نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۸، شماره ۴،زمستان ۱۳۹۹ ص. ۵۷۴-۵۴۳

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 8, No. 4, Winter 2021, P. 543-574

مقاله پژوهشی

تأثیر امواج صوتی شنیداری بر میزان بازدهی بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) در شرایط کنترل شده

بی بی مرضیه رضوی زاده[1*]، عبدالله ملافیلابی[2]، علی فائزیان[3] و نورا عربشاهی دلوئی[4]

تاریخ دریافت: ۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ **تاریخ پذیرش:** ۲۳ شهریور ۱۳۹۹

رضوی زاده، ب.م.، ملافیلابی، ع.، فائزیان، ع.، و عربشاهی دلوئی، ن.، ۱۳۹۹. تأثیر امواج صوتی شنیداری بر میزان بازدهی بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) در شرایط کنترل شده. زراعت و فناوری زعفران، ۸(۴): ۵۷۴-۵۴۳.

چکیده

اثر امواج صوتی بر بنه زعفران در محیط کنترل شده و به روش هواکشت بر میزان گلدهی و تولید کلاله‌ی زعفران بررسی گردید. امواج صوتی با تراز فشار صوت معادل ۷۷ دسی‌بل و در مدت زمان ۱۵ دقیقه در روز به دو گروه از بنه‌های زعفران القا شد. در گروه اول امواج صوتی با تک فرکانس‌های ۰/۵، ۱ و ۲ کیلوهرتز و نیز یک نوع صوت موسیقی کلاسیک به بنه‌ها در سه دوره مختلف گل‌انگیزی، گلدهی و کل دوره (گل‌انگیزی و گلدهی) القا شدند و در گروه دوم این آزمون بر روی بنه‌ها تنها در دوره گلدهی و با تک فرکانس‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ کیلوهرتز انجام شد. همچنین، تأثیر مدت زمان صوت‌دهی در مدت زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در روز در فرکانس صوتی ۱۶کیلوهرتز بر عملکرد بنه بررسی گردید. نتایج آماری نشان داد که در گروه اول القای صوت تک فرکانسی منجر به تولید گل و نیز کلاله زعفران به میزان کمتر یا برابر با شاهد شد، اما این تفاوت‌ها به استثنای تیمار با فرکانس ۰/۵ کیلوهرتز در دوره گل‌انگیزی در بقیه تیمارها معنی‌دار نبود ($P>0/05$). اعمال صوت موسیقی نیز در دوره‌های مختلف رشد بنه سبب کاهش بازدهی گلدهی آن نسبت به شاهد گشت. در میان تیمار-های گروه دوم میانگین مقدار گل بدست آمده در فرکانس‌های ۴ و ۸ کیلوهرتز بیشتر از نمونه‌ی شاهد بود. در تیمار با فرکانس ۴ کیلوهرتز که بیشترین مقدار گل و کلاله را تولید کرد میزان افزایش بازدهی گلدهی بنه زعفران بیش‌تر از ۴/۰ درصد بود. همچنین افزایش مدت زمان صوت‌دهی از ۱۵ دقیقه به ۳۰ و ۶۰ دقیقه در روز سبب افزایش معنی‌دار تعداد گل شد و بازدهی گلدهی بنه زعفران در مدت زمان‌های صوت‌دهی ۳۰ و ۶۰ دقیقه نسبت به شاهد به ترتیب ۶/۰ و ۱۰/۴ درصد افزایش یافت.

کلمات کلیدی: بازدهی گلدهی، بنه زعفران، فناوری امواج صوتی، موسیقی، هواکشت

۱- دانشیار، گروه ایمنی و کنترل کیفیت مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۲- دانشیار، گروه زیست فناوری غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.
۳- دانشیار، گروه ماشین آلات صنایع غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.
۴- دانشجوی کارشناسی، گروه زیست شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: m.razavizadeh@rifst.ac.ir)

DOI: 10.22048/JSAT.2020.228776.1392

مقدمه

زراعت و تولید زعفران در بسیاری از مناطق ایران با استفاده از روش‌ها و بینش‌های سنتی صورت می‌گیرد (Behdani & Fallahi, 2015). در ایران کشت زعفران عمدتاً به صورت سنتی و به شکل کرتی و کپه‌ای و در موارد اندکی به صورت پشته‌ای رایج می‌باشد (Molafilabi, 2000; Behdani et al., 2005). کشت بدون خاک روشی نوین برای پرورش گیاهانی است که در آن از خاک زراعی استفاده نمی‌شود و به جای خاک از موادی مانند پرلیت، پیت ماس، پومیس ورمی کولیت، شن و خاک اره استفاده می‌گردد. این بسترها باید ارزان، قابل دسترس بوده و از نظر شیمیایی خنثی و از نظر فیزیکی پایدار باشند، عاری از عوامل بیماری‌زا بوده و به حد کافی دارای ظرفیت نگهداری آب و هوا باشند (Molafilabi & Faizi, 2013). تولید زعفران در محیط کنترل شده و به روش کشت بدون خاک می‌تواند باعث افزایش کارایی مصرف آب، افزایش میزان عملکرد بنه زعفران، پرهیز از نیاز به نیروی کارگری زیاد در طی یک دوره زمانی کوتاه و آزاد سازی حجم وسیعی از آب و اراضی زراعی برای تولید سایر محصولات کشاورزی گردد (Behdani & Fallahi, 2015).

فناوری امواج صوتی گیاه[1] (PAFT) عبارت از اثرگذاری یا تیمار گیاه با یک موج صوتی با فرکانس خاص است که برای جذب صدا و تحت تأثیر قراردادن گیاهان هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hassanien et al., 2014). مطالعات مربوط به صوت گیاهی در دهه ۱۹۵۰ با چندین گزارش حاکی از تأثیر صدای موسیقی بر گیاهان آغاز شد (Ekici et al., 2007). این ادعاها توجه علمی گسترده‌ای را به سمت صوت گیاهان جلب کرده است به‌طوری‌که صداهای با فرکانس‌های متفاوت در زمینه‌های مختلف به‌کار گرفته شده‌اند (Collins & Foreman, 2001; Ekici et al., 2007; Jeong et al., 2008; Chowdhury & Bae, 2014; Mescher & De Moraes, 2015). به‌عنوان مثال، مطالعات پژوهشگران نشان داده است که در تکنیک‌های کشت بافت گیاهی، ارتعاشات صوتی برای افزایش ارگانوژنز پیشنهاد شده است (Teixeira da Silva & Dobránszki, 2014). همچنین، امواج فراصوت (صدای با فرکانس‌های بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز) با موفقیت برای تقویت انتقال واسطه آگروباکتریوم چندین گیاه از جمله *Vigna anguiculata*، *Glycine max*، *Triticum aestivum* و *Zea mays* استفاده شده است (Trick & Finer, 1997). علاوه بر این نشان داده شده است که امواج فراصوت باعث تحریک رشد و توسعه گونه‌های مختلف گیاهی در محیط آزمایشگاهی[2] می‌شوند. به‌عنوان مثال، سلول‌های هویج وحشی *Daucus carota* به روش تعلیق در معرض موج مداوم فراصوت (۲۸ کیلوهرتز) قرار گرفتند. نتایج تجربی نشان داد که مدت زمان قرارگیری درمعرض فراصوت می‌تواند تأثیر مثبت یا منفی بر رشد سلول های گیاهی در کشت تعلیق داشته باشد (Bochu et al., 1998). لیو و همکاران (Liu et al., 2003) تأثیر تحریک فراصوت (۲۸ کیلوهرتز) بر رشد و تکثیر سلول‌های *Oryza sativa* Nipponbare (کالوس برنج) را در کشت تعلیق بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که تحریک فراصوت می‌تواند باعث رشد و تکثیر سلول‌های *O. sativa* Nipponbare در کشت تعلیق با تحریک بهینه ۵ ثانیه شود، در حالی‌که تحریک طولانی‌تر فراصوت ممکن است ساختار سلولی مانند غشای سلولی ، اسکلت سلولی و میتوکندری را فعال یا از بین ببرد. آنانتاکریشنان و همکاران (Ananthakrishnan et al., 2007) نشان دادند که تیمار فراصوت (۰/۵ تا ۲ دقیقه) بازسازی شاخه‌های چندگانه

1 Plant acoustic frequency technology

2 In vitro

را در ریزگردهای گلبرگ کدو تنبل *Cucurbita pepo* L. تحریک می‌کند.

از سوی دیگر، فناوری امواج صوتی در محدوده شنیداری انسان نیز روی گیاهان مختلف اعمال شده است. اثرات ارتعاشات صداها بر افزایش رشد گیاهان سبب شد تحقیقات صوت گیاه به عنوان ابزاری در زیست‌فناوری و کشاورزی برای درک اهمیت بوم شناختی پاسخ گیاهان به ارتعاشات صوتی طبیعی مورد نظر قرار گیرد (Mishra et al., 2016). به عنوان مثال، امواج صوتی با فرکانس‌های متفاوت (۵۰۰، ۵۰۰۰، ۶۰۰۰، ۱۲۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ هرتز با تراز فشار صوت[1] ۹۱-۹۴ دسی‌بل در طی دو دوره ۱۶ روز و ۲۸ روز بر گیاهان لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris*) و امپاتیانس (*Impatiens*) اعمال شد (Collins & Foreman, 2001). لوبیای معمولی حداکثر رشد را در ۵۰۰۰ هرتز نشان داد در حالی‌که امپاتیانس بهترین پاسخ را در ۱۲۰۰۰ هرتز نشان دادند. همچنین، نتایج نشان داد که امواج صوتی بر رشد اندام‌های هوایی این گیاهان تنها در طی دوره ۲۸ روزه موثر بود. بوچو و همکاران (Bochu et al., 2003) نشان دادند که تحت تیمار با امواج صوتی با فرکانس ۴۰۰ هرتز و ۱۰۶ دسی‌بل برنج paddy rice افزایش قابل‌توجهی در شاخص جوانه‌زنی، ارتفاع شاخه، وزن تازه، فعالیت سیستم ریشه و نفوذپذیری غشای سلولی مشاهده شد. یانگ و همکاران (Yang & Wang, 2004) نشان دادند که امواج صوتی طول، تعداد و فعالیت کل ریشه‌های گیاه دارویی کیوی طلایی (*Actinidia chinensi*) را افزایش داد. کای و همکاران (Cai et al., 2014) صوتی در محدوده فرکانس‌های ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ هرتز و تراز فشار صوت ۸۰، ۹۰، و ۱۰۰ دسی‌بل را در مدت زمان ۷۲ ساعت به لوبیای Mung القا کردند و دریافتند که امواج صوتی با فرکانس ۲۰۰۰ هرتز و تراز فشار صوت ۹۰ دسی‌بل بیشترین تأثیر را بر کاهش دوره جوانه‌زنی و نیز رشد گیاه داشتند. همچنین، استفاده از فناوری امواج صوتی سبب شد که تعداد برگ و گل، محتوای کلروفیل و عملکرد گیاهان گوجه فرنگی، کاهو، و اسفناج افزایش یابد (Hassanien et al., 2014). استفاده از امواج صوتی شنیداری تنها به استفاده از صوت‌های تک فرکانسی محدود نشده است و بلکه کاربرد امواج موسیقی که مرکب از چندین فرکانس هستند نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، اثرات بیولوژیکی صوت، موسیقی و نویز بر جوانه‌زنی دانه‌های بامیه و کدو سبز توسط کریست و همکاران (Creath & Schwartz, 2004) بررسی شدند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که ارتعاشات صدا (موسیقی و نویز) به طور مستقیم بر سیستم‌های بیولوژیک زنده تأثیر می‌گذارد.

با توجه به این‌که مطالعات انجام شده در زمینه فناوری امواج صوتی تا کنون برروی جوانه‌زنی بذر گیاهان و یا رشد اندام هوایی آن‌ها مطالعه شده است، در این پژوهش تلاش شده است تا اثر امواج صوتی با فرکانس‌های ناحیه شنوایی انسان بر عملکرد بنه زعفران در شرایط کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

بنه زعفران ۴ ساله (از گونه *Crocus sativus* L.) از منطقه چناران (از شهرهای استان خراسان رضوی و واقع در فاصله ۵۰ کیلومتری شمال غربی مشهد با مختصات (طول: ۵۹ درجه، ۶ دقیقه، ۵۸/۷۹۹ ثانیه؛ عرض: ۳۶ درجه، ۳۸ دقیقه، ۵۰/۰۲۸ ثانیه؛ ارتفاع از سطح دریا: ۱۱۷۵ متر) تهیه گردید.

اتاقک رشد

اتاقک رشد با مساحت ۴× ۲ متر مربع و ارتفاع ۲/۵ متر و دارای طبقات فلزی برای قرار دادن تیمارها مورد استفاده قرار گرفت. برای صوت دهی به هر تیمار از جعبه صوت استفاده شد

1 Surface Pressure Level

و از رایانه برای پخش صوت فرکانس‌های مورد نظر با استفاده از دو اسپیکر متصل به آن و مستقر در درون جعبه صوت استفاده گردید (شکل ۱). لازم به توضیح است که جعبه صوت از جنس ورق‌های گالوانیزه بود که با ضخامت ۲ میلی‌متر و در ابعاد ۸۳۸×۳۹۸×۵۰۰ میلی‌مترمکعب طراحی و ساخته شد و برای محیط صوت‌دهی به بنه‌های زعفران استفاده شد (Faezian & Razavizadeh, 2020).

برای ایجاد رطوبت مورد نیاز از دو عدد دستگاه بخارساز (Nisaz, MF 2010, , Iran) استفاده گردید. رطوبت محیط در دو دوره گل‌انگیزی و گلدهی بر روی ۵ ± ۷۷ درصد تنظیم گشت. تنظیم دما با استفاده از کولرگازی پنجره‌ای (LG 19000 BTU, W196BC, Korea) و تثبیت آن بر روی دمای مورد نظر انجام گرفت. در زمان گل‌انگیزی دما بر روی ۱ ± ۲۶ درجه سانتی‌گراد و در زمان گلدهی بر روی ۱ ± ۱۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. لازم به ذکر است که برای کنترل دما و رطوبت محیط از یک کنترل‌گر رطوبت‌سنج- دماسنج دیجیتال (LCD Digital Temperature & Humidity Meter HTC-1, China) استفاده شد. نوردهی به بنه‌ها با استفاده از لامپ‌های اِل- ایی- دی از نوع بلوکی لنزدار ضد آب (Samsung led, SMD 5730 RGB LED chip, Korea) با نور آفتابی و با شدت میانگین ۳۵۰ لوکس از فاصله ۵۰ سانتی‌متری بالای بنه‌ها انجام شد. دوره گل‌انگیزی به مدت ۳ ماه و بدون نوردهی و دوره گل‌دهی به مدت یک ماه و شامل ۸ ساعت نوردهی و ۱۶ ساعت تاریکی اعمال شد. گل‌های زعفران در اواخر آبان‌ماه به مدت ۱۰ روز جمع‌آوری شدند و پس از شمارش تعداد گل در هر تیمار، وزن گل‌های هر تیمار و نیز وزن کلاله تر و خشک آن‌ها در هر تکرار انجام شد.

شکل۱- جعبه صوت طراحی شده برای صوت دهی به بنه‌های زعفران
Figure 1- Desighned acoustic box for sonication to saffron corms.

تیمار بندی بنه‌های زعفران

بنه‌های زعفران بعد از تمیزسازی خاک و پوشال‌های اضافی آن‌ها وزن شده و بنه‌های با وزن بالای ۱۰ گرم کدگذاری شدند و پس از دسته‌بندی در سبدهای پلاستیکی با ابعاد ۲۰ × ۳۰ سانتی‌متر مربع که کف آن‌ها با کاغذ و کوکوپیت (ارتفاع حدود ۱ سانتی‌متر) پوشانده شده بود جای‌گذاری شدند و سبدها در

اتاقک رشد قرار داده شدند. قابل ذکر است که این آزمون در دو سال متوالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به شرحی که در ادامه آمده است برگزار شد و به همین دلیل بنه‌های به دو گروه ۱ و ۲ دسته بندی شدند. در گروه ۱ (سال اول) تیمارها متشکل از ۴ تیمار صوتی در سه دوره تشکیل گل و در ۳ تکرار بودند. تیمارهای صوتی شامل سه موج صوتی تک فرکانسی با فرکانس‌های ۰/۵، ۱، و ۲ کیلوهرتز و نیز یک موج صوتی از نوع موسیقی کلاسیک (ترکیبی از فرکانس‌های مختلف در بازه ۰ تا ۱۶ کیلوهرتز) بودند و دوره‌های تشکیل گل نیز شامل دوره خواب یا گل‌انگیزی (FIP، به مدت ۳ ماه) ، دوره گلدهی (FP، به مدت ۱ ماه)، و کل دوره گل‌انگیزی و گلدهی (TP، به مدت ۴ ماه) بودند. در سال دوم (یا گروه ۲) این آزمون بر روی بنه‌های زعفران تنها برای دوره گلدهی (به مدت ۱ ماه) و در تیمارهای صوتی با چهار موج صوتی تک فرکانسی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ کیلوهرتز انجام شد. زمان صوت دهی برای کلیه تیمارهای با صوت تک فرکانسی در هر دو گروه ۱۵ دقیقه در روز و برای تیمار صوت موسیقی ۱۲۰ دقیقه در روز در نظر گرفته شد. همچنین، برای بررسی اثر زمان صوت دهی، از گروه ۲ دو تیمار دیگر با موج صوتی تک فرکانسی ۱۶ کیلوهرتز و در مدت زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه علاوه بر زمان صوت‌دهی ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که تیمارهای شاهد برای هر یک از گروه‌های ۱ و ۲ (بنه‌هایی که تحت القای امواج صوتی قرار نگرفتند) به طور مجزا در نظر گرفته شدند که به ترتیب به نام‌های C1 و C2 نام‌گذاری شدند.

شکل ۲- گل‌های حاصل از بنه‌های زعفران صوت‌دهی شده در تیمارهای مختلف تحت شرایط کنترل شده هواکشت

Figure 2- The resulted flowers of sounded saffron corms in different treatments under aeroponic controlled conditions.

روش آماری

آنالیز آماری داده‌ها بر اساس طرح کاملاً تصادفی (تجزیه واریانس یک‌طرفه) انجام و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب نسخه ۴. ۲. ۱۶ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی[1] در سطح اطمینان ۹۵ درصد، (۰/۰۵

1 Tukey

P<) انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ رسم شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام گردید.

نتایج و بحث

تأثیر صوت دهی با امواج صوتی تک فرکانسی در دوره‌های رشد بنه

جدول ۱ نتایج آنالیز آماری از کشت بنه‌های زعفران مربوط به گروه ۱ را نشان می‌دهد. قابل توجه است که علاوه بر ثابت نگه داشتن تعداد بنه‌ها در هر تیمار، انتخاب بنه‌ها به طوری انجام شد که میانگین وزن هر تیمار با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشته باشند (P>۰/۰۵). بر پایه نتایج بدست آمده در جدول ۱، تعداد گل‌های ایجاد شده در هر یک از تیمارها از شاهد کمتر بود. مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر این بود که کمترین تعداد گل با مقدار میانگین (۴/۵۱ ± ۲۲/۶۷) در تیمار دوره FTP با فرکانس ۰/۵ کیلوهرتز حاصل شد. همچنین در همین فرکانس بیشترین تأثیر بر تعداد گل بدست آمده از بنه‌ها مربوط به بازه گلدهی (FP) با مقدار میانگین (۱/۱۵ ± ۳۱/۳۳) بود. در حالی که در فرکانس‌های ۱ و ۲ کیلوهرتز بیشترین تأثیر صوت‌دهی را در دوره گل‌انگیزی (FIP) بر تعداد گل بنه‌ها داشته است و این تأثیر در دوره گلدهی (FP) و کل دوره (TP) کاهش یافته است. داده‌های آنالیز آماری و میانگین نتایج بدست آمده نشان داد که اعمال امواج صوتی با فرکانس‌های ۰/۵، ۱ و ۲ در هر یک از بازه‌های زمانی به استثنای تیمار (FIP0.5) صوت دیده با فرکانس ۰/۵ کیلوهرتز و در بازه زمانی دوره گل‌انگیزی (FIP) با مقدار میانگین (۴/۵۱ ± ۲۲/۶۷) اثر معنی‌داری بر میزان گلدهی بنه زعفران نداشتند (P>۰/۰۵). بر اساس این نتایج، بیشترین گل ایجاد شده (۴/۵۸ ± ۳۵/۰۰) مربوط به تیمار شاهد بود که تحت هیچ القای صوتی قرار نگرفته بود.

بر خلاف معنی‌دار بودن تعداد گل مربوط به تیمار صوت‌دهی شده برای فرکانس ۰/۵ هرتز در دوره گل‌انگیزی (FIP)، مقدار کلاله بدست آمده از این تیمار نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). همچنین، بر اساس جدول ۱ مشابه با تعداد گل بدست آمده از تیمارها، وزن گل‌ها، وزن کلاله‌های تر و نیز وزن کلاله‌های خشک در تیمارهای این گروه نیز نسبت به شاهد کمتر بدست آمد اما این مقادیر فاقد تفاوت معنی‌دار بودند. ملافیلابی و فیضی (Molafilabi & Faizi, 2013) در پژوهش خود بر روی اثر وزن بنه زعفران بر میزان گلدهی بنه دریافتند که میزان گل بدست آمده با وزن بنه‌های به کار رفته رابطه مستقیم دارد و هرچه وزن بنه بیشتر باشد تعداد گل آن هم افزایش می‌یابد به طوری که در برخی از بنه‌ها تا ۱۰ گل نیز جمع‌آوری شد. از آن‌جایی که در پژوهش حاضر از بنه‌های با وزن‌های مختلف بالای ۱۰ گرم در هر تیمار استفاده شد به طوری که نه تنها تعداد بنه‌ها در هر تیمار مساوی باشند بلکه وزن سبدها (تیمارها) به یکدیگر نزدیک باشند و میانگین وزن تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشته باشند، لذا ملاحظه می‌شود که وجود و یا عدم تفاوت معنی‌دار در تعداد گل‌ها به وزن کلی بنه‌ها در هر تیمار بستگی نداشته و بلکه تنها اثر صوت‌دهی است که در این نتایج قابل توجه است.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد در گروه دوم، اثر صوت‌دهی به بنه‌ها در فرکانس‌های ۴، ۸، ۱۲، و ۱۶ کیلوهرتز تنها در دوره زمانی گلدهی (FP) به مدت یک ماه بررسی گردید. نتایج آنالیز آماری بدست آمده از این آزمون در جدول ۲ ارائه شده است. بر پایه آنالیز آماری داده‌ها در این گروه، تنها اعمال امواج صوتی با فرکانس‌های ۴ و ۸ کیلوهرتز روی بنه‌های زعفران سبب افزایش تعداد گل‌ها در تیمارهای F4 و F8 به ترتیب با تعداد میانگین (۱/۵ ± ۶۵/۵) و (۰/۵ ± ۶۴/۰) گل شد.

جدول ۱- داده‌های حاصل از اثر صوت دهی به مدت ۱۵ دقیقه در روز بر هر یک از تیمارها در گروه ۱ (میانگین داده‌ها ± انحراف استاندارد)

Table 1- Statistical data from the effect of sound for 15 minutes per day on each of the treatments in group 1 (average data± SD)

تیمار ** Treatment	**وزن بنه‌ها** Corms weight (g)	**تعداد گل‌ها*** Flowers No.	**وزن گل‌ها** Flowers weight (g)	**وزن کلاله‌تر** Fresh stigma weight (g)	**وزن کلاله خشک** Dry stigma weight (g)
FIP0.5	375.0 ± 5.7 [a]	22.67 ± 4.51 [b]	11.55 ± 1.48 [a]	1.12 ± 0.12 [a]	0.199 ± 0.029 [a]
FIP1	371.8 ± 1.8 [a]	29.00 ± 1.73 [ab]	12.00 ± 1.05 [a]	1.20 ± 0.07 [a]	0.266 ± 0.012 [a]
FIP2	374.4 ± 3.1 [a]	31.67 ± 3.21 [ab]	13.10 ± 0.94 [a]	1.23 ± 0.12 [a]	0.265 ± 0.043 [a]
C1	369.2 ± 5.7 [a]	35.00 ± 4.58 [a]	13.15 ± 1.78 [a]	1.38 ± 0.20 [a]	0.294 ± 0.043 [a]
FP0.5	374.7 ± 1.8 [a]	31.33 ± 1.15 [ab]	12.21 ±1.21 [a]	1.16 ± 0.11 [a]	0.250 ± 0.025 [a]
FP1	374.7 ± 3.1 [a]	29.33 ± 2.08 [ab]	12.32 ± 0.77 [a]	1.17 ± 0.11 [a]	0.252 ± 0.031 [a]
FP2	375.7 ± 10.3 [a]	28.67 ± 3.06 [ab]	11.99 ± 0.79 [a]	1.10 ± 0.09 [a]	0.237 ± 0.018 [a]
C1	369.2 ± 5.7 [a]	35.00 ± 4.58 [a]	13.15 ± 1.78 [a]	1.38 ± 0.20 [a]	0.294 ± 0.043 [a]
TP0.5	373.6 ± 4.0 [a]	28.67 ± 4.62 [ab]	12.09 ± 1.76 [a]	1.13 ± 0.18 [a]	0.248 ± 0.040 [a]
TP1	374.0 ± 1.6 [a]	29.33 ± 6.66 [ab]	11.67 ± 2.28 [a]	1.14 ± 0.27 [a]	0.247 ± 0.058 [a]
TP2	373.5 ± 1.2 [a]	27.67 ± 3.06 [ab]	11.76 ± 1.87 [a]	1.08 ± 0.14 [a]	0.239 ± 0.029 [a]
C1	369.2 ± 5.7 [a]	35.00 ± 4.58 [a]	13.15 ± 1.78 [a]	1.38 ± 0.20 [a]	0.294 ± 0.043 [a]

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) میان داده‌ها در هر ستون می‌باشد.

** کد تیمارها بر اساس دوره: دوره گل‌انگیزی (FIP)، دوره گلدهی (FP) و کل دوره گل‌انگیزی و گلدهی (TP)، و عدد نشان دهنده فرکانس به کار رفته است و (C1) شاهد در گروه ۱ است.

* Different letters indicate a significant difference (P<0.05) between the data in each column.

** The treatment Code is based on: Flower induction period (FIP), flowering period (FP), and total of flowering formation (TP), and the number indicating the frequency used, and C1 control in group 1.

این افزایش در تیمار F4 نسبت به شاهد با تعداد گل ۶۳ معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). کمترین تعداد گل در گروه ۲، در تیمار F12 با اعمال فرکانس صوتی ۱۲ کیلوهرتز و با مقدار متوسط (۱/۰ ± ۵۸/۰) گل بدست آمد. کاهش تعداد گل در این تیمار نسبت به شاهد (۰/۰ ± ۳۵/۰) و نیز دیگر تیمارهای این گروه معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). همچنین در تیمار F6 با اعمال فرکانس صوتی ۱۶ کیلوهرتز تعداد میانگین گل ۶۲/۵ بدست آمد که نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. نکته قابل‌توجه این‌که با وجود معنی‌دار بودن تعداد گل‌ها در میان تیمارهای گروه، میان وزن گل‌ها و نیز وزن کلاله‌های تر و خشک نسبت به شاهد در میان تیمارها نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید (P>۰/۰۵).

جدول ۲- داده‌های حاصل از اثر صوت‌دهی به مدت ۱۵ دقیقه در روز در دوره گلدهی (FP) بر هر یک از تیمارهای گروه ۲ (میانگین داده‌ها ± انحراف استاندارد)

Table 2- Statistical data from the effect of sound for 15 minutes a day in the flowering period (FP) on each of the group 2 treatments (average data± SD)

تیمار* Treatment	**وزن بنه‌ها** Corms weight (g)	**تعداد گل‌ها** Flowers No.	**وزن گل‌ها** Flowers weight (g)	**وزن کلاله‌تر** Fresh stigma weight (g)	**وزن کلاله خشک** Dry stigma weight (g)
F4	[a] 687.34 ± 7.11	65.5 ± 1.5 [a]	25.404 ± 1.745 [a]	1.863 ± 0.128 [a]	0.382 ± 0.026 [a]
F8	688.64 ± 6.50 [a]	64.0 ± 0.5 [ab]	25.707 ± 3.615 [a]	1.864 ± 0.262 [a]	0.367 ± 0.000 [a]
F12	683.90 ± 0.53 [a]	58.0 ± 1.0 [c]	23.068 ± 0.398 [a]	1.813 ± 0.031 [a]	0.342 ± 0.006 [ab]
F16	683.00 ± 0.85 [a]	62.5 ± 0.5 [b]	24.378 ± 3.706 [a]	1.754 ± 0.267 [a]	0.360 ± 0.055 [a]
C2	681.34 ± 0.20 [a]	63.0 ± 0.0 [b]	23.770 ± 0.007 [a]	1.789 ± 0.000 [a]	0.367 ± 0.000 [a]

* کد تیمارها بر اساس فرکانس به کار رفته است و (C2) شاهد در گروه ۲ است. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) میان داده‌ها در هر ستون می‌باشد.

* The treatment code is based on the frequency used, and C2 is control in group 2. Different letters indicate a significant difference (P<0.05) between the data in each column.

مقایسه‌ی نتایج حاصل از صوت‌دهی در فرکانس‌های ۰/۵، ۱ و ۲ کیلوهرتز و در دوره گلدهی (FP) (جدول ۱) با تیمارهای جدول ۲ نشان می‌دهد که تعداد گل و نیز وزن کلاله خشک یا تر در هر یک از تیمارهای گروه ۱ نسبت به تیمار شاهد این گروه کمتر است در حالی‌که در گروه ۲ تعداد گل و نیز وزن کلاله تر و خشک در تیمار های F4 و F8 نسبت به تیمار شاهد همین گروه بیشتر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بنه-های صوت دیده با فرکانس‌های کمتر یا مساوی ۲ کیلوهرتز دارای بازدهی کمتری نسبت به بنه‌های صوت دیده با فرکانس-های ۴ کیلوهرتز و بالاتر بودند. برای درک بیشتر تفاوت تأثیر فرکانس امواج صوتی بر بنه‌ها بازدهی گلدهی بنه‌ها از رابطه (۱) محاسبه شد:

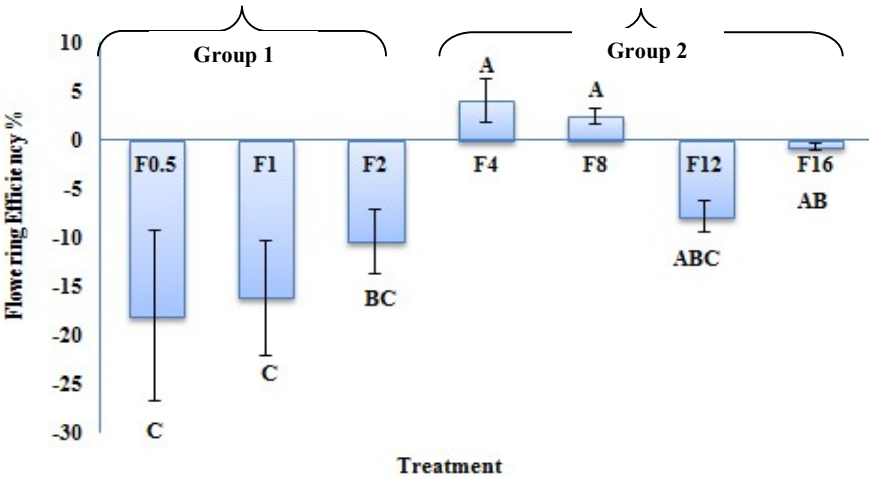
(۱) ۱۰۰ * (تعداد گل شاهد/(تعداد گل شاهد − تعداد گل تیمار صوتی))= بازدهی گلدهی بنه زعفران

با توجه به این که در بین فرکانس‌های به کار رفته بیشترین تعداد گل و نیز بیشترین مقدار کلاله زعفران در تیمار F4 با اعمال فرکانس صوتی ۴ کیلوهرتز بدست آمد، میزان افزایش بازدهی گلدهی زعفران بدست آمده در این تیمار بیش‌تر از ۴/۰ درصد بود. این در حالی است که برای تیمار F12 با کمترین مقدار گل بازدهی گلدهی بنه نسبت به شاهد ۷/۹ درصد کاهش یافت. شکل ۳ نتایج کاهش یا افزایش بازدهی گلدهی بنه‌های زعفران را در هردوگروه ۱ و ۲ نسبت به فرکانس‌های به کار رفته در دوره گلدهی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که بر اساس رابطه (۱) بازدهی گلدهی منفی (در محور عمودی) به معنی کاهش مقدار گل تولید شده در تیمار صوت‌داده شده نسبت به تیمار شاهد مربوط به همان گروه است. همچنین بر اساس شکل ۲ ملاحظه می‌شود که در گروه ۱ بیشترین تأثیر منفی در بازدهی گلدهی (یا کاهش تولید گل) در تیمار صوت‌داده شده در دوره گلدهی و با فرکانس ۲ کیلوهرتز بود و کمترین آن در فرکانس ۰/۵ کیلوهرتز بدست آمده است.

در رابطه با اثر امواج صوتی با فرکانس‌های مختلف مطالعات گسترده‌ای بر روی گیاهان متفاوت انجام شده است. زوجوآن و همکاران (Xiujuan et al., 2003) از افزایش معنی‌داری در شاخص جوانه زنی، ارتفاع شاخساره ، وزن تازه ، فعالیت سیستم ریشه و نفوذپذیری غشای سلولی برنج paddy که تحت تیمار با امواج صوتی با فرکانس ۴۰۰ هرتز و تراز فشار صوت ۱۰۶ دسی‌بل قرار گرفت گزارش داده است. در مورد گیاه دارویی *Actinidia chinensis*، امواج صوتی به کار رفته، طول، تعداد و فعالیت کل ریشه‌ها را افزایش دادند (Xiaocheng et al., 2003). جوانه زنی دانه های گل آفتابگردان بنفش *Echinacea angustifolia*، که بسیار خفته هستند، پس از تیمار با امواج صوتی با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و تراز فشار صوت ۱۰۰ دسی‌بل افزایش یافت (Chuanren et al., 2004). ایکیسی و همکاران (Ekici et al., 2007) تأثیر عناصر مختلف موسیقی را بر رشد ریشه و میتوز در بنه (*Allium cepa*) به عنوان یک مطالعه تجربی موسیقی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آن‌ها نشان داد موسیقی تأثیرات مثبتی بر رشد ریشه و تقسیم میتوزی در سلول‌های نوک ریشه بنه دارند اما اشعار در حال تغییر ریتمیک بسیار بهتر اثر می‌گذارند. هو و همکاران (Hou et al., 2009) نشان دادند امواج صوتی با فرکانس‌ها و تراز فشار صوت‌های مختلف، دوره‌های قرار گرفتن در معرض صوت و فاصله از منبع، بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند. آزمایش‌ها در محیط‌های باز و نیز تحت شرایط رشد گلخانه‌ای با سطوح مختلف فرکانس‌های صوتی محدوده شنوایی و سطح فشار صدای حدود ۸۰ دسی‌بل انجام شده است. گیاهان تیمار شده شامل فلفل، 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 به طور خاص تولید سبزیجات را افزایش دهد، کیفیت محصولات را بهبود بخشد، و قابلیت مقاومت به بیماری را تقویت کند. از سوی دیگر، گیاهان پنبه‌ای که در معرض PAFT قرار گرفتند، افزایش قد ، عرض برگ، تعداد شاخه‌ها و قوزه‌های پنبه و وزن هر قوزه را نشان دادند (Hou et al., 2010). همچنین، تیمار گیاه توت فرنگی با PAFT سبب افزایش ویژگی‌های فتوسنتزی در آن شد و مقاومت آن را به بیماری بدون تأثیر در عملکرد بهبود بخشید (Qi et al., 2010). تیمار گیاهان برنج با PAFT باعث افزایش بازدهی و نیز کیفیت دانه شد؛ به‌طوری‌که عملکرد ۵/۷ درصد افزایش یافت و میزان پروتئین موجود در دانه‌ها ۸/۹ درصد افزایش نشان داد (Hassanien et al., 2014).

بر اساس مطالعات انجام شده بر روی گیاهان مختلف، عدم تأثیرگذاری معنی‌دار امواج صوتی در فرکانس‌های ۲ کیلوهرتز و یا کمتر از آن بر بنه زعفران و بنابراین بر میزان تولید گل یا کلاله تولید شده می‌تواند به این معنی باشد که فرکانس‌های در نظر گرفته شده قابل نفوذ بر ساختار فشرده بنه زعفران نبوده است و احتمالاً نیاز به اعمال امواج صوتی با فرکانس‌های بالاتر و یا شدت انرژی بیشتر می‌باشد و یا زمان بیشتری باید برای قرارگیری در معرض امواج در نظر گرفته شود. از این رو در ادامه پژوهش، اثر مدت زمان قرارگیری در معرض القای امواج صوتی بر روی یکی از تیمارهای گروه ۲ (تیمار F16) در طول دوره گلدهی (FP) مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳- مقایسه بازدهی گلدهی تیمارهای بنه زعفران در دو گروه ۱ و ۲ (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) میان تیمارها است.)

Figure 3- Comparison of flowering efficiency in the saffron corm treatments for both of groups 1 and 2 (Different letters indicate a significant difference (P<0.05) between the treatments.).

تأثیر مدت زمان صوت‌دهی در رشد بنه

برای بررسی اثر مدت صوت‌دهی بر بنه زعفران، سه تیمار با فرکانس ثابت ۱۶ کیلوهرتز در زمان‌های صوت‌دهی ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در روز در نظر گرفته شد و نسبت به تیمار شاهد (زمان صفر یا بدون صوت‌دهی) اثرات سنجیده شدند. نتایج آنالیز آماری درج شده در جدول ۳ بیانگر این مطلب است که زمان‌های صوت‌دهی در فرکانس ۱۶ کیلوهرتز سبب شد که همراه با افزایش زمان صوت دهی از ۱۵ دقیقه به ۳۰ و ۶۰ دقیقه تعداد متوسط گل‌ها، وزن گل‌ها، وزن کلاله تر و وزن کلاله خشک نسبت به شاهد افزایش یابند، اگرچه تعداد گل‌ها نسبت به شاهد

معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). اما افزایش‌در وزن گل‌ها، وزن کلاله تر و وزن کلاله خشک به لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نشان ندادند (P>۰/۰۵). شکل ۴ نمودار بازدهی گلدهی تیمارهای صوتی F16 را در زمان‌های مختلف صوت‌دهی نشان می‌دهد. بازدهی گلدهی زعفران در تیمارهای صوتی در مدت زمان‌های صوت-دهی ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه نسبت به شاهد به ترتیب ۰/۸- ، ۶/۳ و ۱۱/۹ درصد به‌دست آمد. این مقادیر نشان می‌دهند اگرچه تیماری که در مدت زمان ۱۵ دقیقه در معرض فرکانس ۱۶ کیلوهرتز دارای بازدهی گل کمتر نسبت به شاهد می‌باشد، اما هنگامی که به مدت بیشتری (۳۰ و ۶۰ دقیقه) در معرض امواج صوتی قرار می‌گیرد بازدهی گلدهی در آن‌ها نسبت به شاهد بیشتر می‌شود. با توجه به این‌که بر اساس جدول ۲، موثرترین فرکانس ۴ کیلوهرتز (تیمار F4) در زمان صوت دهی ۱۵ دقیقه با بازدهی گل ۴/۰ درصد بدست آمد، این احتمال داده می‌شود که بازدهی گل زعفران در این فرکانس و در مدت زمان‌های طولانی‌تر افزایش یافته و قابل توجه باشد. در رابطه با مکانیزم اثرگذاری صوت بر رشد گیاهان مطالعاتی انجام پذیرفته و گمانه-زنی‌هایی وجود دارد از جمله این‌که فرکانس صدای شنیدنی ممکن است باعث باز شدن روزنه‌های برگ گیاه شود و بنابراین، برای گیاه جذب بیشتر شبنم، انرژی نورانی بیشتر را تسهیل می-سازد و به رشد بهتر آن کمک می‌کند (Chowdhury & Bae, 2014). انتظار می‌رود صدای شنیدنی با فرکانس‌های خاصی باعث تنفس بهتر و جذب مواد مغذی شود. زیرا لرزش در برگ-های گیاه به دلیل امواج صوتی ایجاد می‌شود. در صورتی‌که فرکانس به‌کار رفته با فرکانس طبیعی گیاه طنین انداز شود، سرعت فتوسنتز و تقسیم سلولی افزایش می‌یابد و این منجر به رشد سریع‌تر گیاه می‌شود و از این رو زمان رسیدن میوه برای گیاهان تحت تیمار فرکانس رزونانس نسبت به گیاهان شاهد کاهش می‌یابد (Meng et al., 2012; Gagliano, 2013; Cai et al., 2014). با وجود این، آنچه که در این میان هنوز درک نشده است مکانیسم عمل و نحوه تأثیرگذاری صوت بر ساختار و عملکرد بنه می‌باشد و لذا این امر ضرورت انجام پژوهش‌های بیشتر را در این زمینه نشان می‌دهد.

جدول ۳- داده‌های حاصل از اثر زمان‌های مختلف صوت‌دهی با فرکانس صوتی ۱۶ کیلوهرتز (میانگین داده‌ها ± انحراف استاندارد)

Table 3- Data from the effect of different sounding times with the frequency of 16000 Hz (average data ± SD)

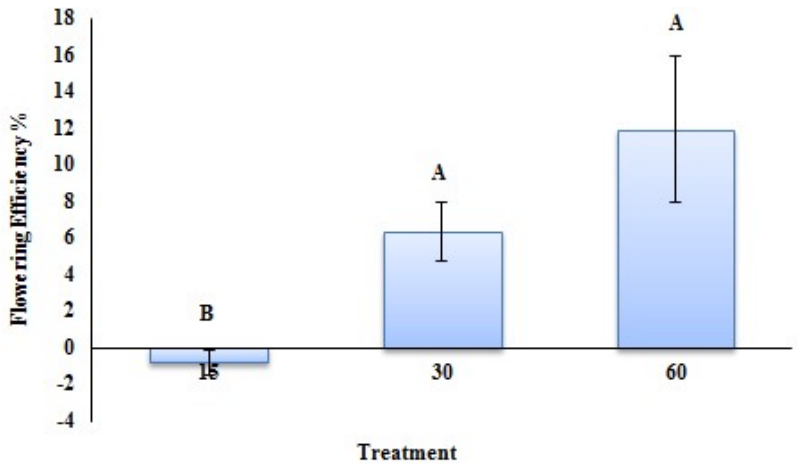
تیمار* Treatment	زمان Time (min)	وزن بنه‌ها Corms weight (g)	تعداد گل‌ها Flowers No.	وزن گل‌ها Flowers weight (g)	وزن کلاله‌ها تر Fresh stigma weight (g)	وزن کلاله‌ها خشک Dried stigma weight (g)
C2	–	681.34 ± 0.90^{a}	63.0 ± 0.0^{b}	23.770 ± 0.007^{a}	1.789 ± 0.000^{a}	0.366 ± 0.000^{a}
F16	15	683.00 ± 1.85^{a}	62.5 ± 0.5^{b}	24.378 ± 3.706^{a}	1.754 ± 0.267^{a}	0.360 ± 0.055^{a}
F16	30	684.07 ± 6.50^{a}	67.0 ± 1.0^{a}	25.627 ± 2.448^{a}	1.954 ± 0.175^{a}	0.405 ± 0.036^{a}
F16	60	681.45 ± 0.96^{a}	70.5 ± 2.5^{a}	25.979 ± 4.606^{a}	1.929 ± 0.342^{a}	0.389 ± 0.069^{a}

* کد تیمارها بر اساس فرکانس- مدت زمان صوت دهی به کار رفته است و (C2) شاهد در گروه ۲ است.

حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) میان داده‌ها در هر ستون می‌باشد.

* The treatment codes is based on the frequency-duration of sonication time and (C2) is control in group 2.

Different letters indicate a significant difference (P<0.05) between the data in each column.



شکل ٤- تأثیر مدت زمان صوت‌دهی بر بازدهی گلدهی تیمارهای بنه زعفران با فرکانس ١٦ کیلوهرتز (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) میان تیمارها است.)

Figure 4- The Effect of sonication time on flowering efficiency of saffron corm with 16 kHz frequency (Different letters indicate a significant difference (P<0.05) between the treatments.).

تأثیر صوت موسیقی بر رشد بنه زعفران

یکی از تیمارهای گروه ۱ شامل القای امواج صوتی موسیقی از نوع موسیقی کلاسیک در دوره‌های مختلف گل‌انگیزی، گلدهی و کل دوره گل‌انگیزی و گلدهی بود. جدول ۴ مشخصات بنه‌های صوت دیده با موسیقی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود تعداد گل بدست آمده در این تیمار در دوره‌های مختلف رشد بنه نسبت به شاهد مقدار کمتری بدست آمد. کمترین مقدار مربوط به دوره گل‌انگیزی (با میانگین ۲/۵۲ ± ۲۶/۶۷) به‌دست آمد که نسبت به شاهد (۴/۵۸ ± ۳۵/۰۰) تفاوت معنی‌دار داشت (P<۰/۰۵). اما میان دوره‌های مختلف گل‌انگیزی، گلدهی و کل دوره گل‌انگیزی و گلدهی تفاوت‌ها معنی‌دار نبودند. همچنین، بر اساس داده‌های جدول ۴، وزن گل-ها، وزن کلاله تر و خشک حاصل شده نیز نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت اما هیچ یک از این تفاوت‌ها معنی‌دار نبودند (P>۰/۰۵). همچنین، میزان بازدهی گلدهی بنه‌های زعفران در اثر انتشار امواج صوتی موسیقی در دوره‌های مختلف رشد بنه نسبت به شاهد در شکل ۵ رسم شده است. همان‌طور که از شکل ۵ مشهود است تأثیر صوت موسیقی کلاسیک بر بنه زعفران در دوره رشد بنه تأثیر منفی بر عملکرد گلدهی بنه داشته است یعنی بازدهی بنه‌های صوت داده‌شده با موسیقی نسبت به شاهد کاهش یافت. این تأثیر در دوره گل‌انگیزی بیشترین اثر را داشته است و بازدهی گلدهی بنه‌ها به میزان ۲۳/۸ درصد کاهش نشان داد، در حالی‌که در مورد دوره کل (گل‌انگیزی و گلدهی) کمترین تأثیر منفی را داشته و به میزان ۱۴/۳ درصد رسید.

اثر امواج صوتی از نوع موسیقی برای گیاهان مختلفی استفاده شده است. به عنوان مثال، کریس و همکاران (Creath & Schwartz, 2004) اثرات بیولوژیکی صوت، موسیقی و نویز را بر جوانه‌زنی دانه‌های بامیه و کدو سبز بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که صوت موسیقی بر تعداد دانه‌های جوانه‌زده-شده در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری داشت (P <۰/۰۳). این اثر مستقل از دما، نوع دانه، موقعیت در اتاق، ظرف مخصوص پتری و شخص آزمون کننده بود. همچنین، صوت موسیقی در مقایسه با نویز و شاهد به عنوان تابعی از زمان اثر قابل توجهی داشت (P <۰/۰۳). گروه دیگری از پژوهشگران، ۱۴ آهنگ موسیقی کلاسیک مختلف را شامل موسیقی بتهوون برای گیاه

برنج اعمال کردند و بیان ژن آن را مورد کنترل و بررسی قرار دادند (Jeong et al., 2008). یافته‌های آن‌ها نشان داد که صدای قابل شنیدن در فرکانس‌های ۲۵۰ و ۱۲۵ هرتز ژن‌ها را برای فرآیند ترجمه کدهای DNA به فرآیندهای بیولوژیکی مانند رشد فعال‌تر کردند. همچنین، در زمینه تأثیر موسیقی بر رشد گیاه، یافته‌ها بیانگر اثر مثبت اصوات موسیقی‌های آرام بر رشد آن می‌باشد. این تحقیقات هم‌چنین نشان داده‌اند که اثر موسیقی بر رشد اندام هوایی و نیز جوانه‌زنی آن مؤثر است (Chowdhury & Bae, 2014). اثر انواع موسیقی شامل موسیقی کلاسیک هندی ، اشعار ودایی، موسیقی کلاسیک غربی و موسیقی راک بر روی پارامترهای رشد رز چینی (کشیدگی شاخه، فاصله میان بندها، تعداد گل‌ها و قطر گل‌ها) در مدت زمان ۶۰ روز نشان داد که گل‌هایی که در معرض شعارهای ودیک قرار داشتند، شاخه‌های کشیده‌تر، تعداد گل بیشتر و گل‌هایی با قطر بیشتر را تولید کردند و بیشترین فاصله میان بندها مربوط به تیمار موسیقی کلاسیک هندی بود (Chivukula & Ramaswamy, 2014). نتایج این مطالعات نشان می‌دهند که فرکانس‌های شنیداری ریتمیک نرم (همان موسیقی) سرعت جوانه‌زنی بذرها ، رشد و نمو گیاهان را تسریع می‌کند. احتمالاً، موسیقی منجر به جذب سریعتر مواد مغذی از خاک و تولید بهتر متابولیت‌ها می‌شود و بنابراین رشد گیاه با سرعت بهتری حاصل می‌شود. افزایش ارتفاع گیاهان، تعداد بیشتر برگ‌ها و به‌طورکلی توسعه گیاهان سالم‌تر هنگامی محقق می‌شود که در معرض فرکانس‌های موسیقی قرار دارند. افزایش سرعت رشد از نظر گل‌ها ، برگ‌ها ، جوانه‌ها و غیره نشان می‌دهد که فرکانس‌های قابل شنیدن به‌ویژه موسیقی می‌توانند موجب افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی شوند (Chowdhury & Bae, 2014). در مقایسه با نتایجی که دانشمندان در ارتباط با اثر صوت موسیقی بر عملکرد گیاهان مخلف بدست آورده‌اند، به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر، امواج موسیقی با تراز فشار صوت ۷۷ دسی‌بل بر ساختار و ویژگی‌های بنه زعفران و در نتیجه بر میزان عملکرد آن موثر نبوده‌اند و یا حتی تأثیر منفی بر رشد و عملکرد بنه زعفران گذاشته‌اند. البته، همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد نحوه و مکانیزم اثرگذاری صوت بر ساختار و متابولیسم بنه هنوز مشخص نیست و از این‌رو نتیجه‌گیری دقیق‌تر در این باره نیاز به پژوهش بیشتری به خصوص نوع موسیقی، مقدار تراز فشارصوت و نیز بررسی‌های بیولوژیکی دارد.

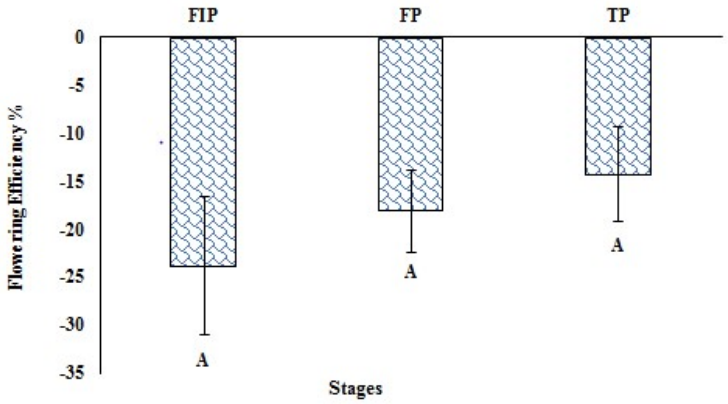
جدول ٤- داده‌های حاصل از نتایج آنالیز آماری برای تیمار صوت موسیقی (میانگین داده‌ها ± انحراف استاندارد)

Table 4- Data from statistical analysis results for the treatments with music sound in group 1 (average data± SD)

*تیمار Treatment	وزن بنه‌ها Corms weight (g)	تعداد گل‌ها Flowers No.	وزن گل‌ها Flowers weight (g)	وزن کلاله‌تر Fresh stigma weight (g)	وزن کلاله خشک Dried stigma weight (g)
FIP_M	372.4 ± 2.7 [a]	26.67 ± 2.52 [b]	10.49 ± 1.30 [a]	1.04 ± 0.08 [a]	0.226 ± 0.040 [a]
FP_M	373.7 ± 0.9 [a]	28.67 ± 1.53 [ab]	11.71 ± 1.80 [a]	1.16 ± 0.19 [a]	0.252 ± 0.047 [a]
TP_M	377.5 ± 10.4 [a]	30.00 ± 1.73 [ab]	11.75 ± 0.51 [a]	1.14 ± 0.05 [a]	0.281 ± 0.043 [a]
C	369.2 ± 5.7 [a]	35.00 ± 4.58 [a]	13.15 ± 1.78 [a]	1.38 ± 0.20 [a]	0.294 ± 0.043 [a]

* کد تیمارها بر اساس دوره: دوره گل‌انگیزی (FIP)، دوره گلدهی (FP)، کل دوره گل‌انگیزی و گلدهی (TP)، زیرنویس M اشاره به صوت موسیقی دارد، و (C) شاهد است. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) میان داده‌ها در هر ستون می‌باشد.

* The treatment Code is based on: Flower induction period (FIP), Flowering period (FP), Total of flowering formation (TP), M subtitle refers to the sound of music, and C is the control. Different letters indicate a significant difference (P<0.05) between the data in each column.



شکل ۵- اثر صوت موسیقی بر میزان بازدهی گلدهی بنه‌های زعفران در دوره‌های مختلف رشد بنه

Figure 5- The effect of music sound on the flowering efficiency of saffron corms at different stages of growing of corms.

نتیجه‌گیری

اعمال امواج صوتی در محدوده شنوایی انسان به صورت موج تک فرکانسی و یا صوت موسیقی کلاسیک با تراز صوت معادل ۷۷ دسی‌بل در دوره‌های مختلف تشکیل گل بنه زعفران بر تعداد گل اثرات متفاوتی داشت در حالی‌که بر وزن گل و وزن کلاله زعفران تأثیر گذار نبود. مقدار بازدهی گلدهی زعفران برای تیمار صوت داده شده در فرکانس ۴ کیلوهرتز در دوره گلدهی و به مدت ۱۵ دقیقه در روز که دارای بیشترین گل نسبت به شاهد بود معادل ۴ درصد بدست آمد. همچنین تأثیر مدت زمان صوت دهی در هر روز نیز در تیمار با فرکانس صوتی ۱۶ کیلوهرتز در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه بررسی شد و نتیجه حاکی از افزایش گل بیش‌تر در مدت زمان بیشتر صوت‌دهی بود و برای مدت زمان صوت دهی ۶۰ دقیقه در روز با فرکانس ۱۶ کیلوهرتز منجر به افزایش حدود ۱۰ درصد گل نسبت به شاهد شد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که برای دریافت نتایج دقیق‌تر و نتیجه‌گیری کلی در این خصوص به پژوهش‌های کامل‌تری در این زمینه نیاز است.

منابع

Ananthakrishnan, G., Xia, X., Amutha, S., Singer, S., Muruganantham, M., Yablonsky, S., Fischer, E., and Gaba, V. 2007. Ultrasonic treatment stimulates multiple shoot regeneration and explant enlargement in recalcitrant squash cotyledon explants in vitro. Plant Cell Reports 26: 267-276.

Behdani, M.A., and Fallahi, H.R. 2015. Saffron, Technical Knowledge Based on Research Approaches. Birjand University Press.

Behdani, M.A., Kouchaki, A.R., Mahallati, M.N., and Rezvani Moghaddam, P. 2005. Evaluation of quantitative relationships between yield and nutrient consumption in saffron: Study on farmers' farms on farm. Iranian Agricultural Research 3 (1): 1-14.

Bochu, W., Xin, C., Zhen, W., Qizhong, F., Hao, Z., and Liang, R. 2003. Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 32 (1): 29-34.

Bochu, W., Yoshikoshi, A., and Sakanishi, A. 1998. Carrot cell growth response in a stimulated ultrasonic environment. Colloids and

Surfaces B: Biointerfaces 12 (2): 89-95.

Cai, W., He, H., Zhu, S., and Wang, N. 2014. Biological effect of audible sound control on Mung bean (*Vigna radiate*) sprout. BioMed Research International (2): 931740.

Chivukula, V., and Ramaswamy, S. 2014. Effect of different types of music on rosa chinensis plants. International Journal of Environment Science and Development 5 (5): 431-434.

Chowdhury, M.E.K., and Bae, H.S.L. 2014. Update on the effects of sound wave on plants. Research in Plant Disease 20 (1): 1-7.

Chuanren, D., Bochu, W., Wanqian, L., Jing, C., Jie, L., and Huan, Z. 2004. Effect of chemical and physical factors to improve the germination rate of *Echinacea angustifolia* seeds. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 37 (3-4): 101-105.

Collins, M.E., and Foreman, J.E.K. 2001. The effect of sound on the growth of plants. Canadian Acoustics 29 (2): 3-8.

Creath, K., and Schwartz, G.E. 2004. Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay. Journal of Alternative and Complementary Medicine 10 (1): 113-122.

Ekici, N., Dane, F., Mamedova, L., Metin, I., and Huseyinov, M. 2007. The effects of different musical elements on root growth and mitosis in onion (*Allium cepa*) root apical meristem (Musical and biological experimental study). Asian Journal of Plant Sciences 6: 369-373.

Faezian, A., and Razavizadeh, B.M. 2020. Investigating the acoustic parameters for sounding saffron corms in greenhouse cultivation. Journal of Acoustical Society of Iran. (In press).

Gagliano, M. 2013. Green symphonies: A call for studies on acoustic communication in plants. Behavioral Ecology 24: 789-796.

Hassanien, R., Tian-zhen, H., Yu-feng, L., and Bao-ming, L. 2014. Advances in effects of sound waves on plants. Journal of Integrative Agricalture 13 (2): 335-348.

Hou, T., Li, B., Teng, G., Zhou, Q., Xiao, Y., and Qi, L. 2009. Application of acoustic frequency technology to protected vegetable production. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 25 (2): 156-160.

Hou, T., Li ,B., Wang, M., Huang, W., Teng, G., Zhou, Q., and Li, Y. 2010. Influence of acoustic frequency technology on cotton production. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 26 (6): 170-174.

Jeong, M.J., Shim, C.K., Lee, J.O.L. ,Kwon, H.B., Kim, Y.H., Lee, S.K., Byun, M.O., and Park, S.C. 2008. Plant gene responses to frequency-specific sound signals. Molecular Breeding 21: 217-226.

Liu, Y., Yoshikoshi, A., Wang, B., and Sakanishi, A. 2003. Influence of ultrasonic stimulation on the growth and proliferation of *Oryza sativa* Nipponbare callus cells. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 27 (4): 287-293.

Meng, Q., Zhou, Q., Zheng, S., and Gao, Y. 2012. Responses on photosynthesis and variable chlorophyll fluorescence of F*ragaria ananassa* under sound wave. Energy Procedia 16: 346-352.

Mescher, M.C., and De Moraes, C.M. 2015. Role of plant sensory perception in plant-animal interactions. Journal of Experimental Botany 66 (2): 425-433.

Mishra, R.C., Ghosh, R., and Bae, H. 2016. Plant acoustics: in the search of a sound mechanism for sound signaling in plants. Journal of

Experimental Botany 67 (15): 4483-4494.

Molafilabi, A., and Faizi, A. 2013. Investigating the effect of wide range of weights on flower yield components and some qualitative characteristics of saffron in greenhouse conditions. The Second National Conference on the Latest Research Achievements of Saffron, Torbat Heydariyeh.

Molafilabi, A.M. 2000. Production and Modern Cultivation of Saffron. Publications of Iran Scientific and Industrial Research Organization, Khorasan Center.

Qi, L., Teng, G., Hou, T., Zhu, B., and Liu, X. 2010. Influence of Sound Wave Stimulation on the Growth of Strawberry in Sunlight Greenhouse. In: Li D., Zhao C. (eds) Computer and Computing Technologies in Agriculture III. CCTA 2009. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 317. Springer, Berlin, Heidelberg.

Teixeira da Silva, J.A., and Dobránszki, J. 2014. Sonication and ultrasound: Impact on plant growth and development. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 117: 131-143.

Trick, N., and Finer, J.J. 1997. SAAT: sonication-assisted Agrobacterium-mediated transformation. Transgenic Research 6: 329-336.

Xiaocheng, Y., Bochu, W., and Chuanren, D. 2003. Effects of sound stimulation on energy metabolism of Actinidia chinensis callus. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 30 (1-2): 67-72.

Xiujuan, W., Bochu, W., Yi, J., Danqun, H., and Chuanren, D. 2003. RETRACTED: Effect of sound stimulation on cell cycle of chrysanthemum (*Gerbera jamesonii*). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 29 (2-3): 103-107.

Yang, X.C., and Wang, B.C. 2004. Effects of different sound intensities on root development of Actinidia Chinese plantlet. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology 10: 274-276.

Impact of Audio Sound Waves on Efficiency of Saffron (*Crocus sativus* L.) Corms under Controlled Conditions

***Bibi Marzieh Razavizadeh*[1*], *Abdollah Molafilabi*[2], *Ali Faezian*[3] *and Noora Arabshahi*[4]**

Submitted: 27 April 2020 **Accepted:** 13 September 2020

Razavizadeh, B.M., Molafilabi, A., Faezian, A., Arabshahi, N. 2021. Impact of Audio Sound Waves on Efficiency of Saffron (*Crocus sativus* L.) Corms under Controlled Conditions. Saffron Agronomy & Technology, 8(4): 543-574.

Abstract

The effect of sound waves on saffron corms in the controlled environment and aeroponic cultivation on the amount of flowering and production of saffron stigma are investigated in this study. Sound waves with a sound pressure level of 77 decibels for 15 minutes a day were induced into two groups of corms. In the first group, the effects of sound waves with frequencies of 0.5, 1, and 2 kHz and also a type of classical music sound on saffron corms in different periods of flowering induction, flowering, and the whole period (flowering formation) were studied. In the second group, this test was performed on bulbs only in the flowering period with single frequencies of 4, 8, 12, and 16 kHz. Also, the effect of sound application time in 15, 30, and 60 minutes per day at 16 kHz frequency on the corms were investigated. Statistical results showed that in the first group, induction of single frequency sound led to the production of flowers and also saffron stigma amounts less than or equal to that of the control group. However, these differences were not significant except for the treatment on the flowering period at 500 Hz ($p<0.05$). The application of musical sound in different stages of corm growth reduced its flowering efficiency compared to the control group. Among the treatments of the second group, the mean values of the number of flowers at 4 and 8 kHz frequencies were higher than that of the control group. In the treatment with a frequency of 4 kHz, which produced the highest amount of flowers and stigmas, the flowering efficiency of saffron corms increased more than 4.0%. Also, increasing the duration of sound application from 15 min to 30 and 60 min per day caused a significant increase in the number of flowers, and the flowering efficiencies had increased by 6.0 and 10.4% compared to that of the control group during 30 and 60 min, respectively.

Keywords: Aeroponic, Flowering efficiency, Music, Saffron corm, Sound wave technology.

1- Associate Professor, Food Safety and Quality Control Group, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
2- Associate Professor, Food Biotechnology Department, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
3- Associate Professor, Food Industry Machinery Group, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
4- BSc student, Department of Biology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author Email: m.razavizadeh@rifst.ac.ir)
DOI: 10.22048/JSAT.2020.228776.1392