فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۵، خرداد و تیرماه ۱۴۰۴ صفحه: ۴۷-۶۳
https://doi.org/10.22034/14.66.47

مقاله پژوهشی

تأثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی دگرآسیب آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) بر جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.)

علی عبادی[1*]، سولماز فیض‌پور[2] و فاطمه احمدنیا[1]

[1] گروه آموزشی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[2] دانشکده مدارهای مجتمع، آزمایشگاه ملی اپتوالکترونیک ووهان، دانشگاه علم و فناوری Huazhong، ووهان، چین

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶)

چکیده

استفاده روزافزون از نهاده‌های شیمیایی و پیامدهای زیست‌محیطی آن منجر به ایجاد راهبردهایی برای کنترل هدفمند علف‌های‌هرز، از جمله سنتز نانوذرات با عصاره‌های گیاهان دگرآسیب شده است. آزمایشی در بهار سال ۱۴۰۳ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارها شامل اثر عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های صفر، ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر، نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده بدون عصاره و شاهد بود. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به روش سل‌ژل به مدت ۴۸ ساعت سنتز و نوع پیوندها با استفاده از FTIR شناسایی شد. جوانه‌زنی بذر خردل وحشی به مدت ۱۴ روز ادامه داشت و در پایان شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که درصد جوانه‌زنی بذر ۲۵/۰۰ و ۵۰/۰۰ درصد و وزن خشک ۲۱/۴۹ و ۵۳/۴۸ درصد در نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با عصاره آبی آفتابگردان کاهش یافتند. کمترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه (۱/۲۰، ۰/۹۳، ۱/۹۰ و ۱/۳۳ سانتی‌متر) و فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۵/۴۶ تغییرات جذب به میکروگرم پروتئین بر دقیقه) از غلظت ۶۰ گرم در لیتر هر دو تیمار به‌دست آمد. افزایش پراکسیداسیون لیپیدی در نانوذرات سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان بیشتر (۱۰/۷۱ و ۳/۶۵ درصد) از عصاره آبی آفتابگردان بود. نتایج نشان‌دهنده بازدارندگی بالای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتز شده با عصاره آبی آفتابگردان بر جوانه‌زنی و شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه خردل وحشی بود.

واژه‌های کلیدی: آللوپاتی، پراکسیداسیون لیپیدی، ریشه‌چه، علف‌هرز و آنزیم کاتالاز

مقدمه

انتشار ترکیبات سمی از یک گونه گیاهی و اثرات بازدارنده مستقیم و غیرمستقیم آن بر روی گونه‌های دیگر را دگرآسیبی می‌نامند (Iqbal *et al.*, 2020). دگرآسیبی یک راهبرد امیدوارکننده در اکوسیستم‌های کشاورزی به منظور جایگزینی آن در برابر مصرف غیرهدفمند علفکش‌ها است (Tanase *et al.*, 2019; Debaeke *et al.*, 2021). آللوشیمیایی‌ها می‌توانند به طور فعالی توسط ترشحات گیاهی در محیط آزاد و یا به‌طور غیرفعال در طی تجزیه بقایای گیاهی تولید شوند (Sahoo *et al.*, 2023; Bais *et al.*, 2006). بیشتر آللوشیمیایی‌ها

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ebadi@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که به ترپنوئیدها، ترکیبات فنلی، اسیدهای چرب با زنجیره بلند، سیانیدهای آلی، آلکالوئیدها و غیره تعلق دارند (Macias *et al*., 2019). آللوشیمیایی‌ها غیرمغذی هستند و می‌توانند در هر قسمتی از گیاه مانند ساقه، ریشه، گل و بذر یافت شوند (احمدنیا و همکاران، ۱۴۰۲). آللوشیمیایی‌های رهاسازی شده از قسمت‌های مختلف گیاهان در خاک قابلیت اثر بر رشد گیاهچه (Rigon *et al*., 2018)، تجمع ماده خشک (Muhammad and Majeed, 2014)، فتوسنتز (Pula *et al*., 2020)، تنفس و تقسیم سلولی، سنتز رنگدانه کلروفیل (a، b و کلروفیل کل)، تولید هورمون‌های گیاهی و فعالیت‌های آنزیمی را دارند (Nivas *et al*., 2017).

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گیاهی یکساله از تیره مرکبیان (*Compositae* یا *Asteraceae*) است که خاصیت دگرآسیبی آن بر روی علف‌های‌هرز و یا گیاهان زراعی گزارش شده است (Xuan *et al*., 2005). اولین گزارش از خاصیت دگرآسیبی آفتابگردان در سال ۱۹۳۱ منتشر شد (Casas *et al*., 2009). تاکنون بیش از ۲۰۰ ترکیب طبیعی دگرآسیب از ارقام مختلف آفتابگردان شناسایی شده است (Janusauskaite, 2023a). گزارش شده است که آفتابگردان می‌تواند در تناوب‌های زراعی اثرات دگرآسیب بر علف‌های‌هرز داشته باشد (Rashid *et al*., 2022). پژوهشگران یکی از مهمترین دلایل این امر را آللوشیمیایی‌های موجود در آفتابگردان گزارش کرده‌اند، به‌طوری‌که این ترکیبات از طریق کاهش جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان باعث کاهش رشد آن‌ها می‌شود (Flayyih *et al*., 2022). گزارش شده است که عصاره آبی آفتابگردان به‌طور قابل توجهی باعث کاهش رشد علف‌های هرز فالاریس (*Phalaris minor*)، سلمه‌تره (*Chenopoium album*)، تر تیزک خوک دوقلو (*Coronopus didymus*) و خردل وحشی (*Sinapis alba* L.) در مزارع ذرت (*Zea mays*) و گندم (*Triticum aestivum*) می‌شود (Naeem *et al*., 2018; Oliwa *et al*., 2017; Chand *et al*., 2022).

نگرانی‌های فزاینده در زمینه آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد روزافزون علفکش‌ها باعث افزایش تفکر در زمینه کنترل هدفمند علف‌های هرز با استفاده از نانوذرات و برجسته نمودن عصاره‌های دگرآسیب گیاهی در محیط شده است (احمدنیا و همکاران، ۱۴۰۱؛ احمدنیا و همکاران، ۱۴۰۲؛ عبادی و احمدنیا، ۱۴۰۲). دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) یک اسید معدنی غیرسیلیکاتی است که به اشکال آناتاز، روتیل و بروکایت در طبیعت یافت می‌شود (Sant´as-Miguela *et al*., 2023). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم کاربردهای بسیاری در علوم مختلف مانند صنایع غذایی و دارویی دارند (Grand and Tucci, 2016). همچنین از موارد استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌توان به بهره‌گیری از آن‌ها در بهبود شرایط خاک و رشد گیاهان در تنش‌های محیطی اشاره کرد (Fatima *et al*., 2021). سنتز سبز نانوذرات با عصاره‌های گیاهی یکی از روش‌های ایمن و سازگار با محیط‌زیست است (احمدنیا و همکاران، ۱۴۰۱). مزایای کاربرد این روش شامل اجتناب از مواد شیمیایی خطرناک، غیرسمی و دوستدار محیط‌زیست، آماده‌سازی آسان و به صرفه بودن آن است (Salvadori *et al*., 2014). گزارش شده است که استفاده از نانوذرات در صنایع کشاورزی باعث کاهش انتشار مواد شیمیایی، تلفات علف کش‌ها و آفت‌کش‌ها می‌شود (Choudhary *et al*., 2020).

خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) علف‌هرزی یکساله و متعلق به خانواد *Brassicaceae* است که به دلیل قدرت استقرار و رقابت بالا با سایر گونه‌ها برای جذب منابع و ایجاد بانک بذر ماندگار در خاک خسارت‌های بسیاری را به محصولات کشاورزی وارد می‌کند (Gherekhloo *et al*., 2018). خردل وحشی یکی از بزرگترین مشکلات مزارع گندم، تریتیکاله و کلزا است که آثار سوء آن بر کاهش کیفیت روغن کلزا و عملکرد گندم و تریتیکاله گزارش شده است (Dhima and Eleftherohorinos, 2005; Ntoanidou *et al*., 2020). کنترل این علف‌هرز با استفاده از اکسین‌های مصنوعی و علف‌کش‌های مهارکننده آنزیم استولاکتات سنتاز (ALS, EC 2.2.1.6) صورت می‌گیرد (Khaledi *et al*., 2019). با این حال استفاده از عصاره‌های گیاهی به عنوان یکی از روش‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

سازگار با محیط‌زیست شناخته شده‌اند (عبادی و احمدنیا، ۱۴۰۲). اهمّیت معرفی روش‌های کم هزینه و سازگار با محیط زیست جهت کنترل یا کاهش جوانه‌زنی، رشد و استقرار علف‌های هرز در محیط‌های کشاورزی موجب اجرای پژوهشی با عنوان تأثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی دگرآسیب آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) بر جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) شد. هدف اصلی این پژوهش تعیین درصد کاهش جوانه‌زنی بذر خردل وحشی با استفاده از عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان بود.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش: آزمایش در بهار سال ۱۴۰۳ در آزمایشگاه‌های تکنولوژی بذر و علوم علف‌های هرز گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها و غلظت‌های آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

تهیه عصاره گیاهی: بذر رقم *Helianthus annuus* L. var. Armavireski آفتابگردان از مرکز تحقیقات کشت و صنعت مغان تهیه شد. کشت بذر آفتابگردان در ۱۵ فروردین سال ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی کشت و صنعت مغان به‌صورت دستی با فواصل بین و روی ردیف ۴۰ و ۳۰ سانتی‌متر و در عمق پنج الی هفت سانتی‌متری انجام شد (عبدالرحمنی، ۱۳۸۲؛ مظاهری لقب و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایشی نشان داد که بافت خاک رسی بوده و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب آن به‌ترتیب ۱۰/۵۱ و ۴۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، نیتروژن کل، کربن آلی و کربنات کلسیم به‌ترتیب ۰/۰۵، ۰/۶ و ۳۱/۲ درصد و محتوی رس، سیلت و شن به‌ترتیب ۵۹/۰۸، ۳۰ و ۱۰/۹۲ درصد بود. از هیچ نوع نهاده شیمیایی برای تغذیه گیاه، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و علف‌های‌هرز استفاده نگردید. آبیاری براساس شرایط اقلیمی منطقه چهار الی شش روز یک بار انجام شد. تمام برگ‌های گیاه آفتابگردان با گذشت ۶۰ روز از تاریخ کاشت جمع‌آوری و در دمای اتاق به مدت ۳۰ روز هوا خشک و سپس نمونه‌های خشک‌شده توسط آسیاب مدل Romania, type ~3M پودر شدند. برای تهیه عصاره آبی گیاه آفتابگردان از روش خیساندن (Maceration) استفاده شد (Trusheva *et al.*, 2007; Ahmadnia *et al.*, 2025). به‌منظور تهیه غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر به‌ترتیب ۳۰ و ۶۰ گرم پودر برگ آفتابگردان به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه شد. محلول‌های حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر روی شیکر مدل FSA, AC220V, 50/60HZ (IRAN) قرار گرفته و سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و به مدت ۱۵ دقیقه با ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و عصاره شفاف رویی جدا و تا زمان انجام آزمون‌های زیست‌سنجی در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان: به‌منظور سنتز نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، محلول تیتانیوم ترا ایزوپرپوکساید (TTIP) از شرکت Merck با خلوص ۹۸ درصد تهیه شد. سنتز نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با استفاده از روش سل ژل انجام شد. در این روش ۵۵ میلی‌لیتر اتانول با ۱۳۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۰/۲ میلی‌لیتر اسید استیک مخلوط شد. سپس ۱۸/۵ میلی‌لیتر تیتانیوم ترا ایزوپرپوکساید و ۱۰ میلی‌لیتر عصاره گیاهی به آن اضافه شده و به مدت ۴۸ ساعت با استفاده از همزن مغناطیسی مخلوط شد. با گذشت ۴۸ ساعت، رسوب تولیدشده جمع‌آوری شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون آزمایشگاهی خشک شد. سپس در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت کلسینه شد (پژوهان و همکاران، ۱۳۹۵).

تجزیه طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ: شناسایی نوع پیوندها و ترکیبات شیمیایی موجود در نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتز شده با استفاده از دستگاه FTIR (FTIR, Perkin Elmer Spectrum RX I) طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

جدول ۱- مشخصات تیمارهای آزمایشی

تیمارها	غلظت‌ها
عصاره آبی آفتابگردان	غلظت صفر (آب‌مقطر) غلظت ۳۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان	غلظت صفر (آب‌مقطر) نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره آبی آفتابگردان نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت ۳۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان

آزمون زیست‌سنجی: بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) از مزارع کشاورزی مرکز تحقیقات مغان در شهرستان پارس‌آباد، استان اردبیل با موقعیت جغرافیایی ۳۱°۳۹′ شمالی و ۴۷°۴۶′ شرقی در شهریورماه سال ۱۴۰۲ جمع‌آوری شد. پیش از تعیین قوه‌نامیه بذر خردل وحشی مورد ارزیابی قرار گرفت. شکست خواب بذر خردل وحشی با استفاده از جیبرلیک اسید در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۲۴ ساعت نگهداری در تاریکی انجام شد (Sin and Kadıoglu, 2021). برای ارزیابی اثر عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان تعداد ۵۰ عدد بذر علف‌هرز خردل وحشی پس از استریل شدن سطحی توسط هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌صورت تصادفی در پتری‌دیش‌های به قطر ۹ سانتی‌متر روی کاغذ صافی قرار داده شدند. به هر یک از پتری‌دیش‌ها ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره‌ها افزوده شد. برای تیمار شاهد از آب‌مقطر هم پتانسیل اسمزی با عصاره گیاهی با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ استفاده شد. پتانسیل اسمزی عصاره‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان به‌ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۱۳۵ مگاپاسگال بود. پس از آن ظروف پتری‌دیش در پاکت‌های پلاستیکی شفاف قرار داده شد و به‌منظور جوانه‌زنی به ژرمیناتور با رطوبت نسبی ۷۵ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شد. شمارش بذرها به مدت ۱۴ روز، روزانه در ساعت مشخص انجام شد. بذرهایی با طول ریشه‌چه دو میلی‌متر به عنوان بذرهای جوانه‌زده در نظر گرفته شد (Perry, 1981). طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و وزن تر و خشک گیاهچه پس از اتمام دوره جوانه‌زنی با استفاده از خط‌کش و ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ مدل Satorius (SECURA124-1A, Germany) اندازه‌گیری شدند.

درصد جوانه‌زنی: درصد جوانه‌زنی بذر با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Scott *et al*., 1984).

رابطه (۱)

$$GP = \frac{S}{T} \times 100$$

در این رابطه GP بیانگر درصد جوانه‌زنی، S بیانگر تعداد بذرهای جوانه‌زده و T بیانگر تعداد کل بذرهای نمونه آزمایشی است.

سرعت جوانه‌زنی بذر: سرعت جوانه‌زنی بذر با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Maguire, 1962).

رابطه (۲)

$$GR = \frac{Number\ of\ normal\ seedlings}{Days\ to\ first\ count} + \frac{Number\ of\ normal\ seedlings}{Days\ to\ final\ count}$$

ضریب سرعت جوانه‌زنی: ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Scott *et al*., 1984).

رابطه (۳)

$$CVG = \frac{G_1+G_2+\cdots+Gn}{(1\times G_1)+(2\times G_2)+\cdots+(n\times Gn)}$$

در این رابطه CVG بیانگر ضریب سرعت جوانه‌زنی و $G_1 - G_n$ بیانگر تعداد بذر جوانه‌زده از روز اول تا انتهای آزمون زیست‌سنجی است.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز براساس روش Sudhakar و همکاران (۲۰۰۱) اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

براساس این روش ۰/۲ گرم نمونه تر گیاهچه در مجاورت نیتروژن مایع پودر شده و با ۱ میلی‌لیتر بافر تریس کلریدریک ۰/۵۰ مولار با اسیدیته ۷/۵ هموژن گردید. همگنای حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و محلول شفاف رویی برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده شد. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس (۵۰ میلی‌مولار، اسیدیته هفت) و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه (۵ میلی‌مولار) تهیه شده و ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حمام یخ به آن اضافه شد و میزان جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل UV 2100 ساخت امریکا خوانده شد. برای نمونه شاهد از بافر تریس-کلریدریک ۰/۵۰ مولار استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز براساس تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه محاسبه شد (Sudhakar *et al.*, 2001).

میزان پراکسیداسیون لیپیدی: به‌منظور سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدی در حدود ۰/۵ گرم از گیاهچه خردل وحشی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری کلرواستیک اسید همگن و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۲ میلی‌لیتر از محلول روشناور حاصل با ۴ میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری کلرواستیک اسید محتوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید مخلوط شد. کمپلکس حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل گردید. نمونه‌ها مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. میزان تغییرات جذب پراکسیداسیون لیپیدی در طول‌موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل UV 2100 ساخت امریکا خوانده شد. میزان پراکسیداسیون لیپیدی براساس تغییرات جذب در میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد (Stewart and Beweley, 1980).

تجزیه آماری: تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون $LSD_{5\%}$ و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2019 انجام شد. نتایج طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ با نرم‌افزار Origin 2022 رسم شد.

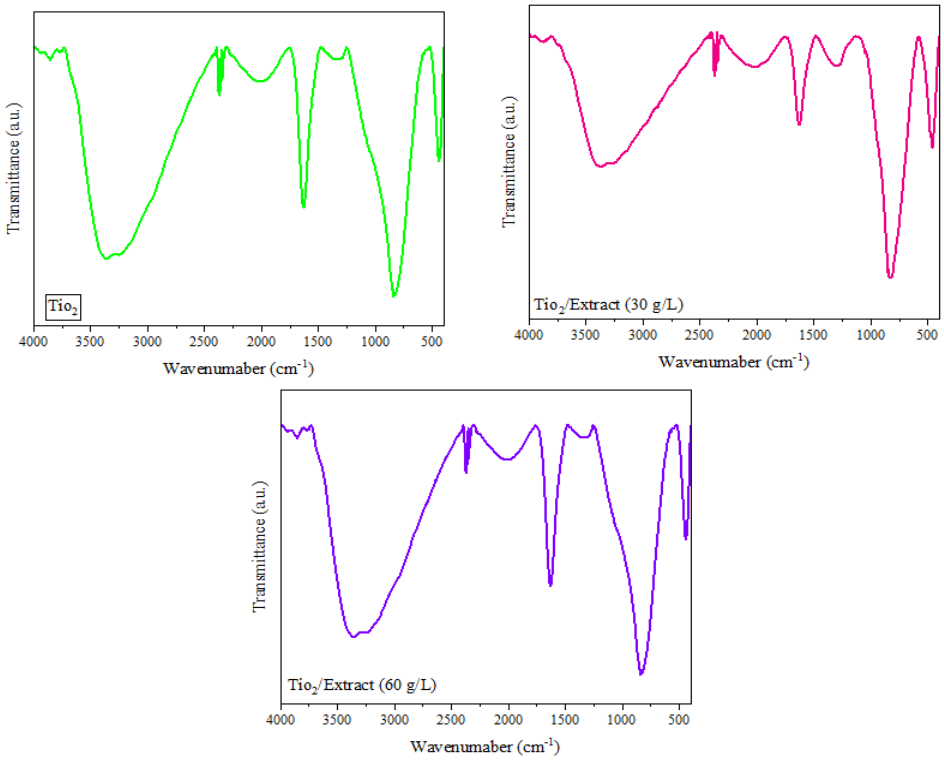
نتایج و بحث

تجزیه طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ: تجزیه طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR) یک روش مؤثر برای شناسایی نوع پیوندها و ترکیبات شیمیایی موجود در نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم است. نتایج طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ حاصل از سنتز نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم نشان داد که حالت خمشی Ti-O در دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره، دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان به‌ترتیب cm^{-1} ۴۹۲/۳۲، cm^{-1} ۴۴۲/۹۵ و cm^{-1} ۴۵۸/۳۰ ثبت شد (شکل ۱). همچنین حالت کششی Ti-OH در دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره، دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان به‌ترتیب در cm^{-1} ۱۶۳۷/۴۳، cm^{-1} ۱۶۳۰/۰۲ و cm^{-1} ۱۶۲۸/۷۲ ثبت شد (شکل ۱). ارتعاشات کششی نامتقارن و متقارن گروه هیدروکسیل (OH-) در محدوده cm^{-1} ۳۴۳۶/۹۵، cm^{-1} ۳۳۴۹/۷۵ و cm^{-1} ۳۳۷۱/۰۷ مشاهد شد (شکل ۱). نوارها در محدوده cm^{-1} ۱۶۲۳/۵۰ به آب جذب شده در سطح TiO_2 نسبت داده می‌شود (Antic *et al.*, 2012). همچنین این نتایج با مشاهدات پیشین مطابقت دارد (Chougala *et al.*, 2017).

آزمون‌های زیست‌سنجی: نتایج تجزیه واریانس دو طرفه نشان داد که برهمکنش تیمارهای عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان و غلظت‌ها بر درصد جوانه‌زنی بذر، سرعت جوانه‌زنی بذر، ضریب سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر و خشک گیاهچه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول‌های ۲ و ۳).

درصد و سرعت جوانه‌زنی: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین درصد جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (۷/۳۳ درصد) از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان حاصل شد (جدول ۴).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]



شکل ۱- نتایج طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR) نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی دگرآسیب آفتابگردان

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر عصاره آبی دگرآسیب آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آفتابگردان در غلظت‌های مختلف بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر خردل وحشی

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی
تیمار	۱	۲۶۰۴/۱۶**	۱۲۹/۳۰**	۴۶۷/۳۲ **
غلظت‌ها	۳	۸۷۷۵/۲۷**	۲۷۸/۲۶**	۴۱۳/۶۸**
تیمار × غلظت‌ها	۳	۴۱۲۹/۹۴**	۱۶۰/۷۳**	۴۰۲/۱۰ **
خطای آزمایشی	۱۶	۲/۱۶	۰/۳۶	۱۵/۸۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۰۸	۶/۶۳	۱۳/۰۵

** **معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در آزمون LSD است.**

نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با شاهد ۷۴/۰۰ و ۹۲/۶۶ درصد جوانه‌زنی بذر خردل وحشی را کاهش دادند (جدول ۴). مقایسه تیمارها نشان داد که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با عصاره آبی آفتابگردان، جوانه‌زنی بذر خردل وحشی را به‌ترتیب ۲۵/۰۰ و ۵۰/۰۰ درصد کاهش داد (جدول ۴). نتایج ارزیابی برهمکنش تیمارها با غلظت‌ها بر سرعت جوانه‌زنی بذر خردل وحشی نیز نشان داد که کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر (به‌ترتیب ۲/۳۵ و ۱/۱۸ بذر در روز) به غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر عصاره آبی دگرآسیب آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آفتابگردان در غلظت‌های مختلف بر شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه خردل وحشی

منبع تغییرات	درجه آزادی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
تیمار	۱	۴۴/۴۱**	۱۳/۸۷**	۰/۳۰**	۰/۴۴^{ns}
غلظت‌ها	۳	۱۶۷/۹۴**	۷۶/۹۵**	۳/۸۵**	۱/۸۱**
تیمار × غلظت‌ها	۳	۹۵/۸۷**	۵۳/۴۷**	۷/۵۱*	۲/۲۴**
خطای آزمایشی	۱۶	۰/۵۸	۰/۳۴	۰/۱۰	۰/۰۴۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۳۹	۹/۷۳	۱۹/۸۲	۲۵/۴۹

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد در آزمون LSD هستند.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های مختلف بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر خردل وحشی

تیمارها	غلظت‌ها	درصد جوانه‌زنی بذر (درصد)	سرعت جوانه‌زنی بذر (بذر/روز)	ضریب سرعت جوانه‌زنی
عصاره آبی آفتابگردان	شاهد (آب‌مقطر)	۱۰۰/۰۰ ^{a}	۱۶/۹۹ ^{b}	۲۲/۷۲ ^{d}
	۳۰ گرم در لیتر	۳۴/۶۶ ^{b}	۷/۷۹ ^{c}	۳۶/۶۰ ^{a}
	۶۰ گرم در لیتر	۱۴/۶۶ ^{d}	۲/۳۵ ^{e}	۲۸/۷۲ ^{bc}
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان	شاهد (آب‌مقطر)	۱۰۰/۰۰ ^{a}	۱۸/۹۷ ^{a}	۲۴/۴۷ ^{cd}
	نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره	۹۹/۳۳ ^{a}	۱۹/۹۴ ^{a}	۳۳/۳۳ ^{ab}
	۳۰ گرم در لیتر	۲۶/۰۰ ^{c}	۵/۶۰ ^{d}	۳۵/۸۲ ^{a}
	۶۰ گرم در لیتر	۷۷/۳۳ ^{e}	۱/۱۸ ^{e}	۲۹/۷۲ ^{bc}
$LSD_{5\%}$		۲/۳۷	۱/۱۲	۵/۹۵

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارد.

آبی آفتابگردان تعلق داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه تیمارها نشان داد که همگام با درصد جوانه‌زنی بذر، نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان به‌ترتیب ۲۸/۰۸ و ۴۹/۴۰ درصد سرعت جوانه‌زنی را در مقایسه با همان غلظت‌ها در عصاره آبی آفتابگردان کاهش دادند (جدول ۴).

ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر: نتایج ارزیابی ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر خردل وحشی نشان داد که بیشترین (۳۶/۶۰ و ۳۵/۸۲) ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر خردل وحشی متعلق به غلظت ۳۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره ۳۰ گرم در لیتر آفتابگردان بود (جدول ۴). نتایج ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر نشان داد که غلظت ۳۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت ۳۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان موجب افزایش ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر می‌شوند؛ به‌طوری‌که در مقایسه با شاهد ضریب سرعت جوانه‌زنی ۳۷/۹۲ و ۳۱/۶۸ درصد افزایش یافت (جدول ۴).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های مختلف بر شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه خردل وحشی

تیمارها	غلظت‌ها	طول ریشه‌چه (سانتیمتر)	طول ساقه‌چه (سانتیمتر)	وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)
عصاره آبی آفتابگردان	شاهد (آب‌مقطر)	۱۴/۵۰ a	۱۱/۵۸ a	۳/۳۴ a	۱/۶۹ a
	۳۰ گرم در لیتر	۱۱/۲۰ b	۷/۶۳ d	۱/۹۳ b	۱/۰۷ b
	۶۰ گرم در لیتر	۱/۲۰ d	۱/۹۰ e	۰/۷۳ cd	۰/۰۸۶ c
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان	شاهد (آب‌مقطر)	۱۲/۲۳ b	۸/۶۶ c	۱/۷۹ b	۰/۹۹ b
	نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره	۱۴/۶۵ a	۱۰/۳۳ b	۳/۴۸ a	۲/۰۶ a
	۳۰ گرم در لیتر	۹/۹۶ c	۶/۸۶ d	۱/۱۳ c	۰/۸۴ b
	۶۰ گرم در لیتر	۰/۹۳ de	۱/۳۳ e	۰/۵۰ d	۰/۰۴۰ c
$LSD_{5\%}$		۱/۱۰	۰/۹۰	۰/۴۹	۰/۳۸

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارد.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: نتایج اثر برهمکنش تیمارها و غلظت‌ها بر طول ریشه‌چه نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه (۱۴/۵۰ و ۱۴/۶۵ سانتی‌متر) از شاهد و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره آبی آفتابگردان به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین کمترین طول ریشه‌چه (۱/۲۰ و ۰/۹۳ سانتی‌متر) از غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان حاصل شد (جدول ۵). نتایج بیانگر اثر افزایش غلظت در تیمارها بر کاهش طول ریشه‌چه بود. همچنین نتایج اثر برهمکنش تیمارها با غلظت‌ها بر طول ساقه‌چه نیز نشان داد که در مقایسه با شاهد، غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان باعث کاهش ۳۴/۱۰ و ۸۳/۵۹ درصدی طول ساقه‌چه می‌شود. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با شاهد موجب کاهش ۲۰/۷۶ و ۸۴/۶۱ درصدی طول ساقه‌چه شدند (جدول ۵). مقایسه تیمارها با یکدیگر نشان می‌دهد که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر منجر به کاهش ۱۰/۰۹ و ۳۰/۰۰ درصدی طول ساقه‌چه می‌شود (جدول ۵).

وزن تر و خشک گیاهچه: نتایج اثر برهمکنش تیمارها با غلظت‌ها نشان‌دهنده کاهش وزن تر گیاهچه خردل وحشی بود. غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با شاهد ۴۲/۰۷ و ۷۸/۱۴ درصد وزن تر گیاهچه را کاهش دادند (جدول ۵). همچنین نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با شاهد ۳۶/۸۰ و ۷۲/۰۶ درصد وزن تر گیاهچه خردل وحشی را کاهش دادند (جدول ۵). ارزیابی مقایسه میانگین‌ها در جدول ۵ نشان می‌دهد که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتز شده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با همان غلظت‌ها در عصاره آبی آفتابگردان سبب کاهش ۴۱/۴۸ و ۳۱/۵۰ درصدی وزن تر خردل وحشی شده است. همچنین نتایج مقایسه میانگین وزن خشک گیاهچه در جدول ۵ نشان می‌دهد که نانوذرات دی-اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان منجر به کاهش ۲۱/۴۹ و ۵۳/۴۸ درصدی وزن خشک گیاهچه شده است (جدول ۴).

میزان پراکسیداسیون لیپیدی: نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که برهمکنش تیمارها و غلظت‌ها بر میزان پراکسیداسیون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر عصاره آبی دگرآسیب آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آفتابگردان در غلظت‌های مختلف بر فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداسیون لیپیدی در گیاهچه خردل وحشی

منبع تغییرات	درجه آزادی	فعالیت آنزیم کاتالاز	پراکسیداسیون لیپیدی
تیمار	۱	۲۳۸۸/۹۱**	۰/۰۱۰۰**
غلظت‌ها	۳	۲۶۷۶/۸۹**	۰/۰۳۵۱**
تیمار × غلظت‌ها	۳	۴۲۱۳/۲۰**	۰/۰۰۴۹**
خطای آزمایشی	۱۶	۱/۳۷	۰/۰۰۰۰۶۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱/۶۵	۴/۹۲

** **معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در آزمون LSD است.**

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های مختلف بر فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداسیون لیپیدی

تیمارها	غلظت‌ها	فعالیت آنزیم کاتالاز (تغییرات جذب بر میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	پراکسیداسیون لیپیدی (میکرومول بر گرم وزن تر)
عصاره آبی آفتابگردان	شاهد (آب‌مقطر)	۱۰۱/۱۴ a	۰/۱۲۵ d
	۳۰ گرم در لیتر	۷۴/۸۲ c	۰/۱۷۵ c
	۶۰ گرم در لیتر	۶۷/۶۴ e	۰/۲۳۷ a
نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان	شاهد (آب‌مقطر)	۹۶/۹۴ b	۰/۱۳۲ d
	نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره	۹۹۹/۲۱ a	۰/۱۲۶ d
	۳۰ گرم در لیتر	۷۱/۸۰ d	۰/۱۹۶ b
	۶۰ گرم در لیتر	۵۵/۴۶ f	۰/۲۴۶ a
$LSD_{5\%}$		۱/۹۴	۰/۰۱۴

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارد.

لیپیدی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین پراکسیداسیون لیپیدی (۰/۲۳۷ و ۰/۲۴۶ میکرومول بر گرم وزن تر) متعلق به غلظت ۶۰ گرم در لیتر تیمارهای عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان بود (جدول ۷). غلظت‌های شاهد (آب‌مقطر) و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره آبی آفتابگردان کمترین (۰/۱۲۵، ۰/۱۳۲ و ۰/۱۲۶ میکرومول بر گرم وزن تر) پراکسیداسیون لیپیدی را داشتند (جدول ۷). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان سبب افزایش ۱۰/۷۱ و ۳/۶۵ درصدی پراکسیداسیون لیپیدی در گیاهچه خردل وحشی شدند (جدول ۷).

فعالیت آنزیم کاتالاز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تیمارها و غلظت‌ها بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۵/۴۶ تغییرات جذب به میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در تیمار نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان ثبت شد (جدول ۷). ارزیابی جدول ۷ نشان می‌دهد که افزایش غلظت در تیمارها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهچه خردل وحشی می‌شود؛ به‌طوری‌که غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با شاهد سبب کاهش ۲۶/۰۲ و ۳۳/۱۲ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز شدند. همچنین نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با شاهد باعث کاهش ۲۵/۹۳ و ۴۲/۷۸ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز شدند (جدول ۷).

بحث

نهاده‌های شیمیایی بسیاری به‌منظور کنترل علف‌هرز خردل وحشی در مزارع کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دلیل خطرات زیست‌محیطی و ایجاد مقاومت در این علف‌هرز، پژوهشگران به دنبال ارائه یک روش کم‌هزینه، سازگار با محیط و کنترل هدفمند آن هستند. سنتز سبز نانوذرات با استفاده از فرآورده‌های گیاهی می‌تواند یکی از روش‌های ایمن برای مبارزه با علف‌های هرز باشد (عبادی و احمدنیا، ۱۴۰۲). نتایج این آزمایش نشان داد که عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های مختلف، جوانه‌زنی بذر و شاخص‌های طولی و وزنی خردل وحشی از جمله طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن تر و خشک گیاهچه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد؛ به‌طوری‌که افزایش غلظت در عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان منجر به کاهش معنی‌دار آن‌ها شد. اثرات آللوپاتیک یک گیاه به مقدار ترکیبات آللوشیمیایی‌ها و غلظت‌های آن‌ها وابسته است که اغلب در اثر شرایط محیطی و بسیاری از عوامل زیستی و غیرزیستی تغییرپذیر است (Sarvadamana *et al*., 2019; Nafees *et al*., 2021b; Janusauskaite, 2023b).

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یک گیاه آللوپاتیک است که دارای ترکیبات آللوشیمیایی بسیاری است که می‌تواند به‌طور فعال بر رشد گیاهان مجاور اثرگذار باشد (Debaeke *et al*., 2021; Nafees *et al*., 2021a; Flayyih and Almarie, 2022). این ترکیبات از طریق تداخل مستقیم بر عملکردهای فیزیولوژیک گیاهان پذیرنده از جمله جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه و اندام هوایی تأثیرگذار هستند (Lalchand *et al*., 2021; Okrushko, 2022). گزارش شده است که استفاده از عصاره گیاهان آللوپاتیک می‌تواند بر تقسیم سلولی، فتوسنتز، تنفس، سنتز رنگدانه کلروفیل، سنتز پروتئین‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، نفوذپذیری غشاء، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جوانه‌زنی بذر مؤثر باشد (Mukondwa *et al*., 2019). بیشترین مقدار ترکیبات آللوشیمیایی‌ها در آفتابگردان به‌ترتیب در برگ، ساقه و ریشه گزارش شده است (Rigon *et al*., 2018). در یک بررسی اثر غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد عصاره آفتابگردان بر جوانه‌زنی نخود معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که در مقایسه با شاهد باعث کاهش ۷/۱ الی ۷/۴ درصدی جوانه‌زنی بذر شد (Janusauskaite, 2023b). پژوهشگران بیان کرده‌اند که عصاره ساقه آفتابگردان بیشترین اثر بازدارندگی را بر جوانه‌زنی بذر گندم داشت (Bashir *et al*., 2017). در برخی از مطالعات به حضور مؤثر آللوشیمیایی‌ها در آفتابگردان مانند فنول‌ها و ترپنوئیدها اشاره شده است (Macias *et al*., 2002). پیچیدگی ساختاری این ترکیبات از جمله فنولیک‌ها باعث می‌شود تا آن‌ها ترکیبات بسیاری مانند بنزوئیک اسید، کومارین و فلاونوئیدها را شامل شوند (Macias *et al*., 2019). همچنین آللوشیمیایی‌های دیگری مانند سزکوی‌ترپن‌ها به ویژه هلیانوئل‌ها و لاکتون‌ها نیز در عصاره برگ آفتابگردان گزارش شده‌اند (Marsni *et al*., 2015). نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش غلظت عصاره آبی آفتابگردان باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدی می‌شود؛ به‌طوری‌که غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان ۳۰/۶۶ و ۴۶/۶۵ درصد پراکسیداسیون لیپیدی را افزایش دادند. این نتایج نشان‌دهنده تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که باعث افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب در غشاء پلاسمایی می‌گردد (Khan and Panda, 2009). پژوهشگران بیان کردند که آللوشیمیایی‌ها منجر به کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تخریب غشاء سلولی می‌شوند (Mokhtari *et al*., 2014). گزارش شده است که افزایش غلظت عصاره آبی آفتابگردان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

سبب افزایش هدایت الکتریکی و پراکسیداسیون لیپیدی علف هرز *Sinapis alba* شد (Boghatek *et al*., 2006). نتایج برررسی فعالیت آنزیم کاتالاز در این آزمایش نیز نشان داد که افزایش غلظت تیمارها باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود؛ به‌طوری‌که در غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با شاهد موجب کاهش ۲۶/۰۲ و ۳۳/۱۲ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز شده‌اند. کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز منجر به افزایش تخریب بیشتر غشاء سلولی می‌شود که نتایج این آزمایش نشان‌دهنده اثر برهمکنش تیمارها با غلظت‌ها بر افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز بود. نتایج بررسی پراور و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که اثر عصاره آبی آفتابگردان بر افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر خردل وحشی معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت عصاره تا ۲۰ درصد پراکسیداسیون لیپیدی به‌صورت تقریبی ۱۶ درصد افزایش و فعالیت آنزیم کاتالاز به‌صورت تقریبی ۶۰ درصد کاهش یافت.

نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان در مقایسه با عصاره آبی آفتابگردان در غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر بازدارندگی بیشتری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه داشت؛ به‌طوری‌که منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی (۲۵ و ۵۰ درصد)، طول ریشه‌چه (۱۳/۹۵ درصد)، طول ساقه‌چه (۱۰/۰۴ و ۲۹/۸۲ درصد) و فعالیت آنزیم کاتالاز (۲۵/۹۳ و ۴۲/۷۸ درصد) و افزایش پراکسیداسیون لیپیدی (۶/۵۶ درصد) شده بود. بیان شده است که افزایش غلظت نانوذرات سبب افزایش جذب آن‌ها توسط بذر شده و از طریق کاهش جذب آب و اختلال در فعالیت‌های متابولیکی سلول‌ها باعث ایجاد سمیت و کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شود (اسکندری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۷). اثرات بازدارندگی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (بدون ترکیبات آللوپات) بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان در مطالعات مختلف متناقص است به‌طوری‌که در بسیاری از مطالعات اثرات افزایشی و محرک رشد (Andersen *et al*., 2016; Feizi *et al*., 2013; Larue *et al*., 2012) و در برخی اثرات بازدارندگی (Frazier *et al*., 2014; Korenkova *et al*., 2017) آن گزارش شده است. در این آزمایش نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره آبی آفتابگردان اثر مشابهی با شاهد بر روی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی داشت؛ اما شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه از جمله طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر گیاهچه و وزن خشک گیاهچه در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۶/۵۱، ۱۶/۱۶، ۴۸/۵۶ و ۵۱/۹۴ درصد افزایش یافتند. به‌نظر می‌رسد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره در مقایسه با شاهد و غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ گرم در لیتر موجب بهبود رشد گیاهچه خردل وحشی شده است. با این حال در برخی از مطالعات نیز به‌صورت گسترده پذیرفته شده است که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت‌های بالا اثرات سمی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان دارند (Marslin *et al*., 2017; Romano de Melo *et al*., 2021). اثر مخرب نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم غالباً به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن نسبت داده می‌شود (Marslin *et al*., 2017). رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌توانند با اثر بر اسیدهای چرب غیراشباع با چند فسفولیپیدهای غشایی واکنش داده و در نتیجه باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و یا تشکیل مواد واکنش‌دهنده اسید تیوباربیتوریک شوند (Romano de Melo, *et al*., 2021). علاوه بر این رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌توانند بر ماکرومولکول‌هایی مانند اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها آسیب رسانده و منجر به اختلال در عملکرد غشاء، اندامک‌ها و مرگ سلول شوند (Romano de Melo *et al*., 2021; Dayem *et al*., 2017; Marslin *et al*., 2017). اگر چه در این آزمایش رادیکال‌های فعال اکسیژن مورد سنجش قرار نگرفتند اما شواهد بیانگر افزایش آن‌ها و اثر آن‌ها بر افزایش پراکسیداسیون لیپیدی است. با مقایسه نتایج نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره، به‌نظر می‌رسد تلفیق اثرات آللوشیمیایی‌های موجود در عصاره آبی آفتابگردان با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سبب تشدید کاهش جوانه‌زنی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه خردل وحشی شده باشد.

نتیجه‌گیری

یکی از اهداف این پژوهش کمک به ثبات سیستم‌های کشاورزی است، که از طریق تولید محصولات ایمن برای عموم و محیط‌زیست انجام می‌شود. از مزیت‌های بکارگیری این نوع ترکیبات، کاهش مصرف علفکش‌ها در مزارع، کاهش مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد علفکش‌ها و مدیریت ایمن‌تر محصولات زراعی است که به تولید مواد غذایی بدون باقیمانده ترکیبات شیمیایی کمک خواهد کرد. بر اساس نتایج این آزمایش عصاره آبی آفتابگردان به تنهایی و یا عصاره سنتز شده آن با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با افزایش غلظت آن‌ها از صفر تا ۶۰ گرم در لیتر سبب کاهش جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر و خشک گیاهچه شد. از آنجایی که که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدون عصاره آفتابگردان سبب افزایش شاخص‌های طولی و وزنی گیاهچه علف هرز گردید، بنابراین اثرات بازدارندگی این آزمایش را بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی باید در عصاره گیاه و خصوصاً سنتز آن عصاره با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم جستجو کرد. به عبارت دیگر علاوه بر بازدارندگی عصاره، سنتز عصاره آبی آفتابگردان با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سبب تشدید بازدارندگی شده است. از دلایل تأثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان بر شاخص‌های جوانه‌زنی علف‌هرز را می‌توان به افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت داد. این مطالعه، بر استفاده از فناوری نانو و خاصیت دگرآسیبی مواد گیاهی که روشی ایمن و هدفمند برای کاهش جوانه‌زنی و استقرار علف‌های هرز است، تأکید دارد. با این حال پژوهش‌های بیشتری برای تعیین اثر عصاره آبی آفتابگردان و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتزشده با عصاره آبی آفتابگردان بر فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاهچه علف‌هرز خردل وحشی مورد نیاز است.

سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی مصوب ۱۴۰۲/۰۲/۱۱ در شورای پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی است. نویسندگان مقاله مراتب سپاسگزاری خود را از حمایت‌های مالی دانشگاه محقق اردبیلی، دوستان و همکارانی که در این طرح پژوهشی ما را یاری نمودند، اعلام می‌نمایند.

منابع

احمدنیا، فاطمه، عبادی، علی، هاشمی، مسعود، قویدل، اکبر، و آل‌ابراهیم، محمدتقی (۱۴۰۲). بررسی تأثیر عصاره آبی سان‌همپ (*Crotalaria juncea*) و یولاف (*Avena sativa* L.) بر جوانه‌زنی علف‌هرز خردل وحشی (*Sinapis arvensis*). *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۱۰(۲)، ۱۹-۱. DOI: 10.22124/jms.2023.7605

احمدنیا، فاطمه، عبادی، علی، هاشمی، مسعود، قویدل، اکبر، و آل‌ابراهیم، محمدتقی (۱۴۰۱). تأثیر عصاره سان‌همپ (*Crotalaria juncea*) فرموله‌شده با نانوذره کیتوزان بر جوانه‌زنی برخی از علف‌های هرز. *نشریه تحقیقات بذر*، ۱۲(۴)، ۱۱-۲۸. DOI: 10.30495/jsr.2023.1988281.1257

اسکندری نسب، معظمه، رفیعی الحسینی، محمد، روشندل، پرتو، و تدین، محمدرضا (۱۳۹۷). بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و محتوای آنتوسیانین گیاهچه دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica*) تحت اثر سه نانوذره. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۵(۲)، ۸۹-۷۳. DOI:10.29252/yujs.5.2.73

پراور، آرزو، ملکی فراهانی، سعیده، صادقی، ریحانه، و عیسی‌نژاد، نسرین (۱۳۹۹). اثر آللوپاتیک گیاهان بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی، فعالیت بیوشیمیایی و آنزیمی علف‌های هرز. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۷(۱)، ۲۶-۱۵. DOI: 10.22124/jms.2020.4268

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

پژوهان، ایمان، جلالی، غلامعلی، عتباتی، حمید، زرافشار، مهرداد، و ستاریان، علی (۱۳۹۵). مقایسه تیمارهای نانولوله‌های کربن با تیمار شیمیایی و فیزیکی برای شکست خواب بذر گونه مورد (*Myrtus communis* L.). *پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۲۹(۲)، ۳۰۰-۳۰۸. DOI: 20.1001.1.23832592.1395.29.2.6.0

عبادی، علی، و احمدنیا، فاطمه (۱۴۰۲). تأثیر سنتز سبز کیتوزان با عصاره یولاف زراعی بر جوانه‌زنی تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus*). *تحقیقات بذر*، ۱۳(۱)، ۱۹-۱.

عبدالرحمنی، بهمن (۱۳۸۲). تأثیر تراکم بوته برروی خصوصیات زراعی و عملکرد دانه آفتابگردان رقم آرماویرسکی در شرایط دیم. *مجله علوم زراعی ایران*، ۵(۳)، ۲۱۶-۲۲۴.

مظاهری لقب، حجت‌الله، صلواتی، سعیده، و محمودی، راحله (۱۳۹۰). عکس‌العمل عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) رقم آرماویرسکی به تاریخ و تراکم کاشت در شرایط دیم قروه کردستان. *فن‌آوری تولیدات گیاهی*، ۱۱(۲)، ۶۳-۷۴.

Ahmadnia, F., Ebadi, A., Alebrahim, M. T., Parmoon, G., Feizpoor, S., & Hashemi, M. (2025). The Efficacy of Sunn Hemp (*Crotalaria juncea*) and Fe_3O_4 nanoparticles in controlling weed seed germination. *Agronomy*, *15*, 795. https://doi.org/ 10.3390/agronomy15040795

Andersen, C. P., King, G., Plocher, M., Storm, M., Pokhrel, L. R., Johnson, M. G., & Rygiewicz, P. T. (2016). Germination and early plant development of ten plant species exposed to titanium dioxide and cerium oxide nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *35*(9), 2223-2229. https://doi.org/10.1002/etc.3374

Antic, Z., Krsmanovic, R. M., Nikolic, M. G., Marinovic-Cincovic, M., Mitric, M., Polizzi, S., & Dramicanin, M. D. (2012). Multisite luminescence of rare earth doped TiO_2 anatase nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*, *135*(2012), 1064-1069.

Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, *57*, 233-266. DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159

Bashir, U., Javaid, A., & Bajwa, R. (2017). Effects of aqueous extracts of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on germination of seedling growth on the selected wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Bangladesh Journal of Botany, 46*(4), 1323-1332.

Bogatek, R., Gniazdowska, A., Zakrzewska, W., Oracz, K., & Gawronski, S. W. (2006). Allelopathic effects of sunflower extracts on mustard seed germination and seedling growth. *Biologia Plantarum*, *50*(1), 156-158. https://doi.org/10.1007/s10535-005-0094-6

Boghtek, R., Gniazdowska, A., Zakrzewska, W., Oracz, K., & Gawronski, S. W. (2006). Allelopathic effects of sunflower extracts on mustard seed germination and seedling growth. *Biologia Plantarum*, *50*(1), 156-158.

Casas, L., Mantell, C., Rodrıguez, M., Torres, A., Macıas, F. A., & Ossa, E. M. (2009). Extraction of natural compounds with biological activity from sunflower leaves using supercritical carbon dioxide. *Chemical Engineering Journal*, *152*, 301-306. https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.06.027

Chand, L., Soomro, A. A., Buriro, M., Chachar, Q., Kandhro, M. N., Shaikh, T. A., & Said, F. (2022). Weed management in maize (*Zea mays* L.) crop using allelopathy of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Johnson grass (*Sorghum halepense*) aquatic extracts. *Journal of Natural Volatiles and Essential Oils*, *9*, 776-790.

Choudhary, S. K., Kumar, A., & Kumar, R. (2020). Novel nanotechnological tools for weed management - a review. *Chemical Science Review and Letters*, *9*(36), 886-894.

Chougala, L. S., Yatnatti, M. S., Linganagoudar, R. K., Kamble, R. R., & Kadaevarmath, J. S. (2017). A simple approach on synthesis of TiO_2 nanoparticles and its application in dye sensitized solar cells. *Journal of Nano-And Electronic Physics*, *9*(4), 1-6.

Dayem, A. A., Hossain, M. K., Lee, S. B., Kim, K., Saha, S. K., Yang, G., Choi, H. Y., & Cho, S. G. (2017). The role of reactive oxygen species (ROS) in the biological activities of metallic nanoparticles. *International Journal of Molecular Science*, *18*(1), 120. https://doi.org/10.3390/ijms18010120

Debaeke, P., Casadebaig, P., & Langlade, N. B. (2021). New challenges for sunflower ideotyping in changing environments and more ecological cropping systems. *OCL Oilseeds Fats Crops Lipids*, *28*(29), 1-23. https://doi.org/10.1051/ocl/2021016

Dhima, K, & Eleftherohorinos, I. (2005). Wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition with three winter cereals as affected by nitrogen supply. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *191*, 241-248. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00152.x

Fatima, S., Ali, K., Ahmed, B., Al Kheraif, A. A., Syed, A., Elgorban, A. M., Musarrat, J., & Lee, J. (2021). Titanium dioxide nanoparticles induce inhibitory effects against planktonic cells and biofilms of human oral cavity isolates of

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

rothia mucilaginosa, *Georgenia* sp. and Staphylococcus saprophyticus. *Pharmaceutics*, *13*, 1-15. https://doi.org/10.3390/ pharmaceutics13101564

Feizi, H., Kamali, M., Jafari, L., & Rezvani Moghaddam, P. (2013). Phytotoxicity and stimulatory impacts of nanosized and bulk titanium dioxide on fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Chemosphere*, *91*(4), 506-511. https://doi. org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.012

Flayyih, T. M, & Almarie, A. A. (2022). Allelopathic effect of sunflower residues on some soil properties and growth parameters of wheat, bean and flax crops. *Revista Bionatura*, *7*(4), 38. https://doi.org/10.21931/RB/2022.07.04.38

Frazier, T. P., Burklew, C. E., & Zhang, B. (2014). Titanium dioxide nanoparticles affect the growth and microRNA expression of tobacco (*Nicotiana tabacum*). *Functional and Integrative Genomics*, *14*(1), 75-83. https://doi.org/10.1007 /s10142-013-0341-4

Gherekhloo, J., Hatami, Z. M., Alca´ntara-de la Cruz, R., Sadeghipour, H. R., & De Prado, R. (2018). Continuous use of tribenuron methyl selected for cross-resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides in wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Weed Science*, *66*, 424-432. DOI: https://doi.org/10.1017/wsc.2018.23

Grand, F, & Tucci, P. (2016). Titanium dioxide nanoparticles: A risk for human health? *Mini-Review in Medicinal Chemistry*, *16*, 762-769. https://doi.org/10.2174/ 13895575166661603211143 41

Iqbal, A., Hamayun, M., Shah, F., & Hussain, A. (2020). Role of plant bioactive in sustainable agriculture. In: Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth. (eds. Fahad, S., Hasanuzzaman, M., Alam, M., and Ullah, H.) Pp. 591-605. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany.

Janusauskaite, D. (2023a). The allelopathic activity of aqueous extracts of *Helianthus annuus* L., grown in boreal conditions, on germination, development, and physiological indices of *Pisum sativum* L. *Plants*, *12*, 1920. https://doi.org/10.3390/ plants12091920

Janusauskaite, D. (2023b). Allelopathic effect of aqueous extracts of common sunflower on seed germination and growth of field pea. *Zemdirbyste-Agriculture*, *110*(1), 17-26. DOI 10.13080/z-a.2023.110.003

Khaledi, R., Fayaz, F., Kahrizi, D., & Talebi, R. (2019). PCR-based identification of point mutation mediating acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in weed wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Molecular Biology Reports*, *46*(4), 5113-5121. DOI: 10.1007/s11033-019-04967-5

Khan, M. H, & Panda, S. K. (2009). Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *30*(1), 81-89. DOI: 10.1007/s11738-007-0093-7

Korenkova, L., Sebesta, M., Urik, M., Kolencik, M., Kratosova, G., Bujdos, M., Vavra, I., & Dobrocka, E. (2017). Physiological response of culture media-grown barley (*Hordeum vulgare* L.) to titanium oxide nanoparticles. *Acta Agriculturae Scandinavica*, *67*(4), 28-291. https://doi.org/10.1080 /09064710.2016.1267255

Lalchand Soomro, A. A., Buriro, M., Chachar, Q., & Kandhro, M. N. (2021). Comparative weed control by allelopathic influence of sunflower and Johnson grass residues and aquatic extracts. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, *25*(7), 1752-1765. https://annalsofrscb.ro/ index.php/journal/article/view/10621

Larue, C., Laurette, J., Herlin-Boime, N., Khodja, H., Fayard, B., Flank, A. M., Brisset, F., & Carriere, M. (2012). Accumulation, translocation and impact of TiO_2 nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* spp.): Influence of diameter and crystal phase. *Science of the Total Environment*, *431*, 197-208. https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2012.04.073

Macias, F. A., Mejias, F. J. R., & Molinillo, J. M. G. (2019). Recent advances in allelopathy for weed control: From knowledge to applications. *Pest Management Science*, *75*, 2413-2436. https://doi.org/10.1002/ps.5355

Macias, F. A., Torres, A., Galindo, J. L. G., Varela, R. M., Alvares, J. A., & Molinillo, J. M. G. (2002). Bioactive terpenoids from sunflower leaves cv. Peredovick. *Phytochemistry*, *61*(6), 687-692. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00370-9

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, *2*(2), 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Marslin, G., Sheeba, C. J., & Franklin, G. (2017). Nanoparticles alter secondary metabolism in plants via ros burst. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1-8. https://doi.org/10.3389 /fpls.2017.00832

Marsni, Z. E., Torres, A., Varela, R. M., Molinillo, J. M. G., Casas, L., Mantell, C., Ossa, E. J. M., & Macias, F. A. (2015). Isolation of bioactive compounds from sunflower leaves (*Helianthus annuus* L.) extracted with supercritical carbon dioxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *63*(28), 6410-6421. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02261

Mokhtari, H., Hosseini, S. Z., & Kazemeni, S. A. (2014). Allelopathic effects of sorghum on Milk Thistle (*Silybum marianum* L.) seed germination and growth. *Research on Crop Ecophysiology*, *9*(2), 115-123.

Muhammad, Z, & Majeed, A. (2014). Allelopathic effects of aqueous extracts of sunflower on wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *46*(5), 1715-1718.

Mukondwa, O., Rugare, J. T., Mabasa, S., & Mandumbu, R. (2019). Study of pre and post early emergence allelopathic effects on selected weeds of several sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) and pearl millet (*Pennisentum glaucuum* (L)) cultivars in Zimbabwe. *African Journal Agricultural Research*, *25*(1), 1-15.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

DOI: https://doi.org/10.28941/pjwsr.v25i1.757
Naeem, M., Cheema, Z. A., Ihsan, M. Z., Hussain, Y., Mazari, A., & Abbas, H. T. (2018). Allelopathic effects of different plant water extracts on yield and weeds of wheat. *Planta Daninha*, *36*, e018177840, 1-8. https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100094
Nafees, A., Abbas, A., Us-Salam, I., & Hussain, F. (2021a). Bioassay test of allelopathic potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) against mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Ghazi University Journal of Phytosciences*, *1*(1), 70-79. https://jphytosci.com/index. php/GUJP/article/view/24
Nafees, A., Abbas, A., Us-Salam, I., & Hussain, F. (2021b). Allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus* L.) against *Luffa cylindrica* (L.) Roem. *Ghazi University Journal of Phytosciences*, *1*(2), 124-132. https://jphytosci. com/index.php/GUJP/article/view/29
Nivas, D., Uttam, D., & Dattatraya, G. (2017). Allelopathic effect of *Excoecaria agallocha* L. mangrove leaf leachate on germination and growth behavior of *Eleusine coracana* (Finger Millet). *American Journal Plant Physiology*, *12*, 38-44. DOI: 10.3923/ajpp.2017.38.44
Ntoanidou, S., Madesis, P., Menexes, G., & Eleftherohorinos, I. (2020). Growth rate and genetic structure of *Sinapis arvensis* susceptible and herbicide resistant populations originating from Greece. *Euphytica*, *216*(12), 1-13. DOI: 10.1007/s10681-020-02723-6
Okrushko, S. E. (2022). Allelopathic effect of couch grass (*Elymus repens* L.) on germination of common wheat seeds. *Zemdirbyste-Agriculture*, *109*(4), 323-328. https://doi.org/10.13080/z-a.2022.109.041
Oliwa, J., Mozdzen, K., Rut, G., & Rzepka, A. (2017). The influence of alcoholic extract from leaves of *Helianthus annuus* L. on germination and growth of *Sinapis alba* L. *Modern Phytomorphology*, *11*, 91-97. DOI: 10.5281/zenodo.1034526
Perry, D. (1981). Methodology and application of vigour tests. In Handbook of Vigour Test Methods International Seed Testing Association. Pp. 3-7. Wallisellen, Switzerland.
Pula, J., Zandi, P., Stachurska-Swakori, A., Barabasz-Krasny, B., Mozdzen, K., & Wang, Y. (2020). Influence of alcoholic extracts from *Helianthus annnus* L. roots on the photosynthetic activity of *Sinapis alba* L. cv. Barka plants. *Acta Agriculturae Scandinavica,Section B Soil and Plant Science*, *70*, 8-13. DOI: 10.5281/zenodo.1034526
Rashid, H. U., Khan, A., Hassan, G., Munsif, F., Tahir, N., Zamin, M., & Shehzad, N. (2022). Integration of some allelopathic species for weed management in spring planted hybrid maize under different tillage regimes. *Journal of Animal Plant Sciences*, *32*, 114-126. DOI: 10.12775/EQ.2022.031
Rigon, C. A. G., Salamoni, A. T., Aguiar, A. C. M., & Cutti, L. (2018). Allelopathic effect of aqueous extracts of different organs of three sunflower cultivars on germination of radish. *Bioscience Journal*, *34*(3), 577-586. https://doi.org/10.14393/BJ-v34n3a2018-36771
Romano de Melo, G. S., Constantin, R. P., Abrahao, J., Foletto-Felipe, M. D. P., Constantin, R. P., Dantas dos Santos, W., Ferrarese-Filho, O., & Marchiosi, R. (2021). Titanium dioxide nanoparticles induce root growth inhibition in soybean due to physical damages. *Water, Air and Soil Pollution*, *232*, 25, 1-12. http://doi.org./10.1007/s11270-020-04955-7
Sahoo, T. R., Behera, B., Paikaray, R. K., Garnayak, L. M., Sethi, D., Jena, S., Raza, B., Panda, R. K., Song, B., Lal, M. K., Kumar, A. (2023). Effects of sunflower residue management options on productivity and profitability of succeeding rice under different crop establishment methods. *Field Crops Research*, *290*, 108763. DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108763
Salvadori, M. R., Ando, R. A., Nascimento, C. A. O., & Corea, B. (2014). Bioremediation from wastewater and extracellular synthesis of copper nanoparticles by the fungus *Trichoderma koningiopsis*. *Journal of Environmental Science and Health*, *49*, 1286-1295. DOI: 10.1080/10934529.2014.910067
Sant´as-Miguela, V., Arias-Estevez, M., Rodriuez-Seijo, A., & arenas-Lago, D. (2023). Use of metal nanoparticles in agriculture. A review on the effects on plant germination. *Environmental Pollution*, *334*(2023), 1-17. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122222
Sarvadamana, A. K., Singh, V. P., Guru, S. K., Singh, S. P., Pratap, T., & Nath, S. (2019). Allelopathic potential assessment of sorghum and sunflower on germination characteristics of *Phalaris minor* and wheat. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *8*(10), 256-260. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.810.026
Scott, S. J., Jones, R. A., & Williams, W. A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, *24*(6), 1192-1199. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x
Sin, B, & Kadıoglu, I. (2021). A study on germination biology of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *9*(4), 728-732. https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i4.728-732.4054
Stewart, R. C, & Beweley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, *65*(2), 245248. DOI: 10.1104/pp.65.2.245
Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridara Kumar, S. (2001) Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science, 167*(3), 613-619.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

DOI: 10.1016/S0168-9452(01)00450-2

Tanase, C., Bujor, O. C., & Popa, V. I. (2019). Phenolic natural compounds and their influence on physiological processes in plants. In: Polyphenols in Plants. (ed. Watson, R. R.) Pp. 45-58. Academic Press, Cambridge, MA, USA.

Trusheva, B., Trusnkova, D., & Bankova, V. (2007). Different extraction methods of biologically active components from propolis: A preliminary study. *Chemistry Central Journal*, *1*(13), 1-4. DOI: 10.1186/1752-153X-1-13

Xuan, T. D., Shinkichi, T., Khanh, T. D., & Min, C. I. (2005). Biological control of weeds and plant pathogens in paddy rice by exploiting plant allelopathy: An overview. *Crop Protection*, *24*, 197-206. DOI: 10.1016/j.cropro.2004.08.004

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]

Investigating the impact of sunflower (*Helianthus annuus*) allelopathic aqueous extract in the green synthesis by titanium dioxide nanoparticles on wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) seed germination

Ali Ebadi [1*], Solmaz Feizpoor[2] and Fatemeh Ahmadnia[1]

[1] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Postdoctoral Researcher, School of Integrated Circuits, Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, P.R. China
(Received: 2024/07/04, Accepted: 2024/11/26)

Abstract

The increasing use of chemical inputs and their environmental consequences have led to the creation of strategies for targeted control of weeds, including the synthesis of nanoparticles with plant extracts. An experiment was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications at Mohaghegh Ardabili University in the spring of 2024. The treatments included Sunflower aqueous extract (0, 30, and 60 g L^{-1}), titanium dioxide nanoparticles synthesized with sunflower aqueous extract at 30 and 60 g L^{-1}, titanium dioxide nanoparticles synthesized without extract and control. Titanium dioxide nanoparticles were synthesized by the sol-gel method for 48 hours, and the type of bonds was identified using FTIR. Germinated wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) seed counting continued for 14 days, and at the end, seedling length and weight indices were measured. The results showed that seed germination decreased 25 and 50% and dry weight decreased 21.49 and 53.48% in 30 and 60 g L^{-1} of sunflower aqueous extract by titanium dioxide nanoparticles compared to sunflower aqueous extract. The minimum radicle and plumule length (1.20, 0.93, 1.90, and 1.33 cm) and catalase enzyme activity (55.46 OD µg protein/min^{-1}) were obtained from 60 g L^{-1} in both treatments. The increase of lipid peroxidation in nanoparticles synthesized with 30 and 60 g L^{-1} of extract was more (10.71 and 3.65 %) than that of aqueous sunflower extract. The results showed high inhibition of titanium dioxide nanoparticles synthesized with sunflower extract on germination and length and weight indices of wild mustard seedlings.

Keywords: Allelopathy, Catalase enzyme, Lipid peroxidation, Radicle, and Weed

Corresponding author, Email: ebadi@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.47]