تأثیر میدان مغناطیسی ایستا بر جوانه‌زنی و متابولیسم بذر دو گونه بادام ایرانی (*Amygdalus scoparia* و *Amygdalus eburnea*)

سیده فاطمه عبداللهی[۱]، حمزه امیری*[۱]، وحید نیکنام[۲]، فایزه قناتی[۳] و کاظم مهدیقلی[٤]

[۱]گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، [۲]گروه فیزیولوژی گیاهی، دانشکده زیست شناسی، دانشگاه تهران، تهران، [۳]گروه فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، [٤]گروه سیستماتیک گیاهی، دانشکده زیست شناسی، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۵/۱٦، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٦/۱۲/۰۲)

چکیده

امواج مغناطیسی ایستا دارای اثرات متفاوتی روی گیاهان هستند که نوع اثر، با توجه به فاکتورهای متعددی از جمله گونه گیاهی مورد نظر، شدت میدان مغناطیسی و مدت زمان تابش آن، متفاوت می‌باشد. در پژوهش حاضر بذر دو گونه بادام ایرانی به مدت ۷ روز و هر روز ۵ ساعت، تحت تأثیر میدان مغناطیسی ایستا با شدت ۱۰ میلی‌تسلا قرار گرفتند و سپس هر دو گروه شاهد و تیمار توسط نیتروژن مایع منجمد شده و در یخچال ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. سپس شاخص‌های جوانه‌زنی، میزان پروتئین محلول کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز، محتوای قند کل، ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که امواج مغناطیسی با شدت ۱۰ میلی تسلا تغییری در شاخص‌های جوانه‌زنی بذر به وجود نمی‌آورند. همچنین تغییر معنی‌داری در میزان پروتئین‌های محلول و محتوای قند کل ایجاد نمی‌شود. هرچند این امواج سبب القای فعالیت آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز و کاتالاز شده و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را افزایش می‌دهند. به نظر می‌رسد این اثرات القایی، به دلیل تحریک سیستم دفاعی گیاه توسط میدان مغناطیسی می‌باشد. اثرات تحریکی مذکور به صورت افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی دیده می‌شود.

واژگان کلیدی: امواج مغناطیسی ایستا، آنتی‌اکسیدان، بادام ایرانی، شاخص‌های جوانه‌زنی، محتوای قند

مقدمه

میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی دارای اثرات متعددی بر موجودات زنده از جمله گیاهان هستند. این میدان‌ها هم به صورت طبیعی از کره زمین ساطع می‌شوند (Hulo *et al.*, 2010) و هم به طور مصنوعی از لوازم متعدد ساخته دست بشر تولید می‌شوند (Piacentini *et al.*, 2001). میدان مغناطیسی به دو صورت پایا و ایستا وجود دارد. طیف و شدت امواج مغناطیسی گستره بسیار وسیعی را شامل می‌شود. این گستره شامل امواج بسیار ضعیف با شدت ۱۰۰ نانو تسلا تا ۰/۵ میلی تسلا به صورت طبیعی از هسته کره زمین ساطع می‌شود. امواج بسیار قوی‌تر شامل چندین مگا تسلا نیز وجود دارد که توسط دستگاه‌های مصنوع بشر تابش می‌شود (Leamon *et al.*, 1998). به نظر می‌رسد که امواج در شدت‌های پایین دارای اثرات تحریکی بر روی سلول‌های زنده می‌باشند ولی در

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: amiri.h@lu.ac.ir

شدت‌های بسیار بالا دارای اثرات تخریبی هستند (Barnothy, 2013).

تا کنون تأثیر امواج مغناطیسی با طیف‌های مختلف بر روی انواع موجودات زنده از جمله گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است. بر طبق نتایج به دست آمده، مشاهده شده است که این امواج اثرات متفاوتی بر گیاهان دارند. این تأثیرات گاهی منفی و گاهی مثبت ارزیابی می‌شوند (Maffei, 2014). مطالعات حاکی از آن است که امواج مغناطیسی در شدت‌های پایین می‌توانند سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی در آفتابگردان (Vashisth and Nagarajan, 2010)، گوجه‌فرنگی (Moon and Chung, 2000) و نخود (Vashisth and Nagarajan, 2008) شوند. به علاوه افزایش رشد گیاهچه گندم (Balakhnina *et al*., 2015) و تغییر در محصول دهی ذرت (Vashisth and Joshi, 2017) تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی با شدت پایین مشاهده شده است. این امواج بر متابولیسم گیاهان نیز اثرات متعددی دارند. به عنوان نمونه، امواج مغناطیسی سبب تغییر کیفیت اسانس در ریحان (Ghanati *et al*., 2007) می‌شوند و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در سلول‌های جدا کشت تنباکو (Sahebjamei *et al*., 2007) و گیاهچه تربچه افزایش می‌دهند (Serdyukov and Novitskii, 2013). این امواج همچنین سبب القای تولید انواع آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی همچون ترکیبات فنولی در گیاهان می‌شوند (Dhawi, 2014). به عنوان نمونه، در شلغم امواج مغناطیسی ضعیف سبب القای تولید انواع آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی می‌شوند (Cakmak *et al*., 2012). در مجموع، به نظر می‌رسد امواج مغناطیسی سبب بروز تنش‌های اکسیداتیو در گیاه می‌شوند (Belyavskaya, 2004).

اگر چه تصور می‌شود که امواج مغناطیسی در طول موج‌های پایین‌تر اثرات مثبت بیشتری بر گیاهان دارند، ولی این اثرات به گونه گیاهی مورد نظر، سن گیاه، شرایط اقلیمی و مدت زمان تابش امواج بستگی دارد و به دلیل کافی نبودن تحقیقات در زمینه تأثیر امواج بر روی گیاهان، هنوز نمی‌توان به یک تئوری قطعی رسید. پژوهش حاضر در نظر دارد تأثیر امواج مغناطیسی ایستا با شدت کم را روی بذر دو گونه بادام ایرانی مورد بررسی قرار دهد تا هم از گونه‌های بومی ایران استفاده شود و هم بررسی گردد که آیا در یک سرده، امکان تغییرات متفاوت امواج بر گونه‌های متفاوت وجود دارد و یا نوع تأثیرات یکسان است. لذا تأثیر میدان مغناطیسی ایستا بر برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی و متابولیت‌های بیوشیمیایی دو گونه بادام ایرانی با نام‌های *Amygdalus scoparia* و *Amygdalus eburnea* مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی بذرها: ابتدا دو گونه بادام ایرانی با نام‌های علمی *Amygdalus scoparia* و *Amygdalus eburnea* انتخاب شد و سپس پوسته سخت بذرها جدا شد. سه گروه مورد آزمایش تعیین شد؛ یک گروه بذر خشکی که در معرض میدان مغناطیسی قرار نگرفت و دو گروه دیگر به پتری‌دیش حاوی کاغذ صافی مرطوب انتقال داده شدند. مغز بادام پس از شستشو با شوینده‌های معمولی، ضدعفونی سطحی شد. پس از سه بار آب‌کشی، بذرها در پتری‌دیش‌های حاوی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شد. پتری‌دیش‌های رطوبت‌دیده به دو گروه شاهد و تیمار تقسیم شدند. گروه تیمار در یک بازه زمانی ۷ روزه و هر روز به مدت ۵ ساعت در معرض میدان مغناطیسی ایستا با شدت ۱۰ میلی تسلا قرار گرفت. فضای آزمایشگاه دارای شرایط کنترل شده با دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد و نور ۶۸۰۰ لوکس بود.

دستگاه مولد میدان مغناطیسی: دستگاه تولید کننده میدان مغناطیسی مستقیم (شکل ۱) با توان یک کیلووات و جریان عبوری ۳۰ آمپر و قابلیت تولید میدان مغناطیسی مستقیم با شدت ۱۰ میلی تسلا واقع در دانشگاه تربیت مدرس جهت تیمار استفاده گردید. جهت جلوگیری از ایجاد گرمای زیاد درون سیم پیچ‌ها از سیستم سرمایش گازی با یک اواپراتور، موتور دانفیوس، کندانسور و گاز سرد کننده استفاده شد. بذرهای خشک و گروه شاهد از دستگاه مولد میدان مغناطیسی ایستا به اندازه کافی دور نگه‌داشته شدند.

شکل ۱- دستگاه ساطع کننده امواج مغناطیسی ایستا

شاخص‌های جوانه زنی: درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP) عبارت است از میزان بذرهای جوانه زده در روز هفتم به کل بذرهای موجود که به صورت درصد گزارش می‌شود. متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT) بر پایه روزی که بیشترین جوانه‌زنی اتفاق افتاده است، گزارش می‌شود. این فاکتور هر چه کمتر باشد به معنای آن است که بذرها بیشتر جوانه زده‌اند. واحد گزارش MGT روز می‌باشد. اولین روز جوانه‌زنی (FDG) بیان‌گر روزی است که اولین جوانه‌زنی دیده می‌شود. هر چه FDG کمتر باشد، نشان می‌دهد که جوانه‌زنی زودتر رخ داده است. شاخص جوانه‌زنی (GI) بیشتر بر جوانه‌زنی در روزهای اول تکیه دارد. در واقع، GI بیشتر بر درصد جوانه‌زنی به همراه سرعت جوانه‌زنی تأکید دارد. این فاکتور فاقد واحد است و از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Kader, 2005):

$$GI = (10 \times n_1) + (9 \times n_2) + \ldots + (1 \times n_{10})$$

استخراج آنزیمی، سنجش پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیم‌ها: برای استخراج پروتئین‌ها نیم گرم ماده تر با ٤ میلی لیتر از بافر استخراج Tris-HCl ۱ مولار با pH= ٦/٨ سائیده شد. سپس نمونه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ گردید. این عصاره به عنوان عصاره پروتئینی و آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور سنجش پروتئین‌های برگ ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده را با ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد آماده شده مخلوط و جذب آن در طول موج ۵۹۰ نانومتر اندازه گیری شد. از آلبومین سرم گاوی برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. با کمک این منحنی، غلظت پروتئین موجود در هر نمونه بر حسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر محاسبه گردید (Bradford, 1976).

به منظور سنجش فعالیت سینتیکی آنزیم آسکوربات پراکسیداز ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۰/۵ مولار،۵۰ میکرولیتر آب‌اکسیژنه ۳٪، ۵۰ میکرولیتر آسکوربات و ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی را مخلوط کرده و تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه رسم گردید (Nakano and Asada, 1981). در نهایت میزان فعالیت آنزیم بر حسب فعالیت آنزیم در طی یک دقیقه در یک گرم بافت تر گیاهی گزارش شد.

جهت سنجش فعالیت سینتیکی کاتالاز ۰/۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳ درصد و ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات ۰/۰۵ مولار را با هم مخلوط کرده، سپس ۲۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی به آن افزوده و بلافاصله تغییرات جذب در ۲٤۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه قرائت شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیم بر حسب فعالیت آنزیم در طی یک دقیقه در یک گرم بافت تر گیاهی گزارش شد (Aebi, 1984).

سنجش ترکیبات فنولی: ابتدا بذرهای خشک و همچنین دانه‌رست‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون ٦٠ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و به طور کامل خشک گردیدند. بعد **از آن،** ۰/۱گرم از گرد نمونه‌ها توسط ۲۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درص در بن ماری با دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت استخراج گردید. در این بررسی از روش اسپکتروفتومتری Folin- Denis استفاده شد؛ به این ترتیب که ۰/۲۵ میلی‌لیتر عصاره با ۰/۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر، ۰/۵ میلی‌لیتر بی‌کربنات

سدیم و ۰/۲۵ میلی‌لیتر معرف فولین مخلوط گردید و جذب نمونه‌ها در ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید. سپس میزان فنل کل برحسب میلی گرم تانیک اسید بر گرم وزن خشک با استفاده از منحنی استاندار تانیک اسید محاسبه گردید (Ranganna, 1986).

سنجش DPPH: جهت سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از آزمون DPPH استفاده شد. بدین منظور، ۰/۱ گرم از بافت مورد نظر با ۱ میلی‌لیتر اتانول ۹۶٪ سائیده شد و در ۳۵۰۰ دور به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. سپس ۲۰ میکرولیتر از عصاره با ۸۰۰ میکرولیتر معرف DPPH محلول در اتانول مخلوط شده و نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و در نهایت جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر قرائت شد (Khalaf *et al.*, 2008). با استفاده از فرمول زیر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل مورد سنجش قرار گرفت:

۱۰۰* جذب شاهد/(جذب نمونه – جذب شاهد) = ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

روش اندازه گیری قند کل: ۰/۱ گرم بافت گیاهی به طور کامل در آب مقطر سائیده شده و سپس صاف شد و محلول رویی برای اندازه گیری قند کل استفاده گردید. ۰/۵ میلی‌لیتر محلول قندی، ۰/۵ میلی‌لیتر فنول ۵ درصد و ۲/۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید خالص در لوله آزمایش ریخته شد. سپس لوله‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵-۲۷ درجه باقی ماندند تا خنک شوند و بعد جذب نمونه‌ها در ٤۹۰ نانومتر خوانده شد. محلول گلوکز در غلظت‌های صفر تا ۳۰ میکرومولار در میلی لیتر ساخته شد و به عنوان استاندارد استفاده گردید. میزان قند کل در بافت های ریشه در اندام هوایی بر اساس منحنی استاندارد گلوکز تعیین گردید (Dubois *et al.*, 1956).

تحلیل‌های آماری: در این تحقیق، مقایسه تیمارها به کمک طرح کامل تصادفی صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ و مقایسه میانگین داده ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح ۵٪ انجام شد.

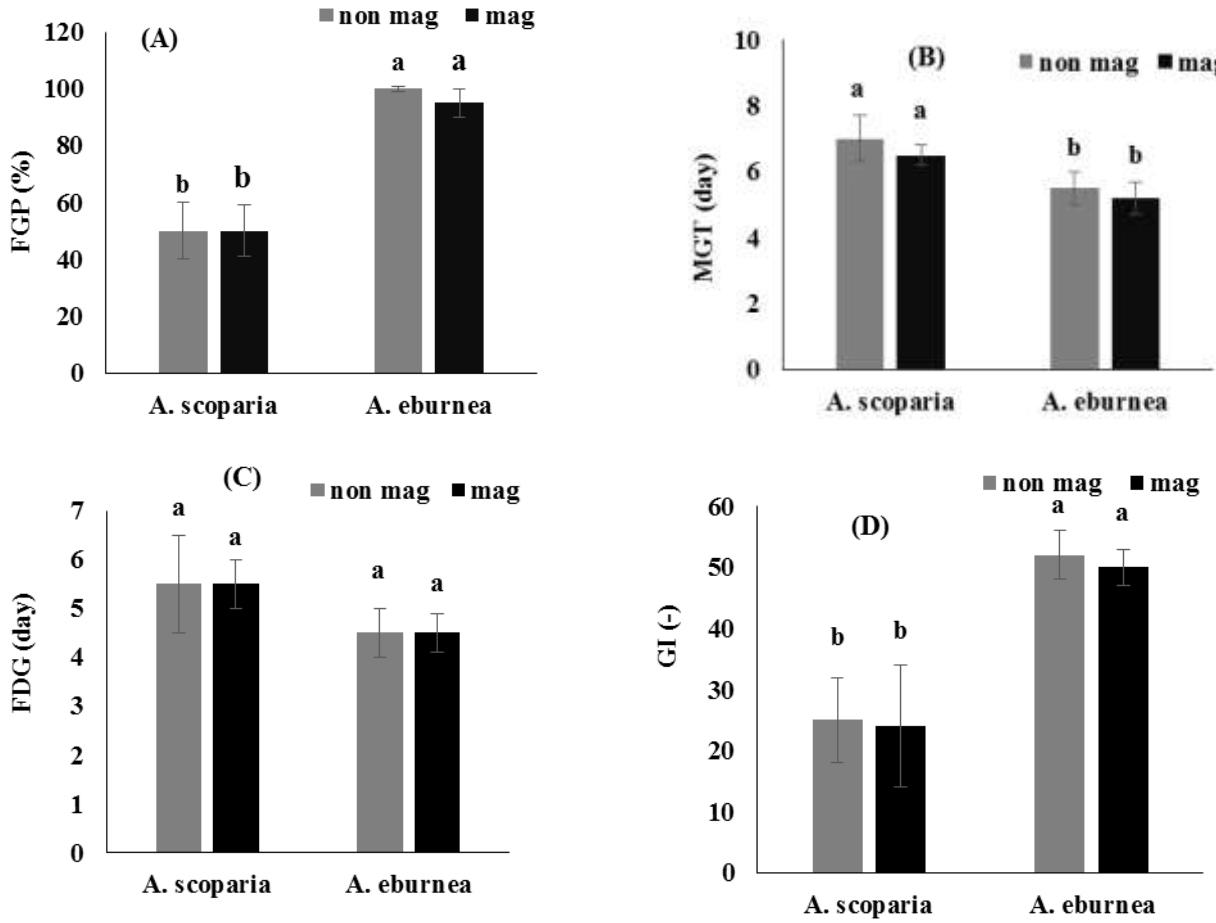
نتایج

طبق داده‌های به دست آمده، میدان مغناطیسی ایستا هیچ تغییری در درصد جوانه‌زنی نهایی گونه *A. scoparia* ایجاد نکرد، اما میزان جوانه‌زنی را در گونه *A. eburnea* کمی کاهش داد، هر چند این کاهش معنی‌دار نیست (شکل ۲A). متوسط زمان جوانه‌زنی، اولین روز جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی نیز در هر دو گونه *A. scoparia* و *A. eburnea* تغییر معناداری نشان نداد (شکل ۲B,C,D).

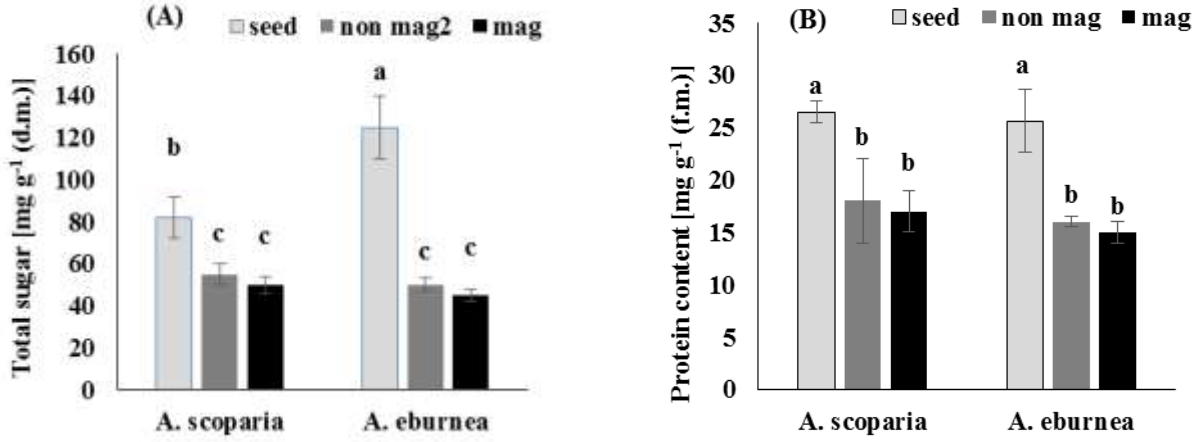
میزان قند کل در هر دو گونه *A. scoparia* و *A. eburnea* در گروه تیمار و گروه شاهد نسبت به بذر خشک کاهش معنی‌دار نشان داد، ولی در گروه تیمار نسبت به گروه شاهد تغییر معنی‌داری نشان نداد (شکل ۳A). همان‌طور که در شکل ۳ (B) نشان داده شده است میزان پروتئین محلول کل در هر دو گروه پتری شاهد و پتری در معرض میدان، نسبت به بذر خشک کاهش معنی‌داری نشان داد، ولی در پتری شاهد نسبت به پتری تیمار تغییر معنی‌داری نداشت.

محتوای ترکیبات فنلی کل در گروه شاهد نسبت به بذر خشک در هر دو گونه *A. scoparia* و *A. eburnea* افزایش داشته است ولی از نظر آماری در سطح خطای P= ۰/۰۵ معنی-دار نیست. به همین ترتیب، در گروه تیمار نیز نسبت به گروه شاهد میزان ترکیبات فنلی کل افزایش پیدا کرده است که این افزایش در *A. eburnea* معنی‌دار بوده و در *A. scoparia* فاقد معنی است (شکل ٤A).

فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در هر سه گروه سنجش شد. نتایج حاصل از این سنجش حاکی از آن است که فعالیت این آنزیم در هر دو گروه پتری شاهد و تیمار نسبت به بذر خشک افزایش نشان می‌دهد، ولی تأثیر میدان مغناطیسی بر دو گونه *A. scoparia* و *A. eburnea* متفاوت است. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز پتری تیمار در گونه *A. scoparia* نسبت به پتری شاهد افزایش داشته است، اما در گونه *A. eburnea* کاهش نشان داده است (شکل ٤B). میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در پتری شاهد نسبت بذر خشک کاهش پیدا می‌کند، ولی تابش میدان بر پتری‌های تیمار سبب شده که فعالیت این آنزیم در هر دو گونه نسبت به پتری‌های شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کند و این افزایش در گونه *A. eburnea* مشهودتر و بارزتر است

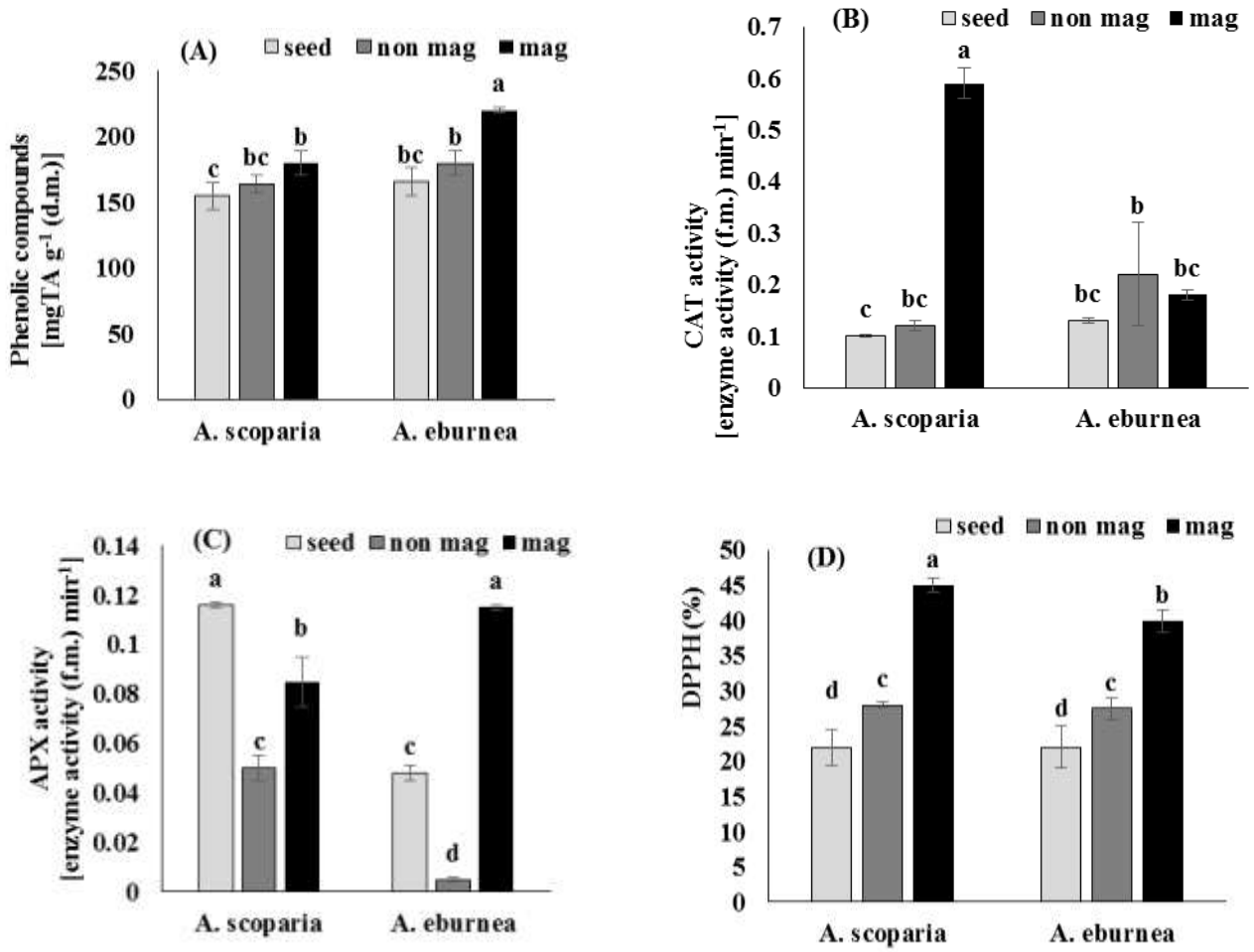


شکل ۲- مقایسه درصد جوانه‌زنی نهایی (A)، متوسط زمان جوانه‌زنی (B)، اولین روز جوانه‌زنی(C) و شاخص جوانه‌زنی (D) در گونه‌های *A. scoparia* و *A. eburnea* در بذر شاهد (Non mag) و بذر تیمار (mag). حروف غیر متشابه، تفاوت معنی‌دار بودن بین تیمارها در سطح خطای ۰/۰۵ =P را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مقایسه محتوای قند کل (A) و پروتئین‌های محلول (B) در گونه‌های *A. scoparia* و *A. eburnea* در بذر خشک (Seed)، بذر شاهد (Non mag) و تیمار (mag). حروف غیر متشابه، تفاوت معنی‌دار بودن بین تیمارها در سطح خطای ۰/۰۵ =P را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ٤ (D) دیده می‌شود، در هر دو گونه (شکل ٤C).



شکل ٤- مقایسه محتوای ترکیبات فنلی کل (A)، فعالیت آنزیم کاتالاز (B)، فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (C) و ظرفیت آنتی-اکسیدانی کل (D) در گونه‌های *A. scoparia* و *A. eburnea* در بذر خشک (Seed)، بذر شاهد (Non mag) و بذر تیمار (mag). حروف غیر متشابه، تفاوت معنی‌دار بودن بین تیمارها در سطح خطای ۰/۰۵ =P را نشان می‌دهد..

A. scoparia و *A. eburnea* ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گروه شاهد نسبت به بذر خشک افزایش نشان داده است و در گروه تیمار نیز نسبت به گروه شاهد افزایش دیده می‌شود که این فزایندگی در تمامی گروه‌های یاد شده در سطح خطای ۰/۰۵ =P معنی‌دار قلمداد شد.

بحث

میدان‌های مغناطیسی یکی از عوامل مؤثری هستند که می‌توانند بر عملکرد سلول‌ها تأثیرگذار باشند (Tenforde, 2012). تأثیرات تحریکی و ممانعتی این میدان‌ها به عوامل متعددی همچون گونه گیاهی، شدت امواج و مدت زمان تابش آن بستگی دارد ولی سازوکار دقیق این اثرات هنوز نامشخص است (Belyavskaya, 2004). تا کنون تأثیر امواج مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که سرعت جوانه‌زنی در بذرهای برنج (Carbonell *et al*., 2000)، سویا (Shine *et al*., 2011) و ذرت (Florez *et al*., 2007) تحت تأثیر امواج مغناطیسی افزایش می‌یابد ولی جوانه‌زنی بذرهای عدس، کتان و نخود متأثر از این امواج نمی‌شود (Govoroon *et al*., 1992). از طرفی، برخی از پژوهش‌ها نشان‌دهنده اثرات کاهنده میدان مغناطیسی ضعیف بر رشد گیاه ریحان (Ghanati *et al*., 2007) می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که امواج

مغناطیسی ایستا با شدت کم تأثیری بر شاخص‌های جوانه‌زنی بادام ایرانی از جمله درصد جوانه‌زنی نهایی، اولین روز جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی ندارند. این امواج همچنین تغییری در محتوای قند کل و پروتئین‌های محلول بادام ایجاد نمی‌کنند. نتایج به دست آمده در توافق با پژوهش‌های پیشین بر روی لیموترش می‌باشد (Abdollahi *et al*., 2012).

تأثیر اولیه‌ای که امواج مغناطیسی بر سیستم‌های بیولوژیکی دارد القای شارژ الکتریکی در آن‌ها است (Roy and Repacholi, 2005). این تأثیر، سبب تغییراتی در بسیاری از برهم‌کنش‌های شیمیایی سلول می‌شود. در بسیاری از این برهم‌کنش‌ها، ممکن است رادیکال‌های آزاد به عنوان یک ترکیب ثانویه تولید شوند (Sobczak *et al*., 2002). میزان و نوع رادیکال‌های آزاد تولید شده متفاوت است و می‌تواند طیفی از اثرات، از تحریک سیستم دفاعی گیاه تا آسیب به قسمت‌های مختلف را شامل شود (Shine *et al*., 2012). در بادام ایرانی تحت تأثیر امواج مغناطیسی محتوای فنولی کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی افزایش یافته است. همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل نیز در هر دو گونه افزایش معنی‌دار نشان داد که این نتایج در توافق با نتایج تحقیقات بر روی سویا (Atak *et al*. 2007) و کتان (Bilalis *et al*., 2013) می‌باشد. به نظر می‌رسد که افزایش میزان ترکیبات فنولی تحت تأثیر میدان مغناطیسی به واسطه افزایش آنزیم کلیدی فنیل‌آلانین آمونیالیاز می‌باشد. این آنزیم در تولید سینامیک اسید به عنوان ترکیب فنولی اولیه و پیش‌ساز تولید سایر ترکیبات فنولی نقش دارد (Kovacik *et al*., 2007). در تحقیقات متعدد نشان داده شده است که تنش‌های غیرزیستی در همان مراحل اولیه سبب افزایش تولید سینامیک اسید به واسطه فنیل‌الانین آمونیالیاز می‌شوند (Irtelli and Navari-Izzo, 2006).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، به نظر می‌رسد امواج مغناطیسی با شدت ۱۰ میلی تسلا بر جوانه‌زنی بادام ایرانی بی‌تأثیر بوده ولی سبب تحریک سیستم ایمنی گیاه شده و بذر رطوبت دیده بادام را در معرض تنش‌های اکسیداتیو قرار می‌دهد. تخمین زده می‌شود که اگر این بذر به مدت طولانی‌تر در معرض امواج مغناطیسی قرار گیرد، اثرات تخریبی امواج بر گیاه آرام آرام آشکار می‌شود. هر چند این تنش‌ها گیاه را به حالت تدافعی می‌برند ولی از نظر پزشکی این مسئله یک مزیت محسوب می‌شود چرا که ترکیبات فنولی دارای خاصیت دارویی بوده و در صنعت داروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نکته دیگر این‌که تغییرات حاصله، در دو گونه گیاهی کاملاً مشابه نبوده است و این امر نشان می‌دهد که امواج، می‌توانند حتی بر گونه‌های گیاهی مختلف در یک سرده نیز اثرات متفاوت داشته باشند.

منابع

Abdollahi, F., Niknam, V., Ghanati, F., Masroor, F. and Noorbakhsh, S. N. (2012) Biological effects of weak electromagnetic field on healthy and infected lime (*Citrus aurantifolia*) trees with Phytoplasma. The Scientific World Journal 716929.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods Enzymol 105: 121-126.

Atak, C., Celik, O., Olgun, A., Alikamanoglu, S. and Rzakoulieva, A. (2007) Effect of magnetic field on peroxidase activities of soybean tissue culture. Biotechnology and Biotechnological Equipment 21: 166-171.

Balakhnina, T., Bulak, P., Nosalewicz, M., Pietruszewski, S. and Włodarczyk, T. (2015) The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. Acta Physiologiae Plantarum 37: 59.

Barnothy, M. F. (2013) Biological effects of magnetic fields, Springer.

Belyavskaya, N. (2004) Biological effects due to weak magnetic field on plants. Advances in Space Research 34: 1566-1574.

Bilalis, D. J., Katsenios, N., Efthimiadou, A., Karkanis, A., Khah, E. M. and Mitsis, T. (2013) Magnetic field pre-sowing treatment as an organic friendly technique to promote plant growth and chemical elements accumulation in early stages of cotton. Australian Journal of Crop Science 7: 46.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Cakmak, T., Cakmak, Z. E., Dumlupinar, R. and ekinay,T. T (2012) Analysis of apoplastic and symplastic antioxidant system in shallot leaves: impacts of weak static electric and magnetic field. Journal of Plant Physiology 169: 1066-1073.

Carbonell, M .V., Martinez, E. and Amaya, J. M. (2000) Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. Electro-and Magnetobiology 19: 121-128.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28: 350-356

Dhawi, F. (2014) Why Magnetic fields are used to enhance a plant's growth and productivity? Annual Research and Review in Biology 4: 886.

Florez, M., Carbonell, M. V. and Martinez, E. (2007) Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. Environmental and Experimental Botany 59: 68-75.

Ghanati, F., Abdolmaleki, P., Vaezzadeh, M., Rajabbeigi, E. and Yazdani, M. (2007) Application of magnetic field and iron in order to change medicinal products of *Ocimum basilicum*. The Environmentalist 27: 429-434.

Govoroon, R., Danilov, V., Fomicheva, V., Belyavskaya, N. and Zinchenko, S. Y. (1992) Effects of fluctuations of a geomagnetic field and its screening on early phases in development of higher plants. Biofizika 37: 738-743.

Hulot, G., Finlay, C., Constable, C., Olsen, N. and Mandea, M. (2010) The magnetic field of planet Earth. Space Science Reviews 152: 159-222.

Irtelli, B. and Navari-Izzo, F. (2006) Influence of sodium nitrilotriacetate (NTA) and citric acid on phenolic and organic acids in *Brassica juncea* grown in excess of cadmium. Chemosphere 65: 1348-1354.

Kader, M. (2005) A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. Journal and Proceeding of the Royal Society of New South Wales 138: 65-75.

Khalaf, N. A., Shakya, A. K., Al-Othman, A., El-Agbar, Z. and Farah, H. (2008) Antioxidant activity of some common plants. Turkish Journal of Biology 32: 51-55.

Kovacik, J., Klejdus, B., Backor, M. and Repcak, M. (2007). Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient Matricaria chamomilla leaf rosettes. Plant Science 172: 393-399.

Leamon, R. J., Smith, C. W., Ness, N. F., Matthaeus, W. H. and Wong, H. K. (1998). Observational constraints on the dynamics of the interplanetary magnetic field dissipation range. Journal of Geophysical Research: Space Physics 103: 4775-4787.

Maffei, M. E. (2014) Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. Frontiers in Plant Science 5.

Moon, J. D. and Chung, H. S. (2000) Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. Journal of Electrostatics 48: 103-114.

Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22: 867-880.

Nanushyan, E. and Murashov, V. (2001) Plant meristem cell response to stress factors of the geomagnetic field (GMF) fluctuations. Plant Under Environmental Stress: 204-205.

Piacentini, M. P., Fraternale, D., Piatti, E., Ricci, D., Vetrano, F., Dacha, M. and Accorsi, A. (2001) Senescence delay and change of antioxidant enzyme levels in *Cucumis sativus* L. etiolated seedlings by ELF magnetic fields. Plant Science 161: 45-53.

Ranganna, S. (1986). Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products, Tata McGraw-Hill Education.

Roy, C. and Repacholi, M. (2005). Electromagnetic field and Health, A WHO perspective. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Sahebjamei, H., Abdolmaleki, P. and Ghanati, F. (2007) Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells. Bioelectromagnetics 28: 42-47.

Serdyukov, Y. A. and Novitskii, Y. I. (2013) Impact of weak permanent magnetic field on antioxidant enzyme activities in radish seedlings. Russian Journal of Plant Physiology 60: 69-76.

Shine, M., Guruprasad, K. and Anand, A. (2011) Enhancement of germination, growth ,and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. Bioelectromagnetics 32: 474-484.

Shine, M., Guruprasad, K. 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.

Sobczak, A., Kula, B. and Danch, A. (2002) Effects of electromagnetic field on free-radical processes in steelworkers. part II: magnetic field influence on vitamin a, e and selenium concentrations in plasma. Journal of Occupational Health 44: 230-233.

Tenforde, T. T. (2012) Magnetic Field Effect on Biological Systems: Based on the Proceedings of the Biomagnetic Effects Workshop Held at Lawrence Berkeley Laboratory University of California, on April 6–7, 1978, Springer Science and Business Media.

Vashisth, A. and Joshi و D. K. (2017) Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. Bioelectromagnetics 38: 151-157.

Vashisth, A. and Nagarajan, S. (2008) Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Bioelectromagnetics 29: 571-578.

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

Effects of static magnetic fields on seed germination and metabolism in two species of almond

Fatemeh Abdollahi[1], Hamzeh Amiri[1], Vahid Niknam[2], Faezeh Ghanati[3] and Kazem Mahdigholi[4]

[1]Department of biology, school of science, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
[2]Department of Plant Sciences, School of Biology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.
[3]Department of Plant Sciences, School of Biology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
[4] Department of Plant Science, Faculty of Biological Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(Received: 07/08/2017, Accepted: 21/02/2018)

Abstract

During the past decade considerable evidence has been accumulated with regard to the biological effects, both in vivo and in vitro, of extremely low frequency electric and magnetic fields, such as those originating from residentially proximate power lines, household electrical wiring and diagnostic apparatus and therapy devices. Also, during the evolutiony process, all living organisms experienced the action of the Earth's magnetic field, which is a natural component of their environment. Previously many scientists believed that permanent magnetic fields are not biologically active. However, the results obtained have revealed the high sensitivity of plants to permanent magnetic fields. In the present research, seeds of almond (two specious of Amygdalus *scoparia* and A. *eburnea*) were incubated in sterile conditions. Unique seeds were selected and divided to control and treatment groups. The treatment plant groups were exposed to a 10 mT static magnetic field for 7 days, each 5 hours and then both the treated seeds and the control were harvested, frozen with liquid N_2 and used for biochemical measurements. Exposure of seeds of almond to the static magnetic field had no significant effect on seed germination, total sugar and protein content, but increased phenolic compound and total antioxidant capacity. Magnetic field also induced catalase and ascorbate peroxidase activity.

Key words : Antioxidants ,Iranian almond, Seed germination factors, Static magnetic fields, Sugar content

***Corresponding author, Email: amiri.h@lu.ac.ir**