نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰، ص. ۴۹۰-۴۸۲

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 4, Winter 2012, p. 482-490

تأثیر شدت و زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بر رفتار جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم (*Triticum aestivum* L.)

حسن فیضی[1*]، پرویز رضوانی مقدم[2]، علیرضا کوچکی[2]، ناصر شاه‌طهماسبی[3] و امیر فتوت[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۲۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر شدت و مدت زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشتاز، آزمایشی در آزمایشگاه تحقیقات عالی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۹ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل شدت و مدت زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بودند. شدت میدان مغناطیسی شامل قراردادن بذرها در معرض میدان‌های مغناطیسی ثابت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا و مدت زمان در معرض قراردادن بذرها برای هر شدت شامل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نیز یک تیمار میدان مغناطیس دایم با شدت سه میلی‌تسلا و شاهد (بدون در معرض قراردادن بذر) بودند. بنابراین، آزمایش با تعداد ۱۱ تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که میدان مغناطیسی بطور معنی‌داری بر متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT) تأثیر گذاشت، به طوریکه کمترین MGT و بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا و مدت ۲۰ دقیقه بدست آمد و MGT نسبت به شاهد ۴۳ درصد کاهش یافت. کمترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار میدان مغناطیسی ۱۵۰ میلی‌تسلا در زمان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه بدست آمد. تیمارهای میدان مغناطیسی بر درصد جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری نشان ندادند. رشد ساقه‌چه نسبت به رشد ریشه‌چه بیشتر تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گرفت. بیشترین طول ساقه‌چه در تیمار قراردادن بذرها در معرض میدان مغناطیسی با قدرت ۱۰۰ میلی‌تسلا بدست آمد و کمترین آن در تیمار شاهد بود. تیمارهای میدان مغناطیسی بطور میانگین طول ساقه‌چه گندم را ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. میدان مغناطیسی بر وزن خشک ریشه چه، ساقه‌چه، گیاهچه و شاخص بنیه تأثیر معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد که در معرض قرارگرفتن بذرها در شدت میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۲۰ دقیقه اثر تحریک‌کنندگی و تیمارهای قوی‌تر اثر بازدارندگی بر صفات جوانه‌زنی داشتند.

واژه‌های کلیدی: تیمار فیزیکی، شاخص بنیه، طول گیاهچه، متوسط زمان جوانه‌زنی

مقدمه

روش‌های بیوفیزیکی قادر به افزایش رشد گیاهان با سطح بالای انرژی هستند. این روش‌ها مقدار انرژی را، مستقل از منشاء آنها افزایش داده و پتانسیل الکتریکی غشاء سلول را افزایش می‌دهند. روش‌های فیزیکی جهت تحریک، سمت و سوی فرآیندهای فیزیولوژیکی که توسط سیستم‌های ژنتیکی گیاه کنترل می‌شوند را تغییر نمی‌دهند، به عبارت دیگر آنها بدون دستکاری ژنتیکی رشد و فرآیندهای متابولیکی را تحریک می‌نمایند. از اینرو، کاربرد مقادیر بهینه روش‌های فیزیکی برای بذر و گیاه، اثر ژنتیکی روی گیاه نداشته و به نسل بعد منتقل نخواهد شد (Vasilevski, 2003).

تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی به عنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، جایگزینی کودها و مکمل‌های شیمیایی با تیمارهای فیزیکی، میزان سموم را در مواد خام گیاهی کاهش داده و باعث افزایش سلامت غذا و محیط می‌گردد (Aladjadjiyan, 2007; Dhawi et al., 2009 ؛ Vasilevski, 2003). گزارش شده است که میدان‌های مغناطیسی هم فعالیت یون‌ها و هم قطبی شدن ملکول‌های دوقطبی را در سلول‌های زنده تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dhawi et al., 2009; Kordas, 2002). سلول‌های گیاه دارای بار منفی هستند که می‌توانند یون‌های دارای بار مثبت را جذب نمایند. مطالعات

۱، ۲، ۳ و ۴- بترتیب دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی و استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی، استاد گروه فیزیک دانشکده علوم و دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (E-mail: hasanfeizi@yahoo.com

سیتوشیمیایی نشان داده است که سلول‌های ریشه در معرض میدان ضعیف مغناطیسی نسبت به سلول‌های شاهد، حالت اشباع از کلسیم را در تمام اندامک‌های خود و سیتوپلاسم نشان می‌دهند. میدان مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش رهاسازی رادیکال‌های آزاد و ایجاد تنش در گیاه شود، در حالیکه یون‌های کلسیم در برخی فرآیندهای رشد گیاه کمک می‌کنند و به تنش واکنش نشان می‌دهند، بنابراین، این موضوع توضیحی برای افزایش کلسیم در گیاه در شرایط میدان مغناطیسی است (Dhawi et al., 2009).

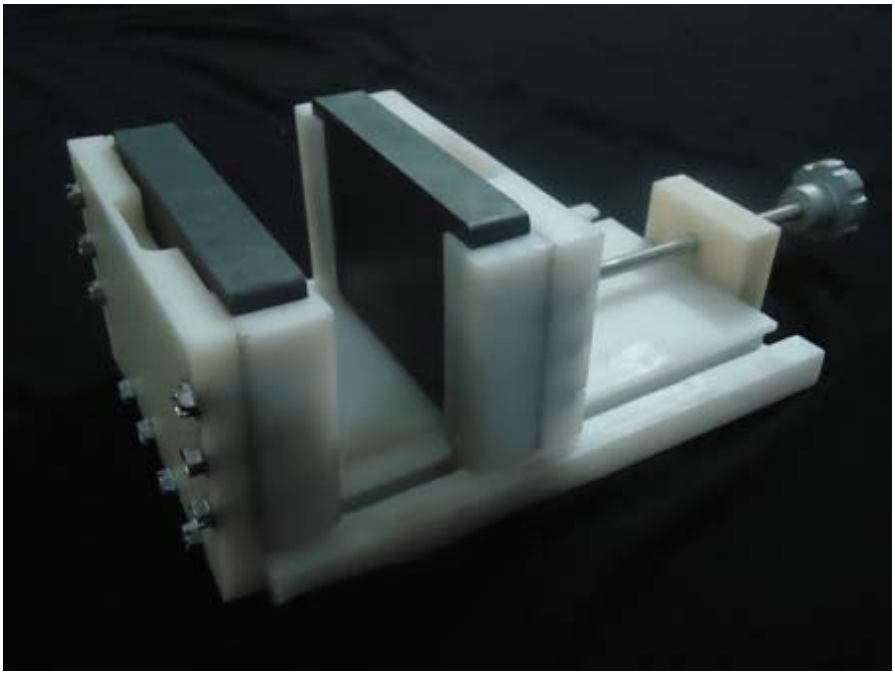
اثرات مثبت میدان مغناطیسی در بیوسنتز پروتئین‌ها، تکثیر سلول، فعالیت‌های بیوشیمیایی، میزان تنفس، فعالیت آنزیم‌ها، میزان اسید نوکلئیک و دوره رشد و نمو نشان داده شده است (Cakmak et al., 2009). گزارش شده است که اثرات مثبت تیمار میدان مغناطیسی ممکن است به خواص پارامغناطیسی اتم‌ها در سلول‌های گیاهی و رنگدانه‌ها نظیر کلروپلاست‌ها در ارتباط باشد (Aladjadjiyan, 2010). راکوسیو و همکاران (Racuciu et al., 2008) بیان کردند که قرارگرفتن بذر ذرت در معرض میدان مغناطیسی کم (۵۰ میلی-تسلا) اثر تحریک‌کنندگی بر مراحل اولیه رشد، وزن تر، رنگدانه‌هایی نظیر کلروفیل، میزان اسید نوکلئیک و افزایش طول گیاهچه داشت، اما میدان مغناطیسی قوی‌تر (بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌تسلا) اثر بازدارندگی روی صفات ذکر شده داشت.

تغییرات در فعالیت آنزیم‌های آمیلاز و نیترات ردوکتاز در بذور در حال جوانه‌زنی در مجاورت تیمار الکترومغناطیسی گزارش شده است (Yinan et al., 2005). مهدوی و همکاران (Mahdavi et al., 2008) نشان دادند که میدان مغناطیسی ۸۸ و ۱۲۸ میکروتسلا به مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت روی وزن خشک ریشه چهٔ علف هرز سوروف (*Echinochloa crusgalli* L.) اثر گذاشت و آن را نسبت به شاهد افزایش داد. درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه و گیاهچه و همچنین شاخص بنیهٔ گیاهچه در بین تیمارهای اعمال شده روی علف هرز سس (*Cuscuta monogyna* L.) معنی‌دار بود. در یونجهٔ یکساله (*Medicago* sp.) با افزایش شدت میدان مغناطیسی درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه افزایش یافت، به طوریکه بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در شدت ۱۲۸ میکروتسلا بمدت ۱۰ دقیقه بود.

گارسیا و آرزا (Garcia & Arza, 2001) افزایش سرعت جذب آب و جوانه‌زنی را در بذور کاهو (*Lactuca sativa* L.) در معرض میدان مغناطیسی۱۰-۱ میلی‌تسلا مشاهده نمودند. آنها بیان کردند که ممکن است تغییرات در سطوح داخل سلول، تراکم یون کلسیم و یون‌های دیگر نظیر پتاسیم، سرتاسر غشاء سلولی باعث تغییر در فشار اسمزی و قدرت بافت‌های سلول برای جذب شوند. ساخنینی (Sakhnini, 2007) افزایش جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه بذور تیمارشده لوبیا با میدان مغناطیسی را در غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم (غلظت ۰/۱ تا ۱۰ میلی مولار) مشاهده کرد. وی اظهار داشت که کاربرد میدان مغناطیس ممکن است بر جریان کلسیم تأثیر گذارد. از طرف دیگر عنوان شده است که یون کلسیم از پیامدهای ثانویه سیتوکنین‌ها است. بنابراین، افزایش سنتز سیتوکنین ممکن است توسط میدان مغناطیسی ایجاد گردد. همچنین میدان مغناطیسی باعث انگیزش متابولیسم سلول و میتوز در سلول‌های مریستمی گیاه می‌گردد (Celik et al., 2008). مون و سوک (Moon & Sook, 2000) افزایش درصد جوانه‌زنی بذور گوجه‌فرنگی (*Licopersicon esculentum* L.) را در اثر پیش تیمار کوتاه مدت بذور با میدان الکتریکی و مغناطیسی مستقیم مشاهده کردند. میگ یانگ و همکاران (Meiqiang et al., 2005) گزارش کردند که قدرت‌های مختلف تیمار مغناطیس، درصد سبز شدن بذور گوجه‌فرنگی را بین ۲۸-۸ درصد افزایش داد که ممکن است به علت اثرات بازدارندگی از خسارت آفات و بیماری‌ها باشد. کاک ماک و همکاران (Cakmak et al., 2009) نیز سرعت رشد و جوانه‌زنی بالاتر بذر گندم (*Triticum aestivum* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) را با تیمار میدان مغناطیسی دایم هفت میلی‌تسلا نشان دادند. هدف از آزمایش حاضر بررسی امکان بهبود صفات جوانه‌زنی و بنیه بذر گندم با استفاده از شدت و مدت زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر شدت و مدت زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بر صفات جوانه زنی بذر گندم رقم پیشتاز، آزمایشی در آزمایشگاه تحقیقات عالی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۹ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل شدت و مدت زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بودند. شدت میدان مغناطیسی شامل قراردادن بذرها در معرض میدان مغناطیس ثابت ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌تسلا و مدت زمان در معرض قراردادن بذرها برای هر شدت شامل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نیز یک تیمار میدان مغناطیس دایم با شدت سه میلی‌تسلا و شاهد (بدون در معرض قراردادن بذر) بودند. بنابراین، آزمایش با تعداد ۱۱ تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. بذرهای خشک به صورت دسته ۱۰۰ تایی در داخل یک لوله نازک شفاف پلاستیکی در بین قطب‌های آهنربا با شدت میدان مغناطیسی و زمان لازم قرار گرفتند و سپس بصورت دسته ۲۵ تایی در هر پتری‌دیش قرار داده شدند. جهت اعمال تیمار میدان مغناطیسی دایم روی بذرها، از قطعات نوارهای آهنربا (با ابعاد ۱×۷ سانتی‌متر) با قدرت سه میلی‌تسلا در زیر هر پتری با فاصله یک سانتی‌متر از هم استفاده شد و بذرها در داخل پتری‌دیش در فاصله بین نوارها قرار داده شدند.



شکل ۱- دستگاه طراحی شده جهت ایجاد شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی
Fig. 1- Device for exerting of different intensities of magnetic field

جهت اعمال میدان مغناطیسی از دستگاه ایجاد کننده میدان مغناطیسی که شامل یک جفت آهنربای قوی بودند با قابلیت تنظیم فاصله از هم دیگر، استفاده شد (شکل ۱). دو آهنربا طوری در دستگاه جاسازی شدند که همدیگر را جذب می‌کردند یعنی قطب‌های غیر همنام (یکی قطب S و دیگری قطب N) در مقابل همدیگر بودند. شدت میدان مغناطیسی در فواصل مختلف دو قطب مگنت‌ها توسط دستگاه تسلامتر مدل Leybold- Heraeus 51652 ساخت آلمان در آزمایشگاه فیزیک دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد تعیین شد.

واحد آزمایشی شامل یک عدد پتری دیش استریل با محیط کشت از نوع کاغذ صافی بود. عمل ضدعفونی کردن بذرها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد (۶۰ ثانیه) انجام شد. پس از ضد عفونی کردن، بذرها سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. در زمان کاشت بذرها، پتری دیش‌ها در شرایط دمایی ۱±۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه زده به مدت هشت روز در زمان مشخص انجام گرفت. بذرهایی که طول ریشه‌چه آنها بیش از دو میلی‌متر بود به عنوان بذرهای جوانه زده شمارش شدند (ISTA, 2009). در روز آخر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل گیاهچه‌ها اندازه گیری و سپس وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه به طور جدا پس از قرار دادن در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت زمان مناسب تعیین شدند. جهت تعیین سرعت جوانه زنی از فرمول ماگیور (Maguire, 1982) و متوسط زمان جوانه زنی[1] (MGT) از معادلات زیر استفاده شد (Matthews & Khajeh-Hosseini, 2007):

معادله (۱) $(a/1) + (b-a/2) + (c-b/3) + \ldots.. + (n-n-1/N)$

$$\text{Germination rate (GR)} =$$

که در این معادله، Germination rate سرعت جوانه زنی بر حسب بذر جوانه‌زده بر روز، a، b، c، ... و n به ترتیب نشان‌دهنده تعداد بذرهای جوانه‌زده پس از ۱، ۲، ۳، ... و n روز بعد از شروع آبگیری آن‌ها می‌باشد.

$$MGT = \frac{\sum(F.X)}{\sum F}$$

معادله (۲)

که در این معادله، MGT: متوسط زمان جوانه زنی (روز)، F: تعداد بذر جدید جوانه زده در روز شمارش X ام و X روز شمارش می‌باشد.

جهت محاسبه شاخص بنیه بذر از معادله‌های (۳) و (۴) استفاده شد (Vashisth & Nagarajan, 2010):

معادله (۳) شاخص بنیه I = درصد جوانه‌زنی × طول گیاهچه بر حسب سانتی‌متر (ساقه‌چه+ ریشه‌چه)

معادله (۴) شاخص بنیه II = درصد جوانه‌زنی × وزن خشک گیاهچه بر حسب میلی‌گرم (ساقه‌چه+ ریشه‌چه)

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار MSTAT-C انجام شد و میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

1- Mean germination time

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که تیمارهای شدت و مدت میدان مغناطیسی بطور معنی‌داری (سطح احتمال پنج درصد) بر اغلب صفات مورد ارزیابی تأثیر داشتند. تیمارهای میدان مغناطیسی بر درصد جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۱). میدان مغناطیسی بطور معنی-داری بر MGT تأثیر گذاشت، به طوری که کمترین MGT در تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا و مدت ۲۰ دقیقه بدست آمد و نسبت به شاهد ۴۳ درصد کاهش یافت. پس از آن تیمارهای ۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۲۰ دقیقه و تیمار ۱۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ دقیقه با متوسط زمان جوانه‌زنی ۰/۹۸ روز کمترین MGT را نشان دادند. این تیمارها نسبت به شاهد حدود ۲۰ درصد MGT کمتری داشتند، اما به نظر می‌رسد که افزایش شدت میدان مغناطیسی باعث شد تا اثر منفی بر MGT داشته باشد، به طوریکه تیمارهای ۱۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ و ۳۰ دقیقه باعث شد تا MGT به میزان ۱۲ درصد افزایش یابد و به ۱/۳۷ روز برسد. از طرف دیگر، بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا و مدت ۲۰ دقیقه بدست آمد و نسبت به شاهد ۱۳ درصد افزایش یافت. با کاربرد میدان مغناطیسی قوی (۱۵۰ میلی‌تسلا) سرعت جوانه‌زنی در کمترین حد بود، به طوری که قرار گرفتن بذرها در معرض این تیمار در زمان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه کمترین سرعت جوانه‌زنی را نشان داد (جدول ۱). بنابراین، میدان مغناطیسی قوی اثر منفی بر سرعت جوانه‌زنی بذرها داشت.

با توجه به نتایج بدست آمده در خصوص متوسط زمان جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی ممکن است که میدان‌های مغناطیسی ضعیف اثر تحریک‌کنندگی بیشتری نسبت به میدان‌های قوی‌تر داشته و یا حتی میدان‌های قوی اثر بازدارندگی بر جوانه‌زنی بذر داشته باشند. یک فرضیه ممکن برای توضیح اثر مثبت مشاهده شده توسط میدان مغناطیسی می‌تواند در خصوصیات پارامغناطیسی بیشتر اتم‌ها در سلول‌های گیاه و رنگدانه‌ها نظیر کلروپلاست‌ها باشد (Aladjadjiyan, 2010). خصوصیات مغناطیسی ملکول ها توانایی آنها را برای جذب و سپس انتقال انرژی میدان مغناطیسی به نوع دیگری از انرژی و انتقال دادن این انرژی به ساختارهای دیگر در سلول‌های گیاه و فعال‌نمودن آنها تعیین می‌نماید (Aladjadjiyan, 2010). مارتینز و همکاران (Martinez et al., 2009) نشان دادند که تیمار مغناطیسی باعث کاهش معنی‌دار MGT بذرهای گوجه-فرنگی شد. بیشترین اثر در تیمارهای ۲۵۰ میلی‌تسلا بصورت دائم و ۲۴ ساعت در معرض میدان مغناطیسی به دست آمد.

اگرچه تیمارهای میدان مغناطیسی به لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه نداشتند، ولی به لحاظ عددی همه تیمارهای میدان مغناطیسی باعث افزایش طول ریشه‌چه نسبت به شاهد شدند. رشد ساقه‌چه نسبت به رشد ریشه‌چه بیشتر تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گرفت. بیشترین طول ساقه‌چه در تیمار قراردادن بذرها در معرض میدان مغناطیسی با قدرت ۱۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۰، ۳۰ و ۲۰ دقیقه بدست آمد و کمترین آن در تیمار شاهد بود. تیمارهای میدان مغناطیسی بطور میانگین طول ساقه‌چه گندم را ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۱).

نتایج آزمایش مارتینز و همکاران (Martinez et al., 2009) نشان داد که بذرهای عدس (*Lentil lens* Medic.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تیمار شده با میدان مغناطیسی ۱۲۵ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ دقیقه بطور معنی‌داری طول ساقه و گیاهچه بالاتری از شاهد داشتند. واشیت و نگاراجان (Vashisth & Nagarajan, 2010) نیز بر آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) نشان دادند که تیمار نمودن بذر با میدان مغناطیسی در دامنه ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌تسلا به میزان ۴-۱ ساعت باعث افزایش جوانه‌زنی به میزان ۵ تا ۱۱ درصد و سرعت جوانه‌زنی به میزان ۹ تا ۱پنج درصد گردید.

جدول ۱ - تأثیر شدت و زمان تیمار میدان مغناطیسی بر صفات جوانه زنی بذر گندم

Table 1- Effect of intensity and time of magnetic field treatments on germination traits of wheat seed

میدان مغناطیسی (میلی‌تسلا) Magnetic field (mT)	مدت (دقیقه) Time (min)	جوانه زنی (درصد) Germination (%)	سرعت جوانه زنی (بذر در روز) Germination rate (seed d^{-1})	متوسط زمان جوانه زنی (روز) MGT (day)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)
50	10	96 a*	17.78 ab	1.13 ab	8.97 a	10.52 a	19.48 ab
	20	95 a	18.19 ab	0.98 ab	9.86 a	10.44 a	20.30 ab
	30	94 a	16.71 ab	1.16 ab	9.78 a	10.31 a	20.09 ab
100	10	94 a	17.84 ab	0.98 ab	9.98 a	10.85 a	20.83 a
	20	93 a	19.38 a	0.69 b	8.86 a	10.82 a	19.68 ab
	30	97 a	18.35 ab	1.05 ab	9.19 a	10.84 a	20.03 ab
150	10	96 a	15.90 b	1.37 a	9.02 a	10.52 a	19.53 ab
	20	88 a	15.88 b	1.12 ab	8.80 a	9.90 ab	18.70 bc
	30	93 a	15.53 b	1.37 a	9.98 a	10.82 a	20.80 a
3	مداوم Continuous	97 a	17.73 ab	1.12 ab	9.59 a	9.64 ab	19.23 ab
شاهد Control	-	97 a	17.14 ab	1.22 ab	8.51 a	8.94 b	17.45 c

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری بر اساس روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

*Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan´s Multiple Range Test.

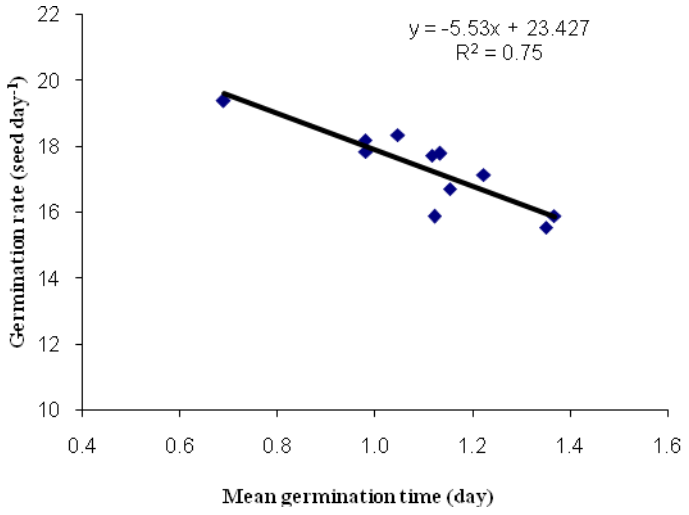
به نظر می‌رسد که فعالیت بیشتر آنزیم‌های هیدرولیزکننده مسئول جوانه‌زنی سریع و بهبود بنیه بذر و خصوصیات ریشه‌ای بهتر در بذرهای تیمار شده با میدان مغناطیسی باشد.

در آزمایش حاضر بجز تیمار ۱۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۲۰ دقیقه بقیه تیمارها باعث افزایش معنی‌دار (سطح احتمال پنج درصد) طول گیاهچه شدند. تیمار ۱۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ دقیقه و تیمار ۱۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۳۰ دقیقه موجب افزایش ۱۹ درصدی طول گیاهچه نسبت به شاهد شدند. کمترین طول گیاهچه (۱۷/۴۵ سانتی-متر) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۱). شاخص بنیه I، که نمایانگر قدرت بذر بر اساس طول گیاهچه است، در تیمارهای شاهد و میدان مغناطیسی ۱۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۲۰ دقیقه در کمترین مقدار بود و بقیه تیمارها بالاترین مقدار را نشان دادند (جدول ۲). واشیت و نگاراجان (Vashisth & Nagarajan, 2010) در آزمایشی نشان دادند که تیمارنمودن بذر آفتابگردان با میدان مغناطیسی، طول ساقه-چه را ۶ تا ۴۱ درصد، طول ریشه‌چه را ۱۶ تا ۸۰ درصد، طول گیاهچه را ۱۲ تا ۵۷ درصد و شاخص بنیه را ۱۸ تا ۷۴ درصد افزایش داد.

با توجه به جدول ۱ می‌توان رابطه‌ای بین سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی برقرار کرد. مشاهدات نشان داد که بین این دو صفت رابطه منفی قوی وجود دارد. هرچه متوسط زمان جوانه‌زنی افزایش یافت، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (شکل ۲). به عبارت دیگر بذرها در تیمارهایی که دارای متوسط زمان جوانه‌زنی کمتری بودند دارای سرعت جوانه‌زنی بالاتری بودند و برعکس تیمارهایی که در آنها متوسط زمان جوانه‌زنی بیشتر بود، در نتیجه سرعت جوانه‌زنی کمتری داشتند. این موضوع در تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۲۰ دقیقه در جدول ۱ کاملاً بارز است. این تیمار دارای بالاترین سرعت جوانه‌زنی و کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی در بین تیمارها بود.

اعمال میدان مغناطیسی بر خصوصیات بذر نظیر وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه، گیاهچه و شاخص بنیه II بذر تأثیر معنی‌داری نداشت، ولی تیمار میدان مغناطیسی باعث افزایش مقدار عددی صفات مذکور در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲). این امر می‌تواند به دو دلیل باشد: اول این که بر اساس مطالعات انجام شده مکانیسم اثر میدان مغناطیسی بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان هنوز بطور عمیق مشخص نشده است و واکنش گونه‌های گیاهی به میدان مغناطیسی غیرقابل پیش‌بینی است، بنابراین، واکنش آنها نسبت به شدت، زمان در معرض قرارگرفتن، روش‌های پرایمینگ بذر و گونه گیاهی بستگی دارد. دوم این که ممکن است اثرات تحریک‌کنندگی یا بازدارندگی میدان مغناطیسی در بلندمدت و مراحل بعدی رشد گیاه نسبت به دوره جوانه‌زنی بذر بیشتر نمایان شود (Dhawi et al. 2009). واشیت و نگاراجان (Vashisth & Nagarajan, 2008) افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه و نسبت رشد ساقه به ریشه بذرهای نخود با استفاده از میدان مغناطیسی را گزارش کردند. آنها همچنین افزایش وزن خشک گیاهان یک ماهه نخود را در تیمار با میدان مغناطیسی مشاهده نمودند.

همچنین دی سوزا و همکاران (Desouza et al., 2006) افزایش میانگین وزن میوه، وزن میوه در بوته، عملکرد در واحد سطح و وزن خشک کل گوجه‌فرنگی را با پیش تیمار بذور با میدان مغناطیسی گزارش نمودند. فلورز و همکاران (Florez et al., 2007) و راکوسیو و همکاران (Racuciu et al., 2008) نیز افزایش سرعت جوانه‌زنی، وزن تر ساقه‌چه و کل بوته و طول گیاهچه ذرت (*Zea mays* L.) را در تیمار میدان مغناطیس مشاهده کردند.



شکل ۲- رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی در تیمارهای آزمایش

Fig. 2- Relation between germination rate and mean germination time in experimental treatments

جدول ۲- تأثیر شدت و زمان تیمار میدان مغناطیسی بر صفات جوانه زنی بذر گندم

Table 2- Effect of intensity and time of magnetic field treatments on germination traits of wheat seed

میدان مغناطیسی (میلی‌تسلا) Magnetic field (mT)	مدت (دقیقه) Time (min)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root dry matter (mg)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot dry matter (mg)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling dry matter (mg)	I شاخص بنیه Vigor index I	II شاخص بنیه Vigor index II
50	10	6.86 a*	7.22 a	14.08 a	1869 ab	1351 a
	20	6.86 a	6.82 a	13.68 a	1930 a	1300 a
	30	6.58 a	7.49 a	14.13 a	1889 ab	1328 a
100	10	6.95 a	7.29 a	14.24 a	1954 a	1339 a
	20	6.48 a	7.66 a	14.13 a	1826 ab	1314 a
	30	6.74 a	7.46 a	14.20 a	1948 a	1379 a
150	10	7.09 a	6.92 a	14.02 a	1874 ab	1346 a
	20	6.64 a	7.21 a	13.85 a	1645 c	1222 a
	30	6.37 a	6.91 a	13.27 a	1935 a	1236 a
3	مداوم Continuous	6.48 a	7.07 a	13.55 a	1864 ab	1314 a
شاهد Control	-	6.13 a	6.77 a	12.89 b	1693 bc	1249 a

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون به لحاظ آماری (بر اساس روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد) تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan´s Multiple Range Test.

نتایج آزمایش نشان داد که حداکثر طول گیاهچه و ساقه‌چه در تیمار ۲۰ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی مشاهده شد، ولی اعمال تیمار میدان مغناطیسی به مدت ۳۰ دقیقه باعث کاهش طول ساقه‌چه نسبت به زمان‌های ۱۰ و ۲۰ دقیقه شد (شکل ۳a و ۳b). با افزایش شدت میدان مغناطیسی تا ۱۰۰ میلی‌تسلا، سرعت جوانه‌زنی روند افزایشی نشان داد، ولی در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا به شدت کاهش یافت و حتی از تیمار شاهد نیز کمتر شد. این امر اثر منفی میدان‌های قوی مغناطیسی بر سرعت جوانه‌زنی بذر را نشان می‌دهد (شکل ۳c). برعکس با افزایش شدت میدان مغناطیسی تا ۱۰۰ میلی-تسلا، MGT روند کاهشی نشان داد، ولی پس از آن روند افزایشی داشت، به طوری که حتی نسبت به تیمار بدون میدان مغناطیسی (شاهد) نیز بیشتر بود (شکل ۳d). این امر نشان می دهد که تأثیر مثبت و تحریک‌کنندگی میدان مغناطیسی در شدت‌های کمتر بیشتر است و با افزایش از یک حد آستانه می‌تواند اثر منفی و بازدارندگی بر جوانه‌زنی بذر داشته باشد.

دهاوی و الخیری (Dhawi & Al-Khayri, 2009) بیان کردند که دوزهای پایین میدان متغیر مغناطیسی اثر تحریک‌کنندگی و دوزهای بالا اثر بازدارندگی بر رشد گیاهچه‌های خرما (*Phoenix dactylifera* L.) داشتند. آنها نشان دادند که میدان مغناطیسی ثابت با شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا و به مدت ۳۶۰ دقیقه بیشترین اثر را بر بهبود میزان کلروفیل و رنگدانه‌ها داشت.

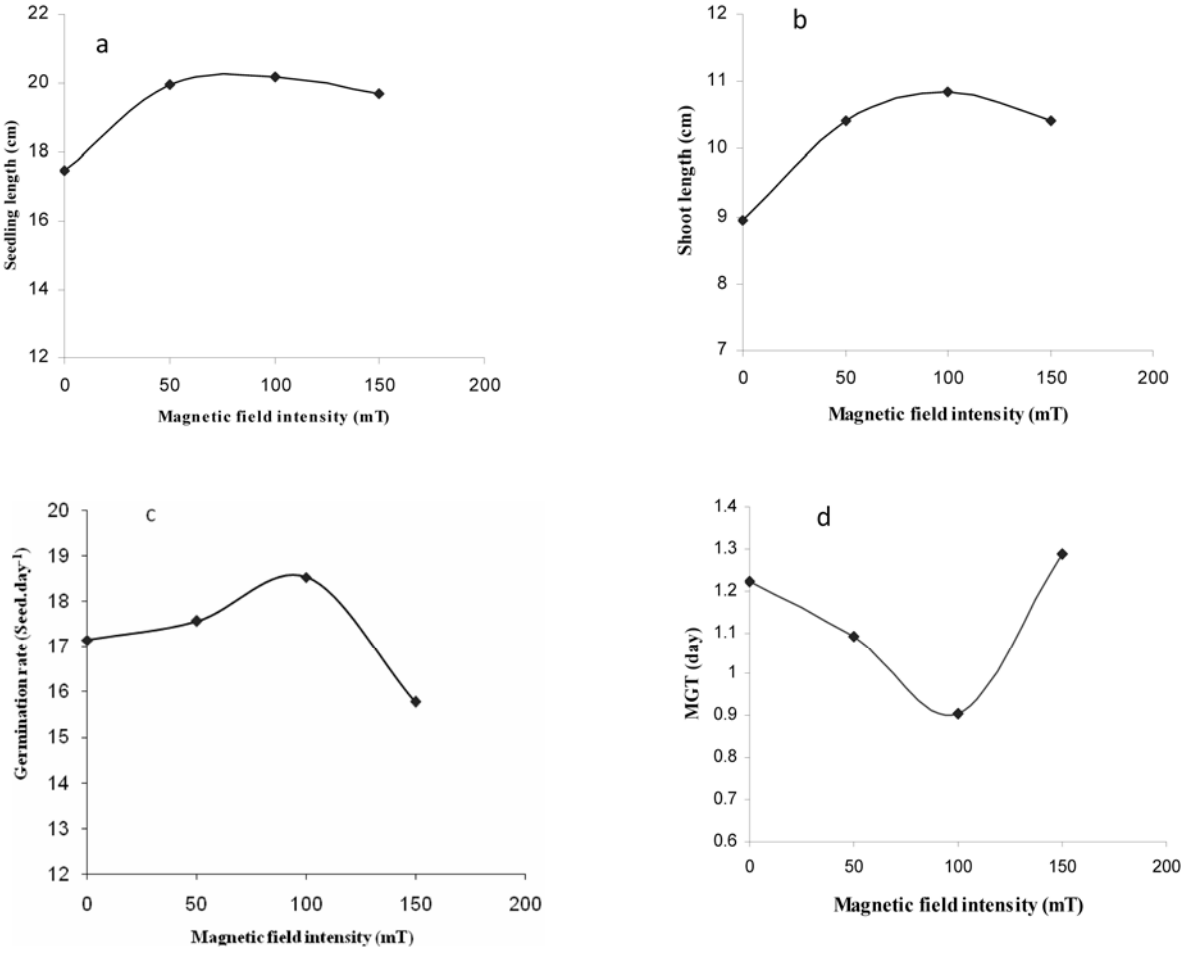
به نظر می‌رسد که قرار گرفتن بذرها در معرض زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بر طول ساقه‌چه بیشتر از طول گیاهچه اثر داشت. با افزایش زمان تیمار میدان مغناطیسی تا ۱۰ دقیقه افزایش طول گیاهچه مشاهده شد، ولی پس از آن طول گیاهچه واکنش زیادی در زمان‌های ۲۰ و ۳۰ دقیقه نشان نداد (شکل ۴a). در صورتی که طول ساقه‌چه با افزایش زمان قرارگیری بذرها در میدان مغناطیسی تا ۲۰ دقیقه روند افزایشی و در زمان ۳۰ دقیقه روند کاهشی را نشان داد (شکل ۴b).

با افزایش زمان میدان مغناطیسی روی بذرها، MGT تا تیمار ۲۰ دقیقه روند کاهشی نشان داد ولی وقتی بذرها به مدت بیشتری (۳۰ دقیقه) در معرض میدان مغناطیسی قرار گرفتند، باعث افزایش MGT و کاهش سرعت جوانه‌زنی شد (شکل‌های ۴d و ۴c). راکوسیو و همکاران (Racuciu et al., 2007) کاهش رشد و رنگدانه های فتوسنتزی ذرت را در زمان‌های طولانی‌تر میدان مغناطیسی گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

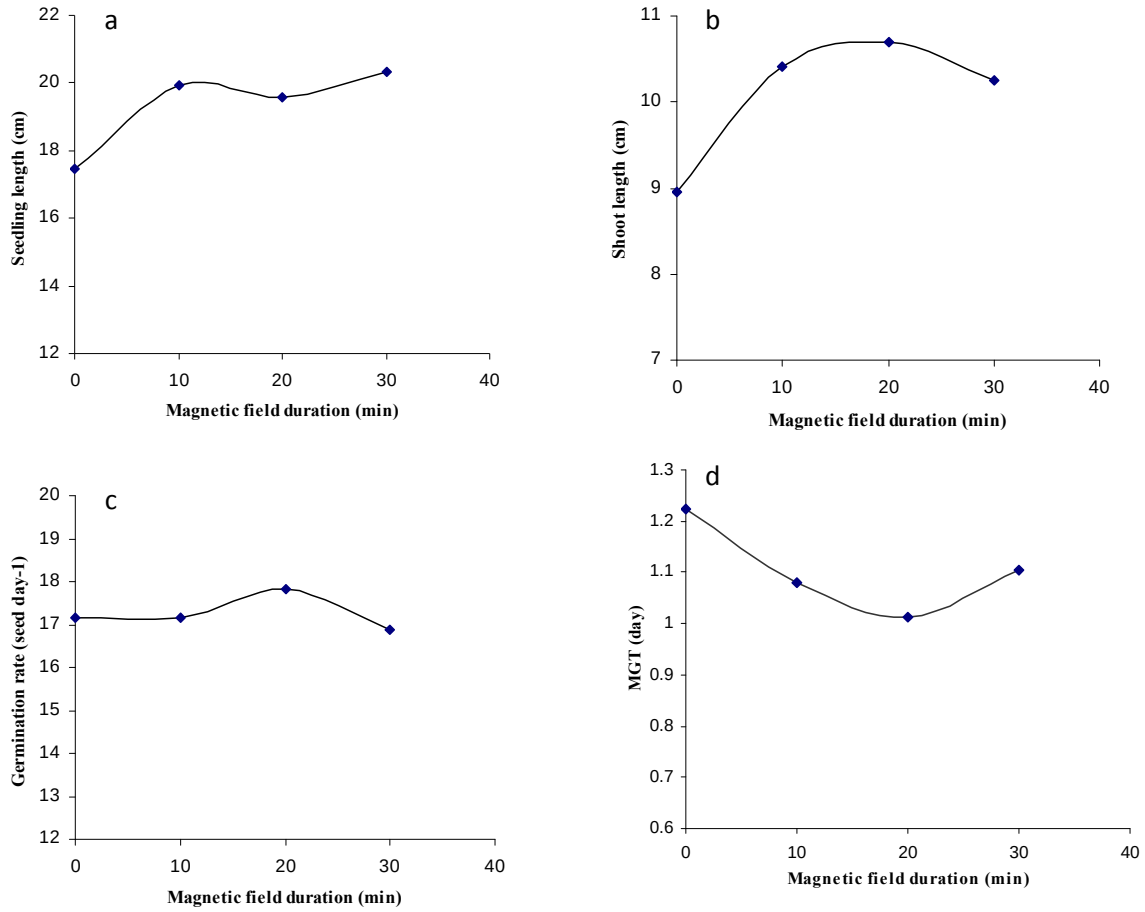
بر اساس نتایج بدست آمده استفاده از میدان مغناطیسی جهت تحریک رشد اولیه گیاهچه حاصل از بذرهای گندم امکان‌پذیر است. میدان مغناطیسی باعث کاهش معنی‌دار متوسط زمان جوانه‌زنی بذر گندم شد، به عبارت دیگر سرعت جوانه‌زنی را بطور معنی‌داری افزایش داد، اما تیمار میدان مغناطیسی بر درصد نهایی جوانه‌زنی تأثیر معنی-داری نداشت. طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و شاخص بنیه بطور معنی‌داری در اثر تیمار میدان مغناطیسی افزایش یافت و تیمار میدان مغناطیسی با شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا نسبت به دیگر تیمارها برتری نسبی نشان داد، اما در بین زمان‌های در معرض قرار گرفتن بذرها با میدان مغناطیسی، بهترین زمان ۲۰ دقیقه بدست آمد و به نظر می‌رسد که زمان‌های کم تا متوسط تأثیر بیشتری بر بذرها داشتند. بنابراین،

میدان مغناطیسی به عنوان یک عامل محرک رشد غیر تهاجمی و غیر مخرب برای گیاه می‌تواند بکار رود. تحریک رشد گیاهچـه حاصـل از بذر گندم از طریق تیمارهای میدان مغناطیسی ممکن است در مراحـل پیشرفته‌تر رشد و نمو گیاه تأثیر مثبت قابل توجهی داشته باشد که نیاز به آزمایش‌های تکمیلی دارد.



شکل ۳- تأثیر شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی بر (a) طول گیاهچه، (b) طول ساقه‌چه، (c) سرعت جوانه‌زنی و (d) متوسط زمان جوانه‌زنی گندم

Fig. 3- Influence of magnetic field intensities on (a) seedling length, (b) shoot length, (c) germination rate and (d) mean germination time of wheat seedling



شکل ٤- تأثیر زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بر (a) طول گیاهچه، (b) طول ساقه چه، (c) سرعت جوانه‌زنی و (d) متوسط زمان جوانه‌زنی گندم

Fig. 4- Influence of magnetic field durations on (a) seedling length, (b) shoot length, (c) germination rate and (d) mean germination time of wheat seedling.

منابع

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

2- Aladjadjiyan, A. 2010. Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. International Agrophysics 24: 321-324.

3- Cakmak,T., Dumlupinar, R., and Erdal, S. 2009. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. Bioelectromagnetics 30:1-10.

4- 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.

5- De Souza, A., Garcí D., Sueiro, L., Gilart, F., Porras, E., and Licea, L. 2006. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. Bioelectromagnetics 27: 247-257.

6- Dhawi, F., and Al-Khayri, J.M. 2009. Magnetic fields induce changes in photosynthetic pigments content in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings. The Open Agriculture Journal 3:1-5.

7- Dhawi, F., Al-Khayri, J.M., and Hassan, E. 2009. Static magnetic field influence on elements composition in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). Research Journal Agriculture Biological Sciences 5:161-166.

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

9- 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.

10- ISTA. 2009. ISTA Rules. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 47 pp.

11- Kordas, L. 2002. The effect of magnetic field on growth, development and the yield of spring wheat. Polish

Journal Environmental Studies 11: 527-530.
12- Maguire, I.D. 1982. Speed of germination- Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science 22: 176-177.
13- Mahdavi, B., Modarres Sanavy, A.M., and Bolouchi, H. 2008. Effect of Electromagnetic field on seed germination and seedling growth of annual medics, barley, dodder and barnyard grass. Journal of Iran Biology 21: 433-443.
14- Martinez, E., Carbonell, M.V., Amaya J.M., and Maqueda, R. 2009. Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. International Agrophysics 23: 45-49.
15- Martinez, E., Carbonell, M.V., Flórez, M., Amay, J.M., and Maqued, R. 2009a. Pea and lentil growth stimulation due to exposure to 125 and 250 mT stationary fields. International Agrophysics 18: 657-663.
16- Matthews, S., and Khajeh-Hosseini, M. 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigor differences in seed lots of maize (*Zea mays*). Seed Science Technology 35: 200-212.
17- Meiqiang, Y., Minging, H., Buzhou, M., and Tengcar, M. 2005. Stimulating effects of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. Journal Plasma Science Technology 7: 3143-3147.
18- Moon, J.D.C., and Sook, H. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. Journal Electrostatics 48: 103-114.
19- Racuciu, M, Creanga, D.E., and Amoraritei, C. 2008. Biochemical changes induced by low frequency magnetic field exposure of vegetal organisms. Romanian Journal Physics 52: 601-6.
20- Racuciu, M., Creanga, D., and Horga, I. 2008. Plant growth under static magnetic field influence. Romania Journal Physics 53: 353–359.
21- Sakhnini, L. 2007. Influence of Ca^{2+} in biological stimulating effects of AC magnetic fields on germination of bean seeds. Journal Magnetism and Magnetic Materials 310: 1032–1034.
22- 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: 571–8.
23- Vashisth, A., and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. Journal Plant Physiology 167: 149-156.
24- Vasilevski, G. 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. Bulgarian Journal Plant Physiology (Special Issue) 179–186.
25- Yinan, Y., Yuan, L., Yongqing, Y., and Chunyang, L. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. Environment and Experiment Botany 54: 286–294.