"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد دهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
(ص ۵۲-۳۷)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 10, No.: 2, Summer 2021
(pp: 37-52)
DOI: 10.22034/ijsst.2020.125212.1260
Research Article

بررسی امواج فراصوت بر برخی مولفه های جوانه زنی بذر زیره سیاه ایرانی (*Bunium persicum* Boiss.) و بهینه سازی آن

علی حسنی[۱]، محمّدهادی خوش تقاضا[۲*]، محمّدتقی عبادی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. استاد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳. استادیار گروه علوم باغبانی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۳)

چکیده

در این پژوهش تاثیر امواج فراصوت بر جوانه زنی و شاخص بنیه بذر زیره سیاه ایرانی (*Bunium persicum* Boiss.) مورد مطالعه قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بهینه سازی آزمایش از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی استفاده شد. فاکتورهای آزمایش شامل زمان اعمال تیمار فراصوت (۵، ۷ و ۹ دقیقه)، توان فراصوت (۱۳۰، ۱۸۰ و ۲۳۰ وات) و دمای فراصوت (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سلسیوس) و هم چنین تیمار شاهد بر جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر زیره سیاه بود. نتایج بیانگر تاثیر معنی‌دار تیمارهای زمان و توان امواج فراصوت بر صفات مورد مطالعه بود ولی متغیر دما بر صفات مورد مطالعه تاثیر معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان جوانه‌زنی (۶۱ درصد) و شاخص بنیه بذر (۸۰۰) در توان ۱۸۰ وات و مدت زمان اعمال تیمار فراصوت ۷ دقیقه و دمای ۲۰ °C مشاهده شد و کمترین میزان جوانه‌زنی (۲۴/۵ درصد) و شاخص بنیه بذر (۴۶۲) مربوط به تیمار ۲۳۰ وات و مدت زمان ۹ دقیقه در دمای ۲۰ °C بود. همچنین نتایج بهینه‌سازی نشان داد که بهترین نقاط برای توان، زمان و دما برای دستیابی به بیشترین مقادیر درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر به ترتیب ۱۷۵/۴۷ وات، ۶/۳۷ دقیقه و دمای°C ۱۹/۳۶ بود و مقادیر خروجی (درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر) به ترتیب در این نقاط ۶۳/۰۲ درصد و ۸۰۸/۳۹ به دست آمدند. نتایج نشان داد که افزایش و یا کاهش زمان و توان اعمال فراصوت از محدوده معینی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر می‌گردد.

کلمات کلیدی: خواب بذر، شاخص بنیه بذر، جوانه زنی، سطح پاسخ

Effect of Ultrasound on Seed Germination Factors of Iranian Black Cumin (*Bunium persicum* Boiss.) and its Optimization

A. Hasani[1], M.H. Khoshtaghaza[2*], M.T. Ebadi[3]

1. Graduate student, Department of Mechanical and Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Corresponding Author, Professor, Department of Mechanical and Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: khoshtag@modares.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
(Received: Feb. 03, 2019 – Accepted: Jul. 04, 2019)

Abstract

In this study, the effect of ultrasound on the germination and vigor index of Iranian black cumin (*Bunium persicum* Boiss.), was studied. Response surface methodologhy and central composite design were used ti analyze the data and optimize the experiment. A factorial experiment based on completely randomized design was conducted. Experimental factors included time of ultrasound treatment (5, 7 and 9 minutes), ultrasonic power (130, 180 and 230 watts) and sonication temperatures (10, 20 and 30°C) as well as control and germination percentage and seed vigor index were measured. The highest germination percentage and seed vigor index were determined by Response Surface Methodology (RSM). The results indicated significant effect of time and ultrasound power on studied traits, but temperature had no significant effect on them. The highest germination percentage (61%) and seed vigor index (800) were observed at 180 W and 7 min duration time and 20°C. The lowest germination percentage (24.5%) and seed vigor index (462) were observed in 230 W ultrasound power, 9 min duration time and 20°C. Also, the optimization results showed that the best points for power, time and temperature for achieving the highest values of germination percentage and seed vigor index were 175.47 W, 6.37 min and 19.36°C, respectively and the output values (germination and seed vigor index) were obtained the this points 63.02% and 808.39 respectively. Finally it seems that the increasing or decreasing time and power of ultrasonication in a certain range decreases the seed germination percentage and vigor index.

Keywords: Dormancy, Seed vigor index, Germination, Response surface

* Email: khoshtag@modares.ac.ir

مقدمه

گیاهان دارویی منابع طبیعی ارزشمندی هستند که امروزه مورد توجه کشورهای پیشرفته جهان قرار گرفته و به عنوان مواد اولیه جهت تولید داروهای کم‌خطر برای انسان تلقی می‌شوند. در این زمینه ایران یکی از غنی‌ترین منابع گونه‌های گیاهان دارویی جهان به شمار می‌رود (Azimzadeh, 2009). یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین گیاهان دارویی کشورمان زیره سیاه ایرانی یا زیره سیاه کرمانی با نام علمی *Bunium persicum* Boiss. می‌باشد (Pour- Seyedi, 1994) که رویشگاه‌های آن در استان‌های کرمان، تهران، سمنان و خراسان قرار دارند. گیاه به وسیله بذر تکثیر شده و دانه‌های رسیده پس از پشت سرگذاشتن سرمای زمستان در شروع فصل بهار جوانه می‌زنند (Omidbeigi, 2005). سپس رشد رویشی و زایشی گیاه تا سال سوم ادامه داشته و در این سال گل و بذر تشکیل می‌گردد. از سال سوم به مدت ۸ سال دارای باردهی اقتصادی با عملکرد دانه متوسط ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده که برحسب شرایط آب و هوایی متغیر می‌باشد (Khosravi, 1994; Faravani, 1997). مهم‌ترین اجزای اسانس زیره‌ی سیاه شامل کومین آلدهید، آلفا-پینن و گاما-ترپینن می‌باشند که در صنایع دارویی و غذایی کاربردهای فراوانی دارند (Shankaracharya and Shankaracharya, 1988). درمان زخم معده، برطرف کردن نفخ شکم، تب‌بر و کاهش چربی و کلسترول خون از خواص دارویی مهم این گیاه می‌باشد (Rangbarian *et al*., 2004).

بذر بسیاری از گونه‌های گیاهان دارویی دارای خواب هستند و تا زمانی که شرایط خاص محیط مورد نیاز برای جوانه‌زنی فراهم نگردد، جوانه نمی‌زنند (Kaye *et al*., 1997). بذر گیاهان خانواده چتریان دارای جوانه‌زنی پایین هستند (Eyog- Matig *et al*., 2007). جوانه‌زنی بذرهای زیره سیاه ایرانی هم‌چون بسیاری دیگر از گونه‌های خانواده چتریان به دلیل خواب بذر، به سختی انجام می‌پذیرد (Ritchie and Gilroy, 1998). خواب بذر در واقع یک پدیده فیزیولوژیکی است که بذرهای بسیاری از گیاهان مرتعی یا خودرو با آن مواجه هستند و خواب به آن ها امکان می‌دهد که در مقابل شرایط نامساعد محیطی زنده بمانند (Gonzalez_Benito *et al*., 2004). خواب در بذر خانواده چتریان از نوع مورفو-فیزیولوژیکی می‌باشد (Copland and Mc Donald, 1995). این نوع خواب در اثر وجود جنین نابالغ و یا وجود مواد بازدارنده جوانه‌زنی در بذرها است. این نوع خواب به دلایل گوناگونی اتفاق افتاده و با توجه به عامل ایجاد کننده آن، روش‌های مختلفی برای تحریک جوانه‌زنی بذرها وجود دارد (Olvera_Carrillo *et al*., 2003). بذور خانواده چتریان مانند زیره سیاه ایرانی حاوی اسانس هستند که اسانس بدلیل ایجاد ویژگی آب‌گریزی در بذر، مانع جذب آب به میزان مطلوب می‌گردد (Kala, 2003). آب‌گریزی و نفوذپذیری پایین پوسته بذر زیره سیاه به آب، از جمله عواملی هستند که موجب شده اند درصد جوانه‌زنی این گیاه دارویی پایین باشد (Gonzalez-Benito, 2006).

کاربرد امواج فراصوت در بهبود جوانه‌زنی بذور مورد توجه محققین و شرکت های کشاورزی می‌باشد. این تکنیک در کنار روش‌های نوین دیگری مانند پرتوتابی لیزر، اشعه گاما و میدان مغناطیسی به منظور افزایش جوانه‌زنی استفاده می‌شود (Beyaz *et al*., 2016). یکی از کاربردهای فراصوت در تحریک جوانه‌زنی بذر، درصد جوانه‌زنی و تسریع در رشد گیاهان می‌باشد (Mason, 1996). از سویی دیگر افزایش تقاضای روزافزون مصرف کنندگان برای استفاده از محصولات با کیفیت منجر به استفاده از تکنولوژی‌های جدید و بدون عوارض مانند فراصوت شده است. امواج فراصوت کاربردهای زیادی در کشاورزی دارد، به طوری که نه تنها در تیمارهای بذری به منظور کاهش و حذف آفات در انبارهای گیاهی کاربرد دارد (Yaldagar *et al*., 2008)،

بلکه این امواج در مهندسی ژنتیک و انتقال ژن نیز کاربرد دارند (Mason, 1996). استفاده از امواج فراصوت جهت تحریک جوانه‌زنی باعث افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی در مزارع با مقیاس بزرگ می‌شود (Mason, 1996). همچنین استفاده از بذر با درصد جوانه‌زنی بالا یکی از راه‌های کاهش هزینه تولید و استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی در سطح وسیع می‌باشد. مشکلات اساسی در کشت گسترده برخی از گونه‌های گیاهان دارویی و زراعی، عدم جوانه‌زنی مناسب و در نتیجه استقرار نامناسب در شرایط زراعی است (Afzal *et al*., 2008; Patade *et al*., 2009). برای دست‌یابی به پوشش گیاهی بهینه در کشاورزی نیاز به جوانه‌زنی سریع و یکنواخت تمام بذور است. کاربرد مکانیزاسیون در سیستم‌های مدرن کشت گیاهان، تقاضا برای جوانه زنی سریع، یکنواخت و کامل بذر را افزایش داده است (Taylorson, 2012). گزارش‌های متعددی وجود دارند که نشان می‌دهد تیمار دانه با استفاده از فراصوت قبل از کاشت یک روش موثر برای بهبود عملکرد محصولات کشاورزی است.

در تحقیقی که فاضلی بر درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر خارخسک در سه سطح زمان ۳، ۶ و ۹ دقیقه، توان ۸۰، ۲۴۰ و ۴۰۰ وات و دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سلسیوس داشتند، به این نتیجه رسیدند که فاکتور دما بیشترین تاثیر را بر درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر داشت. بیشترین درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر در زمان ۶ min ، توان ۲۴۰ W و دمای ۴۵ °C با مقادیر ۷۴ درصد و ۵۸۴/۶ به دست آمد (Fazeli, 2017). درصد جوانه‌زنی بذر سویا با افزایش توان از ۱۰۰ به ۳۰۰ وات و زمان ۳۰ دقیقه، از ۸۳ درصد در بذر شاهد به ۹۸ درصد در توان ۳۰۰ وات رسید (Yang *et al*., 2015). در تحقیقی که بر روی گندم و عدس با فرکانس ۴۲ کیلوهرتز و توان ۱۰۰ وات تحت سه زمان ۱، ۲ و ۳ دقیقه صورت گرفت، نتایج نشان داد که در زمان ۲ و ۳ دقیقه، درصد جوانه‌زنی ۹۲ درصد (شاهد) به ۹۸ درصد رسید. نتایج این تحقیق نشان داد که پاسخ بذر عدس نسبت به همین شرایط متفاوت است به طوری که بذر عدس از ۹۰ درصد (شاهد) به ۹۴ درصد در زمان ۱ دقیقه رسید، در صورتی که در زمان ۲ دقیقه این مقدار به ۸۶ درصد و در زمان ۳ دقیقه به ۹۲ درصد افزایش پیدا کرد (Aladjadjiyan, 2011). نظری و همکاران در تحقیقی جهت شکست خواب بذر یونجه یک ساله با استفاده از امواج فراصوت، زمان‌های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه و فرکانس ۴۲ کیلوهرتز مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که زمان‌های ۱، ۵ و ۷ دقیقه تاثیر مثبت در جوانه‌زنی داشت به طوری که زمان ۷ دقیقه باعث افزایش جوانه‌زنی به ۹۶/۶ درصد شد. درصد جوانه‌زنی بذر شاهد ۳۳/۳ درصد بود. آن‌ها در این تحقیق گزارش کردند که زمان ۹ دقیقه باعث کاهش درصد جوانه زنی نسبت به شاهد می‌شود (Nazari *et al*., 2014). در پژوهشی که بر روی بذر سنتزی آفتابگردان با استفاده از امواج فراصوت در زمان‌های ۵، ۱۰، ۱۰ و ۲۰ دقیقه و توان ۴۰،۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد از کل توان (۲۵۰ وات) خروجی و فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و دمای ۳۰ سلسیوس صورت گرفت، نتایج نشان داد که در توان ۴۰ و ۶۰ درصد در هر ۴ زمان، درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد ۴۳ درصد افزایش یافت (Machikowa *et al*., 2013).

با توجه به جوانه‌زنی پایین بذر زیره سیاه ایرانی در شرایط عادی و کاهش جمعیت این گیاه در طبیعت به دلیل قدرت تکثیر ضعیف آن، این تحقیق با هدف افزایش میزان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر توسط امواج فراصوت و بهینه‌سازی آن صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس انجام گردید. بذور زیره سیاه ایرانی (*Bunium persicum* Boiss.) از شرکت پاکان

بذر اصفهان تهیه شد. بهینه‌سازی درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر زیره سیاه با نرم افزار Design Expert 10 انجام شد. پارامترهای ورودی به نرم‌افزار عبارت هستند از: مدت زمان اعمال فراصوت (۵، ۷ و ۹ دقیقه)، توان فراصوت (۱۳۰، ۱۸۰ و ۲۳۰ وات) و دمای فراصوت (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس) و پارامترهای وابسته عبارتند از: درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر (جدول ۲). متغیرها و سطوح کدبندی شده آن‌ها و تعداد آزمایش‌ها برای امواج فراصوت در جدول ۱ و ۲ آمده است. همچنین برای محاسبه آماری از سطوح کد شده (۱، ۰، ۱-) برای هر متغیر استفاده شد. سطح یک بیانگر بالاترین مقدار متغیر مستقل و کد منفی یک مقادیر پایین آن را نشان می‌دهد. کد صفر نیز بیانگر حد واسط متغیرهای انتخاب شده می باشد (جدول ۱).

جدول ۱- سطوح کدبندی متغیرهای مستقل انتخاب شده در روش سطح پاسخ

Table 1- The coding levels of the independent variables selected in the response level method

متغیر مستقل (Independent variable)	نماد ریاضی (Math symbol)	سطوح کد بندی (Encoding levels)		
		1	0	-1
دما (°C)	A	30	20	10
زمان (Min)	B	9	7	5
توان (W)	C	230	180	130

در این مطالعه از دستگاه فراصوت مجهز به پروب ساخت شرکت صنایع مافوق صوت (ایران، تهران) با حداکثر توان خروجی ۴۰۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز مجهز به ترموکوبل برای اندازه‌گیری دما در حین آزمایش استفاده شد. برای اعمال تیمارها، یک بشر ۵۰۰ سی سی برای قرارگیری بذور و آب مقطر در داخل دستگاه فراصوت مورد استفاده قرار گرفت. بذرها در داخل بشر قرار داده شدند و تیمارهای فراصوت با توجه به سطح انتخابی آن‌ها بر روی بذرها بوسیله پروب دستگاه اعمال گردید. برای ثابت نگه داشتن دمای نمونه، از یک ظرف دو جداره استفاده شد که بوسیله یک دستگاه سیرکولاتور (ساخت شرکت سهند تبریز) دمای آن کنترل می‌گردید.

پس از اعمال تیمارهای فراصوت، بذرهای کلیه سطوح مورد استفاده برای انجام آزمایش جوانه‌زنی به طور کامل ضدعفونی شدند. مطابق با قوانین ایستا (ISTA, 2010)، در هر پتری دیش ۹ cm دارای کاغذ صافی استریل‌شده، ۷ ml آب مقطر اضافه گردید و در هر پتری‌دیش ۳۰ عدد بذر قرار داده شد. پتری‌دیش‌ها به مدت دو هفته در داخل دستگاه ژرمیناتور (ساخت شرکت گروک ایران) با دمای ۲۵°C و رژیم نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. در طول مدت آزمایش تعداد بذور جوانه زده بطور روزانه ثبت شدند. معیار جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه به مقدار حداقل ۳ ml بود. در پایان آزمایش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه با استفاده از روابط زیر بدست آمد (Ellis and Roberts, 1981).

$$G = \frac{X}{Y}$$ (رابطه ۱)

X: کل بذور جوانه‌زده، Y: کل بذور موجود در پتری دیش، G: درصد بذور جوانه‌زده

$$S = G \times L\ (cm)$$ (رابطه ۲)

S: شاخص بنیه‌ی بذر، G: درصد بذور جوانه‌زده، L: میانگین طول گیاهچه

جدول ۲- نتایج تیمارهای مربوط به درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر زیره سیاه در نرم افزار دیزاین اکسپرت

Table 2- The results of treatments related to germination percentage and seed vigor index in Design Expert software

ردیف	دما (°C) Temperature	زمان (M) Minute	توان (W) Power	درصد جوانه زنی Germination Percentage	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
1	10	5	180	50.5	690
2	10	7	130	44	633
3	10	7	230	38	580
4	10	9	180	25	523
5	20	5	130	40.5	605.4
6	20	5	230	34	545.4
7	20	7	180	61	800
8	20	7	180	61.5	798
9	20	7	180	61	800
10	20	7	180	62.5	798
11	20	7	180	63	800
12	20	9	130	27	493
13	20	9	230	24.5	462
14	30	5	180	48	669
15	30	7	230	35	554
16	30	7	130	42	616
17	30	9	180	30	500

یافتن نقاط بهینه با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 10 انجام شد. منظور از بهینه‌سازی، یافتن شرایطی است که در آن پاسخ‌ها (متغیرهای وابسته) به سمت هدف مورد نظر (کمترین یا بیشترین مقدار) سوق داده شوند. در این تحقیق بهینه‌سازی بر اساس (بیشترین درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر) انجام گرفت. به منظور یافتن حالت‌های بهینه، از روش سطح پاسخ[1] (RSM) استفاده شد. نقاط بهینه نقاطی خواهند بود که هم می‌توانند در تکرارهای آزمایش موجود باشند و هم اینکه خارج از این تیمارها قرار داشته باشند. هدف از این کار یافتن نقاط بهینه و تیمارهای مربوط به آن است تا با توجه به آن ها بتوان بیشترین مقادیر درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر را به دست آورد. با کمک این طرح آماری کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند (Bezerra *et al.*, 2008). در روش سطح پاسخ از طرح مرکب مرکزی (CCD) استفاده شد. مراحل استفاده از روش سطح پاسخ شامل انتخاب متغیرها، طراحی آزمایش‌های مناسب و پاسخ مناسب هر آزمایش، یافتن مدل مناسب، ارزیابی صحت مدل و پیدا کردن نقطه بهینه از طریق مدل می‌باشد.

روش سطح پاسخ مدل‌هایی ارائه می‌دهد که با استفاده از آن‌ها مقادیر داده‌های واقعی در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده به دست می‌آید. در واقع این مدل‌ها برای جلوگیری از انجام آزمایشات دوباره درباره موضوع مورد بررسی هستند. مدل‌های معرفی شده توسط نرم‌افزار می‌توانند منفی و یا مثبت باشند که علامت منفی بیانگر غیر همسو بودن تیمار مورد نظر با خروجی بدست آمده و علامت مثبت بیانگر همسو بودن تیمارها با خروجی مورد نظر

[1] Respond Surface Methodology

هستند (جدول ۴).

در روش سطح پاسخ نیاز به انتخاب محدوده تغییرات متغیرهای مستقل در آزمایش می‌باشد. در این آزمایش از اثر متغیرهای مستقل شامل دمای فراصوت (A)، زمان فراصوت (B) و توان فراصوت (C) هر کدام در ۳ سطح استفاده گردید.

بهینه‌سازی درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر بر اساس هدف مورد نظر با استفاده از روش سطح پاسخ انجام گرفت. درجه اهمیت متغیرهای وابسته از ۱ تا ۵ تعریف گردید. درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر جزء شاخص های مهم بذر زیره سیاه کرمانی می باشند و در این تحقیق درجه اهمیت این دو فاکتور ۵ (۱۰۰ درصد) در نظر گرفته شد. تیمارهای آزمایش (زمان، توان و دما) که در واقع با انجام تکرار توسط نرم افزار مشخص شدند دارای درجه اهمیت ۳ بودند. بعد از تعیین اهداف و میزان اهمیت برای پارامترهای پاسخ، برای اینکه بتوان نتایج را به اهداف مورد نظر نزدیک کرد، تعداد تیمارها توسط سطح پاسخ پیشنهاد شد.

جدول ۳- میانگین مربعات مدل درجه دوم در روش منحنی های سطح پاسخ برای افزایش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر

Table 3- Mean squares for quadratic model in the method of response surface curves for increasing germination percentage and weight vigor index

منبع تغییرات (Source of change)	درجه آزادی (Degrees of freedom)	درصد جوانه‌زنی (Germination percentage)	شاخص بنیه بذر (Seed vigor index)
مدل	9	$^{*}332.22^{*}$	26208^{**}
A-دما	1	0.78^{ns}	946.45^{ns}
B-زمان	1	$^{*}552.22^{*}$	35351.28^{**}
C توان-	1	60.50^{*}	5299.35^{**}
A * B	1	$0{\cdot}25^{ns}$	208.80^{ns}
A * C	1	0.25^{ns}	20.25^{ns}
B * C	1	0.4^{ns}	17.46^{ns}
A^2	1	$^{*}217.01^{*}$	19245.15^{**}
B^2	1	$^{*}1007.96$	78451.04^{**}
C^2	1	$^{*}832.12$	78164.09^{**}
باقیمانده	7	8.79	2529.13
عدم برازش	3	20.63^{ns}	2529.13^{ns}
خطای خالص	4	3.30	2.384
کل	16		

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns عدم اختلاف معنی دار

جدول۴- مدل نهایی (بر اساس کد) برای هر یک از متغیرهای وابسته

Table 4- The final model (based on the code) for each of the dependent variables

متغیرها مدل
درصد جوانه‌زنی $Germination = 62 - 8.31 \times B - 2.75 \times C - 7.19\ A^2 - 15.44 \times B^2 - 14.06\ C^2$
شاخص بنیه بذر $Seed\ vigor\ index = 800 - 66.47 \times B - 25.75 \times C - 136.9 \times B^2 - 136.65 \times C^2$

B: زمان تیماردهی و C: توان فراصوت

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که متغیر زمان و توان به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد و همچنین توان دوم متغیر دما، زمان و توان در سطح ۵ درصد بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار شدند، اما پارامتر دما و اثرات متقابل فاکتورها (زمان، توان و دما) تاثیر معنی داری نشان ندادند (جدول ۳). مدل درجه دوم برای داده‌های بدست آمده بر میزان درصد جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین معنی‌دار نشدن شاخص عدم برازش در صفت درصد جوانه‌زنی نشان‌دهنده کارآمدی مدل حاصل بود.

نتایج نشان داد که بازه زمانی ۶ تا ۷ دقیقه باعث افزایش معنی دار درصد جوانه‌زنی بذر زیره سیاه گردید به طوری که بیشترین درصد جوانه‌زنی در زمان ۷ دقیقه به دست آمد. افزایش و یا کاهش زمان خارج از محدود ۶ تا ۷ دقیقه بر روی درصد جوانه‌زنی تاثیر منفی داشت به صورتی که در زمان‌های ۵ و ۹ دقیقه درصد جوانه‌زنی کاهش معنی داری پیدا کرد (شکل ۲). در بین تیمارهای فراصوت، تیمار توان ۱۸۰ وات دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی بود. بطورکلی با افزایش توان از ۱۳۰ به ۱۸۰ وات درصد جوانه‌زنی افزایش معنی داری پیدا کرد و سپس با افزایش توان از ۱۸۰ وات، درصد جوانه‌زنی کاهش معنی داری یافت (شکل ۳).

با توجه به میانگین مجموع مربعات در تجزیه واریانس (جدول ۳) و همچنین ضرایب مدل رگرسیونی (معادله ۳)، متغیر زمان بیشترین تأثیر را بر درصد جوانه‌زنی بذر زیره سیاه داشت. ضریب تبیین تعدیل‌شده مدل و ضریب تغییرات (C.V) تجزیه واریانس به ترتیب برای درصد جوانه زنی ۰/۹۲ و ۶/۷ بود. در این صورت می توان نتیجه گرفت که مدل درجه دوم از دقت مناسب برای تخمین داده‌ها برخوردار بوده و میزان دقت در برآورد یا پیش‌بینی داده‌ها در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده بیانگر مطلوبیت بالای مدل می‌باشد.

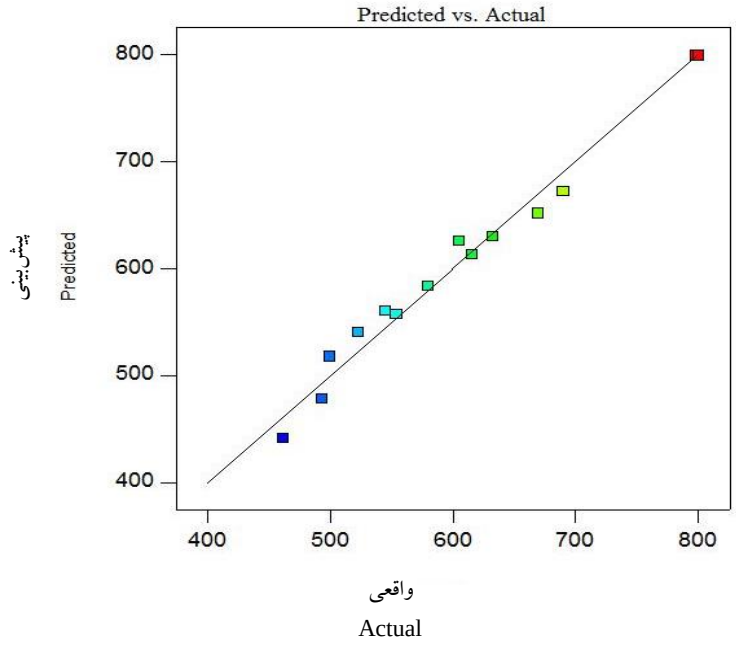
طبق نظر وانگ و همکاران امواج در یک فرکانس و شدت معینی می‌توانند رشد و تقسیم سلول‌ها را در گیاه افزایش دهند. طبق این فرضیه تحریک صوتی نه تنها در این محدوده ضربه‌ای به سلول ها وارد نمی‌کند بلکه رشد آن‌ها را هم افزایش دهد. امواج صوتی قابلیت جذب مواد غذایی را افزایش داده، کالوس گیاهی را در سطح بالاتری از متابولیسم و تقسیم سلولی قرار داده و رشد و در نهایت عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Wang *et al*., 2002).

بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار با زمان۷ min و توان۱۸۰ W و دمای ۲۰°C به مقدار ۶۱ درصد به دست آمد. کمترین مقدار درصد جوانه‌زنی نیز در تیمار با زمان ۹ min و توان۲۳۰ W و دمای ۲۰ °C به مقدار ۲۴/۵ درصد مشاهده شد (جدول ۲). در مورد افزایش این تیمارها می‌توان گفت که وقتی بذر بیشتر در معرض این امواج قرار می‌گیرد، پوسته بذر در اثر دما و حرارت ایجاد شده از سوی تیمار فراصوت نسبت به ورود آب بیشتر قابل نفوذ می‌شود و در نتیجه، این امواج، پوسته بذر را نفوذپذیرکرده و به دنبال آن جذب آب راحت‌تر صورت می‌گیرد که در نهایت جوانه‌زنی و خروج گیاه‌چه از پوسته تسهیل می‌شود و درصد جوانه‌زنی بذر افزایش می‌یابد (Gavrilov *et al*., 1996).

بذر در داخل ژرمیناتور بدون اعمال تیمار فراصوت و به حالت شاهد قرار داده شد. نتیجه میانگین جوانی‌زنی بذر در این حالت ۲۴ درصد به دست آمد.

شکل (۱) مقادیر داده‌های واقعی در مقابل داده‌های پیش بینی شده (رابطه ۳) را نشان می‌دهد. هر چقدر نقاط به هم نزدیک‌تر و دارای پراکندگی کمتر باشند، همبستگی بیشتر بین داده‌ها به دست می‌آید. با این توصیف رابطه‌ی خطی بین مقادیر واقعی و پیش بینی با زاویه ۴۵ درجه به دست می‌آید. عملکرد مدل ارائه شده با توجه به شکل (۱) بیانگر مطلوبیت و دقت بالای مدل می‌باشد. در مدل فوق رابطه‌ای که بین مقادیر خروجی با مقادیر واقعی نشان داده شده است، طبق شکل (۱)، رابطه درصد جوانه‌زنی (جدول ۴) بسیار مناسب و با دقت بالا می‌باشد. در واقع مدل داده

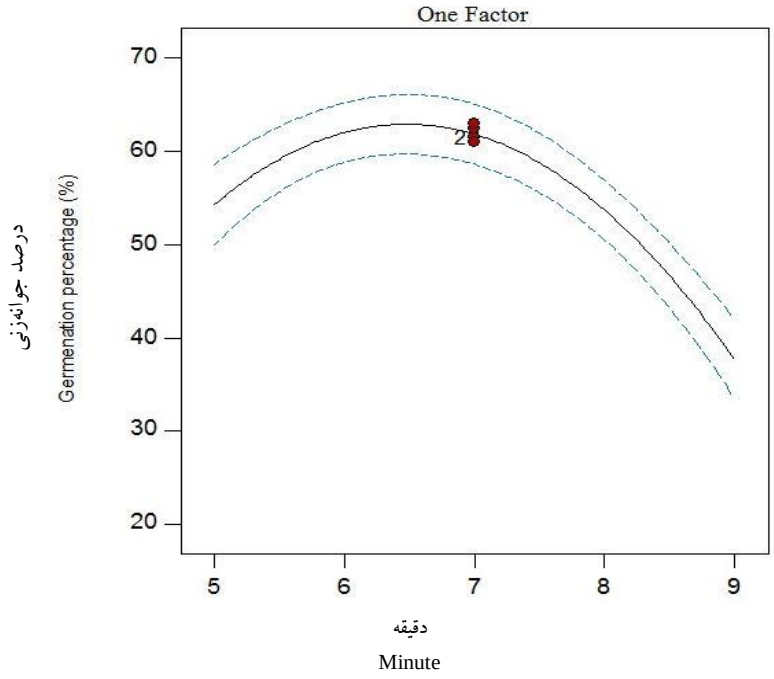
شده و شکل ارائه شده دلایلی بر دست‌یابی به خروجی‌های مناسب و با دقت بالا می‌باشند. بر اساس مدل ارائه شده با دقت ۹۲ درصد بدون انجام دوباره آزمایش، خروجی‌های مورد نظر به دست می‌آیند.



شکل ۱ –مقادیر داده‌های واقعی در مقابل داده های پیش بینی شده درصد جوانه‌زنی
Fig 1- actual data values against predicted germination percentages

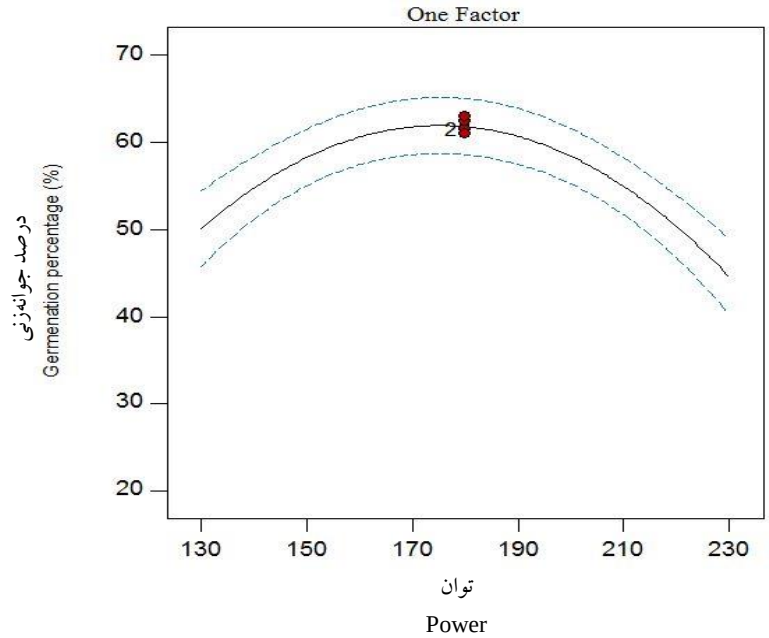
در این تحقیق امواج فراصوت تاثیر معنی‌داری را بر روی درصد جوانه‌زنی داشت و در بهترین حالت (زمان min ۷ ، توان W ۱۸۰ و دمای °C ۲۰) باعث افزایش ۳۹ درصد جوانه‌زنی نسبت به حالت شاهد گردید (شکل ۲ و ۳). زمان بیشتر از min ۷ نیز همین تاثیر را ولی در جهت عکس بر جای گذاشته است، یعنی در زمان min ۹ و توان W۱۳۰ بذر مدت زمان زیادی در معرض امواج فراصوت قرار داشته است لذا بذر فشار و دمای وارده از طرف تیمار فراصوت را تحمل نکرده است و دچار آسیب‌دیدگی شده است که نتیجه آن تاثیر منفی بر درصد جوانه‌زنی است. فراصوت سبب ایجاد فشار و دمای بالا می‌شود. این فشار و دما با افزایش توان فراصوت و همچنین زمان فراصوت رابطه مستقیم دارد. پس در نتیجه در توان و زمان‌های بالاتر فشار و دمای بیشتری بر بذر وارد می‌شود. این فشار و دما برای مقادیر پایین نیز دقیقا در جهت عکس عمل می‌کند. وقتی بذر در زمان ۳ دقیقه و توان ۱۳۰ وات قرار داشته است تیمار فراصوت به اندازه کافی فرصت لازم برای تاثیر بر روی بذر را نداشته است و لذا بذر تقریبا همانند تیمار شاهد باقی مانده است (شکل ۳). شریفی‌فر و همکاران در مطالعه خود اثر امواج فراصوت را بر روی زیره سبز بررسی کردند. در این تحقیق از زمان های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه و فرکانس۴۲ کیلو هرتز استفاده شد. نتایج آن ها نشان داد که زمان های ۵ و ۷ دقیقه بیشترین تاثیر و زمان بیشتر از ۷ دقیقه تاثیر منفی در جوانه‌زنی نسبت به شاهد در این سه گیاه دارد. نتیجه‌ای که در این آزمایش به دست آوردند این است که زمان ۱ و ۳ دقیقه هیچ اختلاف معنی‌داری در افزایش جوانه‌زنی ندارد (Sharififar *et al.*, 2015). در تحقیقی فاضلی و همکاران تاثیر امواج فراصوت را در سه سطح ۳، ۶ و ۹ دقیقه، توان

۸۰، ۲۴۰ و ۴۰۰ وات و دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سلسیوس بر درصد جوانه‌زنی بذر پیازچه بررسی کردند. آن ها در این تحقیق نشان دادند که بیشترین درصد جوانه‌زنی در زمان min ۶، توان W ۲۴۰ و دمای °C ۴۵ با مقادیر ۱۰۰ درصد به دست آمد (Fazeli *et al*., 2017).



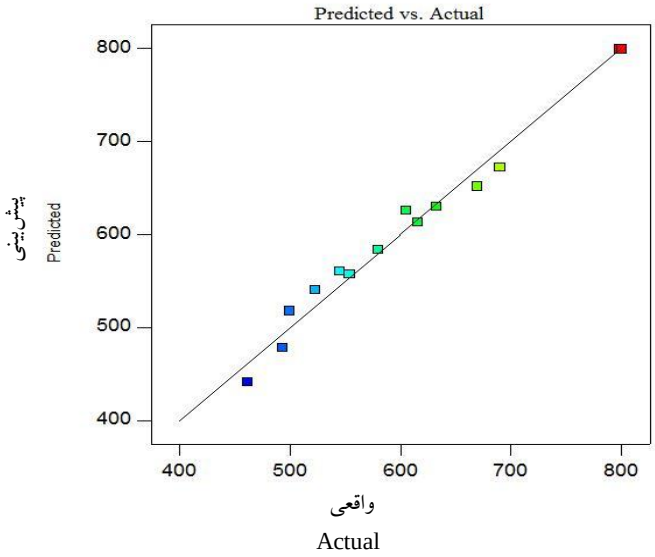
شکل ۲- اثر ساده زمان بر درصد جوانه‌زنی

Fig: 2 Simple effect of power on germination



شکل۳- اثر ساده توان فراصوت بر درصد جوانه‌زنی

Fig. 3- Simple effect of time on germination



شکل ۴- مقادیر داده‌های واقعی در مقابل داده‌های پیش بینی شده شاخص بنیه بذر

Fig. 4- Actual data values against predicted seed index

شاخص بنیه بذر

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده متغیر زمان و توان و همچنین توان دوم متغیر دما، زمان و توان در سطح ۵ درصد بر میزان شاخص بنیه بذر در سطح یک درصد معنی‌دار، اما متغیر دما و اثرات متقابل فاکتورها (زمان، توان و دما) عدم معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۳). مدل درجه دوم برای داده‌های بدست آمده بر میزان شاخص بنیه بذر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین معنی‌دار نشدن شاخص عدم برازش برای شاخص بنیه بذر نشان دهنده کارآمدی مدل حاصل می باشد. ضریب تبیین تعدیل شده و ضریب تغییرات (C.V) مدل به ترتیب برای شاخص بنیه بذر ۰/۹۸ و ۲/۹۷ بود.

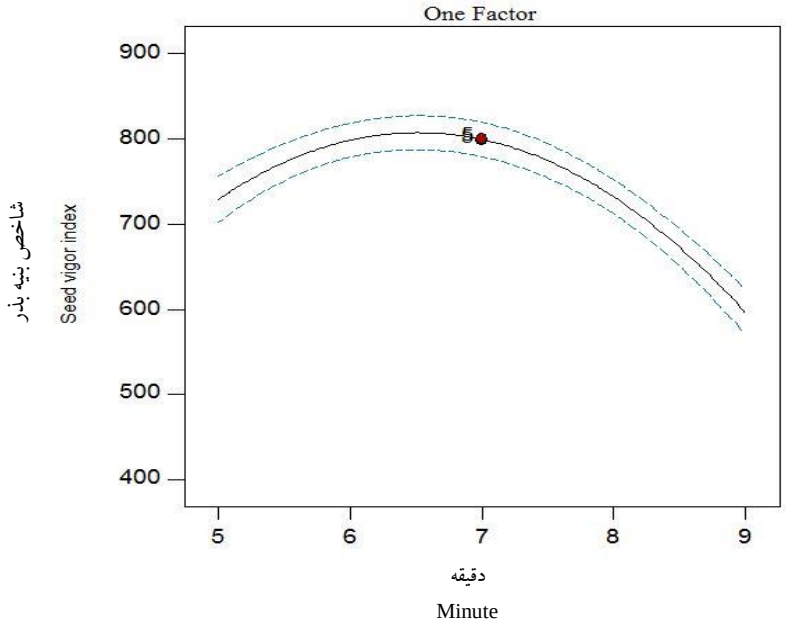
با افزایش زمان از ۵ به ۷ دقیقه شاخص بنیه بذر افزایش پیدا کرد، به طوری که در زمان ۷ دقیقه بیشترین شاخص بنیه بذر به دست آمد. با افزایش زمان از ۷ دقیقه به بالاتر و رسیدن به زمان ۹ دقیقه، کاهش معنی دار شاخص بنیه بذر مشاهده شد (شکل ۵). همچنین با افزایش توان فراصوت از ۱۳۰ به ۱۸۰ وات نیز شاخص بنیه بذر افزایش معنی داری پیدا کرد. این افزایش شاخص بنیه بذر در توان‌های بالاتر از ۱۸۰ وات بطور تدریجی سیر نزولی به خود گرفت و در توان ۲۳۰ وات کمترین شاخص بنیه بذر به دست آمد (شکل ۶).

متغیر زمان در ۷ شاخص بنیه بذر زیره سیاه در بهترین حالت (زمان ۷ min ، توان ۱۸۰ W و دمای ۲۰ °C) به میزان ۸۰۰ به دست آمد. این مقدار در مقایسه با حالت شاهد رشد ۴۳ واحد را به همراه داشت. کمترین شاخص بنیه بذر بدست آمده مربوط به تیمار (زمان ۹ min، توان ۲۳۰ W و دمای ۲۰ °C) بود.

شکل (۲) رابطه داده‌ای واقعی شاخص بنیه بذر نسبت به مقادیر حاصل از مدل (رابطه شاخص بنیه بذر جدول ۴) را نشان می‌دهد. رابطه خطی با زاویه ۴۵ درجه گویای بیان دقیق مدل بدست آمده با نتایج واقعی دارد. شکل (۴) مقادیر داده‌های واقعی در مقابل داده‌های پیش بینی شده را نشان می‌دهد. نقاط نزدیک به هم و با تراکم بالا بر روی نیمساز ۴۵ درجه گویای دقت بالا و مناسب داده‌های خروجی در مقابل داده‌های پیش بینی شده می‌باشد. با این توصیف رابطه‌ی خطی بین مقادیر واقعی و پیش بینی با زاویه ۴۵ درجه به دست می‌آید که نشان می‌دهد دقت

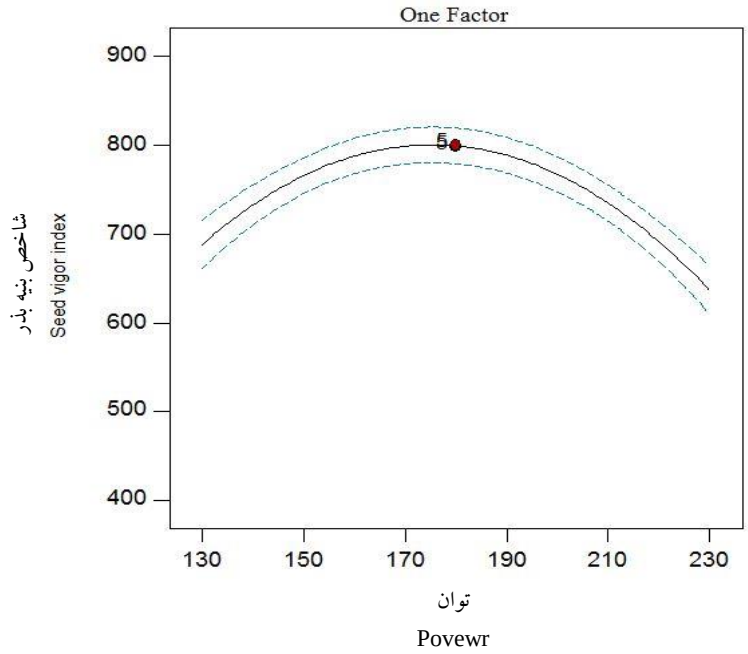
مناسبی در شکل و بر اساس آن مدل ارائه شده وجود دارد.

در مورد شاخص بنیه بذر می‌توان گفت که دو تیمار زمان و توان تاثیر معنی اری را نشان دادند. شاخص بنیه بذر با افزایش توان فراصوت تا محدوده مشخصی افزایش پیدا کرد، این نتیجه برای تیمار زمان نیز کاملا درست است (شکل های ۵ و ۶). یعنی با افزایش زمان قرارگیری بذر در داخل تیمار فراصوت شاخص بنیه بذر افزایش پیدا کرده است. قرارگیری طولانی‌تر بذر در داخل فراصوت (زمان بیشتر از ۷ min) کاهش شاخص بنیه بذر را به همراه داشت. در مورد شاخص بنیه بذر نیز زمان تاثیر بیشتری را نشان داد. همانطور که در مورد درصد جوانه‌زنی نیز بحث شد، افزایش زمان یا توان فراصوت و قرارگیری بیشتر بذر در معرض این امواج، افزایش استرس و تنش را در پی خواهد داشت که در نتیجه باعث آسیب دیدگی پوسته بذر شده و تاثیر منفی بر روی قوه نامیه و مواد داخلی بذر خواهد داشت که در نتیجه آن، کاهش شاخص بنیه بذر را به همراه خواهد داشت. متغیر دما نیز عدم معنی‌داری را بر روی شاخص بنیه بذر نشان داد و تاثیری را در این تحقیق بر روی بذر زیره سیاه نشان نداد. در تحقیقی که توکلی دینانی بر روی گیاه شوید انجام داد، تاثیر مثبت امواج فراصوت بر عملکرد دانه شوید مشخص گردید. تیمار فراصوت تاثیر کاملا معنی‌داری را بر روی درصد جوانه‌زنی و طول ساقه شوید داشت. در این تحقیق مشخص شد با افزایش مدت زمان تیمار التراسونیک به min ۹ ارتفاع ساقه به مقدار ۶/۹ درصد نسبت به زمان min ۷ کاهش یافت (Tavakoli Dinani, 2009). در تحقیق دیگری که کریمی‌فرد و همکاران بر روی بذر سیاه دانه داشتند نشان دادند که تیمار فراصوت تاثیر معنی‌داری بر افزایش شاخص بنیه بذر این گیاه دارویی داشت. آن‌ها نشان دادند که شاخص بنیه بذر و درصد جوانه‌زنی نمونه‌هایی که تحت امواج فراصوت قرار گرفتند نسبت به نمونه شاهد کاملا افزایش داشته است (Karimi fard *et al*., 2017). در تحقیق دیگر فاضلی تاثیر امواج فراصوت را در سه سطح زمان ۳، ۶ و ۹ دقیقه، توان ۸۰، ۲۴۰ و ۴۰۰ وات و دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سلسیوس بر روی شاخص بنیه بذر پیازچه بررسی کردند. آن‌ها در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که بیشترین شاخص بنیه بذر در زمان ۶ min، توان ۲۴۰W و دمای ۴۵ °C با مقدار ۶۷۰ به دست آمد (Fazeli, 2017).



شکل ۵- اثر ساده زمان بر شاخص بنیه بذر

Fig 5- Simple effect of power on seed vigor index



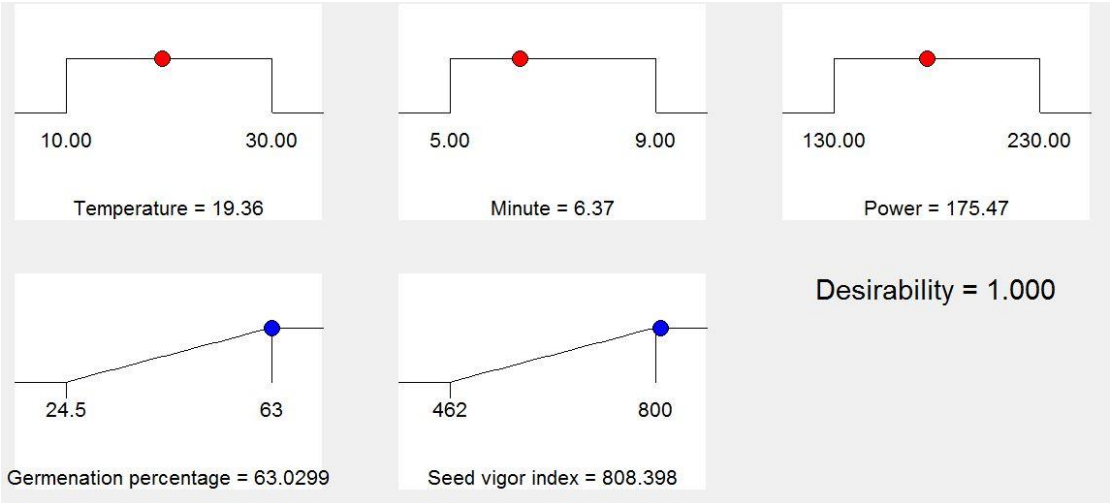
شکل ۶- اثر ساده توان فراصوت بر شاخص بنیه بذر

Fig. 6- Simple effect of time on seed vigor index

بهینه سازی شرایط فراصوت

بهینه‌سازی چند هدفه

با توجه به شکل (۷) نقاط بهینه برای هر سه تیمار زمان، توان و دمای اعمال فراصوت به ترتیب ۶/۳۷ دقیقه، ۱۷۵/۴۷ وات و ۱۹/۳۶ درجه سلسیوس به دست آمد. این مطلب حاکی از آن است که اگر آزمایش در این سه نقاط (۶/۳۷ دقیقه، ۱۷۵/۴۷ وات و۱۹/۳۶ درجه سلسیوس) انجام گیرد، بیشترین مقدار درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر به دست خواهد آمد. در این حالت بیشترین درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر ۶۳/۰۲ و ۸۰۸/۳۹ بدست آمد.



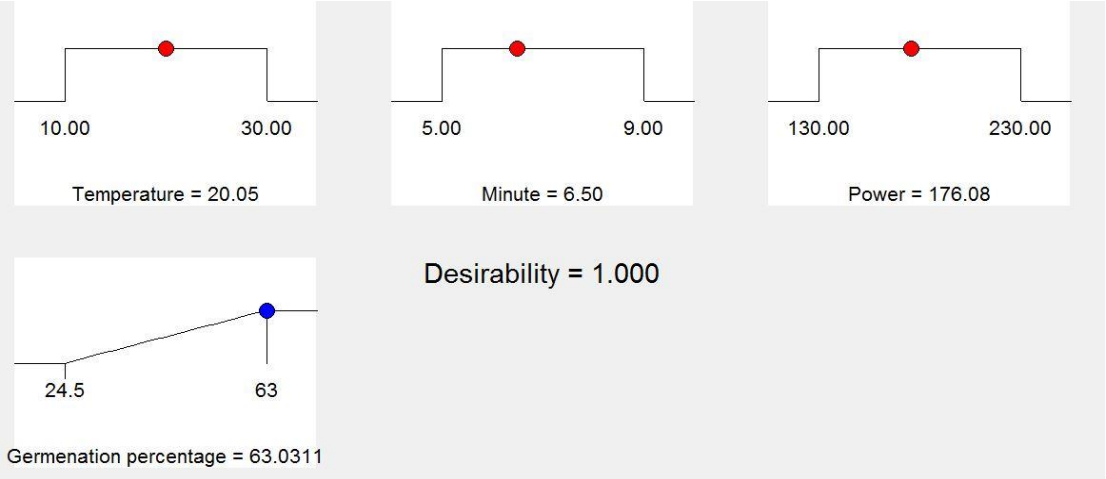
شکل ۷- مقادیر بهینه برای درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر با توجه به متغیرهای زمان، توان و دما

Fig 7- Optimal values for germination percentage and seed vigor index according to the variables of time, power and temperature

بهینه‌سازی تک هدفه

درصد جوانه‌زنی

همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده است، در این بهینه‌سازی مقادیر زمان، توان و دمای اعمال فراصوت برای درصد جوانه‌زنی به ترتیب ۶/۵۰ دقیقه، ۱۷۶/۰۸ وات و ۲۰/۰۵ درجه سلسیوس به دست آمد.



شکل ۸-مقادیر بهینه برای درصد جوانه‌زنی با توجه به متغیرهای زمان، توان و دما

Fig 8- Optimal values for germination percentage according to the variables of time, power and temperature

شاخص بنیه بذر

در شکل (۹) بهینه‌سازی برای مقادیر زمان، توان و دمای اعمال فراصوت شاخص بنیه بذر نشان داده شده است. مقادیر به دست آمده برای زمان، توان دمای فراصوت به ترتیب ۶/۶۰ دقیقه، ۱۷۷/۳۳ وات و ۱۷/۳۰ درجه سلسیوس به دست آمد.

شکل ۹- مقادیر بهینه برای درصد جوانه‌زنی با توجه به متغیرهای زمان، توان و دما

Fig 9-Optimal values for seed vigor index according to the variables of time, power and temperature

مقادیر به دست آمده از پارامترهای مستقل آزمایش (زمان، توان و دمای فراصوت) برای بهینه‌سازی چند هدفه با بهینه‌سازی مستقل بر روی خروجی‌های آزمایش (درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر) تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد. مقادیر زمان و توان فراصوت برای بهینه‌سازی چند هدفه نسبت به بهینه‌سازی مستقل مقادیر پایین‌تر را نشان می‌دهد. متغیر دمای اعمالی در بهینه‌سازی چند هدفه نیز حد واسط بین بهینه‌سازی تک‌هدفه درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر است. در نهایت مقادیر خروجی برای درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر زیره سیاه برای هر دو بهینه‌سازی (چند هدفه و تک هدفه) دارای مقادیر یکسانی بود.

جهت اعتبارسنجی مقادیر بهینه پارامترها که توسط نرم افزار مشخص گردید، مقادیر داده شده توسط نرم‌افزار با سه تکرار در آزمایشگاه انجام گردید. مقادیر بدست آمده در نزدیکی مقادیر پیشنهاد شده توسط نرم‌افزار بود. میانگین تکرارهای به دست آمده برای درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر به ترتیب ۶۰ درصد و ۸۰۰ به دست آمد.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال تیمارهای زمان ۷ min، توان ۱۸۰ W و دمای ۲۰ ^{o}C اثر مثبت بر جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر داشتند و حداکثر مقادیر خروجی تحت این شرایط به دست آمد. زمان‌ها و توان های بالاتر و پایین‌تر از این مقادیر تاثیر منفی را بر مقادیر خروجی داشتند ولی دما برای هر دو شاخص درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر بدون تاثیر بود. نقاط بهینه در توان ۱۷۰/۴ W، زمان ۶/۲min و دمای ۱۷ ^{o}C به دست آمد که بیشترین درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر در این مقادیر به ترتیب ۶۲ درصد و ۸۰۳ بود. در نهایت اثر تیمار فراصوت برای بذر زیره سیاه باعث افزایش ۳۹ درصد جوانه زنی و ۴۳ واحدی شاخص بنیه بذر نسبت به تیمار شاهد گردید.

منابع

Reference

Afzal, I., S, Rauf., S, Basra, and G, Murtaza. 2008. Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. Plant Soil Environ. **54**(9): 382-388.

Aladjadjiyan, A. 2011. Ultrasonic stimulation of the development of lentils and wheat seedlings. Romanian journal of biophysics. **21**(3): 179-188.

Azimzadeh, M. 2009. Genetic assessment of Iranian Bunium persicum Boiss using ITS. University of Tehran, Tehran. (In Persian)

Beyaz, R., C.T, Kahramanogullari., C, Yildiz., E.S, Darcin, and M, Yildiz. 2016. The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of Lathyrus chrysanthus Boiss. under in vitro conditions. Journal of environmental radioactivity. **162**: 129-133.

Bezerra, M. A., R. E, Santelli., E. P, Oliveira., L. S, Villar, and L. A, Escaleira. 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. Talanta. 76(5), 965-977.

Copland, L.O, and M.B, Mc Donald. 1995. Principles of seed science and Technology. Third edition, Chapman and Hall, New York.

Ellis, R. and Roberts, E. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology (Netherlands). 9(2): 373-409.

Eyog-Matig, O., A, Aoudji, and C, Linsoussi. 2007. Garcinia kola Heckel seeds dormancy-breaking. Applied ecology and environmental research. **5**(1): 63-71.

Faravani, M. 1997. Invesgigation on plant density of Black cumin (Bunium persicum) on grain yield and yield compenents in nurseryand field. Research Report, Research Department of Seed and Plant, Agricultural Research Center of Khorasan. (In Persian)

Fazeli,. 2017. Effect of ultrasound and drying temperature on seed germination rate of Tuscans and Onions. Master's Thesis. Tarbiat modares uneversity, Mechanical of Agricultural Machinery, Tehran.

ISTA., 2010. International Seed Testing Association. ISTA Handbook on Seed Evaluation, 3 rd ed.

Gavrilov, L., Tsirulnikov, E. and Davies, I.a.I. 1996. Application of focused ultrasound for the stimulation of neural structures. Med Biol. **22**(2): 179-192.

González-Benito, M., M, Albert., J, Iriondo., F, Varela, and F, Pérez-García. 2004. Seed germination of four thyme species after short-term storage at low temperatures at several moisture contents. Seed Sci. Technol. **32**(1): 247-254.

González-Benito, J, and Ó, González-Benito. 2006. A review of determinant factors of environmental proactivity. Business Strategy and the environment. **15**(2): 87-102.

Kaye, T.N., A, Liston., R, Love., D, Luoma., R, Meinke., and M, Wilson. 1997. Seed dormancy in high elevation plants: implications for ecology and restoration. Kaye, TN, et al. 115-120.

Kala, C.P. 2003. Medicinal Plants of Iranian Trans_Himalaya. Bishen Singh Mahendera Pal Singh, Dehradon,

India.

Khosravi, M. 1994. Bunium persicum, botany, ecology and investigation the possibility of crop production. M. Sc. Thesis.] Agricultural College, Ferdowsi University of Iran. (In Persian)

Karimi Fard, S.S., A, Gholami., and M, Gholipour. 1396. Determination of the qualitative and qualitative characteristics of herbaceous seedlings under the influence of symbiosis with mycorrhizal fungus and ultrasound, two monthly Iranian scientific and research journal of medicinal plants and aromatic herbs. **33**(5): 741_753.

Machikowa, T., T, Kulrattanarak, and S, Wonprasaid. 2013. Effects of ultrasonic treatment on germination of synthetic sunflower seeds. J. STEM.

Mason, T., L, Paniwnyk, and J, Lorimer. 1996. The uses of ultrasound in food technology. Ultrasonics sonochemistry. **3**(3): S253-S260.

Nazari, M., A, Sharififar, and H.R, Asghari. 2014. Medicago scutellata seed dormancy breaking by ultrasonic waves. Plant Breeding and Seed Science. **69**(1): 15-24.

Olvera-Carrillo, Y., J, Márquez-Guzmán., V.c.L, Barradas., M.E, Sánchez-Coronado, and A, Orozco-Segovia. 2003. Germination of the hard seed coated Opuntia tomentosa SD, a cacti from the México valley. Journal of Arid Environments. **55**(1): 29-42.

Omidbeigi, R. 2005. Production and manufacturing the herbs. Beh-nashr Publication, Mashhad, **1**: 347.

Patade, V.Y., S, Bhargava, and P, Suprasanna. 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. Agric Ecosyst Environ. **134**(1-2): 24-28.

Pour-Seyedi, S. 1994. Assessment of germination and cytology of three Iranian caraway genus: Bunium, Carum and Cuminum. University of Tehran: Tehran. **89**.

Ranjbarian, P., S, Sadeghian., M, Shirazi., A, Sarraf-Nejad., M, Fazeli, and G, Amin. 2004. Antimicrobial properties of four plant essential oils and essences against H. pylori using disc diffusion and flow cytometry methods. Scientific Journal of Medical University of Hamadan. **33**(11): 42-47.

Ritchie, S, and S, Gilroy. 1998. Gibberellins: regulating genes and germination. The New Phytologist. **140**(3): 363-383.

Shankaracharya, N, and M, Shankaracharya. 1988. Research note on the essential oils of Cuminum cyminum L. and Bunium persicum. Pafai Journal. **10**(4): 33-35.

Sharififar, A., M, Nazari, and H.R, Asghari. 2015. Effect of ultrasonic waves on seed germination of Atriplex lentiformis, Cuminum cyminum, and Zygophyllum eurypterum. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. **2**(3): 102-104.

Tabaru, M., R, Fujino, and K, Nakamura. 2015. Effects of ultrasound irradiation on the growth of Japanese radish sprouts. **36**(2): 167-170.

Tavakoli Dinani, A. 2009. Investigating the effect of phosphate soluble fertilizers on quantitative and qualitative yield of two cultivars of medicinal herbs. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Roudhen Branch, Tehran, 120.

Taylerson, R. B. 2012. recent advancesin the development and germination of seed. Sprenger Science and Business Media.

Wang, X., B, Wang., Y, Jia., C.H, Duan, and S, Akio. 2002. Effect of sound water on synthesis of nucleic acid and protein in chrysanthemum. Colloids and Surfaces, B: Biointerface. **29**: 99-102.

Yang, H., J, Gao., A, Yang, and H, Chen. 2015. The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts. Int. Food Res. **77**: 704-710.

Yaldagard, M., S.A, Mortazavi, and F, Tabatabaie. 2008. Aplication of ultrasonic waves as apriming technique and enhancing the germination of barley seed: Optimization of method by the Taguchi approach. J. Inst. Brew. **114**(1): 14-21.