تحقیقات آفات گیاهی
۱۰۲- ۹۱ :(۴)۱۲- ۱۴۰۱

علمی پژوهشی

سمیت گوارشی فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس روی مورچه *Tapinoma karavaievi* (Hym.: Formicidae) در شرایط آزمایشگاهی

وحیده مجیدی‌فر، حسین اللهیاری*، وحید حسینی‌نوه و خلیل طالبی‌جهرمی
گروه گیاه‌پزشکی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴)

چکیده

مورچه‌ها حشراتی اجتماعی از خانواده Formicidae هستند و از نظر تعداد و تنوع یکی از موفق‌ترین حشرات محسوب می‌شوند. با وجود تاثیر مطلوب آنها بر اکوسیستم، گاهی به علت خسارت به محصولات کشاورزی و تاسیسات ساختمانی به عنوان یک آفت جدی تلقی می‌شوند. طعمه‌گذاری، جایگزین مناسبی برای بسیاری از روش‌های مرسوم کنترل مورچه‌ها محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، اثر طعمه‌های حاوی فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس روی کارگران مورچه *Tapinoma karavaievi* در شرایط آزمایشگاهی و در زمان‌های ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از تیمار ارزیابی شد و در ادامه، میزان زنده‌مانی کارگران تیمار شده با غلظت کشنده پنجاه درصد (LC_{50}) ترکیب‌های مورد مطالعه در یک بازه زمانی دوهفته‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست-آمده، بیشترین میزان سمیت در هر سه بازه زمانی به ترتیب مربوط به فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس بود. علاوه بر این، ارزیابی اثر آفت‌کش‌ها روی میزان زنده‌مانی کارگران، بیانگر کنترل سریع‌تر کارگران تیمار شده با غلظت کشنده پنجاه درصد فیپرونیل(۲/۴۶ میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با ایمیداکلوپرید(۳۲/۶۱ میلی‌گرم بر لیتر) و بوراکس (۲۶۵۴/۴ میلی‌گرم بر لیتر) بود. نتایج نشان داد که اثربخشی ۹۰ درصدی فیپرونیل و ایمیداکلوپرید به ترتیب در روزهای هفتم و یازدهم پس از تیمار اتفاق افتاد و به نظر می‌رسد که اثر بخشی ۹۰ درصدی بوراکس، احتمالاً در هفته سوم پس از تیمار صورت گیرد. به طور کلی پژوهش حاضر نشان داد که هر سه آفت‌کش مورد مطالعه، از پتانسیل کافی برای کنترل مورچه‌های کارگر برخوردار هستند و انتخاب مناسب‌ترین ترکیب، منوط به در نظرگرفتن غلظت آفت‌کش مورد استفاده، استراتژی کنترل و توجه به اثرات جانبی آفت‌کش‌ها خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش، زنده‌مانی، زیست‌سنجی، مورچه، *Tapinoma karavaievi*

*نویسنده مسئول: allahyar@ut.ac.ir

مقدمه

مورچه‌ها حشراتی اجتماعی از راسته Hymenoptera و خانواده Formicidae هستند که از اجداد زنبور مانند در میانه دوره کرتاسه تکامل یافته و پس از افزایش گیاهان گل‌دار متنوع شده‌اند (Lach *et al*., 2010). مورچه‌ها تقریباً در تمام مناطق کره زمین به جز برخی جزایر دور افتاده و غیر‌قابل دسترس پراکنده بوده و با بیشتر محیط‌زیست‌های زمین، سازگار شده و توانایی زندگی در بسیاری از مناطق خشک زمین را دارند. موفقیت‌های اکولوژیکی چشم‌گیر مورچه‌ها در تعداد و تنوع آن‌ها منعکس شده است (Zhou *et al*., 2012). مورچه‌ها مهندسان اکوسیستم هستند و قادرند به صورت فیزیکی، شیمیایی و زیستی روی خاک اثر بگذارند (Frouz and Jilková, 2008). برخی از گونه‌ها جزو عوامل کنترل بیولوژیک محسوب شده و برخی در پراکنده‌سازی بذرگیاهان نقش دارند (Benckiser, 2010). با این حال، بسیاری از گونه‌ها به عنوان یک تهدید بزرگ در مناطق شهری و زمین‌های کشاورزی شناخته شده و سبب خسارت جدی به محصولات کشاورزی، تجهیزات ساختمانی و تأسیساتی می‌شوند (Ab Majid *et al*., 2018; Sakamoto *et al*., 2019). برخی از گونه‌ها از گیاهان تغذیه کرده و به عنوان ناقل بیماری‌های گیاهی عمل می‌کنند (Way and Khoo, 1992) و برخی به دلیل رابطه همزیستی با شته‌ها و شپشک‌های آردآلود سبب طغیان جمعیت این آفات می‌شوند (Madsen *et al*., 2017) . علاوه بر این، خسارت ناشی از گونه‌های مهاجم به اکوسیستم‌های بومی و تنوع زیستی روز به روز جدی‌تر می‌شود (Blackburn *et al*., 2019). مورچه‌های مهاجم در محدوده تهاجمی خود به صورت انفجاری تکثیر شده و سبب آسیب جدی به اکوسیستم‌های بومی و زندگی انسان‌ها می‌شوند (Sakamoto and Goka, 2021).

برای مدت‌های طولانی، کنترل شیمیایی به صورت گرد‌پاشی و محلول‌پاشی برای کاهش یا از بین بردن هجوم مورچه‌ها کاربرد زیادی داشته است (Stanley, 2004; Buczkowski, 2021). با این حال به علت عدم کارایی این‌گونه روش‌ها در کنترل دائمی جمعیت مورچه‌های آفت و به علت اثر نامطلوب آن‌ها روی محیط‌زیست و موجودات غیر‌هدف، در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های جایگزین بیش از پیش موردتوجه قرار گرفته است (Davis and van Schagen, 1993; Williams and vail, 1993; Suiter *et al*., 2021). نکته حائز اهمیت در انتخاب روش بهینه کنترل مورچه‌ها این است که مرگ و میر موردی کارگران تأثیر کمی بر زنده‌مانی کلنی دارد و تنها در صورت حذف ملکه به عنوان مولد، یا حذف تعداد کافی از کارگران، پتانسیل تولیدمثلی کلنی به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Jordan and Bayer, 2013). یکی از بهترین و موثرترین روش‌های کنترل مورچه‌ها در سطح وسیع، استفاده از طعمه‌های مسموم است (Williams and vail, 1993; Lee, 2000). طعمه‌ها حاوی مواد جلب‌کننده غذایی، مخلوط با یک یا چند آفت‌کش هستند (Stanley, 2004). در این روش، کنترل مورچه‌ها منوط به جلب شدن کارگران به طعمه و انتقال افقی آن در بین افراد کلنی از طریق تغذیه دهان به دهان[1] و رفتار نظافت کردن[2] است (Lee, 2000; Jordan and Bayer, 2013). بنابراین، انتخاب جلب‌کننده غذایی مناسب و آفت‌کش موثر از ارکان اصلی ساخت یک طعمه غذایی کارا برای کنترل مورچه‌ها به شمار می‌آیند (Klotz *et al*., 2000). ماده مؤثره مورد استفاده در طعمه‌ها باید کاربرد آسانی داشته باشد، برای حشرات، دورکننده نباشد و در عین حال به صورت کنداثر عمل کند تا کارگران زمان کافی برای برگشت به کلنی و اشتراک غذا با کارگران درون لانه، نوزادان[3] و ملکه را داشته باشند (Rust *et al*., 2000).

بوراکس، بوریک اسید، هیدرامتیلنون، فیپرونیل، ایندوکساکارب، آبامکتین، اسپینوساد، تیامتوکسام، ایمیداکلوپرید و ترکیبات تنظیم‌کننده رشد حشرات از جمله پرکاربردترین آفت‌کش‌هایی هستند که برای ساخت طعمه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rust *et al*., 2004; Stanley,

[1]. Trophallaxis
[2]. Grooming
[3]. Brood

2004). مسئله‌ای که باید در انتخاب آفت‌کش مورد استفاده برای ساخت طعمه‌های غذایی مورد توجه قرار گیرد این است که لزوماً تمام ترکیب‌های ذکر شده، کارایی لازم برای کنترل همه گونه‌های مورچه‌ها را ندارند و انتخاب آفت‌کش مناسب باید بر اساس شناخت دقیق گونه آفت صورت گیرد (Hooper-Bui and Rust, 2000; Buczkowski, 2021; Sakamoto and Goka, 2021).

گونه *Tapinoma karavaievi* مورچه‌ای از زیر خانواده Dolichoderinae است. این گونه در سطح جهانی از ازبکستان، افغانستان، ترکمنستان، عراق و قزاقستان (Antwiki, 2022) و در ایران از استان‌های تهران، چهارمحال‌وبختیاری، خراسان‌رضوی، فارس و اصفهان گزارش شده است (Paknia *et al*., 2008; Khalili-Moghadam *et al*., 2019; Jabaleh *et al*., 2020; Kiyani *et al*., 2021; Pashaei Rad and Iravani, 2022). برخی از مورچه‌های جنس *Tapinoma* به علت رابطه همزیستی با شته‌ها و شپشک‌ها سبب افزایش خسارت این آفات مکنده می‌شوند (Shattuck, 1992; Feng *et al*., 2015). فعالیت مورچه *T. karavaievi* به عنوان شکارگر زنبورگرده‌افشان انجیر سبب معرفی این گونه به عنوان عامل خسارت احتمالی به انجیر در اسطهبان استان فارس شده است (Kiyani *et al*., 2021). آنچه سبب شده است که مطالعه مورچه *T. karavaievi* مورد توجه پژوهش حاضر قرار گیرد، راه پیدا کردن این گونه به منازل مسکونی در منطقه جنوب خراسان، ایجاد مزاحمت برای ساکنین و لزوم بررسی روش های کنترل موثر و ایمن علیه این مورچه به عنوان یک آفت خانگی می‌باشد. با وجود پژوهش‌های متعدد صورت-گرفته در مورد بررسی اثر طعمه‌ها در کنترل مورچه‌های آفت (Williams, 1983; Hooper-Bui and Rust, 2000; Higgins *et al*., 2002; Greenberg et al., 2006; Buczkowski *et al*., 2018)، تاکنون مطالعه‌ای روی گونه *T. karavaievi* صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت و جایگاه نقش آفت‌کش‌ها در کنترل موفقیت‌آمیز مورچه‌ها (Klotz *et al*., 2000)، بررسی و مقایسه اثر آفت‌کش‌های مختلف، برای انتخاب ترکیب مناسب برای استفاده در ساخت طعمه‌های غذایی حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین، در پژوهش حاضر، اثر سه ترکیب فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس که از جمله پرکاربردترین آفت‌کش‌ها در ساخت طعمه‌های تجاری و خانگی محسوب می‌شوند، روی کارگران مورچه *T. karavaievi* مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ترکیب‌های مورد استفاده در آزمایش

آفت‌کش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل ایمیداکلوپرید (خلوص ۹۹ درصد، شرکت بایر، آلمان)، فیپرونیل (خلوص ۹۹ درصد، تهیه شده از شرکت گل سم، ایران) و بوراکس (خلوص ۹۰ درصد، ۱۰ آبه، شرکت مرک، آلمان) بودند.

جمع‌آوری و پرورش حشرات

کلنی‌های مورچه *T. karavaievi* از باغ‌های انار واقع در ۳۵ کیلومتری شهر بیرجند (عرض جغرافیایی ۳۲/۷۶۱ و طول جغرافیایی ۵۸/۸۵۳۵) در استان خراسان جنوبی جمع‌آوری شد و سپس، به ساختمان حشره‌شناسی گروه گیاهپزشکی دانشگاه تهران منتقل شدند. شناسایی گونه با استفاده از کلیدهای معتبر (Collingwood 1985; Bolton,1994) انجام شد و تایید نهایی آن توسط دکتر برنهارد زایفرت (Bernhard Seifert) از کشور آلمان صورت گرفت. پرورش مورچه‌ها درون ظروف پلاستیکی با ابعاد ۲۰× ۲۸× ۴۴ سانتی متر مکعب که در اتاقک رشد با دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰±۵۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شده بودند، انجام شد. تغذیه مورچه‌ها نیز با استفاده از ساکارز ۱۰ درصد و لارو سوسک زرد آرد .L *Tenebrio molitor* صورت گرفت وکلنی مورچه‌ها با شرایط ذکر شده تا چندین نسل در آزمایشگاه پرورش داده شدند.

زیست‌سنجی

برای بررسی پتانسیل حشره‌کشی فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس روی کارگران *T. karavaievi* از روش گوارشی (Madsen *et al*., 2017) استفاده شد. طعمه غذایی مایع حاوی پروتئین (عصاره مرغ) و کربوهیدرات (ساکارز) با نسبت سه به یک آماده شد و سپس، آفت‌کش‌های مورد

آزمایش به آن اضافه شد. زیست‌سنجی‌های مقدماتی برای تعیین غلظت‌هایی که سبب ۱۰ تا ۹۰ درصد کشندگی کارگران در بازه‌های زمانی ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از تیمار می‌شوند انجام شد. پس از انجام زیست‌سنجی‌های مقدماتی و با استفاده از فواصل لگاریتمی، سه غلظت بین غلظت‌های حد پایین و بالای هر آفت‌کش برآورد شد و در نهایت، از پنج غلظت سمی و یک شاهد که شامل طعمه غذایی بدون آفت‌کش بود برای زیست‌سنجی نهایی استفاده شد (جدول ۱). طعمه‌ها در یک میکروتیوب ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شدند و پس از مسدودسازی درپوش میکروتیوب با استفاده از پنبه دندان-پزشکی، درون ظروف پتری با قطر ۹ و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر قرار داده شدند. برای ایجاد تهویه، یک دریچه روی در هر ظرف پتری تعبیه شد و سپس با استفاده از توری حریر پوشانده شد. برای هر یک از غلظت‌های مورد استفاده، ۱۰۰ عدد مورچه چراگر (Forager) ، به‌طور تصادفی از کلنی‌هایی که قبل از شروع آزمایش به مدت ۷۲ ساعت تحت شرایط گرسنگی بودند جداسازی شده و سپس با استفاده از یک قلم-موی نرم و به آرامی به درون هر ظرف پتری منتقل شدند. پتری‌های مربوط به تیمارها در اتاقک رشد با شرایطی دمایی، رطوبتی و نوری که پیش از این ذکر شد، قرار داده شدند. زیست‌سنجی‌ها برای هر سه بازه زمانی مورد مطالعه در سه تکرار انجام شد.

جدول ۱- غلظت‌های فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس مورد استفاده برای محاسبه LC_{50} در بازه‌های زمانی ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از تیمار

Table 1. The concentrations of fipronil, imidacloprid and borax for calculation of LC_{50}, 72, 96, and 120 hours after treatment

Insecticide	Time	Concentrations (mg ai L^{-1})
Fipronil	72	0.5-1.01-1.92-3.63-7
Imidacloprid	72	5-10.47-21.37-43.65-90
Borax	72	547-1093-2186-4351-8697
Fipronil	96	0.2-0.47-1.09-2.54-6
Imidacloprid	96	1-3.08-9.46-29.04-90
Borax	96	547-1071-1968-3586-6559
Fipronil	120	0.1-0.25-0.63-1.59-4
Imidacloprid	120	1-2.88-8.31-23.98-70
Borax	120	547-962-1705-3017-5466

ارزیابی اثر آفت‌کش‌ها روی میزان زنده‌مانی کارگران

برای بررسی اثر آفت‌کش‌ها روی میزان زنده‌مانی کارگران، از دزکشنده پنجاه درصد ترکیب‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۷۲ ساعت استفاده شد. یک طعمه غذایی مایع، تهیه و پس از افزودن آفت‌کش‌ها، مشابه مراحل قبل در آزمایش‌ها استفاده شدند. به منظور حفظ تازگی طعمه‌ها، میکروتیوب‌ها هر دو روز یک‌بار با میکروتیوب جدید جایگزین شدند. برای هر تیمار، ۱۰۰ عدد مورچه چراگر به-طور تصادفی از کلنی‌هایی که قبل از شروع آزمایش به مدت ۷۲ ساعت در شرایط گرسنگی بودند، جداسازی شده و سپس با استفاده از یک قلم‌موی نرم و به آرامی به درون هر ظرف پتری منتقل شدند. پتری‌های مربوط به تیمارها در اتاقک رشد با شرایط دمایی، رطوبتی و نوری که پیش از این ذکر شد، قرار داده شد و میزان تلفات روزانه حشرات به مدت دو هفته ثبت شد. این آزمایش برای هر سه ترکیب مورد مطالعه در سه تکرار انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تعیین غلظت‌های کشنده (LC_{10}، LC_{50} و LC_{90})، مقایسه سمیت آفت‌کش‌ها و بررسی فرضیه‌های

موازی و مساوی بودن خطوط رگرسیونی از نرم‌افزار پولو-پلاس (نسخه ۲) استفاده شد. همچنین، برای آنالیز داده‌های مربوط به میزان زنده‌مانی کارگران از روش کاکس در بسته coxme، برای آزمون فرضیه از تابع Anova در بسته car و برای رسم منحنی‌های مربوط از بسته‌های ggsurvplot و ggplot2 در نرم‌افزار R v.4.2.1 استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه پروبیت داده‌های حاصل از سمیت خوراکی آفت‌کش‌های فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس روی کارگران مورچه *T. karavaievi* در جدول ۱ نشان داده شده است. LC_{50} آفت‌کش‌های مزبور در بازه های زمانی ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از تیمار برای فیپرونیل به ترتیب ۲/۴۶، ۱/۱۵ و ۰/۶۱، برای ایمیداکلوپرید ۳۲/۶۱، ۲۰/۳۲ و ۱۵/۳۵ و برای بوراکس ۲۶۵۴/۴، ۲۳۵۰/۲ و ۲۰۱۰/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر طعمه مایع برآورد شد.

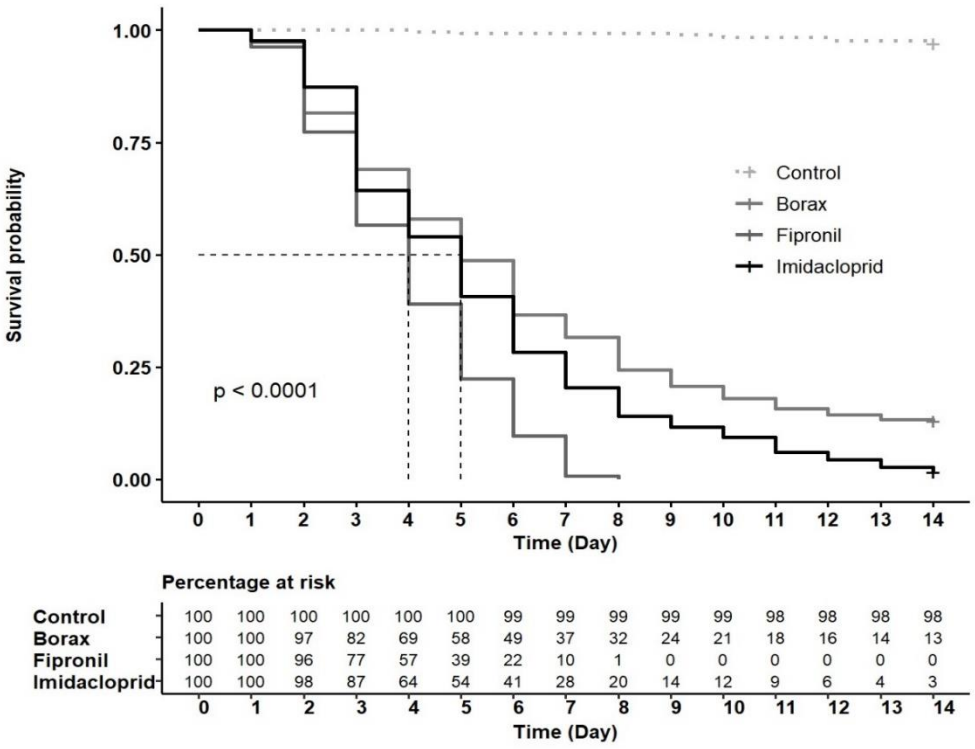
جدول ۲ - آنالیز پروبیت سمیت گوارشی فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از تیمار روی کارگران *Tapinoma karavaievi*

Table 2. Probit analysis of oral toxicity of fipronil, imidacloprid and borax 72, 96, and 120 hours after treatment against *Tapinoma karavaievi* workers

Insecticide	Time	Slope ± SE	LC_{10}	LC_{50}	LC_{90}	χ2 (df)	Heterogeneity
Fipronil	72	2.59±0.14	0.79(0.66-0.91)	2.46 (2.27-2.66)	7.69 (6.79 -8.93)	4.64 (13)	0.357
Imidacloprid	72	2.43±0.16	9.7(7.6-11.72)	32.61(29.56-35.72)	109.35(94.61-131)	8.91 (13)	0.686
Borax	72	2.5±0.12	820.6 (707.7-931.33)	2654.4(2460.2 -2861.7)	8586.7(7613.14-9877.8)	9.99(13)	0.769
Fipronil	96	1.58± 0.08	0.18(0.13-0.22)	1.15(1.02-1.3)	7.48(6.13 – 9.49)	8.96(13)	0.690
Imidacloprid	96	1.6±0.11	3.23(2.19-4.35)	20.32(17.36-23.46)	127.82(101.6-170.7)	8.96(13)	0.690
Borax	96	2.92±0.14	858.13(747.194-964.7)	2350.2(2194.4-2512.7)	6436.6 (5798.9-7273.7)	9.1(13)	0.700
Fipronil	120	1.44±0.07	0.08(0.06-0.1)	0.61(0.54-0.69)	4.74(3.84-6.08)	5.77 (13)	0.444
Imidacloprid	120	1.56±0.1	2.34(1.59-3.1)	15.35(13.12-17.73)	100.7(80.22-134.11)	12.9(13)	0.992
Borax	120	2.98±0.15	747.87 (650.39-841.3)	2010.09 (1876.4-2148.9)	5402.62 (4874.56-6095.7)	9.5 (13)	0.732

مقایسه آماری آفت‌کش‌های مورد استفاده، نشان‌دهنده سمیت بیشتر فیپرونیل در مقایسه با ایمیداکلوپرید و بوراکس در بازه زمانی ۷۲ ساعت پس از تیمار بود. نتایج آزمون نسبت درست نمایی، بیانگر رد شدن فرضیه برابری خطوط رگرسیونی آفت‌کش‌های فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس ($p<0.05$) و تایید فرضیه موازی بودن آن‌ها ($p= 0.708$) بود. ضمن این‌که نتایج آزمون توانمندی نسبی نیز بیانگر اختلاف معنی‌دار در میزان سمیت فیپرونیل در مقایسه با ایمیداکلوپرید و بوراکس و اختلاف معنی‌دار ایمیداکلوپرید در مقایسه با بوراکس بود. مقایسه سمیت آفت‌کش‌ها در بازه-های زمانی ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از تیمار نیز نتایج مشابهی با بازه زمانی ۷۲ ساعت پس از تیمار نشان داد، با این تفاوت که فرضیه موازی بودن خطوط رگرسیونی آفت‌کش‌ها رد شد ($p<0.05$).

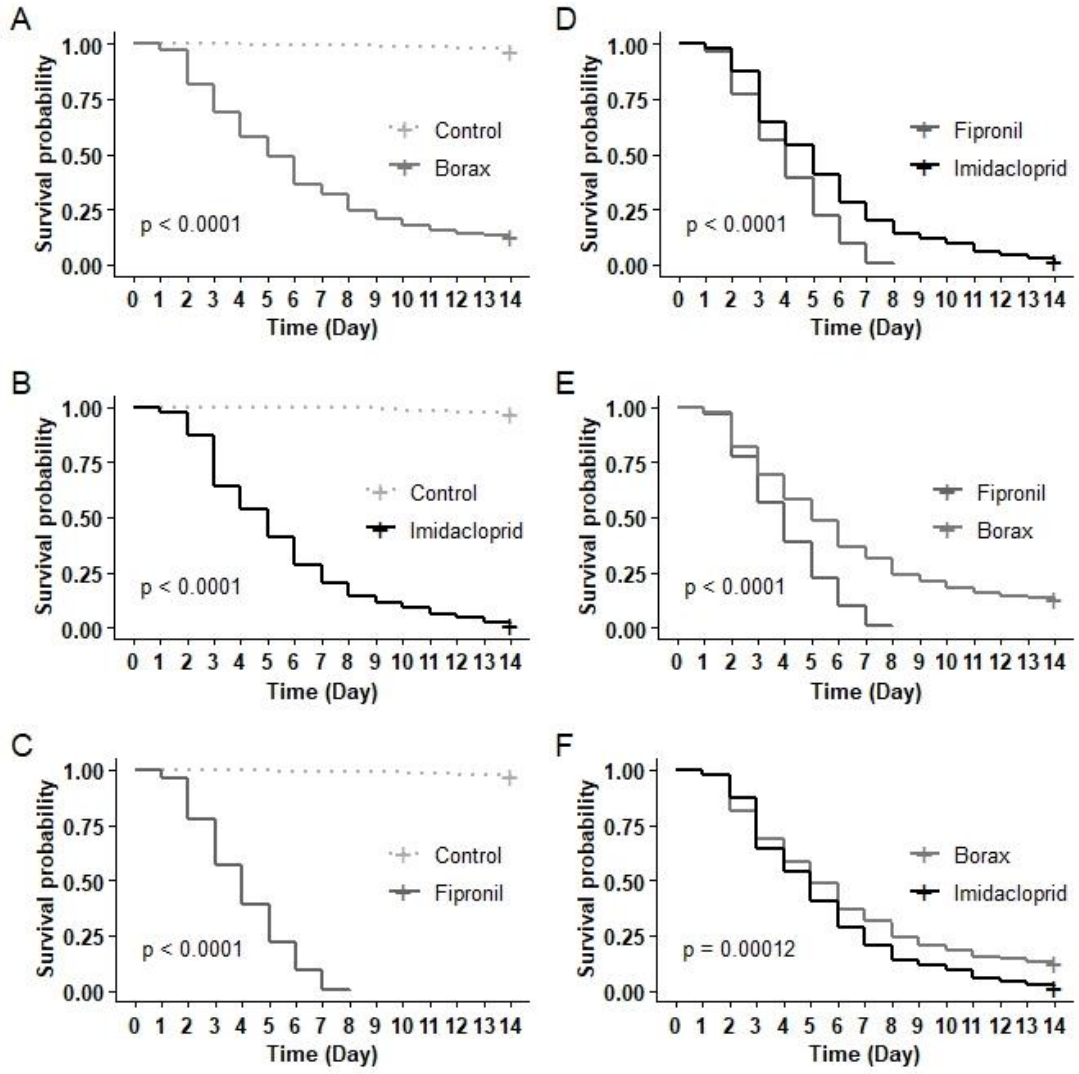
مقایسه کلی اثر آفت‌کش‌ها روی میزان زنده‌مانی کارگران (شکل ۱)، بیانگر تفاوت معنی دار این ترکیب‌ها در یک بازه زمانی ۱۴ روزه بود ($\chi2 = 290.65, P <0.0001$). طبق نتایج به دست آمده (شکل ۱)، اثر بخشی ۵۰ درصدی فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس به ترتیب در روزهای چهارم، پنجم و پنجم پس از تیمار و اثر بخشی ۹۰ درصدی فیپرونیل و ایمیداکلوپرید به ترتیب در روزهای هفتم ویازدهم پس از تیمار اتفاق افتاد؛ ضمن این‌که طبق روند منحنی‌های شکل ۱، انتظار می‌رود که اثربخشی ۹۰ درصدی بوراکس در هفته سوم پس از تیمار صورت گیرد.



شکل ۱- منحنی زنده‌مانی کارگران *Tapinoma karavaievi* تیمارشده با غلظت نیمه‌کشنده فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس در یک بازه زمانی دو هفته‌ای

Figure 1. The survival curve of *Tapinoma karavaievi* workers treated with LC_{50} of fipronil, imidacloprid, and borax in a two-week period

مقایسه دوتایی تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که فیپرونیل ($\chi2 = 85.899$, $P < 0.0001$, Fig. 1C)، ایمیداکلوپرید ($\chi2 = 188.34$, $P < 0.0001$, Fig. 1B) و بوراکس ($\chi2 = 146.56$, $P<0.0001$, Fig. 1A) در مقایسه با شاهد، فیپرونیل در مقایسه با ایمیداکلوپرید ($\chi2 = 50.836$, $P < 0.0001$, Fig. 1D) و بوراکس ($\chi2 = 85.345$, $P < 0.0001$, Fig. 1E) و ایمیداکلوپرید در مقایسه با بوراکس ($\chi2 = 15.051$, $P = 0.0001$, Fig. 1F) به طور معناداری سبب کاهش میزان زنده‌مانی کارگران شدند (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه دوتایی منحنی زنده‌مانی کارگران *Tapinoma karavaievi* تیمارشده با غلظت نیمه‌کشنده فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس در یک بازه زمانی دو هفته‌ای

Figure 2. Pairwise comparison of the survival curve of *Tapinoma karavaievi* workers treated with fipronil, imidacloprid, and borax in a two-week period

بحث

طعمه‌ها نقش بسیار مهمی در مدیریت آفات شهری به‌ویژه مورچه، موریانه و سوسری‌ها دارند. قرارگیری طعمه‌ها در جایی دور از دسترس انسان‌ها به‌ویژه کودکان و کاهش میزان استفاده از ماده موثره آفت‌کش‌ها سبب شده است که طعمه‌ها نسبت به سایر فرمولاسیون‌ها خطر کمتری برای مصرف‌کنندگان و محیط‌زیست داشته باشند (Jordan and Bayer, 2013). عوامل متعددی در انتخاب آفت‌کش مورد استفاده به‌منظور ساخت طعمه‌های مسموم نقش دارند (Stringer *et al.*, 1964) که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به انتخاب آفت‌کش‌هایی که در غلظت‌های کم، موثر بوده و کند اثر هستند، اشاره کرد (Rust *et al.*, 2000). مقایسه سمیت خوراکی فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس روی کارگران مورچه *T. karavaievi* نشان داد که این آفت‌کش‌ها دارای تفاوت معنی‌دار بوده و فیپرونیل و بوراکس به ترتیب دارای بیشترین و کم‌ترین سمیت روی این گونه مورچه هستند؛ ضمن

این‌که گذشت زمان، سبب افزایش سمیت هر سه ترکیب مورد مطالعه شده است. علاوه بر این، مشخص شد که کاربرد غلظت نیمه‌کشنده فیپرونیل سبب تلفات صد درصدی مورچه‌ها پس از گذشت نه روز از شروع آزمایش شد، در حالی‌که تلفات ایجاد شده توسط ایمیداکلوپرید و بوراکس در انتهای آزمایش به ترتیب به ۹۷ و ۸۷ درصد رسید. در آزمایش‌های مربوط به بررسی اثر آفت‌کش‌ها روی میزان زنده‌مانی مورچه‌ها، در نهایت آفت‌کش‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای سمیت تاخیری بوده و منجر به ایجاد تلفات ۹۰-۸۵ درصدی جمعیت مورچه‌ها در انتهای آزمایش شوند (Williams, 1983).

فیپرونیل به دلیل اثر بخشی در غلظت‌های کم، به عنوان یکی از پرکاربردترین آفت‌کش‌ها برای استفاده در ساخت طعمه‌های غذایی شناخته می‌شود (Ulloa-Chacón and Jaramillo, 2003; Scharf *et al*., 2004; Xiong *et al*., 2019). نتایج پژوهش حاضر، تایید کننده اثربخشی این آفت‌کش در غلظت‌های کم است، اما از آن‌جا که کاربرد غلظت نیمه‌کشنده این ترکیب، منجر به تلفات کامل جمعیت مورچه‌ها در شروع هفته دوم پس از تیمار شد، لازم است انتخاب غلظت مناسب برای استفاده در طعمه‌های مسموم، بر اساس ارزیابی غلظت‌های کمتر این آفت‌کش صورت گیرد. به نظر می‌رسد که علت سمیت بالای فیپرونیل، تبدیل شدن آن به فیپرونیل‌سولفون در بدن حشرات باشد (Durham *et al*., 2002). مقایسه سمیت گوارشی فیپرونیل و فیپرونیل‌سولفون روی مورچه *Solenopsis invicta* نشان داده است که LC_{50} این ترکیبات در بازه زمانی ۴۸ ساعت پس از تیمار به ترتیب ۲/۵۱ و ۰/۸۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر است که بر سمیت بیشتر فیپرونیل‌سولفون دلالت دارد (Xiong *et al*., 2019).

بررسی اثر ایمیداکلوپرید روی کارگران مورچه *T. karavaievi*، به ترتیب بیانگر سمیت کمتر و بیشتر این ترکیب در مقایسه با فیپرونیل و بوراکس بود. از آن‌جاکه میزان تلفات مورچه‌های تیمار شده با ایمیداکلوپرید در انتهای آزمایش به ۹۷ درصد رسیده است، به نظر می‌رسد که اثربخشی غلظت‌های کمتر این آفت‌کش نیز باید مورد ارزیابی قرار گیرد. گونه‌های مختلف مورچه، حساسیت یکسانی به ایمیداکلوپرید نشان نمی‌دهند، به طوری که نتایج مطالعه صورت‌گرفته روی کارگران مورچه آرژانتینی *Linepithema humile* نشان داده است که کاربرد ایمیداکلوپرید در غلظتی حدود یک ششم غلظت مورد استفاده در پژوهش حاضر، سبب ایجاد تلفات ۸۸ درصدی کارگران شده است (Rust *et al*., 2004). به دلیل وجود تفاوت در میزان حساسیت مورچه‌ها (Buczkowski, 2021)، پاسخ‌های رفتاری متفاوت آن‌ها به آفت‌کش‌ها دور از انتظار نیست. این تفاوت‌ها، لزوم توجه به شناخت دقیق گونه هدف را به‌منظور ارتقای استراتژی‌های مدیریت آفات، یادآور می‌شود (Sola *et al*., 2013).

طبق نتایج به دست آمده، گرچه بوراکس در مقایسه با دو آفت‌کش مورد استفاده دیگر، دارای سمیت کمتری برای مورچه *T. karavaievi* است، اما از آن‌جا که سبب ایجاد تلفات ۸۷ درصدی جمعیت مورچه‌ها شده است، می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای کنترل این گونه مدنظر قرار داده شود. آن‌چه بوراکس را به عنوان یک ترکیب محبوب برای استفاده در ساخت طعمه‌های مسموم بدل کرده است، قیمت به‌نسبت ارزان، دسترسی آسان و کارایی آن در مصارف خانگی است (Klotz *et al*., 2000; Lide, 2004). گرچه اطلاعات کمی در مورد عملکرد فیزیولوژیکی بوراکس در بدن حشرات وجود دارد، ولی به نظر می‌رسد این ترکیب سبب مسمومیت معده و اختلال در چسبندگی سلول‌ها برای حشراتی می‌شود که با ماده فعال تماس پیدا کرده یا آن را مصرف می‌کنند (Klotz *et al*., 2000). سولا و همکاران در سال ۲۰۱۳، اثر بوراکس و بوریک‌اسید نیم‌درصد را روی میزان زنده‌مانی کارگران مورچه آرژانتینی *L. humile* و مورچه نجار *Camponotus mus* مورد مطالعه قرار داده‌اند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، با وجود تلفات ۵۰ درصدی کارگران مورچه آرژانتینی تیمار شده با بوریک‌اسید در دو روز اول پس از تیمار، میزان تلفات کارگران تیمارشده با بوراکس پس از گذشت ۱۴ روز، در نهایت به ۲۰ درصد رسید؛ این در حالی است که مورچه‌های نجار، پاسخ کاملاً متضادی به این ترکیب‌ها نشان دادند (Sola et al., 2013).

در انتخاب نهایی یک آفت‌کش به‌منظور استفاده در ساخت طعمه‌های غذایی، علاوه بر در نظر گرفتن سمیت تاخیری و غلظت مورد استفاده از آن آفت‌کش، عوامل دیگری همچون استراتژی کنترل و توجه به مسائل زیست-محیطی نیز حائز اهمیت هستند (Jordan and Bayer, 2013; Welzel and Choe, 2016). استراتژی کنترل می-تواند شامل حذف تعداد قابل توجهی از کارگران یا حذف ملکه باشد (Jordan and Bayer, 2013). در صورتی که هدف، حذف کارگران باشد، آفت‌کش انتخابی باید توانایی کشتن تعداد زیادی از کارگران را در بازه زمانی مورد نظر داشته باشد، به نحوی‌که شایستگی کلنی به طور چشم‌گیری تحت‌تاثیر قرارگیرد؛ اما در صورتی که هدف، حذف ملکه باشد، ترکیبات مورد استفاده باید علاوه بر کاهش قابل توجه جمعیت کارگران، توانایی کشندگی ملکه را نیز داشته باشند (Hooper-Bui and Rust, 2000; Jordan and Bayer, 2013). در واقع، آفت‌کش مورد استفاده، باید با وجود رقیق‌تر شدن توسط سایر اعضای کلنی، هم‌چنان روی ملکه نیز موثر باشند (Hooper-Bui and Rust, 2000). در پژوهش حاضر، با توجه به انتخاب استراتژی حذف کارگران و مرگ-ومیر بیشتر از ۹۰ درصد مورچه های تیمارشده با هر سه آفت-کش مورد مطالعه طی یک بازه زمانی دوهفته‌ای، می‌توان این-گونه استنباط کرد که فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس گزینه‌های مناسبی برای کنترل کارگران مورچه *T. karavaievi* هستند.

اهمیت روز افزون توجه به مسائل زیست‌محیطی و اثرات جانبی استفاده از آفت‌کش‌ها روی محیط‌زیست و موجودات غیرهدف سبب شده است که دولت‌ها سیاست‌های سختگیرانه‌تری را در مورد استفاده از آفت‌کش‌ها به کار گیرند (Welzel and Choe, 2016; Buczkowski *et al.*, 2018; Suiter *et al.*, 2021). گرچه طعمه‌ها اغلب به صورت اختصاصی طراحی می‌شوند و اثرات جانبی استفاده از آفت‌کش‌ها را روی موجودات غیرهدف کاهش می‌دهند و به دلیل نوع بسته بندی و شیوه کاربرد آن‌ها در محیط، خطرات جابه‌جایی آفت‌کش‌ها را به کمترین میزان خود می‌رسانند (Welzel and Choe, 2016)، با این‌حال، لزوم توجه به اثرات جانبی استفاده از آفت‌کش‌ها امری ضروری است. گرچه اظهارنظر در مورد اثر جانبی طعمه‌های حاوی آفت-کش‌ها روی موجودات غیر هدف و محیط زیست، نیازمند انجام پژوهش‌های جامع و گسترده می‌باشد، با این حال، به عنوان یک قاعده کلی می‌توان بیان داشت که هرچه آفت‌کش مورد استفاده باقیمانده کمتری به جا بگذارد، با توجه به حساسیت‌های گونه هدف انتخاب شده باشد و به صورت قاطع عمل کند به طوری که به کاربرد مجدد آن نیاز نباشد، ترکیب مناسب‌تری برای استفاده در ساخت طعمه‌های مسموم خواهد بود (Buczkowski, 2021).

نتیجه گیری کلی

به‌طورکلی، پژوهش حاضر اطلاعاتی را در مورد سمیت گوارشی فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس روی مورچه‌های *T. karavaievi* ارائه داد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان سمیت در هر سه بازه زمانی مورد مطالعه به ترتیب مربوط به فیپرونیل، ایمیداکلوپرید و بوراکس بود؛ ضمن این‌که ارزیابی اثر آفت‌کش‌ها روی میزان زنده‌مانی کارگران نشان داد که کاربرد غلظت نیمه‌کشنده فیپرونیل، سریع‌تر از سایر ترکیبات سبب کنترل کارگران این گونه شد. طبق نتایج به دست آمده، هر سه آفت‌کش مورد مطالعه ترکیب‌های مناسبی برای کنترل جمعیت این مورچه آفت در شرایط آزمایشگاهی محسوب می‌شوند، بااین‌حال انتخاب مناسب‌ترین ترکیب برای استفاده در ساخت طعمه‌های مسموم به‌منظور کنترل مورچه‌ها در شرایط نیمه‌مزرعه‌ای و مزرعه‌ای، منوط به در نظرگرفتن غلظت آفت‌کش مورد استفاده، سمیت تاخیری آفت‌کش‌ها، استراتژی کنترلی انتخابی (هدف قرار دادن کارگران یا ملکه) و توجه به اثرات جانبی آفت‌کش‌ها روی موجودات غیر هدف و محیط زیست خواهد بود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام شده است که به این جهت، نگارندگان کمال تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

References

Ab Majid, A. H., Dieng, H., Ellias, S. S., Sabtu, F. S., Rahim, A. H. A. and Satho, T. 2018. Olfactory behavior and response of household ants (Hymenoptera) to different types of coffee odor: A coffee-based bait development prospect. **Journal of Asia-Pacific Entomology** 21(1): 46-51.

Antwiki. 2022. Available from https://www.antwiki.org/wiki/Tapinoma_karavaievi (Accessed 5 June 2022).

Benckiser, G. 2010. Ants and sustainable agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 30(2): 191-199.

Blackburn, T. M., Bellard, C. and Ricciardi, A. 2019. Alien versus native species as drivers of recent extinctions. **Frontiers in Ecology and the Environment** 17(4): 203-207.

Bolton, B. 1994. Identification guide to the ant genera of the world. Cambridge, Massachusetts: Harward University Press.

Buczkowski, G., Mothapo, N. P. and Wossler, T. C. 2018. Let them eat termites—prey- baiting provides effective control of Argentine ants, *Linepithema humile*, in a biodiversity hotspot. **Journal of Applied Entomology** 142(5): 504-512.

Buczkowski, G. 2021. A comparison of insecticide susceptibility levels in 12 species of urban pest ants with special focus on the odorous house ant, *Tapinoma sessile*. **Pest Management Science** 77(6): 2948-2954.

Collingwood, C. 1985. Hymenoptera: Fam formicidae of Saudi Arabia. **Fauna of Saudi Arabia** 7: 230-302.

Davis, P. and van Schagen, J. 1993. Effective control of pest ants. **Journal of the Department of Agriculture, Western Australia** 34(3): 92-97.

Durham, E. W., Siegfried, B. D. and Scharf, M. E. 2002. In vivo and in vitro metabolism of fipronil by larvae of the European corn borer *Ostrinia nubilalis*. **Pest Management Science: Formerly Pesticide Science** 58(8): 799-804.

Feng, D. D., Michaud, J. P., Li, P., Zhou, Z. S. and Xu, Z. F. 2015. The native ant, *Tapinoma melanocephalum*, improves the survival of an invasive mealybug, *Phenacoccus solenopsis*, by defending it from parasitoids. **Scientific reports** 5(1): 1-8.

Frouz, J. and Jilková, V. 2008. The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News** 11(11): 191-199.

Greenberg, L., Klotz, J. H. and Rust, M. K. 2006. Liquid borate bait for control of the Argentine ant, *Linepithema humile*, in organic citrus (Hymenoptera: Formicidae). **Florida Entomologist** 89(4): 469-474.

Higgins, W., Bell, D., Silcox, C. and Holbrook, G. 2002. Liquid bait formulations for controlling the Odorous house ant (Hymenoptera: Formicidae). 4th ICUP. USA, 129.

Hooper-Bui, L. M. and Rust, M. K. 2000. Oral toxicity of abamectin, boric acid, fipronil, and hydramethylnon to laboratory colonies of Argentine ants (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology** 93(3): 858-864.

Jabaleh, I., Houshmand, E. and Sadeghi Namaghi, H. 2018. Identification of ant species in the areas of Kadkan and Jolge Rokh, Torbat Heydarieh. **Applied Plant Protection** 6(2): 123-133. (In Farsi)

Jordan, B. W., Bayer, B. E., Koehler, P. G. and Pereira, R. M. 2013. Bait evaluation methods for urban pest management. In Trdan, S., (Ed.). Insecticides development of safer and more effective technologies. BoD–Books on Demand. pp. 445-469.

Khalili-Moghadam, A., Borowiec, L. and Nemati, A. 2019. New records of ants (Hymenoptera: Formicidae) from the Chaharmahal va Bakhtiari Province of Iran with taxonomic comments. **Polish Journal of Entomology**, 88(2): 163-182.

Kiyani, H., Minaei, K., and Zare, H. 2021. Ant fauna of fig orchards of the estahban area with the report of *Tapinoma Karavaievi* (Hymenoptera: Formicidae) as a predator of fig pollinator wasps. **Taxonomy and Biosystematics**, *13*(46): 16-26. (in Farsi)

Klotz, J. H., Greenberg, L., Amrhein, C., and Rust, M. K. (2000). Toxicity and repellency of borate-sucrose water baits to Argentine ants (Hymenoptera: Formicidae**). Journal of Economic Entomology**, 93(4): 1256-1258.

Lach, L., Parr, C., and Abbott, K. 2010. Ant ecology. Oxford University Press.

Lee, C. Y. 2000. Performance of hydramethylnon-and fipronil-based containerized baits against household ants in residential premises. **Tropical Biomedicine** 17(1): 45-48.

Lide, D. R. 2004. CRC handbook of chemistry and physics (Vol. 85). CRC Press.

Madsen, N. E., Sørensen, P. B. and Offenberg, J. 2017. Sugar and amino acid preference in the black garden ant *Lasius niger* (L.). **Journal of Insect Physiology** 100: 140-145.

Paknia, O., Radchenko, A., Alipanah, H. and Pfeiffer, M. 2008. A preliminary checklist of the ants (Hymenoptera: Formicidae) of Iran. **Myrmecological News** 11: 151-159.

Pashaei Rad, S. and Iravani, P. 2022. The report of queen and male ants (Hymenoptera: Formicidae) from the eastern parts of Isfahan province- Iran. **Journal of Animal Environment** 13(4): 243-252.

Rust, M. K., Reierson, D. A., Paine, E. and Blum, L. J. 2000. Seasonal activity and bait preferences of the Argentine ant (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Agricultural** and **Urban Entomology**, 17(4): 201.

Rust, M. K., Reierson, D. A. and Klotz, J. H. 2004. Delayed toxicity as a critical factor in the efficacy of aqueous baits for controlling Argentine ants (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology** 97(3): 1017-1024.

Sakamoto, Y., Hayashi, T. I., Inoue, M. N., Ohnishi, H., Kishimoto, T. and Goka, K. 2019. Effects of fipronil on non-target ants and other invertebrates in a program for eradication of the Argentine ant, *Linepithema humile*. **Sociobiology** 66(2): 227-238.

Sakamoto, H. and Goka, K. 2021. Acute toxicity of typical ant control agents to the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). **Applied Entomology and Zoology** 56(2): 217-224.

Scharf, M. E., Ratliff, C. R. and Bennett, G. W. 2004. Impacts of residual insecticide barriers on perimeter-invading ants, with particular reference to the odorous house ant, *Tapinoma sessile*. **Journal of Economic Entomology** 97(2): 601-605.

Shattuck, S. O. 1992. Review of the dolichoderine ant genus *Iridomyrmex mayr* with descriptions of three new genera (Hymenoptera: Formicidae). **Australian Journal of Entomology** 31(1): 13-18.

Sola, F., Falibene, A. and Josens, R. 2013. Asymmetrical behavioral response towards two boron toxicants depends on the ant species (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology** 106(2): 929-938.

Stanley, M. C. 2004. Review of the efficacy of baits used for ant control and eradication. Landcare research contract report: LC0405/044.

Stringer Jr, C. E., Lofgren, C. S. and Bartlett, F. J. 1964. Imported fire ant toxic bait studies: evaluation of toxicants. **Journal of Economic Entomology** 57(6): 941-945.

Suiter, D. R., Gochnour, B. M., Holloway, J. B. and Vail, K. M. 2021. Alternative methods of ant (Hymenoptera: Formicidae) control with emphasis on the Argentine ant, *Linepithema humile*. **Insects** 12(6): 487.

Ulloa-Chacón, P. and Jaramillo, G. I. 2003. Effects of boric acid, fipronil, hydramethylnon, and diflubenzuron baits on colonies of ghost ants (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology** 96(3): 856-862.

Way, M. J. and Khoo, K. C. 1992. Role of ants in pest management. **Annual review of Entomology** 37(1): 479-503.

Welzel, K. F. and Choe, D. H. 2016. Development of a pheromone-assisted baiting technique for Argentine ants (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology** 109(3): 1303-1309.

Williams, D. F. 1983. The development of toxic baits for the control of the imported fire ant. **The Florida Entomologist** 66(1): 162-172.

Williams, D. F. and Vail, K. M. 1993. Pharaoh ant (Hymenoptera: Formicidae): fenoxycarb baits affect colony development. **Journal of Economic Entomology** 86(4): 1136-1143.

Xiong, T., Qiu, X. H., Ling, S. Q., Liu, J. L. and Zeng, X. N. 2019. Interaction of fipronil and the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*): Toxicity differences and detoxification responses. **Journal of Insect Physiology** 115: 20-26.

Zhou, X., Slone, J. D., Rokas, A., Berger, S. L., Liebig, J., Ray, A., Reinberg, D. and Zwiebel, L. J. 2012. Phylogenetic and transcriptomic analysis of chemosensory receptors in a pair of divergent ant species reveals sex-specific signatures of odor coding. **PLOS Genetics** 8(8): 1-18.

Plant Pest Research
2023-12(4): 91-102

Open access
doi: 10.22124/iprj.2023.23390.1507

Research paper

Oral toxicity of fipronil, imidacloprid and borax against *Tapinoma karavaievi* (Hym.: Formicidae) ant under laboratory conditions

V. Majidifar, H. Allahyari, V. Hosseininaveh and K. Talebi Jahromi
Department of Plant Protection, College of Agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: December 6, 2022- Accepted: February 13, 2023)

Abstract

Ants are eusocial insects of the family Formicidae and are one of the most successful insects in number and diversity. Despite their favorable impact on the ecosystem, they are sometimes regarded as serious pests due to damage to agricultural products and construction facilities. Baiting is a suitable alternative to many traditional ant control methods. In the present study, the effect of oral toxicity of fipronil, imidacloprid and borax on *Tapinoma karavaievi* workers was evaluated under laboratory conditions at 72, 96 and 120 hours after treatment and then the survival rate of workers treated with the LC_{50} of the studied compounds was compared in two weeks. According to the results, the highest oral toxicity in all three-time points was related to fipronil, imidacloprid and borax, respectively. In addition, the evaluation of the effect of pesticides on the survival of workers showed a faster control of workers treated with the LC_{50} of fipronil (2.46 mg ai L^{-1}) compared to imidacloprid (32.61 mg ai L^{-1}) and borax (2654.4 mg ai L^{-1}). The results showed that 90% effectiveness of fipronil and imidacloprid occurred on days 7 and 11 after treatment, respectively, and it seems that 90% effectiveness of borax will probably take place in the third week after treatment. In general, the current study showed that all three studied pesticides have sufficient potential to control workers and the selection of the most suitable pesticide depends on considering the pesticide concentration, strategy of control and attention to the side effects of pesticides.

Key words: Ant, Bioassay, Pesticide, Survival, *Tapinoma karavaievi*

*Corresponding author: allahyar@ut.ac.ir