بررسی اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسید جاسمونیک بر روند تغییرات فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی عصاره ژنوتیپ‌های گیاه دارویی (*Satureja hortensis* L.)

آذر داوری[۱]، محمود سلوکی[۲]، بهمن فاضلی نسب*[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۲]دانشیار گروه اصلاح و بیوتکنولوژی دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۳]مربی پژوهشی، گروه پژوهشی زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰٤/۲۷

چکیده

در این تحقیق به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر) و جاسمونیک اسید (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرو مولار) بر روی مواد آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی و همچنین صفات فیزیولوژیکی ۵ ژنوتیپ مرزه (*Saturejahortensis* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها در مرحله چهاربرگی بر روی اندام‌های هوایی گیاه اسپری و ۴۸ ساعت بعد برداشت صورت گرفت. ابتدا از اندام هوایی عصاره گیری شد و سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر؛ آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و صفات فیزیولوژیک اندازه گیری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانو ذراتدی‌اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید بر کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، پروتئین کل، فلاونوئید، آنتوسیانین و فنل کل در سطح احتمال ۱٪ تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین میزان آنزیم کاتالاز (۰/۰۵۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مرزه تبریز در غلظت‌های ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ۱۵۰میکرو مولار در لیتر جاسمونیک اسید؛ بیشترین میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۰/۰۵۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مرزه اردستان در غلظت‌های ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ۵۰ میکرو مولار جاسمونیک اسید؛ بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۰۰۰۴۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مرزه اردستان در غلظت‌های ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ۱۵۰ میکرو مولار جاسمونیک اسید؛ بیشترین میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز(۰/۰۶۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مرزه تبریز در تیمارهای ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و صفر (شاهد) میکرو مولار جاسمونیک اسید به‌دست آمد. مؤثرترین جمعیت مرزه از نظر صفات فیزیولوژیکی، مرزهشهر ری، از نظر آنتی‌اکسیدانی آنزیمی مرزه اردستان و تبریز و از نظر آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (آنتوسیانین ها، فنل و فلاونوئید) مرزه مشهد بود. در کل نتایج این تحقیق نشان داد که نانو تیتانیوم و جاسمونیک باعث افزایش مواد آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی و فیزیولوژیک مرزه شده که مؤثرترین سطح هورمونی نانو ذرات تیتانیوم سطح، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و جاسمونیک اسید، ۵۰ میکرو مولار بود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، جاسمونیک اسید، مرزه، محلول‌پاشی، نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم

*نویسنده مسئول: bfazeli@uoz.ac.ir

مقدمه

گیاهان دارویی به گروهی از گیاهان گفته می‌شود که برای مصارف پزشکی، درمانی، بالینی، داروسازی انسان و دام مورداستفاده قرار می‌گیرند. وجود موادی به نام ترکیبات ثانویه در گیاهان از جنبه‌های مختلف سازگاری و بقای گیاهان در برابر شرایط نامناسب محیطی و زیستی، تولید داروهای گیاهی، سموم آفت‌کش و علف‌کش طبیعی، طعم‌دهنده، معطر کننده و نگهداری مواد غذایی از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. به این مواد خاص موجود در گیاهان که در بهبود، درمان یا پیشگیری از بیماری‌ها نقش مؤثری دارند، ماده مؤثره گفته می‌شود (Ghasemi, 2009). مرزه (*Satureja hortensis* L.)، گیاهی علفی، یک ساله از تیره نعنا، بومی جنوب اروپا، آناتولی، قفقاز، عراق و جنوب غرب ایران بوده و امروزه در اغلب مناطق دنیا کشت می‌گردد دارای حدود ۲۳۵ گونه بوده که ۱۶ گونه آن در ایران موجود که از این تعداد ۹ گونه‌ی آن بومی ایران هستند (Novak et al., 2006). سرشاخه‌های گل‌دار و به‌طورکلی قسمت‌های هوایی گیاه مرزه دارای بوی معطر و اثر نیرو دهنده، تسهیل‌کننده عمل هضم، مقوی معده، مدر، بادشکن و به‌طور خفیف اثر قابض، ضد نزله، رفع اسهال و ضد کرم دارد (Shahsavari and Maaboudi, 2012).

ریز فناوری را می‌توان به‌عنوان فنّاوری در مقیاس نانومتری یا یک میلیاردم متر تعریف نمود .این فناوری در جهت طراحی، سنتز، توصیف صفات اختصاصی و به کار بردن مواد، ساختارها، ابزارها و سیستم‌هایی به‌وسیله کنترل در شکل و اندازه در مقیاس نانومتری هست (Ochekpe et al., 2009). دی‌اکسید تیتانیوم، یک اکسید معدنی غیر سیلیکاتی طبیعی است که در اشکال مختلف (از قبیل آناتاز، روتیل و بروکایت) وجود دارد و در صنایع دارویی، آرایشی و رنگرزی به‌طور گسترده استفاده می‌شود، زیرا پایداری بالا، خاصیت ضدزنگ زدگی و فوتوکاتالیزیس دارد (García et al., 2012). تیتانیوم خالص یا آلیاژهای آن به دلیل ترکیب سودمندی از ویژگی‌های بیولوژیکی و فیزیکی -شیمیایی، به‌طور گسترده برای ساخت بسیاری از ابزارهای پزشکی از قبیل ایمپلنت دندان، تعویض مفاصل و ابزارهایی جهت ثابت کردن مهره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Cunningham et al., 2002). Tio_2 کاربردهای بسیار وسیعی دارد، از زمان تولید شیمیایی این نانوذره در اوایل قرن بیستم بیشتر به‌عنوان رنگ دانه‌ای در رنگ‌ها، کرم‌های ضد آفتاب، پمادها و خمیر دندان‌ها استفاده می‌شود. رنگ‌دانه‌های Tio_2 محصولات شیمیایی معدنی هستند که جهت رنگ‌زدایی، درخشندگی و رفع کدری در کاربردهای متنوعی استفاده می‌شوند .این کاربردها شامل پوشش‌ها، پلاستیک‌ها، کاغذ و دیگر محصولات صنعتی است (Parivar et al., 2014). نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان مواد فرا ریز می‌توانند از طریق مسیرهای مختلف از قبیل استنشاق کردن (مسیر تنفسی)، خوردن (مسیر معده‌ای – روده‌ای)، نفوذ پوستی و تزریق (جریان خون) وارد بدن انسان شود (Jin et al., 2008). این نانو ذرات می‌توانند سبب شکل‌گیری گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر ROS درون سلولی (Kang et al., 2008)، اختلال در عملکرد میتوکندریایی (Long et al., 2007)، القاء آپوپتوز در سلول‌های PC12 در مدولا غده آدرنال (Liu et al., 2010)، التهاب، فیبروز و آسیب ریوی(Rahman et al., 2002)، القاء آپوپتوز در سلول‌های اسپلنوسیت طحال از طریق مسیر میتوکندریایی حد واسط (Li et al., 2010) و آسیب توانایی تشخیص فضایی حافظه (Hu et al., 2010) شوند.

اسید جاسمونیک ترکیبی مشتق شده از اسید چرب لینولئیک اسید است. این اسید از اسید لینولئیک به‌وسیله روش Octadecanoid سنتز می‌شود. مهم‌ترین

نقش اسید جاسمونیک ممانعت از رشد، پیری و ریزش برگ گیاه است (Rubio et al., 2009). این اسید در به وجود آمدن جوانه در سیب‌زمینی و پیاز نقش دارد. نقش مهمی در پیچ‌خوردگی در گیاهان و همچنین مقاومت سامانمند (سیتماتیک) آنان دارد. هنگامی‌که گیاهان توسط آفات مورد حمله قرار می‌گیرند، گیاه با آزاد کردن اسید جاسمونیک واکنش نشان می‌دهد که این عمل از هضم کردن پروتئین توسط حشره ممانعت به عمل می‌آورد (Ghasemi Pirbaloti et al., 2012). اسید جاسمونیک مهم‌ترین هورمون مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی است. این هورمون بعد از زخم شدن گیاه به‌سرعت در جاهای زخمی و غیر زخمی تجمع پیدا می‌کند (Bari and Jones, 2009). در دهه ۱۹۶۰ جاسمونات به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه در عطرمایه(اسانس) گیاه گل یاس مشاهده شد. دو دهه پس از شناسایی اولیه جاسمونات‌ها تأثیر فیزیولوژیکی آن‌ها شناسایی و به‌عنوان محرک‌هایی برای متابولیسم ثانویه در گیاهان عالی، شناخته شدند (Koo and Howe, 2009). جاسمونیک اسیدها گروهی از ترکیبات ویژه حلقوی سیکلوپنتان می‌باشند که در دهه ۱۹۶۰ به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه در عطرمایه گیاه گل یاس یافت شد (Ghanati et al., 2010). البته اثرات فیزیولوژیکی جاسمونات ها در گیاهان بسته به گونه گیاهی، مرحله نموی، نوع جاسمونات و غلظت به‌کار رفته متفاوت است (Martin et al., 2002).

با توجه نقش و جایگاه گیاهان دارویی و همچنین اهمیت مرزه به خاطر مواد آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی و حضور محرک‌های زیستی و غیر زیستی در القای مواد آنتی‌اکسیدانی در این تحقیق سعی خواهد شد تا نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسید جاسمونیک بر روند تغییرات پروتئینی و مواد آنتی‌اکسیدانی مرزه مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در پژوهشکده زیست فن‌آوری کشاورزی دانشگاه زابل اجرا شد. بدین منظور بذور ۵ ژنوتیپ از گیاه دارویی مرزه هورتنسیس (شهرری، تبریز، اردستان، سمنان و مشهد) از بانک ژن سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه، در گلدان‌های حاوی خاک‌برگ، پیت ماس و ماسه‌بادی کشت شدند و تا سه هفته روزی دو بار با مه پاش دستی آب‌پاشی شدند، پس از یک هفته بذور جوانه زدند و سه هفته بعد از جوانه‌زنی در مرحله‌ی چهار برگی شدن تیمار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در چهار سطح صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر و در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار اسید جاسمونیک اسپری شد. صفات موردبررسی؛ آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی که شامل: کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، پلی فنل اکسیداز (PPO)، پراکسیداز (PX)، پروتئین کل، فنل کل، فلاونوییدکل و آنتوسیانین و همچنین صفات فیزیولوژیکی مثل کلروفیل a و کلروفیل b، کارتنوئید بودند.

کاشت گیاه و اعمال تیمارها: گلدان‌های با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری با نسبت دوسوم پیت ماس و یک‌سوم خاک‌برگ و کوکو پیت پر شدند سپس بذرها را در سطح گلدان‌ها در عمق ۵ میلی‌متر کاشته و روی آن‌ها مقداری ماسه‌بادی به‌صورت سطحی پاشیده شد. کلیه گیاهان در شرایط گلخانه‌ای با دمای ۳±۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲+۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب و دوره روشنایی ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی رشد داده شدند. اعمال تیمارهای نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید سه هفته بعد از جوانه‌زنی در مرحله چهار برگی به‌وسیله اسپری بر روی اندام‌های هوایی، طبق آزمایش در غلظت‌های مشخص‌شده انجام گردید. تیمارهای شاهد نیز به همین نسبت آب توسط اسپری بر روی اندام‌های

هـوایی اسـپری گردیـد و ۴۸ سـاعت بعـد برداشـت قسمت‌های اندام هوایی گیاهان صورت گرفت.

روش اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان‌ها: بـرای ایـن روش ابتدا بافت سبز را در مرحله ۳ تا ۴ برگـی گیـاه جـدا کرده و در آزمایش زیر به کار بردیم.

- استخراج عصاره آنزیمی و اندازه‌گیری آنزیم‌ها

محلول‌های مورد نیاز برای بافر ice-cold

محلول پتاسـیم فسـفات از دو نمـک KH_2PO_4 و K_2HPO_4 تهیـه شـد. محلـول ۰/۰۲EDTA مـولار در حجم ۵۰ سی‌سی ساخته شـد. پـس از سـاخت ایـن محلول‌ها با توجه به تعـداد نمونـه‌هـای گیـاهی بـافر ice-cold با غلظت‌های ذکر شده در بالا سـاخته شـد. لازم به ذکر است که برای هر نمونه گیاهی ۴ سی‌سی بافر استفاده شد.

سنجش فعالیـت آنـزیم کاتـالاز (CAT): تغییـرات جذب به‌دست‌آمده در زمان یـک دقیقـه، بـه ضـریب خاموشی مولی این واکنش که برابر $36 M^{-1}cm^{-1}$ است تقسیم شد و فعالیت آنزیمی بر حسب واحد در گـرم وزن‌تر بیان شد (Beers and Sizer, 1952).

سـنجش فعالیـت آنـزیم آسـکوربات پراکسـیداز (APX): تغییرات جـذب به‌دسـت‌آمده در زمـان یـک دقیقه، به ضریب خاموشی مولی این واکنش که برابـر $2/8\ mM^{-1}.cm^{-1}$ است تقسیم شد و فعالیـت آنزیمـی برحسب واحد در گرم وزن‌تر بیان شد (Nakano and Asada, 1981).

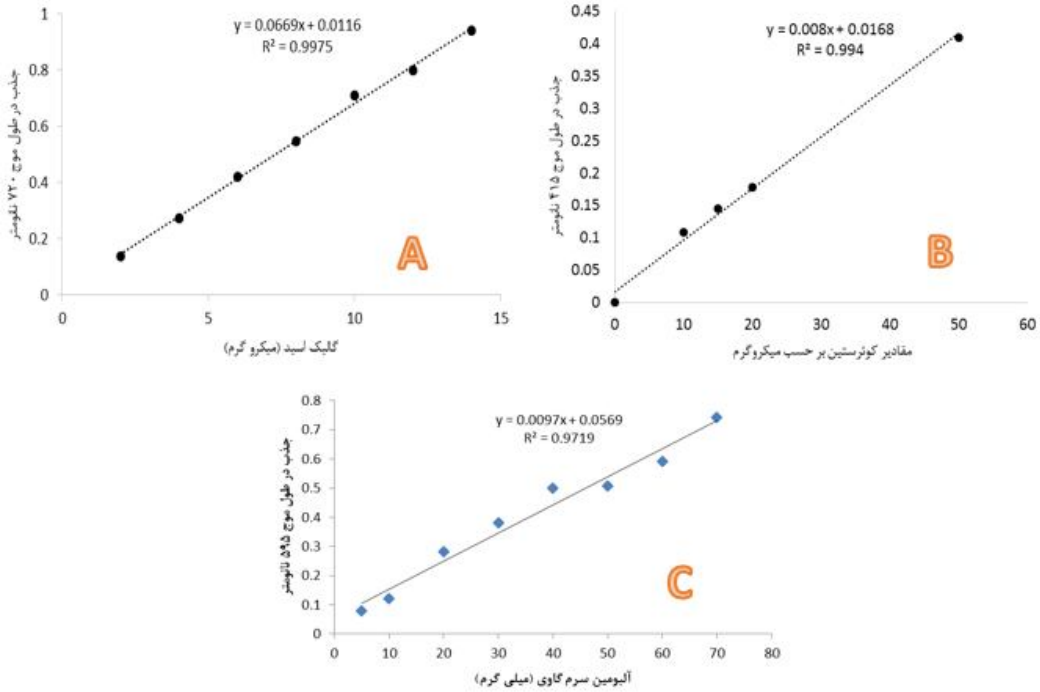
سنجش فعالیـت آنـزیم پراکسـیداز (PX): ارزیـابی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش محمدی و کاظمی (Mohammadi and Kazemi, 2002) انجام شد. فعالیت آنزیم به‌صورت تغییـرات جـذب نـور در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین محاسبه گردید.

سنجش فعالیت آنـزیم پلـی فنـل اکسـیداز (PPO): سنجش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بر اساس روش کار و میشـرا (Kar and Mishra, 1976) و نیکـولی و همکاران (Nicoli et al., 1991) همـراه بـا تغییراتـی انجام شد.

اندازه‌گیری میزان فنل کـل و فلاونوئیـد: ۰/۱ گـرم اندام هوایی در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد سـائیده و به‌مدت ۷۲-۲۴ ساعت در تـاریکی بـه‌منظور سـنجش ترکیبات فنلی کل و فلاونوئید کـل نگـه‌داری شـدند. سپس پس از سانتریفیوژ بـه یـک میلـی‌لیتـر محلـول رویی، یک میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد اضافه گردیـد و با آب مقطر، حجم محلول به ۵ میلی‌لیتر رسانده شـد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فـولین ۵۰ درصـد و یـک میلی‌لیتر کربنات سدیم ۵ درصد به آن اضافه گردیـد. مخلـوط حاصـل بـه‌مـدت یـک سـاعت در تـاریکی نگهداری شد و سپس جذب هر نمونـه در طول‌مـوج ۷۲۵ نـانومتر خوانـده شـد و بـا اسـتفاده از منحنـی استاندارد گالیک اسـید (شـکل ۱ بخـش A)، غلظـت ترکیبات فنلی کل برحسب میلی‌گرم در گـرم وزن‌تـر محاسبه گردید. رسم منحنـی اسـتاندارد فنـل کـل در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر صورت گرفت (Meda et al., 2005).

فلاونوئید کل: برای سنجش میزان فلاونوئید کل به ۵۰۰ میکرو لیتر از هر عصاره ۱/۵ میلی‌لیتر متانول (۸۰٪)، ۱۰۰ میکرو لیتر محلول آلومینیوم کلراید (۱۰٪)، ۱۰۰ میکرو لیتر محلول استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب مخلوط بعد از گذشت ۴۰ دقیقه در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر نسبت به بلانک اندازه‌گیری گردید. بلانک حاوی تمام ترکیبات ذکر شده در بالا بود اما بجای عصاره، همان حجم متانول ۸۰٪ به آن اضافه‌شده بود. برای رسم منحنی استاندارد از کوئرستین استفاده شد (شکل ۱ بخش B). میزان فلاونوئید کل عصاره‌ها بر اساس میلی‌گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن خشک گیاه گزارش شد (Chang et al., 2002).

سنجش پروتئین استاندارد و ارزیابی میزان پروتئین کل: برای ارزیابی و تعیین میزان فعالیت آنزیم، لازم است ارزیابی دقیقی از میزان کل پروتئین موجود در عصاره مورد آزمایش، صورت گیرد. بدین منظور از روش بردفورد (Bradford, 1976) به شرح زیر استفاده گردید. یک گرم بافت تر در یک هاون چینی محتوی سه میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با ۷/۲ pH سائیده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال دار در ۱۴۰۰۰ g و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره پروتئینی (محلول رویی) به لوله‌های آزمایش منتقل و پنج میلی‌لیتر معرف بیوره افزوده و سریعاً ورتکس شد. پس از دو دقیقه و قبل از یک ساعت جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین گاوی (شکل ۱ بخش C) محاسبه و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه گردید.



شکل ۱: منحنی استاندارد؛ گالیک اسید جهت اندازه‌گیری مقادیر فنل (A)؛ کوئرستین جهت اندازه‌گیری مقادیر فلاونوئید (B)؛ آلبومین سرم گاوی جهت اندازه‌گیری مقادیر پروتئین کل (C)

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌های حاصله از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱)، SPSS (نسخه ۲۱)، Excel، NTsysPC 2.02، Darwin ارزیابی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام خواهد شد.

نتایج

آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی

آنزیم کاتالاز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، ژنوتیپ و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه این تیمارها به‌جز اثر ساده جاسمونیک اسید بر میزان آنزیم کاتالاز معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان آنزیم کاتالاز (۰/۰۵۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) در مرزه تبریز در اثر تیمارهای ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ۱۵۰ میکرو مولار در لیتر جاسمونیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه مرزه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پراکسیداز
رقم	۴	۰/۰۰۲۹۴۱**	۰/۰۰۰۱۸۱۰**	۰/۰۲۳۹۰**	۰/۰۰۰۰۰۳۹۴۳**
تیتانیوم	۳	۰/۰۰۰۳۰۰۰**	۰۰۰۰۷۳۷۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۲۳۴۹^{ns}
جاسمونیک اسید	۳	۰/۰۰۰۰۱۴۰^{ns}	۰/۰۰۰۱۰۵۴*	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۸۳۲۰*
رقم* تیتانیوم	۱۲	۰/۰۰۰۳۳۴۵**	۰/۰۰۰۹۵۶۹**	۰/۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۰۲۹۴۳**
رقم* جاسمونیک اسید	۱۲	۰/۰۰۰۸۷۸۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۸۲۹۱**	۰/۰۰۰۰۷**	۰/۰۰۰۰۰۲۰۴۶**
تیتانیوم* جاسمونیک اسید	۹	۰/۰۰۰۱۴۳۱**	۰/۰۰۰۱۰۳۹**	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۱۳۸۰**
رقم* تیتانیوم* جاسمونیک اسید	۳۶	۰/۰۰۰۳۵۵۵**	۰/۰۰۰۱۰۸۵**	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۲۴۸۸**
E	۱۶۰	۰/۰۰۰۰۵۴۸۸	۰/۳۳۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۳۰۳۴
Total	۲۳۹				
%CV		۱۵/۷۸	۱۸/۶۲	۱۳/۱۲	۱۱/۱۴

ns ، *،** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم *تیتانیوم* جاسمونیک اسید بر اساس آنزیم کاتالاز (میلی‌گرم در گرم ماده تر)

ژنوتیپ	تیتانیوم	جاسمونیک			
		۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
هورتنسیس شهرری	۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۲۸۶CDE	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM
	۳۰	۰/۰۱۰۷IJKLM	۰/۰۰۵۴KLM	۰/۰۰۵۴KLM	۰/۰۰۷۱JKLM
	۶۰	۰/۰۴۲۹B	۰/۰۰۷۱JKLM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۷۱JKLM
	۹۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۲۳۲EFG
هورتنسیس تبریز	۰	۰/۰۳۵۷BC	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۳۵۷BC
	۳۰	۰/۰۲۵۰DEF	۰/۰۱۲۵HIJKL	۰/۰۱۹۶EFGHI	۰/۰۵۳۶A
	۶۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۱۴۳GHIJK	۰/۰۳۵۷BC	۰/۰۰۵۴KLM
	۹۰	۰/۰۱۰۷IJKLM	۰/۰۲۸۶CDE	۰/۰۱۴۳GHIJK	۰/۰۳۳۹BCD
اردستان	۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM
	۳۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM
	۶۰	۰/۰۴۲۹B	۰/۰۰۵۴KLM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM
	۹۰	۰/۰۰۷۱JKLM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۱۲M	۰/۰۰۳۶LM
هورتنسیس سمنان	۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۲۸۶CDE	۰/۰۰۷۱JKLM	۰/۰۰۷۱JKLM
	۳۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۱۶۱FGHIJ	۰/۰۱۴۳GHIJK	۰/۰۱۶۱FGHIJ
	۶۰	۰/۰۱۴۳GHIJK	۰/۰۴۲۹B	۰/۰۱۴۳GHIJK	۰/۰۲۳۲EFG
	۹۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۱۰۷IJKLM
هورتنسیس مشهد	۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۱۰۷IJKLM
	۳۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۸۶JKLM	۰/۰۰۷۱JKLM
	۶۰	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۸۹JKLM	۰/۰۲۱۴EFGH	۰/۰۰۳۶LM
	۹۰	۰/۰۱۴۳GHIJK	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM	۰/۰۰۳۶LM

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، جاسمونیک اسید و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه این تیمارها بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشترین میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۰/۰۵۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مرزه اردستان در اثر تیمارهای ۶۰ میلی‌گرم درلیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۵۰ میکرومولار جاسمونیک اسید حاصل گردید (جدول ۴).

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم *تیتانیوم* جاسمونیک اسید بر اساس آنزیم آسکوربات پراکسیداز (میلی‌گرم در گرم ماده تر)

ژنوتیپ	تیتانیوم	جاسمونیک			
		۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
هورتنسیس شهرری	۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۱۱C	۰/۰۰۳۹BC
	۳۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۲۱C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C
	۶۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۵C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C
	۹۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C
هورتنسیس تبریز	۰	۰/۰۰۲۱C	۰/۰۰۵۰BC	۰/۰۰۳۲BC	۰/۰۰۵۷BC
	۳۰	۰/۰۰۰۷C	۰/۰۰۳۶BC	۰/۰۰۳۶BC	۰/۰۰۲۳C
	۶۰	۰/۰۰۱۸C	۰/۰۰۳۴BC	۰/۰۰۳۰BC	۰/۰۰۱۶C
	۹۰	۰/۰۰۴۳BC	۰/۰۰۱۴C	۰/۰۰۱۸C	۰/۰۰۰۴C
هورتنسیس اردستان	۰	۰/۰۰۳۲BC	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۲۵BC
	۳۰	۰/۰۱۱۸B	۰/۰۰۰۵C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۵C
	۶۰	۰/۰۰۴۳BC	۰/۰۵۱۴A	۰/۰۰۱۱C	۰/۰۰۰۴C
	۹۰	۰/۰۰۶۴BC	۰/۰۰۰۵C	۰/۰۰۰۵C	۰/۰۰۰۴C
هورتنسیس سمنان	۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۲۱C
	۳۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۲۱C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C
	۶۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۹C	۰/۰۰۲۳C	۰/۰۰۱۶C
	۹۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۱۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۴۶BC
هورتنسیس مشهد	۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C
	۳۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۵۴BC	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C
	۶۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۵C	۰/۰۰۰۵C
	۹۰	۰/۰۰۰۴C	۰/۰۰۰۵C	۰/۰۰۰۵C	۰/۰۰۱۲C

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

آنزیم پراکسیداز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار جاسمونیک اسید، ژنوتیپ، اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه به‌جز اثر ساده تیتانیوم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) بود (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز (۰/۰۰۰۴۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مرزه اردستان حاصل از اثر متقابل ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۱۵۰ میکرومولار در لیتر جاسمونیک اسید بدست آمد (جدول ۵).

جدول ٤: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم *تیتانیوم* جاسمونیک اسید بر اساس آنزیم پراکسیداز (میلی‌گرم در گرم ماده تر)

ژنوتیپ	تیتانیوم	جاسمونیک			
		۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
هورتنسیس شهرری	۰	۰/۰۰۰۱۱۴FGHIJKLMNO	۰/۰۰۰۱۶۵EFG	۰/۰۰۰۳۴۹A	۰/۰۰۰۲۳۵CD
	۳۰	۰/۰۰۰۰۳۹۲RSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۳۹۲Y	۰/۰۰۰۱۵۵EFGHI	۰/۰۰۰۱۱۲FGHIJKLMNO
	۶۰	۰/۰۰۰۱۶۱EFGH	۰/۰۰۰۰۶۰۸NOPQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۱۹۶STUVWXY	۰/۰۰۰۰۳۹۲Y
	۹۰	۰/۰۰۰۲۶۳BC	۰/۰۰۰۰۰۵۸۸Y	۰/۰۰۰۰۱۳۷VWXY	۰/۰۰۰۰۲۹۴STUVWXY
هورتنسیس تبریز	۰	۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY	۰/۰۰۰۰۴۳۱RSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۴۳۱RSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY
	۳۰	۰/۰۰۰۰۶۲۷NOPQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۳۳۳STUVWXY	۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY	۰/۰۰۰۰۷۴۵LMNOPQRST
	۶۰	۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۴۹۰PQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۸۴۳JKLMNOPQRS	۰/۰۰۰۰۳۷۳STUVWXY
	۹۰	۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۱۷۱EF	۰/۰۰۰۰۴۱۲RSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۵۴۹OPQRSTUVWXY
هورتنسیس اردستان	۰	۰/۰۰۰۱۳۳FGHIJKL	۰/۰۰۰۰۳۹۲Y	۰/۰۰۰۱۵۷EFGHI	۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXY
	۳۰	۰/۰۰۰۱۴۱EFGHIJ	۰/۰۰۰۰۹۸۰WXY	۰/۰۰۰۱۱۲FGHIJKLMNO	۰/۰۰۰۱۲۰FGHIJKLMN
	۶۰	۰/۰۰۰۶۶۷NOPQRSTUVWX	۰/۰۰۰۰۳۷۳STUVWXY	۰/۰۰۰۱۹۸DE	۰/۰۰۰۳۱۶AB
	۹۰	۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY	۰/۰۰۰۱۶۳EFGH	۰/۰۰۰۱۳۳FGHIJKL	۰/۰۰۰۰۶۶۷NOPQRSTUVWX
هورتنسیس سمنان	۰	۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۱۲۹FGHIJKLM	۰/۰۰۰۰۶۲۷NOPQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY
	۳۰	۰/۰۰۰۰۷۸۴KLMNOPQRST	۰/۰۰۰۰۴۵۱QRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۷۶۵KLMNOPQRST	۰/۰۰۰۰۹۸۰IJKLMNOPQR
	۶۰	۰/۰۰۰۰۷۰۶MNOPQRSTUV	۰/۰۰۰۱۰۴HIJKLMNOPQ	۰/۰۰۰۰۷۲۵MNOPQRSTUV	۰/۰۰۰۰۳۳۳STUVWXY
	۹۰	۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY	۰/۰۰۰۱۰۶GHIJKLMNOP	۰/۰۰۰۲۸۰BC	۰/۰۰۰۰۶۲۷NOPQRSTUVWXY
هورتنسیس مشهد	۰	۰/۰۰۰۰۱۵۷TUVWXY	۰/۰۰۰۱۱۴FGHIJKLMNO	۰/۰۰۰۰۳۱۴STUVWXY	۰/۰۰۰۰۷۸۴KLMNOPQRST
	۳۰	۰/۰۰۰۰۵۴۹OPQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۴۹۰PQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۵۸۸OPQRSTUVWXY	۰/۰۰۰۰۴۳۱RSTUVWXY
	۶۰	۰/۰۰۰۲۳۱CD	۰/۰۰۰۰۳۱۴STUVWXY	۰/۰۰۰۰۸۴۳JKLMNOPQRS	۰/۰۰۰۰۱۳۷VWXY
	۹۰	۰/۰۰۰۱۳۳FGHIJKL	۰/۰۰۰۰۶۸۶NOPQRSTUVW	۰/۰۰۰۱۳۵FGHIJK	۰/۰۰۰۰۰۷۸۴XY

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دادها که اثر ساده ژنوتیپ، نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، جاسمونیک اسید و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه بر میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز (۰/۰۶۲۸ میلیگرم در گرم وزن تر برگ) حاصل از اثر متقابل ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید صفر (شاهد) بدست آمد (جدول ۶).

مواد آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی

آنتوسیانین: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده ژنوتیپ، جاسمونیک اسید و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه به‌جز اثر ساده دی‌اکسید تیتانیوم بر صفت آنتوسیانین معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود (جدول ۸). آزمون تعقیبی LSD نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین (۰/۶۶۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) در ژنوتیپ مشهد و غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و صفر میکرومولار (شاهد) جاسمونیک اسید با میزان به‌دست آمد (جدول ۹).

فلاونوئید و فنل: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، ژنوتیپ و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه این تیمارها به‌جز اثر ساده جاسمونیک اسید بر صفت فنل و فلاونوئید معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود (جدول ۸). ضمناً نتایج مقایسه میانگین نشان داده که بیشترین میزان فلاونوئید (۱۴۴/۲۹ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مرزه مشهد در شاهد حاصل

گردید (جدول ۹)؛ اما بیشترین میـزان فنـل (۸۱/۲۱۶ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مـرزه شـهری ری در تیمار نانو تیتانیوم صفر (شاهد) و جاسمونیک اسید (۵۰ میکرو مولار) به‌دست آمد (جدول ۹).

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم *تیتانیوم* جاسمونیک اسید بر اساس آنزیم پلی فنل اکسیداز (میلی‌گرم در گرم ماده تر)

ژنوتیپ	تیتانیوم	جاسمونیک			
		۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
هورتنسیس شهرری	۰	۰/۰۰۴۹LMNOP	۰/۰۰۴۵LMNOP	۰/۰۰۴۵LMNOP	۰/۰۰۸۹JKL
	۳۰	۰/۰۰۴۰MNOP	۰/۰۰۱۳NOP	۰۰۱۰NOP	۰/۰۰۰۶P
	۶۰	۰/۰۰۳۲MNOP	۰/۰۰۱۲NOP	۰/۰۰۰۸OP	۰/۰۰۰۶P
	۹۰	۰/۰۰۳۶MNOP	۰/۰۰۰۸OP	۰/۰۰۱۲NOP	۰/۰۰۱۰NOP
هورتنسیس تبریز	۰	۰/۰۵۱۸DEF	۰/۰۵۶۳BCD	۰/۰۵۰۶F	۰/۰۵۳۴CDEF
	۳۰	۰/۰۶۲۸A	۰/۰۴۰۱H	۰/۰۵۲۲CDEF	۰/۰۵۱۴EF
	۶۰	۰/۰۵۶۷BC	۰/۰۴۴۹G	۰/۰۵۵۹BCDE	۰/۰۵۳۶CDEF
	۹۰	۰/۰۵۵۱BCDEF	۰/۰۵۸۹AB	۰/۰۵۴۰BCDEF	۰/۰۴۶۰G
هورتنسیس اردستان	۰	۰/۰۰۰۴P	۰/۰۰۰۴P	۰/۰۰۱۲NOP	۰/۰۰۱۶NOP
	۳۰	۰/۰۰۲۰NOP	۰/۰۰۰۸OP	۰/۰۰۱۰NOP	۰/۰۰۰۸OP
	۶۰	۰/۰۰۱۶NOP	۰/۰۰۱۲NOP	۰/۰۰۰۸OP	۰/۰۰۱۲NOP
	۹۰	۰/۰۰۲۸NOP	۰/۰۰۱۲NOP	۰/۰۰۰۸OP	۰/۰۰۱۲NOP
هورتنسیس سمنان	۰	۰/۰۰۱۶NOP	۰۰۱۲NOP	۰/۰۰۱۶NOP	۰/۰۰۱۶NOP
	۳۰	۰/۰۰۰۸OP	۰/۰۰۲۸NOP	۰/۰۰۷۷JKLM	۰/۰۰۹۷JK
	۶۰	۰/۰۰۵۳KLMNO	۰/۰۰۹۵JK	۰/۰۰۷۷JKLM	۰/۰۰۲۲NOP
	۹۰	۰/۰۰۴۰MNOP	۰/۰۱۰۹J	۰/۰۳۴۸I	۰/۰۰۵۵KLMN
هورتنسیس مشهد	۰	۰/۰۰۱۲NOP	۰/۰۰۱۶NOP	۰/۰۰۲۰NOP	۰/۰۰۱۲NOP
	۳۰	۰/۰۰۱۶NOP	۰/۰۰۱۸NOP	۰/۰۰۱۴NOP	۰/۰۰۰۶P
	۶۰	۰/۰۰۲۸NOP	۰/۰۰۳۴MNOP	۰/۰۰۲۸NOP	۰/۰۰۱۴NOP
	۹۰	۰/۰۰۲۰NOP	۰/۰۰۱۸NOP	۰/۰۰۲۰NOP	۰/۰۰۱۲NOP

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

پروتئین کل: نتـایج حاصـل از تجزیـه واریـانس داده‌هـا نشان داد که اثرات ساده نانو دی‌اکسید تیتانیوم، ژنوتیـپ، جاسمونیک اسید و اثرات دوگانه و سـه‌گانه بـر پـروتئین کل معنی‌دار (P<۰/۰۱) بودند (جدول ۸). آزمـون تعقیبـی LSD نیـز نشـان داد کـه بیشـترین میـزان پـروتئین کـل (۷۰/۰۸۵ میلی‌گـرم برگـرم وزن‌تـر) در ژنوتیـپ مـرزه سمنان در غلظت‌های ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جاسـمونیک اسید و صفر میلی‌گرم در لیتر تیتانیوم به‌دست آمد.

صفات فیزیولوژیک

کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کلروفیـل کـل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثـرات سـاده نـانو ذرات دی‌اکسید، جاسمونیک اسـید، ژنوتیـپ، اثـرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بـر کلروفیـل a، کلروفیـل b، کلروفیـل کـل و کارتنوئیـد معنـی‌دار (P<۰/۰۱) بـود (جدول ۷ و ۸). نتایج آزمون تعقیبـی LSD نشـان داد که بیشترین میزان کلروفیل a (۱۳/۶۲۹ میلی‌گرم برگرم وزن‌تـر) در ژنوتیـپ شـهر ری در غلظت‌هـای ۵۰ میکرومولار جاسمونیک اسید و صفر (شاهد) میلی‌گرم در لیتـر نـانو تیتـانیوم؛ بیشـترین میـزان کلروفیـل a (۶/۱۷۸۶ میلی‌گـرم در گـرم وزن‌تـر) و کلروفیـل b (۶/۱۱۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) به ترتیـب حاصـل تیمار نانو تیتانیوم صـفر (شـاهد) و ۵۰ میکـرو مـولار جاسمونیک اسـید در ژنوتیـپ مـرزه اردسـتان و نـانو

تیتانیوم ۶۰ میلی‌گرم در لیتر و ۱۰۰ میکرو مولار جاسمونیک اسید در ژنوتیپ مرزه سمنان؛ بیشترین میزان کارتنوئید (۴/۴۱ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مرزه شهر ری حاصل از غلظت‌های ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم و صفر میکرو مولار جاسمونیک اسید و بیشترین میزان کلروفیل کل (۱۶/۷۷۲ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر) در ژنوتیپ مرزه شهر ری در غلظت‌های ۵۰ میکرو مولار در لیتر جاسمونیک اسید و صفر میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به دست آمد (جدول ۸ و ۹).

جدول ٦: تجزیه واریانس اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید بر صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی مرزه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
رقم	۴	۴۰۳/۰۲۵**	۹۹/۴۵۷۲**	۵۹۶/۴۴۷**	۳۶/۳۲۶۳**
تیتانیوم	۳	۴/۵۲۵**	۶/۸۸۹۹**	۲۱/۴۷۷**	۰/۸۷۵۷**
جاسمونیک اسید	۳	۹/۷۳۹**	۱۵/۱۵۴۰**	۳۸/۵۳۹**	۰/۵۰۶۰**
رقم* تیتانیوم	۱۲	۲۶/۳۷۲**	۳/۸۷۷۴**	۳۱/۷۹۰**	۲/۳۴۶۱**
رقم* جاسمونیک اسید	۱۲	۱۸/۱۰۹**	۶/۲۲۵۷**	۲۷/۹۹۷**	۱/۵۰۱۳**
تیتانیوم* جاسمونیک اسید	۹	۶/۵۵۶**	۶/۰۶۳۸**	۱۵/۰۱۲**	۱/۲۷۹۸**
رقم* تیتانیوم* جاسمونیک اسید	۳۶	۴/۳۲۳**	۳/۴۰۴۸**	۸/۸۹۴**	۰/۶۰۰۷**
E	۱۶۰	۰/۶۶۱	۰/۲۱۷۹	۱/۲۸۷	۰/۰۵۸۵
Total	۲۳۹				
%CV		۱۷/۷۴	۲۱/۶۳	۱۳/۸۶	۱۲/۱۱

ns، *،** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۷: تجزیه واریانس اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید بر مواد آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی گیاه دارویی مرزه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		آنتوسیانین	پروتئین	فلاونوئید	فنل
رقم	۴	۱۳/۲۵۶۳**	۶۱۴۳/۴۳**	۴۱۸۴/۶۷**	۲۵۸۷/۸۳**
تیتانیوم	۳	۰/۵۷۳۹ns	۲۶۱۰/۵۳**	۱۳۰۴/۸۲**	۲۳۹/۶۸**
جاسمونیک اسید	۳	۵/۷۵۲۴**	۲۵۳۳/۸۶**	۳۳۳/۸۳**	۱۰۹/۴۷ ns
رقم* تیتانیوم	۱۲	۳/۶۱۷۳**	۶۶۹/۷۲**	۱۷۰۲/۲۳**	۴۲۶/۶۲**
رقم* جاسمونیک اسید	۱۲	۵/۵۳۱۷**	۳۸۱/۵۲**	۱۵۹۳/۰۶**	۶۴۸/۱۶**
تیتانیوم* جاسمونیک اسید	۹	۲/۰۵۱۷**	۳۶۳/۲۰**	۱۴۳۹/۲۹**	۷۰۸/۸۷**
رقم* تیتانیوم* جاسمونیک اسید	۳۶	۲/۴۰۲۷**	۴۳۸/۶۶**	۸۸۰/۹۵**	۴۲۹/۷۳**
E	۱۶۰	۳۱۶۴	۱۴/۵۷	۱۰۱/۵۸	۵۶/۲۶
Total	۲۳۹				
%CV		۱۴/۸۴	۱۸/۵۸	۱۲/۱۲	۱۱/۱۵

ns، *،** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ * دی‌اکسید تیتانیوم* جاسمونیک اسید بر صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی مرزه

تیتانیوم	جاسمونیک	ژنوتیپ	کلروفیل کل	آنتوسیانین	فلاونوئید	فنل
۰	۰	شهرری	۱۵/۹۱۷ AB	۴/۲۱۲۱ HIJKMNOPQR	۳۷/۳۸ ef	۳۲/۲۵ PQRSTUVWX
		تبریز	۰/۵۹۳ f	۳/۸۷۸۸ KLMNOPQRSTUV	۶۵/۵۴ VWXYZab	۸/۷۱۶ fg
		اردستان	۵/۸۶۲ WXYZabcd	۳/۵۱۵۲ OPQRSTUVWXYZa	۹۵/۲۴ FGHIJK	۳۶/۹۹۱ KLMNOPQRSTU
		سمنان	۹/۳ IJKLMNOP	۳/۶۰۶۱ MNOPQRSTUVWXYZ	۷۶/۱۹ OPQRSTUVWXYZ	۳۰/۶۱۲ RSTUVWXYZ
		مشهد	۴/۴۹ de	۳/۴۲۴۲ PQRSTUVWXYZabc	۱۴۴/۲۹ A	۶۰/۲۶۷ BCD
	۵۰	شهرری	۱۶/۷۷۲ A	۶/۳۳۳۳ AB	۸۱/۹۶ IJKLMNOPQRSTU	۸۱/۲۱۶ A
		تبریز	۱/۴۴۷ f	۴/۴۵۴۵ FGHIJKLM	۸۶/۶۱ GHIJKLMNOPQRS	۱۸/۱۹۸ abcdefg
		اردستان	۹/۶۲۹ GHIJKL	T۴/۳۰۳ JKLMNOPQRS	۸۱/۷ JKLMNOPQRSTUVW	۴۱/۲۱۶ HIJKLMNOPQRS
		سمنان	۷/۳۲۹PQRSTUVWXY	۲/۴۵۴۵ efg	۱۲۴/۱۷ BC	۶۶/۶۴۷ BC
		مشهد	۷/۴۴ OPQRSTUV	۴/۸۴۸۵ DEFGHIJ	۱۱۲/۳۲ CDE	۵۶/۳۸۸ CDEF
	۱۰۰	شهرری	۱۳/۱۴۹ CD	۳/۸۴۸۵ KLMNOPQRSTUV	۵۴/۷ Zabcd	۱۸/۵۴۳ Zabcde
		تبریز	۱/۲۰۹ f	۴/۶۰۶۱ EFGHIJK	۸۳/۲۱ IJKLMNOPQRST	۴۶/۶۴۷ EFGHIJKLMN
		اردستان	۸/۴۴۳ KLMNOPQR	۶/۱۲۱۲ ABC	۹۲/۸ FGHIJKLM	۳۳/۱۱۲ OPQRSTUVWX
		سمنان	۸/۵۹۶ KLMNOPQR	۲/۵۷۵۸ bcdefg	۷۶/۴۹ NOPQRSTUVWXY	۲۴/۸۳۶ VWXYZabcd
		مشهد	۶/۳۲۶ VWXYZab	۳/۱۸۱۸ TUVWXYZabcde	۵۳/۸۷ bcd	۳۳/۲۸۴ OPQRSTUVW
	۱۵۰	شهرری	۱۴/۴۰۲ BC	۳/۲۱۲۱ STUVWXYZabcde	۲۷/۹۸ f	۵۵/۶۹۸ CDEFG
		تبریز	۱/۶۳۲ f	۳/۶۹۷ LMNOPQRSTUVWXY	۸۹/۵۸ GHIJKLMNOPQ	۳۰/۴۴ RSTUVWXYZ
		اردستان	۵/۵۷۳ Yzabcd	۵ DEFGH	۷۶/۶۷ MNOPQRSTUVWXY	۱۷/۳۳۶ bcdefg
		سمنان	۸/۹۲۴ JKLMNOPQ	۲/۵۷۵۸ bcdefg	۷۷/۵ LMNOPQRSTUVWX	۳۳/۸۸۸ OPQRSTUVW
		مشهد	۶/۳۵۵ VWXYZab	۲/۲۱۲۱ fg	۷۳/۹۳ PQRSTUVWXYZa	۳۵/۸۷۱ LMNOPQRSTUVW
	۳۰	شهرری	۱۵/۴۲۱ AB	۳/۸۱۸۲ KLMNOPQRSTUVW	۷۶/۶۱ MNOPQRSTUVWXY	۴۰/۶۹۸ HIJKLMNOPQRS
		تبریز	۰/۷۴۶ f	۲/۷۲۷۳ Zabcdefg	۶۴/۵ XYZabc	۲۰/۹۵۷ XYZabcd
		اردستان	۱۰/۵۱۶ FGHIJ	۲/۵۱۵۲ defg	۱۰۲/۷۴ DEFG	۴۰/۹۵ IJKLMNOPQRS
		سمنان	۱۰/۷۵۶ EFGHI	۴/۹۶۹۷ DEFGHI	۱۲۴/۱۷ BC	۴۱/۱۲۹ HIJKLMNOPQRS
		مشهد	۶/۲۲۹ VWXYZab	۶/۶۶۶۷ A	۸۸/۵۱ GHIJKLMNOPQR	۳۵/۹۵ MNOPQRSTUVW
	۵۰	شهرری	۷/۶۲۹ NOPQRSTUVW	۳/۵۳۰۳ OPQRSTUVWXYZa	۹۶/۱۶ EFGHIJ	۵۲/۵۵۲ DRFG
		تبریز	۰/۷۶۹ f	۳/۶۰۶ UVWXYZabcedf	۷۱/۲۸ RSTUVWXYZa	۲۳/۸۴۵ VWXYZabcd
		اردستان	۶/۸۱۶ RSTUVWXYZ	۴/۹۶۹۷ DEFGHI	۶۰/۷۴ Yzabc	۷/۱۶۴ g
		سمنان	۸/۲۴۹ LMNOPQRSTU	۳/۵۱۵۲ OPQRSTUVWXYZa	۱۰۸/۳۳ CDEF	۱۸/۱۵۵ abcdefg
		مشهد	۴/۷۱ de	۴/۹۳۹۴ DEFGHI	۸۹/۹۷ GHIJKLMNOP	۳۷/۵۹۵ JKLMNOPQRSTU
	۱۰۰	شهرری	۵/۴۰۲ Zabcde	۴/۴۳۹۴ FGHIJKLMN	۹۲/۵۳ FGHIJKLMN	۴۲/۲۰۷ HIJKLMNOPQR
		تبریز	۰/۵۸۴ f	۳/۳۴۸۵ RSTUVWXYZabcde	۸۶/۳۴ HIJKLMNOPQRS	۴۰/۲۶۷ IJKLMNOPQRS
		اردستان	۵/۶۳۴ XYZabcd	۳/۹۰۹ UVWXYZabcdef	۹۲/۴۷ FGHIJKLMN	۷/۲۵ g
		سمنان	۱۲/۵۸۵ CDE	۲/۴۵۴۵ efg	۱۳۰/۳۹ AB	۵۱/۸۶ DEFGHI
		مشهد	۳/۶۳۴ e	۳/۵۴۵۵ NOPQRSTUVWXYZa	۹۵/۴۲ FGHIJK	۳۶/۵۶ LMNOPQRSTUV
	۱۵۰	شهرری	۷/۱۲۹ QRSTUVWXYZ	۳/۵۴۵۵ NOPQRSTUVWXYZa	۱۱۸/۶۹ BCD	۸۱/۲۱۶ B
		تبریز	۰/۷۰۴ f	۳/۱۶۶۷ tTUVWXYZabcde	۶۹/۷۹ TUVWXYZab	۳۱/۶۰۳ QRSTUVWXY
		اردستان	۷/۹۸ QRSTUVWXYZ	۳/۸۴۸۵ KLMNOPQRSTUV	۵۷/۷۷ Zabcd	۹/۴۴۸ efg
		سمنان	۷/۷۹۷ MNOPQRSTUV	۲/۷۴۲۴ Zabcdefg	۱۰۰/۸ EFGH	۴۲/۲۹۳ HIJKLMNOPQR
		مشهد	۸/۳۳۷ LMNOPQRST	۵/۲۲۷۳ CDEFG	۶۵/۳۶ WXYZabc	۴۴/۷۵ FGHIJKLMNO

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

ادامه جدول ۸-

تیتانیوم	جاسمونیک	ژنوتیپ	کلروفیل کل	آنتوسیانین	فلاونوئید	فنل
۶۰	۰	شهری	۱۰/۸۷۶ EFGH	۳/۱۵۱۵ TUVWXYZabcde	۳۴/۸۸ ef	۳۹/۶ IJKLMNOPQRST
		تبریز	۰/۴۶ f	۲/۹۳۹۴ WXYZabcdefg	۶۶/۹ UVWXYZab	۴۶/۸۱۹ EFGHIJKLM
		اردستان	۹/۳۳۵ HIJKLMN	۲/۶۶۶۷ abcdefg	۸۲/۲ IJKLMNOPQRSTU	۳۳/۴۵۷ OPQRSTUVW
		سمنان	۶/۹۳۵ RSTUVWXYZ	۳ VWXYZabcdefg	۹۶/۷ EGHIJK	۵۸/۵۴۳ BCDE
		مشهد	۶/۵۴۳ STUVWXYZa	۲/۹۰۹۱ XYZabcdefg	۹۰/۸۹ GHIJKLMNO	۴۹/۴۰۵ DEFGHIIJ
	۵۰	شهری	۵/۵۴۵ Yzabcd	۲/۸۶۳۶ XYZabcdefg	۹۵/۲۷ FGHIJK	۳۵/۳۹۷ MNOPQRSTUVW
		تبریز	۰/۸۵ f	۳/۴۶۹۷ OPQRSTUVWXYZabc	۶۹/۵۸ TUVWXYZab	۲۷/۵۵۲ TUVWXYZab
		اردستان	۸/۶۰۱ KLMNOPQR	۵/۲۷۲۷ CDEF	۴۴/۳۲ de	۴۵/۹ FGHIJKLMNO
		سمنان	۹/۱۹۹ HIJKLMNO	۲/۵۴۵۵ cdefg	۷۷/۵ LMNOPQRSTUVWX	۳۶/۱۲۹ LMNOPQRSTUV
		مشهد	۱۱/۶۵۷ DEF	۶/۶۳۶۴ A	۷۹/۸۲ KLMNOPQRSTUVWX	۳۹/۴۹۱ IJKLMNOPQRST
	۱۰۰	شهری	۶/۱۵۳ VWXYZab	۵/۵ BCDE	۴۹/۲ CDE	۳۲/۶۳۸ PQRSTUVWX
		تبریز	۰/۹۰۳ f	۳/۷۲۷۳ KLMNOPQRSTUVW	۷۳/۵۷ PQRSTUVWXYZa	۳۸/۱۱۲ JKLMNOPQRSTU
		اردستان	۴/۳۱۵ cde	۴/۲۸۷۹ HIJKLMNOP	۸۵/۲۷ HIJKLMNOPQRST	۱۴/۹۶۶ cdefg
		سمنان	۹/۵۴۲ GHIJKLM	۲/۸۰۳ Yzabcdefg	۹۰/۹۵ GHIJKLMNO	۳۵/۷۸۴ LMNOPQRSTUVW
		مشهد	۵/۶۳۴ xyzaABCD	۳/۷۵۸ UVWXYZabcdef	۸۷/۴۱ GHIJKLMNOPQRS	۵۵/۶۱۲ CDEFG
	۱۵۰	شهری	۸/۳۹۳ KLMNOPQRS	۳/۷۵۸ UVWXYZabcdef	۹۷/۹۵ EFGHI	۳۷/۹۴ JKLMNOPQRSTU
		تبریز	۱/۲۸ f	۴/۳۳۳۳ GHIJKLMNO	۷۲/۶۵ RSTUVWXYZa	۳۲/۴۶۶ Ppqrstuvwx
		اردستان	۷/۳۵ RSTUVWXYZ	۳/۲۸۷۹ STUVWXYZabcde	۷۷/۹۲ LMNOPQRSTUVWX	۱۹/۹۲۲ Yzabcdef
		سمنان	۹/۲ HIJKLMNO	۳/۳۷۸۸ QRSTUVWXYZabcd	۸۹/۲۶ GHIJKLMNOPQ	۴۳/۱۱۲ HIJKLMNOPQ
		مشهد	۶/۴۸ UVWXYZab	۴/۲۵۷۶ HIJKLMNOPQ	۱۱۹/۷۹ BC	۴۷/۶۳۸ EFGHIJKL
۹۰	۰	شهری	۱۶/۵۲۹ A	۴/۴۵۴۵ FGHIJKLMN	۸۳/۴۵ IJKLMNOPQRST	۳۴/۴۰۵ OPQRSTUVW
		تبریز	۱/۳۶۹ f	۳/۸۷۸۸ KLMNOPQRSTUV	۶۵/۶۵ VWXYZab	۱۳/۶۲۹ defg
		اردستان	۹/۲۸ IJKLMNOP	۲/۸۱۸۲ Yzabcdefgh	۹۱/۹۶ GHIJKLMNO	۴۸/۸۸۸ DEFGHIJK
		سمنان	۱۰/۱۹۴ FGHIJK	۴/۲۴۲۴ HIJKLMNOPQR	۸۸/۹۹ GHIJKLMNOPQ	۳/۸۸۸ GHIJKLMNOP۴
		مشهد	۴/۹۲۹ abcde	۴/۹۰۹ IJKLMNOPQRS	۱۰۰/۵۴ EFGH	۴۱/۴۷۴HIJKLMNOPQRS
	۵۰	شهری	۶/۴۲۵ UVWXYZab	۳/۵۳۰۳ OPQRSTUVWXYZa	۱۱۲/۲ CDE	۳۸/۵ JKLMNOPQRSTU
		تبریز	۱/۲۹۴ f	۵/۶۹۷ BCD	۸۳/۱۳ IJKLMNOPQRSTU	۳۴/۲۳۳ OPQRSTUVW
		اردستان	۷/۸۴ RSTUVWXYZ	۶/۲۴۲۴ AB	۸۶/۹ GHIJKLMNOPQRS	۱۷/۸۱ bcdefg
		سمنان	۱۱/۲۲۱ EFG	۲/۴۵۵ gh	۷۶/۴۶ NOPQRSTUVWXY	۳۰/۹۵ STUVWXYZ
		مشهد	۶/۸۰۵ RSTUVWXYZ	۴/۵۷۵۸ FGHIJKL	۸۱/۷ IJKLMNOPQRSTUV	۳۵/۹۵۷ LMNOPQRSTUV
	۱۰۰	شهری	۶/۵۲۷ TUVWXYZab	۳/۴۲۴۲ PQRSTUVWXYZabc	۸۰/۹۸ JKLMNOPQRSTUVW	۵۰/۶۹۸ DEFGHI
		تبریز	۰/۸۲۵ f	۴/۶۲۱۲ EFGHIJK	۹۳/۵۷ FGHIJKL	۳۴/۸۳۶ MNOPQRSTUVW
		اردستان	۴/۷۶۴ bcde	۴/۳۱۸۲ HIJKLMNOP	۴۴/۲ def	۲۰/۹ Yzabcdef
		سمنان	۶/۳۱ VWXYZabc	۱/۱۶۶۷ h	۹۵/۷۴ FGHIJK	۳۷/۲۹۳ KLMNOPQRSTU
		مشهد	۸/۲۴۹ LMNOPQRSTU	۳/۹۰۹۱ KLMNOPQRSTU	۹۲/۴۷ FGHIJKLMN	۳۹/۸۷۹ IJKLMNOPQRS
	۱۵۰	شهری	۶/۵۲۷ TUVWXYZab	۳/۵۴۵۵ NOPQRSTUVWXYZa	۶۹/۱۴ TUVWXYZab	۲۶/۷۳۳ UVWXYZabc
		تبریز	۱/۲۶۵ f	۲/۹۸۴۸ VWXYZabcdef	۵۹/۹۴ Zabcd	۳۹/۱۴۷ IJKLMNOPQRST
		اردستان	۴/۹۶ abcd	۳/۵۶۰۶ MNOPQRSTUVWXYZa	۸۹/۹۴ GHIJKLMNOP	۴۰/۳۹۷ IJKLMNOPQRS
		سمنان	۶/۸۱۸ RSTUVWXYZ	۲/۵۹۰۹ bcdefg	۸۶/۹۳ GHIJKLMNOPQRS	۳۹/۵۳۴ IJKLMNOPQRST
		مشهد	۶/۶۰۵ STUVWXYZa	۴/۸۹۳۹ DEFGHIJ	۸۵/۳۳ HIJKLMNOPQRST	۳۴،۶۲۱NOPQRSTUVW

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

ادامه جدول ۸-

تیتانیوم	جاسمونیک	ژنوتیپ	پروتئین کل	کارتنوئید	aکلروفیل	bکلروفیل
۰	۰	شهری	۲۶/۶۹۰ PQ	۴/۲۷۳ AB	۱۲/۴۵۷ ABC	۳/۴۶ HI
		تبریز	۱۷/۶۴۶ RST	۰/۲۶۹۵ ghij	۰/۱۵۴ a	۰/۴۳۹۴ Yza
		اردستان	۵۹/۲۶۲ BC	۰/۲۵۲۱ ghij	۱/۵۳ YZ	۴/۳۳۲۲ FG
		سمنان	۴۵/۹۹۹ EF	۱/۱۵ WXYZab	۳/۷۷ RSTUVW	۵/۲۶۰۵ BCDE
		مشهد	۳۹/۲۴۱ GHIJ	۱/۴۹۴ PQRSTU	۳/۷۷۳ RSTUVW	۰/۲۷۵۲ Za
	۵۰	شهری	۳۵/۹۳۸ IJKLM	۴/۹۷۶ AB	۱۳/۶۲۹ A	۳/۱۴۲۱ HIJKL
		تبریز	۱۱/۸۵۳ TUVWXY	۰/۱۱۰۶ hij	۰/۱۷۹ a	۱/۲۶۷۷ PQRSTUV
		اردستان	۱/۹۶۵ de	۰/۲۶۵۱ ghij	۳/۴۵ STUVWX	۶/۱۷۸۶ A
		سمنان	۱۶/۸۸۴ RSTU	۰/۴۹۲۵ defgh	۲/۵۴۳ WXY	۴/۷۸۶ DEF
		مشهد	۴۶/۶۰۹ E	۲/۲۸۷۲ EFGHI	۶/۴۷ FGHIJ	۰/۹۷۰۲ QRSTUVWXYZ
	۱۰۰	شهری	۲۷/۴۰۲ OPQ	۳/۵۰۵۱ CD	۱۰/۸۱۴ D	۲/۳۳۵۱ MNO
		تبریز	۱۵/۲۰۷ STUV	۰/۷۲۲۲ abcde	۰/۵۷۴ Za	۰/۶۳۴۸ TUVWXYZa
		اردستان	۱/۷۹۲ de	۰/۵۲۷۲ defg	۳/۳۱۹ UVWX	۵/۱۲۳۹ CDE
		سمنان	۵۳/۹۲۶ CD	۱/۳۸۷۶ QRSTUVWX	۳/۸۵۲ RSTUVW	۴/۷۴۷۳ EF
		مشهد	۴۸/۷۴۳ DE	۲/۲۳۵ EFGHIJ	۵/۷۳۶ GHIJKLMN	۰/۵۸۹۹ UVWXYZa
	۱۵۰	شهری	۳۰/۴۵۱ MNOP	۳/۷۹۸۳ BC	۱۱/۹۶۲ CD	۲/۴۳۹۴ KLMN
		تبریز	۶/۳۶۵ Yzabcde	۰/۱۰۱ j	۰/۲۵ Za	۱/۳۸۲۷ PQRST
		اردستان	۲/۸۵۹ cde	۲/۳۵۳۵ EFG	۴/۲۴ PQRSTUV	۱/۵۴۹۸ PQR
		سمنان	۷۰/۸۵ A	۱/۹۴۴ HIJKLMNO	۵/۴۰۳ IJKLMNO	۳/۵۲۱۱ HI
		مشهد	۳۵/۹۳۸ IJKLM	۲/۹۹۴ FGHIJK	۵/۸۴ FGHIJKLM	۰/۵۱۵۲ WXYZa
	۰	شهری	۳۳/۱۹۵ JKLMNO	۳/۳۰۱۳ D	۱۲/۶۱ BCD	۳/۳۵۹۷ HI
		تبریز	۱/۷۹۲ de	۰/۵۲۳ ij	۰/۲۰۱ a	۰/۵۴۴۴ WXYZa
		اردستان	۱/۹۵ de	۱/۸۴۸ VWXYZa	۴/۹۹۷ KLMNOPQR	۵/۵۱۹ ABCD
		سمنان	۲/۸۵۹ cde	۱/۵۷۸۵ OPQRST	۵/۷۰۸ GHIJKLMNO	۵/۴۸۱ DCDEF
		مشهد	۴۴/۷۸ EFG	۱/۳۸۲۴ QRSTUVWX	۲/۴۵۵ XY	۳/۷۷۴ GH
	۵۰	شهری	۱۴/۷۴۹ STUVW	۲/۳۲۸۵ EFGH	۶/۳۰۴ FGHIJK	۱/۳۲۴۵ PQRSTU
		تبریز	۸/۹۵۷ WXYZabc	۰/۱۰۹۲ hij	۰/۱۳۸ a	۰/۶۳۰۸ tTUVWXYZa
		اردستان	۳/۵۳۷ bcde	۱/۹۳۴۳ IJKLMNO	۵/۴۳۷ IJKLMNO	۱/۳۷۸۸ PQRST
		سمنان	۱۰/۶۳۴ VWXYZa	۲/۲۰۴ GHIJKLM	۵/۸۷۴ FGHIJKL	۲/۳۷۴۶ MN
		مشهد	۳۱/۸۲۳ LMNOP	۱/۳۰۰۹ STUVWXY	۳/۳۷۹ TUVWX	۰/۶۹۲۱ STUVWXYZa
	۱۰۰	شهری	۱۴/۷۴۹ STUVW	۱/۵۱۹۲ PQRSTU	۴/۴۲۳ OPQRSTU	۰/۹۷۹۱ QRSTUVWXYZ
		تبریز	۳۴/۷۱۹ IJKLMN	۰/۴۳۶۶ efghi	۰/۲۹ Za	۰/۲۹۴۵ Za
		اردستان	۷/۳۵۶ Yzabcde	۱/۳۰۹ STUVWXY	۴/۶۶۷ LMNOPQRST	۰/۹۵۷۵QRSTUVWXYZ
		سمنان	۶/۹۷۵ Yzabcde	۱/۴۰۰۸ QRSTUVW	۶/۶۰۱ FGHI	۵/۹۸۴۱ AB
		مشهد	۳۳/۸۰۴ JKLMN	۱/۳ XYZab	۲/۷۹۴ VWXY	۰/۸۳۹۶ RSTUVWXYZa
	۱۵۰	شهری	۸/۸۰۴ WXYZabc	۲/۱۵۸ FGHIJ	۶/۲۵۴ FGHIJK	۰/۸۷۵۸ QRSTUVWXYZa
		تبریز	۷/۸۹ XYZabcd	۰/۴۴۴۲ efgh	۰/۱۶ a	۰/۵۴۴۲ WXYZa
		اردستان	۴/۶۱۲ abcde	۱/۹۳۳۲ IJKLMNO	۵/۷۰۴ GHIJKLMNO	۱/۳۹۳۳ PQRS
		سمنان	۳/۵۷۲ bcde	۱/۷۶۶۱ KLMNOPQ	۴/۵۵۵ MNOPQRSTU	۳/۲۴۱۷ HIJ
		مشهد	۳۰/۴۵۱ MNOP	۲/۷۳۵ GHIJKL	۶/۸۴۸ FGH	۱/۴۸۹۴ PQR

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

ادامه جدول ۸-

تیامین	جاسمونیک	رقم	پروتئین کل	کارتنوئید	aکلروفیل	bکلروفیل
۶۰	۰	شهری	۳۸/۳۷۷ HIJK	۲/۵۹۲۷ E	۸/۹۰۵ E	۱/۹۷۱۶ NOP
		تبریز	۱۲/۴۶۳ TUVWXY	۰/۶۱۱۵ cdefg	۰/۲۷۸ Za	۰/۱۸۱۵ a
		اردستان	۲۲/۶۷۶ QR	۰/۸۵۷۷ Zabcd	۳/۷۳۱ RSTUVWX	۵/۶۰۴ ABC
		سمنان	۷/۱۲۷ Yzabcde	۱/۴۰۸۹ QRSTUV	۳/۹۸۴ PQRSTUV	۲/۹۵۰۶ IJKLM
		مشهد	۴۷/۲۱۹ E	۱/۹۴۲۶ HIJKLMNO	۵/۶۹۴ GHIJKLMNO	۰/۸۴۸۳ RSTUVWXYZa
	۵۰	شهری	۱۰/۱۷۶ VWXYZa	۱/۷۰۹۳ LMNOPQR	۴/۷۱۵ LMNOPQRS	۰/۸۳ RSTUVWXYZa
		تبریز	۳/۶۲۱ bcde	۰/۳۶۲۲ efghij	۰/۲۸۲ Za	۰/۵۶۷۸ VWXYZa
		اردستان	۳/۶۹۸ bcde	۲/۱۹۶۶ FGHIJ	۶/۹۹ FG	۱/۶۱۱۲ OPQ
		سمنان	۲/۹۳۵ cde	۲/۲۷۷۲ EFGHI	۶/۶۰۳ FGHI	۲/۵۹۶۱ JKLMN
		مشهد	۳۴/۷۱۹ IJKLMN	۲/۴۶۸ EF	۹/۲۴۴ E	۲/۴۱۳۶ LMN
	۱۰۰	شهری	۱۱/۲۴۳ UVWXYZ	۱/۸۴۶۳ JKLMNOP	۵/۱۶۴ JKLMNOPQ	۰/۹۸۹۵ QRSTUVWXYZ
		تبریز	۳/۶۱۸ bcde	۰/۷۰۳۱ abcdef	۰/۳۹ Za	۰/۵۱۲۷ XYZa
		اردستان	۴/۹۹۳ abcde	۰/۹۵۶۲ Yzabc	۳/۴۱۵ STUVWX	۰/۹۰۰۱ QRSTUVWXYZa
		سمنان	۱۹/۳۹۹ RS	۰/۳۴۰۷ efghij	۳/۴۲۷ STUVWX	۶/۱۷۸۶ A
		مشهد	۳۵/۴۸۱ IJKLM	۱/۶۱۲ NOPQRST	۴/۶۶۷ LMNOPQRST	۰/۹۵۷۵ QRSTUVWXYZ
	۱۵۰	شهری	۹/۴۱۴ VWXYZab	۲/۲۸۰۹ EFGHI	۷/۵ F	۱/۳۴۳۱ PQRST
		تبریز	۵/۲۹۸ Zabcde	۰/۱۸ j	۰/۳۸۹ Za	۰/۸۹۰۸ QRSTUVWXYZa
		اردستان	۶/۹۷۵ Yzabcde	۱/۸۳ XYZab	۳/۸۳۶ RSTUVW	۳/۱۹۸۶ HIJ
		سمنان	۱۳/۵۳ STUVWX	۰/۴۵۵۱ efgh	۳/۳۰۳ UVWX	۵/۸۹۸ AB
		مشهد	۳۰/۹۰۸ MNOP	۱/۹۹۳۳ GHIJKLMN	۵/۶۵۵ HIJKLMNO	۰/۸۲۵۲ RSTUVWXYZa
۹۰	۰	شهری	۳۷/۷۶۸ HIJKL	۴/۴۱۰۹ A	۱۳/۳۱ AB	۳/۲۱۹ HIJ
		تبریز	۱۱/۸۵۳ TUVWXY	۰/۳۲۹۵ fghij	۰/۲۸۴ Za	۱/۸۵ QRSTUVWXY
		اردستان	۴۳/۱۰۳ EFGH	۱/۸۶۵ VWXYZa	۳/۹۸۶ PQRSTUV	۵/۴۲۳ CDEF
		سمنان	۶۱/۹۱ B	۱/۵۹ OPQRST	۵/۶۱۸ HIJKLMNO	۴/۵۷۶۳ EF
		مشهد	۴۰/۲۰۷ FGHI	۱/۹۴۴۱ HIJKLMNO	۴/۴۷ NOPQRSTU	۰/۴۵۸۹ XYZa
	۵۰	شهری	۹/۲۶۲ VWXYZab	۱/۹۳۴۲ IJKLMNO	۵/۶۰۸ HIJKLMNO	۰/۸۱۶۷ RSTUVWXYZa
		تبریز	۱/۵۸۷ e	۰/۶۰۷۵ cdefg	۰/۲۸۶ Za	۱/۸۱ QRSTUVWXYZ
		اردستان	۵/۲۹۸ Zabcde	۱/۷۰۸۶ LMNOPQR	۵/۷۸۷ FGHIJKLM	۱/۲۹۷۲ PQRSTUV
		سمنان	۹/۴۱۴ VWXYZab	۱/۲۶۰۴ TUVWXY	۵/۲۷۱ JKLMNOP	۵/۹۵۰۹ AB
		مشهد	۳۲/۸۹ KLMNO	۱/۹۶۰۷ HIJKLMNO	۵/۷۸۹ FGHIJKLM	۱/۱۵۷ QRSTUVWXYZ
	۱۰۰	شهری	۳۸/۷۳ HIJK	۲/۲۷۲۴ EFGHI	۵/۸۳۸ FGHIJKLM	۰/۶۸۸۶ STUVWXYZa
		تبریز	۱/۹۴۵ de	۰/۶۶۵۴ bcdef	۰/۴۰۷ Za	۰/۴۱۷۹ Yza
		اردستان	۵/۱۴۶ Zabcde	۱/۳۵۴۸ RSTUVWX	۳/۸۹۱ QRSTUV	۰/۸۷۳۲ QRSTUVWXYZa
		سمنان	۱/۶۲۵ e	۱/۷۶۵۵ KLMNOPQ	۳/۶۸۱ STUVWX	۲/۳۵ MNO
		مشهد	۳/۴۹۹ JKLMNO	۲/۶۵۲ GHIJKL	۶/۶۹ FGHI	۱/۵۵۸۹ PQR
	۱۵۰	شهری	۲۸/۹۲۶ NOP	۲/۲۷۲۴ EFGHI	۵/۸۳۸ FGHIJKLM	۰/۶۸۸۶ STUVWXYZa
		تبریز	۱/۸۸۹ de	۰/۵۹۷۶ cdefg	۰/۳۵۴ Za	۰/۹۴۱۳ QRSTUVWXYZ
		اردستان	۷/۵۸۵ XYZabcde	۱/۱۸۲۹ UVWXYZ	۴/۴۸ PQRSTUV	۰/۹۱۱۶ QRSTUVWXYZa
		سمنان	۱۱/۲۴۳ UVWXYZ	۱/۱۶۸۵ UVWXYZ	۳/۶۳۵ STUVWX	۳/۱۸۲۸ HIJK
		مشهد	۳۵/۱۷۶ IJKLM	۱/۶۶۷۱ MNOPQRS	۵/۴۰۳ IJKLMNO	۱/۲۰۱۹ QRSTUVWX

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که در غلظت‌های پایین نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۳۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی شده اما در سطوح بالاتر اثرات بازدارنده داشته ولی جاسمونیک اسید بسته به نوع مواد آنتی‌اکسیدانی تأثیر متفاوتی داشته است، آنزیم پلی فنل اکسیداز در غلظت صفر میکرومولار بیشترین میزان فعالیت را داشته (جدول ۵) و همچنین آسکوربات پراکسیداز در غلظت ۵۰ میکرومولار دارای بیشترین میزان می‌باشد (جدول ۳) اما بیشترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز در غلظت ۱۰۰ میکرومولار و آنزیم کاتالاز در غلظت ۱۵۰ میکرومولار بوده است (جدول ۴ و ۲).

در تحقیقاتی مشابه (Alizadeh et al., 2015)، اثر نانو اکسید روی بر مواد آنتی‌اکسیدانی گلرنگ بررسی و به دست آوردند که آنزیم پلی فنل اکسیداز در غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذرات اکسید روی افزایش نشان داده اما در غلظت‌های بالاتر دچار کاهش شده است. در تحقیقی دیگر (Peyvandi et al., 2011) تأثیر نانو ذرات کلات آهن و کلات آهن بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مرزه بررسی و به دست آوردند که کلات آهن و نانو آهن با غلظت بالا موجب کاهش میزان کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین کل شده و این کاهش در تیمار نانو ذرات کلات آهن محسوس‌تر بوده است. در بررسی اثر آهن روی گیاه (*Bacops monnierl*) مشخص‌شده که استفاده از آهن سبب افزایش فعالیت پراکسیداز در ریشه و کاهش فعالیت پراکسیداز در برگ‌ها شده اما آسکوربات پراکسیداز هم در ریشه و هم در برگ در مقایسه با شاهد افزایش نشان داده است (Sinha and Saxena, 2006). در پژوهشی اثر متقابل غلظت نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (۰/۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۰۴ و ۰/۰۵ درصد) روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی عدس بررسی و مشخص کردند که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربیک پراکسیداز به ترتیب در تیمارهای ۰/۰۵، ۰/۰۴ و ۰/۰۳ درصد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به دست آوردند (Soltani et al., 2004). اما در نتایجی متفاوت نیز افزایش میزان کاتالاز در غلظت‌های بالای روی در گیاه ذرت (*Zea mays*) نیز به اثبات رسیده است (Lee et al., 2013). در آزمایشی روی گیاه دارویی *Fogopyrum esculenom* تحت تیمارهای مختلف نانواکسید روی مشاهده‌شده که میزان فعالیت این آنزیم تا غلظت‌های بالای ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است (Pandey et al., 2012).

برخی محققان در بررسی اثر متیل جاسمونات بر ریشه گیاه Ginsenoside، بیان کردند متیل جاسمونات باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز ریشه شده و افزایش سطوح متیل جاسمونات تغییری در میزان آنزیم کاتالاز و آسکوربات نداشته است (Ali et al., 2006) از طرفی وانگ و همکاران (Wong et al., 2006) گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در ذرت می‌شود. در تحقیق حاضر نیز جاسمونیک اسید به‌جز اینکه تأثیری بر میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز نداشته بلکه در سایر آنزیم‌ها باعث افزایش شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که محرک‌های زیستی و غیر زیستی بسته نوع گیاه و حتی نوع مواد آنتی‌اکسیدانی مورد بررسی می‌توانند پاسخ‌های متفاوتی داشته باشند

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به‌جز اینکه باعث افزایش کارتنوئید و آنتوسیانین شده تأثیری بر سایر مواد آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی و صفات فیزیولوژیک نداشته است در تحقیقی Mahmoodzadeh و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند نانوذرات دی اکسید تیتانیوم تأثیر معنی داری بر

میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نداشته است. همچنین نانو کود کلات آهن هیچ تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a، b و کل مرزه نداشته است (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۰). کلات آهن موجب کاهش ولی نانو کود کلات آهن موجب افزایش میزان مجموع کلروفیل های a و b شده است (Peyvandi et al., 2011) نانو ذرات نقره نتوانسته تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a، b و کل سیب‌زمینی از خود نشان دهد (Eckhardt et al., 2004; Ehsanpour and Nejati, 2012). نانو نقره در غلظت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش پروتئین کل سیب‌زمینی شده اما در غلظت‌های بالاتر تأثیری نداشت است (Ehsanpour and Nejati, 2012). نانو کود کلات آهن و کلات آهن بر میزان پروتئین کل گیاه مرزه تأثیر مثبت داشته، اما با افزایش غلظت کلات آهن و نانو کلات آهن موجب کاهش میزان پروتئین شده است و این کاهش در تیمار نانو آهن محسوس‌تر است (Peyvandi et al., 2011). این نتایج با نتایج تحقیق ما مطابقت داشت. اما جاسمونیک اسید تأثیر مثبت داشته و باعث افزایش مواد آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی و صفات فیزیولوژیک شده است.

در تحقیقاتی مشابه؛ اسید جاسمونیک باعث افزایش میزان فنل کل در گیاه دارویی شیرین‌بیان (*Glycyrhiza glabra*) (Shabani and Ehsan, 2009)، ریحان (*Ocimum basilicum L.*) (Kim et al., 2005) شده است. در تحقیق حاضر با آنکه نانو تیتانیوم بر صفات فیزیولوژیک و مواد آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی تأثیر نداشته اما این بررسی از سطح ۳۰ نانوگرم در میکرو لیتر شروع شده لذا ممکن است در غلظت‌های پایین‌تر تأثیر داشته باشد.

اسید جاسمونیک باعث افزایش میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید سیب‌زمینی (Kovac and Ravnikar, 1994) و شاهدانه (Salari, 2013) شده است. در پژوهشی اثر متیل جاسمونات بر روی ترکیب‌های ثانویه ریحان شیرین نشان داده است که افزایش متیل جاسمونات از ۰/۱ به ۰/۵ میلی‌مولار سبب افزایش میزان فنل تام در ریحان شده است (Kim et al., 2005). در تحقیقی تیمارگیاهان توت سیاه با متیل جاسمونات، محتوای فلاونوئید را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Wang et al., 2008). درپژوهشی محتوای فلاونوئید کل در اندام هوایی گیاهان همیشه بهار، در تیمار با متیل جاسمونات ۵۰ میکرومولار، در مقایسه با شاهد، کاهش معنی دارنشان داد، همچنین محتوای آنتوسیانین در ریشه گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات، ۵۰ میکرومولار کاهش داشت ولی در تیمار با متیل جاسمونات ۱۰۰ میکرومولار، در مقایسه با گیاهان شاهد، تغییر معنی داری نداشت ولی در اندام هوایی، در هر دو غلظت از متیل جاسمونات، محتوای آنتوسیانین در مقایسه با گیاهان شاهد، کاهش معنی داری نشان داد (Ghanati et al., 2010).

در پژوهش‌هایی غیرمشابه؛ جاسمونیک اسید باعث کاهش محتوای آنتوسیانین در ریشه و اندام‌های هوایی گل همیشه‌بهار (Ghanati et al., 2010)، کاهش ترکیبات فنلی آویشن دنایی (Ashrafi et al., 2012)، افزایش میزان فلاونوئید در گل همیشه‌بهار (Ghasemi Pirbaloti et al., 2012) و شیرین‌بیان (Shabani and Ehsan, 2009) شده اما تأثیری بر میزان فنل گل همیشه‌بهار نداشته است (Ghasemi Pirbaloti et al., 2012).

نتیجه‌گیری نهایی

طبق نتایج به‌دست‌آمده استفاده از نانو تیتانیوم و جاسمونیک اسید باعث افزایش مواد آنتی‌اکسیدانی و فیزیولوژیک مرزه شده که مؤثرترین سطح هورمونی تیتانیوم سطح ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و جاسمونیک اسید

سطح ۵۰ میکرو مولار بـود. مـؤثرترین مـرزه از نظـر صفات فیزیولوژیکی؛ مرزه شهر ری، از نظـر صـفات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی؛ مرزه اردستان و تبریز و از نظـر تولید مواد آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی (فنل، فلاونوئیـد و آنتوسیانین) مرزه مشهد بود.

References

1. Ali, M.B., Yu, K.W., Hahn, E.J. and Paek, K.Y. 2006. Methyl jasmonate and salicylic acid elicitation induces ginsenosides accumulation, enzymatic and non-enzymatic antioxidant in suspension culture Panax ginseng roots in bioreactors. Plant cell reports 25(6): 613-620.
2. Alizadeh, N., Majd, A., Mahmoudzadeh, H. and Jonubi, P. 2015. The effects of zinc oxide nanoparticles on some biochemical characteristics of safflower(*Carthamus tinctorius* L.). 2th National Conference of medicinal herbs, traditional medicine and organic farming 13-15.
3. Ashrafi, M., ghasemi Pirbalouti, A., Rahimmalek, M. and Hamedi, B. 2012. Effect of foliar application of Jasmonic Acid (JA) on essential oil yield and its compositions of *Thymus daenensis* Celak. Journal of Herbal Drugs 3(2): 75-80.
4. Bari, R. and Jones, J.D. 2009. Role of plant hormones in plant defence responses. Plant molecular biology 69(4): 473-488.
5. Beers, R.F. and Sizer, I.W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. J Biol chem 195(1): 133-140.
6. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical biochemistry 72(1-2): 248-254.
7. Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and Chern, J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of food and drug analysis 10(3).
8. Cunningham, B.W., Orbegoso, C.M., Dmitriev, A.E., Hallab, N.J., Sefter, J.C. and McAfee, P.C. 2002. The effect of titanium particulate on development and maintenance of a posterolateral spinal arthrodesis: an in vivo rabbit model. Spine 27(18): 1971-1981.
9. Eckhardt, U., Grimm, B. and Hörtensteiner, S. 2004. Recent advances in chlorophyll biosynthesis and breakdown in higher plants. Plant molecular biology 56(1): 1-14.
10. Ehsanpour, A.A. and Nejati, Z. 2012. The effect of nanosilver on chlorophyll, gibberellic acid electrophoretic pattern of proteins in vitro culture of plant potato variety Desiree White. Journal of Applied biology 1(1): 13-26. 10.22051/jab. 2014.1123
11. García, A., Delgado, L., Torà, J.A., Casals, E., González, E., Puntes, V., Font, X., Carrera, J. and Sánchez, A. 2012. Effect of cerium dioxide, titanium dioxide, silver, and gold nanoparticles on the activity of microbial communities intended in wastewater treatment. Journal of hazardous materials 19964-72.
12. Ghanati, F., Bakhtiairan, S. and Abdolmaleki, P. 2010. The Effects of methyl jasmonate on secondary metabolites of *Calendula officinalis*. Journal of Science and Biotechnology 122-32.
13. Ghasemi, A. 2009. Medicinal and Aromatic Plants. Ilamic Azad University press of ShahreKord541.
14. Ghasemi Pirbaloti, A., Mousavi Harris, S.A., Tirgir, F. and B, H. 2012. The effect of jasmonic acid and salicylic acid on the phenolic compounds and flavonoids in extract of *Calendula officinalis*. Journal of Herbal medicines 3175-180.
15. Hu, R., Gong, X., Duan, Y., Li, N., Che, Y., Cui, Y., Zhou, M., Liu, C., Wang, H. and Hong, F. 2010. Neurotoxicological effects and the impairment of spatial recognition memory in mice caused by

exposure to TiO 2 nanoparticles. Biomaterials 31(31): 8043-8050.
16. Jin, C.Y., Zhu, B.S., Wang, X.F. and Lu, Q.H. 2008. Cytotoxicity of titanium dioxide nanoparticles in mouse fibroblast cells. Chemical research in toxicology, 21(9): 1871-1877.
17. Kang, S.J., Kim, B.M., Lee, Y.J. and Chung, H.W. 2008. Titanium dioxide nanoparticles trigger p53-mediated damage response in peripheral blood lymphocytes. Environmental and molecular mutagenesis, 49(5): 399-405.
18. Kar, M. and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant physiology, 57(2): 315-319.
19. Kim, H.-J., Chen, F., Wang, X. and Rajapakse, N.C. 2005. Effect of chitosan on the biological properties of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of agricultural and food chemistry, 53(9): 3696-3701.
20. Koo, A.J. and Howe, G.A. 2009. The wound hormone jasmonate. Phytochemistry, 70(13): 1571-1580.
21. Kovac, M. and Ravnikar, M. 1994. The effect of jasmonic acid on the photosynthetic pigments of potato plants grown in vitro. Plant Science, 103(1): 11-17.
22. Lee, S., Kim, S., Kim, S. and Lee, I. 2013. Assessment of phytotoxicity of ZnO NPs on a medicinal plant, *Fagopyrum esculentum*. Environmental Science and Pollution Research, 20(2): 848-854.
23. Li, N., Duan, Y., Hong, M., Zheng, L., Fei, M., Zhao, X., Wang, J., Cui, Y., Liu, H. and Cai, J. 2010. Spleen injury and apoptotic pathway in mice caused by titanium dioxide nanoparticules. Toxicology letters, 195(2): 161-168.
24. Liu, S., Xu, L., Zhang, T., Ren, G. and Yang, Z. 2010. Oxidative stress and apoptosis induced by nanosized titanium dioxide in PC12 cells. Toxicology, 267(1): 172-177.
25. Long, T.C., Tajuba, J., Sama, P., Saleh, N., Swartz, C., Parker, J., Hester, S., Lowry, G.V. and Veronesi, B. 2007. Nanosize titanium dioxide stimulates reactive oxygen species in brain microglia and damages neurons in vitro. Environmental Health Perspectives, 1631-1637.
26. Martin, D., Tholl, D., Gershenzon, J. and Bohlmann, J. 2002. Methyl jasmonate induces traumatic resin ducts, terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid accumulation in developing xylem of Norway spruce stems. Plant physiology, 129(3): 1003-1018.
27. Meda, A., Lamien, C.E., Romito, M., Millogo, J. and Nacoulma, O.G. 2005. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. Food chemistry, 91(3): 571-577.
28. Mohammadi, M. and Kazemi, H. 2002. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistant wheat heads inoculated with Fusarium graminearum and induced resistance. Plant Science, 162(4): 491-498.
29. Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and cell physiology, 22(5): 867-880.
30. Nicoli, M.C., Elizalde, B.E., Pitotti, A. and Lerici, C.R. 1991. Effect of sugars and maillard reaction products on polyphenol oxidase and peroxidase activity in food. Journal of Food Biochemistry, 15(3): 169-184.
31. Novak, J., Bahoo, L., Mitteregger, U. and Franz, C. 2006. Composition of individual essential oil glands of savory (*Satureja hortensis* L., Lamiaceae) from Syria. Flavour and Fragrance Journal, 21(4): 731-734.
32. Ochekpe, N.A., Olorunfemi, P.O. and Ngwuluka, N.C. 2009. Nanotechnology and drug delivery part 1: background and applications. Tropical journal of pharmaceutical research, 8(3): 265-274.
33. Pandey, N., Gupta, B. and Pathak, G. 2012. Antioxidant responses of pea genotypes to zinc deficiency. Russian Journal of Plant Physiology, 59(2): 198-205.
34. Parivar, K., Badiei, A. and Zolfaghari Barogh, S. 2014. Study of nano-titanium

dioxide effects on the fore limb bud development of NMRI strain mouse embryo in vitro. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 4(13): 43-49.

35. Peyvandi, M., Mirza, M. and Kamali Jamakani, Z. 2011. The Effect of Nano Fe Chelate and Fe Chelate on the Growth and Activity of some Antioxidant. New Cellularand Molecular Biotechnology Journal 2(5): 25-32.
36. Rahman, Q., Lohani, M., Dopp, E., Pemsel, H., Jonas, L., Weiss, D.G. and Schiffmann, D. 2002. Evidence that ultrafine titanium dioxide induces micronuclei and apoptosis in Syrian hamster embryo fibroblasts. Environmental Health Perspectives, 110(8): 797.
37. Rubio, V., Bustos, R., Irigoyen, M.L., Cardona-López, X., Rojas-Triana, M. and Paz-Ares, J. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. Plant molecular biology, 69(4): 361-373.
38. Salari, F.A.M., Hakimeh 2013. The effect of jasmonic acid on the terpenoid compounds in *Cannabis sativa*. Journal of plant process and function, 1(2): 51-60.
39. Shabani, L. and Ehsan, P.A.A. 2009. Induction of antioxidant enzymes, phenolics and flavonoids in vitro culture of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) using methyl jasmonate and salicylic acid. Iranian Journal of Biology, 22(4): 691-703.
40. Shahsavari, A. and Maaboudi, S. 2012. The study of observed species of *Anchusa* L. genus (Boraginaceae) in ruderal and segetal environments of Hamedan city (west of Iran). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 27(4): 674-680.
41. Sinha, S. and Saxena, R. 2006. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants and bacoside-A content in medicinal plant Bacopa monnieri L. Chemosphere 62(8): 1340-1350.
42. Soltani, M., Moaafi, P. and Nouri, H. 2004. The effect of foliar application of titanium dioxide nanoparticles on yield and activities of antioxidant enzymes in lentil (*Lens culiaris* Medik.). Iranian Journal of preceding studies of plant physiological, 9(1): 78-88.
43. Wang, S.Y., Bowman, L. and Ding, M. 2008. Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (Rubus sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells. Food chemistry, 107(3): 1261-1269.
44. Wong, C.-C., Li, H.-B., Cheng, K.-W. and Chen, F. 2006. A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. Food chemistry, 97(4): 705-711.

Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 5th Year, Volume Four, Winter 2018

Effects of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on process of changes of phytochemical and antioxidant in genotypes of *Satureja hortensis* L.

Davari A.[1]. Solouki, M.[2], Fazeli-Nasab, B.[3]

[1]M.Sc. of Plant Breeding, Graduated from University of Zabol, Zabol, Iran
[2]Associate Professor, Dept. of Breeding and Biotechnology, University of Zabol, Zabol, Iran
[3]Lecturer, Research Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Agricultural Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran

Received Time: 2017/2/16 Accepted Time: 2017/7/18

Abstract

In this research to evaluate the effect of sprying of titanium dioxide nanoparticles (0, 30, 60 and 90 mg/l) and jasmonic acid (0, 50, 100 and 150 mM) on enzymatic and non-enzymatic antioxidants As well as physiological traits 5 genotype of *Satureja hortensis* L. factorial experiment in a completely randomized design with three replications. Treatments were conducted at four leaf stage on the aerial parts of the plants and then were harvested 48 hours after spraying. At first were extracted from shoots and then all traits; enzymatic and non-enzymatic antioxidants and physiological traits were measured by using a spectrophotometer. Analysis of variance showed that the interaction of spraying different concentrations of titanium dioxide nanoparticles and jasmonic acid, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, ascorbate peroxidase, total protein, flavonoids, anthocyanins and total phenolics were significant at the 1% level. The highest catalase (0.0536 mg per gram of fresh weight) at doses of 30 mg per liter in Tabriz plant genotype nanoparticles of titanium dioxide and 150 mMjasmonic acid per liter;Most of ascorbate peroxidase (0.0514 mg per gram of fresh weight) in plant genotypes in concentrations of 60 mg per liter Ardestān nanoparticles of titanium dioxide and 50 mMjasmonic acid;Most peroxidase activity (0.000494 mg per gram of fresh weight) at a concentration of 60 mg per liter in genotype Savory Ardestān nanoparticles of titanium dioxide and 150 mMjasmonic acid; The highest polyphenol oxidase (0.0628 mg per gram of fresh weight) in Tabriz genotypes in treatments of 30 mg of nanoparticles of titanium dioxide and zero (control) M jasmonic acid was obtained.Savory population most effective physiological traits, Savory Rey, the antioxidant enzyme, Savory Ardestan and Tabriz and the non-enzymatic antioxidants (anthocyanins, phenols and flavonoids) Savory Mashhad. The results of this study showed that nano-titanium and jasmonic caused time and non-enzymatic antioxidant and physiological Savory is the most effective hormone levels nanoparticles of titanium, 30 ppm and jasmonic acid was 50 micro molar.

***Keywords*:** Antioxidants, Jasmonic acid, *Satureja hortensis* L., Spraying, Titanium dioxide nanoparticles

*Corresponding author: Bfazeli@uoz.ac.ir