بررسی اثر کیتوزان و نانوکیتوزان بر خصوصیات زراعی و اسیدهای چرب امگا ۳، ٦ و ۹ در برخی ارقام گیاه دارویی (*Nigellasativa* L.) تحت تنش خشکی

آتنا علاقمند[۱]، شهاب خاقانی[۲*]، محمدرضا بی همتا[۳]، مسعود گماریان[٤]، منصور قربان‌پور[٥]

[۱]دکتری، گروه گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

[۲]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

[۳]استاد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[٤]استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

[٥]دانشیار، گروه گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش:۹۸/۰٤/۲۵

چکیده

تنش آبی یکی از عوامل محدود کننده رشد گیاهان می‌باشد. به منظور بررسی اثر کیتوزان و نانوکیتوزان بر گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک در سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. کرت اصلی شامل محلول‌پاشی با کیتوزان، نانوکیتوزان و شاهد و کرت فرعی شامل ارقام اراک، آذربایجان، سمیرم، یاسوج و تربت‌حیدریه بود. از ابتدای کاشت تا مرحله گلدهی آبیاری منظم وسپس آبیاری قطع و اقدام به محلول‌پاشی شد. بعد از ظهور ۸۰ درصد گلچه در مزرعه نمونه‌برداری از کرتها انجام و صفات تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول در گیاه، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و درصد روغن مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد روغن و درصد اسیدهای چرب با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی اندازه گیری شد. نتایج آزمایش نشان داد که اعمال تنش خشکی اجزاء عملکرد سیاهدانه را کاهش داد ولی سبب ارتقاء فاکتورهای کیفی همچون درصد روغن و برخی از اسیدهای چرب شد.بیشترین درصد روغن دانه در رقم آذربایجان (۲۸/۷٦ درصد) و کمترین در رقم سمیرم (۲٦/۳۹ درصد) مشاهده گردید.رقم یاسوج را میتوان به واسطه داشتن مقادیر بالای تعداد کپسول، وزن هزار دانه و وزن در متر مربع به عنوان رقم متحمل به تنش خشکی در نظر گرفت. تاثیر نانوکیتوزان در تعدیل اثرات ناشی از تنش بهتر از کیتوزان بود. ارقام آذربایجان و سمیرم بیشترین مقدار اولئیک‌اسید (امگا۹)، رقم یاسوج بیشترین مقدار لینولئیک اسید (امگا٦) و ارقام تربت حیدریه و اراک بیشترین مقدار لینولنیک اسید (امگا۳) را به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: اسید چرب، تنش، سیاهدانه،کیتوزان، نانوکیتوزان

[*]نویسنده مسئول: sh-khaghani@iau-arak.ac.ir

مقدمه

خشکی یکی از مهمترین عوامل زیان بار تولید محصولات زراعی در نواحی خشک و نیمه خشک جهان می‌باشد و بیشتر مناطق ایران با متوسط بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر دارند، جزو این مناطق به حساب می‌آیند. گیاهان با استفاده از راهکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی به همراه ویژگی‌های آناتومیک می‌توانند از اثرات منفی تنش خشکی بکاهند (Hefny et al., 2011). محدودیت آبیاری یکی از عوامل نقصان عملکرد سیاهدانه در شرایط اقلیمی ایران می‌باشد. لذا استفاده از روش‌هایی که منجر به کاهش خسارت این تنش شوند می‌تواند مفید باشد. یکی از روش‌هایی که اخیرا مورد توجه محققین قرار گرفته است استفاده از بیو پلیمر کیتوزان می‌باشد.کیتوزان یک پلیمر زیستی است که از جزء کیتین سخت پوستان، قارچ‌ها و بند پایان به‌دست می‌آید و بعد از سلولز فراوان ترین پلی ساکارید در سطح زمین می‌باشد (Akakuru et al., 2018). کیتوزان ماده ای غیر سمی، آب دوست، زیست تخریب‌پذیر، ضدباکتری و سازگار با محیط زیست است که در سالهای اخیر کاربرد زیادی دارد (Liu et al., 2007). کیتوزان دارای یک خاصیت منعکس کننده ی نور و ضد تعرقی میباشد که باعث کم شدن، از دست رفتن آب از گیاه و در نتیجه خنک شدن گیاه می‌شود (Muchate et al., 2016). تحقیقات محققین نشان می دهد که کیتوزان و مشتقات آن می‌تواند در کاهش تنش در گیاهان موثر باشد. به‌طوری‌که از توانایی کلاته شدن فلزات سنگین توسط کیتوزان، با کیتوزان تجزیه شده توسط اشعه گاما برای کاهش تنش در برنج استفاده شده است (Pongprayoon et al., 2013). کاربرد کیتوزان به صورت محلول پاشی میزان تعرق را از طریق بسته شدن روزنه‌ها به میزان ۲۶ تا ۴۳ درصد کاهش داد (Dehghani et al., 2019). در تحقیقی دیگر محلول پاشی کیتوزان روی برگ قهوه میزان تعرق را در برگها به میزان ۱۱ درصد کاهش داد (Nam, 2008). به نظر می‌رسد محلول پاشی با ترکیبات کیتوزان از طریق افزایش تنظیم کننده‌های اسمزی مانند پرولین و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی‌غشا از اثرات منفی تنش را در گیاهان بکاهند (Emami Bistgani et al., 2017). سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی از خانواده آلاله، علفی، یکساله با ساقه‌های ایستاده به ارتفاع ۷۰-۶۰ سانتی‌متر است. میوه این گیاه کپسول بوده و درون آن تعداد زیادی دانه سیاه و معطر وجود دارد (Davazdah-Emami and Majnon Hosseini, 2009). این گیاه در برخی نقاط ایران به‌صورت خودرو و در برخی نقاط دیگر به صورت زراعی کاشته می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنعت غذایی و دارویی کشور دارد (Bhat et al., 2013). دانه این گیاه منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و غیر اشباع مانند لینولئیک اسید و اولئیک اسید و نیز ترکیبات دیگر مثل روغن، فسفولیپیدها، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم می‌باشد (Mardanlo et al., 2018). این گیاه در مناطقی پرورش می‌یابد که میانگین بارندگی سالانه حدود ۴۰۰ میلی‌متر باشد.

تحقیقات زیادی در مورد تاثیر کیتوزان بر گیاهان در شرایط تنش انجام شده است. اما اطلاعات زیادی در مورد تاثیر کیتوزان و نانوکیتوزان بر گیاه سیاهدانه در شرایط تنش آبی اجرا نشده است، لذا هدف این تحقیق بررسی اثر کیتوزان و نانوکیتوزان بر خصوصیات زراعی اکوتیپ‌های مختلف گیاه سیاهدانه تحت تنش آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی تاثیر کیتوزان و نانو کیتوزان بر تنش خشکی گیاه سیاهدانه و بر شاخص‌های رشد و عملکرد امگا ۳ و ۶ و ۹ در

بذرهای گیاه سیاه دانه، در مزرعه ای واقع در دانشگاه آزاد اسلامی واقع در ۱۰ کیلومتری شهر اراک با مشخصات اقلیمی طول جغرافیایی ۴۹/۵۱ درجه، عرض جغرافیایی ۳۳/۵۲ درجه، ارتفاع از سطح دریا ۱۸۸۰ متر، حداقل درجه حرارت ثبت شده ۸- درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت ثبت شده ۳۵ درجه سانتیگراد تحت نظارت دانشگاه آزاد اسلامی اراک در سال ۱۳۹۵ به اجرا درآمد.خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده مزرعه مطابق جدول ۱ ارائه شده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش نیز در جدول ۲ ارائه گردیده است. این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. کرت اصلی دارای سه سطح محلول‌پاشی (کیتوزان، نانوکیتوزان و شاهد) و کرت فرعی شامل ۵ رقم سیاهدانه شامل (اراک، آذربایجان، سمیرم، یاسوج و تربت حیدریه) بود.

جدول ۱: جدول خصوصیات شیمیایی آب مزرعه محل آزمایش

سختی کل	هدایت الکتریکی	نیترات (ppm)	pH
٤٧٠	١٨٥٠	٤٥	٧

بذور گیاه سیاهدانه گونه ساتیوا از پنج منطقه ایران شامل اراک (مرکز تحقیقات گیاهان دارویی اراک)، بذر یاسوج (شرکت سدرین داروی البرز)، بذر سمیرم (مرکز تحقیقات اصفهان)، بذر آذربایجان (مرکز تحقیقات آذربایجان غربی) و بذر تربت حیدریه (مرکز تحقیقات مشهد) تهیه گردید.کیتوزان مورد استفاده ساخت شرکت مرک آلمان بود و برای تهیه محلول نانو ذرات کیتوزان، مقادیر مشخصی کیتوزان در اسید استیک یک درصد حل و سپس با آب مقطر رقیق و بر روی هیتر به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد با ١٤٠٠ دور قرار داده شده و اسیدیته محلول با هیدروکسید سدیم ۱ درصد به اسیدیته ٦/٥ تنظیم شد (Li et al., 2008). کلیه عملیات زراعی در هر سه پلات اصلی یکسان اجرا گردید. از ابتدای کاشت تا مرحله گلدهی آبیاری به طور منظم انجام شد ولی در مرحله گلدهی آبیاری قطع گردید و هر سه پلات اصلی وارد مرحله تنش شدند. در این مرحله دو کرت از سه کرت اصلی با محلول کیتوزان و نانوکیتوزان محلول‌پاشی شدند به نحوی که تمام سطح برگ با محلول‌های مورد نظر خیس گردید. بعد از اینکه ۸۰ درصد مزرعه گلچه ظاهر شد از هر کرت‌های آزمایشی نمونه برداری شد و صفات تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول در گیاه،ارتفاع بوته،وزن هزار دانه، وزن در مترمربع و درصد روغن مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد روغن با استفاده از روش Anon و همکاران (۱۹۹۸) و درصد اسیدهای چرب با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی تهیه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین تیمارها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

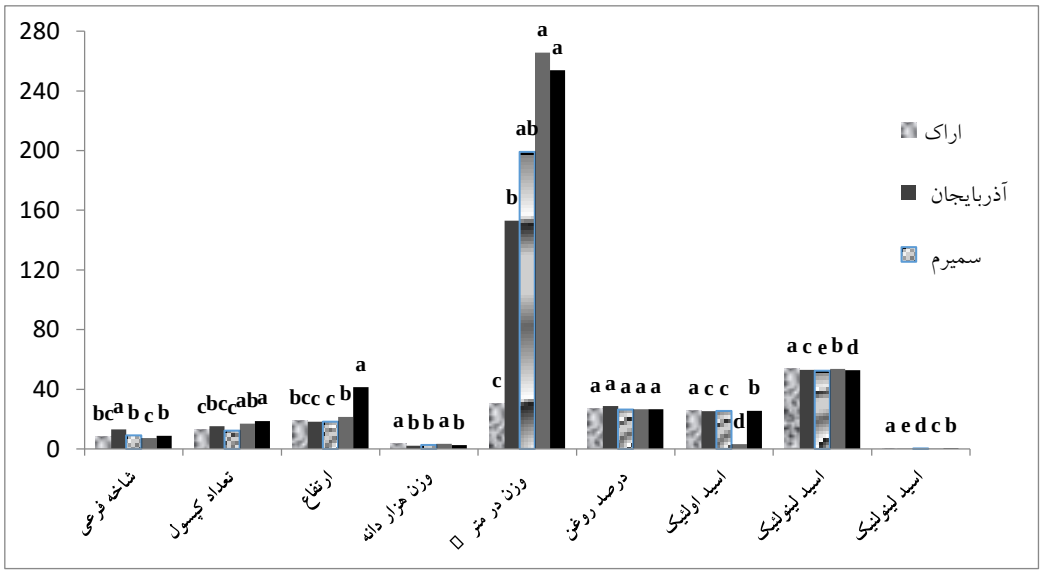
نتایج

صفت تعداد شاخه فرعی: نتایج آزمایش نشان داد محلول پاشی و همچنین ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی ایجاد کردند (جدول ۳). همچنین اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی تاثیر بسیار معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۳). بیشترین و کمترین تعداد شاخه

فرعی در تیمارهای نانو کیتوزان و شاهد به ترتیب با ۱۱/۵۰ و ۷/٦٥ عدد مشاهده شد. (جدول ٤). همچنین بیشترین و کمترین تعداد شاخه فرعی در ارقام آذربایجان و یاسوج به‌ترتیب با ۱۳/۰۸ و ۷/۲۵ عدد بود (شکل ۱). بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار نانو کیتوزان و رقم آذربایجان مشاهده شد (۱۵/۲۵ عدد) و کمترین تعداد شاخه فرعی نیز در تیمار کیتوزان و رقم اراک (٦ عدد)مشاهده شد (جدول ٥).

صفت تعداد کپسول: محلول پاشی و همچنین ارقام مورد مطالعه سیاهدانه تاثیر بسیار معنی‌داری بر تعداد کپسول داشتند ($P\leq$ ۰/۰۱) (جدول ۳). بیشترین و کمترین تعداد کپسول نیز با کاربرد محلول نانو کیتوزان و شاهد مشاهده شد (به‌ترتیب ۱۹/۸۰ و ۱۲/۸۵ عدد). (جدول ٤). بیشترین و کمترین تعداد کپسول در ارقام تربت حیدریه و سمیرم ۱۸/۷۵ و ۱۲/۲۵ عدد وجود داشت. هرچند که بین ارقام اراک و سمیرم تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد (شکل ۱). بیشترین تعداد کپسول در تیمار نانو کیتوزان و رقم یاسوج به تعداد ۲۹/۵ عدد و کمترین در تیمار کیتوزان و رقم اراک با ۹ عدد مشاهده شد (جدول ٥).

صفت ارتفاع: تیمارهای محلول‌پاشی، ارقام سیاهدانه و همچنین اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع سیاهدانه در سطح ۱ درصد داشتند (جدول ۳). بیشترین ارتفاع در تیمار نانو کیتوزان با ۲٦/۰۷٥ سانتی‌متر مشاهده گردید (جدول ٤). همچنین بیشترین و کمترین ارتفاع در ارقام تربت حیدریه و آذربایجان به‌ترتیب با ٤۱/٥۲ و ۱۸/۱۷ سانتی‌متر مشاهده شد. (شکل ۱). بیشترین ارتفاع در تیمار شاهد و رقم تربت حیدریه به میزان ٤٦/۸۰ سانتی‌متر مشاهده شد. کمترین ارتفاع نیز در کیتوزان و رقم یاسوج (به میزان ۱۳/۷٥ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ٥).



شکل ۱: نمودار مقایسه میانگین مربوط به تاثیر ارقام مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده.

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف یکسان نشان داده شده‌اند بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار آماری هستند ($P\leq0.05$).

جدول ۲: جدول خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

رس	سیلت	شن	بافت خاک	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	نیتروژن کل	درصد مواد خنثی شونده	هدایت الکتریکی	کربن آلی	درصد اشباع	pH	آهن (ppm)	منگنز (ppm)	روی (ppm)	مس (ppm)
۲۴	۳۶	۴۰	لومی	۲۰/۲	۳۵۰	۰/۰۹	۱۰	۵/۶	۰/۹۱	۳۰/۸	۷/۵	۹/۳	۲۳/۱	۲	۱/۳

جدول ۳: جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به تاثیر ارقام و انواع محلولپاشی بر صفات اندازه‌گیری شده آزمایش

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (df)	تعداد شاخه فرعی	تعداد کپسول	ارتفاع	وزن هزاردانه	وزن در متر مربع	درصد روغن	اسیداولئیک	اسیدلینولئیک
بلوک	۳	۸/۷۷ ns	۵۶/۵۵ *	۱۱/۳۲ ns	۰/۶۴ ns	۱۰۹۰۴/۷۱ ns	۴۸/۷۲ ns	۰/۰۰۰۶ **	۰/۰۰۱ *
محلولپاشی	۲	۷۶/۳۲ *	۳۱۵/۲۲ **	۱۷۹/۵۲ **	۲/۵۰ **	۱۶۴۶۸/۳۶ ns	۷۳/۴۵ ns	۱۱/۹۲ **	۷/۷۴ **
خطا ×محلولپاشی	۶	۸/۶۰ *	۹/۲۲ ns	۹/۴۸ ns	۰/۲ ns	۷۷۷۱/۹۷ ns	۵۰/۸۶ *	۰/۰۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۱ ns
رقم	۴	۵۷/۵۷ **	۸۸/۴۰ **	۱۲۱۵/۳۴ **	۳/۸۹ **	۱۰۸۵۹۱/۲۰ **	۱۱/۲۸ ns	۱۲۰۵/۳۴ **	۴/۷۶ **
محلولپاشی	۸	۱۳/۶۹ **	۹۴/۰۵ **	۷۲/۹۳ **	۰/۸۰ ns	۲۱۹۴۲/۸۷ **	۱۰/۴۳ ns	۴/۵۴ **	۰/۷۶ **
خطا	۳۶	۳/۴۴	۱۵/۵۸	۱۱/۸۹	۰/۵۰	۷۱۳۱/۳۱	۱۸/۰۸	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱
CV		۱۹/۷۶	۲۵/۹۴	۱۴/۵۶	۲۴/۵۹	۴۶/۷۹	۱۵/۷۰	۰/۰۱	۰/۰۲

جدول ٤: جدول مقایسه میانگین مربوط به تاثیر محلولپاشی‌های مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده

محلولپاشی	تعداد شاخه فرعی	تعداد کپسول	ارتفاع (cm)	وزن هزاردانه (g)	وزن در متر مربع (g)	درصد روغن	اسیداولئیک	اسیدلینولئیک	اسیدلینولنیک
شاهد	۷/۶۵ b	۱۲/۸۵ b	۲۴/۶۶ a	۲/۴۵ b	۱۵۵/۰۴ a	۲۵/۳۰۶ a	۲۰/۷۳۵ b	۵۲/۵۲۴ c	۰/۲۲۹ c
کیتوزان	۹/۰۰ b	۱۳/۰۰ b	۲۰/۳۲۵ b	۳/۰۶ a	۱۷۴/۷۹ a	۲۹/۱۱۴ a	۲۰/۶۶۳ c	۵۳/۱۰۱ b	۰/۳۴۸ b
نانو کیتوزان	۱۱/۵۰ a	۱۹/۸۰ a	۲۶/۰۷۵ a	۳/۰۷ a	۲۱۱/۵۸ a	۲۶/۸۳۳ a	۲۲/۰۳۵ a	۵۳/۷۶۸ a	۰/۵۰۸ a

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف یکسان نشان داده شده‌اند بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار آماری هستند ($P\leq0.05$).

جدول ٥:جدول مقایسه میانگین مربوط به تاثیر متقابل محلولپاشی‌های مختلف و ارقام متفاوت بر صفات اندازه‌گیری شده سیاهدانه

محلولپاشی	تیمار رقم	تعدادشاخه فرعی	تعداد کپسول	ارتفاع (cm)	وزن هزاردانه (g)	وزن در متر مربع (g)	درصد روغن	لینولئیک اسید	اسیداولئیک	اسیدلینولنیک
شاهد	اراک	۶/۵۰ cd	۱۱/۲۵ de	۱۸/۵۰ de	۲/۹۷ abcd	۳۲/۸۸ d	۲۴/۷۳۳ ab	۵۳/۸۲ d	۲۶/۳۵ c	۰/۲۷ h
	آذربایجان	۹/۵۰ bc	۱۲ de	۲۱/۵۰ d	۱/۶۰ e	۱۴۰/۲۸ cd	۲۷/۶۲۵ ab	۵۲/۰۱ l	۲۵/۲۷ f	۰/۰۷ k
	سمیرم	۶/۷۵ cd	۱۰ de	۱۵/۷۵ de	۱/۹۷ cde	۲۱۳/۷۳ bc	۲۲/۳۱۳ b	۵۲/۰۱ l	۲۳/۷۷ i	۰/۱۸ j
	یاسوج	۶/۵۰ cd	۱۲ de	۲۰/۷۵ d	۳/۳۶ ab	۱۸۹/۳۰ bc	۲۵/۲۵۰ ab	۵۳/۱۸ g	۳/۱۰ l	۰/۳۲ e
	تربت حیدریه	۹ bcd	۱۹ bc	۴۶/۸۰ a	۲/۳۶ bcde	۱۹۹/۰۳ bc	۲۶/۶۰۸ ab	۵۱/۵۸ m	۲۵/۱۷ g	۰/۲۹ g
کیتوزان	اراک	۶ d	۹ e	۱۷ de	۳/۸۰ a	۲۷/۸۸ d	۲۹/۴۵۰ ab	۵۳/۹۰ c	۲۴/۹۵ h	۰/۵۷ b
	آذربایجان	۱۴/۵۰ a	۱۹/۲۵ bc	۱۶/۷۵ de	۱/۸۷ de	۱۵۵ cd	۳۰/۷۲۵ a	۵۳/۰۲ j	۲۳/۷۷ i	۰/۲۸ g
	سمیرم	۱۰ b	۱۱/۲۵ de	۱۸/۲۵ de	۲/۹۲ abcd	۲۰۴/۲۰ bc	۲۹/۵۸۰ ab	۵۲/۱۶ k	۲۵/۲۷ f	۰/۲۳ i
	یاسوج	۶/۷۵ cd	۹/۲۵ e	۱۳/۷۵ e	۳/۸۰ a	۱۷۰/۶۵ c	۲۶/۶۰۸ ab	۵۳/۲۸ f	۳/۱۴ k	۰/۳۴ d
	تربت حیدریه حیدریه	۷/۷۵ bcd	۱۶/۲۵ bcd	۳۵/۸۷ b	۲/۹۲ abcd	۳۱۶/۲۰ ab	۲۸/۹۰ ab	۵۳/۱۳ h	۲۶/۱۷ d	۰/۳۰ f
نانو کیتوزان	اراک	۱۳/۲۵ a	۱۸/۵۰ bc	۲۱/۲۵ d	۳/۷۳ a	۳۱/۱۵ d	۲۷/۰۵ ab	۵۴ b	۲۶/۹۲ b	۰/۷۲ a
	آذربایجان	۱۵/۲۵ a	۱۴/۵۰ cde	۱۶/۲۵ de	۳/۱۰ abc	۱۶۳/۹۵ cd	۲۷/۹۲۵ ab	۵۳/۹۰ c	۲۷/۲۷ a	۰/۳۲ e
	سمیرم	۱۰/۵۰ b	۱۵/۵۰ bcde	۲۰/۷۵ d	۳/۰۵ abc	۱۷۹/۳۰ bc	۲۷/۲۸۳ ab	۵۳/۰۴ i	۲۷/۲۷ a	۰/۳۸ c
	یاسوج	۸/۵۰ bcd	۲۹/۵۰ a	۳۰/۲۵ c	۳/۰۷ abc	۴۳۷/۰۸ a	۲۷/۵۳ ab	۵۴/۴۶ a	۳/۴۲ j	۰/۳۸ c
	تربت حیدریه	۱۰ b	۲۱ b	۴۱/۸۷ a	۲/۴۰ bcde	۲۴۶/۴۳ bc	۲۴/۳۷۵ ab	۵۳/۴۲ e	۲۵/۲۸ e	۰/۷۲ a

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف یکسان نشان داده شده‌اند بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار آماری هستند($P\leq0.05$).

صفت وزن هزار دانه: محلول‌پاشی تاثیر بسیار معنی‌داری بر وزن هزار دانه در سطح ۱ درصد داشت. در حالی که تاثیر متقابل رقم و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین و کمترین مقادیر وزن هزار دانه در تیمارهای نانو کیتوزان با ۳/۰۷ گرم و شاهد با ۲/٤٥ گرم بود. (جدول ٤). همچنین بیشترین و کمترین وزن هزار دانه در رقم اراک و آذربایجان مقادیر ۳/۵۰ و ۲/۱۹ گرم بود. بین تیمارهای اراک و یاسوج و نیز ارقام آذربایجان، سمیرم و تربت حیدریه تفاوت آماری معنی داری دیده نشد (شکل ۱). بیشترین وزن هزار دانه در تیمارهای کیتوزان و رقم اراک وکیتوزان و رقم یاسوج مقدار ۳/۸۰ گرم و کمترین مقدار در شاهد و رقم آذربایجان با ۱/٦۰گرم مشاهده گردید (جدول ۵).

صفت وزن در مترمربع: ارقام مختلف تاثیر بسیار معنی‌داری بر صفت وزن در متر مربع در سطح ۱ درصد داشتند (جدول ۳). اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی بر این صفت بسیار معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن در متر مربع در تیمار نانو کیتوزان با ۲۱۱/۵۸ گرم و کمترین در تیمار شاهد با ۱۵۵/۰٤ گرم مشاهده گردید (جدول ٤). بیشترین و کمترین مقدار صفت وزن در متر مربع در رقم یاسوج با ۲٦۵/٦۸ گرم و رقم اراک با ۳۰/٦۳ گرم بود. بین تیمارهای یاسوج و تربت حیدریه تفاوت آماری معنی داری دیده نشد (شکل ۱). بیشترین وزن در متر مربع در تیمارنانو کیتوزان و رقم یاسوج (٤۳۷/۰۸ گرم) بود در حالی که کمترین مقدار وزن در متر مربع در تیمار کیتوزان و رقم اراک (۲۷/۸۸ گرم) مشاهده شد (جدول ۵).

صفت درصد روغن: ارقام سیاهدانه مورد مطالعه، محلول‌پاشیو اثر متقابل آن‌ها تاثیر آماری معنی‌داری بر درصد روغن نداشتند (جدول ۳). بیشترین و کمترین درصد روغن دانه در تیمار کیتوزان با ۲۹/۱۱٤ درصد و شاهد با ۲۵/۳۰٦ درصد مشاهده شد. هر چند بین تیمارهای کیتوزان و نانوکیتوزانتفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). همچنین بیشترین درصد روغن دانه در رقم آذربایجان با ۲۸/۷٦ درصد و کمترین مقدار نیز در رقم سمیرم با ۲٦/۳۹ درصد مشاهده شد. قابل ذکر است که بین ارقام مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد (شکل ۱). بیشترین درصد روغن دانه در تیمار کیتوزان و رقم آذربایجان (۳۰/۷۲۵ درصد) مشاهده شد در حالی که کمترین درصد روغن در تیمار شاهد و رقم سمیرم (۲۲/۳۱۳ درصد) مشاهده شد (جدول ۵).

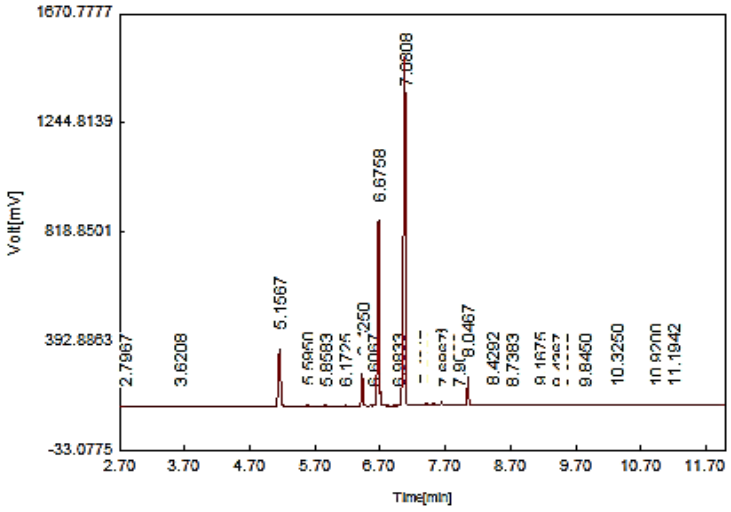
میزان اولئیک اسید: محلول‌پاشی، ارقامو همچنین اثر متقابل آنها تاثیر بسیار معنی‌داری بر میزان اولئیک اسید در سطح ۱ درصد ایجاد کردند (جدول ۳). بیشترین و کمترین اولئیک اسید با نانو کیتوزان با ۲۲/۰۳۵ گرم بر ۱۰۰ و کیتوزان با ۲۰/٦٦۳ گرم بر ۱۰۰ برآورد شد (جدول ٤). همچنین بیشترین اولئیک اسیددر رقم اراک با ۲٦/۰۸ گرم بر ۱۰۰ و کمترین اولئیک اسید در رقم یاسوج با ۳/۲۲ گرم بر ۱۰۰ مشاهده شد (شکل ۱). تیمارهای نانو کیتوزان و رقم آذربایجان و نیز نانو کیتوزان و رقم سمیرم بالاترین مقدار اولئیک اسید با ۲۷/۲۷ گرم بر ۱۰۰ و تیمار شاهد و رقم یاسوج پایین‌ترین مقدار اولئیک اسید را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

میزانلینولئیک اسید: محلول‌پاشی، ارقام و اثر متقابل آن‌ها تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح ۱ درصد ایجاد کردند (جدول ۳). بیشترین مقدار لینولئیک اسید در تیمار نانو کیتوزان با ۵۳/۷٦۸ گرم بر ۱۰۰ و کمترین در تیمار شاهد با ۵۲/۵۲٦ گرم بر ۱۰۰ مشاهده گردید (جدول ٤). بیشترین و کمترین ارقام در اندازه گیری لینولئیک اسید، اراک و سمیرم با مقادیر ۵۳/۹۱ و ۵۲/٤۱ گرم بر ۱۰۰ بودند (شکل ۱). بیشترین میزان لینولئیک اسیددر تیمار نانو کیتوزان و رقم یاسوج

(٥٤/٤٦ گرم بر ١٠٠) مشاهده شد. در حالی که کمترین مقدار لینولئیک اسیددر تیمار شاهد و رقم تربت حیدریه (٥١/٥٨ گرم بر ١٠٠) مشاهده گردید (جدول ٥).

میزان لینولنیک اسید: محلول‌پاشی، ارقام و اثر متقابل آن‌ها تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح ١ درصد ایجاد کردند (جدول ٣). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار لینولنیک اسید نیز با کاربرد نانو کیتوزان و شاهد مشاهده شد (به‌ترتیب ٠/٥٠٨ و ٠/٢٢٩ گرم بر ١٠٠) (جدول ٤). بیشترین و کمترین مقدار لینولنیک اسیددر ارقام اراک و آذربایجان با ٠/٥٢ و ٠/٢٣ گرم بر ١٠٠ وجود داشت (شکل ١). بیشترین میزان لینولنیک اسیددر تیمارهای نانو کیتوزان و رقم تربت حیدریه و نانو کیتوزان و رقم اراک (٠/٧٢ گرم بر ١٠٠) و کمترین در تیمار شاهد و رقم آذربایجان (٠/٠٧ گرم بر ١٠٠)مشاهده شد (جدول ٥).

میزان و نوع اسیدهای چرب توسط دستگاه GC اندازه گیری شد (شکل ٢). در روغن استخراج شده از گیاه سیاهدانه رقم اراک، ١٢ ترکیب شناسایی گردید که در مجموع ٩٩/٣٥ درصد کل اسیدهای چرب این گیاه را تشکیل می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که لینولئیک اسید (امگا ٦) بیشترین اسید چرب غیر اشباع بوده که مقدار آن ٥٤/٣٩ درصد است. بالاترین مقدار اسید چرب اشباع نیز مربوط به پالمیتیک اسید با ١٢ درصد است. مقدار اولئیک اسید (امگا ٩) ٢٥/٤٢ درصد است (شکل ٢).



شکل ٢: کروماتوگرام اسیدهای چرب موجود در بذر رقم اراک گیاه سیاهدانه

بحث

تنش خشکی به عنوان یک فاکتور محیطی مهم رشد و عملکرد گیاه سیاهدانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تعداد شاخه‌های فرعی نقش مهمی در تشکیل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه دارد. افزایش تنش خشکی موجب افزایش سرعت گذر گیاه از مرحله رویشی و رساندن خود به مرحله رشد زایشی می‌شود که این امر سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی گیاه در تنشهای بالاتر می‌شود (Mardanlo et al., 2018). فراوانی و همکاران (Faravani et al., 2006) با بررسی تنوع در ٢٨ توده سیاهدانه در نقاط مختلف خراسان، اعلام کردند که

افزایش تنش خشکی، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های فرعی را به طور معنی داری کاهش داده به نحوی که بیشترین تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه در تیمار آبیاری کامل به دست آمد. محلولپاشی نانوکیتوزان در شرایط تنش نه تنها تاثیر منفی تنش بر کاهش تعداد شاخه فرعی را جبران نموده بلکه منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی گردید. با توجه به اینکه سیاهدانه گل انتهایی داشته و رشد محدود است و گل و میوه فقط در انتهای هر شاخه تشکیل می‌شود، بنابر این تعداد فولیکول در گیاه از تعداد شاخه‌های گل دهنده تبعیت می‌کند. به‌طوری‌که همبستگی مثبتی بین تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد فولیکول در گیاه دیده شده است (Kabiri et al., 2014). در این پژوهش با اعمال تنش خشکی تعداد کپسول در بوته در محلولپاشی‌ها و ارقام مورد مطالعه کاهش یافت. کاهش تعداد کپسول در بوته سیاهدانه تحت تاثیر تنش خشکی، توسط قربانلی و همکاران (Ghorbanli et al., 2011) و قمرنیا و همکاران (Ghamarnia et al., 2010) گزارش شده است. در تحقیق مردانلو و همکاران (Mardanlo et al., 2018) در شرایط تنش رقم کرمانشاه کمترین و رقم کرمان بیشترین تعداد کپسول در بوته را به خود اختصاص داده بودند. آنها همچنین بیان داشتند که صفات تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد کپسول در بوته بیشتر از سایر صفات مورد مطالعه تحت تاثیر تنش قرار گرفت و میتوان این صفات را به عنوان معیار انتخاب ارقام متحمل تنش خشکی بکار برد. محلولپاشی نانوکیتوزان در شرایط تنش موجب تعدیل خسارت خشکی گردید و تعداد کپسول را افزایش داد. محلولپاشی عناصر ریزمغذی کیتوزان باعث افزایش میزان کربوهیدراتهای محلول در زمان گلدهی شده و به افزایش تعداد غلاف در لوبیا کمک مینماید (Barary et al., 2014).

زارعی و همکاران (Zareie et al., 2013) اعلام کردند که خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. زیرا تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلولها در اثر کاهش فشار اسمزی درون سلول کاهش می‌یابد. کاهش ارتفاع گیاه به موازات افزایش تنش خشکی را میتوان به اختلال در فتوسنتز به واسطه تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ذخیره در اندامهای در حال رشد گیاه و نهایتا عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد (Zareie et al., 2013). زارع و همکاران (Zare et al., 2017) گزارش نمودند گیاهانی که کاهش بیشتری در ارتفاع بوته تحت تنش خشکی داشتند به میزان بیشتری تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند و ارتفاع گیاه می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت تشخیص ژنوتیپهای متحمل و انتخاب آنها برای محیط‌های حاوی تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد. محلول‌پاشی نانوکیتوزان در شرایط تنش باعث جبران اثرات منفی تنش بر ارتفاع گیاه شده و ارتفاع را افزایش داده است. ساز و کار عمل نانو کیتوزان روی رشد ناشناخته مانده است. در عین حال ممکن است رشد و نمو گیاه را توسط بعضی مسیرهای انتقال پیام مربوط به بیوسنتز اکسین و از طریق مسیر وابسته به تریپتوفان افزایش دهد (Uthairatanakij et al., 2007).

با اعمال تنش خشکی تعداد دانه در کپسول در ارقام سیاهدانه کاهش یافت که با نتایج رضاپور و همکاران (Rezapor et al., 2011) مطابقت دارد. در آزمایش مردانلو و همکاران (Mardanlo et al., 2018) در شرایط تنش، کمترین و بیشترین تعداد بذر در کپسول متعلق به ارقام هند و اراک بود. افزایش تعداد دانه در تنش‌های کمتر خشکی احتمالا به تعداد کپسول بیشتر، بزرگتر و رشد بهتر بوته‌ها مربوط می‌شود. کاهش تعداد دانه در میوه سیاهدانه تحت

شرایط تنش خشکی توسط قربانلی و همکاران (Ghorbanli et al., 2011) و قمرنیا و همکاران (Ghamarnia et al., 2010) گزارش شده است. طبق نتیجه گیری بنایان و همکاران (Bannayan et al., 2008) صفت تعداد دانه در فولیکول می‌تواند شاخص مفیدی برای انتخاب سیاهدانه در شرایط آبیاری محدود باشد. به نظر می‌رسد که محلولپاشی نانوکیتوزان و کیتوزان با دسترس قرار دادن مواد فتوسنتزی باعث بهبود تولید اندام زایشی گردد و این‌گونه بر تعداد دانه در غلاف تاثیر گذار است (Rezapor et al., 2011).

با اعمال تنش خشکی وزن هزار دانه در محلول‌پاشی‌ها و ارقام مورد مطالعه افزایش یافت. شعبانزاده و جلاوی (Shabanzadeh and Galavi, 2011) با افزایش شدت تنش، کاهش وزن هزار دانه گیاه دارویی سیاهدانه را گزارش دادند. وزن هزار دانه نشان دهنده وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آنجایی که با آغاز گلدهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌نمایند، باید بین وزن هزار دانه هنگامی که گیاه در حال تنش رطوبتی قرار میگیرد با خالت‌های نرمال تفاوت وجود داشته باشد. در مواردی که تفاوتی دیده نشد، گیاه از طریق کاهش تعداد دانه حداقل مواد مورد نیاز برای دانه‌های تکامل یافته را تامین کرده است. از طرفی به دلیل پایین بودن ذاتی وزن هزار دانه سیاهدانه شاید اثرات خشکی نتوانسته است نمایان شود (RezaeiChiyaneh and Pirzad, 2014). این نتایج با نتایج بدست آمده از این آزمایش مغایرت دارد. محلولپاشی نانوکیتوزان و به طور موثری تاثیر منفی تنش خشکی بر وزن هزار دانه را تعدیل نموده است. استفاده از کیتوزان و نانو کیتوزان باعث افزایش فعالیت آنزیمهای کلیدی متابولیسم نیتروژن و بهبود نقل و انتقالات نیتروژن تحت تنشهای محیطی می‌شود که باعث افزایش رشد و فتوسنتز و به طبع آن وزن صد دانه می‌شود (Sheikha, 2011).

اعمال تنش خشکی باعث کاهش وزن در متر مربع در سیاهدانه گردید. زارعی و همکاران (Zareie et al., 2013) کاهش عملکرد بیولوژیک را در اثر کاهش میزان آب قابل استفاده برای گیاه گلرنگ گزارش کردند. ایشان بیان داشتند که احتمالاً کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای تنش، جذب نور توسط گیاه را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک و وزن گیاه کاهش یافته است. محلول پاشی ترکیبات ضد تعرق در شرایط تنش خشکی، با توجه به تعداد فولیکول در گیاه، تعداد دانه در فولیکول و وزن دانه‌ها که هر سه از اجزای عملکرد سیاهدانه محسوب می‌شوند، منجر به حصول حداکثر عملکرد دانه شده است. کیتوزان باعث افزایش تعداد بذر در متر مربع گردید ولی نانو کیتوزان توانست خسارت ناشی از تنش خشکی را تعدیل کند و باعث افزایش تعداد دانه در متر مربع در شرایط تنش شود. کیتوزان به دلیل فعالیتهای زیستی خود به عنوان تحریک کننده ی رشد گیاهان شناخته می‌شود (Manjunatha et al., 2009) بدین جهت میتواند به بهبود عملکرد اقتصادی گیاه کمک نماید.

در این تحقیق، با اعمال تنش خشکی درصد روغن در محلول‌پاشی‌ها و ارقام مورد مطالعه افزایش یافت. نتایج رحمانی و همکاران (Rahmani et al., 2008) نشان داد که تنش خشکی درصد روغن را افزایش داد. زیرا در شرایط تنش، تولید مواد ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد. چون این مواد از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می نماید و در شرایط تنش افزایش می‌یابد. طبق گزارش ال- مکاوی (El-Mekawy, 2012) تنش خشکی قبل و بعد از گلدهی تاثیر مضری بر صفات سیاهدانه دارد. تنش بعد از

گلدهی باعث افزایش درصد روغن، ارتفاع و وزن هزار دانه نسبت به قبل از گلدهی می‌شود، اما هر دو حالت نسبت به شرایط بدون تنش کاهش در این صفات را نشان داد که نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

در آزمایش جهان تیغی (Jahantighi, 2012) درصد اسانس گیاه سیاهدانه تحت تاثیر تنش خشکی افزایش یافت که میزان افزایش، متاثر از مرحله رشدی گیاه بود. به‌طوری‌که تنش در مراحل زایشی میزان اسانس را بیشتر از مرحله رویشی افرایش داد و با افزایش شدت تنش (قطع آب در دو مرحله زایشی گیاه)، بر میزان اسانس دانه نیز افزوده شد. افزایش درصد اسانس سیاهدانه تحت تاثیر تنش خشکی توسط قربانلی و همکاران (Ghorbanli et al., 2011) گزارش شده است. البته گزارشهایی نیز در خصوص کاهش عملکرد اسانس تحت تاثیر تنش خشکی در گیاهانی مانند علف لیمو، بابونه آلمانی و اکلیل کوهی ارایه شده است (Jahantighi, 2012). در سال‌های اخیر، استفاده از مولکول‌های علامت دهنده به‌عنوان الیسیتور، به عنوان یک استراتژی موثر برای تولید متابولیت‌های ثانویه خاص در گیاه افزایش یافته است. بهبود در عملکرد اسانس با استفاده از کیتوزان ممکن است به‌دلیل افزایش در رشد چرخه، جذب مواد غذایی و یا تغییر در تعداد غده‌های ترشحی برگ و یا بیوسنتز مونوترپن‌ها باشد (Ghorbanli et al., 2011). نتایج بدست آمده از پژوهش قربانلی و همکاران (Ghorbanli et al., 2011) حکایت از آن دارد که مقدار پرولین، قندهای محلول و آنزیم‌ها تحت شرایط تنش کم آبی در گیاه سیاهدانه افزایش می‌یابد.

به‌طورکلی با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان داشت، گیاهانی که امکان کشت آنها در چند فصل وجود دارد مانند سیاهدانه، در برنامه‌ریزی تولید انبوه محصولات کشاورزی جایگاه ویژه ای دارند. سهولت تعیین تناوب زراعی و گریز از مواجه شدن با تنش‌های مختلف از جمله این مزیت‌هاست. رقم یاسوج را میتوان به واسطه داشتن مقادیر بالای تعداد کپسول، وزن هزار دانه و وزن در مترمربع به‌عنوان رقم متحمل به تنش خشکی در نظر گرفت. کیتوزان به‌دلیل خاصیت ضدتعرقی خود می‌تواند به تعدیل خسارت تنش خشکی در گیاهان کمک نماید. همچنین استفاده از نانوکیتوزان یک راهکار مناسب برای جبران اثرات منفی ناشی از تنش خشکی می‌باشد. اولئیک اسید یا امگا ۹ در استفاده از نانوکیتوزان در ارقام آذربایجان و سمیرم بیشترین مقدار به خود اختصاص داده است. لینولئیک اسید یا امگا ٦ در استفاده از نانوکیتوزان و رقم یاسوج بیشترین مقدار دارد. لینولنیک اسید یا امگا ۳ در شرایط تنش و استفاده از نانوکیتوزان در ارقام اراک و تربت حیدریه بیشترین مقدار را دارا است.

References

1. Akakuru, O.U., Louis, H., Amos, P.I., Akakuru, O.C., Nosike, E.I. and Ogulewe E.F. 2018. The Chemistry of Chitin and Chitosan Justifying their Nanomedical Utilities. Biochem Pharmacol, 7(1): 241- 247.
2. Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M. 2008. Yield and seed quality of Plantagoovata and Nigellasativa under different irrigation treatments. Industral and Crops Prodcut, 27: 11-16.
3. Barary, M., Kordi, S., Gerami, L.A., Hatami, A., Mehrabi, A.A. and Ghanbari, F. 2014. Improving tolerance to water deficit using Zn foliar spraying in two common bean cultivars. Journal Crop Improvement, 16 (3): 641- 652.
4. Bhatt, P.K., Patel, P.T., Patel, B.T., Raval, C.H., Vyas, K.G. and Ali, S. 2013. Productivity, quality, nutrient content and soil fertility of summer greengram (*Vigna radiata*) as influenced by different levels of vermicompost and phosphorus with and without

PSB.International Journal of Agricultural Sciences, 9: 659-662.
5. Davazdah-Emami, S. and Majnon Hosseini, N. 2009. Agriculture and the production of some medicinal plants and spices. Institute of Tehran University Publications and Printing, p 300. (In Persian)
6. Dehaghani, M.S., Naeemi, A., Alamdari, A. and Jabbari, H. 2019. Effects of chitosan foliar application on quantitative and qualitative characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under water deficit stress conditions. Iranian Journal of Medical Sciences, 5 (1): 121-133.
7. El-Mekawy, M.A.M. 2012. Growth and yield of Nigella sativa L. plant influenced by sowingdate and irrigation treatments. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 12(4): 499-505.
8. Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A. and Ghasemi Pirbalouti, A. 2017. The effect of drought stress and elicitor of chitosan on photosynthetic pigments, proline, soluble sugars and lipid peroxidation in Thymus deanensis Celak in Shahrekord climate. Environmental Stresses in Crop Sciences, 10: 12-19.
9. Faravani, M., Razavi, A.R. and Farsi, M. 2006. Study of variation in some agronomic and anatomic characters of *Nigella sativa* L. landraces in Khorasan. Iran J. Med. Aromatic Plants, 22 (3): 193-197. (In Persian)
10. Ghamarnia, H., Khosravy, H. and Sepehri, S. 2010. Yield and water use efficiency of *(Nigella sativa* L.*)* under different irrigation treatments in a semi arid region in the West of Iran. Journal of Medicinal Plants Research, 4(16): 1612-1616.
11. Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, G.R., SalimiElizei, S. and Hedayati, M. 2011. Effect of water deficit and its interaction with ascorbate on proline, soluble sugars, catalase and glutathione peroxidase amounts in Nigellasativa L. Iran Journal Medcinal and Aromatic Plants, 26(4): 466-476. (In Persian)
12. Hefny, M.M. 2011. Agronomical and biochemical responses of white lupin *Lupinus albus* L. genotypes to contrasting water regimes and inoculation treatments. Journal of American Science, 7 (3): 187-198.
13. Jahantighi, H. 2012. Effects of drought stress and different nitrogen levels on the quantitative and qualitative characteristics of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) in Siatan region. University of Zabol Graduate School Faculty of Agriculture Department of Agronomy the Thesis Submitted for the Degree of M.Sc. Pp. 132.
14. Kabiri, R., Farahbakhsh, H. and Nasibi, F. 2014. Effect of drought stress on physiologicaland biochemical characteristics of Nigella sativa L. Iran Journal Medicinal and Aromatic Plants, 30(4): 600-609. (In Persian)
15. Li, B., Wang, X., Chen, R., Huangfu, W.G. and Xie, G.L. 2008. Antibacterial activity of chitosan solution against Xanthomonas pathogenic bacteria isolated from Euphorbia pulcherrima. Carbohydrat Polymer, 72: 287-292.
16. Liu, C., Tan, Y., Liu, C., Chen, X. and Yu, L. 2007. Preparations characterizations and applications of chitosan-based nano particles. Journal of Ocean University of China, 6(3): 237–243.
17. Manjunatha, G., Niranjan Raj, S., Geetha, N.P., Deepak, S., Amruthesh, K.N., and Shetty, H.S. 2009. Nitric oxide is involved in chitosan-induced systemic resistance in pearl millet against downy mildew disease. Pest Management Science, 65: 737-743.
18. Mardanlo, E., Dehdari, M. and Mirshekari, A. 2018. Evaluation of drought tolerance in some black cumin (*Nigella sativa* L.) landraces. Journalof plant production, 24 (3): 103-117. (In Persian)
19. Muchate, N.S., Nikalje, G.C., Rajurkar, N.S., Suprasanna, P. and Nikam, T.D. 2016. Plant Salt Stress: Adaptive Responses, Tolerance Mechanism and Bioengineering for Salt Tolerance. The Botanical Review, 82(4): 371-406.
20. Nam, B.P. 2008. Effect of chitosan

oligomer on growth and drought resistanceof coffee seedlings in green house. Thesis of Biology. Tay Nguyen University, Dak LakProvince, Vietnam.
21. Pongprayoon, W., Roytrakul, S., Pichayangkura, R. and Chadchawan, S. 2013. The role of hydrogen peroxide in chitosan-induced resistance to osmotic stress in rice (*Oryza sativa* L.). Plant growth regulation, 70(2): 159-173.
22. Rahmani, N., Valadabadi, S.A., Daneshian, J. and Bigdeli, M. 2008. Effect of water deficitstress and nitrogen on oil yield of *Calendulaofficinalis*. Iranian J. Medicinal and Aromatic Plants, 24: 101-08. (In Persian)
23. RezaeiChiyaneh, E. and Pirzad, A. 2014. Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of Black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Iran J Agric Res. 12(3): 427-437. (In Persian)
24. Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M. and Ramrodi, M. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iran Journal and Medicinal and Aromatic Plants. 27(3): 384-396. (In Persian)
25. Shabanzadeh, S. and Galavi, M. 2011. Effect of micronutrients foliar application and irrigation regimes on agronomic traits and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). Water Harvesting Research. 4 (1): 1-9. (In Persian)
26. Sheikha, S.A. 2011. Physiological studies for different concentration from Biochikol0 20 PC (Chitosan) on bean plant. Journal Asian Science Research, 1 (2): 73–86.
27. Uthairatanakij, A., Teixeirada Silva, J.A. and Obsuwan, K. 2007. Chitosan for Improving Orchid Production and Quality. Orchid Science and Biotechnology, 1: 1-5.
28. Zare, M., Shokrpour, M. and Hashemi-Nejad, S.E. 2017. Correlation and path coefficient analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.) under varios drought stress conditions. Bangladesh Journal of Botany, 46(4): 1309-1315.
29. Zareie, S., Mohammadi-Nejad, G. and Sardouie-Nasab, S. 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. Australian Journal of Crop Science. AJCS, 7(7):1032-1037.

Effect of chitosan and nano-chitosan on agronomic properties and omega-3, 6 and 9 fatty acids in some cultivars of *Nigella sativa* L. under drought stresscondition

Alaghemand, A.[1], Khaghani, Sh.[2*], Bihamta, M.R.[3], Gomarian, M.[4], Ghorbanpour, M.[5]

[1]Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

[2]Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

[3]Professor, Agriculture and Natural Resources campus, University of Tehran, Karaj, Iran

[4]Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

[5]Associate Professor, Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

Received: 2019-1-19 ; Accepted: 2019-7-16

Abstract

Water stress is one of the limiting factors of plant growth. In order to investigate the effect of chitosan and nano-chitosan on *Nigella sativa* L. under drought stress, a split plot experiment based on randomized complete block design was conducted in research Field of Islamic Azad University Arak Branch in 2016. The main plots consisted of sprayingwith chitosan, nano-chitosan and water as control and the sub plots consisted of cultivars Arak, Azerbaijan, Semirom, Yasuj and Torbat-e-Heydariyeh. Irrigation was performed regularlyfrom the beginning of planting until flowering stageand then stopped and spraying was achieved. After 80% emergence of floret, plots were sampled and number of secondary branches, capsules per plant, plant height, 1000 seed weight and oil percentage were evaluated. Percentages of oil and fatty acids were measured by gas chromatography.Experimental results were showed that drought stress reduced the components of black cumin yield but improved qualitative factors such as oil and fatty acids percentage. The highest and lowest seed oil content was in Azarbaijan (28.76%) and Semirom (26.39%), respectively. Yasuj can be considered as a drought tolerant cultivar due to its high content ofcapsules, 1000-grain weight and weight/m^2. The effect of nano-chitosan in moderating stress-induced effects was better than chitosan. Azerbaijan and Semirom cultivars had the highest amount of oleic acid (Omega 9), Yasuj cultivar had the highest amount of linoleic acid (Omega 6) and Torbat Heydariyeh and Arak cultivars had the highest amount of linoleic acid (Omega 3).

Keywords: Agronomic properties, Fatty acid, Drought stress, Chitosan, Nano chitosan, *Nigella sativa* L.

*Corresponding author; sh-khaghani@iau-arak.ac.ir