



تأثیر پرایمینگ فیزیکی بذر بر فنولوژی، برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم در کشت تأخیری

بهرام میرشکاری*

دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۴

چکیده

سابقه و هدف: برخی از زارعین به دنبال برداشت گندم پاییزه در اوایل تابستان نسبت به کشت سویا به عنوان زراعت ثانویه مبادرت می کنند. کشت به موقع سویا در این شرایط برای توفیق در زراعت آن مهم است. به منظور استفاده هرچه بهتر از زمین، با بهره برداری از فناوری های خاص می توان ضمن برداشت تا حدودی زودتر گندم بدون تغییر محسوس در عملکرد، دوره رشدی مناسبی را برای زراعت ثانویه نیز فراهم آورد. استقرار مناسب گیاه زراعی یکی از چالش های اصلی در تولید است و اهمیت آن برای زارعین همانند پژوهشگران مشخص شده است. پرایمینگ بذر به عنوان یک فناوری جهت افزایش سرعت و یکنواختی سبز کردن، بنیه بالا و بهبود عملکرد در گونه های زراعی شناخته شده است. در مطالعه ای امواج اولتراسونیک به تسریع در سبز کردن و رسیدگی زودهنگام (۱۰-۵ روزه) گیاهان زراعی منتج شد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر پیش تیمارهای فیزیکی بذر بر استقرار گیاهچه، دوره رشد و عملکرد گندم پاییزه رقم الوند در کشت های به موقع و تأخیری انجام شد.

مواد و روش ها: این آزمایش ها در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا گردید. فاکتورهای مورد مطالعه شامل قرار دادن بذرها گندم در معرض اشعه های اولتراسونیک، لیزر، میدان مغناطیسی، گاما و بتا در مدت های ۳/۵ و ۵ دقیقه و تاریخ های کاشت ۵ و ۲۵ مهرماه بودند. تجزیه آماری داده ها با بهره گیری از نرم افزار MSTAT-C انجام یافت. از تجزیه واریانس برای آزمایش معنی داری منابع تغییرات و از آزمون LSD ($P \leq 0.05$) برای مقایسه اختلاف بین میانگین ها استفاده گردید.

* مسئول مکاتبه: mirshekari@iaut.ac.ir

یافته‌ها: تمامی پیش‌تیمارهای بذر در مقایسه با بذرهای شاهد، بهبود ضریب یکنواختی سبزکردن را به دنبال داشت. شاخص قدرت گیاهچه به‌طور معنی‌داری به انواع تیمارهای بذر پاسخ مثبت نشان داد. اختلاف معنی‌داری از لحاظ زمان بین کاشت تا برداشت بین تیمارهای لیزر، گاما و بتا وجود نداشت. بذرهای گندم تحت تیمار با میدان‌های مغناطیسی، امواج اولتراسونیک و کوتاه‌مدت اشعه گاما، از کلروفیل بیش‌تری در برگ‌ها برخوردار بودند. تیمار اشعه گاما به‌مدت ۳/۵ دقیقه همانند تیمارهای میدان مغناطیسی و اولتراسونیک، بذرهای سنگین‌تر با وزن هزاردانه معادل ۵۰/۵ گرم را تولید کرد، در حالی‌که مقدار این صفت در سایر تیمارها و شاهد فقط ۴۰/۵ گرم بود. اختلاف معنی‌داری بین عملکرد بذر به‌دست آمده از تاریخ‌های کاشت به موقع و تأخیری مشاهده نگردید و مقدار آن به‌طور متوسط از ۳۳۴ گرم در مترمربع در شاهد تا ۴۸۰/۱ گرم در مترمربع در اشعه‌های لیزر، بتا و بلندمدت گاما در حال تغییر بود.

نتیجه‌گیری: تیمار فیزیکی بذر گندم پاییزه رقم الوند با میدان مغناطیسی، امواج اولتراسونیک و کوتاه‌مدت اشعه گاما می‌تواند به‌صورت مؤثر جهت بهبود رشد، ظهور به موقع فرآیندهای فنولوژیک و پایداری عملکرد در شرایط کشت تأخیری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استقرار گیاهچه، امواج اولتراسونیک، کشت تأخیری، کلروفیل

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum*) یک غله دانه‌ای است که در سطح جهانی زراعت می‌شود. تولید گندم در ایران طی سال ۱۳۹۳ حدود ۱۰/۲ میلیون تن بود (۵). برخی از زارعین به دنبال برداشت گندم پاییزه در اوایل تابستان نسبت به کشت سویا به‌عنوان زراعت ثانویه مبادرت می‌کنند. کشت به موقع سویا در این شرایط برای توفیق در زراعت آن مهم است. به‌منظور استفاده هرچه بهتر از زمین، با بهره‌برداری از روش‌های زراعی خاص می‌توان ضمن برداشت تا حدودی زودتر گندم، بدون تغییر محسوس در عملکرد، دوره رشدی مناسبی را برای زراعت ثانویه نیز فراهم آورد (۴).

استقرار مناسب گیاه زراعی یکی از چالش‌های اصلی در تولید است و اهمیت آن برای زارعین همانند پژوهشگران مشخص شده است (۱۱). سبزشدن و استقرار گیاهچه در تعیین تراکم نهایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت دارد. یکی از راه‌های بهبود جوانه‌زنی و سبزشدن بذر استفاده از روش پرایمینگ است (۸). پرایمینگ بذر به‌عنوان یک فناوری جهت افزایش سرعت و یکنواختی سبزکردن، بنیه بالا و بهبود عملکرد در گونه‌های زراعی شناخته شده است (۲۰). تیمارهای فیزیکی به‌عنوان تحریک‌کننده‌های زیستی در کشاورزی کاربرد دارند. اطلاعات اندکی درباره روش‌های تأثیر تیمار فیزیکی بذر بر پتانسیل عملکرد گیاهان وجود دارد (۲۲). پرایمینگ فیزیکی بذر گندم ممکن است سبزکردن و رشد آن را بهبود دهد (۹). در آزمایش انجام شده توسط فاروق و همکاران (۲۰۰۳) به‌منظور بررسی امکان بهبود عملکرد گندم در حالت کشت تأخیری با استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر، سبزکردن و استقرار اولیه گیاهچه، آلومتری، عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری بهبود یافت. با این حال، پرایمینگ بذر تأثیری بر ارتفاع گیاه، تعداد سنبلیچه‌ها و وزن هزاردانه نداشت (۱۹). در مطالعه‌ای امواج اولتراسونیک به تسریع در سبزکردن و رسیدگی زودهنگام (۱۰-۵ روزه) گیاهان زراعی منتج شد (۳). کاربرد شدت‌های پایین‌تر اشعه گاما در مقایسه با شاهد، تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد بامیه (*Abelmoschus esculentus* L.) داشت (۲۱). به‌طور مشابه، دویی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که ارتفاع و تعداد شاخه‌های موجود در هر بوته بامیه در اثر تیمار بذر آن با شدت‌های مختلف اشعه گاما افزایش یافت (۱۶). مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر برخی تیمارهای فیزیکی بر بهبود سبز مزرعه، فنولوژی و عملکرد گندم در شرایط کشت‌های به موقع و تأخیری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا گردید. تبریز با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه و ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد در شمال غرب ایران و اقلیم سرد و نیمه خشک واقع شده است. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم شنی با EC برابر ۰/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته برابر ۷/۹ و مقدار ماده آلی برابر ۰/۸۱ درصد بود.

آزمایش حاضر در دو مرحله به شرح زیر اجرا شد:

۱- مرحله گلخانه‌ای به منظور بررسی تأثیر تیمارهای فیزیکی بر سبز کردن و استقرار اولیه گیاهچه‌های گندم.

۲- مرحله مزرعه‌ای به منظور بررسی تأثیر تیمارهای فیزیکی بر فنولوژی و عملکرد گندم در شرایط کشت به موقع و تأخیری.

طرح آزمایشی مورد استفاده در گلخانه به صورت کاملاً تصادفی و در شرایط مزرعه‌ای به صورت بلوک‌های کامل تصادفی هر کدام در سه تکرار بود. بذره‌های گندم با قوه نامیه ۸۵ درصد با اولتراسونیک (امواج فراصوت) با حداکثر ۳ وات بر سانتی‌متر مربع، لیزر با موج پیوسته He-Ne (با طول موج ۶۳۲۸ آنگستروم)، میدان مغناطیسی با شدت ۰/۶ تسلا، اشعه‌های گاما و بتا هر دو با شدت ثابت دو میکروکوریل و همگی به مدت‌های ۳/۵ و ۵ دقیقه تیمار شدند. انجام تیمارها در آزمایشگاه گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام شد. همچنین بذره‌های عاری از هر گونه تیمار به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. در حالت کلی در شرایط گلخانه‌ای فقط یک فاکتور پرایمینگ در ۱۱ سطح و در شرایط مزرعه‌ای دو فاکتور شامل پرایمینگ در ۱۱ سطح و تاریخ کاشت در دو سطح در نظر گرفته شدند.

بخش گلخانه‌ای: تعداد ۲۵ عدد بذر به تفکیک از هر تیمار شمارش و در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰×۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر و حاوی خاک مزرعه تحت شرایط گلخانه‌ای کاشته شدند. تعداد بذره‌های سبز شده بر اساس راهنمای ارزیابی مؤسسه آنالیز بذر^۱ (۶) یادداشت گردید. زمان لازم برای سبز کردن ۵۰ درصد گیاهچه‌ها (E_{50}) مطابق رابطه ۱ به دست آمد (۱۲).

$$E_{50} = t_i + (N/2 - n_i)(t_j - t_i) / n_j - n_i \quad (1)$$

که در آن، N تعداد نهایی بذرهای سبز شده، n_i و n_j تعداد تجمعی بذرهای سبز کرده در شمارش‌ها در زمان t_i و t_j ، زمانی که $n_i < N/2 < n_j$ است. متوسط زمان سبز کردن^۱ بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید (۱۸).

$$MET = \sum D_n / \sum n \quad (2)$$

که در آن، n تعداد بذرهای سبز شده در روز D ام و D تعداد روزهای شمارش شده از شروع سبز کردن است. ضریب یکنواختی سبز کردن^۲ با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد (۱۰).

$$CUE = \sum n / \sum [(\bar{t} - t) \times n] \quad (3)$$

که در آن، t زمان از روز کاشت بر حسب روز، n تعداد بذرهای سبز شده کامل در روز t و \bar{t} معادل متوسط زمان سبز کردن است. درصد نهایی سبز کردن^۳ بر اساس تعداد تجمعی بذرهای جوانه زده دارای ریشه‌چه‌های عادی و طبق رابطه ۴ محاسبه شد (۲۴).

$$FEP = \sum n / N \times 100 \quad (4)$$

که در آن، n تعداد بذرهای جوانه زده در هر شمارش و N تعداد کل بذرهای موجود در هر تیمار است. شاخص قدرت گیاهچه^۴ طبق رابطه ۵ محاسبه شد (۱).

$$SVI = SDW \times FEP \quad (5)$$

که در آن، SDW وزن خشک گیاهچه است.

-
- 1- Mean Emergence Time (MET)
 - 2- Coefficient of Uniformity of Emergence (CUE)
 - 3- Final Emergence Percentage (FEP)
 - 4- Seedling Vigor Index (SVI)
 - 5- Seedling Dry Weight

بخش مزرعه‌ای: عملیات شخم پاییزه با استفاده از گاوآهن به همراه کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی انجام گردید. قبل از کاشت، پلات‌هایی در سطح مزرعه به ابعاد ۶×۴ متر ایجاد شد. بذره‌های گندم رقم الوند به‌صورت دستی در دو تاریخ ۵ مهرماه و ۲۰ روز بعد از آن (۲۵ مهرماه به‌عنوان کشت تأخیری) با فاصله بین ردیفی ۱۵ سانتی‌متر و در عمق ۵-۴ سانتی‌متر کاشته شدند. رقم الوند نسبت به خوابیدگی و ریزش دانه مقاوم بوده و نسبت به شوری و محدودیت آب متحمل است و با تیپ رشد نیمه زمستانه، از مقاومت خوبی در برابر سرما نیز برخوردار است. مقدار بذر مصرفی در شرایط آزمایشی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و توصیه آزمایشگاه خاکشناسی، کودهای فسفاته و پتاسه به‌ترتیب به مقدار ۸۵ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. کود نیتروژنه به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سه مرحله زمان کاشت، ساقه‌روی در اوایل بهار و مرحله چکمه (بوتینگ) در نسبت‌های به‌ترتیب ۱:۲:۱ به‌کار برده شد. چهار مرحله آبیاری تا ۲۰ روز پس از گرده‌افشانی در همه تیمارها اجرا شد. علف‌های هرز در دو مرحله به‌صورت دستی در طی فصل رشد حذف گردید. به هنگام رسیدگی کامل، سنبله‌ها به‌طور جداگانه از هر پلات برداشت گردید. شاخص سطح برگ^۱ و محتوی کلروفیل برگ^۲ در ۷۵ روز پس از سبزشدن در شرایط مزرعه‌ای تعیین گردید. تعداد ۳۰۰ بذر از هر یک از تیمارها انتخاب و با ترازوی با دقت یک‌صدم توزین شده و از روی آن وزن هزاردانه محاسبه شد. تعداد بوته‌های واقع در سطح یک مترمربعی از وسط هر کرت برداشت و برای محاسبه عملکرد دانه استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش در دو عمق نمونه‌برداری.

Table 1. Result of soil analysis for research area in two sampling depth.

عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)	فسفر قابل جذب (بی‌بی‌ام)	پتاسیم قابل جذب (بی‌بی‌ام)	درصد ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (ds.m ⁻¹)	اسیدیته pH	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)
Sampling depth (cm)	Available Phosphorus (ppm)	Available Potassium (ppm)	Organic matter (%)	EC (ds.m ⁻¹)	pH	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
0-20	25	180	1.06	1.11	7.7	68	20	12
20-35	15	85	0.41	0.32	7.9	63	24	16

1- Leaf Area Index (LAI)

2- Chlorophyll Content Index (CCI)

تجزیه آماری داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار MSTAT-C انجام یافت. از تجزیه واریانس برای آزمایش معنی‌داری منابع تغییرات و از آزمون LSD ($P \leq 0/05$) برای مقایسه اختلاف بین میانگین‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

آزمایش گلخانه‌ای: تکنیک‌های پیش‌تیمار بذر موجب کاهش زمان تا شروع سبز مزرعه، ۵۰ درصد سبزکردن و متوسط زمان سبزکردن در مقایسه با شاهد گردید. حداقل زمان جهت شروع سبزکردن (۵/۲ روز)، ۵۰ درصد سبزکردن (۱۱/۵۶ روز) و متوسط زمان سبزکردن (۱۳/۶ روز) از میانگین تیمارهای اولتراسونیک، لیزر و میدان مغناطیسی در هر دو مدت زمان پرتودهی به همراه پرتودهی در زمان کم‌تر اشعه گاما مشاهده شد. مقادیر این صفات در بذره‌های تیمار شده با اشعه بتا و اشعه طولانی‌مدت گاما از لحاظ آماری همانند شاهد بود (جدول ۳). همچنین همه تیمارها در مقایسه با بذره‌های بدون پیش‌تیمار، ضریب یکنواختی سبزکردن را بهبود بخشیدند. به طوری که، حداکثر ضریب یکنواختی در سبزکردن به دنبال اعمال تیمارهای اولتراسونیک و میدان مغناطیسی حاصل شد (جدول ۳). اخیراً پژوهش‌های فراوانی روی بهینه‌سازی بینه بذرها که موجب بهبود جوانه‌زنی و رشد سریع‌تر آن می‌شود، انجام شده است (۹ و ۱۲). تأثیر تیمارهای مورد مطالعه روی درصد نهایی سبزکردن معنی‌دار بود. مقدار میانگین این شاخص در بذره‌های تیمار شده با میدان مغناطیسی و اولتراسونیک حدود ۹۴/۶ درصد، ولی در تیمارهای لیزر، بتا و مدت زمان بالاتر تیمار اشعه گاما فقط ۸۴/۱ درصد بود که از لحاظ آماری اختلافی با شاهد نداشت (جدول ۳). همان‌طوری که مون و چانگ (۲۰۰۰) نیز بر آن تأکید دارند، قرار دادن بذره‌های گوجه‌فرنگی در معرض میدان مغناطیسی از طریق تسریع در روند فعالیت‌های تجزیه بیوشیمیایی مواد ذخیره‌ای در دانه موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهچه‌ها نسبت به بذور تیمار نشده می‌شود (۲۶).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر روش‌های پیش‌تیمار بذر بر استقرار اولیه گندم در گلخانه.
Table 2. Analysis of variance for the effects of pre-treatment methods on early stand establishment of wheat in greenhouse.

منابع تغییر S.O.V	df	درجه آزادی	زمان تا شروع سبز کردن Time to start emergence	زمان تا ۵۰ درصد سبز کردن Time taken to 50 % of emergence of seedling	میانگین زمان سبز کردن Mean emergence time	ضریب یکنواختی سبز کردن Coefficient of uniformity of emergence	درصد نهایی سبز کردن Final emergence percentage	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص قدرت گیاهچه Seedling vigor index
تیمار Treatment	10		2.90*	3.65*	5.76*	0.40*	152.13**	0.99*	65.02*
خطا Error	22		0.76	1.09	2.08	0.11	20.79	0.32	18.81
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-		13.98	14.76	15.76	15.43	12.12	12.43	6.89

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

*, ** Mean significant difference at 5% and 1% probability levels respectively.

جدول ۳- تاثیر روش های پیش تیمار بذار بر استقرار گیاهچه گندم در گلخانه.
Table 3. Effect of pre-treatment methods on early stand establishment of wheat in greenhouse.

تیمارها Treatments	زمان تا شروع سبز کردن (روز) Time to start emergence (day)	T ₅₀ (day)	زمان تا ۵۰ درصد سبز کردن (روز) MET (day)	CUE	ضریب یکپارچگی سبز کردن FEP	درصد نهایی سبز کردن SDW (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) SVI (%)
امواج فراصوت ۳/۵ دقیقه Ultrasonic 3.5 min.	5.0 ^a	11.1 ^a	13.0 ^a	0.82 ^a	96.0 ^a	0.68 ^{ab}	65.3 ^b
امواج فراصوت ۵ دقیقه Ultrasonic 5 min.	5.0 ^a	11.5 ^a	13.1 ^a	0.92 ^a	94.8 ^a	0.64 ^{bc}	60.7 ^b
لیزر ۳/۵ دقیقه Laser 3.5 min.	5.8 ^a	12.1 ^a	14.1 ^a	0.58 ^b	82.5 ^b	0.5 ^d	41.3 ^c
لیزر ۵ دقیقه Laser 5 min.	5.8 ^a	12.4 ^a	14.3 ^a	0.53 ^b	84.0 ^b	0.5 ^d	42.0 ^c
میدان مغناطیسی ۳/۵ دقیقه Magnetic field 3.5 min.	4.5 ^a	11.0 ^a	13.5 ^a	0.91 ^a	94.0 ^a	0.69 ^{ab}	64.9 ^b
میدان مغناطیسی ۵ دقیقه Magnetic field 5 min.	4.5 ^a	11.0 ^a	13.6 ^a	0.91 ^a	93.6 ^a	0.79 ^a	73.9 ^a
گاما ۳/۵ دقیقه Gamma 3.5 min.	5.8 ^a	11.8 ^a	13.6 ^a	0.63 ^b	86.0 ^b	0.48 ^d	41.3 ^c
گاما ۵ دقیقه Gamma 5 min.	7.4 ^b	13.5 ^b	17.2 ^b	0.63 ^b	87.5 ^b	0.45 ^d	39.4 ^c
بتا ۳/۵ دقیقه Beta 3.5 min.	8.0 ^b	13.0 ^b	17.0 ^b	0.59 ^b	82.5 ^b	0.46 ^d	38.4 ^c
بتا ۵ دقیقه Beta 5 min.	7.5 ^b	13.8 ^b	16.8 ^b	0.59 ^b	82.0 ^b	0.48 ^d	39.4 ^c
شاهد Control	7.5 ^b	13.6 ^b	16.1 ^b	0.50 ^b	85.00 ^b	0.53 ^{cd}	45.1 ^c

حداکثر وزن خشک گیاهچه (۰/۷۹ گرم) از تیمار میدان مغناطیسی به مدت ۵ دقیقه و پس از آن از تیمارهای میدان مغناطیسی به مدت ۳/۵ دقیقه و اولتراسونیک معادل ۰/۶۸ گرم و کمترین آن از تیمارهای گاما، بتا و شاهد (۰/۴۵ گرم) حاصل شد (جدول ۳). شاخص قدرت گیاهچه نسبت به انواع تکنیک‌های پرایمینگ بذر پاسخ مثبت و معنی‌دار نشان داد. یافته‌ها نشان می‌دهد که شاخص قدرت گیاهچه نیز همانند وزن خشک آن در اثر پرایمینگ بذر افزایش می‌یابد. در این مطالعه، با کاهش مدت زمان قرارگیری در معرض میدان مغناطیسی از ۵ به ۳/۵ دقیقه شاخص قدرت گیاهچه تضعیف گردید (جدول ۳). تولید گیاهچه‌های کم‌بینه در اثر پرایمینگ بذر با شدت‌های بالاتر میدان مغناطیسی در فلفل شیرین (*Capsicum annum* L.) گزارش گردیده است (۱۷). در آزمایش حاضر، شاخص قدرت گیاهچه در بذرهای تیمار شده با اشعه‌های گاما و بتا مشابه بذرهای شاهد بود (شکل ۲). در مطالعه‌ای دیگر پرایمینگ بذر موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی، کاهش زمان بین کاشت تا سبز شدن، بهبود قدرت گیاهچه، استقرار مناسب و افزایش عملکرد شد (۱۵).

آزمایش مزرعه‌ای: به دنبال کاشت بذر در ۵ و ۲۵ مهرماه، زمان برداشت محصول در میانگین تیمارهای میدان مغناطیسی و اولتراسونیک به ترتیب ۷/۶ و ۱۶/۸ روز زودتر از شاهد اتفاق افتاد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که بذرهای تیمار شده از توانایی بهتری جهت تکمیل فرآیند سبز شدن در زمان کوتاه و مقابله با تنش‌های احتمالی محیطی برخوردار بودند. این استقرار سریع و یکنواخت گیاه را قادر می‌سازد تا سایر وقایع فنولوژیک خود را در زمان مناسب تکمیل کند (۲۳). علاوه بر این، گوپتا و هانسیگی (۲۰۱۰) گزارش نموده‌اند که بذرهای پیش تیمار شده نعنای (*Mentha piperita*) منجر به تولید گیاهچه‌هایی با بینه قوی‌تر، گلدهی زود هنگام و عملکرد بیش‌تری گردید (۲۰). در پژوهش حاضر، اختلاف معنی‌داری بین اشعه‌های لیزر، گاما و بتا از لحاظ زمان بین کاشت تا برداشت وجود نداشت و در تمامی پلات‌ها همگی گیاهان دوره رشدی خود را ۳۰۶/۸ روز پس از کاشت تکمیل کردند (جدول ۵). این مطالعه پیشنهاد می‌کند که رشد گیاهان کشت شده با تأخیر را می‌توان با بهره‌گیری از تکنیک‌های پرایمینگ بذر بهبود داد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که تیمار بذر به افزایش قدرت و تسریع در سبز شدن گیاهچه‌ها، وقوع سریع‌تر مراحل فنولوژیک و سودمندی‌های مرتبط با عملکرد منجر گردید (۱۹).

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر روش‌های پیش‌تیمار بذر بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گندم در مزرعه.

Table 4. Analysis of variance for the effects of pre-treatment methods on growth and yield of wheat in field.

منابع تغییر S.O.V	df	درجه آزادی	زمان از کاشت تا برداشت Time from sowing to harvesting	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص محتوی کلروفیل Chlorophyll content index	وزن هزاردانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replicate	2		40.11	11.26	10.33	1.25	200.52
روش‌های پیش‌تیمار Pre-treatment techniques	10		40.99*	10.69*	50.15*	8.21*	456.41*
تاریخ کاشت Sowing time	1		14.45	9.99*	9.56	2.89	40.33
اثر متقابل Interaction	10		90.99**	11.49**	14.53	6.00	88.98
خطا Error	42		13.55	3.40	14.12	2.89	135.78
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-		16.23	18.20	20.00	14.25	10.87

*، **، *** Mean significant difference at 5% and 1% probability levels respectively. و به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵- اثر متقابل روش‌های پیش‌تیمار بذر و تاریخ کاشت روی شاخص سطح برگ و زمان از کاشت تا برداشت گندم در مزرعه.

Table 5. Interaction of pre-treatment methods and planting date on leaf area index and time from planting to harvesting of wheat.

تیمارها Treatments	تاریخ کاشت Sowing time			
	شاخص سطح برگ Leaf area index		زمان از کاشت تا برداشت (روز) Time from Sowing to Harvesting (day)	
	به موقع On time	تاخیری Delayed	به موقع On time	تاخیری Delayed
امواج فراصوت ۳/۵ دقیقه Ultrasonic 3.5 min.	2.95 ^a	3.0 ^a	301.7 ^b	291.0 ^a
امواج فراصوت ۵ دقیقه Ultrasonic 5 min.	3.11 ^a	3.0 ^a	301.0 ^b	289.5 ^a
لیزر ۳/۵ دقیقه Laser 3.5 min.	2.65 ^b	2.7 ^b	305.0 ^b	303.3 ^b
لیزر ۵ دقیقه Laser 5 min.	2.62 ^b	2.7 ^b	305.0 ^b	304.9 ^b
میدان مغناطیسی ۳/۵ دقیقه Magnetic field 3.5 min.	3.07 ^a	3.0 ^a	305.5 ^b	291.5 ^a
میدان مغناطیسی ۵ دقیقه Magnetic field 5 min.	2.99 ^a	3.1 ^a	302.0 ^b	287.0 ^a
گاما ۳/۵ دقیقه Gamma 3.5 min.	2.64 ^b	2.6 ^b	310.0 ^c	305.0 ^b
گاما ۵ دقیقه Gamma 5 min.	2.70 ^b	2.6 ^b	309.0 ^c	305.0 ^b
بتا ۳/۵ دقیقه Beta 3.5 min.	2.70 ^b	2.6 ^b	309.0 ^c	307.3 ^b
بتا ۵ دقیقه Beta 5 min.	2.65 ^b	2.5 ^b	311.0 ^c	306.9 ^b
شاهد Control	2.70 ^b	2.5 ^b	310.1 ^c	306.5 ^b

تیمار بذرهای با میدان مغناطیسی و یا امواج اولتراسونیک و کاشت آنها در ۲۵ مهرماه از لحاظ شاخص سطح برگ مشابه با تاریخ کاشت ۵ مهرماه بود. از طرف دیگر، شاخص سطح برگ از نظر آماری در اثر تأخیر ۲۰ روزه در کاشت بذر، تحت تأثیر قرار نگرفت. کمترین شاخص سطح برگ (۲/۵) از کاشت تأخیری بذرهای بدون اعمال تیمار فیزیکی (شاهد) به دست آمد (جدول ۶). نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که تیمار بذرهای با میدان مغناطیسی تأثیر مثبتی بر رشد اندام‌های هوایی گندم رقم مورد مطالعه داشته است، که با گزارش‌های آلاجاجیان و بیلویا (۲۰۰۲) روی توتون (*Nicotiana tabaccum*) و اتک و همکاران (۲۰۰۳) روی سویا (*Glycine max*) همخوانی دارد (۳ و ۷). مقادیر رشد و وزن تر گیاهچه‌ها می‌تواند در اثر تیمار بذر با میدان مغناطیسی افزایش یابد. مجد و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که به دنبال قرارگیری نمونه‌های ماش (*Vicia sativa* L.) در معرض میدان مغناطیسی با شدت ۱۷۰۰ گری به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط مرطوب، بوته‌های حاصله در مقایسه با شاهد از حداکثر شاخص سطح برگ برخوردار شدند (۲۵). محتوی کلروفیل در برگ گیاهچه‌های به دست آمده از بذرهای پیش‌تیمار شده با میدان مغناطیسی، امواج اولتراسونیک و اشعه کوتاه‌مدت گاما بیش‌تر بود و با افزایش مدت زمان تیمار اشعه گاما از ۳/۵ به ۵ دقیقه، مقدار این شاخص به‌طور معنی‌داری افت پیدا کرد. در این پژوهش، تیمار اشعه گاما به مدت ۳/۵ دقیقه همانند تیمارهای میدان مغناطیسی و اولتراسونیک، بذرهای سنگین‌تر با وزن هزاردانه معادل ۵۰/۵ گرم را تولید کرد، در حالی که مقدار آن در سایر تیمارها و شاهد فقط ۴۰/۵ گرم بود (جدول ۶). رانگ و رادپیر (۲۰۰۷) در مطالعه روی رازیانه به نتیجه مشابهی رسیدند (۲۷). تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه حاصل از تاریخ‌های کاشت به موقع و تأخیری وجود نداشت و مقدار آن از ۳۳۴ گرم در مترمربع در شاهد تا ۴۸۰/۱ گرم در مترمربع در تیمارهای اشعه لیزر و بتا و بلندمدت گاما متغیر بود (جدول ۶). میدان‌های مغناطیسی فاکتورهای محیطی هستند که بر گیاهان اثر می‌کنند و همان‌گونه که توسط آلاجاجیان (۲۰۰۷)، داوی و همکاران (۲۰۰۹) و واسیلوسکی (۲۰۰۳) گزارش شده است (۲، ۱۴ و ۲۸)، تیمار بذر با میدان مغناطیسی موجب تحریک جوانه‌زنی و بهبود پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. همچنین این یافته‌ها با نتایج دی‌سوزا و همکاران (۲۰۰۶) در مورد تأثیر مثبت و معنی‌دار پیش‌تیمار بذر با میدان مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تطبیق دارد (۱۳). گوپتا و هانسیگی (۲۰۱۰) نتیجه گرفتند که پرایمینگ بذرهای نعنای با تیمارهای مختلف فیزیکی به‌عنوان گزینه مؤثر جهت دستیابی به حداکثر

عملکرد بیولوژیک و بازگشت سرمایه خالص در هر دو وارسته مورد مطالعه بود (۲۰). در بررسی یلداگرد و همکاران (۲۰۰۸) عملکرد جو در اثر تیمار اولتراسونیک حدود ۶/۵ درصد افزایش داشت. همچنین امکان دارد که انرژی الکتریکی و نور آزاد شده در اثر تیمارهای فوق‌الذکر موجب ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و یا بیوشیمیایی در بذر و در نتیجه کنترل فرآیند جوانه‌زنی شود (۲۹).

جدول ۶- تأثیر روش‌های پیش‌تیمار بذر روی شاخص محتوی کلروفیل و وزن هزاردانه گندم.

Table 6. Effect of pre-treatment methods on chlorophyll content index and 1000 seeds weight of wheat.

تیمارها Treatments	شاخص محتوی کلروفیل Chlorophyll content index	وزن هزاردانه (گرم) 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed yield (g m ⁻²)
امواج فراصوت ۳/۵ دقیقه Ultrasonic 3.5 min.	41.5 ^b	50.0 ^a	530.3 ^b
امواج فراصوت ۵ دقیقه Ultrasonic 5 min.	48.0 ^a	50.0 ^a	485.1 ^b
لیزر ۳/۵ دقیقه Laser 3.5 min.	32.0 ^c	41.0 ^b	300.4 ^c
لیزر ۵ دقیقه Laser 5 min.	35.1	41.2 ^b	322.1 ^c
میدان مغناطیسی ۳/۵ دقیقه Magnetic field 3.5 min.	50.0 ^a	51.0 ^a	480.9 ^b
میدان مغناطیسی ۵ دقیقه Magnetic field 5 min.	50.1 ^a	53.2 ^a	548.9 ^b
گاما ۳/۵ دقیقه Gamma 3.5 min.	48.5 ^a	48.5 ^a	475.1 ^b
گاما ۵ دقیقه Gamma 5 min.	30.0 ^c	40.0 ^b	340.0 ^c
بتا ۳/۵ دقیقه Beta 3.5 min.	32.1 ^c	40.3 ^b	353.1 ^c
بتا ۵ دقیقه Beta 5 min.	30.2 ^c	39.4 ^b	337.5 ^c
شاهد Control	30.0 ^c	41.0 ^b	350.9 ^c

نتیجه گیری کلی

تیمار فیزیکی بذر گندم پاییزه رقم الوند با میدان مغناطیسی، امواج اولتراسونیک و کوتاه مدت اشعه گاما می تواند به صورت مؤثر جهت بهبود رشد، ظهور به موقع فرآیندهای فنولوژیک و پایداری عملکرد در شرایط کشت تأخیری مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز تأمین شده است. بدین وسیله نگارنده مراتب قدردانی خود را از ریاست و معاون محترم پژوهش و فناوری دانشگاه اعلام می دارد.

منابع

1. Abdul – Baki, A.A., and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. *Crop Sci.*, 13: 630-633.
2. Aladjadjiyan, A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. *J. Cent. Euro. Agric.*, 8: 369-380.
3. Aladjadjiyan, A., and Ylieva, T. 2002. Influence of stationary magnetic field on the early stages of the development of tobacco seeds (*Nicotiana tabacum* L.). *J. Cent. Euro. Agric.*, 4: 131-135.
4. Allahyari, H. 2007. Alternating agricultural systems based on wheat in Iran. Ministry of Agriculture, East Azerbaijan, Iran. 298p. (In Persian)
5. Anonymous. 2015. FAOSTAT.FAO.org.
6. Association of Official Seed Analysis (AOSA). 1983. Seed Vigor Testing Handbook Contribution No. 32 to the handbook of seed testing. Association of official seed analysis, Springfield, II. 254p.
7. Atak, C., Emiroglu, O., Alikamanoglu, S., and Rzakoulieva, A. 2003. Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. Merrill) tissue cultures. *J. Cell Molec. Biol.*, 2: 113-119.
8. Azarnia, M., and Eisvand, H.R. 2013. Effects of hydro and hormonal priming on yield and yield components of chickpea in irrigated and rain-fed conditions. *Electronic J. Crop Prod.*, 6: 4. 1-18.
9. Basra, S.M.A., Zia, M.N., Mehmood, T., Afzal, L., and Khaliq, A. 2003. Comparison of different invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Pak. J. Arid Agric.*, 5: 6-11.
10. Bewley, J.D., and Black, M. 1985. Seeds: Physiology of Development and Germination. Plenum Press, NY, USA. 299p.

- 11.Chivasa, W., Harris, D., Chiduzo, C., and Mashingaidze, A.B. 1998. Agronomic practices, major crops and farmer's perceptions of the importance of good stand establishment in Musikavanhu communal area, Zimbabwe. *J. Appl. Sci.*, 4: 19-25.
- 12.Coolbear, S., Verma, P., and Pahuja, S.S. 1984. Effect of seed priming on germination, phenology and growth of sorghum under late- sown conditions. *J. Trop. Agric.*, 44: 9-15.
- 13.De Souza, A., Garci, 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.
- 14.Dhawi, F., Al-Khayri, J.M., and Hassan, E. 2009. Static magnetic field influence on elements composition in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Research J. Agric. Biol. Sci.*, 5: 161-166.
- 15.Diniz K.A, Silva, P.A., Oliveira, J.A., and Evangelista, J.R.E. 2009. Sweet pepper seed responses to inoculation with microorganisms and coating with micronutrients, amino acids and plant growth regulators. *Agric. Sci.*, 66: 293-297.
- 16.Dubey, A.K., Yadav, J.R., and Singh, B. 2007. Studies on induced mutations by gamma irradiation in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Monch.). *Prog. Agric.*, 7: 46-48.
- 17.El-ebad, M., and Abbas, R. 2009. Sweet pepper seed responses to different doses of magnetic field. *Egyptian J. Med. Plants*, 19: 4. 111-116.
- 18.Ellis, R.A., and Roberts, E.H. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. Technol.*, 9: 373-409.
- 19.Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H., and Saleem, B.A. 2007. Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *J. Agron. Crop Sci.*, 194: 55-60.
- 20.Gupta, T., and Hunsigi, S.L. 2010. Improving the performance of peppermint (*Mentha piperita*) by physical seed priming under semi-arid conditions. *Ind. J. Med. Plants Res.*, Special Issue: 15-21.
- 21.Hejazi, A.Z., and Hamideddin, N. 2010. The effect of gamma irradiation on enhancement of growth and seed yield of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) and associated molecular changes. *J. Hort.*, 2: 3. 38-51.
- 22.Hernandez, A.C., Michtchenko, A., and Dominguez, J. 2001. Biostimulation effects of low-intensity laser light on cucumbers seeds. 6th Congreso Nacional de Ingenieria Electromecanica y de Sistemas, D.F (Mexico). 48p.
- 23.Kant, S., Verma P., and Pahuja, S.S. 2003. Growth and yield maintenance in bread wheat by seed priming under late-sown conditions. *Acta Agron Hung.*, 51: 445-453.
- 24.Larsen, S.U., and Andreassen, C. 2004. Light and heavy turf-grass seeds differ in germination percentage and mean germination thermal time. *Crop Sci.*, 44: 1710-1720.

25. Majd, A., Farzpourmachiani, S., and Dorrani, D. 2010. Evaluation of the effect of magnetic fields of seedling ontogenesis and growth of vetch (*Vicia sativa* L.). *J. Plant Sci. Res.*, 5: 8-17.
26. Moon, J.D., and Chung, H.S. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *J. Radic. Prot.*, 11: 103-114.
27. Rang, J., and Radpir, R. 2007. Fennel (*Foeniculum vulgare*) yield components responses to seed priming with physical agents. *Ind. J. Plant Sci.*, 8: 1. 123-128.
28. Vasilevski, G. 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. *Bulg. J. Plant Physiol.*, Special Issue: 179-186.
29. Yaldagard, M., Mortazavi, S.A., and Tabatabaie, F. 2008. Application of ultrasonic waves as a priming technique for accelerating and enhancing the germination of barley seed: optimization of method by the Taguchi approach. *J. Institute Brewing Publication no. G-2008-0303-527.*

