

بررسی شبه‌سنج‌های صوتی برای صدادهی به پیاز زعفران در شرایط کشت گلخانه‌ای

علی فائزین^۱، بی‌بی مرضیه رضوی‌زاده^{۲*}

۱. گروه ماشین‌آلات صنایع غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
۲. گروه ایمنی و کنترل کیفیت مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶

چکیده

در پژوهش حاضر شبه‌سنج‌های صوتی برای القای امواج صوتی بر پیاز زعفران در محیط کنترل‌شده و به روش هواکشت بررسی گردیده‌اند. برای این منظور ابتدا جعبه صوتی، ابزار و شرایط ایجاد صدا در یک جعبه، بدون تأثیر بر جعبه مجاور بدون صدا طراحی و آماده شد. با توجه به محل قرار گرفتن بلندگو، شبه‌سنج‌های صوتی در چهار نقطه درون جعبه شامل درب-سمت چپ، درب-سمت راست، دیوار جانبی-سمت راست و سقف اندازه‌گیری شدند. براساس تحلیل شبه‌سنج‌های صوتی به‌دست آمده، صدادهی به دو گروه از پیازهای زعفران تحت تراز فشار صدای معادل ۷۷ دسی‌بل انجام شد. در گروه اول صدادهی با بسامدهای ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ هرتز در دوره‌های مختلف گل‌انگیزی، گل‌دهی و کل دوره (گل‌انگیزی و گلدهی) صورت گرفت. در گروه دوم، صدادهی بر روی پیازها فقط در دوره گل‌دهی و با بسامدهای ۴۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۲۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ هرتز انجام شد. نتایج آماری از میزان گل‌دهی پیازهای زعفران نشان دادند که با شرایط صوتی در نظر گرفته‌شده تعداد گل تولیدشده توسط پیازهای صدادهی شده نسبت به کنترل تفاوت معنی‌دار نداشتند ($P > 0.05$).

کلیدواژه‌ها: صدا، فناوری بسامد صوتی گیاهی، گل‌دهی، زعفران.

۱. مقدمه

(اس‌پی‌اِل)^۲ خاص است. مطالعات صوتی نشان می‌دهند که گیاهان می‌توانند خود به خود صدای بسامد پایین را تولید کنند. با افزودن این فناوری، بسامد خاصی برای جذب صدا و تحت تأثیر قرار دادن گیاهان هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶-۷]. بنابراین، این فناوری فتوسنتز و سرعت تقسیم یاخته‌ای را تقویت کرده و سبب رشد و توسعه آن می‌شود [۸-۹].

فناوری امواج صوتی برای گیاهان مختلف اعمال شده است، به‌عنوان مثال کولینز و فورین بر روی لوبیا و نعنا که سرعت رشد بالاتری دارند امواج صوتی با بسامد ۵، ۶، ۱۲ و ۱۴ کیلوهرتز را در طی دو دوره ۱۶ روز و ۲۸ روز اثر دادند و نتیجه گرفتند که امواج صوتی روی رشد گیاهان در طی دوره ۲۸ روزه موثر بوده است ولی این تأثیر در طی ۱۶ روز مشاهده نشد [۱۰]. بوچو و همکاران از امواج

یکی از راه‌های ارتباط بین هر موجود زنده با محیط پیرامونی خود صدا است. یک موجود زنده با تولید صدا نیاز و پیام خود را اعلام و با دریافت صدا پیام دیگران و شرایط محیطی خود را شناسایی می‌کند. پاسخ به صدای دریافتی در موجودات مختلف گیاهی و جانوری بسیار متنوع و گوناگون است. این پاسخ‌ها برای حفظ بقا و هماهنگی و تطبیق بیشتر با شرایط محیط پیرامونی داده می‌شود که به شکل تغییرات فیزیولوژیکی ظاهر می‌شوند. پاسخ موجودات نسبت به صداهای مختلف متفاوت است. پژوهشگران برای شناخت بیشتر و بهره‌گیری بیشینه از این تغییرات فیزیولوژیکی مطالعات زیادی انجام داده‌اند [۵-۱].

فناوری امواج صوتی گیاه^۱ عبارت از اثرگذاری یا درمان گیاه با یک موج صوتی با بسامد و تراز فشار صدای

^۱ Plant acoustic frequency technology

^۲ SPL; Sound Pressure Level

* نویسنده پاسخگو: m.razavizadeh@rifst.ac.ir

بررسی قرار گرفتند و سپس فرآیند صدادهی به پیاز در شرایط کشت گلخانه‌ای بدون خاک یا هواکشت^۲ و در بازه‌های زمانی معین انجام شد و مقدار گل‌دهی زعفران مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. مواد اولیه

پیاز زعفران ۴ ساله (از گونه کروکس ساتیویوس ال.)^۳ از منطقه چناران (واقع در فاصله ۵۰ کیلومتری شمال غربی مشهد) تهیه گردید.

۲-۲. تجهیزات اندازه‌گیری صوتی

به‌منظور اندازه‌گیری صوتی و تحلیل بسامدی صوتی بایستی از دستگاه‌های با دقت بالا و قابل اعتماد استفاده نمود. به‌همین منظور از تجهیزات ساخت شرکت بی‌آندکی^۴ استفاده شده است. تجهیزات اندازه‌گیری صوتی شامل دو میکروفون به اندازه ۱/۴ اینچ (۵۰ هرتز-۵ کیلوهرتز نوع ۴۹۳۵)^۵ با پیش‌تقویت‌کننده و منبع تغذیه، تحلیل‌گر سی‌پی‌بی و اِف‌اِی^۶ دو کاناله (پالس لیت بیسیک ۲- کانال سی‌پی‌بی آنالیزر تایپ ۳۵۶۰ ال- ال ۰۶)^۷ و رایانه با نرم‌افزار مربوطه جهت برداشت و ثبت داده‌ها بودند.

۲-۳. آماده‌سازی اتاقک رشد

به‌منظور کشت بدون خاک پیازهای زعفران در اتاقک رشد قرار داده شدند. برای ایجاد رطوبت مورد نیاز از دو عدد دستگاه بخارساز (هیومیدیفایر، اِم‌اِف ۲۰۱۰، نيساز، ایران)^۸ استفاده گردید. تنظیم دما با استفاده از کولر گازی پنجره‌ای (ال جی ۱۹۰۰ بی‌تی‌یو، دابل‌یو ۱۹۶ بی‌سی، کره)^۹ و تثبیت آن روی دمای مورد نظر انجام گرفت. برای کنترل دما و رطوبت محیط از یک عدد کنترل‌گر رطوبت‌سنج-دماسنج رقومی (ال‌سی‌دی دیجیتال تمپرچر

صوتی با بسامدهای ۲۰۰، ۴۰۰، ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز و تراز فشار صدای ۱۰۶ و ۱۱۱ دسی‌بل برای القاب بر جوانه‌زنی دانه‌های برنج استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بسامد ۴۰۰ هرتز با تراز فشار صدای ۱۰۶ دسی‌بل بهترین نتایج را ایجاد می‌کند در حالی‌که بسامد ۴۰۰۰ هرتز با تراز فشار صدای ۱۱۱ دسی‌بل برای دانه‌های برنج مضر بود و به آن‌ها آسیب رساند [۱۱]. کوبین و همکاران امواج صوتی را بر گیاهان اثر دادند و دریافته‌اند که این امواج بر سامانه مریدین گیاه تأثیر گذاشته و سبب افزایش سرعت فتوسنتز گیاه و کاهش مصرف کود و نیز افزایش مقاومت آن به بیماری می‌گردد [۱۲]. هو و همکاران نشان دادند امواج صوتی با بسامدهای مختلف، تراز فشار صدا، دوره‌های قرارگرفتن در معرض امواج صوتی و فاصله از منبع، بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند. آزمایش‌ها در محیط‌های باز و نیز تحت شرایط رشد گلخانه‌ای با سطوح مختلف بسامدهای صوتی محدوده شنوایی و سطح فشار صدای حدود ۸۰ دسی‌بل انجام شده است. گیاهان تیمار شده شامل لفل، خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای بودند که اثر امواج در دوره رشد و یا در زمان میوه‌دهی انجام شد. نتایج نشان دادند که این فناوری می‌تواند به‌طور خاص تولید سبزیجات را افزایش دهد، کیفیت محصولات را بهبود بخشد، و قابلیت مقاومت به بیماری را تقویت کند [۱۳]. کای و همکاران از امواج صوتی در محدوده بسامدهای ۱۰۰۰-۱۵۰۰ هرتز، ۱۵۰۰-۲۰۰۰ هرتز و ۲۰۰۰-۲۵۰۰ هرتز و تراز فشار صدای امواج ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ دسی‌بل در مدت زمان ۷۲ ساعت برای القا در جوانه‌زنی و رشد لوبیای مونگ^۱ استفاده کردند. نتایج آن‌ها حاکی از تأثیر امواج صوتی شنیداری بر کاهش دوره جوانه‌زنی گیاه بود و امواج با تراز فشار صدای ۹۰ دسی‌بل و محدوده بسامد ۲۰۰۰ هرتز تأثیر قابل‌توجهی بر رشد گیاه داشتند [۱۴].

در این پژوهش تلاش شده است تا پاسخ پیاز زعفران به امواج صوتی در محدوده آستانه شنوایی انسان مورد مطالعه قرار گیرد. برای این منظور جعبه صوتی برای صدادهی به پیاز طراحی شد و شبه‌سنج‌های صوتی مورد

² Aeroponic

³ Crocus Sativus L.

⁴ B&K

⁵ ¼" Microphone 50Hz-5KHz Type 4935

⁶ CPB & FFT

⁷ PULSE Lite Basic 2-channel CPB Analyzer Type 3560 L-L06

⁸ Humidifier, MF 2010, Nisaz, Iran

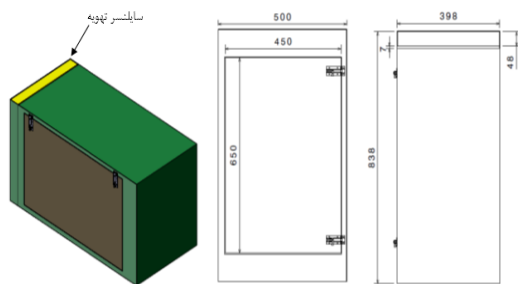
⁹ LG 19000 BTU, W196BC, Korea

¹ Mung

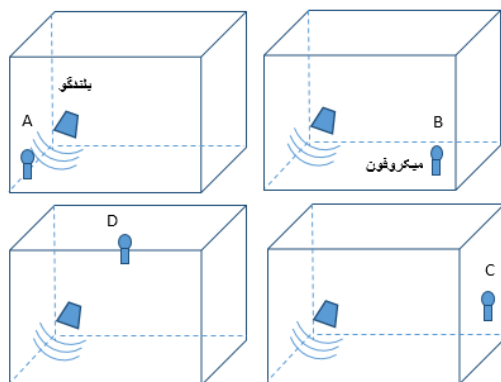
عبور داده شدند.

۲-۵. تعیین شبه‌سنج‌های صوتی جعبه

آزمون‌های بررسی اثر صوتی در دو حالت صدای تک بسامدی انجام شد. برای پخش صدا یک بلندگو داخل جعبه در گوشه پایین-سمت چپ جعبه قرار داده شده است (شکل ۲). موقعیت میکروفون در چهار نقطه مختلف A, B, C و D نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱ طرح‌واره جعبه صوتی بستر صدادهی.



شکل ۲ محل قرار گیری بلندگو و میکروفون در جعبه آزمایش: A میکروفون داخل جعبه، درب-سمت چپ، B میکروفون داخل جعبه، درب-سمت راست، C میکروفون داخل جعبه، دیوار جانبی-سمت راست، D میکروفون داخل جعبه، سقف.

در جدول ۱ مشخصات هندسی و صوتی داخل اتاقک (جعبه) بستر آزمایش آورده شده‌اند. طول، عرض، ارتفاع، حجم و مساحت چهار وجه جانبی، کف، سقف و مساحت کل و جوه براساس اندازه واقعی ابعاد جعبه محاسبه شده‌اند. مطابق شکل ۳ صدایی که از منبع صدا (بلندگو) منتشر شده با برخورد به سطوح بخش کمی از آن جذب سطح شده و بخش عمده آن بازتابیده می‌شود [۱۶].

و هیومیدیتی متر ال‌تی‌سی-۱، چین^۱ استفاده شد. نوردی به پیازها با استفاده از لامپ‌های ال‌ای‌دی رشته‌ای با دسته‌های سه‌تایی انجام شد و برای هر طبقه یک رشته ۳۰ عددی (۱۰ دسته ۳ عددی) به کار برده شد.

۲-۴. آماده‌سازی بستر صدادهی

اتاق بازتابنده (واخشی)^۲ اتاق صوتی مناسب برای این پژوهش است زیرا میدان صدای داخل آن یکنواخت است. معمولاً دیوارهای این اتاق از صفحه‌های فلزی با فاصله هوایی و پر شده با الیاف جاذب صدا تشکیل شده است و میزان کاهش صدای انتقالی بین درون و بیرون اتاق به ضخامت لایه جاذب صدا و ورق‌ها بستگی دارد. کم بودن مقدار انتقال صدا از دیوارهای اتاق ویژگی دیگر مورد این پژوهش است. وانگ و همکاران اثر ضخامت هوا و الیاف و شکل سطح دیوارهای اتاق را بر عملکرد صوتی اتاق بازتاب‌دهنده کوچک با استفاده از روش تحلیلی بررسی کردند. آن‌ها براساس استاندارد ایزو-۳۵۴^۳ و پژوهش خود نسبت ابعاد اتاق را ۱:۱ و ۳:۱ توصیه می‌کنند [۱۵]. در این پژوهش برای محیط صدادهی نمونه‌ها از جعبه صوتی طراحی و ساخته شده‌اند (شرکت صنعت پروژه توس، مشهد، ایران). جنس جعبه‌ها از ورق گالوانیزه با ضخامت ۲ تهیه و به‌عنوان بستر آزمایش اثر صوتی بر عملکرد پیاز زعفران استفاده شدند. ابعاد اتاق بر کیفیت انتشار صدا در داخل آن اثر دارد و با بزرگ‌تر شدن ابعاد اتاق کیفیت صدای پخش شده داخل اتاق بهتر می‌شود. با این وجود محدودیت‌های اجرایی سبب شد تا ابعاد اتاقک ۸۳۸×۳۹۸×۵۰ میلی‌متر مکعب انتخاب شود. یعنی نسبت ابعاد توصیه‌شده استاندارد ایزو-۳۵۴ برای دو بعد رعایت شده و طول بعد سوم دو برابر مقدار توصیه‌شده انتخاب شده است. در شکل ۱ طرح‌واره‌ای از این جعبه‌ها نشان داده شده است. بر طبق شکل، یک مجرا (کانال) به موازات یال سمت چپ برای تهویه قرار داده شده است که نقش میراکننده صدا را در مسیر تهویه دارد. هم‌چنین کابل‌های برق مربوط به بلندگو و نیز لامپ‌ها از همین مجرا (کانال)

^۱ LCD Digital Temperature & Humidity Meter HTC-1, China

^۲ Reverberation room

^۳ ISO-354

و به دنبال آن زمان بازتاب و بسامد اشترود به ترتیب ۱۰ و ۵ درصد کم‌تر از روش سابین تخمین زده می‌شود. بنابراین با توجه به سادگی و بدون هزینه بودن روش سابین و قابل توجه نبودن خطای آن در این پژوهش از این روش در محاسبه مشخصه‌های صوتی جعبه استفاده شده است.

جدول ۱ مشخصات هندسی و صوتی داخل اتاقک (جعبه) بستر آزمایش.

| توضیح | مقدار | شبه‌سنج |
|------------------------------------|----------|--|
| طول جعبه | ۰٫۷۳۸ | x (متر) |
| عرض جعبه | ۰٫۲۹۸ | y (متر) |
| ارتفاع جعبه | ۰٫۴ | z (متر) |
| حجم جعبه | ۰٫۰۸۷۹۷ | V (مترمکعب) |
| مساحت دو سطح جانبی روبرو | ۰٫۲۹۵۲ | S _۱ = S _۴ |
| مساحت دو سطح جانبی پهلو | ۰٫۱۱۹۲ | S _۲ = S _۵ |
| مساحت دو سطح کف و سقف | ۰٫۲۱۹۹۲۴ | S _۳ = S _۶ |
| مساحت کل سطوح داخلی جعبه | ۰٫۸۲۸۸ | ST (مترمربع) |
| ضریب جذب سطوح به غیر از کف | ۰٫۲ | a _۱ = a _۲ = a _۳ = a _۵ = a _۶ |
| ضریب جذب کف | ۰٫۵ | a _۴ |
| مساحت صوتی کل سطوح جانبی (رابطه ۱) | ۰٫۳۴۲۲۹ | ST.a (مترمربع) |
| زمان بازتاب اتاقک (جعبه) (رابطه ۲) | ۰٫۰۴۱۳۷۸ | T _r (ثانیه) |
| بسامد اشترودر (رابطه ۳) | ۲۹۱۶٫۱۷۷ | f _s (هرتز) |

امواج منتشرشده از منبع صوتی با سطوح داخل اتاقک برخورد کرده و بخشی از آن به صورت پخشی^۲ و بخش دیگر آن به صورت پرتو^۳ بازتابیده می‌شود. با چندبار بازتاب امواج از سطوح، یک میدان پخشی یکنواخت داخل اتاقک ایجاد می‌شود. تراز فشار صدای این میدان پخشی تا بسامد اشترود^۴ تابع بسامد، ابعاد و ضریب جذب سطوح اتاقک

جنس سطوح داخلی جعبه ورق ساده گالوانیزه می‌باشد. ضریب جذب این سطوح با توجه به داده‌های مرجع [۱۷] ۰٫۲ و ضریب جذب کف که گالوانیزه بوده و با پیاز زعفران پوشیده شده ۰٫۵ تخمین زده شده و در جدول ۱ آورده شده است. مساحت صوتی کل وجوه داخلی اتاقک از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. مقدار محاسبه شده این مساحت صوتی در جدول ۱ آورده شده است.

$$ST.a = \sum_{i=1}^6 S_i a_i \quad (1)$$

که ST.a مساحت صوتی کل سطوح جانبی، S_i مساحت سطح و a_i ضریب جذب سطح می‌باشد. امواج صوتی منتشرشده از منبع صوتی در یک اتاق بسته تحت تأثیر دیوارهای اتاق قرار می‌گیرند. این امواج چند بار از سطح دیوارهای اتاق منعکس شده و با یکدیگر تداخل پیدا کرده و تغییر می‌کند. یکی از مشخصه‌های مهم اتاقک زمان بازتاب^۱ است. زمان بازتاب زمانی است که امواج صوتی تولیدشده داخل اتاقک در اثر برخورد با سطوح و بازتاب و تداخل با یکدیگر مستهلک شده و تراز فشار صدای آن به ۶۰ دسی‌بل برسد. این زمان از رابطه ۲ به دست می‌آید [۱۶]. مقدار محاسبه شده این زمان در جدول ۱ آورده شده است.

$$T_r = 0.161 \frac{V}{ST.a} \quad (2)$$

که در آن T_r زمان بازتاب اتاقک، ST.a مساحت صوتی کل سطوح جانبی و V حجم جعبه است. روش رایج محاسبه و به دست آوردن ضریب جذب طیفی و مؤثر سطوح و مواد استفاده از لوله مقاومت‌ظاهری می‌باشد اما با توجه به اینکه سطوح داخلی جعبه ورق گالوانیزه بوده و اطلاعات مربوط به ضریب جذب آن در مرجع [۱۷] آورده شده، از این اطلاعات استفاده شده است. ضریب جذب و زمان بازتابش از دو روش سابین و ارینگ قابل محاسبه است. روش ارینگ روش اصلاح شده روش سابین است و ضریب جذب را با دقت بالاتری تخمین می‌زند. تفاوت تخمین دو روش در سطوح با ضریب جذب پایین کم‌تر است [۱۸]. برای سطح ورق گالوانیزه با ضریب جذب حدود ۰٫۲ ضریب جذب با روش ارینگ ۱۰ درصد بیش‌تر

² Diffuse
³ Specular
⁴ Schroeder frequency

¹ Reverberation time

آزمون صدادهی روی دو گروه از پیازها انجام شد. در گروه اول سه موج صوتی با بسامدهای ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز و در سه دوره خواب یا گل‌انگیزی (۳ ماه)، دوره گل‌دهی (۱ ماه) و کل دوره گل‌انگیزی و گل‌دهی (۴ ماه) به پیازها صدادهی شدند. در گروه دوم این آزمون بر روی پیازها تنها در دوره گل‌دهی و با بسامدهای ۴۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۲۰۰۰، ۱۶۰۰۰ هرتز انجام شد. زمان صدادهی در هر دو گروه ۱۵ دقیقه در روز برای هر تیمار در نظر گرفته شد و گل‌های زعفران در بازه زمانی نیمه آبان‌ماه به مدت یک هفته (از ۱۳ تا ۱۹ آبان‌ماه) جمع‌آوری و شمارش شدند.

۲-۷. روش آماری

تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از پیاز زعفران براساس طرح کاملاً تصادفی ساده (تجزیه واریانس یک‌طرفه)^۱ انجام و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب^۲ نسخه ۴.۲.۱۶ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی^۳ در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ($P < 0.05$) انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ رسم شدند. کلیه اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام گردید.

۳. نتایج

۳-۱. ویژگی‌های صدای داخل اتاقک

همان‌طور که قبلاً اشاره شد بسامدهای صوتی ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۲۰۰۰، ۱۶۰۰۰ هرتز، جهت بررسی اثر امواج صوتی بر پیاز زعفران انتخاب گردیده‌اند. برای تعیین تراز فشار صدای کل (معادل) اعمال شده بر پیاز زعفران، به‌هنگام قرارگیری آن در بستر صوتی، موقعیت میکروفون در چهار نقطه مختلف A، B، C و D قرار داده شد در حالی که موقعیت بلندگوی پخش صوتی در محل ثابت در گوشه پایین-سمت چپ جعبه صوتی قرار داشت.

آزمایش‌ها برای کلیه بسامدهای صوتی ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۲۰۰۰، ۱۶۰۰۰ هرتز تولید و

است. در اتاقک با ابعاد و کیفیت سطوح مشخص در بسامدهای بالاتر از بسامد اشترود تراز فشار صدا تابع بسامد نبوده و مقدار ثابتی دارد. مقدار بسامد اشترود از رابطه ۳ به‌دست می‌آید. مقدار محاسبه‌شده این بسامد در جدول ۱ ارائه شده است.

$$f_s = 2000 \cdot \sqrt{\frac{T_r}{V}} \quad (3)$$

۲-۶. تیمار بندی پیازهای زعفران

پیازهای زعفران وزن شدند و تنها پیازهای بالای ۱۰ گرم از میان آن‌ها انتخاب گردیدند. پیازهای توزین شده، شماره‌گذاری و در داخل سبدهای میوه (ابعاد ۲۰ در ۳۰ سانتی‌متر مربع) قرار داده شدند در حالی که کف سبدها با کاغذ و لایه نازکی از خاک کوکوپیت (با ضخامت تقریبی ۰/۵ سانتی‌متر) پوشانده شده بودند. سبدهای حاوی پیازهای زعفران پس از کدگذاری در طبقات اتاقک رشد چیده شدند و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد (جدول ۲). شرایط دما و رطوبت و نوردهی در طول دوره‌های گل‌انگیزی و نیز گل‌دهی پیازها مطابق با جدول ۳ انجام شد.

جدول ۲ نام‌گذاری تیمارهای صدادهی گروه‌های ۱ و ۲.

| گروه | دوره صدادهی | بسامد (هرتز) | نام تیمار |
|------|-------------|--------------|-----------------|
| ۱ | گل‌انگیزی | ۵۰۰ | Bf _۱ |
| | گل‌انگیزی | ۱۰۰۰ | Bf _۲ |
| | گل‌انگیزی | ۲۰۰۰ | Bf _۳ |
| | گل‌دهی | ۵۰۰ | Af _۱ |
| | گل‌دهی | ۱۰۰۰ | Af _۲ |
| | گل‌دهی | ۲۰۰۰ | Af _۳ |
| | کل دوره | ۵۰۰ | Tf _۱ |
| | کل دوره | ۱۰۰۰ | Tf _۲ |
| | کل دوره | ۲۰۰۰ | Tf _۳ |
| | - | ۰ (کنترل) | C _۱ |
| ۲ | گل‌دهی | ۴۰۰۰ | F _۴ |
| | گل‌دهی | ۸۰۰۰ | F _۸ |
| | گل‌دهی | ۱۲۰۰۰ | F _{۱۲} |
| | گل‌دهی | ۱۶۰۰۰ | F _{۱۶} |
| | - | ۰ (کنترل) | C _۲ |

^۱ One way ANOVA

^۲ Minitab

^۳ Tukey

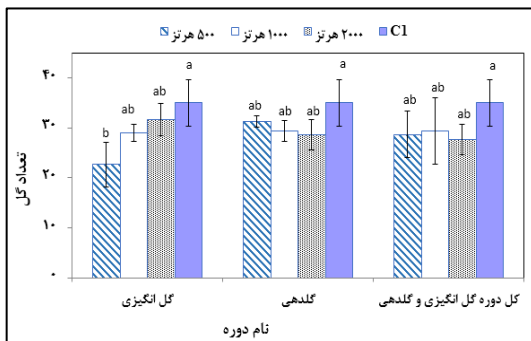
نقطه A داخل جعبه دارای بلندگو، بیرون جعبه و داخل جعبه بدون بلندگو برای صدای تک بسامدی ۵۰۰ هرتز به‌عنوان نمونه نشان داده شده است. این الگو برای بقیه بسامدها نیز تکرار می‌شود.

تراز فشار صدا، بسامد تولیدی و نیز تراز فشار صدای معادل کل بازه بسامدی شنوایی به‌دست‌آمده از نتایج ثبت‌شده در شکل ۴ نشان داده شده است.

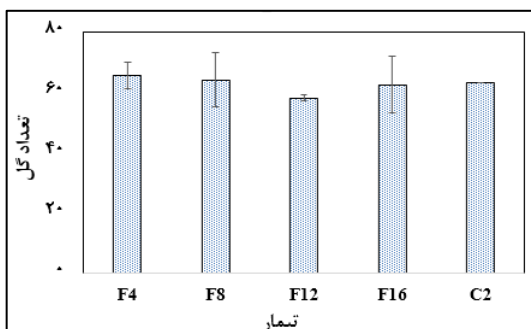
۳-۲. اثر صدادهی به پیاز زعفران

نتایج حاصل از اثر صدادهی به پیازهای زعفران مربوط به گروه ۱ در سه دوره زمانی مختلف تشکیل گل (گل‌انگیزی، گل‌دهی و کل دوره گل‌انگیزی و گل‌دهی) و نیز القای امواج صوتی با بسامدهای ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز نسبت به کنترل (C۱) در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۶، نتایج حاصل از اثر صدادهی به پیازهای گروه ۲، در بسامدهای ۴۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۲۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ هرتز را در دوره زمانی گل‌دهی به مدت یک ماه نشان می‌دهد.



شکل ۵ میانگین تعداد گل به‌دست‌آمده برای هر تیمار صدادهی شده در گروه ۱ در دوره های متفاوت رشد پیاز.

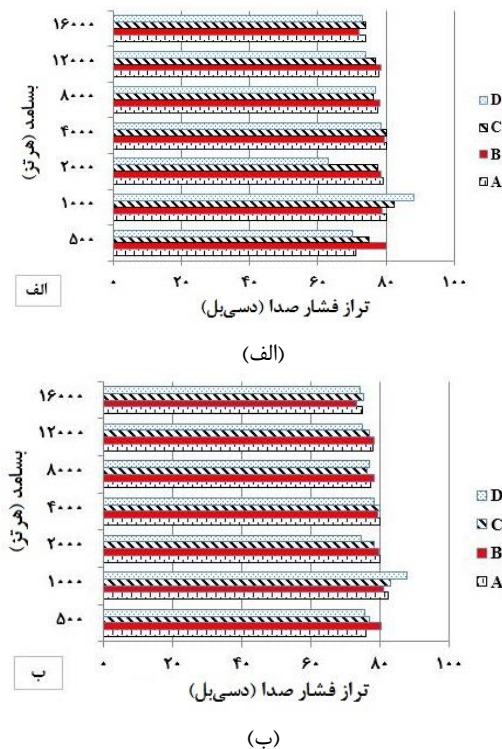


شکل ۶ میانگین تعداد گل به‌دست‌آمده برای هر تیمار صدادهی شده در گروه ۲ در دوره گل‌دهی.

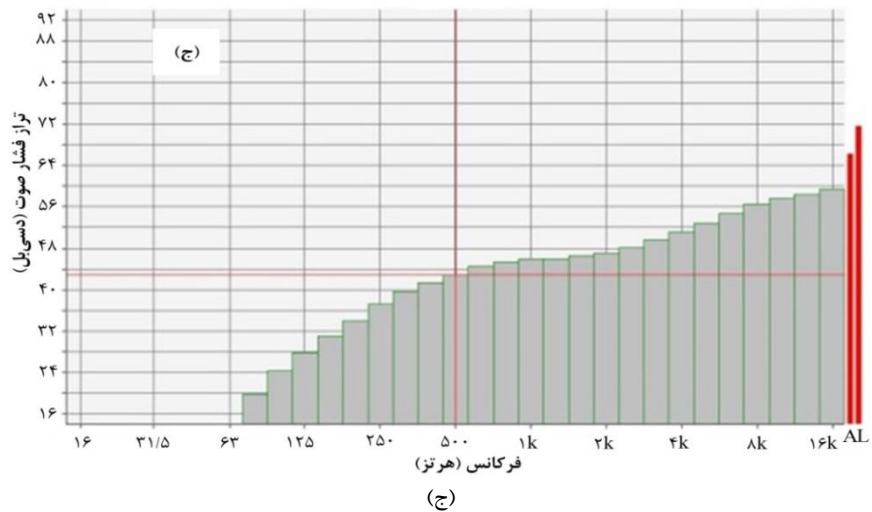
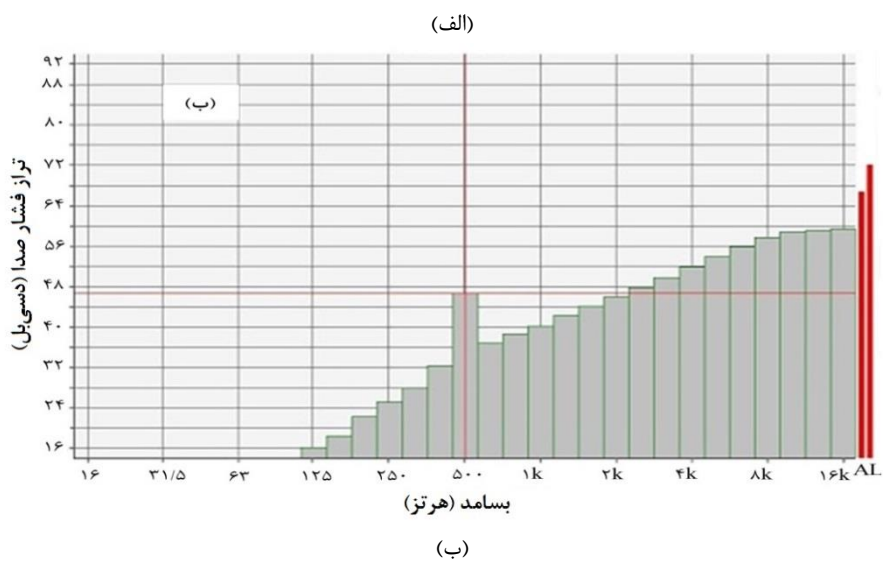
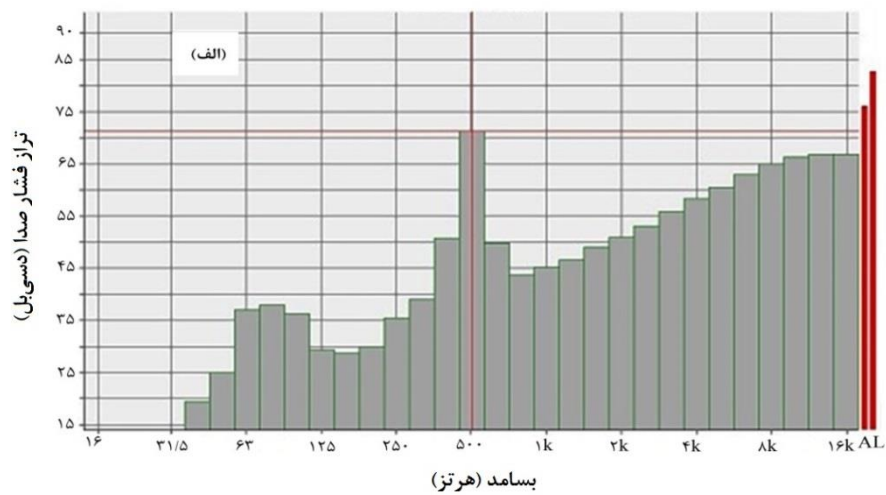
جدول ۳ شرایط محیطی اعمال‌شده در طول دوره‌های گل‌انگیزی و گل‌دهی بر پیازهای زعفران.

| دوره | | مشخصات |
|-------------|--------------------|--------------------|
| گل‌دهی | گل‌انگیزی | |
| ۳۰ | ۱۲۰ | طول دوره (روز) |
| 15 ± 1 | 26 ± 1 | دما (درجه سلسیوس) |
| 80 ± 5 | 75 ± 5 | رطوبت نسبی (درصد) |
| ۸ ساعت روشن | کاملاً خاموش (صفر) | زمان نوردهی (ساعت) |

پخش شده و در هر بسامد موقعیت میکروفون در چهار نقطه مختلف A, B, C و D تکرار شده است. نمودارهای طیفی صدای اندازه‌گیری‌شده در هر بسامد تولید شده و هر موقعیت میکروفون مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. کیفیت صدای تن خالص (تک بسامدی) و هم‌چنین، اثر آن بر اتاقک مجاور در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل نمودارهای طیفی صدای اندازه‌گیری‌شده در



شکل ۴ الف) تراز فشار صدا در بسامد تولیدی ب) تراز فشار صدای معادل ثبت‌شده در حالت تولید صدای تک بسامدی، در محل‌های مختلف میکروفون در جعبه صوتی: A میکروفون داخل جعبه، درب - سمت چپ، B میکروفون داخل جعبه، درب - سمت راست، C میکروفون داخل جعبه، دیوار جانبی - سمت راست، D میکروفون داخل جعبه، سقف.



شکل ۳ نمودار طیفی صدای اندازه‌گیری‌شده در بسامد ۵۰۰ هرتز برای موقعیت میکروفون در نقطه A در سه حالت: الف) بلندگو در داخل جعبه، ب) بلندگو بیرون جعبه، ج) داخل جعبه بدون بلندگو. (توضیح: دو ستون قرمز رنگ سمت راست نمودارها نشان‌دهنده تراز فشار صدای معادل هستند که به دو شکل خطی L و یا وزن‌دهی شده A محاسبه می‌شوند).

۴. بحث

۴-۱. ویژگی‌های صدای داخل اتاقک

با توجه به نتایج پژوهش وانگ و همکاران اثر ضخامت هوا، الیاف و ورق فلزی تشکیل‌دهنده دیواره‌های اتاقک بر عملکرد صوتی اتاقک بازتاب‌دهنده کوچک به ترتیب ناچیز، کم و قابل توجه می‌باشد. به دلیل مشکلات اجرایی و هزینه و با توجه به نتایج وانگ فاصله هوایی داخل دیواره‌های جعبه حذف شده و ضخامت ورق و پشم سنگ به ترتیب ۲ میلی‌متر و ۵ سانتی‌متر انتخاب شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود میزان کاهش صدا با عبور از جعبه دارای بلندگو به جعبه بدون بلندگو بیش از ۱۰ دسی‌بل است. بنابراین می‌توان آزمون‌ها را برای دو حالت بدون صدا و با وجود صدا در دو جعبه هم‌زمان انجام داد.

از آنجایی که امکان تنظیم تراز فشار صدا در یک مقدار ثابت برای همه بسامدها وجود نداشت، تنظیم تراز صدا با موقعیت درجه صدای بلندگو انجام شد. با این وجود مطابق شکل ۴ تراز فشار صدای معادل به‌ویژه در بسامدهای بالاتر از ۲۰۰۰ هرتز یا بسامد اشترودر بسیار نزدیک به تراز فشار در بسامد مورد نظر می‌باشد. یعنی اگرچه در عمل نمی‌توان صدای تک بسامدی خالص تولید کرد اما تراز فشار صدای معادل با تراز فشار صدای طیفی در بسامد مورد نظر تقریباً یکسان است. هم‌چنین در شکل ۴ دیده می‌شود که در چهار نقطه A، B، C و D تراز فشار صدای طیفی و معادل به‌ویژه در بسامدهای بالاتر از بسامد اشترودر خیلی نزدیک به هم است. بنابراین صدا در تمام نقاط اتاقک به‌طور یکنواخت پخش می‌شود. در این پژوهش تراز فشار صدا در چهار نقطه اندازه‌گیری شده تا با معدل‌گیری تراز فشار چهار نقطه خطاهای اندازه‌گیری و غیریکنواختی توزیع صدا کاهش یابد. با معدل‌گیری تراز فشار صدای چهار نقطه حتی در سه بسامد ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز، تفاوت تراز فشار صدای معادل با تراز فشار صدای طیفی و همین‌طور غیریکنواختی آن‌ها در نقاط مختلف به حدود ۵ درصد و کم‌تر از آن می‌رسد. می‌توان گفت صدای غالب همان صدای مربوط به بسامد مورد نظر و برابر با 2 ± 77 دسی‌بل است. اگرچه مقایسه میانگین‌ها میان دیگر تیمارها با نمونه کنترل معنی‌دار نیست

اما نتایج نشان‌دهنده این حقیقت است که کلیه تیمارهای مورد آزمون در این مطالعه نسبت به گروه کنترل گل کم‌تری تولید کرده‌اند. به‌عبارت دیگر بیش‌ترین گل ایجادشده مربوط به گروه کنترل می‌باشد که تحت هیچ القای صوتی قرار نگرفته است.

۴-۲. اثر صوتی بر پیاز زعفران

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تعداد گل به‌دست‌آمده از هر یک از تیمارهای گروه ۱ در شکل ۵، در دوره‌های زمانی گل‌انگیزی، گل‌دهی و گل‌انگیزی (گل‌انگیزی و گل‌دهی) نشان داده شده است. براساس شکل ۵ بیش‌ترین تعداد گل به‌دست‌آمده مربوط به تیمار کنترل با میانگین (35 ± 5) است. با این وجود، از میان تیمارهای صدادهی شده تیمار صوتی با بسامد ۲۰۰۰ هرتز در دوره گل‌انگیزی با مقدار میانگین (3 ± 32) دارای بیش‌ترین گل بود و در مراتب بعدی تیمار صوتی با بسامد ۵۰۰ هرتز در دوره گل‌دهی با مقدار میانگین (1 ± 31) و تیمار صوتی با بسامد ۱۰۰۰ هرتز در کل دوره گل‌انگیزی و گل‌دهی با مقدار میانگین (2 ± 29) قرار گرفتند، اما این مقادیر به لحاظ آماری نسبت به یکدیگر و نیز کنترل تفاوت معنی‌دار نداشتند $(P > 0.05)$. هم‌چنین، از شکل ۵ مشاهده می‌شود کم‌ترین تعداد گل در تیمار صدادهی شده با بسامد ۵۰۰ هرتز و در بازه زمانی دوره گل‌انگیزی با مقدار میانگین (4 ± 23) به‌دست آمد که نسبت به تیمار کنترل (5 ± 35) تفاوت معنی‌دار داشت $(P < 0.05)$. هم‌چنین، نتایج تحلیل آماری در گروه ۱ نشان داد که اعمال صوتی با بسامدهای ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز در دیگر دوره‌ها بر میزان گل‌دهی پیاز زعفران نسبت به تیمار کنترل (که صدادهی نشده‌اند) اثر معنی‌دار نداشت $(P > 0.05)$. به‌طور کلی، این نتایج نشان‌دهنده این حقیقت هستند که کلیه تیمارهای گروه ۱ مورد آزمون در این مطالعه نسبت به گروه کنترل، گل کم‌تری تولید کرده‌اند. به‌عبارت دیگر بیش‌ترین گل ایجادشده مربوط به تیمار کنترل می‌باشد که تحت هیچ القای صوتی قرار نگرفته است.

براساس شکل ۶ اثر بسامد صوتی به‌کار رفته در گروه ۲ اگرچه بر تعداد گل‌های پیاز زعفران اثرگذار بوده و

تراز فشار صدا در چهار نقطه A، B، C و D در بسامدهای بالاتر از ۳۰۰۰ هرتز حدود ۲ دسی‌بل و در بسامدهای کم‌تر از ۳۰۰۰ هرتز حدود ۵ دسی‌بل تفاوت دارد که نشان‌دهنده توزیع تقریباً یکنواخت و پخشی امواج صوتی در تمام نقاط جعبه می‌باشد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، اعمال امواج صوتی با تراز صوتی ثابت و معادل ۷۷ دسی‌بل و با بسامدهای ۵۰۰ تا ۱۶۰۰۰ هرتز بر پیازهای زعفران و در شرایط کشت بدون خاک در اتاقک رشد و در دوره‌های مختلف گل‌انگیزی، گل‌دهی و کل دوره (گل‌انگیزی و گل‌دهی) منجر به تفاوت معنی‌داری در میزان گل به‌دست آمده نشد. نتایج مطالعه حاضر با شرایط اعمال شده، نشان می‌دهد که هنوز بررسی‌های بیش‌تری باید صورت گیرد تا بتوان نتیجه شفاف‌تری برای اعمال صدادهی به این گونه از گیاهان به‌دست آورد.

۶. تقدیر و تشکر

از شرکت صنعت پروژه توس به‌ویژه آقای مهندس عباس قاسمی‌نسب کارشناس ارشد این شرکت به‌دلیل همکاری صمیمانه در طراحی جعبه صوتی و تحلیل داده‌های مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

- [1] V. Chivukula, S. Ramaswamy, "Effect of different types of music on rosa chinensis plants," International Journal of Environmental Science and Development, vol. 5, no. 5, pp. 431-434, 2014.
- [2] J. Lee Ying, J. Dayou, K. Chong, "Experimental Investigation on the effects of audible sound to the growth of escherichia coli," Modern Applied Science, vol. 3, no. 3, 2009.
- [3] M. Gagliano, S. Mancuso, D. Robert, "Towards understanding plant bioacoustics," Trends in Plant Science, vol. 17, no. 6, pp. 323-325, 2012.
- [4] F. Huda Zakariya, M. Rivai, N. Aini, "Effect of automatic Plant Acoustic Frequency Technology (PAFT) on mustard pakcoy (Brassica rapa var. parachinensis) plant using temperature and humidity parameters," IEEE, International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), pp. 334-339, 2017.

به‌خصوص در نمونه‌های با بسامد ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز بیش‌ترین میانگین تعداد گل به‌ترتیب برابر با (4 ± 66) و (9 ± 64) ، و برای نمونه کنترل (0 ± 63) به‌دست آمد اما تفاوت معنی‌دار در بین تیمارها نسبت به کنترل و یا میان خود تیمارها مشاهده نشد ($P > 0.05$).

مطالعاتی که تاکنون در زمینه صدادهی به گیاهان انجام شده است نشان می‌دهند که امواج صوتی با بسامدهای متفاوت و تراز فشار صداهای گوناگون بر رشد اندام‌های هوایی گیاهانی از جمله لوبیا و نعنا [۱۰]، لوبیای مونگ [۱۴] و نیز جوانه‌زنی بذریه‌هایی مانند کدوسبز و بامیه [۱۹]، و دانه برنج^۱ [۱۱] تأثیرگذار بوده‌اند. در حالی‌که پژوهش حاضر نشان‌دهنده نتایج عدم اثرگذاری موج صوتی تک‌بسامدی به‌کار رفته بر میزان گل‌دهی پیاز می‌باشد. عدم تأثیرگذاری معنی‌دار امواج صوتی بر پیاز زعفران و بنابراین بر میزان تولید گل می‌تواند به این معنی باشد که بسامدهای در نظر گرفته‌شده قابل نفوذ بر ساختار فشرده پیاز نبوده است و احتمالاً نیاز به اعمال امواج صوتی با بسامدهای بالاتر و یا شدت انرژی بیش‌تر می‌باشد و یا زمان بیش‌تری باید برای قرارگیری در معرض امواج در نظر گرفته شود و بنابراین بررسی‌های دقیق‌تر و جامع‌تری در این مورد نیاز است که امید می‌رود در آینده نزدیک به آن پرداخته شود.

۵. نتیجه‌گیری

صدای انتقال‌یافته از جعبه دارای بلندگو به جعبه مجاور کاهش قابل‌قبولی دارد. به‌طوری‌که آزمون‌های با و بدون صدا در دو جعبه صوتی در شرایط یکسان آب و هوایی و نور به‌طور هم‌زمان انجام شد.

در بسامدهای بالاتر از ۳۰۰۰ هرتز تراز فشار با وجود آنکه امکان تولید صدای تک‌بسامدی خالص وجود نداشت اما تراز فشار صدای طیفی بسامد مورد نظر آنقدر زیاد بود که صدای غالب محسوب می‌شد. صدای معادل کم‌تر از ۲ دسی‌بل و در بسامدهای کم‌تر از ۳۰۰۰ هرتز حدود ۵ دسی‌بل بیش‌تر از تراز فشار صدای طیفی بسامد مورد نظر بود.

¹ Paddy rice

- plants as a result of different sonic exposures,” *Ultrasonics*, vol. 41, no. 5, pp. 407-11, 2003.
- [13] T. Hou, B. Li, G. Teng, Q. Zhou, “Application of acoustic frequency technology to protected vegetable production,” *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 25, no. 2, pp. 156-160, 2009.
- [14] W. Cai, H. He, S. Zhu, N. Wang, “Biological effect of audible sound control on mung bean (*vigna radiate*) sprout,” *BioMed Research International*, vol. 4, no. 2, pp. 1-6, 2014
- [15] L. Wang, Q. Zhang, X.R. Qin, Y.T. Sun, “Design of a small reverberation box based on BEM-SEA method,” *Journal of Vibroengineering*, vol. 17, no. 4, pp. 1707-1718, 2015.
- [16] M. Long, “*Architectural Acoustics*,” Elsevier Academic Pres, 2006.
- [17] T.J. Cox, P. D’Antonio, “*Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*,” Taylor & Francis, 2009.
- [18] L. Beranek, “Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 120, pp. 1399-410, 2006.
- [19] K. Creath, G.E. Schwartz, “Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay,” *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, vol. 10, no. 1, pp. 113-22, 2004.
- [5] J. Jung, S-K. Kim, J.Y. Kim, M-J. Jeong, C-M. Ryu, “Beyond chemical triggers: Evidence for sound-evoked physiological reactions in plants,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, pp. 25, 2018.
- [6] R. Hassanien, “Effect of acoustic frequency technology on the growth of strawberry in solar greenhouse,” 18th World Congress of International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), 2014.
- [7] R.C. Mishra, R. Ghosh, H. Bae, “Plant acoustics: In the search of a sound mechanism for sound signaling in plants,” *Journal of Experimental Botany*, vol. 67, no. 15, pp. 4483-94, 2016.
- [8] N. Sarvaiya, V. Kothari, “Effect of audible sound in form of music on microbial growth and production of certain important metabolites,” *Microbiology*, vol. 84, no. 2, pp. 227-235, 2015.
- [9] A. Patel, S. Sangeetha, N. Seema, “Effect of sound on the growth of plant: Plants pick up the vibrations,” *Asian Journal of Plant Science and Research*, vol. 6, no. 1, pp. 6-9, 2016.
- [10] E. Collins, M.J.E.K Foreman, “The effect of sound on the growth of plants,” *Canadian Acoustics*, vol. 29, no. 2, pp. 3-8, 2001.
- [11] W. Bochu, C. Xin, W. Zhen, F. Qizhong, Z. Hao, R. Liang, “Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds,” *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 32, no. 1, pp. 29-34, 2003.
- [12] Y.C. Qin, W.C. Lee, Y.C. Choi, T.W. Kim, “Biochemical and physiological changes in

(Research Article)
**Investigating the acoustic parameters for sounding saffron corms in
greenhouse cultivation condition**

A. Faezian¹, B.M. Razavizadeh^{*2}

1. Department of Food Machineries, Research Institute of Food Science and Technology

2. Department of Food Safety and Quality Control, Research Institute of Food Science and Technology

Received: 2020/04/11, Accepted: 2020/07/27

Abstract

In the present study, the acoustic parameters for inducing sound waves on saffron corms in the controlled environment and aeroponic cultivation method have been investigated. For this purpose, the acoustic box, tools and conditions for sound emission in the box were designed and prepared without affecting the adjacent box which was meant to be without sound. Due to the location of the speaker, acoustic parameters were measured for four points inside the box, including the door on the left, the door on the right, the side wall on the right, and the ceiling. Based on the analysis of the obtained sound parameters, sounding was performed on two groups of saffron corms under the sound pressure level of 77 dB. In the first group, sound waves with frequencies of 500, 1000, 2000 Hz were done in different stages of flowering induction, flowering and the whole stage of flower formation. In the second group, sounding was performed on the corms only during the flowering stage with the frequencies of 4000, 8000, 12000 and 16000 Hz. Statistical results of flowering of saffron corms showed that with the acoustic conditions, the number of flowers was not significantly different from the control ($P>0.05$).

Keywords: Sound, Plant acoustic frequency technology, Flowering, saffron.

pp. 78-87 (In Persian)

* Corresponding author E-mail: m.razavizadeh@rifst.ac.ir