دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

اثر متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.)

فهیمه طالبی آزادبنی[۱]، وحید اکبرپور[۲] و ویدا چالوی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم باغبانی گرایش گیاهان دارویی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
مازندران، ایران، (نویسنده مسوول: v_akbarpour60@yahoo.com)
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹
صفحه: ۸۴ تا ۹۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در سال‌های اخیر مطالعات به سمت استفاده از ترکیبات جدیدی که بتواند در داخل گیاه سنتز و موجب افزایش کارایی فتوسنتزی گیاه شود، معطوف گردیده است. برخی از این ترکیبات شامل ریزمغذی‌ها و الکل‌ها است. الکل‌هایی نظیر متانول به عنوان یک منبع کربنی سبب افزایش کارایی فتوسنتز و بهبود خصوصیات رشدی گیاه خواهند شد. نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم نیز موجب بهبود و ترمیم کارایی دستگاه فتوسنتزی در گیاه شده و در نتیجه کارایی فتوسنتز را افزایش می‌دهد. به همین دلیل این پژوهش به هدف بررسی متانول و نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگر فرنگی انجام شد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی محلول‌پاشی برگی متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) بر گیاه دارویی کنگرفرنگی، آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ سطح برای هر کدام از ۲ فاکتور متانول (۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد حجمی) و نانوذره (آناتاز) دی‌اکسید تیتانیوم (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) در ۳ تکرار در سال‌های ۱۳۹۸و ۱۳۹۹ انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل رنگیزه‌های فتوسنتزی، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی دوسال بود.

یافته‌ها: بر اساس نتایج بدست آمده، برهم‌کنش تیمارها برای تمامی صفات مورد بررسی در هر دوسال پژوهش در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار شدند. بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل برگ سال اول از تیمار صفر درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و در برگ سال دوم از تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد. در سال اول تیمار ۳۰ درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و در سال دوم تیمار ۱۵درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب با ۲۱۸/۷۵ و ۱۹۲/۸۵درصد افزایش نسبت به شاهد بالاترین میزان کاروتنوئید را به خود اختصاص دادند. بیشترین مقدار فلاونوئید برگ سال اول در تیمار صفر درصد حجمی متانول + ۲۰میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم دیده شد که با تیمار صفر درصد حجمی متانول + ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی داری نداشت و بالاترین میزان فلاونوئید برگ سال دوم نیز از تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با ۲۸۴/۶۱ درصد افزایش نسبت شاهد به حاصل شد. بیشترین مقدار فنل برگ سال اول از برهمکنش تیمار ۱۵ درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بیشترین مقدار فنل‌کل برگ سال دوم از برهمکنش تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب با ۷۳/۱۵ و ۲۱۶/۹۱ درصد افزایش نسبت شاهد دیده شدند. بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سال اول را تیمارهای صفر درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و ۳۰ درصد حجمی متانول + صفر میلی گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با ۳۲/۱۶ درصد افزایش نسبت به شاهد به خود اختصاص دادند و در سال دوم نیز تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با افزایش ۱۶/۲۴ درصدی نسبت به شاهد بالاترین میزان قدرت حذف‌کنندگی رادیکال آزاد را داشت.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج حاصل، کاربرد تلفیقی متانول به عنوان یک منبع کربنی و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند در بهبود خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگرفرنگی مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید، کنگر فرنگی، محتوای فنل، محلول الکلی، نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم

مقدمه

کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.) گیاهی علفی از خانواده کاسنی می‌باشد که در صنایع دارویی به جهت ترکیبات پلی‌فنلی، فلاونوئیدی و آنتی‌اکسیدانی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. متانول یا متیل الکل به عنوان منبع غنی از کربن در مقابل تنفس عمل می‌کند و موجب افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن در گیاه شده و در نتیجه با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در گیاهان و بالا رفتن کارایی فتوسنتز، کمبود کربن را در این فرآیند جبران می‌کند (۲۸). محلول‌پاشی با متانول می‌تواند با افزایش فعالیت باکتری متیلوتروفیک سبب افزایش تولید هورمون اکسین و سیتوکنین در گیاه شده و سبب افزایش پروتئین‌سازی در گیاه شود (۱۸).

بررسی محلول‌پاشی برگی با متانول و اتانول بر آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) سبب به‌دست آمدن بهترین نتایج در تمامی صفات فیتوشیمیایی از جمله کلروفیل a، b، کاروتنوئید، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (۴). براساس تحقیقات انجام شده محلول‌پاشی متانول در شرایط تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار پراکسیدهیدروژن برگ گیاه سیاهدانه شد، که علت این امر می‌تواند ناشی از فعالیت بیشتر چرخه‌ی کلوین باشد (۱۷). در تحقیقی بر روی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea angustifolia*) محلول‌پاشی با تیمار ۴۰ درصد حجمی متانول موجب بهبود برخی صفات رویشی و ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه شده است (۲۰). در تحقیقی که بر گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت تأثیر محلول‌پاشی متانول و اتانول انجام شد، صفاتی مانند کلروفیل a، b و کل و نیز کاروتنوئید نسبت به شاهد افزایش نشان دادند (۵). همچنین نتایج بررسی بر روی سیزده گیاه دارویی بیانگر بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از عصاره متانولی بود (۲۲).

نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم (TiO_2) به عنوان یکی از نانوبلورهای نیمه‌هادی‌اکسید فلزی، در کنار حفظ محیط زیست و منابع کره زمین، جایگاه ویژه ای در جهان صنعتی امروز یافته و به سه شکل بلوری شامل، آناتاز، روتایل و بروکیت موجود است که کارایی و عملکرد نانوذرات آناتاز به دلیل سطوح کوچکتر از بقیه موارد بیشتر است (۱، ۲۵ و ۲۹). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم نه تنها در محدوده مرئی بلکه در ناحیه فرابنفش نیز به شدت قادر به جذب نور می‌باشند (۳۲). نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم سبب بهبود و ترمیم کارایی دستگاه فتوسنتزی در گیاه شده و توانایی گیاه را برای جذب نور خورشید افزایش می‌دهد که این عمل با تأثیر مثبت بر روی تولید و تبدیل انرژی نورانی به الکترون فعال و از آن به انرژی شیمیایی سبب افزایش سرعت و کارایی فتوسنتز در گیاه می‌شود (۳). بررسی اثر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum*) نشان داد که محلول‌پاشی نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم دارای اثرات مثبتی بر روی خصوصیات بیوشیمیایی این گیاه در مقایسه با شاهد بوده و منجر به افزایش عملکرد گردیده است. همچنین اثر مطلوب استفاده از نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر کاروتنوئید و رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ‌های ذرت گزارش شده است (۱۲ و ۲۲). در نتایجی گزارش شد که کاربرد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در گیاه مریم گلی موجب افزایش محتوای فنول و فلاونوئید کل شد (۱۶). این پژوهش به مطالعه اثر تلفیقی تیمار الکلی متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با هدف بهبود برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگرفرنگی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. . این منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۶ متر از سطح دریای خزر قرار دارد. پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲ فاکتور و ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل متانول با غلظت‌های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ (درصد حجمی) و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم (آناتاز) با غلظت‌های ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ (میلی‌گرم در لیتر) به صورت محلول‌پاشی برگی بودند. پیش از شروع آزمایش، نمونه برداری از خاک مزرعه انجام و جهت تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک دانشگاه منتقل شد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Some physical and chemical properties of the tested farm soil

بافت خاک	K(mg/kg)	P(mg/kg)	%N	%OC	(ds/m) EC	pH
سیلتی کلی لوم	۲۵۰	۲۰	۱	۱/۲	۱/۲	۷/۲۱

به‌منظور کوتاه نمودن دوره رشد ابتدا بذرها را درون گلدان‌های کوچک کاشته و پس از رشد بذرها و تحلیل رفتن لپه‌ها و نیز رویش گیاه تا ۴ برگ، نشاها به خاک مزرعه منتقل شده در اوایل فصل بهار سال اول (۱۳۹۸) پس از انتقال نشاء به مزرعه بوته اجازه رشد اولیه و اسقرار گیاه در مزرعه داده و پس از گذشت مدتی محلول‌پاشی برگی در پنج مرحله با فاصله هفته ای یکبار با تیمارهای مشخص شده انجام شد و پس از اتمام محلول‌پاشی در مدت مقرر و رشد برگ‌ها، برداشت برگ‌های سال اول انجام شد و به منظور بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی برگ در آزمایشگاه دانشگاه مورد آزمایش قرار گرفت. در ادامه تا بهار سال بعد (۱۳۹۹) به گیاه اجازه رشد کامل داده شد تا به مرحله گلدهی در فصل بهار برسد و سپس محلول‌پاشی کلی طی پنج مرحله تا قبل از گلدهی کامل همه بوته‌ها اعمال شد و قبل از باز شدن کامل گل در بوته‌ها، برداشت برگ‌های سال دوم انجام و مجددا مانند برگ‌های سال اول به منظور بررسی خصوصیات فیتوشیمیایی مورد آزمایش قرار گرفت.

برای تعیین میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید با استفاده از روش آرنون (۹) و جهت کالیبره کردن دستگاه از استون ۸۰٪ استفاده شد.

برای اندازه‌گیری میزان فنل کل، ابتدا ۲۰ میکرولیتر از عصاره متانولی (۰/۵ گرم در ۵ میلی‌لیتر متانول۸۰٪) با ۱۰۰ میکرولیتر فولین سیوکالتیو (Folin ciocalteu) و ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شده و پس از ۵ الی ۸ دقیقه استراحت، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم یک مولار (۱۰/۶ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به آن اضافه شد. محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و حمام بخار ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. برای شاهد نیز به‌جای عصاره، از متانول ۸۰ درصد استفاده شد. از این محلول برای کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد و سپس نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی کالیبراسیون از غلظت‌های متفاوت استاندارد گالیک اسید (۰، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر)، محلول گالیک اسید (Gallic acid) در متانول ۸۰ درصد استفاده گردید. میزان فنل کل بر اساس میزان معادل میلی‌گرم اسیدگالیک درگرم عصاره گزارش گردید (۳۱)

محتوای تام فلاونوئیدی با استفاده از معرف کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری و میزان فلاونوئید بر اساس میزان معادل میلی گرم کوئرستین درگرم عصاره گزارش شد (۱۳). درصد مهار رادیکال‌های آزاد جهت سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز با استفاده از DPPH محاسبه شد (۱۴).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل از آزمایش‌های تحقیق حاضر پس از انتقال به نرم‌افزار Excel با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS

تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودار با نرم‌افزار Excel 2019 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲ و ۳) نشان داد که تمامی شاخص‌های فیتوشیمیایی بررسی شده در هر دوسال پژوهش تحت تأثیر متقابل تیمارهای متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شدند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر رنگیزه های فتوسنتزی و صفات فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگرفرنگی در سال اول پژوهش

Table 2. Analysis of variance of the effect of methanol and titanium dioxide nanoparticles on photosynthetic pigments and phytochemical traits of artichoke in the first year of experiment

منابع تغییرات	درجه‌آزادی(df)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	فلاونوئید	فنل	آنتی اکسیدان
متانول (M)	۳	۱/۸۹۵**	۰/۰۵۲**	۲/۵۶**	۰/۰۰۲۵**	۰/۰۰۰۰۲۵**	۰/۰۱۰۳^{ns}	۱۱۸۰/۲۴۹۱**
نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم (T)	۳	۲/۰۲۱**	۰/۱۷۵**	۲/۸۵**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۵۴**	۰/۰۸۱۶**	۵۴۸/۹۰**
اثرمتقابل(M*T)	۹	۳/۵۳۰**	۰/۲۸۲**	۵/۶۸**	۰/۰۰۱۰**	۰/۰۰۰۰۷۸**	۰/۰۷۵۲**	۲۲۹/۱۶**
خطای‌آزمایش (Error)	۳۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۱۲۴	۱۵/۴۸
ضریب تغییرات (CV)	–	۶/۵۶	۱۲/۶۳	۷/۴۴	۱۴/۹۲	۱۷/۱۸	۲۰/۴۳۳	۵/۳۰

* و ** به ترتیب اختلاف معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی داری

جدول۳- تجزیه واریانس اثر متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و صفات فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگرفرنگی در سال دوم پژوهش

Table 3. Analysis of variance of the effect of methanol and titanium dioxide nanoparticles on photosynthetic pigments and phytochemical traits of artichoke in the second year of experiment

منابع تغییرات	درجه‌آزادی(df)	aکلروفیل	bکلروفیل	کلروفیل کل	کاروتنوئید	فلاونوئید	فنل	آنتی اکسیدان
متانول (M)	۳	۰/۱۸۷**	۰/۳۴۳**	۱/۰۳۷**	۰/۰۰۰۲۵*	۰/۰۰۰۱۹^{ns}	۰/۰۰۷۴**	۳۶/۶۰۱**
نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم (T)	۳	۰/۰۰۴۴^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۲۸**	۰/۰۰۵۰*	۲۵/۷۴۰*
اثرمتقابل(M*T)	۹	۰/۰۴۰**	۰/۰۶۸۱**	۰/۲۱۳**	۰/۰۰۰۲۰**	۰/۰۰۰۲۳**	۰/۰۰۷۲**	۴۱/۷۱**
خطای‌آزمایش (Error)	۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱۶	۰/۰۳۷	۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۰۶۲	۰/۰۰۱۱	۶/۳۸۰
ضریب تغییرات (CV)	–	۲۷/۲۴	۲۷/۰۴۲	۲۷/۰۹۵	۲۷/۷۸۳	۲۶/۸۵	۱۴/۴۲	۲/۹۶

* و ** به ترتیب اختلاف معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی داری

کلروفیل a، b و کل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، تأثیر برهمکنش متانول و نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم، در هر دو سال پژوهش بر کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲ و ۳). بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل برگ سال اول در تیمار صفر درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم دیده شد که این تیمار با تیمارهای ۱۵ درصد حجمی متانول + ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و ۴۵ درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در مقدار کلروفیل a تفاوت معناداری نداشت. کمترین مقدار این صفات در سال اول مربوط به شاهد بود (جدول ۴). همچنین بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل برگ سال دوم در تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و کمترین مقدار این صفات در تیمار ۴۰ درصد حجمی متانول + ۱۵میلی گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم که از لحاظ آماری با شاهد تفاوتی نداشت مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر رنگیزه های فتوسنتزی برگ کنگرفرنگی در سال اول پژوهش
Table 4. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on photosynthetic pigments of artichoke leaves in the first year of experiment

متانول (درصد حجمی)	نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم (mg/l)	کلروفیلa ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیلb ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}$ FW)
۰	۰	۰/۰۵۳^{e}	۰/۱۶۱^{f}	۰/۲۱^{g}
	۲۰	۲/۷۳^{a}	۱/۲۲^{a}	۳/۹۵^{a}
	۴۰	۲/۲۵^{c}	۰/۷۸^{cd}	۳/۰۴^{e}
	۶۰	۲/۴۲^{bc}	۰/۷۴۸^{cd}	۳/۱۶^{cde}
۱۵	۰	۰/۴۴^{d}	۰/۵۵^{e}	۱/۰۰۶^{f}
	۲۰	۰/۳۷^{d}	۰/۵۷^{e}	۰/۹۴^{f}
	۴۰	۲/۳۸^{bc}	۰/۷۴^{d}	۳/۱۲^{de}
	۶۰	۲/۵۸^{ab}	۰/۸۴^{cd}	۳/۴۲^{bcd}
۳۰	۰	۲/۴۱^{bc}	۰/۸۰^{cd}	۳/۲۱^{bcde}
	۲۰	۲/۳۶^{bc}	۰/۸۴^{cd}	۳/۲۰^{bcde}
	۴۰	۲/۳۹^{bc}	۰/۷۷^{cd}	۳/۱۶۷^{cde}
	۶۰	۲/۴۹^{b}	۰/۹۲^{bc}	۳/۴۲۶^{bcd}
۴۵	۰	۲/۵۲^{ab}	۱/۰۲^{b}	۳/۵۶^{b}
	۲۰	۲/۵۰^{b}	۱/۰۲^{b}	۳/۵۲^{bc}
	۴۰	۲/۳۹^{bc}	۰/۷۶^{cd}	۳/۱۵^{cde}
	۶۰	۰/۲۳^{ae}	۰/۲۶^{f}	۰/۴۹۸^{g}

در هر ستون اعدادی با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر رنگیزه های فتوسنتزی برگ کنگرفرنگی در سال دوم پژوهش
Table 5. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on photosynthetic pigments of artichoke leaves in the second year of experiment

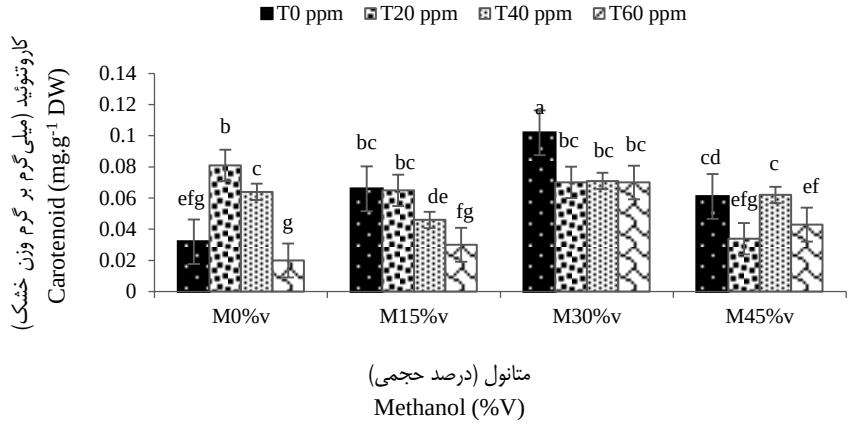
متانول (درصد حجمی)	نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم(mg/l)	کلروفیلa ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیلb ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}$ FW)
۰	۰	۰/۱۹۴^{cd}	۰/۲۳^{de}	۰/۴۳^{cd}
	۲۰	۰/۲۴۲^{cd}	۰/۲۹^{de}	۰/۵۳^{cd}
	۴۰	۰/۱۷۶^{cd}	۰/۲۱^{de}	۰/۳۹^{cd}
	۶۰	۰/۲۲۵^{cd}	۰/۲۷^{de}	۰/۵۰^{cd}
۱۵	۰	۰/۲۲۰^{cd}	۰/۲۷^{de}	۰/۴۹۲^{cd}
	۲۰	۰/۴۴۴^{b}	۰/۵۶^{bc}	۱/۰۰۶^{b}
	۴۰	۰/۱۴۶^{d}	۰/۱۸۰^{e}	۰/۳۲^{d}
	۶۰	۰/۲۲۶^{cd}	۰/۲۷۹^{de}	۰/۵۰^{cd}
۳۰	۰	۰/۳۲۵^{bc}	۰/۳۹^{cd}	۰/۷۱^{bc}
	۲۰	۰/۲۱۷^{cd}	۰/۲۶^{de}	۰/۴۸^{cd}
	۴۰	۰/۱۹۶^{cd}	۰/۲۵^{de}	۰/۴۵۱^{cd}
	۶۰	۰/۴۳۱^{b}	۰/۵۶^{bc}	۰/۹۹^{b}
۴۵	۰	۰/۴۷۰^{b}	۰/۶۰۴^{b}	۱/۰۷^{b}
	۲۰	۰/۳۹۳^{b}	۰/۵۱۸^{bc}	۰/۹۱^{b}
	۴۰	۰/۶۵۵^{a}	۰/۸۵۵^{a}	۱/۵۱^{a}
	۶۰	۰/۴۵۵^{b}	۰/۵۹۴^{b}	۱/۰۴۹^{b}

در هر ستون اعدادی با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن ندارند.

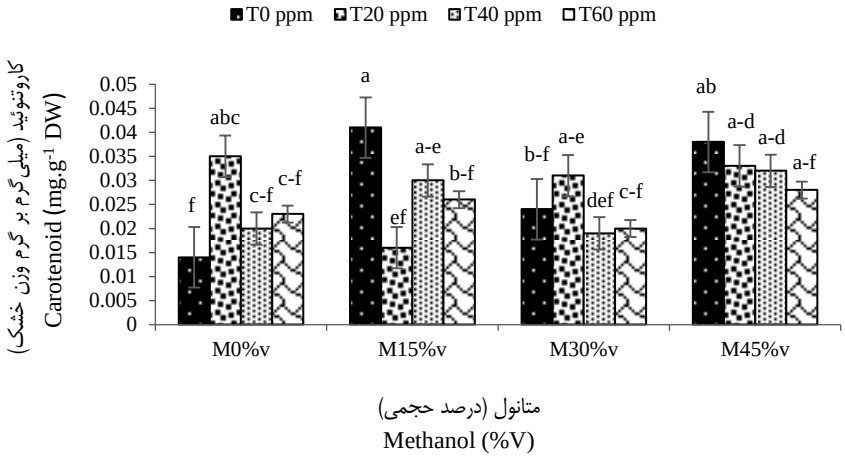
به طور کلی نتایج حاصل نشان داد که برهمکنش متانول و نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم سبب ایجاد نتایج مثبت و معنی‌داری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کلروفیل کل) شده است. محلول‌پاشی با متانول در تمام سطوح در سال اول و در بیشتر سطوح در سال دوم سبب افزایش کلروفیل a، b و کل نسبت به شاهد شده است (جدول ۴ و ۵). با توجه به اینکه هسته‌ی مرکزی واکنش در فتوسیستم II را کلروفیل a تشکیل می‌دهد و دریافت نور در کمپلکس فتوسیستم‌های I و II و انتقال انرژی نورانی به مرکز واکنش توسط کلروفیل b انجام و از برآیند آن‌ها کلروفیل کل حاصل می‌شود، می‌توان گفت افزایش این شاخص‌ها بیانگر تقویت سیستم فتوسنتزی گیاه می‌باشد (۱۰). در پژوهشی که توسط برخی محققان صورت گرفت، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی با متانول و اتانول بر گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) منجر به افزایش مقادیر کلروفیل a، b و کاروتنوئید گردید (۴). در پژوهش دیگری اثر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر روی اکثر صفات گیاه خرفه معنی‌دار بوده و باعث افزایش شاخص کلروفیل و وزن خشک گردیده است (۳۰).

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) نشان داد، تأثیر متقابل تیمارهای متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان کاروتنوئید برگ کنگرفرنگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند. در سال اول تیمار ۳۰ درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با ۲۱۸/۷۵ درصد افزایش نسبت به شاهد بالاترین میزان کاروتنوئید را به خود اختصاص داد (شکل ۱). در سال دوم بالاترین میزان کاروتنوئید با ۱۹۲/۸۵ درصد افزایش نسبت به شاهد مربوط به تیمار ۱۵درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بود که با تیمارهای ۴۵ درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و ۴۵ درصد حجمی متانول + ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان کاروتنوئید برگ کنگرفرنگی در سال اول
Figure 1. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on the carotenoid content of artichoke leaves in the first year



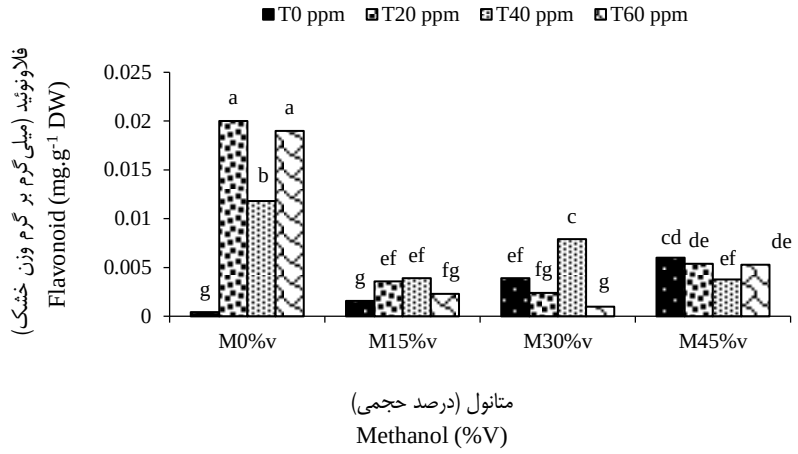
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان کاروتنوئید برگ کنگرفرنگی درسال دوم
Figure 2. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on the carotenoid content of artichoke leaves in the second year

با توجه به این که همین تیمار تیمار ۳۰ درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم، بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ سال اول (شکل ۷) را هم به خود اختصاص داد می‌توان گفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان فقط به محتوای پلی‌فنلی موجود در آنها محدود نمی‌شود بلکه وجود متابولیت‌های ثانویه دیگر از جمله کاروتنوئیدها نیز می‌توانند بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه تأثیرگذار باشند (۱۹). با استفاده از تیمارهای الکلی متانول و اتانول میزان کارتنوئید گیاه دارویی ریحان افزایش یافت (۲۴) در پژوهشی که بر گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) انجام شد، کلروفیل a، b و کل و نیز کاروتنوئید تحت تأثیر محلول‌پاشی متانول و اتانول نسبت به شاهد افزایش نشان دادند (۵). اثر مطلوب استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر کاروتنوئید و رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ‌های ذرت گزارش شده است (۱۲ و ۲۶).

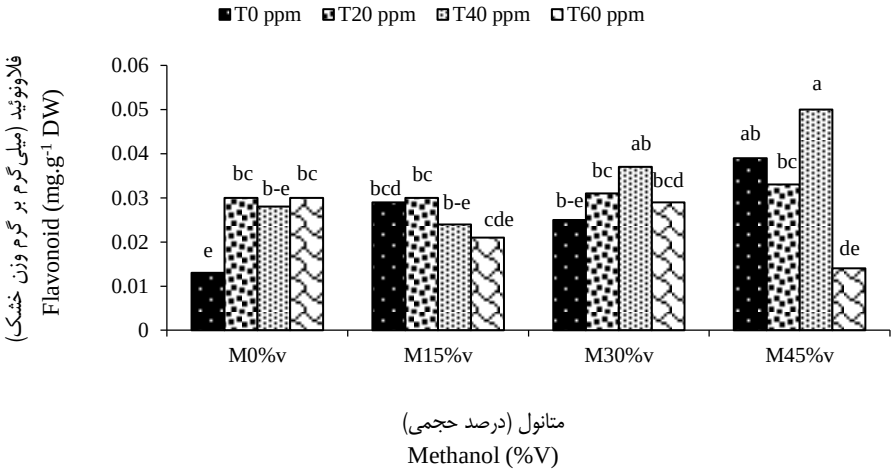
فنل کل و فلاونوئید

نتایج انجام شده (جدول ۲ و ۳) بیانگر آن است که فنل‌کل و فلاونوئید برگ در هر دوسال پژوهش تحت تأثیر متقابل تیمارهای متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. به‌طوری که بیشترین مقدار فلاونوئید برگ سال اول در تیمار صفر درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم دیده شد که با تیمار صفر درصد حجمی متانول + ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین میزان فلاونوئید هم به شاهد اختصاص داشت (شکل ۳). بیشترین مقدار فنل برگ سال اول از برهمکنش تیمار ۱۵ درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با ۲۱۶/۹۱ درصد افزایش نسبت شاهد مشاهده شد و کمترین میزان فنل کل برگ سال اول هم مربوط به شاهد بود (شکل ۵). بالاترین میزان فلاونوئید برگ سال دوم در تیمار ۴۵ درصد

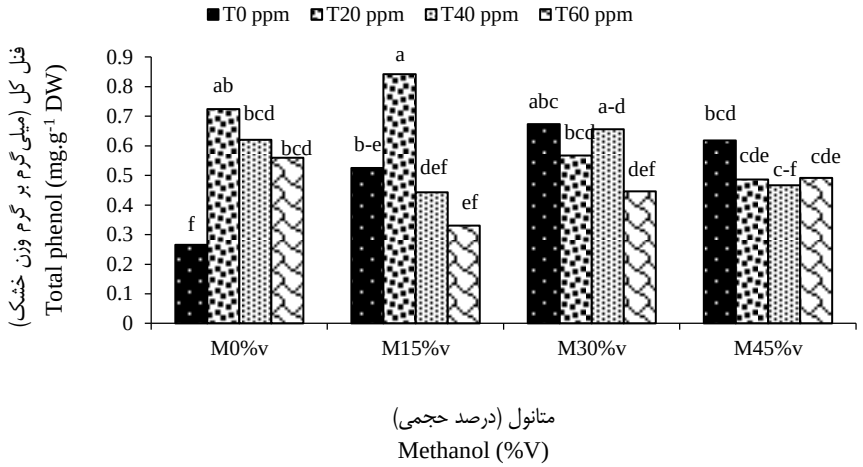
حجمی متانول + ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با ۲۸۴/۶۱ درصد افزایش نسبت شاهد به دست آمد (شکل ۴) و بیشترین مقدار فنل‌کل برگ سال دوم از برهمکنش تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با ۷۳/۱۵ درصد افزایش نسبت شاهد مشاهده شد (شکل ۶). کمترین مقادیر این صفات مربوط به شاهد بود (شکل ۴ و ۶).



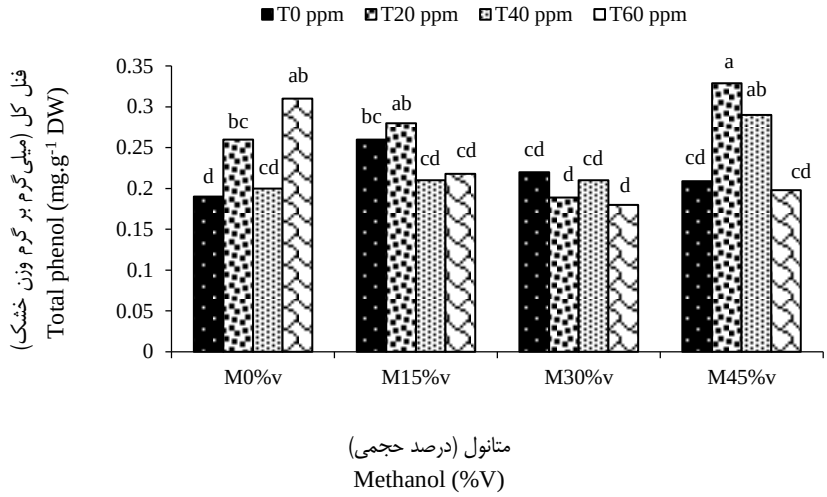
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان فلاونوئید برگ کنگرفرنگی در سال اول
Figure 3. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on the flavonoid content of artichoke leaves in the first year



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر میزان فلاونوئید برگ کنگرفرنگی در سال دوم
Figure 4. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on the flavonoid content of artichoke leaves in the second year



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر محتوای فنل کل برگ کنگرفرنگی در سال اول
Figure 5. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on total phenol content of artichoke leaves in the first year



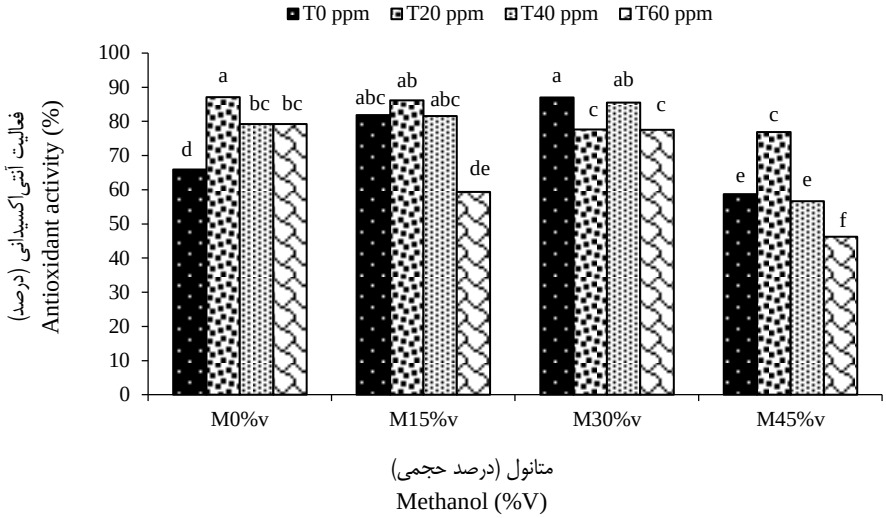
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر محتوای فنل کل برگ کنگرفرنگی در سال دوم
Figure 6. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on total phenol content of artichoke leaves in the second year

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲ و ۳) میزان فنل‌کل و فلاونوئید برگ در هر دوسال پژوهش تحت تأثیر متقابل تیمارهای متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. بر مبنای مسیرهای بیوسنتزی، ترکیبات فنولی یکی از مهمترین گروه‌های متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی هستند که درون سیتوزول سلول از مسیر اسید شیکمیک سنتز می‌شود. یکی از عوامل افزایش سنتز این ترکیبات افزایش کربوهیدرات‌ها می‌باشد. بنابراین افزایش سنتز ترکیبات فنولی در پژوهش حاضر را می‌توان تحت تأثیر مثبت تیمار الکلی به عنوان منبع تولید کربن و اختصاص یافتن کربن بیشتر در مسیر شیکمیک اسید یعنی انحراف مسیر کربن از متابولیت اولیه به سمت تولید مشتقات فنلی (متابولیت ثانویه) دانست (۸و۲۷). محلول‌پاشی با متانول سبب افزایش ترکیبات فنلی در گیاه سویا شد (۷). در نتایج بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدی و فنلی سیزده گیاه دارویی که از عصاره‌های آبی، اتانولی و متانولی استخراج شد، بیشترین میزان این صفات از عصاره متانولی بدست آمد (۲۲). در مطالعه‌ای که بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و تشریحی گیاه گلناز یخی با تیمار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به صورت محلول پاشی انجام شد میزان فنل و فلاونوئید برگ نسبت به شاهد روند افزایشی داشته است (۲). در نتایجی گزارش شد که کاربرد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در گیاه مریم گلی موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید کل شد (۱۶).

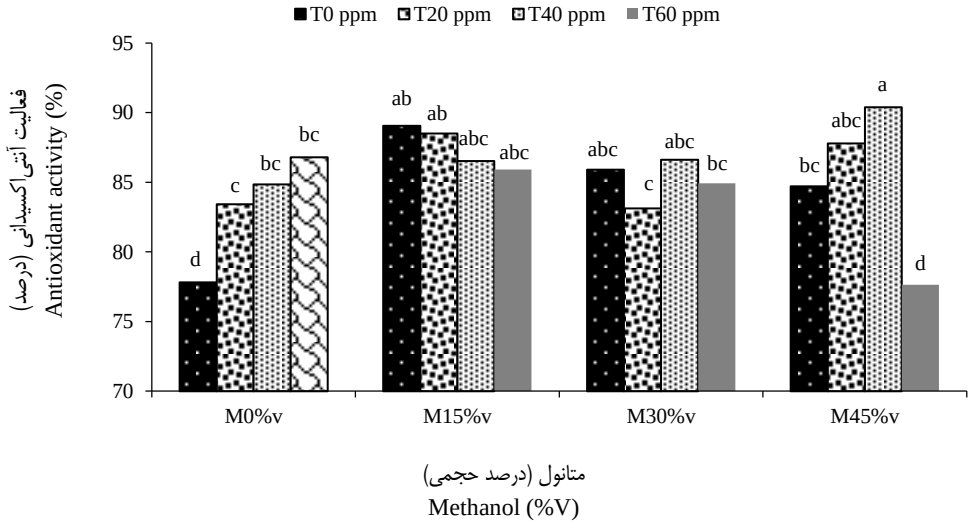
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و برهمکنش آنها بر فعالیت

آنتی‌اکسیدانی طی هر دوسال پژوهش در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد (جدول ۲ و ۳). بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سال اول را تیمار صفر درصد حجمی متانول + ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و تیمار ۳۰ درصد حجمی متانول + صفر میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با ۳۲/۱۶ درصد افزایش نسبت به شاهد به خود اختصاص دادند و کمترین میزان این فعالیت در سال اول از تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد (شکل ۷). در سال دوم نیز تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با افزایش ۱۶/۲۴ درصدی نسبت به شاهد بالاترین میزان قدرت حذف‌کنندگی رادیکال آزاد را داشت و کمترین میزان در سال دوم همانند سال اول مربوط به تیمار ۴۵ درصد حجمی متانول + ۶۰ میلی‌گرم نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بود که تفاوتی با شاهد نداشت (شکل ۸).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ کنگرفرنگی در سال اول
Figure 7. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on antioxidant activity of artichoke leaves in the first year



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر فعالیت آنتی اکسیدانی برگ کنگرفرنگی درسال دوم
Figure 8. Comparison of the mean interaction of methanol and titanium dioxide nanoparticles on antioxidant activity of artichoke leaves in the second year

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل‌های ۱ تا ۸) کاربرد تیمارهای متانول و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در بیشتر سطوح تیماری سبب افزایش میزان کاروتنوئید، محتوای فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی کنگرفرنگی هر

دو سال پژوهش شده است. در بررسی پژوهش‌ها ثابت شده است که سیناریِن موجود در کنگرفرنگی دارای اثرات آنتی‌اکسیدانی می‌باشد و می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرد (۲۱ و ۳۳). بنابراین با توجه به اثرات معنی‌دار و مثبت تیمارها بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ نسبت به شاهد می توان گفت اعمال تیمارها سبب افزایش این ماده ی مؤثره‌ی ارزشمند دارویی گردید. نتایج بررسی تحقیق مزارعی و همکارانش بر روی سیزده گیاه دارویی بیانگر بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از عصاره متانولی بود (۲۲). در بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم بر روی گیاه دارویی مریم گلی نیز استفاده از هر یک از این تیمارها به تنهایی دارای اثر مثبت بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و صفات فیزیولوژیکی مریم گلی شد (۲۳). بررسی محلول‌پاشی برگی با متانول و اتانول بر آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) سبب به‌دست آمدن بهترین نتایج در تمامی صفات فیتوشیمیایی از جمله کلروفیل a، b، کاروتنوئید، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۴). با توجه به نتایج حاصل از بررسی آزمایشات در طول دو سال می‌توان اظهار داشت که فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه کنگرفرنگی در هر دو سال با محتوای فنلی آن رابطه مستقیم دارد و بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه را می‌توان به ترکیبات فنلی نسبت داد که با گزارش نتایجی مبتنی بر ارتباط خطی و مستقیم بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوی فنل تام در بسیاری از گیاهان مطابقت دارد (۱۱).

با توجه به اهمیت بالای خواص فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگرفرنگی از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مقایسه مقادیر آماری این شاخص‌ها در سال اول و دوم نشان می‌دهد با اینکه به موجب اعمال تیمارها، میزان این صفات هم در سال اول و هم در سال دوم نسبت به شاهد افزایش داشتند اما مقادیر بیشتر این صفات از سال اول به دوم روند کاهشی داشته است که این موضوع نشان می دهد تأثیر این مواد بسته به غلظت تیمارها و مراحل رشد و فیزیولوژیک گیاه متفاوت است (۱۵). بنابراین می‌توان بیان کرد که برگ‌های سال اول کنگرفرنگی در مقایسه با برگ‌های سال دوم به دلیل مقادیر بالاتر خواص بیوشیمیایی از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانی و نیز خواص پلی‌فنلی آن، جهت کاربرد در صنایع دارویی از ارزش بیشتری برخوردارند که نتیجه این پژوهش با نتایج مطابقت دارد (۳۴،۶).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت استفاده از تیمار الکلی متانول به عنوان منبع کربنی مضاعف به همراه نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم به عنوان فتوکاتالیست یا فتورسپتور بر صفات فیتوشیمیایی گیاه دارویی کنگرفرنگی از جمله محتوای پلی‌فنلی و در نهایت افزایش فعالیت آنتی-اکسیدانی گیاه تأثیرگذار بوده و استفاده از این تیمارها موجب بهبود کیفیت گیاه دارویی کنگرفرنگی شده است.

منابع

1. Ahmad A., G.H. Awan and S. Aziz. 2007. Synthesis and applications of TiO_2 nanoparticles. Pakistan Engineering Congress, 676: 405-407.
2. Ahmadi, L., M. Kolahi, H. Mohajjel Shoja and E. Mohajel Kazemi. 2020. Study of the effect of titanium dioxide nanoparticles on physiological and anatomical characteristics of ivy flower plant. Journal of Cell and Tissue, 11(3): 188-204 (In Persian with English Summary)
3. Akbari, G.A., E. Morteza, P. Moaveni, I. Alahdadi, M.R. Bihamta and T. Hasanloo. 2014. Pigments apparatus and anthocyanins reactions of borage to irrigation, methylalchol and titanium dioxide. International Journal of Biosciences, 4: 192-208.
4. Akbarpour, V., S.M. Mousavi, H. Moradi and H. Sadeghi. 2021. Effect of methanol foliar application on some growth characteristics and some of secondary metabolites thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Plant Production Research 28(1): 213-229. (In Persian with English Summary)
5. Akbarpour, V., J. Taheri Moqaddas, M.A. Bahmanyar and M. Ashnavar. 2019. The effect of ethanol and methanol application on some morpho-physiological characteristics of Lemongrass (*Melissa officinalis* L.), 11th Iranian Congress of Horticultural Sciences, Urmia, Iran. (In Persian with English Summary)
6. Allahdadi, M. 2018. A Review of Different Aspects of Artichoke (*Cynara scolymus* L.), Journal of Herbal Medicine, 9 (2): 71-63. (In Persian with English Summary)
7. Amraei, B., F. Paknejad, M.A. Ebrahimi and H. Sobhanian. 2017. Effects of methanol spraying on some biochemical and physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress. Journal of Plant Environmental Physiology, 12: (45) 81-94. (In Persian with English Summary)
8. Andy, S.A., F. Maskani, M. Kiani and S.A. Razavi. 2018. Biosynthesis pathways of secondary metabolites in medicinal plants, the Second International Conference on New Technologies in Science, Amol, Iran. (In Persian with English Summary)
9. Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23:112-121.
10. Baradaran Firouzabadi, M., M. Parsaeiyan and M. Baradaran Firouzabadi. 2018. Agronomic and physiological response of Nigella sativa L. to ascorbate and methanol foliar application in water deficit stress. Plant Ecophysiology, 9: 13-27. (In Persian with English Summary)
11. Cai, Y., Q. Luo, M. Sun and H. Corke. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated anticancer. Life Sciences, 74: 2157-84.

12. Castiglione, R. and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165.
13. Chang, C., M. Yang, H. Wen and J. Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis, 10: 178-182.
14. Ebrahimzadeh, M.A., S.F. Nabavi, S.M. Nabavi and B. Eslami. 2010. Antihemolytic and antioxidant activities of *Allium paradoxum*. Central European Journal of Biology, 5: 338-345.
15. Eskandarinasab, M., M. Rafieiolhossaini, P. Roshandel and M.R. Tadayon. 2018. Investigation of seed germination indices and anthocyanin content of Niger (*Guizotia* abyssinica) seedling under the effect of three nanoparticles. Iranian Journal of Seed Research, 5(2): 73-89. (In Persian with English abstract).
16. Ghorbanpour, M. 2015. Major essential oil constituents, total phenolics and flavonoids content and antioxidant activity of *Salvia officinalis* plant in response to nano-titanium dioxide. Indian Journal of Plant Physiology, 20(3): 249-256.
17. Hosseinzadeh, S.R., A. Salimi, A. Ganjeali and R. Ahmadpour. 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology, 5: 116-129. (In Persian with English abstract).
18. Ivanova, E.G., N.V. Dornina and Y.A. Trotsenko. 2001. Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. Microbiology, 70: 392-397.
19. Javanmardi, J., C. Stushnoff, E. Locke and J.M. Vivanco. 2003. Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum* accessions. Food Chemistry, 83: 547-550.
20. Khosravi, M.T., A. Mehrafarin, H. Naghdibadi, R. Hajiaghaee and E. Khosravi. 2011. Effect of methanol and ethanol application on yield of *Echinacea purpurea* L. in Karaj region. Journal of Herbal Drugs, 2(2): 121-128. (In Persian with English abstract)
21. Li, H., N. Xia, I. Brausch, Y. Yao and U. Forstermann. 2004. Flavonoids from artichoke (*Cynara scolymus* L.) up-regulate endothelial-type nitroxide synthase gene expression in human endothelial cells. Pharmacology and Experimental Therapeutics, 310(3): 926-932.
22. Mazarei, A., S.M. Mousavi Nik and L. Fahmideh. 2017a. Investigation of antioxidant, flavonoid and phenolic activity of ethanolic, aqueous, Estonian and methanolic extracts of thirteen medicinal plants. New Findings in Biological Sciences, 4(4): 309-299.
23. Mazarei, A., S.M. Mousavi Nik and L. Fahmideh. 2019b. Effect of foliar application of different concentrations of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on some physiological traits and antioxidant activity of *Salvia officinalis* L. Plant Biology of Iran, 11(39): 1-22 (In Persian with English abstract).
24. Moghaddam, M., R. Narimani, G. Rostami and S. Mojarab. 2018. Studying the effect of foliar application of methanol and ethanol on morphological and biochemical characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* cv. Keshkeni luvelou). Iranian Journal of Field Crops Research, 16(2): 345-354. (In Persian with English abstract)
25. Montano, P.A., G.K. Shenoy, E.E. Alp, W. Schulze and J. Urban. 1986. Structure of copper microclusters isolated in solid argon, Physical Review Letters, 56: 2076-2079.
26. Morteza, E., P. Moaveni, H.A. Farahani and M. Kiyani. 2013. Study of photosynthetic pigments changes of maize (*Zea mays* L.) under nano TiO_2 spraying at various growth stages. Springerplus, 2(1): 247-253.
27. Phuong, M., E.M. Nguyen and K.E. Niemeyer. 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. Food Chemistry, 123: 1235-1241.
28. Sadeghi-Shoae, M., F. Paknejad, A. Kashani, T. Nooralvandi and M.R. Tookalloo. 2012. Can foliar application with methanol improve the yield, yield components and physiological performance of mung bean (*Vigna radiata* L.). Annals of Biological Research, 3(10): 4780-4785.
29. Salari, M., N. Panjehke and S. Kasraei. 2008. Nanotechnology and its application in phytopathology. Journal of Plant Patologist and Food, 2(3): 36-45. (In Persian with English abstract)
30. Sartip, H., A. Sirus Mehr, H. Yadegari and A. Akbari. 2015. Effect of foliar application of titanium dioxide nanoparticles and drought stress on phenological, morphological and chlorophyll characteristics of *Portulaca oleracea*. International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz, Iran (In Persian).
31. Slinkard, K. and V. singleton. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture, (28): 49-55.
32. Zheng, L., S. Mingyu, L. Chao, C. Liang, H. Huang, W. Xiao, L. Xiaoqing, F. Yang, F. Gao and F. Hong. 2007. Effects of nanoanatase TiO2 on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. Biological Trace Element Research, 119:68-76.
33. Zhu, X., H. Zhang and R. Lo. 2004. Phenolic compounds from the leaf extract of artichoke (*Cynara scolymus* L.) and their antimicrobial activities. Agricultural and Food Chemistry, 52(24): 7272-7278.
34. Ziaei, S.A., A. Dastpak, H. Naghdibadi, L. Pourhosseini, A. Hemmati Moghaddam and M. Gharavi Naeini. 2005. Review of Artichoke Plant (*Cynara Scolymus* L.). Medicinal Plants, 4(13): 1-10. (In Persian with English abstract)

Effect of Methanol and Titanium Dioxide Nanoparticles on Phytochemical Properties of Artichoke (*Cynara scolymus* L.)

Fahimeh Talebi Azadboni[1], Vahid Akbarpour[2] and Vida Chalavi[3]

1- M.Sc. Student of Medicinal Plants, Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Science and Natural Resources, Iran
2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Science and Natural Resources, Iran, (Corresponding author: v_akbarpour60@yahoo.com)
3- Associated Professor, Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Science and Natural Resources, Iran
Received: 27 November 2021 Accepted: 8 February 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: In recent years, studies have focused on the use of new compounds that can be synthesized inside the plant and increase the photosynthetic efficiency of the plant. Some of these compounds include micronutrients and alcohols. Alcohols such as methanol as a carbon source will increase photosynthetic efficiency and improve plant growth parameters. Titanium dioxide nanoparticles also improve and repair the photosynthetic apparatus in the plant and thus increase the photosynthetic efficiency. For this reason, this study investigates methanol and titanium dioxide nanoparticles on the phytochemical properties of artichoke.

Material and Methods: In order to investigate the foliar application of methanol and titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles on artichoke, an experimental factorial design based on randomized complete blocks with 4 levels for each of the 2 methanol factors (0, 15, 30 and 45% by volume) and Anatase of titanium dioxide (0, 20, 40 and 60 mg. l^{-1}) was performed in 3 replications in 2019 and 2020. Measured traits included photosynthetic pigments, phenol, flavonoids and antioxidant activity over two years.

Results: Based on the results, the interaction of treatments for all studied traits in both years of the study was statistically significant at the level of 1%. The highest amount of chlorophyll a, b and whole leaves in the first year of zero volume treatment of methanol + 20 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles and in the second year of leaves from 45% volume treatment of methanol + 40 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles was obtained. In the first year, 30% volumetric treatment of methanol + zero mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles and in the second year, 15% volumetric treatment of methanol + zero mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles with 218.75 and 192.85% increase, respectively, compared to control had the highest carotenoid levels. The highest amount of first year leaf flavonoids was observed in zero volume treatment of methanol + 20 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles which was not significantly different from zero volume methanol + 60 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles. The highest amount of flavonoid in the second year leaves was obtained from the treatment of 45% by volume of methanol + 40 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles with 284.61% increase in control ratio. The highest amount of first year leaf phenol from the interaction of 15% volumetric methanol + 20 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles The highest amount of second year leaf phenol from the interaction of 45% volumetric methanol + 20 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles, respectively with 73.15 and 216.91% increase in control ratio were seen. The highest amount of antioxidant activity in the first year was zero volume methanol + 20 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles and 30% methanol + zero mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles with 32.16% increase compared to the control Allocated. In the second year, the treatment of 45% by volume of methanol + 40 mg.l^{-1} titanium dioxide nanoparticles with the highest increase of 16.24% compared to the control had the highest free radical scavenging power.

Conclusion: According to the results, the combined use of methanol as a carbon source and nanoparticles of titanium dioxide can be useful in improving the phytochemical properties of artichoke.

Keywords: Alcoholic solution, Antioxidant, Artichoke, Dioxide nanoparticles, Flavonoid, Phenol content, Titanium