهای آبیاری بود (جدول ۴). تشدید کم آبی به کاهش وزن هزاردانه بالنگوی شهری منجر شد. کاهش وزن هزاردانه در شرایط کمبود آب اغلب به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تعداد برگ، کاهش تولید مواد فتوسنتزی و مصرف ترکیبات آلی در جهت تنظیم اسمزی است. به همین دلیل، عوامل تنش‌زا مانند خشکی در طول رشد گیاه به طور معمول تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را کاهش داده و به تولید دانه کم تر و اغلب کوچک تر منجر می‌شوند (Wang et al., 2016). همچنین، انطباق دوره پر شدن دانه بالنگوی شهری با روزهای گرم اواسط تیرماه و اوایل مردادماه به تشدید اثرات خشکی و در نتیجه به کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و کاهش وزن هزاردانه در این گیاه منجر شد.

تیمار قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و نیز شاخه‌دهی منجر به افت تعداد دانه در بوته شد، ولی اثر قطع آبیاری در مرحله شاخه‌دهی بر کاهش تعداد دانه (۶۶ درصد) در بوته بسیار شدیدتر بود (جدول ۴). کاهش تعداد چرخه گل در بوته، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در هر چرخه منجر به کاهش تعداد دانه در بوته گردید (جدول‌های ۴ و ۵).

تنش خشکی از طریق کاهش محتوای نسبی آب برگ، تعداد برگ، کاهش سرعت فتوسنتز و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی، تولید دانه بارور را کاهش داده و به افت تعداد دانه در واحد سطح منجر می‌شود (Lambers et al., 2008).

### ۶.۳. وزن هزاردانه

براساس نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس (جدول ۶)، وزن هزاردانه به طور معنی داری تحت تأثیر کم آبیاری قرار

منجر به افت عملکرد بیولوژیکی به میزان ۲۰/۵ و ۶۲/۱ درصد شد، بنابراین اثر قطع آبیاری در مرحله شاخه‌دهی بر کاهش عملکرد بیولوژیکی بسیار شدیدتر بود (جدول ۴). به دلیل این‌که سنتز املاح سازگار و تجمع آن‌ها به انرژی زیادی نیاز دارد، تجمع املاح تحت تنش کم‌آبی به کاهش یا مهار رشد بخش هوایی منجر می‌شود (Lisar et al., 2012). Rontein et al. (2002) نیز اختصاص شیره پرورده به مکانیزم‌های دفاعی گیاه را از دلایل کاهش عملکرد بیولوژیکی در شرایط کمبود آب عنوان نموده‌اند. در آزمایش حاضر، کاهش آب قابل دسترس برای گیاه باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی (جدول‌های ۴ و ۵) و در نتیجه آن کاهش فتوسنتز و ماده سازی در گیاه بالنگو شد، که این مسأله در رشد گیاه و عملکرد و اجزای عملکرد دانه به‌عنوان اجزای تشکیل دهنده عملکرد بیولوژیک گیاه کاملاً محسوس بود (جدول ۴).

### ۹.۳ شاخص برداشت

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۶)، شاخص برداشت دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال، کم‌آبیاری و اثر متقابل سال در کم‌آبیاری قرار گرفت. در هر دو سال انجام آزمایش، با کاهش آب قابل دسترس برای گیاه، شاخص برداشت کاهش نشان داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص برداشت دانه به تیمار آبیاری کامل در سال دوم با میانگین ۳۵/۷۳ درصد مربوط بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل سال اول نداشت (جدول ۵). نتایج بررسی حاضر نشانگر افزایش شاخص برداشت دانه بالنگوی شهری تحت شرایط مطلوب آبیاری بود. به‌منظور افزایش شاخص برداشت بایستی روی اجزایی مانند تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه که در افزایش عملکرد دانه مؤثر هستند، بیش‌تر تأکید کرده و آن‌ها را بیش‌تر بررسی نمود. از آنجایی که

### ۷.۳ عملکرد دانه

بین دو سال زراعی و تیمارهای آبیاری از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت، اما اثر تیمار محلول‌پاشی و اثر متقابل تیمارها بر این صفت غیرمعنی‌دار بود (جدول ۶). میانگین عملکرد دانه بالنگوی شهری در واحد سطح در سال دوم انجام آزمایش (۷۳۲/۶ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال اول (۶۸۰/۳ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). تشدید کم‌آبی به افت میانگین عملکرد دانه منجر شد. عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل ۲۹ و ۷۳/۵ درصد بیش‌تر از تیمارهای قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و شاخه‌دهی بود (جدول ۴). در شرایط کم‌آبی، روزنه‌های گیاه نیمه بسته یا بسته می‌شوند، که این امر موجب کاهش جذب CO<sub>2</sub> می‌شود. از طرفی گیاه برای جذب آب، انرژی زیادی مصرف می‌کند و تحت تنش، تعداد برگ خود را کاهش می‌دهد که این امر به کاهش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افت انتقال مواد به دانه‌ها منجر می‌شود (Belin et al., 2010) که نتیجه آن کاهش اجزای تشکیل دهنده عملکرد دانه از جمله تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه در آزمایش حاضر و در نتیجه آن‌ها کاهش عملکرد دانه (جدول ۴) بود. افت محصول دانه با کم‌آبیاری در گیاهان دارویی سیاه‌دانه (Rezapor et al., 2011) و زیره سیاه (Laribi et al., 2009) نیز گزارش شده است.

### ۸.۳ عملکرد بیولوژیک

اثرات اصلی سال و کم‌آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی گیاه بالنگو معنی‌دار شد (جدول ۶). عملکرد بیولوژیکی در سال دوم انجام آزمایش ۷ درصد بیش‌تر از سال اول بود. تیمار قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و نیز شاخه‌دهی

شرایط کمبود آب، از میزان روغن دانه کاسته می‌شود. چون در شرایط تنش، به واسطه کاهش فتوسنتز خالص و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، از وزن دانه کاسته می‌شود و نسبت پروتئین دانه به روغن افزایش می‌یابد، در نتیجه درصد روغن دانه کاهش پیدا می‌کند (Fanaei et al., 2015)، اما متفاوت بودن شرایط محیطی در دو سال زراعی به‌ویژه از نظر بارندگی و دما و نیز تغییر در پاسخ‌های فیزیولوژیکی بالنگوی شهری مانند رنگدانه‌های فتوسنتزی عامل بروز تفاوت در نحوه اثر کم آبیاری بر درصد روغن دانه در سال دوم نسبت به سال اول بوده است.

جدول ۷. میانگین درصد روغن دانه بالنگوی شهری در دو سال انجام آزمایش (۱۳۹۷-۱۳۹۶) تحت تیمارهای کم آبیاری و محلول پاشی براسینواستروئید

تیمارهای آبیاری	غلظت		روغن دانه (درصد)
	براسینواستروئید	سال اول	
آبیاری کامل	صفر میکرومولار	۲۸/۱۷ m	۳۱/۳۶ bc
	۰/۵ میکرومولار	۲۸/۹۰ i	۳۱/۴۱ b
	۱ میکرومولار	۲۹/۱۷ jk	۳۱/۴۷ b
	۱/۵ میکرومولار	۲۹/۲۲ ij	۳۱/۵۱ a
آبیاری تا گل‌دهی	صفر میکرومولار	۲۸/۸۷ i	۲۹/۴۰ h
	۰/۵ میکرومولار	۲۹/۱۸ jk	۲۹/۳۱ hi
	۱ میکرومولار	۲۹/۹۲ g	۳۰/۲۳ e
	۱/۵ میکرومولار	۳۰/۰۳ fg	۳۰/۰۲ fg
آبیاری تا شاخه‌دهی	صفر میکرومولار	۳۰/۰۵ f	۲۹/۰۸ k
	۰/۵ میکرومولار	۳۱/۱۲ d	۲۹/۲۲ ij
	۱ میکرومولار	۳۱/۲۴ cd	۲۹/۳۰ hij
	۱/۵ میکرومولار	۳۱/۲۵ c	۲۹/۳۴ hi

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Daneshmand et al. (2008) گزارش کردند که

بارندگی‌های مناسب و بیش‌تر، بهبود فتوسنتز خالص و میزان ذخیره قند بیش‌تر، افزایش طول دوره رشد و در

این صفات در گیاه بالنگوی شهری تحت شرایط تنش کم آبی کاهش یافته‌اند (جدول ۴)، عملکرد دانه (جدول ۵) و به‌دنبال آن، شاخص برداشت (جدول ۵) نیز در شرایط کم آبی کاهش یافت. بنابراین، معلوم می‌شود که افزایش شاخص برداشت ناشی از افزایش بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیکی می‌باشد که این امر از یک‌طرف به کاهش بیش‌تر رشد برگ‌ها و اندام‌های رویشی و از طرف دیگر به افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به دانه نسبت داده می‌شود. انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها پس از پایان گرده‌افشانی صورت می‌گیرد و آب نقش مهمی در فرایند انتقال دارد. از این‌رو، کمبود آب انتقال مواد به دانه را کاهش داده و گاه متوقف می‌کند که نتیجه آن، کاهش شاخص برداشت دانه بالنگوی شهری خواهد بود. نتایج این بررسی با یافته‌های Yeganehpoor et al. (2017) مطابقت دارد.

### ۳.۱۰. درصد روغن دانه

درصد روغن دانه بالنگوی شهری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال و نیز اثرات متقابل سال × کم آبیاری، سال × محلول پاشی براسینواستروئید و سال × کم آبیاری × محلول پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۶). در هر دو سال زراعی و تحت سطوح مختلف تیمار کم آبیاری، کاربرد براسینواستروئید موجب افزایش درصد روغن دانه بالنگوی شهری شد. قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و نیز شاخه‌دهی در سال اول منجر به افزایش درصد روغن دانه شد، ولی در سال دوم زراعی این تیمار تنش‌زا، موجب کاهش درصد روغن دانه شد (جدول ۷).

تحت تنش خشکی، دوره پرشدن دانه کاهش می‌یابد و در نتیجه از مقدار انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه کاسته می‌شود. به‌دلیل همبستگی منفی که بین درصد روغن و پروتئین دانه وجود دارد، با افزایش درصد پروتئین دانه تحت

نتیجه بیش‌ترشدن ذخیره پروتئین در سال دوم زراعی عامل بروز تفاوت معنی‌داری در درصد روغن کلزا طی دو سال زراعی بوده است. افزایش بیان ژن‌های مسئول در بیوستتر اسیدهای چرب روغن دانه از دلایل اصلی افزایش محتوای روغن دانه بر اثر کاربرد براسینواستروئید گزارش شده است (Yin et al., 2019).

### ۳.۱۱. عملکرد روغن دانه

بین دو سال زراعی و هم‌چنین بین تیمارهای آبیاری از نظر عملکرد روغن دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۶). میانگین عملکرد روغن دانه در سال دوم بیش‌تر از سال اول بود (جدول ۴). تشدید کم‌آبی به افت میانگین عملکرد روغن دانه منجر شد. به‌طوری‌که تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله شاخه‌دهی به ۸۲/۶ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۴). عملکرد روغن دانه تابعی از درصد روغن و عملکرد دانه می‌باشد. در این پژوهش، درصد روغن دانه (جدول ۷) و عملکرد دانه (جدول ۴) تحت شرایط کم‌آبیاری افت پیدا کردند و در نتیجه محصول روغن کاهش پیدا کرد. Shubhra et al. (2004) دریافتند که محصول دانه و روغن در همیشه‌بهار در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. به گزارش Rahmani et al. (2008)، تنش خشکی به‌دلیل افت میزان آب خاک و فعال‌کردن واکنش‌های مختلف در گیاه، که با مصرف انرژی همراه می‌باشد، بر صفات کیفی همیشه‌بهار اثر گذاشته و موجب کاهش عملکرد روغن این گیاه شده است. Fanaei et al. (2015) در پژوهشی روی گلرنگ دریافتند که تنش خشکی عملکرد دانه و روغن این گیاه را کاهش می‌دهد، زیرا همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این دو صفت وجود دارد.

### ۴. نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مشخص شد که

بالنگوی شهری گیاهی حساس به کم‌آبی است و قطع آبیاری، رشد، عملکرد دانه و تولید روغن این گیاه دارویی را کاهش داد. در پژوهش حاضر، محلول‌پاشی گیاه بالنگو با براسینواستروئید تأثیر قابل‌توجهی بر صفات موردبررسی به‌جز محتوای کلروفیل کل برگ و درصد روغن دانه نداشت و لذا نتوانست اثرات تنش کمبود آب بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه را جبران یا تعدیل نماید. بنابراین، تصمیم‌گیری در ارتباط با میزان تأثیر این تنظیم‌کننده رشد در بهبود واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه بالنگو به تنش‌های محیطی و نیز افزایش عملکرد و میزان روغن این گیاه به‌ویژه تحت شرایط تنش کم‌آبی نیاز به کسب اطلاعات بیش‌تر و پژوهش‌های تکمیلی دارد.

### ۵. تشکر و قدردانی

از تمامی همکارانی که در مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان و دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان ما را یاری کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

### ۷. منابع

- Abaspor, H., & Rezaei, H. (2014). Effects of salicylic acid and jasmonic acid on hill reaction and photosynthetic pigment (*Dracocephalum moldavica* L.) in different levels of drought stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2, 2850-2859.
- Aghaei-Gharachorlou, P., & Nasrollahzadeh, S. (2015). Effect of drought stress and plant density on oil percentage, oil and grain yield of dragon's head (*Lallemantia Iberica* Fish. et Mey.). *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 2(4), 654-659.
- Ahamed, G., Xia, X., Li, X., Shi, K., Yu, J., & Zhou, Y. (2014). Role of brassinosteroid in plant adaptation to abiotic stresses and its interplay with other hormones. *Current Protein & Peptide Science*, 16(5), 462-473.

- Ahmadi, K., & Omid, H. (2018). The effect of drought stress on physiological traits, peroxidase activity and grain yield of five populations of *Lallemantia royleana* Benth. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 34, 412-429. (In Persian).
- Amanzadeh, Y., Khosravi dehaghi, N., Ghorbani, A. R., Monsef-Esfahani, H. R., & Sadat-Ebrahimi, S. E. (2011). Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and Post-flowering stage. *Research Journal of Biological Sciences*, 6(3), 114-117.
- AOAC. (1990). Fatty acids in oil and fats. In K. Helrich (Ed.), *Official methods of analysis* (15th ed., pp. 963-964.). USA.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Azarakhshi, M., Farzadmehr, L., Eslah, M., & Sahabi, H. (2013). An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. *Journal of Range Water Management*, 66, 1-16. (In Persian).
- Bajgaz, A. (2000). Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of *Chorella vulgaris*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38, 209-215.
- Belin, C., Thomine, S., & Schroeder, J. I. (2010). Water balance and the regulation of stomatal movements. In A. Pareek (Ed.), *Abiotic stress adaptation in plants* (pp. 283-305). Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Daneshmand, A., Shirani Rad, A., Noor-Mohammadi, G., & Zarei, J. (2008). Study oil seed and seed protein of two rapeseed (*Brassica napus* L.) and relations of them with oil yield and protein yield. *Iranian Agricultural Science*, 5, 314-295. (In Persian)
- Fanaei, H., Keikha, H., & Piri, I. (2015). Effect of seed priming on grain and oil yield of safflower under water deficit conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 2(2), 49-59. (In Persian).
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105.
- Krishna, P., Prasad, B. D., & Rahman, T. (2017). Brassinosteroid action in plant abiotic stress tolerance. *Methods in Molecular Biology*, 1564, 193-202.
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant Physiological Ecology*. 2<sup>nd</sup> ed., Springer, New York.
- Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., & Mazrouk, B. (2009). Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Industrial Crops and Products*, 30, 372-379.
- Lisar, S. Y. S., Motafakkerzad, R., Hossain, M. M., & Rahman, I. M. M. (2012). Water stress in plants: causes, effects and responses. In I. M. M. Rahman (Ed.), *Water Stress* (pp. 1-14). In Tech Publications.
- Mohammadi, M., Tavakoli, A., Pouryousef, M., & Mohsenifard, E. (2018). Improvement of photosynthesis, gas exchange and chlorophyll content of bean by application of Epibrassinolide under drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50, 71-83. (In Persian).
- Nasrollahzadeh, S., & Aghaei-Gharachorlou, P. (2014). Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass, essential oil production and mucilage yield of dragon's head (*Lallemantia iberica* fish. Et mey.). *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 3(2), 89-94.
- Nourzad, S., Ahmadian, A., Moghaddam, M., & Daneshfar, E. (2014). Effect of drought stress on yield, yield components and essential oil in coriander (*Coriandrum sativum* L.) treated with organic and inorganic fertilizers. *Journal of Crop Improvement*, 2, 289-302. (In Persian)
- Rahmani, N., Valadabadi, S. A., Daneshian, J., & Bigdeli, M. (2008). The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24, 101-108. (In Persian)
- Rezapor, A. R., Heidari, M. R., Galavi, M., & Ramrod, M. (2011). Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa*. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*, 3(53), 384-396. (In Persian)
- Rontein, D., Basset, G., & Hanson, A. D. (2002). Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic Engineering*, 4, 49-56.
- Setayesh-mehr, Z., & Ganjali, A. (2013). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of *Anethum graveolens* L. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 27, 27-35.

- Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C. L., & Munjal, R. (2004). Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. *Biologia Plantarum*, 48(3), 445-448.
- Thalooth, A. T., Tawfik, M. M., & Mohamed, H. M. (2006). A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2, 37-46.
- Wang, X., Cai, X., Xu, C., Wang, Q., & Dai, S. (2016). Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 1-30.
- Yeganehpoor, F., Zehtab-Salmasi, S., Shafagh-Kolvanagh, J., Ghassemi-Golezani, K., & Dastborhan, S. (2017). Effect of some morphological traits and oil content of coriander seeds in response to bio-fertilizer and salicylic acid under water stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 10(1), 140-149.
- Yin, W., Dongm N., Niu, M., Zhang, X., Li, L., Liu, J., Liu, B., & Tong, H. (2019). Brassinosteroid-regulated plant growth and development and gene expression in soybean. *Crop Journal*, 7(3), 411-418.
- Zafari, M., Ebadi, A., & Jahanbakhsh, S. (2017). Effect brassinosteroid application on safflower cultivars tolerance to water stress in Ardabil. *Journal of Crop Production*, 10, 31-17. (In Persian)