بررسی عملکرد دستگاه‌های دورکننده فراصوتی فرکانس متغیر و فرکانس مدوله شده

مصطفی شریفی*
کارشناس ارشد، مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شاهرود
Mostafasharifi1@yahoo.com

محمد عباسی
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود
Abbasim670@gmail.com

دانیال گندم‌زاده
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
da.gandomzadeh@stu.um.ac.ir

یگانه سابقی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
ye.sabeghi@stu.um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۰

چکیده

حفظ و نگهداری مواد غذایی در انبارهای غلات و سیلوها منوط به عدم نفوذ جانوران موذی و جوندگانی مانند موش‌ها است. لذا به‌کارگیری روشی نوین که بتوان به‌وسیله آن جانوران موذی را بدون آسیب به محیط زیست و با تأثیر دائمی دور نمود، بیش از پیش احساس می‌شود. در این پژوهش استفاده از امواج فراصوتی و تأثیر آن بر دور نمودن این جانوران از چنین محیط‌هایی مورد بررسی قرار گرفته است. در نمونه ارائه شده، دستگاه دارای مکانیزم تغییر فرکانس خودکار بوده و توانایی تولید برد مفید با توان بالاتری را نسبت به نمونه‌های سابق دارا است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از امواج فراصوتی سبب دور نمودن موجودات موذی و انواع حشرات می‌گردد. با دستگاه فرکانس متغیر معرفی شده در این مقاله، پس از یک هفته، محل تحت آزمایش تا ۸۰ درصد موجب کاهش حیوانات موذی گردید.

واژگان کلیدی: دورکننده فراصوتی، امواج فراصوتی، فرکانس متغیر، فرکانس مدوله شده، دفع آفات

۱. مقدمه

امروزه وجود برخی آفات، حشرات و حیوانات موذی در بسیاری از کشورهای جهان موجب اختلال در فرآوری محصولات کشاورزی، غذایی و حتی برهم زننده آرامش برخی مناطق، به ویژه مناطق مسکونی می‌شوند. در گذشته نزدیک استفاده از سموم شیمیایی برای از بین بردن و دفع این موجودات مزاحم بسیار رواج پیدا کرد. این مسئله خود موجب افزایش بیماری‌های فراوان و جدیدی برای جامعه بشری شده است که حتی در برخی موارد این بیماری‌ها به صورت صعب‌العلاج بوده و غیرقابل درمان هستند. از سوی دیگر مصرف بی‌رویه این سموم موجب افزایش مقاومت بدن این موجودات به این‌گونه مواد شیمیایی می‌گردد.

بنابراین به دلیل ایجاد مشکلات فراوان سموم شیمیایی برای انسان و محیط زیست، نیاز به وسایلی که عملکرد آنها بدون آسیب و یا بعضاً با آسیب بسیار کمتر نسبت به سموم شیمیایی باشند، احساس می‌شود. دستگاه دورکننده حشرات و موجودات موذی به کمک امواج مکانیکی فرکانس بالا (فراصوتی) ما را به این هدف می‌رساند.

امواج فراصوتی دارای کاربری‌های متنوعی است، برای نمونه تاج‌الدین و رفیعی [۱] در پژوهشی استفاده از امواج فراصوتی در خشک کردن مواد غذایی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد استفاده از امواج فراصوتی در خشک کردن مواد غذایی بسیار مناسب بوده و باعث حفظ رنگ، طعم و کیفیت مواد غذایی می‌گردد.

همچنین در تحقیقی دیگر شیخ‌الاسلامی [۲] تأثیر امواج فراصوتی را بر بهبود کیفیت آرد و فرآورده نانوایی مورد بررسی قرارداد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از امواج فراصوتی در این زمینه مانع از بروز سن گندم شده و باعث بهبود تخلخل خمیر حاصله می‌گردد.

اوگوچوگوا و همکاران [۳] به بررسی دستگاه‌های دورکننده فراصوتی برای پرندگان پرداختند. همچنین جنی‌ایرمن و همکاران [۴] اثر یک دستگاه فراصوتی بر رفتار کبوترهای جنگلی و تغییرات هورمون استرس در آنها را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج آنها نشان می‌دهد فرکانس ۱۵ تا ۲۵ کیلوهرتز باعث دفع پرندگان از محیط‌های هدف می‌شود.

همان‌طورکه در گزارش‌های پیشین آورده شده است، پشه‌ها برای مردم مشکلات و بیماری‌هایی همچون مالاریا را به وجود می‌آورند. سامانه‌هایی برای دفع پشه‌ها پیشنهاد می‌شود که این تجهیزات با هدف کاهش مصرف مواد شیمیایی، از امواج فراصوتی بهره می‌برند [۵].

فرکانس‌های مختلف برای دفع حشرات متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرند به نحوی که دامنه فرکانسی ۳۸ تا ۴۴ کیلوهرتز جهت دفع حشرات مؤثر گزارش شده است [۶]. دفع‌کننده‌های فراصوتی آفات که در گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفتند، تنها قادر به نشر یک فرکانس خاص بودند که این فرکانس ثابت برای دفع حشرات در دوره‌های زمانی کوتاه کارا نبود [۷]. صداهای بلند و صداهای فراصوتی که حیوانات موذی قادر به شنیدن آن هستند، موجب به وحشت انداختن آنها برای چند دقیقه و بعضاً تا چند هفته می‌شود. از سوی دیگر برخی از این دفع‌کننده‌ها برای یک آفت خاص طراحی شده‌اند که این فرکانس منحصر به فرد بعد از مدتی موجب سازگاری موجود با آن فرکانس می‌شود؛ بنابراین می‌بایست از تجهیزی استفاده نمود که به صورت کاملاً خودکار فرکانس خروجی را تغییر داده و موجب دفع موش‌ها، جوندگان، حشرات و سایر آفات گردد [۸].

تیواری و انصاری [۹] به بررسی تأثیر امواج فراصوت بر روی حیوانات مختلف پرداختند نتایج آنها نشان داد که تأثیر به سزایی در کاهش میزان آفات دارد.

نانکینوف و همکاران [۱۰] در پژوهشی اذعان داشتند امواج فراصوتی تولید شده تأثیر قابل توجهی بر روی پرندگان نداشته است اما مشاهده کردند که تعداد پرندگان در محل تغذیه آنها طی ۱۰ روز به صورت چشمگیری کاهش داشته است.

همرشاک [۱۱] در تحقیقی به بررسی تأثیر امواج فراصوتی بر روی پرندگان پرداختند. با توجه به گزارش آنها در بازه بیش از ۲۰ کیلوهرتز بر روی پرندگان تأثیری ندارد و در مورد سایر موجودات بررسی نشده است.

مطالعه در پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد، محققین همواره تأثیر یک فرکانس ثابت را بر روی موجودات مزاحم مورد بررسی قرار داده‌اند و ایده‌ی استفاده از فرکانس متغیر و یا فرکانس مدوله شده مورد توجه قرار نگرفته است.

یکی از نکات مغفول در پژوهش‌ها و نمونه‌هایی که در گذشته مورد بررسی قرار گرفته است، وفق یافتن حیوانات و حشرات با امواج تولیدی توسط دستگاه‌های فراصوتی مرسوم است.

- در این پژوهش استفاده از فرکانس‌های متغیر در ترکیب با الگوهای زمانی خاص مورد بررسی قرار گرفته است.
- علاوه‌بر این تأثیر بر گستره انواع موجودات توسط یک دستگاه با انواع فرکانس‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.
- تأثیر طولانی مدت بر روی گونه‌های جانوران موذی مورد بررسی قرار گرفته است.
- در این پژوهش استفاده از دو منبع تولید فرکانس به صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفته است.
- همچنین در این پژوهش تغییر برد، تغییر شدت توان امواج تولیدی برای افزایش تأثیرگذاری در زمان کمتر بر روی موجودات مورد بررسی قرار گرفته است.
- امکان‌پذیری استفاده از بورد برای کاربری‌های دیگر نظیر جوشکاری فراصوتی و شستشودهنده‌های فراصوتی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. تأثیر امواج فراصوت بر موجودات

هر دسته از موجودات قادر به شنیدن صداهایی با فرکانس‌های بالاتر و پایین‌تر از حد شنوایی خود نیستند. جدول ۱ محدوده شنوایی چند موجود مختلف را نشان می‌دهد. از طرفی تولید یک موج با فرکانسی خاص برای هر موجود در محدوده شنوایی آن، موجب تأثیر بر سیستم عصبی موجود مورد نظر گردیده و زمینه آزار و اذیت آن را در محیط انتشار موج فراهم می‌سازد. به عنوان مثال در شکل ۱ مقدار مجاز حضور انسان به عنوان یک موجود زنده در یک محیط انتشار موج در محدوده شنوایی آن (۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز) را نشان می‌دهد. برای سایر موجودات نیز چنین رفتاری مشاهده می‌گردد. لذا اگر بتوان یک موج مکانیکی با فرکانس‌های خاص که موجب تأثیر بر سیستم عصبی هر موجود می‌شود، تولید نمود، آن موجود قادر به ادامه زندگی در محیط انتشار موج نخواهد بود و محیط را در یک دوره زمانی کوتاه، ترک خواهد کرد.

این تشعشعات موجب مرگ این موجودات نمی‌شوند اما آنها را از محل دور می‌نمایند. فرکانس این تشعشعات بیش از حد شنوایی انسان و حیوانات خانگی است. این امواج در مغز و سیستم عصبی موجودات موذی نفوذ کرده و موجب درد، ناراحتی و حرکات نامعمول آنان می‌شود. این دستگاه‌ها معمولاً فقط برای یک یا نهایتاً دو حیوان جوابگو هستند که خود عامل محدودکننده‌ای برای مناطق و مکان‌هایی است که می‌خواهند خود و یا محصولاتشان از تعداد زیادی حیوانات مصون باشند.

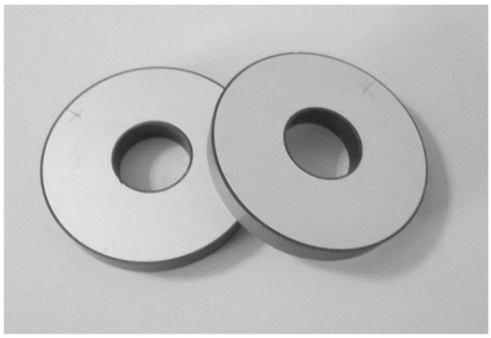
جدول ۱. محدوده شنوایی موجودات مختلف [۱۲]

نام حیوان	محدوده شنوایی (Hz)
گربه	۴۵–۶۴۰۰۰
سگ	۶۷–۴۵۰۰۰
موش	۲۰۰–۷۶۰۰۰
اسب	۵۵–۳۳۵۰۰
گاو	۲۳–۳۵۰۰۰
فیل	۱۶–۱۲۰۰۰
خفاش	۲۰۰۰–۱۱۰۰۰۰
جوجه	۱۲۵–۲۰۰۰
گوسفند	۱۰۰–۳۰۰۰۰
خوکچه	۵۴–۵۰۰۰۰
سنجاب	۱۱۳–۴۹۰۰۰
کانگورو	۵۰–۶۲۰۰۰

شکل ۱. زمان مجاز قرار گرفتن در معرض صدا برای انسان در شدت صوت‌های مختلف [۱۳]

۳. مواد و تجهیزات

سنسورها و صفحات پیزوالکتریک تجهیزی بوده که قادر به تولید موج‌های مکانیکی تا فرکانس‌های بالا است. در واقع سنسورهای پیزوالکتریک مبدل سیگنال الکتریکی به موج مکانیکی و یا بالعکس است. به صورت ساده پیزوالکتریک یک کریستال پرس شده بین دو تسمه از جنس قلع یا مس و غیره است. پوشش فلزی بسیار نازک در دو طرف پیزو برای ورود الکتریسیته به بلور سرامیکی یا خروج الکتریسیته تولید شده از آن، در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ یک سنسور پیزوالکتریک و در شکل ۳ اسپیکر فراصوتی نشان داده شده است. در این تجهیز سیگنال تولیدی به موج مکانیکی تبدیل می‌گردد.



شکل ۲. شمایی واقعی از یک پیزوالکتریک

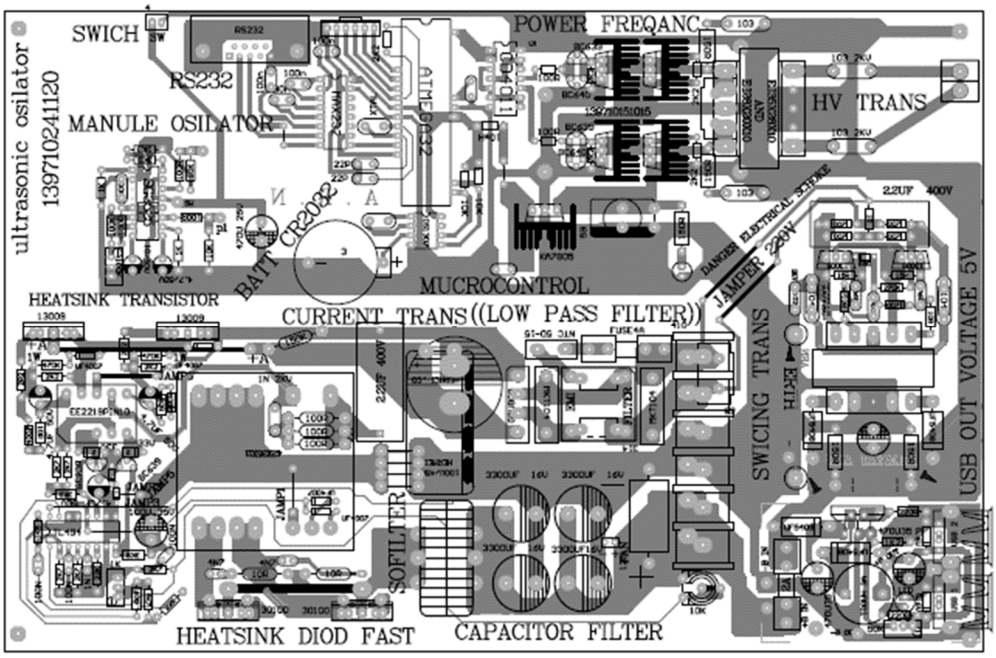
شکل ۳. شمایی واقعی از یک اسپیکر فراصوتی

٤. روش تولید امواج فراصوتی

به منظور تولید سیگنال الکتریکی با فرکانس‌های متفاوت از یک بورد الکترونیکی شامل یک اسیلاتور دستی و یک میکرو کنترلر AVR و قسمت‌های تقویت کننده استفاده شده است. به کمک بخش میکروکنترلر می‌توان سیگنال با فرکانس و دیوتی سایکل[1] دلخواه تولید نمود. به منظور استفاده از این بورد یک منبع تغذیه با جریان بالا (تا ۳۰ آمپر) استفاده شده است. ورودی توان برق ۲۲۰ ولت متناوب شهری بوده و خروجی بورد به منظور تغذیه قسمت‌های مختلف مدار ۱۲ ولت مستقیم درنظر گرفته شده است. به منظور تغییر ولتاژ و در نتیجه توان خروجی سیگنال‌های تولیدی در این قسمت از یک پتانسیومتر استفاده شده است. همچنین بخش تولید فرکانس متغیر خودکار و دستی با یکدیگر مرتبط هستند؛ بنابراین هر بخش می‌تواند هم به صورت مستقل و هم مشترک کار نمایند. در حالت مشترک به عنوان مثال می‌توان سیگنال اصلی را توسط قسمت دستی تولید کرده و الگوی زمانی را از قسمت خودکار دریافت نماید. همچنین سیستم را می‌توان طوری تنظیم نمود که موج تولیدی توسط میکروکنترلر بر روی موج تولیدی توسط بخش دستی سوار شده و به‌طور هم‌زمان یک موج با دو مشخصه فرکانسی تولید شود (مشابه مدولاسیون). این امر نیز سبب تأثیرگذاری بیشتر سیستم گردیده است.

همچنین وظیفه تقویت سیگنال به عهده بخش درایو ماسفت[2] است. این قسمت موجب افزایش توان سیگنال تولیدی در بخش‌های خودکار و دستی شده است.

شکل ۴ نمای کلی بورد و نقشه PCB بورد الکترونیکی مورد بررسی در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه بورد الکترونیکی مورد تحقیق

۵. تحلیل آزمون

بورد نشان داده شده در شکل ۴ جهت تحلیل آزمون بر روی حشرات و موش‌ها در چهار آزمون مجزا مورد استفاده قرار گرفت. آزمون اول بر روی موش‌ها در محیطی شامل دانه‌های روغنی از جمله دانه‌های کنجد، کلزا و تخمه آفتاب‌گردان صورت پذیرفت. آزمون دوم بر روی حشرات در محیطی مشابه آزمون اول صورت پذیرفت. آزمون سوم بر روی موش در محیط انبار غلات و خشکبار شامل بادام، گردو، پسته، توت و انجیر خشک مورد استفاده قرار گرفت.

مواد غذایی آزمون شماره چهارم نیز مشابه آزمون شماره سوم بوده و از نظر هجوم حشرات و کرم غلات مورد ارزیابی قرار گرفت.

تمامی آزمون‌ها در دو حالت حضور دستگاه فراصوتی و عدم حضور دستگاه در محیط‌های مذکور با شرط ثابت بودن سایر عوامل محیطی صورت پذیرفت. زمان مورد بررسی تا دریافت نتایج شامل یک دوره زمانی ۶۰ روزه بوده که در این مدت دستگاه به صورت ۲۴ ساعته روشن بوده است.

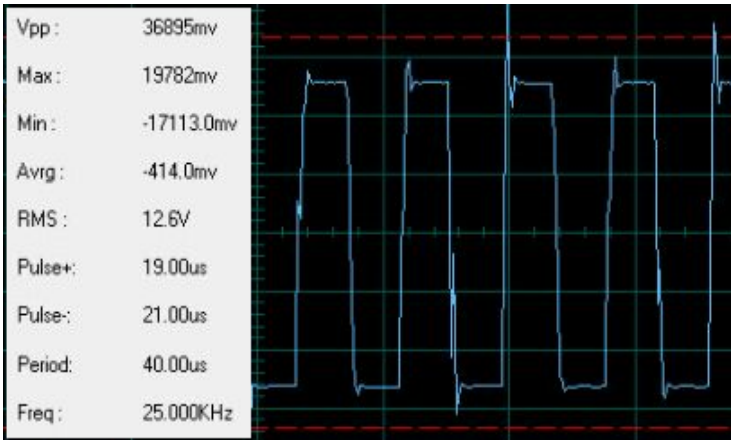
در دستگاه مورد آزمایش، فرکانس کاری با توجه به نوع حیوان مورد بررسی در بازه مؤثر شنوایی آن حیوان، به همراه الگوی زمانی متفاوت تغییر نموده است. منظور از تغییر الگوی زمانی این است که فاصله زمانی بین دو فرکانس متوالی تعریف شده در بازه شنوایی حیوان را در هر سیکل کامل فرکانسی، تغییر نموده است. این تغییر الگوی زمانی از ۳۰ میلی‌ثانیه بین اعمال دو فرکانس مجاور شروع شده و به صورت صعودی تا ۳۰۰ میلی‌ثانیه بین دو فرکانس متوالی ادامه می‌یابد. این امر به کمک میکروکنترلر و از طریق کدنویسی قابل تغییر می‌باشد.

در بخش بعد نتایج به صورت مجزا در هر ۴ آزمون آورده شده است. جدول ۲ به صورت خلاصه تحلیل آزمون‌های مطرح شده را نشان می‌دهد.

٦. نتایج

شکل ۵ فرکانس تولیدی بورد معرفی شده را در فرکانس ۲۵ کیلوهرتز نشان می‌دهد. فرکانس‌های مورد نظر به وسیله کارت اسیلوسکوپ مدل TNM-DS20060 و نرم‌افزار

TNM BASED PC DSO مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. با توجه به اینکه فرکانس با عکس دوره‌ی زمانی در یک تناوب شکل موج رابطه دارد، فرکانس قابل اندازه‌گیری است که در اسیلوسکوپ دیجیتال به طور مستقیم محاسبه و نشان داده می‌شود.



شکل ۵. نمایش و اندازه‌گیری فرکانس به کمک کارت اسیلوسکوپ

نتایج حاصل از آزمون‌های معرفی شده نشان می‌دهد استفاده از دستگاه تولید امواج فراصوتی دارای تأثیر بسیار مثبتی در طول دوره آزمایش بوده است.

در حین اجرای آزمایش اول، بخشی که دستگاه فراصوت نصب شده بود هیچ‌گونه موشی مشاهده نشد درحالی‌که در زمان و مکان مشابه بخشی که فاقد دستگاه دورکننده فراصوتی بود تعداد ۲ عدد موش مشاهده گردید. مشاهده و اندازه‌گیری موش‌ها و سایر جوندگان از طریق تله موش و سنسورهای PIR حرکتی گزارش شده است. نحوه کار سنسورهای PIR به گونه‌ای است که با عبور یک جسم متحرک از روبه‌روی آنها یک پالس را به میکرو کنترلر ارسال نموده و در میکروکنترلر ذخیره می‌گردد. تعداد پالس‌های دریافت شده از طریق میکرو بر روی ال‌سی‌دی نمایش داده می‌شود.

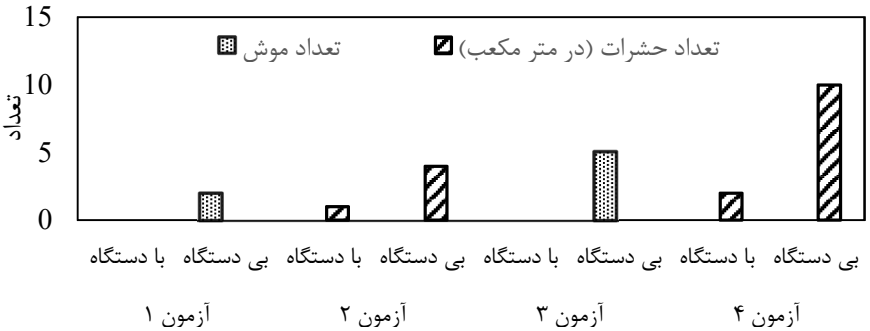
در آزمون دوم نیز در محدوده مؤثر فرکانس دستگاه فراصوت نیز تعداد حشرات به شدت کاهش یافت و حتی مگس‌های موجود در محیط نیز به بخش‌های دورتر و نقاط کور امواج منتقل شده بودند. این درحالی است که در محیط فاقد امواج فراصوتی، جمعیت پشه و مگس و به‌طورکلی حشرات، به وضوح بر روی کیسه‌های حاوی کنجد و تخمه آفتاب‌گردان قابل رؤیت بود.

از نتایج آزمون سوم و چهارم نیز نتایج رضایت بخشی حاصل گردید. با توجه به رطوبت و دمای محیط پس از یک ماه انجیر و توت خشک موجود در محیط عاری از امواج فراصوتی مورد هجوم آفات و کرم‌های ریز قرار گرفتند درحالی‌که پس از گذشت ۲ ماه محصولات موجود در معرض امواج فراصوتی بدون هیچ‌گونه آسیبی همچنان سالم باقی مانده بود. به جز یک نمونه از بادام‌های قرار گرفته در محیط عاری از امواج فراصوتی، سایر نمونه‌های بادام و گردو در آزمون‌ها، سالم باقی مانده بودند که دلیل آن را می‌توان وجود مواد غذایی با بافتی نرم‌تر و جذاب‌تر برای آفات در نزدیکی آنها دانست که باعث شده بود آفتی به سراغ این نمونه از مواد غذایی در این زمان ۲ ماهه نیاید. شکل ۶ تعداد حشرات و موش‌ها را بر حسب آزمون‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود در حالت عدم حضور دستگاه فراصوتی جمعیت حشرات و جوندگان بسیار افزایش می‌یابد.

با توجه به اینکه سایر متغیرها به صورت ثابت درنظر گرفته شده است. لذا تغییر در تعداد آنها را می‌توان به دلیل تأثیر عملکرد دستگاه فراصوتی دانست.

جدول ۲. آزمون‌های مورد بررسی

شماره آزمون	ماده غذایی مورد بررسی	حیوان مورد بررسی	مدت زمان آزمون	متراژ محیط	دمای محیط	رطوبت نسبی محیط
آزمون ۱	کنجد، کلزا و تخمه آفتاب گردان	موش و سایر جوندگان	۲ ماه	۳۰۰ متر	۲۶-۲۰°C	۴۰-۶۰٪
آزمون ۲	کنجد، کلزا و تخمه آفتاب گردان	مگس و پشه	۲ ماه	۳۰۰ متر	۲۶-۲۰°C	۴۰-۶۰٪
آزمون ۳	غلات و خشکبار شامل بادام، گردو، پسته، توت و انجیر خشک	موش و سایر جوندگان	۲ ماه	۱۰۰ متر	۲۶-۲۰°C	۴۰-۶۰٪
آزمون ۴	غلات و خشکبار شامل بادام، گردو، پسته، توت و انجیر خشک	مگس و پشه	۲ ماه	۱۰۰ متر	۲۶-۲۰°C	۴۰-۶۰٪



شکل ۶. نتایج آماری از تحلیل آزمون‌های مورد بررسی

۷. جمع‌بندی نتایج

نتایج نشان می‌دهد استفاده از امواج فراصوتی به عنوان یک راه‌حل بسیار مؤثر و کارآمد می‌تواند در راستای ارتقای حفظ و نگهداری محصولات غذایی ایفای نقش نماید. هر چند این آزمون به مدت ۲ ماه به طول انجامید اما پس از گذشت یک هفته محیط مورد آزمایش از حیوانات موذی و حشرات پاک‌سازی گردید. در حال حاضر دستگاه‌های مورد نظر در ۲ محیط صنعتی شامل انبار ذخیره‌سازی دانه‌های روغنی در یک کارخانه‌ی تولید روغن‌های خوراکی و یک انبار ذخیره‌سازی غلات و خشکبار به صورت کامل نصب شده است که رضایت کامل هر دو مصرف‌کننده گواهی کیفیت و کارایی محصول را بازگو می‌نماید.

با توجه به اینکه تأثیر امواج فراصوتی بر روی انسان تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، استفاده از این دستگاه‌ها صرفاً در محیط‌های عاری از نیروی انسانی مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما توصیه می‌گردد که در هنگام حضور افراد این دستگاه خاموش گردد.

۸. مآخذ

[۱] تاج‌الدین، ب.، رفیعی، ز.، "استفاده از امواج فراصوتی در خشک کردن مواد غذایی (مطالعه موردی تولید چیپس سیب)"، *نشریهٔ علمی ترویجی صوت و ارتعاش*، ۱۳۹۷، دوره ۷، شماره ۱۴، صص ۹۰-۹۷.

[۲] شیخ‌الاسلامی, ز.، "بررسی تأثیر امواج فراصوتی بر بهبود کیفیت آرد و فراورده‌های نانوایی"، *نشریه علمی ترویجی صوت و ارتعاش*، ۱۳۹۵، دوره ۵، شماره ۹، صص ۳-۱۲.

[3] Ogochukwu, EZEONU Stella, AMAEFULE Desmond Okechukwu, and OKONKWO Godfrey Nnaegbo, "Construction and Testing Of Ultrasonic Bird Repeller." *Journal of Natural Sciences Research,* 2012, Vol.2, no.9.

[4] Jenni-Eiermann, Susanne, Daniela Heynen, and Michael Schaub, "Effect of an ultrasonic device on the behaviour and the stress hormone corticosterone in feral pigeons", *Journal of pest science*, 2014, Vol.87, no.2, pp.315-322.

[5] Fisol, Muhammad Assaqafi Mohd, and Warsuzarina Mat Jubadi, "Ultrasonic and infrared repelling device for controlling the population of rat in paddy field", In *2010 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, 2010, pp.359-361.

[6] Saini, Simarjit Singh, Divya Bansal, Gurnoor Singh Brar, and Ekambir Sidhu, "Solar energy driven arduino based smart mosquito repeller system", In *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2016, pp.1239-1243.

[7] Schumake, Stephen A., G. Keith LaVoie, and Kenneth Crane, "Efficacy test protocols for evaluation of ultrasonic rodent repellent devices," 1984.

[8] Simeon, Meshack I., Abubakir S. Mohammed, and Segun E. Adebayo, "Development and preliminary testing of an electronic pest repeller with automatic frequency variation", 2013.

[9] Tiwari, Dileep Kumar, and Mamtaz Alam Ansari, "Electronic Pest Repellent: A Review".

[10] Nankinov, Dimiter, Nikolay Ivanov, Boris Nikolov, Svetla Dalakchieva, Georgi Gluhchev, and Dimiter Trifonov, "Electro-Acoustic Influence on Birds", *CYBERNETICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES,* 2007,Vol.7, no.3, pp.106-111.

[11] Hamershock, David M., "*Ultrasonics as a method of bird control",* No.WL-TR-92-3033. WRIGHT LAB WRIGHT-PATTERSON AFB OH, 1992.

[12] Meek, Paul D., Guy-Anthony Ballard, Peter JS Fleming, Michael Schaefer, Warwick Williams, and Greg Falzon, "Camera traps can be heard and seen by animals", *PloS one,* 2014, Vol.9, no.10, pp.e110832.

[13] Hammerhead Whistle, http://www.bestwhistle.com/

پی‌نوشت:

1. Duty Cycle
2. Drive Mosfet