

DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/ARPP.2022.15680>**تأثیر امواج فراصوت در کنترل کرم ساقه‌خوار ذرت *Sesamia nonagrioides***حمزه آگاه‌منش^۱، علی رجب‌پور^۱✉، محمد فرخاری^۲^۱ گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. ^۲ گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. ✉ rajabpour@asnruk.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۹

چکیده

ساقه بر مدیریت‌های ذرت (*Sesamia nonagrioides*) یکی از آفات مهم در مزارع ذرت و نیشکر استان خوزستان، در منطقه جنوب غرب ایران می‌باشد. استفاده از امواج فراصوتی برای کنترل فیزیکی آفات دارای اندام شنوایی، می‌تواند جایگزینی مناسب برای کنترل شیمیایی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات باشد. در این مطالعه، تأثیر دورکنندگی بسامدها و شکل موج‌های مختلف امواج فراصوتی روی شب‌پره‌های این آفت در آزمایش‌های انتخاب آزاد مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین در آزمایش‌های غیرآزاد، تأثیر امواج فراصوت در بسامد مؤثر، روی برخی ویژگی‌های زیستی مراحل مختلف رشدی این آفت و الگوی پراکندگی لاروهای آن، مورد مطالعه قرار گرفت. بسامد ۴۰ کیلوهرتز بیشترین اثر دورکنندگی برای شب‌پره‌های این آفت داشت ولی شکل موج تأثیر معنی‌داری روی میزان دورکنندگی نشان نداد. در بسامد ۴۰ کیلوهرتز، طول دوره رشدی لاروی اول تا سوم به صورت معنی‌داری (بین ۴/۹۷ تا ۸/۳۳ درصد) کاهش یافت. همچنین وزن کلیه سنین لاروی این آفت تحت تأثیر امواج فراصوتی کاهش معنی‌داری (بین ۳/۶۱ تا ۱۲/۶۶ درصد) را از خود نشان داد. بقای شب‌پره‌های نر و ماده به ترتیب ۳۸/۸۸ و ۴۵ درصد کاهش یافت. همچنین بررسی الگوی پراکنش لاروها تحت تأثیر امواج فراصوت نشان داد که لاروها از منبع خروجی امواج فراصوت دوری می‌کنند و سعی دارند بیشترین فاصله را از آن داشته باشند. بنابراین، نتایج این تحقیق دلالت بر توانایی بالقوه این امواج در مهار جمعیت *S. nonagrioides* دارد. اگرچه لازم است نتایج این مطالعه آزمایشگاهی در شرایط مزرعه‌ای نیز تأیید شود.

کلمات کلیدی: تأثیر زیستی، دورکنندگی، شنوایی، کنترل فیزیکی، مدیریت تلفیقی آفات**Effect of ultrasound on stem borer *Sesamia nonagrioides***Hamzeh Agah-Manesh¹, Ali Rajabpour¹✉, Mohammad Farkhari²¹Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. ² Department of Genetic and Plant Productions, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. ✉ rajabpour@asnruk.ac.ir

Received: 15 Mar 2022

Revised: 7 May 2022

Accepted: 30 May 2022

Abstract

Mediterranean corn stalk borer (*Sesamia nonagrioides*) is one of the major pests in corn and sugarcane fields of Khuzestan province, southwest Iran. Application of ultrasound for physical control of insect pest with hearing ability can be used as appropriate alternative for chemical control in integrated pest management program. In this study, repellency effect of different ultrasonic frequencies and wave shapes on the moth was evaluated using free-choice tests. Moreover, effect of the effective ultrasound on some biological characteristics and larval distribution patterns of the insect were studied in non-choice experiments. The frequency 40 KHz had the highest repellent effect for the moths. However, the wave shape did not significantly influence the repellency property. In frequency 40 KHz, longevities of 1st -3rd instar larvae were significantly reduced (4.97-8.33%). Furthermore, weights of all larval instars significantly affected by the ultrasound and reduced (3.61-12.66%). Investigation on the larval distribution pattern exposed to the ultrasound indicated that the larvae migrated from front of ultrasonic source and tended to escape from the ultrasonic source. Results of the study implicated potential of the ultrasound for controlling *S. nonagrioides* population. However, the results of the laboratory study require field studies for validation.

Key words: Biological effects, Hearing, IPM, Physical control, Repellency**How to cite:**Agah-Manesh H, Rajabpour A, Farkhari M, 2022. Effect of ultrasound on stem borer *Sesamia nonagrioides*. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11 (4): 85–95.

مقدمه

Federova 1996). کنترل ساقه خوارها توسط امواج فراصوت می‌تواند دارای مزیت‌هایی نظیر عدم سمیت این امواج برای موجودات غیرهدف و غیرآلاینده‌گی برای محیط زیست، باشد. دستگاه‌های فراصوتی مختلفی به عنوان دورکننده‌های فراصوتی و یا سرکوب‌کننده‌های فراصوتی به صورت تجاری در دسترس قرار دارند که سازندگان آن ادعا می‌نمایند این دستگاه‌ها روی دامنه وسیعی از حشرات آفت مؤثرند و می‌توانند به خوبی موجب دورکردن و یا مهار جمعیت آنها شوند. این ادعا از نظر علمی نمی‌تواند درست باشد زیرا گونه‌های مختلف حشرات آفت دارای آستانه‌ی حساسیت فیزیولوژیکی متفاوتی نسبت به امواج صوتی و فراصوتی بوده و این گونه نیست که یک نوع موج صوتی و یا فراصوتی، روی تمامی حشرات به یک صورت اثرگذار باشد (Hoy et al. 1989). بسامد و شکل موج دو عامل مهم فیزیکی هستند که به شدت روی واکنش حشرات به امواج فراصوت، اثرگذار می‌باشند. معمولاً جانوران قادر به شنیدن دامنه خاصی از بسامدهای صوتی هستند و توانایی درک بسامدهای بالاتر و پایین‌تر از این دامنه را ندارند. برای مثال انسان می‌تواند بسامدهای بین ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز را درک نماید که به این دامنه از بسامد، امواج صوتی گویند. بسامدهای بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز را امواج فراصوتی می‌گویند که اگرچه انسان قادر به شنیدن آن نیست ولی ارتباطات صوتی بین بسیاری از جانوران از جمله حشرات، در این دامنه از بسامد صورت می‌گیرد (Hoy & Robert, 1996). توابع مختلفی برای شکل موج‌های گوناگون صوتی و فراصوتی از نظر فیزیکی وجود دارد که مطالعات قبلی نشان می‌دهند نوع شکل موج نیز روی واکنش حشرات به امواج صوتی یا فراصوتی، تأثیر می‌گذارند (Salehi et al. 2016; Agah- Manesh et al. 2021).

اولین گام برای ساخت و توسعه دستگاه‌های فراصوت مناسب برای مهار جمعیت یک آفت با استفاده از اختلالات رفتاری ناشی از امواج فراصوتی در حشرات آفت بالقوه حساس، تعیین دامنه مؤثر بسامد و شکل موج صوتی است. در این مطالعه بهترین دامنه بسامدی و شکل موج دورکننده روی شب‌پره‌های ساقه خوار *S. nonagrioides* تعیین شده و تأثیر این امواج روی ویژگی‌های زیستی مراحل مختلف رشدی این آفت، مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پرورش حشرات

به منظور تشکیل کلنی اولیه، لاروهای سنین بالای *S. nonagrioides* (سنین چهارم و پنجم) از سطح مزارع نیشکر

کرم ساقه خوار (Lepidoptera: Noctuidae) *Lefebvre Sesamia nonagrioides* از جمله آفات غیربومی ایران است که احتمالاً همراه با قلمه‌های آلوده نیشکر، وارد کشور شده و در استان‌های مختلف به ویژه استان خوزستان و فارس روی میزبان‌های گیاهی مختلف پراکنده شده‌اند (Khanjani, 2009). بررسی‌ها در استان خوزستان نشان داد که این آفت به ۱۲ میزبان گیاهی مختلف از تیره گندمیان حمله می‌نماید ولی میزبان مهم و اقتصادی آنها، ذرت و نیشکر است (Khanjani, 2009). لاروهای جوان این آفت با تغذیه از برگ و جوانه‌ی مرکزی گیاه میزبان معمولاً موجب خسارت قلب‌مردگی (Dead hearth) می‌گردد. همچنین لاروهای این آفت با ورود به ساقه گیاه میزبان از ناحیه جوانه مرکزی با ایجاد دالان در ساقه موجب قطع آوندهای گیاهی و شکسته شدن ساقه می‌گردند. با رسیدن بلال در گیاه ذرت و زمانی که بافت‌های استوانه مرکزی سفت نشده‌اند، لاروها به دانه‌های شیری و استوانه‌ی مرکزی حمله نموده و با تغذیه از آنها موجب خسارت شدید می‌شوند (Khanjani, 2009). در نیشکر خسارت لاروهای این آفت باعث کاهش میزان ساکارز، کاهش محصول نیشکر و درجه خلوص قند و ترکیبی از تمام موارد فوق می‌شود. تغذیه ساقه خوارهای جنس *Sesamia* در نیشکر به‌طور متوسط ۴۵/۱ واحد از درصد قند قابل استحصال و ۹۲/۳ واحد از درصد شربت موجود در ساقه‌های آلوده را کاهش می‌دهند به طوری که به صورت میانگین ۳۹۱ کیلوگرم شکر سفید در هر هکتار در اثر فعالیت خسارت‌زای این آفت می‌تواند از دست برود (Seyadmansour et al. 2009).

همانند سایر آفات ساقه خوار، مبارزه شیمیایی با لاروهای این آفت به دلیل فعالیت آنها درون ساقه و عدم برخورد سموم تماسی با لاروهای این آفت، بسیار مشکل است. شب‌پره‌های بالغ *S. nonagrioides* مانند سایر نوکتوئیدها، دارای اندام تخصصی شنوایی تیمپانا هستند که با کمک آن می‌توانند امواج فراصوت که توسط شکارگرانی مانند خفاش‌های حشره خوار به منظور مکان‌یابی آنها تولید می‌شود را درک نموده و از آنها حذر نمایند. یکی از روش‌های بالقوه در کنترل فیزیکی، استفاده از امواج فراصوت (التراسونیک) (Tympanal organ) است که با توجه به قدرت بالای شنوایی نوکتوئیدها، یکی از روش‌های مناسب برای کنترل تلفیقی کرم ساقه خوار نیشکر این امواج می‌تواند باشد (Salehi et al. 2016). بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که شب‌پره‌های نوکتوئید قادر به شنیدن امواج فراصوت با بسامدهای بین ۲۰ تا ۵۰ کیلوهرتز هستند (Lapshin &

ضخیم‌تر بودند، جایگزین شد. لاروهای سنین بالاتر تا مرحله شفیرگی در داخل این ساقه‌ها پرورش داده شدند. در هر ظرف استوانه‌ای پرورش، ۲۰ ساقه قرار داده شد. برای تهویه مناسب در ظروف پرورش، درب آنها با توری و کش بسته می‌شد.

دستگاه تولید کننده امواج صوتی و فراصوتی نشان‌دهنده سیگنال‌های صوتی محیطی

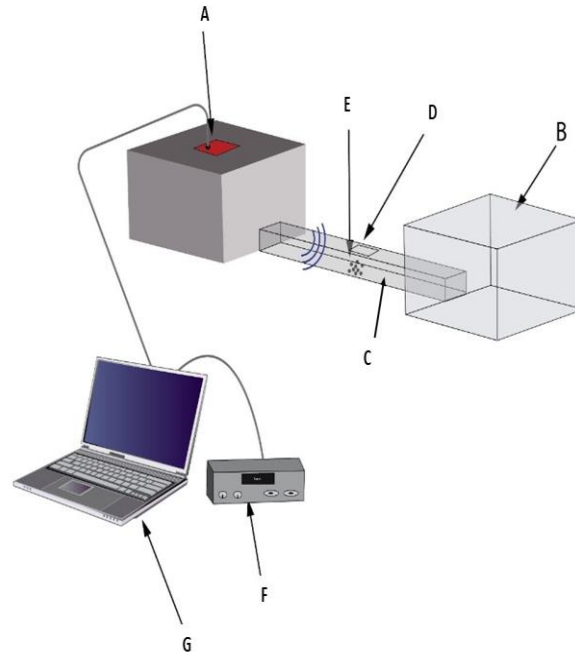
از دستگاه طراحی شده توسط Soheilipour and Rajabpour (2011) و با مشارکت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و شرکت رباتیک اهواز، برای تولید امواج صوتی با بسامد و شکل موج معین و همچنین نشان دادن سیگنال‌های صوتی محیطی استفاده شد. مجموعه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری این دستگاه امکان تولید هر بسامد صوتی و فراصوتی (۲ هرتز تا ۱۰۰ کیلوهرتز) و هر تابع که بیانگر شکل موج معینی است را به فرد کاربر می‌دهد (Salehi et al. 2016, Agah-Manesh et al. 2021).

آزمایش‌های انتخابی برای یافتن بهترین بسامد و شکل موج مؤثر دورکننده برای شب‌پره‌های بالغ *S. nonagrioides*

آزمایش‌های انتخابی در دو محفظه شیشه‌ای مکعب شکل به ابعاد $20 \times 20 \times 20$ سانتی‌متری که به وسیله یک تونل شیشه‌ای به ابعاد $50 \times 5 \times 40$ سانتی‌متر به هم مرتبط می‌شدند، انجام گرفت. در یکی از محفظه‌ها (واحد آزمایش) بلندگوی دستگاه مولد فراصوت نصب شده و در محفظه دیگر بلندگوی مورد نظر وجود نداشت. رهاسازی حشرات کامل جفت‌گیری کرده شب‌پره ساقه خوار (تا دو روزه) به تفکیک جنس نر و ماده، وسط تونل انجام می‌شد (شکل ۱). در این آزمایش، تیمارها شامل بسامدهای بین یک تا ۸۰ کیلو هرتز با شکل موج‌های مختلف سینوسی Sin (x)، کسینوسی Cos (x)، دندانه‌ای $3.24 \times \sin(x \div 10)$ و مربعی $0.9 - (1.84) \times \text{Abs}(x \div 3) \bmod 3$ بود که به صورت مجزا روی شب‌پره‌های نر و ماده مورد آزمون قرار گرفت (شکل ۲). هر تیمار شامل ده تکرار بوده و در هر تکرار پنج حشره نر یا ماده استفاده شد. پس از انجام آزمایش برای هر تکرار در مرحله بعد، شب‌پره‌ها شمارش و تعداد شب‌پره‌ها در هر محفظه، ثبت شد.

آلوده به آفت واقع در ایستگاه شماره یک موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، جمع‌آوری شدند. ساقه‌هایی که جوانه انتهایی آنها خشک شده و یا سوراخی در ساقه آنها وجود داشت، برای جمع‌آوری لاروهای آفت مورد بررسی قرار گرفت. ساقه‌ها در مرحله بعد شکافته شده و لاروها از درون آنها خارج شدند. برای شناسایی نی‌های آلوده به لارو، ساقه‌هایی بررسی می‌شدند که جوانه انتهایی آنها خشک شده باشد. و یا سوراخی در ساقه آنها وجود داشت که به دلیل فضولات لاروی، تیره رنگ شده بودند. لاروها پس از انتقال به آزمایشگاه، روی ساقه نیشکر قرار گرفته درون ظروف پلاستیکی استوانه‌ای پرورش (قطر ۱۶ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر) پرورش داده شدند. پس از طی مرحله لاروی، تشخیص جنسیت شفیره‌ها بر مبنای درزهای تناسلی صورت گرفته و شفیره‌ها به تفکیک جنسیت درون ظروف پلاستیکی استوانه‌ای با قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر نگهداری شدند. پس از خروج حشرات بالغ، شب‌پره‌ها به ظروف استوانه‌ای پرورش به منظور انجام جفت‌گیری و تخم‌ریزی، منتقل شدند. به منظور تخم‌ریزی شب‌پره‌ها، روزانه تعدادی سرنی نیشکر (قسمت انتهایی ساقه نیشکر) در ظروف استوانه‌ای پرورش قرار می‌گرفت. ظروف استوانه‌ای پرورش درون ژرمیناتور با دمای 1 ± 27 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی $5 \pm$ ۶۰ درصد و دوره روشنایی: تاریکی ۱۶ : ۸ ساعت، نگهداری می‌شدند.

برای پرورش لاروهای سنین یک و دو از قسمت‌های فوقانی ساقه نیشکر که لطیف‌تر بوده و خشبی نشده‌اند، استفاده می‌شد. برای این منظور، ساقه مذکور به قطعات دو و سه سانتی‌متر برش خورده و درون ظروف پتری (به قطر ۱۵ سانتی‌متر) که قبلاً با الکل ضدعفونی شده بود، روی لایه‌ای از اسفنج نازک یا دستمال کاغذی مرطوب قرار داده شدند. تخم‌هایی که دارای لاروهای نزدیک به مرحله تفریح بودند به تعداد ۵۰ عدد در هر ظرف پتری قرار گرفت. در مراحل اولیه، هر سه یا چهار روز یک‌بار ساقه‌های تازه جایگزین ساقه‌های قدیمی شدند. پس از انجام سومین یا چهارمین تعویض ساقه‌ها و رسیدن لاروها به سن دوم و یا سوم که نیاز غذایی بیشتری دارند، قطعات کوچک ساقه‌های لطیف گیاه میزبان با ساقه‌هایی که دارای مواد غذایی بیشتر بوده و



شکل ۱. محفظه شیشه‌ای طراحی شده برای انجام آزمایش‌های انتخابی (تصویر شماتیک). A. محفظه امواج فراصوت پوشش داده با عایق صدا (اکوستیک شرکت آرام گستر پارس)، B. محفظه بدون امواج فراصوت (محفظه شاهد)، C. تونل شیشه‌ای ارتباط دهنده، D. محل رهاسازی شب‌پره آرد، E. شب‌پره رهاسازی شده، F. دستگاه تولید کننده امواج فراصوت، G. رایانه (نرم‌افزار طراحی شده).

Figure 1. The designed glass chambers for performing free-choice trials (Schematic figure). **A.** ultrasonic chamber [covered by using soundproof layers], **B.** Control chamber [without the ultrasonic exposure], **C.** Glass connecting tunnel, **D.** The moth introducing opening, **E.** Released moths, **F.** Signal generator device, **G.** Operation of intermediate software using laptop computer.

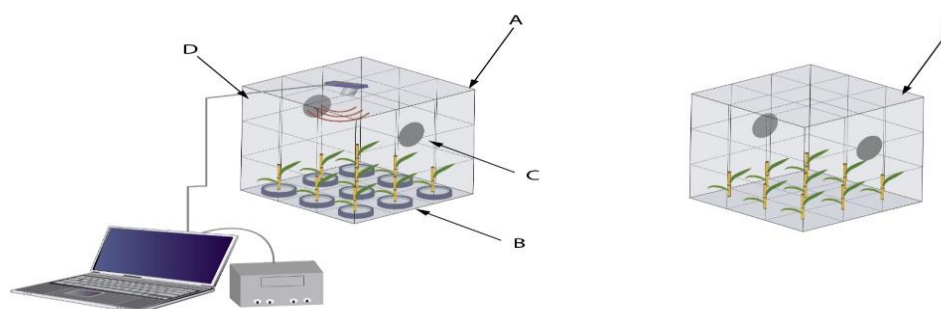


شکل ۲. شکل موج‌های مختلف مورد استفاده در آزمایش.

Figure 2. The wave shapes were emitted in the experiments.

پوشیده شد. درب محفظه‌ها به صورت کشویی طراحی شد تا انتقال، رهاسازی و شمارش حشرات به راحتی صورت پذیرد. کف، سقف و تمامی دیواره‌های محفظه به قسمت‌های مساوی مربع شکل با ابعاد ۱۶ سانتی‌متری تقسیم و شماره‌گذاری شد. در واقع هر بعد از محفظه به ۹ مربع با اضلاع ۱۶ سانتی‌متری تقسیم شد. بلندگوی مولد امواج فراصوت در گوشه سمت راست هر محفظه نصب شد (شکل ۳).

آزمایش‌های غیر انتخابی بررسی اثرات تیمارهای فراصوتی بر ویژگی‌های زیستی شب‌پره ساقه‌خوار نیشکر *S. nonagrioides* بررسی اثرات امواج فراصوت بر الگوی پراکندگی شب‌پره‌های ساقه‌خوار *Sesamia nonagrioides*: محفظه‌های آزمایشی مکعب شکل و از جنس شیشه به قطر چهار میلی‌متری و در ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰ سانتی‌متر برای انجام این آزمایش‌ها، طراحی شد. جهت تهویه مناسب در دیواره‌های کناری این محفظه‌ها دو قسمت دایره‌ای شکل با شعاع پنج سانتی‌متر برش داده و با توری پلاستیکی



شکل ۳. شکل شماتیک از محفظه شیشه‌ای طراحی شده برای انجام آزمایش‌های غیرانتخابی. A. محفظه امواج فراصوت، B. پلات آزمایش، C. محل تهیه محفظه، D. اسپیکر تولید کننده امواج فراصوت، F. محفظه بدون امواج فراصوت (محفظه شاهد).

Figure 3. Schematic figure of designed experimental glass chambers for non-choice trials. A. Ultrasonic chamber; B. Experimental plot; C. Ventilation opening; D. Emitter of signal generating device; F. Control chamber (without ultrasound exposure)

نوبت صبح و بعد از ظهر (هر ۱۲ ساعت یکبار) صورت گرفت. اندازه‌گیری وزن لاروها با کمک ترازوی دیجیتال سه صفر برحسب گرم انجام می‌شد. اندازه‌گیری در این مرحله بین دو تا سه هفته انجام پذیرفت. از زمان ظهور لاروهای سن ۳، لاروها به درون سرنی‌های نیشکر انتقال پیدا می‌کردند و هر دو روز این سرنی‌ها تعویض شدند. معمولاً سه هفته طول دوره لاروی سنین سه، چهار و پنج بود. لاروها پس از این مدت وارد دوره شفیرگی شدند. در این مرحله، بازدید روزانه از محفظه‌ها (به مدت چهار روز متوالی) تا زمان ظهور شب‌پره‌های بالغ صورت گرفت. بعد از ظهور بالغین، تعداد حشرات بالغ زنده روزانه شمارش و ثبت شد. آزمایش در شرایط دمایی ۲۸ درجه سانتی‌گراد و دوره روشنایی ۱۶ و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. بسامد استفاده شده در هر آزمایش بر اساس آزمون‌های انتخابی و مشخص نمودن بسامدها و شکل موجی بود که بیشترین اثرات دورکنندگی را روی شب‌پره‌های بالغ این آفت داشتند. این مرحله از آزمایشات شامل شش تکرار بود. زمان لازم برای هر آزمایش بین ۴۰ تا ۴۵ روز بسته به دوره رشدی و وارد شدن حشرات به مرحله بلوغ، متغیر بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از تجزیه و تحلیل فاکتوریل (با سه عامل اصلی هشتاد بسامد × و چهار شکل موج × دو جنس نر و ماده) بر مبنای طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از روش تحلیل واریانس ANOVA به منظور تعیین بسامد فراصوتی که بیشترین اثر دورکنندگی را داشت، استفاده شد. آزمون LSD برای مقایسه میانگین میزان شاخص

خصوصیات محفظه شاهد همانند خصوصیات تشریح شده برای محفظه تیمار فراصوت بود با این تفاوت که محفظه شاهد فاقد امواج فراصوت بوده است. بعد از آماده‌سازی محفظه‌ها، رهاسازی حشرات بالغ صورت گرفت. مراحل پرورش و جداسازی حشرات نر و ماده کاملاً مشابه آزمایش‌های انتخابی بود. در هر محفظه ۲۰ جفت شب‌پره نر و ماده رهاسازی شد. پس از ۱۲ ساعت، تعداد شب‌پره‌ها و موقعیت پراکنش آن‌ها در هر قسمت از محفظه شمارش و ثبت شد. شمارش و ثبت پراکنندگی بالغین هر ۱۲ ساعت یکبار و تا زمانی که مرگ کلیه شب‌پره‌ها، ادامه داشت. این زمان بین ۳-۵ روز متغیر بود.

بررسی اثرات امواج فراصوت بر الگوی پراکنندگی، وزن، طول دوره رشدی و بقای لارو و شفیره ساقه‌خوار *S. nonagrioides*

در آزمایش‌های غیرانتخابی مرحله لاروی، از محفظه‌های شیشه‌ای شرح داده شده برای آزمایش‌های غیرانتخابی مرحله بالغ استفاده شد. ولی در مرکز هر قسمت مربع شکل کف محفظه، یک ظرف پتری حاوی ۲۰ گرم ماده غذایی شامل تکه‌های نیشکر و آب عسل ۲۰٪ که زیر آنها کاغذ صافی گذاشته شده بود قرار داده شد. درون هر ظرف پتری، ۳۰ عدد تخم این آفت قرار داده شد به طور کلی هر محفظه شامل ۹ عدد ظرف پتری حاوی جیره غذایی بود. همانند آزمایش‌های قبل، بلندگوی تولیدکننده امواج فراصوت در گوشه سمت راست هر محفظه نصب شد. پنج روز پس از شروع آزمایش در ظروف پتری حاوی جیره غذایی لاروی، اولین لاروها ظاهر شدند. شمارش، وزن و تعداد لاروهای زنده در هر قسمت محفظه (هر پلات آزمایشی) به صورت جداگانه در دو

نتایج تحلیل آماری نشان داد که بسامد تأثیر معنی داری روی میزان دورکنندگی امواج فراصوت دریافت شده توسط شب‌پره‌های *S. nonagrioides* دارد (جدول ۱). روند تغییرات دورکنندگی (براساس شاخص دورکنندگی محاسبه شده) برای شب‌پره‌ها به صورتی بود که با افزایش بسامد امواج از ۳۴ کیلوهرتز این دورکنندگی افزایش می‌یافت و بیشترین دورکنندگی در بسامد ۴۰ کیلوهرتز بود. میزان دورکنندگی امواج فراصوت در این بسامد به صورت معنی داری بیشتر از سایر بسامدهای تولید شده بود. با افزایش بسامد فراتر از ۴۰ کیلوهرتز، مجدداً میزان دورکنندگی امواج فراصوت روندی کاهش از خود نشان داد (شکل ۴).

دورکنندگی در بسامدهای مختلف انجام شد. برای آزمون‌های غیرانتخابی تأثیر امواج فراصوت روی ویژگی‌های زیستی *S. nonagrioides* از آزمون جفت نشده استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۸,۱ صورت گرفت. آنالیز داده‌های به دست آمده از بررسی مربوط به الگوی پراکندگی لاروهای *S. nonagrioides* تحت تأثیر امواج فراصوتی، با استفاده از نرم‌افزار آماری $GS + 9.1.1$ انجام شد.

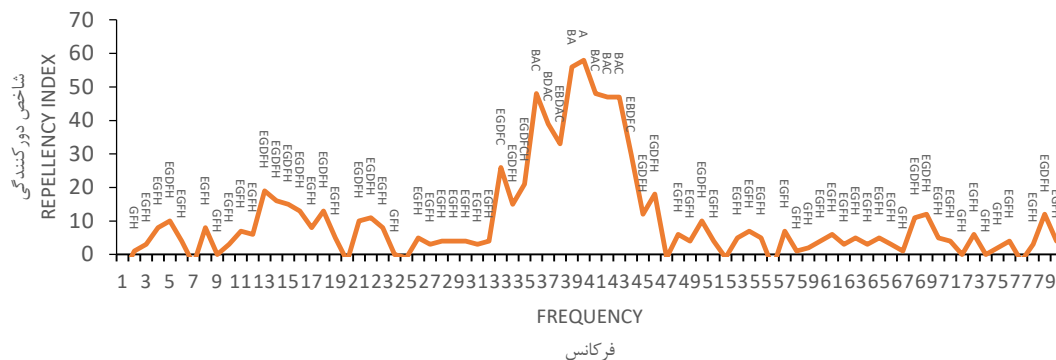
نتایج و بحث

آزمایش‌های انتخابی اثرات دورکنندگی بسامدهای مختلف امواج فراصوت

جدول ۱. تجزیه تحلیل اثرات اصلی و برهمکنش شب‌پره‌های دور شده *Sesamia nonagrioides* با استفاده از روش ANOVA.

Table 1. Analyses using General linear model (GLM) procedure for main factors and their interaction for repelled moths of *Sesamia nonagrioides*.

Source	Degree of freedom	F	P-value
Frequency	79	4.50	<0.0001
Wave shape	3	0.35	0.7919
Sex	1	1.28	0.2575
Wave shape × Frequency	237	0.52	1.0000
Wave shape × Sex	3	1.18	1.0000
Frequency × Sex	79	1.13	0.2.58
Wave shape × Frequency × Sex	237	0.43	1.0000



شکل ۴. میزان دورکنندگی (برحسب درصد) بسامدهای مختلف امواج صوتی و فراصوتی روی شب‌پره *Sesamia nonagrioides* (حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد است-آزمون LSD).

Figure 4. Repellency indices (%) of sonic and ultrasonic frequencies on *Sesamia nonagrioides* moths (similar letters do not show significant differences at 5% level using LSD test).

یکی از دلایل تکامل درک امواج فراصوت توسط افراد این خانواده، مکانیسم دفاعی در برابر شکار شدن توسط خفاش‌های حشره‌خواری است که به صورت هم‌جا با آنها هستند (Lapshin & Federova 1996). این خفاش‌ها با ارسال امواج فراصوتی با بسامدی خاص، سعی در مکان‌یابی شب‌پره‌های در حال پرواز دارند (Lynn et al. 2000) و لذا درک این بسامد خاص تولید

توانایی برخی از شب‌پره‌ها به ویژه خانواده‌های Noctuidae و Pyralidae در درک امواج فراصوتی برای برقراری ارتباط با خود و یا درک صدای دشمنان طبیعی خود، سال‌هاست که شناخته شده است (Hoy & Robert 1996). خانواده‌ی Noctuidae می‌توانند امواج فراصوت در دامنه بسامدی بین ۲۰ تا ۵۰ کیلوهرتز را با کمک اندام تیمپانای خود به خوبی درک نمایند.

موم خوار *Galleria mellonella* L. از امواج فراصوت برای جلب حشرات ماده نیز استفاده می‌نمایند (Greenfield & Weber, 2000). حساسیت در دامنه بسامدی خاص در برخی گونه‌های دیگر شب‌پره‌های نوکتوئید گزارش شده است. برای مثال دیده شده در دامنه بسامدی حدود ۱۲۰ کیلوهرتز شب‌پره‌های *Autographa gamma* L. بیشترین واکنش رفتاری (به صورت پرواز) از خود نشان می‌دهند و در دامنه‌های بالاتر یا پایین‌تر از این بسامد، میزان واکنش رفتاری به شدت کاهش می‌یابد (Skals et al. 2003).

شکل موج تأثیر معنی‌داری روی واکنش این حشرات نسبت به امواج فراصوتی دریافت شده، نشان ندادند (جدول ۱). در مطالعات صورت گرفته روی *S. cretica* نیز شکل موج در میزان دروکنندگی (براساس شاخص دورکنندگی) امواج فراصوت بی‌تأثیر بود (Agah-Manesh et al. 2021). البته در برخی از شب‌پره‌های دیگر نظیر *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)، شکل موج تأثیر معنی‌دار روی میزان دورکنندگی امواج فراصوت تولید شده داشته و از بین چهار شکل موج مورد آزمایش (سینوسی، کسینوسی، مربعی و دندانه‌ای شکل)، بیشترین تأثیر در امواج فراصوتی با شکل موج‌های سینوسی و کسینوسی دیده شده است (Salehi et al. 2016).

اگرچه جنسیت در مطالعه جاری تأثیری روی واکنش شب‌پره‌ها به امواج فراصوتی نداشت ولی در *S. cretica* (Agah-Manesh et al. 2021) و *E. kuehniella* (Salehi et al. 2016) جنس‌های نر و ماده اوج حساسیت را در فرکانس‌های متفاوتی از خود نشان داده‌اند. دلیل احتمالی نتایج متفاوت مشاهده شده می‌تواند تفاوت در ساختار سلول‌های گیرنده امواج صوتی یا ساختمان اندام تیمپانا در این گونه‌ها و جنسیت‌های مختلف باشد.

آزمایش‌های غیرانتخابی تأثیر امواج فراصوت

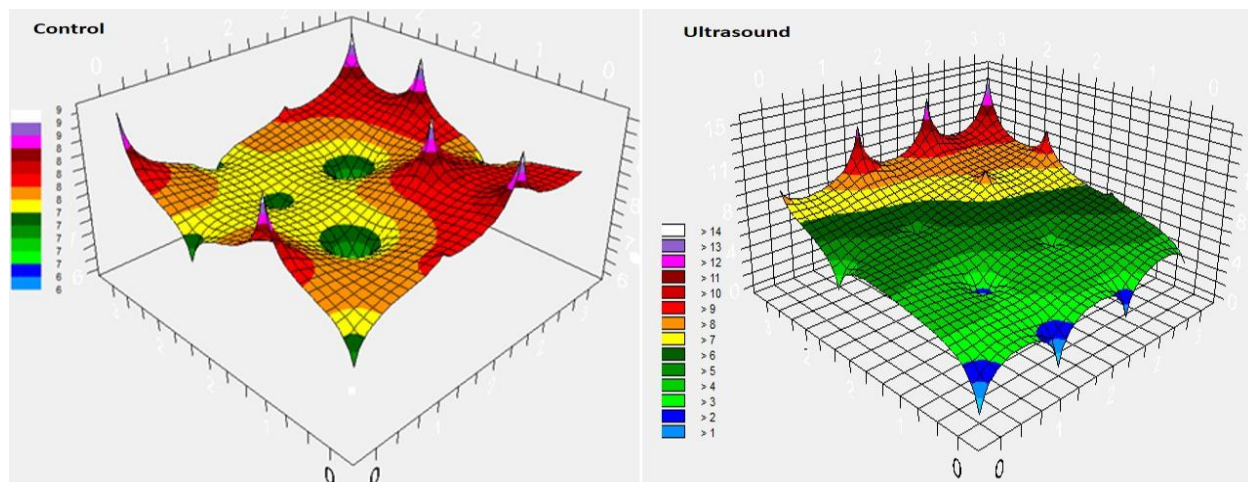
اثرات امواج فراصوت بر الگوی پراکندگی شب‌پره‌های بالغ *S. nonagrioides* الگوی پراکندگی شب‌پره‌هایی *S. nonagrioides* در محفظه‌امواج فراصوتی و محفظه‌ی شاهد (بدون در معرض قرار گرفتن با امواج فراصوتی) در شکل ۵ نشان داده شده است. در توضیح این شکل باید اشاره شود، نقاط صفر به عنوان مبدأ در نظر گرفته شده و محل انتشار امواج فراصوت می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده و میانگین تراکم محاسبه شده شب‌پره‌ها در هر مربع نیز با رنگ‌های مختلف نمایش داده شده

شده توسط خفاش، ابزاری مناسب برای دوری از این شکارگران مهم و انجام رفتارهای دفاعی نظیر شیرجه زدن، انجام مانورهای گمراه‌کننده و حتی فرود در مکان‌های امن است تا بدین ترتیب از دست‌ترش خفاش‌های مذبور، خارج شوند. حتی برخی از شب‌پره‌ها برای گمراه نمودن خفاش‌هایی که در حال تعقیب آنها می‌باشند، امواج فراصوت با فرکانسی معین از خود خارج می‌نمایند (Conner, 2014).

امواج صوتی و فراصوتی دارای خصوصیات مختلفی از قبیل بسامد، شکل موج، شدت موج و غیره می‌باشد که هر کدام می‌توانند روی واکنش جانور نسبت به آن اثرگذار باشند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های امواج صوتی و فراصوتی که تأثیر مهمی در درک آن توسط جانوران دارای توانایی شنوایی دارند، بسامد است. سیستم شنوایی جانوران از جمله شب‌پره‌های دارای اندام شنوایی تخصصی به صورتی است که در یک دامنه خاصی از بسامد، بیشترین میزان حساسیت را از خود نشان می‌دهد (Hoy et al. 1989). دلیل این تفاوت در حساسیت به بسامدهای مختلف ناشی از تفاوت در نوع و ساختار سلول‌های دریافت‌کننده سیگنال‌های صوتی است (Gopfert & Wasserthal 1999). برای مثال در گونه *Achroia grisella* F. نشان داده شده که ساختار و فیزیولوژی گیرنده‌های صوتی برای دریافت بسامد خاصی تطابق یافته است (Rodriguez & Greenfield 2004). اثبات شده که در طی تکامل معمولاً این سلول‌های به گونه‌ای عمل می‌کنند که حساسیت‌شان بیشتر در دامنه‌ای باشد که منطبق با بسامد تولید شده توسط خفاش‌های هم‌جای شکارگرشان باشد (Zha et al. 2009). نتایج بررسی‌های قبلی نشان داد که شب‌پره‌های *S. cretica* (Lepidoptera: Noctuidae) که به صورت هم‌جا با گونه *S. nonagrioides* در مزارع نیشکر استان خوزستان فعالیت دارند، در دامنه بسامد ۳۶/۵ تا ۴۰/۵ کیلوهرتز حساسیت بالاتری به امواج فراصوت دارند. البته برای گونه *S. cretica*، جنسیت در واکنش به بسامد امواج فراصوت اثری معنی‌دار داشت و بیشترین میزان حساسیت برای نرها و ماده‌های بالغ در بسامدهای ۳۹/۵ و ۳۷/۵ کیلوهرتز مشاهده شد (Agah-Manesh et al. 2021). مشابهت حساسیت این دو گونه از شب‌پره‌های نوکتوئید هم‌جا به دامنه خاصی از بسامد می‌تواند ناشی از یکسان بودن خفاش‌های حشره‌خواری باشد که از آنها به عنوان طعمه‌ای مشترک در مکان‌یابی خود با امواج فراصوت استفاده می‌نمایند. البته درک امواج فراصوت توسط شب‌پره‌های Noctuidae تنها برای دفاع از خود در برابر مکان‌یابی توسط امواج فراصوتی ایجاد شده توسط خفاش‌ها نیست. برای مثال بلکه ثابت شده شب‌پره‌های نر بید

پراکندگی نشان نداد. نتایج مشابهی که دلالت بر درک امواج فراصوت توسط شب‌پره‌ها و تلاش برای دور شدن از منبع تولید کننده آن است، در بید آرد (Salehi *et al.* 2016) و *S. nonagrioides* (Agah-Manesh *et al.* 2021) مشاهده شده است.

است. نتایج نشان داد با دور شدن از امواج فراصوتی، میانگین تراکم شب‌پره‌ها افزایش یافته است به صورتی که بیشترین شب‌پره‌ها در دورترین نقاط از منبع امواج فراصوت مشاهده شد. این در حالی بود که پراکندگی شب‌پره‌های این آفت در محفظه بدون امواج فراصوت (تیمار شاهد) تغییر خاصی در الگوی



شکل ۵. پراکنش فضایی شب‌پره‌های *Sesamia nonagrioides* در محفظه‌های فراصوت و شاهد. نقطه ۰ و ۰ بیانگر موقعیت بلندگوی امواج فراصوت است. تراکم‌های مختلف شب‌پره‌ها به ازای هر مربع، با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است.

Figure 5. Distribution patterns of *S. nonagrioides* moths in the ultrasonic and control chambers. The point 0 and 0 showed spatial coordinate of the ultrasound outlet. Different densities of the moths per each quadrat are shown with various colors.

و شفیره‌های *S. nonagrioides* اثر معنی‌داری نداشت. میزان کاهش طول دوره رشدی لاروهای سنین اول، دوم و سوم این حشره در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب برابر ۴/۹۷، ۶/۶۲ و ۸/۳۳ درصد بود. به طور مشابه، امواج فراصوت در بسامد دارای بیشترین میزان دورکنندگی، موجب کاهش طول دوره رشدی لاروهای سنین اول و دوم شب‌پره‌ی *S. cretica* شد ولی روی سنین بالای این آفت اثری نداشت (Agah-Manesh *et al.* 2021).

تأثیر امواج فراصوت روی ویژگی‌های زیستی *S. nonagrioides*

تأثیر امواج فراصوت با بسامد ۴۰ کیلوهرتز روی طول دوره رشدی مراحل مختلف نابالغ *S. nonagrioides* در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در معرض بودن لاروها با امواج فراصوت مذکور موجب کاهش معنی‌دار طول دوره رشدی لاروهای سنین پایین (لاروهای سن یک تا سه) این آفت شد ولی روی طول دوره رشدی لاروهای سنین بالا (سنین چهارم و پنجم)

جدول ۲. میانگین \pm SE طول دوره رشدی مراحل مختلف نابالغ *Sesamia nonagrioides* (روز) که در معرض امواج فراصوت (با بسامد ۴۰ کیلوهرتز) قرار گرفته‌اند.

Table 2. Mean \pm SE of longevities of various immature life stages *Sesamia nonagrioides* longevities (day) exposed to ultrasound (40 KHz).

Life stage	Mean \pm SE		t _(df=8)	P-value
	Ultrasonic treatment	Control		
Larvae 1 st	3.82 \pm 0.10	4.02 \pm 0.05	-1.84	0.054
Larvae 2 nd	9.30 \pm 0.20	9.96 \pm 0.04	-3.24	0.006
Larvae 3 rd	11.00 \pm 0.32	12.00 \pm 0.45	-1.83	0.053
Larvae 4 th	11.40 \pm 0.25	11.60 \pm 0.25	-0.58	0.290
Larvae 5 th	9.20 \pm 0.37	9.60 \pm 0.25	-0.89	0.199
Pupae	5.00 \pm 0.32	5.00 \pm 0.32	0.00	0.500

همچنین این امواج روی نرخ بقای سن سوم لاروی و حشرات کامل نر و ماده اثر معنی‌داری داشته و به ترتیب موجب کاهش ۲۴/۶، ۳۸/۸۸ و ۴۵ درصدی نرخ بقای این مراحل رشدی در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول ۴). تأثیر امواج فراصوتی روی بقای بالغین *S. nonagrioides* به مراتب بیشتر از مراحل نابالغ آن بود. در مورد بید آرد، امواج با بسامدهای بین ۴۰ تا ۴۵ کیلوهرتز موجب کاهش معنی‌دار بقای لاروی (۱۱/۷۶ درصد) شده ولی روی بقای شفیره‌های این آفت اثر نداشته است. تأثیر امواج در تغذیه می‌تواند باشد و تغذیه نیز روی بقا و ویژگی‌های زیستی حشرات اثرات مهمی دارد (Safaei et al. 2015; Mohammadi et al. 2015). در مورد گونه *S. cretica* بیشترین میزان تأثیر امواج فراصوتی روی بالغین بود که مشابه مطالعه حاضر است (Agah-Manesh et al. 2021).

امواج فراصوت دریافت شده توسط لاروها موجب کاهش معنی‌دار وزن کلیه سنین لاروی *S. nonagrioides* شد به صورتی که در مقایسه با تیمار شاهد، کاهش وزن مشاهده شده‌ی لاروهای سنین اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم، به ترتیب برابر ۷/۸۹، ۴/۷۶، ۳/۶۱، ۶/۶۱ و ۱۲/۶۶ درصد بود (جدول ۳). بنابراین بیشترین کاهش وزن در سن آخر لاروی دیده شد. در مورد شب‌پره بید آرد امواج فراصوت در دامنه مؤثر دورکننده، وزن لاروها و شفیره‌های این آفت را به میزان به ترتیب ۳۰/۴۳ و ۲۷/۹۱ درصد در مقایسه با لاروهای بی‌اثر که در معرض امواج نبودند (شاهد) کاهش داد. این کاهش معنی‌دار برای دیگر گونه کرم ساقه‌خوار هم‌جا در مزارع نیشکر استان خوزستان (*S. cretica*) در کلیه‌ی سنین لاروی مشاهده شد ولی تأثیر چشمگیری روی وزن شفیره‌های نر و ماده نداشت (Agah-Manesh et al. 2021).

جدول ۳. میانگین \pm SE وزن مراحل مختلف نابالغ *Sesamia nonagrioides* (گرم) که در معرض امواج فراصوت (با بسامد ۴۰ کیلوهرتز) قرار گرفته‌اند.

Table 3. Mean \pm SE of weights of various immature life stages *Sesamia nonagrioides* weights (gram) exposed to ultrasound (40 KHz).

Life stage	Mean \pm SE		t(df=8)	P-value
	Ultrasonic treatment	Control		
Larvae 1 st	0.35 \pm 0.00	0.38 \pm 0.00	-1.84	0.052
Larvae 2 nd	0.60 \pm 0.01	0.63 \pm 0.01	-2.64	0.015
Larvae 3 rd	0.80 \pm 0.01	0.83 \pm 0.01	-2.22	0.029
Larvae 4 th	1.27 \pm 0.01	1.36 \pm 0.01	-5.13	<0.001
Larvae 5 th	2.62 \pm 0.03	3.00 \pm 0.05	-6.42	<0.001

جدول ۴. میانگین \pm SE نرخ‌های بقای (برحسب درصد) مراحل مختلف زیستی *Sesamia nonagrioides* که در معرض امواج فراصوت (با بسامد ۴۰ کیلوهرتز) قرار گرفته‌اند.

Table 4. Mean \pm SE various life stages *Sesamia nonagrioides* survival rates (%) exposed to ultrasound (40 KHz).

Life stage	Mean \pm SE		t(df=8)	P-value
	Ultrasonic treatment	Control		
Larvae 1 st	100	100	-	-
Larvae 2 nd	62.00 \pm 2.55	66.00 \pm 2.92	-1.03	0.166
Larvae 3 rd	58.13 \pm 2.33	77.10 \pm 0.99	-7.49	0.000
Larvae 4 th	83.45 \pm 2.21	88.22 \pm 3.40	-1.18	0.137
Larvae 5 th	84.28 \pm 6.97	91.18 \pm 2.31	-0.940	0.188
Pupa	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	-	-
Adult (female)	2.2 \pm 0.37	4.0 \pm 0.32	-3.67	0.003
Adult (male)	2.2 \pm 0.20	3.6 \pm 0.68	-1.98	0.041

امواج توسط این حشره، موجب اثرات سوء روی ویژگی‌های زیستی مورد مطالعه شده است. اثبات شده استرس‌های محیطی موجب از کارافتادن سیستم آنتی‌اکسیدانی در برخی از شب‌پره‌های خانواده Noctuidae می‌گردد و این تأثیر به نوبه

نتایج تحقیق جاری بر تأثیر امواج فراصوت روی برخی از ویژگی‌های زیستی مراحل مشخصی از آفت *S. nonagrioides* دلالت دارد. به نظر می‌رسد امواج فراصوت روی این مراحل زندگی به عنوان یک عامل استرس‌زا عمل می‌نماید و درک این

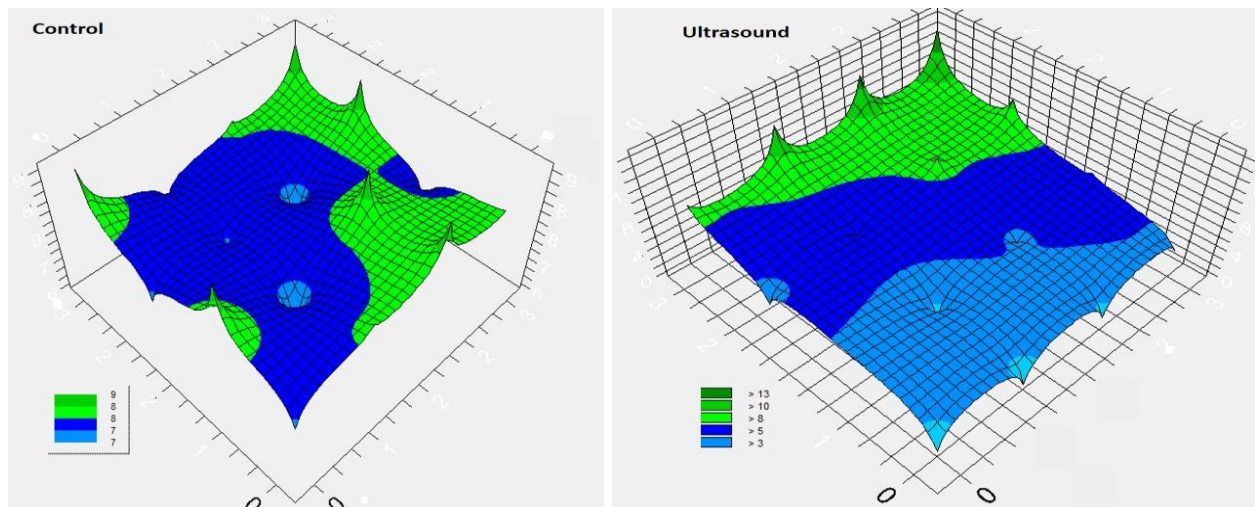
است. همانند تغییرات مشاهده شده در الگوی پراکندگی شب‌پره‌ها، مشاهده شد که با دور شدن از امواج فراصوتی، میانگین تراکم لاروی افزایش یافته است به صورتی که کمترین تراکم لاروی در اطراف منبع امواج فراصوت وجود داشت. تغییرات خاصی و الگوی مشخصی در نوع پراکندگی لاروهای این آفت در محفظه تیمار شاهد مشاهده نشد. واکنش رفتاری مشابهی در بید آرد (Salehi et al. 2016) و *S. nonagrioides* (Agah-Manesh et al. 2021) گزارش شده است.

به طور کلی، با توجه به اثرات دورکنندگی مؤثر امواج فراصوت با بسامد ۴۰ کیلوهرتز و تأثیرات منفی معنی‌دار این بسامد روی برخی ویژگی‌های زیستی *S. nonagrioides* این بسامد می‌تواند دارای کارایی بالقوه برای مهار جمعیت این آفت در مزارع باشد. با این حال، نیاز است تأثیرات این امواج در شرایط مزرعه‌ای روی این آفت نیز مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین، بررسی آزمایشگاهی و مزرعه‌ای این امواج روی سایر آفات و دشمنان طبیعی فعال روی این آفت و یا سایر آفات مزارع نیشکر قبل از توصیه به کاربرد مزرعه‌ای و تجاری دستگاه‌های منتشرکننده این امواج، ضروری می‌باشد.

خود، روی کیفیت زیستی مراحل مختلف رشدی این حشرات اثرات سوء می‌گذارد (Zha & Lei, 2012). اگرچه مراحل نابالغ لاروهای خانواده Noctuidae فاقد اندام‌های اختصاصی شنوایی مانند اعضای تیمپانا هستند ولی قادرند با کمک موهای حسی روی سطح بدن خود امواج محیطی را درک نمایند (Surlykke et al. 2003; Taylor & Yack, 2019). حداقل چهارجفت موی حسی روی قفسه سینه لاروها به عنوان اندام حسی مسئول شنوایی در لارو (*Barathra brassicae* L. (Lepidoptera: Noctuidae) گزارش شده‌اند. لاروهای این شب‌پره با کمک همین موهای حسی امواج فراصوتی که توسط زنبور (*Dolichovespula media* Retziu (Hymenoptera: Vespidae) تولید می‌شود را درک نموده و با رفتارهای دفاعی نظیر بی‌حرکت شدن (خود را به مردن زدن) و یا انداختن خود روی زمین، احتمال بقای خود را افزایش می‌دهند (Tautz & Markl, 1978).

بررسی اثرات امواج فراصوت بر الگوی پراکندگی لاروی

الگوی پراکندگی لاروهای شب‌پره *S. nonagrioides* در محفظه‌ی امواج فراصوتی و شاهد در شکل ۶ نشان داده شده



شکل ۶. پراکنش فضایی لاروهای *Sesamia nonagrioides* در محفظه‌های فراصوت و شاهد. نقطه ۰ و ۰ بیانگر موقعیت بلندگوی امواج فراصوت است. تراکم‌های مختلف لاروی به ازای هر مربع، با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است.

Figure 6. Larval distribution patterns of *S. nonagrioides* in the ultrasonic and control chambers. The point 0 and 0 showed spatial coordinate of the ultrasound outlet. Different densities of the larvae per each quadrat are shown with various colors.

References

Agah-Manesh H, Rajabpour A, Yarahmadi F, Farsi A, 2021. Potential of Ultrasound to Control *Sesamia cretica* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology* 50 (6): 1393–1399.

Conner WE, 2014. Adaptive sounds and silences acoustic anti predator strategies in insects. In: Hedwig B (Ed.)

Insect Hearing and Acoustic Communication. Springer, Germany. Pp: 65–79.

Gopfert MC, Wasserthal LT, 1999. Auditory sensory cells in hawkmoths: identification, physiology and structure. *Journal of Experimental Biology* 202: 1579–1587.

- Greenfield MD, Weber T, 2000. Evolution of ultrasonic signalling in wax moths: discrimination of ultrasonic mating calls from bat echolocation signals and the exploitation of an antipredator receiver bias by sexual advertisement. *Ethological and Ecological Evolution* 12: 259-279.
- Hoy RR, Robert D, 1996. Tympanal hearing in insects. *Annual Review of Entomology* 41: 433-450.
- Hoy R, Nolen T, Brodfuehrer P, 1989. The neuroethology of acoustic startle and escape in flying insects. *Journal of Experimental Biology* 146: 287-306.
- Khanjani M, 2009. Field crop pests in Iran. Bu-Ali Sina University Press, Hamadan, Iran.
- Lapshin DN, Federova MV, 1996. Responses of the tympanic organs of cutworm moth (*Amphipyra perflina*: Noctuidae) to ultrasound impulses. *Sensory System* 10: 1-11.
- Lynn JG, Zwemer RL, Chick AJ, Miller AE, 2000. A new method for the generation and use of focused ultrasound in experimental biology. *The Journal of General Physiology* 26 (2): 179-193.
- Mohammadi S, Seraj A, Rajabpour A, 2015. Effects of six greenhouse cucumber cultivars on reproductive performance and life expectancy of *Tetranychus turkestanii* (Acari: Tetranychidae). *Acarologia* 55(2): 231-242.
- Rodriguez RL, Greenfield MD, 2004. Behavioral context regulates dual function of ultrasonic hearing in lesser wax moths: bat avoidance and pair formation. *Physiological Entomology* 29: 159e168.
- Safaei N, Rajabpour A, Seraj, A, Evaluation of various diets and oviposition substrates for rearing *Orius albidipennis* Reuter. *Entomological Society of Iran* 35: 29-37.
- Salehi SS, Rajabpour A, Rasekh A, Farkhari M, 2016. Repellency and some biological effects of different ultrasonic waves on Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Product Research* 69: 14-21.
- Sayadmansour A, Soleyman-Nejadian E, Kocheily F, Askarian-Zade AR, Shakarami J, 2009. The fluctuation of egg population of sugarcane stem borers, *Sesamia nonagrioides* Lefebvre and its parasitism by *Platytenomus hylas* Nixon in relation to sugarcane phenology. *Journal of Entomological Research* 1 (1): 13-21 (In Persian with English abstract).
- Skals N, Plerpys D, El-Seyed AM, Lofstedt C, Surlykke A, 2003. Quantitative analysis of the effects of ultrasound from an odor sprayer on moth flight behavior. *Journal of Chemical Ecology* 29 (1): 71e82.
- Surlykke A, Yack JE, Spence AJ, Hasenfuss I, 2003. Hearing in hooktip moths (Drepanidae: Lepidoptera). *Journal of Experimental Biology* 206: 2653-2663.
- Tautz J, Markel H, 1978. Caterpillars detect flying wasps by hairs sensitive to airborne vibration. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 4: 101-110.
- Taylor CJ, Yack JE, 2019. Hearing in caterpillars of the monarch butterfly (*Danaus plexippus*). *Journal of Experimental Biology* 222: 53-63.
- Zha Y, Chen Q, Lei C, 2009. Ultrasonic hearing in moths. *Annual Society of Entomological France* 45: 145-156.
- Zha YP, Lei CL, 2012. Effects of ultrasound-stress on antioxidant enzyme activities of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 28: 34-41.

