

بازتاب کرچک (*Ricinus communis* L.) به محلول‌پاشی نانو کلات روی و اسید هیومیک در شرایط محدودیت آبیاری

علی رهبری^۱، جعفر مسعود سینکی^{۲*}، علی دماوندی^۲، شهرام رضوان^۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۶

۱- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران

۲- گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران

*مسئول مکاتبه: E-mail: jmsinaki2020@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی کرچک به محلول‌پاشی با نانو کلات روی و اسید هیومیک تحت شرایط محدودیت آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت-فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در منطقه دامغان در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح شامل آبیاری نرمال (شاهد)، آبیاری تا مرحله ۷۵BBCH (تنش ملایم) و آبیاری تا مرحله ۶۵BBCH (تنش شدید) و ترکیب محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسید هیومیک (عدم مصرف، مقدار توصیه شده و دو برابر مقدار توصیه شده) و نانو کلات روی (کاربرد و عدم کاربرد) به عنوان فاکتور فرعی این آزمایش بودند. نتایج نشان داد که اثر تیمار آبیاری، اسید هیومیک و نانو کلات روی بر تعداد کپسول، تعداد دانه، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و محتوای کلروفیل معنی‌دار بودند. آبیاری تا ۶۵BBCH منجر به کاهش ۱۱/۹، ۳۴/۹، ۲۴/۲، ۲۴/۹ و ۵۱/۷ درصدی وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، درصد و عملکرد روغن در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال شد. با کاربرد اسید هیومیک به مقدار توصیه شده، بیشترین عملکرد دانه (۲۰۹۸/۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. محلول‌پاشی نانو کلات روی نیز به افزایش ۱۴/۳، ۸/۴ و ۱۸/۴ درصدی تعداد دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه منجر شد. بیشترین درصد روغن (۴۵/۴ درصد) و عملکرد روغن (۹۴۳/۳ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری نرمال به دست آمد. عدم کاربرد اسید هیومیک و همچنین آبیاری تا ۶۵BBCH محتوای کلروفیل برگ را کاهش داد. بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در شرایط عدم مصرف نانو کلات روی و مصرف دو برابری اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری تا ۶۵BBCH مشاهده شد. درصد روغن دانه با صفات عملکردی و میزان کلروفیل کل همبستگی مثبت و با فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. نتایج رگرسیون نشان داد که متغیرهای تعداد کپسول، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر درصد روغن دانه بوده‌اند. به طور کلی، محلول‌پاشی اسید هیومیک به مقدار توصیه شده و نانو کلات روی، صفات رشدی و فیزیولوژیکی کرچک را بهبود بخشید و تحمل گیاه به محدودیت آبیاری را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن دانه، رنگدانه‌های فتوسنتزی، مقیاس BBCH، نانو کود

Responses of Castor (*Ricinus communis* L.) to Foliar Application of Zinc Nano-Chelate and Humic Acid under Limited Irrigation

Ali Rahbari¹, Jafar Masoud Sinaki^{2*}, Ali Damavandi², Shahram Rezvan²

Received: June 23, 2018 Accepted: February 25, 2019

1- PhD Students, Dept. of Agronomy, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

2- Dept. of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

*Corresponding Author Email: jmsinaki2020@gmail.com

Abstract

In order to study the physiological responses of castor to foliar application of zinc nano-chelate and humic acid under limited irrigation, an experiment was conducted as split-factorial based on randomized complete block design with three replications in Damghan region during 2015-16 growing season. Irrigation as the main factor in three levels including normal irrigation (control), irrigation up to 75 BBCH (mild stress) and irrigation up to 65 BBCH (severe stress). Combination of spraying various concentrations of humic acid (non-application, application of recommended rate and two-fold recommended rate) and zinc nano-chelate (application and non-application) were as subplots of this experiment. The results showed that the effect of irrigation treatment, humic acid, and zinc nano-chelate were significant on the number of capsules, number of seeds, 100-seed weight, grain yield, oil percent, and chlorophyll content. Irrigation up to 65 BBCH resulted in a reduction of 11.9, 34.9, 24.2, 24.9, and 51.7 percent in 100-seed weight, grain yield, biological yield, percent and yield of oil compared to normal irrigation. With application of humic acid based on recommended amount obtained the highest grain yield (2098.8 kg.ha⁻¹). Foliar application of zinc nano-chelate resulted in 14.4, 8.4 and 18.4 percent increase in the grain number, 100-seed weight, and grain yield. The highest oil content (45.4%) and oil yield (943.3 kg.ha⁻¹) were obtained in the normal irrigation. The non-application of humic acid, as well as irrigation up to 65 BBCH, led to decrease in leaf chlorophyll content. The highest activity of superoxide dismutase enzyme was observed in non-application of zinc nano-chelate and two-fold consumption of humic acid under irrigation up to 65 BBCH conditions. The seed oil percent had a positive correlation with functional traits and total chlorophyll content and had a negative and significant correlation with antioxidant enzymes activity. Regression results showed that capsule number, 100-seed weight, grain yield, and oil yield were the main factors affecting seed oil percent. In general, the application of humic acid with recommended amounts and zinc nano-chelate led to improvement of growth and physiological traits and tolerance to limited irrigation in castor plant.

Keywords: Antioxidant Activity, BBCH Scale, Nano-Fertilizer, Photosynthetic Pigment, Seed Oil

مقدمه

افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و گلوکاتینون پراکسیداز شده است (پوراسماعیل و همکاران ۲۰۱۰). افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در شرایط تنش خشکی نشان دهنده اثر این آنزیم‌ها بر کاهش خسارات تنش اکسیداتیو و نقش مهم آن‌ها در مقابله با رادیکال‌های آزاد است (هادی و کلانتر ۲۰۱۵). تنش محیطی غیرزیستی علاوه بر کاهش محصولات کشاورزی، سبب از بین رفتن تعادل بین گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و دفاع آنتی‌اکسیدانی در بخش‌های مختلف گیاه می‌شود (طاهرخانچی و همکاران ۲۰۱۴). گونه‌های فعال اکسیژن به‌طور بالقوه دارای پتانسیلی است که با بسیاری از ترکیبات سلولی واکنش می‌دهد و سبب خسارت به غشا و سایر ماکرومولکول‌های ضروری از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود (بای و سوی ۲۰۰۶). گزارش شده است که کمبود آب سبب کاهش محتوای فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی به‌ویژه آنزیم روبیسکو می‌شود (سنجری میجانی و همکاران ۲۰۱۵).

سازگاری و تحمل تنش خشکی در گیاهان به‌وسیله سازوکارهای مختلفی از جمله تغییر در مورفولوژی و الگوی نمو و واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن‌ها انجام می‌شود (کلانتر احمدی و همکاران ۲۰۱۷). القای تحمل خشکی در گیاهان از طریق مصرف کودهای آلی و نانو کودها می‌تواند به دلیل مختل شدن توازن جذب عناصر غذایی تحت تنش اسمزی، کاربرد زیادی در کشاورزی داشته باشد (باکری و همکاران ۲۰۱۳). کودهای آلی به‌عنوان فرآورده‌های بدون خطر می‌توانند برای پایداری تولیدات کشاورزی مناسب باشند. در حال حاضر رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و

کرچک با نام علمی *Ricinus communis* L.

گیاهی از خانواده فرفیون (*Euphorbiaceae*) است که در اکثر مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان یافت می‌شود (اقبال و همکاران ۲۰۱۲). این گیاه یکی از دانه‌های روغنی است که میزان روغن دانه در ارقام مختلف متغیر و بین ۳۵ تا ۵۵ درصد گزارش شده است. این روغن غیرخوراکی بوده ولی کاربردهای صنعتی و دارویی دارد (لایو و همکاران ۲۰۱۲). کنجاله این گیاه نیز در تولید کودهای آلی استفاده می‌شود (اقبال و همکاران ۲۰۱۲).

مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد و نمو گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، از اهمیت بسزایی برخوردار است (بیات و همکاران ۲۰۰۹). مدیریت مصرف آب در مزرعه علاوه بر صرفه‌جویی و حفاظت از منابع محدود آب و خاک، موجب افزایش محصول نیز می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۰۵). یکی از راهکارهای موجود، آبیاری براساس مراحل رشدی گیاه با استفاده از مقیاس BBCH^۱ است. این مقیاس برای شناسایی مراحل رشد فنولوژیکی، از زمان رشد و جوانه‌زنی تا زمان برداشت یک گیاه براساس کدهای ارائه شده می‌باشد (باقری و همکاران ۲۰۱۳). در مورد اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه در کرچک گزارش‌های متناقضی وجود دارد، برخی گزارش کردند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه ندارد (لورتی و همکاران ۱۹۹۸) در حالی که پژوهشگران دیگری گزارش کرده‌اند که با افزایش آبیاری، عملکرد دانه و تجمع ماده خشک در کرچک افزایش می‌یابد (کوتراباس و همکاران ۲۰۰۰). در گیاه لوبیا قرمز، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و وزن صد دانه و

¹ BBCH-Scale: Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie

۲۰۱۵) و با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد (دلفین و همکاران ۲۰۰۵). محلول‌پاشی اسید هیومیک در گیاه رز سبب بهبود تحرک و کارایی عناصر غذایی و افزایش مقدار روی و آهن و در نتیجه افزایش فتوسنتز و افزایش تولید کربوهیدرات و پروتئین شده است (سنجری میجانی و همکاران ۲۰۱۵).

در کشاورزی متمرکز کمبود روی رایج و گسترده است. این پدیده به علت برداشت شدید روی قابل استفاده از منطقه رشد ریشه در خاک به وجود می‌آید، از طرفی در خاک‌های آهکی و قلیایی، کمبود روی به علت pH بالای خاک است (وزیری کته‌شوری و همکاران ۲۰۱۴). به علت جذب کند روی و سایر عناصر مشابه توسط ریشه، بهتر است این عناصر از طریق اندام هوایی در اختیار گیاه قرار داده شوند. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از جمله روی با افزایش مقدار کربوهیدرات، باعث بالا رفتن میزان وزن هزار دانه و تعداد دانه در نخود زراعی شده است (وزیری کته‌شوری و همکاران ۲۰۱۴). با توجه به اثرات زیست‌محیطی کاربرد زیاد کودهای شیمیایی متداول (به‌خصوص نیتروژنه)، کاربرد کودهایی که از طریق برگ جذب می‌گردند، می‌تواند از افزایش مصرف کودهای شیمیایی، کاهش کیفیت ریشه و کاهش آلودگی‌های آب‌های سطحی و زیر سطحی جلوگیری کند. استفاده از انواع کودهای جدید از جمله نانو کود می‌تواند ضمن کاهش میزان مصرف کود به دلیل جذب بالاتر آن به علت سطح ویژه زیاد، در جهت حصول عملکرد بالا مفید واقع شود (جهان و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به اهمیت بررسی اثر کنترلی محلول‌پاشی ترکیبات نانو کلات روی و اسید هیومیک تحت تنش محدودیت آبیاری، هدف از پژوهش حاضر مطالعه اثر محلول‌پاشی نانو کلات روی و اسید هیومیک بر برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکردی و کیفی دانه کرچک تحت تنش محدودیت آبیاری می‌باشد.

به‌کارگیری روش‌های مدیریتی آن‌ها نظیر کاربرد کودهای آلی مانند اسید هیومیک و همچنین نانوکودها به‌منظور افزایش سطح عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد (گوهری و همکاران ۲۰۱۷). مواد آلی دارای دو نوع اسید آلی به نام‌های اسید هیومیک و اسید فولویک و جزء هیومین هستند که از منابع مختلف خاک، پیت، زغال‌سنگ، هوموس و غیره استخراج می‌شوند. مقادیر بسیار کم اسیدهای آلی به دلیل وجود ترکیبات هورمونی اثراتی مفید و چشمگیری در افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی به‌خصوص در شرایط متغییر محیطی دارند (تیلانس و ماسلاریس ۲۰۰۸؛ گارسیا و همکاران ۲۰۱۲). اسید هیومیک با وزن مولکولی ۳۰ تا ۳۰۰ کیلودالتون، دارای درصد کربن بیشتری نسبت به اسیدهای فولویک بوده و با عناصر میکرو ترکیبات پایدار تشکیل می‌دهد (جهان و همکاران ۲۰۱۵).

کرچک گونه‌ای پرمصرف از نظر عناصر غذایی است که برای دستیابی به عملکرد مطلوب، وجود عناصر غذایی در خاک بسیاری ضروری است (چاپارادیا و همکاران ۲۰۰۹). اسید هیومیک به‌طور تجاری حاوی ۵۱ درصد کربن، ۱/۲ درصد نیتروژن، ۲/۶ درصد هیدروژن و ۴۵/۲ درصد اکسیژن است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه اثر دارد (مورا و همکاران ۲۰۱۲). در همین راستا پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد مواد هیومیکی حاصل از فاضلاب، با تأمین عناصر معدنی مورد نیاز، باعث افزایش رشد و تولید عملکرد دانه مطلوب گردید (ناکیمنتو و همکاران ۲۰۱۱). مصرف اسید هیومیک، علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی و اثرات مستقیم بر رشد گیاه، با کاهش pH خاک در ریزوسفر، بهبود رشد ریشه، افزایش ماده آلی خاک و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، به‌طور غیرمستقیم نیز رشد و عملکرد بیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (وانیتا و مهنداس ۲۰۱۴). اسید هیومیک با اصلاح فیزیکی و بهبود دانه‌بندی خاک فضای بیشتری برای نفوذ آب ایجاد کرده (سنجری میجانی و همکاران

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در منطقه دامغان استان سمنان (طول جغرافیایی: $53^{\circ} - 55^{\circ}$ و عرض جغرافیایی $45^{\circ} - 34^{\circ}$) با میانگین بارندگی 140 میلی‌متر و با ارتفاع 117 متر از سطح دریا در سال زراعی $95-1394$ انجام شد. آبیاری در سه سطح شامل آبیاری نرمال (به‌عنوان شاهد)، قطع آبیاری در مرحله 75BBCH (به‌عنوان تنش ملایم) و قطع آبیاری در مرحله 65BBCH (به‌عنوان تنش شدید) بود که در پلات اصلی قرار گرفتند. محلول پاشی ترکیبات اسید هیومیک (عدم مصرف (شاهد)، مصرف به مقدار توصیه شده و مصرف به میزان دو برابر مقدار توصیه شده) و کود نانو کلات روی (کاربرد و عدم کاربرد) نیز در پلات‌های فرعی قرار داشتند.

قبل از اجرای آزمایش و به منظور تأمین عناصر مورد نیاز خاک، اقدام به نمونه‌گیری از نقاط مختلف خاک مزرعه گردید که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ ارائه شده است. براساس همین اطلاعات، بافت خاک مزرعه، لوم رسی (29% درصد شن، 42% درصد سیلت و 29% درصد رس) بود. پس از نمونه‌برداری از خاک مزرعه، زمین مورد نظر را شخم زده و بعد از آن دو دیسک عمود برهم زده شد و به‌منظور تسطیح خاک از لولر استفاده شد. هر پلات با ابعاد 5×3 متر شامل ۴ ردیف کاشت به فاصله‌ی ردیف 70 سانتی‌متر و فاصله‌ی هر بوته روی ردیف 30 سانتی‌متر بود. فاصله‌ی پلات‌های آزمایشی از یکدیگر $1/5$ متر و فاصله‌ی بلوک‌ها نسبت به هم $2/5$ متر انتخاب شد. قبل از کاشت (براساس آزمایش خاک و بررسی منابع)، 100 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و اوره، 50 کیلوگرم گوگرد گرانوله (جهت افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف و پرمصرف) و 50 کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت (ولدآبادی و همکاران 2009). کشت ژنوتیپ محلی دامغان در اواخر خرداد ماه به‌صورت جوی و پشته انجام شد. وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم برای عمق

توسعه ریشه به ترتیب $1/81$ ، $29/54$ و $12/6$ محاسبه شد (پانسو و گاسرو 2007). با آبیاری منظم به‌صورت جوی و پشته‌ای، رطوبت تمام کرت‌های مورد آزمایش تا قبل از گلدهی در سطح ظرفیت زراعی نگه داشته شدند. قطع آبیاری برای تیمار 65BBCH (معادل تنش شدید) در 50% درصد گلدهی کرت‌های مورد نظر و برای تیمار 75BBCH (معادل تنش متوسط) در 50% درصد تشکیل دانه صورت گرفت. محلول پاشی اسید هیومیک در دو مرحله (آغاز گلدهی و دو هفته بعد از آن) از منبع Humabon که دارای 72% درصد اسید هیومیک، $15/5\%$ درصد اسید فولویک و 12% درصد دی‌اکسید پتاسیم بود، انجام شد که مقدار توصیه شده شرکت برای کاربرد آن 250 گرم در 1000 لیتر آب بود. محلول پاشی نانو کود روی نیز در دو مرحله (همانند اسید هیومیک) از منبع نانو کود کلات روی 12% درصد (تولید شرکت خضراء با نسبت $1/5$ در هزار) انجام شد. به دلیل دمای پایین‌تر و رطوبت بالا در ساعات عصر و کاهش تبخیر و سطح تماس حداکثری برگ و نفوذ بهتر محلول به سلول‌های اپیدرمی، محلول پاشی در هنگام عصر انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری برخی صفات فیزیولوژیکی از جمله میزان رنگیزه‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برگ‌ها، نمونه‌گیری دو هفته بعد از قطع آخرین آبیاری و به‌صورت همزمان از تمامی کرت‌ها انجام شد. بدین صورت که برگ‌های جوان و انتهایی از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب شد و در داخل فویل آلومینیومی و سپس در داخل ازلت مایع قرار گرفت و به آزمایشگاه و فریز -80 سانتی‌گراد انتقال داده شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل کل از روش اشرف و همکاران (1994)، اندازه‌گیری میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) از روش پریبرا و همکاران (2002) و برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز از روش چنس و ماهلی (1995) استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر خاک

بافت خاک	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (mg.kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	pH	مواد خنثی شونده (%)	درصد اشباع
لوم رسی	۰/۲۹	۱/۰۲	۸/۶۰	۱۶۰	۴/۵۶	۷/۹	۲۰/۷۰	۴۷/۶۰

با تیمار آبیاری تا BBCH ۶۵ افزایش ۳۶/۲۶ درصدی را نشان داد (جدول ۵). با کاربرد اسید هیومیک به میزان توصیه شده، بیشترین تعداد کپسول (۳۱۳/۵ عدد در مترمربع) به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف اسید هیومیک منجر به افزایش ۲۸/۰۱ درصدی صفت مزبور شد (جدول ۳). کاربرد نانو کلات روی نیز به افزایش ۱۴/۳۸ درصدی تعداد کپسول در بوته در مقایسه با عدم کاربرد آن منجر شد (جدول ۳). گزارش شده است که به دنبال تنش خشکی آناتومی برگ تغییر یافته و برگ‌ها کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند و میزان فتوسنتز در برگ و کل گیاه کاهش می‌یابد (کلانتر احمدی و همکاران ۲۰۱۴) که این امر به کاهش رشد گیاه و کاهش تعداد کپسول، تعداد دانه و در نهایت افت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی منجر می‌گردد. از طرف دیگر، در شرایط تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی که معادل BBCH ۶۵ می‌باشد، به دلیل کاهش رطوبت در دسترس گیاه، کپسول‌ها ریزش کرده و به این ترتیب از تعداد کپسول در واحد سطح کاسته می‌شود (هادی و کلانتر ۲۰۱۵). واکنش کرچک به تنش خشکی پیچیده‌تر است، چون گل‌آذین‌های گیاه در زمان‌های متفاوتی تولید می‌شود. هر گل‌آذین می‌تواند تعداد دانه و وزن دانه را براساس شرایط محیطی و وضعیت منبع و مخزن تنظیم کند (سورینوا و آلد ۲۰۱۳). اسید هیومیک باعث افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌شود (شبان و همکاران ۲۰۰۹). اثرات تحریک‌کنندگی مواد هیومیکی با نگهداری آهن و روی در غلظت‌های مناسب همبستگی مثبتی دارد (کلاپ و همکاران ۲۰۰۱). با توجه به نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد افزایش تعداد کپسول و یا سایر پارامترهای رشدی در گیاه کرچک با محلول‌پاشی اسید هیومیک، به دلیل بهبود جذب عناصر

برداشت محصول در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی در مهر ماه انجام شد که نشانه این مرحله، کپسول‌های زرد رنگ متمایل به قهوه‌ای بود (برای تیمار تنش شدید، این مرحله چند روز زودتر از تیمارهای بدون تنش و تنش متوسط اتفاق افتاد). به‌منظور اندازه‌گیری صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن صد دانه تعداد پنج بوته از هر کرت به تصادف انتخاب شد و بعد از حذف یک ردیف از ابتدا و انتها و طرفین کرت‌ها به‌عنوان حاشیه، سطح باقیمانده جهت اندازه‌گیری عملکرد برداشت شد و پس از خشکاندن در هوای آزاد، دانه‌ها از کاه و کلش جدا شده و وزن دانه‌ها و کاه و کلش با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد روغن دانه از دستگاه سوکسله و حلال اتر استفاده شد (کریمی کاخکی و همکاران ۲۰۱۱). در نهایت به‌منظور محاسبه عملکرد روغن، درصد روغن در عملکرد دانه ضرب شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت. تعیین همبستگی بین صفات مورد مطالعه و رگرسیون گام به گام، با استفاده از نرم‌افزار Minitab ver, 16.1 انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد کپسول

نتایج به دست آمده نشان داد که اثر آبیاری، اسید هیومیک و نانو کلات روی بر تعداد کپسول معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد کپسول در واحد سطح با افزایش سطوح تنش آبیاری کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری که بوته‌ها در تیمار آبیاری نرمال (شاهد) بیشترین تعداد کپسول (۳۰۹/۶ عدد در مترمربع) را داشتند و در مقایسه

بیش از حد جذب عناصر شده و حالت سمیت در گیاه ایجاد می‌کند و به این دلیل، صفات رشدی و عملکردی گیاه را کاهش می‌دهد (تن ۲۰۰۳).

غذایی و همچنین اثرات مثبت بر فتوسنتز برگ، رخ داده است (کریمی و همکاران ۲۰۱۶). با این حال گزارش شده است که کاربرد دو برابر مقدار توصیه شده اسید هیومیک، با کلات کردن عناصر ضروری سبب افزایش

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر محلول پاشی نانو کلات روی و اسید هیومیک بر برخی صفات عملکردی و فیزیولوژیکی کرچک تحت تنش محدودیت آبیاری

میانگین مربعات (MS)											
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد کپسول	تعداد دانه	وزن صد دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	درصد روغن	عملکرد روغن	کلروفیل کل	فعالیت کاتالاز	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز
بلوک	۲	۳۵۶۱/۵ ^{ns}	۳۲۰۵۳/۶ ^{ns}	۱۱/۱۷*	۵۵/۴۸ ^{ns}	۳۹۸۴۱۵۴۳/۳*	۱۲/۵۵ ^{ns}	۲۸/۶۲ ^{ns}	۱۷/۴*	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}
آبیاری (I)	۲	۳۸۰۰۴/۰*	۳۴۲۰۴۲/۸*	۲۹/۰۲*	۴۴۴/۸*	۸۸۲۲۷۵۹/۶*	۶۵۸/۸*	۴۲۶/۷*	۲۵۶/۹*	۴۰/۱*	۲/۹*
خطای اصلی	۴	۷۱۶۶/۷	۶۴۵۰۰/۷	۷/۲۷	۴۹/۲۵	۴۶۴۵۵۸۴/۵	۱۰/۳۴	۲۶/۹۹	۶/۸	۰/۱۹	۰/۰۳
هیومیک (H)	۲	۲۱۳۲۹/۴*	۱۹۱۱۵۵/۲*	۱۸/۱۸*	۳۶۵/۱*	۴۴۲۲۴۸۸۶/۱*	۱۶۵/۱۰*	۲۰۳/۲*	۴۲/۴*	۲/۷۹*	۰/۰۱ ^{ns}
روی (Z)	۱	۱۹۱۰۸/۰*	۱۷۱۹۷۲/۲*	۳۶/۶۷*	۲۹۶/۷*	۱۹۵۶۷۳۰۲/۱ ^{ns}	۱۰۴/۰۵*	۴۸/۷۸ ^{ns}	۷/۵ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۳۲*
I × H	۴	۳۹۷/۴ ^{ns}	۳۵۷۶/۷ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}	۶/۷۷ ^{ns}	۹۵۳۸۹۳۷/۰ ^{ns}	۲/۱۷ ^{ns}	۲/۵۵ ^{ns}	۱۳/۰*	۰/۵۱*	۰/۰۱ ^{ns}
I × Z	۲	۸۲/۲ ^{ns}	۷۴۰/۱ ^{ns}	۲/۵۳ ^{ns}	۱۲/۰۸ ^{ns}	۳۴۲۷۰۷۶/۰ ^{ns}	۴/۵۱ ^{ns}	۷/۱۶ ^{ns}	۹/۴ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}
H × Z	۲	۱۸۴۵/۴ ^{ns}	۱۶۶۰۸/۰ ^{ns}	۱/۳۴ ^{ns}	۱۶/۳۵ ^{ns}	۸۲۲۰۸۸/۵ ^{ns}	۱۴/۰۰ ^{ns}	۴/۳۶ ^{ns}	۱۶/۸*	۰/۳۹*	۰/۰۴ ^{ns}
I × H × N	۴	۷۲۸/۶ ^{ns}	۶۵۵۷/۸ ^{ns}	۰/۶۱ ^{ns}	۵/۹۰ ^{ns}	۱۲۸۵۵۷۹/۵ ^{ns}	۲/۶۴ ^{ns}	۲/۹۷ ^{ns}	۵/۹ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۱/۱۴*
خطا	۳۰	۴۰۴۵/۴	۳۶۴۰۸/۸	۳/۰۷	۳۱/۹۷	۵۷۴۸۳۷۹/۶	۹/۴۲	۱۳/۷۴	۳/۹	۰/۱۱	۰/۰۸
ضریب تغییرات (%)	-	۲۲/۶۹	۲۲/۶۹	۸/۳۵	۱۳/۵۸	۱۸/۱۵	۷/۸۵	۱۴/۱۸	۶/۳۸	۹/۵۵	۱۳/۸۳

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر محدودیت آبیاری، اسید هیومیک و نانو کود روی بر عملکرد و اجزای عملکرد و میزان روغن دانه کرچک

فاکتورهای آزمایش	تعداد کپسول در مترمربع	تعداد دانه در مترمربع	وزن صد دانه (g)	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی (kg.ha ⁻¹)	درصد روغن	عملکرد روغن (kg.ha ⁻¹)
تیمار تنش							
آبیاری نرمال (شاهد)	۳۰۹/۶ a	۹۲۸/۸ a	۲۲/۰ a	۲۰۶۴/۴ a	۱۴۰۹۹/۱ a	۴۵/۴ a	۹۴۳/۳ a
آبیاری تا BBCH ۷۵	۳۰۳/۷ ab	۹۱۱/۲ ab	۲۱/۴ a	۱۹۶۳/۹ a	۱۴۸۳۹/۹ a	۳۸/۲ b	۷۵۸/۵ a
آبیاری تا BBCH ۶۵	۲۲۷/۲ b	۶۸۱/۷ b	۱۹/۵ b	۱۳۴۳/۱ b	۱۰۶۷۵/۶ b	۳۳/۴ c	۴۵۴/۸ b
غلظت‌های اسید هیومیک							
عدم کاربرد (شاهد)	۲۴۴/۹ b	۷۳۴/۶ b	۲۰/۰ b	۱۵۰۱/۸ b	۱۱۳۹۴/۹ b	۳۵/۸ c	۵۵۲/۹ c
مقدار توصیه شده	۳۱۳/۵ a	۹۴۰/۵ a	۲۲/۰ a	۲۰۹۸/۸ a	۱۴۱۰۰/۸ a	۴۱/۸ a	۸۸۸/۹ a
دو برابر مقدار توصیه شده	۲۸۲/۲ ab	۸۴۶/۶ ab	۲۰/۸ b	۱۷۷۲/۹ b	۱۴۱۱۸/۹ a	۳۹/۵ b	۷۱۴/۹ b
تیمار نانو کود روی							
عدم کاربرد (شاهد)	۲۶۱/۴ b	۷۸۴/۱ b	۲۰/۱ b	۱۶۰۸/۸ b	-	۴۰/۴ a	-
کاربرد نانو کلات روی	۲۹۹/۰ a	۸۹۷/۰ a	۲۱/۸ a	۱۹۷۲/۲ a	-	۳۷/۶ b	-

بر اساس مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) حروف غیرمشابه، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند.

تعداد دانه

اثرات تنش آبیاری (در سطح ۱ درصد)، اسید هیومیک و نانو کلات روی (در سطح ۵ درصد) بر تعداد دانه معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین و کمترین تعداد دانه به ترتیب در آبیاری نرمال و آبیاری تا BBCH ۶۵ (تنش شدید) با میانگین ۹۲۸/۸ و ۶۸۱/۷ عدد در مترمربع مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک در مقایسه با عدم کاربرد آن، با افزایش تعداد دانه در واحد سطح همراه بود به طوری که بیشترین تعداد دانه به مصرف اسید هیومیک به مقدار توصیه شده (با میانگین ۹۴۰/۵ عدد در مترمربع) مربوط بود (جدول ۳). استفاده از نانو کلات روی نیز به افزایش ۱۴/۳۹ درصدی تعداد دانه در مقایسه با عدم کاربرد آن منجر گردید (جدول ۳). سایر پژوهشگران نیز گزارش کردند که تعداد دانه در گیاه کرچک و سایر گیاهان دانه روغنی با کاهش آب آبیاری کاهش می‌یابد (نیک‌نشان و همکاران ۲۰۱۵). یکی از دلایل کاهش تعداد دانه در بوته، افزایش درصد پوکی دانه در نتیجه کامل نشدن فرآیند باروری است (نیک‌نشان و همکاران ۲۰۱۵). مکانیسمی که مواد هیومیک منجر به افزایش سنتز حامل‌های پروتئین یونی و در نتیجه افزایش جذب یون می‌شوند، در بررسی‌های مختلف مورد تأیید قرار گرفته است (خالد و فاوی ۲۰۱۱). علاوه بر این، اسید هیومیک از طریق تشکیل کمپلکس‌های پایدار با عناصر غذایی، به‌ویژه عناصر ریزمغذی مثل آهن و روی، به افزایش جذب عناصر و بهبود رشد و عملکرد گیاه منجر می‌شود (یلدیریم ۲۰۰۷). اسید هیومیک پلیمری است که می‌تواند به صورت مستقیم به عنوان یک ترکیب شبه هورمونی (اکسین و سایتوکنین) و یا به صورت غیرمستقیم از طریق افزایش جذب عناصر غذایی تأثیرگذار باشد (یلدیریم ۲۰۰۷). در پژوهشی با کاربرد کود روی، ارتفاع بوته، تعداد دانه و وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱/۸، ۱/۹ و ۲/۶ درصد افزایش یافته است (کرملاجعب و قرینه

۲۰۱۳). شیخ بگلو و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که کاربرد روی در شرایط تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه و وزن هزار دانه نسبت به شاهد می‌شود که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. به نظر می‌رسد که حضور نانو کلات روی در شرایط تنش از طریق جذب بیشتر روی و تحریک پمپ ATPase و به دنبال آن جذب بیشتر پتاسیم باعث افزایش غلظت داخل سلول می‌شود. افزایش غلظت داخل سلول، باعث تحمل شرایط تنش‌زا شده، و سبب تداوم فشار آماس و ادامه رشد گیاه و افزایش رشد می‌گردد (کرملاجعب و قرینه ۲۰۱۳).

وزن صد دانه

وزن صد دانه تحت تأثیر تنش آبیاری، اسید هیومیک و نانو کلات روی تغییر معناداری در سطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۲). تنش شدید (آبیاری تا BBCH ۶۵) منجر به کاهش ۱۱/۹ درصدی میانگین وزن صد دانه در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال شد (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک به مقدار توصیه شده و همچنین نانو کلات روی به تولید بالاترین وزن صد دانه (به ترتیب با میانگین ۲۲ و ۲۱/۸ گرم) منجر گردید. کمترین وزن صد دانه نیز به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و نانو کلات روی اختصاص داشت (جدول ۳). وزن صد دانه از صفاتی است که معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است. با این وجود، شرایط محیطی از جمله آب قابل دسترس و عناصر غذایی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند (نخزری مقدم و همکاران ۲۰۱۷). راعی و همکاران (۲۰۰۸) معتقدند که وقتی گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد (به خصوص در مرحله زایشی) برای اینکه از اثرات تنش خشکی فرار کند، اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند (این امر در رسیدگی فیزیولوژیکی تیمارهای آبیاری تا BBCH ۶۵ مشاهده شد که برداشت آن‌ها زودتر از سایر تیمارها صورت

که در مقایسه با عدم کاربرد، افزایش ۱۹/۱۸ و ۱۹/۲۹ درصدی داشتند (جدول ۳). کاربرد نانو کلات روی نیز منجر به افزایش ۱۸/۴۲ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۳). نتایج این تحقیق در مورد عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی منطبق با یافته‌های کیتوک و همکاران (۱۹۶۷) و هادی و کلانتر (۲۰۱۵) است که گزارش کردند تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و وزن هزار دانه در کرچک می‌شود. کم شدن وزن دانه تحت تنش خشکی به دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و شیره پرورده به دانه‌هاست (نیک‌نشان و همکاران ۲۰۱۴). تنش خشکی پارامترهای رشدی را کاهش داده و تولید اندام‌های زایشی و همچنین پر شدن دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا با افزایش رطوبت، آسیمیلاسیون کربن با سهولت بیشتری امکان‌پذیر بوده و سبب بهبود رشد گیاه و پر شدن دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌گردد (کریمی و همکاران ۲۰۱۶). تأمین نیاز گیاه از نظر مواد غذایی و فراهمی بهتر آب که منجر به افزایش تعداد دانه و تعداد کپسول در بوته شد (جدول ۳)، عامل اصلی افزایش عملکرد دانه بود. مقادیر بسیار کم اسیدهای آلی به دلیل وجود ترکیبات هورمونی، اثرات مفیدی در افزایش تولید و کیفیت محصولات کشاورزی دارند، همچنین اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌گردد. در گیاه گلرنگ نیز محلول پاشی اسید هیومیک باعث افزایش ۲۹ درصدی عملکرد شده است (کریمی و همکاران ۲۰۱۶). عناصری که در فعالیت فتوسنتزی گیاه شرکت می‌کنند، میزان تولید شیره پرورده را در گیاه بالا می‌برند و چنانچه صادرات فتوسنتزی به اندام‌های گیاهی در مرحله گلدهی به‌خوبی صورت پذیرد، باعث افزایش تعداد دانه در گیاه و در نهایت به افزایش عملکرد منجر می‌شود. افزایش عملکرد بیولوژیکی با مصرف عنصر روی علل مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به

گرفت). این مسئله باعث کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه کاهش وزن دانه می‌شود (نخزری و مقدم و همکاران ۲۰۱۷). به گزارش بایبوردی و مامدوف (۲۰۱۰) با مصرف کود روی بیشترین وزن هزار دانه در گیاه کلزا حاصل گردید که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. آن‌ها اظهار نمودند که کود روی برای بیوسنتز تنظیم کننده‌های رشد ایندول استیک اسید و کربوهیدرات‌ها که منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شوند، ضروری است. این موضوع ممکن است به دلیل اهمیت این عناصر در تجمع آسیمیلات‌ها در دانه‌ها در مراحل آخر رشد و در نتیجه تولید دانه‌های بزرگ‌تر و سنگین‌تر باشد. به‌طور کلی وجود مواد تغذیه‌ای کافی در اندام‌های گیاهی باعث پر شدن دانه و افزایش وزن آن می‌شود (ناطق و همکاران ۲۰۱۵).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی

نتایج به دست آمده نشان داد که اثر آبیاری و اسید هیومیک بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار بود. همچنین، عملکرد دانه تحت نانو کلات روی تغییر معنی‌دار داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در آبیاری نرمال و آبیاری تا ۷۵BBCH (به ترتیب با میانگین ۲۰۶۴/۴ و ۱۹۶۳/۹ کیلوگرم در هکتار و ۱۴۰۹۹/۱ و ۱۴۸۳۹/۹ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. قطع آبیاری در ۶۵BBCH به افت شدید میانگین این دو صفت منجر گردید که این کاهش در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری نرمال) به ترتیب ۳۴/۹۳ و ۲۴/۲۸ درصد بود (جدول ۳). با محلول پاشی اسید هیومیک به مقدار توصیه شده، بیشترین عملکرد دانه (۲۰۹۸/۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و دو سطح دیگر (عدم کاربرد و کاربرد به میزان دو برابر توصیه شده) کمترین میانگین این صفت را داشتند. بیشترین عملکرد بیولوژیکی به کاربرد اسید هیومیک به مقدار توصیه شده و دو برابر مقدار توصیه شده مربوط بود

روغن ($r=0.94^{**}$) نشان دهنده آن است که هر چه عملکرد دانه افزایش یابد، با توجه به درصد روغن آن، عملکرد روغن نیز به دلیل رابطه مستقیم با درصد روغن افزایش پیدا می‌کند (جدول ۴). این رابطه در پژوهش سایر محققان نیز گزارش شده است (موسوی و همکاران ۲۰۱۴).

کلروفیل کل

اثر آبیاری و اسید هیومیک در سطح ۱ درصد و اثرات متقابل این دو (آبیاری در اسید هیومیک) و همچنین اثر متقابل اسید هیومیک در نانو کلات روی در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار بودند (جدول ۲). محلول‌پاشی اسید هیومیک در تمامی سطوح آبیاری به افزایش محتوای کلروفیل کل منجر گردید که این افزایش در شرایط آبیاری نرمال بیشتر بود. عدم کاربرد اسید هیومیک و همچنین آبیاری تا BBCH ۶۵ منجر به کاهش محتوای کلروفیل برگ گردید. قطع آبیاری در BBCH ۶۵ منجر به کاهش حدوداً ۱۸ درصدی کلروفیل کل در مقایسه با دو تیمار آبیاری دیگر شد (شکل ۱). کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل ناپایداری کمپلکس‌های پروتئینی و تخریب کلروفیل به وسیله افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز باشد (کلانتر احمدی و همکاران ۲۰۱۷). یکی دیگر از دلایل کاهش کلروفیل برگ در اثر تنش خشکی، به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن می‌باشد که این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (سنجری میجانی و همکاران ۲۰۱۵). از آنجا که گیاه در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو روبرو می‌شود، در چنین شرایطی متانول به فرمالدئید اکسید می‌شود که این موضوع تا حد زیادی توسط کاتالاز انجام می‌شود. به عبارت دیگر آنزیم کاتالاز به‌طور غیرمستقیم از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند (نادعلی و همکاران ۲۰۱۱). سایر پژوهشگران نیز کاهش محتوای رنگدانه‌های

افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش فتوسنتز در نتیجه افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز در بافت‌های گیاهی و نیز افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر اشاره نمود (ناطق و همکاران ۲۰۱۵).

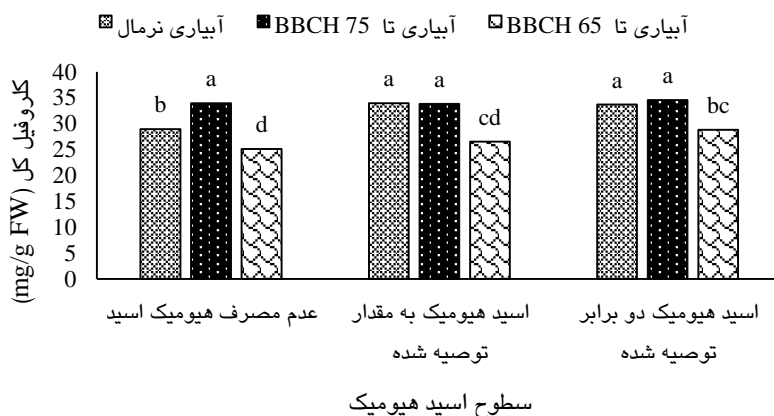
درصد و عملکرد روغن دانه

اثر آبیاری و اسید هیومیک بر درصد و عملکرد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین نانو کلات روی بر درصد روغن اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین درصد (۴۵/۴ درصد) و عملکرد روغن (۹۴۳/۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال (بدون تنش) به دست آمد. کمترین میانگین این صفات در آبیاری تا BBCH ۶۵ مشاهده شد که در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال به ترتیب کاهش ۲۴/۹۴ و ۵۱/۷ درصدی در میانگین درصد و عملکرد روغن نشان دادند (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک به میزان توصیه شده با تولید بالاترین درصد و عملکرد روغن (۴۱/۸ درصد و ۸۸۸/۹ کیلوگرم در هکتار) همراه بود (جدول ۳). کاربرد کود روی نیز درصد روغن دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). سایر پژوهشگران نیز گزارش کردند که تنش خشکی میزان روغن دانه کرچک را کاهش می‌دهد، به‌طوری که تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۵۲ درصد، بیشترین و تنش قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه با میانگین ۴۵/۹ درصد، کمترین میزان روغن دانه را به خود اختصاص دادند (هادی و کلانتر ۲۰۱۵). اثر منفی تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی بر میزان روغن دانه به علت اثر سوء بر فرآیندهای متابولیکی دانه، اختلال در انتقال مواد پرورده به دانه‌ها و احتمالاً تولید ترکیبات ثانویه نامطلوب در تولید روغن می‌باشد. عملکرد روغن تابعی از عملکرد دانه و درصد روغن است. بنابراین با افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد. در پژوهش حاضر وجود همبستگی بالا بین عملکرد دانه و عملکرد

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری، اسید هیومیک، آبیاری در اسید هیومیک و همچنین اسید هیومیک در نانو کلات روی بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود. در مورد آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز، اثر آبیاری، نانو کلات روی و اثر متقابل سه‌گانه آبیاری در اسید هیومیک در نانو کلات روی بر فعالیت این آنزیم معنی‌دار بودند (جدول ۲). در همه سطوح اسید هیومیک، کمترین و بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب در شرایط آبیاری نرمال و BBCH ۶۵ مشاهده شد. محلول پاشی اسید هیومیک به مقدار توصیه شده تحت شرایط آبیاری تا BBCH ۶۵ به کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز منجر شد. همچنین، محلول پاشی اسید هیومیک به مقدار توصیه شده تحت شرایط آبیاری نرمال کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز را داشت (شکل ۲). محلول پاشی اسید هیومیک به مقدار توصیه شده در شرایط مصرف یا عدم مصرف نانو کلات روی، به کاهش قابل توجه فعالیت آنزیم کاتالاز در مقایسه با دیگر سطوح اسید هیومیک منجر شد که این کاهش در شرایط عدم مصرف کود روی بیشتر بود (شکل ۳).

فتوسنتزی در اثر تنش کم‌آبی را در گیاهان مختلف گزارش کرده‌اند (بنیان و همکاران ۲۰۰۸؛ سنجر میجانی و همکاران ۲۰۱۵). اثرات غیرمستقیم ترکیبات هیومیکی بر رشد گیاه را می‌توان به بهبود شرایط فیزیولوژیکی گیاه نسبت داد، در حالی که اثر مستقیم آن را به افزایش محتوی کلروفیل، تسریع روند تنفس، پاسخ-های هورمونی، افزایش نفوذپذیری غشای گیاه و یا ترکیبی از این فرآیندها نسبت داده‌اند (خالد و فاوی ۲۰۱۱). در پژوهش حاضر نیز، محلول پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش میزان کلروفیل گردید (شکل ۱). اسید هیومیک از طریق افزایش محتوای نیتروژن منجر به حفظ بافت فتوسنتزی و افزایش سنتز کلروفیل در گیاه شده و با افزایش رشد سطوح فتوسنتز کننده موجب بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی خواهد شد (خطاب و همکاران ۲۰۱۲). عنصر نیتروژن علاوه بر شرکت در ساختار اسیدهای آمینه و آنزیم‌ها، یکی از عناصر اصلی تشکیل دهنده حلقه تتراپیول کلروفیل می‌باشد. افزایش این عنصر در گیاه با بهبود میزان آمونیوم و آنزیم‌های گلوتامات سنتتاز و گلوتامین سنتتاز دخیل در تولید کلروفیل، باعث افزایش میزان کلروفیل در گیاه می‌گردد (بویری ده‌شیخ و همکاران ۲۰۱۶).

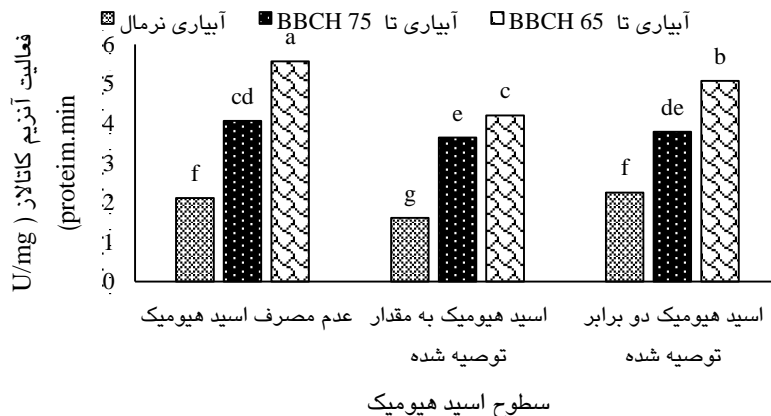


شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و اسید هیومیک برای کلروفیل کل

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

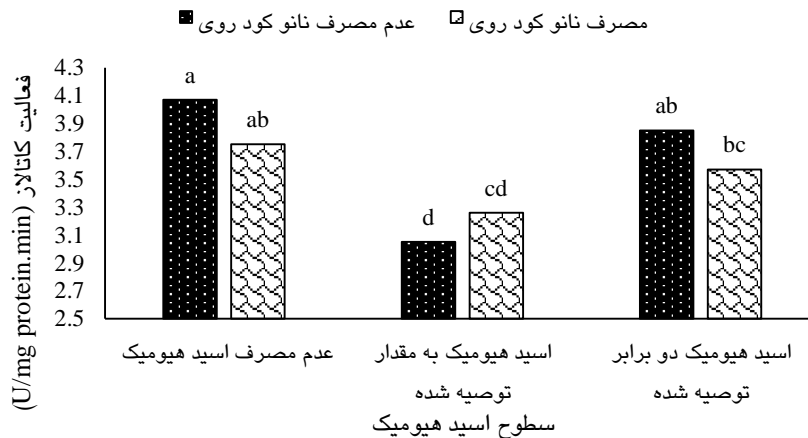
در کلروپلاست به آب تبدیل شوند. با توجه به وجود سوپراکسید دیسموتاز در اندام‌های هوایی، فرض بر این است که سوپر اکسید دیسموتاز نقش محوری در دفاع آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کند. این آنزیم گیاه را در برابر تنش خشکی محافظت می‌کند (طاهرخانچی و همکاران ۲۰۱۴). افزایش غلظت پراکسید هیدروژن طی تنش، سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز برای تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود، اما در شرایط بدون تنش به دلیل تولید نشدن بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از تولید پراکسید هیدروژن ناشی از یون سوپراکسید کاسته شده و در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش می‌یابد (کوهلر و همکاران ۲۰۰۹؛ طاهرخانچی و همکاران ۲۰۱۴). در آزمایشی روی گیاه آفتابگردان مشاهده شد که در شرایط تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ۸۹ درصد افزایش یافته است (رحیم‌زاده و همکاران ۲۰۰۷). دادنیا (۲۰۱۷) بیان داشت محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌تواند اثر کمبود آب را تا حدودی جبران کند به طوری که میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتایون پراکسیداز و کاتالاز در گیاه کرچک به ترتیب ۲۴/۶۳، ۴۱/۱۵ و ۴۳/۴ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی با اسید هیومیک افزایش داشت که همراستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر اسید هیومیک گویای این حقیقت است که اسید هیومیک در تولید سریع‌تر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز از پیش ماده خود (سوپراکسید و یک پیپتید بنام دیسموتاز و پورفیرین در مورد کاتالاز)، به‌عنوان یک عامل حفاظتی دخالت نموده و باعث کاهش اثرات کمبود آب می‌گردد (پولن و سعید ۲۰۱۲).

محلول‌پاشی اسید هیومیک به مقدار توصیه شده در شرایط کاربرد نانو کود روی و محلول‌پاشی اسید هیومیک دو برابر مقدار توصیه شده در شرایط عدم کاربرد نانو کود در تنش شدید به افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز منجر شد. عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کود روی تحت شرایط آبیاری نرمال کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را داشت (شکل ۴). در تحقیق حاضر اثر تیمار آبیاری بر آنزیم‌های مورد بررسی در مقایسه با اثرات دیگر فاکتورها برجسته‌تر بود. تحت تنش شدید، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال ۴۱/۴ درصد افزایش یافت (شکل ۴). پژوهشگران بیان داشتند که تنش خشکی شدید منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه کرچک گردید که همراستا با نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌باشد (حیبی و همکاران ۲۰۱۲؛ هادی و کلانتر ۲۰۱۵). در شرایط تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان همچون کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های وارد شده به گیاه و حفظ همئوستازی، افزایش می‌یابد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای اسید هیومیک و نانو کلات روی با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان احتمالاً از طریق تثبیت ساختار پروتئین‌های آنزیمی، سازوکار تحمل را به گیاه القاء کرده و استفاده بهینه گیاه کرچک از منابع آب و خاک و افزایش رشد را فراهم می‌آورند (نواز و اشرف ۲۰۱۰؛ هادی و کلانتر ۲۰۱۵). رادیکال‌های آزاد اکسیژن ممکن است با آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تبدیل به پراکسید هیدروژن شوند و سپس، با آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز



شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و اسید هیومیک برای فعالیت آنزیم کاتالاز

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار بین تیمارها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می باشد



شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیب تیماری اسید هیومیک و نانو کلات روی برای فعالیت آنزیم کاتالاز

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار بین تیمارها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

استحصال روغن دانه آن است. درصد روغن دانه با صفات عملکردی (همچون تعداد کپسول، تعداد دانه، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی) و میزان کلروفیل کل همبستگی مثبت و با فعالیت آنزیمهای کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز همبستگی منفی و معنی دار داشت. وجود رابطه مثبت و معنی دار بین کلروفیل کل و عملکرد دانه از یکسو و بین محتوای کلروفیل کل و درصد روغن از سوی دیگر، بیانگر این مطلب است که هر عاملی که سبب افزایش کلروفیل کل شود، تولید دانه و درصد روغن آن را افزایش خواهد داد. این اثر افزایشی

همبستگی ساده بین صفات

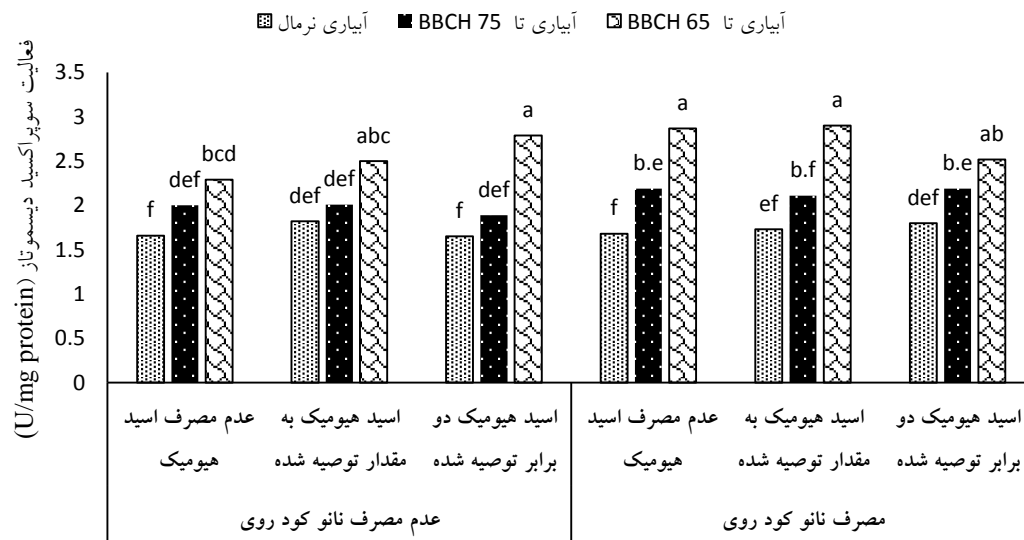
نتایج بررسی همبستگی ساده (پیرسون) بین صفات در جدول ۵ ارائه شده است. بر طبق این جدول، عملکرد دانه با صفات تعداد کپسول، تعداد دانه، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیکی، درصد و عملکرد روغن و کلروفیل کل همبستگی مثبت و معنی دار داشت که این موضوع مبین اهمیت این صفات در افزایش عملکرد دانه می باشد. همچنین این صفت با فعالیت آنزیمهای کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز همبستگی منفی و معنی دار نشان داد. یکی از اهداف اصلی کشت گیاه کرچک

$$Y = -3.81 + (0.095 \times X1) + (1.04 \times X3) + (0.035 \times X4) + (0.044 \times X6) \quad r = 0.94^{**}$$

معادله (۱)

مثبت و معنی‌دار بین صفات کلروفیل کل، میزان نیتروژن، عملکرد ماده خشک و درصد روغن توسط محققان متعدد گزارش شده است (صالحی و همکاران ۲۰۰۴؛ جهان و همکاران ۲۰۱۵).

می‌تواند حاکی از اثر مثبت کاربرد اسید هیومیک در این پژوهش باشد. اسید هیومیک به واسطه تأمین برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌تواند سبب افزایش کلروفیل کل، افزایش تعداد دانه و عملکرد دانه و دنبال آن افزایش درصد و عملکرد روغن دانه شود. وجود رابطه



شکل ۴- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری، اسید هیومیک و نانو کلات روی برای فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

کاتالاز (X8) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (X9) در مدل رگرسیونی قرار گرفت و رابطه بین درصد روغن دانه و کلیه متغیرهای تحت بررسی برآورد گردید. سپس، به منظور حذف متغیرهای دارای تأثیر جزئی بر درصد روغن دانه، از تکنیک رگرسیون گام به گام استفاده شد (جهان و همکاران ۲۰۱۵). نتایج این رگرسیون نشان داد که در این پژوهش، متغیرهای تعداد کپسول (X1)، وزن صد دانه (X3)، عملکرد دانه (X4) و عملکرد روغن (X6) اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر درصد روغن بوده‌اند (معادله ۱).

(کیلوگرم در هکتار) و $X6 =$ عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) است.

نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که درصد روغن دانه با تعدادی از متغیرهای اندازه‌گیری شده در این آزمایش همبستگی مثبت دارد. به منظور تحلیل عمیق‌تر رابطه بین درصد روغن دانه و به عنوان متغیر تابع (Y) و صفات مؤثر بر آن به عنوان متغیرهای مستقل (X) از رگرسیون چند متغیری استفاده شد. به این منظور ابتدا کلیه متغیرهای تحت بررسی شامل تعداد کپسول (X1)، تعداد دانه (X2)، وزن صد دانه (X3)، عملکرد دانه (X4)، عملکرد بیولوژیکی (X5)، عملکرد روغن (X6)، محتوی کلروفیل کل (X7)، فعالیت آنزیم

که در آن، $Y =$ درصد روغن، $X1 =$ تعداد کپسول در بوته، $X3 =$ وزن صد دانه (گرم)، $X4 =$ عملکرد دانه

آنتی اکسیدان کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز افزایش نشان داد. محلول پاشی اسید هیومیک به میزان توصیه شده و نانو کلات روی، صفات تعداد کپسول، تعداد دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش دادند. لذا، محلول پاشی اسید هیومیک به میزان توصیه شده و همچنین نانو کلات روی سبب تخفیف تأثیر کاهش میزان آب آبیاری بر عملکرد گیاه کرچک شده و اثرات مثبتی را بر عملکرد و اجزای عملکرد داشته است. رویکرد استفاده از کودهایی با منشأ آلی و طبیعی همانند اسید هیومیک و همچنین نانو کلات روی، ضمن حفظ عملکرد محصول، مانع آلودگی محیط زیست می‌گردد. نتایج همبستگی و رگرسیون داده‌ها نشان داد که صفات رشدی و عملکردی با برخی صفات فیزیولوژیکی نظیر میزان کلروفیل و میزان روغن همبستگی مثبت و با فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان همبستگی منفی داشتند. بررسی کیفیت روغن دانه تولید شده از نظر اسیدهای چرب برای پژوهش‌های بعدی قابل پیشنهاد می‌باشد.

ضرایب معادله مذکور، تأثیر نسبی تغییرات هر یک از متغیرهای موجود در مدل را بر درصد روغن نشان می‌دهد. برای مثال، طبق ضرایب این معادله، تغییر درصد روغن به ازای هر واحد تغییر عملکرد دانه، ۰/۰۳۵ واحد بوده در حالی که این تغییر به ازای هر واحد افزایش یا کاهش تعداد کپسول در بوته، ۰/۰۹۵ خواهد بود. نتایج مشابهی در مورد عملکرد کمی و کیفی چغندر قند در اثر کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است (جهان و همکاران ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، آبیاری تا BBCH ۶۵ که معادل تنش شدید است (قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی)، سبب کاهش معنی‌دار و محلول پاشی اسید هیومیک و نانو کلات روی باعث افزایش معنی‌دار صفات تعداد کپسول، تعداد دانه و عملکرد دانه گردید. ضمناً با کاهش آب در دسترس گیاه فعالیت آنزیم‌های

جدول ۴- همبستگی ساده بین صفات کمی و کیفی در گیاه کرچک، تحت تأثیر محلول پاشی نانو کلات روی و اسید هیومیک و همچنین محدودیت آبیاری

	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱										۱
۲									۱	۱/۰۰**
۳								۱	۰/۸۸**	۰/۸۸**
۴							۱	۰/۹۴**	۰/۹۸**	۰/۹۸**
۵						۱	۰/۸۳**	۰/۸۱**	۰/۸۳**	۰/۸۳**
۶					۱	۰/۵۸*	۰/۶۷**	۰/۵۹**	۰/۶۷**	۰/۶۷**
۷				۱	۰/۸۶**	۰/۷۸**	۰/۹۴**	۰/۸۷**	۰/۹۲**	۰/۹۲**
۱۰			۱	۰/۶۵**	۰/۵۷*	۰/۷۸**	۰/۶۲**	۰/۵۴*	۰/۶۴**	۰/۶۴**
۱۱		۱	۰/۴۸*	۰/۸۵**	۰/۹۰**	۰/۵۴*	۰/۷۲**	۰/۶۸**	۰/۷۱**	۰/۷۱**
۱۲	۱	۰/۸۲**	۰/۶۱**	۰/۶۷**	۰/۷۸**	۰/۴۸*	۰/۵۱*	۰/۴۴*	۰/۴۹*	۰/۴۹*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

۱- تعداد کپسول، ۲- تعداد دانه، ۳- وزن صد دانه، ۴- عملکرد دانه، ۵- عملکرد بیولوژیکی، ۶- درصد روغن، ۷- عملکرد روغن، ۸- کلروفیل کل، ۹- فعالیت کاتالاز، ۱۰- فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز،

منابع مورد استفاده

- Ashraf MY, Azmi AR, Khan AH and Ala SA, 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 16(3): 185-191.
- Bagheri E, Masood Sinaki J, Baradaran Firoozabadi M and Abedini Esfhlani M, 2013. Evaluation of salicylic acid foliar application and drought stress on the physiological traits of sesame (*Sesamum indicum*) cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(4):809-816.
- Bai L and Sui F, 2006. Effect of soil drought stress on leaf of maize. *Pedosphere*, 16: 326-332.
- Bakry BA, Elewa TA, El-Kramany MF and Wali AM, 2013. Effect of humic and ascorbic acids foliar application on yield and yield components of two wheat cultivars grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4: 1125-1133.
- Bannayan M, Nadjafi F, Azizi M, Tabrizi L and Rastgoo M, 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products*, 27: 11-16.
- Bayat M, Rostami G and Haddadian M, 2009. Large amount of water resources and water supply projects in the state. *Academic Journal of Civil Engineering*, 39: 26-37
- Boveiri Dehsheikh A, Mahmoodi Sourestani M, Zolfaghari M and Enayatizamir N, 2016. The effect of plant growth promoting rhizobacteria, chemical fertilizer and humic acid on morpho-physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* var. thyriflorum). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(4): 129-140. (In Persian).
- Bybordi A and Mamedov G, 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1): 21-30.
- Chance B and Maehly A, 1955. Assay of catalases and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2: 764-775.
- Chiaradia JJ, Chiba MK, Andrade CA, Oliveira C and Lavorenti A, 2009. Productivity and nutrition of castor bean grown in area of cane vial reform treated with sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 701-709.
- Clapp CE, Chen Y, Hayes MHB and Cheng HH, 2001. Plant growth promoting activity of humic substances. *International Humic Science Society*, 12: 243-255
- Dadnia MR. 2017. Effect of humic acid on activity of antioxidant enzymes and yield of castor bean (*Ricinus communis*) under water deficit condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(1): 85-98.
- Delfine S, Tognetti R, Desiderio E and Alvino A, 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, 25:183-191.
- Garcia AG, Santos LA, Izquierdo FG, Loss Sperandio MV, Castro RN and Berbara LL, 2012. Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. *Ecological Engineering*, 47(1): 203-208.
- Gohari G, Rasouli F and Zahedi SM, 2017. Evaluation of some growth characteristics, essential oil content, and yield of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) in salinity stress condition and humic acid application. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(2): 159-168. (In Persian).
- Habibi D, Orujnia S, Taleqani DF, Pazaki A and Davudifar M, 2012. Antioxidants and yield evaluation of sugar beet genotypes under drought stress. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(4): 63-82. (In Persian).
- Hadi H and Kalantar A, 2015. Effects of mycorrhizal symbiosis, application of super absorbant gel, glycine-betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(3): 236-250. (In Persian).
- Iqbal J, Zaib S, Farooq U, Khan A, Bibi I and Suleman S, 2012. Antioxidant, antimicrobial and free radical scavenging potential of aerial parts of *Periploca aphylla* and *Ricinus communis*. *International Scholarly Research Notices*, doi:10.5402/2012/563267

- Jahan M, Nasiri-Mahalati M, Ranjbar F, Ariyaei M and Kamayasani N, 2015. The effects of super absorbent polymer application into soil and humic acid foliar application on some agro-physiological criteria and quantitative and qualitative yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under Mashhad conditions. *Agroecology*, 6(4): 753-766. (In Persian).
- Kalantar Ahmadi SA, Ebadi A, Jahanbakhsh S, Daneshian J and Siadat SA, 2014. Effects of water stress and nitrogen on changes of some amino acids and pigments in canola. *Bulletin of Environment, Pharmacology, and Life Sciences*, 4: 114-122.
- Kalantar Ahmadi SA, Ebadi A, Daneshian J, Siadat SA and Jahanbakhsh S, 2017. Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Hyola 401). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 18(3): 196-217. (In Persian).
- Karimi E, Tadayyon A and Tadayyon MR, 2016. The effect of humic acid on some yield characteristics and leaf proline content of safflower under different irrigation regimes. *Agricultural Crop Management*, 18(3): 609-623. (In Persian).
- Karimi Kakhki M, Sepehri A and Hemati Matin HR, 2011. Investigation of oil and protein content and fatty acid composition of sunflower cultivars under different irrigation conditions. *Electric Journal of Crop Production*, 3(3): 63-80. (In Persian).
- Karmollachaap A and Gharineh MH, 2013. Effect of zinc element on growth, yield components and some physiological characteristics of maize under NaCl salinity stress. *Iranian Journal of Crop Research*, 11(3): 446-453. (In Persian).
- Khaled H and Fawy H, 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, 6(1): 21-29.
- Khattab M, Shaban A, El-Shrief HA and ElDeen Mohamed A, 2012. Effect of humic acid and amino acids on pomegranate trees under deficit irrigation. I: growth, flowering, and fruiting. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4(3): 253-259.
- Kittock D, Williams J and Hanway D, 1967. Castor bean yield and quality as influenced by irrigation schedules and fertilization rates. *Agronomy Journal*, 59: 463-467.
- Kohler J, Antonio Hernandez J, Caravaca F and Roldan A, 2009. Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 65: 245-252.
- Koutroubas SD, Papakosta DK and Doitsinis A, 2000. Water requirements for castor oil crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean climate. *Journal Agronomy Crop Science*, 184: 33-41.
- Laureti D, Fedeli AM, Scarpa GM and Marras GF, 1998. Performance of castor (*Ricinus communis* L.) cultivars in Italy. *Industrial Crops and Products*, 15: 91-93.
- Liu HP, Yu BJ and Zhang WH, 2005. Effect of osmotic stress on the activity of H⁺ ATPase and the levels of covalently and noncovalently conjugated polyamines in plasma membrane preparation from wheat seedling roots. *Plant Science*, 168: 1599-1607.
- Liv SS, Dick LA, Marco B, Magno JD, Cândido GC, William C, Tan D, Xiaohua HP, Lakshamma C, Lavanya-Olga LTM, Thomas M, Máira M, Travis DM, Stephen AM, Alejandro AN, Dartanhã JS, Valdinei S, Ming LW, Maurício DZ and Helge Z, 2012. A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*, 104(4): 853-880.
- Mora V, Baigorri R, Bacaicoa E and Zamarreno A, 2012. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. *Environmental and Experimental Botany*, 76: 24-32.

- Mosavi SY, Tajbakhsh M and Ghobadian B. 2014. Investigating the yield of Iranian Castor beans varieties by compound variance analysis method. *Journal of Plant Productions, Agronomy, Breeding Horticulture*, 36(4): 121-135.
- Nascimento AL, Sampaio RA, Brandao Junior D, Zuba June, GR and Fernandes LA, 2011. Growth and productivity of castor seed treated with sewage sludge. *Revista Caatinga*, 24: 145-151.
- Nadeali E, Paknejad F, Moradi F, Naseri M and Pazuki A, 2011. Effects of methanol application on sugar beet relative water content, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters under drought stress conditions. *Iranian Journal Filed Crop Science*, 41: 731-740. (In Persian).
- Nateghi S, Pirzad A and Darvishzadeh R, 2015. Effect of Fe and Zn micro nutrients on yield and yield components of *Pimpinella anisum* L. *Journal of Horticulture Science*, 29(1): 37-46.
- Nawaz K and Ashraf M, 2010. Exogenous application of glycinebetaine modulates activities of antioxidants in maize plants subjected to salt stress. *Journal of Agronomy Crop Science*, 196: 28-37.
- Nikneshan P, Tadyon A, Rafialhosseini M and Bahreyninezhad B, 2015. Responses of different castor bean ecotypes to limited irrigation stress in Isfahan and Shahrekord. *Agricultural Crop Management*, 17(4): 1015-1033.
- Pansu M and Gautheyrou J, 2007. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*, Springer Science & Business Media.
- Pereira GJG, Milina SMG, Lea PJ and Azevedo RA, 2002. Activity of antioxidant enzymes in response to cadmium in *Crotalaria juncea*. *Plant and Soil*, 239: 123-132.
- Pooresmaeil P, Habibi D, Tavassoli A, Zahedi H and Touhidi-Moghadam HR, 2010. The effect of water super absorbent polymer on agronomic and physiological characters of red bean varieties under drought stress in green house condition. *Plant and Ecosystem*, 5 (21): 75-91. (In Persian).
- Pullen J and Saeed K, 2012. An overview of biodiesel oxidation stability. *Renew Sustainable Energy*, 16: 5924-5950.
- Raei Y, Demaghsi N, and Seyed Sharifi R, 2008. Effect of different levels of irrigation and plant density on grain yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.) deci type cv. Kaka. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 9(4): 371-381.
- Rahimizadeh M, Habibi D, Madani H, Mohammadi G, Mehraban A and Sabet A, 2007. The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. *Helia*, 30: 167-174.
- Salehi M, Koocheki A and Nasiri Mahalati M, 2004. Nitrogen and chlorophyll content as an indicator of salt stress in wheat. *Journal of Agricultural Research*, 2(1): 25-33.
- Sanjari-Mijani M, Siroosmehr A and Fakheri B, 2015. The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of Roselle. *Journal of Agricultural Crop Management*, 17(2): 403-414. (In Persian).
- Severino LS and Auld DL, 2013. A framework for the study of the growth and development of castor plant. *Industrial Crops and Products*, 46: 25-38.
- Shabban SHA, Manal FM and Afifi MHM, 2009. Humic acid foliar application to minimize soil applied fertilization of surface irrigated wheat. *Agriculture Sciences*, 5(2): 207- 210.
- Sheykhabglo N, Zadeghorttpeh A, Baghestani MA and Behnam Z, 2010. Study the effect of zinc foliar application on the quantitative and qualitative yield of grain corn under water stress. *Electronic Journal of Crop Production*, 2(2): 59-74. (In Persian).
- Taherkhanchi A, Akbari GA, Modarres-Sanavy SAM and Ghorbani Javid M, 2014. Evaluation of effects of bio-fertilizers on some physiological and biochemical traits in soybean under water deficit condition. *Agricultural Crop Management*, 15(3): 141-153.

- Tan KH, 2003. Humic matter in soil and the environment. Marcel Dekker, New York. 408 p.1
- Tsialtas JT and Maslaris N, 2008. Sugar beet response to N fertilization as assessed by late season chlorophyll and leaf area index measurements in a semi-arid environment. *Plant Production*, 2(1): 57-66
- Valdabadi SA, Yosefi F and Shiranirad AH, 2009. Effect of water holding and different nitrogen levels on some of agronomic characteristics of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Agronomy and Plant Breeding*, 6(1): 99-110.
- Vanitha K and Mohandass S, 2014. Effect of humic acid on plant growth characters and grain yield of drip fertigated aerobic rice (*Oryza sativa* L.). *The Bioscan*, 9(1): 45-50.
- Vaziri Kateshori S, Daneshvar M, Sohrabi A and Nazarian Firoz Abadi F, 2014. Effects of foliar application of P, Zn and Fe on grain yield and yield components of chick pea. *Journal of Agricultural Crop Management*, 15(2): 17-30. (In Persian).
- Yildirim E, 2007. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil Plant Science*, 57: 182-186.