



بررسی سمیت و ماندگاری دو حشره کش تیودیکارب و ایندوکساکارب روی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* در گیاه پنبه

احمد جمشید بدخشی^۱

<https://orcid.org/0009-0002-1895-7559>

۱- گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فاریاب، میمنه، افغانستان

علی افشاری^{۲*}

<https://orcid.org/0000-0002-4546-6336>

محسن یزدانیان^۳

<https://orcid.org/0000-0001-7321-7997>

۲ و ۳- گروه گیاه پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

چکیده: در این پژوهش، اثرات کشنده و زیرکشنده غلظت توصیه شده دو حشره کش تیودیکارب و ایندوکساکارب بر زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* و نیز طول دوره ماندگاری آنها روی بوته های پنبه بررسی و بر اساس دستورالعمل IOBC طبقه بندی شد. نتایج نشان داد که تیودیکارب نسبت به ایندوکساکارب، قدرت کشندگی بیش تری علیه حشرات کامل پارازیتوئید داشت (تا ۷۷/۹ درصد تلفات) و بر اساس شاخص "اثر کل" (کشندگی + کاهش زادآوری)، به عنوان یک حشره کش مضر (گروه ۴) طبقه بندی شد. تیودیکارب همچنین از سمیت شدیدی روی مراحل نابالغ زنبور برخوردار بود و تفریخ تخم ها و زنده ماندی لاروها را نسبت به شاهد به ترتیب ۹۵/۹ و ۸۲/۸ درصد کاهش داد. اثرات کشنده و زیرکشنده ایندوکساکارب در مقایسه با تیودیکارب کم تر بود، به طوری که بیشترین تلفات و کاهش زادآوری ناشی از آن به ترتیب ۲۷/۳۴ و ۴۸/۷ درصد اندازه گیری شد و در گروه حشره کش های "نسبتاً مضر" تا "کم ضرر" (گروه های ۲ تا ۳) قرار گرفت. تیودیکارب همچنین نسبت به ایندوکساکارب از ماندگاری بیش تری روی بوته های پنبه برخوردار بود، به طوری که "اثر کل" آن تا ۲۲ روز پس از سم پاشی، از ۲۵ درصد بیش تر بود و بنابراین، در گروه حشره کش های "نیمه پایدار" (گروه ۳) طبقه بندی شد. در مقابل، اثر باقیمانده های ایندوکساکارب ده روز پس از سمپاشی به سطح بی ضرر رسید و به عنوان یک حشره کش "کم دوام" طبقه بندی شد. به منظور حفاظت بهتر از جمعیت زنبور *H. hebetor* در مزارع پنبه، توصیه می شود که حشره کش تیودیکارب با یک حشره کش کم خطرتر جایگزین و بین سمپاشی با ایندوکساکارب و رهاسازی زنبور پارازیتوئید، حداقل یک فاصله زمانی ۱۰ روزه به عنوان "دوره انتظار" رعایت شود.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۱/۲۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۳/۱۷

واژه های کلیدی: اثرات کشنده، اثر کل، حشره کش، حفاظت

Citation: Badakhshi, A. J., Afshari, A. & Yazdani, M. (2025). Toxicity and persistence of two insecticides, thiodicarb and indoxacarb against parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* on cotton plants. *Plant Pest Research*, 15(1), 65-83. **Doi:** <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.30379.1633>



*Corresponding author: afshari@gau.ac.ir

مقدمه

زنبور (*Habrobracon hebetor* (Say) یک پارازیتوئید خارجی و گروهی است که لاروهای شب پره *Helicoverpa armigera* را روی محصولات مختلف از جمله پنبه پارازیت می کند (Uwais et al., 2006; Ghimire & Phillips, 2010). (a,b; Saxena et al., 2012). پرورش انبوه و رهاسازی این پارازیتوئید در مزارع و انبارها، یکی از مهم ترین و گسترده ترین برنامه های کنترل بیولوژیک در نقاط مختلف دنیا می باشد (van Lenteren, 2008; Ghimire & Phillips, 2014; Alam et al., 2016; Padhy et al., 2020). در ایران این زنبور در حال حاضر، به شکل انبوه و تجاری در انسکتاریوم ها پرورش می یابد و به منظور کنترل لاروهای *H. armigera* در محصولات مختلف از جمله پنبه، سویا و گوجه فرنگی رهاسازی می شود (Najafi Navaei et al., 2002; Afshari et al., 2020).

آگاهی از اثرات جانبی آفت کش ها بر دشمنان طبیعی برای حفاظت مؤثرتر از آن ها در اکوسیستم های کشاورزی ضروری می باشد (van Drische and Bellows, 1996; Afshari et al., 2014; Talebi et al., 2011; Overton et al., 2021). در اثر تماس مستقیم یا غیرمستقیم دشمنان طبیعی با آفت کش ها، مجموعه ای از اثرات کشنده (مرگ و میر) و زیرکشنده (مثل کاهش طول عمر و میزان زادآوری) بر آنها وارد می شود (Theiling & Croft, 1988; Johnson & Tabashnik, 1999; Cloyd, 2011; Bartling et al., 2024). سازمان بین المللی کنترل بیولوژیک (IOBC) برای رتبه بندی میزان سمیت و ماندگاری آفت کش ها علیه دشمنان طبیعی استانداردهایی را در شرایط مختلف (آزمایشگاهی، گلخانه ای و مزرعه ای) تدوین کرده است (Sterk et al., 1999; Moscardini et al., 2013; Stark & Banks, 2024). مطابق این استانداردها، آفت کش ها از نظر سمیت به چهار گروه بی ضرر^۱، کم ضرر^۲، نیمه مضر^۳ و مضر^۴ و از نظر ماندگاری (طول دوره مضر بودن)، به چهار گروه ناپایدار^۵، کم دوام^۶، نیمه پایدار^۷ و پایدار^۸ طبقه بندی می شوند (Hassan et al., 1985, 1991, 1994; Mata et al., 2024).

به دلیل اهمیت زنبور *H. hebetor* در کنترل بیولوژیک *H. armigera* در محصولات مختلف (Ghimire & Phillips, 2019; Mbata & Warsi, 2019; Bagheri et al., 2019; Saxena et al., 2012; Talebi-Jahromi, 2007) و لزوم تلفیق راهکارهای شیمیایی و بیولوژیک برای کنترل این آفت، آگاهی از اثرات کشنده و زیرکشنده حشره کش های مختلف روی این زنبور پارازیتوئید همواره مورد توجه پژوهشگران قرار داشته است (Baker et al. 1995; Ahmad & Ahmad, 2006; Khan et al., 2009; Ahmad et al., 2011; Mansour et al., 2024; Hussain et al., 2025).

تیودیکارب^۹ یک حشره کش کاربامات (از گروه اُگزایم کاربامات ها^{۱۰}) با اثر گوارشی - تماسی است که با مهار آنزیم استیل کولین استراز در حشرات موجب مرگ آنها می شود (Talebi-Jahromi, 2007). این حشره کش در کنترل شیمیایی کرم غوزه پنبه در نقاط مختلف دنیا (Brickle et al., 2001; Cordero et al., 2007; Aheer et al., 2009; Sattar et al., 2011; Gadhiya et al., 2014) از جمله ایران (Javanmoghaddam et al., 2002; Talebi-Jahromi, 2007; Mohaghegh et al., 2019; Neishabouri et al., 2009; Saber et al., 2013; Vojoudi et al., 2017; Mosallanejad et al., 2019) کاربرد زیادی دارد. به دلیل اثرات کشنده و زیرکشنده شدید بر زنبورهای پارازیتوئید (Afshari et al., 2018; Nekonam et al., 2021) و

1. Harmless

2. Slightly harmful

3. Moderately harmful

4. Harmful

5. Short lived

6. Slightly persistent

7. Moderately persistent

8. Persistent

9. Thiodicarb

10. Oxime carbamate

بروز مقاومت در لاروهای کرم غوزه پنبه (Ramasubramanian, & Regupathy, 2003; Mosallanejad *et al.*, 2019)، استفاده از این حشره کش در مدیریت تلفیقی کرم غوزه پنبه با محدودیت مواجه شده است. ایندوکساکارب^۱ نیز یک حشره کش تماسی-گواری از گروه آگزامیازینها^۲ است که با بستن کانال سدیم در دستگاه عصبی حشرات باعث قطع تغذیه، فلجی و در نهایت، مرگ آنها می شود (Talebi-Jahromi, 2007). این حشره کش علیه طیف گسترده ای از بالپولکداران آفت از جمله کرم غوزه پنبه در نقاط مختلف دنیا از جمله ایران مورد استفاده قرار می گیرد (Hasan *et al.*, 2016; Vojoudi *et al.*, 2017; da Silva Oliveira *et al.*, 2021). سمیت این حشره کش بر زنبورهای پارازیتوئید تخم در مزارع پنبه (Afshari *et al.*, 2014; Nekonam *et al.*, 2021) و مقاوم شدن لاروهای کرم غوزه پنبه به آن (Ramasubramanian, & Regupathy, 2003; Mosallanejad *et al.*, 2019)، از دلایل مهم محدود شدن کاربرد این حشره کش در مزارع پنبه بیان شده اند.

اثرات کشنده و زیرکشنده تیودیکارب و ایندوکساکارب بر مراحل مختلف نشوونمایی زنبور *H. hebetor* و کاهش زندهمانی، طول عمر، زادآوری و پارامترهای دموگرافیک آن در چندین پژوهش و اغلب روی بسترهای غیرزنده (درون ظروف شیشه ای) گزارش شده است (Ahmad & Ahmad, 2006; Rafiee Dastjerdi *et al.*, 2009 a, b; Khan *et al.*, 2009; Sarmadi *et al.*, 2010, 2012; Mahdavi, 2013). در خصوص مدت ماندگاری (طول دوره مضر بودن) باقیمانده های این دو حشره کش روی بوته های پنبه علیه زنبور *H. hebetor* تاکنون گزارشی منتشر نشده است، اما طول دوره مضر بودن آنها علیه برخی آفات پنبه (Brevault *et al.*, 2009; Dhawan *et al.*, 2009; Chopra *et al.*, 2013; Bisht *et al.*, 2015; Dake *et al.*, 2017) و زنبورهای پارازیتوئید تخم (جنس *Trichogramma*) اندازه گیری شده است (Suh *et al.*, 2000; Nekonam *et al.*, 2021). با توجه به این خلاء تحقیقاتی، پژوهش حاضر با هدف اندازه گیری سمیت و طول دوره ماندگاری باقیمانده های این دو حشره کش علیه زنبور *B. hebetor* و تعیین فاصله زمانی مناسب بین سمپاشی مزارع پنبه و رهاسازی این پارازیتوئید انجام شد. یافته های این پژوهش می تواند به حفاظت بیشتر از این پارازیتوئید در مقابل آفت کش ها و مدیریت تلفیقی کارآمدتر کرم غوزه در مزارع پنبه کمک نماید.

مواد و روش ها

کاشت بوته های پنبه

بذرهای پنبه (رقم گلستان) از موسسه تحقیقات پنبه کشور تهیه و در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان درون گلدان های پلاستیکی به ارتفاع ۲۵ سانتی متر و قطر ۱۸ سانتی متر کاشته شدند. کاشت گلدان ها در چند مرحله انجام شد تا به هنگام سمپاشی با حشره کش های مورد نظر، تعداد کافی بوته هم اندازه در اختیار باشد. پس از رسیدن ارتفاع بوته ها به حدود ۳۰ سانتی متر، بوته ها با استفاده از یک سمپاش دستی دو لیتری و با حشره کش مورد نظر (بسته به تیمار، تیودیکارب یا ایندوکساکارب) سمپاشی شدند. بوته ها تا پایان رشد در شرایط گلخانه نگهداری و برگ های آنها به فواصل زمانی منظم یک روزه در آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفتند.

پرورش زنبور *H. hebetor*

جمعیت اولیه زنبور پارازیتوئید با استفاده از تله های لاروی از مزارع کلزا جمع آوری و به مدت سه نسل روی لاروهای شب پره مدیترانه ای آرد، *Anagasta kuehniella* (Zeller) (میزبان جایگزین) در شرایط انسکتریوم (دمای ۲۶±۲ درجه سلسیوس و

^۱. Indoxacarb

^۲. Oxadiazine

رطوبت نسبی 55 ± 5 درصد) پرورش داده شد. تخم میزبان جایگزین برای ایجاد آلودگی اولیه، از یک انسکتاریوم خصوصی در شهر گرگان تهیه شد و بر اساس روش یزدانیان و همکاران (Yazdanian et al., 2005)، روی مخلوط آرد گندم و سبوس گندم به نسبت وزنی ۳ به یک درون تشت‌های پلاستیکی در اتاقک رشد (دمای 26 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 55 ± 5 درصد) پرورش داده شد.

تهیه محلول حشره‌کش‌ها و سمپاشی بوته‌های پنبه

تیودیکارب مورد استفاده در این پژوهش، با نام تجاری لاروین^۱ (DF 80%) ساخت شرکت هنان آگروکیمیکال^۲ چین و ایندوکساکارب مورد استفاده، با نام تجاری آوانت^۳ (SC 15%) محصول شرکت آریاشیمی ایران بود. با توجه به مقادیر توصیه شده این دو حشره‌کش علیه کرم غوزه پنبه (تیودیکارب، یک کیلوگرم در هکتار و ایندوکساکارب، ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار)، مطابق دستورالعمل IOBC (Sterk et al., 1999; Hassan et al., 1991) و بر مبنای پاشش ۵۰۰ لیتر محلول در هکتار، محلول این دو حشره‌کش به ترتیب در غلظت‌های ۲۰۰۰ و ۵۰۰ پی.پی.ام تهیه و پس از رسیدن ارتفاع بوته‌های پنبه به حدود ۳۰ سانتیمتر، با استفاده از یک سمپاش دستی دو لیتری (میانگین حجم لازم برای سمپاشی حدود ۴۰ مترمربع از سطح شاخ و برگ بوته‌های پنبه) روی بوته‌ها پاشیده شدند، به طوری که هر دو سطح زیرین و بالایی برگ‌ها به طور کامل و یکنواخت به حشره‌کش آغشته شد.

اندازه‌گیری سمیت و ماندگاری حشره‌کش‌ها

به منظور اندازه‌گیری قدرت کشندگی مقادیر توصیه‌شده حشره‌کش‌های مورد نظر روی بوته‌های پنبه برای زنبورهای ماده، به فواصل زمانی منظم یک‌روزه، چند برگ از بوته‌های پنبه سم‌پاشی شده جدا و درون یک لیوان پلاستیکی به قطر دهانه ۱۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۵ سانتی متر قرار داده شد، به طوری که حدود دوسوم کف و دیواره لیوان با برگ سم‌پاشی شده پوشانده شد. در تیمار شاهد از برگ‌های سم‌پاشی نشده استفاده شد. سپس، ۳۰ عدد زنبور ماده یک‌روزه داخل هر لیوان رهاسازی و دهانه لیوان‌ها با پارچه توری مسدود شد و آب‌عسل ۲۰ درصد برای تغذیه در اختیار زنبورها قرار گرفت. لیوان‌های حاوی زنبور و برگ‌های سمپاشی شده به مدت ۲۴ ساعت درون ژرمیناتور (دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنائی به ۸ ساعت تاریکی) قرار داده شدند. پس از این مدت زمان، لیوان‌ها از ژرمیناتور خارج و تعداد زنبورهای مرده شمارش و درصد تلفات محاسبه شد. کار محاسبه و ثبت درصد مرگ و میر زنبورهای ماده روی برگ‌های پنبه از یک روز پس از سم‌پاشی بوته‌های پنبه آغاز و تا زمان بی‌ضرر شدن باقیمانده‌های حشره‌کش برای زنبور و رسیدن تلفات آن به زیر ۲۵ درصد (Sterk et al., 1999) ادامه یافت. این آزمایش در ۵ تکرار انجام شد و هر تکرار شامل یک لیوان حاوی ۳۰ عدد زنبور ماده یک‌روزه و برگ‌های پنبه سمپاشی شده با تیودیکارب یا ایندوکساکارب بود.

برای اندازه‌گیری اثرات زیرکشنده باقیمانده‌های حشره‌کش‌ها، به فواصل زمانی منظم یک‌روزه پس از سمپاشی بوته‌های پنبه، چند برگ از بوته‌های سم‌پاشی شده جدا شد و درون لیوان‌های پلاستیکی قرار داده شد. سپس، داخل هر لیوان یک جفت زنبور نر و ماده‌ی یک‌روزه رهاسازی شد و دهانه لیوان با پارچه توری مسدود و از آب‌عسل ۲۰ درصد برای تغذیه زنبورها استفاده شد. با توجه به طولانی بودن دوره ارزیابی اثرات زیرکشنده و در صورت نیاز، هر ۴-۵ روز یکبار، برگ‌های پوسیده داخل لیوان با برگ‌های تازه‌ای که همان تعداد روز از سم‌پاشی آنها گذشته بود، جایگزین شدند. روزانه ۱۰ عدد لارو درشت (سنین چهارم و پنجم) شب‌پره مدیرانه‌ای آرد روی یک قطعه کاغذ در اختیار زنبورهای درون هر لیوان قرار می‌گرفتند. پس از ۲۴ ساعت، لاروهای قدیمی میزبان

1. Larvin

2. Henan Agrochemical

3. Avaunt

از زیر لیوان خارج و لاروهای جدید جایگزین آن‌ها می‌شدند. تعداد لاروهای فلج‌شده (لاروهای که به تحریک با نوک قلم‌مو واکنش نشان نمی‌دادند) و نیز تعداد تخم‌های گذاشته‌شده روی آن‌ها به طور روزانه و تا زمان مرگ زنبورهای نر و ماده داخل لیوان زیر استریومیکروسکوپ شمارش و با شاهد مقایسه شد. این آزمایش در ۱۰ تکرار انجام شد و هر تکرار شامل یک لیوان حاوی برگ سمپاشی‌شده و یک جفت زنبور نر و ماده بود.

اندازه‌گیری سمیت روی مراحل نابالغ زنبور

تخم: مطابق روش هواکاپوگ و همکاران (Hewa-Kapuge et al., 2003) و عابدی و همکاران (Abedi et al., 2014)، پنج تکرار ۳۰ تایی از تخم‌های حداکثر دوروزه زنبور *H. hebetor* که به طور طبیعی روی لاروهای میزبان و بستر کاغذی گذاشته شده بودند، به وسیله یک عدد پنس به مدت پنج ثانیه داخل محلول حشره‌کش در غلظت توصیه‌شده (۲۰۰۰ و ۵۰۰ پی.پی.ام) به ترتیب برای تیودیکارب و ایندوکساکارب) فرو برده شدند^۱ و سپس به مدت دو ساعت در شرایط اتاق قرار گرفتند تا در معرض هوا خشک شوند. در تیمار شاهد، تخم‌ها درون آب مقطر فرو برده شدند. سپس، هر دسته تخم به طور جداگانه درون یک عدد ظرف پتری قرار گرفت و چند بار در طول روز بررسی و تعداد تخم‌های تفریخ‌شده زیر بینوکولار شمارش و ثبت شد. پس از تفریخ تخم‌ها، سرنوشت لاروها تا زمان تبدیل آنها به حشره کامل دنبال و درصد تبدیل آنها به شفیره و درصد ظهور حشرات کامل اندازه‌گیری و مقایسه شد.

لارو: پنج تکرار ۳۰ تایی از لاروهای سه‌روزه زنبور به همراه لاروهای میزبان که روی یک قطعه کاغذ قرار داشتند، به وسیله یک عدد پنس به مدت پنج ثانیه داخل محلول حشره‌کش در غلظت توصیه‌شده (۲۰۰۰ و ۵۰۰ پی.پی.ام) به ترتیب برای تیودیکارب و ایندوکساکارب) فرو برده شدند و سپس به مدت دو ساعت در شرایط اتاق قرار گرفتند تا در معرض هوا خشک شوند (Abedi et al., 2014). سپس، هر کدام از تکرارها درون یک عدد ظرف پتری قرار داده شدند و تا زمان تبدیل آنها به شفیره، چند نوبت در زیر استریومیکروسکوپ پایش شدند. تعداد لاروهای تبدیل‌شده به شفیره و تعداد حشرات کامل ظاهر شده، شمارش و مقایسه شد. شفیره: پنج تکرار ۳۰ تایی از شفیره‌های دوروزه زنبور که روی یک قطعه کاغذ و در کنار لاروهای میزبان تشکیل شده بودند، به وسیله یک عدد پنس به مدت پنج ثانیه درون محلول حشره‌کش در غلظت مورد نظر فرو برده شدند و سپس به مدت دو ساعت در شرایط اتاق قرار گرفتند تا در معرض هوا خشک شوند (Faal-Mohammadali et al., 2014). هر گروه از شفیره‌ها به طور جداگانه درون یک عدد ظرف پتری قرار داده شدند و تا زمان تبدیل آنها به حشره کامل به طور روزانه زیر استریومیکروسکوپ پایش و تعداد حشرات کامل خارج شده به تفکیک نر یا ماده شمارش و ثبت شد.

رتبه‌بندی سمیت و ماندگاری حشره‌کش‌ها

برای رتبه‌بندی میزان سمیت حشره‌کش‌ها از تلفیق استاندارد سازمان بین‌المللی کنترل بیولوژیک (IOBC) در شرایط گلخانه (Sterk et al., 1999) و شاخص "اثر کل"^۲ (Overmeer & van Zon, 1982; Rezaei et al., 2007; Moscardini et al., 2013) استفاده شد. مقدار این شاخص برای هر حشره‌کش در مدت‌زمان‌های مختلف پس از سمپاشی با استفاده از رابطه $E = 100 - (100 - M) \times R$ محاسبه و روند تغییرات آن ترسیم شد. در این رابطه: M: درصد مرگ و میر زنبورهای ماده پس از اصلاح با فرمول آبوت (Abbot, 1925) و R: نسبت زادآوری زنبورهای ماده در تیمار سمپاشی به تیمار شاهد می‌باشد. بر اساس مقدار اثر کل، حشره‌کش‌ها از نظر سمیت در شرایط گلخانه به چهار گروه بی‌ضرر (زیر ۲۵ درصد)، کم‌ضرر (۲۵ تا ۵۰ درصد)، نیمه‌ضرر (۵۱ تا ۷۵ درصد) و مضر (بیش از ۷۵ درصد) طبقه‌بندی شدند. همچنین، مطابق استاندارد سازمان بین‌المللی کنترل

^۱. Dipping

^۲. Total effect

بیولوژیک (Sterk et al., 1999)، فاصله زمانی بین سم پاشی بوته های پنبه و بی ضرر شدن باقیمانده های حشره کش برای زنبور پارازیتوئید (رسیدن مقدار اثر کل به زیر ۲۵ درصد)، اندازه گیری و حشره کش ها از نظر ماندگاری به چهار گروه ناپایدار (کم تر از ۵ روز)، کم دوام (۵ تا ۱۵ روز)، نیمه پایدار (۱۶ تا ۲۹ روز) و پایدار (۳۰ روز و بیشتر) طبقه بندی شدند.

تحلیل آماری

تاثیر حشره کش های مورد استفاده بر مرگ و میر، زادآوری (تعداد تخم های گذاشته شده در طول عمر زنبور ماده) و قدرت فلج کنندگی (تعداد لاروهای میزبان فلج شده توسط یک زنبور ماده) زنبورهای ماده به صورت فاکتوریل (فاکتور نوع حشره کش در دو سطح و فاکتور مدت زمان پس از سمپاشی در سه سطح ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS (SAS Institute, 2003) تجزیه واریانس و میانگین صفات با آزمون LSD مقایسه شدند. روند تغییرات روزانه درصد مرگ و میر زنبورهای ماده پس از اصلاح با فرمول آبوت (Abbott, 1925)، با نرم افزار Excel ترسیم شد. همچنین، مقادیر ویژگی های زیستی و تولیدمثل زنبور (درصد تلفات، طول عمر حشرات نر و ماده، زادآوری و قدرت فلج کنندگی زنبور) در مدت زمان های مختلف پس از سمپاشی (به عنوان، تیمار آزمایشی) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شدند. تاثیر حشره کش های مورد استفاده بر ویژگی های مختلف مراحل نابالغ (تخم، لارو و شفیره) نیز به طور جداگانه در قالب یک طرح کاملاً تصادفی تجزیه واریانس و میانگین صفات در تیمارهای مختلف با آزمون LSD مقایسه شدند.

نتایج

سمیت حشره کش ها بر حشرات کامل زنبور

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در سه روز اول پس از سمپاشی بوته های پنبه، تاثیر نوع حشره کش ($F_{1,29} = 72.2, P < 0.001$)، مدت زمان پس از سم پاشی ($F_{2,29} = 17.9, P < 0.001$) و اثر متقابل آن ها ($F_{2,29} = 5.46, P < 0.05$) بر درصد مرگ و میر زنبورهای ماده معنی دار بود. همچنین، در این سه مدت زمان، زادآوری ($F_{1,59} = 44.2, P < 0.001$) و قدرت فلج کنندگی زنبورهای ماده ($F_{1,59} = 44.6, P < 0.001$) نیز به طور معنی داری تحت تاثیر نوع حشره کش قرار گرفتند، اما تاثیر مدت زمان پس از سمپاشی و اثر متقابل نوع حشره کش $\times$ مدت زمان پس از سمپاشی بر زادآوری (به ترتیب، $F_{2,59} = 0.13, P > 0.05$; $F_{2,59} = 0.26, P > 0.05$) و قدرت فلج کنندگی زنبور (به ترتیب، $F_{2,59} = 0.71, P > 0.05$; $F_{2,59} = 0.17, P > 0.05$) معنی دار نبودند.

تلفات ناشی از تماس زنبورهای ماده با باقیمانده های تیودیکارب به طور معنی داری از ایندوکساکارب بیش تر بود، به طوری که در روزهای اول تا سوم پس از سمپاشی بوته ها، مرگ و میر ناشی از تیودیکارب به ترتیب ۷۷/۸۹، ۵۱/۵۳ و ۳۰/۸۷ درصد و مرگ و میر ناشی از ایندوکساکارب به ترتیب ۲۷/۳۵، ۱۰/۹۲، ۱۳/۷۷ درصد اندازه گیری شد (جدول ۱). تاثیر منفی تیودیکارب بر زادآوری و قدرت فلج کنندگی زنبورهای ماده نیز در مقایسه با ایندوکساکارب به طور معنی داری بیش تر بود، به طوری که در روزهای اول تا سوم پس از سمپاشی بوته ها با تیودیکارب، زادآوری زنبورهای ماده به ترتیب ۱۰۰، ۹۱/۲ و ۸۷/۴ درصد و قدرت فلج کنندگی آن ها به ترتیب ۹۸/۱، ۸۲/۵ و ۷۹/۲ درصد کاهش یافت. در حالی که در همین مدت زمان، میزان کاهش زادآوری و قدرت فلج کنندگی زنبورهای ماده پس از تماس با برگ های سمپاشی شده با ایندوکساکارب به ترتیب ۳۴/۱، ۲۹/۳، ۳۲/۷ و ۱۹/۸، ۲۳/۱، ۲۷/۷ درصد محاسبه شد (جدول ۱).

اثر کل (مرگ و میر + کاهش زادآوری) باقیمانده های تیودیکارب در روزهای اول تا سوم پس از سمپاشی بوته ها به ترتیب ۱۰۰، ۹۵/۷ و ۹۱/۳ درصد و اثر کل آن بر اساس قدرت فلج کنندگی (مرگ و میر + کاهش قدرت فلج کنندگی) به ترتیب ۹۹/۶، ۹۱/۵ و ۸۵/۶ درصد محاسبه شد که در هر دو حالت، بر اساس طبقه بندی IOBC، این حشره کش در گروه حشره کش های مضر (رتبه ۴) قرار گرفت. در مقابل، اثر کل ایندوکساکارب بر اساس مرگ و میر + کاهش قدرت زادآوری در سه روز اول پس از سمپاشی بوته ها

به ترتیب ۵۲/۱۲، ۳۷/۰۴ و ۴۹/۹۳ درصد و بر اساس مرگ و میر + کاهش قدرت فلج کنندگی به ترتیب ۴۱/۷۵، ۳۱/۴۲ و ۳۷/۶۴ درصد محاسبه شد و بر اساس استاندارد IOBC در گروه حشره کش های کم ضرر (رتبه ۲) تا نسبتاً مضر (رتبه ۳) طبقه بندی شد (جدول ۲).

جدول ۱- اثرات کشنده و زیر کشنده دو حشره کش تیودی کارب و ایندوکساکارب بر زنبور پارازیتوئید *Habrobracon*

hebetor در سه روز اول پس از سم پاشی بوته های پنبه

Table 1. Lethal and sublethal effects of two insecticides, thiodicarb and indoxacarb, on *Habrobracon hebetor* in the first three days after spraying on cotton plants

Treatments	Mortality (%)	Lifetime oviposition (egg/female) ¹	Lifetime paralysis (host larva/female)
Thiodicarb			
24 hours after treatment	77.89±5.8 A	0±0 (100) ¹ C	1.8±0.92 (98.1) B
48 hours after treatment	51.53±7.3 B	6.1±2.6 (91.2) C	16.5±8.8 (82.5) B
72 hours after treatment	30.86±3.3 C	8.7±2.7 (87.4) C	19.6±7.1 (79.2) B
Indoxacarb			
24 hours after treatment	27.35±6.4 CD	45.4±8.1 (34.1) B	75.6±5.15 (19.8) A
48 hours after treatment	10.92±2.25 E	48.7±6.8 (29.3) AB	72.6±7.45 (23.1) A
72 hours after treatment	13.77±4.3 DE	46.4±4.1 (32.7) B	68.2±2.14 (27.7) A
Control	-	68.9±3.8 A	94.3±2.13 A

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% level (LSD test).

1. Numbers in parentheses show reduction% compared to control

جدول ۲ - رتبه بندی سمیت باقیمانده های تیودی کارب و ایندوکساکارب روی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* بر

اساس شاخص اثر کل و استاندارد IOBC

Table 2. Categorizing residual toxicity of thiodicarb and indoxacarb on *Habrobracon hebetor* based on total effect index and IOBC standard

Treatments	Total effect* (%)	Toxicity category	Total effect** (%)	Toxicity category
Thiodicarb				
24 hours after treatment	100	4 (harmful)	99.6	4 (harmful)
48 hours after treatment	95.7	4 (harmful)	91.5	4 (harmful)
72 hours after treatment	91.3	4 (harmful)	85.6	4 (harmful)
Indoxacarb				
24 hours after treatment	52.12	3 (moderately harmful)	41.75	2 (slightly harmful)
48 hours after treatment	37.04	2 (slightly harmful)	31.42	2 (slightly harmful)
72 hours after treatment	49.93	2 (slightly harmful)	37.64	2 (slightly harmful)

* Mortality+ Reduction in fecundity

** Mortality+ Reduction in paralysis ability

سمیت حشره کش ها بر مراحل نابالغ زنبور

فرو بردن تخم های زنبور *H. hebetor* درون محلول حشره کش بر درصد تفریخ ($F_{2,14} = 28.4$, $P < 0.001$) و درصد تبدیل آنها به حشره کامل ($F_{2,14} = 31.7$, $P < 0.001$) تاثیر منفی معنی داری داشت. میانگین درصد تفریخ تخم در تیمار تیودی کارب (۴/۱±۲/۴ درصد) به طور معنی داری از ایندوکساکارب (۲۸/۷±۴/۳ درصد) کم تر بود و نسبت به شاهد (۷۸/۹±۸/۸ درصد) به ترتیب ۹۴/۸ و ۶۳/۶۲ درصد کاهش نشان داد. میزان تبدیل تخم به حشره کامل پس از تیمار با تیودی کارب و ایندوکساکارب به ترتیب ۸/۱۱±۱/۳ و ۲/۶۶±۰/۶ درصد اندازه گیری شد که نسبت به شاهد (۶۶/۵±۵/۳)، به ترتیب ۹۶ و ۸۷/۸ درصد کاهش داشت (جدول ۳).

فرو بردن لاروهای زنبور درون محلول حشره کش های مورد نظر بر درصد زنده مانده مانی ($F_{2,14} = 150.7, P < 0.001$) و درصد تبدیل آن ها به حشره کامل ($F_{2,14} = 29.2, P < 0.001$) تاثیر منفی معنی داری داشت. میانگین زنده مانده مانی لاروها در تیمار با تیودیکارب و ایندوکساکارب (به ترتیب، $17/2 \pm 2/1$ و $10/3 \pm 3/6$ درصد) نسبت به شاهد ($97/1 \pm 1/5$ درصد) به طور معنی داری کم تر بود، اما بین دو حشره کش از این نظر، تفاوت معنی داری مشاهده نشد. میزان رسیدن لاروها تا مرحله حشره کامل پس از تیمار با تیودیکارب و ایندوکساکارب به ترتیب $8/98 \pm 2/7$ و $4/46 \pm 1/3$ درصد بود که نسبت به شاهد ($87/4 \pm 4/6$ درصد)، به ترتیب $89/8$ و $94/9$ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳).

فرو بردن شفیره های زنبور درون محلول حشره کش بر درصد ظهور حشرات کامل تاثیر منفی معنی داری داشت ($F_{2,14} = 12.54, P < 0.001$). میانگین درصد ظهور حشرات کامل در تیمار با ایندوکساکارب ($45/3 \pm 5/2$ درصد) نسبت به تیمارهای تیودیکارب ($71/5 \pm 5/1$ درصد) و شاهد ($85/1 \pm 6/7$ درصد) به طور معنی داری کم تر بود، اما بین تیودیکارب و شاهد، اختلاف آماری معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۳- اثرات سمی دو حشره کش تیودیکارب و ایندوکساکارب بر مراحل نابالغ زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*

Table 3. Toxic effects of thiodicarb and indoxacarb on immature stages of the parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor*

Treatment	Egg		Larva		Pupa
	Hatching (%)	Developed to adult (%)	Survival (%)	Developed to adult (%)	Adult emergence (%)
Thiodicarb	4.10±2.4 C	2.66±1.6 B	17.20±2.1 B	8.98±2.7 B	71.6±5.1 A
Indoxacarb	28.7±4.3 B	8.11±3.3 B	10.31±3.6 B	4.46±1.3 B	45.3±5.2 B
Control	78.9±8.8 A	66.5±5.3 A	97.5±1.5 A	87.4±4.6 A	85.1±1.7 A

ماندگاری حشره کش ها روی بوته های پنبه

تیودیکارب

درصد مرگ و میر زنبورهای ماده از روز اول تا بیست و چهارم پس از سم پاشی بوته های پنبه با تیودیکارب، اختلاف معنی داری با یکدیگر داشتند ($F_{23,119} = 32.3, P < 0.001$) و میانگین تلفات از $77/9 \pm 5/8$ درصد در روز اول به کمتر از یک درصد در روز بیست و چهارم رسید. در هفت روز اول پس از سمپاشی، تلفات از ۲۵ درصد (بیشترین تلفات قابل قبول در شرایط گلخانه برای بی ضرر دانستن باقیمانده های یک حشره کش بر اساس استاندارد IOBC) بالاتر بود، اما در روز هشتم، به زیر ۲۵ درصد رسید و تا روز بیست و چهارم در این سطح باقی ماند (شکل ۱).

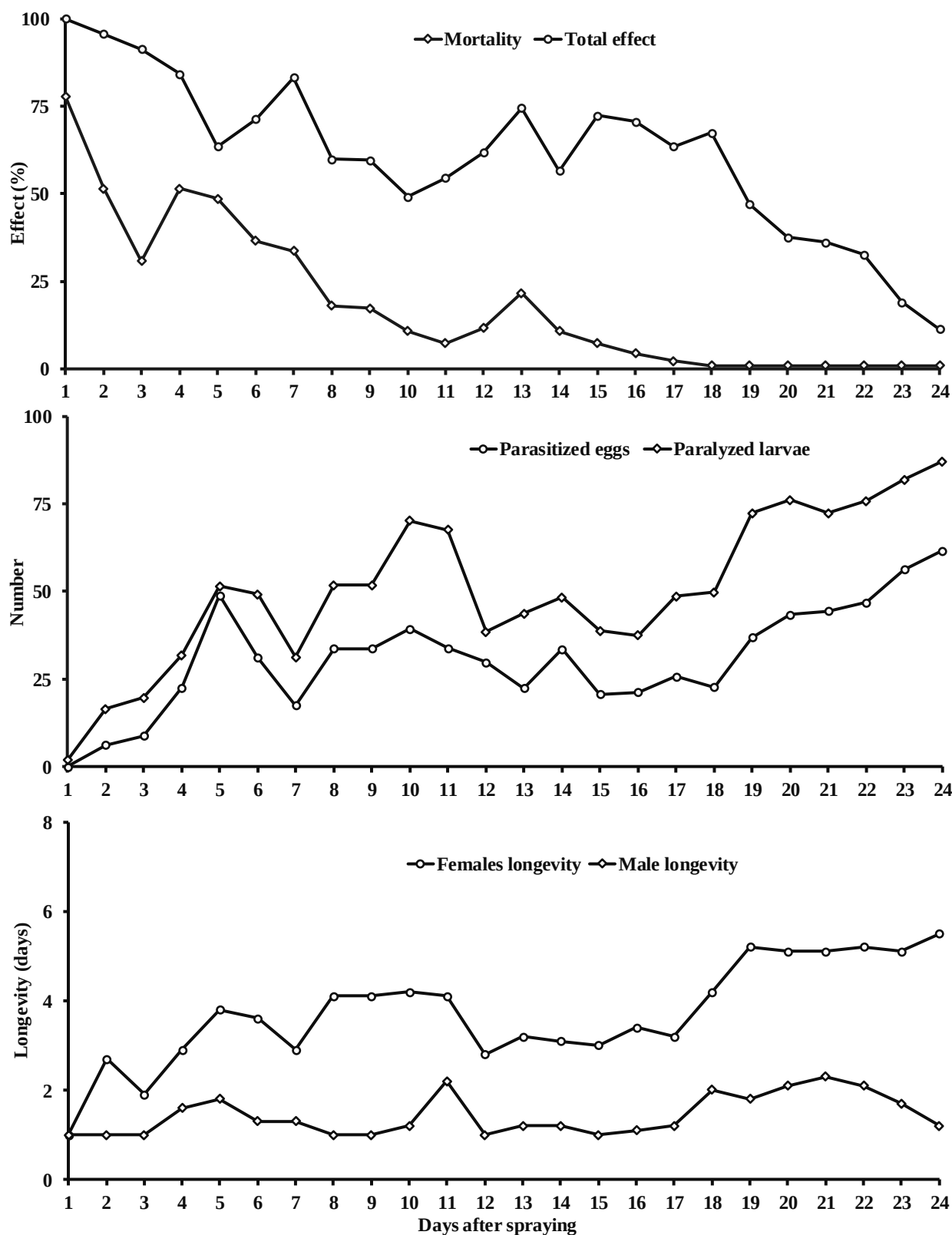
طول عمر، زادآوری (قدرت پارازیتسم) و قدرت فلج کنندگی زنبورهای ماده نیز از روز اول تا بیست و چهارم پس از سمپاشی بوته های پنبه و مواجهه زنبور با آن، اختلاف معنی داری با یکدیگر داشتند (به ترتیب، $F_{23,239} = 3.39, F_{23,239} = 2.39, P < 0.001$ و $F_{23,239} = 4.51, P < 0.001$). طول عمر زنبورهای ماده در روز اول پس از سمپاشی بوته های پنبه از ۲۴ ساعت به $5/5 \pm 0/4$ روز در روز بیست و چهارم پس از سمپاشی بوته ها رسید که نسبت به طول عمر آنها در شاهد ($7/6 \pm 0/94$ روز) به ترتیب $86/84$ و $27/6$ درصد کاهش داشت. زادآوری زنبورهای ماده پس از مواجهه با برگ های سمپاشی شده پنبه از صفر در روز اول پس از سمپاشی بوته ها به $61/7 \pm 7/1$ تخم / زنبور ماده در روز بیست و چهارم پس از سمپاشی رسید که نسبت به شاهد به ترتیب ۱۰۰ و $10/45$ درصد کاهش داشت. روند تغییرات قدرت فلج کنندگی زنبورهای ماده روی برگ های سمپاشی شده، مشابه زادآوری بود و مقدار آن از $1/8 \pm 0/9$ عدد لارو میزبان / زنبور ماده در روز اول پس از سمپاشی بوته های پنبه به $87/1 \pm 9/03$ عدد لارو میزبان / زنبور

ماده در روز بیست و چهارم پس از سمپاشی بوته‌ها رسید که نسبت به شاهد به ترتیب ۹۸/۱ و ۷/۶۳ درصد کاهش داشت. روند تغییرات اثر کل (درصد تلفات+ درصد کاهش زادآوری) مشابه اثر آن روی زادآوری و فلج‌کنندگی بود و مقدار آن از ۱۰۰ درصد در روز اول پس از سمپاشی بوته‌های پنبه به ۱۱/۳۴ درصد در روز بیست و چهارم پس از سمپاشی بوته‌ها رسید (شکل ۱). در مجموع، طول دوره مضر بودن (ماندگاری) باقیمانده‌های تیودیکارب روی بوته‌های پنبه بر اساس درصد مرگ و میر، کاهش زادآوری و اثر کل، به ترتیب ۷، ۲۲ و ۲۲ روز اندازه‌گیری شد و بر اساس رتبه‌بندی IOBC و شاخص "اثر کل"، این حشره کش از نظر ماندگاری در رتبه ۳ (نیمه پایدار) قرار گرفت (جدول ۴).

ایندوکساکارب

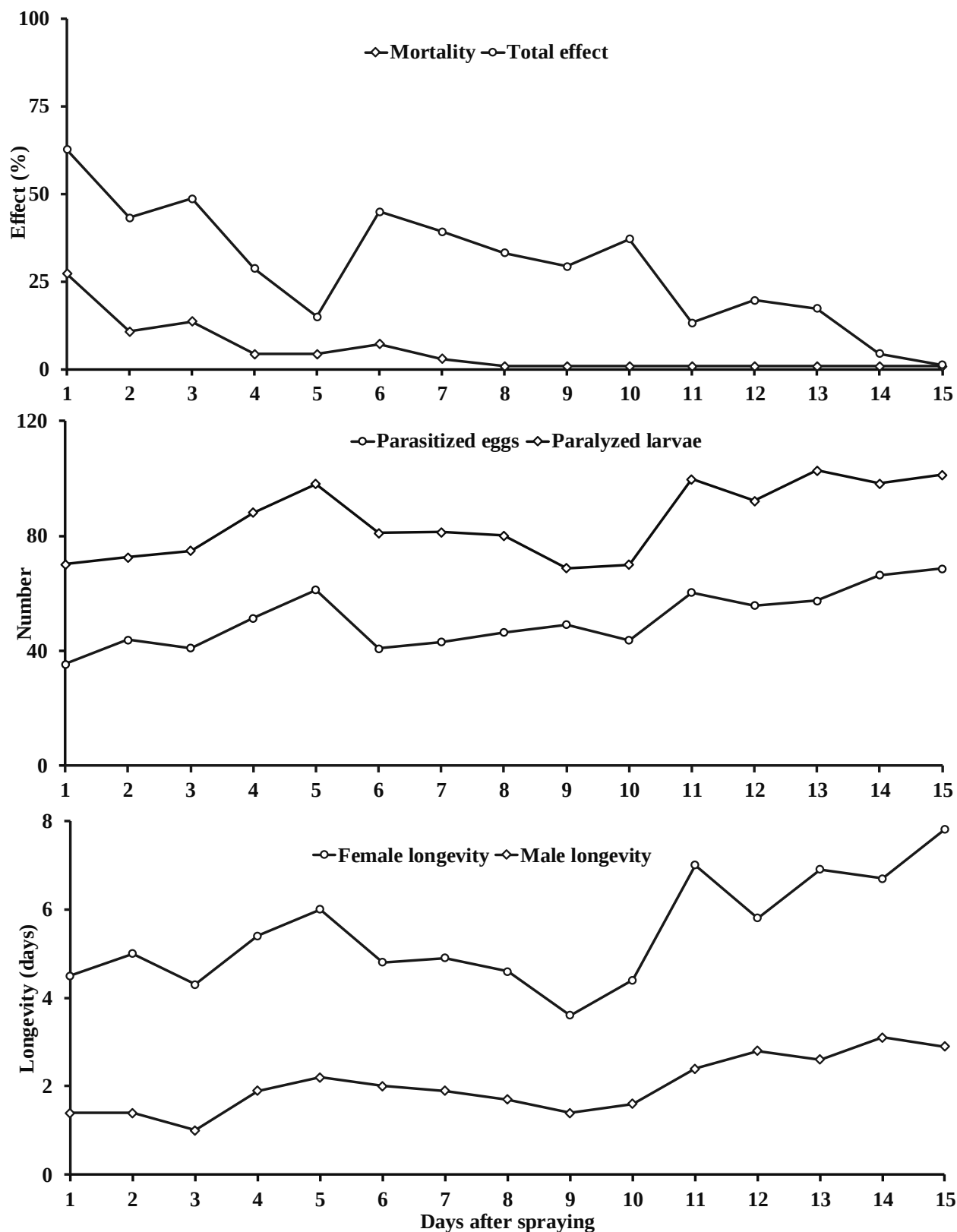
درصد مرگ و میر زنبورهای ماده در پانزده روز اول پس از سمپاشی بوته‌های پنبه با ایندوکساکارب، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند ($F_{14,149} = 8.72, P < 0.001$) و از ۲۷/۳۴ درصد در روز اول پس از سمپاشی به زیر ۲۵ درصد (۱۰/۲۹ درصد) در روز دوم رسید و تا روز پانزدهم پس از سمپاشی، در همین سطح باقی ماند (شکل ۲). طول عمر، زادآوری و قدرت فلج‌کنندگی زنبورهای ماده نیز در روز اول تا پانزدهم پس از سمپاشی بوته‌های پنبه، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (به ترتیب $F_{14,149} = 2.65, P < 0.001$ و $F_{14,149} = 2.29, P < 0.001$; $F_{14,149} = 4.61, P < 0.001$). طول عمر زنبورهای ماده از $4/5 \pm 0/78$ روز در روز اول پس از سمپاشی بوته‌ها به $7/8 \pm 0/73$ روز در روز پانزدهم رسید که با توجه به مقدار آن در شاهد ($7/6 \pm 0/94$ روز)، به ترتیب ۴۹/۸ و صفر درصد کاهش نشان داد. زادآوری زنبورهای ماده از ۳۵/۳۷ عدد تخم/زنبور ماده در روز اول پس از سمپاشی بوته‌ها به ۶۸/۶۶ عدد تخم/زنبور ماده در روز پانزدهم پس از سمپاشی رسید که نسبت به شاهد، به ترتیب ۴۸/۶۵ و یک درصد کاهش داشت. الگوی تغییرات قدرت فلج‌کنندگی پارازیتوئید نیز مشابه زادآوری بود و مقدار آن از ۷۰/۱ عدد لارو میزبان/زنبور ماده در روز اول پس از سمپاشی بوته‌ها به ۱۰۱/۳ عدد لارو میزبان/زنبور ماده در روز پانزدهم پس از سمپاشی رسید (شکل ۱). روند تغییرات "اثر کل" (مرگ و میر+ کاهش زادآوری) ایندوکساکارب تا حد زیادی مشابه اثر آن روی زادآوری و قدرت فلج‌کنندگی بود؛ در ده روز اول پس از سمپاشی بوته‌های پنبه، مقدار اثر کل از ۲۵ درصد بالاتر بود و در محدوده ۳۷/۲ تا ۶۲/۷ درصد نوسان داشت، اما در روز یازدهم پس از سمپاشی، مقدار آن به زیر ۲۵ درصد (۱۳/۳۱ درصد) رسید (شکل ۲).

در مجموع، طول مدت ماندگاری باقیمانده‌های ایندوکساکارب روی بوته‌های پنبه بر اساس درصد مرگ و میر، کاهش زادآوری و اثر کل برجای گذاشته‌شده بر زنبور، به ترتیب ۱، ۱۰ و ۱۰ روز اندازه‌گیری شد و بر اساس رتبه‌بندی IOBC و شاخص اثر کل، از نظر ماندگاری در رتبه ۲ (کم‌دوام) قرار گرفت (جدول ۴).



شکل ۱- تغییرات ویژگی های مهم زیستی و تولیدمثلی زنبور *Habrobracon hebetor* در روزهای مختلف پس از سمپاشی بوته های پنبه با تیودیکارب

Figure 1. Change in the main biological and reproductive characteristics of *Habrobracon hebetor* during different days after spraying cotton plants with thiodicarb



شکل ۲- تغییرات ویژگی‌های مهم زیستی و تولیدمثلی زنبور *Habrobracon hebetor* در روزهای مختلف پس از سمپاشی بوته‌های پنبه با حشره‌کش ایندوکساکارب

Figure 2. Change in the main biological and reproductive characteristics of *Habrobracon hebetor* during different days after spraying cotton plants with the insecticide indoxacarb

جدول ۴- مدت زمان ماندگاری (روز) باقیمانده‌های تیودیکارب و ایندوکساکارب روی بوته‌های پنبه بر اساس نوع تاثیر منفی بر

Habrobracon hebetor زنبور

Table 4. Residual persistence (day) of thiodicarb and indoxacarb on cotton plants based on the type of adverse effect on *Habrobracon hebetor*

Insecticides	Mortality (%)	Fecundity reduction (%)	Total effect (%)	IOBC group
Thiodicarb	7	22	22	3 (Moderately persistent)
Indoxacarb	1	10	10	2 (Slightly persistent)

بحث

به طور کلی، ماندگاری آفت‌کش‌ها روی اندام‌ها و بافت‌های گیاهی در اکوسیستم‌های کشاورزی و سمیت باقیمانده‌های آن‌ها روی دشمنان طبیعی، بسته به ماهیت شیمیایی آفت‌کش، شرایط محیطی، گونه گیاه میزبان و گونه دشمن طبیعی، متفاوت گزارش شده است (Rosendahl et al., 2009; Fantke & Joraske, 2013; Shen et al., 2022).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، اثرات کشنده و زیرکشنده (کاهش طول عمر، قدرت پارازیتسم و قدرت فلج‌کنندگی) تیودیکارب علیه حشرات کامل زنبور *H. hebetor* روی بوته‌های پنبه سمپاشی‌شده در شرایط گلخانه بسیار شدید بود، به طوری که شاخص "اثر کل" آن در سه روز اول پس از سمپاشی، بین ۸۷ تا ۱۰۰ درصد نوسان داشت و در رتبه‌بندی سازمان بین‌المللی کنترل بیولوژیک (IOBC)، در گروه حشره‌کش‌های مضر قرار گرفت. تیودیکارب روی تخم و لارو این پارازیتوئید هم سمیت شدیدی داشت و تفریخ تخم‌ها و زنده‌مانی لاروها را به ترتیب ۹۶ و ۸۲/۸ درصد کاهش داد. تا پیش از انجام این پژوهش، چند گزارش درباره سمیت شدید تیودیکارب بر زنبور *H. hebetor* در شرایط آزمایشگاهی منتشر شده بود (Khan et al., 2009; Rafiee, 2009a,b; Mahdavi, 2013) و با توجه به لزوم اندازه‌گیری مرحله به مرحله سمیت آفت‌کش‌ها روی دشمنان طبیعی در دستورالعمل‌های IOBC (Hassan et al., 1994; Sterk et al., 1999)، اثرات کشنده و زیرکشنده این حشره‌کش روی بوته‌های پنبه سمپاشی‌شده در شرایط گلخانه نیز اندازه‌گیری و سمیت آن بر زنبور *H. hebetor* در این شرایط هم تایید شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که سمیت ایندوکساکارب روی حشرات کامل زنبور *H. hebetor* (با حداکثر ۲۷/۳۴ درصد مرگ و میر و ۴۸/۷ درصد کاهش زادآوری) در مقایسه با تیودیکارب کم‌تر بود. در برخی پژوهش‌های آزمایشگاهی (روی بستر شیشه‌ای و بدون حضور گیاه میزبان)، تلفات غلظت توصیه شده این حشره‌کش روی زنبورهای ماده این پارازیتوئید تا ۹۵ درصد هم گزارش شده است (Ahmad & Ahmad, 2006; Ahmad et al., 2011) که این اختلاف شدید ممکن است ناشی از شرایط انجام آزمایش باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که برخلاف حشرات کامل، ایندوکساکارب روی مراحل نابالغ زنبور *H. hebetor* تاثیر منفی شدیدی داشت، به طوری که ۷۱/۳ درصد تخم‌ها، ۸۹/۷ درصد لاروها و ۵۴/۷ درصد شفیره‌های تیمار شده با این حشره‌کش دچار تلفات شدند. تا پیش از انجام این پژوهش، در خصوص سمیت ایندوکساکارب روی مراحل نابالغ این پارازیتوئید گزارشی منتشر نشده بود، اما یافته‌های یک پژوهش حاکی از تاثیر منفی این حشره‌کش روی شفیره‌های زنبور *Cotesia plutellae* و عدم ظهور ۵۶/۷ درصد حشرات کامل بود (Halappa et al., 2012) که به تلفات ۵۴/۷ درصدی شفیره‌ها در پژوهش حاضر، بسیار نزدیک می‌باشد.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، ماندگاری باقیمانده‌های تیودیکارب روی بوته‌های پنبه طولانی‌مدت بود، به طوری که اثر کشندگی آن روی *H. hebetor* در روز هشتم پس از سمپاشی و اثرات زیرکشنندگی آن (کاهش زادآوری و قدرت فلج‌کنندگی) و "اثر کل" (تلفات + کاهش زادآوری) در روز ۲۲ پس از سمپاشی به سطح "بی‌ضرر" (زیر ۲۵ درصد) رسید و بر اساس استاندارد IOBC، به عنوان یک حشره‌کش "نیمه‌پایدار" طبقه‌بندی شد. تا پیش از انجام این پژوهش، در خصوص دوام باقیمانده‌های تیودیکارب روی بوته‌های پنبه از نظر تاثیر بر زنبور *H. hebetor* گزارشی منتشر نشده بود، اما ماندگاری باقیمانده‌های آن روی

بوته‌های گوجه‌فرنگی از نظر مرگ و میر و کاهش زادآوری این زنبور به ترتیب ۶ و ۱۶ روز گزارش شده است (Khosroabadi et al., 2019) که به مدت زمان‌های به دست آمده در پژوهش حاضر نزدیک می‌باشند. همچنین، ماندگاری باقیمانده‌های این حشره کش از نظر مرگ و میر زنبورهای ماده *T. brassicae* روی بوته‌های پنبه، ۱۴ روز (Nekonom et al., 2021) و مرگ و میر زنبور *chilonis* روی بوته‌های گوجه‌فرنگی، ۱۰ روز گزارش شده است (Narendra et al., 2015) که از ۷ روز گزارش شده در پژوهش حاضر برای *H. hebetor* طولانی‌تر می‌باشند. این اختلاف ممکن است به دلیل درشت‌تر بودن جثه زنبور *H. hebetor* نسبت به زنبورهای جنس *Trichogramma* و در نتیجه، مقاومت بیش‌تر آن به باقیمانده‌های تیودیکارب و یا متفاوت بودن گیاهان میزبان باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ماندگاری ایندوکساکارب روی بوته‌های پنبه از تیودیکارب کم‌تر بود و تلفات ناشی از آن ظرف یک روز پس از سم‌پاشی به سطح بی‌ضرر رسید. همچنین، اثر منفی باقیمانده‌های ایندوکساکارب روی زادآوری زنبورهای ماده نیز زودتر از تیودیکارب (در روز یازدهم پس از سمپاشی) به سطح بی‌ضرر رسید و بر اساس معیار "اثر کل" و طبقه‌بندی IOBC، ایندوکساکارب با یازده روز ماندگاری، در گروه حشره‌کش‌های "کم‌دوام" قرار گرفت. تا قبل از انجام این پژوهش، در خصوص ماندگاری باقیمانده‌های ایندوکساکارب روی بوته‌های پنبه از نظر تاثیر بر زنبور *H. hebetor* گزارشی منتشر نشده بود، اما ماندگاری آن روی بوته‌های پنبه از نظر تاثیر بر زنبور *T. brassicae*، ۷ روز (Nekonom et al., 2021) و روی بوته‌های گوجه‌فرنگی از نظر تاثیر بر زنبور *H. hebetor*، ۱۲ روز (Khosroabadi et al., 2019) گزارش شده بود که با نتایج پژوهش حاضر انطباق زیادی داشت.

با توجه به سمیت شدید تیودیکارب روی مراحل نابالغ و حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* و ماندگاری طولانی مدت باقیمانده‌های آن روی بوته‌های پنبه در شرایط گلخانه (تا ۲۲ روز) و نیز گزارش‌های پیشین در خصوص سمیت شدید این حشره‌کش روی زنبورهای پارازیتوئید تخم در مزارع پنبه، بازنگری در توصیه و کاربرد این حشره‌کش در مزارع پنبه ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، به دلیل تاثیر قابل توجه ایندوکساکارب روی زادآوری این پارازیتوئید و سمیت شدید آن روی مراحل نابالغ آن، توصیه می‌شود که بین سمپاشی با ایندوکساکارب و رهاسازی این پارازیتوئید در مزارع پنبه، یک فاصله‌ی زمانی حداقل ۱۰ روزه به عنوان دوره انتظار رعایت شود. این نتایج می‌تواند به تلفیق کارآمدتر روش‌های شیمیایی و بیولوژیک و حفاظت بیشتر و موثرتر از جمعیت زنبور *H. hebetor* در مزارع پنبه منطقه گرگان کمک نماید.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بابت تامین اعتبار این پژوهش و از سرکار خانم مهندس طاهری مسئول انسکتاریوم محمدآباد گرگان بابت در اختیار گذاشتن کابین‌های پرورش پارازیتوئید قدردانی به عمل می‌آید.

References

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18, 265-267. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Abedi, Z., Saber, M., Gharekhani, Gh., Mehrvar, A., & Kamita S. G. (2014). Lethal and sublethal effects of azadirachtin and cypermethrin on *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology*, 107(2), 638-645. DOI: <https://doi.org/10.1603/EC13227>
- Afshari, A., Gorzoddin, M., & Mottaki, I. (2014). Side-effects of indoxacarb and lufenuron on *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agricultural Sciences)*, 37(3), 61-79. (in Farsi)
- Afshari, A., Hamzehpour Chenari, E., & Iraj, A. (2020). Cold storage possibilities of pupae and adults of a parasitoid wasp, *Bracon hebetor* Say. *Journal of Plant Protection*, 34(1), 33-46. DOI: <https://doi.org/10.22067/JPP.V34I1.81841> (In Farsi)

- Afshari, A., Hamzepour Chenari, E., Iraj, A., & Asghari Larimi, M. (2018). Lethal and sublethal effects of thiodicarb and hexaflumuron on egg parasitoid, *Trichogramma brassicae* Bezdenko under laboratory conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agricultural Sciences)*, 41(1), 75-89 **DOI: <https://doi.org/10.22055/PPR.2018.22709.1349>** (in Farsi)
- Aheer, G. M., Aziz, M. A., Hameed, A., & Ali, A. (2009). Evaluation of resistance to different insecticides in field strains of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Punjab. *Pakistan Entomological Research*, 39, 159-167. **DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1748-5967.2009.00210.X>**
- Ahmad, S., & Ahmad M. (2006) Toxicity of some insecticides on *Bracon hebetor* under laboratory conditions. *Phytoparasitica*, 34, 401-404. **DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02981026>**
- Ahmad, Sh., Ashfaq, M., Khan, R. R., & Alikhan, H. A. (2011). Toxicity of some insecticides against *Bracon hebetor* (Say): A potential lepidopterous parasitoid. *Kuwait Journal of Sciences and Engineering*, 38(2), 185-192.
- Alam, M., Alam, M., Alam, S., Miah, M. R., Mian, M. I., & Hossain, M. (2016). Mass rearing of *Bracon hebetor* (Hym.: Braconidae) on wax moth, *Galleria mellonella* (Lep.: Pyralidae) with varying density of parasitoid and the host. *Journal of Crop Protection*, 5(1), 39-48. **DOI: <https://doi.org/10.18869/modares.jcp.5.1.39>**
- Bagheri, A., Askari Seyahooei, M., Fathipour, Y., Famil, M., Koohpayma, F., Mohammadi Rad, A., & Parichehreh, Sh. (2019). Ecofriendly managing of *Helicoverpa armigera* in tomato field by releasing *Trichogramma evanescence* and *Habrobracon hebetor*. *Journal of Crop Protection*, 8(1), 11-19. **DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00210.x>**
- Baker, J. E., Weaver, D. K., Throne, J. E., & Zettler, J. L. (1995). Resistance to protectant insecticides in two field strains of the stored-product insect parasitoid, *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology*, 88(3), 512-519. **DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/88.3.512>**
- Bartling, M. T., Brandt, A., Hollert, H., & Vilcinskis, A. (2024). Current insights into sublethal effects of pesticides on insects. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 6007. **DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25116007>**
- Bisht, S., Chauhan, R., Kumari, B., & Singh, R. (2015). Fate of thiodicarb and its metabolite methomyl in sandy loam soil under laboratory conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 429. **DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4640-1>**
- Brevault, T., Oumarou, Y., Achaleke, J., Vaissayre, M., & Nibouche, S. (2009). Initial activity and persistence of insecticides for the control of bollworms (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton crops. *Crop Protection*, 28, 401-406. **DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.12.006>**
- Brickle, D. S., Turnipseed, S. G., & Sullivan M. J. (2001). Efficacy of insecticides of different chemistries against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in transgenic *Bacillus thuringiensis* and conventional cotton. *Journal of Economic Entomology*, 94(1), 86-92. **DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.1.86>**
- Chopra, I., Chauhan, R., & Kumari, B. (2013). Dissipation and persistence of thiodicarb in cotton. *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 1(2), 28-31.
- Cloyd, R. (2011). Indirect effects of pesticides on natural enemies. In: Soundararajan, R. P.(ed.). *Pesticides: Advances in Chemical and Botanical Pesticides*. IntechOpen publisher, pp. 127-150.
- Cordero, R. J., Bloomquist, J. R., & Kuhar, T. P. (2007). Susceptibility of two diamondback moth parasitoids, *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera; Ichneumonidae) and *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera; Eulophidae), to selected commercial insecticides. *Biological Control*, 42, 48-54. **DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.04.005>**
- da Silva Oliveira, M. G., Serikawa, R. H., da Silva, F. M. A., & Fernandes, O. A. (2021). Susceptibility and residual effect of indoxacarb formulations on major soybean lepidopteran pests. *Phytoparasitica*, 49, 407-416. **DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00876-7>**
- Dake, R. B., Bhamare, V. K., & Mhaske, S. H. (2017). Bio-Efficacy, persistence and residual toxicity insecticides against head borer, *Helicoverpa armigera* (Hübner) of sunflower. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 6(2), 64-70.
- Dhawan, A., Saini, S., Singh, K., & Aneja, A. (2009). Persistence and residual toxicity of some insecticides against *Phenacoccus solenopsis* on cotton (*Gossypium* spp). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 79, 203-206.

- Faal-Mohammadali, H., Seraj, A. A., & Talebi-Jahromi, Kh. (2014). Effects of traditional insecticides on *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae): bioassay and life-table assays. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(9), 1089-1102. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.830505>
- Fantke, P., & Juraske, R. (2013). Variability of pesticide dissipation half-lives in plants. *Environmental Science & Technology*, 47(8), 3548-3562. DOI: <https://doi.org/10.1021/es303525x>
- Gadhiya, H. A., Borad, P. K., & Bhut, J. B. (2014). Effectiveness of synthetic insecticides against *Helicoverpa armigera* (Hünber) and *Spodoptera litura* (Fabricius) infesting Groundnut. *The Bioscan*, 9(1), 23-26.
- Ghimire, M. N., & Phillips, T. W. (2010a). Suitability of different lepidopteran host species for development of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, 39(2), 449-458. DOI: <https://doi.org/10.1603/EN09213>
- Ghimire, M. N., & Phillips, T. W. (2010b). Mass rearing of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) on larvae of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): effects of host density, parasitoid density, and rearing containers. *Journal of Stored Products Research*, 46(4), 214-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2010.05.003>
- Ghimire, M. N., & Phillips, T. W. (2014). Oviposition and reproductive performance of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on six different pyralid host species. *Annals of Entomological Society of America*, 107(4), 809-817. DOI: <https://doi.org/10.1603/AN14046>
- Halappa, B., Awaknavar, J. S., & Archana, D. (2012). Toxicity of insecticides to larval endoparasitoid, *Cotesia plutellae* (Kurdj.) of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) under laboratory condition. *Pesticide Research Journal*, 24(2), 231-234.
- Hasan, W., Chhibber R. C., & Singh, C. P. (2016). Effect of indoxacarb against tomato fruit borer (*Helicoverpa armigera* Hub.) and phytotoxicity to tomato plants. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 3(2), 51-54. DOI: <https://doi.org/10.15406/apar.2016.03.00093>
- Hassan, E., Oomen, P. A. Overmeer, W. P. J., Plevvoets, P., Reboulet, J. N., Rieckmann, W., Samsoe-Petersen, L., Shires, S.W., Stäubli, A., Stevenson, J., Tuset, J. J., Vanwetswinkel, G., & van Zon, A. Q. 1985. Standard methods to test the side-effects of pesticides on natural enemies of insects and mites developed by the IOBC/WPRS Working Group "Pesticides and Beneficial Organisms". *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 15, 214-255. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1985.tb00224.x>
- Hassan, S. A., Bigler, F., Bogenschütz, H., Boller, E., Brun, J., Calis, J. N. M., Chiverton, P., Coremans-Pelseneer, J., Duso, C., Lewis, G. B., Mansour, F., Moreth, L., Oomen, P. A., Overmeer, L. Polgar, W. P. J., Rieckmann, W., Samsoe-Petersen, L., Stäubli, A., Sterk, G., Tavares, K., Tuset, J. J., & Viggiani, G. (1991). Results of the fifth joint pesticide testing program carried out by the IOBC/WPRS-working group "pesticides and beneficial organisms". *Entomophaga*, 36, 55-67. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02374636>
- Hassan, S. A., Bigler, F., Bogenschütz, H., Boller, E., Brun, J., Calis, J. Coremans-Pelseneer, J., Duso, C., Grove, A., Heimbach, U., Helyer, N., Hokkanen, H., Lewis, G. B., Mansour, F., Moreth, L., Polgar, L., Samsoe-Petersen, L., Sauphanor, B., Staubli, A., Sterk, G., Vaino, A., van de Veire, M., Viggiani, G., & Vogt, H. (1994). Results of the sixth joint pesticide testing program carried out by the IOBC/WPRS-Working Group "Pesticides and Beneficial Organisms". *Entomophaga*, 39, 107-119. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02373500>
- Hewa-Kapuge, S., Dougall, S. M., & Hoffmann, A. 2003. Effects of methoxyfenozide, indoxacarb, and other insecticides on the beneficial egg parasitoid *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory and field conditions. *Journal of Economic Entomology*, 96(4), 1083-1090. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/96.4.1083>
- Hussain, D., Asghar, S., Zia, Kh., Asrar, M., Malik, S., & Saleem, U. (2025). Toxicological evaluation of insecticides on *Bracon hebetor* (Say, 1836) under controlled laboratory conditions. *Plant Protection*, 9(1), 125-130. DOI: <https://doi.org/10.33804/pp.009.01.5491>
- Javanmoghaddam, H., Alavi, J., & Taghizadeh, M. (2002). Evaluation the effectiveness of some insecticides for controlling bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Proceeding of the 15 Iranian Plant Protection Congress*, 7-11 September. Razi University of Kermanshah. P. 34.

- Johnson, M. W., & Tabashnik, B. E. (1999). Enhanced biological control through pesticide selectivity. In: Bellows, T. S., and Fisher, T.W. (eds.). *Handbook of Biological Control: Principles and Applications*. Academic Press, San Diego, New York. pp. 297-317.
- Khan, R. R., Ashfaq, M., Ahmed, S., & Sahi, S. T. (2009). Mortality responses in *Bracon hebetor* Say (Braconidae) against some new chemistry and conventional insecticides under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 46(1), 30-33.
- Khosroabadi, A., Ali Afshari, A., & Rahiminejad, V. (2019). Persistency evaluation of two insecticides on tomato plants to determine releasing time of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). *Proceedings of the 3th Iranian International Congress of Entomology*, 17-19 August. Tabriz University, Tabriz, Iran. P. 209.
- Mahdavi, V. (2013). Residual toxicity of some pesticides on the larval ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Plant Protection Research*, 53(1), 27-31. DOI: <https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0003>
- Mansour, A. N., Ghoneim, K. S., Hamadah, K. S., & Abo-Elsoud, A. A. (2024). Demographic toxicology of insect growth regulators on the nontarget ectolarval parasitoid *Habrobracon hebetor*. *Scientific Reports*, 14, 26189. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75634-4>
- Mbata, G. N., & Warsi, S. (2019). *Habrobracon hebetor* and *Pteromalus cerealellae* as tools in post-harvest integrated pest management. *Insects*, 10(4), 85. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects10040085>
- Mohaghegh-Neishabouri, J., Rostamkolae Motlagh, S. E., & Goodarzian, N. (2009). Studies on the effect of indoxacarb, thiodicarb and monocrotophos on mortality of tobacco budworm *Helicoverpa armigera* (Lep.: Noctuidae) under field conditions. *Entomology and Phytopathology*, 77, 67-80 (In Farsi).
- Mosallanejad, H., Golmohammadi, Gh., Faravardeh, L., & Nazar Tabak, S. (2019). Susceptibility of different Iranian populations of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hubner) to some registered insecticides. Agricultural Research Education And Extension Organization (AREEO). R-1050288. 26 p.
- Moscardini, V. F., Gontijo, P. C., Carvalho, G. A., de Oliveira, R. L., Maia, J. B., & Silva, F. F. (2013). Toxicity and sublethal effects of seven insecticides to eggs of the flower bug *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae). *Chemosphere*, 92(5), 490-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.111>
- Najafi Navaei, I., Taghizadeh, M., Javanmoghaddam, H., Oskoo, T., & Attaran, M. R. (2002). Efficiency of parasitoid wasps, *Trichogramma pintoi* and *Habrobracon hebetor* against *Ostrinia nubilalis* and *Helicoverpa* sp. on maize in Moghan. *Proceedings of the 15th Iranian Plant Protection Congress*. Razi University of Kermanshah, Iran, p. 327.
- Narendra, G., Khokhar, S., & Ram, P. (2015). Residual toxicity of some insecticides to the adults of *Trichogramma chilonis* under both laboratory and field conditions. *Indian Journal of Plant Protection*, 43(3), 320-323.
- Nekonom, A., Afshari, A., & Nadimi, A. (2021). Persistency and toxicity of some insecticides on cotton plants to conserve parasitoid wasp, *Trichogramma brassicae* Bezd. *Iranian Journal of Cotton Research*, 8(2), 107-126. DOI: <https://doi.org/10.22092/IJCR.2021.342673.1149>
- Overmeer, W. P. J., & van Zon, A. Q. (1982). A standardized method for testing the side effects of pesticides on the predacious mite, *Amblyseius potentillae* (Acarina: Phytoseiidae). *Entomophaga*, 27(4), 357-363. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02372057>
- Overton, K., Hoffmann, A. A., Reynolds, O. L., & Umina, P. A. (2021). Toxicity of insecticides and miticides to natural enemies in Australian grains: A review. *Insects*, 12(2), 187. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12020187>
- Padhy, D., Ramalakshmi, V., Dash, L., & Borkataki, S. (2020). A Review on recent advances in rearing of the larval parasitoid *Bracon hebetor* (Say). *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 13(12), 111-112.
- Rafiee Dastjerdi, H., Hejazi, M. J., Nouri Ganbalani, Gh., & Saber, M. (2009a). Sublethal effects of some conventional and biorational insecticides on ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Entomology*, 6(2), 82-92. DOI: <https://doi.org/10.3923/je.2009.82.89>

- Rafiee Dastjerdi, H., Hejazi, M. J., Nouri Ganbalani, Gh., & Saber, M. (2009b). Effects of some insecticides on functional response of ectoparasitoid *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Entomology*, 6(3), 161, 166. DOI: <https://doi.org/10.3923/je.2009.161.166>
- Rafiee-Dastjerdi, H., Hassanpour, M., Nouri-Ganbalani, G., Golizadeh, A., & Sarmadi, S. (2012). Sublethal effects of indoxacarb, imidacloprid and deltamethrin on life table parameters of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) in pupal stage treatment. *Journal of Crop Protection*, 1(3), 221-228. DOR: <https://doi.org/20.1001.1.22519041.2012.1.3.4.9>
- Rafiee-Dastjerdi, H., Hejazi, M., Nouri, Ghanbalani, G., Saber, M., & Mohebalipor, N. (2010). Susceptibility of immature stages of parasitoid *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) to pesticides. *Agroecology Journal*, 5(17), 9-18. (In Farsi)
- Ramasubramanian, T., & Regupathy, A. (2003). Laboratory measured resistance and field control of *Helicoverpa armigera* Hübner by thiodicarb. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(17-24), 1175-1178. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajps.2003.1175.1178>
- Rezaei, M., Talebi, K., Naveh, V. H., & Kavousi, A. (2007). Impacts of the pesticides imidacloprid, propargite, and pymetrozine on *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae): IOBC and life table assays. *BioControl*, 52, 385-398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-006-9036-2>
- Rosendahl, I., Laabs, V., Atcha-Ahowe, C., Braima James, B., & Wulf, A. (2009). Insecticide dissipation from soil and plant surfaces in tropical horticulture of southern Benin, West Africa. *Journal of Environmental Monitoring*, 11, 1157-1164. DOI: <https://doi.org/10.1039/b903470f>
- Saber, M., Parsaeyan, E., Vojoudi, S., Bagheri, M., Mehrvar, A., & Kamita, S. G. (2013). Acute toxicity and sublethal effects of methoxyfenozide and thiodicarb on survival, development and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, 43, 14-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.09.011>
- Sarmadi, S., Nouri-Ghanbalani, G., Rafiee-Dastjerdi, H., Hassanpour, M., & Farshbaf-Pourabad, R. (2010). The effects of imidacloprid, indoxacarb and deltamethrin on some biological and demographic parameters of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) in adult stage treatment. *Munis Entomology and Zoology*, 5(2), 646-652.
- SAS Institute. (2003). SAS/STAT user s, version 9.1. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Sattar, S., Farmanullah, Saljoqi, A., Arif, M., Sattar, H., & Qazi, J. I. (2011). Toxicity of some new insecticides against *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory and extended laboratory conditions. *Pakistan Journal of Zoology*, 43(6), 1117-1125.
- Saxena, H., Ponnusamy, D., & Iquebal, M. A. (2012). Seasonal parasitism and biological characteristics of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae): a potential larval ectoparasitoid of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in a chickpea ecosystem. *Biocontrol Science and Technology*, 22(3), 305-318. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2012.656579>
- Shen, Y., Zhao, E., Zhang, W., Baccarelli, A. A., & Gao, F. (2022). Predicting pesticide dissipation half-life intervals in plants with machine learning models. *Journal of Hazardous Materials*, 436, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129177>
- Stark, J. D., & Banks, J. E. (2024). Deconstructing the IOBC tiered method: Are we overestimating the compatibility of pesticides and natural enemies? *Biological Control*, 198, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105630>
- Sterk, G., Hassan, S. A., Baillod, M., Bakker, F., Bigler, F., Blumel, S., Bogenschutz, H., Boller, E., Bromand, B., Brun, J., Calis, J. N. M., Coremans-Pelseneer, J., Duso, C., Garrido, A., Grove, A., Heimbach, U., Hokkanen, H., Jacas, J., Lewis, G., Moreth, L., Polgar, L., Roversti, L., Sasoe-Petersen, L., Sauphanor, B., Schaub, L., Staubli, A., Tuset, J. J., Vanio, A., van De Veire, M., Viggiani, G., Vinuela, E., & Vogt, H. (1999). Results of the seventh joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-Working Group 'Pesticides and Beneficial Organisms'. *BioControl*, 44, 99-117. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009959009802>
- Suh, C. P., Orr, D. B., & Duyn, J. W. V. (2000). Effect of insecticides on *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) preimaginal development and adult survival. *Journal of Economic Entomology*, 93, 577-583. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.577>

- Talebi, Kh., Hosseininaveh, V., & Ghadamyari, M. (2011). Ecological impacts of pesticides in agricultural ecosystem. In: Stoytcheva, M. (ed.). Pesticides in the modern world - risks and benefits. IntechOpen publisher, pp. 143-168.
- Talebi-Jahromi, Kh. (2007). Pesticides Toxicology. 2nd edition. Tehran University Publications, (in Farsi).
- Theiling, K. M., & Croft, B. A. (1988). Pesticide side-effects on arthropod natural enemies: A database summary. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 21(3-4), 191-218. **DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90088-6)**
- Uwais, A., Xu, J. J., Yang, X. R., He, J. T., Guo, W. C., Xu, Y. Q., & Wei, Y. Q. (2006). Preliminary test of controlling *Helicoverpa armigera* and *Ostrinia furnacalis* with *Habrobracon hebetor* in fields. *Chinese Journal of Biological Control*, 22, 155-157.
- Van Drische, R. G., & Bellows, T. S. (1996). Biological Control. Chapman and Hall, New York, 447 pp.
- Van Lenteren, J. C. (2008). IOBC Internet Book of Biological Control, version 5. IOBC, 135 pp.
- Vojoudi, S., Saber, M., Gharekhani, Gh., & Esfandiari, E. (2017). Toxicity and sublethal effects of hexaflumuron and indoxacarb on the biological and biochemical parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Iran. *Crop Protection*, 91, 100-107. **DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.020>**
- Yazdanian, M., Haddad Irani Nejad, K., & Mashhadi Jafarloo, M. (2005). Determining the number of larval instars of the Mediterranean flour moth, *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera, Phycitidae) in laboratory conditions. *Agricultural Science*, 15, 45-54. (In Farsi)

Toxicity and persistence of two insecticides, thiodicarb and indoxacarb against parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* on cotton plants

A. J. Badakhshi¹, A. Afshari^{2*} and M. Yazdani³

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Faryab University, Maymana, Afghanistan,
2, 3. Department of Plant Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural
Resources, Gorgan, Iran

✉ badakhshi9@gmail.com
✉ afshari@gau.ac.ir
✉ mohsenyazdani@gau.ac.ir

 <https://orcid.org/0009-0002-1895-7559>
 <https://orcid.org/0000-0002-4546-6336>
 <https://orcid.org/0000-0001-7321-7997>

Received: 14 April 2025 | Accepted: 7 June 2025 |

Abstract

In this research, lethal and sublethal toxicity and persistence of the field recommended concentration of two insecticides, thiodicarb and indoxacarb, were investigated against the parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* (Say) on cotton plants and categorized according to the IOBC standard classes. The results showed that thiodicarb had greater lethal toxicity against adult parasitoid wasp (up to 77.9% mortality) than indoxacarb and was categorized as a harmful insecticide (group 4) based on the “total effect” (mortality+ fecundity reduction). Thiodicarb was also highly toxic to immature stages of parasitoid and reduced egg hatching and survival of larvae by 95.9% and 82.8%, respectively compared to the control. The lethal and sublethal toxicities of indoxacarb were significantly lower than those of thiodicarb, with a maximum mortality of 27.34% and a fertility reduction of 48.7%, and it was classified as ranging from slightly harmful (group 2) to moderately harmful (group 3) insecticide. Thiodicarb residues were more persistent on cotton plants than those of indoxacarb and its “total effect” on the parasitoid was more than 25% for 22 days after spraying. Therefore, it was classified as a “moderately persistent” (group 3) insecticide according to the IOBC standard classes. In contrast, total effects of indoxacarb reached to the harmless level (<25%) 10 days after spraying, and it was classified as a “slightly persistent” (group 2) insecticide. In order to conserve *H. hebetor* population in cotton fields, it is recommended that thiodicarb be replaced with a less harmful insecticide and to allow at least a 10-day “waiting period” between the application of indoxacarb and the large-scale release of the parasitoid wasp.

Key words: Conservation, Insecticide, Lethal effects, Total effect

Citation: Badakhshi, A. J., Afshari, A. & Yazdani, M. (2025). Toxicity and persistence of two insecticides, thiodicarb and indoxacarb against parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* on cotton plants. *Plant Pest Research*, 15(1), 65-83. **Doi:** <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.30379.1633>



*Corresponding author: afshari@gau.ac.ir