

## بررسی اثر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسید جاسمونیک بر روند تغییرات فیتوشیمیایی و آنتی اکسیدانی عصاره ژنوتیپ‌های گیاه دارویی (*Satureja hortensis* L.)

آذر داوری<sup>۱</sup>، محمود سلوکی<sup>۲</sup>، بهمن فاضلی نسب<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار گروه اصلاح و بیوتکنولوژی دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۳</sup>مربی پژوهشی، گروه پژوهشی زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی،

دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۷

### چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی گرم بر لیتر) و جاسمونیک اسید (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرو مولار) بر روی مواد آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی و همچنین صفات فیزیولوژیکی ۵ ژنوتیپ مرزه (*Saturejahortensis* L.)، آزمایشی به صورت 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 غیر آنزیمی و صفات فیزیولوژیک اندازه گیری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل محلول پاشی غلظت‌های مختلف نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید بر کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، پروتئین کل، فلاونوئید، آنتوسیانین و فنل کل در سطح احتمال ۱٪ تأثیر معنی دار داشت. بیشترین میزان آنزیم کاتالاز (۰/۰۵۳۶ میلی گرم در گرم وزن تر) در ژنوتیپ مرزه تبریز در غلظت‌های ۳۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۱۵۰ میکرو مولار در لیتر جاسمونیک اسید؛ بیشترین میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۰/۰۵۱۴ میلی گرم در گرم وزن تر) در ژنوتیپ مرزه اردستان در غلظت‌های ۶۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۵۰ میکرو مولار جاسمونیک اسید؛ بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۰۰۰۴۹۴ میلی گرم در گرم وزن تر) در ژنوتیپ مرزه اردستان در غلظت‌های ۶۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۱۵۰ میکرو مولار جاسمونیک اسید؛ بیشترین میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز (۰/۰۶۲۸ میلی گرم در گرم وزن تر) در ژنوتیپ مرزه تبریز در تیمارهای ۳۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و صفر (شاهد) میکرو مولار جاسمونیک اسید به دست آمد. مؤثرترین جمعیت مرزه از نظر صفات فیزیولوژیکی، مرزه شهر ری، از نظر آنتی اکسیدانی آنزیمی مرزه اردستان و تبریز و از نظر آنتی اکسیدان‌های 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 آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی و فیزیولوژیک مرزه شده که مؤثرترین سطح هورمونی نانو ذرات تیتانیوم سطح، ۳۰ میلی گرم در لیتر و جاسمونیک اسید، ۵۰ میکرو مولار بود.

واژه‌های کلیدی: آنتی اکسیدان، جاسمونیک اسید، مرزه، محلول پاشی، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

\*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 مورد استفاده 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 به‌طور کلی 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 فناوری در مقیاس نانومتری یا یک میلیارد 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، فیروز 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

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 (شهری، 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، فلاونوئیدکل 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  $25 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد در روز و  $18 \pm 2$  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 مشخص شده انجام گردید. تیمارهای شاهد نیز به همین نسبت آب توسط اسپری بر روی اندام‌های

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. هنگامی که 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 جاسمونات‌ها در گیاهان بسته به گونه گیاهی، مرحله نمو، 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.

همکاران (Nicoli et al., 1991) همراه با تغییراتی انجام شد.

اندازه گیری میزان فنل کل و فلاونوئید: ۰/۱ گرم اندام هوایی در ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد سائیده و به مدت ۷۲-۲۴ ساعت در تاریکی به منظور سنجش ترکیبات فنلی کل و فلاونوئید کل نگه داری شدند. سپس پس از سانتیفریوژ به یک میلی لیتر محلول رویی، یک میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد اضافه گردید و با آب مقطر، حجم محلول به ۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس ۰/۵ میلی لیتر معرف فولین ۵۰ درصد و یک میلی لیتر کربنات سدیم ۵ درصد به آن اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت یک ساعت در تاریکی نگهداری شد و سپس جذب هر نمونه در طول موج ۷۲۵ نانومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید (شکل ۱ بخش A)، غلظت ترکیبات فنلی کل برحسب میلی گرم در گرم وزن تر محاسبه گردید. رسم منحنی استاندارد فنل کل در غلظت های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی گرم در لیتر صورت گرفت (Meda et al., 2005).

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

هوایی اسپری گردید و ۴۸ ساعت بعد برداشت قسمت های اندام هوایی گیاهان صورت گرفت.

روش اندازه گیری آنتی اکسیدان ها: برای این روش ابتدا بافت سبز را در مرحله ۳ تا ۴ برگگی گیاه جدا کرده و در آزمایش زیر به کار بردیم.

- استخراج عصاره آنزیمی و اندازه گیری آنزیمها  
محلول های مورد نیاز برای بافر ice-cold

محلول پتاسیم فسفات از دو نمک  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  و  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  تهیه شد. محلول EDTA ۰/۰۲ مولار در حجم ۵۰ سی سی ساخته شد. پس از ساخت این محلول ها با توجه به تعداد نمونه های گیاهی بافر ice-cold با غلظت های ذکر شده در بالا ساخته شد. لازم به ذکر است که برای هر نمونه گیاهی ۴ سی سی بافر استفاده شد.

**سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT):** تغییرات جذب به دست آمده در زمان یک دقیقه، به ضریب خاموشی مولی این واکنش که برابر  $36 \text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$  است تقسیم شد و فعالیت آنزیمی بر حسب واحد در گرم وزن تر بیان شد (Beers and Sizer, 1952).

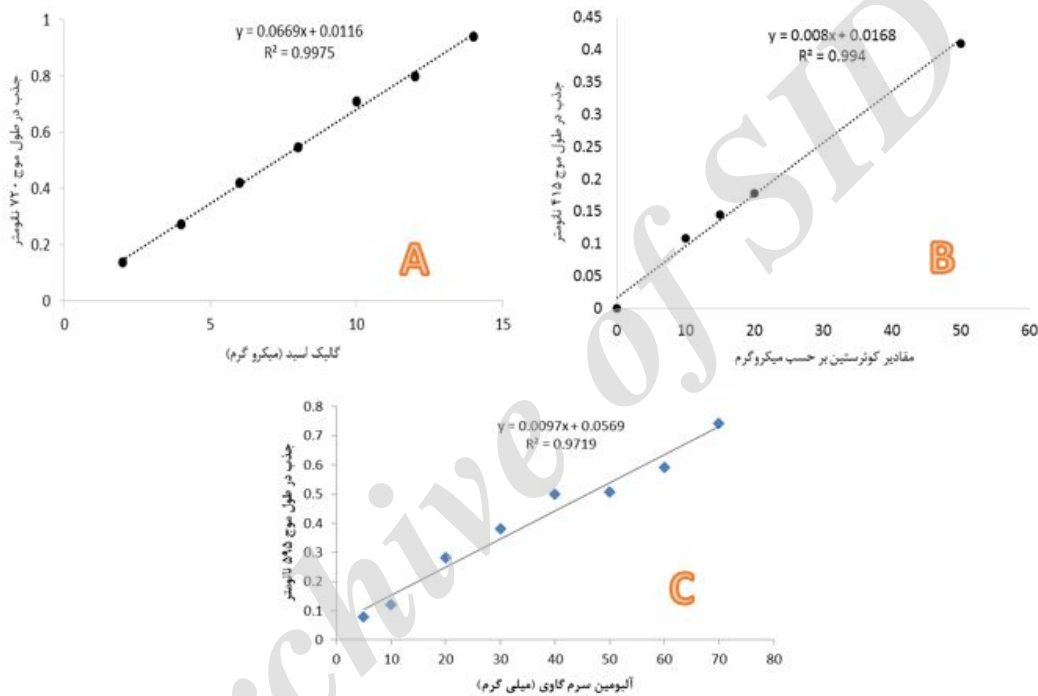
**سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX):** تغییرات جذب به دست آمده در زمان یک دقیقه، به ضریب خاموشی مولی این واکنش که برابر  $2/8 \text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$  است تقسیم شد و فعالیت آنزیمی بر حسب واحد در گرم وزن تر بیان شد (Nakano and Asada, 1981).

**سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (PX):** ارزیابی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش محمدی و کاظمی (Mohammadi and Kazemi, 2002) انجام شد. فعالیت آنزیم به صورت تغییرات جذب نور در دقیقه در میلی گرم پروتئین محاسبه گردید.

**سنجش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO):** سنجش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بر اساس روش کار و میشر (Kar and Mishra, 1976) و نیکولی و

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 طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلومین گاوی (شکل ۱ بخش C) محاسبه و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه گردید.

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 سانتیفریژ یخچال دار در ۱۴۰۰۰ g و دمای ۴ درجه



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

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).

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

### نتایج

#### آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی

آنزیم کاتالاز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه مرزه

| پراکسیداز                  | میانگین مربعات  |                        |                         | درجه آزادی | منابع تغییرات                |
|----------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|------------|------------------------------|
|                            | پلی فنل اکسیداز | آسکوربات پراکسیداز     | کاتالاز                 |            |                              |
| ۰/۰۰۰۰۰۰۳۹۴۳**             | ۰/۰۲۳۹۰**       | ۰/۰۰۰۱۸۱۰**            | ۰/۰۰۲۹۴۱**              | ۴          | رقم                          |
| ۰/۰۰۰۰۰۰۲۳۴۹ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۰۰۶**       | ۰۰۰۰۷۳۷۸ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۰۳۰۰۰**             | ۳          | تیتانیوم                     |
| ۰/۰۰۰۰۰۰۸۳۲۰*              | ۰/۰۰۰۰۶**       | ۰/۰۰۰۱۰۵۴*             | ۰/۰۰۰۰۱۴۰ <sup>ns</sup> | ۳          | جاسمونیک اسید                |
| ۰/۰۰۰۰۰۲۹۴۳**              | ۰/۰۰۰۰۸**       | ۰/۰۰۰۹۵۶۹**            | ۰/۰۰۰۳۳۴۵**             | ۱۲         | رقم* تیتانیوم                |
| ۰/۰۰۰۰۰۲۰۴۶**              | ۰/۰۰۰۰۷**       | ۰/۰۰۰۰۸۲۹۱**           | ۰/۰۰۰۸۷۸۸ <sup>ns</sup> | ۱۲         | رقم* جاسمونیک اسید           |
| ۰/۰۰۰۰۰۱۳۸۰**              | ۰/۰۰۰۰۶**       | ۰/۰۰۰۱۰۳۹**            | ۰/۰۰۰۱۴۳۱**             | ۹          | تیتانیوم* جاسمونیک اسید      |
| ۰/۰۰۰۰۰۲۴۸۸**              | ۰/۰۰۰۰۶**       | ۰/۰۰۰۱۰۸۵**            | ۰/۰۰۰۳۵۵۵**             | ۳۶         | رقم* تیتانیوم* جاسمونیک اسید |
| ۰/۰۰۰۰۰۰۳۰۳۴               | ۰/۰۰۰۰۱         | ۰/۳۳۱                  | ۰/۰۰۰۰۵۴۸۸              | ۱۶۰        | E                            |
|                            |                 |                        |                         | ۲۳۹        | Total                        |
| ۱۱/۱۴                      | ۱۳/۱۲           | ۱۸/۶۲                  | ۱۵/۷۸                   |            | %CV                          |

ns، \*\*،\* به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

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

| ژنوتیپ   | جاسمونیک    |             |             |             |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|          | ۱۵۰         | ۱۰۰         | ۵۰          | ۰           |
| تیتانیوم | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۲۸۶CDE   | ۰/۰۰۳۶LM    |
| هورتنسیه | ۰/۰۰۷۱JKLM  | ۰/۰۰۵۴KLM   | ۰/۰۰۵۴KLM   | ۰/۰۱۰۷IJKLM |
| س        | ۰/۰۰۷۱JKLM  | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۷۱JKLM  | ۰/۰۴۲۹B     |
| شهری     | ۰/۰۲۳۲EFG   | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    |
| هورتنسیه | ۰/۰۳۵۷BC    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۳۵۷BC    |
| س تبریز  | ۰/۰۵۳۶A     | ۰/۰۱۹۶EFGHI | ۰/۰۱۲۵HIJKL | ۰/۰۲۵۰DEF   |
| اردستان  | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    |
| هورتنسیه | ۰/۰۱۶۱FGHIJ | ۰/۰۱۴۳GHIJK | ۰/۰۱۶۱FGHIJ | ۰/۰۰۳۶LM    |
| س سمنان  | ۰/۰۲۳۲EFG   | ۰/۰۱۴۳GHIJK | ۰/۰۴۲۹B     | ۰/۰۱۴۳GHIJK |
| هورتنسیه | ۰/۰۰۷۱JKLM  | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    |
| س مشهد   | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۲۱۴EFGH  | ۰/۰۰۸۹JKLM  | ۰/۰۰۳۶LM    |
|          | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۰۳۶LM    | ۰/۰۱۴۳GHIJK |

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۰/۰۵۱۴ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در مرزه اردستان در اثر تیمارهای ۶۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۵۰ میکرومولار جاسمونیک اسید حاصل گردید (جدول ۴).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، جاسمونیک اسید و اثر متقابل دوگانه و سه گانه این تیمارها بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی دار ( $P < 0.01$ ) بود (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشترین

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

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

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز (۰/۰۰۰۴۹۴ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در مرزه اردستان حاصل از اثر متقابل ۶۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۱۵۰ میکرومولار در لیتر جاسمونیک اسید بدست آمد (جدول ۵).

آنزیم پراکسیداز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار جاسمونیک اسید، ژنوتیپ، اثرات متقابل دوگانه و سه گانه به جز اثر ساده تیتانیوم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی دار ( $P < 0.01$ ) بود (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم \*تیتانیوم\* جاسمونیک اسید بر اساس آنزیم پراکسیداز (میلی گرم در گرم ماده تر)

| جاسمونیک               |                        |                         |                        | تیتانیوم | ژنوتیپ           |
|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|----------|------------------|
| ۱۵۰                    | ۱۰۰                    | ۵۰                      | ۰                      |          |                  |
| ۰/۰۰۰۲۳۵CD             | ۰/۰۰۰۳۴۹A              | ۰/۰۰۰۱۶۵EFG             | ۰/۰۰۰۱۱۴FGHIJKLMNO     | ۰        | هورتسیمی شهرری   |
| ۰/۰۰۰۱۱۲FGHIJKLMNO     | ۰/۰۰۰۱۵۵EFGHI          | ۰/۰۰۰۰۳۹۲Y              | ۰/۰۰۰۰۳۹۲RSTUVWXY      | ۳۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۳۹۲Y             | ۰/۰۰۰۰۱۹۶STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۶۰۸NOPQRSTUVWXYZ  | ۰/۰۰۰۱۶۱EFGH           | ۶۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۲۹۴STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۱۳۷VWXY          | ۰/۰۰۰۰۰۵۸۸Y             | ۰/۰۰۰۰۲۶۳BC            | ۹۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۴۳۱RSTUVWXY      | ۰/۰۰۰۰۴۳۱RSTUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY       | ۰        | هورتسیمی تبریز   |
| ۰/۰۰۰۰۷۴۵LMNOPQRST     | ۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۳۳۳STUVWXY        | ۰/۰۰۰۰۶۲۷NOPQRSTUVWXYZ | ۳۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۳۷۳STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۸۴۳JKLMNOPQRS    | ۰/۰۰۰۰۴۹۰PQRSTUVWXYZ    | ۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXYZ   | ۶۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۵۴۹OPQRSTUVWXYZ  | ۰/۰۰۰۰۴۱۲RSTUVWXY      | ۰/۰۰۰۰۱۷۱EF             | ۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXYZ   | ۹۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXYZ   | ۰/۰۰۰۰۱۵۷EFGHI         | ۰/۰۰۰۰۰۳۹۲Y             | ۰/۰۰۰۰۱۳۳FGHIJKL       | ۰        | هورتسیمی اردستان |
| ۰/۰۰۰۰۱۲۰FGHIJKLMN     | ۰/۰۰۰۰۱۱۲FGHIJKLMNO    | ۰/۰۰۰۰۰۹۸۰WXY           | ۰/۰۰۰۰۱۴۱EFGHIJ        | ۳۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۳۱۶AB            | ۰/۰۰۰۰۱۹۸ADE           | ۰/۰۰۰۰۳۷۳STUVWXY        | ۰/۰۰۰۰۶۶۷NOPQRSTUVWXYZ | ۶۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۶۶۷NOPQRSTUVWXYZ | ۰/۰۰۰۰۱۳۳FGHIJKL       | ۰/۰۰۰۰۱۶۳EFGH           | ۰/۰۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY      | ۹۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۶۲۷NOPQRSTUVWXYZ | ۰/۰۰۰۰۱۲۹FGHIJKLM       | ۰/۰۰۰۰۵۱۰PQRSTUVWXYZ   | ۰        | هورتسیمی سمنان   |
| ۰/۰۰۰۰۹۸۰IJKLMNOPQR    | ۰/۰۰۰۰۷۶۵KLMNOPQRST    | ۰/۰۰۰۰۴۵۱QRSTUVWXYZ     | ۰/۰۰۰۰۷۸۴KLMNOPQRST    | ۳۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۳۳۳STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۷۲۵MNOPQRSTU     | ۰/۰۰۰۰۱۰۴HIJKLMNO       | ۰/۰۰۰۰۰۷۰۶MNOPQRSTU    | ۶۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۶۲۷NOPQRSTUVWXYZ | ۰/۰۰۰۰۲۸۰BC            | ۰/۰۰۰۰۱۰۶FGHIJKLMNO     | ۰/۰۰۰۰۰۳۵۳STUVWXY      | ۹۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۷۸۴KLMNOPQRST    | ۰/۰۰۰۰۳۱۲STUVWXY       | ۰/۰۰۰۰۱۱۴FGHIJKLMNO     | ۰/۰۰۰۰۱۵۷TUVWXY        | ۰        | هورتسیمی مشهد    |
| ۰/۰۰۰۰۴۳۱RSTUVWXY      | ۰/۰۰۰۰۵۸۸OPQRSTUVWXYZ  | ۰/۰۰۰۰۴۹۰PQRSTUVWXYZ    | ۰/۰۰۰۰۵۴۹OPQRSTUVWXYZ  | ۳۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۱۳۷VWXY          | ۰/۰۰۰۰۸۴۳JKLMNOPQRS    | ۰/۰۰۰۰۳۱۲STUVWXY        | ۰/۰۰۰۰۳۱۱CD            | ۶۰       |                  |
| ۰/۰۰۰۰۷۸۴XY            | ۰/۰۰۰۰۱۳۵FGHIJK        | ۰/۰۰۰۰۰۶۸۶NOPQRSTUVWXYZ | ۰/۰۰۰۰۱۳۳FGHIJKL       | ۹۰       |                  |

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

دی اکسید تیتانیوم بر صفت آنتوسیانین معنی دار ( $P < 0/01$ ) بود (جدول ۸). آزمون تعقیبی LSD نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین ( $0/6667$  میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در ژنوتیپ مشهد و غلظت  $30$  میلی گرم بر لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و صفر میکرومولار (شاهد) جاسمونیک اسید با میزان به دست آمد (جدول ۹).

**فلاونوئید و فنل:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده سطوح مختلف نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، ژنوتیپ و اثرات متقابل دوگانه و سه گانه این تیمارها به جز اثر ساده جاسمونیک اسید بر صفت فنل و فلاونوئید معنی دار ( $P < 0/01$ ) بود (جدول ۸). ضمناً نتایج مقایسه میانگین نشان داده که بیشترین میزان فلاونوئید ( $144/29$  میلی گرم برگ گرم وزن تر) در ژنوتیپ مرزه مشهد در شاهد حاصل

**آنزیم پلی فنل اکسیداز:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دادها که اثر ساده ژنوتیپ، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، جاسمونیک اسید و اثر متقابل دوگانه و سه گانه بر میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز معنی دار ( $P < 0/01$ ) بود (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز ( $0/628$  میلیگرم در گرم وزن تر برگ) حاصل از اثر متقابل  $30$  میلی گرم در لیتر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید صفر (شاهد) به دست آمد (جدول ۶).

#### مواد آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی

**آنتوسیانین:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده ژنوتیپ، جاسمونیک اسید و اثرات متقابل دوگانه و سه گانه به جز اثر ساده



گردید (جدول ۹)؛ اما بیشترین میزان فنل (۸۱/۲۱۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ مرزیه شهری ری (۵۰ میکرو مولار) به دست آمد (جدول ۹).

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

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

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

ذرات دی اکسید، جاسمونیک اسید، ژنوتیپ، اثرات متقابل دوگانه و سه گانه بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید معنی دار ( $P < 0.01$ ) بود (جدول ۷ و ۸). نتایج آزمون تعقیبی LSD نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a (۱۳/۶۲۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ شهر ری در غلظت های ۵۰ میکرومولار جاسمونیک اسید و صفر (شاهد) میلی گرم در لیتر نانو تیتانیوم؛ بیشترین میزان کلروفیل a (۶/۱۷۸۶ میلی گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل b (۶/۱۱۴۷ میلی گرم در گرم وزن تر) به ترتیب حاصل تیمار نانو تیتانیوم صفر (شاهد) و ۵۰ میکرو مولار جاسمونیک اسید در ژنوتیپ مرزیه اردستان و نانو

پروتئین کل: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات ساده نانو دی اکسید تیتانیوم، ژنوتیپ، جاسمونیک اسید و اثرات دوگانه و سه گانه بر پروتئین کل معنی دار ( $P < 0.01$ ) بودند (جدول ۸). آزمون تعقیبی LSD نیز نشان داد که بیشترین میزان پروتئین کل (۷۰/۰۸۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ مرزیه سمنان در غلظت های ۱۵۰ میلی گرم در لیتر جاسمونیک اسید و صفر میلی گرم در لیتر تیتانیوم به دست آمد.

#### صفات فیزیولوژیک

کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده نانو

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

| میانگین مربعات |            |           |           | درجه آزادی | منابع تغییرات                |
|----------------|------------|-----------|-----------|------------|------------------------------|
| کارتونوئید     | کلروفیل کل | کلروفیل b | کلروفیل a |            |                              |
| ۳۶/۳۲۶۳**      | ۵۹۶/۴۴۷**  | ۹۹/۴۵۷۲** | ۴۰۳/۰۲۵** | ۴          | رقم                          |
| ۰/۸۷۵۷**       | ۲۱/۴۷۷**   | ۶/۸۱۹۹**  | ۴/۵۲۵**   | ۳          | تیتانیوم                     |
| ۰/۵۰۶۰**       | ۳۸/۵۳۹**   | ۱۵/۱۵۴۰** | ۹/۷۳۹**   | ۳          | جاسمونیک اسید                |
| ۲/۳۴۶۱**       | ۳۱/۷۹۰**   | ۳/۸۷۷۴**  | ۲۶/۳۷۲**  | ۱۲         | رقم* تیتانیوم                |
| ۱/۵۰۱۳**       | ۲۷/۹۹۷**   | ۶/۲۲۵۷**  | ۱۸/۱۰۹**  | ۱۲         | رقم* جاسمونیک اسید           |
| ۱/۲۷۹۸**       | ۱۵/۰۱۲**   | ۶/۰۶۳۸**  | ۶/۵۵۶**   | ۹          | تیتانیوم* جاسمونیک اسید      |
| ۰/۶۰۰۷**       | ۸/۸۹۴**    | ۳/۴۰۴۸**  | ۴/۳۲۳**   | ۳۶         | رقم* تیتانیوم* جاسمونیک اسید |
| ۰/۰۵۸۵         | ۱/۲۸۷      | ۰/۲۱۷۹    | ۰/۶۶۱     | ۱۶۰        | E                            |
|                |            |           |           | ۲۳۹        | Total                        |
| ۱۲/۱۱          | ۱۳/۸۶      | ۲۱/۶۳     | ۱۷/۷۴     |            | %CV                          |

ns, \*\*\*, \* به ترتیب 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

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

ns, \*\*\*, \* به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

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

| ژنوتیپ            | ژنوتیپ                 | ژنوتیپ               | ژنوتیپ               | ژنوتیپ  | ژنوتیپ |
|-------------------|------------------------|----------------------|----------------------|---------|--------|
| کروموسوم کل       | آنتوسیانین             | فلاونوئید            | فنل                  | ژنوتیپ  | ژنوتیپ |
| ۱۵/۹۱۷ AB         | ۴/۲۱۲۱ HIJKLMNQPQR     | ۳۷/۳۸ ef             | ۳۲/۲۵ PQRSTUUVWX     | شهری    |        |
| ۰/۵۹۳ f           | ۳/۸۷۸۸ KLMNOPQRSTUUV   | ۶۵/۵۴ VWXYZab        | ۸/۱۱۶ fg             | تبریز   |        |
| ۵/۸۶۲ WXYZabcd    | ۳/۵۱۵۲ OPQRSTUVWXYZa   | ۹۵/۲۴ FGHJK          | ۳۶/۹۹۱ KLMNOPQRSTU   | اردستان | ۰      |
| ۹/۳ IJKLMN        | ۳/۶۰۶۱ MNOPQRSTUVWXYZ  | ۷۶/۱۹ OPQRSTUVWXYZ   | ۳۰/۶۱۲ RSTUUVWXYZ    | سمنان   |        |
| ۴/۴۹ de           | ۳/۴۲۴۲ PQRSTUUVWXYZabc | ۱۴۴/۲۹ A             | ۶۰/۲۶۷ BCD           | مشهد    |        |
| ۱۶/۷۷۲ A          | ۶/۳۳۳۳ AB              | ۸۱/۹۶ IJKLMNQPQRSTU  | ۸۱/۲۱۶ A             | شهری    |        |
| ۱/۴۴۷ f           | ۴/۴۵۴۵ FGHJKLM         | ۸۶/۶۱ GHIJKLMNQPQR   | ۱۸/۱۹۸ abcdefg       | تبریز   |        |
| ۹/۶۲۹ GHIJKL      | ۴/۳۰۳۰ JKLMNQPQR       | ۸۱/۷ JKLMNQPQRSTUUV  | ۴۱/۲۱۶ HIJKLMNQPQR   | اردستان | ۵۰     |
| ۷/۳۲۹ PQRSTUUVWXY | ۲/۴۵۴۵ efg             | ۱۲۴/۱۷ BC            | ۶۶/۶۴۷ BC            | سمنان   |        |
| ۷/۴۴ OPQRSTUUV    | ۴/۸۴۸۵ DEFGHIJ         | ۱۱۲/۳۲ CDE           | ۵۶/۳۸۸ CDEF          | مشهد    |        |
| ۱۳/۱۴۹ CD         | ۳/۸۴۸۵ KLMNOPQRSTUUV   | ۵۴/۷ Zabcd           | ۱۸/۵۴۳ Zabcde        | شهری    |        |
| ۱/۲۰۹ f           | ۴/۶۰۶۱ EFGHIJK         | ۸۳/۲۱ IJKLMNQPQRST   | ۴۶/۶۴۷ EFGHIJKLMN    | تبریز   |        |
| ۸/۴۴۳ KLMNOPQR    | ۶/۱۲۱۲ ABC             | ۹۲/۸ FGHJKLM         | ۳۳/۱۱۲ OPQRSTUUVWX   | اردستان | ۱۰۰    |
| ۸/۵۹۶ KLMNOPQR    | ۲/۵۷۵۸ bcdefg          | ۷۶/۴۹ NOPQRSTUUVWXY  | ۲۴/۸۳۶ VWXYZabcd     | سمنان   |        |
| ۶/۳۲۶ VWXYZab     | ۳/۱۸۱۸ TUVWXYZabcde    | ۵۳/۸۷ bed            | ۳۳/۲۸۴ OPQRSTUUVW    | مشهد    |        |
| ۱۴/۴۰۲ BC         | ۳/۲۱۲۱ STUUVWXYZabcde  | ۳۷/۹۸ f              | ۵۵/۶۹۸ CDEFG         | شهری    |        |
| ۱/۶۳۲ f           | ۳/۶۹۷ LMNOPQRSTUUVWXY  | ۸۹/۵۸ GHIJKLMNQP     | ۳۰/۴۴ RSTUUVWXYZ     | تبریز   |        |
| ۵/۵۷۳ Yzabcd      | ۵ DEFGH                | ۷۶/۶۷ MNOPQRSTUUVWXY | ۱۷/۳۳۶ bcdefg        | اردستان | ۱۵۰    |
| ۸/۹۲۴ JKLMNOPQ    | ۲/۵۷۵۸ bcdefg          | ۷۷/۵ LMNOPQRSTUUVWX  | ۳۳/۸۸۸ OPQRSTUUVW    | سمنان   |        |
| ۶/۳۵۵ VWXYZab     | ۲/۲۱۲۱ fg              | ۷۳/۹۳ PQRSTUUVWXYZa  | ۳۵/۸۷۱ LMNOPQRSTUUVW | مشهد    |        |
| ۱۵/۴۲۱ AB         | ۳/۸۱۸۲ KLMNOPQRSTUUVW  | ۷۶/۶۱ MNOPQRSTUUVWXY | ۴۰/۶۹۸ HIJKLMNQPQR   | شهری    |        |
| ۰/۷۴۶ f           | ۲/۷۲۷۳ Zabcdefg        | ۶۴/۵ XYZabc          | ۲۰/۹۵۷ XYZabcd       | تبریز   |        |
| ۱۰/۵۱۶ FGHJ       | ۲/۵۱۵۲ defg            | ۱۰۲/۴ DEFG           | ۴۰/۹۵ IJKLMNQPQR     | اردستان | ۰      |
| ۱۰/۷۵۶ EFGHI      | ۴/۹۶۹۷ DEFGHI          | ۱۲۴/۱۷ BC            | ۴۱/۱۲۹ HIJKLMNQPQR   | سمنان   |        |
| ۶/۲۲۹ VWXYZab     | ۶/۶۶۶۷ A               | ۸۸/۵۱ GHIJKLMNQPQR   | ۳۵/۹۵ MNOPQRSTUUVW   | مشهد    |        |
| ۷/۶۲۹ NOPQRSTUUVW | ۳/۵۳۰۳ OPQRSTUUVWXYZa  | ۹۶/۱۶ EFGHIJ         | ۵۲/۵۵۲ DRFG          | شهری    |        |
| ۰/۷۶۹ f           | ۳/۶۰۶ UVWXYZabcdef     | ۷۱/۲۸ RSTUUVWXYZa    | ۲۳/۸۴۵ VWXYZabcd     | تبریز   |        |
| ۶/۸۱۶ RSTUUVWXYZ  | ۴/۹۶۹۷ DEFGHI          | ۶۰/۷۲ Yzabc          | ۷/۱۶۴ g              | اردستان | ۵۰     |
| ۸/۲۴۹ LMNOPQRSTU  | ۳/۵۱۵۲ OPQRSTUUVWXYZa  | ۱۰۸/۳۳ CDEF          | ۱۸/۱۵۵ abcdefg       | سمنان   |        |
| ۴/۷۱ de           | ۴/۹۳۹۴ DEFGHI          | ۸۹/۹۷ GHIJKLMN       | ۳۷/۵۹۵ JKLMNOPQRSTU  | مشهد    |        |
| ۵/۴۰۲ Zabcde      | ۴/۴۳۹۴ FGHJKLMN        | ۹۲/۵۳ FGHJKLMN       | ۴۲/۲۰۷ HIJKLMNQPQR   | شهری    | ۳۰     |
| ۰/۵۸۴ f           | ۳/۳۴۸۵ RSTUUVWXYZabcde | ۸۶/۳۴ HIJKLMNQPQR    | ۴۰/۲۶۷ IJKLMNQPQR    | تبریز   |        |
| ۵/۶۳۴ XYZabcd     | ۳/۹۰۹ UVWXYZabcde      | ۹۲/۲۷ FGHJKLMN       | ۷/۲۵ g               | اردستان | ۱۰۰    |
| ۱۲/۵۸۵ CDE        | ۲/۴۵۴۵ efg             | ۱۳۰/۳۹ AB            | ۵۱/۸۶ DEFGHI         | سمنان   |        |
| ۳/۶۳۴ e           | ۳/۵۳۵۵ NOPQRSTUUVWXYZa | ۹۵/۴۲ FGHJK          | ۳۶/۵۶ LMNOPQRSTU     | مشهد    |        |
| ۷/۱۲۹ QRSTUUVWXYZ | ۳/۵۳۵۵ NOPQRSTUUVWXYZa | ۱۱۸/۶۹ BCD           | ۸۱/۲۱۶ B             | شهری    |        |
| ۰/۷۰۴ f           | ۳/۱۶۶۷ tTUVWXYZabcde   | ۶۹/۷۹ TUVWXYZab      | ۳۱/۶۰۳ QRSTUUVWXYZ   | تبریز   |        |
| ۷/۹۸ QRSTUUVWXYZ  | ۳/۸۴۸۵ KLMNOPQRSTUUV   | ۵۷/۷۷ Zabcd          | ۹/۴۴۸ efg            | اردستان | ۱۵۰    |
| ۷/۷۹۷ MNOPQRSTUUV | ۲/۷۲۲۴ Zabcdefg        | ۱۰۰/۸ EFGH           | ۴۲/۲۹۳ HIJKLMNQPQR   | سمنان   |        |
| ۸/۳۳۷ LMNOPQRST   | ۵/۲۲۷۳ CDEFG           | ۶۵/۳۶ WXYZabc        | ۴۴/۷۵ FGHJKLMNO      | مشهد    |        |

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

ادامه جدول ۸-

| تیتانیوم | جاسمونیک | ژنوتیپ  | کلروفیل کل       | آنتوسیانین              | فلاونوئید              | فنل                    |
|----------|----------|---------|------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|          |          | 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       |
|          | ۰        | اردستان | ۹/۳۳۵ HIJKLMN    | ۲/۶۶۶۷ abcdefg          | ۸۲/۲ IJKLMNOPQRSTU     | ۳۳/۴۵۷ OPQRSTUVWXYZ    |
|          |          | سمنان   | ۶/۹۳۵ RSTUVWXYZ  | ۳ VWXYZabcdefg          | ۹۶/۷ EGHJK             | ۵۸/۵۳۳ BCDE            |
|          |          | مشهد    | ۶/۵۴۳ STUVWXYZa  | ۲/۹۰۹۱ XYZabcdefg       | ۹۰/۸۹ GHIJKLMNO        | ۴۹/۴۰۵ DEFGHIJ         |
|          |          | شهری    | ۵/۵۴۵ Yzabcd     | ۲/۸۶۳۶ XYZabcdefg       | ۹۵/۲۷ FGHJK            | ۳۵/۳۹۷ MNOPQRSTUVWXYZ  |
|          |          | تبریز   | ۰/۸۵ f           | ۳/۴۶۹۷ OPQRSTUVWXYZabc  | ۶۹/۵۸ TUVWXYZab        | ۲۷/۵۵۲ TUVWXYZab       |
|          | ۵۰       | اردستان | ۸/۶۰۱ KLMNOPQR   | ۵/۲۷۲۷ CDEF             | ۴۴/۳۲ de               | ۴۵/۹ FGHJKLMNO         |
|          |          | سمنان   | ۹/۱۹۹ HIJKLMNO   | ۲/۵۴۵۵ cdefg            | ۷۷/۵ LMNOPQRSTUVWXYZ   | ۳۶/۱۲۹ LMNOPQRSTU      |
|          |          | مشهد    | ۱۱/۶۵۷ DEF       | ۶/۶۳۶۴ A                | ۷۹/۸۲ KLMNOPQRSTUVWXYZ | ۳۹/۴۹۱ IJKLMNOPQRST    |
|          | ۶۰       | شهری    | ۶/۱۵۳ VWXYZab    | ۵/۵ BCDE                | ۴۹/۲ CDE               | ۳۲/۶۳۸ PQRSTUVWXYZ     |
|          |          | تبریز   | ۰/۹۰۳ f          | ۳/۷۳۳۳ KLMNOPQRSTUVWXYZ | ۷۳/۵۷ PQRSTUVWXYZa     | ۳۸/۱۱۲ JKLMNOPQRSTU    |
|          | ۱۰۰      | اردستان | ۴/۳۱۵ cde        | ۴/۲۸۹۷ HIJKLMN          | ۸۵/۲۷ HIJKLMN          | ۱۴/۹۶۶ cdefg           |
|          |          | سمنان   | ۹/۵۴۲ GHIJKLM    | ۲/۸۰۳ Yzabcdefg         | ۹۰/۹۵ GHIJKLMNO        | ۳۵/۷۸۴ LMNOPQRSTUVWXYZ |
|          |          | مشهد    | ۵/۶۳۴ xyzaABCD   | ۳/۷۵۸ UVWXYZabcde       | ۸۷/۴۱ GHIJKLMN         | ۵۵/۶۱۲ CDEFG           |
|          |          | شهری    | ۸/۳۹۳ KLMNOPQRS  | ۳/۷۵۸ UVWXYZabcde       | ۹۷/۹۵ EFGHI            | ۳۷/۹۴ JKLMNOPQRSTU     |
|          |          | تبریز   | ۱/۲۸ f           | ۴/۳۳۳۳ GHIJKLMNO        | ۷۲/۶۵ RSTUVWXYZa       | ۳۲/۴۶۶ Ppqrstuvw       |
|          | ۱۵۰      | اردستان | ۷/۳۵ RSTUVWXYZ   | ۳/۲۸۹۷ STUVWXYZabcde    | ۷۷/۹۲ LMNOPQRSTUVWXYZ  | ۱۹/۹۲۲ Yzabcde         |
|          |          | سمنان   | ۹/۲ HIJKLMNO     | ۳/۳۷۸۸ QRSTUVWXYZabcde  | ۸۹/۲۶ GHIJKLMNO        | ۴۳/۱۱۲ HIJKLMNO        |
|          |          | مشهد    | ۶/۴۸ UVWXYZab    | ۴/۲۵۷۶ HIJKLMNO         | ۱۱۹/۷۹ BC              | ۴۷/۶۳۸ EFGHIJKL        |
|          |          | شهری    | ۱۶/۵۲۹ A         | ۴/۴۵۴۵ FGHJKLMN         | ۸۳/۴۵ IJKLMNOPQRST     | ۳۴/۴۰۵ OPQRSTUVWXYZ    |
|          |          | تبریز   | ۱/۳۶۹ f          | ۳/۸۷۸۸ KLMNOPQRSTU      | ۶۵/۶۵ VWXYZab          | ۱۳/۶۲۹ defg            |
|          | ۰        | اردستان | ۹/۲۸ IJKLMN      | ۲/۸۱۸۲ Yzabcde          | ۹۱/۹۶ GHIJKLMNO        | ۴۸/۸۸۸ DEFGHIJK        |
|          |          | سمنان   | ۱۰/۱۹۴ FGHJK     | ۴/۲۲۲۴ HIJKLMN          | ۸۸/۹۹ GHIJKLMNO        | ۳/۸۸۸ GHIJKLMNO        |
|          |          | مشهد    | ۴/۹۲۹ abcde      | ۴/۹۰۹ IJKLMN            | ۱۰۰/۵۴ EFGH            | ۴۱/۴۷۴ HIJKLMN         |
|          |          | شهری    | ۶/۴۲۵ UVWXYZab   | ۳/۵۳۰۳ OPQRSTUVWXYZa    | ۱۱۲/۲ CDE              | ۳۸/۵ JKLMNOPQRSTU      |
|          |          | تبریز   | ۱/۲۹۴ f          | ۵/۶۹۷ BCD               | ۸۳/۱۳ IJKLMNOPQRSTU    | ۳۴/۱۳۳ OPQRSTUVWXYZ    |
|          | ۵۰       | اردستان | ۷/۸۴ RSTUVWXYZ   | ۶/۲۴۲۴ AB               | ۸۶/۹ GHIJKLMN          | ۱۷/۸۱ bcdefg           |
|          |          | سمنان   | ۱۱/۲۲۱ EFG       | ۲/۴۵۵ gh                | ۷۶/۴۶ NOPQRSTUVWXYZ    | ۳۰/۹۵ STUVWXYZ         |
|          |          | مشهد    | ۶/۸۰۵ RSTUVWXYZ  | ۴/۵۷۵۸ FGHJKL           | ۸۱/۷ IJKLMNOPQRSTU     | ۳۵/۹۵۷ LMNOPQRSTU      |
|          | ۹۰       | شهری    | ۶/۵۲۷ TUVWXYZab  | ۳/۴۲۲۲ PQRSTUVWXYZabc   | ۸۰/۹۸ JKLMNOPQRSTU     | ۵۰/۶۹۸ DEFGHI          |
|          |          | تبریز   | ۰/۸۲۵ f          | ۴/۶۲۱۲ EFGHIJK          | ۹۳/۵۷ FGHJKL           | ۳۴/۸۳۶ MNOPQRSTUVWXYZ  |
|          | ۱۰۰      | اردستان | ۴/۷۶۴ bde        | ۴/۳۱۸۲ HIJKLMN          | ۴۴/۲ def               | ۲۰/۹ Yzabcde           |
|          |          | سمنان   | ۶/۳۱ VWXYZabc    | ۱/۱۶۶۷ h                | ۹۵/۷۴ FGHJK            | ۳۷/۲۹۳ KLMNOPQRSTU     |
|          |          | مشهد    | ۸/۲۴۹ LMNOPQRSTU | ۳/۹۰۹۱ KLMNOPQRSTU      | ۹۲/۴۷ FGHJKLMN         | ۳۹/۸۷۹ IJKLMN          |
|          |          | شهری    | ۶/۵۲۷ TUVWXYZab  | ۳/۵۴۵۵ NOPQRSTUVWXYZa   | ۶۹/۱۴ TUVWXYZab        | ۲۶/۱۳۳ UVWXYZabc       |
|          |          | تبریز   | ۱/۲۶۵ f          | ۲/۹۸۴۸ VWXYZabcde       | ۵۹/۹۴ Zabcd            | ۳۹/۱۳۷ IJKLMNOPQRST    |
|          | ۱۵۰      | اردستان | ۴/۹۶ abcd        | ۳/۵۶۰۶ MNOPQRSTUVWXYZa  | ۸۹/۹۴ GHIJKLMNO        | ۴۰/۱۹۷ IJKLMN          |
|          |          | سمنان   | ۶/۸۱۸ RSTUVWXYZ  | ۲/۵۹۰۹ bcdefg           | ۸۶/۹۳ GHIJKLMN         | ۳۹/۵۳۴ IJKLMNOPQRST    |
|          |          | مشهد    | ۶/۶۰۵ STUVWXYZa  | ۴/۸۹۳۹ DEFGHIJ          | ۸۵/۳۳ HIJKLMN          | ۳۴/۶۲۱ NOPQRSTU        |

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

ادامه جدول ۸-

| تیتانیوم | جاسمونیک | ژنوتیپ  | پروتئین کل    | کارتونید        | a کلروفیل       | b کلروفیل          |
|----------|----------|---------|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|          |          | شهری    | ۲۶/۶۹۰ PQ     | ۴/۲۷۳ AB        | ۱۲/۴۵۷ ABC      | ۳/۴۶ HI            |
|          |          | تبریز   | ۱۷/۶۴۶ RST    | ۰/۲۶۹۵ ghij     | ۰/۱۵۴ a         | ۰/۴۳۴ Yza          |
|          | ۰        | اردستان | ۵۹/۲۶۲ BC     | ۰/۲۵۲۱ ghij     | ۱/۵۳ YZ         | ۴/۳۳۲ FG           |
|          |          | سمنان   | ۲۵/۹۹۹ EF     | ۱/۱۵ WXYZab     | ۳/۷۷ RSTUVW     | ۵/۲۶۰۵ BCDE        |
|          |          | مشهد    | ۳۹/۲۴۱ GHIJ   | ۱/۴۹۴ PQRSTU    | ۳/۷۷۳ RSTUVW    | ۰/۲۷۵۲ Za          |
|          |          | 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     |
|          | ۵۰       | 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    | ۶/۲۷ FGHIJ      | ۰/۹۷۰۲ QRSTUVWXYZ  |
|          |          | 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    |
|          | ۱۰۰      | اردستان | ۱/۷۹۲ de      | ۰/۵۲۷۲ defg     | ۳/۳۱۹ UVWX      | ۵/۱۳۳۹ 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     |
|          |          | 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       |
|          | ۱۵۰      | اردستان | ۲/۸۵۹ cde     | ۲/۲۵۳۵ 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 FGHJK     | ۵/۸۴ FGHJKLM    | ۰/۵۱۵۲ WXYZa       |
|          |          | شهری    | ۳۳/۱۹۵ JKLMNO | ۳/۳۰۱۳ D        | ۱۲/۶۱ BCD       | ۳/۳۵۹۷ HI          |
|          |          | تبریز   | ۱/۷۹۲ de      | ۰/۵۳۳ ij        | ۰/۲۰۱ a         | ۰/۵۴۴۴ WXYZa       |
|          | ۰        | 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     | ۱/۳۸۳۴ QRSTUVWX | ۲/۴۵۵ XY        | ۳/۷۷۴ GH           |
|          |          | شهری    | ۱۴/۷۴۹ STUVW  | ۲/۳۲۸۵ EFGH     | ۶/۳۰۴ FGHJK     | ۱/۳۲۴۵ PQRSTU      |
|          |          | تبریز   | ۸/۹۵۷ WXYZabc | ۰/۱۰۹۲ hij      | ۰/۱۳۸ a         | ۰/۶۳۰۸ TUVWXYZa    |
|          | ۵۰       | اردستان | ۳/۵۳۷ bcde    | ۱/۹۳۴۳ IJKLMNO  | ۵/۳۳۷ IJKLMNO   | ۱/۳۷۸۸ PQRST       |
|          |          | سمنان   | ۱۰/۶۳۴ VWXYZa | ۲/۲۰۴ GHIJKLM   | ۵/۸۷۴ FGHJKLM   | ۲/۳۷۴۶ MN          |
|          |          | مشهد    | ۳۱/۸۲۳ LMNOP  | ۱/۳۰۰۹ STUVWXY  | ۳/۳۷۹ TUVWX     | ۰/۶۹۲۱ STUVWXYZa   |
|          | ۳۰       | شهری    | ۱۴/۷۴۹ STUVW  | ۱/۵۱۹۲ PQRSTU   | ۴/۴۳۳ OPQRSTU   | ۰/۹۷۹۱ QRSTUVWXYZ  |
|          |          | تبریز   | ۳۴/۷۱۹ IJKLMN | ۰/۴۳۶۶ efghi    | ۰/۲۹ Za         | ۰/۲۹۴۵ Za          |
|          | ۱۰۰      | اردستان | ۷/۳۵۶ Yzabcde | ۱/۳۰۹ STUVWXY   | ۴/۶۶۷ LMNOPQRST | ۰/۹۵۷۵ QRSTUVWXYZ  |
|          |          | 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  |
|          |          | شهری    | ۸/۸۰۴ WXYZabc | ۲/۱۵۸ FGHJ      | ۶/۲۵۴ FGHJK     | ۰/۸۷۵۸ QRSTUVWXYZa |
|          |          | تبریز   | ۷/۸۹ XYZabcd  | ۰/۴۴۴۲ efgh     | ۰/۱۶ a          | ۰/۵۴۴۲ WXYZa       |
|          | ۱۵۰      | 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 نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

ادامه جدول ۸-

| کرونیل b           | اکرونیل a       | کارتونید        | پروتئین کل     | شماره   | نوع | مکان | تاریخ |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------|-----|------|-------|
| ۱/۹۷۱۶ NOP         | ۸/۹۰۵ E         | ۲/۵۹۲۷ E        | ۳۸/۳۷۷ HIJK    | شهری    |     |      |       |
| ۰/۱۸۱۵ a           | ۰/۲۷۸ Za        | ۰/۶۱۱۵ cdefg    | ۱۲/۴۶۳ TUVWXY  | تبریز   |     |      |       |
| ۵/۶۰۴ ABC          | ۳/۷۳۱ RSTUVWX   | ۰/۸۵۷۷ Zabcd    | ۲۲/۶۷۶ QR      | اردستان | ۰   |      |       |
| ۲/۹۵۰۶ IJKLM       | ۳/۹۸۴ PQRSTU    | ۱/۴۰۸۹ QRSTUV   | ۷/۱۲۷ Yzabcde  | سمنان   |     |      |       |
| ۰/۸۴۸۳ RSTUVWXYZa  | ۵/۶۹۴ GHIJKLMNO | ۱/۹۴۲۶ HIJKLMNO | ۴۷/۲۱۹ E       | مشهد    |     |      |       |
| ۰/۸۳ RSTUVWXYZa    | ۴/۷۱۵ LMNOPQRS  | ۱/۷۰۹۳ LMNOPQR  | ۱۰/۱۷۶ VWXYZa  | شهری    |     |      |       |
| ۰/۵۶۷۸ VWXYZa      | ۰/۲۸۲ Za        | ۰/۳۶۲۲ efghij   | ۳/۶۲۱ bcde     | تبریز   |     |      |       |
| ۱/۶۱۱۲ OPQ         | ۶/۹۹ FG         | ۲/۱۹۶۶ FGHIJ    | ۳/۶۹۸ bcde     | اردستان | ۵۰  |      |       |
| ۲/۵۹۶۱ JKLMN       | ۶/۶۰۳ FGHI      | ۲/۲۷۷۲ EFGHI    | ۲/۹۳۵ cde      | سمنان   |     |      |       |
| ۲/۴۱۳۶ LMN         | ۹/۲۴۴ E         | ۲/۴۶۸ EF        | ۳۴/۷۱۹ IJKLMN  | مشهد    |     |      | ۶۰    |
| ۰/۹۸۹۵ QRSTUVWXYZ  | ۵/۱۶۴ JKLMNOPQ  | ۱/۸۴۶۳ JKLMNOP  | ۱۱/۲۴۳ UVWXYZ  | شهری    |     |      |       |
| ۰/۵۱۲۷ XYZa        | ۰/۳۹ Za         | ۰/۷۰۳۱ abcdef   | ۳/۶۱۸ bcde     | تبریز   |     |      |       |
| ۰/۹۰۰۱ QRSTUVWXYZa | ۳/۴۱۵ STUVWX    | ۰/۹۵۶۲ Yzabc    | ۴/۹۹۳ abcde    | اردستان | ۱۰۰ |      |       |
| ۶/۱۷۸۶ A           | ۳/۴۲۷ STUVWX    | ۰/۳۴۰۷ efghij   | ۱۹/۳۹۹ RS      | سمنان   |     |      |       |
| ۰/۹۵۷۵ QRSTUVWXYZ  | ۴/۶۶۷ LMNOPQRST | ۱/۶۱۲ NOPQRST   | ۳۵/۴۸۱ IJKLM   | مشهد    |     |      |       |
| ۱/۳۴۳۱ PQRST       | ۷/۵ F           | ۲/۲۸۰۹ EFGHI    | ۹/۴۱۴ VWXYZab  | شهری    |     |      |       |
| ۰/۸۹۰۸ QRSTUVWXYZa | ۰/۲۸۹ Za        | ۰/۱۸ j          | ۵/۲۹۸ Zabcde   | تبریز   |     |      |       |
| ۳/۱۹۸۶ HIJ         | ۳/۸۳۶ RSTUVW    | ۱/۸۳ XYZab      | ۶/۹۷۵ Yzabcde  | اردستان | ۱۵۰ |      |       |
| ۵/۸۹۸ AB           | ۳/۳۰۳ UVWX      | ۰/۴۵۱۱ efgh     | ۱۳/۵۳ STUVWX   | سمنان   |     |      |       |
| ۰/۸۲۵۲ RSTUVWXYZa  | ۵/۶۵۵ HIJKLMNO  | ۱/۹۹۳۳ GHIJKLMN | ۳۰/۹۰۸ MNOP    | مشهد    |     |      |       |
| ۳/۲۱۹ HIJ          | ۱۳/۳۱ AB        | ۴/۴۱۰۹ A        | ۳۷/۶۶۸ HIJKL   | شهری    |     |      |       |
| ۱/۸۵ QRSTUVWXY     | ۰/۲۸۴ Za        | ۰/۳۲۹۵ fghij    | ۱۱/۸۵۳ TUVWXY  | تبریز   |     |      |       |
| ۵/۴۲۳ CDEF         | ۳/۹۸۶ PQRSTU    | ۱/۸۶۵ VWXYZa    | ۴۳/۱۰۳ EFGH    | اردستان | ۰   |      |       |
| ۴/۵۷۶۳ EF          | ۵/۶۱۸ HIJKLMNO  | ۱/۵۹ OPQRST     | ۶۱/۹۱ B        | سمنان   |     |      |       |
| ۰/۴۵۸۹ XYZa        | ۴/۴۷ NOPQRSTU   | ۱/۹۴۴۱ HIJKLMNO | ۴۰/۲۰۷ FGHI    | مشهد    |     |      |       |
| ۰/۸۱۶۷ RSTUVWXYZa  | ۵/۶۰۸ HIJKLMNO  | ۱/۹۳۴۲ IJKLMNO  | ۹/۲۶۲ VWXYZab  | شهری    |     |      |       |
| ۱/۸۱ QRSTUVWXYZ    | ۰/۲۸۶ Za        | ۰/۶۰۷۵ cdefg    | ۱/۵۸۷ e        | تبریز   |     |      |       |
| ۱/۲۹۷۲ PQRSTU      | ۵/۷۸۷ FGHIJKLM  | ۱/۷۰۸۶ LMNOPQR  | ۵/۲۹۸ Zabcde   | اردستان | ۵۰  |      |       |
| ۵/۹۵۰۹ AB          | ۵/۲۷۱ JKLMNOP   | ۱/۲۶۰۴ TUVWXY   | ۹/۴۱۴ VWXYZab  | سمنان   |     |      |       |
| ۱/۱۵۷ QRSTUVWXYZ   | ۵/۷۸۹ FGHIJKLM  | ۱/۹۶۰۷ HIJKLMNO | ۳۲/۸۹ KLMNO    | مشهد    |     |      | ۹۰    |
| ۰/۶۸۸۶ STUVWXYZa   | ۵/۸۳۸ FGHIJKLM  | ۲/۲۷۲۴ EFGHI    | ۳۸/۷۳ HIJK     | شهری    |     |      |       |
| ۰/۴۱۷۹ Yza         | ۰/۴۰۷ Za        | ۰/۶۶۵۴ bcdef    | ۱/۹۴۵ de       | تبریز   |     |      |       |
| ۰/۸۷۳۲ QRSTUVWXYZa | ۳/۸۹۱ PQRSTU    | ۱/۳۵۴۸ RSTUVWX  | ۵/۱۴۶ Zabcde   | اردستان | ۱۰۰ |      |       |
| ۲/۳۵ MNO           | ۳/۶۸۱ STUVWX    | ۱/۶۶۵۵ KLMNOPQ  | ۱/۶۲۵ e        | سمنان   |     |      |       |
| ۱/۵۵۸۹ PQR         | ۶/۶۹ FGHI       | ۲/۵۲۲ HIJKLM    | ۳/۴۹۹ JKLMNO   | مشهد    |     |      |       |
| ۰/۶۸۸۶ STUVWXYZa   | ۵/۸۳۸ FGHIJKLM  | ۲/۲۷۲۴ EFGHI    | ۲۸/۹۲۶ NOP     | شهری    |     |      |       |
| ۰/۹۴۱۳ QRSTUVWXYZ  | ۰/۳۵۴ Za        | ۰/۵۹۷۶ cdefg    | ۱/۸۸۹ de       | تبریز   |     |      |       |
| ۰/۹۱۱۶ QRSTUVWXYZa | ۴/۴۸ PQRSTU     | ۱/۱۸۲۹ UVWXYZ   | ۷/۵۸۵ XYZabcde | اردستان | ۱۵۰ |      |       |
| ۳/۱۸۲۸ HIJK        | ۳/۶۳۵ STUVWX    | ۱/۶۸۵ UVWXYZ    | ۱۱/۲۴۳ UVWXYZ  | سمنان   |     |      |       |
| ۱/۲۰۱۹ QRSTUVWX    | ۵/۴۰۳ IJKLMNO   | ۱/۶۶۷۱ MNOPQRS  | ۳۵/۱۷۶ IJKLM   | مشهد    |     |      |       |

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

## بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که در غلظت‌های پایین نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (۳۰ تا ۶۰ میلی گرم در لیتر) باعث افزایش آنتی اکسیدان‌های آنزیمی شده اما در سطوح بالاتر اثرات بازدارنده داشته و لی جاسمونیک اسید بسته به نوع مواد آنتی اکسیدانی 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 می باشد (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 آنتی اکسیدانی گلرنگ بررسی و به دست آوردند که آنزیم پلی فنل اکسیداز در غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی گرم 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 آنتی اکسیدان 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 محسوس تر بوده است. در بررسی اثر آهن روی گیاه (*Bacops monnierl*) مشخص شده 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 دی اکسید تیتانیوم (۰/۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۰۴ و ۰/۰۵ درصد) روی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی

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 دی اکسید 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 نانو اکسید روی مشاهده شده که میزان فعالیت این آنزیم تا غلظت‌های بالای ۱۰۰ میلی گرم 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 می شود. در تحقیق حاضر نیز جاسمونیک اسید به جز اینکه تأثیری بر میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز نداشته بلکه در سایر آنزیم‌ها باعث افزایش شده است. لذا می توان نتیجه گرفت که محرک‌های زیستی و غیر زیستی بسته نوع گیاه و حتی نوع مواد آنتی اکسیدانی مورد بررسی می توانند پاسخ‌های متفاوتی داشته باشند

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

میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل نداشته است. همچنین نانو کود کلات آهن هیچ تأثیر معنی داری 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 معنی داری بر میزان کلروفیل a، b و کل سیبزمینی از خود نشان دهد (Eckhardt et al., 2004; Ehsanpour and Nejadi, 2012). نانو نقره در غلظت های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی گرم در لیتر باعث افزایش پروتئین کل سیبزمینی شده اما در غلظت های بالاتر تأثیری نداشت است (Ehsanpour and Nejadi, 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 محسوس تر است (Peyvandi et al., 2011). این نتایج با نتایج تحقیق ما مطابقت داشت. اما جاسمونیک اسید تأثیر مثبت داشته و باعث افزایش مواد آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی و صفات فیزیولوژیک شده است. در تحقیقاتی مشابه؛ اسید جاسمونیک باعث افزایش میزان فنل کل در گیاه دارویی شیرین بیان (*Glycyrrhiza 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 آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی تأثیر نداشته اما این بررسی از سطح ۳۰ نانوگرم در میکرو لیتر شروع شده لذا ممکن است در غلظت های پایین تر 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 ترکیب های ثانویه ریحان شیرین نشان داده است که افزایش متیل جاسمونات از ۰/۱ به ۰/۵ میلی مولار سبب افزایش میزان فنل تام در ریحان شده است (Kim et al., 2005). در تحقیقی تیمار گیاهان توت سیاه با متیل جاسمونات، محتوای فلاونوئید را به طور معنی داری افزایش داد (Wang et al., 2008). در پژوهشی محتوای فلاونوئید کل در اندام هوایی گیاهان همیشه بهار، در تیمار با متیل جاسمونات ۵۰ میکرومولار، در مقایسه با شاهد، کاهش معنی دار نشان 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 پژوهش هایی غیر مشابه؛ جاسمونیک اسید باعث کاهش محتوای آنتوسیانین در ریشه و اندام های هوایی گل همیشه بهار (Ghanati et al., 2010)، کاهش ترکیبات فنلی آویشن دناپی (Ashrafi et al., 2012)، افزایش میزان فلاونوئید در گل همیشه بهار (Ghasemi Pirbaloti et al., 2012) و شیرین بیان (Shabani and Ehsan, 2009) شده اما تأثیری بر میزان فنل گل همیشه بهار نداشته است (Ghasemi Pirbaloti et al., 2012).

#### نتیجه گیری نهایی

طبق نتایج به دست آمده استفاده از نانو تیتانیوم و جاسمونیک اسید باعث افزایش مواد آنتی اکسیدانی و فیزیولوژیک مرزه شده که مؤثرترین سطح هورمونی تیتانیوم سطح ۳۰ میلی گرم در لیتر و جاسمونیک اسید



تولید مواد آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی (فنل، فلاونوئید و آنتوسیانین) مرزه مشهد بود.

سطح ۵۰ میکرو مولار بود. مؤثرترین مرزه از نظر صفات فیزیولوژیکی؛ مرزه شهر ری، از نظر صفات آنتی اکسیدانی آنزیمی؛ مرزه اردستان و تبریز و از نظر

## 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., Seftor, 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., Puentes, 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., Bakhtiarian, 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. Ilam Azad University press of ShahreKord 541.
14. Ghasemi Pirbaloti, A., Mousavi Harris, S.A., Tirgiri, 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<sub>2</sub> 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 Ravnkar, 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 nanoparticles. *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*, 115(10): 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 Lericci, 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. Ochekepe, 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., Badiiei, 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 Cellular and Molecular Biotechnology Journal* 2(5): 25-32.
36. Rahman, Q., Lohani, M., Dopp, E., Pensel, 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 culinaris 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.

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

**Davari A.<sup>1</sup>, Solouki, M.<sup>2</sup>, Fazeli-Nasab, B.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. of Plant Breeding, Graduated from University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Dept. of Breeding and Biotechnology, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>3</sup>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 spraying 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