



## تأثیر تنش UV و محلول پاشی نانو دی اکسید تیتانیوم بر برخی از جنبه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.)

طرفه اخوان هزاوه\*<sup>۱</sup>

۱- گروه زیست شناسی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران (نویسنده مسئول: [torfeha@yahoo.com](mailto:torfeha@yahoo.com))

چکیده	شناسه مقاله
<p>طیف وسیعی از تنش‌های محیطی از جمله اشعه یووی برای گیاه مضر است. به منظور تعیین اثرات تنش یووی (UV-B) و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub> NP) بر پارامترهای فیزیولوژیکی مانند وزن خشک، مرگ سلولی و برخی پارامترهای بیوشیمیایی (محتوای پروتئین، کاروتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئید و ظرفیت جاروب کنندگی رادیکال‌های آزاد (DPPH)) در گیاه مریم گلی (<i>Salvia officinalis</i> L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا شد. در این مطالعه، عامل نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در سه سطح صفر، ۳۰ و ۶۰ پی‌پی‌ام به صورت محلول پاشی و عامل تنش یووی در زمان‌های ۲۰ و ۴۰ دقیقه به مدت سه هفته مورد بررسی قرار گرفتند. مطابق نتایج تنش UV-B موجب کاهش وزن خشک و پروتئین محلول شد. بررسی نتایج نشان داد که تنش UV-B موجب افزایش مرگ سلولی، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین، فلاونوئید، پروتئین ریشه و مهار رادیکال DPPH شد. همچنین، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم موجب کاهش وزن خشک، پروتئین، مهار رادیکال DPPH، نسبت به گیاهان شاهد شد. نتایج بدست آمده از بررسی اعمال همزمان UV-B و نانو ذرات تیتانیوم بر گیاه مریم گلی نشان داد که اعمال غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات تیتانیوم اکسید همراه با UV-B در مقایسه با دیگر غلظت نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم موجب بهبود اثرات ناشی از تنش UV-B در گیاه مریم گلی شد.</p>	<p>تاریخ دریافت مقاله: آذر ۱۴۰۱</p> <p>تاریخ پذیرش مقاله: بهمن ۱۴۰۱</p> <p>نوع مقاله: علمی- پژوهشی</p> <p>موضوع: فیتوشیمی</p>

واژگان کلیدی: پروتئین، مرگ سلولی، مریم گلی، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم.

### ۱. مقدمه

در حال حاضر علاقه زیادی در سراسر جهان به یافتن آنتی‌اکسیدان‌های جدید و ایمن از منابع طبیعی برای جلوگیری از به حداقل رساندن آسیب اکسیداتیو به سلول‌های زنده وجود دارد. در گیاه مریم گلی آنتی‌اکسیدان‌های خوراکی مانند کاروتنوئیدها و نقش

آن‌ها در سلامتی ثابت شده است (Dimitrios, 2006). مریم گلی از خانواده نعنائیان دارای خاصیت آنتی باکتریال و ضد قارچی است (Sá et al., 2009). برگ‌های این گیاه غنی از ترکیبات فنلی است (Sotiropoulou et al., 2020).

اشعه ماوراء بنفش دارای سه طیف نوری به نام‌های A، B و C می‌باشد در میان سه نوع اشعه، اشعه UV-B با توجه به اندک بودن مقدار تابش آن از اهمیت بالایی برخوردار است. در طی دهه‌های گذشته، مطالعات متعددی در مورد تأثیر اشعه UV-B بر گیاهان منتشر شده است. اما بیشتر مطالعات در مورد گیاهان زراعی صورت گرفته است. عوامل محیطی نامناسب از جمله اشعه ماوراء بنفش، ممکن است بر تغییرات متابولیک و بیماری گیاهان مورد مطالعه و مبارزه با عوامل زیان‌آور به گیاه و فرآورده‌های گیاهی و آثار ناشی از این عوامل تأثیر بگذارد (Salama et al., 2011).

تیتانیوم باعث بهبود صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان می‌شود (Hatami et al., 2014; Mingyu et al., 2007). نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub> NPs)، یکی از پرکاربردترین نانو ذرات است ولی برهم کنش آن با گیاهان به خوبی بررسی نشده است (Golami et al., 2018; Mutlu et al., 2018). بررسی گیاهان زراعی نشان می‌دهد که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر این گیاه تأثیر می‌گذارد (Kurepa et al., 2020). تحقیقات در مورد اثرات نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بسته به غلظت نانوذرات، اندازه، واکنش‌پذیری، ساختار شیمیایی، سطح و گونه‌های گیاهان رویکردهای متنوعی را نشان می‌دهد (Siddiqui et al., 2012; Khodakovskaya et al., 2015). تعیین و ارزیابی نظری و عملی و تکنولوژی ویژگی‌های نانو ذرات برای به کارگیری آن‌ها در گیاهان مورد نیاز و ضروری است و پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مولکولی نانو ذرات بهتر است در هر گیاه بررسی شود (Golami et al., 2018; Mutlu et al., 2018). هدف از مطالعه حاضر این است که اثرات نانوذرات دی اکسید تیتانیوم تحت تنش (UV-B) بر برخی پارامترهای بیوشیمیایی است.

## ۲. مواد و روش‌ها

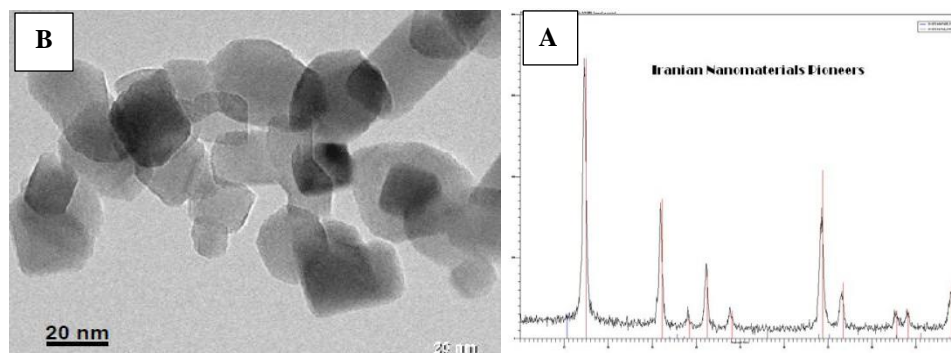
### - شرایط کشت مریم گلی

بذرهای شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شدند. بذرهای بعد از ضدعفونی سطحی با هیپوکلرید سدیم ۲ درصد به مدت ۵ دقیقه، در گلدان‌های با قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که محتوی پرلیت بودند، با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با مخلوطی از لامپ‌های مهتابی فلورسنت سفید و زرد قرار گرفتند. سپس به اتاق کشت با دمای  $30 \pm 1$  منتقل شدند. در هفته اول فقط آب مقطر به گلدان‌ها اضافه شد. آبیاری با محلول غذایی هوگلند، ۱۴ روز پس از کشت دانه‌ها آغاز شد. در طی مدت آزمایش گلدان‌ها با آب مقطر و همچنین دو روز یک بار با محلول هوگلند تغییر یافته (Nouri et al., 2015) آبیاری شدند. این روند تا زمان برداشت گیاهان به مدت سه هفته اعمال شد.

### - تهیه نانو ذرات تیتانیوم

نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان واقع در مشهد خریداری شد. تصاویر مربوط به شکل ۱ توسط میکروسکوپ روبشی در این شرکت تهیه شده است. اندازه ی نانو ذرات خریداری شده ۲۰ نانومتر، با خلوص ۹۹ درصد، دارای چگالی ۰/۰۴۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و رنگ سفید و مورفولوژی کروی بود (شکل ۱). برای به‌دست آمدن محلول همگن،

محلول‌های تهیه شده از نانو ذرات در دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلو هرتز) مدل (Metason 200 HT) به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند (Prasad et al., 2013). از این محلول برای ساخت مقادیر مورد نیاز استفاده شد.



شکل ۱. گراف (A) و شکل (B) نانو ذره تیتانیوم

#### - اعمال تیمار

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در ۳ تکرار با غلظت‌های مختلف از UV-B (صفر، ۲۰ و ۴۰ دقیقه) و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (صفر، ۳۰ و ۶۰ پی پی ام) انجام شد. نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub> NP) در سه غلظت (صفر، ۳۰ و ۶۰ پی پی ام) در مرحله ۳ برگی گیاهان، به صورت اسپری اعمال شد. برای تنش UV-B از لامپ UV با مشخصات UV-B (LF-215m, 312 nm) (15W) = 2 به مدت سه هفته و هر روز یک بار به مدت ۲۰ و ۴۰ دقیقه استفاده شد. لامپ‌ها در بالای گلدان‌ها به فاصله ۵۰ سانتیمتری نصب شدند.

#### - برداشت و نگهداری

سه هفته بعد از اعمال تیمار، برداشت انجام شد. در این مرحله قسمت‌های مختلف گیاهان از هم جدا شدند و پس از شستشو و خشک کردن نمونه‌ها، نمونه‌های مورد نیاز برای بررسی و مطالعه بیشتر در فریزر و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

#### - اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی

پس از برداشت، ریشه و اندام هوایی جداسازی و با آب مقطر شستشو داده شد و پس از خشک کردن، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از مدت زمان مذکور وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

#### - اندازه‌گیری مرگ سلولی

مرگ سلولی به عنوان معیاری برای نشان دادن آسیب وارد شده به غشاء سلولی در گیاهان تیمار شده، با استفاده از جذب معرف آبی اوانس اندازه‌گیری گردید (Fomicheva et al., 2012). بعد از اعمال تیمار، سه قطعه‌ی یک سانتی‌متری از نوک ریشه‌ها در داخل معرف آبی اوانس ۰/۳۰ درصد در آب به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند و بعد به مدت ۱۵ دقیقه با آب شستشو داده شدند و سپس در ۱ میلی‌لیتر محلول متانول ۶۰ درصد له گردیدند که این عمل موجب آزاد شدن معرف به تله افتاده گردید. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در داخل بن ماری ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس به مدت ۱۵ دقیقه با نیروی ۱۴۰۰۰ g سانتریفوژ

گردید. جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت میزان مرگ سلولی بر حسب درصد نسبت به شاهد تعیین گردید.

### - اندازه‌گیری پروتئین محلول

برای تعیین پروتئین محلول از روش Caprette و همکاران (2005) استفاده شد. برای این منظور ۰/۰۲ گرم از ماده خشک ریشه و اندام هوایی نمونه‌ها توزین شد. بر روی لوله‌ها ۴ میلی‌لیتر بافر تریس-اسید کلریدریک با pH= ۸ (۵۰ میلی‌لیتر تریس ۰/۲ نرمال، ۱۷/۲ گرم ساکارز و ۰/۱ گرم اسید آسکوربیک که در نهایت حجم محلول با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) اضافه کرده و خوب بهم زده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در یخچال گذاشته شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه با نیروی ۵۰۰۰ سانتریفوژ گردید. ۱ میلی‌لیتر از فاز بالایی که حاوی پروتئین‌های محلول بود، برداشته و با ۴ میلی‌لیتر از محلول C به خوبی مخلوط شد. مخلوط حاصل ۱۰ دقیقه به حال خود گذاشته شد تا کاملاً حل گردد. در آخر ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول رقیق شده فولین سیوکالتئو (نسبت رقت ۹: ۱ با آب مقطر) به آن افزوده شد. در نهایت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. کمپلکس آبی رنگی ایجاد گردید. مقدار جذب در طول موج ۶۶۰ nm توسط دستگاه اسپکتروفتومتر APEL مدل PD303UV تعیین شد.

محلول A: شامل ۲ گرم  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ، ۰/۴ گرم NaOH، ۰/۰۲ گرم سدیم-پتاسیم تارتارات که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شدند.

محلول B: شامل ۰/۵ گرم سولفات مس متبلور  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب حل شد.

محلول C: ۵۰ میلی‌لیتر محلول A و ۱ میلی‌لیتر محلول B بلافاصله قبل از مصرف با هم مخلوط شدند.

### - اندازه‌گیری رنگی‌های کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری رنگی‌های فتوسنتزی کاروتنوئید از روش (Rajalakshmi & Banu., 2015) استفاده شد. برای این منظور، ۰/۱ گرم از وزن تر برگ در هاون چینی که حاوی ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد بود، ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ سانتریفوژ شد. سپس فاز بالایی نمونه‌ها در لوله‌های اسپکتروفتومتر ریخته شد و جذب آنها در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۷ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه‌ی کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها از روابط زیر استفاده شد:

$$\text{Chl}_a = 12/7 A_{663} - 2/69 A_{647}$$

$$\text{Chl}_b = 22/9 A_{647} - 4/68 A_{663}$$

$$\text{کاروتنوئید} = A_{470} - (0/114)A_{663} - (0/638)A_{647}$$

### - اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین از روش Sarghein و همکاران (2008) استفاده شد. ۰/۱ گرم از وزن تر برگ با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (شامل ۹۹ در صد متانول و ۱ درصد اسید کلریدریک) ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۳۰۰۰ سانتریفوژ شد. محلول رویی به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگهداری شد. سپس جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه‌ی غلظت آنتوسیانین از ضریب خاموشی ( $160 \text{ Mm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) استفاده شد.

### - اندازه‌گیری میزان فلاونوئید

میزان فلاونوئید کل بر مبنای رنگ سنجی آلومینیوم و با استفاده از روش Pourmorad و همکاران (۲۰۰۶) تعیین گردید. ۰/۱ گرم بافت تر برگ به همراه ۱ میلی لیتر آب دیونیزه ۱ در هاون ساییده شد. سپس به ۰/۵ میلی لیتر از نمونه ی ساییده شده ۱/۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد، ۰/۱ میلی لیتر آلومینیوم کلراید ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی لیتر استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب دیونیزه اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۴۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه آنکوبه گردید. پس از این مدت زمان جذب هر یک از نمونه ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. جهت تعیین میزان فلاونوئید کل، منحنی استاندارد با استفاده از غلظت های معلوم کاتچین تهیه گردید.

### - آنالیز آماری

برای کاهش خطا، نمونه برداری و آزمایش ها با ۳ تکرار انجام شد. آنالیز داده های آماری بر اساس مدل طرح پایه کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS با تجزیه ی واریانس دوسویه (GLM) و برای گروه بندی از آزمون توکی چند دامنه ای انوا وی براساس آزمون توکی در سطح احتمال آماری  $p \leq 0.05$  انجام گرفت. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL سری ۲۰۱۰ رسم شدند.

### ۳. نتایج و بحث

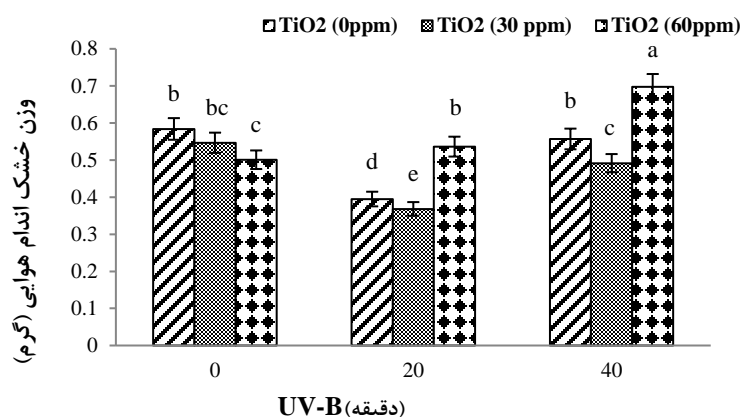
#### - میزان وزن خشک اندام هوایی و ریشه

نتایج نشان داد اعمال تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در گیاه مریم گلی، موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۲). بررسی ها نشان داد که نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید UV-B × در غلظت ۳۰ پی پی ام همراه با UV-B ۲۰ دقیقه موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی هم نسبت به گیاهان شاهد هم نسبت به اعمال تنهایی UV-B ۲۰ دقیقه شد، ولی در غلظت ۶۰ پی پی ام موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار UV-B ۳۰ دقیقه به تنهایی شد. بیشترین افزایش در تیمار همزمان نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۶۰ پی پی ام همراه با UV-B ۴۰ دقیقه نشان داده شد.

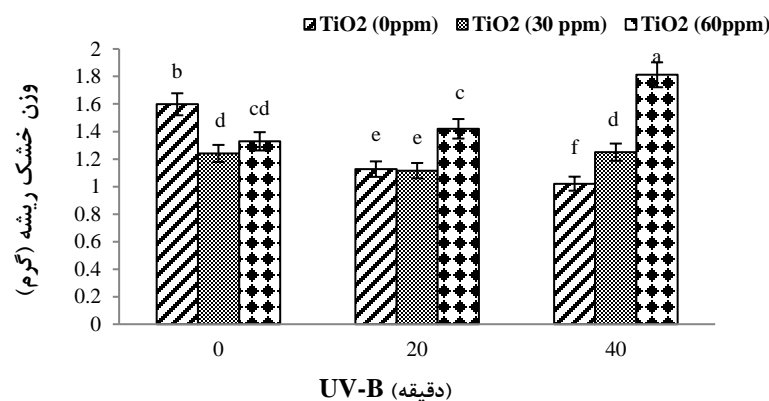
تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تغییرات وزن خشک ریشه بین تیمارهای نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و UV-B معنی دار بود. بررسی نتایج نشان داد که UV-B موجب کاهش وزن خشک ریشه نسبت به گیاهان شاهد شد به طوری که بیشترین کاهش در UV-B ۴۰ دقیقه مشاهده گردید (شکل ۳). نتایج نشان داد اعمال تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در گیاه مریم گلی، موجب کاهش وزن خشک ریشه نسبت به گیاهان شاهد شد. بررسی ها نشان داد که اعمال توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به همراه UV-B با توجه به غلظت بکار رفته تاثیر متفاوتی بر وزن خشک ریشه داشت به طوری که تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰ پی پی ام همراه با UV-B ۳۰ دقیقه موجب کاهش وزن خشک ریشه هم نسبت به گیاهان شاهد هم نسبت به اعمال تنهایی UV-B ۲۰ دقیقه شد، ولی تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۶۰ پی پی ام همراه با UV-B ۲۰ دقیقه موجب افزایش وزن تر ریشه نسبت به تیمار UV-B ۲۰ دقیقه به تنهایی شد. همچنین نتایج نشان داد در تیمار توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با UV-B ۴۰ موجب افزایش وزن خشک ریشه هم نسبت به اعمال UV-B ۴۰ دقیقه به تنهایی شد. به طوری که بیشترین افزایش در تیمار توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۶۰ پی پی ام همراه با UV-B ۴۰ دقیقه نشان داده شد.

کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تأثیر اشعه ی یووی بیانگر کاهش تولید بیوماس در این تیمارها است و این یک پاسخ عمومی در بسیاری از گونه های گیاهی است. کاهش وزن ریشه و اندام هوایی در تیمارهای یووی، می تواند به علت

کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو که منجر به کاهش فتوسنتز می گردد (Hassan et al., 2012; Yu et al., 2013). در مطالعاتی که Reddy و همکاران (۲۰۱۵) بر روی ذرت انجام داده اند، مشخص شده است که میزان تولید بیوماس گیاهی تحت تاثیر اشعه UV کاهش می یابد. نتایج مطالعات Gao و همکاران (۲۰۰۳) بر روی پنبه نشان داده است که کاهش وزن خشک برگ تحت تأثیر اشعه یووی به علت کاهش میزان سطح برگ بوده است. مکانیسم سمیت نانوذرات در غلظت های بالا ناشناخته است، اما رهاسازی یون های سنگین فلزی، تولید واسطه های میانی اکسیژن فعال (ROS) و تنش اکسیداتیو ناشی از آن ها می تواند توجیهی برای توضیح کاهش باشد (Ghanizadeh-Kazerouni et al., 2017; Alton et al., 2010). نانو ذرات ممکن است پراکسیدهای غشای لیپید را در حین تماس با سلول به علت واکنش گره های میانجیگر اکسیژن فعال افزایش دهد (Yuhui et al., 2009). نانو مواد مختلف دارای ترکیب شیمیایی با ساختار کریستالی و اندازه ذره و سطح تماس مختلف هستند، پاسخ های گیاهان به تنش ها بطور قابل توجهی در ارتباط با مولفه های گوناگون است (Juhel et al., 2011; Golami et al., 2018). نانوذرات تیتانیوم دی اکسید قادر است با بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم روبیسکو، افزایش جذب نیترات و تسریع در تبدیل مواد غیر آلی به آلی باعث افزایش وزن خشک گیاه شود (Nair et al., 2010). نانوذرات با افزایش فتوسنتز و نیز افزایش تولید ماده خشک باعث افزایش عملکرد گیاه و اجزای عملکرد آن می شوند.



شکل ۲. میزان تغییرات وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم



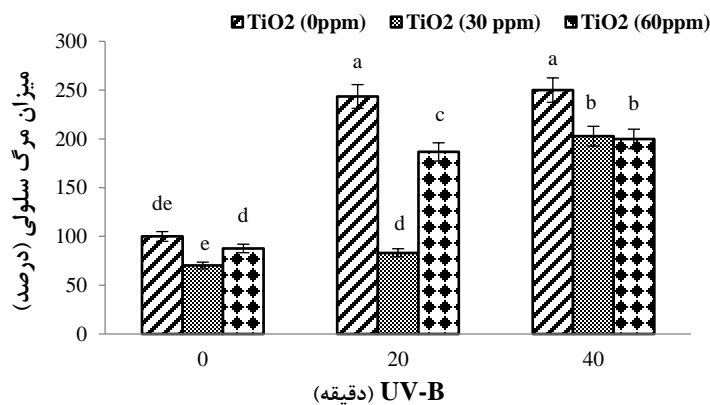
شکل ۳. میزان تغییرات وزن خشک ریشه در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

## - میزان مرگ سلولی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات میزان مرگ سلولی بین تیمارهای نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و UV-B معنی‌دار بود. بررسی نتایج نشان داد که UV-B موجب افزایش میزان مرگ سلولی نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۴). به‌طوریکه بیشترین افزایش در تیمار UV-B ۴۰ دقیقه مشاهده گردید. اعمال تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در گیاه مریم‌گلی، تأثیرات متفاوتی داشته به‌طوریکه غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام آن موجب کاهش نسبت به گیاهان شاهد شد به‌طوریکه بیشترین کاهش در این تیمار مشاهده گردید. این در حالیست که غلظت ۶۰ پی‌پی‌ام آن موجب افزایش میزان مرگ سلولی نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۴).

بررسی‌ها نشان داد که تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم همراه با UV-B ۳۰ دقیقه موجب کاهش میزان مرگ سلولی نسبت به اعمال تنهایی UV-B ۳۰ دقیقه شد. همچنین نتایج نشان داد تیمار توأم نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با UV-B ۴۰، نیز موجب کاهش میزان مرگ سلولی نسبت به اعمال UV-B ۴۰ دقیقه به تنهایی شد (شکل ۴). بررسی نتایج نشان داد که یووی موجب افزایش میزان مرگ سلولی نسبت به گیاهان شاهد شد. پیشرفت مرگ سلولی در گیاه بعنوان یک فرایند اساسی پذیرفته شده و نقش اساسی در دوره رشد و شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی مانند UV-B و پاسخ به پاتوژن در گیاه ایفا می‌کند (Nawkar et al., 2013). مرگ برنامه‌ریزی شده سلول (PCD) یک مکانیسم خودتخریب با کنترل ژنتیکی است و می‌تواند به عنوان بخشی از رشد طبیعی در پاسخ به تنش ایجاد شود (Nawkar et al., 2013).

صدمات ناشی از انرژی موجود در اشعه UV توسط مولکول DNA جذب گردیده و در DNA از همانند سازی و نسخه برداری جلوگیری کرده و باعث ایجاد جهش می‌شود (García-Gómez et al., 2012)، صدمات مذکور هنگام رونویسی فعالیت آنزیم RNA پلیمراز II را مختل می‌کنند و به این ترتیب می‌توانند مرگ برنامه‌ریزی شده سلول را فعال سازند (Block et al., 2005). این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر در مورد افزایش مرگ سلولی در اثر تنش یووی همخوانی دارد. کاهش مرگ سلولی در اثر استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم را نیز می‌توان به بهبود آثار مخرب تنش یووی توسط نانو ذرات نسبت داد. تأثیر مثبت نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر سیستم فتوسیستم II و غشای تیلاکوئیدی از طریق افزایش فتوسنتز و دی اکسید کربن داخل روزنه‌ای گزارش شده است (Morteza et al., 2013). همچنین، شده است که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با تقویت سیستم آنتی اکسیدانی از اثرات مخرب تنش اکسیداتیو و مرگ سلولی گیاه جلوگیری می‌کند (Regmi and Desaeager, 2020).



شکل ۴. میزان تغییرات مرگ سلولی در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

## - میزان پروتئین محلول اندام هوایی و ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات میزان پروتئین محلول اندام هوایی بین تیمارهای نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و UV-B معنی دار بود. بررسی نتایج نشان داد که UV-B موجب کاهش میزان پروتئین محلول اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۵). به طوریکه بیشترین کاهش در تیمار UV-B ۲۰ دقیقه مشاهده گردید.

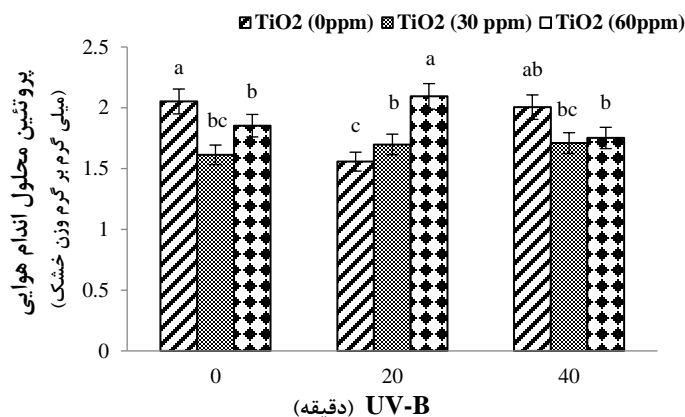
نتایج نشان داد اعمال تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در گیاه مریم گلی، موجب کاهش میزان پروتئین محلول اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد شد. بررسی ها نشان داد که اعمال توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به همراه UV-B تأثیرات متفاوتی بر میزان پروتئین محلول اندام هوایی داشت. تیمار توام آن با UV-B ۲۰ دقیقه موجب افزایش پروتئین محلول اندام هوایی هم نسبت به گیاهان شاهد و هم نسبت به اعمال تنهایی UV-B شد، به طوریکه بیشترین افزایش در اعمال توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۶۰ پی پی ام به همراه UV-B ۲۰ دقیقه مشاهده گردید (شکل ۵). این در حالیست که اعمال توام آن با UV-B ۴۰ دقیقه موجب کاهش میزان پروتئین اندام هوایی هم نسبت به گیاهان شاهد و هم نسبت به اعمال تنهایی UV-B ۴۰ دقیقه شد (شکل ۵).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات میزان پروتئین محلول ریشه بین تیمارهای نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و UV-B معنی دار بود. بررسی نتایج نشان داد که UV-B موجب کاهش معنی دار میزان پروتئین محلول ریشه نسبت به گیاهان شاهد شد (نمودار ۳-۳ B). به طوریکه بیشترین کاهش در UV-B ۴۰ دقیقه مشاهده گردید. نتایج نشان داد اعمال تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در گیاه مریم گلی، موجب کاهش میزان پروتئین محلول ریشه نسبت به گیاهان شاهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که UV-B موجب کاهش میزان پروتئین محلول اندام هوایی و ریشه نسبت به گیاهان شاهد شد. طول موج یووی می‌تواند اثرات مخرب بر روی اسیدهای آمینه آروماتیک مانند تیروزین؛ فنیل آلانین و تریپتوفان داشته و باعث عدم فعالیت پروتئین و آنزیم‌ها می‌شوند (Casati and Walbot., 2004). اشعه‌ی UV-B علاوه بر این که به طور مستقیم می‌تواند پروتئین‌ها را تخریب کند، به طور غیرمستقیم نیز می‌تواند از طریق آسیب رساندن به مولکول‌های RNA، در فرآیند سنتز پروتئین‌ها اختلال ایجاد کند. (Casati and Walbot., 2004).

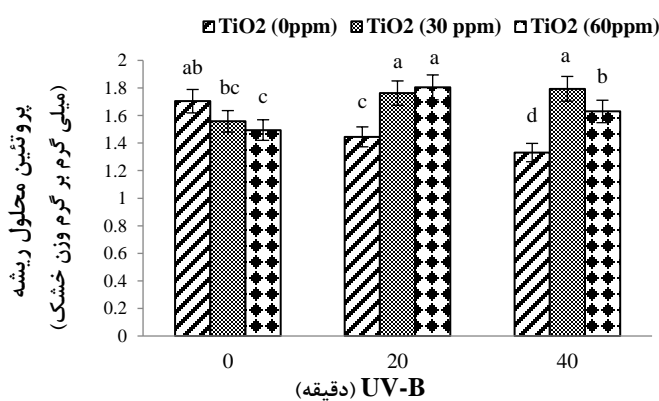
پروتئین رویسکو، ATP از و زیرواحدهای پروتئینی فتوسیستم‌های I و II از مهمترین پروتئین‌هایی هستند که تحت تأثیر پرتوهای یووی دچار تخریب می‌شوند (García-Gómez et al., 2012). این اثرات در فتوسیستم II بیشتر است زیرا کمپلکس اکسید کننده آب بیشترین حساسیت را به UV-B داشته، مگنز نیز مسئول اکسیداسیون آب هست و حساس ترین و شکننده ترین جزئی زنجیره انتقال الکترون در برابر UV-B است (Szilárd et al., 2007). سطوح زیاد UV-B میزان آنزیم‌های کربکسیلاسیون و میزان زیر واحدهای آنزیم رویسکو را کاهش می‌دهد و باعث کاهش نسخه برداری ژن و کاهش پروتئین و ایجاد تغییرات در زنجیره پپتیدی شده و منجر به غیر فعال شدن آنزیم رویسکو می‌شود (Bischof et al., 2000). کاهش محتوای پروتئین در گیاه فلفل تحت تیمار پرتوهای یووی توسط Mahdavian و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شده است. در گیاهانی مثل کدو، سویا، نخود و ذرت کاهش محتوای پروتئینی برگ به دلیل افزایش رادیکال‌های اکسیژن فعال تحت تأثیر اشعه UV-B گزارش شده است (Gao, 2002; Kavacs and Keresztes, 2004; Khater and Osman, 2015). با بررسی تأثیر نانوذرات تیتانیوم بر روی رشد، عملکرد و خواص شیمیایی گیاه Coriander اعلام نموده‌اند که استفاده از نانوذرات تیتانیوم تأثیر معنی داری بر میزان پروتئین محلول در اندام گیاه داشت. به طوری که با افزایش غلظت نانوذرات، محتوای پروتئین محلول افزایش یافت. محتوای پروتئین محلول نیز به محتوای کلروفیل موجود در برگهای گیاه بستگی دارد (Ren et al., 2011).



بهینه غلظت نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در افزایش فتوسنتز و افزایش عملکرد اسیدهای امینه و تقویت رشد گیاه، اخیرا توسط گوهری و همکاران گزارش شده است (Gohari et al., 2020).



شکل ۵. میزان تغییرات پروتئین اندام هوایی در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

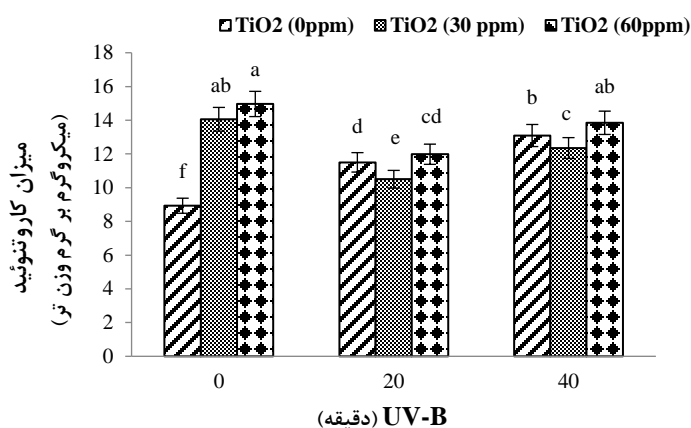


شکل ۶. میزان تغییرات پروتئین ریشه در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

### - میزان کاروتنوئیدها

نتایج نشان داد اعمال تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در گیاه مریم گلی، موجب افزایش محتوای کاروتنوئیدها نسبت به گیاهان شاهد شد، بیشترین افزایش در تیمار نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با غلظت ۶۰ پی پی ام مشاهده شد (شکل ۷). اعمال توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به همراه UV-B با توجه به غلظت بکار رفته تاثیر متفاوتی بر محتوای کاروتنوئیدها داشت به طوری که تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰ پی پی ام همراه با UV-B ۲۰ دقیقه موجب کاهش محتوای کاروتنوئیدها نسبت به اعمال تنهایی UV-B ۲۰ دقیقه شد، ولی تیمار نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با غلظت ۶۰ پی پی ام همراه با UV-B ۲۰ دقیقه موجب افزایش محتوای کاروتنوئیدها هم نسبت به گیاهان شاهد و هم نسبت به تیمار UV-B ۲۰ دقیقه به تنهایی شد (شکل ۷). همچنین نتایج نشان داد در تیمار توام نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با UV-B ۴۰، غلظت ۳۰ پی پی ام آن موجب کاهش محتوای کاروتنوئیدها نسبت به اعمال UV-B ۴۰ دقیقه به تنهایی شد. ولی غلظت ۶۰ پی پی ام آن موجب افزایش نسبت به اعمال UV-B ۴۰ دقیقه به تنهایی شد (شکل ۷).

رنگیزه‌های فتوسنتزی بعلت کاهش ظرفیت فتوسنتزی با اشعه UV-B تخریب می‌شود. سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی برای زنده ماندن گیاهان در محیط‌های در معرض اشعه ماوراء بنفش حائز اهمیت هستند. گیاهان سازوکارهای محافظتی در برابر تنش UV-B ایجاد کرده‌اند، از جمله تقویت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی (Brosché and Strid, 2003) و تجمع ترکیبات جذب کننده اشعه یووی (Fedina et al., 2007). اشعه ماوراء بنفش بیوستز ترکیبات جذب کننده اشعه ماوراء بنفش به عنوان مثال کاروتنوئیدها را تحریک می‌کند، کاروتنوئیدها در محافظت مستقیم از سیستم‌های فتوسنتزی در برابر اشعه ماوراء بنفش نقش مهمی دارند (Salama et al., 2011). نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم باعث حفظ و ثبات کاروتنوئید در گیاهان نخود تحت تنش شدند، همچنین افزایش تحمل به تنش در گیاهانی که با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم محلول‌پاشی شده بودند مشاهده شد (Mohammadi et al., 2014).



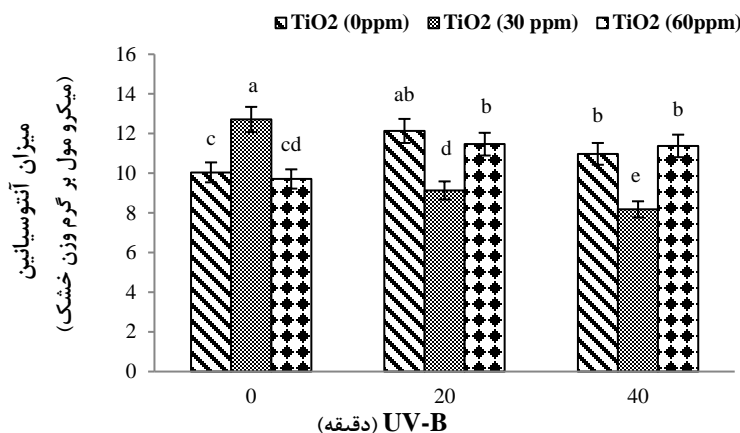
شکل ۷. میزان تغییرات کاروتنوئیدها در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

### - میزان آنتوسیانین

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات میزان آنتوسیانین‌ها بین تیمارهای نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و UV-B معنی دار بود. بررسی نتایج نشان داد که UV-B موجب افزایش میزان آنتوسیانین‌ها نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۸). تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام موجب افزایش میزان آنتوسیانین‌ها نسبت به گیاهان شاهد شد، بیشترین افزایش در تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام مشاهده گردید (شکل ۸). این در حالیست که غلظت ۶۰ پی‌پی‌ام آن موجب کاهش میزان آنتوسیانین‌ها نسبت به گیاهان شاهد شد. اعمال توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام همراه با UV-B ۲۰ دقیقه موجب کاهش میزان آنتوسیانین‌ها هم نسبت به گیاهان شاهد و هم نسبت به اعمال تنهایی UV-B ۲۰ دقیقه شد، ولی تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۶۰ پی‌پی‌ام همراه با UV-B ۲۰ دقیقه موجب افزایش میزان آنتوسیانین‌ها نسبت به گیاهان شاهد گردید (شکل ۸).

گیاهان توانایی تولید و انباشته کردن ترکیبات جاذب اشعه‌ی یووی را دارند. Costa و همکاران (۲۰۰۶) افزایش ترکیبات فنلی از جمله فلاونوئید را در نوعی گل کلم گزارش کرده‌اند. ارتباط بین ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها و نقش محافظتی آن در برابر اثرات مضر اشعه UV-B در جهش یافته‌های آراییدوپسیس که در آن‌ها مسیر بیوستزی فلاونوئید رخ داده بود، مورد بررسی قرار گرفته است (Booij-James et al., 2000). آنتوسیانین‌ها یکی از ترکیباتی می‌باشند که بیان ژنهای آنها تحت تاثیر اشعه‌ی یووی

افزایش می‌یابد. آن‌ها، همچنین به عنوان جاذب اشعه‌ی یووی بوده و گیاهان را در برابر اشعه UV-B با حفاظت و ترمیم DNA محافظت می‌کنند (Shourie et al., 2014) در میان متابولیت‌های ثانویه آنتوسیانین‌ها می‌توانند در حذف گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش به علت دارا بودن گروه‌های هیدروکسیل شرکت کنند (Dawart et al., 1998).



شکل ۸. میزان تغییرات آنتوسیانین‌ها در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

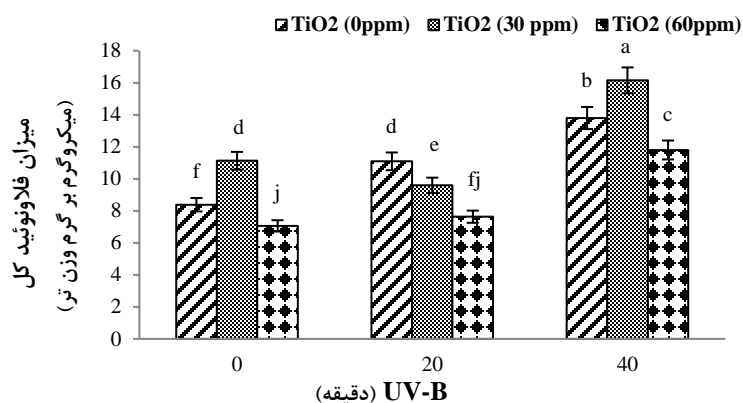
#### - میزان فلاونوئید کل

بررسی نتایج نشان داد که UV-B موجب افزایش میزان فلاونوئیدها نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۹). اعمال تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام موجب افزایش میزان فلاونوئیدها نسبت به گیاهان شاهد شد، این در حالیست که غلظت ۶۰ پی‌پی‌ام آن موجب کاهش میزان فلاونوئیدها نسبت به گیاهان شاهد شد.

بررسی‌ها نشان داد که تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم همراه با UV-B ۲۰ دقیقه موجب کاهش میزان فلاونوئیدها نسبت به اعمال تنهایی UV-B ۲۰ دقیقه شد. همچنین در تیمار توام نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با UV-B ۴۰ دقیقه، غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام آن موجب افزایش میزان فلاونوئیدها هم نسبت به گیاهان شاهد و هم نسبت به اعمال UV-B ۴۰ دقیقه به تنهایی گردید. بیشترین افزایش در این تیمار مشاهده گردید. این در حالیست که غلظت ۶۰ پی‌پی‌ام آن موجب کاهش نسبت به اعمال UV-B ۴۰ دقیقه به تنهایی شد. افزایش غلظت فلاونوئیدها ناشی از فعالیت زیاد PAL یا سرعت بالای سنتز این آنزیم تحت تاثیر تنش UV است (Wang et al., 2006). ترکیبات فنلی جذب کننده UV و فلاونوئیدها در پاسخ به اشعه ماورا بنفش در بسیاری از گیاهان به تعداد زیاد افزایش می‌یابند. همچنین فلاونوئیدها در بهبود تنش در بسیاری از گونه‌های گیاهی نقش دارند (Julkunen-Tiitto et al., 2015) و در پاسخ به نور UV تحریک می‌شوند (Dixon et al., 2001). گزارش شده است فلاونوئیدها دارای نقش آنتی‌اکسیدانی بوده و باعث سمیت زدایی گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (Inze and Montagu, 2002) افزایش فلاونوئیدها در تیمار با UV از ویژگیهای دفاعی برخی از گیاهان در برابر پرتوهای UV است. ترکیبات فنلی با جذب طیف ماورابنفش و قابلیت آنتی‌اکسیدانی و سمیت‌زدایی رادیکالهای اکسیژن باعث افزایش مقاومت گیاهان تحت تابش اشعه ماورا بنفش می‌شوند (Inze and Montagu, 2002). گزارش‌ها نشان می‌دهد که مقدار و فعالیت آنزیم کالکون سنتاز که نقش اساسی در بیوسنتز فلاونوئیدها را دارد تحت تاثیر پرتوهای فرابنفش افزایش می‌یابد (Sakihama et al., 2002) افزایش بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز آنتوسیانین‌ها در

راستای افزایش محتوای آنها در گیاهان شلغم (Zhou et al., 2005) و واریته‌هایی از سیب (Ubi et al., 2006) تحت تأثیر پرتوهای فرابنفش نشان داده شده است.

گزارش شده که کاربرد نانو ذرات دی اکسیدتیتانیوم باعث افزایش محتوای فنل و فلاونوئید کل در گیاه شده است (Ghorbanpour and Hatami, 2014). در گیاه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra*) در اثر تیمار با نانو ذرات اکسید روی و اکسید مس افزایش در ترکیبات فنلی مشاهده شد (Oloumi et al., 2015).



شکل ۹. میزان تغییرات فلاونوئید کل در تیمارهای UV-B و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

#### ۴. نتیجه‌گیری کلی

نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم توانست در گیاه مریم گلی با تحریک سیستم دفاعی غیر آنزیمی (کاروتنوئید، فلاونوئید، آنتوسیانین) به عنوان واکنشی در جهت محافظت تنش ناشی از تابش اشعه ماورابنفش را تا حدی جبران کند. در این بین بیشترین تأثیر مربوط به نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام بود.

#### ۵. منابع

- Amal, A., Dina, Z. and Abd Elghafar, M. 2006. Metabolic responses of soybean (*Glycine max* L.) plant to in increasing UV (A + B) radiation. Assiut. University. *Journal of Botany*, 35(2): 107-125.
- Bischof, K., Hanelt, D. and Wiencke, C. 2000. Effects of ultraviolet radiation on photosynthesis and related enzyme reactions of marine macroalgae. *Planta*, 211(4): 555-562.
- Block, M.D., Verduyn, C., Brouwer, D. and Cornelissen, M. 2005. Poly (ADP-ribose) polymerase in plants affects energy homeostasis, cell death and stress tolerance. *The Plant Journal*, 41(1): 95-106.
- Booij-James, I.S., Dube, S.K., Jansen, M.A., Edelman, M. and Mattoo, A.K. 2000. Ultraviolet-B radiation impacts light-mediated turnover of the photosystem II reaction center heterodimer in Arabidopsis mutants altered in phenolic metabolism. *Plant Physiology*, 124(3): 1275-1284.
- Brosché, M. and Strid, Å. 2003. Molecular events following perception of Ultraviolet-B radiation by plants. *Physiologia Plantarum*, 117(1): 1-10.
- Caprette, D.R., Armstrong, S. and Beason, K.B. 2005. Modular laboratory courses: An alternative to a traditional laboratory program. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 33(5): 351-355.
- Casati, P. and Walbot, V. 2004. Crosslinking of ribosomal proteins to RNA in maize ribosomes by UV-B and its effects on translation. *Plant physiology*, 136(2): 3319-3332.

- Costa, L., Vicente, A.R., Civello, P.M., Chaves, A.R. and Martínez, G.A. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, 39(2): 204-210.
- Dimitrios, B. 2006. Sources of natural phenolic antioxidants. *Trends in food science & Technology*, 17(9): 505-512.
- Dixon, P., Weinig, C. and Schmitt, J. 2001. Susceptibility to UV damage in *Impatiens capensis* (Balsaminaceae): testing for opportunity costs to shade-avoidance and population differentiation. *American Journal of Botany*, 88: 1401-1408.
- Esmaeili, M.A., Sonboli, A., Kanani, M.R. and Heibatollah, S. 2009. *Salvia sahendica* prevents tissue damages induced by alcohol in oxidative stress conditions: Effect on liver and kidney oxidative parameters. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3: 276-283.
- Fedina, I., Velitchkova, M., Georgieva, K., Demirevska, K. and Simova, L. 2007. UV-B response of green and etiolated barley seedlings. *Biologia Plantarum*, 51(4): 699-706.
- Fomicheva, A.S., Tuzhikov, A.I., Beloshistov, R.E., Trusova, S.V., Galiullina, R.A., Mochalova, L.V. and Vartapetian, A.B. 2012. Programmed cell death in plants. *Biochemistr (Moscow)*, 77(13): 1452-1464.
- García-Gómez, C., Parages, M.L., Jiménez, C., Palma, A., Mata, M.T., and Segovia, M. 2012. Cell survival after UV radiation stress in the unicellular chlorophyte *Dunaliella tertiolecta* is mediated by DNA repair and MAPK phosphorylation. *Journal of experimental botany*, 63(14): 5259-5274.
- Gao, W., Zheng, Y., Slusser, J.R. and Heisler, G.M. 2003. Impact of enhanced ultraviolet-B irradiance on cotton growth, development, yield, and qualities under field conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120(1-4): 241-248.
- Gao, F., Hong, F., Liu, C., Zheng, L., Su, M., Wu, X., Yang, F., Wu, C. and Yang, P. 2006. Mechanism of nano-anatase TiO<sub>2</sub> on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach: Inducing complex of rubisco-rubisco activase. *Biological trace element research*, 111: 239-253.
- Ghanizadeh-Kazerouni, E., Franklin, C.E. and Seebacher, F. 2017. Living in flowing water increases resistance to ultraviolet B radiation. *Journal of Experimental Biology*, 220(4): 582-587.
- Ghorbanpour, M. and Hatami, M. 2014. Spray treatment with silver nanoparticles plus thidiazuron increases anti-oxidant enzyme activities and reduces petal and leaf abscission in four cultivars of geranium (*Pelargonium zonale*) during storage in the dark. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 89(6): 712-718.
- Gohari, G., Mohammadi, A., Akbari, A., Panahirad, S., Dadpour, M.R., Fotopoulos, V. and Kimura, S. 2020. Titanium dioxide nanoparticles (TiO<sub>2</sub> NPs) promote growth and ameliorate salinity stress effects on essential oil profile and biochemical attributes of *Dracocephalum moldavica*. *Scientific reports*, 10(1): 1-14.
- Golami, A., Abbaspour, H., Hashemi-Moghaddam, H. and Gerami, M. 2018. Photocatalytic Effect of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles on Essential Oil of *Rosmarinus Officinalis*. *Journal of Biochemical Technology*, 9(4): 50.
- Hassan, I.A., Basahi, J.M., Kadi, M.W. and Zeid, H.M.A. 2012. Physiological and biochemical impairment in bean plants due to supplementary ultraviolet radiation and water stress: possible protective roles of secondary metabolites. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(9): 552-561.
- Hatami, M., Ghorbanpour, M. and Salehjarjomand, H. 2014. Nano-anatase TiO<sub>2</sub> modulates the germination behavior and seedling vigority of some commercially important medicinal and aromatic plants. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 8(22): 53-59.
- Hezaveh, T.A., Rahmani, F., Alipour, H. and Pourakbar, L. 2020. Effects of foliar application of ZnO nanoparticles on secondary metabolite and micro-elements of camelina (*Camelina sativa* L.) under salinity stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 16(4): 54-69.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J. and Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments: a review. *Plant signaling & behavior*, 7(11): 1456-1466.
- Hopkins, L., Bond, M.A. and Tobin, A.K. 2002. Ultraviolet-B radiation reduces the rates of cell division and elongation in the primary leaf of wheat (*Triticum aestivum* L. cv Maris Huntsman). *Plant, Cell & Environment*, 25(5): 617-624.
- Inze, D. and Montagu, M.V. 2002. Oxidative stress in plants. *Taylor and Francis*: 1-321
- Jiang, L., Wang, Y., Björn, L.O. and Li, S. 2011. Does cell cycle arrest occur in plant under solar UV-B radiation? *Plant signaling & behavior*, 6(6): 892-894.
- Juhel, G., Batisse, E., Hugues, Q., Daly, D., van Pelt, F.N., O'Halloran, J. and Jansen, M.A. 2011. Alumina nanoparticles enhance growth of *Lemna minor*. *Aquatic toxicology*, 105(3-4): 328-336.
- Julkunen-Tiitto, R., Nenadis, N., Neugart, S., Robson, M., Agati, G., Vepsäläinen, J., Zipoli, G., Nybakken, L., Winkler, B. and Jansen, M.A. 2015. Assessing the response of plant flavonoids to UV radiation: an overview of appropriate techniques. *Phytochemistry Reviews*, 14: 273-297.
- Khater, M.S. and Osman, Y.A.H. 2015. Influence of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on growth, chemical constituents and toxicity of fennel plant. *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications*, 48: 178-186.

- Khodakovskaya, M.V., De Silva, K., Biris, A.S., Dervishi, E. and Villagarcia, H. 2012. Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. *ACS nano*, 6(3): 2128-2135.
- Kovacs, E. and Keresztes, A. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*, 33(2): 199-210.
- Kurepa, J., Shull, T.E. and Smalle, J.A. 2020. Metabolomic analyses of the bio-corona formed on TiO<sub>2</sub> nanoparticles incubated with plant leaf tissues. *Journal of Nanobiotechnology*, 18: 1-10.
- Larue, C., Laurette, J., Herlin-Boime, N., Khodja, H., Fayard, B., Flank, A.M., Brisset, F. and Carriere, M. 2012. Accumulation, translocation and impact of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* spp.): influence of diameter and crystal phase. *Science of the total environment*, 431: 197-208.
- Lei, Z., Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Liang, C., Hao, H., Xiaoqing, L. and Fashui, H. 2008. Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts under UV-B radiation. *Biological Trace Element Research*, 121: 69-79.
- Mahdavian, K., Ghorbanli, M. and KALANTARI, K. 2008. The effects of ultraviolet radiation on the contents of chlorophyll, flavonoid, anthocyanin and proline in *Capsicum annuum* L. *Turkish Journal of Botany*, 32(1): 25-33.
- Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Xiaoqing, L., Liang, C., Hao, H. and Fashui, H. 2007. Promotion of energy transfer and oxygen evolution in spinach photosystem II by nano-anatase TiO<sub>2</sub>. *Biological trace element research*, 119: 183-192.
- Mohammadi, R., Maali-Amiri, R. and Mantri, N.L. 2014. Effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on oxidative damage and antioxidant defense systems in chickpea seedlings during cold stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61: 768-775.
- Morteza, E., Moaveni, P., Farahani, H.A. and Kiyani, M. 2013. Study of photosynthetic pigments changes of maize (*Zea mays* L.) under nano TiO<sub>2</sub> spraying at various growth stages. *SpringerPlus*, 2: 1-5.
- Mutlu, F., Yurekli, F., Mutlu, B., Emre, F.B., Okusluk, F. and Ozgul, O. 2018. Assessment of phytotoxic and genotoxic effects of anatase TiO<sub>2</sub> nanoparticles on maize cultivar by using RAPD analysis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(1): 436-445.
- Nawkar, G.M., Maibam, P., Park, J.H., Sahi, V.P., Lee, S.Y. and Kang, C.H. 2013. UV-induced cell death in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(1): 1608-1628.
- Nouri, F., Hosseini Sarghein, S. and Jamei, R. 2015. Effect of UV-B radiation on photosynthetic pigments and UV-absorbing compounds of three different soybean cultivars (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Plant Physiology*, 6(1): 1597-1602.
- Oloumi, H., Soltaninejad, R. and Baghizadeh, A. 2015. The comparative effects of nano and bulk size particles of CuO and ZnO on glycyrrhizin and phenolic compounds contents in *Glycyrrhiza glabra* L. seedlings. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20: 157-161.
- Pourmorad, F., Hosseinimehr, S.J. and Shahabimajd, N. 2006. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African journal of biotechnology*, 5(11).
- Rajalakshmi, K. and Banu, N. 2015. Extraction and estimation of chlorophyll from medicinal plants. *International Journal of Science and Research*, 4(11): 209-212.
- Sá, C.M., Ramos, A.A., Azevedo, M.F., Lima, C.F., Fernandes-Ferreira, M. and Pereira-Wilson, C. 2009. Sage tea drinking improves lipid profile and antioxidant defences in humans. *International journal of molecular sciences*, 10(9): 3937-3950.
- Reddy, K.R., Singh, S.K., Koti, S., Kakani, V.G., Zhao, D., Gao, W. and Reddy, V.R. 2013. Quantifying corn growth and physiological responses to ultraviolet-B radiation for modeling. *Agronomy journal*, 105(5): 1367-1377.
- Ren, H.X., Liu, L., Liu, C., He, S.Y., Huang, J., Li, J.L., Zhang, Y., Huang, X.J. and Gu, N. 2011. Physiological investigation of magnetic iron oxide nanoparticles towards Chinese mung bean. *Journal of biomedical nanotechnology*, 7(5): 677-684.
- Regmi, H. and Desaegeer, J. 2020. Integrated management of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) in Florida tomatoes combining host resistance and nematicides. *Crop protection*, 134: 105170.
- Sakihama, Y., Cohen, M.F., Grace, S.C. and Yamasaki, H. 2002. Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*, 177(1): 67-80.
- Sá, C.M., Ramos, A.A., Azevedo, M.F., Lima, C.F., Fernandes-Ferreira, M. and Pereira-Wilson, C. 2009. Sage tea drinking improves lipid profile and antioxidant defences in humans. *International journal of molecular sciences*, 10(9): 3937-3950.
- Salama, H.M., Al Watban, A.A. and Al-Fughom, A.T. 2011. Effect of ultraviolet radiation on chlorophyll, carotenoid, protein and proline contents of some annual desert plants. *Saudi journal of biological sciences*, 18(1): 79-86.

- Sarghein, S.H., Carapetian, J. and Khara, J. 2008. Effects of UV-radiation on photosynthetic pigments and UV absorbing compounds in *Capsicum longum* (L.). *International Journal of Botany*.
- Shourie, A., Tomar, P., Srivastava, D. and Chauhan, R. 2014. Enhanced biosynthesis of quercetin occurs as a photoprotective measure in *Lycopersicon esculentum* Mill. under acute UV-B exposure. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57: 317-325.
- Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H. and Mohammad, F. 2015. Nanotechnology and plant sciences. Springer International Publishing, *Cham*, 10: 978-3.
- Singh, D., Kumar, S., Singh, S.C., Lal, B. and Singh, N.B. 2012. Applications of liquid assisted pulsed laser ablation synthesized TiO<sub>2</sub> nanoparticles on germination, growth and biochemical parameters of Brassica oleracea var. Capitata. *Science of Advanced Materials*, 4(3-4): 522-531.
- Sotiropoulou, N.S., Megremi, S.F. and Tarantilis, P. 2020. Evaluation of antioxidant activity, toxicity, and phenolic profile of aqueous extracts of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.) prepared at different temperatures. *Applied Sciences*, 10(7): 2270.
- Szilárd, A., Sass, L., Deák, Z. and Vass, I. 2007. The sensitivity of Photosystem II to damage by UV-B radiation depends on the oxidation state of the water-splitting complex. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1767(6): 876-882.
- Ubi, B.E., Honda, C., Bessho, H., Kondo, S., Wada, M., Kobayashi, S. and Moriguchi, T. 2006. Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin: effect of UV-B and temperature. *Plant Science*, 170(3): 571-578.
- Wang, J.W., Zheng, L.P., Wu, J.Y. and Tan, R.X. 2006. Involvement of nitric oxide in oxidative burst, phenylalanine ammonia-lyase activation and Taxol production induced by low-energy ultrasound in *Taxus yunnanensis* cell suspension cultures. *Nitric Oxide*, 15(4): 351-358.
- Yu, G.H., Li, W., Yuan, Z.Y., Cui, H.Y., Lv, C.G., Gao, Z.P., Han, B., Gong, Y.Z. and Chen, G.X. 2013. The effects of enhanced UV-B radiation on photosynthetic and biochemical activities in super-high-yield hybrid rice Liangyoupeijiu at the reproductive stage. *Photosynthetica*, 51(1): 33-44.
- Ma, Y., Kuang, L., He, X., Bai, W., Ding, Y., Zhang, Z., Zhao, Y. and Chai, Z. 2010. Effects of rare earth oxide nanoparticles on root elongation of plants. *Chemosphere*, 78(3): 273-279.
- Zhou, L.L., Zhou, L.Y., Luo, K.Q. and Chang, D.C. 2005. Smac/DIABLO and cytochrome c are released from mitochondria through a similar mechanism during UV-induced apoptosis. *Apoptosis*, 10: 289-299.