مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۳ شماره ۱ صفحه های ۱۷۹ تا ۱۹۰ (۱۴۰۱)
مقاله پژوهشی

تاثیر هیومیک اسید و نانوکلات آهن بر بهبود ویژگی‌های رویشی، عملکرد و میزان اسانس سیاهدانه در تنش خشکی[1]

Impact of Humic Acid and Nano-Fe Chelate on Improving Vegetative Traits, Yield and Essential Oil Content of Black Cumin (*Nigella sativa)* under Drought Stress

عزیز حیاتی، محمد مهدی رحیمی*، عبدالصمد کلیدی، سید ماشااله حسینی[2]

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر هیومیک اسید و نانو کلات آهن بر بهبود ویژگی‌های رویشی، عملکردی و میزان اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa*) در شرایط تنش خشکی آزمایشی دو ساله (۹۸-۹۷) به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان اقلید انجام گرفت. کرت اصلی، سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس) و فاکتورهای فرعی، هیومیک اسید (صفر، ۲۵۰ و۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانو کلات آهن (صفر، ۱ و۲ گرم در لیتر) بود. نتیجه‌ها نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش ویژگی‌های رویشی، عملکرد دانه، میزان اسانس و درصد روغن گردید. بیشترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۳۶/۷ کیلوگرم در هکتار با کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن با ۷۵ درصد آب قابل استفاده مشاهده گردید. همچنین، بیشترین درصد اسانس، درصد روغن و پروتئین برگ با کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن با ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده مشاهده گردید. به‌طور کلی نتیجه‌ها نشان داد کاربرد همزمان هیومیک اسید و نانو کلات آهن باعث بهبود ویژگی‌های رویشی، عملکردی و ترکیب‌های شیمیایی گیاه سیاهدانه در شرایط تنش خشکی گردید.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سیاهدانه، درصد روغن، هیومیک اسید.

مقدمه

امروزه مصرف گیاهان دارویی و داروهای گیاهی با توجه به اثرهای جانبی داروهای شیمیایی، در دنیا گسترش روزافزونی یافته است. به دلیل نگرانی روزافزون در مورد عوارض داروهای شیمیایی و بی اثر بودن تعدادی از آنها در مصرف طولانی مدت، استفاده از ترکیب‌های طبیعی به صورت جایگزین یا مکمل درمان بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (۷) گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) گیاهی یکساله از تیره آلاله سانان (Ranunculaceae) می‌باشد. سیاهدانه گیاهی گلدار و بومی منطقه جنوب غرب آسیا است و به دلیل داشتن ماده‌ای موسوم به تیموکینون[3]، دارای اثر ضد تشنجی است. روغن سیاهدانه در از بین بردن یاخته‌های سرطانی نقش به سزایی دارد. همچنین دارای اثرهای ضدتوموری و ضدباکتریایی می‌باشد (۴). بذر این گیاه حاوی روغن، پروتئین، آلکالوئید (نیجلیسین[4] و نیجلیدین[5])، کینون‌ها (مانند تیموکینون)، ساپونین و اسانس می‌باشد. بذرهای سیاهدانه حاوی ۴۰ درصد روغن و ۱/۴ درصد اسانس می‌باشند. دانه‌های این گیاه دارای اثرات معرق، بادشکن، صفرا بر، هضم‌کننده غذا،

۱- تار یخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۱۰

۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیاران، گروه زراعت، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج و دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (m.rahimi1351@yahoo.com).

۳- Thymoquinone ۴- Nigelisin ۵- Nigellidine

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

شیرآوری، ضد نفخ، مسهل، ضد انگل، ضد صرع، ضد باکتری، ضد تومور، ضد یبوست، تقویت‌کننده نیروی جنسی در مردان، مسکن و کاهش‌دهنده قند خون می‌باشد (۱۶).

کمبود آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک یک عامل محدودکننده مهم برای توسعه بخش کشاورزی است. در آینده نه چندان دور گرمایش جهانی و وقوع خشکسالی‌ها باعث تشدید کمبود آب در عرصه‌های طبیعی خواهد شد. سیاهدانه گیاهی دارویی می‌باشد که در مناطق خشک و کم آب کشور دارای سابقه کشت می‌باشد و بنابراین، کشت آن در زمین‌های دیم با توجه به میزان بارندگی و حاصلخیزی خاک و شیوه تغذیه گیاه می‌تواند ضمن رعایت اصول کشاورزی اکولوژیک، نقش مهمی در بهبود عملکرد کمی و کیفی این گیاه دارویی داشته باشد (۱). کمبود آب از مشکلات کاشت این گیاه در نواحی خشک و نیمه خشک می‌باشد که مطالعه پاسخ گیاهان به کم آبیاری به منظور کاهش مصرف آب در کشاورزی به ویژه در مناطقی که آب یک عامل محدودکننده در تولید می‌باشد، بسیار مهم به نظر می‌رسد (۲). یکی از مهم‌ترین تأثیرات منفی تنش خشکی، کاهش دسترسی و جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه می‌باشد. این کمبود عناصر باعث ایجاد اختلال در فعالیت‌های فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، تنفس و ساخت ترکیب‌های آلی سنگین‌تر، بی نظمی در تولید و فعالیت آنزیم‌ها شده و در نتیجه سبب تغییرهای در کمیت و کیفیت مواد مؤثره می‌گردد (۱۹).

آهن یکی از عناصر کم مصرف مهم برای گیاهان است که در واکنش‌های فیزیولوژیکی مانند ساخت تنظیم‌کننده‌های رشد، تنفس و فتوسنتز مشارکت داشته و به‌عنوان کوفاکتور حدود ۱۰۰ آنزیم و پروتئین مشارکت کننده در تقسیم یاخته‌ای، ساخت اسیدهای نوکلئیک و پروتئین نقش دارد. کمبود آهن منجر به بروز کم‌سبزینگی برگ، کاهش غلظت کلروفیل و فتوسنتز و همچنین کاهش رشد رویشی و کیفیت در گیاهان می‌شود (۱۴).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی استفاده از ترکیب‌های نانو در تغذیه گیاه است (۲۰). استفاده از ترکیب‌های نانو مزیت بهره‌وری از ویژگی‌های مطلوب مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری بالا و رهایش کنترل شده را دارند که سبب افزایش کارایی مصرف و جذب عناصر غذایی می‌شوند. استفاده از ترکیب‌های نانو منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به کمینه رسیدن اثرهای منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعه‌های کاربرد کود می‌شود (۱۷).

مصرف بی رویه از کودهای شیمیایی باعث آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد. لذا برای کاهش این مشکلات باید از منابعی استفاده کرد که به پایداری سیستم‌های کشاورزی در درازمدت کمک نماید (۲۲). هیومیک اسید به‌طور موثری حاصل‌خیزی خاک و تولید محصول را به ویژه در خاک‌های فقیر و آهکی- قلیایی بهبود می‌بخشد. ، اسید هیومیک به عنوان یک ترکیب شبه هورمونی، نقش بسزایی در افزایش جذب عناصر غذایی از طریق خاصیت کلات کنندگی و احیاء کنندگی و در نتیجه بهبود رشد گیاه دارد. (۱۲).

با توجه به اهمیت کمبود آب در کشور (به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک) و توجه جدی به بحث توسعه کشاورزی پایدار گیاهان دارویی، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد نانو کلات آهن و هیومیک اسید بر ویژگی‌های رشدی و میزان اسانس گیاه دارویی سیاهدانه در شرایط تنش خشکی در شرایط اقلیمی شهرستان اقلید انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

این آزمایش طی دو سال زراعی (۹۸-۹۷) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان اقلید انجام شد. از نظر شرایط اقلیمی این منطقه معتدل متمایل به سرد می‌باشد. این ایستگاه دارای ویژگی‌های طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه، کمینه دمای منفی ۲۱ درجه سلسیوس و بیشینه ۳۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳۱ درصد و ارتفاع از سطح دریا ۲۳۴۲ متر می‌باشد. مشخصات هواشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ بیان شده است. پیش از اجرای آزمایش از خاک مزرعه محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری صورت گرفت که نتیجه‌های آن در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

طرح آزمایشی و تیمارها

این آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. کرت اصلی شامل آبیاری در سه سطح آبیاری ۱۰۰ درصد (W_1)، آبیاری ۷۵ درصد (W_2) و آبیاری ۵۰ درصد (W_3) بود. آب قابل دسترس گیاه با دستگاه TDR مدل ۱۵۰ ساخت کمپانی آمریکا از نوع spectrum سنجیده شد. کرت فرعی شامل هیومیک اسید با (میزان ۱۵ درصد عصاره هیومیک، ۱۳ درصد هیومیک اسید و ۴۴ درصد مواد آلی ارگانیک) در سه سطح صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و کرت فرعی فرعی شامل نانو کلات آهن در سه سطح صفر، ۱ و ۲ گرم در لیتر بود. هیومیک اسید در دو نوبت ساقه‌دهی و شروع گل‌دهی به صورت محلول‌پاشی برگی و محلول نانو کلات آهن در دو مرحله ساقه‌دهی و شروع گل‌دهی استفاده گردید.

در ابتدا زمین آزمایش در زمستان‌های سال‌های ۹۷ و ۹۸ با گاوآهن شخم عمیق زده شد. در اول اسفندماه سال ۹۷-۹۸ عملیات دیسک‌زنی و کولتیواتور زنی صورت گرفت. سپس توسط لولر زمین مسطح و به‌وسیله فاروئر به صورت جوی و پشته در آمد. جهت آماده‌سازی با بندکشی به سه بلوک تقسیم شد. هر بلوک شامل ۲۷ کرت با فاصله یک متر در نظر گرفته شد و هر کرت شامل ۶ خط کشت به طول ۵ متر با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۳ متر و فاصله تکرارها از یکدیگر ۳ متر بود. پس از آماده‌سازی زمین، بذر سیاهدانه به صورت دستی در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ماه هر سال زراعی کشت گردید. تا مرحله ۶ برگی آبیاری همه کرت‌ها بدون کاربرد تیمارهای تنش انجام شد و حجم آب به کار رفته یادداشت گردید. گیاهان سبز شده در ۴ تا ۶ برگی تنک شدند. محلول‌پاشی هیومیک اسید و نانوکلات آهن طی دو مرحله رشد (مرحله ساقه‌دهی و شروع گل‌دهی) انجام شد. به دلیل دارویی بودن گیاه سیاهدانه و احتمال اثر بر ترکیب‌های سیاهدانه هیچ علف‌کشی استفاده نگردید و وجین علف‌های هرز با دست انجام شد. با فرا رسیدن مرحله رسیدگی کامل، زرد شدن بوته‌ها و خشک شدن کپسول‌ها، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و نسبت به اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر اقدام گردید. وزن بذرها با ترازویی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های اقلیمی اقلید در فصل زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶.

Table 1. Some of meteorological data of Eghlid site during crop season 2018-2019.

بارش ماهیانه Monthly rainfall (mm)	رطوبت ماهیانه Monthly humidity (%)	دمای ماهیانه Monthly temperature (°C)	Months of the year	ماه‌های سال	فصل زراعی Crop season
	میانگین رطوبت Mean of humidity	میانگین دما Mean of temperature			
11.3	37	12.4	April	فروردین	۱۳۹۷ 2018
11.2	46	13.3	May	اردیبهشت	
4.2	28	21.4	June	خرداد	
0	17	24	July	تیر	
0	18	24	August	مرداد	
0	21	21.8	September	شهریور	
242.5	42	10.7	April	فروردین	۱۳۹۸ 2019
8.9	34	14.8	May	اردیبهشت	
4.2	30	21	June	خرداد	
0	21	26.2	July	تیر	
0	22	24	August	مرداد	
0	20	22	September	شهریور	

منبع: اداره هواشناسی اقلید

Source: Eghlid Meteorological Organization.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش.

Table 2. Some of the physical and chemical characteristics of the soil used in this experiment.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

P (mg. k^{-1})	K (mg. k^{-1})	درصد نیتروژن N (%)	درصد کربن آلی Organic carbon (%)	pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m^{-1})	عمق خاک Soil depth (cm)
7	420	0.05	0.5	7.72	0.504	0-30
Mn (mg. k^{-1})	Zn (mg. k^{-1})	Fe (mg. k^{-1})	Cu (mg. k^{-1})	Clay(% (رس)	Silt(%) (سیلت)	Sand(%) (شن)
7.9	0.69	3.94	0.095	22	34	44

تا استقرار کامل گیاه در مرحله ۶ برگی آبیاری همه کرت‌ها بدون کاربرد تیمارهای تنش انجام شد. جهت اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی از روش مزرعه‌ای و صفحه‌های زیر فشار (آزمایشگاهی) استفاده گردید. لذا یک نمونه خاک مرکب جهت اندازه‌گیری رطوبت مزرعه‌ای و تعیین منحنی رطوبتی خاک به آزمایشگاه فیزیک خاک موسسه تحقیقات خاک و آب ارسال شد. با داشتن ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و کم کردن آن‌ها از یکدیگر میزان آب قابل استفاده خاک مشخص گردید و سپس از راه فرمول شماره یک میزان آب خالص محاسبه گردید.

رابطه شماره ۱

$$V= (FC-Mt) \times D\ root \times A_{EI}$$

Vحجم آب آبیاری بر حسب متر مکعب ،

(Fc) ظرفیت زراعی بر حسب درصد،

mt= درصد رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری

(Dr_z) عمق توسعه ریشه در سیاه دانه ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد.

Aسطح هر کرت

$_{EI}$راندمان مصرف آب ۹۰درصد

سپس میزان درصد رطوبت حجمی رطوبت خاک با دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد و وقتی رطوبت حجمی خاک به ترتیب در سطح ۵۰ درصد آب قابل استفاده رطوبت حجمی به عدد۶/۷۵ درصد و سطح ۷۵ درصد آب قابل دسترس رطوبت حجمی به عدد ۱۰/۱۲ درصد و در سطح ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده رطوبت حجمی به عدد ۱۳/۵ درصد رسید، اقدام به آبیاری شد. با توجه به روش آبیاری انجام شده که به صورت نواری بود راندمان آب ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. لذا با توجه به مساحت هر کرت حجم مورد نیاز برای هر تیمار در هر دور آبیاری محاسبه و با نصب کنتور حجمی میزان آب مورد نیاز هر تیمار در هر دور آبیاری بدست آمد. (۱۵).

اندازه‌گیری ویژگی‌های رویشی و عملکردی

ویژگی‌های رویشی و عملکردی شامل ارتفاع گیاه (به‌وسیله متر)، تعداد شاخه اصلی، تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول، وزن کپسول، وزن هزار دانه (به‌وسیله ترازو)، وزن تر و خشک تک بوته و میزان عملکرد دانه (به‌وسیله ترازو) اندازه‌گیری گردید.

محتوای ساکاروز

از عصاره تهیه شده یا استانداردها ۱۰۰ میکرولیتر را برداشته و به آن ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون اضافه شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت. پس از خنک شدن نمونه‌ها، جذب آن‌ها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. جهت رسم منحنی استاندارد از گلوکز خالص استفاده شد. از غلظت‌های استاندارد صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد و همانند نمونه‌های اصلی اقدامات لازم روی آن‌ها انجام گرفت (۲۴).

میزان پروتئین

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین، یک گرم از نمونه برگی خشک شده در هاون چینی له شد. سپس در لوله آزمایش ریخته و به آن ۴ گرم کاتالیزور (۱۰ گرم سولفات پتاسیم + ۱ گرم سولفات مس) و ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه گردید و در دستگاه هضم کجلدال به مدت یک ساعت در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس دو و نیم ساعت در دمای

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

۳۹۵ درجه سلسیوس قرار داده و بعد از خنک شدن لوله‌ها مقدار نیتروژن نمونه‌ها با دستگاه کجلدال خوانده شد. با اندازه‌گیری ، میزان پروتئین از حاصل ضرب درصد پروتئین در ۶/۲۵ به دست آمد (۱۱).

درصد روغن

بوته ها پس از برداشت، ابتدا خشک و پس از عمل کوبیدن دانه ها جدا شدند .بعد از بوجاری دانه ها، برای تعیین درصد روغن از هر کرت ۳۰ گرم دانه آسیاب شده برداشته شد و سپس به وسیله دستگاه سوکسله به مدت ۶ ساعت تحت تأثیر ان هگزان قرار گرفت .روش کار به این صورت بود که ۵ گرم نمونه را داخل کاغذ صافی وزن کرده و کاغذ صافی تا شده و داخل کارتوش قرار گرفت .سپس دستگاه سوکسله را بسته و جریان آب برقرار شد .در قسمت استخراج کننده دستگاه تا حدی حلال ریخته میشود تا یک بار عمل تخلیه از استخراج کننده انجام شود. سپس زیر دستگاه روشن و به مدت ۶ ساعت تحت حرارت قرار گرفت . بعد از اتمام این زمان کاغذ صافی خارج گردید و در داخل آون خشک شد .سپس با استفاده از معادله ذیل درصدروغن محاسبه شد (۲۵).

درصد روغن= ((M2-M1)/(M1))*100

درصد اسانس

استخراج اسانس با روش تقطیر و استفاده از دستگاه کلونجر انجام شد (۱۳).

اندازه گیری های آماری

واکاوی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

نتایج

ویژگی‌های رویشی

نتیجه‌های تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های رویشی در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. نتیجه‌ها نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه هیومیک اسید × نانوکلات آهن × تنش خشکی برای تمام ویژگی‌های رویشی به غیر از ارتفاع گیاه و تعداد شاخه اصلی معنی‌دار بود. بر اساس نتیجه‌های مقایسه میانگین‌ها کاربرد هیومیک اسید و نانوکلات آهن باعث افزایش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی گردید. اثر متقابل هیومیک اسید × نانوکلات آهن برای صفت ارتفاع نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع گیاه در گیاهان محلول‌پاشی شده با هیومیک اسید ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن ۲ در هزار به دست آمد که با هیومیک اسید ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن ۱ در هزار و هیومیک اسید ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن صفر در هزار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). بر اساس نتیجه‌های مقایسه میانگین‌ها کاهش آب قابل دسترس باعث کاهش معنی‌دار تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی گردید. نتیجه‌های مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × نانوکلات آهن برای تعداد شاخه اصلی نشان داد نانوکلات آهن ۱ در هزار و ۱۰۰٪ آب قابل دسترس بیشترین و نانوکلات آهن صفر در هزار و ۵۰٪ آب قابل دسترس کمترین تعداد شاخه را تولید نمود (جدول ۴). اعمال تیمار آبیاری ۵۰ درصد منجر به کاهش ۲۶ درصدی تعداد شاخه اصلی گردید. کاربرد هیومیک اسید و نانوکلات آهن باعث افزایش تعداد شاخه اصلی و فرعی گیاه سیاهدانه در شرایط تنش آبی گردید. مقایسه میانگین‌های سطوح تیمار آبیاری نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی به میزان ۶/۸ عدد در گیاهان محلول‌پاشی شده با هیومیک اسید ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن صفر در هزار و ۷۵ ٪ آب قابل دسترس اختصاص داشت که با تیمار هیومیک اسید ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و نانوکلات آهن ۲ در هزار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

وزن تر و خشک بوته

نتیجه‌های تجزیه واریانس اثرهای نانوکلات آهن و هیومیک اسید بر وزن تر و خشک بوته گیاه سیاهدانه در شرایط تنش خشکی در جدول ۳ نشان داده است. بر اساس نتیجه‌های ارائه شده اثر ساده و برهمکنش نانوکلات آهن، هیومیک اسید و تنش خشکی بر میزان وزن تر و خشک بوته معنی‌دار شده است. نتیجه‌های مقایسه میانگین سطوح تیمار آبیاری نشان داد که بیشترین میانگین به تیمار ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس اختصاص داشت و اعمال تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب منجر به کاهش

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

۱۳ و ۴۱ درصدی وزن خشک بوته شدند. بر همکنش سه گانه آبیاری × هیومیک اسید × نانوکلات آهن حاکی از آن است که در تیمار آبیاری۵۰ درصد آب قابل دسترس همراه با ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم نانوکلات آهن در لیتر بیشترین میانگین وزن خشک بوته (۶۵/۸ گرم) را همراه داشت. در تیمار آبیاری ۷۵ درصد آب قابل دسترس همراه با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسیدو ۱گرم نانوکلات آهن در لیتر بیشترین میانگین وزن خشک بوته (۸۲/۷ گرم) را به همراه داشت و در تیمار آبیاری کامل ۱۰۰درصد آب قابل دسترس همراه با ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم نانوکلات آهن در لیتر بیشترین میانگین وزن خشک بوته (۹۸/۲ گرم) را به همراه داشت. نتیجه‌های تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر وزن تر گیاه در جدول ۳نشان داده شده است. بر اساس نتیجه‌های مقایسه میانگین‌ها کاربرد هیومیک اسید و نانوکلات آهن باعث افزایش وزن تر گیاه در شرایط تنش آبی گردید. بیشترین میزان وزن تر در گیاهان محلول‌پاشی شده با هیومیک اسید ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن ۲ در هزار در شرایط رطوبتی ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده به میزان ۱۹۹/۸ گرم و کمترین میزان این صفت در گیاهان با عدم محلول‌پاشی در شرایط رطوبتی ۵۰ درصد به میزان ۷۲/۷ گرم در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده گردید (جدول ۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش هیومیک اسید و نانوکلات آهن بر ویژگی‌های ارتفاع، پروتئین برگ، درصد روغن و درصد اسانس سیاهدانه.

Table 3. Mean comparison of the interaction effect of humic acid and nano-Fe chelate on plant height, leaf protein, oil content and essential oil of black cumin.

هیومیک اسید Humic acid	نانوکلات آهن Nano-Fe chelate	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	پروتین برگ Leaf protein (mg/g fw)	میزان روغن Oil content (%)	درصد اسانس Essential oil (%)
0	0	50.94f	3.58h	37.97d	0.90g
	1	52.94ef	3.97f	38.67c	1.17f
	2	54.27de	4.20de	39.33b	1.54c
250	0	54.94cde	3.85g	35.56g	1.19f
	1	59.88ab	4.26d	36.19f	1.32e
	2	60.22a	4.74a	36.72e	1.57c
500	0	57.44abc	4.14e	37.99d	1.42d
	1	56.94cd	4.38c	40.58a	1.78b
	2	57.11bc	4.53b	40.61a	1.97a

در هر ستون، میانگین‌های با حرف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with similar letter are not significantly different at $p<0.05$ based on LSD test.

عملکرد و اجزای عملکرد

بر اساس نتیجه‌های جدول تجزیه واریانس اثر هیومیک اسید، نانوکلات آهن، تنش آبی و برهمکنش آن‌ها بر تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین‌های سطوح تیمار آبیاری نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته در تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس اختصاص داشت و اعمال تیمار آبیاری ۵۰ درصد منجر به کاهش ۲۱ درصدی در تعداد کپسول گردید. نتیجه‌های مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته به میزان ۱۷۷/۷ عدد در گیاهان محلول‌پاشی شده با هیومیک اسید ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن ۲ در هزار و ۱۰۰ درصد آب آبیاری و کمترین تعداد کپسول در بوته به میزان ۶۶/۷ عدد در گیاهان محلول‌پاشی شده با هیومیک اسید صفر میلی‌گرم در لیتر و نانوکلات آهن ۲ در هزار و ۵۰ درصد آب آبیاری مشاهده گردید (جدول ۵). نتیجه‌های ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین دانه در کپسول به تعداد ۱۱۵/۵ دانه در آبیاری ۷۵ درصد آب قابل دسترس با محلول‌پاشی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن ، و کمترین دانه در کپسول به تعداد ۸۳/۰ دانه در آبیاری ۵۰درصد آب

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

قابل دسترس با عدم مصرف هیومیک اسید و ۱گرم نانوکلات آهن در لیتر مشاهده گردید. وزن هزار دانه نیز تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت به‌طوریکه بیشترین وزن هزار دانه (۲/۹ گرم) در گیاهان آبیاری شده با ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده و محلول پاشی شده با هیومیک اسید ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و عدم مصرف نانوکلات آهن مشاهده گردید که با سایر تیمارهای آزمایش تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). برهمکنش سه گانه نشان داد که در هر سه شرایط ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰درصد آب قابل دسترس بیشترین میانگین عملکرد دانه (به ترتیب ۵۴۷، ۱۰۳۷ و ۷۳۰ کیلوگرم در هکتار) به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن اختصاص داشت (جدول ۵).

جدول ۴- نتیجه‌های مقایسه میانگین اثر آبیاری × نانوکلات آهن بر ویژگی‌های تعداد شاخه اصلی، پروتئین برگ، درصد روغن و درصد اسانس سیاهدانه.

Table 4. Means comparison results of the interaction effect of irrigation × Fe nano chelate on number of main branches, leaf protein, oil content% and Essential oil % of black cumin.

آبیاری Irrigation	نانوکلات آهن Fe nano chelate	تعداد شاخه اصلی Number of main branches	پروتئین برگ Leaf protein (mg/gr fw)	میزان روغن Oil content (%)	درصد اسانس Essential oil (%)
50	0	7.88b	3.83e	36.07e	1.17f
	1	10.16a	4.08c	38.21c	1.32e
	2	9.5a	4.35b	38.71b	1.57c
75	0	8.16b	3.81e	37.68d	1.14f
	1	9.5a	4.13c	38.40c	(1.41d
	2	10a	4.54a	38.71b	1.67b
100	0	9.88a	3.94d	37.78d	1.19f
	1	10.38a	4.40b	38.83b	1.54c
	2	9.6a	4.57a	39.24a	1.83a

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون LSD با یکدیگر اختلاف ندارند.

In each column, means with similar letters are not significantly different at $p<0.05$ of LSD test.

جدول ۵- نتیجه‌های مقایسه میانگین اثر هیومیک اسید و نانوکلات آهن بر ویژگی‌های رویشی و عملکرد گیاه دارویی سیاه دانه تحت تنش خشکی.

Table 5. Means comparison results of the interaction effect of humic acid and Fe nano chelate on vegetative characteristics and yield of black cumin medicinal plant under drouth stress.

آبیاری Irrigation	هیومیک اسید Humic acid	نانوکلات آهن Fe nano chelate	تعداد شاخه فرعی Number of lateral branches	وزن تر بوته (گرم) Plant fresh weight (g)	وزن خشک بوته (گرم) Plant dry weighth (g)	تعداد غلاف Number of pods	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod
50	0	0	3.7f	72.7g	37.2hi	72.3fg	88.7cd
		1	3.7f	83.2g	37.2hi	77.7fg	83.0e
		2	5.2a-f	73.5g	38.5hi	66.7fg	92.0a-d
	250	0	5.2a-f	99.5fg	49.8e-l	77.7fg	101.3bc
		1	5.5a-e	72.8g	33.5l	69.7fg	103.8a-d
		2	4.5def	139.5c-f	65.8c-g	110.0b-f	97.5a-d
	500	0	5.0b-f	76.0g	41.5hi	83.3efg	95.3a-d
		1	5.0b-f	75.2g	42.5hi	72.0fg	84.8e
		2	4.0ef	108.7efg	51.5e-l	95.0d-g	96.7cd
75	0	0	3.5f	109.8efg	48.8f-l	81.7efg	101.5a-d

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

		1	6.7ab	134.8def	67.8c-g	94.7d-g	92.0cde
		2	5.5a-f	141.5c-f	66.7d-h	108.0b-f	107.3a-d
	250	0	6.8a	120.8efg	64.0d-i	103.0b-g	117.3a-d
		1	5.5a-e	101.5fg	41.8hi	95.3d-g	98.3cde
		2	5.0b-f	157.5c-f	78.7bcd	109.7b-f	122.5a
	500	0	5.2a-f	140.5c-f	55.8d-i	107.7b-f	112.2a-d
		1	6.2a-d	157.2b-f	82.7b-f	98.0c-g	112.5a-d
		2	6.3abc	145.8b-e	79.5b-e	130.7bcd	115.5a-d
100	0	0	3.5f	99.0gf	59.2f-l	68.3fg	92.0ed
		1	6.3abc	198.8ab	90.0ab	128.3cd	114.0a-d
		2	4.8c-f	110.5efg	57.5g-i	89.3d-g	119.2ab
	250	0	4.3ef	107.5efg	64.8d-i	123.3b-e	110.5a-d
		1	5.2a-f	112.8efg	57.0g-i	82.0efg	97.7de
		2	6.5abc	171.7a-c	98.2a	145.7ab	98.7b-d
	500	0	4.3ef	172.3a-c	78.7a-e	140.0abc	110.2a-d
		1	4.2ef	134.8def	79.0a-d	130.7bcd	110.0a-d
		2	6.7ab	199.8a	88.8abc	177.7a	104.0a-d

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون LSD با یکدیگر اختلاف ندارند.

In each column, means with similar letters are not significantly different at $p<0.05$ of LSD test.

جدول ۵- ادامه.

Table 5. Continued.

آبیاری Irrigation	هیومیک اسید Humic acid	کود نانو Fe nano chelate	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	ساکاروز (میلی گرم بر گرم وزن تر) Sucrose (mg/gr fw)
50	0	0	2.40efg	444.7jkl	9.9cd
		1	2.37fg	413.3lm	9.8cd
		2	2.58bc	490.0ij	8.5efg
	250	0	2.25h	313.3m	10.9b
		1	2.45ef	446.7jkl	11.1b
		2	2.34g	516.7jk	11.9a
	500	0	2.17h-k	493.3ij	11.9a
		1	2.18hij	536.7gh	11.9a
		2	2.08kl	546.7gh	12.1a
75	0	0	2.36g	606.7d	5.4ij
		1	2.38fg	583.3gh	4.7j
		2	2.6b	833.3d	5.6ij
	250	0	2.22hi	530.0gh	6.0hi
		1	2.56cd	713.3d	6.5jhi
		2	2.49de	803.3bc	7.1hij
	500	0	2.41efg	730.0d	6.9ijh
		1	2.22h	826.7b	7.7ghi
		2	2.23h	1036.7a	7.9fgh
100	0	0	2.41efg	556.7gh	7.8ghi
		1	2.42efg	556.7gh	7.7ghi

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

	2	2.39fg	726.7d	8.0e-h
250	0	2.9a	530.0hi	9.8cd
	1	2.58bc	616.7ef	9.3de
	2	2.46ef	653.3e	8.8ef
500	0	2.10jkl	586.7fgh	9.8cd
	1	2.02l	540.0ghi	10.7bc
	2	2.13ijk	730.0cd	11.4ab

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون LSD با یکدیگر اختلاف ندارند.

In each column, means with similar letters are not significantly different at p<0.05 of LSD test.

محتوای ساکاروز و پروتئین

براساس نتیجه‌های تجزیه واریانس مشخص گردید که اثرهای ساده نانو کلات آهن و هیومیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای ساکاروز معنی‌دار بودند، اثر متقابل سه گانه آبیاری × هیومیک اسید × نانو کلات آهن معنی‌داری نبودند. مقایسه محتوای ساکاروز در پاسخ به کاربرد آبیاری × هیومیک اسید × نانو کلات آهن نشان داد که در شرایط ۵۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین میانگین (mg/g fw) ۱۲/۱ به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن اختصاص داشت. در شرایط ۷۵ درصد آب قابل دسترس بیشترین میانگین (mg/gr fw) ۷/۹ به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن اختصاص داشت و در شرایط ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین میانگین (mg/gr fw) ۱۱/۴ به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن اختصاص داشت (جدول ۵).

براساس نتیجه‌های تجزیه واریانس اثرات ساده و تمام برهمکنش دوگانه آبیاری، هیومیک اسید و نانو کلات آهن بر پروتئین برگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). کاربرد تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن بیشترین (mg/gr fw) ۴/۷۴ و تیمار عدم مصرف هیومیک اسید و عدم مصرف نانوکلات آهن کمترین (mg/gr fw) ۳/۵۸ میزان پروتئین برگ را نشان داد (جدول ۴). همچنین، اعمال تیمار ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن در شرایط ۱۰۰٪ آب قابل دسترس بیشترین (mg/gr fw) ۴/۵۷ و عدم مصرف نانوکلات آهن در شرایط ۷۵٪ آب قابل دسترس کمترین (mg/gr fw) ۳/۸۱ میزان پروتئین برگ را نشان داد (جدول ۵). همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد اعمال تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در شرایط ۱۰۰٪ آب قابل دسترس بیشترین (mg/gr fw) ۴/۴۳ و عدم مصرف هیومیک اسید در شرایط ۵۰٪ آب قابل دسترس کمترین (mg/gr fw)۳/۸۲ میزان پروتئین برگ را نشان داد.

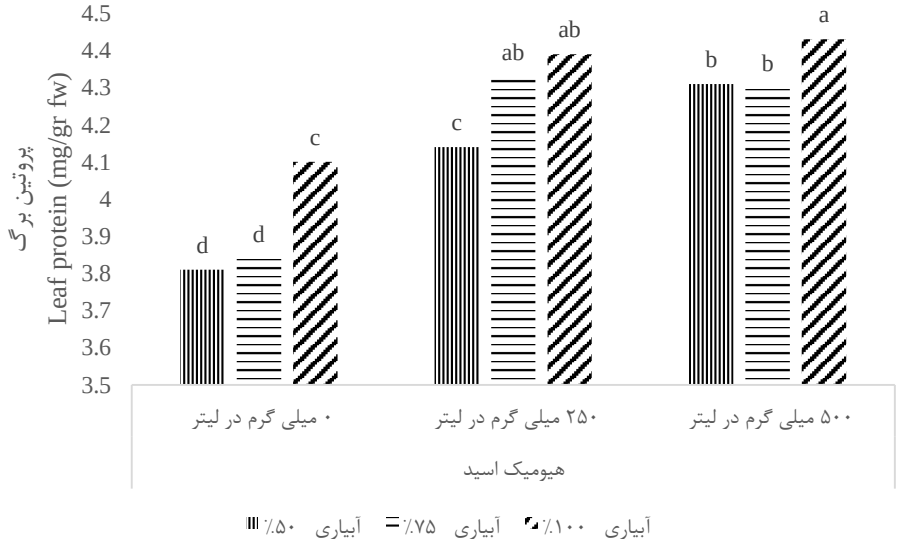

Fig.1. The interaction effect of humic acid and irrigation on leaf protein of black cumin. Columns with similar letter have no significant difference (P<0.05) based on LSD test.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

شکل ۱- اثر برهمکنش آبیاری و هیومیک اسید بر پروتئین برگ سیاهدانه. ستون‌های دارای حرف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند ($P<0.05$).

درصد روغن

براساس نتیجه‌های تجزیه واریانس اثرات ساده و برهمکنش هیومیک اسید × نانوکلات آهن و نانوکلات آهن × آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان درصد روغن گیاه سیاهدانه در شرایط تنش آبی معنی‌دار گردید. کاربرد تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن بیشترین ۴۰/۶۱ درصد و تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۱ گرم در لیتر نانوکلات آهن کمترین ۳۶/۱۹ درصد روغن را نشان داد (جدول ۴). همچنین، اعمال تیمار ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن در شرایط ۱۰۰٪ آب قابل دسترس بیشترین ۳۹/۲۴درصد و عدم مصرف نانوکلات آهن در شرایط ۵۰٪ آب قابل دسترس کمترین۳۶/۰۷ درصد روغن را نشان داد (جدول۴).

درصد اسانس

میزان اسانس گیاه سیاهدانه زیر تاثیر تیمارهای هیومیک اسید و نانوکلات آهن در شرایط تنش آبی قرار گرفت. براساس نتیجه‌های تجزیه واریانس اثرات ساده و برهمکنش هیومیک اسید × نانوکلات آهن و نانوکلات آهن × آبیاری در سطح ۱ درصد بر میزان درصد اسانس گیاه سیاهدانه در شرایط تنش آبی معنی‌دار گردید .کاربرد تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن بیشترین ۱/۹۷درصد و تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۱ گرم در لیتر نانوکلات آهن کمترین ۰/۹۰درصد اسانس را نشان داد (جدول۳). همچنین اعمال تیمار ۲ گرم در لیتر نانوکلات آهن در شرایط ۱۰۰٪ آب قابل دسترس بیشترین ۱/۸۳٪درصد و عدم مصرف نانوکلات آهن در شرایط ۷۵٪ آب قابل دسترس کمترین ۱/۱۴٪درصد میزان درصد اسانس را نشان داد (جدول ۴)

بحث

قدرت تولید شاخه‌های فرعی در تولید و ساخت دانه، عامل مهمی در تثبیت میزان محصول به شمار می‌آید. به نظر می‌رسد با مصرف کود به صورت نانو کلات، جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های محرک رشد به مریستم‌های جانبی افزایش می‌یابد و مجموعه این عوامل سبب افزایش تحریک مریستم‌های جانبی و افزایش تعداد ساقه‌های جانبی می‌گردد (۱۸). در پژوهشی محلول‌پاشی آهن و روی موجب افزایش تعداد شاخه در گیاه ماش علوفه‌ای (*Vigena radiate* L.) در تنش خشکی گردید (۳).

علت کاهش رشد ساقه در تنش خشکی این‌طور بیان شده است که فعالیت آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز در بافت‌های گیاهی که دارای رشد سریعی می‌باشند بسیار کم است، اما فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی افزایش یافته و موجب تجزیه هورمون اکسین در گیاه می‌گردد. ماده خشک تولیدی با کاهش آب مصرفی کاهش یافته، اما افت عملکرد ناشی از کمبود آب بیش از کاهش ماده خشک تولیدی است. گیاه برای کاهش مسیر فتوسنتزی خود در شرایط تنش از گسترش اندام‌های رویشی کاسته و انرژی و مواد فتوسنتزی خود را در جهت حفظ بقاء متوجه رشد زایشی می‌نماید (۲۳).

تغذیه گیاه با روی و آهن به شکل نانو سبب ذخیره کربوهیدرات‌های دانه گرده و افزایش طول عمر آن و در نتیجه، موجب افزایش گرده‌افشانی و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (۸). نتیجه‌های پژوهشی درباره اثر کاربرد نانوکلات آهن و روی بر گیاه سیاهدانه نشان داد که ویژگی‌های رویشی، عملکرد و شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری زیر تاثیر نانو کلات‌ها قرار گرفت و بر اساس نتیجه‌های حاصل و با توجه به ویژگی‌های مختلف اندازه‌گیری شده، کاربرد آهن و روی به فرم نانو در غلظت‌های پایین اثر مثبتی بر عملکرد کمی سیاه دانه گزارش شد (۹). افزایش شاخص‌های رویشی و عملکرد اسانس گیاه سیاهدانه با محلول‌پاشی هیومیک اسید گزارش شده است (۷). همچنین، گزارش‌های مشابهی مبنی بر اینکه اسید هیومیک به صورت محلول‌پاشی در گندم موجب افزایش ۲۴ درصدی عملکرد در این گیاه می‌شود، وجود دارد (۱۰). در پژوهشی اثر محلول‌پاشی کلات آهن بر دو رقم گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که مقادیر مختلف کود آهن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک، عملکرد میوه، بیشینه شاخص برگ و تعداد برگ در بوته گردید (۱۴). در رابطه با افزایش پروتئین با محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌توان گفت، اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری غشای یاخته‌های ریشه، جذب و انتقال

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

نیتروژن را بهبود بخشیده و باعث افزایش میزان پروتئین موجود در گیاه می‌شود (۵). نتیجه‌های پژوهشی روی اثرهای نانو کلات آهن و اسید فولیک بر ارقام کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط تنش خشکی نشان داد که قطع آبیاری در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی، کمترین عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و همچنین، درصد و عملکرد روغن را داشت. همچنین، نتیجه‌ها نشان داد که بیشترین درصد و عملکرد پروتئین، درصد و عملکرد روغن و کلروفیل در گیاهان محلول‌پاشی شده با نانو کلات آهن همراه با فولیک اسید مشاهده گردید (۶).

در یک بررسی دیگر ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، تعدادکپسول در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، درصد اسانس و عملکرد اسانس سیاهدانه در تنش خشکی کاهش یافت؛ اما خشکی بر وزن هزار دانه تاثیر معنی‌داری نداشت (۲۱). در پژوهشی کاربرد نانوکود فارمکس و هیومیک اسید باعث افزایش عملکرد و میزان مواد موثره سیاهدانه گردید (۷)

نتیجه‌گیری

کمبود آب از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دنیاست. تنش طولانی مدت رطوبتی بر تمام فرآیندهای متابولیکی گیاه اثر می‌گذارد و اغلب موجب کاهش تولید گیاه می‌شود. نتیجه‌های پژوهش دو ساله حاضر نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در گیاهان آبیاری شده با ۷۵ درصد آب قابل دسترس اختصاص داشت و اعمال تنش ۵۰ درصد باعث کاهش معنی‌دار عملکرد، میزان اسانس و درصد روغن گیاه دارویی سیاهدانه گردید. کاربرد ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و ۱ تا ۲گرم درلیتر نانوکلات آهن توانست اثرهای تنش آبی را کاهش داده و در بیشتر ویژگی‌ها منجر به افزایش ویژگی‌های کمی و ترکیب‌های موثره گردد. بنابراین، محلول‌پاشی هیومیک اسید و نانوکلات آهن در کشت سیاهدانه در شرایط تنش آبی پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد که به بخش زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج ارائه شده است. از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اقلید جهت همکاری در اجرای این آزمایش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع References

1. Abbaspour, F., H. Asghri., Rezvani Moghaddam., H. Abbasdokht., J. Shabahang, J., and A. Baig Babaei. 2017. Effects of biochar application on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.) under low irrigation conditions. Iranian J. Medic. Aromatic Plants Res. 33(5), 837-852. doi: 10.22092/ijmapr.2017.114596.2075.
2. Abedi, T and H. Pakniyat. 2010. Antioxidantenzyme changes in response to drought stress inten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech J. Genet. Plant Breed. 46: 27-34.11: 100-105.
3. Aghdasi, S., S.A. Modarres-Sanavy., M. Agha Alikhani., and H. Keshavarz. 2018. The effect of dehydration and foliar application of Fe and Mn on some physiological and quantitative and qualitative traits of green mungbean forage (*Vigena radiate* L.). J. Plant Proc. Funct. 7: 101-115. (in Persian).
4. Ait Mbarek, L., H. Ait Mouse., N. Elabbadi., M. Bensalah., A., R. Gamouh., A. Aboufatima, Benharref., A. Chait., M. Kamal., A. Dalal. and A. Zyad. 2007. Anti-tumor properties of black seed (*Nigella sativa* L.) extracts. Brazilian J. Medic. Biol. Res. 40(6): 839-847.
5. Ayman, M., M. Kamar., and M. Khalid., 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clay soil. Aust. J. Basic Appl. Sci. 3, 731-739.
6. Ayobizadeh, N., Gh. Haei., M. Aminidehaghi., J. Masoud Sinki, and Sh. Rezvani. 2019. Effect of foliar application of iron nano-chelate and folic acid on seed yield and some physiological traits of sesame cultivars under drought tension conditions. Crop Physiol. J. 10(40): 55-74.
7. Azizi, M., and Z. Safaei. 2017. The effect of foliar application of humic acid and nano fertilizer (Pharmks®) on morphological traits, yield, essential oil content and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). J Hort. Sci. 30(4), 671-680. doi: 10.22067/jhorts4.v0i0.41136.
8. Baghaei, N., N. Keshavarz., H. Shukrivahed., and M.H. Nazaran. 2012. Effect of nano-iron chelate on yield and yield components of rice. 12th Iranian Crop Sciences Congress, September 4-6. Islamic Azad University, Karaj, Iran. Pp: 1-5. (In Persian).
9. Davoodi, S.H., A. Biyabani., A. Rahemi Karizaki., S.A. Modares Sanavi., E. Gholamalipour Alamdari. and M. Zaree. 2020. Effect of iron and zinc nano chelates on yield and yield components of black cumin medicinal plant (*Nigella sativa* l.). Iran. J. Field Crops Res. 18(3):267-278. (in Persian).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

10. Delfine, S., R. Tognetti., E. Desiderio and A. Alvino. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durumwheat. Agron. Sust. Develop. 25: 183-191.
11. Gholinejad, E and Rezaei Chianeh, E. 2014. Evaluation of grain yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iran. J. Field Crops Res. 16(3): 236-249. (in Persian).
12. Hosseini Farahi, M., R. Ameri Fahliani., F. Yosefi. 2015. Effects of humic acid and fertilizer containing calcium and boron (Calboron) on vegetative and reproductive properties of strawberry in soil-less culture system. J. Plant Ecoph. 7(21), 235-250.
13. Khoramdel S., A. Kuchaki., M. NasiriMahalati, and Ghorbani R. 2008.Effect of biofertilizers on growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). J. Agric. Res. 6:294-285. (In Persian).
14. Ladan Moghadam, A., H. Vattani., N. Baghaei. and N. Keshavarz. 2012. Effect of different levels of fertilizer nanoiron chelates on growth and yield characteristics of two varieties of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) varamin 88 and viroflay. Res. Appl. Sci. Eng. Tech. 4:4813-4818.
15. Mahrokh, A., F. Azizi. 2014. The effect of natural zeolite usage on deficit irrigation stress tolerance in maize (*Zea mays*). Iran. J. Field Crops Res. 12(2), 296-304. doi: 10.22067/gsc.v12i2.21125
16. Mohebodini, M. 2018. The use of morphological traits in evaluation of genetic diversity of Iranian black cumin (*Nigella sativa* L.) accessions in field conditions. University of Mohaghegh Ardabili. Final Report of Research Project. 60 pages
17. Naderi, M., A. Danesh-Shahraki and R. Naderi. 2013. The role of nanotechnology in improving the use efficiency of nutrients and chemical fertilizers. Mon. Nanotechnol. 11 (12): 16 - 32.
18. Rameshraddy, P.G.J., S. Mahesh., K.N. Geetha., and A.G. Shankar. 2019. Seed priming and foliar spray with nano zinc improves stress adaptability and seed zinc content without compromising seed yield in ragi (*Finger millet*). Int. J. Pure Appl. Bios. 5 (3): 251-258.
19. Reddy, A.R., K.V. Chaitanya. and M. Vivekanandan. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161(11): 1189-1202.
20. Rezai, R., S.M. Hoseyni., H. Shabanali and L. Safa. 2010. Identify and analyze the barriers to the development of nanotechnology in the agricultural sector from the perspective of researchers. J. Sci.Technol. Policy 2010; 2 (1): 17 - 26.
21. Rezapor, A., M. Heidari., M. Galavi., and M. Ramrodi. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grian yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iran. J. Medic. Arom. Plants Res. 27(3), 384-396. doi: 10.22092/ijmapr.2011.6380
22. Salehi L, chehrazi M, sedighi dehkordi F, Moezzi A. 2018. The Effect of Organic (Humi potas) and Chemical Potassium Fertilizer (Potassium sulfate) on Growth Indices of Stock flower (*Matthiola incana* var. *annua*). Iran. J. Hort. Sci. Technol. 19 (2) :201-212. URL: http://journal.irshs.ir/article-1-39-fa.html
23. Shiranirad, AM., A. Moradi., T. Taherkhani., K. Eskandari, and A. Nazari Golshan. 2011. Evaluation of rapeseed response to nitrogen and moisture regimes under application and non-application of zeolite. J. Crop Ecoph. 3(4): 296-306.
24. Teimori, H., H. Balouchi., A. Moradi and E. Soltani. 2019. Effect of seed aging and water potential on seed germination and biochemical indices of fenugreek (*Trigonella foenum*-graecum) at different temperatures. Iran. J. Seed Res. 2019; 5 (2) :105-128
25. Vaseghi, A and S. Davazdahemami. 2016. Comparison of seed oil and mineral content of Guizotia abyssinica Cass. With two genotypes of Iranian and Indian *Nigella sativa* L. J. Oil Plant Prod. 3. 2 (2) :13-24.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 23 (1): 179-190 (2022)
Research article

Impact of Humic Acid and Nano-Fe Chelate on Improving Vegetative Traits, Yield and Essential Oil Content of Black Cumin (*Nigella sativa)* under Drought Stress

A. Hayati, M.M. Rahimi*, A.S. Kalidi and S.M. Hosseini[1]

In order to investigate the effects of humic acid and Fe nano-chelate on improvement of vegetative characteristics, seed yield and essential oil content of black cumin (*Nigella sativa*) under drought stress an experiment was done during two cropping seasons (2018-2019 and 2019-2020) in Agricultural and Natural Resources Research Station of Eghlid. The experiment was conducted as a factorial split plot in a randomized complete block design with three replications. The main plots were irrigation at three levels (50, 75 and 100% of available water), humic acid at three levels (0, 250, and 500 mg/l) and nano-Fe chelate at three levels (0, 1 and 2 g/l). The results showed that drought stress reduced the vegetative and yield traits. The interaction of humic acid, nano-Fe chelate and drought stress showed that the highest yield with 1036.7 kg/ha was observed in plants treated with 500 mg/l humic acid and 2 g/l iron nano chelate with 75% water available use. Also, the highest essential oil, seed oil, and leaf protein content was observed in plants treated with 500 mg/l humic acid and 2 g/l iron nano chelate with 100% usable water. As a conclusion, application of humic acid and nano-Fe chelate leads to the improvement of vegetative and chemical factors of black cumin in under drought stress conditions.

Keywords: Drought stress, Black cumin, Seed oil, Humic acid.

[1] Ph.D. Student, Assitant Professors, Department of Agriculture, Yasouj Branch, Islamic Azad University, Yasouj, and Associate Professor, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
Corresponding author, Email: (m.rahimi1351@yahoo.com).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.7.5]