

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

علی حسنی<sup>۱</sup>، محمدهادی خوش تقاضا<sup>۲\*</sup>، محمدتقی عبادی<sup>۳</sup>

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 بنيه بذر زیره سیاه ایرانی (*Bunium persicum* Boiss.) مورد مطالعه قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده ها 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 جوانه زنی و شاخص بنيه بذر زیره سیاه بود. نتایج بیانگر تاثیر معنی دار تیمارهای زمان و توان امواج فراصوت بر صفات مورد مطالعه بود ولی متغیر دما بر صفات مورد مطالعه تاثیر معنی داری نداشت. بیشترین میزان جوانه زنی (۶۱ درصد) و شاخص بنيه بذر (۸۰۰) در توان ۱۸۰ وات و مدت زمان اعمال تیمار فراصوت ۷ دقیقه و دمای ۲۰ °C مشاهده شد و کمترین میزان جوانه زنی (۲۴/۵ درصد) و شاخص بنيه بذر (۴۶۲) مربوط به تیمار ۲۳۰ وات و مدت زمان ۹ دقیقه در دمای ۲۰ °C بود. همچنین نتایج بهینه سازی نشان داد که بهترین نقاط برای توان، زمان و دما برای دستیابی به بیشترین مقادیر درصد جوانه زنی و شاخص بنيه بذر به ترتیب ۱۷۵/۴۷ وات، ۶/۳۷ دقیقه و دمای ۱۹/۳۶ °C بود و مقادیر خروجی (درصد جوانه زنی و شاخص بنيه 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 جوانه زنی و شاخص بنيه بذر می گردد.

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

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

A. Hasani<sup>1</sup>, M.H. Khoshtagha<sup>2\*</sup>, M.T. Ebadi<sup>3</sup>

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 methodology and central composite design were used to 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 at these 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

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 بذرها را بسیاری از گیاهان مرتعی یا خودرو با آن مواجه هستند و خواب به آن‌ها 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 شرکت‌های 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)،

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- Seyed, 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 سر گذاشتن 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 بذرها را زیره سیاه ایرانی هم‌چون بسیاری دیگر

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 جوانه‌زنی 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 (Aladadjjyan, 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 جوانه‌زنی 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 ۶۰، ۴۰، 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

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 می‌باشد (جدول ۱).

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

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

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).

$$G = \frac{X}{Y} \quad (\text{رابطه ۱})$$

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

$$S = G \times L \text{ (cm)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

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

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 ترموکویل 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، بذرها 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 استریل شده، ۳۰ ml آب مقطر اضافه گردید و در هر پتری دیش ۳۰ عدد بذر

جدول ۲- نتایج تیمارهای مربوط به درصد جوانه‌زنی و شاخص بیه 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 بیه 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

(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

یافتن نقاط بهینه با استفاده از نرم‌افزار 10 Design Expert 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 بیه بذر) انجام گرفت. به منظور یافتن حالت‌های بهینه، از روش سطح پاسخ<sup>۱</sup> (RSM) استفاده شد. نقاط بهینه نقطاتی 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 آن‌ها بتوان بیشترین مقادیر درصد جوانه‌زنی و شاخص بیه بذر را به دست آورد. با کمک این طرح آماری کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند

<sup>1</sup> Respond Surface Methodology

هستند (جدول ۴).

گردید. درصد جوانه زنی و شاخص بینه 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.

در روش سطح پاسخ نیاز به انتخاب محدوده تغییرات متغیرهای مستقل در آزمایش می باشد. 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.

بهینه سازی درصد جوانه زنی و شاخص بینه بذر بر اساس هدف مورد نظر با استفاده از روش سطح پاسخ انجام گرفت. درجه اهمیت متغیرهای وابسته از ۱ تا ۵ تعریف

جدول ۳- میانگین مربعات مدل درجه دوم در روش منحنی های سطح پاسخ برای افزایش درصد جوانه زنی و شاخص بینه 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 جوانه زنی (Germination percentage)	شاخص بینه بذر (Seed vigor index)
مدل	9	332.22*	26208 **
A-دما-	1	0.78 <sup>ns</sup>	946.45 <sup>ns</sup>
B-زمان-	1	552.22*	35351.28**
C-توان-	1	60.50*	5299.35**
A * B	1	0.25 <sup>ns</sup>	208.80 <sup>ns</sup>
A * C	1	0.25 <sup>ns</sup>	20.25 <sup>ns</sup>
B * C	1	0.4 <sup>ns</sup>	17.46 <sup>ns</sup>
A <sup>2</sup>	1	217.01*	19245.15**
B <sup>2</sup>	1	1007.96*	78451.04**
C <sup>2</sup>	1	832.12*	78164.09**
باقیمانده	7	8.79	2529.13
عدم برازش	3	20.63 <sup>ns</sup>	2529.13 <sup>ns</sup>
خطای خالص	4	3.30	2.384
کل	16		

\* اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، NS عدم اختلاف معنی دار

جدول ۴- 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 جوانه زنی $Germination = 62 - 8.31 \times B - 2.75 \times C - 7.19 A^2 - 15.44 \times B^2 - 14.06 C^2$
شاخص بینه 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 معنی‌داری 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 معنی‌دار 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 معنی‌داری 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 معنی‌داری پیدا کرد و سپس با افزایش توان از ۱۸۰ وات، درصد جوانه‌زنی کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۳).

با توجه به میانگین مجموع مربعات در تجزیه واریانس (جدول ۳) و همچنین ضرایب مدل رگرسیونی (معادله ۳)، متغیر زمان بیشترین تاثیر را بر درصد جوانه‌زنی بذر زیره سیاه داشت. ضریب تبیین تعدیل‌شده مدل و ضریب تغییرات (C.V) تجزیه واریانس به ترتیب برای درصد جوانه‌زنی ۰/۹۲ و ۶/۷ بود. در این صورت می‌توان 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 سلول‌ها 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).

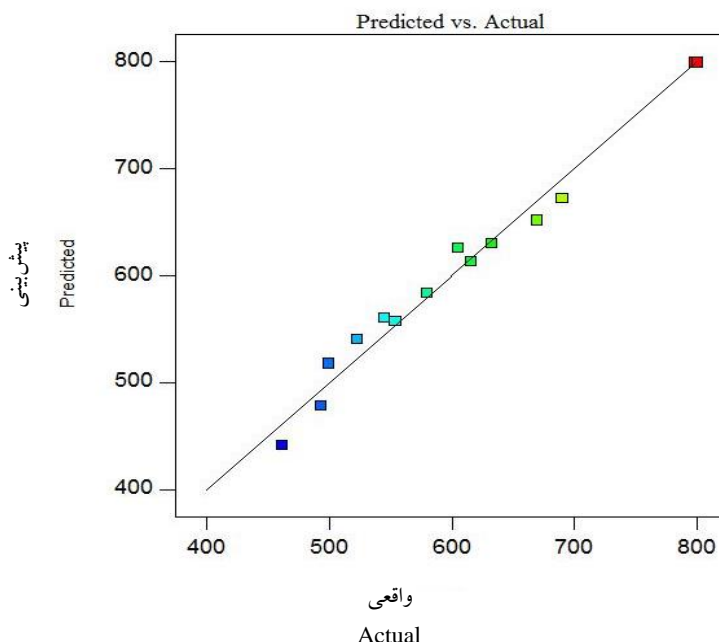
بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار با زمان ۷ min و توان ۱۸۰ W و دمای ۲۰°C به مقدار ۶۱ درصد به دست آمد. کمترین مقدار درصد جوانه‌زنی نیز در تیمار با زمان ۹ min و توان ۲۳۰ W و دمای ۲۰°C به مقدار ۲۴/۵ درصد مشاهده شد (جدول ۲). در مورد افزایش این تیمارها می‌توان گفت که وقتی بذر بیشتر در معرض این امواج قرار می‌گیرد، 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 نفوذپذیر کرده 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 جوانه‌زنی بذر در این حالت ۲۴ درصد به دست آمد.

شکل (۱) مقادیر داده‌های واقعی در مقابل داده‌های پیش‌بینی 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 پیش‌بینی 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

دقت ۹۲ درصد بدون انجام دوباره آزمایش، خروجی های مورد نظر به دست می آیند.

شده و شکل ارائه شده دلایلی بر دست یابی به خروجی های مناسب و با دقت بالا می باشند. بر اساس مدل ارائه شده با



شکل ۱- مقادیر داده های واقعی در مقابل داده های پیش بینی شده درصد جوانه زنی

Fig 1- actual data values against predicted germination percentages

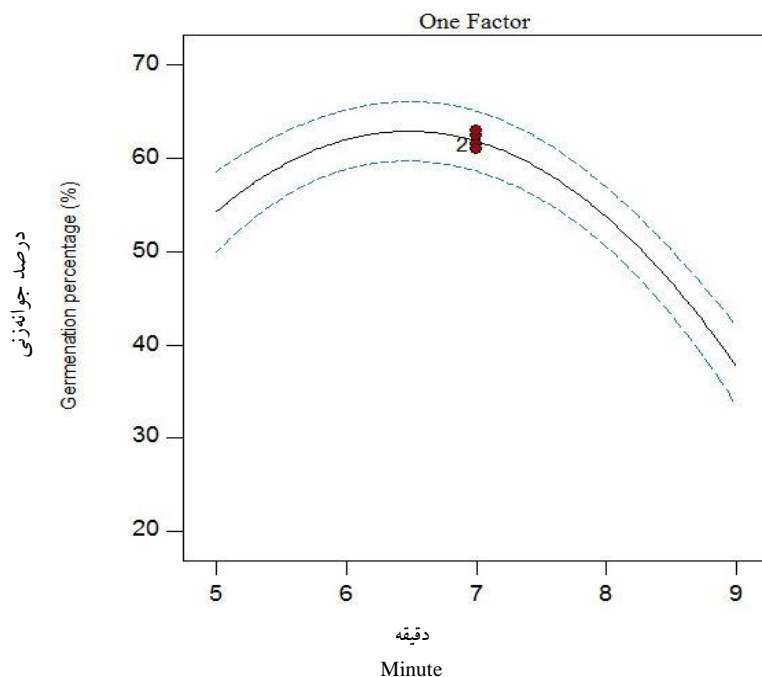
مقادیر پایین نیز دقیقاً در جهت عکس عمل می کند. وقتی بذر در زمان ۳ دقیقه و توان ۱۳۰ وات قرار داشته است تیمار فراصوت به اندازه کافی فرصت لازم برای تاثیر بر روی بذر را نداشته است و لذا بذر تقریباً همانند تیمار شاهد باقی مانده است (شکل ۳). شریفی فر و همکاران در مطالعه خود اثر امواج فراصوت را بر روی زیره سبز بررسی کردند. در این تحقیق از زمان های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه و فرکانس ۴۲ 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 جوانه زنی نسبت به شاهد در این سه گیاه دارد. نتیجه ای که در این آزمایش به دست آوردند این است که زمان ۱ و ۳ دقیقه هیچ اختلاف معنی داری در افزایش جوانه زنی ندارد (Sharififar et al., 2015). در تحقیقی فاضلی و همکاران تاثیر امواج فراصوت را در سه سطح ۳، ۶ و ۹ دقیقه، توان

در این تحقیق امواج فراصوت تاثیر معنی داری را بر روی درصد جوانه زنی داشت و در بهترین حالت (زمان min ۷، توان W ۱۸۰ و دمای °C ۲۰) باعث افزایش ۳۹ درصد جوانه زنی نسبت به حالت شاهد گردید (شکل ۲ و ۳). زمان بیشتر از ۷ min نیز همین تاثیر را ولی در جهت عکس بر جای گذاشته است، یعنی در زمان min ۹ و توان W ۱۳۰ 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 آسیب دیدگی شده است که نتیجه آن تاثیر منفی بر درصد جوانه زنی است. فراصوت سبب ایجاد فشار و دمای بالا می شود. این فشار و دما با افزایش توان فراصوت و همچنین زمان فراصوت رابطه مستقیم دارد. پس در نتیجه در توان و زمان های بالاتر فشار و دمای بیشتری بر بذر وارد می شود. این فشار و دما برای



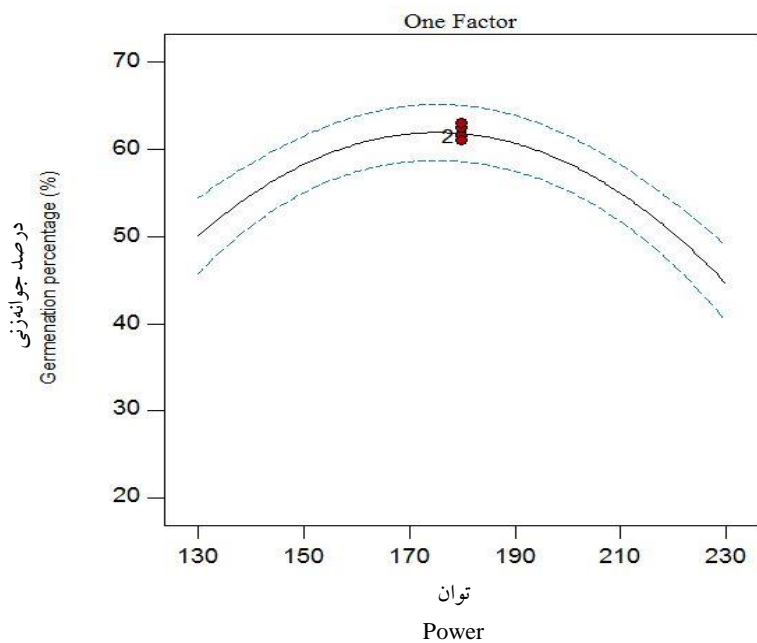
جوانه‌زنی در زمان ۶ min، توان ۲۴۰ W و دمای ۴۵ °C با مقادیر ۱۰۰ درصد به دست آمد (Fazeli *et al.*, 2017).

۸۰، ۲۴۰ و ۴۰۰ وات و دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سلسیوس بر درصد جوانه‌زنی بذر پیازچه بررسی کردند. آن‌ها در این تحقیق نشان دادند که بیشترین درصد



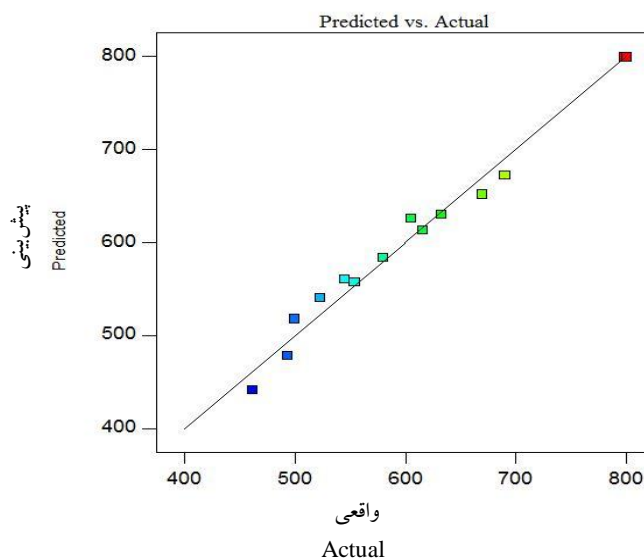
شکل ۲- اثر ساده زمان بر درصد جوانه‌زنی

Fig: 2 Simple effect of power on germination



شکل ۳- 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 بذر

Fig. 4- Actual data values against predicted seed index

از ۱۸۰ وات بطور تدریجی سیر نزولی به خود گرفت و در توان ۲۳۰ وات کمترین شاخص بذر به دست آمد (شکل ۶).

متغیر زمان در ۷ شاخص 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 بذر بدست آمده مربوط به تیمار (زمان ۹ min ، توان ۲۳۰ W و دمای ۲۰ °C) بود.

شکل (۲) رابطه داده‌ای واقعی شاخص بذر نسبت به مقادیر حاصل از مدل (رابطه شاخص 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

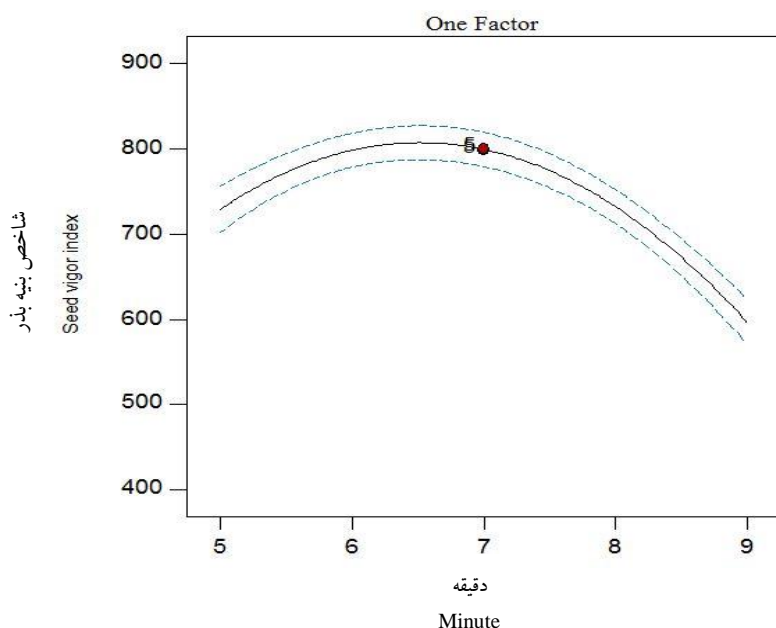
### شاخص بذر

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 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 بذر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین معنی‌دار نشدن شاخص عدم برازش برای شاخص بذر نشان دهنده کارآمدی مدل حاصل می‌باشد. ضریب تبیین تعدیل شده و ضریب تغییرات (C.V) مدل به ترتیب برای شاخص بذر ۰/۹۸ و ۲/۹۷ بود.

با افزایش زمان از ۵ به ۷ دقیقه شاخص بذر افزایش پیدا کرد، به طوری که در زمان ۷ دقیقه بیشترین شاخص بذر به دست آمد. با افزایش زمان از ۷ دقیقه به بالاتر و رسیدن به زمان ۹ دقیقه، کاهش معنی‌دار شاخص بذر مشاهده شد (شکل ۵). همچنین با افزایش توان فراسوت از ۱۳۰ به ۱۸۰ وات نیز شاخص بذر افزایش معنی‌داری پیدا کرد. این افزایش شاخص بذر در توان‌های بالاتر

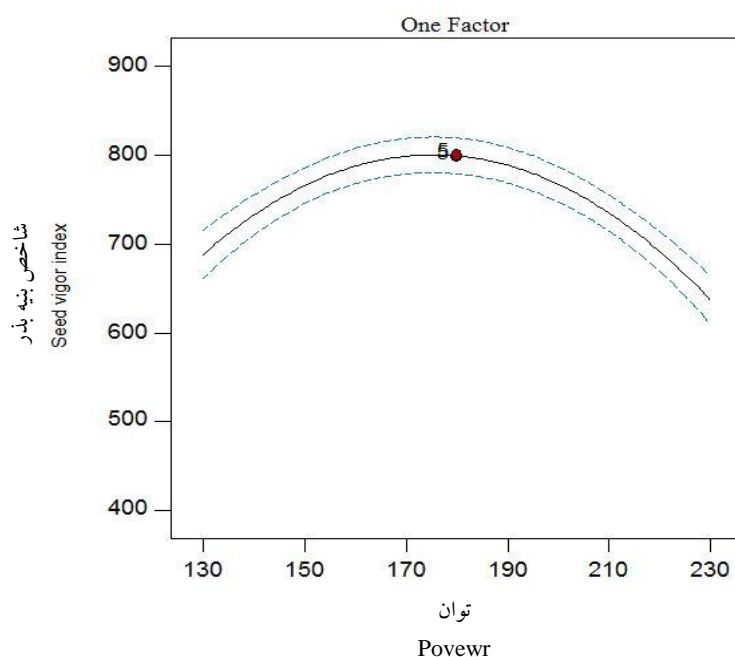
دینانی بر روی گیاه شوید انجام داد، تاثیر مثبت امواج فراصوت بر عملکرد دانه شوید مشخص گردید. تیمار فراصوت تاثیر كاملا معنی داری را بر روی درصد جوانه‌زنی و طول ساقه شوید داشت. در این تحقیق مشخص شد با افزایش مدت زمان تیمار التراسونیک به ۹ min ارتفاع ساقه به مقدار ۶/۹ درصد نسبت به زمان min ۷ کاهش یافت (Tavakoli Dinani, 2009). در تحقیق دیگری که کریمی فرد و همکاران بر روی بذر سیاه دانه داشتند نشان دادند که تیمار فراصوت تاثیر معنی داری 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 كاملا 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 ۲۴۰ W و دمای ۴۵ °C با مقدار ۶۷۰ به دست آمد (Fazeli, 2017).

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 كاملا 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 طولانی تر 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 معنی داری 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



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

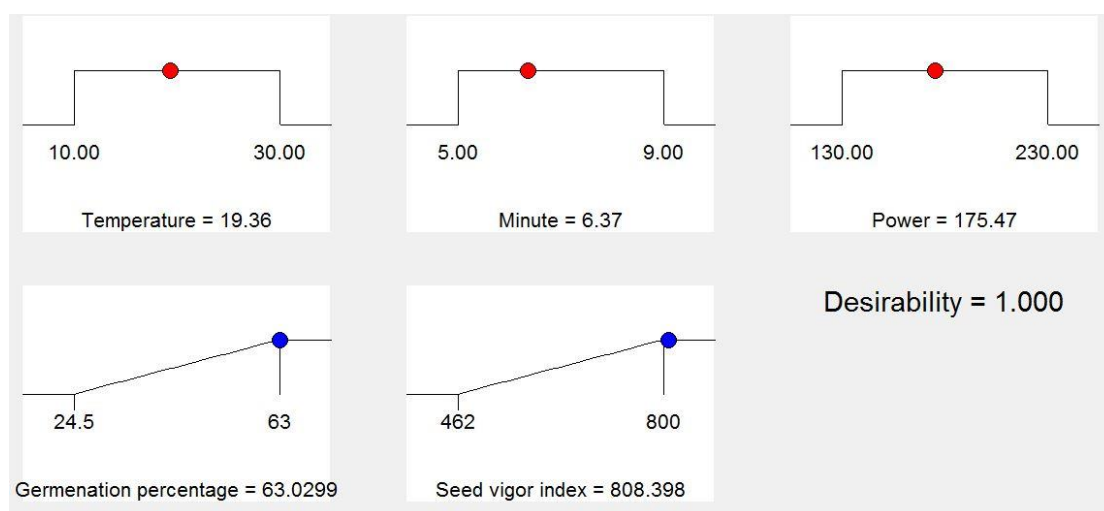
Fig. 6- Simple effect of time on seed vigor index

حاکمی از آن است که اگر آزمایش در این سه نقاط (۶/۳۷ دقیقه، ۱۷۵/۴۷ وات و ۱۹/۳۶ درجه سلسیوس) انجام گیرد، بیشترین مقدار درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر به دست خواهد آمد. در این حالت بیشترین درصد جوانه زنی و شاخص بنیه بذر ۶۳/۰۲ و ۸۰۸/۳۹ بدست آمد.

### بهینه سازی شرایط فراصوت

#### بهینه سازی 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



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

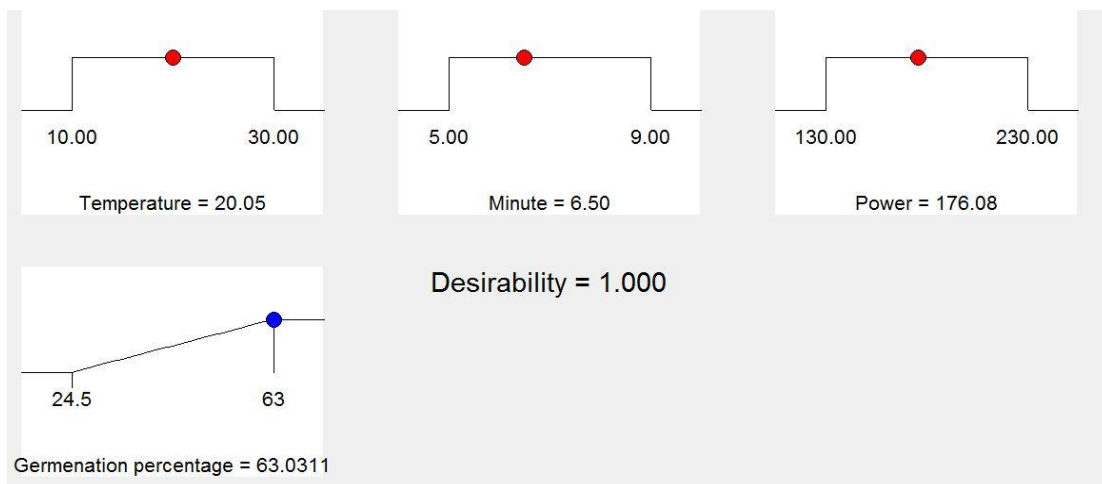
Fig 7- Optimal values for germination percentage and seed vigor index according to the variables of time, power and temperature

**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

است. مقادیر به دست آمده برای زمان، توان دمایی فراصوت به ترتیب ۶/۶۰ دقیقه، ۱۷۷/۳۳ وات و ۱۷/۳۰ درجه سلسیوس به دست آمد.

دمای اعمال فراصوت شاخص بنیه بذر نشان داده شده



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

شاخص بنيه بذر به ترتيب 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 °C اثر مثبت بر جوانه زنی و شاخص بنيه بذر داشتند و حداکثر مقادیر خروجی تحت این شرایط به دست آمد. زمان‌ها و توان‌های بالاتر و پایین‌تر از این مقادیر تاثیر منفی را بر مقادیر خروجی داشتند ولی دما برای هر دو شاخص درصد جوانه زنی و بنيه بذر بدون تاثیر بود. نقاط بهینه در توان ۱۷۰/۴، زمان ۶/۲min و دمای ۱۷ °C به دست آمد که بیشترین درصد جوانه زنی و شاخص بنيه 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 بنيه بذر نسبت به تیمار شاهد گردید.

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 جوانه زنی و شاخص بنيه 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 جوانه زنی و شاخص بنيه بذر است. در نهایت مقادیر خروجی برای درصد جوانه زنی و شاخص بنيه 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 جوانه زنی و

## Reference

## منابع

- 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. Investigation on plant density of Black cumin (*Bunium persicum*) on grain yield and yield components in nursery and 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 Tuscan and Onions. Master's Thesis. Tarbiat modares university, Mechanical of Agricultural Machinery, Tehran.
- ISTA.,** 2010. International Seed Testing Association. ISTA Handbook on Seed Evaluation, 3rd 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, Iriundo., 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 quantitative 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, Shariffifar, 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.
- Taylorson, R. B.** 2012. recent advances in the development and germination of seed. Springer 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. Application of ultrasonic waves as a priming technique and enhancing the germination of barley seed: Optimization of method by the Taguchi approach. *J. Inst. Brew.* **114**(1): 14-21.