

Fumigant Toxicity and Sublethal Effects of *Acroptilon repens* Extracts on Life Table Parameters and Population Projection of *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae)

S. S. Sarboland¹, F. Mehrkhou^{1*}, M. Fattahi², M. Forouzan³

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Plant Protection Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran

(* - Corresponding author's Email: f.mehrkhou@urmia.ac.ir)

How to cite this article:

Sarboland, S.S., Mehrkhou, F., Fattahi, M., & Forouzan, M. (2025). Fumigant toxicity and sublethal effects of *Acroptilon repens* extracts on life table parameters and population projection of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae). *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 249-267. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92221.1222>

Received: 16-02-2025

Revised: 18-04-2025

Accepted: 29-04-2025

Available Online: 10-11-2025

Introduction

Greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae) is one of the most destructive pests on the greenhouse and vegetables products in the world. Both of adults and nymphs cause economic damages through sucking the phloem sap, and secretion of large amounts of honeydew which supports the growth of sooty mold. Additionally, it transmits some plant virus pathogens. Usage of synthetic insecticides is one of the most common methods in management of greenhouse whitefly which resulted in some side effects on natural enemies, pest resurgence, environmental pollution, and pest resistance, as well. Hence, in the present study, we used the biorational and plant-based with insecticidal properties, *Acroptilon repens*, Russian knapweed, (Asteraceae). It is known as a persistent weed and has insecticidal potential. It was widely reported from different parts of Iran. The aerial tissues of *A. repens* possess aromatic amines, and sterols, as well as sesquiterpene lactones. Its repellency, contact toxicity, fumigant toxicity, anti-oviposition, and antifeedant properties against insect pests refer to the existence of aforementioned constituents.

Materials and Methods

Aerial parts of *A. repens* were collected from wheat field in Vaqasluy-e Sofla (45° 1'E, 37° 39'N), West Azerbaijan, Iran during 2021-2023 which identified by Dr. Mahnaz Heydari and preserved in the herbarium at Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), West Azerbaijan, Urmia, Iran with specimen number 106606. The colony of *T. vaporariorum* was reared on tomato (variety Sun-seed 6189). Rearing of the insect was continued until they reached the desired stage for doing the bioassays. The insect colony was kept in a growth chamber at 25 ± 2° C and 60 ± 10% RH at a photoperiod of 16: 8 h (L:D). The immersion method was used to obtain the methanolic and aqueous extracts of *A. repens*, in which, 50 grams of



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92221.1222>

the Russian knapweed were soaked in 300 ml of solvents (aqueous and 80% methanol) and placed on a shaker at room temperature for 48 h, then the obtained extracts filtered twice, next concentrated by a rotary vacuum distillation machine at 40°C with speed of 100 rpm. The obtained concentrated liquid was spread on a watch glass until the solvent was removed entirely. Finally, the obtained powder gathered and stored in dark-colored lidded jars inside the refrigerator at 4°C. The bioassay tests were performed to obtain the lethal (LC_{50}) and (LC_{25}) concentrations of Russian knapweed extracts by using the adult stage of greenhouse whitefly. Based on preliminary tests which caused the mortality in the ranges between 10-90%, five final concentrations (19.53, 78.12, 1250, 6500, and 7000) and (409.6, 1024, 2560, 6400 and 16000 $\mu\text{L/L}$) were used for aqueous and methanolic extracts, respectively. To study the sublethal effects, the filter papers (Whatman No. 1) were impregnated with LC_{25} concentration of each *A. repens* extracts, and then attached to the screw caps of the containers. Lids were screwed tightly and sealed with Para film. Then, 15 adults of the greenhouse whitefly were released into the treated containers for 24h. After 24 h, the alive adults were collected and released on tomato plants to laid eggs. The obtained eggs (60 the same aged for each treatment) were used to study the life table experiments. Their developmental time, survival, adult longevity and fecundity were checked daily. The age stage, two-sex life table method was used to analyze the collected data. We used the bootstrap technique with 100,000 iterations to estimate the variance and standard errors of the biological and population parameters. Sigma Plot software used to draw graphs. The growth of the pest population over 60 days was done with Timing-MsChart software.

Results and Discussion

The current study showed that aqueous extract of Russian knapweed was more toxic than the methanolic extract on adults of greenhouse whitefly. Moreover, the sublethal concentrations (LC_{25}) of both extracts affected the biological and life table parameters of greenhouse whitefly by prolonging the developmental period, decreasing the survival rate, adult longevity and fecundity. According to obtained results, there was no significant differences between extracts in terms of population growth parameters, but the aforementioned parameters were decreased compared to control groups. The mean generation time (T) of the greenhouse whitefly was the longest in aqueous extract, followed by methanolic and control treatments.

Conclusions

The overall results demonstrated that, both of the used extracts were effective on population parameters of greenhouse whitefly. However, the aqueous extract, due to an increase in the duration of the immature stages and the increase in the length of one generation, caused a greater decrease in the growth rate of the greenhouse whitefly population compared to the methanol extract, which, if formulated, can be used as a plant-based insecticide in management of the target plant pest.

Keywords: Chronic toxicity, Demographic parameters, Greenhouse whitefly, Population growth parameters, Russian knapweed

سمیت تنفسی و اثرات زیرکشندگی گیاه تلخه *Acroptilon repens* روی فراسنجه‌های جدولزندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیتی *Trialeurodes vaporariorum*

(Hemiptera: Aleyrodidae)

سیده سحر سربلند^۱، فریا مهرخو^{۱*}، محمد فتاحی^۲، مریم فروزان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

چکیده

سفیدبالک گلخانه (*Trialeurodes vaporariorum*)، یکی از مهم‌ترین آفات مخرب محصولات صیفی و گلخانه‌ای در ایران و دنیا می‌باشد. در این تحقیق، سمیت تنفسی و اثرات زیرکشندگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر فراسنجه‌های جدول زندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه انجام شد. روش مورد استفاده در زیست‌سنجی، آغشته کردن کاغذ صافی به غلظت‌های مورد نظر عصاره‌ها بود. جهت مطالعه جدول زندگی از ۶۰ عدد تخم هم‌سن برای هر یک از تیمارها و شاهد استفاده شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از تئوری جدول زندگی دوجنسی ویژه سن-مرحله رشدی و با استفاده از برنامه TWSEX-MSChart انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه منجر به طولانی شدن مراحل نابالغ، کاهش طول عمر حشرات کامل و میزان باروری *T. vaporariorum* نسبت به شاهد شد. اگرچه اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه وجود نداشت، ولی میزان فراسنجه‌های مذکور نسبت به شاهد کاهش یافت. به موازات تأثیر عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر بیولوژی، سرعت روند رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه نیز تحت تأثیر عصاره‌ها قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش مدت زمان یک نسل حشره (T) (۲۸/۲۱ روز)، در نتایج که والدین آن‌ها با غلظت زیرکشنده عصاره آبی تیمار شده بودند، سرعت رشد جمعیتی کمتری داشتند. مجموع نتایج تحقیق حاضر نشان داد که هر دو عصاره گیاه تلخه منجر به کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه شدند، ولی عصاره آبی به دلیل افزایش طول دوره مراحل نابالغ، افزایش مدت زمان طول یک نسل، باعث کاهش سرعت رشد جمعیت بیشتر سفیدبالک گلخانه نسبت به عصاره متانولی گردید، که در صورت فرموله شدن می‌تواند به‌عنوان حشره‌کش با منشأ گیاهی در مدیریت آفت مد نظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: سفیدبالک گلخانه، سمیت مزمن، فراسنجه‌های دموگرافی، فراسنجه‌های رشد جمعیت، گیاه تلخه

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: f.mehrkhoo@urmia.ac.ir)<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92221.1222>

مقدمه

سفیدبالک گلخانه (*Trialeurodes vaporariorum*) یکی از گونه‌های همه‌جازی، مخرب و مهم محصولات گلخانه‌ای، مزرعه‌ای و گیاهان زینتی در بین گونه‌های مختلف سفیدبالک می‌باشد (Reshadat-Salvanagh et al., 2024) که از نظر اقتصادی و انتقال بیماری‌های ویروسی نیز حائز اهمیت است (Watanabe et al., 2018). این گونه با تغذیه از شیره گیاهی موجب ضعیف شدن میزبان، کاهش فتوسنتز، ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی و کاهش ۵۰-۸۰ درصدی عملکرد محصول می‌شود (Gamarra et al., 2020). امروزه به دلیل سرعت نمو و تولیدمثل بالای سفیدبالک، جهت مهار جمعیت آن از انواع حشره‌کش‌ها در سطوح وسیع و دفعات زیاد استفاده می‌شود. که اعمال این روش‌ها مشکلاتی همچون بروز مقاومت در آفات، از بین رفتن دشمنان طبیعی، گیاه‌سوزی، طغیان آفات ثانویه و آلودگی‌های زیست‌محیطی را در پی دارد (Rodriguez & Vendramim, 2021; Choi et al., 2003; Erdogan et al., 2021). از سوی دیگر، به دلیل ویژگی‌های رفتاری نظیر تغذیه، جفتگیری و تخم‌گذاری افراد بالغ و همچنین رشد و نمو پوره‌ها در سطح زیرین برگ، مسئله مهار شیمیایی آفت را با مشکل مواجه کرده است (Choi et al., 2003).

مصرف تازه‌خوری اغلب محصولات گلخانه‌ای و لزوم رعایت دوره کارنس حشره‌کش‌های شیمیایی مورد استفاده در گلخانه‌ها، یکی از مهم‌ترین مواردی است که باید در مدیریت آفات گلخانه‌ای مد نظر قرار گیرد (Sharifiyan et al., 2024). برای رفع مشکلات ذکرشده، محققان درصدد استفاده از روش‌هایی با منشأ گیاهی مانند حشره‌کش‌های گیاهی به‌عنوان روشی مکمل در مدیریت آفات برآمده اند (Rodriguez, 2000; Reshadat-Salvanagh et al., 2024). شرکت‌های آمریکایی مایکوتک^۱ و اکواسمارت^۲، از جمله شرکت‌های پیش رو در زمینه تولید تجاری آفت‌کش بر پایه اسانس‌های گیاهی می‌باشند (Heydarzadeh, 2020). به‌عنوان مثال، امولیسون شته-کش-کنه‌کش-قارچ‌کش CinnamiteTM، بر پایه سینام آلدئید (ترکیب اصلی اسانس دارچین^۳) سنتز شده و روی درختان میوه، محصولات باغی و گلخانه‌ای به کار گرفته می‌شود. همچنین حشره-کش‌های گیاهی EcoPCO^R و BioganicTM بر پایه ترکیبات اصلی اسانس‌های ریحان *Ocimum basilicum* L.، آویشن باغی

Thymus vulgaris L.، میخک *Dianthus caryophyllus* L.، بادام زمینی *Arachis hypogaea* L. (تیمول، اوجنول، آلفا-ترپینول، ۲-فنتیل پروپیونات و بنزیل الکل) به‌صورت فرمولاسیون گرد و آبروسل برای مهار آفات بهداشتی توصیه شده است (Koul et al., 2008). اخیراً حشره‌کش گیاهی Bino2 که فرموله‌شده علف هرز تلخه بیان می‌باشد، با افزایش مقاومت گیاهان میزبان در برابر حشرات مکنده (کنه دو نقطه‌ای، کنه انجیر، پسیل پسته، انواع شته، سفید بالک و تریپس و ...) روی انواع محصولات گلخانه‌ای نظیر خیار *Cucumis sativus* L.، گوجه‌فرنگی *Solanum lycopersicum* L.، توت‌فرنگی *Fragaria ananassa* Duchesne و گیاهان زینتی توصیه شده است (Reshadat-Salvanagh, 2021).

گیاهان در مسیر تکاملی خود به یک سامانه دفاعی کارآمد برای مقابله با حمله گیاه‌خواران مجهز شده‌اند. وجود ترکیبات شیمیایی ثانویه مختلف در بافت یا رایحه گیاهان با دارا بودن خاصیت دورکنندگی یا ضدتغذیه‌ای برای حشرات، جزئی از این سامانه دفاعی محسوب می‌شود (Smith, 1989). استفاده از حشره‌کش‌های با منشأ گیاهی، سابقه طولانی در مدیریت آفات دارد و استفاده از آن‌ها باعث اختلالاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی حشرات (آنزیم‌های گوارشی، آنزیم‌های سم‌زدا و ...)، رفتاری، توقف تغذیه‌ای و تولیدمثلی می‌شود که در نهایت منجر به از بین رفتن حشرات آفت می‌شود (Heydarzade et al., 2019).

مطالعات انجام‌شده، بیانگر اثرات کشندگی و زیرکشندگی اسانس‌ها و عصاره‌های مختلف گیاهان دارویی روی سفیدبالک گلخانه‌ای می‌باشد. به‌عنوان مثال، چوی و همکاران (Choi et al., 2003) اثر تدخینی ۵۳ اسانس گیاهی را روی مراحل مختلف زیستی (تخم، پوره و حشره کامل) سفیدبالک گلخانه مورد بررسی قرار گرفته داده و نتایج آن‌ها بیانگر تأثیر بیشتر اسانس گیاهان پونه *Mentha* L.، اکالیپتوس *Eucalyptus globulus* Labill.، میخک *Syzygium aromaticum* L.، زیره سیاه *Carum carvi* L. و نعناع فلفلی *Mentha piperita* L. روی بالغین، پوره‌ها و تخم‌های این آفت نسبت به سایر اسانس‌ها بوده است. در تحقیقی دیگر، اثر عصاره‌های متانولی زیتون تلخ *Melia azedarac*، و اسپند *Peganum harmala* بر طول دوران پورگی و شفیرگی سفیدبالک گلخانه‌ای توسط دهقانی و احمدی (Ahmadie & Dehghani, 2011) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه خاصیت حشره‌کشی و دورکنندگی عصاره استبرق *Calotropis procera* روی سفیدبالک گلخانه نشان داد که عصاره گیاهان مذکور دارای خاصیت حشره‌کشی و دورکنندگی می‌باشد (Baqeri & Noori Deh, 2023). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر اثرات کشندگی و

1- Mycotech

2- Ecosmart

3- Cinnamomum aromaticum

زیرکشدگی فرمولاسیون‌های مختلف گیاه چریش و اثرات دورکنندگی و ضدتغذیه ای آن بر سفیدبالک گلخانه وجود دارد (Locke et al., 1994; Nikakhtar et al., 2023). مطالعه فیهیم و همکاران (Fahim et al., 2012) بیانگر تأثیر سمیت تنفسی اسانس گیاهان نعناع *Mentha spicata* و زیره سبز *Cuminum cyminum* روی تخم، پوره سن یک و حشرات کامل سفیدبالک گلخانه بود. همچنین حساسیت سفیدبالک گلخانه‌ای به اسانس‌های گیاهان آویشن *Thymus vulgaris* و نعناع فلفلی *M. piperita* توسط اروعی و همکاران (Arouiee et al., 2005) گزارش شده است. اخیراً شریفیان و همکاران (Sharifiyan et al., 2024) جهت افزایش کارایی اسانس پونه *M. pulegium*، موفق به تهیه نانوفرمولاسیون-هایی شده‌اند که منجر به افزایش خاصیت حشره‌کشی پونه علیه سفیدبالک گلخانه‌ای شده است.

گیاه تلخه با نام انگلیسی Russia knapweed و با نام علمی *Acroptilon repens* از خانواده Asteraceae است و در مزارع، باغات، مراتع و چراگاه‌ها در ایران و اکثر مناطق جهان مشاهده می‌شود (Moaven et al., 2014). این گیاه که بیشتر به‌عنوان یک علف هرز شناخته می‌شود، دارای خاصیت علف‌کشی (Razavi et al., 2012)، ضد میکروبی (Nadaf et al., 2013) و حشره‌کشی (Toolabi et al., 2018; Wang et al., 2015) است. خاصیت حشره‌کشی آن به دلیل دارا بودن ترکیبات آروماتیکی و فنلی از جمله سزکوئی‌ترینی، پلی‌فنلی، فلاونوئیدی و استروئیدی است (Samareh, 2020; Fekri, 2005; Norouzi-Arasi et al., 2020). خاصیت حشره‌کشی این گونه بر آفات بهداشتی، نظیر پشه‌های *Anopheles stephensi* و *Culex quinquefasciatus* مطالعه شده است (Toolabi et al., 2018). در خصوص اثرات حشره‌کشی گیاه تلخه روی آفات کشاورزی و گلخانه‌ای، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. به‌عنوان مثال، خاصیت حشره‌کشی عصاره گیاه تلخه روی لاروهای کرم پیاده نظام پروانه *Mythimna separate* Walker در چین منجر به مرگ و میر ۸۰-۸۸ درصد لاروها شده است (Wang et al., 2015).

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه میزبان و سفیدبالک گلخانه

بذرهای گیاه گوجه‌فرنگی مورد استفاده در این تحقیق (رقم سانسید ۶۱۸۹)، در سینی‌های نشاء (با حفره‌هایی به ابعاد ۲۵×۲۵ میلی‌متر و عمق ۴۲ میلی‌متر) شامل خاک حاوی پیت ماس، پرلیت و کود دامی (به‌نسبت برابر) کاشته شدند. داخل هر حفره، یک عدد نشاء کاشته و آبیاری گلدان‌ها هفته‌ای دوبار انجام شد. برای بهبود در رشد بوته‌ها از محلول غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم NPK در زمان‌های ۱۰ و ۲۰ روز پس از نشاکاری، همراه با آب آبیاری استفاده شد. بعد اینکه نشاء به مرحله شش الی هشت برگی رسیدند، به داخل گلدان‌های پلاستیکی (با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) حاوی پیت ماس، پرلیت، کود دامی و خاک به نسبت برابر، منتقل شدند. به‌منظور عدم آلودگی گلدان‌ها تا زمان رهاسازی جمعیت سفیدبالک گلخانه،

بررسی اثرات آفت‌کش‌ها با روش‌های معمول زیست‌سنجی که در آن تنها مرگ و میر حشرات مورد مطالعه قرار می‌گیرد، کافی نیست. ارزیابی اثرات آفت‌کش‌ها روی آفات باید همه‌جانبه و با در نظر گرفتن میزان کشدگی و اثرات فیزیولوژیک آفت‌کش‌ها در غلظت‌های زیرکشنده باشد. روش سم‌شناسی دموگرافیک که در آن علاوه بر اثر کشدگی، اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها را روی فراسنجه‌های جدول زندگی حشره بررسی می‌کند، روش تحقیقی فراگیر بوده که برای ارزیابی سموم، به‌ویژه آفت‌کش‌ها پیشنهاد شده است (Rumpf et al., 1997). اثرات زیرکشدگی ممکن است به‌صورت کاهش طول دوره زندگی (Choi et al., 2003)، میزان رشد جمعیت (Bradleigh

گیاهان داخل قفس نگهداری شدند.

کلنی اولیه و مورد نیاز برای پرورش سفیدبالک گلخانه جهت انجام آزمایشات، از روی گوجه‌فرنگی‌های موجود در گلخانه گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه ارومیه که هیچ‌گونه سم‌پاشی روی آن‌ها انجام نشده بود، با استفاده از آسپیراتور مکنده جمع‌آوری شدند. بعد از شناسایی حشرات بالغ *T. vaporariorum* در مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، جهت هم‌سن‌سازی سفیدبالک گلخانه، حشرات بالغ جمع‌آوری شده روی گیاهان گوجه‌فرنگی به داخل قفس‌های توری (مش ۵۰ و ابعاد ۱۰۰ × ۸۰ × ۸۰ سانتی‌متر) به مدت ۲۴ ساعت رهاسازی و سپس از داخل قفس‌ها حذف شدند. حشرات مورد استفاده در تحقیق، پیش از انجام آزمایش‌های مربوط به زیست‌سنجی و مطالعات جدول زندگی حداقل به مدت ۲-۳ نسل در گلخانه و تحت شرایط کنترل‌شده با شرایط دمایی 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی مورد پرورش قرار گرفتند (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2024).

تهیه نمونه گیاهی و عصاره‌گیری

بخش‌های هوایی گیاه تلخه *A. repens*، در اواخر تیرماه ۱۴۰۰ از حاشیه مزارع گندم روستای وقاصولوی سفلی جمع‌آوری و در مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی، با کد هرباریوم NO.106606 ثبت و نام علمی آن تأیید شد. گیاهان جمع‌آوری شده با آب مقطر شستشو داده شدند و در دمای محیط دور از تابش مستقیم نور آفتاب در سایه خشک شدند. سپس، گیاهان خشک‌شده توسط آسیاب برقی کاملاً پودر شده و در ظرف شیشه‌ای تیره در بسته داخل یخچال نگهداری شدند. عصاره‌گیری به روش خیساندن انجام گرفت. در این روش، ۵۰ گرم از گیاه پودر شده در ۳۰۰ میلی‌لیتر حلال (آب و متانول) خیسانده و به مدت ۴۸ ساعت روی شیکر^۱ در دمای اتاق قرار داده شد. بعد از طی شدن زمان مذکور، عصاره‌ها دو بار از کاغذ صافی (واتمن شماره ۱) رد شد و توسط دستگاه تقطیر در خلأ دوار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه تغلیظ شد. عصاره‌های تغلیظ‌شده در شیشه‌های درب‌دار تیره‌رنگ داخل یخچال نگهداری و مشخصات نمونه گیاهی به همراه تاریخ عصاره‌گیری روی آن درج گردید (Samareh Fekri, 2020). برای انجام این آزمایش از دو نوع عصاره گیاهی محلول در آب و محلول در متانول جهت تعیین میزان سمیت تدخینی و اثرات زیرکشنده آن‌ها بر ویژگی‌های زیستی و جمعیتی سفیدبالک گلخانه استفاده گردید.

سمیت تدخینی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه جهت تعیین غلظت‌های کشنده (LC₅₀) و زیرکشنده (LC₂₅) عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه

بعد از انجام یکسری آزمایش‌های مقدماتی طی مراحل زیست-سنجی، غلظت‌هایی که تلفات ۱۰ تا ۹۰ درصد ایجاد کردند، مشخص و سپس غلظت‌های بین این دو غلظت با استفاده از فواصل لگاریتمی محاسبه و در آزمایش اصلی استفاده شدند. بنابراین، پنج غلظت نهایی مورد استفاده برای حلال آبی (۱۹/۵۳، ۷۸/۱۲، ۱۲۵۰، ۶۵۰۰ و ۷۰۰۰ میکرولیتر/لیتر) و حلال متانولی (۴۰۹/۶، ۱۰۲۴، ۲۵۶۰، ۶۴۰۰ و ۱۶۰۰۰ میکرولیتر بر لیتر) بود. جهت انجام زیست‌سنجی، هر کدام از غلظت‌های مربوط به عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه با استفاده از میکروپیپت، روی کاغذ صافی (واتمن شماره ۱) آغشته شده و در بخش داخلی درب ظروف آزمایشی (با قطر پنج و ارتفاع هفت سانتی-متر) چسبانده شد، سپس ۱۵ عدد حشرات کامل هم‌سن با استفاده از آسپیراتور به داخل ظروف مربوطه رهاسازی شدند. جهت جلوگیری از خروج عصاره‌ها و حشرات، دهانه ظروف توسط پارافیل کاملاً مسدود گردید. پس از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، تعداد تلفات یادداشت و درصد تلفات محاسبه شد (حشرات کاملی که با نزدیک کردن قلم‌موی نازک هیچ حرکتی نشان نمی‌دادند، مرده تلقی شدند). آزمایشات زیست‌سنجی در چهار تکرار انجام شد. برای گروه شاهد از آب مقطر استفاده گردید (Heydarzadeh, 2020).

اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه

اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه (LC₂₅) بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی *T. vaporariorum* مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خلاصه، ابتدا کاغذهای صافی به غلظت زیرکشنده (LC₂₅) عصاره‌های آبی و متانولی آغشته شدند، سپس تعداد ۶۰ عدد حشره کامل به داخل ظروف حاوی کاغذ صافی آغشته به عصاره‌ها منتقل شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، تمام حشرات کامل زنده که تحت تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره‌ها قرار گرفته بودند، جمع‌آوری شده و به روی گلدان‌های گوجه‌فرنگی جهت تخم‌ریزی رهاسازی شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، حشرات کامل رهاسازی‌شده با آسپیراتور جمع‌آوری شده و برگ‌های حاوی تخم یک روزه سفیدبالک جهت انجام مطالعات زیرکشنده مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه تخم‌های سفیدبالک گلخانه به روی برگ چسبانده می‌شود و هرگونه دستکاری موجب از بین رفتن تخم‌ها می‌گردد، لذا بدون اینکه تخم‌ها از برگ جدا شوند، برگ‌های حاوی تخم از گلدان‌ها جدا شده و

نرم‌افزار (Chi, 2024 a) TWOSEX-MSChart تجزیه شدند. میانگین و خطای استاندارد داده‌های جدول زندگی، با استفاده از روش Bootstrap محاسبه شد. به منظور مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از تکنیک بوت‌استرپ جفت‌شده (Paired bootstrap) در نرم‌افزار مذکور استفاده شد. روند رشدی جمعیت آفت نیز، در یک دوره ۶۰ روزه با نرم‌افزار آماری Timing-MsChart ارزیابی شد (Chi, 2024 b). جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار سیگماپلات استفاده شد (SigmaPlot 2012, Ver. 14).

نتایج و بحث

سمیت تدخینی عصاره‌های آبی و متانولی *A. repens* روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه

تجزیه پروبیت حاصل از تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره‌های آبی و متانولی *A. repens* بعد از گذشت ۲۴ ساعت روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه، در (جدول ۱) نشان داده شده است. با توجه به LC_{50} به‌دست‌آمده بعد از ۲۴ ساعت، نتایج نشان داد که عصاره آبی دارای سمیت بیشتری نسبت به عصاره متانولی می‌باشد (جدول ۱).

در ظروف آزمایش به‌صورت انفرادی قرار گرفتند و جهت تأمین رطوبت برگ، پنبه مرطوب به دور دمیرگ پیچیده شد. بدین ترتیب، برای هر تیمار و شاهد از ۶۰ عدد تخم هم‌سن استفاده شد. تهویه تشک‌های پتری با ایجاد منفذ و توری حریر انجام گرفت. رشد و بقا مراحل پیش از بلوغ برای هر فرد روزانه ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامل، با روش توصیه‌شده توسط گرلینگ و سینای (Gerling & Sinai, 1994) از نظر جنسی متمایز شدند. هر یک جفت حشره به ظروف پلاستیکی شفاف (قطر ۱۱/۵ سانتی‌متر × ۸۵/۵ سانتی‌متر ارتفاع) حاوی برگ گوجه‌فرنگی منتقل شد. میزان بقا، مرگ و میر روزانه، طول دوره پیش از بلوغ، طول عمر حشرات کامل، طول دوره‌های تخم‌ریزی (پیش از تخم‌ریزی، دوره تخم‌ریزی و پس از تخم‌ریزی) و تولیدمثل حشرات کامل تا زمان مرگ همه آنها به‌صورت روزانه ثبت شد.

تجزیه و تحلیل آماری

جهت تعیین LC_{25} ، LC_{50} و حدود بالا و پایین سمیت تدخینی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه، از نرم‌افزار SPSS (2019) استفاده شد. داده‌های حاصل از جدول زندگی و روند رشد جمعیت، بر اساس جدول زندگی دو جنسی سن-مرحله رشدی با استفاده از

جدول ۱- آنالیز پروبیت ناشی از سمیت تدخینی عصاره‌های آبی و متانولی *Acroptilon repens* روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه بعد از ۲۴ ساعت

Table 1- Probit analysis of the mortality caused by the aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on adults of *Trialeurodes vaporariorum* after 24 hours

Probit analysis						
A. repens extracts	LC ₅₀ (μl.ml ⁻¹)	LC ₂₅ (μl.ml ⁻¹)	Slope±SE	Intercept (a)+5	χ ² (df)	No
Aqueous extract	2688.602 (1851.74-3927.78)	529.053 (244.49- 856.66)	0.955±0.141	-3.276+5	0.681(3)	300
Methanolic extract	3260.742 (2335.05-4565.98)	770.697 (411.61-1169.88)	1.077±0.144	-3.783+5	1.449(3)	300

طول دوره مراحل نابالغ به‌ترتیب مربوط به تیمارهای آبی و شاهد بود (جدول ۱). نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها به‌صورت آبی و متانولی تیمار شده بودند نیز تحت تأثیر قرار گرفتند. کل دوره زندگی ماده‌ها در هر سه تیمار شاهد، آبی و متانولی دارای طول عمر بیشتری نسبت به نرها بودند (جدول ۲).

اثرات زیرکشدگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر طول دوره زیستی مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه

تجزیه آماری داده‌های مربوط به بررسی اثر دو عصاره آبی و متانولی روی طول دوره زیستی سفیدبالک گلخانه در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که از مقایسه میانگین فراسنجه‌ها مشاهده می‌شود، تیمار آبی، طول دوره تخم و کل دوره مراحل نابالغ را نسبت به شاهد و عصاره متانولی افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین

جدول ۲- اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر بقاء و طول دوره مراحل مختلف نابالغ سفیدبالک گلخانه

Table 2 – Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the survival and developmental time of various immature stages of *Trialeurodes vaporariorum*

Developmental stage	Control	Methanolic extract	Aqueous extract
Egg(days)	5.01±0.08 ^c	6.18±0.18 ^b	6.77±0.15 ^a
First instar nymph (days)	3.63±0.07 ^b	4.79±0.14 ^a	4.88±0.14 ^a
Second instar nymph (days)	3.74±0.09 ^b	4.3±0.14 ^a	4.08±0.14 ^a
Third instar nymph (days)	4.54±0.08 ^a	4.6±0.14 ^a	4.69±0.17 ^a
Pupa (days)	5.0±0.09 ^a	3.88±0.13 ^c	4.37±0.22 ^b
Pre-adult period (days)	21.7±0.21 ^c	23.63±0.46 ^b	24.91±0.45 ^a
Pre-adult survival rate	0.58±0.05 ^a	0.49±0.05 ^a	0.48±0.05 ^a

* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100000 bootstrap resampling).

جدول ۳- اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر طول عمر، تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه

Table 3- Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the adult longevity, reproductive days and fecundity of *Trialeurodes vaporariorum*

Biological stages	Treatments		
	Control	Methanolic extract	Aqueous extract
Male longevity (days)	4.36±0.40 ^{a*}	2.68±0.34 ^b	3.23±0.26 ^{ab}
Total male longevity (days)	26.18±0.45 ^a	26.25±0.66 ^a	27.69±0.62 ^a
Female longevity (days)	7.36±0.32 ^a	3.89±0.30 ^b	4.29±0.28 ^{ab}
Total female longevity (days)	28.96±0.40 ^b	30.65±0.94 ^a	29.88±0.90 ^{ab}
Adult pre-reproductive period (days)	1.00±0.10 ^a	1.19±0.25 ^a	1.24±0.26 ^a
Total pre-reproductive period (days)	22.60±0.30 ^b	24.75±0.80 ^a	26.82±0.99 ^a
Reproductive days (days)	6.28±0.32 ^a	2.44±0.32 ^b	2.35±0.34 ^b
Fecundity (eggs.female ⁻¹)	35.40±2.45 ^a	6.56±1.29 ^b	7.53±1.50 ^b

* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100,000 bootstrap resampling).

و متانولی بود، به‌طوری‌که میزان باروری از ۶/۵۶ از ۳۵/۴۰ تخم/ماده در طول عمر متغیر بود (جدول ۳).

فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه

نتایج مقایسه میانگین فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه در (جدول ۴) نشان داده شده‌اند. در این تحقیق، کمترین و بیشترین نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) مربوط به عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه و شاهد (۱۱/۰۶) تخم به‌ازای هر ماده) بود که حاکی از تأثیر منفی این تیمارها نسبت به شاهد می‌باشد. لازم به ذکر است که بین نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) تیمارهای متانولی و آبی (به-ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۴۵) تخم به‌ازای هر ماده) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نرخ خالص تولیدمثلی مهم‌ترین فراسنجه جدول زندگی بعد از نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) است. نرخ ناخالص تولیدمثلی نیز (GRR) کمترین و بیشترین میزان را به‌ترتیب در تیمارهای متانولی و آبی گیاه تلخه و شاهد (۴۰/۹۹) نتایج به‌ازای هر ماده) داشت. در این

اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر طول دوره مراحل تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به بررسی طول دوره پیش از تخم‌گذاری، کل دوره پیش از تخم‌گذاری، تخم‌گذاری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر عصاره‌های آبی و متانولی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل نر و ماده مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها تحت تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه قرار گرفته بودند، نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۲). عصاره‌های مورد مطالعه، اگرچه تأثیری بر طول دوره پیش از تخم‌ریزی سفیدبالک گلخانه نداشتند، ولی منجر به افزایش کل دوره پیش از تخم‌گذاری ($TPRP$) شد. همچنین هر دو تیمار باعث کاهش طول دوره تخم‌ریزی و میزان باروری نسبت به شاهد شدند و بین تیمارها و شاهد از این لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). میزان باروری حشرات کامل $F1$ بیانگر تأثیر غلظت زیرکشنده تیمارهای آبی

1- TPRP: Total pre- reproductive period

معنی‌داری بین عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه وجود نداشت. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) بیانگر نسبت افزایش جمعیت پایدار هر روز نسبت به روز قبل می‌باشد، این مقدار نشان می‌دهد که جمعیت هر روز نسبت به روز قبل به چند نسبتی افزایش خواهد یافت. در فراسنجه مدت زمان یک نسل (T)، بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار آبی گیاه تلخه (۲۸/۲۱ روز) ثبت گردید و کمترین آن مربوط به شاهد بود (۲۶/۰۱ روز).

فراسنجه نیز بین تیمارهای متانولی و آبی (به‌ترتیب ۶/۷۷ و ۹/۲۲ نتاج به‌ازای هر ماده) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. مقدار فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) که یکی از مهم‌ترین فراسنجه‌های رشد جمعیتی پایدار می‌باشد، تحت تأثیر تیمارهای متانولی و آبی سمیت تدخینی کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین مقدار این فراسنجه در شاهد (۰/۰۹۲۴ بر روز) به دست آمد. براساس نتایج حاصل، مقدار فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت تأثیر تیمارهای آبی و متانولی گیاه تلخه نسبت به شاهد (۰/۰۹۶ بر روز) کاهش یافت و اختلاف

جدول ۴- اثرات زیرکشدگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه

Table 4- Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the population growth parameters of greenhouse whitefly

Parameter	Treatment (mean $\pm$ standard error)		
	Control	Methanolic extract	Aqueous extract
Net reproductive rate (R_0) (offspring/individual)	11.06 $\pm$ 1.99 ^a	1.26 $\pm$ 0.37 ^b	1.45 $\pm$ 0.42 ^b
Gross Reproductive Rate (GRR) (offspring/individual)	40.99 $\pm$ 6.26 ^a	6.77 $\pm$ 1.41 ^b	9.22 $\pm$ 1.81 ^b
Intrinsic rate of population growth (r) (day ⁻¹)	0.0924 $\pm$ 0.007 ^a	0.0087 $\pm$ 0.011 ^b	0.0132 $\pm$ 0.010 ^b
Finite rate of increase (λ) (day ⁻¹)	1.096 $\pm$ 0.007 ^a	1.008 $\pm$ 0.011 ^b	1.0133 $\pm$ 0.011 ^b
Mean generation time (T) (day)	26.01 $\pm$ 0.28 ^b	26.83 $\pm$ 0.69 ^{ab}	28.21 $\pm$ 0.92 ^a

* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

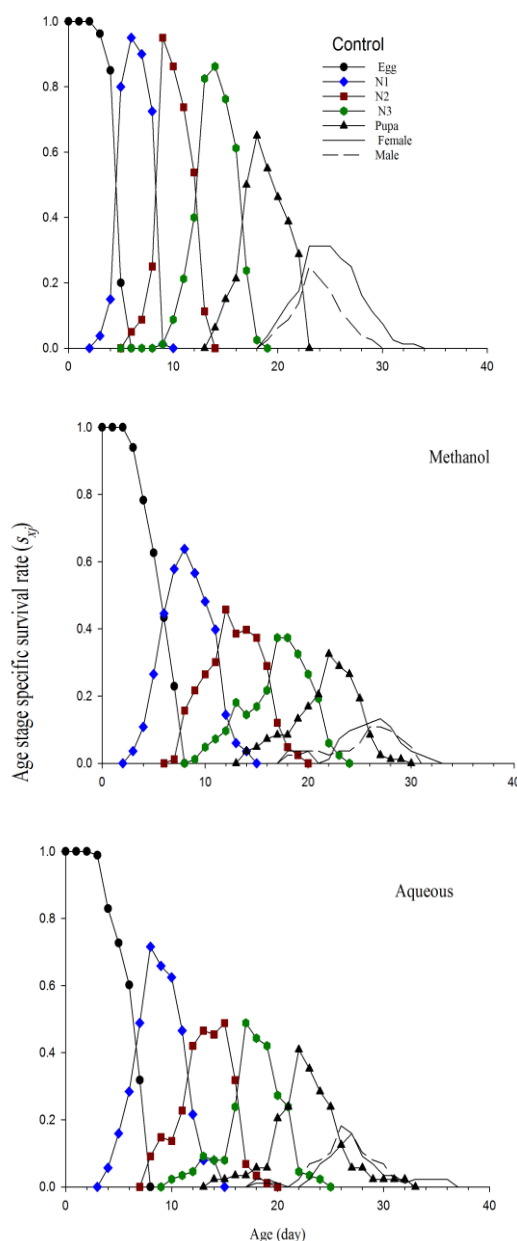
* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100,000 bootstrap resampling).

گلخانه شدند و شروع کل دوره تخم‌ریزی را در آن‌ها را نسبت به شاهد افزایش دادند. حشرات کاملی که والدین آن‌ها تحت‌تأثیر عصاره‌های متانولی و آبی قرار گرفتند، با تأخیر وارد مرحله تولیدمثلی شدند (به‌ترتیب ۲۴/۷۵ و ۲۶/۸۲ روز عمر) و این در حالی است که در شاهد، حشرات کامل سریع‌تر از سایر تیمارها وارد این مرحله از زندگی (۲۲/۶۰ روز عمر) شدند. نرخ باروری ویژه سن-مرحله رشدی (تخم $m_x = 5/0$) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج $l_x m_x = 1/86$) در شاهد نسبت به عصاره‌های آبی و متانولی بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در تیمار متانولی (نتاج $l_x m_x = 0/37$) در روز عمر بوده است (شکل ۲).

فراسنجه امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) نشان‌دهنده مدت زمانی است که یک فرد در سن x و مرحله رشدی j امید است زنده بماند. امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) طول عمر پیش-بینی‌شده سفیدبالک گلخانه در معرض غلظت زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی گیاه تلخه در (شکل ۳) نشان داده شده است. در شاهد اولین فرد ماده ۹/۹۶ روز امید به زندگی داشت، درحالی‌که در غلظت زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی روند نزولی داشته و در هر دو به ۳/۰ روز کاهش یافت.

نرخ زنده‌مانی ویژه سن-مرحله زیستی سفیدبالک گلخانه (S_{xj}) تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه در شکل ۱ ارائه شده است. این فراسنجه نشان دهنده احتمال بقاء هر یک از مراحل رشدی تا سن x ، درحالی‌که در مرحله رشدی j قرار دارد، می‌باشد. فراسنجه مذکور علاوه‌بر توصیف مشروعی از بقاء، انتقال از یک مرحله رشدی به مرحله رشدی دیگر را نیز توصیف می‌کند. به عبارت دیگر، این فراسنجه نه‌تنها بیانگر نرخ زنده‌مانی است، بلکه روند تغییرات نرخ رشد و نمو در میان افراد مختلف را نیز نشان می‌دهد و زمینه را برای تطبیق رشد و نمو مراحل مختلف زیستی فراهم می‌کند. در حقیقت، تفکیک نرخ زنده‌مانی به مراحل مختلف زیستی از جمله ویژگی‌های جدول زندگی دو جنسی ویژه سن-مرحله زیستی می‌باشد که در روش‌های سنتی تجزیه داده‌های جدول زندگی وجود ندارد. نتایج این تحقیق نشان داد که نرخ بقاء ویژه سنی سفیدبالک گلخانه در زمان ورود به مرحله حشره کامل ماده، با شاهد (۵۸ درصد) و تیمارهای عصاره متانولی (۴۹ درصد) و آبی (۴۸ درصد) بود (شکل ۱).

باروری ویژه سن-مرحله رشدی (m_x) بیانگر تعداد نتاج ماده ویژه سنی هر فرد ماده است. باروری ویژه سنی ($l_x m_x$) نیز بیانگر تعداد نتاج ماده تولیدشده توسط یک ماده با در نظر گرفتن احتمال بقاء آن‌ها می‌باشد. بررسی این فراسنجه‌ها نشان داد که عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه باعث اثرات سوء روی حشرات بالغ سفیدبالک



شکل ۱- اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر نرخ بقاء ویژه سن-مرحله‌ای (s_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

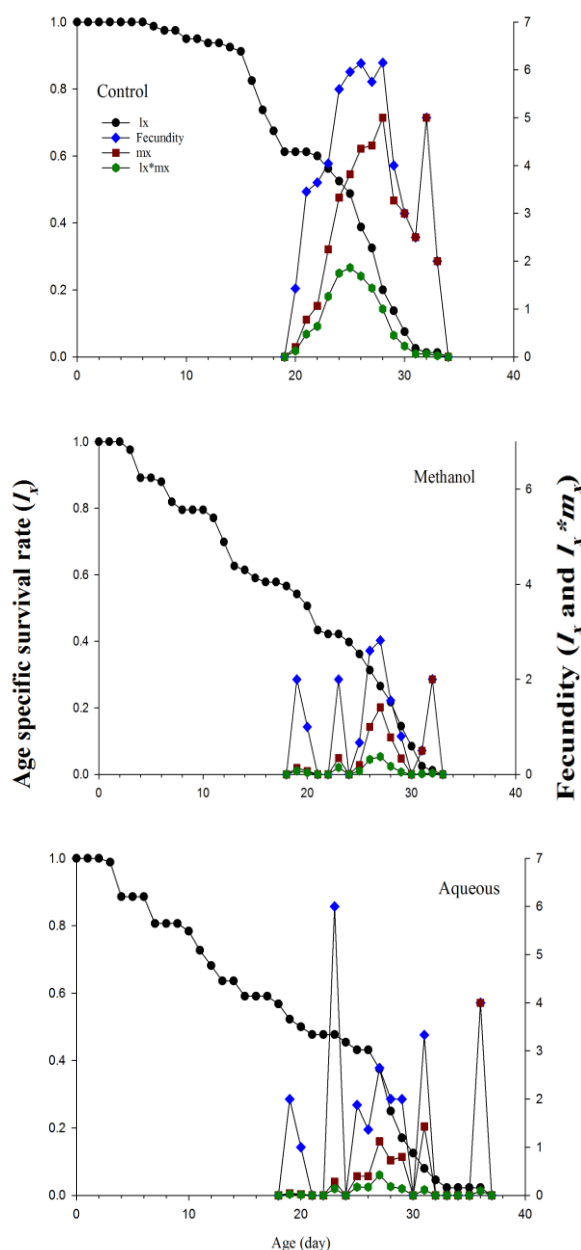
Figure 1- Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

ارزش تولیدمثلی در ماده‌ها در شاهد ۲۷/۳۹ تخم و در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی نسبت به شاهد کاهش یافته و به ترتیب به مقادیر ۶/۴۷ و ۱۴/۱۴ تخم رسید که کاهش چشم‌گیری را نشان داد. ارزش تولیدمثلی مراحل نابالغ نیز در تیمار زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با کاهش میزان باروری و زنده‌مانی، به تدریج از مقدار این فراسنجه نیز کاسته شده و با

شاخص ارزش تولیدمثل ویژه سن-مرحله رشدی (v_{xj})، بیانگر میزان سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد می‌باشد (شکل ۴)، به عبارت دیگر، انتظاری که از افراد با سن X و مرحله رشدی j می‌رود تا در تولید نتاج بعدی مشارکت کنند. ارزش تولیدمثلی در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش داشته و تحت تأثیر عصاره‌های گیاه تلخه قرار گرفت. نتایج تحقیق اخیر نشان داد که

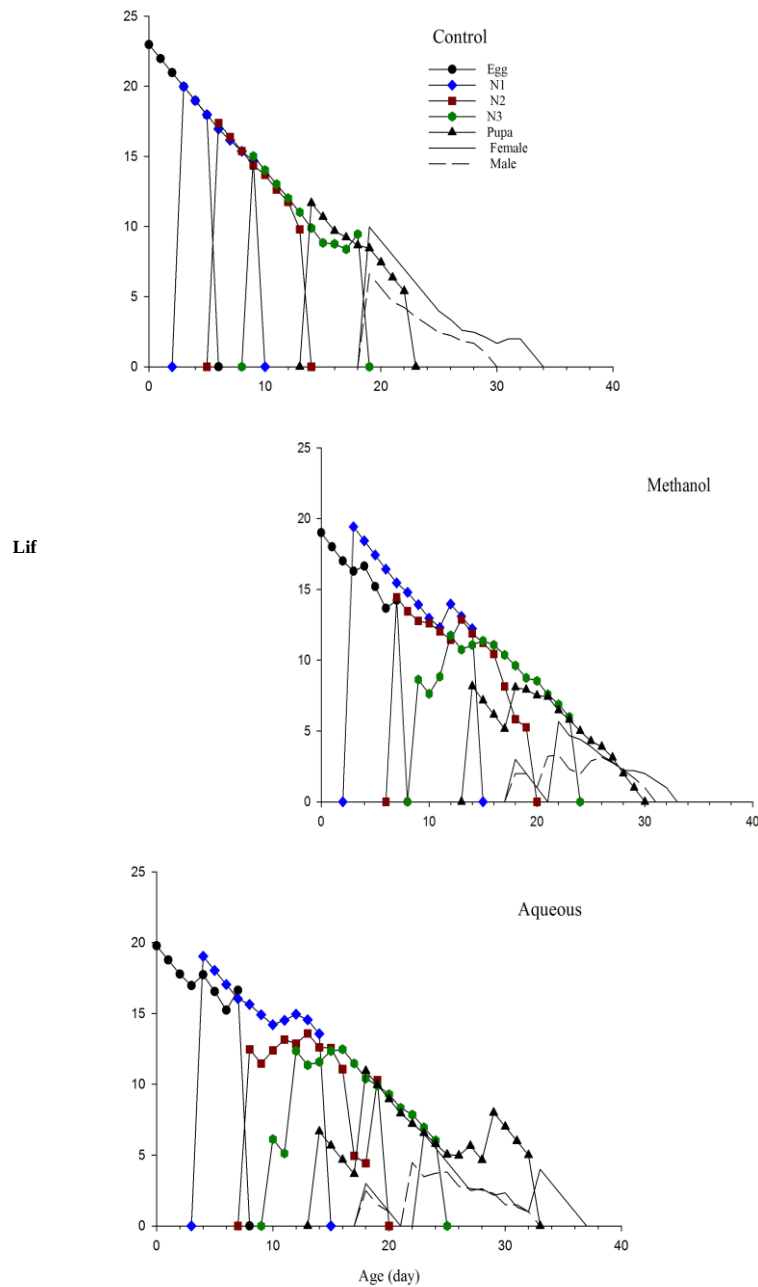
شاهد ثبت شد (شکل ۵). این مسأله بیانگر این نکته مهم هست که با کاهش غلظت حشره کش زیستی، می توان مهار مؤثری نیز بر جمعیت حشره آفت داشت و مانع از افزایش سرعت رشد جمعیت آفت مد نظر شد (شکل ۶).

رسیدن به مرحله پس از پوره زایی این مقدار به صفر رسید. پیش بینی رشد جمعیت در هر تیمار با در نظر گرفتن یک بازه زمانی ۶۰ روزه صورت گرفت. کمترین سرعت رشد و نمو مراحل مختلف رشدی حشره، در تیمار عصاره آبی به علت پایین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت مشاهده شد. بالاترین سرعت رشد و نمو در



شکل ۲- اثرات زیرکشنده عصاره های متانولی و آبی گیاه تلخه بر زندهمانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن-مرحله ای (m_x) و باروری خالص روزانه ($l_x m_x$) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 2- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on age-specific survival (l_x), age-stage specific fertility (m_x) and age-specific fertility ($l_x m_x$) of *Trialeurodes vaporariorum*



شکل ۳- اثرات زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی گیاه تلخه بر امید به زندگی سن-مرحله‌ای (e_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

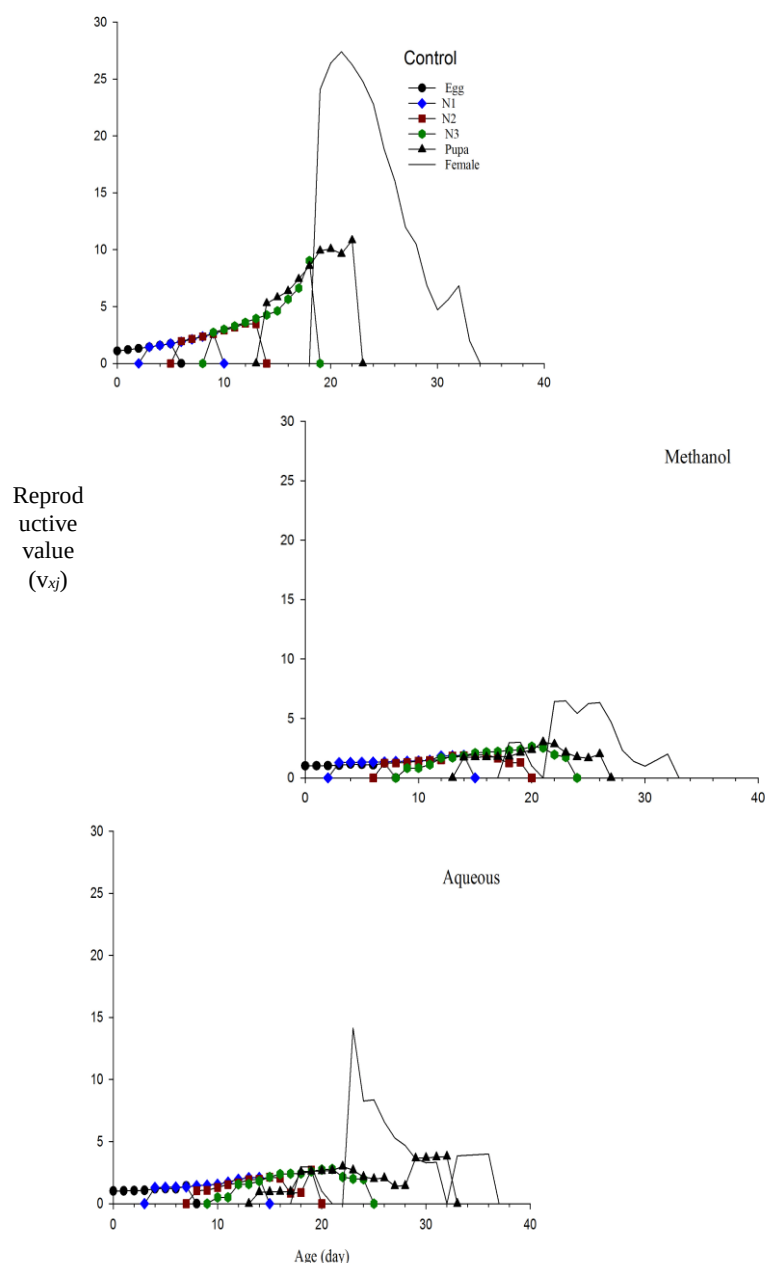
Figure 3- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on life expectancy (e_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

الکل‌ها) ربط داد (Cis *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2015; Toolabi *et al.*, 2018; Samareh-Fekri, 2020). مطالعات متعددی خواص متنوع گیاه تلخه را مورد بررسی قرار داده‌اند. گیاه تلخه علاوه بر خواص علف‌کشی (Razavi *et al.*, 2012) و ضد میکروبی (Nadaf *et al.*, 2013) دارای خاصیت حشره‌کشی نیز

گیاه تلخه دارای ویژگی‌های بیولوژیک مختلف نظیر دورکنندگی، سمیت تماسی، سمیت تدخینی، ضد تخم‌ریزی و ضد تغذیه‌ای روی حشرات آفات است و علت این امر را می‌توان به فراوانی متابولیت‌های ثانویه گیاهی آن (آلکالوئیدها، گلیکوالکالوئیدها، ترپنوئیدها، اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، ترپن‌ها، اسانس‌ها، ساپونین‌ها، فلاونوئیدها و

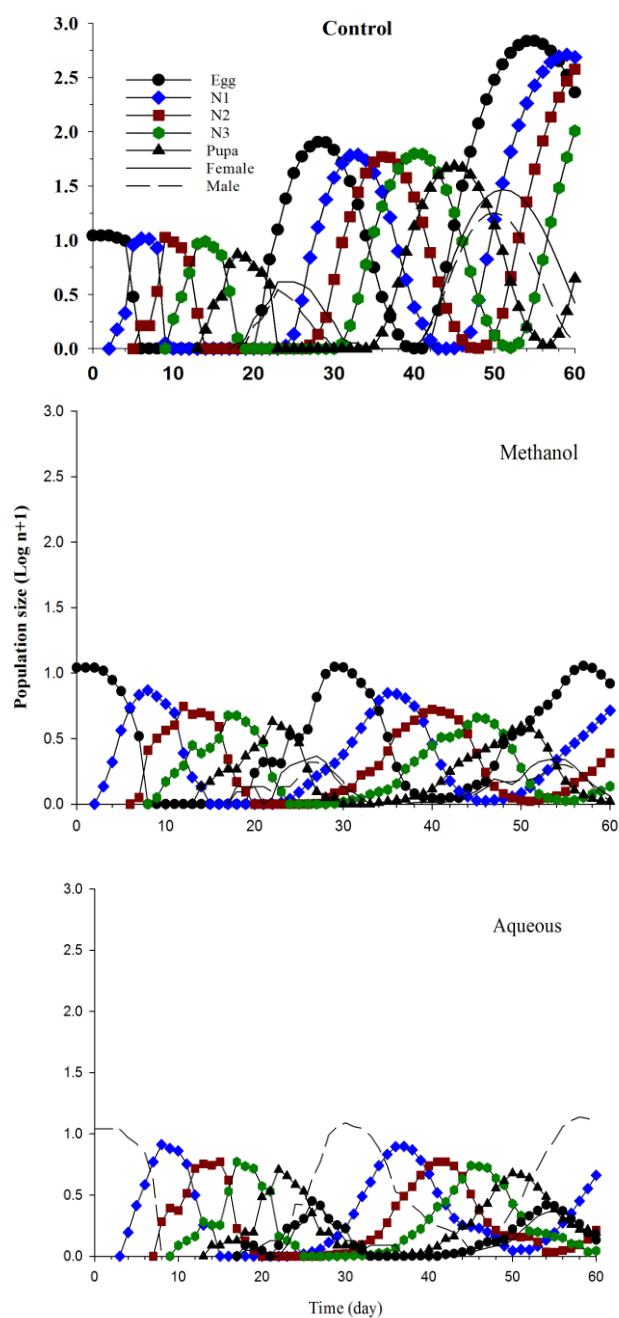
حشره کش پس از یک دوره زمانی معین، درحالی-که اثرات کشنده مربوط به اثرات حاد و سریع الاثر حشره کش می باشد. بنابراین مطالعه اثرات غلظت های زیرکشنده به منظور استفاده منطقی از آن ها از اهمیت بالایی برخوردار است (Stark & Banks, 2003; de Franca et al., 2017)

می باشد (Wang et al., 2015; Toolabi et al., 2018; Samareh-Fekri, 2020). در بسیاری از مطالعات ذکر شده، تنها اثرات کشندگی حشره کش ها روی آفات مورد بررسی قرار گرفته و این در حالی است که اثرات زیرکشدگی در پیش بینی اثر حشره کش ها روی حشره وسیع تر بوده و عبارت است از هر گونه تغییرات فیزیولوژیکی و رفتاری در افراد زنده مانده تحت تأثیر غلظت زیرکشنده



شکل ۴- اثرات زیرکشنده عصاره های متانولی و آبی گیاه تلخه بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله ای (v_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

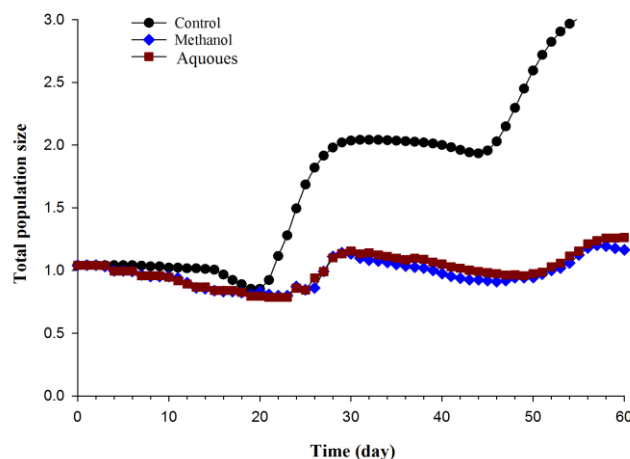
Figure 4- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*



شکل ۵- اثرات زیرکشدگی عصاره‌های متانولی و آبی گیاه تلخه بر پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله سفیدبالک گلخانه،

Trialeurodes vaporarum در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Figure 5- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on the projection of population growth potential and stage structure of *Trialeurodes vaporarum* in comparison with control during 60 days



شکل ۶- رشد جمعیت کل *Trialeurodes vaporariorum* تیمار شده با عصاره‌های متانولی و آبی در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز
 Figure 6- Population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (total stage) treated with methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* in comparison to control treatment during 60 days

بنابراین از مجموع نتایج گزارش شده چنین می‌توان استنباط نمود که بخش اعظم کشندگی گیاه تلخه می‌تواند مربوط به وجود کاربوفیلین اکساید باشد، اگرچه تأثیر این ماده را به تنهایی باید روی حشره آفت مد نظر، مورد بررسی قرار داد. اگر چه اختلافاتی از نظر میزان کاربوفیلین اکساید در بین مطالعات مختلف وجود دارد که این اختلاف را می‌توان به تفاوت زیستگاه گونه گیاهی، زمان برداشت، مرحله رشدی، منطقه جغرافیایی، جنس خاک، کیفیت مواد غذایی در دسترس گیاه، ژنتیک گیاه و روش استخراج آن ربط داد (Rajkumar et al., 2020; Isman, 2020; Sharifiyan et al., 2024).

میزان LC_{50} عصاره متانولی گیاه تلخه روی لاروهای سن سوم پشه‌های *An. stephensi*، *C. pipiens* و *A. quinquefaciatus* به ترتیب ۰/۲۹۷۰، ۲/۵۰۴۷ و ۲/۹۰۴۷ میلی گرم بر لیتر گزارش شد (Toolabi et al., 2018) (که کمتر از میزان آن روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه در این تحقیق بود (۳۲۶۰/۷۴۲ میکرولیتر بر میلی لیتر). مقایسه این نتایج بیانگر حساسیت بیشتر آفات بهداشتی به عصاره متانولی گیاه تلخه نسبت به سفیدبالک گلخانه بود. همچنین، در مطالعه ثمره فکری (Samareh- Fekri, 2020)، عصاره متانولی گیاه تلخه در غلظت ۴۰۰ میکرولیتر بر هوا منجر به دورکنندگی ۵۷/۵ درصد لاروهای سن آخر شپشه دنداندار گردید. شریفیان و همکاران (Sharifiyan et al., 2024) در مطالعه سمیت تدخینی، میزان LC_{50} اسانس گیاهان نعنای فلفلی و پونه را روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه، به ترتیب (۵۵۹/۷۷۶ میکرولیتر بر لیتر) و (۳۹۱/۵۷۴ میکرولیتر بر لیتر) گزارش کردند. تفاوت در میزان LC_{50} به دست آمده و حساسیت مراحل مختلف حشرات را می‌توان به اندازه جثه، سن رشدی حشره و تفاوت در ساختار جلد حشرات، روش زیست‌سنجی

در تحقیق حاضر به منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر، هر دو اثرات کشندگی و زیرکشدگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق حاضر نشان از حساسیت زیاد حشرات کامل سفیدبالک گلخانه به عصاره آبی نسبت به عصاره متانولی بود. در این تحقیق، علت حساسیت زیاد آن‌ها به عصاره آبی را می‌توان به وجود سزکوی ترپن‌های (نظیر ترپن‌ئیدها) گیاه *A. repens* ربط داد بود. طبق یافته‌های تونالیر و همکاران (Tunalier et al., 2006) سزکوی- ترپن‌ها بیشترین مقدار (۵۶ درصد) را در بین ترکیبات شناسایی شده *A. repens* داشتند. طبق نتایج به دست آمده از GC-MS در این تحقیق نیز (نتایج نشان داده نشده است) بیشترین درصد ترکیب شناسایی شده مربوط به کاربوفیلین اکساید (نوعی سزکوی ترپن) بود و گزارش‌هایی مبنی بر خاصیت کشندگی بالای این ترکیب روی آفات کشاورزی و بهداشتی در مطالعات پیشین تأیید شده است (Norouzi-Arasi et al., 2006; Razavi et al., 2012; Guo et al., 2015; Oh et al., 2024; Cárdenas-Ortega et al., 2015; Bett et al., 2016). باین حال، در مورد سمیت تدخینی گیاه تلخه روی سفیدبالک گلخانه در مطالعات قبلی یافته‌ای وجود ندارد. براساس مطالعه نوروزی ارسی و همکاران (Norouzi-Arasi et al., 2006)، در اسانس گیاه تلخه ۲۲ ترکیب شناسایی شد که مهم‌ترین آن‌ها اکسید کاربوفیلین (۳۶/۶ درصد) و آلفا کوپن (۱۵/۶ درصد) بودند. در تحقیق انجام شده توسط رضوی و همکاران (Razavi et al., 2012)، که به بررسی ترکیبات شیمیایی بخش‌های هوایی گیاه تلخه و اثرات سمی آن‌ها پرداختند، نتایج آنالیز ترکیبات شیمیایی گیاه تلخه به شناسایی ۹۰ ترکیب منجر شده که عمده‌ترین آن‌ها شامل کاربوفیلین اکساید، بتا کوبابین، آلفا کوپان، بتا کاربوفیلین و آلفاکوپان بوده است.

روش استخراجی (اسانس و عصاره) و ساختار شیمیایی گیاهان مذکور ربط داد (Rajkumar et al., 2020; Isman, 2020; Sharifiyan et al., 2024).

استفاده از غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی علاوه بر تأثیر بر مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه، اثرات سوئی بر ویژگی‌های زیستی حشرات کامل داشت، به‌طوری‌که با تأخیر کل دوره پیش از تخم‌ریزی و کاهش طول عمر حشرات ماده، طول دوره تخم‌ریزی و میزان باروری نسبت به شاهد کاهش چشمگیری یافت. نتایج مشابهی از اثرات زیرکشنده گیاه‌های حشره‌کش‌های نظیر آزادیراکتین و پالیزین (گیاه نارگیل) (Rahmani Aghdam et al., 2022)، بینو ۲ (عصاره گیاه تلخه بیان) (Reshadat Salvanagh et al., 2024) و تنداکسیر (عصاره روغن فلفل قرمز) و سالی پست (Saeedi, 2022) بر کاهش میزان باروری و طول عمر حشرات کامل ماده وجود دارد. در بررسی صورت گرفته توسط نیک‌اختر و همکاران (Nikakhtar et al., 2022)، میزان باروری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سه فرمولاسیون آزادیراکتین باروری افراد ماده از ۳۴/۹۴ تخم به‌ازای هر ماده در شاهد به‌ترتیب به ۲۷/۵۷، ۱۵/۲۷ و ۸ تخم به‌ازای هر ماده در فرمولاسیون‌های کوف (Kofa; 1.2% EC)، نیم‌آزال (NeemAzal T/S; EC %1) و نیم‌سیدین (Nimbecidine EC %0.03) کاهش یافت. مقایسه یافته‌های این تحقیق در خصوص تأثیر عصاره‌های آبی (۷/۵۳ تخم) و متانولی (۶/۵۶ تخم) بر میزان باروری با یافته‌های این محققان، به مراتب مؤثرتر از حشره‌کش گیاهی آزادیراکتین می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که قرار گرفتن حشرات کامل سفید بالک گلخانه در معرض غلظت زیرکشنده هر دو عصاره آبی و متانولی باعث کاهش قابل توجه فراسنجه‌های رشد جمعیتی این آفت، نظیر نرخ باروری خالص (R_0)، نرخ ذاتی و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) شدند. در این تحقیق، عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه از طریق کاهش در طول عمر و بقاء حشرات کامل و کاهش تخم‌ریزی (به‌دلیل کوتاه شدن طول عمر) باعث کاهش میزان فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، و در نتیجه باعث کندتر شدن سرعت افزایش جمعیت سفیدبالک شدند- (Heidari et al., 2005). نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه اختلاف معنی‌داری از نظر فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت بین عصاره‌های مورد مطالعه وجود نداشت، ولی نرخ متناهی افزایش جمعیت را در نتاج حاصله نسبت به شاهد (۱/۰۹۶ بر روز) به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. همچنین غلظت زیرکشنده عصاره آبی، متوسط مدت زمان یک نسل حشره را، بیشتر از عصاره متانولی افزایش داد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه در تیمارهای متانولی و آبی دقیقاً مطابق با فراسنجه‌های رشد جمعیت برآوردشده بود. به‌عنوان مثال، حشرات کامل سفیدبالک گلخانه تیمار شده با عصاره آبی، سرعت رشد کمتر و

مورد استفاده و گونه موجود مورد مطالعه ربط داد، به‌طوری‌که حشرات با جثه کوچک‌تر و سن پایین از حساسیت بیشتری نسبت به حشرات درشت جثه برخوردار هستند (Prince & Chandler, 2020). در تحقیقات قبلی، اثرات کشندگی، دورکنندگی و ضدتغذیه‌ای گیاه تلخه را در قالب سمیت کوتاه‌مدت ارزیابی شده و درباره اثرات طولانی‌مدت (زیرکشنده) گیاه تلخه بر هیچ یک از آفات حشره‌ای به‌ویژه سفیدبالک گلخانه‌ای مطالعه‌ای صورت نگرفته است. با توجه به اینکه برآورد فراسنجه‌های رشد جمعیت و تعیین نحوه روند رشد و سرعت جمعیت حشرات از طریق مطالعه اثر حشره‌کش‌ها بر توانایی تولیدمثلی، در تعیین کارایی آن‌ها حائز اهمیت است (Amini Jam & Saber, 2021). لذا در این پژوهش، برای اولین بار، اثرات زیرکشنده غلظت (LC₂₅) دو عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه روی طول دوره مراحل مختلف نابالغ، طول دوره مراحل مختلف حشرات کامل، فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار، طول دوره مراحل تخم-گذاری، باروری و پیش‌بینی سرعت رشد جمعیتی آن صورت گرفت. تأخیر در طول دوره رشدی و تولیدمثلی حشرات، یکی از اثرات نامطلوب غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها می‌باشد (Piri Ouchtape et al., 2024). مطالعه اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها با استفاده از روش جدول زندگی دوجنسی (سنی-مرحله‌ای)، علاوه بر تعیین نقش حشرات ماده، نقش حشرات جنس نر و مراحل رشدی نابالغ را نادیده نگرفته، بلکه به اهمیت آن‌ها در روند تغییرات جمعیتی تأکید دارد (Chi et al., 2020). در تحقیق حاضر هر دو عصاره گیاه تلخه به‌ویژه عصاره آبی، علاوه بر تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ، منجر به کاهش طول عمر حشرات کامل ماده گردید. تأخیر در طول عمر مراحل نابالغ حشره آفت، یکی از اثرات تجمعی غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها است که می‌تواند زمینه را برای در معرض قرار گیری آن‌ها در برابر دشمنان طبیعی فراهم کند و در تقویت تأثیر مهار بیولوژیک علیه آفات مفید باشد (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2025). با توجه به اینکه تاکنون مطالعاتی مبنی بر اثرات زیرکشنده عصاره تلخه روی حشرات آفات به‌ویژه سفیدبالک گلخانه وجود ندارد، لذا به‌ناچار جهت مقایسه نتایج اثرات زیرکشنده، از اسانس‌ها و حشره‌کش‌های گیاهی سایر گیاهان استفاده شد. اگرچه، تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ و کاهش طول عمر حشرات کامل ماده در اثرات زیرکشنده اسانس‌های نعنای فلفلی، پونه (Sharifiyan et al., 2024) و فرمولاسیون‌های آزادیراکتین (Nikakhtar et al., 2022) بر سفیدبالک گلخانه نیز گزارش شده است، ولی مقایسه نتایج این تحقیق در خصوص تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره آبی گیاه تلخه بر طول دوره مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه طولانی‌تر (۲۴/۹۱ روز) از نعنای فلفلی (۲۴/۱۱ روز) بود (Sharifiyan et al., 2024). تفاوت طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ سفیدبالک مشاهده شده در این تحقیق را می‌توان به تفاوت در نحوه اثر (سمیت تماسی یا تدخینی)،

در نتیجه مدت زمان یک نسل (T)، طولانی مدت داشتند.

نتیجه گیری

یافته‌های حاصل از این تحقیق بیانگر این نکته مهم است که با توجه به تأثیر قابل توجه غلظت زیرکشنده هر دو عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه، به‌ویژه عصاره آبی بر پتانسیل رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه، می‌توان از آن‌ها در قالب مدیریت تلفیقی در گلخانه‌ها علیه

این آفت استفاده کرد. همچنین با توجه به تأثیر بهتر عصاره آبی، می‌توان گام‌های وسیعی را در جهت تولید آفت‌کش گیاهی بر پایه عصاره آبی مذکور به‌دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن احتمالی آن، در مقایسه با عصاره متانولی آن تولید کرد. اگرچه اقدامات تکمیلی در خصوص صرفه اقتصادی، نحوه تولید و فرموله کردن حشره‌کش مذکور و تأثیر آن بر روی دشمنان طبیعی، بهتر است که ارزیابی‌های دقیقی صورت گیرد.

References

1. Amini Jam, N., Kochevli, F., Mossadegh, M.S., Rasekh, A., & Saber, M. (2012). Effect of imidacloprid and pirimicarb on functional response of *Aphidius matricariae* Haliday (Hym: Braconidae) under laboratory conditions. *Plant Pest Research*, 2(3), 51-61.
2. Baqeri, F., & Noori Deh Bozorgi, Z. (2023). Insecticidal and repellency properties of apple of sodom, *Calotropis procera* extract on greenhouse whitefly. *Plant Pest Research*, 3(13), 17-26. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/iprj.2023.25732.1536>
3. Abdollahzadeh-Bovani, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on life table and population growth parameters of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 12(1), 111-131. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.376343.343>
4. Bett, P.K., Deng, A.L., Ogendo, J.O., Kariuki, S.T., Kamatenesi-Mugisha, M., Mihale, J.M., & Torto, B. (2016). Chemical composition of *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains. *Industrial Crops and Products*, 82, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.009>
5. Cárdenas-Ortega, N.C., González-Chávez, M.M., Figueroa-Brito, R., Flores-Macías, A., Romo-Asunción, D., Martínez-González, D.E., Pérez-Moreno, V., & Ramos-López, M.A. (2015). Composition of the essential oil of *Salvia ballotiflora* (Lamiaceae) and its insecticidal activity. *Molecules*, 20(5), 8048-8059. <https://doi.org/10.3390/molecules20058048>
6. Chi, H. (2024 a). TWOSEX-MSChart: A computer program for age stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar>.
7. Chi, H. (2024 b) TIMING-MSChart: A computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. Taichung, Taiwan: National Chung Hsing University; Available from. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TimingMSChart.rar>.
8. Chi, H., You, M., Atlihan, R., Smith, C. L., Kavousi, A., Özgökçe, M. S., Güncan, A., Tuan, S.-J., Fu, J.-W., Xu, Y.-Y., Zheng, F.-Q., Ye, B.-H., Chu, D., Yu, Y., Gharekhani, G., Saska, P., Gotoh, T., Schneider, M.I., Bussaman, P., Gökçe, A., & Liu, T.X. (2020). Age-stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, 40(2), 103-124. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0936>
9. Choi, W.I., Lee, E.H., Choi, B.R., Park, H.M., & Ahn, Y.J. (2003). Toxicity of plant essential oils to *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 96(5), 1479-1484. <https://doi.org/10.1093/jee/96.5.1479>
10. Cis, J., Nowak, G., & Kisiel, W. (2006). Antifeedant properties and chemotaxonomic implications of sesquiterpene lactones and syringin from *Rhaponticum pulchrum*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(12), 862-867. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.05.019>
11. Croft, B.A. (1990). *Arthropod Biological Control Agents and Pesticides* (pp. 723). John Wiley & Sons, Inc.
12. de França, S.M., Breda, M.O., Barbosa, D.R.S., Araujo, A.M.N., & Guedes, C.A. (2017). The sublethal effects of insecticides in insects. In: Shields, V.D.C. (eds.) *Biological Control Pest Vector Insect*, 23-39. <https://doi.org/10.5772/66461>
13. Dehghani, M., & Ahmadi, K. (2011). Effects of *Melia azedarach* L. and *Peganum harmala* L. extracts on nymphal and pupal developmental duration of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Herbal Drugs*, 2(4), 239-244. (in Persian) .
14. Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J.M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 81-106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
15. Erdogan, C., Velioglu, A.S., Gurkan, M.O., Denholm, I., & Moores, G.D. (2021). Detection of resistance to pyrethroid and neonicotinoid insecticides in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection*, 146, 105661. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105661>

16. Fahim, M., Safar Alizadeh, M.H., & Safavi, S.A. (2012). Evaluation of susceptibility of egg, nymph, and adult of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) to two plant essential oils (spearmint and cumin) under laboratory conditions. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 22(3), 28-35.
17. Gamarra, H., Sporleder, M., Carhuapoma, P., Kroschel, J., & Kreuze, J. (2020). A temperature-dependent phenology model for the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Virus Research*, 289, 198107. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198107>
18. Gerling, D., & Sinai, P. (1994). Buprofezin effects on two parasitoid species of whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 87(4), 842-846. <https://doi.org/10.1093/jee/87.4.842> .
19. Guo, S.S., You, C.X., Liang, J.Y., Zhang, W.J., Geng, Z.F., Wang, C.F., & Lei, N. (2015). Chemical composition and bioactivities of the essential oil from *Etlingera yunnanensis* against two stored product insects. *Molecules*, 20, 15735–15747. <https://doi.org/10.3390/molecules200915735>
20. Heidari, A., Moharramipour, S., Poormirza, A.A., & Talebi, A.A. (2005). Effects of pyriproxyfen, buprofezin, and fenpropathrin on the growth population parameters in *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hom.: Aleyrodidae). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36(2), 353–361. (in Persian with English abstract).
21. Heydarzade, A., Valizadegan, O., Negahban, M., & Mehrkhou, F. (2019). Efficacy of *Mentha spicata* and *Mentha pulegium* essential oil nanoformulation on mortality and physiology of *Tribolium castaneum* (Col.: Tenebrionidae). *Journal of Crop Protection*, 8(4), 501-520. (in Persian with English abstract).
22. Heydarzade, A. (2020). Survey on efficacy of nanoformulation containing essential oils of *Mentha spicata* L. and *Mentha pulegium* L. on biological and physiological aspects of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) and *Tribolium castaneum* Herbst (Col.: Tenebrionidae). Ph.D. Thesis, Urmia University, 155 p. (in Persian with English abstract)
23. Isman, M.B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65, 233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
24. Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G.S. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4(1), 63-84.
25. Lawrence, P.O. (1981). Developmental and reproductive biologies of the parasitic wasp *Biosteres longicaudatus*, reared on hosts treated with a chitin synthesis inhibitor. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1(4), 403-406. <https://doi.org/10.1017/S174275840000076X>
26. Locke, J.C., Walter, J.F., & Larew, H.G.L. (1994). Hydrophobic extracted neem oil--A novel fungicide (U.S. Patent No. 5,368,856). United States Patent and Trademark Office.
27. Moaven, N., Ghorbani, R., & Rezaeian-Doloei, R. (2014). Investigation on biological control of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) with fungal pathogens. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(2), 107-122.
28. Nadaf, M., Nasrabadi, M., Halimi, M., Yazdani, Z., Javanshir, A., Ramazani, S., & Mohaddesi, B. (2013). Identification of non-polar chemical compounds in *Acroptilon repens* growing in Iran by GC-MS. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 17(5), 590–592.
29. Nikakhtar, S., Aramideh, S., Mirfakhraei, S., & Forouzan, M. (2022). The effect of sublethal concentration of three commercial formulations of neem including Kofa, NeemAzal, and Nimbecidine on the life table parameters of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hem., Aleyrodidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 42(4), 313–323. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.52547/jesi.42.4.6>
30. Norouzi-Arasi, H., Yavari, I., Chalabian, F., Kiarostami, V., Ghaffarzadeh, F., & Nasirian, A. (2006). Chemical constituents and antimicrobial activities of the essential oil of *Acroptilon repens* (L.) DC. *Flavour and Fragrance Journal*, 21, 247–249. <https://doi.org/10.1002/ffj.1568>
31. Oh, Y., Park, S., Byun, H.K., Cho, Y., Lee, I.J., Kim, J.S., & Ye, J.C. (2024). LLM-driven multimodal target volume contouring in radiation oncology. *Nature Communications*, 15(1), 9186.
32. Piri Ouchtape, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Lethal and sub-lethal effects of Clothianidin and summer oil on the life table parameters and population trend of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae). *Plant Pest Research*, 13(4), 17-34. (in Persian with English abstract)
33. Prince, G., & Chandler, D. (2020). *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. *Insects*, 11(1), 55.
34. Rahmani-Aghdam, E., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2022). Sublethal effects of herbal insecticides, azadirachtin and palizin, on the life history, survival rate, and life expectancy of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). In Proceedings of the 24th Iranian Plant Protection Congress, Tehran, Iran, p. 46. (in Persian with English abstract)
35. Rajkumar, V., Gunasekaran, C., Dharmaraj, J., Chinnaraj, P., Paul, C.A., & Kanithachristy, I. (2020). Structural characterization of chitosan nanoparticles loaded with *Piper nigrum* essential oil for biological efficacy against stored grain pest control. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 166, 104566. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104566>

36. Razavi, S.M., Narouei, M., Majrohi, A.A., & Mohammaddust Chamanabad, H.R. (2012). Chemical constituents and phytotoxic activity of the essential oil of *Acroptilon repens* (L.) DC from Iran. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 15(6), 943–948. <http://dx.doi.org/10.1080/0972060x.2012.10662597>
37. Reshadat Salvanagh, N., Mehrkhou, F., & Fourozan, M. (2024). Lethal and sublethal effects of Flonicamid and BIO2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica*, 52(90).
38. Reshadat Salvanagh, N. (2021). Survey on the sublethal effects of Flonicamid and Bino2 on the population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). M.Sc. Thesis, Urmia University, 76 p. (in Persian with English abstract)
39. Rodriguez, H.C. (2000). *Plantas contra plagas: Potencial práctico del ajo, anona, nim, chile y tabaco* (133 p.). Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM) y Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.
40. Rodriguez, H.C., & Vendramim, J.D. (2008). Substancias vegetales para el manejo de las moscas blancas (pp. 83-102). In S. Infante G. (Ed.), *Moscas blancas: Temas selectos sobre su manejo*. Colegio de Postgraduados, Mundi Prensa.
41. Rumpf, S., Frampton, C., & Chapman, B. (1997). Acute toxicity of insecticides to *Micromus tasmaniae* (Neuroptera: Hemerobiidae) and *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae): LC50 and LC90 estimates for various test durations. *Journal of Economic Entomology*, 90(6), 1493–1499. <https://doi.org/10.1093/jee/90.6.1493>
42. Saeedi, M.R. (2022). Survey on the lethal and sublethal effects of Tondexir and Salpipest on the population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). M.Sc. Thesis, Urmia University, Urmiam Iran. (in Persian with English abstract)
43. Safavi, S.A., & Bakhshaei, M. (2017). Biological parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) exposed to lethal and sublethal concentrations of Calypso®. *Journal of Crop Protection*, 6(3), 341–351.
44. Samareh Fekri, M. (2020). Effect of repellency and oviposition deterrence of plant extract and powder of *Acroptilon repens* (Asteraceae) and *Sophora aculeopoides* (Fabaceae) on saw toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in laboratory conditions. *Journal of Entomological Research*, 12(2), 103-117.
45. Sharifiyan, M., Mehrkhou, F., & Negahban, M. (2024). Lethal and sublethal effects of *Mentha piperita* L. and its nanoformulation on the biological and population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Journal of Entomological Society of Iran*, 44(1), 20-30. (In Persian with English abstract)
46. Smith C.M. (1989). Plant resistance to insects: a fundamental approach. John Wiley and Sons. New York.
47. SPSS, Inc. (2019). IBM SPSS statistics for windows, version 26.0 (Vol. 440). IBM Corporation.
48. Stark, J.D., & Banks, J.E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, 48, 505–519. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621>
49. Toolabi, R., Abai, M.R., Sedaghat, M.M., Vatandoost, H., Shayeghi, M., Tavajoli, S., & Sistanzade Aghdam, M. (2018). Larviciding activity of *Acroptilon repens* extract against *Anopheles stephensi*, *Culex pipiens*, and *Culex quinquefasciatus* under laboratory conditions. *Pharmacognosy Journal*, 10(3), 453-456.
50. Tunalier, Z., Candan, N.T., Demirci, B., & Baser, H.C.K. (2006). The essential oil composition of *Acroptilon repens* (L.) DC. of Turkish origin. *Flavour and Fragrance Journal*, 21(5), 462–464. <https://doi.org/10.1002/ffj.1670>
51. Vinson, S.B. (1974). Effect of an insect growth regulator on two parasitoids developing from treated tobacco budworm larvae. *Journal of Economic Entomology*, 67, 335–336. <https://doi.org/10.1093/jee/67.3.335>
52. Wang, X.H., Liu, M.Y., Hu, G.F., Niu, S.J., Yu, H.T., & Zhang, X.R. (2015). Insecticidal activity of fractions from *Acroptilon repens* against larvae of Lepidoptera. *Journal of Southwest Agriculture*, 28(3), 1124–1129.
53. Watanabe, L.F.M., Bello, V.H., De Marchi, B.R., Sartori, M.M.P., Pavan, M.A., & Krause-Sakate, R. (2018). Performance of *Bemisia tabaci* MEAM1 and *Trialeurodes vaporariorum* on tomato chlorosis virus (ToCV) infected plants. *Journal of Applied Entomology*, 142(10), 1008–1015. <https://doi.org/10.1111/jen.12559>