دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره نهم، شماره ۱۶، بهار و تابستان ۱۴۰۳
http://arpe.gonbad.ac.ir

بررسی تاثیر کاربرد کیتوزان بر صفات کمی و کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

مهدی روشندل[۱]، معصومه نعیمی[۲]*، حمید جباری[۳]

[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

[۲]استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

[۳]استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷

چکیده

مقدمه: تنش کم‌آبی یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان می‌باشد. سیاهدانه گیاهی دارویی و معطر است که ترکیب اسیدهای چرب و اسانس آن می‌تواند تحت تاثیر تنش خشکی قرار گیرد. به توجه به شرایط اقلیمی ایران، محدودیت آبیاری یکی از عوامل کاهش عملکرد و کیفیت سیاهدانه به‌شمار می‌آید.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این بررسی فاکتور آبیاری در چهار سطح، آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (شاهد)، آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک کلاس A (تنش ملایم)، آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (تنش متوسط) و آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیراز تشتک تبخیر (تنش شدید) در نظر گرفته شد. فاکتور دوم محلول‌پاشی کیتوزان در سه سطح صفر (محلول‌پاشی با آب خالص به عنوان تیمار شاهد)، محلول‌پاشی به میزان ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر (طی سه مرحله ۸-۶ برگی، ۳۰ روز پس از کاشت و قبل از گلدهی) و محلول‌پاشی به میزان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر (طی سه مرحله ۸-۶ برگی، ۳۰ روز پس از کاشت و قبل از گلدهی) انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و وزن خشک بوته شد. تنش خشکی همچنین اثر منفی بر محتوای پرولین و کلروفیل a، b و کل داشت. محلول‌پاشی کیتوزان به میزان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر تنها موجب افزایش درصد و عملکرد اسانس شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین در این پژوهش، اختلاف معنی‌داری بین تیمار آبیاری شاهد، تنش ملایم و تنش متوسط از نظر عملکرد دانه در هکتار و شاخص برداشت مشاهده نشد.

*نویسنده مسئول: naeemi_701@yahoo.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به معنی‌دار نبودن اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر اکثر صفات اندازه‌گیری شده و عدم مطابقت آن با نتایج گزارش شده از سوی سایر محققان به نظر می‌رسد که برای اطمینان بیشتر از کاربرد کیتوزان و اثر محلول پاشی این ماده در شرایط تنش کم‌آبی بر گیاه سیاه‌دانه نیاز به مطالعات بیش‌تری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش کم‌آبی، روغن، عملکرد دانه، کلروفیل

مقدمه

با توجه به روند افزایش جمعیت و اثرات سوء داروهای شیمیایی، رویکرد بشر از اواخر قرن بیستم به سمت جایگزین کردن فرآورده‌های دارویی گیاهی به جای داروهای شیمیایی بوده و این گیاهان نقشی حیاتی در تحقق سلامت افراد جامعه به خود گرفته‌اند (Shibamoto *et al*., 2010). امروزه گیاهان دارویی از گیاهان مهم اقتصادی می‌باشند که به صورت خام یا فرآوری شده در طب سنتی و مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Akakuru *et al*., 2018). سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* از خانواده آلاله (*Ranunculaceae*) گیاهی یک‌ساله، علفی با ساقه افراشته و منشعب است که بر مبنای شواهد در میان بهترین داروهای گیاهی رتبه‌بندی شده است (Ahmad *et al*., 2013). این گیاه در برخی از نقاط ایران به صورت خودرو و در سایر نقاط به صورت زراعی کشت می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنعت غذایی و دارویی کشور دارد (Bhat *et al*., 2013). دانه گیاه سیاه‌دانه منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و غیر اشباع مانند لینولئیک اسید و اولئیک اسید و نیز سایر ترکیبات شامل روغن، فسفولیپیدها، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم می‌باشد (Mardanlo *et al*., 2018).

تنش در نتیجه روند غیر عادی فرایندهای فیزیولوژیکی بوده و از تأثیر یک و یا تأثیری از عوامل زیستی و محیطی حاصل می‌شود. به عبارت دیگر تنش عبارت است از قرار گرفتن موجود زنده تحت تاثیر شدتی از یک عامل محیطی که موجب افت ظاهری، بازده و یا ارزش آن می‌شود. در میان تنش‌های غیر زیستی، کمبود آب بیش از سایر عوامل بر کاهش تولید گیاهان اثر می‌گذارد. به طور مشخص ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود، به همین دلیل به کار بردن راهکارهایی که منجر به کاهش خسارت این تنش شوند ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌هایی که اخیراً مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است، استفاده از پلیمر زیستی کیتوزان می‌باشد. کیتوزان یک پلی‌ساکارید طبیعی است که از اسکلت بیرونی سخت‌پوستانی همچون خرچنگ و میگو و یا دیواره سلولی برخی قارچ‌ها استخراج می‌شود (Akakuru *et al*., 2018). کیتوزان ماده‌ای غیر سمی، آب دوست، زیست تخریب‌پذیر، ضدباکتری و سازگار با محیط زیست است که در سال‌های اخیر کاربرد زیادی در کشاورزی و صنعت داشته است (Liu *et al*., 2017)، تا جایی که از آن به عنوان محرک قوی افزایش بهره‌وری گیاه و نوعی محافظ در برابر عوامل نامساعد محیطی یاد می‌شود (Malerba *et al*., 2019). کیتوزان دارای یک ویژگی منعکس کننده نور و ضد تعرق می‌باشد که باعث کاهش از دست رفتن آب از گیاه و در نتیجه خنک شدن گیاه می‌شود (Muchate *et al*., 2016). همچنین کاربرد این ماده می‌تواند موجب القای پاسخ‌هایی در گیاه گردد که نتیجه آن افزایش سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سلول ها است. در حقیقت کیتوزان قادر است فرایندهای فیزیولوژیکی و تولید را در بسیاری از محصولات تحت شرایط تنش و بدون تنش بهبود بخشد (Farouk and Al-Sanoussi, 2019). طی پژوهشی مشخص شد تنش خشکی موجب افزایش درصد پرولین و قندهای محلول و کاهش متغیرهای کلروفیل، نسبت کلروفیل a به b و پایداری غشاء سلولی گردید (Chowdhury *et al*., 2017). در ژنوتیپ‌های متحمل پرولین و قند محلول بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس مشاهده شد. نیاز آبی سیاه‌دانه به طور متوسط ۷۲۴/۱۲ میلی‌متر در طول فصل رشد گزارش شده است (Ghamarnia *et*

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

al., 2017). کریم و همکاران (Karim *et al*., 2017) اظهار داشتند بیش‌ترین مقدار صفات سیاه‌دانه هنگامی رخ داد که بالاترین تعداد آبیاری (یعنی ۱۰ بار آبیاری در طول فصل رشد) بکار رفت. در حالی که برخی از محققین تحمل نسبی سیاه‌دانه را به کم‌آبی گزارش کردند و اعلام داشتند که بسیاری از صفات تحت تأثیر کم آبی قرار نگرفته‌اند (Ghamarnia *et al*., 2010). تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که کیتوزان و فرآورده‌های آن می‌تواند در کاهش تنش در گیاهان نقش موثری داشته باشد. به طوری که از توانایی کلاته شدن فلزات سنگین از طریق کیتوزان، با کیتوزان تجزیه شده توسط اشعه گاما برای کاهش تنش در برنج استفاده شده است (Pongprayoon *et al*., 2013). سالارپور غربا و فرح‌بخش (Salarpour-Qhoraba and Farahbakhsh, 2021) اظهار داشتند کاربرد کیتوزان در شرایط خشکی منجر به افزایش غلظت پرولین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، درصد و عملکرد اسانس و افزایش عملکرد زیست توده گیاه دارویی آویشن باغی گردید. همچنین مشخص شده که به‌کارگیری کیتوزان به‌صورت محلول‌پاشی میزان تعرق را از طریق بسته شدن روزنه‌ها به میزان ۲۶ تا ۴۳ درصد کاهش داد (Dehghani *et al*., 2019). محققین اظهار داشتند محلول‌پاشی با ترکیبات کیتوزان از طریق افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء سلولی، اثرات منفی تنش در گیاهان را کاهش می‌دهد (Emami Bistgani *et al*., 2017).

روند رو به افزایش مصرف گیاهان دارویی به‌عنوان مواد اولیه تولید داروهای گیاهی بدون توسعه روش‌های مناسب کاشت و برنامه‌ریزی صحیح، پیامدهای نگران‌کننده از جمله تخریب طبیعت را در برخواهد داشت. بنابراین کشت گیاهان دارویی می‌تواند به‌عنوان یک عامل کاهنده برداشت ناپایدار مطرح شود. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که درصد زیادی از گونه‌های گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک هستند و ارزش بالای اقتصادی این گیاهان باعث شده است تا از آنها به‌عنوان محصولات مناسب در زمین‌های خشک نام برده شود. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر محلول‌پاشی کیتوزان بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی سیاه‌دانه تحت شرایط رطوبتی مختلف بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس اجرا گردید. طول جغرافیایی محل اجرای آزمایش، ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۵ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. آب و هوای گنبدکاووس معتدل و مرطوب و متوسط میزان بارش سالانه آن ۴۵۰ میلی‌متر است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه گریده است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل آبیاری در چهار سطح، شامل آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (شاهد)، آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک کلاس A (تنش ملایم) و آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (تنش متوسط) و آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیراز تشتک تبخیر (تنش شدید) در نظر گرفته شد که از مرحله استقرار گیاه اعمال گردید. عامل دوم محلول‌پاشی کیتوزان بود که در سه سطح صفر (محلول‌پاشی با آب خالص به عنوان تیمار شاهد)، محلول‌پاشی به میزان ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر (طی سه مرحله ۸-۶ برگی، ۳۰ روز پس از کاشت و قبل از گلدهی) و محلول‌پاشی به میزان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر (طی سه مرحله ۸-۶ برگی، ۳۰ روز پس از کاشت و قبل از گلدهی) انجام شد. عملیات شخم و دیسک‌زنی و خط‌کشی زمین در نیمه اول اسفند ۱۳۹۴ انجام شد. کرت‌هایی با ابعاد ۱/۵ در ۳ متر ایجاد و در داخل هر کرت پنج ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. فاصله ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی-

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

متر اعمال شد. در طول اجرای آزمایش هیچ نوع علف‌کش، آفت‌کش و یا قارچ‌کشی استفاده نشد. پس از سبز شدن بذور در مرحله ۴ برگی اقدام به تنک‌کاری در فاصله معین شد. عمل وجین دستی علف‌های هرز در سه مرحله ۲۵ ، ۳۵ و ۴۵ روز پس از کاشت صورت گرفت. آبیاری نیز به‌صورت کرتی انجام شد.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)
Table1- Some physical and chemical characteristics of the soil used in the test (depth 0-30 cm)

Characteristic	مشخصه	مقدار Quantity
EC	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	1.3
pH	اسیدیته	7.7
Neutralizing agents (%)	مواد خنثی شونده (درصد)	8.5
Organic carbon (%)	کربن آلی (درصد)	1.44
Total nitrogen (%)	نیتروژن کل (درصد)	0.14
Acceptable phosphorus (ppm)	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	13.4
Acceptable potassium (ppm)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	356
Clay (%)	رس (درصد)	28
Lay (%)	لای (درصد)	64
Sand (%)	ماسه (درصد)	8

۱۴ روز پس از اعمال تیمارهای تنش و کیتوزان نمونه‌برداری‌های لازم از برگ‌های جوان و بالغ گیاه جهت ارزیابی میزان رنگیزه‌های فتوسنزی و محتوای پرولین صورت گرفت و نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافتند. سنجش محتوی کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ گیاه بر اساس روش آرنون (Arnon, 1949) انجام شد. سپس با استفاده از فرمول‌های زیر محتوی کلرفیل a ، b و کل بر حسب میلی‌گرم در یک گرم وزن تر محاسبه شد.

$$chl_a = [12.7\ (D663) - 2.69\ (D645)] \times V / (1000 \times w)$$
$$chl_b = [22.9\ (D645) - 4.68\ (D663)] \times V / (1000 \times w)$$
$$chl_T = [20.2\ (D64) + 80.\ 2\ (D663)] \times V / (1000 \times w)$$

که در آن D: میزان جذب نوری قرائت شده در طول موج مربوطه، V: حجم عصاره و w: وزن نمونه تر بودند.

محتوای پرولین برگ به روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1970) اندازه‌گیری شد. میزان جذب نور آن در طول موج ۵۲۰ نانومتر بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Biochrom libera- S22 اندازه‌گیری گردید، میزان پرولین در نمونه مورد بررسی با استفاده از نمودار استاندارد بر حسب میلی‌گرم در یک گرم ماده خشک گیاه، برآورد شد. پس از رسیدگی گیاهان و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی برداشت شده و صفاتی نیز مانند ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در بوته ثبت شد. پس از زرد شدن کپسول‌ها و رسیدگی گیاهان، یک متر مربع از هر کرت با حذف حاشیه‌ها برداشت شده و جهت ارزیابی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مورد استفاده قرار گرفت. جهت تعیین وزن خشک بوته‌ها نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت در داخل آون خشک شدند و جهت اندازه‌گیری وزن خشک بوته از ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم استفاده شد. در پایان عملیات مزرعه‌ای، بذرهای

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

خشک حاصل از هر تیمار و تکرار به‌طور جداگانه به منظور تعیین درصد روغن، آسیاب شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای استخراج درصد روغن از دستگاه سوکسله استفاده شد و از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد روغن محاسبه گردید. تجزیه آماری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver.9) و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج

ارتفاع گیاه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آبیاری در سطح آماری یک درصد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت (جدول ۲). براساس نتایج مقایسات میانگین، بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار آبیاری شاهد (۳۵/۵۳ سانتی‌متر) و کم‌ترین میزان آن مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (۳۰/۳۷ سانتی‌متر) بود (جدول ۳). این نتیجه بیانگر این است که ظاهراً میزان تبخیر روزانه بیش‌تر یا به تعبیر دیگر وقوع تنش کم‌آبی منجر به کاهش ارتفاع بوته شده است که این کاهش می‌تواند در نتیجه اختصاص مواد فتوسنتزی بیش‌تر به ریشه نسبت به اندام هوایی گیاه باشد.

تعداد شاخه فرعی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفت تعداد شاخه فرعی در گیاه تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفت. بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی مربوط به تیمار آبیاری شاهد (۱۷/۶۶گرم) و کم‌ترین آن مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (۱۲/۷۷گرم) بود (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که کاهش تعداد شاخه فرعی با توجه به کاهش ارتفاع گیاه می‌تواند توجیه‌پذیر باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه از طریق کاهش تعداد شاخه فرعی و به تبع آن کاهش سطح برگ، میزان تبخیر و تعرق روزانه را کاهش داده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در سیاهدانه تحت تیمارهای مختلف آبیاری و کیتوزان

Table 2- Analysis of variance (MS) of studied traits of black cumin under different treatments of irrigation and chitosan

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی DF	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌فرعی Number of sub branches	وزن خشک Dry matter	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
تکرار Replication	2	3.64	4.86	0.654	0.024	0.224	0.102
آبیاری Irrigation (I)	3	46.16*	41.14*	1.21**	0.641**	0.186**	1.56 **
کیتوزان Chitosan (C)	2	57.13ns	86.21ns	0.061ns	0.008ns	0.016ns	0.015 ns
آبیاری× کیتوزان I × C	6	1.47ns	1.53ns	0.073ns	0.005ns	0.024ns	0.026 ns
خطا Error	22	6.12	6.13	0.074	0.002	0.012	0.014
ضریب تغییرات CV (%)		7.56	15.95	6.45	2.06	11.20	3.57

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه در سیاهدانه تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری

Table 3- Mean comparison of studied traits black cumin affected by different treatments of irrigation

تیمار آبیاری Irrigation Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه‌فرعی Number of sub branches	وزن خشک Dry matter (kg/ha)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g)
70	65.53 a	17.66 a	4.62 a	2.69 a	1.17 a	3.86 a
90	33.44 ab	16.60 ab	4.37 a	2.41 b	0.97 b	3.37 b
110	31.51 bc	15.00 bc	4.11 b	2.26 c	0.95 b	3.20 c
130	30.37 c	12.77 c	3.80 c	2.06 d	0.82 c	2.88 d
LSD (5%)	2.41	2.43	0.27	0.06	0.11	0.116

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test.

وزن خشک بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل آبیاری در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بوته در گیاه سیاه‌دانه داشت (جدول ۲). بررسی جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک بوته به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری شاهد و تیمار آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر (۴/۶۲ و ۴/۳۷ گرم) بود و تنش خشکی باعث کاهش (۱۷/۷۴ درصدی) وزن خشک گیاه گردید (جدول ۳).

محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل: همان‌گونه که از جدول تجزیه واریانس جدول ۲ استنباط می‌گردد، تأثیر عامل آبیاری بر محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار بود. بر اساس جدول مقایسات میانگین‌ها بالاترین مقادیر محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل مربوط به سطح شاهد آبیاری بود و تنش کمبود رطوبت منجر به کاهش محتولی رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه گردید (جدول ۳).

میزان پرولین: نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفت میزان پرولین در جدول ۴ ارائه گردیده است. نتایج این جدول مشخص کرد که میزان پرولین تنها تحت تأثیر عامل آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. بررسی نتایج مقایسات میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد اعمال تنش کم‌آبی منجر به افزایش تجمع پرولین در برگ گردید و بیش‌ترین میزان پرولین مربوط به شدیدترین سطح تنش (تیمار آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر) بود (جدول ۵). تولید و تجمع اسیدهای آمینه آزاد به‌ویژه پرولین توسط بافت گیاه در شرایط تنش شوری و تنش‌های رطوبتی رایج‌ترین و معمول‌ترین عکس‌العمل سازگاری است.

عملکرد دانه در هکتار: براساس نتایج حاصل از این پژوهش تیمار آبیاری برصفت عملکرد دانه در هکتار اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). بالاترین میزان عملکرد دانه از تیمار شاهد آبیاری (۱۲۲۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید، با این وجود اختلاف معنی‌داری بین تیمار آبیاری شاهد، تنش ملایم و تنش متوسط مشاهده نشد و کمترین میزان صفت مذکور نیز به تیمار تنش شدید تعلق داشت (جدول ۵).

عملکرد بیولوژیک در هکتار: براساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، اثر تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). سطح شاهد تیمار آبیاری دارای بالاترین مقدار عملکرد بیولوژیک در هکتار (۱۸۴۸ کیلوگرم) بود که با تیمار دوم آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت، با این حال با افزایش شدت تنش خشکی به‌تدریج از میزان صفت مذکور کاسته شد (جدول ۵).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در سیاهدانه تحت تیمارهای مختلف آبیاری و کیتوزان

Table 4- Analysis of variance (MS) of studied traits of black cumin under different treatments of irrigation and chitosan

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	محتوای پرولین Prolin concentration	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
تکرار Replication	2	0.218 **	12405	104585	40.67	19.02	11563
آبیاری Irrigation (I)	3	3.42**	6998 *	1793 **	148.15 **	71.17 ns	6077 ns
کیتوزان Chitosan (C)	2	0.003ns	104 ns	9733 ns	9.15 ns	0.656 **	31709 *
آبیاری× کیتوزان I × C	6	0.005ns	477 ns	1173 ns	24.22 ns	48.60 ns	890 ns
خطا Error	22	0.006	21005	11883	15.86	25.81	4453
ضریب تغییرات CV (%)		5.44	12.81	6.45	8.33	13.99	17.31

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه در سیاهدانه تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری

Table 5- Mean comparison of studied traits black cumin affected by different treatments of irrigation

تیمار آبیاری Irrigation Treatment	محتوای پرولین Prolin concentration (mg/g FW)	عملکرد دانه Grain Yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg/ha)	شاخص برداشت Harvest index (%)
70	1.22 d	1222 a	1848 a	52.45 a
90	1.33 c	11800 a	1749 a	49.47 ab
110	1.48 b	1098 ab	1643 b	46.13 bc
130	1.57 a	1024 b	1520 c	43.10 c
LSD (5%)	0.07	141	106	3.89

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different (P≤0.05) based on LSD test.

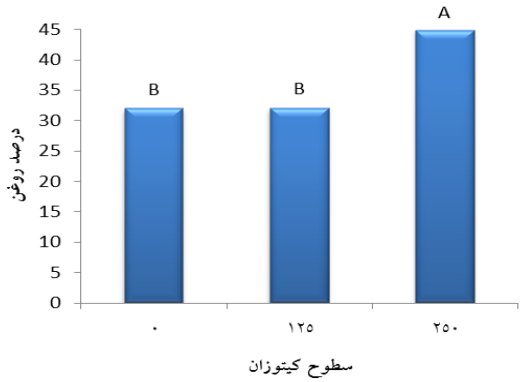
شاخص برداشت: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) صفت شاخص برداشت تحت تاثیر تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. بیش‌ترین شاخص برداشت مربوط به تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر (۵۲/۴۵ درصد) بود و با افزایش شدت تنش به ویژه سطوح تنش متوسط و شدید به دلیل کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت با روند کاهشی همراه بود (جدول ۵).

درصد و عملکرد روغن در هکتار: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از تاثیر معنی‌دار محلول‌پاشی کیتوزان بر صفات درصد روغن و عملکرد روغن به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بود (جدول ۴). بیش‌ترین عملکرد و درصد روغن

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

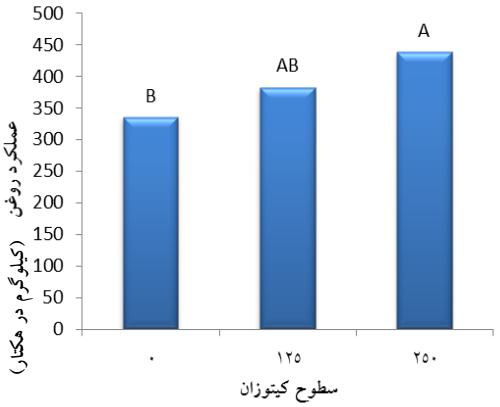
مربوط به سطح سوم محلول پاشی کیتوزان (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و به ترتیب (۴۳۸ کیلوگرم در هکتار) و (۴۴/۷۸ درصد) بود (شکل ۱ و ۲). اما اثر هیچ یک از تیمارهای آبیاری بر صفات درصد و عملکرد روغن معنی‌دار نشد (جدول ۵).



شکل ۱- تأثیر کیتوزان بر میزان درصد روغن

Figure 1- Effect of chitosan on oil percentage

(Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level)



شکل ۲- تأثیر کیتوزان بر میزان عملکرد روغن

Figure 2- Effect of chitosan on oil yield

(Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level)

بحث

صفات مورفولوژیک مورد بررسی در این آزمایش تحت شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافتند. کاهش ارتفاع گیاه به موازات افزایش تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به اندام‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد (Naderi and Khaje, 2014). هارمونی و همکاران (Hamrouni *et al*., 2001) اظهار داشتند تنش خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود و این کاهش ارتفاع ناشی از کاهش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها در اثر کاهش فشار اسمزی دورن سلول

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

می‌باشد. طی پژوهشی مشخص شد تأثیر فواصل آبیاری بر ارتفاع بوته گیاه سیاه‌دانه معنی‌دار بود و با کاهش فواصل آبیاری، ارتفاع بوته افزایش یافت. همچنین گزارش شد که رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب در تیمارهای تنش خشکی، کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را به دنبال دارد (Nowruzpour and Rezvani Moghaddam, 2005) که گزارشات موجود با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. تنش خشکی همچنین با کاهش تعداد شاخه‌های فرعی بر تعداد گل و دانه و به عبارتی عملکرد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Nowruzpour and Rezvani Moghaddam, 2006).

با توجه به اینکه سیاه‌دانه گیاهی رشد محدود است، بنابراین افزایش شدت تنش کم‌آبی سبب افزایش سرعت گذر گیاه از مرحله رشد رویشی و رساندن خود به مرحله رشد زایشی می‌شود که این امر منجر به کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه در تنش‌های شدیدتر می‌شود (Sarmadnia and Koochaki, 2012). تنش خشکی تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاهان دارد و سیستم رشد گیاهان در طول دوره رشد را مختل می‌کند. طی تحقیقی مشخص شده است که با کاهش میزان آب و ایجاد تنش کم‌آبی صفاتی هم‌چون ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن خشک بوته در گیاه سیاه‌دانه کاهش می‌یابد (Nowruzpour and Rezvani Moghaddam, 2006). بر اساس گزارشات موجود با افزایش فواصل آبیاری ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه سیاه‌دانه کاهش یافت (Rezaei Chianeh and Pirzad, 2021). مطالعه گیاه جعفری تحت تنش خشکی نشان داد تنش کمبود آب عملکرد ماده خشک این گیاه را کاهش داد (Petropoulos *et al*., 2008). بررسی رشد گیاه مریم گلی تحت تأثیر تنش خشکی نیز مشخص کرد که اعمال تنش خشکی کاهش ارتفاع، کاهش سطح برگ و کاهش وزن خشک اندام هوایی این گیاه را را به دنبال داشت (Bettaieb *et al*., 2009).

تجمع پرولین در شرایط تنش، بیش از سایر اسیدهای آمینه صورت می‌گیرد که می‌تواند در تنظیم اسمزی و احتمالاً حفظ فعالیت آنزیمی گیاه نقش داشته باشد (Ashraf, 2004). افزایش تجمع پرولین به عنوان یک محافظ و مهارکننده انواع رادیکال‌های آزاد در اثر تنش کم‌آبی حاکی از مقابله گیاه با شرایط تنش می‌باشد. در راستای نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، افزایش میزان پرولین در شرایط خشکی در گیاهان آویشن باغی (Salarpour Qhoraba and Farahbakhsh, 2022)، آویشن دنایی (Emami Bistgani *et al*., 2017) و بابونه آلمانی (Dehghani *et al*., 2019) گزارش شده است.

در شرایط تنش، کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل گردیده و گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است، در اثر این تنش به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌گردد (Lawlor and Cornic, 2012). تعدادی از محققین گزارش کردند که تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل کل در گیاه دارویی کدو پوست کاغذی نداشت، در حالی‌که اعمال تنش در مرحله میوه‌دهی گیاه منجر به کاهش صفت مذکور گردید (Naeemi *et al*., 2015). طی پژوهشی صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرنجبویه تحت تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفتند و مشاهده گردید که در شرایط تنش خشکی میزان کلروفیل a به شدت کاهش یافت و کلروفیل b تا حدودی افزایش پیدا کرد (Abbaszadeh *et al*., 2007). علاوه بر این محققان اعلام کردند کاربرد کیتوزان باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی بر کلروفیل و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردد (Laribi *et al*., 2009). یدالهی و همکاران (Yadollahi *et al*., 2014) در گیاه آفتابگردان و حیدری و همکاران (Heidari, 2011) در گیاه ریحانه به نتایج مشابهی دست یافتند.

اثرگذاری تیمار آبیاری بر عملکرد دانه در هکتار (Nowruzpour and Rezvani Moghaddam, 2013; Rezaei Chianeh and Pirzad, 2014; Rezapour *et al*., 2011) نیز گزارش شده است. افزایش عملکرد دانه را می‌توان به

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

رشد رویشی بهتر، توسعه کانوپی و در نتیجه استفاده بهتر از تشعشع خورشیدی و فتوسنتز بالاتر در شرایط آبیاری مطلوب نسبت داد (Nowruzpour and Rezvani Moghaddam, 2006). از طرف دیگر کاهش سطح فتوسنتز کننده برگ‌ها و کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه و رسیدگی زودتر تیمارهای تحت تنش خشکی، می‌تواند در کاهش عملکرد دانه نیز موثر باشد (Rezaei Chianeh and Pirzad, 2012). بزازی و همکاران (Bazazi *et al*., 2013) گزارش کردند با توجه به مقایسه میانگین‌ها برای سطوح مختلف خشکی، ملاحظه می‌شود که با افزایش شدت تنش، عملکرد بیولوژیک به طور معنی‌داری کاهش یافته است. بیش‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک (۱۷/۳۱ گرم در بوته) در تیمار شاهد تولید شد و در تیمار تنش شدید با ۴۳٪ کاهش نسبت به شاهد کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک (۹/۸۷ گرم در بوته) تولید گردید.

طی پژوهشی مشخص شد دور آبیاری تاثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشت، به‌طوری‌که با کاهش فاصله آبیاری میزان شاخص برداشت افزایش یافت (Nowruzpour and Rezvani Moghaddam, 2006). در همین راستا گزارش شد تاثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت زیره سبز در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بیش‌ترین افزایش شاخص برداشت از دور پنج روز آبیاری و کم‌ترین آن از دور ۱۰ روز آبیاری حاصل گردید (Yazdani Cham *et al*., 2014). طی مطالعه‌ای مشخص شد بالاترین شاخص برداشت در گیاه دارویی اسفرزه از رژیم آبیاری کامل به دست آمد که دلیل آن را کاهش بیش‌تر عملکرد بیولوژیک نسبت به عملکرد دانه دانستند (Ramroudi *et al*., 2011). با اعمال تنش خشکی، به دلیل کاهش وزن دانه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد و این کاهش نسبت به کاهش عملکرد بیولوژیکی بیش‌تر است. از این رو، شاخص برداشت کاهش می‌یابد و هر چه تنش خشکی شدیدتر گردد شاخص برداشت، کاهش بیش‌تری نشان می‌دهد (Gornik *et al*., 2008) که این اظهارات با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. با توجه به این که شاخص برداشت تابعی است از نسبت عملکرد بیولوژیک، در شرایط تنش به دلیل کاهش عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت نیز کاهش یافته است. گروهی از محققین گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی گیاهان با کیتوزان عملکرد روغن، اسید لینولئیک، میزان پروتین برگ و غلظت نیتروژن دانه را در گیاه گلرنگ افزایش داد (Mahdavi, 2011). در این تحقیق محلول‌پاشی کیتوزان منجر به افزایش درصد و عملکرد روغن دانه گردید که نتایج حاصل با گزارشات طلایی و همکاران (Talaei *et al*., 2017) در خصوص گیاه گلرنگ مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد هر چند با کاهش میزان آب مصرفی و به تبع آن بروز تنش خشکی از عملکرد دانه در گیاه سیاه‌دانه کاسته می‌شود، امّا برخلاف انتظار مصرف کیتوزان در غلظت‌ها و مراحل مختلف باعث جلوگیری از بروز اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد گیاه مورد مطالعه نشد. طبق بررسی نتایج این تحقیق و سایر گزارشات موجود، بروز تنش خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه و در نتیجه باعث کاهش عملکرد گردید. هم‌چنین نتایج این پژوهش مشخص کرد که تنش خشکی منجر به ایجاد اختلال در صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی سیاه‌دانه می‌گردد که همین امر می‌تواند در نهایت بر عملکرد گیاه تأثیرگذار باشد. هر چند محلول‌پاشی کیتوزان موجب بهبود برخی صفات مورد بررسی گردید، ولی نتایج این پژوهش نشان داد که ممکن است محلول‌پاشی کیتوزان در طی دوره رشد گیاه قادر به بهبود صفات فیزیولوژیک گیاه و کاهش اثرات مضر تنش خشکی در گیاه نباشد و لذا تاثیری بر بهبود عملکرد نیز نخواهد داشت. با توجه به این که کاربرد کیتوزان در این مطالعه اثر معنی‌داری در کاهش اثرات منفی تنش خشکی نداشت، لذا برای اطمینان از اثر مثبت محلول پاشی این ماده در شرایط تنش، نیاز به مطالعات بیش‌تر می‌باشد.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

منابع

Abbaszadeh B., Sharifi-Ashurabadi A., Clothes M., Naderi Haji-Baqer., Kennedy M., Introduction F. 2007. Effect of drought stress on proline, soluble sugars, chlorophyll and relative humidity (RWC) of lemongrass (*Mellissa officialis* L.). Medicinal and Aromatic Plants Research, 23 (4): 513-504. (In Persian).

Ahmad A., Husain A., Mujeeb M., Khan S.A., Najmi A.K., Siddique N.A., Damanhouri Z.A., Anwar F. 2013. A review on therapeutic potential of Nigella sativa. Tropical biomedicine, 3 (5): 337-352.

Arnon D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in Beta Plan Physiology, 24 (1): 1-15.

Ashraf M. 2004. Some important physiological criteria for salt tolerance in plants. Flora, 199: 361-376.

Bazazi N., Khodambashi M., Mohammadi S.H. 2013. The effect of drought stress on morphological characteristics and occasional performance components of fenugreek. Production and Processing of Crops and Horticulture, 3 (8): 22-11.

Bettaieb I., Zakhama N., Aidiwannes W., Kchoukm M.E., Marzouk B. 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Scientia Horticulturae, 120: 271-275.

Bhatt P.K., Patel P.T., Patel B.T., Raval C.H., Vyas K.G., Ali S. 2013. Productivity, quality, nutrient content and soil fertility of summer green gram (*Vigna radiata*) as influenced by different levels of vermicompost and phosphorus with and without PSB. Agricultural Sciences, 9: 659-662.

Chowdhury J., Karim M., Khaliq Q., Ahmed A. 2017. Effect of drought stress on Bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. Bangladesh Journal of Agriculture Research, 42 (3): 475-485.

Dehghani M.S., Naeemi M., Alamdari A., Jabbari H. 2019. Effects of chitosan foliar application on quantitative and qualitative characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under water deficit stress conditions. Medical Sciences, 5 (1): 121-133. (In Persian).

Emami Bistgani Z., Siadat S.A., Bakhshandeh A., 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 Shahre-Kord climate. Environmental Stresses in Crop Sciences, 10: 12-19. (In Persian).

Farouk S., Al-Sanoussi A.J. 2019. The role of bio-stimulants in increasing barley plant growth and yield under newly cultivated sandy soil. Cercetari Agronomice in Moldavia (Agronomical Research in Moldavia), 2 (178): 114-125.

Ghamarnia H., Khosravy H., 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. Medicinal Plants Research, 4 (16): 1612-1616. (In Persian).

Ghamarnia H., Miri E., Jafarizadeh M., Ghobadi M. 2017. Determination of *Nigella sativa* L. water requirement by lysimetric method in an arid and semi-arid climate. Irrigation Science Engineering, 35 (4): 75-82. (In Persian).

Gornik K., Grzesik M., Duda B.R. 2008. The effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. Fruit and Ornamental Plant Research, 16: 333-343.

Hamrouni I., Salah H. Marzouk B. 2001. Effects of water-deficit on oil of safflower aerial parts. INRST, Laboratoire d''daptationetd''melioration des Plants, BP 95 2050, Hammam-Lif, Tunisia, 95: 21-52.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

Heidari M. 2011. Effect of salinity on growth, chlorophyll content and osmotic components of two cultivars of basil (*Basilicum ocimum* L.). African Journal of Biotechnology, 11 (2): 379- 384.

Karim M., Himel R.M., Ferdush J., Zakaria M. 2017. Effect of irrigation levels on Yield performance of black cumin. Environment Agriculture and Biotechnology, 2 (2): 959-966.

Laribi B., Bettaieb I., Kouki K., Sahli A., Mougou A., Brahim M. 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. Industrial Crops and Products, 30: 372-379.

Lawlor D.W., Cornic G. 2012. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment, 25: 275-294.

Liu C., Tan Y., Chen X., Yu L. 2017. Preparations characterizations and applications of chitosan-based Nano particles. Ocean University of China, 6 (3): 237-243.

Mahdavi B. 2011. Evaluation of the interaction of chitosan and zeolite on phenology, growth and yield of safflower under water stress, Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 176 p. (In Persian).

Malerba M., Cerana R. 2019. Chitosan effects on plant systems. International Journal of Molecular Sciences, 17: 987-996.

Mardanlo E., Dehdari M., Mirshekari A. 2018. Evaluation of drought tolerance in some black cumin (*Nigella sativa* L.) landraces. Plant production, 24 (3): 103-117. (In Persian)

Muchate N.S., Nikalje G.C., Rajurkar N.S., Suprasanna P., Nikam T.D. 2016. Plant Salt Stress: Adaptive Responses, Tolerance Mechanism and Bioengineering for Salt Tolerance. Botanical Review, 82 (4): 371-406.

Naderi S., Khaje H. 2014. The effect of chitosan on some characteristics of antioxidant and biochemical enzymes in Melissa. Crop Science in Arid Areas, 1: 116-100.

Naeemi M., Akbari G.A., Shirani-Rad A.H., Hasanlu T, Amiri-Nejad M. 2015. The effect of application of zeolite and selenium spray solution in different moisture regimes of some physiological traits and yield in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L). Journal of Agriculture, 17 (3): 647- 635. (In Persian).

Nowruzpour Q., Rezvani Moghaddam P. 2005. The effect of different irrigation cycles and density on yield and yield components of black cumin seed. Crop Research, 23: 314-305. (In Persian).

Nowruzpour Q., Rezvani Moghaddam P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essential oil of black seed (*Nigella sativa L.*). Research and Construction in Agriculture and Horticulture, 23: 138-133.

Petropoulos S.A., Dimitra D., Polissiou M.G., Passam H.C. 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115. 393-397.

Pongprayoon W., Roytrakul S., Pichayangkura R., 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.

Ramroudi M., KeikhZhaleh M., Galavi M., SeghaEslami M., Baradaran R. 2011. Effect of foliar application of micro-nutrients and irrigation regimes on yield and quality psyllium. Journal of Agricultural Ecology, 3: 219-226. (In Persian).

Rezaei Chianeh, A and Pirzad. 2012. The effect of different irrigation treatments on essential oil accumulation, its compounds and some Eco-physiological traits in fennel. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, 193 p. (In Persian).

Rezapour A., Heydari M., Goli A. 2011. The effect of drought stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield and yield components and osmotic regulators in black seed medicinal plant. Medicinal and Aromatic Plants Research, 27 (3): 394-384. (In Persian).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]

Salarpour-Qoraba F., Farahbakhsh H. 2021. Effects of chitosan foliar application on some physiological and biochemical traits of thyme (*Thymus vulgaris* L.) under drought stress. Medicinal and Aromatic Plants Research, 37 (3): 530-548. (In Persian).

Sarmadnia G., Koochaki A. 2012. Crop Physiology. 17th Ed. University of Mashhad Press, Mashhad, 400 p. (In Persian).

Shibamoto K., Mochizuki M., Kusuhara M. 2010. Aroma therapy in antiaging medicine. Anti-Aging Medicine, 7 (6): 55-9.

Talaei G.A., Sharghi Y., Zahedi H., Modares Sanavi A.M., Alavian S.A. 2017. Evaluation the interaction of chitosan and zeolite on yield and yield components of safflower under water deficit stress. Journal of crops improvement, 19 (2): 531-542. (In Persian).

Yadollahi Deh-Cheshmeh P., Bagheri A.A., Amiri A., Ismailzadeh-Bahabadi P. 2014. Effect of drought stress and chitosan foliar application on yield and photosynthetic pigments in sunflower (*Heliantusunnuus* L.). Journal of Crop Physiology, 6 (21): 83-73. (In Persian).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: 10.22034/arpe.9.16.44]