نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۶۸۰-۶۷۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 30, No. 4, Winter 2017, P. 671-680
ISSN: 2008 - 4730

اثر محلولپاشی اسید هیومیک و نانوکودفارمکس بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

مجید عزیزی[۱]- زینب صفایی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۹

چکیده

امروزه شناخت منابع تامین کننده عناصر غذایی گیاهان زراعی در سیستم کشاورزی پایدار که سازگار با محیط زیست باشند،خصوصاً در سیستم‌های کشت گیاهان دارویی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا آزمایشیبصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار کودی و سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در دانشگاه فردوسی مشهد بر روی گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) انجام شد. تیمارها شامل نانوکود فارمکسدر دو سطح (صفر و یک میلی‌گرم در لیتر) و اسید هیومیک درچهار سطح (صفر،۱، ۳، ۶میلی‌گرم در لیتر) که بصورت جداگانه وترکیبی سه مرتبه در مرحله ۸ برگی گیاه تا بعد از گلدهی هر دو هفته یکبار محلولپاشی شد. نتایج نشان داد که محلولپاشی با اسید هیومیک با غلظت ۶میلی‌گرم در لیتر بر ارتفاع، شاخص سطح برگ، وزن خشک، تعداد شاخه فرعی، تعدادکپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن دانه در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، میزان و عملکرد اسانس تاثیر معنی‌داری داشت. کاربرد نانوکود فارمکس باعث افزایشرشد رویشی، عملکرد، اجزا عملکرد، میزان و عملکرد اسانس سیاهدانه شد. تیمارهای ترکیبی در سطوح مختلف تاثیر معنی‌داری برروی وزن خشک بوته، وزن دانه در بوته و عملکرد بیولوژیکی، میزان و عملکرد اسانس داشتند و بر روی سایر صفات تاثیر معنی‌داری نداشتند. طبق نتایج این آزمایش کاربرد نانوکود فارمکس و تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در افزایش عملکرد و میزان مواد موثره سیاهدانه نسبت به سایر تیمارها موثرتر بود.

واژه‌های کلیدی: کشت ارگانیک، کودهای آلی، گیاه دارویی، مواد موثره، نانوکود

مقدمه

امروزه با توجه به اثرات جانبی داروهای شیمیایی، مصرف و اهمیت گیاهان دارویی از گسترش روزافزونی برخوردار شده است (۲۶). سیاهدانه گیاهی است دولپه، علفی و یکساله با نام علمی *Nigella sativa* متعلق به خانواده آلاله (*Ranunculaceae*) می‌باشد. پراکندگی جهانی این گیاه در نواحی شمال آفریقا، جنوب اروپا، مناطق مدیترانه‌ای تا هندوستان، غرب و جنوب شرقی آسیا و استرالیا می‌باشد (۱۴). تاثیرات مصرف این گیاه در انسان شامل شیرآوری، ضدنفخ، مسهل، ضدانگل، ضدصرع، ضد باکتری، ضد تومور، مسکن و کاهش دهنده قند خون می‌باشد (۳۱). از آنجاکه در سیستم کشاورزی، تامین عناصر غذایی برای گیاه یک امر ضروری و اجتناب ناپذیر است، بنابراین نحوه مدیریت حاصلخیزی خاک، کمیت و کیفیت محصول و عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۵). کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی منجر به ایجاد مشکلات متعددی از قبیل تخریب ساختمان خاک و عدم توازن عناصر غذایی خاک شده است، از اینرو کاربرد کودهای آلی رو به افزایش است که می‌توانند موجب بهبود خصوصیات خاک و حاصلخیزی آن نیز گردند (۱۶). در ایران به دلیل استفاده بی‌رویه از کوهای شیمیایی و عدم استفاده از کودهای آلی، خاک‌های کشاورزی با کمبود مواد آلی مواجه هستند. کودهای آلیفرآورده‌های مناسب و کم خطری هستند که به طور عمده منشاء حیوانی یا گیاهی دارند و می‌توانند برای کشاورزی پایدار مناسب باشند (۱۷). بررسی‌ها نشان داده است که کودهای آلی سبب بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و عملکرد محصول را افزایش می‌دهند. یکی از ترکیبات آلی مهمی که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است، اسید هیومیک می‌باشد. این ترکیب از

۱ و ۲- استاد و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: azizi@um.ac.ir
DOI: 10.22067/jhorts4.v0i0.41136

تجزیه بقایای گیاهی یا حیوانی به دست می‌آید (۲۲ و ۲۸). اسید هیومیک با وزن مولکولی ۳۰۰۰۰۰-۳۰۰۰۰ کیلو دالتون و اسید فولویک هم با وزن مولکولی کمتر از ۳۰۰۰۰ کیلو دالتون به ترتیب سبب تشکیل کمپلکس‌های پایدار و نامحلول و کمپلکس‌های محلول با عناصر میکرو می‌گردند (۱۷). از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد (۱۷). همچنین اسید هیومیک موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، افزایش تهویه خاک، بهبود دانه‌بندی خاک، بهبود مقاومت به خشکی، افزایش تبدیل عناصر به فرم‌های قابل دسترس برای گیاه و افزایش درصد نیتروژن خاک می‌گردد (۴ و ۱۰).کاسیلیا و همکاران (۱۰) گزارش کردند که اسید هیومیک سبب کاهش عملکرد اسانس و ارتفاع گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) می‌گردد اما بطور معنی‌داری وزن تر و خشک گیاه و فعالیت آنتی اکسیدانی آنرا افزایش داد. خزاعی و همکاران (۱۹)گزارش کردند که اسید هیومیک میزان اسانس، شاخص‌های رشد و بیوماس گیاه زوفا (*Hyssopusofficinalis*) را افزایش می‌دهد. فناوری نانو در زمره فناوری‌های جدیدی است که در مرحله آغازین رشد خود قرار دارد. فناوری نانو همه‌ی عرصه‌های دانش را تحت تاثیر قرار داده و علم کشاورزی نیز از این قاعده مجزا نیست (۱۲). یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی و در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد (۲۲). استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رساندن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود. با بکارگیری نانوکودها، زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه مطابق و هماهنگ می‌شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد (۱۳). نانوکودفارمکس یک کود تجاری می‌باشد که دارای طیف وسیعی از عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف است همچنین این کود دارای عنصر نانوسیلیس می‌باشد. کاربرد این کود پس از آزمایشات بر روی محصولات باغی نتایج امیدوار کننده داشته است و شرکت سازنده، بر اساس قوانین موجود اطلاعات زیادی را در خصوص نحوه ساخت و فرمولاسیون آن در اختیار قرار نداده است، لذا در این تحقیق به عنوان یکی از تیمارها، مورد بررسی قرار گرفت و امید است با بررسی‌های بیشتر و یافته‌های جدیدتر بتوان اطلاعات کاملتری در خصوص مکانیسم و چگونگی کارکرد آن گزارش نمود. نظران و همکاران (۲۴) اثر زمان محلول‌پاشی با نانو کود آلی کلات آهن بر خصوصیات کمی و کیفی گندم (*Triticumae stivum*) را بررسی نمودند و عنوان داشتند که محلول‌پاشی با نانو کود در مرحله ساقه دهی بهترین نتیجه را با افزایش ۹۹ درصد عملکرد و افزایش ۳۲/۴ درصدی مقدار دانه داشت و افزایش صفات کمی و کیفی نسبت به شاهد گزارش گردید. بقایی و همکاران (۸) گزارشکردند که ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، وزن خشک، عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa*) بطور معنی‌داری تحت تأثیر نانو کود کلاته آهن افزایش می‌یابد. این تحقیق با هدف بررسی تاثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانوکودفارمکس بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد، اجزای عملکرد، میزان و عملکرد اسانس گیاه دارویی سیاهدانه به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و در سه تکرار انجام شد. این طرح در محل مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه فردوسی مشهد در سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. پیش از شروع آزمایش از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری نمونه برداری و آنالیز انجام شد (جدول ۱). سپس زمین مورد نظر تسطیح، آماده سازی و کرت‌بندی در ابعاد ۱/۵×۱/۵ متر صورت گرفت. در هر کرت ۴ ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتیمتر ایجاد شد. عملیات کاشت بذر در تاریخ ۸ آبان ماه صورت گرفت. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۷ روز یکبار با حجم مشخصی تا آخر فصل رشد انجام شد. گیاهان در مرحله ۶-۴ برگی برای حصول تراکم مناسب (۵ سانتیمتر روی ردیف) تنک شدند. تیمارهای آزمایش شامل اسیدهیومیک با سطوح (۰ ، ۱ ،۳، ۶ میلی‌گرم در لیتر) و نانوکودفارمکس با سطوح (۰ و ۱ میلی گرمدر لیتر) بودند. محلولپاشی تیمارهای کودی در مرحله ۸ برگی گیاه تا بعد از گلدهی هر دو هفته یکبار، عملا سه مرتبه صورت گرفت. مشخصات اسید هیومیک و نانوکودفارمکس در جداول (۲ و ۳) نشان داده شده است. اسید هیومیک مورد استفاده در این آزمایش اسید هیومیک، با نام تجاری سوپرهیومیک بود. به منظور انجام آنالیزهای رشد، نمونه‌برداری ازگیاهان در فروردین ماه ۱۳۹۲، از دو ردیف وسط هر کرت با حذف اثرات حاشیه‌ای و بصورت تصادفی از هر کرت آزمایشی در ۷ بوته انجام شد. برای تعیین سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل (LI-3000A, USA) استفاده شد.برای تعیین وزن خشک گیاه، نمونه‌های گیاهی در آون دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. با فرارسیدن مرحله رسیدگی، تعداد ۷ گیاه از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و صفاتی از قبیل ارتفاع گیاه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت، دو ردیف کناری و ۳۰ سانتیمتر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شدند و از سطح باقیمانده عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی تعیین شد. برای استخراج اسانس از دانه‌های گیاه از روش

تقطیر با آب استفاده شد. به این ترتیب که نمونه‌های ۲۰ گرمی آسیاب شده و بلافاصله با ۲۵۰ میلی‌لیتر آب، در بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری مخلوط شد و ۳ ساعت بعد از جوش آمدن، میزان اسانس در کلونجر اندازه‌گیری شد و بر اساس درصد حجمی به وزنی (%V/W) گزارش شد. عملکرد اسانس براساس (عملکرد دانه × درصد اسانس) محاسبه شد. برای تجزیه واریانس داده‌های آزمایش و رسم نمودارها، به ترتیب از نرم‌افزارهای Minitab-16 و Excel استفاده شد. مقایسه کلیه میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و براساس آزمون LSD انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil experiment

بافت خاک Soil texture	پتاسیم (mg/kg) K	فسفر (mg/kg) P	نیتروژن کل (٪) Total N	هدایت الکتریکی (dS/m) EC	اسیدیته خاک pH
لوم رسی Clay loam	334	19.7	0.3	8.35	7.9

جدول ۲- مشخصات اسید هیومیک مورد استفاده در این آزمایش

Table2- Properties of humic acid used in this experiment

نام تجاری Commercial name	مس Cu (mg/kg)	منیزیم Mg (mg/kg)	مواد آلی Organic matter (٪)	هیومیک اسید Humicacid (٪)	آمینو اسید Amino acid (٪)	پتاسیم K (٪)	فسفر P (٪)	کلسیم Ca (٪)	آهن Fe (mg/kg)	نیتروژن N (٪)	بور B (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	ویتامین (٪)
سوپر هیومیک Super humic	23	12	92	37	6	12	0.05	3	2500	2	10	410	0.7

جدول ۳- مشخصات نانوکودفارمکس مورد استفاده در این آزمایش

Table 3- Properties ofnanopharmax fertilizer used in this experiment

ترکیب Compound	CaO	F	SiO_2	MgO	SO_3	ZnO	Fe_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	MoO_3	K_2O	CuO	NiO	CoO	SrO	کل
غلظت Concentration (%w/w)	33.74	15.58	9.63	0.83	0.802	0.330	0.288	0.190	0.160	0.075	0.069	0.051	0.064	0.039	0.036	**100**

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر نانوکودفارمکس و اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، شاخص سطح برگ و وزن خشک بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی حاکی از آن بود که بین غلظت‌های مختلف تیمارهای کودی نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر نانوکود دارای بیشترین تعداد شاخه فرعی، وزن خشک بوته، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ بودند. سطوح مختلف اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، در حالیکه با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و نانوکودفارمکس نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). اثر متقابل این دوکود بر وزن خشک بوته معنی‌دار بود بطوریکه بالاترین میزان در تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک به همراه نانوکود فارمکس مشاهده شد (شکل ۱)، در حالیکه اثر متقابل نانوکود فارمکس و اسید هیومیک بر سایر صفات مورفولوژیکی معنی‌دار نبود (جدول ۴). در این آزمایش مشخص شد که استفاده از کودهای آلی موجب افزایش رشد می‌گردند. غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و نانوکودفارمکس باعث افزایش صفات رشدی شدند در حالیکه شاهد و ۱ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک باعث کاهش این صفات شدند.خزاعی و همکاران (۱۹) گزارش کردند اسید هیومیک موجب افزایش اندام هوایی و رشد تعداد شاخه در گیاه زوفا (*Hyssopusofficinalis*) می‌گردد. با کاربرد اسید هیومیک سطح برگ گیاه ریحان (*Ocimumbasilicum*) افزایش یافت (۷). همچنین بررسی خرمدل و همکاران (۲۱) نشان داد که کودهای بیولوژیک شاخص‌های رشد در سیاهدانه (*Nigella sativa*) را نسبت به شاهد افزایش دادند. بالاکامبان و راجیامان (۶) افزایش ارتفاع گیاه سنا (*Cassia angustifolia*)در اثر کاربرد اسید هیومیک را گزارش کردند. کودهای آلی با بهبود وضعیت pH خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک و افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند (۱۵). استفاده از اسید هیومیک صفات

مورفولوژیک گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa*) را تحت تاثیر قرار داد و موجب بهبود این صفات گردید.اسید هیومیک از طریق اثرات هورمونی و با تاثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و همچنین با قدرت کلات کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. این ترکیب آلی از طریق افزایش در میزان نیتروژن سبب افزایش رشد شاخساره و اندام‌های هوایی گیاه می‌شود. در مرحله ساقه رفتن که مرحله رشد سریع گیاه است و شرایط محیطی نیز در آن زمان مناسب می‌باشد، گیاه نیاز بیشتری به عناصر غذایی داشته و اسید هیومیک از طریق فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی سبب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. اسید هیومیک با افزایش تولید مواد فتوسنتزی سبب افزایش تعداد شاخه فرعی در گیاه و تولید ماده خشک بیشتر می‌شود (۱، ۵، ۱۱ و ۳۱). بزرگی (۹) نیز نشان داد که نانوکود آلی کلاته‌آهن باعث افزایش ارتفاع گیاه بادمجان (*Solanumm elongena*) شده‌است. نانوکود کلات آهن باعث افزایش سرعت رشد، سطح برگ و فتوسنتز گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) شد (۲۵). ژانگ و همکاران (۳۲) گزارش کردند نانوکود اکسید تیتانیوم موجب افزایش وزن خشک گیاه اسفناج (*Spinaciaeracealo*) می‌گردد. نانوکودها. به دلیل آزادسازی آرام و کنترل شده‌ی مواد غذایی، افزایش میزان فراهمی مواد غذایی مورد نیاز گیاهان و قابلیت در رهاسازی عناصر غذایی مطابق با نیاز گیاه، منجر به جذب حداکثری عناصر توسط گیاه و افزایش رشد می‌شوند (۱۳). در رابطه با تاثیر نانوکودفارمکس بر رشد گیاه اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. به نظر می‌رسد نانو ذرات سیلیس موجود در این کود موجب افزایش مواد فتوسنتزی گیاه شده است و این مواد شرایط را برای بهبود رشد رویشی گیاه فراهم کرده است همچنین نانوکود-فارمکس دارای طیف وسیعی از عناصر غذایی پرمصرف (کلسیم، منیزیوم، پتاسیم، گوگرد) و کم مصرف (آهن، روی، مس، مولیبدن، کبالت) است لذا علت افزایش رشد رویشی گیاه را در اثر کاربرد این کود را می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی، بهبود دسترسی و جذب بیشتر، توسط گیاه نسبت داد. بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانو ذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثر گذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (۲۲، ۲۷ و ۳۰).

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

عملکرد دانه حاصل برآیند مجموعه‌ای از اجزاست. در این آزمایش اثر نانوکودفارمکس بر عملکرد دانه، تعدادکپسول در بوته، تعداد دانه درکپسول، وزن دانه در بوته و عملکرد بیولوژیکی در سطح یک درصد معنی دار بود. در حالیکه اسیدهیومیک بر تعدادکپسول در بوته در سطح پنج درصد و بر تعداد دانه درکپسول، وزن دانه در بوته و عملکرد بیولوژیکی در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۵) عملکرد دانه، تعدادکپسول در بوته، تعداد دانه درکپسول، وزن دانه در بوته و عملکرد بیولوژیکی حاکی از آن است که نانوکودفارمکس و غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک دارای بالاترین عملکرد دانه، تعدادکپسول در بوته، تعداد دانه درکپسول، وزن دانه در بوته و عملکرد بیولوژیکی بوده و اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان دادند. همچنین بین غلظت‌های ۱ و۳ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌دار نبود. همچنین اثر متقابل نانوکود فارمکس و اسیدهیومیک بر عملکرد بیولوژیکی و وزن دانه در بوته معنی‌دارشد (جدول ۴) بطوری‌که بالاترین عملکرد بیولوژیکی و وزن دانه در بوته در تیمار نانوکودفارمکس به همراه غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک مشاهده شد (شکل‌های ۱، ۲).کشاورز و همکاران (۲۰) افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت اثر نانوکودآلی کلاته آهن بر روی گندم (*Triticumae stivum*) را گزارش کردند. همچنین شبان و همکاران (۲۹) گزارش کردند که اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گندم (*Triticumae stivum*) می‌گردد. تعداد کپسول در گیاه یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد است که پتانسیل عملکرد گیاه را تعیین می‌کند. زیرا کپسول، از یک طرف در برگیرنده تعداد دانه بوده و از طرفی تولید کننده آسیمیلات مورد نیاز دانه می‌باشد. از بین اجزای عملکرد، وزن دانه و تعداد دانه در کپسول در کنترل خصوصیات ژنتیکی بوده و کمتر تحت تاثیر عوامل زراعی و محیطی قرار می‌گیرند. تعداد دانه در کپسول در واقع ظرفیت مخزن گیاه را مشخص می‌کند. هر چه تعداد دانه بیشتر باشد گیاه دارای مخزن بزرگ‌تری برای آسیمیلات تولید شده می‌باشد و باعث افزایش عملکرد می‌شود. البته وجود شرایط مناسب از جمله تامین آب و عناصر غذایی کافی ضروری است، در غیر این صورت شرایط نامناسب منجر به پوکی و توخالی شدن کپسول‌ها می‌شود یعنی یا دانه‌ها تشکیل نمی‌شود و یا ممکن است تشکیل شود، اما پر نگردد (۱۷، ۲۱ و ۲۳). مواد هیومیکی از طریق تحرک بخشیدن یون‌ها و نیز متابولیسم فیزیولوژی گیاه، سبب بهبود جذب عناصر غذایی شده و این امر باعث افزایش رشد زایشی گیاه می‌شود (۱۷). بالاکامبان و راجیامان (۶) اعلام داشتند اسید هیومیک سبب افزایش سطح برگ در گیاه شده و از این طریق باعث افزایش میزان فتوسنتز و به دنبال آن سبب افزایش عملکرد می‌گردد. اسید هیومیک با تامین عناصر غذایی گیاه سیاهدانه، با بهبود نیتروژن برگ و افزایش سرعت فتوسنتز این گیاه، سرعت رشد و بیوماس گیاه را افزایش داده است. به نظر می‌رسد نانوکودفارمکس به دلیل رهاسازی کنترل شده عناصر غذایی در تمام فصل رشد، سبب افزایش نگهداری آب و فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی، افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی گردیده که این مسئله در نهایت به افزایش گلدهی، افزایش رشد زایشی و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد انجامیده است. سیلیس بیشتر بر رشد زایشی گیاه تاثیرگذار است لذا به نظر می‌رسد نانوذرات سیلیس کودفارمکس موجب افزایش مقدار فتوسنتز، محتوای

کلروفیل،ماده خشک، افزایش رشد زایشی، بهبود عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه گردیده است (۱۵، ۲۵ و ۲۷).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر نانوکودفارمکس و اسید هیومیک بر صفات مورفولوژیکی سیاهدانه (*Nigella sativa*)

Table 4- ANOVA of thenanopharmax fertilizer and humic acid effect on morphological traits of *Nigella sativa* L.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of squares					
		ارتفاع بوته Height (cm)	شاخص سطح برگ LAI	وزن خشک بوته Dry weight (g)	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد کپسول در بوته Capsule per plant	تعداد دانه در کپسول Seeds per capsule
بلوک Block	2	*4.5	0.0008*	0.002 ns	1.54*	19.04**	4.54ns
نانوکود Nano fertilizer	1	30.37**	0.247**	1.56**	10.66**	20.16**	1.468**
اسید هیومیک Humic acid	3	37.10**	0.0019**	0.37**	4.16**	4.11*	106.7**
اثر متقابل Intraction	3	2.93 ns	0.0005 ns	0.54**	0.66 ns	0.72ns	16.72ns
خطای آزمایش Error	14	0.827	0.0002	0.0061	0.398	0.756	9.11
ضریب تغییرات CV(%)		2.65	6.13	4.6	12.1	18.69	4.01

*و**: به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

*Is significantat the 5% level. **Is significantatthe 1% level. nsnot significant

ادامه جدول ٤- تجزیه واریانس اثر نانو کود فارمکس و اسید هیومیک بر صفات مورفولوژیکی سیاهدانه (*Nigella sativa*)

Table 4 Analysis of varianceeffectnanopharmax fertilizer and humicacidon morphological traits of*Nigella sativa* L.

منبع تغییرات S.o.v	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of squares				
		وزن دانه در بوته Seeds weight per plant (g)	عملکرد دانه Seed yield (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (Kg/ha)	اسانس Essential oil (%V/W)	عملکرد اسانس Essential oil yield (Kg/ha)
بلوک Block	2	0.009ns	32.3ns	601**	0.0005ns	12.94ns
نانوکود Nano fertilizer	1	1.88**	18537**	126440**	0.21**	2121.2**
اسید هیومیک Humic acid	3	0.41**	570.4**	12372**	0.083**	806.47**
اثر متقابل Intraction	3	0.27**	395.5 ns	3320**	0.007**	80.02**
خطای آزمایش Error	14	0.0111	259.5	167	0.001	28.09
ضریب تغییرات CV(%)		5.91	3.71	6.3	2.89	5.2

*و**: به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

*Meanssignificantat the 5% level. **Meanssignificantat1% level. nsMeans not significant

عملکرد و میزان اسانس

اثر نانو کود فارمکس و اسیدهیومیک بر میزان و عملکرد اسانس در سطح یک درصد معنی‌داربود (جدول ۴). نتایج جدول مقایسه میانگین میزان و عملکرد اسانس حاکی از آن است که نانوکود فارمکس نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. سطوح ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به شاهد و غلظت ۱ میلی‌گرم دارای بالاترین عملکرد اسانس بودند (جدول ۵). همچنین اثر متقابل نانوکودفارمکس و اسیدهیومیک بر میزان و عملکرد اسانس معنی-دارشد (جدول ۴). بطوریکه بالاترین میزان و عملکرد اسانس در تیمار نانوکودفارمکس به همراه غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک مشاهده شد (شکل‌های ۳، ۴). در این آزمایش مشخص شد مقدار اسانس در دانه‌های سیاهدانه در اثر استفاده از هر دو نوع کود آلی افزایش یافت. اسید هیومیک میزان اسانس گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis*) را افزایش داد (۱۹)، همچنین عموموها و همکاران (۲) افزایش میزان مواد موثره گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*)را تحت تاثیر نانو کود کلات آهن گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد فراهم بودن بیشتر عناصر غذایی برای گیاه در تیمارهای کودی باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی شده است (۲۱)، که به نوبه خود بر افزایش میزان تولید متابولیت‌های ثانویه نیز تاثیرگذار است. تغذیه مناسب گیاهان در غالب کودهای مختلف، سبب تقویت مسیر-های درگیر در تولید متابولیت‌های‌ثانویه می‌شود. به نظر می‌رسد که تیمارهای کودی در ساختمان آنزیم‌هایی که در مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در سنتز مواد موثره گیاهی موثر هستند، دخیل است. همانطور که کمبود مواد غذایی سبب کاهش عملکرد و به دنبال آن کاهش میزان مواد موثره است، عدم توازن در کاربرد کودها نیز اثری مشابه داشته و سبب کاهش میزان اسانس تولیدی خواهد شد (۱۸). عملکرد اسانس تابعی از درصد اسانس و عملکرد گیاه می‌باشد. افزایش عملکرد اسانس در تیمارهای کودی را می‌توان به افزایش عملکرد دانه در این تیمارها نسبت داد.

جدول۵ –مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی، عملکرد، میزان و عملکرد اسانس سیاهدانه

Table 5- Comparison of average in morphological traits, yield, essential oil content and yield of *Nigella sativa* L.

تیمار Treatment	ارتفاع Height (cm)	شاخ ص سطح برگ LAI	وزن خشک بوته Dry weight (g)	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد کپسول در بوته Capsule per plant	تعداد دانه در کپسول Seeds per capsule	وزن دانه در بوته Seeds weight per plant (g)	عملکرد دانه Seed yield (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (Kg/ha)	اسانس Essential oil (%V/W)	عملکرد اسانس Essential oil yield (Kg/ha)
شاهد control	41.2 b	0.26b	1.3 b	5.4 b	8.4 b	68.4 b	1.6 b	۸۴۱ b	2285.16 b	0.25 b	21.31 b
نانو کود Nano fertilizer	43.1 a	0.30a	1.8 a	6.8 a	9.8 a	75.5 a	2 a	908.41 a	2454.58a	0.44 a	40.11 a
اسیدهیومیک Humic acid											
شاهد control	41.2 b	0.26b	1.3 c	5.2 b	8.3 b	68.8d	1.55 b	846.3 b	23.51.5b	0.31 c	26.49c
1	42.8 a	0.3 a	1.3 c	5.8 b	9 b	71 c	1.6 b	854.7b	2361.66 b	0.28 d	25.38 c
3	43.7a	0.3a	1.6 a	6.2ab	9.8 b	73.3 b	2 a	876.3 b	2352.5 b	0.35 b	30.88 b
6	43.8 a	0.3 a	1.6 a	7.2 a	11.2 a	75.3a	2 a	900.8 a	2413.83 a	0.44 a	40.1 a

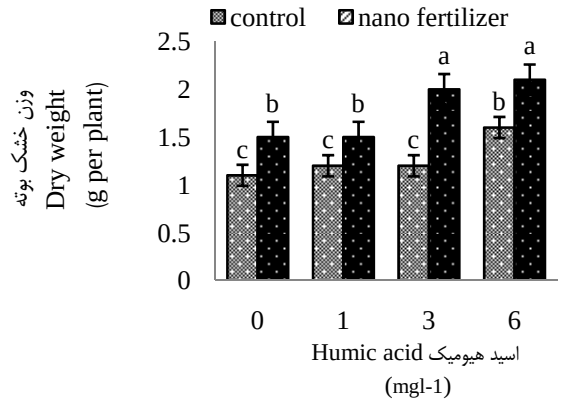
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمونLSD می‌باشد

Similar letters in each column indicate no significant difference at P < 0.05 based on LSD test

نتیجه‌گیری کلی

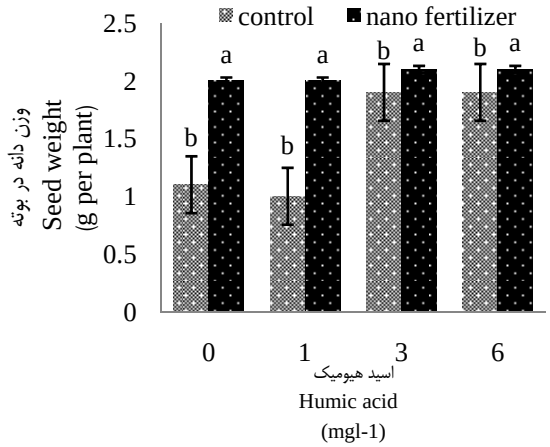
نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد نانوکودفارمکس و غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک به دلیل رشد رویشی بهتر، توسعه کانوپی و در نتیجه استفاده مناسب تر از تشعشع خورشیدی و فتوسنتز بالا عملکرد اقتصادی بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشتند این افزایش عملکرد به افزایش تعداد کپسول و تعداد دانه در بوته مربوط بود. اسید هیومیک ، با بهبود نیتروژن برگ و افزایش سرعت فتوسنتز این گیاه، سرعت رشد وعملکرد گیاه را افزایش داد، همچنین نانوکود

فارمکس به دلیل دارا بودن طیف وسیعی از عناصر غذایی پرمصرف، کم مصرف و نانوذرات سیلیس موجب رهاسازی کنترل شده عناصر غذایی در تمام فصل رشد، افزایش نگهداری آب و فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی، افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی گردید، که این مسئله در نهایت موجب افزایش گلدهی، افزایش رشد زایشی و بهبود اجزای عملکرد و افزایش میزان اسانس سیاهدانه گردید. در مجموع کاربرد نانوکود فارمکس و اسید هیومیک در سیاهدانه قابل توصیه است همچنین می‌توانند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آلودگی زیست نقش مثبتی ایفا کنند.



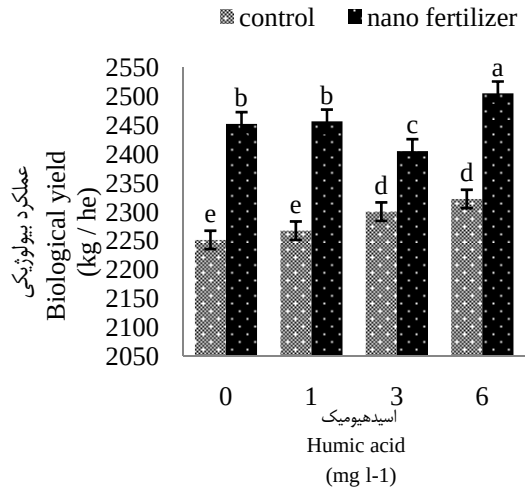
شکل۱- اثر متقابل نانوکودفارمکس × اسید هیومیک بر وزن خشک بوته گیاه سیاه‌دانه

Figure 1- Interaction effect between nanopharmax fertilizer ×humic acid on dry weight of *Nigella sativa*L.



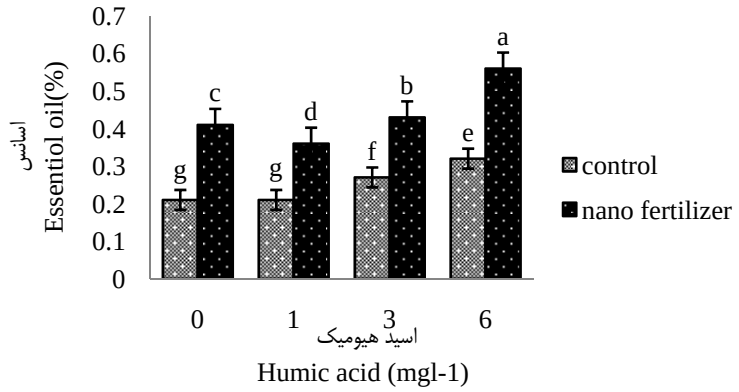
شکل۲- اثر متقابل نانوکودفارمکس × اسید هیومیک بر وزندانه در بوته سیاه‌دانه

Figure2-Interaction effect between nanopharmax fertilizer ×humic acid on *Nigella sativa* L. seedweightper plant



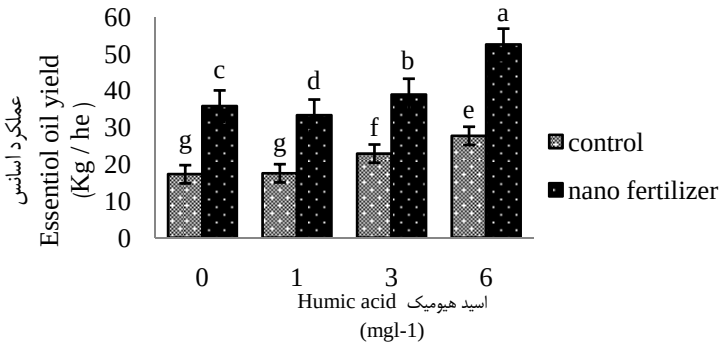
شکل ۳- اثر متقابل نانوکودفارمکس × اسید هیومیک بر عملکرد بیولوژیکی گیاه سیاه‌دانه

Figure 3- Interaction effect between nanopharmax fertilizer ×humic acid on biological yieldof *Nigella sativa* L.



شکل ٤- اثر متقابل نانوکودفارمکس ×اسید هیومیک برمیزان اسانس گیاه سیاه‌دانه

Figure 4- Interaction effect between nanopharmax fertilizer ×humic acid on essential oilcontent of *Nigella sativa* L.



شکل ٥- اثر متقابل نانوکودفارمکس × اسید هیومیک برعملکرداسانس گیاه سیاه دانه

Figure5- Interaction effect between nanopharmax fertilizer ×humic acid on essential oil yield of *Nigella sativa* L.

منابع

1-Albayrak S., and Camas N. 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leafyield and yield component of Forage turnip (*Brassica rapa*L.). Journal of Agronomy, 42: 130-133.

2-Amuamuha L.,PirzadA.,andHadi H. 2012.Effect of varying concentrations and time of nanoiron foliar application on the yield and essential oil of pot Marigold*(Calendula officinalis* L).Journal of Applied and Basic Sciences, 3(10): 2085-2090.

3- Arancon Q., Edwards C.A., Lee S., and Byrne R. 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth.European Journal of Soil Biology, 42: 865-869.

4-Ayas H., and Gulser F. 2005.The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach *(Spinaciaoleracea*L.*)*.Journal of biological sciences, 5(6): 801- 804.

5-Azarpou A. 2012.Evaluation and determination of the best time of priming and priming solution levels for germination indexes of fenugreek *(Trigonellafoenumgracum*L.*)*.Journal of Agricultural and Biological Science, 7(3):141-146.

6- Balakumbahan R., and Rajamani K. 2010.Effectof bio stimulants on growth and yield of Senna*(Cassia angustifolia L.)*.Journal of Horticultural Sciences, 2(1): 16-18.

7- Befrozfar M.R., Habibi D., Asgharzadeh A., Sadeghi- Shoae M., and Tookalloo M.R. 2013. Vermicompost, plant growth promoting bacteria and humic acid can affect the growth and essence of sweet basil(*Ocimumbasilicum*L.*)*. Annals of Biological Research, 4(2): 8-12.

8-Baghayi N., Keshavarzan N., and Nazaran M.M. 2011.Effect of Khazranano-chelated iron fertilizer on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.*)*.1th National Conference on Modern Topicsin Agriculture.

9-Bozorgi H.M. 2013.Study effects of nitrogen fertilizer management under nao iron chelate foliar spraying on yield components of eggplant*(Solanummelongena*L.*)*. Journal of Food Science and Technology 5(4): 398-403.

10- Cacilia R., Juarez R., Craker L., and Mendoza A. 2011. Humic substances and moisture content in the production of biomass and bioactive constituents of Thyme (*Thymus vulgaris.*L.*)*.Articulocientifico, 34(3):183-188.

11-Chen Y., Clapp C.E., and Magen H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. SoilScience and Plant Nutrition,50:1089-1095.

12-Cu H., Sun C., Liu Q., Jiang J., and Gu W. 2006. Applications of nanotechnology in agrochemical formulation, perspectives, challenges and strategies. P. 1-6. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture.Chinese Academy of Agricultural Sciences. Beijing. Chin.

13- Derosa M.R., Monreal C, Schnitzer M., Walsh R., and Sultan Y. 2010.Nanotechnology in fertilizers.NatureNanotechnol, 5:91.

14-Davazdahemami S.,andMajnoonhossein N.2008. Cultivation and production of some medicinal and spice plants. Tehran University Publication.300 pages.

15- El-Ghamry A., Kamar M., El- Hai A., and Khalid G. 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of Broad bean (*Faba vulgaris* L. *)* cultivated in clayey soil.Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(2): 731-739.

16-Griffe P., Metha S., and Shankar D. 2003. Organic production of medicinal, aromatic and dye-yielding plants (MADPs): Forward, Preface and Introduction, FAO.

17-Ghorbani S., Khazayi H.M, Kafi M., Banayanaval M.2010.Effect of Humic acid in irrigation water on yield and yield components of maize**(***Zea mays* L.).Journal of Ecology, 2(1):131-123.(In Persian with English abstract).

18-Hassanpouraghdam M.B., Tabatabaie S.J., Nazemiyeh H. and Aflatuni A. 2008. N and nutrition levels affect growth and essential oil content of costmary *(Tanacetumbalsamita L.)*. Food, Agriculture and Environment, 6(2): 150 -154.

19-Khazaie H.R., EyshiRezaie E., and Bannayan M. 2011. Application times and concentration of humic acid impact on above ground biomass and oil production of hyssop *(Hyssopusofficinalis)*. Medicinal Plants Research, 5(20):5148-5154.

20- Keshavarz N., BaghayiN.,andGhafari M. 2011.Effect of foliar applications of chelated iron nano-organic fertilizer on quantitative and qualitative properties of dryl and wheat*(Triticumaestivum*L.*)*.1thNational Conference on Modern opicsinAgriculture.SavehIslamic Azad University.

21-Khoramdel S., kuchaki A., NasiriMahalati M., and Ghorbani R. 2008.Effect of biofertilizers on growth indices of black cumin *(Nigella sativa* L.).Journal ofAgriculture Research,6:294-285.(In Persian with English abstract).

22- Monreal C.M. 2010. Nanofertilizers for Increased N and P Use Efficiencies by Crops. p. 12-13. In summary of information currently provided to MRI concerning applications for Round of the Ontario Research Fund-Research Excellence program.

23- Musazadeh M., Baradaran R., and Seghatoleslami M.M. 2009. Investigation of density and spraying time effects on theyield and yield components and harvest index of black cumin*(Nigellasativa*L.).Journal of Agriculture Research,8:42-48. (In Persian with English abstract).

24- Nazaran M.H., Khalaj H., Labafi M.R., Shamsabadi M., andRazaziA.2009.Investigation of iron chelatednano-organic fertilizer spraying time effect on quantitative and qualitative dryl and wheat*(Triticumaestivum*L.*)*.Second

National Conference on Application of Nanotechnology in Agriculture.Seed and Plant Improvement Institute. Karaj.16th to 15th October.

25- NazariM., Mehrafarin A., NaghdibadiH., andKhalighi-sigaroodiF. 2012.Morphological traits of sweet basil*(Ocimumbasilum*L.) as influenced by foliar application of methanol nano-iron chelate fertilizers.Annals of Biological Research, 3 (12):5511-5514.

26- Omidbaigi R. 2009. Production and processing of medicinal plant (3 rdedition.Vol. 1).RazaviGhodsAstan Publication.347 pp.

27- Prasad T.N., Sudhakar P., Sreenivasulu Y., Latha P., Munaswamy V., Raja Reddy K., Sreeprasad T.S., Sajanlal P.R., and Pradeep T. 2012. Effect of nanoscales Zinc Oxide on the germination, growth and yield of peanut*(Arachishypogaea*L).Journal of Plant Nutrition, 35: 905-912.

28- Shaalan M.N. 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality ofblack cumin(*Nigella sativa* L.*)* plants. Egyptian Journal of Agricultural Research, 83:811-828.

29-Shaban S.H.A., Manal F., and Afifi H.M.N. 2009. Humicacid Foliar application to Minimize soil applied fertilization of surface- irrigated Wheat*(Triticumaestivum*L.).Journal of Agricultural science,5(2):207-210.

30-Soumare M.F., Tack M.G., and Verloo M.G. 2003.Effect of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. Bioresource Technology, 86: 15-20.

31-Terzi A., Coban S., Yildiz F., Ates M., Bitiren M., Taskin A., and Aksoy N. 2010. Protective effects of black cumin(*Nigella sativa*L.*)*on intestinal ischemia-reperfusion injury in rats, Journal of Investigative Surgery, 23(1): 21-27.

32- Zhang L., Hong F., Lu S., and Liu C. 2005. Effect of nano TiO2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach (*Spinaciaeracealo*L.).Biological Trace Element Research 105: 83–9.