مطالعهٔ اثر میدان مغناطیسی و سالیسیلیک‌اسید بر گیاه بادرنجبویه (نعناعیان) تحت تنش فرابنفش B

لطیفه پوراکبر* و مهدی عابدزاده

دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۶/ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

دانشکدهٔ علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

*مسئول مکاتبات: l.pourakbar@urmia.ac.ir

چکیده. اثرات ناشی از کاهش لایهٔ اوزون و افزایش اشعهٔ فرابنفش را امروزه بسیاری از محققان بررسی کرده‌اند. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر پرتو UV-B بر گیاه بادرنجبویه (*ملیسا اوفیسینالیس*) و تأثیر سالیسیلیک اسید و میدان مغناطیسی در کاهش اثر زیان‌بار این پرتو بر این گیاه بود. گیاهان بادرنجبویه به مدت ۶۰ روز در وضعیت گلخانه‌ای کشت یافتند. تیمار فرابنفش بعد از مرحلهٔ شش‌برگی اعمال شد و پرتو UV-B به مدت ۱۵ روز و هربار به مدت ۲۰ دقیقه اعمال گردید. اسید سالیسیلیک نیز بعد از مرحلهٔ شش‌برگی با غلظت ۱ میلی‌مولار به مدت یک‌هفته روی گیاهان پاشیده شد. تیمار میدان مغناطیسی به مدت یک ساعت و با شدت‌های صفر، ۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا اعمال شد. نتایج نشان داد که پرتو UV-B باعث کاهش وزن تر و خشک، رشد طولی ریشه و اندام هوایی شد. این پرتو همچنین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید)، میزان قندها و پروتئین‌های محلول را کاهش داد. میزان فعالیت فنیل‌آلانین آمونیالیاز و ترکیبات جاذب UV نیز تحت تأثیر پرتوهای UV-B افزایش نشان داد. بررسی نتایج نشان داد تیمار با سالیسیلیک اسید و میدان مغناطیسی باعث تخفیف آسیب‌های ناشی از اعمال پرتوهای UV-B در گیاه شد و توانست فاکتورهایی را که تحت تابش‌های فرابنفش تغییر یافته بودند جبران کند.

واژه‌های کلیدی. پرتو فرابنفش، گیاه بادرنجبویه، سالیسیلیک اسید، میدان مغناطیسی، فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز

Investigating the effects of magnetic field and salicylic acid on *Melissa officinalis* (Lamiaceae) under UV-B stress

Latifeh Pourakbar* and Mehdi Abedzadeh

Received 17.12.2013/ Accepted 07.01.2015

Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

*Correspondent author: l.pourakbar@urmia.ac.ir

Abstract. Effects of ozone depletion and increase of UV radiation have been studied by many researchers. The aim of this study was to investigate the effects of UV-B radiation on *Melissa officinalis* L. as well as the impact of salicylic acid and magnetic fields in the reduction of harmful effects of radiation on plants. The *Melissa officinali*s L. plants were treated with 28 ± 2 C° for approximately 60 days. The light intensity was 150 µ E m^{-2} S^{-1} and the light/dark regime was 16/8 h. UV-B treatment was applied after the six-leaf stage for a period of 15 days and 20 min every day. Salicylic acid (1mM) was daily sprayed on the plants after the six-leaf stage for one week. Magnetic field treatment was applied for an hour with intensities of 0, 40 and 85 mT. The results indicated that the UV-B radiation led to reduction of root and shoot dry and fresh weights, and root and shoot elongation. The radiations also reduced the content of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid), sugar and soluble proteins. The phenylalanine ammonia-lyase activity and UV-absorbing content compounds increased under the effect of UV-B radiation. The results showed that treatment with salicylic acid and magnetic fields reduced damages to the plant due to UV-B radiation.

Keywords. UV radiation, *Melissa officinalis* L., magnetic field, salicylic acid, phenylalanine ammonia-lyase

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

مقدمه

امروزه فعالیت‌های صنعتی بشر باعث افزایش ترکیبات آلوده-کنندهٔ اتمسفر به‌خصوص ترکیبات هالوژن‌دار شده است که این ترکیبات به دلیل پایداری زیاد به سطح استراتوسفر می‌رسند و باعث تخریب لایهٔ اوزون می‌شوند. کاهش لایهٔ اوزون باعث افزایش میزان پرتوهای فرابنفش در سطح زمین شده‌است و مشکلاتی را برای موجودات زنده به وجود آورده است (Buchholz *et al*., 1995). درمیان موجودات زنده، گیاهان به دلیل احتیاج اجتناب‌ناپذیرشان به نور برای انجام فتوسنتز، بیشتر تحت تأثیر پرتوهای فرابنفش قرار می‌گیرند و آسیب‌پذیرتر هستند (Booji-James *et al*., 2000). اشعهٔ UV موجب تغییر در مورفولوژی گیاهان می‌شود که شامل تغییر در شکل برگ، افزایش شاخه‌های جانبی، کاهش میان‌گره‌ها، کاهش سطح برگ، کاهش بسامد روزنه‌ای و کاهش ارتفاع گیاه است (Horii *et al*., 2007). به دلیل جذب اشعهٔ UV توسط اسیدهای آمینهٔ حلقوی مانند فنیل‌آلانین و تیروزین، پروتئین‌ها نسبت به UV به‌خصوص UV-B جذب بالایی نشان می‌دهند (Hollosy, 2002). پاسخ گیاهان به اشعهٔ UV به گونهٔ گیاهی، رقم کشاورزی، مراحل رشد و نمو، وضعیت رشد و میزان نور UV بستگی دارد (Qin *et al*., 2004). ازطرف دیگر، فسفولیپیدها و گلیکولیپیدها از اجزای اصلی غشاهای سلول‌های گیاهی هستند که اسیدهای چرب غیراشباع دارند و در حضور اکسیژن و UV تخریب می‌شوند (Rhybus-Zajac & Kubis., 2010).

پراکسیداسیون لیپیدها هم جزء آسیب‌های اکسیداتیو است که از محصولات این عمل می‌توان به MDA (مالون دی‌آلدئید) و پراکسیدهیدروژن اشاره کرد (Holzinger & Lutz., 2006). پرتو فرابنفش باعث کاهش مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و نیز کاروتنوئیدها می‌شود. کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند به دلیل تأثیر این اشعه بر پیش‌سازهای سنتز کلروفیل یا تخریب کلروفیل موجود باشد. کاهش کاروتنوئیدها می‌تواند به‌علت تبدیل آن به آبسیزیک اسید باشد که عموماً در استرس‌های محیطی مقدار آبسیزیک اسید افزایش می‌یابد (Mahdavian *et al*., 2008). سالیسیلیک اسید تنظیم کنندهٔ رشد درونی از گروه ترکیبات فنولی طبیعی است که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش مهمی دارد. القای گل‌دهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، تأثیر در باز و بسته شدن‌روزنه‌ها، تنفس، جذب یون، تکامل گیاه، فتوسنتز و جوانه‌زنی از نقش‌های مهم سالیسیلیک اسید به شمار می‌رود (El-Tayeb *et al*., 2006). سالیسیلیک اسید همچنین باعث فعال‌شدن سیستم مقاومت اکتسابی سیستمیک، سنتز متابولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود (Eraslan *et al*., 2008). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید در تنظیم و ایجاد علامت‌هایی برای بیان ژن‌ها در زمان پیری در گیاه آرابیدوپسیس دخالت دارد (Morris *et al*., 2000). سالیسیلیک اسید در گیاهانی که درمعرض تنش‌های محیطی ازقبیل شوری، خشکی، فلزات سنگین، گرمازدگی و سرمازدگی هستند نقش حفاظتی دارد (Chakraboyty & Tongden, 2005).

تغییرات ایجاد شده در طبیعت در اثر دخالت‌های انسان در خاک، آب و هوا به دلیل استفاده از مواد شیمیایی مختلف برای افزایش بهره‌وری گیاهان به جست‌جو جهت پیدا کردن روش-های جدید منجر شده است. بنابراین جایگزینی کودها و مکمل-های شیمیایی با تیمارهای فیزیکی ازقبیل میدان مغناطیسی، میزان سموم را در مواد خام گیاهی کاهش می‌دهد و باعث افزایش سلامت غذایی و محیط زیست می‌شود (Balouchi & Sanavy, 2009). بررسی تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر باقلای مصری سفید و تربچه نشان داده است که میدان‌های مغناطیسی، جوانه‌زنی را در باقلای مصری سفید و تربچه تحریک می‌کند و تأثیری مثبت بر توسعهٔ گیاه و تولید سالانهٔ بذر دارد و محصول سالانه را افزایش می‌دهد (Podleoeny *et al*., 2005). همچنین نشان داده شده است که میدان مغناطیسی موجب افزایش جوانه‌زنی، وزن تر و طول ساقه در گیاه آفتابگردان می-شود و تأثیر مثبتی بر شاخص‌های بنیهٔ بذر دارد (Vashisth & Nagarajan, 2010).

بادرنجبویه با نام علمی *Melissa officinalis* L. گیاهی از تیرهٔ نعناعیان و از گیاهان دارویی است که از مهم‌ترین خواص دارویی آن می‌توان به آرام‌بخشی، تقویت اعصاب، ضدنفخ و تقویت‌کنندهٔ حافظه اشاره کرد (Kennedy *et al*., 2006). این گیاه در ارومیه برای استفاده از عرق آن به عنوان شربت و

اسانس در تولید شیرینی‌جات در حد وسیعی کشت می‌شود. تا-کنون تحقیقاتی در زمینهٔ اثر میدان‌های مغناطیسی به همراه برخی تنش‌های محیطی مثل UV انجام نگرفته است، بنابراین هدف این مطالعه بررسی تأثیر پرتوهای UV-B و نقش سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک مادهٔ شیمیایی و میدان مغناطیسی به مثابهٔ روش فیزیکی در تخفیف آثار زیان‌بار این پرتوها بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان بادرنجبویه (*ملیسا اوفیسینالیس*) بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و وضعیت رشد

ابتدا خاک و ماسهٔ مورد استفاده جهت کشت در اتوکلاو و در دمای ۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر به مدت ۵ ساعت استریل شدند. خاک و ماسه به نسبت ۱ به ۴ باهم مخلوط شدند. بذرهای سالم و یکنواخت بادرنجبویه به مدت ۱۵ دقیقه در محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم استریل و سپس با آب مقطر کاملاً شست‌وشو داده شد و نصف بذرها برای جوانه‌زنی در داخل پتری‌دیش قرار گرفتند؛ نصف دیگر پس‌از ضدعفونی با هیپوکلریت ۵ درصد و شست‌شو با آب به مدت صفر و ۶۰ دقیقه درمعرض میدان‌های مغناطیسی با شدت صفر، ۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا در آزمایشگاه ابر رسانایی قرار گرفتند. جهت اعمال تیمار از تولیدکنندهٔ میدان مغناطیسی ساخت ایران با قدرت تولید میدان مغناطیسی تا ۲ تسلا، برای ایجاد شدت میدان ذکرشده از منبع تغذیهٔ AP 10090 ساخت انگلیس و برای سنجش میدان مغناطیسی ایجادشده از دستگاه تسلامتر مدل فیو ساخت آلمان با قدرت اندازه‌گیری ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌تسلا استفاده شد. سه گروه ۲۰ تایی از بذرها (بدون تیمار میدان مغناطیسی و با تیمار میدان-های مغناطیسی ۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا) به صورت جداگانه درون ظروف پتری‌دیش به قطر ۱۱ سانتی‌متر که حاوی کاغذ صافی واتمن شمارهٔ ۱ و آب مقطر بود انتقال یافتند. پس‌از جوانه‌زنی ۴ دانه رست یک‌دست و همسان به هر گلدان انتقال یافتند و در فضای گلخانه با دمای حدود ۲±۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد و در شدت نور ۵۰۰۰ لوکس معادل ۱۵۰ $EmM^{-2}s^{-1}$ با فتوپریودی به مدت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی پرورش یافتند. گیاهان کشت‌شده با محلول هوگلند تغذیه شدند. یک هفته پس‌از کشت گلدان‌های تیماردیده دوباره به مدت ۱ ساعت در-معرض میدان‌های مغناطیسی با شدت‌های پیش‌گفته قرار گرفتند. سپس نصف گلدان‌های تیماردیده و نصف گلدان‌های بدون تیمار در یک ماه و به صورت یک‌روز در میان و هربار به مدت ۱۵ دقیقه درمعرض پرتوهای UV-B قرار گرفتند. اشعهٔ لازم برای تیمار UV-B توسط دو لامپ ۱۵ وات تأمین شد.

بعد از مرحلهٔ شش‌برگی، اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی-مولار به مدت یک‌هفته و هر روز روی برگ گیاهان پاشیده شد. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و ۶ تکرار برای هر تیمار انجام گرفت. تیمارها عبارت بودند از: گیاهان شاهد، گیاهان تحت تیمار میدان مغناطیسی ۴۰ میلی‌تسلا، گیاهان تحت تیمار میدان مغناطیسی ۸۵ میلی‌تسلا، گیاهان شاهد + محلول ۱mM سالیسیلیک اسید، گیاهان در معرض اشعه UV-B، گیاهان در معرض تابش فرابنفش B + محلول ۱mM سالیسیلیک اسید، گیاهان در معرض تابش فرابنفشB + میدان مغناطیسی ۴۰ میلی‌تسلا و گیاهان در معرض تابش فرابنفش B + میدان مغناطیسی ۸۵ میلی‌تسلا. پس‌از گذشت ۴۰ روز نمونه ها برداشت شده و سه تکرار از هر کدام بعد از جداسازی اندام هوایی از ریشه‌ها در داخل پاکت‌های مجزا قرار داده شد و برای تعیین وزن خشک به مدت ۷۲ ساعت در آون ۸۵ درجهٔ سانتی-گراد قرار گرفتند؛ سپس وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌ها بوسیلهٔ ترازویی با حساسیت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سه تکرار دیگر از هر تیمار برای تحلیل‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک که به وزن تر نیاز داشتند، بعد از جداسازی اندام هوایی و ریشه‌ها و توزین آنها به فریزر ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد منتقل شدند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

مطالعهٔ پارامترهای فیزیولوژیکی

اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید

میزان کلروفیل a (Chla)، b (Chlb) و کاروتنوئیدهای کل (C_{x+c}) با روش لیختنتالر و ولبورن اندازه‌گیری شد. یک گرم از بافت تر برگ توزین و با ۳۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد له شد. بعد از صاف‌کردن، عصاره به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۲۵۰۰ rpm سانتریفوژ شد. برای تعیین میزان کلروفیل a و b جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۳ و۶۴۵ نانومتر و برای تعیین میزان کاروتنوئیدها در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبهٔ مقادیر کلروفیل a و b و کاروتنوئید از فرمول لیختنتالر و ولبورن به شرح زیر استفاده شد:

$Chl_a = (11.75\ A_{663} - 2.350\ A_{645})$

$Chl_b = (18.61\ A_{645} - 3.960\ A_{663})$

$C_{x+c} = (1000A_{470} - 2.270\ Chl_a - 81.4\ Chl_b)\ /227$

A میزان جذب خوانده شدهٔ هر طول موج توسط اسپکتروفتومتر است.

اندازه‌گیری میزان قندهای محلول

برای اندازه‌گیری میزان قندهای محلول از روش فنل سولفوریک کوچرت استفاده شد (Kennedy, 2004). ابتدا ۰/۰۱ گرم مادهٔ خشک گیاهی در داخل هاون‌چینی که محتوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر بود ساییده شد. عصارهٔ حاصل در لوله‌های سانتریفوژ ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰g سانتریفوژ گردید. روی ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی، آب مقطر اضافه شد و حجم آن به ۲ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس به هریک از لوله‌های آزمایش، ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد اضافه کردیم و بعد از ده دقیقه ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ روی هرکدام اضافه شد. بعد از نیم‌ساعت میزان جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. غلظت قندهای محلول با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

اندازه‌گیری میزان پروتئین کل

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین‌ها از روش فولن لوری استفاده شد (Lowry *et al.,* 1951). بدین‌ترتیب که ۰/۰۱ گرم مادهٔ خشک گیاهی در داخل هاون چینی که محتوی ۵ میلی‌لیتر محلول تریس‌اسید کلریدریک بود ساییده شد. سپس عصاره‌های گیاهی ساییده شدهٔ هر تیمار، جداگانه در لوله‌های سانتریفوژ ریخته شد و به مدت ده دقیقه با دور ۴۰۰۰g سانتریفوژ شدند. ۱ میلی‌لیتر از محلول بالایی هر نمونه در لوله‌های آزمایش جداگانه ریخته شد و روی هرکدام ۴ میلی‌لیتر از محلول C اضافه شد. محلول C به‌ترتیب زیر تهیه شد:

محلول A: ۴ گرم کربنات کلسیم، ۰/۴ گرم هیدروکسید سدیم، ۰/۲ گرم سدیم پتاسیم تارتارات که مجموعاً در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد

محلول B: حاوی سولفات مس ۰/۵ درصد (W/V)

محلول C: ۵۰ میلی‌لیتر محلول A + ۱ میلی‌لیتر محلول B

بعد از ۱۰ دقیقه، ۱/۵ میلی‌لیتر محلول فولن رقیق‌شده با آب مقطر (۹:۱) به نمونه‌ها اضافه شده و به مدت نیم ساعت در تاریکی قرار گرفتند. درنهایت جذب نوری آنها در طول موج ۶۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل بیوویو اس ۲۱۰۰ خوانده‌شده و با استفاده از منحنی استاندارد پروتئین، میزان پروتئین نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز از روش بئودیون ایگان و تورپ استفاده شد (Beaudion –Eagan & Thorpe, 1989). مخلوط واکنش شامل بافرتریس ۰/۵ میلی-مولار با pH= ۸ و فنیل‌آلانین ۶ میکرومولار بود. ۲۰۰ میکرولیتر عصارهٔ آنزیمی به هر مخلوط واکنش افزوده شد و به مدت ۶۰ دقیقه در ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از ۶۰ دقیقه واکنش با افزودن ۵۰ میکرولیتر HCl نرمال متوقف شد و سپس جذب نمونه‌ها در ۲۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

بیوویو اس ۲۱۰۰ اندازه‌گیری شد. برای رسم منحنی استاندارد از اسید سینامیک به‌عنوان استاندارد استفاده شد و درنهایت فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز برحسب میکروگرم سینامات تولیدی به ازای هر میکروگرم پروتئین برای هریک از نمونه‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری میزان فلاونوئیدها

برای اندازه‌گیری فلاونوئیدها از روش جیا و همکاران استفاده شد(Jia *et al.*, 1999). یک‌دهم گرم از وزن تر برگ در هاون چینی که حاوی ۱۰ میلی‌لیتر متانول بود سائیده شد. سپس روی ۱ میلی‌لیتر از عصارهٔ استخراج‌شده، ۱ میلی‌لیتر محلول ۲ درصدآلومینیوم تری‌کلراید ($AlCl_3$) اضافه شد و حجم آن با اتانول به ۲۵ میلی‌لیتر رسید. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۳۰۰۰g سانتریفوژ شدند و بعد از ۴۰ دقیقه جذب نمونه‌ها (فاز بالایی نمونه‌های سانتریفوژشده) در طول موج‌های ۳۳۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل بیوویو اس ۲۱۰۰ اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت فلاونوئیدهای کل از ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ $mMcm^{-1}$ استفاده شد.

اندازه‌گیری آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین از روش ونگر استفاده شد (Wanger, 1979). یک‌دهم گرم وزن تر برگ در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (۹۹ درصد متانول و ۱ درصد اسید کلریدریک) ساییده شد. عصارهٔ حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ g سانتریفوژ شد و فاز بالایی آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه و در تاریکی قرار گرفت. جذب هریک از نمونه‌ها در طول موج ۵۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبهٔ غلظت آنتوسیانین از ضریب خاموشی ۱۵۰ $mM\ cm^{-1}$ استفاده شد.

برنامه‌های آماری

برای تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از برنامه‌های رایانه‌ای SPSS و EXCELL استفاده گردید. در کلیهٔ نمودارها نتایج به صورت مقادیر میانگین سه تکرار بیان شد و بارهای عمودی نشان‌دهندهٔ SE± برای سه تکرار است. اختلاف بین تیمارها با استفاده از تحلیل واریانس آنووای دوطرفه در سطح آماری $p \leq 0.05$ انجام شد.

نتایج

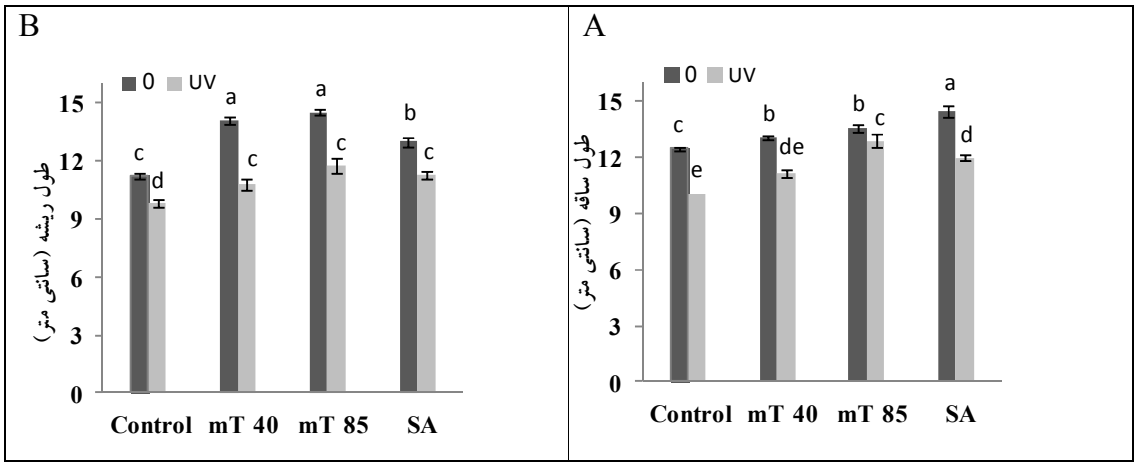
شاخص‌های رشدی

براساس نتایج به‌دست‌آمده طول ریشه و ساقه تحت تأثیر پرتو UV-B کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد (شکل ۱). سالیسیلیک اسید به‌تنهایی موجب افزایش طول ریشه و ساقه نسبت به شاهد شد. همچنین در نمونه‌هایی که پرتوهای فرابنفش به همراه سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند کاهش طول نسبت به تیمار پرتوهای فرابنفش بدون سالیسیلیک اسید به طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۱). پیش‌تیمار میدان مغناطیسی باعث افزایش طول ساقه و ریشهٔ دانه‌رست‌ها نسبت به گیاهان شاهد شد که این افزایش در هر دو شدت میدان مغناطیسی نسبت به شاهد معنی‌دار بود. تیمار هم‌زمان با میدان‌های مغناطیسی و پرتو UV-B با افزایش معنی‌دار رشد طولی ریشه و ساقه نسبت به تیمار UV-B همراه بود و میدان مغناطیسی توانست در هر دو شدت در ریشه و در شدت ۸۵ میلی‌تسلا در ساقه اثر کاهشی UV-B را کاملاً جبران کند.

وزن تر و خشک

اندازه‌گیری وزن تر و وزن خشک گیاهان پرتودیده و مقایسهٔ آن با گیاهان شاهد نشان داد که اعمال پرتو UV-B باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۲).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]



شکل ۱- تأثیر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و میدان مغناطیسی (۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا) روی طول ساقه (A) و ریشه (B) در گیاه بادرنجبویه تحت تنش پرتو UV-B. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن دارند.

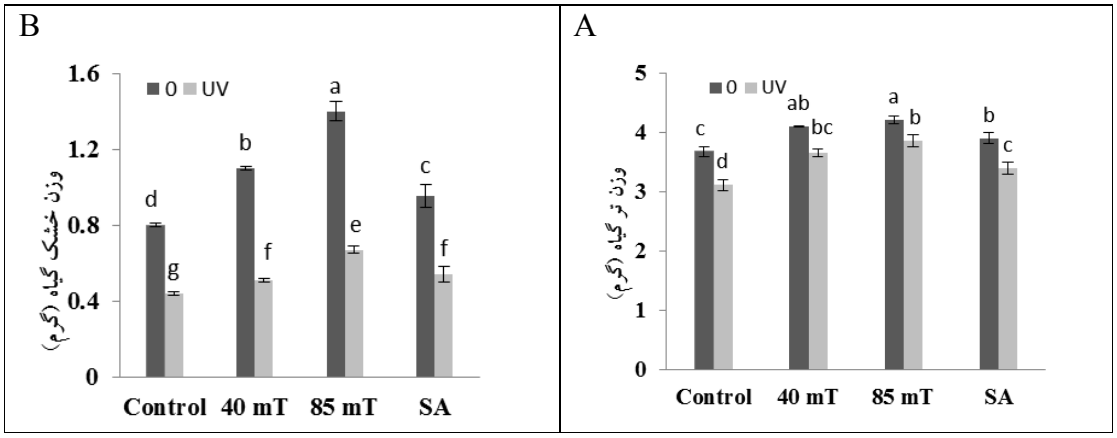
Fig. 1. Effect of salicylic acid (1 mM) and magnetic field (40 and 85 mT) on shoot (A) and root length (B) in *Melisa officinalis* under UV-B stress. Different letters in each column show significant difference at p <0.05 by Duncan's Test.

در نمونه‌های تیماریافته با پرتوهای UV به همراه سالیسیلیک اسید مقدار این کاهش نسبت به گیاهان پرتودیده کمتر بود. پیش‌تیمار میدان مغناطیسی در هر دو شدت موجب افزایش وزن تر و خشک نسبت به تیمار شاهد شد. اعمال توأم میدان مغناطیسی و پرتو فرابنفش B در هر دو شدت در وزن تر توانست اثر تخریبی پرتو فرابنفش را در حد تیمار شاهد بهبود دهد. اعمال توأم میدان مغناطیسی و پرتو فرابنفش B در هر دو شدت توانست وزن خشک را به طور معنی‌داری نسبت به اعمال به‌تنهایی پرتو فرابنفش افزایش دهد، ولی این تیمار نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

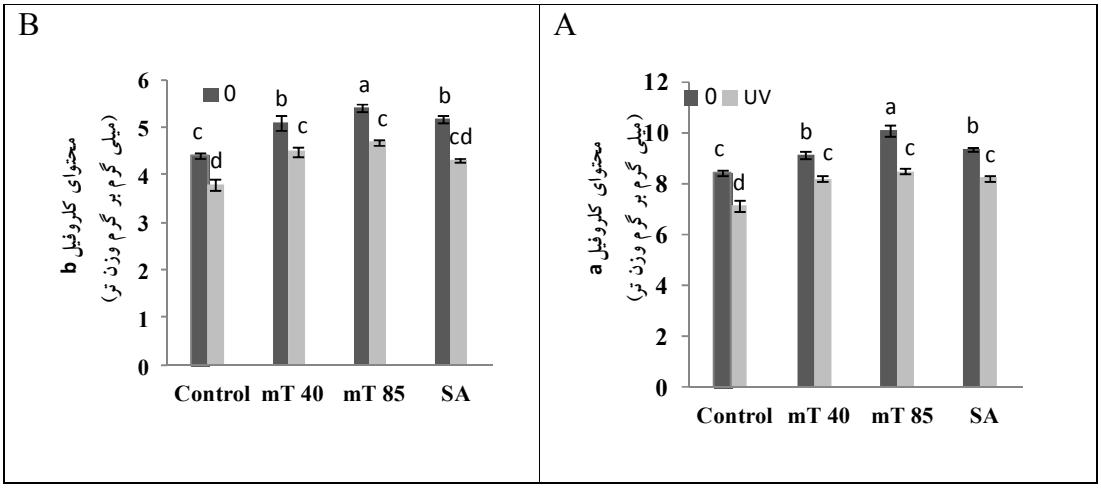
براساس نتایج بدست آمده میزان کلروفیل a (شکل ۳ الف) و b (شکل ۳ ب) تحت تأثیر پرتوهای UV-B کاهش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد یافت. اما در نمونه‌هایی که با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند میزان هردو کلروفیل نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. در تیمار توأم پرتوهای UV-B با سالیسیلیک اسید میزان کلروفیل a و کلروفیل b نسبت به اعمال به تنهایی هر دو پرتو فرابنفش افزایش معنی‌داری نشان داد. اعمال میدان مغناطیسی در هر دو شدت موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a و b نسبت به گیاهان شاهد شد. اعمال توأم میدان مغناطیسی با پرتو فرابنفش در مقایسه با اعمال به‌تنهایی پرتو فرابنفش نیز افزایش معنی‌دار نشان داد و همان‌طوری‌که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در گیاهان تحت تنش UV اعمال میدان مغناطیسی در هر دو شدت میزان کلروفیل را توانست در حد گیاهان شاهد، افزایش دهد، ولی این افزایش در مقایسه با اعمال توأم سالیسیلیک اسید معنی‌دار نبود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]



شکل ۲- تأثیر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و میدان مغناطیسی (۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا) روی وزن تر (A) و خشک (B) در گیاه بادرنجبویه تحت تنش پرتو UV-B. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن هستند.

Fig. 2. Effect of salicylic acid (1 mM) and magnetic field (40 and 85 mT) on fresh (A) and dry weights (B) in *Melisa officinalis* under UV-B stress. Different letters in each column show significant difference at p <0.05 by Duncan's Test.

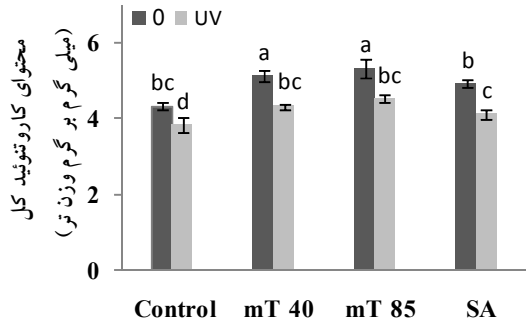


شکل۳- تأثیر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و میدان مغناطیسی (۴۰ و ۸۵ میلی تسلا) روی محتوای کلروفیل a (A) و کلروفیل b (B) در گیاه بادرنجبویه تحت تنش پرتو UV-B. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن هستند.

Fig. 3. Effect of salicylic acid (1 mM) and magnetic field (40 and 85 mT) on chlorophyll a (A) and b (B) in *Melisa officinalis* under UV-B stress. Different letters in each column show significant difference at p <0.05 by Duncan's Test.

بر اساس نتایج، محتوای کاروتنوئید کل در گیاهان تحت تیمار با UV-B نسبت به گیاهان شاهد کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۴). سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار سطح کاروتنوئید کل در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد شد. اعمال توأم پرتوهای فرابنفش به همراه سالیسیلیک اسید موجب افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید کل نسبت به گیاهان پرتودیدهٔ بدون سالیسیلیک اسید شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]



شکل ۴ – تأثیر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و میدان مغناطیسی (۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا) بر محتوای کاروتنوئید کل در گیاه بادرنجبویه تحت تنش پرتو UV-B. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن هستند.

Fig. 4. Effect of salicylic acid (1 mM) and magnetic field (40 and 85 mT) on total carotenoid content in *Melisa officinalis* under UV-B stress. Different letters in each column show significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's Test.

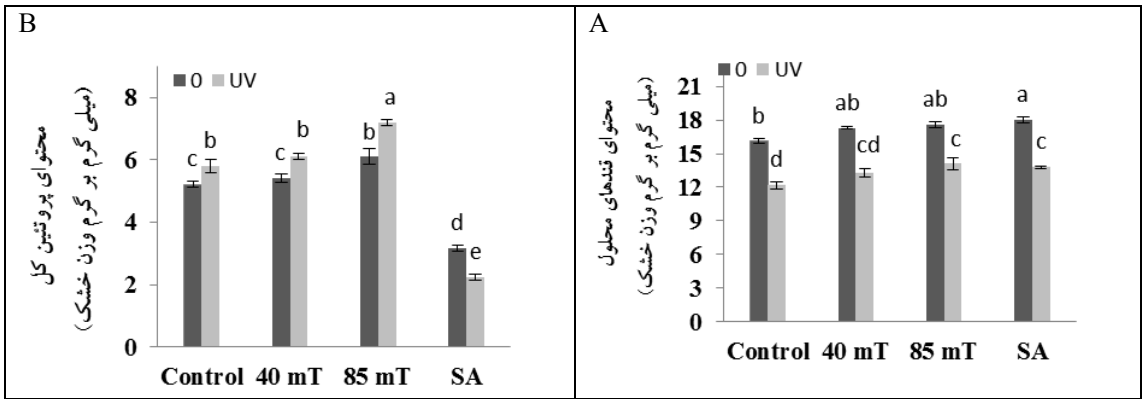
اعمال میدان مغناطیسی موجب افزایش معنی‌دار کاروتنوئید کل در مقایسه با گیاهان شاهد شد. اعمال توأم میدان مغناطیسی با پرتو فرابنفش B موجب افزایش معنی‌دار کاروتنوئید کل در مقایسه با اعمال به‌تنهایی پرتو فرابنفش شد، به‌طوری‌که این افزایش در مقایسه با اعمال سالیسیلک اسید بیشتر بود (شکل ۳).

قندها و پروتئین‌های کل محلول

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان قندها و پروتئین‌های کل محلول نشان داد که پرتوهای UV-B باعث کاهش معنی‌دار میزان قندهای محلول (شکل ۵ الف) و پروتئین‌های کل محلول (شکل ۵ ب) در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد شد. تیمار با سالیسیلک اسید به همراه پرتوهای فرابنفش این کاهش را نسبت به گیاهان تیماردیده با پرتوهای فرابنفش بدون سالیسیلک اسید به‌طور معنی‌دار افزایش داد. اعمال میدان مغناطیسی در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش نشان داد. اعمال توأم میدان مغناطیسی در شدت ۸۵ میلی‌تسلا با پرتو فرابنفش در مقایسه با گیاهان تحت تیمار فرابنفش میزان محتوای پروتئین و قندهای محلول را به طور معنی‌دار افزایش داد. این افزایش در میزان قندهای محلول در مقایسه با اعمال توأم سالیسیلک اسید با پرتو فرابنفش معنی‌دار بود.

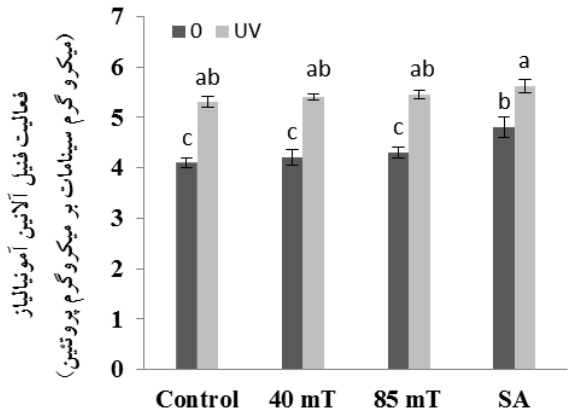
بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین-آمونیالیاز تحت تابش پرتوهای UV-B نشان داد که پرتوهای فرابنفش باعث افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم می‌شوند (شکل ۶ الف). تیمار با سالیسیلک اسید باعث افزایش بیشتر فعالیت این آنزیم نسبت به گیاهان شاهد شد. اعمال توأم سالیسیلک اسید با پرتوهای فرابنفش موجب افزایش معنی‌دار میزان فنیل‌آلانین‌آمونیالاز نسبت به اعمال پرتوهای فرابنفش بدون سالیسیلک اسید شد. میزان فعالیت این آنزیم در گیاهان تحت تیمار میدان مغناطیسی نسبت به گیاهان شاهد و در گیاهان تحت تیمار توأم میدان مغناطیسی و پرتو فرابنفش نسبت به اعمال پرتو فرابنفش به‌تنهایی تغییری نشان نداد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]



شکل ۵ - تأثیر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و میدان مغناطیسی (۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا) روی محتوای قندهای محلول (A) و پروتئین کل (B) در گیاه بادرنجبویه تحت تنش پرتو UV-B. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن هستند.

Fig. 5. Effect of salicylic acid (1 mM) and magnetic field (40 and 85 mT) on soluble sugars (A) and proteins (B) in *Melisa officinalis* under UV-B stress. Different letters in each column show significant difference at p <0.05 by Duncan's Test.



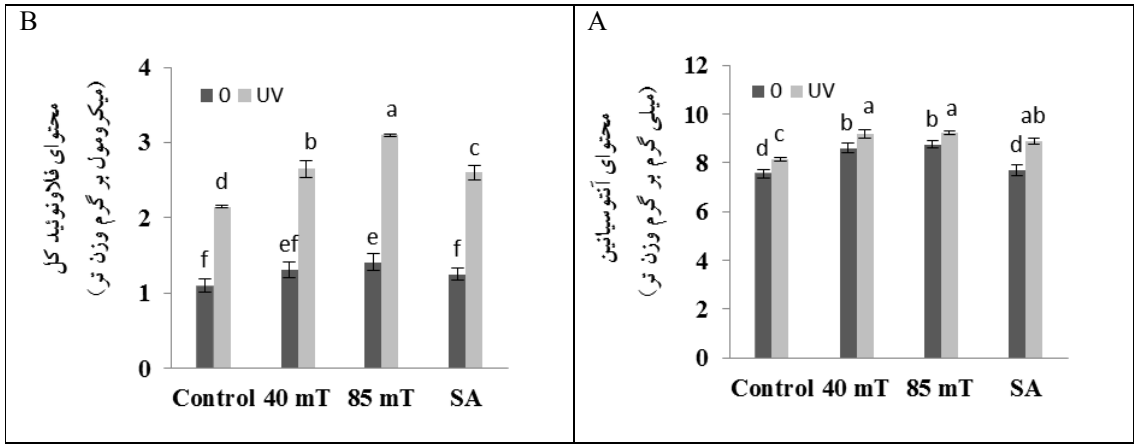
شکل ۶ - تأثیر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و میدان مغناطیسی (۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا) روی فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز در گیاه بادرنجبویه تحت تنش پرتو UV-B. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن هستند.

Fig. 6. Effect of salicylic acid (1 mM) and magnetic field (40 and 85 mT) on phenylalanine ammonia-lyase activity in *Melisa officinalis* under UV-B stress. Different letters in each column show significant difference at p <0.05 by Duncan's Test.

نتایج نشان داد که پرتوهای UV-B باعث افزایش معنی‌دار سطح ترکیبات جاذب پرتوهای فرابنفش شد. طبق نتایج، میزان آنتوسیانین‌ها (شکل ۷ ب) و فلاونوئیدها (شکل ۷ الف) در گیاهان پرتودیده نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌داری یافت. تیمار با سالیسیلیک اسید در گیاهان پرتو دیده نیز باعث افزایش معنی‌دار محتوای فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها نسبت به گیاهان پرتودیده بدون سالیسیلیک اسید شد. اعمال میدان مغناطیسی به‌تنهایی و در گیاهان تحت تیمار فرابنفش موجب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

افزایش معنی‌دار محتوای آنتوسیانین‌ها نسبت به گیاهان شاهد و تحت تیمار پرتو فرابنفش شد. در محتوای فلاونوئید کل اعمال میدان مغناطیسی فقط در شدت ۸۵ میلی‌تسلا در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. اعمال میدان مغناطیسی همراه با پرتو فرابنفش میزان فلاونوئید کل را در هر دو شدت نسبت به گیاهان شاهد و گیاهان تحت پرتو فرابنفش افزایش معنی‌دار داد.



شکل ۷ - تأثیر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و میدان مغناطیسی (۴۰ و ۸۵ میلی‌تسلا) روی محتوای آنتوسیانین (A) و فلاونوئید کل (B) در گیاه بادرنجبویه تحت تنش پرتو UV-B. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن هستند.

Fig. 7. Effect of salicylic acid (1 mM) and magnetic field (40 and 85 mT) on anthocyanin (A) and flavonoid content (B) in *Melisa officinalis* under UV-B stress. Different letters in each column show significant difference at p <0.05 by Duncan's Test.

بحث

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه نشان داد که پرتوهای UV-B باعث کاهش معنی‌دار طول ریشه و ساقه می‌شود. تأثیر اشعهٔ UV بر رشد گیاهان به‌واسطهٔ هورمون‌های گیاهی، تخریب نوری یا کاهش فعالیت برخی آنزیم‌ها انجام می‌شود(Balouchi *et al.,* 2009). احتمالاً تغییرات القاشده توسط UV-B در DNA یا تنظیم کننده‌های رشد مسئول تغییرات رشدی، توسعه و گل‌دهی در گیاهان باشد (Hollosy, 2002). DNA به‌ویژه به اشعهٔ ماوراء بنفش حساس است، زیرا جذب UV-B موجب تغییر شکل نوری (فوتوترانسفورماسیون) می‌شود که به تولید دیمر سیکلوبوتانات پیریمیدین و دیمرپریمیدین پریمیدون می‌انجامد (Beaudion & Eagen, 1989; Balouchi *et al.,* 2009; Bandurska *et al.,* 2012). به همین علت DNA و RNA پلی‌مراز قادر به خواندن این فرآورده‌های نوری نیست، پس حذف آنها برای رونویسی و همانندسازی DNA ضروری است (Britt & May, 2003). بسیاری از تغییرات مورفولوژیکی و آناتومیکی در گیاهان رشد-یافته تحت تأثیر تیمار UV-B گزارش شده است (Bandurska *et al.,* 2012). کاهش غلظت اکسین و افزایش محصولات نوری مهارکنندهٔ اکسین، ۳ متیلن اکسیندول ممکن است مسئول مهار رشد هیپوکوتیل باشد. علاوه بر این، احتمالاً عمل پراکسیدازها مثل اکسین اکسیداز از تطویل سلولی جلوگیری می‌کند و از این طریق موجب کاهش رشد می‌شود (Hollosy, 2002). نتایج بررسی تأثیر اشعهٔ UV بر دانه‌های بادام‌زمینی نشان داده است که تابش UV می‌تواند به اندامک‌ها آسیب برساند و موجب تخریب غشاهای لیپیدی شود (Ke-Tang *et al.,* 2012). تیمار سالیسیلیک اسید باعث افزایش طول ریشه و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

اندام هوایی شد. سازوکاری که سالیسیلیک اسید به‌واسطهٔ آن رشد ریشه و اندام هوایی را در برخی گیاهان افزایش می‌دهد به‌خوبی شناخته نشده است. اما احتمال داده می‌شود که سالیسیلیک اسید طویل‌شدن و تقسیم سلولی را به همراه مواد دیگری ازقبیل اکسین تنظیم می‌کند (Shakirova & Sahabutdinova, 2003). شواهد نشان داده است که هم‌بستگی قوی بین مسیرهای علامت‌دهی سالیسیلیک اسید و اکسین وجود دارد. تحقیقات دربارهٔ گیاه گندم نشان داده است که اعمال سالیسیلیک اسید از کاهش اکسین و سیتوکنین جلوگیری می‌کند (Shakirova *et al.,* 2003). این مبین آن است که احتمالاً سالیسیلیک اسید با وساطت پاسخ‌های اکسین وارد عمل می‌شود (Vicente & Plasenci, 2011). احتمال داده می‌شود که بهبود رشد طولی تحت تأثیر میدان مغناطیسی در نتیجهٔ تأثیر آن بر شاخص میتوزی باشد و در همین‌جهت راجندرا و همکاران افزایش معنی‌داری در شاخص میتوزی و همچنین الحاق H– تیمیدین به DNA در بذرهای ویسا فابا گزارش کرده‌اند که درمعرض میدان‌های مغناطیسی با شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا بوده‌اند را گزارش کرده‌اند و نشان داده‌اند که یون کلسیم آزاد (Ca^{2+}) در این مورد به‌عنوان علامت‌دهی در سلول برای تسریع ورود به چرخهٔ میتوتیکی افزایش می‌یابد (Rajendra *et al.,* 2005).

ازسوی دیگر، بسیاری از محققان عامل افزایش ظرفیت جوانه‌زنی و شتاب مراحل مورفولوژیک در بذرها را افزایش-جذب آب بیان کرده‌اند. میدان مغناطیسی نه‌تنها باعث نفوذ سریع‌تر آب به بذر می‌شود، بلکه بر سرعت واکنش‌های آنزیمی نیز از این طریق اثر می‌گذارد. افزایش جذب آب در اولین مرحله باعث شتاب در آماس بذرها تحت تأثیر میدان مغناطیسی می‌شود که پی‌آمد آن افزایش وزن تر آنهاست؛ به‌علاوه، افزایش وزن دانه‌رست‌ها ممکن است با افزایش متابولیسم سریع‌تر با محتوای آبی بیشتر در گیاهان ارتباط داشته باشد (Fischer *et al.,* 2004). میدان مغناطیسی باعث کاهش کشش سطحی و ویسکوزیتهٔ آب و به همان اندازه موجب کاهش گرمای نهان تبخیر می‌شود که نهایتاً بخارشدن سریع آب را درپی دارد (Yoshimas *et al.,* 2001).

این سه پدیده با قدرت عمل تعیین‌شده به‌عنوان پیوند هیدروژنی ارتباط می‌یابد. تغییرات در این شاخص‌ها به نفوذ آب به داخل بذر منجر می‌شود و جوانه‌زنی سریع‌تر و مؤثر بذرها را به‌دنبال می‌آورد (Galland & Pazur, 2005). پوراکبر و همکاران اثر میدان مغناطیسی را بر ریشهٔ گیاه رازیانه بررسی کرده و مشاهده کرده‌اند که طول ریشهٔ این گیاه تحت تأثیر میدان مغناطیسی نسبت به شاهد افزایش چشمگیری می‌یابد (پوراکبر، ۱۳۹۱). اندازه‌گیری وزن تر و خشک گیاهان پرتودیده و مقایسهٔ آنها با گیاهان شاهد نشان داد که اشعهٔ UV باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی شد. در گیاه لوبیا وزن تر ریشه و اندام هوایی تحت تابش UV-B کاهش می‌یابد. کاهش وزن ریشه و اندام هوایی تحت تأثیر اشعهٔ UV به‌خصوص UV-B مبین کاهش تولید بیوماس در این تیمارهاست و این یک پاسخ عمومی در بسیاری از گونه‌های گیاهی است. یکی از دلایل کاهش وزن ریشه و اندام هوایی در تیمارهای UV، اختلال در بیوسنتز یا انتقال تنظیم کننده‌های رشد و نمو گیاهی مثل اکسین و اسید جیبرلیک است (Hassan *et al.,* 2012). علت اصلی کاهش وزن تر و خشک ریشهٔ اندام هوایی در اثر تابش UV می‌تواند کاهش ظرفیت فتوسنتزی باشد. کاهش سطح برگ در اثر تابش UV نیز از دلایل عمدهٔ این کاهش است. گزارش شده است که کاهش تولید بیوماس در گندم به‌علت کاهش ظرفیت فتوسنتزی و کاهش سطح برگ بوده است (Balouchi *et al.,* 2009).

نتایج این تحقیق نشان داد که سالیسیلیک اسید و میدان مغناطیسی به طورمعنی‌داری وزن تر و خشک را در گیاهان بادرنجبویه افزایش می‌دهند. اصلی‌ترین دلیل برای این افزایش می‌تواند مربوط به توانایی آنها در افزایش ظرفیت فتوسنتزی باشد. سالیسیلیک اسید و میدان مغناطیسی باعث افزایش تعداد برگ‌ها، افزایش سطح برگ و افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند و بدین‌ترتیب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و افزایش تولید بیوماس و افزایش رشد و وزن گیاهی را به‌دنبال می‌آورند. گزارش شده است که سالیسیلیک اسید باعث افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه گندم می‌شود (Kaydan *et al.,* 2007). میدان مغناطیسی باعث کاهش کشش سطحی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

آب می‌شود که پیامد آن می‌تواند افزایش وزن گیاه به‌علت جذب بیشتر آب باشد (Yoshimas *et al.,* 2001). این نتایج با نتایج پوراکبر و همکاران دربارهٔ گیاه رازیانه همسویی نشان می‌دهد.

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها نشان داد که پرتو UV-B باعث کاهش محتوای آنها می‌شود. کاهش معنی‌دار سطح رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ‌های فلفل تحت تابش UV-B و UV-C در مقایسه با گیاهان شاهد گزارش شده است (Hosseinisarghein *et al.,* 2008). کاهش میزان کلروفیل به‌دلیل ممانعت از سنتز آن یا به‌علت تخریب پیش‌سازهای سنتز آن و همچنین فتواکسیژناسیون غیرآنزیمی کلروفیل در اثر تابش پرتوهای فرابنفش اتفاق می‌افتد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید می‌شود. در گیاهانی که به صورت توأم تحت تیمار سالیسیلیک اسید و UV قرار داشتند میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید، اگر چه از گیاهان شاهد کمتر بود، نسبت به گیاهانی که فقط درمعرض پرتوهای UV قرار داشتند بیشتر بود. مهدویان و همکاران نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Mahdavian *et al.,* 2008). این نتایج با یافته‌های موسوی نیز همسویی نشان می‌دهد (Moosavi *et al.,* 2009). گزارش شده است که در گیاه لوبیا، اسپری برگی سالیسیلیک اسید بر مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها افزوده است (Turkyilmaz *et al.,* 2005).

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که میدان مغناطیسی میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها را افزایش می‌دهد. بعضی اتم‌های سلول‌های گیاهی و رنگیزه‌های کلروپلاستی خواص پارامغناطیسی دارند. خواص مغناطیسی مولکول‌ها توانایی آنها را در جذب و سپس تغییر شکل میدان مغناطیسی به دیگر انواع انرژی بالا می‌برد و باعث انتقال این انرژی به ساختارهای دیگر در سلول‌های گیاهی و درنتیجه فعال‌شدن آنها می‌شود (Dorna *et al.,* 2010). میدان مغناطیسی توانایی تغییر خواص آب را دارد و این آب مغناطیسی‌شده می‌تواند باعث افزایش محتوای کلروفیلی شود. افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها تحت تأثیر میدان مغناطیسی در گیاه سیب‌زمینی مشاهده شده است (Rakosy-Tican *et al.,* 2005).

نتایج حاصل از بررسی میزان قندهای محلول تحت تابش پرتوهای فرابنفش نشان داد که پرتوهای UV-B باعث کاهش معنی‌دار سطح قندهای محلول در اندام هوایی می‌شود. کاهش محتوای قندهای محلول تحت تأثیر پرتوهای فرابنفش در گیاه فلفل قلمی گزارش شده است (Hosseinisarghein *et al.,* 2008). کاهش میزان قند در تیمارهای UV نشان‌دهندهٔ کاهش فتوسنتز است و این کاهش فتوسنتز به دلایلی ازجمله پراکسیداسیون غشای تیلاکوئیدی (Mazza *et al.,* 2000)، جذب UV توسط فتو سیستم II و تخریب پروتئین‌های D_1 و D_2 و تخریب آنزیم روبیسکو رخ می‌دهد (Moussa & Khodary, 2008).

نتایج نشان داد میدان مغناطیسی و سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای قندهای محلول می‌شوند. پوپووا و همکاران بیان کرده‌اند که سالیسیلیک اسید باعث تأخیر در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است (Popova *et al.,* 2007). بنابراین به‌علت تعدیل در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و احتمالاً حفظ ساختار و فعالیت روبیسکو باعث افزایش مقدار قندها می‌شود (Kennedy, 2004). افزایش محتوای قندهای محلول تحت تأثیر میدان مغناطیسی می‌تواند به دلایلی ازجمله افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش سطح برگ، افزایش تعداد برگ‌ها و درنهایت افزایش ظرفیت فتوسنتزی باشد.

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان پروتئین نشان داد که پرتوهای UV-B باعث کاهش معنی‌دار محتوای پروتئین‌های محلول می‌شود. آمینواسیدهای حلقوی مانند فنیل‌آلانین، تیروزین و تریپتوفان جذب زیادی در ناحیهٔ فرابنفش دارند و به‌شدت تحت تأثیر پرتوهای UV تخریب می‌شوند. سنتز پروتئین نیز ازطریق‌آسیب رسیدن به مولکول‌های RNA دچار اختلال می‌شود (Moosavi *et al.,* 2009). پروتئین‌های روبیسکو، ATPآز، ویولاگزانتین داپوکسیداز و زیرواحدهای پروتئینی فتوسیستم‌های I و II از مهم‌ترین پروتئین‌هایی هستند که تحت تأثیر پرتوهای UV تخریب می‌شوند. کاهش محتوای پروتئین در گیاه فلفل تحت تیمار پرتوهای UV توسط مهدویان و همکاران در سال ۲۰۰۸ گزارش شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

در این آزمایش سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای پروتئین در گیاهان بادرنجبویه شد و کاهشی را که در گیاهان با تیمار UV ایجاد شده بود به‌خوبی جبران کرد. سالیسیلیک اسید بر تشکیل پروتئین‌های دفاعی، پروتئین کینازها و روبیسکو اثر می‌گذارد و همچنین سنتز پروتئین‌های مهارکنندهٔ پروتئازها را القا می‌کند (Horvath *et al.*, 2007). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید به القای بیان ژن‌های پروتئین‌های عامل مقاومت منجر می‌شود و همچنین با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و توان آنتی‌اکسیدانی از اکسیداسیون پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند (Gapinska & Sklodowska, 2008). در مطالعهٔ حاضر، محتوای پروتئین تحت تأثیر میدان مغناطیسی کاهش یافت که این کاهش معنی‌دار نبود. تأثیر میدان مغناطیسی بر سنتز پروتئین در تعدادی از آزمایش‌ها مطالعه شده است. پیشنهاد شده است که سلول‌ها ممکن است با تغییر در نسخه‌برداری و ترجمهٔ پروتئین‌های شوک حرارتی به میدان‌های مغناطیسی پاسخ دهند. در بسیاری از گزارش‌ها دربارهٔ سازوکار اثر میدان‌های مغناطیسی به اثر این میدان‌ها در تأثیر روی کانال‌های غشایی به ویژه کانال‌های انتقال کلسیم اشاره شده است که این میدان‌ها باعث باز شدن این کانال‌ها و افزایش کلسیم درون سلولی می‌شود. درنهایت کلسیم به عنوان پیام‌آور ثانویه باعث فعال‌شدن بسیاری از عوامل بیان ژن می‌شود و اد تغییراتی در سنتز پروتئین‌ها ایجاد می‌کند (Rajendra *et al.*, 2005). نتایج آزمایش‌ها نشان داد که فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین-آمونیالیاز تحت تأثیر پرتوهای UV–B افزایش یافت. تیمار سالیسیلیک اسید و میدان مغناطیسی نیز باعث افزایش فعالیت این آنزیم شدند. فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز آنزیم کلیدی در متابولیسم فنیل پروپانوئیدها است که تبدیل L – فنیل‌آلانین به ترانس-سینامیک اسید، اولین مرحله در متابولیسم ترکیبات فنولی را انجام می‌دهد. این مرحله نوعی واکنش بیوشیمیایی کلیدی در نمو و دفاع گیاهان به‌شمار می‌رود. بنابراین، افزایش میزان ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها می‌تواند مربوط به افزایش فعالیت آنزیم PAL باشد. افزایش میزان و فعالیت آنزیم PAL تحت تنش UV می‌تواند ناشی از افزایش بیان ژن مسئول سنتز این آنزیم باشد. تیمار سالیسیلیک اسید نیز باعث القای شدید ژن سازندهٔ آنزیم PAL می‌شود که به سنتز ترکیباتی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها منجر می‌شود که باعث محافظت از بافت‌های گیاهی می‌شود.

بررسی نتایج نشان داد که محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین به‌طور معنی‌داری تحت تابش UV-B افزایش یافت. افزایش محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین درگیاه فلفل قلمی تحت تیمار UV-A و UV-C گزارش شده است (Hosseinisarghein *et al.*, 2008). همچنین افزایش محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین در گیاه صبرزرد تحت تیمار UV توسط قناتی گزارش شده است (قناتی، ۱۳۸۵). ترکیبات جذب‌کنندهٔ UV که اغلب فلاونوئیدها یا مشتقات هیدروکسی‌سینامیک اسید مثل آنتوسیانین هستند می‌توانند در اپیدرم تجمع یابند و در واکوئل سلول‌ها و یا به صورت باند به دیواره یا کوتیکول قرار بگیرند که تجمع آنها نوعی ساز-وکار حفاظتی برای جلوگیری از نفوذ پرتوهای فرابنفش است (Turcsanyi & Vass, 2000). مطالعات نشان می‌دهد که پرتوهای فرابنفش باعث افزایش فعالیت آنزیم PAL می‌شوند و درنتیجه باعث تولید سینامیک اسید و فعال‌شدن مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها می‌شود. افزایش در غلظت فلاونوئیدها ناشی از فعالیت زیاد آنزیم PAL یا سرعت زیاد سنتز این آنزیم گزارش شده است (Wang *et al.*, 2006). گزارش‌ها نشان می‌دهند که مقدار و فعالیت آنزیم کالکون‌سنتاز که در بیوسنتز فلاونوئیدها نقش اساسی دارد تحت تأثیر پرتوهای فرابنفش افزایش می‌یابد. آنتوسیانین‌ها از ترکیبات فنولی مشتق‌شده از مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها هستند که خاصیت فیلترکردن پرتوهای UV را دارند. افزایش میزان آنتوسیانین‌ها تحت تنش UV ناشی از تحریک بیان ژن‌های کدکنندهٔ آنزیم‌های درگیر در مسیر بیوسنتز این ترکیبات است. اثر دوزها و زمان‌های مختلف پرتو UV-C بر افزایش میزان آنتوسیانین‌ها در توت‌فرنگی گزارش شده است (Erkan *et al.*, 2008).

بر طبق نتایج به‌دست‌آمده تیمار با میدان مغناطیسی و سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای فلاونوئیدها و آنتوسیانین در گیاهان تحت تیمار شد. نشان داده شده است که افزایش مقاومت دربرابر بیماری‌های گیاهی در اثر تیمار با سالیسیلیک است همراه با افزایش در فعالیت آنزیم PAL و کالکون ایزومراز است (Hayat & Ahmad, 2007). آنزیم PAL به‌عنوان اولین آنزیم در مسیر فنیل پروپانوئید موجب تبدیل فنیل‌آلانین به

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

ترانس سینامیک اسید می‌شود که این ترکیب پیش‌ساز فعال ترکیبات فلاونوئیدی است (Chang *et al.*, 2008). سالیسیلیک اسید و میدان مغناطیسی بیان و فعالیت این آنزیم را تحریک می‌کنند. تیمار سالیسیلیک اسید باعث القای شدید ژن آنزیم‌های کالکون‌سنتاز، کالکون‌ایزومراز و فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز می‌شود که درنهایت به افزایش بیوسنتز ترکیبات جاذب می‌انجامد و این ترکیبات به‌عنوان جاذب پرتوهای فرابنفش در اپیدرم عمل می‌کنند و بافت‌های گیاهی را از صدمات پرتوهای فرابنفش محافظت می‌کنند (Vicente & Plasenci, 2011).

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که پرتو UV-B باعث واردآمدن آسیب‌هایی به گیاه بادرنجبویه شد و گیاه ازلحاظ مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دچار تغییراتی شد. کاهش وزن، کاهش رشد طولی، کاهش میزان رنگیزه‌ها، کاهش میزان قندها و پروتئین‌ها در اثر پرتوهای فرابنفش در گیاه ایجاد شد.

افزایش میزان ترکیبات جاذب UV مانند فلاونوئید و آنتوسیانین به‌عنوان سازوکار دفاعی دربرابر پرتوهای فرابنفش مشاهده شد. تیمار با سالیسیلیک اسید و میدان‌های مغناطیسی باعث جبران آسیب‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی شد که در اثر تیمار با پرتو UV-B ایجاد شده بود.

References/منابع

پوراکبر، ل.، صدقی، ح. و اسدی سامانی، م. ۱۳۹۱. تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر جوانه‌زنی، رشد اولیه و فعالیت برخی آنزیم‌های دخیل در جوانه زنی بذر رازیانه. – مجلهٔ علوم دانشگاه تربیت معلم ۱: ۱۲-۱.

قناتی، ف.، احمدی، ز. و عبدالملکی، پ. ۱۳۸۵. تأثیر پرتو فرابنش C بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی در گیاه صبرزرد (*Aloe vera* L.). – فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۲: ۳۳۱-۳۱۵.

Balouchi, H.R. and Sanavy, S.A.M. 2009. Electromagnetic field impact on annual medics and dodder seed germination. – International Agrophysics 23: 111-115.

Balouchi, H.R., Sanavy, S.A.M., Emam, Y. and Dolatabadian, A. 2009. UV radiation, elevated CO_2 and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. – Plant Soil and Environment 55: 443-453.

Bandurska, H., Piperowska-Borek, M. and Cieslak, M. 2012. Response of barly seedling to water combination. – Acta Physiologiae Plantarum 34: 161-171.

Beaudion-Eagan, L.D. and Thorpe, T.A. 1989. Tyrosine and phenylalanine ammonialyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. – Plant Physiology 78:438-441.

Booji-James, I.S., Dube, S.K., Jansen, M. Edelman, M.A.K. and Mattoo, A.K. 2000. Ultraviolet-B radiation impacts light-mediated turnover of the photosystem II reaction center heterodimer in *Arabidopsis* mutant altered in phenolic metabolism. – Plant Physiology 124: 1275-1283.

Britt, A.B. and May, G.D. 2003. Re-engineering plant gene targeting. – Trends Plant Science 8: 90–95.

Buchholz, G., Ehmann, B. and Wellman, E. 1995. Ultraviolet light inhibition of phytochorome-induced flavonoid biosynthesis and DNA photolyase formation in mustard cotyledones (*Synapis alba* L.). – Plant physiology 108: 227-234.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

Celik, O., Atak, C. and Rzakulieva, A. 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in Paulownia node cultures. – Journal of Central European Agriculture 9: 297-304.

Chakraboyty, U. and Tongden, C. 2005. Evaluation of heat acclimation and salicylic acid treatments as potent inducers of thermotolerance in *Cicer arietinum* L. – Current Science 89: 384-389.

Chang, A., Lim, M.H., Lee, S.W., Robb, E.J. and Nazar, R.N. 2008. Tomato PAL gene family: highly redundant but strongly underutilized. – Journal of Biology and Chemistry 283: 33591-33601.

Dorna, H., Gorski, R., Szopinska, D., Tylkowska, K., Jurga, J., Wosinski, S. and Tomczak, M. 2010. Effect of a permanent magnetic field together with the shielding of an alternating electric field on carrot seed vigor and germination. – Ecological Chemistry and Engineering 17: 53-61.

El-Tayeb, M.A., EL-Enany, A.E. and L. Ahmed, N. 2006. Salicylic acid- induced adaptive response to copper stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). – Plant Growth Regulation 50: 191-199.

Eraslan, F., Inal, A., David, J. and A. Gunes, A. 2008. Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spina ciaoleracea* L.cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. – Plant Growth Regulation 55: 207-219.

Erkan, M., Wang, S.Y. and Wang, C.Y. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. – Postharvest Biology and Technology 48: 163-171.

Gapinska, M. and Sklodowska, M. 2008. Effect of short and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots. – Acta Physiology Plant 30: 11-18.

Hassan, I.A., Basahi, J.M. and Kadi, M.W. 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: 552-563.

Hayat, S. and Ahmad, A. 2007. – Salicylic acid: A plant hormone. Springer, Dordrecht, the Netherlands.

Hollosy, F. 2002 Effects of ultraviolet radiation on plant cells. – Micron 33: 179-197.

Holzinger, A. and Lutz, C. 2006. Algae and UV radiation: Effects on ultrastructure and related metabolic functions. – Micron 37: 190-207.

Horii, A., McCup, P. and Shetty, K. 2007. Enhancement of seed vigour following insecticide and phenolic elicitor treatment. – Bioresour Technology 98: 623-632.

Horvath, E., Szalai, G. and Janda, T. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. – Journal of Plant Growth Regulation 26: 290-300.

Hosseini Sarghein, S., Carapetia, J. and Khara, J. 2008. Effects of UV radiation on photosynthetic pigments and UV-absorbing compounds in *Capsicum longum* L. – International Journal of Botany 4: 486-490.

Jia, Z., Tang, M. and Wu, J. 1999. The determination of flavonoid content in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. – Food Chemistry 64: 555-559.

Kaydan, D., Yagmur, M. and Okut, N. 2007. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). – Tarim. Bilimleri. Dergisi. 13: 114-119.

Kennedy, D.O., Little, W., Haskell, C. and Scholey, A.B. 2006. Anxiolytic effects of a combination of *Melissa officinalis* and *Valeriana officinalis* during laboratory induced stress. – Phytotherapy Research Phytother. Response 20: 96–102.

Ke-Tang, J., Zhan, H. and Yang, W.D.H. 2012. Changes of resveratrol and antioxidant

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

enzymes during UV-induced plant defense response in peanut seedling. – Journal of Plant Physiology 167: 95-102.

Khodary, S.E.A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plant. – International Journal of Biology 6: 5-8.

Kochert, G. 1978. – Carbohydrate determination by phenol-sulfuric acid method. In: Handbook of physiological and biochemical method. Cambridge University Press, London.

Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. 1985. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. – Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

Mahdavian, K., Ghorbanli, M. and Kalantari, M. KH. 2008. The effects of ultraviolet radiation on contents of chlorophyll, flavonoid anthocyanin and proline in *Capsicum annum* L. – Turkish Journal of Botany 32: 25-33.

Mazza, C.A., Boccalandro, H.E., Girodano, C.V., Battista, D., Scopel, A.L. and Ballare, C.L. 2000. Functional significance and induction by solar radiation of ultraviolet-absorbing sunscreens in field-grown soya bean crops. – Plant Physiology 122:117-125.

Moosavi, S.M., Khara, J. and Heidari, R. 2009. Effects of salicylic acid on photosynthetic pigment content in *Ocimum basillicum* L. under UV radiation stress. – Fredowsi University International Journal of Biological Sciences 1: 57-66.

Morris, K.S.A., Mackerness, T. and Page, T. 2000. Salicylic acid has a role in regulating gene expression during leaf senescence. – Plant Journal 23: 677–685.

Moussa, H.R. and Khodary, S.E.A. 2008. Changes in growth and 14 CO_2 fixation of *Hordeum vulgare* and *Phaseolus vulgaris* induced by UV B radiation. – Journal of Agriculture and Social Science 4: 59-64.

Podleoeny, J., Pietruszewski, S. and Podleoena, A. 2005. Influence of magnetic stimulation of seeds on morphological features and yielding of the pea. – International Agrophysics 19: 61-68.

Popova, L., Pancheva, T. and Uzunova, A. 1997. Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. – Plant Physiology 23:85-93.

Qin, L., Callaghan, T.V. and Yaanyuan, Z. 2004. Effects of elevated solar UV-B radiation from ozone depletion on terrestrial ecosystems. – Journal of Mountain Science 1:276-288.

Rajendra, P., Nayak, H.S., Sashidhar, R.B., Subramanyam, C., Devendarnath, D. and Gunase-karan, B. 2005. Effects of power frequency electromagnetic fields on growth of germinating (*Vicia faba* L), the broad bean. Electromagnetic Biology and Medicine 24: 39-54.

Rakosy-Tican, L., Aurori, C.M. and Morariu, V.V. 2005. Influence of near null magnetic field on in vitro growth of potato and wild *Solanum* species. – Bioelectromagnetics 7: 548-57.

Rhybus-Zajac, M. and Kubis, J. 2010. Effect of UV-B radiation on antioxidanative enzyme activity in cucumber cotyledons. – Acta Biologica Cracoviensla Series Botanica 52: 97-102.

Rivas-San Vicente, M. and Plasenci, J. 2011. Salicylic acid beyond defense: its roles in plant growth and development. – Journal of Experimental Botany 62: 3321-3338.

Shakirova, F.M. and Sahabutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. – Plant Science 164: 317-322.

Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bozrutkova, M.V., Fatkhutdinova, R.A. and Fatkhutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. – Plant Science 164:317-322.

Turcsanyi, E. and Vass, I. 2000. Inhibition of photosynthetic electron transport by UV-A radiation targets the photosystem II complex. – Photochemistry Photobiology 72: 513-520.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]

Turkyilmaz, B., Aktas, L.Y. and Guven, A. 2005. Salicylic acid induced some biochemical and physiological changes in *phaselous vulgris* L. – Science and Engineering Journal of Firat University 17: 319-326.

Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. – Plant Physiology 167: 149-156.

Wang, J.W., Zheng, L.P., Wu, J.Y. and Tan, R.Y. 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: 351-358.

Yoshimas, I., Ichiro, S.H., Takashi, O. and Makatom, S.H. 2001. Twelve hours exposure to homogerous high magnetic field after logarithmic growth phase is sufficient for drastic suppression of *Echerichia* death. – Journal of Bioelectro Chemistry 33: 101-105.

Zhigang, L., Wang, X., Chen, F. and Hyun - Jin Kim, E. 2007. Chemical changes and overexpressed genes in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) Upon methyljasmonate treatment. –Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 706-713.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1393.1.2.5.7]
[DOI: 10.29252/nbr.1.2.40]