Nova Biologica Reperta 6(1): 106-115 (2019)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press

یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۶، شماره ۱، صفحات ۱۰۶ الی ۱۱۵ (۱۳۹۸)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

بررسی رشد، فیزیولوژی و سیستم آنتی‌اکسیدانی زوفا تحت تاثیر مگنتوپرایمینگ

رضوان محمدی[۱]، پرتو روشندل[۲] و علی تدین[۲]
[۱]گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران؛ [۲]گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
مسئول مکاتبات: پرتو روشندل، proshandel@sku.ac.ir

چکیده. به‌منظور بررسی تأثیر مگنتوپرایمینگ بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. نتایج نشان داد مگنتوپرایمینگ (به‌ویژه در ۲۰۰ میلی‌تسلا/۵ دقیقه) باعث افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی (۸۲/۶ درصد)، وزن خشک ریشه‌ها (۸۶/۵ درصد)، محتوای کلروفیل کل (۳۲/۸ درصد)، محتوای کاروتنوئیدها (۳۲/۴ درصد) و پلی‌فنل‌ها (به‌میزان دو برابر) در گیاه زوفای ۶۰ روزه شد. همچنین، میزان نشت الکترولیت‌ها (۲۷/۶ درصد) و پراکسیداسیون لیپیدی (۴۵ درصد) کاهش نشان داد. علاوه بر این، قدرت احیاکنندگی، فعالیت پاکروبی رادیکال‌های DPPH و آنیون‌های سوپراکسید افزایش معنی‌دار یافت. با این وجود، فعالیت بالای آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز (۷۶ درصد)، کاتالاز (۴/۲ برابر)، آسکوربات پراکسیداز (۲/۴ برابر) و گایاکول پراکسیداز (۴۸ درصد) در شدت ۹۰ میلی‌تسلا یافت شد. نتایج پیشنهاد می‌کند کاربرد مگنتوپرایمینگ با افزایش انسجام و پایداری غشاء، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و نیز تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث افزایش رشد گیاهان زوفا می‌شود. همچنین این نوع پرایمینگ می‌تواند با افزایش سطح پلی‌فنل‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، خواص دارویی گیاه زوفا را افزایش دهد.

واژه های کلیدی. آنزیم‌های آنتی اکسیدان، پرایمینگ بذر، فعالیت پاکروبی رادیکال‌ها، میدان مغناطیسی، هیسوپوس اوفیسینالیس

The effects of magnetopriming on the growth, physiology and antioxidant systems in hyssop

Rezvan Mohammadi[1], Parto Roshandel[2] & Ali Tadayon[2]
[1]Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran; [2]Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
Correspondent author: Parto Roshandel, proshandel@sku.ac.ir

Abstract. In order to study the effects of magnetopriming on the physiological and phytochemical characteristics of *Hyssopus officinalis* plants, this research was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design. Results showed that magnetopriming (particularly at 200mT/5 min) increased the level of shoot dry weight (82.6 percent), root dry weight (86.5 percent), total chlorophyll (32.8 percent), carotenoids concentration (32.4 percent) and polyphenols content (2 folds) in 60-day-old *Hyssopus officinalis*. Also, electrolyte leakage and lipid peroxidation decreased by 27.6 and 45 percent, respectively. In addition, reducing power, DPPH and superoxide anion scavenging activities significantly augmented. However, higher activities of superoxide dismutase (76 percent), catalase (4.2 folds), ascorbate peroxidase (2.4 folds) and guaiacol peroxidase (48 percent) were found at 90 mT. Results suggested that the application of magnetopriming promoted growth in *H. officinalis* through augmentation of cellular membrane integrity as well as biomass and photosynthetic pigments content. Furthermore, it was found to enhance the antioxidative system. Magnetopriming might apparently improve the medicinal properties via increasing the level of polyphenols and antioxidant capacity in *H. officinalis*.

Keywords. antioxidant enzymes, *Hyssopus officinalis*, magnetic field, radical scavenging activity, seed priming

Received 23.07.2017/ Revised 14.08.2018/ Accepted 15.06.2018/ Published 01.05.2019
دریافت ۱۳۹۶/۰۵/۰۱/ اصلاح ۱۳۹۷/۰۳/۲۳/ پذیرش ۱۳۹۷/۰۴/۲۴/ انتشار ۱۳۹۸/۰۲/۱۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]

مقدمه

گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) از تیره نعنائیان (Lamiaceae) گیاهی چند ساله است که می‌تواند تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر رشد کند. این گیاه دارای ساقه‌های چهار گوش، برگ‌های کوچک دوکی شکل بدون کرک است. گل آذین آن به‌طول ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر و به صورت چرخه‌ای و هر چرخه متشکل از هفت تا نه گل با جام گل دو لبه است. گل‌ها در واریته‌های مختلف به رنگ‌های آبی کم رنگ، بنفش، صورتی یا سفید دیده می‌شوند. در طب گیاهی از بخش‌های هوایی زوفا برای درمان بیماری‌های مربوط به دستگاه تنفس مانند سرفه، سیاه سرفه، برونشیت و آسم استفاده می‌شود (Khazaie *et al*., 2008). علاوه بر این، اسانس زوفا به علت داشتن خواص ضد میکروبی در صنایع غذایی و بهداشتی نیز کاربردی فراوان دارد (Reichling *et al*., 2009). این گیاه به دلیل تولید نوش فراوان در گل‌های خود در ردیف گیاهان مولد عسل قرار می‌گیرد. زوفا در ایران غالباً در استان‌های شمال غربی، سیستان و بلوچستان و سواحل دریای خزر رویش طبیعی دارد.

پرایمینگ بذر یکی از روش‌های نسبتاً ساده و در عین حال مؤثری است که نه تنها دارای مزایایی در مرحله جوانه‌زنی بلکه بر فرایندهای فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی در مرحله بلوغ گیاه نیز تاثیرگذار است. این روش، نوعی یک تیمار پیش از خیساندن بذر تلقی می‌شود که طی آن بذر در معرض یک پتانسیل آب خارجی پایین قرار داده می‌شود که آبنوشی بذر را محدود می‌کند. این میزان از آبنوشی برای انجام وقایع متابولیسمی قبل از جوانه‌زنی کافی است ولی برای انجام فرایند خروج ریشه‌چه از پوسته بذر ناکافی است. پرایمینگ بذر تیماری متداول در بسیاری از کشورها مانند پاکستان، چین و استرالیاست که می‌تواند موجب بهبود پارامترهای جوانه‌زنی، افزایش ظهور دانه‌رست و استقرار قویتر آن، بهبود رشد، محصول‌دهی و مقاومت به تنش‌های محیطی در شرایط نامطلوب شود (Ashraf & Rauf, 2001). تاکنون این تکنیک به‌صور مختلف انجام شده است که از آن جمله می‌توان به اسموپرایمینگ، هیدروپرایمینگ، هالوپرایمینگ، پرایمینگ هورمونی و مگنتوپرایمینگ اشاره نمود. در روش مگنتوپرایمینگ، معمولا بذرهای مرطوب در زمان‌هایی متفاوت تحت شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند. مزایای استفاده از پرایمینگ با میدان مغناطیسی بر روی رشد و نمو گیاهان شناخته شده است (Maffei, 2014). به‌طوری که در گزارش‌های مختلف تاثیر پیش‌تیمار بذر با میدان مغناطیسی در افزایش تحریک صفات جوانه‌زنی، درازا، وزن خشک و تر دانه رست‌های گیاهان زراعی نظیر ذرت، کدو، گوجه‌فرنگی، سویا و یا گیاهان دارویی مانند مریم گلی و همیشه بهار عنوان شده است (Yinan *et al*., 2005; Flórez *et al*., 2007; Martínez *et al*., 2009; Flórez *et al*., 2012; Shine *et al*., 2012). علاوه بر این، تاثیر این پرایمینگ بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه پس از مرحله دانه‌رستی و در دوره گیاهچه‌ای نیز در شرایط عادی و یا تنش محیطی مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، پرایمینگ بذر با الکترومغناطیس برای کاهش اثرات مضر تنش خشکی در گیاهان زراعی مختلف استفاده شده است (Maffei, 2014). در گزارشی دیگر بیان شد که محتوای کلروفیل و هدایت روزنه ای در گیاهان ذرتی که تحت تاثیر میدان مغناطیسی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا قرار گرفته‌اند در مقایسه با گیاهان شاهد و یا تحت تنش ملایم، افزایش یافته است (Anand *et al*., 2012). در یک بررسی دیگر معلوم شد پیش‌تیمار بذر دو کالتیوار ذرت با شدت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ دقیقه باعث کاهش اثرات تنش خشکی از طریق بهبود وضعیت کلروفیل a و سیستم‌های خاموشی فتوشیمیایی و غیرشیمیایی می‌شود (Javed *et al*., 2011). گزارش شده است که مگنتوپرایمینگ بذر سویا بهبود دهنده رشد کالوس و آسیب سلولی تحت تنش شوری است (Radhakrishnan *et al*., 2012). در مورد بذرهای نخود نیز مگنتوپرایمینگ باعث افزایش مقاومت به شوری این گیاه در مرحله جوانه‌زنی شد (Thomas *et al*., 2013). علاوه بر این، مشاهده شده است که مگنتوپرایمینگ بذرهای درمنه دشتی و درمنه کوهی نه تنها از اثرات سوء تنش شوری در گیاهچه‌های رشد یافته این گیاهان می‌کاهد بلکه بر سیستم آنتی‌اکسیدانی آنها نیز تاثیرگذار است (Azimian & Roshandel, 2015; Roshandel & Azimian, 2015). با توجه به تاثیرات متعدد و درعین حال مثبت میدان مغناطیسی بر گیاهان، در تحقیق حاضر تاثیر پرایمینگ بذر با میدان مغناطیسی بر رشد گیاهچه‌های رشدیافته زوفا و تغییرات صورت گرفته بر فیزیولوژی و سیستم آنتی-

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]

اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی آن در شرایط عادی (بدون تنش) مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آماده سازی و شرایط رشد

بذرهای زوفا از بخش تحقیقات گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد تهیه گردید. برای اجرای مگنتوپرایمینگ بذرهای استریل شده و مرطوب در ظرف لاکی مکعبی با ابعاد یک سانتی‌متر مکعب در شکاف دستگاه مولد میدان مغناطیسی قرار داده شدند. بذرها در پنج سطح مختلف از شدت میدان مغناطیسی (صفر، ۴۵، ۹۰، ۲۰۰، ۲۵۰ میلی‌تسلا) و در پنج مدت زمان ارائه میدان (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ دقیقه) قرار گرفتند. بذرهای مذکور برای جوانه‌زنی در آب مقطر اجازه رشد یافتند. آزمایش های اولیه تحقیق حاضر که در مورد پارامترهای جوانه‌زنی انجام گرفت (داده ها نشان داده نشده است) آشکار کرد که تاثیر متقابل شدت میدان مغناطیسی و مدت زمان ارائه میدان معنی‌دار نیست. از این‌رو، در آزمایش های بعدی حداقل زمان ارائه میدان مغناطیسی، پنج دقیقه در نظر گرفته شد. بذرهای پرایم شده و بدون پرایم (شاهد) زوفا در گلدان‌های پلاستیکی- حاوی نسبت برابر پرلیت و شن نرم- کاشته و با محلول هوگلند آبیاری و در شرایط گلخانه (دوره نوری ۱۶ ساعت نور/۸ ساعت تاریکی، دمای ۲۵/۳۲ درجه سانتیگراد) رویانده شدند. در پایان دوره آزمایش، گیاهان ۶۰ روزه زوفا برای ارزیابی پارامترهای موردنظر یعنی وزن خشک، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان پراکسیداسیون لیپیدی، نشت الکترولیتی غشاء، محتوای فنل کل، سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی، برداشت شدند. برای بررسی تغییرات وزن خشک، اندام‌های هوایی و زیرزمینی به طور جداگانه در آون ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. توزین نمونه‌ها با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱± انجام گرفت. برای اندازه‌گیری نشت الکترولیتی غشاء از روش Campos و همکاران (2003) استفاده شد. میزان پراکسیداسیون لیپیدی با اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدئید (MDA) در اندام‌های هوایی گیاه زوفا طبق روش Ksouri و همکاران (2007) مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر برحسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره استونی بافت‌های گیاهی محاسبه شد (Lichtenthaler & Buschmann, 2001). به منظور سنجش محتوای فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه تحت میدان مغناطیسی، عصاره متانلی از اندام‌های هوایی زوفا تهیه گردید (Ksouri *et al.*, 2007). فعالیت آنتی‌اکسیدانی این عصاره بر اساس فعالیت پاکروبی رادیکالهای آزاد و پایدار DPPH (۱، ۱- دی فنیل-۲-پیکریل هیدرازیل)، قدرت پاکروبی رادیکال سوپراکساید و مقایسه قدرت احیاکنندگی سنجیده و قدرت پاکروبی به صورت IC_{50} (میکروگرم بر گرم وزن خشک) بیان شد (Ksouri *et al.*, 2007). استخراج عصاره پروتئینی مورد نیاز برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از برگ‌های گیاه زوفا طبق روش Narwal و همکاران (2009) با کمی تغییر صورت گرفت. یک گرم از برگ‌های تازه زوفا در نیتروژن مایع همراه با محلول بافر فسفات ۱۰۰ میلی مولار (pH 6) و EDTA ۰/۱ میلی مولار ساییده شد. محلول رویی این مخلوط پس از سانتریفیوژ در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد تا استفاده بعدی نگهداری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشتمل بر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز از روش Narwal و همکاران (2009) استفاده شد. آنالیز آماری داده‌های این آزمایش (که در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گرفت) با نرم‌افزار SAS (V.9.0) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها نیز با استفاده از برنامه Excel انجام پذیرفت.

نتایج

تغییر در وزن خشک اندام‌های هوایی

نتایج به‌دست آمده نشان داد پرایمینگ بذر زوفا با شدت‌های میدان مغناطیسی به‌کار رفته در این تحقیق می‌تواند باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه زوفا شود. با افزایش شدت میدان مغناطیسی از ۴۵ تا ۲۰۰ میلی‌تسلا بر میزان این پارامتر افزوده شد(شکل A۱). بیشترین میزان این پارامتر درگیاهانی دیده شد که بذر آنها با شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا تیمار شده بودند (افزایش ۸۲/۶ درصدی نسبت به شاهد).

تغییر در وزن خشک ریشه‌ها

بررسی داده‌ها مشخص کرد پرایمینگ بذر با میدان مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش وزن خشک ریشه‌ها شود که در مقایسه با

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]

شاهد اختلاف معنی‌دار نیز وجود داشت (شکل B۱). همگام با افزایش شدت میدان مغناطیسی از ۴۵ تا ۲۰۰ میلی‌تسلا بر میزان این پارامتر افزوده شد ولی در بذرهای تیمار شده با شدت میدان ۲۵۰ میلی‌تسلا از وزن خشک ریشه‌ها به طور معنی‌دار کاسته شد. وزن خشک ریشه در گیاهانی که بذرشان با شدت‌های ۴۵، ۹۰ و ۲۵۰ میلی‌تسلا پرایم شده بودند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت. به این ترتیب مؤثرترین شدت میدان مغناطیسی برای افزایش بیوماس ریشه‌ها، ۲۰۰ میلی تسلا بود که باعث افزایش۸۶/۵ درصدی این پارامتر نسبت به شاهد شد.

تغییر در پراکسیداسیون لیپیدی

نتایج معلوم کرد اعمال میدان مغناطیسی در تمام شدت‌های به‌کار رفته می‌تواند به صورت معنی‌دار از شدت پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی بکاهد (شکل C۱). میزان این کاهش از ۱۹درصد (در بذرهای تیمار شده با شدت میدان ۴۵ میلی‌تسلا) تا ۴۵درصد (در بذرهای تیمار شده با شدت میدان ۲۰۰ میلی تسلا) متفاوت بود. میزان این پارامتر در گیاهان پیش تیمار شده با شدت‌های ۴۵، ۹۰ و ۲۵۰ میلی‌تسلا تفاوت معنی‌داری نشان نداد.

تغییر در میزان نشت الکترولیتی غشاء

میدان مغناطیسی در شدت‌های ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا توانست به‌طور معنی‌دار نشت الکترولیت‌ها از غشاءهای سلولی را به ترتیب از ۲۳/۸ تا ۲۷/۶ درصد کاهش دهد (شکل D۱). ولی تأثیر این دو شدت میدان مغناطیسی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. با این وجود، میزان نشت الکترولیت‌ها در شدت میدان مغناطیسی ۴۵ و ۲۵۰ میلی‌تسلا اختلاف معنی‌داری با گیاهان شاهد نداشت.

تغییر در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که پیش‌تیمار بذرهای زوفا با میدان مغناطیسی می‌تواند بر محتوای کلروفیلa در گیاهان این گونه تأثیرگذار باشد (شکل A۲). با این وجود، میزان این تأثیر در شدت‌های مختلف میدان متفاوت بود. به‌عبارت دیگر، در حالی که پیش تیمار ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل a نسبت به گیاهان شاهد شد ولی محتوای این رنگیزه در گیاهان به‌عمل آمده از بذرهای تیمار شده با شدت‌های میدان ۴۵ و ۲۵۰ میلی‌تسلا اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نداشت. بیشترین میزان محتوای کلروفیل a نسبت به شاهد (۳۲/۵ + درصد) در پیش‌تیمار ۲۰۰ میلی‌تسلا به‌دست آمد. برای کلروفیل b نیز بیشترین تأثیر شدت میدان مغناطیسی که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت مربوط به شدت‌های ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا بود (شکل B۲).

بیشترین میزان این پارامتر در پیش‌تیمار ۲۰۰ میلی‌تسلا بود که افزایشی بیش از دو برابر نسبت به شاهد داشت. تأثیر پیش‌تیمار بذر در شدت‌های ۴۵ و ۲۵۰ میلی تسلا بر غلظت پلی فنل‌های اندام‌های هوایی زوفا تأثیر معنی‌داری نداشت. علاوه بر این، تفاوتی معنی دار برای محتوای کلروفیل b دراین دو شدت میدان نیز به‌دست آمد. بیشترین میزان محتوای کلروفیل b (۳۳/۳+ درصد) مربوط به پیش‌تیمار ۲۰۰ میلی‌تسلا بود. میزان این رنگیزه در پیش‌تیمارهای ۴۵ و ۲۵۰ میلی‌تسلا تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. محتوای کلروفیل کل در گیاهان زوفا نیز تحت تأثیر شدت میدان مغناطیسی از روندی نسبتاً مشابه برخوردار بود (شکل C۲). به‌طوری که بیشترین محتوای کلروفیل کل در پیش‌تیمار ۲۰۰ میلی تسلا تخمین زده شد (۳۲/۸+ درصد) ولی تفاوت معنی‌داری با پیش‌تیمار ۹۰ میلی تسلا نداشت. تغییر در محتوای کاروتنوئیدها تنها در گیاهانی مشاهده شد که بذر آنها با ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا پیش تیمار شده بودند (شکل D۲). پیش‌تیمارهای ۴۵ و ۲۵۰ میلی تسلا نسبت به شاهد افزایش قابل ملاحظه و معنی‌داری را برای این پارامتر به‌دنبال نداشت. بیشترین محتوای این مجموعه از رنگیزه‌ها در پیش‌تیمار ۲۰۰ میلی‌تسلا با افزایش ۳۲/۴ درصدی نسبت به شاهد به‌دست آمد.

تغییر در میزان فنل کل

نتایج مشخص کرد که پیش‌تیمار بذرهای زوفا با میدان مغناطیسی می‌تواند بر میزان فنل کل بخش‌های هوایی این گیاه مؤثر باشد. نتایج نشان دادکه میزان فنل کل اندام‌های هوایی در گیاهان پیش‌تیمار شده با شدت‌های ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا (به‌ترتیب ۳۷/۲ و ۴۵/۴ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک) اختلاف معنی‌داری با شاهد (۲۲/۴ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک) داشت (شکل A۳).

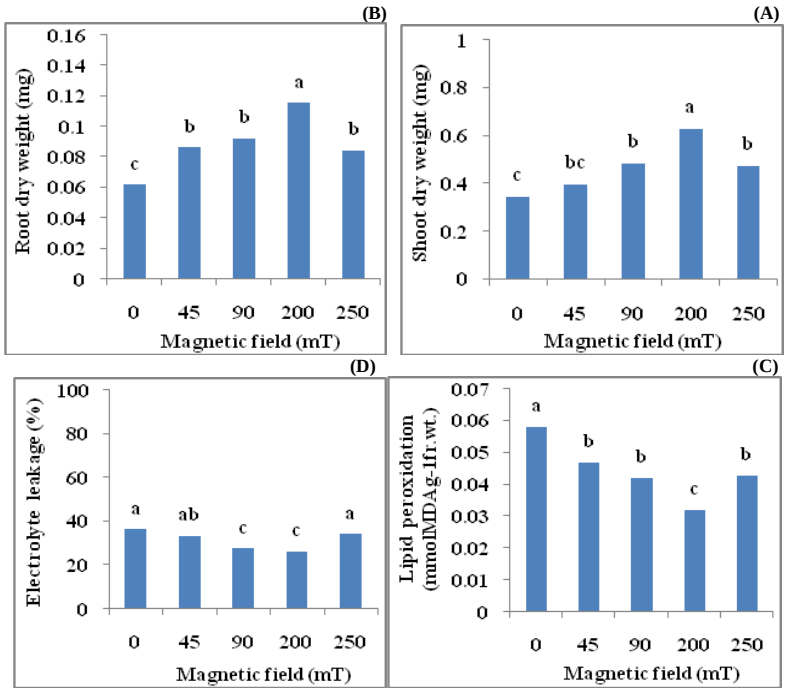
تغییر در قدرت پاکروبی رادیکال‌های DPPH

پیش‌تیمار بذرها با میدان مغناطیسی، تنها در شدت ۲۰۰ میلی‌تسلا بر قدرت پاکروبی رادیکال‌های DPPH نسبت به شاهد تأثیر معنی‌دار داشت (کاهش IC_{50}از ۱۱۹/۷ به ۹۱/۲ میکروگرم بر گرم وزن

تغییر در فعالیت پاکروبی آنیون‌های سوپراکسید

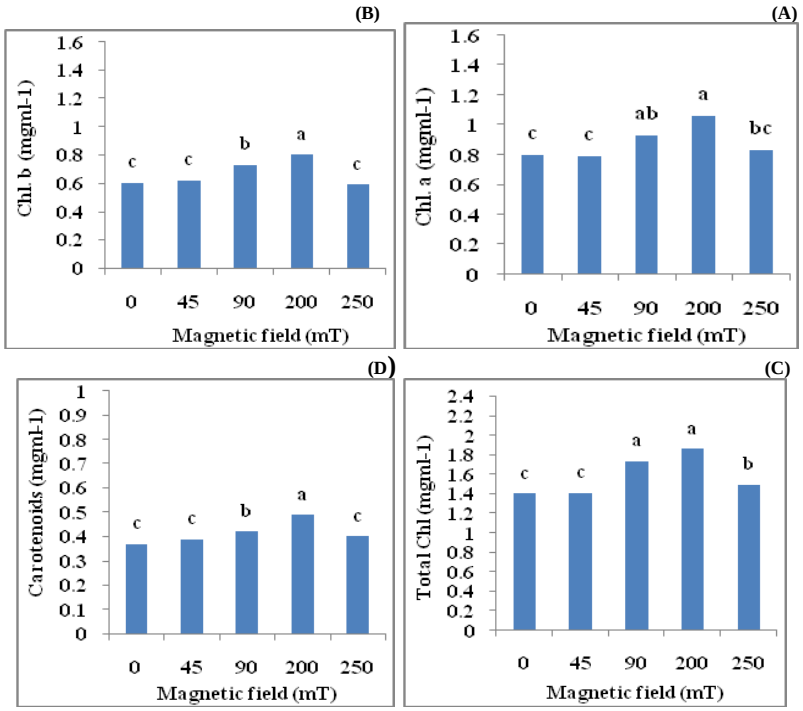
نتایج نشان داد که پیش‌تیمار میدان مغناطیسی تنها در شدت ۲۰۰ میلی‌تسلا بر افزایش فعالیت پاکروبی آنیون‌های سوپراکسید مؤثر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]



شکل ۱- گیاهان ۶۰ روزه زوفا رشد یافته در میدان مغناطیسی و یا شرایط عادی. **A.** وزن خشک اندام‌های هوایی. **B.** وزن خشک ریشه‌ها. **C.** نشت الکترولیتی غشاء. **D.** پراکسیداسیون لیپیدی. میانگین‌های (از سه تکرار) دارای حروف یکسان در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 1. 60-day-old *Hyssopus officinalis* plants primed with magnetic field and grown under normal condition. **A.** Shoot dry weight. **B.** Root dry weight. **C.** Electrolyte leakage. **D.** Lipid peroxidation. Means (three replicates) with the same letter are not significantly different at $p<0.05$.



شکل ۲- گیاهان ۶۰ روزه زوفا رشد یافته در میدان مغناطیسی و یا شرایط عادی. **A.** محتوای کلروفیل a. **B.** محتوای کلروفیل b. **C.** محتوای کلروفیل کل. **D.** محتوای کاروتنوئیدها. میانگین‌های (از سه تکرار) دارای حروف یکسان در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. 60-day-old *Hyssopus officinalis* plants primed with magnetic field under normal condition. **A.** Chlorophyll a content. **B.** Chlorophyll b content. **C.** Total chlorophyll content. **D.** Carotenoids content. Means (three replicates) with the same letter are not significantly different at $p<0.05$.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]

است (شکل C۳). این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار بود. به عبارت دیگر، در حالی که میزان IC_{50} برای این پارامتر در اندام‌های هوایی گیاهان شاهد ۶۸/۷ (میکروگرم بر گرم وزن خشک) بود، در گیاه روییده از پیش‌تیمار ۲۰۰ میلی‌تسلا به ۴۶/۲ (میکروگرم بر گرم وزن خشک) کاهش یافت (۳۲/۷ درصد). دیگر شدت‌های به‌کار رفته میدان مغناطیسی تأثیر معنی‌داری بر قدرت پاکروبی آنیون‌های سوپراکسید گیاهان پیش‌تیمار شده نداشت.

تغییر در قدرت احیاکنندگی

نتایج معلوم کرد پیش تیمارهای میدان مغناطیسی در شدت‌های ۲۰۰ و ۹۰ میلی‌تسلا - به‌ترتیب- باعث ۴۴ و ۱۰ درصد افزایش میزان جذب طیف نوری (از ۳۸۸/۰ به ۵۵۹/۰ و ۴۲۶/۰) می‌شوند (شکل D۳). در واقع، افزایش میزان جذب طیف نوری نشانه‌ای از افزایش قدرت احیاکنندگی بخش‌های مورد ارزیابی است. نتایج نشان داد دیگر شدت‌های میدان مغناطیسی به‌کاررفته، تأثیر مثبتی در افزایش این پارامتر به‌دنبال نداشت. بدین‌گونه که در شدت ۴۵ میلی‌تسلا، میزان جذب طیف نوری اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد و در گیاهان پیش‌تیمار شده با شدت ۲۵۰ میلی‌تسلا از میزان جذب طیف نوری تا ۲۳/۷ درصد (از ۳۸۸/۰ به ۲۹۶/۰) کاسته شد که می‌تواند حاکی از تأثیر منفی این شدت میدان بر قدرت احیا کنندگی عصاره متانلی گیاهان زوفای پیش‌تیمار شده در این شدت میدان باشد.

تغییر در فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز

نتایج معلوم کرد شدت‌های ۴۵ و ۹۰ میلی تسلا میدان مغناطیسی منجر به افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نسبت به شاهد شده است (شکل A۴). در مؤثرترین پیش‌تیمار (۹۰ میلی تسلا) میزان این افزایش ۷۶ درصد (از ۶/۳۴ به ۶۱/۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) نسبت به شاهد بود. تغییرات فعالیت این آنزیم در برگ گیاهان پیش‌تیمار شده با ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌تسلا تفاوت معنی‌دار با شاهد نداشت.

تغییر در فعالیت کاتالاز

نتایج حاکی از آن بود که پیش تیماربذر با میدان مغناطیسی می‌تواند بر نحوه فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های گیاهان ۶۰ روزه زوفا تأثیر معنی‌دار داشته باشد (شکل B۴). میدان مغناطیسی با شدت‌های ۹۰ و ۲۰۰ میلی تسلا منجر به افزایش معنی‌دار ۴/۲ و ۳/۹ برابری (از ۲۴۸/۰ به ۱/۰۳ و ۰/۹۶۳ میکرومول پراکسید هیدروژن بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین) فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد شد. آنالیز داده ها نشان داد دیگر پیش تیمارهای میدان مغناطیسی تأثیر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم در برگ‌های زوفا نسبت به شاهد ندارد.

تغییر در فعالیت آسکوربات پراکسیداز

بررسی داده‌ها نشان داد پیش‌تیمار بذرها با شدت‌های ۹۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌تسلا منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در مقایسه با شاهد در برگ‌های زوفا می‌شود (شکل C۴). بالاترین میزان این افزایش در شدت ۹۰ میلی‌تسلا تا ۲/۴ برابر نسبت به شاهد به‌دست آمد (تغییر از ۰۸/۳ به ۴۵/۷ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین). پیش‌تیمار بذرها با شدت میدان ۴۵ میلی‌تسلا تأثیری بر فعالیت این آنزیم در برگ‌های زوفا نداشت.

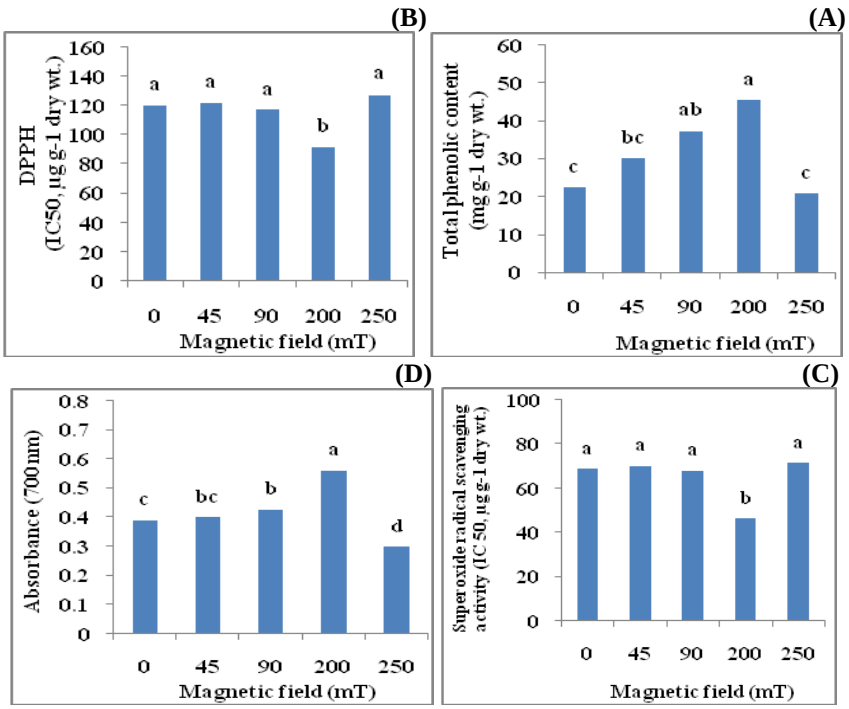
تغییر در فعالیت گایاکول پراکسیداز

نتایج نشان داد شدت میدان مغناطیسی در ۹۰ میلی‌تسلا باعث افزایش ۴۸ درصدی و در عین حال معنی‌دار (از ۸۹/۳ به ۷۹/۵ میکرومول تتراگایاکول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) فعالیت گایاکول پراکسیداز نسبت به شاهد می‌شود (شکل D۴). با این وجود، شدت میدان مغناطیسی در ۲۵۰ میلی‌تسلا میزان فعالیت این آنزیم را در مقایسه با شاهد تا ۳۹ درصد (از ۸۹/۳ به ۳۷/۲ میکرومول تتراگایاکول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) کاهش داد. فعالیت گایاکول پراکسیداز در برگ‌های زوفا اگرچه تحت پیش‌تیمارهای ۴۵ و ۲۰۰ میلی تسلا افزایش داشت ولی اختلاف معنی داری با شاهد برای این دو گروه به‌دست نیامد.

بحث

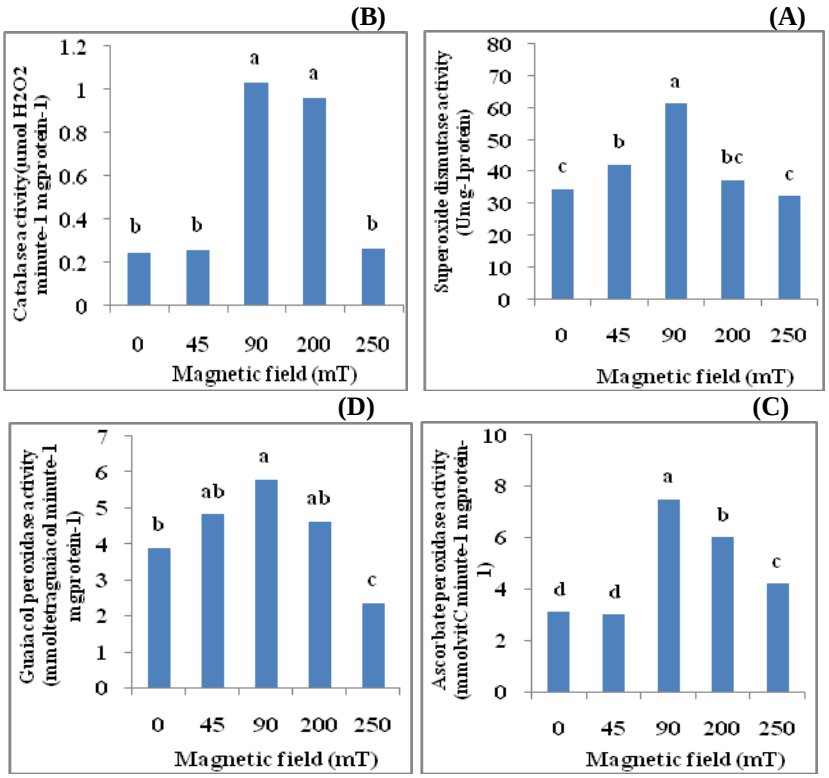
مطالعات متعددی وجود دارد که تاثیر میدان مغناطیسی را بر روی گیاهان، به‌ویژه در مرحله جوانه‌زنی نشان می‌دهد (Florez *et al*., 2007, 2012; Martínez *et al*., 2009; Radhakrishnan *et al*., 2012; Radhakrishnan & Kumari, 2013; Shine *et al*., 2012; Thomas *et al*., 2013; Baser Kouchebagh *et al*., 2015). در این بررسی‌ها نشان داده شده است که پارامترهای وابسته به جوانه‌زنی مانند جذب آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک، تر و طول دانه‌رست و شاخص‌های بنیه بذر به گونه‌ای مثبت تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند. داده‌های تحقیق حاضر نشان داد که پرایمینگ بذر با میدان مغناطیسی می‌تواند علاوه بر جوانه‌زنی (داده ها نشان داده نشده است)، برروی مراحل بعدی رشد گیاه زوفا نیز تاثیرگذار باشد. نتایج آشکار کرد که

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]



شکل ۳- گیاهان ۶۰ روزه زوفا رشد یافته در میدان مغناطیسی و یا شرایط عادی. **A.** محتوای فنل کل. **B.** فعالیت پاکروبی رادیکالهای DPPH. **C.** فعالیت پاکروبی رادیکال‌های سوپر اکسید. **D.** قدرت احیاکنندگی. میانگین‌های (از سه تکرار) دارای حروف یکسان در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 3. 60-day-old *Hyssopus officinalis* plants primed with magnetic field under normal condition. **A.** Total phenolic content. **B.** DPPH radical scavenging activity. **C.** Superoxide anion radical scavenging activity. **D.** Reducing power. Means (three replicates) with the same letter are not significantly different at $p<0.05$.



شکل ۴- گیاهان ۶۰ روزه زوفا رشد یافته در میدان مغناطیسی و یا شرایط عادی. **A.** فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز. **B.** فعالیت کاتالاز. **C.** فعالیت آسکوربات پراکسیداز. **D.** فعالیت گایاکول پراکسیداز. میانگین‌های (از سه تکرار) دارای حروف یکسان در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 4. 60-day-old *Hyssopus officinalis* plants primed with magnetic field under normal conditions. **A.** Superoxide dismutase activity. **B.** Catalase activity. **C.** Ascorbate peroxidase activity. **D.** Guaiacole peroxidase activity. Means (three replicates) with the same letter are not significantly different at $p<0.05$.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]

مگنتوپرایمینگ می‌تواند بر افزایش بیوماس گیاهان زوفا مؤثر باشد. این تأثیر مثبت در هر دو بخش اندام‌های هوایی و زیرزمینی مشاهده شد. افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی زوفا گویای افزایش کمّی بخش‌های هوایی (افزایش برگ‌ها و شاخه‌های جانبی) نیز هست. از آنجایی که اندام‌های هوایی زوفا تشکیل دهنده بخش دارویی آن است، می‌توان نتیجه گرفت که انجام مگنتوپرایمینگ برای بذرهای زوفا می‌تواند در افزایش عمل‌کرد مزارع کشت زوفا مؤثر باشد. از طرف دیگر، افزایش بیوماس ریشه زوفا تحت تأثیر مگنتوپرایمینگ می‌تواند در استقرار قویتر گیاهچه‌های زوفا و نیز جذب آب و املاح معدنی بیشتر و در نتیجه رشد بهتر این گیاه دارویی تأثیر به‌سزایی داشته باشد. با این وجود، معلوم شد شدت-های مختلف میدان، تأثیرات متفاوتی بر بیوماس گیاه زوفا دارد و مؤثرترین دوز آن برای گیاه زوفا (۲۰۰ میلی‌تسلا/۵ دقیقه) است. مشابه با این وضعیت، برای جوانه‌زنی بذرهای کدو و سویا نیز شدت ۲۰۰ میلی‌تسلا بعنوان بهترین نتیجه گزارش شده است، اما مؤثرترین زمان ارائه میدان یک ساعت بوده است (Bhardwaj *et al*., 2012; Shine *et al*., 2012). در عین حال، با بررسی تحقیقات گذشته چنین بر می‌آید که دوز ۲۰۰ میلی‌تسلا همیشه مؤثرترین شدت نیست و علاوه بر زمان ارائه، مؤثرترین شدت میدان مغناطیسی نیز بستگی به گونه مورد مطالعه دارد.

نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت مگنتوپرایمینگ بر غلظت تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی مورد سنجش در زوفا بود. نتیجه مستقیم این رخداد، انجام بهتر فرایند فتوسنتز خواهد بود. به این ترتیب، یکی از دلایل اصلی افزایش بیوماس گیاه زوفا پس از این پرایمینگ می-تواند افزایش تثبیت و متابولیسم کربن و بیوسنتز متابولیت‌های اولیه مانند کربوهیدرات‌ها باشد. تشابه مؤثرترین دوز شدت میدان مغناطیسی (۲۰۰ میلی‌تسلا/۵ دقیقه) در هر دو حالت افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و بیوماس گیاه دلیل دیگری بر این ارتباط است. در تحقیقات گذشته نیز اثرات محافظتی میدان مغناطیسی بر اجزاء فتوسنتزی آشکار شده بود. بعنوان مثال، گزارش شده است که پیش‌تیمار بذر دو نوع کالتیوار ذرت با میدان مغناطیسی (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا/۱۰ دقیقه) اثرات منفی تنش خشکی را با حفظ کلروفیل a و مقابله با رادیکال‌های مخرب ناشی از واکنش‌های فتوشیمیایی کاهش می‌دهد (Javed et *al*., 2011). گزارش شده است که تیمار مغناطیسی مناسب، جذب و متابولیسم مواد غذایی را افزایش می‌دهد و فعالیتهای فتوسنتزی را ارتقاء می‌بخشد (Kavi, 1977). در اغلب موارد یک شدت مناسب میدان می‌تواند بر روی فرایندهای رشد در سطح سلولی اثر گذاشته و توازن یون کلسیم، فعالیت آنزیمها و پروسه‌های گوناگون متابولیسمی را تغییر دهد (Çelik *et al*., 2009). علیرغم چنین مشاهداتی هنوز مکانیسم دقیق واکنش میدان مغناطیسی با یک سلول زنده نامعلوم باقی مانده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد مگنتوپرایمینگ می‌تواند بر انسجام و پایداری غشاءهای سیتوپلاسمی گیاه زوفا تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته باشد. روند تأثیر این پرایمینگ برای هر دو پارامتر مربوطه یعنی نشت الکترولیتی غشا و شدت پراکسیداسیون لیپیدی، تقریباً از روند مشابهی برخوردار بود. نتایج مشابهی نیز قبلا در مورد لوبیا چشم بلبلی گزارش شده بود (Chen *et al*., 2011). همچنین نتایج آشکار کرد که تأثیر مثبت میدان مغناطیسی بر پایداری غشاء-های سیتوپلاسمی در دوز خاصی امکان پذیر است یعنی با افزایش شدت میدان، این تأثیر مثبت همواره افزایش نمی‌یابد. به طوری که شدت ۲۰۰ میلی‌تسلا مؤثرترین دوز برای هر دو پارامتر مورد اندازه‌گیری بود ولی در شدت ۲۵۰ میلی‌تسلا از تأثیر مثبت میدان مغناطیسی کاسته شد.

افزایش محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اندام‌های هوایی تحت تأثیر مگنتوپرایمینگ حاکی از تأثیر این نوع پرایمینگ بر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاه زوفا است. علاوه بر این، همسویی افزایش محتوای فنل کل با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می تواند گویای آن باشد که ترکیبات فنلی در گیاه زوفا می‌بایست نقش مؤثری در افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی داشته باشند. در این خصوص نیز دوز ۲۰۰ میلی‌تسلا بهترین تأثیر را نشان داد. ترکیبات فنلی حاوی یک حلقه آروماتیک همراه با یک یا تعداد بیشتری گروه هیدروکسیل است. این ترکیبات به دلیل توانایی اهدای هیدروژن به مولکول‌های دیگر قابلیت پاکروبی رادیکال‌های آزاد را دارا هستند. در بسیاری از گونه ها همبستگی مثبتی بین محتوای فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گزارش شده است (Vinson *et al*., 1998). گفته می‌شود با مصرف گیاهانی که دارای مقادیر متنابهی ترکیبات آنتی‌اکسیدان هستند می‌توان خطر بیماری‌های وابسته به واکنش رادیکال‌های آزاد را کاهش داد. در تحقیق حاضر برای سنجش خواص آنتی‌اکسیدانی *H. officinalis*، میزان فعالیت پاکروبی رادیکال‌هایDPPH و آنیونهای سوپراکسید و نیز قدرت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]

احیاکنندگی عصاره متانلی بخش‌های هوایی زوفا مورد ارزیابی قرار گرفت. این تکنیک‌ها از متداولترین روش‌ها برای مطالعه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بافت‌های گیاهی محسوب می‌شود (Kumaran & Joel Karunakaran, 2007).

مگنتوپرایمینگ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه زوفا را نیز تحت تاثیر خود قرار داد. به‌طوری که هر دو تأثیر افزایشی و کاهشی معنی-دار در مقایسه با شاهد، در شدت‌های متفاوت میدان مغناطیسی مشاهده شد. با این وجود، دوز مؤثر برای پایه‌ریزی بالاترین افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (۹۰ میلی‌تسلا) با مؤثرترین دوز مربوطه به سایر پارامترها مانند وزن خشک ساقه و ریشه، نشت الکترولیتی، میزان مالوندی آلدئید، محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (۲۰۰ میلی‌تسلا)، همخوانی نداشت. این امر نشان می‌دهد تاثیر شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی بر اجزاء متفاوت سلولی، یکسان نیست. شدت میدان مغناطیسی در ۲۰۰ میلی‌تسلا اگرچه باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (به‌ویژه آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز)، نسبت به شاهد شد ولی این افزایش نسبت به شدت ۹۰ میلی‌تسلا به-نحو معنی‌داری کمتر بود. تاثیر میدان مغناطیسی روی گیاهان به واکنش رادیکال‌های آزاد دارای الکترون اضافی در غشاءها نسبت داده شده است که تولید ROS را تحریک می‌نماید. مطابق با نتایج تحقیق حاضر، مطالعات قبلی نیز ثابت کرده بود میدان مغناطیسی می تواند فعالیت آنزیمهای پاکروبی نظیر کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون ردوکتاز، گلوتاتیون ترانسفراز، پراکسیدازها و پلی فنل اکسیدازها را تغییر دهد (Alemán *et al.*, 2014; Haghighat *et al.*, 2014). برخی از دانشمندان بر این عقیده‌اند که تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان توسط میدان مغناطیسی به دلیل تجمع ROS تولید شده در اثر میدان مغناطیسی است. پیشنهاد شده است اجزاء آپوپلاستی سلول ممکن است به‌عنوان تنظیم کننده‌های ردوکس در دریافت و پیام‌رسانی تغییرات میدان مغناطیسی اهمیت داشته باشند. ایشان معتقدند میدان مغناطیسی اثرات مشخصی روی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه گذاشته و با درگیر شدن میدان مغناطیسی در واکنش‌های آنتی‌اکسیدانی آپوپلاست، باعث فائق آمدن سلول بر عدم توازن ردوکس می‌شود (Cakmak *et al.*, 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد پرایمینگ بذر زوفا با میدان مغناطیسی (به‌ویژه در ۲۰۰ میلی‌تسلا/۵ دقیقه) می تواند بر فیزیولوژی و فیتوشیمی گیاهان رشد یافته از این بذرها مؤثر باشد. این پرایمینگ باعث افزایش بیوماس گیاهان دو ماهه زوفا شد. با توجه به داده‌های تحقیق حاضر می‌توان گفت تأثیر مثبت میدان مغناطیسی بر افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و انسجام و پایداری غشاءهای سیتوپلاسمی از عوامل مؤثر در افزایش رشد و ارتقاء بیوماس گیاهان مذکور است. از طرف دیگر، مگنتوپرایمینگ بذر همگام با افزایش محتوای فنل کل و خواص آنتی‌اکسیدانی بخش‌های هوایی زوفا می‌تواند باعث افزایش خواص دارویی این گیاه شود. علاوه بر این، نتایج این بررسی پیشنهاد می‌کند پاسخ زیرمجموعه های سلولی به شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی می‌تواند متفاوت باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از بخش فیزیک دانشکده علوم دانشگاه شهرکرد به ویژه دکتر محمد مرادی قدردانی می نمایند.

REFERENCES

Alemán, E.I., Mbogholi, A., Boix, Y.F., González-Olmedo, J. and Chalfun-Junior, A. 2014. Effects of EMFs on some biological parameters in coffee plants (*Coffea arabica* L.) obtained by in vitro propagation. – Development 8: 14.

Anand, A., Nagarajan, S., Verma, A.P.S., Joshi, D.K., Pathak, P.C. and Bhardwaj, J. 2012. Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.). – Indian J. Biochem. Biophys. 49: 63-70.

Ashraf, M. and Rauf, H. 2001. Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloride salts: Growth and ion transport at early growth stages. – Acta Physiol. Plant. 23: 407- 414.

Azimian, F. and Roshandel, P. 2015. Magnetic field effects on total phenolic content and antioxidant activity in *Artemisia sieberi* under salinity. – Indian J. Plant Physiol. 20: 264-270.

Baser Kouchebagh S, Rasouli P, Hossein Babaiy A, Khanlou A.R. 2015. Seed germination of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) as affected by physical priming techniques. – Int. J. Biosci. 6: 49-54.

Bhardwaj, J., Anand, A. and Nagarajan, S. 2012. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. – Plant Physiol. Biochem. 57: 67-73.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]

Campos, P.S., nia Quartin, V., chicho Ramalho, J. and Nunes, M.A. 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. plants. – J. plant physiol. 160: 283-292.

Cakmak, T., Cakmak, Z.E., Dumlupinar, R. and Tekinay, T. 2012. Analysis of apoplastic and symplastic antioxidant system in shallot leaves: Impacts of weak static electric and magnetic field. – J. Plant Physiol. 169: 1066-1073.

Çelik, Ö., Büyükuslu, N., Atak, Ç. and Rzakoulieva, A. 2009. Effects of magnetic field on activity of superoxide dismutase and catalase in *Glycine max* (L.) Merr. roots. – Pol. J. Environ. Stud. 18: 175-182.

Chen, Y.P., Li, R. and He, J.M. 2011. Magnetic field can alleviate toxicological effect induced by cadmium in mungbean seedlings. – Ecotoxicology 20: 760-769.

Flórez, M., Carbonell, M.V. and Martínez, E. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. – Environ. Exp. Bot. 59: 68-75.

Flórez, M., Martinez, E. and Carbonell, M.V. 2012. Effect of magnetic field treatment on germination of medicinal plants *Salvia officinalis* L. and *Calendula officinalis* L. – Pol. J. Environ. Stud. 21: 57.

Haghighat, N., Abdolmaleki, P., Ghanati, F., Behmanesh, M. and Payez, A. 2014. Modification of catalase and MAPK in *Vicia faba* cultivated in soil with high natural radioactivity and treated with a static magnetic field. – J. Plant Physiol. 171: 99-103.

Javed, N., Ashraf, M., Akram, N.A. and Al-Qurainy, F. 2011. Alleviation of adverse effects of drought stress on growth and some potential physiological attributes in maize (*Zea mays* L.) by seed electromagnetic treatment. – Photochem. Photobiol. 87: 1354-1362.

Kavi, P.S. 1977. The effect of magnetic treatment of soybean seed on its moisture absorbing capacity. – Sci. Cult. 43: 405-406.

Khazaie, H.R., Nadjafi, F. and Bannayan, M. 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass and oil production of thyme (*Thymus vulgaris*) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). – Ind. Crops Prod. 27: 315-321.

Ksouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C. and Abdelly, C. 2007. Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. – Plant Physiol. Biochem. 45: 244-249.

Kumaran, A. and Joel Karunakaran, R. 2007. Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus.* – Food Chem. 97: 109-114.

Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: Current protocols in food analytical chemistry, F4.3.1-F4.3.8. – John Wiley and Sons, Inc., New York.

Maffei, M.E. 2014. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. – Front. Plant Sci. 5: 1-15.

Martínez, E., Carbonell, M.V., Flórez, M., Amaya, J.M. and Maqueda, R. 2009. Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. – Int. Agrophys. 23: 45-49.

Narwal, S., Bogatek, R., Zagdanska, B.M., Sampietro, A.D. and Vattuone, M.A. 2009. Plant Biochemistry. – Studium Press Lcc, Texas, pp: 413-432.

Radhakrishnan, R., Leelapriya, T. and Kumari, B.D.R. 2012. Effects of pulsed magnetic field treatment of soybean seeds on calli growth, cell damage, and biochemical changes under salt stress. – Bioelectrom. 33: 670-681.

Radhakrishnan, R. and Kumari, B.D.R. 2013. Influence of pulsed magnetic field on soybean (*Glycine max* L.) seed germination, seedling growth and soil microbial population. – Indian J. Biochem. Biophys. 50: 312-317.

Reichling, J., Schnitzler, P., Suschke, U. and Saller, R. 2009. Essential oils of aromatic plants with antibacterial, antifungal, antiviral, and cytotoxic properties–an overview. – Forschende Komplementärmedizin/Res.in Complemen. Med. 16: 79-90.

Roshandel, P. and Azimian, F. 2015. Effects of magnetic field on growth and antioxidant capacity of *Artemisia aucheri* in normal or saline conditions. – Biol. Forum 7: 1095-1103.

Shine, M.B., Guruprasad, K.N. and Anand, A. 2012. Effect of stationary magnetic field strengths of 150 and 200 mT on reactive oxygen species production in soybean. – Bioelectromagnetics 33: 428-437.

Thomas, S., Anand, A., Chinnusamy, V., Dahuja, A. and Basu, S. 2013. Magnetopriming circumvents the effect of salinity stress on germination in chickpea seeds. – Acta Physiol. Plant 35: 3401-3411.

Vinson, J.A., Hao, Y., Su, X. and Zubik, L. 1998. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. – J. Agri. Food Chem. 46: 3630-3634.

Yinan L, Yuan L, Yongquing Y, Chunyang L. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. – Environ. Exp. Bot. 54: 286-294.

*****

How to cite this article:

Mohammadi, R., Roshandel, P. and Tadayon, A. 2019. The effects of magnetopriming on the growth, physiology and antioxidant systems in hyssop – Nova Biol. Reperta 6: 106-115.

محمدی، ر.، روشندل، پ. و تدین، علی. ۱۳۹۸. بررسی رشد، فیزیولوژی و سیستم آنتی‌اکسیدانی زوفا تحت تاثیر مگنتوپرایمینگ. – یافته‌های نوین در علوم زیستی ۶: ۱۱۵-۱۰۶.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.10.5]

[DOI: 10.29252/nbr.6.1.106]