ساخت یک سامانه جدید مغناطیس کننده آب و تعیین اثر آب مغناطیس شده بر جوانه‌زنی دانه‌های گندم

مهدی کسرایی[۱]، سعید زارعی[۲]، مائده شفیعی علویجه[۳]

[۱]هیأت علمی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز؛ Kasraei@shirazu.ac.ir
[۲]دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز؛ S.Zarei@gmail.com
[۳]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز؛ m.shafieealavijeh@gmail.com

چکیده

آب مغناطیسی روشی نو در افزایش بهره‌وری آب به شمار می‌آید. هدف این پژوهش ساخت یک سامانه جدید مغناطیس کننده آب و تعیین اثر آب مغناطیسی بر شاخص‌های جوانه‌زنی دانه‌های گندم بوده است. به این منظور دستگاهی ساخته شد که در آن آب در مدت زمان قابل توجهی در میدان مغناطیسی مستقیمی که بین دو هسته وجود داشت قرار می‌گرفت. تیمارها شامل پنج رقم گندم (یاواروس، فلات، شیرازی، روشن و سرداری)، سه سطح میدان مغناطیسی (۱۰۰ و ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی تسلا) و سه سطح زمان (۳۰ و ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه) و نیز از هر رقم یک نمونه شاهد (بدون قرار گرفتن در میدان مغناطیسی) بود. عوامل مورد مطالعه سرعت و درصد جوانه‌زنی بود. آزمایش‌ها در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی در سه تکرار و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و با آزمون LSD انجام شد. نتایج نشان داد که اثر آب مغناطیسی برهر دو شاخص جوانه‌زنی با نمونه شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بود و رقم روشن بیش‌ترین میانگین درصد و سرعت جوانه‌زنی را داشت.

کلمات کلیدی: آب مغناطیسی، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی،گندم، میدان مغناطیسی

Development of a New Water Magnetization System and Determination the Effect of Magnetic Water on the Germination of Wheat seeds

S.Zarei, M.Shafiee Alavijeh
M.Kasraei, Kasraei@shirazu.ac.ir

ABSTRACT

Magnetic water is a new procedure in increasing water efficiency. The aim of study was development of a new water magnetization system and determination the effect of this magnetic water on germination indices of wheat seeds. For this purpose, a device manufactured, so, the water could maintained for a considerable time in the magnetic field. The treatments were included five wheat cultivars (Roshan, Sardari, Shiraz, Falat and Yavarus), three levels of magnetic field (100, 150, 200 mT), three levels of time (30, 60, 120 min) and a control sample (not effected by magnetic field) for each cultivars. Study cases were germination rate and percentage. Tests arranged by factorial experiments and completely random plan in three repetitions and were study in SAS software with LSD test. Results showed, effect of magnetic water on germination indices compared to control sample were significant. Roshan cultivar had the maximum average of germination percentage and rate.

Keywords: magnetic water, germination rate, germination percentage, wheat, magnetic field

۱- نویسنده مسئول: مهدی کسرایی ۰۹۱۷۷۱۴۶۱۹۰

۱- مقدمه

دستگاه‌های آب مغناطیسی بیش از نیم قرن است که مورد استفاده قرار می‌گیرند. نخستین سیستم تصفیه مغناطیسی آب در سال ۱۹۴۵ در بلژیک ساخته شد (Alimi et al., 2007). این نوع تصفیه فیزیکی دارای مزایای زیادی نسبت به روش‌های شیمیایی تصفیه آب نظیر به کاربردن مواد شیمیایی (اسیدهای قوی یا پلی‌فسفات‌ها که هم گران قیمت بوده و هم برای حیات آدمی و محیط زیست مضر است) می‌باشد. تصفیه مغناطیسی آب برای کنترل رسوبات یکی از فناوری‌های مهم در آینده تصفیه آب است. آینده درخشان این تکنولوژی بر پایه هزینه اجرا و نگهداری نسبتاً پایین آن در مقایسه با روش‌های تصفیه شیمیایی و کلاسیک آب می‌باشد. رسوبات ته‌نشین شده یک مشکل بزرگ و پرهزینه در بسیاری از فرایندهای صنعتی و کشاورزی می‌باشد در بریتانیا هزینه همین رسوبات حدود یک بیلیون پوند برآورد شده است، انتقال گرما با وجود یک لایه ۲۵ میلی متری از رسوب کربنات کلسیم ۹۵ درصد افت خواهد کرد (Glate et al., 1980). از سال ۱۹۶۰ در اتحاد جماهیر شوروی از الکترومغناطیس‌های نیرومند در سیستم‌های آب گرم استفاده شده است. در ایالات متحده نیز شروع کاربرد و استفاده از دستگاه‌های آب مغناطیسی از سال ۱۹۷۵ گزارش شده است. بعد از این سال‌ها این تکنولوژی در بسیاری از موضوعات که ارتباطی با مصرف آب داشتند گسترش پیدا کرد و اثرات آن مورد ارزیابی قرار گرفت (Grutsch, 1992).

آزمایش اثر میدان مغناطیسی بر روی آب را کرولت و للیون (Crolet and Lelion, 1988) در دو حالت سیستم گردشی و یک بار عبور بر روی آب زیر زمینی با استفاده از دستگاهی که میدان مغناطیسی در آن عمود بر جهت جریان بود بررسی کردند. این آزمایش تحت چگالی میدان ۰/۱۸ تسلا برای بررسی اثر مقدار سرعت جریان آب و جنس بدنه دستگاه که آب از آن عبور می‌کند، انجام گرفت. طبق نتایج میزان رسوب زدایی در دستگاه‌ها با بدنه پلاستیکی (سیستم‌های گردش آب گرم) کاهش می‌یابد.

بسیاری از محققین و سازندگان دستگاه‌های تصفیه مغناطیسی آب مدعی شده‌اند که علت رسوب زدایی تشکیل کریستال‌های آبدوست (هیدروفیلیک) به جای تشکیل رسوبات معلق است و این دلالت دارد بر ثبات کلوئیدی که در اثر استفاده از میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. دستگاه‌های تصفیه مغناطیسی آب، اندازه و بار سطحی کریستال‌های در حال رشد را تغییر و تمایل آن‌ها را برای باقی ماندن در داخل محلول افزایش می‌دهند (Crolet and Lelion, 1988).

در تحقیقی که لین و یوتوات (Lin and Yotvat, 1990) نتایج آن را گزارش کرده‌اند تیمار مغناطیسی آب، بهره‌وری آب را هم در تولید محصول و هم در تولید دام افزایش می‌دهد. بعضی مطالعات نشان داده است که در اثر استفاده از آب مغناطیسی در شمار گل‌های تولید شده، محصول نهایی و زودرسی توت فرنگی افزایش به وجود می‌آید (Esitken and Turan, 2004) و درباره گوجه فرنگی همین افزایش در گل‌دهی، محصول نهایی و زودرسی گزارش شده است (Danilov et al., 1994). همچنین افزایش در ماده مغذی گوجه فرنگی (گوشتی شدن) در اثر مغناطیسی شدن آب مشاهده شده است (Amaya et al., 1996; Podleoeny et al., 2004; Duarte Diaz et al., 1997).

در دو خاک رسی و شنی کاربونل و همکاران (Carbonell et al., 2002) میزان تبخیر از خاک را تحت شرایط آبیاری با آب مغناطیسی و آب معمولی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که در هر دو نوع خاک بیش‌ترین اختلاف تبخیر از خاک بین دو تیمار آب معمولی و آب مغناطیسی به هنگام استفاده از آب معمولی مشاهده شد. در واقع به نظر می‌رسد با افزایش حلالیت آب و هم‌زمان کاهش کشش سطحی آب، خاصیت خیس کنندگی و یا ترشوندگی خاک افزایش می‌یابد. در نتیجه، ظرفیت نگهداری آب در خاک افزایش و میزان تبخیر در سطح خاک نسبت به آبیاری معمولی کاهش می‌یابد، که خود موجب پایین آمدن زمان آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود.

در مجموع بررسی منابع نشان می‌دهد که تأثیرات مفید میدان مغناطیسی بر روی رشد گیاه یا دیگر پارامترهای مرتبط وجود دارد با این حال توضیح روشنی در خصوص حدود این تأثیرها یا مکانیزم‌هایی که عمل می‌کند، وجود ندارد. نتایج گزارش شده در خصوص استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری محصولات کشاورزی همگی حاکی از افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد بیش‌تر و محصول بهتر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که این آب به راحتی جذب بافت شده و بدین وسیله فرآیند متابولیکی بذر را تحریک می‌کند و همچنین خصوصیات رشد گیاه از جمله ارتفاع و اندازه و تعداد برگ‌ها را افزایش می‌دهد (Higashitani et al., 1992). برخی از محققین دریافته‌اند که افزایش چگالی میدان مغناطیسی تا حد مشخصی مؤثر است و بالاتر از آن مؤثر نمی‌باشد (Higashitani et al., 1993). هم‌چنین باید گفت که تحقیقات زیادی درباره تأثیر تیمار مغناطیسی آب آبیاری در رشد گیاه و بهره‌وری گیاه و آب وجود ندارد (Basant and Harsharn, 2009).

دستگاه‌هایی که ساخته شده‌اند به طور عمده از نظر نحوه ایجاد میدان مغناطیسی به دو مدل تقسیم می‌شوند:

۱- مغناطیسی: که منبع آن یک مگنت دائمی (آهنربا) است که اغلب سرامیکی می‌باشند.

۲- الکترومغناطیسی: در این مدل از سیم پیچ‌های الکتریکی برای ایجاد میدان مغناطیسی استفاده می‌شود.

بدون شک دستگاه‌های آب مغناطیسی در بسیاری از موارد تأثیرات معنی‌داری داشته و شواهد حاکی از آن است که تأثیر مورد نظر زودگذر و بی‌دوام نیست و به طور میانگین تا ۲۴ ساعت دوام دارد. علاوه بر این، مکانیزم عمل این دستگاه‌ها به طور کامل مشخص نیست، به همین دلیل

شرایط بهینه کاری در ارتباط با شدت میدان مغناطیسی و جهت میدان، زمان قرارگیری در میدان مغناطیسی و سرعت جریان آب به طور مشخص تعریف نشده است. روی هم رفته شواهد حاکی از آن است که دستگاه تصفیه مغناطیسی زمانی به مؤثرترین وجه عمل می‌کند که در شرایط زیر باشد:

۱- چگالی میدان مغناطیسی در اکثر موارد در بازه ۲۰ الی ۴۰۰ میلی‌تسلا توصیه شده و در مصارف کشاورزی حتی حد بالای این بازه کم‌تر می‌باشد.
۲- برای داشتن قابلیت تغییر چگالی میدان مغناطیسی به عنوان تیمار اصلی باید از الکترومغناطیس استفاده کرد.
۳- جهت میدان مغناطیسی، در حالت عمود بر جهت جریان آب، مؤثرتر گزارش شده است.
۴- سرعت جریان آب بین ۰/۵ تا ۳ متر بر ثانیه توصیه شده است.
۵- سیستم عبور آب در حالت چرخشی با توجه به قرارگیری آب در معرض میدان مغناطیسی در زمان طولانی‌تر، مؤثرتر بوده است.
۶- لوله عبور آب از جنس عایق در نظر گرفته شود.

۲- بخش مواد و روش‌ها

هدف ساخت یک دستگاه با میدان مغناطیسی یکنواخت بود که بتواند هم محدوده چگالی میدان مغناطیسی مورد نظر را تأمین کند و هم قابلیت کار در زمان طولانی را با حداقل افت داشته باشد.

در طراحی دستگاه مذکور مهم‌ترین موضوع، طراحی میدان مغناطیسی با چگالی متغیر بود که با جمع بندی صورت گرفته باید خصوصیات زیر را می‌داشت:

۱- قابلیت ایجاد چگالی شار مغناطیسی متغیر.
۲- قابلیت تنظیم میدان مغناطیسی در چگالی‌های مختلف.
۳- یکنواخت بودن میدان مغناطیسی.

در شکل ۱ تصویر دستگاه ساخته شده نشان داده شده است. دستگاه، همان طور که در تصویر مشخص است، شامل سه قسمت می‌باشد:

۱- دستگاه تولید کننده میدان مغناطیسی.
۲- قسمت ایجاد کننده جریان آب در میدان.
۳- منبع تغذیه و تنظیم کننده چگالی میدان مغناطیسی.

Figure 1. Magnetic Water Supply and Power Supply.

شکل ۱- تصویر دستگاه تهیه آب مغناطیس و منبع تغذیه.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۲-۱- مشخصات فنی دستگاه میدان مغناطیسی

۲-۱-۱-شاسی دستگاه

این قسمت از سه قطعه پروفیل توپر با مقطع ۱۲۰×۱۰ میلی‌متر و از جنس فولاد ساخته شد. طول شاسی ۳۰۰ میلی‌متر و ارتفاع آن نیز ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد که این سه قطعه به وسیله جوشکاری به هم متصل شدند.

در دو قطعه عمودی همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود یک سوراخ به قطر ۴۲ میلی‌متر برای استقرار هسته‌ها و شش سوراخ برای نگه داشتن سایر اجزای دستگاه در قطعات عمودی ایجاد شد.

Figure 2. Vertical Chassis Parts of the Machine.

شکل ۲- قطعات عمودی شاسی دستگاه.

۲-۱-۲-سیم‌پیچ‌های دستگاه

این مجموعه از سه قطعه تشکیل شده است که مجموع قرقره سیم‌پیچی را تشکیل می‌دهند. این مجموعه از دو صفحه دایره‌ای شکل به قطر ۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر از جنس فولاد ۳۰۴ نگیر (که تحت تأثیر میدان مغناطیسی، خاصیت آهنربایی پیدا نمی‌کند) و یک استوانه به قطر داخلی ۴۲ میلی‌متر و طول ۷۵ میلی‌متر تشکیل شده است، که به وسیله جوشکاری بهم متصل شده اند (شکل۳).

Figure 3. Wire Band Component.

شکل ۳- اجزای تشکیل دهنده سیم‌پیچ دستگاه.

۲-۱-۳-هسته

برای ساخت این قطعه از میلگردهای فولاد صیقل شده به قطر ۵۰ میلی‌متر و طول ۱۳۵ میلی‌متر استفاده شد که با عملیات تراشکاری و پرداخت به قطر ۴۰ میلی‌متر رسید. در یک طرف هسته سوراخ قلاویز شده‌ای قرار گرفته است که به وسیله قطعه‌ای که درون آن قرار می‌گیرد بتواند حرکت خطی داشته باشد تا به این ترتیب فاصله بین هسته‌ها تنظیم شود.

۲-۲- مجموعه چرخش آب در میدان

برای ایجاد جریان چرخشی آب در میدان مغناطیسی از پمپ الکتریکی ۱۲ ولت استفاده شد. این مجموعه شامل پمپ، مخزن پلاستیکی آب با گنجایش حجم مایع ۱۰ لیتر، لوله پلاستیکی با قطر خارجی ۶ میلی‌متر و قطر داخلی ۴ میلی‌متر و محفظه مارپیچ حلزونی آب می‌باشد. آب توسط پمپ از مخزن خارج شده و سپس از طریق لوله پلاستیکی از فضای بین هسته‌های میدان مغناطیسی عبور کرده و دوباره به مخزن برگردانده می‌شود.

۲-۳- اندازه گیری میدان مغناطیسی

برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی از دستگاه تسلامتر (گوس‌متر) مدل MG-3002 ساخت کشور تایوان استفاده گردید که توانایی اندازه‌گیری میدان مغناطیسی از صفر تا ۳۰۰ میلی‌تسلا با دقت ۰/۱ میلی‌تسلا را دارد.

۲-۴- منبع تغذیه

در این پژوهش به منظور تأمین ولتاژ مورد نیاز و داشتن میدان مغناطیسی یکنواخت از منبع تغذیه DC (مدل Megatek) استفاده شد. دستگاه دارای دو تنظیم یکی برای تنظیم ولتاژ با دقت ۰/۱ ولت و دیگری برای تنظیم شدت جریان خروجی با دقت ۰/۱ آمپر است.

۲-۵- اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی

برای اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی در هر پتری دیش که در کف آن کاغذ صافی قرار داشت تعداد ۲۵ بذر قرار گرفت. برای تأمین رطوبت، آب پس از قرار دادن در میدان مغناطیسی، به پتری دیش‌ها اضافه می‌شد. در هر روز تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر پتری دیش شمارش و ثبت می‌شد. معیار جوانه‌زنی برای بذرها خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر یا بیش‌تر بود. عمل شمارش بذرها به مدت ۷ روز انجام و سپس سرعت جوانه‌زنی (GR) از معادله زیر محاسبه گردید (Maguire, 1982).

$$GR = \sum \frac{n}{D} \quad (۱)$$

GR: سرعت جوانه‌زنی
n: تعداد دانه‌های جوانه زده در هر روز
D: تعداد روز گذشته از شروع آزمایش

۲-۶- اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی

اگر n_i تعداد بذرهای جوانه زده در روز هفتم و S تعداد کل بذرها باشد با توجه به اینکه رشد ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر به عنوان معیار جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. از معادله زیر درصد جوانه‌زنی (GP) محاسبه گردید (Ellis and Robert, 1981).

$$GP = \frac{n_i}{S} \times 100 \quad (۲)$$

۲-۷- تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها به صورت آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور زمان در سه سطح ۳۰ دقیقه (T_1)، ۶۰ دقیقه (T_2) و ۱۲۰ دقیقه (T_3) و فاکتور شدت میدان مغناطیسی در سه سطح ۱۰۰ میلی‌تسلا (E_1)، ۱۵۰ میلی‌تسلا (E_2) و ۲۰۰ میلی‌تسلا (E_3) و پنج رقم گندم (یاواروس، فلات، شیراز، روشن و سرداری) در سه تکرار انجام شد و از هر رقم یک تیمار بدون آن‌که در میدان مغناطیسی قرار گیرد در سه تکرار به عنوان شاهد در نظر گرفته شد، که در مجموع ۱۵۰ تیمار را تشکیل دادند. در پایان هر آزمایش داده‌های اندازه گیری شده به نرم‌افزار Excel منتقل و ذخیره سازی گردید. نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون F برای تعیین سطح معنی‌داری استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سرعت جوانه‌زنی

در جدول ۱-۳ نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفت سرعت جوانه‌زنی گزارش شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود اثر رقم، اثر میدان مغناطیسی و زمان اعمال میدان مغناطیسی و همچنین کلیه اثرات متقابل بر صفت سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود ($p<0.01$).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

جدول ۱-۳- نتایج تجزیه واریانس بر سرعت جوانه‌زنی

Table 1-3. Results of analysis of variance on germination rate

Source	Degree of freedom	Total squares	Average squares	F
Cultivar (V)	4	43202.652	10800.663	661.19**
Field (F)	2	604.31704	302.15852	18.5**
Time (T)	2	400.20835	200.10417	12.25**
V*F	8	567	70.875	4.34**
V*T	8	1262.1187	157.76484	9.66**
F*T	4	236.12075	59.03019	3.61**
V*F*T	16	1047.4364	65.46478	4.01**
Error	90	1633.5228	16.33523	
Coefficient of variation				11.7953

** : معنی‌دار در سطح یک درصد (۱٪)

بررسی اثر متقابل دوگانه میدان در زمان نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا و در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه بود که با میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا و مدت زمان ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری نشان نداد. در حالی که کم‌ترین آن در میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا و مدت زمان ۱۲۰ دقیقه مشاهده گردید (جدول ۲-۳).

جدول ۲-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل میدان و زمان برای صفات اندازه‌گیری شده

Table 3-2. Comparison of the mean square and time interaction on the measured traits

Magnetic Field (mT)	Time (min)	Germination rate	Germination percentage
0	0	28.534^{E}	59.2^{C}
100	30	30.877^{DE}	60.133^{C}
	60	32.772^{CD}	64.133^{F}
	120	32.81^{F}	63.2^{BC}
150	30	33.584^{CD}	63.733^{BC}
	60	32.433^{CD}	67.067^{B}
	120	39.742^{A}	77.067^{A}
200	30	34.979^{BC}	65.2^{BC}
	60	37.749^{AB}	80^{A}
	120	39.171^{A}	66.933^{B}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD5%).

جدول ۳-۳ نشان‌دهنده مقایسه میانگین سطوح مختلف میدان مغناطیسی برای هر رقم به صورت جداگانه است. میدان مغناطیسی ۲۰۰ میلی‌تسلا در کلیه ارقام مورد استفاده دارای بیش‌ترین میانگین سرعت جوانه‌زنی بود در حالی که شاهد دارای کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی در کلیه ارقام بود. میزان افزایش سرعت جوانه‌زنی در میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا نسبت به شاهد برای ارقام یاواروس، فلات، شیراز، روشن و سرداری به ترتیب برابر ۱۳۲، ۸۵، ۸۲، ۵ و ۷ درصد بود.

جدول ۳-۳- مقایسه اثر شدت میدان مغناطیسی بر سرعت جوانه‌زنی در هر رقم

Table 3-3. Comparison of the effect of magnetic field intensity on germination rate in each cultivar

Magnetic Field (mT)	Yavarus	Falat	Shiraz	Roshan	Sardari
0	10.4167^{C}	20.6^{B}	7.8^{C}	57.289^{A}	46.567^{A}
100	10.5278^{C}	30.567^{A}	12.0259^{B}	58.911^{A}	48.733^{A}
150	19.7926^{B}	34.159^{A}	14.213^{A}	59.483^{A}	48.619^{A}
200	24.1426^{A}	38.1130^{A}	14.2204^{A}	60.111^{A}	49.911^{A}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD5%).

مقایسه میانگین اثر سه‌گانه رقم در میدان مغناطیسی در زمان برای صفت سرعت جوانه‌زنی گیاه در جدول ۴-۳ آورده شده است. بررسی اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که سطح شاهد میدان مغناطیسی در رقم شیراز دارای کم‌ترین میانگین سرعت جوانه‌زنی بود. سطح میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا در زمان ۳۰ دقیقه و ۱۵۰ میلی‌تسلا در زمان ۳۰ دقیقه در رقم روشن بیش‌ترین میزان سرعت جوانه‌زنی را به دست آوردند که با سایر میانگین‌ها در این رقم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

جدول ۴-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه رقم، میدان مغناطیسی و زمان در ارتباط با صفت سرعت جوانه‌زنی

Table 4-3. Comparison of the mean of triple interaction of the cultivar of the magnetic field and time in relation to the germination rate trait

Magnetic Field (mT)	Time (min)	Yavarus	Falat	Shiraz	Roshan	Sardari
0	0	10.41^{KL}	$20.6I^{J}$	7.8^{L}	57.28^{AC}	46.56^{D}
100	30	9.35^{KL}	24.01^{HI}	9.1^{KL}	61.25^{A}	50.66^{CD}
	60	10.55^{KL}	33.97^{EG}	14.03^{JL}	57.17^{AC}	48.12^{D}
	120	11.68^{KL}	33.70^{EG}	12.93^{KL}	58.31^{AB}	47.41^{D}
150	30	9.81^{KL}	36.78^{EF}	11.17^{KL}	61.25^{A}	48.9^{D}
	60	10.23^{KL}	31.3^{FG}	15.2^{JL}	$57.6A^{C}$	47.83^{D}
	120	39.32^{E}	34.39^{EG}	16.26^{JK}	$59.6A^{B}$	49.12^{D}
200	30	11.45^{KL}	36.91^{EF}	12.53^{KL}	60.75^{AB}	53.24^{BD}
	60	28.48^{GH}	38.41^{EF}	13.85^{JL}	59.33^{AB}	48.65^{D}
	120	32.48^{EG}	39.01^{E}	16.27^{JK}	60.25^{AB}	47.83^{D}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD5%).

۳-۲- درصد جوانه‌زنی

جدول ۵-۳ نشان‌دهنده تجزیه واریانس مربوط به صفت درصد جوانه‌زنی می‌باشد. بر این اساس اثر رقم، میدان مغناطیسی و زمان اعمال میدان مغناطیسی و همچنین کلیه اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار بود ($p<0.01$).

جدول ۵-۳- نتایج تجزیه واریانس بر درصد جوانه‌زنی

Table 5-3. Results of analysis of variance on germination percentage

Source	Degree of freedom	Total squares	Average squares	F
Cultivar (V)	4	100858.9	25214.725	378.52^{**}
Field (F)	2	1738.0148	869.0074	13.05^{**}
Time (T)	2	1391.1704	695.5852	10.44^{**}
V*F	8	1404.8	175.6	2.64^{*}
V*T	8	2568.5333	321.0667	4.82^{**}
F*T	4	2148.563	537.1407	8.06^{**}
V*F*T	16	12057.956	753.6222	11.31^{**}
Error	90	6661.3333	66.6133	
Coefficient of variation				12.24255

** ، * : به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد (۱٪) و پنج درصد (۵٪)

بررسی اثر متقابل دوگانه میدان در زمان نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا و در زمان اعمال ۶۰ دقیقه مشاهده گردید که با میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا و زمان اعمال ۶۰ دقیقه اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۲-۳).

مقایسه میانگین اثر سه‌گانه رقم در میدان مغناطیسی در زمان برای صفت درصد جوانه‌زنی گیاه در جدول ۶-۳ آورده شده است. بررسی اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که سطح شاهد میدان مغناطیسی در رقم شیراز دارای کم‌ترین میانگین درصد جوانه‌زنی بود که با میانگین سایر سطوح در این رقم تفاوت معنی‌داری نداشت. کلیه سطوح رقم روشن بیش‌ترین میزان درصد جوانه‌زنی را داشتند که با سایر میانگین‌های سطوح رقم سرداری اختلاف معنی‌دار آماری نشان ندادند.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

جدول ۶-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه رقم، میدان مغناطیسی و زمان در ارتباط با صفت درصد جوانه‌زنی

Table 6-3. Comparison of the mean of triple interaction of the cultivar of the magnetic field and time in relation to the germination rate trait

Magnetic Field (mT)	Time (min)	Yavarus	Falat	Shiraz	Roshan	Sardari
0	0	37.33^{GI}	66^{F}	16^{K}	94.66^{AB}	82^{BE}
100	30	40.66^{GH}	52^{G}	18.66^{JK}	100^{A}	89.33^{AC}
	60	38^{GI}	66.66^{EF}	29.33^{HK}	97.33^{AB}	89.33^{AC}
	120	37.33^{GI}	69.33^{EF}	22.66^{IK}	97.33^{AB}	89.33^{AC}
150	30	33.33^{HJ}	78.66^{CF}	18.66^{JK}	100^{A}	88^{AD}
	60	36.66^{GI}	69.33^{EF}	37.33^{GI}	98.66^{A}	93.3^{AC}
	120	101.33^{A}	72^{EF}	18.66^{JK}	98.66^{A}	94.66^{AB}
200	30	36.55^{GI}	69.33^{EF}	24^{IK}	100^{A}	96^{AB}
	60	98.66^{A}	73.33^{DF}	30.66^{HK}	100^{A}	97.33^{AB}
	120	40^{GH}	81.33^{BF}	22.66^{IK}	100^{A}	90.66^{AC}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD5%).

۴- نتیجه‌گیری

در بررسی سرعت جوانه‌زنی نتایج حاکی از آن است که در حالت کلی برای ارقام مختلف بین سطوح میدان اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با این وجود در رقم روشن در میدان‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا و در زمان ۳۰ دقیقه بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری بین این دو سطح میدان وجود ندارد و بهتر است که از سطح میدان کم‌تر جهت صرف انرژی کم‌تر استفاده شود.

نتایج حاصل از درصد جوانه‌زنی نشان داد که تفاوت بین سطوح میدان مغناطیسی در همه ارقام تفاوت معنی‌داری با هم ندارند ولی در رقم روشن بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطوح رقم یاواروس نداشت بنابراین بهتر است از کم‌ترین سطح میدان و زمان و رقم روشن برای نتیجه مطلوب‌تر استفاده کرد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۵- مراجع

Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigour determination in soybean seeds by multiple criteria. *Crop Science*, 13, 630-637.

Amaya, J. M., & Carbonell, M. V., & Martinez, E., & Raya, A. (996). Effects of stationary magnetic fields on germination & growth of seeds. *Horticulture Abstract*, 6, 1363.

Basant, L., & Maheshwari, & Harsharn Singh Grewa. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: its effects on vegetable crop yield & water productivity. *Agriculture Water Management*, 96, 1229-1236.

Carbonell, M. V., & Diaz, J. E., & Florez, M. (2002). Influence of magnetic treatment on evaporation of water. http://www.magnetize.com.

Crolet, J. L., & Lelion, J. (1988). Experimental evaluation of the effectiveness of a magnetic antiscaling device. *Techm Science Meth L'Eau*, 83, 435-442.

Danilov, V., & Bas. T., & Eltez, M., & Rizakulyeva, A. (1994). Artificial magnetic field effects on yield & quality of tomatoes. *Acta Horticulture*, 366, 279-285.

Duarte Diaz, C.E., & Riquenes, J. A., & Sotolongo, B., & Portuondo, M. A., & Quintana, E. O., & Perez, R. (1997). Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. *Horticulture Abstract*, 69, 494.

Esitken, A., & Turan, M. (2004). Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria-ananassa cv. Camarosa*). Acta Agric. *Scand., Sect, B. Soil Plant Science*, 54, 135-139.

Alimi, F., Tlili, M., Amor, M. B., Gabrielli, C., & Maurin, G. (2007). Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation. *Desalination*, *206*(1-3): 163-168.

Grutsch, J. F., & McClintock, J. W. (1984). Corrosion & deposit control in alkaline cooling water using magnetic water treatment at Amoco's largest refinery. Paper No. 330, Corrosion 84, *National Association of Corrosion Engineers, New Prleans*.

Higashitani, K., Kage, A., Katamura, S., Imai, K. & Hatade, S. (1993). Effect of magnetic field on formation of $CaCO_3$ particles. *Journal of Colloid & Interface Science*, 156(1), 90-95.

Higashitani, K., Okuhara, K. & Hatade, S. (1992). Effects of magnetic fields on stability of nonmagnetic ultrafine colloidal particles. *Journal of Colloid & Interface Science*, 152(1), 125-131.

Lin, I. J., & Yotavat, J. (1990). Exposure of irrigation & drinking water to a magnetic field with controlled power & direction. *Journal of Magnetism & Magnetic Materials*, 83, 525-526.

Podleoeny, J., & Pietruszewski, S., & Podleoena, A. (2004). Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot Conditions. *International Agrophysics, 18(1),* 65-72.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران