حفظ تمامیت غشا و تحریک سامانه آنتی اکسیدان گیاه گندم تحت تأثیر میدان مغناطیسی ایستا و متناوب در فاز رویشی

عاطفه پایز[۱]، فائزه قناتی[۱*]، مهرداد بهمنش[۱]، پرویز عبدالمالکی[۱] و مینا قهرمانی‌نژاد[۱]

[۱*] دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۲/۰۲/۱۴)

چکیده:

مطالعات زیادی نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی می‌تواند روی موجودات زنده تأثیر بگذارد. با این وجود مکانیسم دقیق این تأثیرها هنوز نامشخص است. یک توصیف ممکن برای اثرات متعدد میدان مغناطیسی روی موجودات زنده، تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است که با میانجی‌گری آهن انجام می‌گیرد. در این مطالعه اثر میدان‌های مغناطیسی ایستا (۳۰ میلی‌تسلا) و متناوب (۱۰ کیلوهرتز) بر رشد طولی، فعالیت سامانه آنتی اکسیدان، تمامیت غشا و میزان کلسیم و آهن کل در مرحله رویشی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مقایسه با گیاهان شاهد، میدان مغناطیسی باعث افزایش فعالیت سامانه آنتی اکسیدان، حفظ تمامیت غشا و تغییر معنی‌دار یون‌های کلسیم و آهن در گیاه گندم می شود که این تغییرات بستگی به عوامل زیادی دارد که نوع میدان مغناطیسی و اندام مورد مطالعه از جمله آنها می‌باشد.

کلمات کلیدی: تنش اکسیداتیو، کلسیم، گندم، میدان مغناطیسی ایستا، میدان مغناطیسی متناوب

مقدمه:

تیمارهای فیزیکی با القای انرژی به سلول، شرایطی را برای نقل و انتقالات مولکولی ایجاد می‌کنند. میدان‌های مغناطیسی یکی از این تیمارهای فیزیکی است که می‌تواند بر عملکرد بسیاری از سلول‌ها تأثیر بگذارد؛ با این وجود مکانیسم دقیق عمل آنها هنوز مشخص نشده است (Hajnorouzi *et al.*, 2011). تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی می‌تواند راهی جهت افزایش کیفیت و کمیت عملکرد باشد و در عین حال با جلوگیری از مصرف زیاد سموم و کود، میزان آنها را در مواد خام گیاهی کاهش داده و باعث افزایش سلامت غذا و محیط گردد (Aladjadjiyan, 2007). برخی بررسی‌ها تأثیر کاهنده میدان مغناطیسی (Magnetic Field; MF) را بر رشد گیاهان نشان داده است. به عنوان مثال تأثیر کاهشی میدان‌های مغناطیسی ایستا بر رشد گیاه ریحان و القای مرگ سلولی در سلول های جدا کشت توتون نشان داده شده است (Ghanati *et al.*, 2007; Abdolmaleki *et al.*, 2007). همچنین تأثیر منفی میدان مغناطیسی ضعیف با دامنه شدت ۱۰۰ نانوتسلا تا ۵/. میلی‌تسلا بر جوانه زنی دانه‌ها، رشد ریشه‌های اولیه دانه‌رست گیاهان، تقسیم سلولی در مریستم های ریشه گیاهان مشاهده شده است (Kato *et al.*, 1989). در سطح آنزیمی نیز نشان داده شده است که پس از تیمار با میدان‌های مغناطیسی، فعالیت آنزیم‌هایی چون فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL)، سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) ، کاتالاز

[*] نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ghangia@modares.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]

(CAT) و پراکسیداز (PO) تحت تأثیر قرار می گیرد (Pandolfini *et al*., 1992).

در این میان، برخی تحقیقات نیز اثرات مثبت میدان مغناطیسی را بر جوانه زنی بذر و پارامترهای رشدی را نشان داده است. محققین گزارش کرده‌اند که سرعت جذب آب و جوانه‌زنی در بذور کاهوی در معرض میدان مغناطیسی 1-10 mT افزایش می‌یابد (Garcia and Arza, 2001). آنها بیان نمودند که برهم‌کنش میدان مغناطیسی با جریان‌های یونی موجود در غشای سلول‌های رویان باعث ایجاد تغییراتی در غلظت یونی و فشار اسمزی در هر دو طرف غشا شده و موجبات تغییر روابط آب در بذر را فراهم می‌سازد. میدان مغناطیسی مناسب باعث کاهش pH دیواره سلولی، از بین رفتن خواب بذر، تأثیر بر متابولیسم سلول‌های مریستمی، افزایش جذب و تثبیت (assimilation) عناصر غذایی و بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی می‌شود (Kavi, 1977). به نظر می‌رسد تأثیر میدان مغناطیسی خارجی بر بعضی فرآیندهای زیستی در گیاه، از طریق تأثیر آن بر سرعت و جهت جایگزینی ذرات قطبی آلی و معدنی در گیاه انجام گیرد (Kordas, 2002). اخیراً تحقیقی نشان داده است که میدانی مرکب از میدان مغناطیسی زمین و یک میدان الکترومغناطیسی ضعیف سبب رشد بهتر دانه‌رست‌های ذرت گردید. این تأثیر از طریق افزایش ظرفیت آنتی اکسیدان، کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، افزایش میزان فریتین دانه، کاهش جذب آهن و در نتیجه کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه صورت پذیرفت (Hajnoruzi *et al*., 2011). در تحقیق مزبور میزان کلسیم درون سلولی نیز کاهش یافت. یکی از تئوری‌های مختلفی که برای توجیه این اثرات مثبت ارائه شده، نظریه ICR (Ion Cyclotron Resonance) می باشد، که بر اساس آن شکل مناسبی از یک میدان ممکن است بتواند با تشدید نوسان خود به‌خودی برخی یون‌ها یا مولکول‌های زیستی(مثل کانال‌ها، پمپ‌ها و ترانسپورترها)، آنها را به تحرک بیشتر وادار ساخته و از این طریق سبب تحریک رشد گردد (Liboff *et al.*, 1989). از جمله مهم‌ترین این یون‌ها، یون Ca^{2+} می‌باشد و تحقیقات اخیر نشان داده که Ca^{2+} -ICR یک مکانیسم بارز در درک میدان مغناطیسی در ترکیب با میدان الکترومغناطیسی می‌باشد (Pazur and Rassadina, 2009).

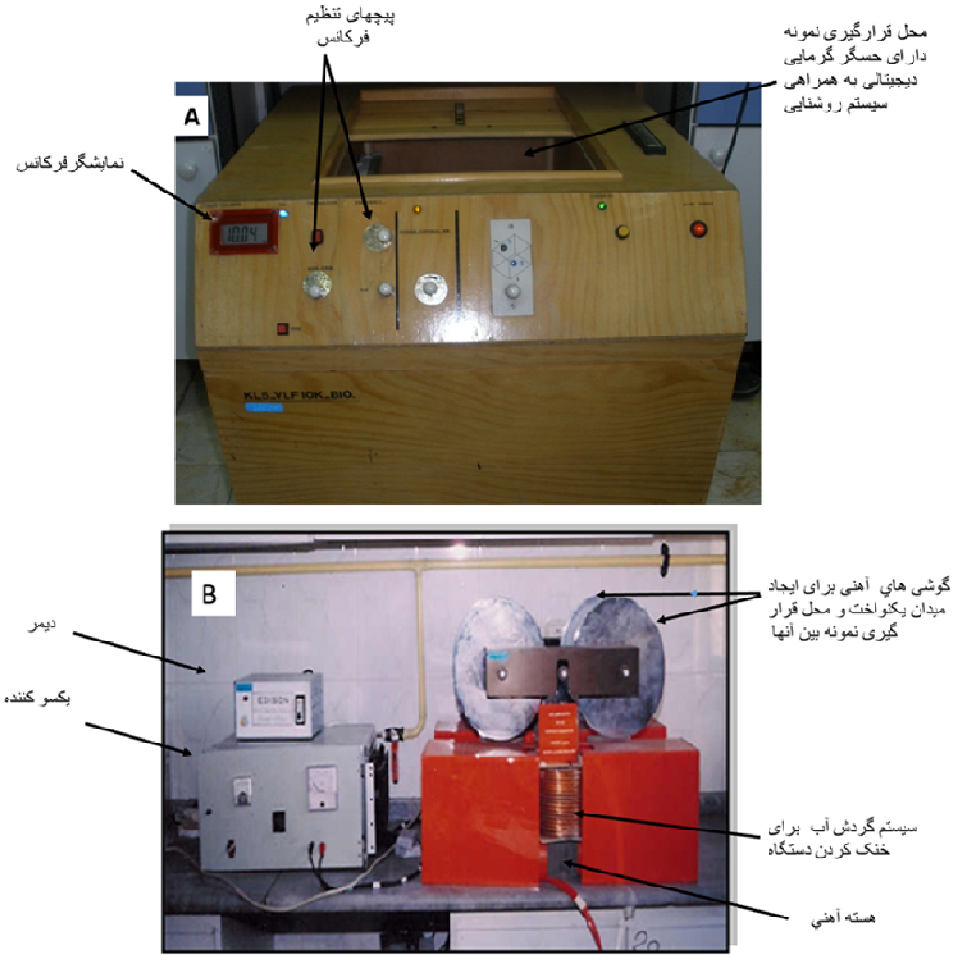
با توجه به این که تأثیر میدان‌های مغناطیسی در مدل های جانوری بیشتر مورد بررسی بوده (Robertson *et al.*, 1996)، و در سامانه‌های گیاهی کمتر به آن توجه شده است، در این مطالعه تأثیر میدان‌های مغناطیسی ایستا (Static magnetic field; SMF) و میدان‌های الکترومغناطیسی (Electromagnetic field; EMF) بر رشد طولی، فعالیت سامانه آنتی اکسیدان، تمامیت غشا و میزان کلسیم و آهن کل در مرحله رویشی گیاه گندم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها:

مواد گیاهی و تیمارها: بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم کویر از موسسه اصلاح نهال و بذر کرج خریداری شد. دانه‌های ظاهراً یک شکل و یک اندازه انتخاب شدند و ضدعفونی سطحی با شستشوهای متوالی با شوینده معمولی هیپوکلریت سدیم (دارای ٪۵ کلر فعال)، اتانل ٪۷۵ و ۳ بار آبکشی با آب مقطر بر روی آنها انجام گرفت. سپس دانه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در آب مقطر خیسانده شده و بین دو لایه کاغذ صافی مرطوب در شرایط تاریکی جوانه زدند. دانه‌رست‌های ۵ روزه یک دست و همسان انتخاب و پس از ۵ روز سازگاری و رشد در محیط نیم هوگلند تحت تیمار با میدان الکترومغناطیسی (10 KHz)و میدان مغناطیسی ایستا (30 mT) به مدت ۴ روز، هر روز ۵ ساعت قرار گرفتند. فرکانس میدان الکترومغناطیسی در نزدیکی دکل برق‌های فشار قوی۱۰ کیلوهرتز می‌باشد (Robertson *et al*., 1996). شدت میدان مغناطیسی ایستا در تجهیزات مغناطیس تراپی 30 mT می‌باشد که حداقل شدتی است که می‌تواند سبب تحریک غشای سلول‌ها زنده گردد (Sakhnini and Dairi, 2004). توصیف دستگاه‌های مولد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]

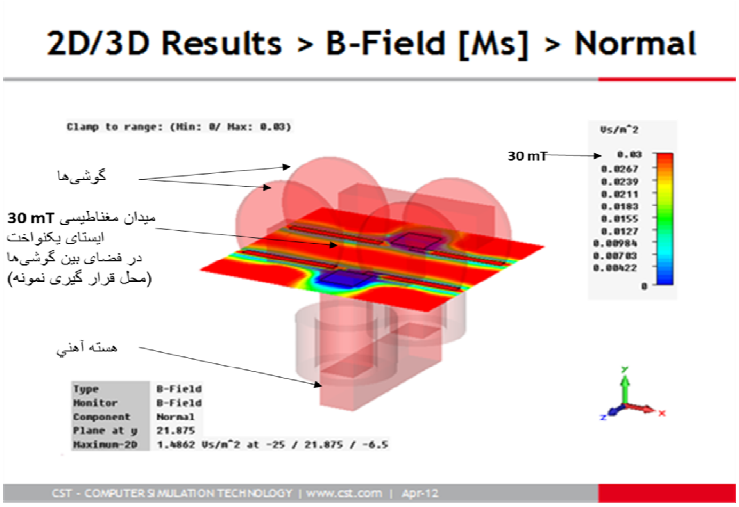


شکل ۱- دستگاه‌های تولید کننده میدان مغناطیسی، (A) EMF دارای سامانه کنترل فرکانس و نمایش فرکانس به‌صورت دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ هرتز، محل قرارگیری نمونه در داخل محفظه می‌باشد، (B) SMF جریان برق شهری پس از گذر از یکسو کننده (سمت چپ) وارد سیم‌پیچ‌های اطراف یک هسته آهنی شده به کمک چهار گوشی دایره شکل آهنی، میدان مغناطیسی ایستای یکنواختی را در فضای بین گوشی‌ها (محل قرار-گیری نمونه) ایجاد می‌کند.

EMF و SMF در مطالعات قبلی آمده و تصویر آنها در شکل ۱ مشاهده می شود.

شدت میدان و طول دوره پرتودهی نیز بر اساس نتایج مطالعات قبلی و منابع موجود انتخاب گردید (Sahebjamei *et al.*,2007; Abdollahi *et al.*, 2012). بذرهای شاهد در همان شرایط و به اندازه کافی دو راز دستگاه‌های مولد میدان مغناطیسی و فقط تحت میدان مغناطیسی زمین قرار گرفتند. یکنواختی SMF در محل قرارگیری نمونه‌ها با یک تسلامتر (PHYWE,13610.93, Gottingen, Germany) همچنین نرم‌افزار شبیه‌سازی CST (Computer Simulation Technology) بررسی شد (شکل۲). رشد طولی ریشه و اندام هوایی (با کاغذ میلی-متری) و هدایت الکتریکی غشای سلول‌های ریشه با استفاده از گیاه تازه اندازه‌گیری شده و بقیه گیاهان برای انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در نیتروژن مایع تثبیت و در فریزر ۸۰- سانتی‌گراد نگهداری شدند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]



شکل ۲ – آزمون یکنواختی میدان مغناطیسی ایستا با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی کامپیوتری CST، (A-B)یکنواختیSMF ایجاد شده در فضای قرارگیری نمونه‌ها از زوایای مختلف (نوار قرمز ۳۰ میلی‌تسلا در فضای بین گوشی‌ها ایجاد شده است).

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity; EC): صد میلی‌گرم از ریشه‌های تازهنمونه‌های کنترل و تیمار شده گندم در ابعاد یک سانتی‌متر بریده شده، در آب دیونیزه غوطه‌ور گردید. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه بر روی شیکر چرخان قرار داده شده EC نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه با ECمتر (Sartorius PT-20/C1, Germany) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و پس از سرد شدن دوباره EC آنها قرائت شد. نشت الکتریکی غشای سلول‌ها از تقسیم EC اولیه به EC ثانویه به دست آمده و به صورت درصد گزارش شد (Payez *et al.*, 2012).

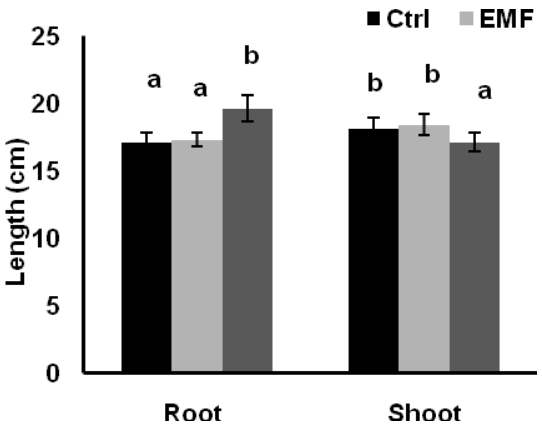
سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (LPO): صد میلی‌گرم از نمونه در ۳ میلی‌لیتر محلول ۱۰٪ (حجم/وزن) تری کلرو استیک اسید(TCA) عصاره‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در g × ۱۲۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. به ۱ میلی‌لیتر از بخش بر رو شناور حاصل، ۱ میلی‌لیتر تیوباربیتوریک اسید (TBA) ٪ ۰/۵ افزوده شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سرد شدن لوله‌ها در یخ، جذب آنها در طول موج‌های ۵۳۲ nm و ۶۰۰ nm با اسپکتروفتومتر (Cintra6,GBC, Australia) خوانده شد. میزان MDA با استفاده از ضریب ثابت ϵ =۱۵۵ $mM^{-1}cm^{-1}$ محاسبه گردید (Sahebjamei *et al.*, 2007).

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): نمونه‌ها (۰/۲گرم) در ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با pH برابر ۶/۸ عصاره‌گیری و همگنای حاصل در g × ۱۲۰۰۰به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفوژ شد. از مایع شناور رویی برای سنجش فعالیت کاتالاز استفاده گردید. ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با pH برابر ۶/۸، ۱۰ میلی‌مولار H_2O_2 و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب بود. فعالیت آنزیمی با اندازه‌گیری تجزیه H_2O_2 و کاهش جذب در طول موج ۲۴۰nm و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی محاسبه شد (Sahebjamei *et al.*, 2007). میزان پروتئین با روش برادفورد با استفاده از آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976).

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (PO):

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]



شکل ۳- تأثیر تیمار EMF وSMF بر رشد طولی ریشه و اندام هوایی گیاهان گندم. مقادیر، میانگین حداقل ۹ تکرار ± انحراف معیار می‌باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح P< 0.05 است.

نمونه‌ها (۰/۲گرم) در ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۶۰ میلی‌مولار با pH برابر ۶/۱ عصاره‌گیری و همگنای حاصل در g × ۱۵۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفوژ شد. از بخش بر رو شناور برای اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز استفاده گردید. ۳ میلی‌لیتر ترکیب واکنش حاوی بافر فسفات سدیم ۶۰ میلی‌مولار با pH برابر ۶/۱، گایاکول ۲۸ میلی‌مولار، $5H_2O_2$ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب بود. فعالیت آنزیمی به صورت افزایش جذب در طول موج ۴۷۰nm در دقیقه به ازای هر میلی گرم پروتئین نمونه محاسبه گردید (Abdolmaleki *et al.*, 2007).

سنجش ظرفیت جاروب کنندگی رادیکال‌های آزاد (RSC): ابتدا ۰/۲ گرم از نمونه در ۳ میلی‌لیتر متانول مطلق عصاره‌گیری شده و در g × ۵۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. بخش رو شناور به نسبت ۱/۱۰ با متانول رقیق شده، سپس رادیکال پایدار DPPH (۱ و۱- دی فنیل-۲- پیکریل هیدرازیل) با غلظت ٪ ۰/۰۰۸ به آن اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفته و پس از آن جذب در طول موج nm ۵۱۷ با اسپکتروفتومتر خوانده شد.کلیه مراحل در ۴ درجه سانتی گراد انجام گرفت (N'Guessan *et al.*, 2007) .

اندازه‌گیری محتوای آهن و کلسیم کل: اندازه‌گیری مقدار کل آهن و کلسیم نمونه‌ها پس از هضم اسیدی خاکستر آنها، به روش اسپکترومتری جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی(AA-670G, SHIMADZO, Japan) انجام شد (Hajnoruzi *et al.*, 2011).

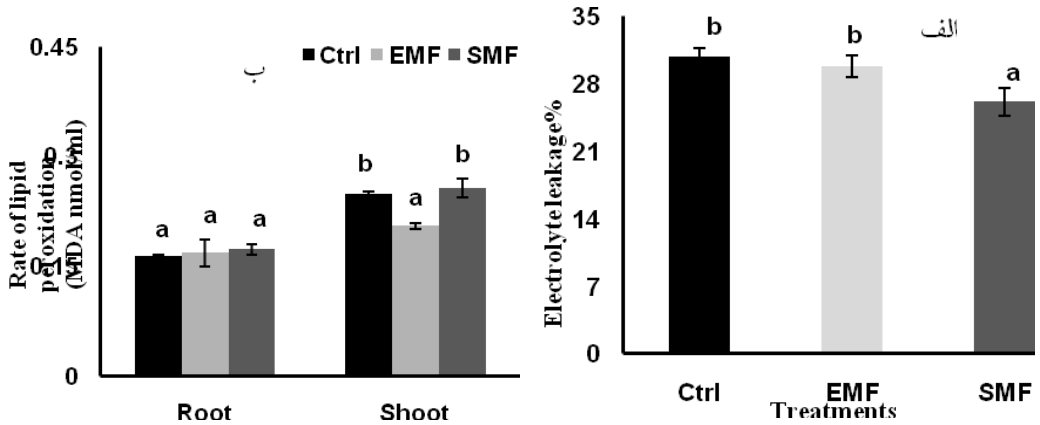
آنالیزهای آماری: کلیه آزمایش‌ها با سه بار تکرار مستقل و هر یک با حداقل سه نمونه تکرار شد. آنالیز داده‌ها با روش ANOVA در برنامه آماری SPSS نسخه 16.0 انجام گرفت. اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح $P< 0.05$ بر اساس آزمون LSD تعیین گردید.

نتایج:

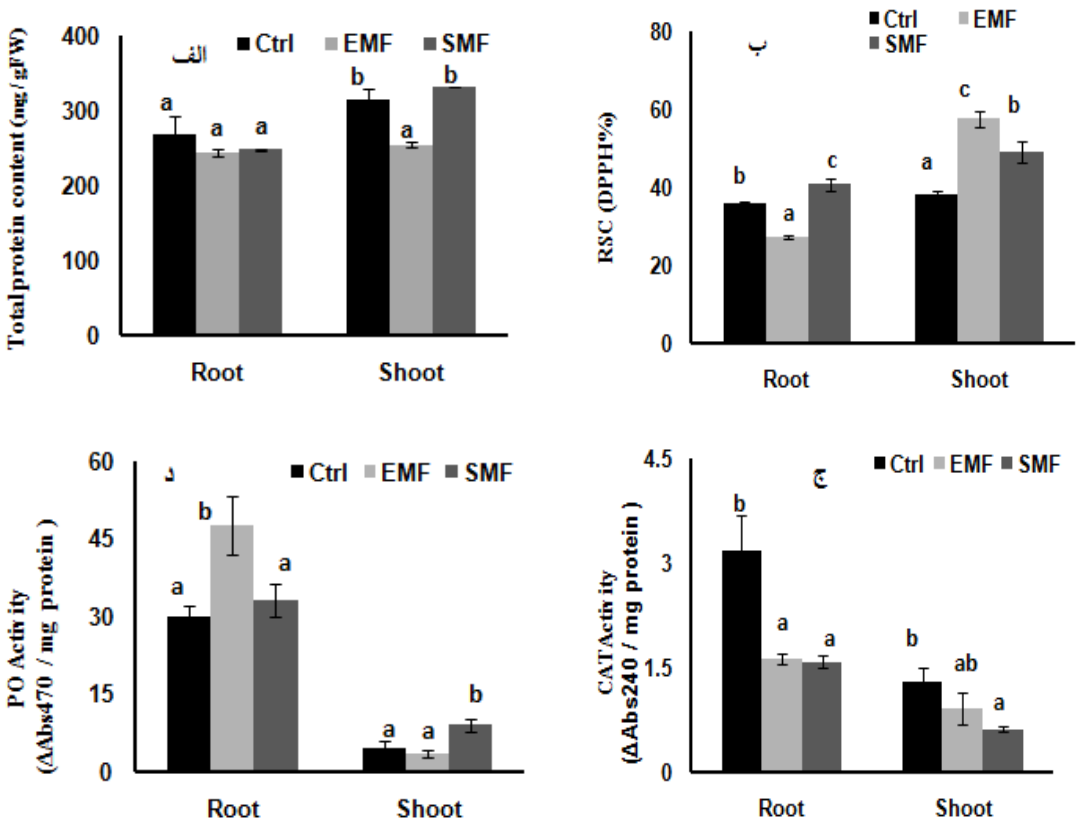
طول ریشه و اندام هوایی در گیاهان گندم تحت تیمار با EMF نسبت به گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در گیاهان تیمار شده با SMF، طول ریشه افزایش معنی-دار و طول اندام هوایی کاهش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد نشان داد (شکل ۳).

نشت الکترولیت‌ها از غشای سلول‌های ریشه تحت تأثیر تیمار EMF قرار نگرفت ولی تیمار SMF این میزان را به طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۴ الف).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]



شکل ۴- الف) تأثیر تیمار EMF وSMF بر نشت الکتریکی غشای سلول های ریشه گندم. ب) تأثیر تیمار EMF وSMF بر پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی ریشه و اندام هوایی گیاهان گندم. مقادیر، میانگین حداقل سه تکرار ± انحراف معیار می‌باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح P< 0.05 است.



شکل ۵- تأثیر تیمار EMF وSMF بر: الف) میزان پروتئین کل، ب) ظرفیت جاروبگری کل رادیکال‌های آزاد، ج) میزان فعالیت آنزیم CAT و د) میزان فعالیت آنزیم PO در ریشه و اندام هوایی گیاهان گندم. مقادیر، میانگین حداقل سه تکرار ± انحراف معیار می‌باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح P< 0.05 است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]

جدول ۱- تأثیر تیمارهای EMF و SMF بر میزان کلسیم و آهن کل گیاه گندم

غلظت (µg / g FW)	آهن		کلسیم	
اندام	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
شاهد	۳/۲۹±۰/۲۷ b	۱/۲۱±۰/۰۰ a	۱۹/۲۶±۰/۸۶ c	۴۹/۲۳±۰/۵۷ b
تیمار یافته با EMF	۲/۲۳±۰/۱۴ a	۱/۳۶±۰/۰۳ b	۱۵/۶۰±۱/۳۷ b	۳۲/۴۴± ۲/۴۶ a
تیمار یافته با SMF	۲/۴۸±۰/۱۶ a	۱/۵۳±۰/۰۴ c	۱۰/۴۴±۰/۶۷ a	۶۳/۶۲±۲/۳۱ c

مقادیر، میانگین حداقل سه تکرار ± انحراف معیار می‌باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح $P< 0.05$ است.

پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی نیز به جز در اندام هوایی که تحت تیمار EMF کاهش یافت، در بقیه موارد تحت تأثیر MF قرار نگرفت (شکل ۴ ب).

شکل ۵ تأثیر تیمار میدان مغناطیسی را بر برخی پارامترهای بیوشیمیایی در گیاه گندم نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود میزان پروتئین کل به جز در اندام هوایی که تحت تأثیر تیمار EMF کاهش یافته، در بقیه موارد نسبت به گیاهان شاهد تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار نگرفت (شکل ۵ الف). ظرفیت جاروبگری کل رادیکال-های آزاد (RSC) در اثر تیمار SMF در ریشه و اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌دار یافت، ولی در اثر تیمار EMF در ریشه کاهش معنی‌دار و در اندام هوایی افزایش معنی‌دار یافت (شکل۵ ب). میزان فعالیت آنزیم CAT در ریشه و اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد تحت تیمار میدان مغناطیسی کاهش معنی‌دار یافت، به جز در اندام هوایی که نسبت به تیمار EMF تحت تأثیر قرار نگرفت (شکل ۵ ج). میزان فعالیت آنزیم PO در ریشه تحت تیمار EMF و در اندام هوایی تحت تیمار SMF افزایش معنی‌دار یافته و در بقیه موارد تحت تأثیر قرار نگرفت (شکل ۵ د). میزان کلسیم کل نسبت به گیاهان شاهد به جز در اندام هوایی گیاهانی که تحت تیمارSMF افزایش معنی‌دار یافته در بقیه موارد کاهش معنی‌دار یافت (جدول ۱). میزان آهن کل در ریشه تحت تیمار میدان مغناطیسی کاهش معنی‌دار و در اندام هوایی افزایش معنی‌دار یافت (جدول ۱).

بحث:

میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی(MF) و الکترومغناطیسی (EMF) از جمله تنش‌های غیر زیستی هستند که حاصل عصر تکنولوژی بوده و امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده‌اند. در حال حاضر درک مغناطیس در سلول‌های گیاهی با سه مکانیسم جفت رادیکال (radical-pair mechanism)، فری‌مگنتیسم (ferrimagnetism) و یون سیکلوترون رزونانس (cyclotron resonance mechanism ion) توضیح داده می‌شود (Galland and Pazur, 2005). در این تحقیق پاسخ‌های متعدد گیاه گندم به میدان‌های مغناطیسی می‌تواند با مکانیسم"ion cyclotron resonance" توضیح داده شود. این مدل می‌تواند چگونگی تأثیر میدان مغناطیسی را بر ساختار غشای پلاسمایی، تغییر نفوذپذیری آن و انتقال یون‌ها توضیح داده و تأثیرها بعدی آن را بر فعالیت مسیرهای متابولیکی روشن نماید. اثرات مهاری یا تحریکی میدان مغناطیسی بر رشد بافت‌ها به عوامل گوناگونی نظیر گونه و اندام گیاهی، فرکانس و نوع میدان، شکل موج میدان، مدت زمان تیمار و سایر عوامل تنش‌زا بستگی دارد (Kato *et al.*, 1989; Liboff *et al.*, 1989). در تحقیق حاضر رشد طولی ریشه در تیمار با SMF افزایش و در اندام هوایی کاهش معنی‌داری یافت.افزایش سرعت رشد گیاه و توسعه ریشه در تیمار با میدان مغناطیسی در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Hajnoruzi *et al.*, 2011)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]

که می‌تواند به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی در ریشه باشد (Garcia and Arza, 2001). از طرفی Kordas (۲۰۰۲) نشان داد که میدان مغناطیسی باعث کاهش طول ساقه گندم شد. این امر ممکن است به دلیل افزایش دمای درونی گیاه بیش از حد بحرانی و به دنبال آن مختل شدن فرآیند رشد باشد (Vaezzadeh *et al*., 2006).

گزارش‌های متعدد حاکی از این است که تیمار کوتاه مدت میدان می‌تواند سبب تنش اکسیداتیو شده ساختار غشا، رشد سلولی و حتی مرگ سلولی را تحت تأثیر قرار دهد (Zhang *et al.*, 2003). بیش از ۵۰ آنزیم (شامل آنزیم‌های آهن‌دار نظیر SOD، CAT، PO) شناخته شده‌اند که در طی کاتالیز تولید رادیکال آزاد می‌نمایند و لذا می‌توانند تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرند (Atak *et al.*, 2007). پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، یکی از گونه‌های سمی و فعال اکسیژن است و از طریق واکنش Fenton and Haber-Weiss که با آهن کاتالیز می‌شود منجر به تولید رادیکال‌های بسیار خطرناک هیدروکسیل می‌گردد. رادیکال‌های هیدروکسیل واکنش‌های زنجیره‌ای را شروع کرده و منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌گردند (Bowler *et al.*, 1992). سمیت زدایی و جاروب کردن H_2O_2 می‌تواند توسط آنتی‌اکسیدان های غیر آنزیمی و آنزیمی مانند CAT و PO صورت گیرد. اگر چه تمام آنزیم‌های جاروبگر H_2O_2 به صورت هماهنگ در مسیری عمل می‌کنند که منجر به بقای سلول در شرایط طبیعی گردد، ولی به احتمال زیاد در بین آنزیم‌های جاروبگر ROS، CAT آنزیم کلیدی است که به طور موثری H_2O_2 را حذف کرده و لذا فعالیت آنزیم PO را تنظیم می‌کند (Sahebjamei *et al.*, 2007). تحقیقات مختلف نشان داده که میزان آسیب اکسیداتیو در گیاهانی که در معرض تنش‌های غیر زیستی قرار می‌گیرند، توسط ظرفیت سامانه آنتی اکسیدان یا ظرفیت جاروب کنندگی رادیکال‌های آزاد (RSC) آنها کنترل می‌شود (Sreenivasulu *et al.*, 2000). در تحقیق حاضرRSC گیاهان گندم به جز در ریشه که تحت تیمار با EMF کاهش یافت، در بقیه موارد نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌دار یافت ولی فعالیت آنزیم CAT در تیمار با میدان‌ها نسبت به گروه شاهد کاهش یافت. لذا با توجه به تجمع پراکسید هیدروژن لازم است تا آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی دیگری آنها را جاروب کنند. آنزیم PO یکی از آنهاست که فعالیت آن در اثر تیمار EMF در ریشه و در اثر تیمار SMF در اندام هوایی افزایش یافت تا با همکاری سایر آنتی اکسیدان‌ها مانع پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی شده و باعث حفظ تمامیت غشا گردد. افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانت یا RSC هر چند ممکن است باعث حفاظت گیاهان تحت شرایط ویژه‌ای شود، ولی ممکن است با آبشار علامت رسانی درگیر در سازگاری گیاهان برهم‌کنش داشته باشد (Dat *et al*., 2001).

همان طور که در این تحقیق نیز مشاهده می‌شود سطح MDA که بیانگر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است، در اثر تیمار با میدان مغناطیسی نسبت به گروه شاهد افزایش نیافته بلکه در اندام هوایی در اثر تیمار با EMF کاهش نیز یافته است. این پدیده در برخی تحقیقات گذشته نیز مشاهده شده است (Hajnorouzi *et al.*, 2011).

پیشنهاد شده است که میدان مغناطیسی می‌تواند ساختار غشاهای سلولی را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش نفوذپذیری آنها شود و از این طریق موجبات تغییر فعالیت مسیرهای متابولیکی را فراهم سازد (Labels, 1993). بر خلاف این نظر، در مطالعه حاضر نشت الکترولیت‌ها از غشای ریشه گیاهان تیمار شده با SMF کاهش یافت. کاهش نشت الکترولیت‌ها از خلال غشای سلول‌های ریشه گندم به همراه عدم افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی نسبت به نمونه‌های شاهد در تیمار با SMF به دلیل افزایش تمامیت غشا و بهبود ویژگی‌های آن می‌باشد که منجر به رشد بهتر این اندام می‌گردد. مشابه این نتیجه در تحقیق قبلی در دانه رست‌های گندم در اثر تیمار EMF و SMF مشاهده شد (Payez *et al.*, 2012).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]

در تحقیقات Nechiporenko و همکاران (۲۰۰۱) نشان داده شده است که بالانس ترکیبات معدنی در دانه‌رست-های تربچه و پیاز تحت میدان‌های ضعیف مغناطیسی به هم می‌خورد. در تحقیق حاضر میزان کلسیم کل در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار با SMF نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌دار و در بقیه موارد کاهش معنی‌دار یافت. غلظت زیاد کلسیم می‌تواند سیگنال مرگ را به سلول القا کند و لذا کاهش کلسیم می‌تواند در جهت بهبود رشد و بقای سلول عمل کند. القای کاهش غلظت کلسیم در بافت‌های ریشه تحت تیمار هر دو میدان و پس از آن در اندام هوایی تحت تیمار SMF مطابق با نتایج Hajnorouzi و همکاران (۲۰۱۱) بود. آنها چنین بیان داشتند که کاهش سطح کلسیم احتمالاً به خاطر تأثیر میدان‌های الکترومغناطیسی بر نفوذپذیری غشا یا حاصل تأثیر مستقیم آن بر کانال‌های کلسیمی و پمپ‌ها و در نتیجه خروج کلسیم از سیتوسل به محیط خارج سلولی توسط آنتی پورترهای Ca^{2+}/H^{+} و Ca^{2+}- ATPase می‌باشد. به نظر می-رسد که فرضیه ICR توجیه مناسبی برای تغییر غلظت کلسیم درون سلولی داشته باشد. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، اعمال میدان باعث افزایش نوسان یون‌ها در دو طرف غشا و همچنین یون‌های متصل به پروتئین‌ها از جمله کانال‌های غشایی شده و از طریق تنظیم فعالیت آنها تعادل یونی سلول را تغییر می‌دهد. میزان آهن کل در مطالعه حاضر در ریشه تحت تیمار میدان مغناطیسی کاهش معنی‌دار و در اندام هوایی افزایش معنی‌دار یافت. همئوستازی آهن در گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلفی کنترل می‌شود. گرچه استفاده از آهن نشان‌دار و ردگیری نقطه به نقطه آن در طول گیاه میسر نبود اما شواهدی همچون کاهش میزان آن در ریشه و افزایش آن در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار با SMF نسبت به گیاهان شاهد این احتمال را تقویت می‌کند که آهن جذب شده بلافاصله به اندام هوایی منتقل شده باشد. کاهش میزان آهن کل در ریشه گندم نسبت به گیاهان شاهد در اثر تیمار با میدان مغناطیسی مطابق با سایر مطالعات می‌باشد (Hajnorouzi *et al.*, 2011). همان طور که در مطالعات قبلی نیز مشاهده می‌شود کاهش کلسیم و آهن کل در ریشه با رشد بیشتر آن و افزایش آهن کل در اندام هوایی با رشد کمتر آن هم‌خوانی دارد (Hajnorouzi *et al.*, 2011; Nechiporenko *et al.*, 2001).

تیمار گیاه گندم در مرحله رویشی با میدان مغناطیسی ایستا و متناوب در کل سبب افزایش ظرفیت جاروبگری رادیکال‌های آزاد و فعالیت آنزیم پراکسیداز، کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز، حفظ تمامیت غشا، کاهش کلسیم و آهن کل در ریشه و افزایش آهن کل در اندام هوایی در گیاه گندم شد. اما در این میان تفاوت‌هایی بین تغییرات مشاهده شده در اثر تیمار با SMF و EMF و همچنین در ریشه و اندام هوایی گندم وجود داشت و در این رابطه، تأثیر SMF بیشتر و چشمگیرتر بود. بر مبنای نتایج تحقیق حاضر شاید تیمار با میدان‌های مغناطیسی را بتوان در مقایسه با روش‌های رایج، به عنوان روشی با هزینه کمتر و خطر آلودگی‌های زیست محیطی کمتر برای بهبود رشد گندم در مرحله رشد رویشی پیشنهاد نمود.

تشکر و قدر دانی:

نویسندگان مقاله از حمایت قطب تنش‌های گیاهی، دانشگاه اصفهان تشکر می‌نمایند.

منابع:

Abdollahi, F., Niknam, V., Ghanati, F., Masroor, F. and Nasr Noorbakhsh, S. (2012) Biological effect of weak electromagnetic field on healthy and infected lime (*Citrus aurantifolia*) trees with phytoplasma. The Scientific World Journal 2012: 1-6.

Abdolmaleki, P., Ghanati, F., Sahebjamei, H. and Sabet Sarvestani, A. (2007) Peroxidase activity, lignifications and promotion of cell death in to-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]

netic field on the content of main cations in onion organs and in radish plants of basic magnetically-oriented types. In: Plant under environmental stress. Pp. 205-206. Publishing House of Peoples Friendship University of Russia, Moscow.

N'Guessan, J. D., Bidie, A. P., Lenta, B. N., Weniger, B., Andre, P. and Guede-Guina, F. (2007) In vitro assays for bioactivity-guided isolation of antisalmonella and antioxidant compounds in *Thonningia sanguinea* flowers. African Journal of Biotechnology 6:1685-1689.

Pandolfini, T., Gabbrielli, R. and Comparini, C. (1992) Nikel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum* L. Plant Cell and Environment 15:719-725.

Payez, A., Ghanati, F., Behmanesh, M., Abdolmaleki, P., Hajnorouzi, A. and Rajabbeigi E. (2012) Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and electromagnetic fields. Electromagnetic Biology and Medicine (In Press).

Pazur, A. and Rassadina, V. (2009) Transient effect of weak electromagnetic fields on calcium ion concentration in *Arabidopsis thaliana*. BMC Plant Biology 9:47.

Robertson, I. G. C., Wilson, W., Dawson, B. V., Zwi, L. J., Green, A. W., Boys, J. T. (1996) Evaluation of potential health effectsof 10 kHz magnetic fields: A short-term mouse toxicology study. Bioelectromagnetics 17:111–122.

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

Sakhnini, L. and Dairi, M. (2004) Effects of Static Magnetic Fields on Early Embryonic Development of the Sea Urchin *Echinometra mathaei*. IEEE Transactions on Magnetics 40: 2979-2981.

Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U. and Weschke W. (2000) Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt- tolerant and salt- sensitive seedling of foxtail millet (*Setaria italic*). Physiologia Plantarum 109: 435-442.

Vaezzadeh, M., Noruzifar, E., Ghanati, F., Salehkotahi, M. and Mehdian, R. (2006) Excitation of plant growth in dominant temperature by steady magnetic field. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 302: 105-108.

Zhang, Q. M., Tokiwa, M., Doi, T., Nakahara, T., Chang, P. W., Nakamura, N., Hori, M., Miyakoshi, J. and Onei, S. (2003) Strong static magnetic field and the induction of mutations through elevated production of reactive oxygen species in *Escherichia coli* soxR. International Journal of Radiation Biology 79:281-286.

bacco cells exposed to static magnetic field. Environmentalist 27:435–440.

Aladjadjiyan, A. (2007) The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. Journal of Central European Agriculture 8:369-380.

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.

Bowler, C., Montagu, M. V. and Inze, D. (1992) Superoxide dismutase and stress tolerance. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 43:83-116.

Bradford, M. (1976) A rapid and sensitivemethod for the quantitation of microgramquantities of protein utilizingthe principle of proteindyebinding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Dat, J. F., Van Montagu, M., Inze, D. and Van Breusegem, F. (2001) Catalase-deficient tobacco plants: tools for in planta studies on the role of hydrogen peroxide. Redox Report 6:37–42.

Galland, P. and Pazur, A. (2005) Magnetoreception in plants. Journal of Plant Research 118:371-389.

Garcia, R. F., and Arza, P .L. (2001) Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I:theoretical considerations. Bioelectromagnetics 22:589–595.

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 bacilicum*. Environmentalist 27:429-434.

Hajnorouzi, A., Vaezzadeh, M., Ghanati, F., Jamnezhad, H. and Nahidian, B. (2011) Growth promotion and a decrease of oxidative stress in maize seedlings by a combination of geomagnetic and weak electromagnetic fields. Journal of Plant Physiology 168:1123-1128.

Kato, R., Kamada, H. and Asashma, M. (1989) Effect of high and very low magnetic field on the growth of hairy roots of *Daucus carotta* and *Atropa belladonna*. Cell Physiology 30: 605-608.

Kavi, P. S. (1977) The effect of magnetic treatment of soybean seed on its moisture absorbing capacity. Science Culture 43:405–406.

Kordas, L. (2002) The effect of magnetic field on growth, development and the yield of spring wheat. Polish Journalof Environmental Studies 11:527-530.

Labels, M. M. (1993) A possible explanation for the effect of magnetic fields on biological systems. Nature 211:969-975.

Liboff, A. R., McLeod, B. R. and Smith, S. D. (1989) Rotating magnetic fields and iron cyclotrone resonance. Journal of Bioelectronics 8:119-125.

Nechiporenko, G. A., Dobrovolski, M. V., Novitsky, I.Y. (2001) The effect of weak permanent mag-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1392.2.3.1.9]