Iranian Journal of Cotton Researches
ISSN: 2345-5306

Design and Implementation of an IoT-Based Smart Funnel Trap for Real-Time Monitoring of the Cotton Bollworm Helicoverpa armigera (Lepidoptera: Noctuidae)

Mahmoud Jokar[1*], Hossein Farazmand[2]

[1] Cotton Research Institute of Iran, Agricuitural Resreach,Education and Extension Organization,(AREEO) Gorgan, Iran, Email: m.jokar@areeo.ac.ir

[2] Iranian Research Institute of Plant Protection; Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-10-26
Accepted 2026-01-30

Keywords:
Internet of Things
Pheromone tarp
Online monitoring
Smartization

ABSTRACT

Smart pest traps, acting as continuous field observers, enable real-time monitoring of pest presence and prevalence in agricultural systems. The cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), is one of the key pests of cotton cultivation and has consistently posed serious challenges to production due to its significant damage. Since pheromone traps provide the most accurate method for determining the optimal timing of control measures, and because these traps require frequent manual inspection, any delay or negligence in data recording can result in considerable losses to cotton fields. Therefore, in this study, Internet of Things (IoT) technology was employed to automate conventional funnel-shaped pheromone traps. The system continuously (24-hour interval) recorded the number of captured moths, peak attraction hours, as well as temperature and humidity data. A comparison of two trap types (standard funnel trap and smart funnel trap) over two cropping seasons (2022 and 2023) showed no significant differences between them. The smart trap captured 13.88 ± 2.54 and 14.27 ± 2.2 moths per trap, while the standard trap captured 16.5 ± 2.64 and 17.23 ± 3.03 moths per trap, respectively. In the 2022 season, the highest capture rate occurred between 21:00 and 22:00, followed by a decline until 23:00, after which a second peak was observed between 01:00 and 03:00. In the 2023 season, the highest capture occurred between 22:00 and 23:00, followed by a short decrease, and then another peak between 03:00 and 05:00. Considering that moth activity begins around 21:00, it is recommended that farmers schedule insecticide spraying for late evening hours to achieve a more effective impact on the future population of this pest.

Cite this article: Jokar, M., Farazmand, H. (2025). Design and Implementation of an IoT-Based Smart Funnel Trap for Real-Time Monitoring of the Cotton Bollworm Helicoverpa armigera (Lepidoptera: Noctuidae). *Iranian Journal Cotton Researches*, 13 (2), 61-72.

© The author(s)

10.22092/ijcr.2025.371454.1247

Publisher: Cotton Research Institute of Iran

مجله پژوهش‌های پنبه ایران

شاپا: ۲۳۴۵-۵۳۰۶

طراحی و پیاده‌سازی تله قیفی هوشمند بر اساس اینترنت اشیا جهت پایش زمان‌واقعی کرم غوزه پنبه *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae)

محمود جوکار[1*]، حسین فرازمند[2]

[1] (نویسنده مسئول) موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، رایانامه: m.jokar@areeo.ac.ir

[2] موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۰

واژه‌های کلیدی:
اینترنت اشیا
تله فرمونی
پایش برخط
هوشمندسازی

چکیده

تله هوشمند آفات، در نقش یک ناظر، علاوه بر امکان رصد برخط، وضعیت حضور و شیوع آفات در مزرعه را فراهم می‌نماید. کرم غوزه پنبه *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) یکی از آفات کلیدی زراعت پنبه می‌باشد که همواره با خسارت بالای خود، کشت محصول پنبه را با چالش روبرو ساخته است. از آن جایی که دقیق‌ترین راهکار برای تعیین بهترین زمان کنترل این آفت، تله‌های فرمونی است، و این تله ها نیاز به خوانش مکرر توسط نیروی انسانی دارند، هر گونه غفلت در ثبت داده‌ها سبب خسارت‌های شدید به زراعت پنبه خواهد شد. بنابراین، در این پژوهش از فناوری اینترنت اشیا جهت هوشمندسازی تله‌های فرمونی قیفی متداول استفاده شد و اطلاعات تعداد شب‌پره‌های شکارشده توسط تله های فرمونی به صورت منظم (۲۴ ساعته)، ساعات حداکثر جلب، به همراه داده‌های دما و رطوبت ثبت گردید. نتایج مقایسه دو نوع تله (تله قیفی استاندارد و تله قیفی هوشمند) طی دوسال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ نشان داد که تله هوشمند به ترتیب با شکار ۲/۵۴ ± ۱۳/۸۸ ، ۲/۲ ± ۱۴/۲۷ (شب‌پره/تله) با تله‌های استاندارد به ترتیب با شکار ۲/۶۴ ± ۱۶/۵ ، ۳/۰۳ ± ۱۷/۲۳(شب‌پره/تله) تفاوت معنی‌داری نداشت. در سال ۱۴۰۱، بیشترین میزان شکار در بازه ساعتی ۲۱ تا ۲۲ شب ثبت شد، سپس میزان شکار تا ساعت ۲۳ فروکش کرد و از ساعت ۱ تا ۳ بامداد دوباره اوج گرفت. در سال ۱۴۰۲ بیشترین میزان شکار در بازه ساعتی ۲۲ تا ۲۳ شب ثبت گردید، و پس از یک فروکش کردن، میزان شکار از ساعت ۳ تا ۵ بامداد دوباره اوج گرفت. با توجه به اینکه فعالیت این شب‌پره‌ها از ساعت ۲۱ شب آغاز می گردد، اگر کشاورزان سمپاشی را به ساعات آخر روز موکول نمایند، ضربه‌ای موثرتر به جمعیت آینده این آفت وارد خواهند نمود.

استناد: جوکار، محمود؛ فرازمند، حسین (۱۴۰۴). طراحی و پیاده‌سازی تله قیفی هوشمند بر اساس اینترنت اشیا جهت پایش زمان‌واقعی کرم غوزه پنبه *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). مجله پژوهش‌های پنبه ایران، ۱۳ (۲)، ۷۲-۶۱.

© نویسندگان
ناشر: موسسه تحقیقات پنبه کشور

10.22092/ijcr.2025.371454.1247

مقدمه

کرم غوزه پنبه *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) یکی از اصلی‌ترین آفات زراعت پنبه در سراسر دنیا مطرح است بطوریکه خسارت این آفت در سراسر دنیا بسیار چشمگیر می‌باشد (باقری و همکاران، ۱۴۰۰). پایش اولین قدم در مبارزه با این آفت به شمار می‌رود و متداولترین ابزار برای رصد اوج پرواز این شب‌پره تله‌های فرمونی هستند که اگرچه اشکال مختلف دارند اما همه‌ی آنها با استفاده از یک اصل اکولوژیک (تقلید از بوی جنس ماده در جفتگیری)، شب‌پره را به خود جلب می‌نمایند (کازرلنی و همکاران ۱۴۰۲). یکی از اصلی‌ترین مشکلات استفاده از تله‌های فرمونی در اجرای برنامه‌های پایش در مقیاس وسیع، ثبت داده‌ها به صورت همزمان است. همزمانی ثبت تعداد شکار، یک امر بسیار مهم در پایش شب‌پره‌های کرم غوزه پنبه است تا تخمین دقیق از وضعیت جمعیتی این آفت به دست آورد. در مواردی به دلیل دوری تله‌های فرمونی از محل کار و یا زندگی ارزیاب، متصدی شمارش و ثبت در زمان مناسب داده های تعداد شب‌پره‌های شکار شده را ثبت نمی نماید. ثبت تعداد شکار به روش سنتی، با به کارگیری نیروی انسانی است که همین دلیل باعث نادیده گرفتن داده‌های ارزشمند در مناطق دوردست می‌گردد، زیرا کارشناسان سعی دارند تله‌ها را به طور ناخودآگاه در اطراف محل استقرار خود، (که سهولت تردد دارند) نصب نمایند. با هوشمندسازی تله‌های قیفی به کمک اینترنت اشیا می‌توان بازه بازدید کارشناس برای هر تله را به جای هفته‌ای یک‌بار به ماهی یک‌بار (صرفا بازدید سلامت فیزیکی و تعویض قرص فرمونی) کاهش داد. تله‌های هوشمند در پایش آفات قرنطینه (نظیر کرم سرخ) در نواحی مرزی بسیار دور افتاده هم می‌توانند کاربرد وسیعی داشته باشند (Shi et al., 2025) که البته از اهداف این مطالعه نمی‌باشد.

ورود فنآوری اطلاعات به کشاورزی یکی از مسائل مهم است که محققان کشاورزی در کشور بایستی به آن توجه نمایند. در رشته حشره‌شناسی که با پویایی جمعیت آفات روبرو هستیم استفاده از فن آوری اطلاعات می‌تواند برای جمع آوری اطلاعات و تصمیم گیری‌های کلان بسیار راه‌گشا باشد. اهداف اصلی پژوهش حاضر به شرح ذیل است:

الف) ثبت داده‌های تعداد شکار شب‌پره کرم غوزه پنبه در تله‌های هوشمندسازی شده نصب شده در مزرعه تحقیقاتی (میانگین شب‌پره شکار شده در هر ساعت، میانگین کل روزانه)، ب)تعیین ساعات حداکثر پرواز (شکار) در روزهای منتهی به اوج پرواز. با در دست داشتن داده‌های مذکور چه به صورت منطقه‌ای و چه به صورت نقطه‌ای می‌توان ضمن تخمین دقیق مرحله جمعیت آفت بهترین رویکرد مبارزه را براساس داده‌های اقلیمی و جمعیتی توصیه نمود.

بررسی منابع: استفاده از فن‌آوری‌های جدید و هوشمندسازی یک بخش مهم از تحقیقات در زمینه پایش جمعیت و شناسایی بالپولکداران آفت را تشکیل می‌دهد. سیلوارا و منترو (۲۰۰۹) یک هوش مصنوعی برای تشخیص خودکار لکه چشمی پروانه *Bicyclus anynana* و تشخیص آن در سطح جنس استفاده نمودند، (Silveira and Monteiro,2009). گوارنیاری و همکاران (۲۰۱۱) یک تله فرمونی تغییریافته با بهره‌گیری از دوربین تلفن همراه برای رصد شب‌پره کرم سیب، *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) معرفی نمود (Guarnieri et al., 2011). بسیاری از مدل‌هایی که برای تشخیص جنس شب‌پره‌ها طراحی شده است، براساس شبکه عصبی مصنوعی (artificial neural networks ANNs) است (Kaya and Kayci, 2014). مدل‌های شبکه عصبی با تقلید از نورون‌های عصبی مغز انسان با آموزش براساس تصاویری از قبل طراحی شده توان تشخیص گونه‌ها را از هم بدست می‌آورند. کایا و همکاران (۲۰۱۴) با تلفیق روش شبکه مصنوعی عصبی با باینری کردن تصاویر پروانه‌های خانواده Papilinidae توان تشخیص پنج جنس این خانواده را به دست آوردند. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) در یک بررسی جامع و با تلفیق و توسعه شبکه عصبی مصنوعی و هوش مصنوعی ماشین بردار حمایتی Support Vector Machine (SVM)

براساس خصوصیات مورفولوژیکی توانستند با دقت ۹۳ درصد ۲۰۰ جنس از ۶۴ خانواده مختلف حشرات متعلق به راسته‌های مختلف را تشخیص دهند (Wang et al., 2015). در یک پژوهش دیگر، با استفاده از روش یادگیری عمیق (deep learning) و با تشکیل یک پایگاه داده، ۴۰ جنس مختلف از حشرات متعلق به راسته‌های سخت‌بالپوشان و راست‌بالان به ترتیب با دقت ۹۵ تا ۹۷ درصد تشخیص داده شدند (Thenmozhi and Reddy, 2019). البته در سال‌های اخیر، رویکردهای دیگری براساس ماشین‌های رباتیک متحرک مجهز به دوربین ابداع شده است که به طور بلادرنگ (real-time) توانایی شناسایی شب‌پره‌های خانواده Pyralidae را در سطح جنس دارا می باشند (Liu et al., 2019; Zhao et al., 2019). از جمله تحقیقات در زمینه تله‌های هوشمند مبتنی بر فرمون می‌توان به تحقیقات هانگ و همکاران (۲۰۲۰) اشاره نمود که با نصب تله چسبی همراه با فرمون جنسی *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae) و *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae) و استفاده از پردازش تصویر و آموزش هوش مصنوعی، به شمارش و تشخیص جنس دست یافتند (Hong et al., 2020). در یک پژوهش دیگر، با استفاده تله‌های نوری به ردیابی و تشخیص جنس‌های مختلف شب‌پره‌های خانواده Lepidoptera پرداخته شد. در این پژوهش، یک سیستم پردازش تصویر اقدام به شمارش شب‌پرهای جلب شده به منبع نور نمود. نتایج مرتبط به ۴۸ جنس و بیش از دو میلیون تصویر برای آموزش شبکه عصبی به کاربرده شد و در نهایت، توان تشخیص در سطح جنس با دقت ۹۳ درصد حاصل شد (بژرگه و همکاران، ۲۰۲۱). اغلب تحقیقات در این حوزه، حول محور تشخیص گونه‌ها براساس آموزش هوش منصوعی برای شناسایی جنس‌های شب‌پره‌ها طراحی شده است. اما تله‌های هوشمندی که بتوانند در قالب اتوماسیون متحد عمل نمایند، بایستی در بسترهای پردازش ابری مستقر شوند که صرفا در تولیدات تجاری موجود است و به استثنای اطلاعاتی کلی، مستندات دیگری منتشر ننموده‌اند. نمونه‌ای از تله‌های هوشمند با نام تجاری تحت عنوان Smart Traps® توسط ویلیام (۲۰۱۹) طی سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ برای رهگیری کرم طوقه‌بر در مزارع لوبیا با استفاده از تله‌های چسبی و ادغام با مدل روز- درجه طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است (Williams, 2019) (شکل ۱ الف).

روش‌های مبتنی بر پردازش تصویر حشرات گرفتار در تله‌ها چسبناک، موضوع چندان جدیدی به شمار نمی‌رود. دلنگ و تیلور (۲۰۱۶) با استفاده از تله‌های فرمونی و پردازش تصویر، اقدام به جلب و شناسایی آفات نمودند (Ding and Taylor 2016). البته، بررسی انواع تله‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نشان داد که این تله‌ها اغلب در شناسایی گونه‌های مختلف یک جنس ناتوان بوده و گاها خطاهایی در آنها مشاهده می‌گردد. در محصول تجاری FarmsSense® که توسط دانشگاه ریورساید آمریکا طراحی شده است، براساس سنسورهای بینایی برای شناسایی مگس‌های گیاهی مضرر تحت عنوان files استفاده شده است (OBER, 2020) (شکل ۱ ب). استفاده از اینترنت اشیا در هوشمندسازی تله‌های فرمونی و تله‌های پایش شب‌پره‌های آفت همگی در کشورهای غربی انجام شده است و نمونه‌های داخلی بسیار کمی در دسترس است. تحقیقات داخلی با توجه به وسعت اهداف در حد تحقیقات مانده و تجاری‌سازی نگشته است.

هسته جاذب در پژوهش حاضر در حقیقت همان فرمون سنتز شده تجاری است که می‌تواند با اختصاصی بودن بالا، شب‌پره کرم غوزه را از سایر شب‌پره‌های فعال در محیط تحریک و جلب نمایید. لذا با توجه به خلاء تحقیقاتی در خصوص هوشمندسازی تله‌های فرمونی در ایران، در این پژوهش سعی خواهد شد با هوشمندسازی تله‌های قیفی-فرمونی مرسوم در پایش جمعیت کرم غوزه پنبه، رویکردی اختصاصی و دقیق برای پایش جمعیت این آفت به کار برده شود. تله‌های دلتا نوع دیگری از انواع تله‌های مورد استفاده در پایش کرم غوزه است که برای هوشمندسازی آنها، از سیستم تصویربرداری توسط ماژول دوربین و ارسال تصویر در بستر وب سرور و پردازش تصویر انلاین استفاده می‌گردد (Hong et al. 2021). هوش مصنوعی

برای تعیین جنس (و یا گونه) و شمارش آفات همواره با اختلالاتی روبرو بوده و همین مهم سبب شده است تا بسیاری از تله‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در شرایط واقعی در کشور ایران تجاری‌سازی نگردد. در پژوهش‌های انجام شده سنسورهای لیزری بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است و به سبب دقت بالا در خوانش می‌تواند جایگزین خوبی برای هوش مصنوعی برای پردازش و تشخیص آفت باشد.

الف

ب

شکل ۱- نمونه تله‌های هوشمند تجاری شده در دنیا

مواد و روش‌ها

الف) ساخت تله هوشمند: برای شمارش و ثبت تعداد شکار به صورت روزانه و تعیین بازه زمانی با شکار حداکثر روزانه، از ماژول ساعت DS1302 (شکل ۲ ب) استفاده شد. همچنین، از ماژول DHT11 برای ثبت پارامترهای مهم میکروکلیمایی (دما و رطوبت) استفاده شد. در این پژوهش برای ثبت داده‌های مذکور استفاده شد. برای جمع‌آوری داده‌ها از بردهای UNO (محصول شرکت Arduino) استفاده شد (

شکل ۲ الف). برای ارسال داده‌ها به سرور، از ماژول ESP8266 به عنوان واسط برای اتصال برد اردینو به مودم دانگل LTE و یا 3G و برای ارسال اطلاعات در بستر پیامک از ماژول سیمکارت Sim800L (

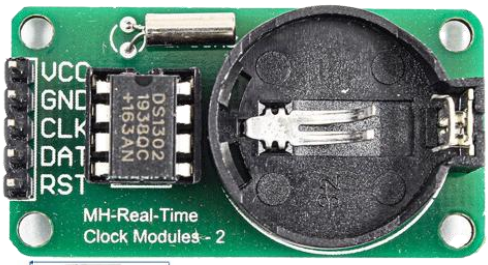
شکل ۲ ج) استفاده شد. منبع برق این تله، بر اساس انرژی خورشیدی و متشکل از صحفه خورشیدی ۱۲ ولتی، برد شارژر باطری لیتیومی (TP4056) ، باطری قابل شارژ و برد تقویت کننده و تثبیت کننده بود (

شکل ۲ د). شمارش تعداد شب‌پره‌ها، بر اساس قطع نور لیزر قرمز رنگ ساطع شده از یک فوتودیود لیزری (در نمونه های اولیه، دیودهای قرمز رنگ و در نمونه نهایی مزرعه، دیودهای لیزری بی‌رنگ) در دهانه گلویی تله قیفی توسط شب‌پره انجام شد و میزان تردد (تعداد قطع شدن نور لیزر) توسط یک گیرنده نوری (LDR) ثبت گردید (ترددشمار لیزری). برای جلوگیری از دست دادن اطلاعات تله‌ها، توسط یک ماژول کارت حافظه از داده‌های تله‌ها پشتیبان تهیه گردید. به دلیل ایجاد تغییرات احتمالی برای سفارشی کردن جمع‌آوری داده‌ها، تولید مدارهای چاپی پس از اتمام تحقیقات انجام گردید. برنامه نویسی برد آردینو جهت خوانش داده‌های تعداد شکار روزانه و داده‌های میکروکلیمایی توسط برنامه اختصاصی این شرکت تحت نام Arduino IDE نسخه ۲.۳ صورت گرفت و مدار بندی آن برای این منظور طبق شکل ۳ صورت پذیرفت. نسخه نهایی طراحی شده و کار گذاشته شده در مزرعه بر روی یک تله قیفی سوار شد (شکل ۴).

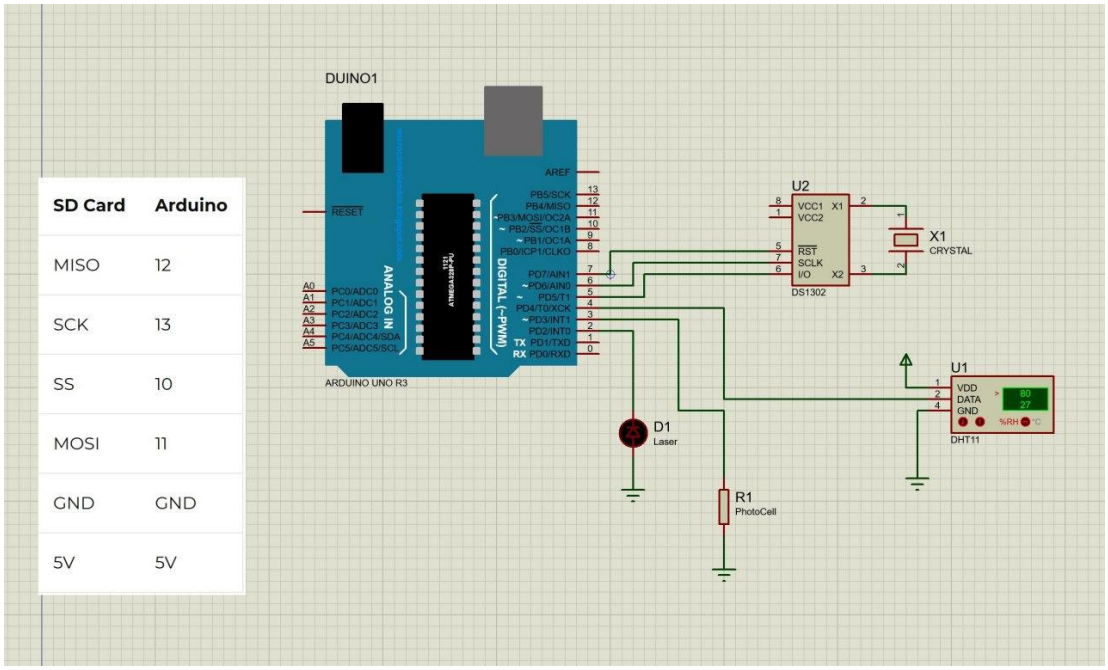
ب)ارزیابی میدانی تله‌ها: به منظور ارزیابی میدانی تله هوشمند، این طرح طی سال‌های ۱۴۰۱تا ۱۴۰۲ در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد اجرا شد. تله هوشمند بر روی یک پایه فلزی به ارتفاع ۱/۵ متر

نصب و در فاصله ۱۵ متری آن یک تله قیفی-فرمونی استاندارد با فرمون شرکت ایکونکس نصب گردید. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، برند تجاری و تاریخ تولید تمامی قرص‌های فرمونی یکسان انتخاب شد. اعتبارسنجی و تعویض فرمون‌ها چهار بار در پایان ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور ماه انجام پذیرفت. برای اعتبارسنجی نهایی، تعداد کل شب‌پره‌ها در هر تله با مجموع تعداد شکار ثبت شده در سامانه مقایسه گشت.

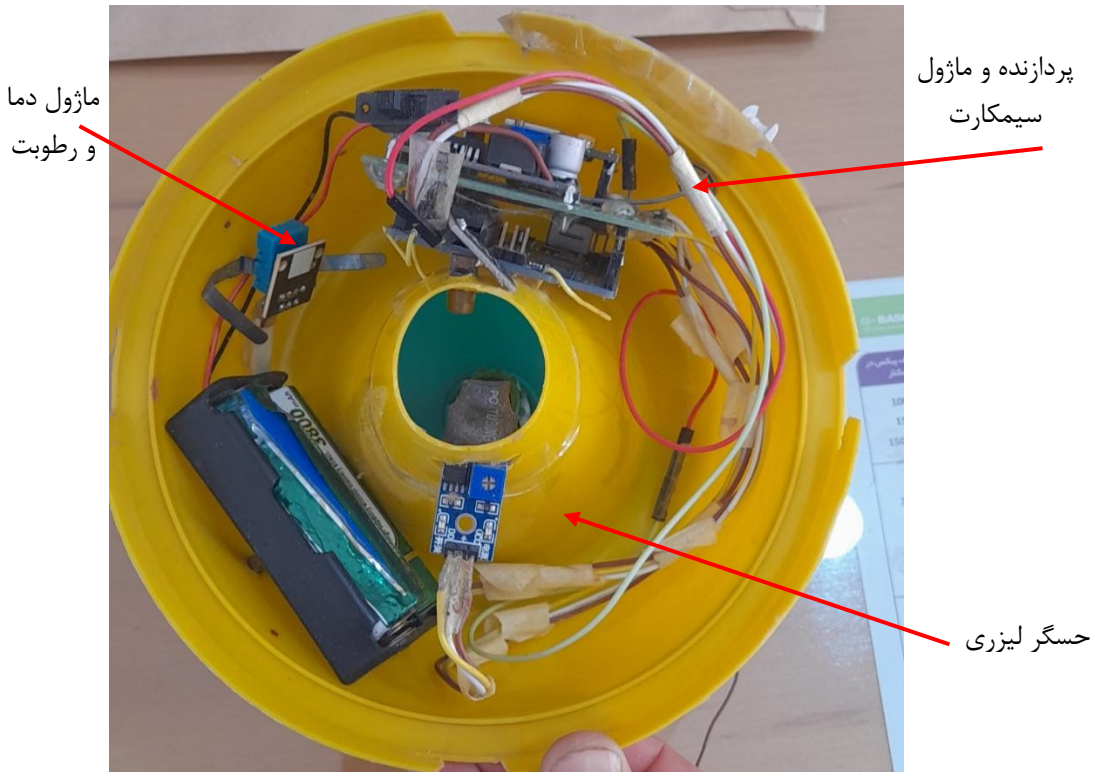
ج) آنالیز آماری: داده های ارسالی توسط تله هوشمند (به صورت پیامک به سامانه پیامکی ۱۰۰۰۴۷۴۷۴۷) هر یک ساعت یکبار و به ترتیب شامل تاریخ، بازه ساعت، دما درصد رطوبت نسبی و میانگین تعداد شکار طی یکساعت بود. تعداد شب‌پره‌های شکار شده در تله قیفی-فرمونی استاندارد نیز روزانه ثبت گردید. تعداد پروانه‌های شکار شده در تله قیفی-فرمونی استاندارد نیز روزانه توسط کارشناس گیاهپزشکی ثبت گشت. پیش از انجام تجزیه آماری ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی گشت. برای پیدا کردن تفاوت‌های آماری معنی‌دار و مقایسه های تعداد شب‌پره‌های شکار شده در دو نوع تله از آزمون t در برنامه SPSS استفاده شد.



شکل ۲ – برد آردینو UNO جهت جمع آوری داده های تاریخ، ماژول
سیمکارت، دما، رطوبت و منبع تغذیه



شکل ۳– شمایی کلی ماژول های شمارش لیزری و اندازه گیری دما و رطوبت در
برد آردینو (ماژول کارت حافظه به عنوان پشیبان)



شکل ۴- نسخه نهایی طراحی شده و کار گذاشته شده در مزرعه بر روی یک تله قیفی

نتایج و بحث

در بررسی آماری برای مقایسه تعداد شکار نتایج مقایسه دو نوع تله در سال ۱۴۰۱ نشان داد که تله هوشمند (IoT) با شکار ۲/۵۴ ± ۱۳/۸۸ عدد شب‌پره/روز با میانگین شکار در تله‌های استاندارد ۲/۶۴ ± ۱۶/۵ اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (جدول‌های ۱ و ۲) ($t(۳۳)= ۰/۷۱۴$ ، $p \leq ۰/۰۰۱$). نتایج سال ۱۴۰۱ نشان داد که تله‌های فرمونی هوشمندسازی شده بر میزان جلب و شکار شب‌پره، خللی وارد نمی‌نماید و می‌توان از آنها به صورت متداول استفاده نمود. در سال ۱۴۰۱ در هر دو نوع تله (هوشمند و عادی) سه پیک یا نقطه اوج در جمعیت شب‌پره کرم غوزه پنبه مشاهده شد (شکل ۵). همچنین نتایج مقایسه آماری نشان داد که میزان شکار تله‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. در جدول (۳)، بیشترین میزان شکار در بازه ساعتی ۲۱ تا ۲۲ شب مشاهده شد، سپس میزان شکار تا ساعت ۲۳ فروکش کرد و دوباره از ساعت ۱ تا ۳ بامداد اوج گرفت (شکل ۶).

جدول ۱–مقایسه میانگین تعداد شکار در دو نوع تله هوشمند و استاندارد طی سال ۱۴۰۱

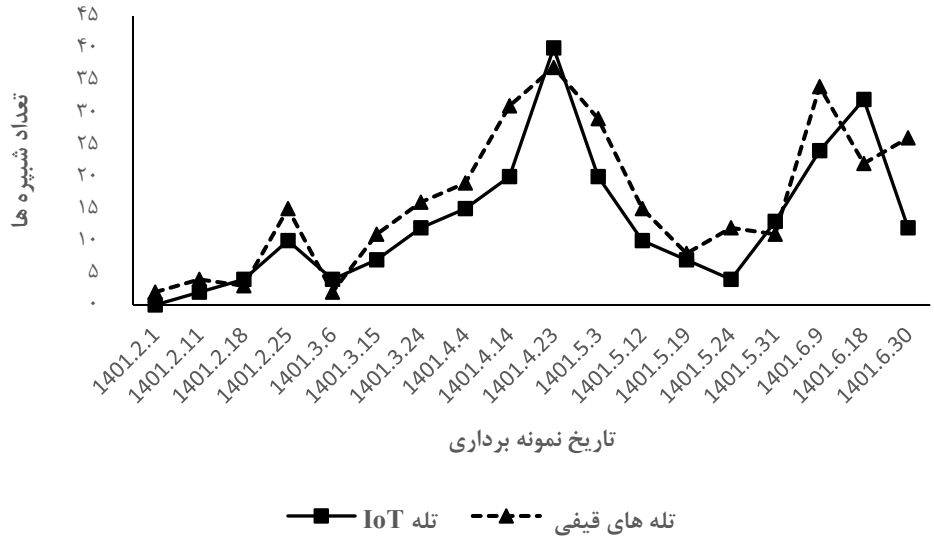
نوع تله	تعداد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد
هوشمند	۱۷	۱۳/۸۸	۱۰/۴۷۵	۲/۵۴۱
استاندارد	۱۸	۱۶/۵۰	۱۱/۲۱۱	۲/۶۴۲

جدول ۲- نتایج آزمون t مستقل (تست لوین برای برابری واریانس‌ها) بین دو گروه از تله ها در سال ۱۴۰۱

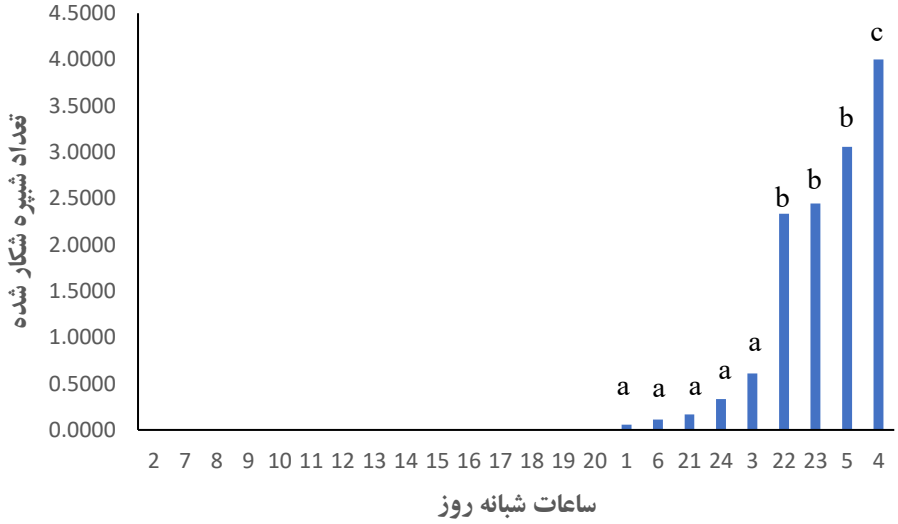
خطای استاندارد	اختلاف میانگین	سطح معناداری آزمون T مستقل	درجه آزادی	مقدار t	سطح معنی داری	F
۳/۶۷۳	-۲/۶۱۸	۰/۴۸۱	۳۳	-۰/۷۱۳	۰/۵۷۵	۰/۳۲۰
۳/۶۶۶	-۲/۶۱۸	۰/۴۸۰	۳۱/۹۹۷	-۰/۷۱۴		

جدول ۳- مقایسه میانگین تعداد شب‌پره‌های شکار شده طی ساعات مختلف شبانه روز در سال ۱۴۰۱ توسط تله‌های هوشمند

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معناداری
بین گروه	۵۴۲/۱۸۵	۲۳	۲۳/۵۷۳	۱۴/۸۶۸	۰/۰۰۰
درون گروه	۶۴۶/۸۸۹	۴۰۸	۱/۵۸۶		
کل	۱۱۸۹/۰۷۴	۴۳۱			



شکل ۵- نوسان فصلی تعداد شب‌پرهای شکار شده توسط دو نوع تله طی سال ۱۴۰۱



شکل ۶ –مقایسه میانگین تعداد شکار شب‌پره‌های شکار شده طی ساعات مختلف شبانه روز در سال ۱۴۰۱ توسط تله هوشمند (میانگین‌های دارای حروف مشابه در فاقد اختلاف معنی‌دار سطح احتمال ۵ درصد)

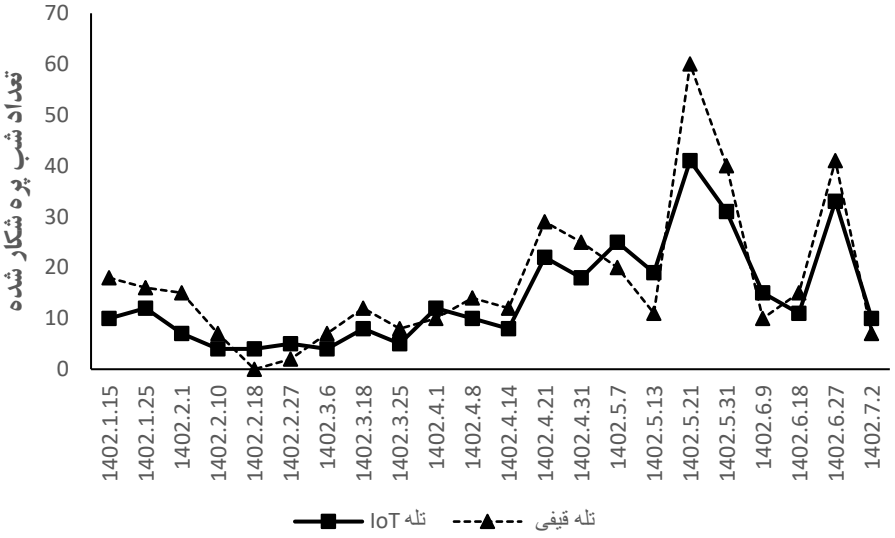
نتایج مقایسه میانگین‌های شکار توسط دو نوع تله در سال ۱۴۰۲ نشان داد که تله هوشمند (IoT) با شکار ۲/۲ ± ۱۴/۲۷ عدد شب‌پره /تله تفاوت معناداری با تله‌های استلندارد با شکار ۳/۰۳ ± ۱۷/۲۳ عدد شب‌پره/تله نشان ندادند (جدول‌های ۴ و۵) (۰/۷۸۶ =$t_{۴۲}$ ، ۰/۰۰۱≤ p). الگوی جلب در هر دو نوع تله در سال ۱۴۰۲ کاملا مشابه هم بود که دو نقطه اوج در منحنی شکار جمعیت شب پره کرم غوزه مشاهده شد (شکل ۷). میزان شکار در طی ساعات شبانه روز در سال ۱۴۰۲ نیز کاملا تفاوت معنی دار را نشان داد (جدول ۶). بیشترین میزان شکار در بازه ساعتی ۲۲ تا ۲۳ شب و سپس فروکش کردن میزان شکار و اوج گیری مجدد شکار از ساعت ۳ تا ۵ بامداد بود (شکل ۸**شکل ۷**).

جدول ۴- مقایسه میانگین تعداد شکار در دو نوع تله هوشمند و استاندارد طی سال ۱۴۰۲

نوع تله	تعداد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد
هوشمند	۲۲	۱۴/۲۷	۱۰/۳۵۶	۲/۲۰۸
استاندارد	۲۲	۱۷/۲۳	۱۴/۲۵۶	۳/۰۳۹

جدول ۵- نتایج آزمون T مستقل (تست لوین برای برابری واریانس‌ها) بین دو گروه از تله های در سال ۱۴۰۲

خطای استاندارد	اختلاف میانگین	سطح معناداری آزمون T مستقل	درجه آزادی	مقدار t	سطح معنی داری	F
۳/۷۵۷	-۲/۹۵۵	۰/۴۳۶	۴۲	-۰/۷۸۶	۰/۴۰۵	۰/۷۰۷
۳/۷۵۷	-۲/۹۵۵	۰/۴۳۶	۳۸/۳۳۷	-۰/۷۸۶		



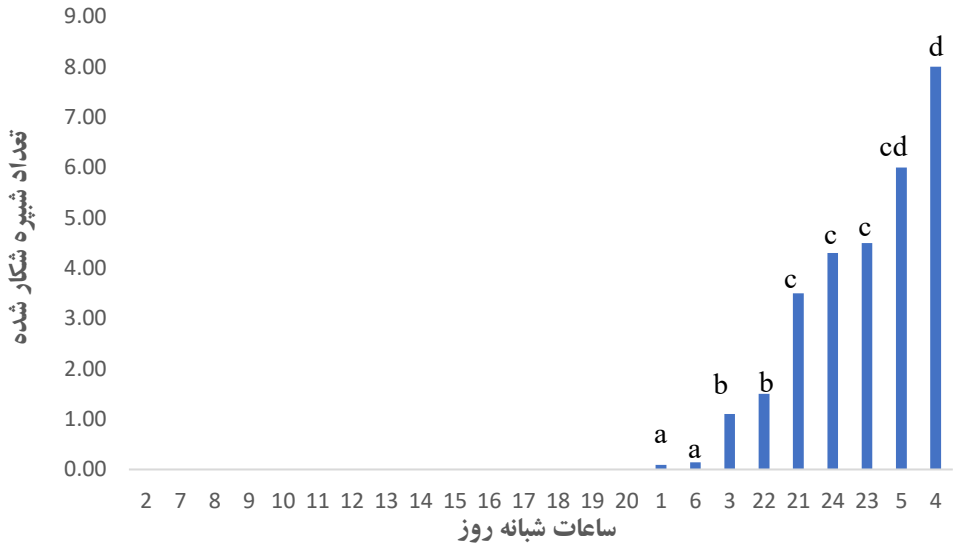
شکل ۷- نوسانات فصلی تعداد شب‌پرهای شکار شده توسط دو نوع تله طی سال ۱۴۰۲

جدول ۶- مقایسه میانگین تعداد شب پره‌های شکار شده کرم غوزه پنبه طی ساعات مختلف شبانه روز در سال ۱۴۰۲

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معناداری
بین گروه	۶۵۴/۱۷۳	۲۳	۲۵/۶۲۳	۱۵/۵۲۱	۰/۰۰۰
درون گروه	۷۶۸/۶۲۳	۴۸۲	۲/۵۷		
کل	۱۴۲۲/۷۹۶	۵۰۵			

طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی، حدود ۱۰۰ هزار هکتار پنبه در مناطق مختلف ایران کشت می‌گردد و در تمامی این مناطق یکی از اساسی‌ترین راه‌ها برای پایش جمعیت کرم غوزه پنبه (یکی از مهم‌ترین آفات پنبه) و توصیه‌های مبارزه با این آفت، تله‌های فرمونی است. در بسیاری از مزارع کشور به دلیل کمبود نیروی انسانی، نصب و داده‌برداری از تله‌ها در مناطق دور افتاده و بعضا کانون آلودگی نادیده گرفته می‌شود و این موضوع، آسیبی جدی به تولید پنبه وارد می‌سازد. طراحی و نصب تله های هوشمند می‌تواند تا حد زیادی این مشکل را حل کند و دسترسی به تله‌ها و برنامه‌ریزی را امکانپذیر نماید. نتایج این پژوهش نشان داد که تله‌های هوشمند با بهره‌گیری از اینترنت اشیا در تعداد شکار با تله‌های فرمونی استاندارد تفاوت معنی‌داری نداشت. بررسی منابع نشان داد که تاکنون در خصوص طراحی و کاربرد تله‌های هوشمند پژوهشی روی کرم غوزه و آفات مشابه انجام نشده است. در پژوهشی از تله‌ی

قیفی الکترونیکی (e-funnel) را برای پایش خودکار گونه‌های مختلف شب‌پره‌ها (Lepidoptera) توسط (Rigakis et al., 2021) انجام شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌دار آماری بین داده‌های شمارش‌شده جمعیت *Tuta absoluta* M. (Lepidoptera: Gelechiidae) توسط سامانه‌ی الکترونیکی و شمارش دستی وجود نداشت. تله‌های فرمونی مذکور به شمارشگر نوری مجهز بودکه ورود حشرات را به‌طور خودکار شمارش کرده و مشابه پژوهش حاضر با این تفاوت که منبع نوری باهم متفاوت بود. پژوهش‌های زیادی بر روی تله‌های هوشمند انجام پذیرفته اما بسیاری از آنها با تلفیق هوش مصنوعی با هوشمندسازی تلاش نمودن یا طیف وسیعی از افات که در تله گرفتار شده را شناسایی نموده و یا جنس خاص تشخیص دهند که با موضوعیت پژوهش حاضر فاصله زیادی دارند. با این حال، بررسی دقیق‌تر تغییرات تعداد شکار در طول شبانه‌روز نشان داد که با توجه به اینکه فعالیت این شب‌پره‌ها از ساعت ۲۱ شب آغاز می‌گردد، اگر کشاورزان سمپاشی را به ساعات آخر روز موکول نمایند، ضربه‌ای موثرتر به جمعیت آینده این آفت وارد خواهند نمود. نتایج پژوهش حاضر به پایشگران آفت این تولنایی را می‌دهد تا با اتخاذ یک تصمیم به موقع، کنترل این آفت را در مرحله حساس آن توصیه نمایند.



شکل ۸- مقایسه میانگین شکار شب‌پره کرم غوزه پنبه طی ساعات مختلف شبانه روز در سال ۱۴۰۲ توسط تله هوشمند (میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. آزمون دانکن درسطح ۵ درصد (حروف مشابه عدم معنی داری است)

منابع

کازرانی، فرزانه، فرآشیانی، محمد ابراهیم، فراهانی، سمیرا، زمانی، سیده‌معصومه، کوهجانی گرجی، مینا و خالقی تروجنی، سیدنقی. (۱۴۰۲). تله های فرمونی و نوری، ابزار مناسب برای ردیابی و کنترل شب پره شمشاد (Cydalima perspectalis; Lep., Crambidae). طبیعت ایران، ۱(۸): ۷۹-۷۳.

Bagheri, N., Mohammadi Sharif, M., & Golmohammadi, Gh. (2021). Comparing the efficacy of some chemical and non-chemical insecticides for control of cotton bollworm, Helicoverpa armigera (Hübner) under cotton field conditions. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 44(3): 135-141 https://doi.org/10.22055/ppr.2021.17132

Bjerge, K., Nielsen, J.B., Sepstrup, M.V., Helsing-Nielsen, F.and Høye, T.T. 2021. An Automated Light Trap to Monitor Moths (Lepidoptera) Using Computer Vision-Based Tracking and Deep Learning. Sensors (Basel). 21(2):343-361.

Ding W., and Taylor, G. 2016. Automatic moth detection from trap images for pest management.

Comput Electron Agric 123:17–28. doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.02.003
Guarnieri, A., Maini, S., Molari, G., and Rondelli, V. Automatic trap for moth detection in integrated pest management. Bull. Insectol. 2011, 64, 247–251
Haile, F., Nowatzki, T., and Storer, N. 2021. Overview of Pest Status, Potential Risk, and Management Considerations of Helicoverpa armigera (Lepidoptera: Noctuidae) for U.S. Soybean Production. Journal of Integrated Pest Management. 12(1):1-3.
Hong, Suk-Ju, Sang-Yeon Kim, Eungchan Kim, Chang-Hyup Lee, Jung-Sup Lee, Dong-Soo Lee, Jiwoong Bang, and Ghiseok Kim. 2020. "Moth Detection from Pheromone Trap Images Using Deep Learning Object Detectors" Agriculture 10, no. 5: 170. https://doi.org/10.3390/agriculture10050170
Kaya, Y.; Kayci, L.; Uyar, M. Automatic identification of butterfly species based on local binary patterns and artificial neural network. Appl. Soft Comput. 2015, 28, 132–137
Liu, B.; Hu, Z.; Zhao, Y.; Bai, Y.; Wang, Y. Recognition of Pyralidae Insects Using Intelligent Monitoring Autonomous Robot Vehicle in Natural Farm Scene. arXiv 2019, arXiv:1903.10827.
Ober, H. (2020). FarmSense invited to UC Startup Pitch Showcase. Retrieved from https://news.ucr.edu/articles/2020/01/24/farmsense-invited-uc-startup-pitch-showcase
Silveira, M., Monteiro, A. (2009). Automatic recognition and measurement of butterfly eyespot patterns. Biosystems. 130-136.
Thenmozhi, K.; Reddy, U.S. Crop pest classification based on deep convolutional neural network and transfer learning. Comput. Electron. Agric. 2019, 164, 104906.
Williams, S. (2019). Pest Watch Western Bean Cutworm Trap Comparisons. Retrieved from https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/news/article/2019/07/01/western-bean-cutworm-trap
Zhang, J.P., Salcedo, C., Fang, Y.L., Zhang, R.J., and Zhang, Z.N. 2012. An overlooked component: (Z)-9-tetradecenal as a sex pheromone in Helicoverpa armigera. Journal of Insect Physiology. 58(9):1209-1216.
Zhao, Y., Wang, Y., Wang, J., Hu, Z., Lin, F., Xu, M. GMM and DRLSE based detection and segmentation of pests: A case study. In Proceedings of the 2019 4th International Conference on Multimedia Systems and Signal Processing, Guangzhou China, 10–12 May 2019; pp. 62–66.
Hong S-J, Nam I, Kim S-Y, et al (2021) Automatic Pest Counting from Pheromone Trap Images Using Deep Learning Object Detectors for Matsucoccus thunbergianae Monitoring. Insects 12
Kaya Y, Kayci L (2014) Application of artificial neural network for automatic detection of butterfly species using color and texture features. Vis Comput 30:. https://doi.org/10.1007/s00371-013-0782-8
Rigakis II, Varikou KN, Nikolakakis AE, et al (2021) The e-funnel trap: Automatic monitoring of lepidoptera; a case study of tomato leaf miner. Comput Electron Agric 185:106154. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106154
Shi C, Zhang C, Zhang B, et al (2025) Introduction risk assessment for quarantine pests by environmental monitoring, object detection and Monte Carlo simulation. Comput Electron Agric 233:110132. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110132