

Research Article

Vol. 40, No. 1, 2026, p. 457-468



Bioecology of Elm Leaf Beetle (*Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae)) in Kermanshah

M. R. Paydar¹, A. A. Zamani^{1*}, A. Jamshidi¹

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

(*- Corresponding author's Email: azamani@razi.ac.ir)

Received: 23-08-2025
Revised: 31-12-2025
Accepted: 03-02-2026
Available Online: 21-03-2026

How to cite this article:

Paydar, M. R., Zamani, A. A., & Jamshidi, A. (2026). Bioecology of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae), in Kermanshah. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1), 457-468. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JPP.2026.95058.1248>

Introduction

The elm trees (*Ulmus* spp.) hold significant ecological, aesthetic, and economic importance in urban landscapes and natural forests. Renowned for their broad, dense canopies, elm trees contribute substantially to improving air quality, providing shade, and enhancing the visual appeal of green spaces. Beyond their ornamental value, elm wood is durable and semi-hard, comparable to beech and walnut, and is used in furniture making, veneer production, shipbuilding, and automotive manufacturing. Moreover, urban elm populations support biodiversity by providing habitat and food for various insects and birds. However, elm trees are subjected to biotic stresses, among which the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Coleoptera: Chrysomelidae), is a primary pest causing extensive defoliation and weakening of trees. The elm leaf beetle is an important pest of elm trees, causing significant damage by feeding on leaves, which reduces photosynthesis and weakens the trees. Given the impact of elm trees on urban green spaces, their role in reducing citizen stress, and their functions in air softening and shade provision, necessary measures should be taken to preserve them. This study investigated the infestation level of elm trees and the impact of environmental factors on the pest population in Kermanshah city, Iran.

Materials and Methods

Sampling of different life stages (eggs, larvae, and adults) was conducted every three days on 30 selected elm trees across 13 urban areas from March to December 2023. Population fluctuations were analyzed in relation to temperature and relative humidity. Spatial distribution patterns were determined using Taylor's power law and Iwao's regression methods.

Results and Discussion

The results showed that *X. luteola* has three distinct generations during the growing season under the climatic conditions of Kermanshah. Peak adult populations for each generation were observed on May 16 (2.67 ± 0.30), July 3 (3.00 ± 0.52), and August 28 (2.77 ± 0.31). Temperature had a direct and significant positive effect only on egg population, while humidity had a non-significant negative effect on egg and adult populations. The spatial distribution pattern was characterized using Taylor's power law and Iwao's index. Based on comparison of coefficients of determination (R^2), Taylor's model provided a better fit to the data, and the spatial distribution was random for eggs, first-instar larvae, second-instar larvae, and adults, but aggregated for third-instar larvae. The three distinct population peaks observed across different life stages confirm that temperature variations



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.95058.1248>

significantly impact population growth, especially during the egg-laying stage. The determination of precise peak population timing for different life stages across three generations provides valuable information for implementing timely and targeted control measures in integrated pest management (IPM) programs.

Conclusion

The results of this study emphasize the critical importance of monitoring the population of the elm leaf beetle for effective pest management and help determine the optimal timing for implementing control measures. This study, through examining population fluctuations and environmental factors affecting different life stages of the elm leaf beetle in Kermanshah city, highlights the essential need for a comprehensive understanding of this pest's population dynamics. Identifying distinct population peaks in each life stage offers valuable opportunities for precise and timely pest control interventions. This detailed bio-ecological knowledge is crucial for developing effective IPM programs aimed at reducing pesticide usage, minimizing economic losses, and enhancing the health and sustainability of urban green spaces. Ultimately, the success of sustainably managing this pest depends on continuous, precise population monitoring and the thorough analysis of influential environmental factors.

Keywords: Humidity, Population fluctuation, Sampling, Spatial distribution, Temperature

بیواکولوژی سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae))

در شهر کرمانشاه

محمدرضا پایدار^۱ - عباسعلی زمانی^{۱*} - آرزو جمشیدی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

چکیده

سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Col.: Chrysomelidae))، آفت مهم درختان نارون، *Ulmus* spp. است که در اثر تغذیه از برگ‌های نارون باعث خسارات قابل توجهی از جمله کاهش فتوسنتز و ضعف درختان می‌شود. در این تحقیق، میزان آلودگی درختان نارون به سوسک برگ‌خوار نارون و تأثیر عوامل محیطی بر جمعیت این آفت در شهر کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از مراحل مختلف زیستی آفت شامل تخم، لارو و حشره کامل، روی ۳۰ درخت انتخابی، هر سه روز یک‌بار در ۱۳ منطقه مختلف شهری صورت گرفت. نمونه‌برداری از مراحل مختلف زیستی سوسک، از اسفندماه ۱۴۰۱ تا آذر ۱۴۰۲ انجام شد و نوسانات جمعیتی آفت مذکور در ارتباط با شرایط دمایی و رطوبتی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین جهت تعیین الگوی توزیع فضایی مراحل مختلف زیستی آفت، از روش‌های رگرسیونی تیلور و آیواو استفاده شد. نتایج پایش جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون نشان داد که این آفت در شرایط اقلیمی شهر کرمانشاه دارای سه نسل مجزا در طول فصل رشد است. اوج‌های جمعیتی حشرات کامل برای هر نسل به ترتیب در تاریخ‌های ۲۶ اردیبهشت ($0/30 \pm 2/67$)، ۱۲ تیر ($0/52 \pm 3/00$) و ۶ شهریور ($0/31 \pm 2/77$) مشاهده شد. همچنین اگرچه رابطه تغییرات جمعیت در تمام مراحل زندگی با متغیر دما از نوع مستقیم و مثبت بود، ولی تنها در مرحله تخم، این رابطه از نظر آماری معنی‌دار بود. از سوی دیگر، رطوبت به‌عنوان یک عامل محیطی تأثیر منفی بر جمعیت تخم‌ها و حشرات بالغ داشت و با افزایش رطوبت، جمعیت این مراحل کاهش یافت. الگوی توزیع فضایی سوسک برگ‌خوار با استفاده از قانون تیلور و شاخص آیواو مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج روش تیلور که از دقت بالاتری برخوردار بود، توزیع فضایی برای مراحل تخم، لاروهای سنین یک و دو و حشرات کامل از نوع تصادفی و برای لاروهای سن سه از نوع تجمعی تعیین شد. نتایج این مطالعه، زمان‌بندی دقیق اوج جمعیت مراحل مختلف زندگی آفت در سه نسل مختلف را مشخص نمود که برای تعیین زمان مناسب کنترل در مراحل حساس زندگی آفت در هر نسل، می‌تواند مورد استفاده کاربردی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: توزیع فضایی، دما، رطوبت، نمونه‌برداری، نوسانات جمعیت

مقدمه

جهت حفظ و نگهداری آن‌ها انجام شود (Safari et al., 2019). بیش از ۱۵ گونه از این درختان به‌علت داشتن چوب نیمه‌سخت، در صنایع مختلف از جمله روکش، مبلمان و صنایع چوبی، کشتی‌سازی و صنعت خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرند و در گروه چوب‌های مرغوب مانند راش، *Fagus orientalis* Lipsky و گردو، *Juglans regia* L. قرار دارند (Nilofari, 1984; Hejazi, 1985).

با این وجود، درختان نارون در معرض تهدیدات متعددی قرار دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Col. Chrysomelidae)) است. این آفت با تغذیه شدید خود موجب آسیب جدی به پوشش برگ و کاهش عملکرد فتوسنتزی درخت می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده

گونه‌های نارون (*Ulmus* spp.) از جمله درختان پهن‌برگی هستند که به‌علت دارا بودن قابلیت‌های زینتی و صنعتی از دیرباز مورد توجه قرار گرفته‌اند (Hajjaliloo et al., 2015). با توجه به تأثیر درختان نارون در زیبایی فضاهای سبز شهری، تصفیه هوا از آلاینده‌ها، ایجاد سایه و افزایش کیفیت زیست‌محیطی، اقدامات لازم باید در

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی،

کرمانشاه، ایران

(Email: azamani@razi.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

نشان می‌دهد که مرحله لاروی این آفت بیش‌ترین خسارت را به درخت وارد می‌کند. لاروها با تغذیه از پارانشیم برگ سبب کاهش سطح فتوسنتز و اسکلتی و توری شدن برگ‌ها می‌شوند (Kiarasi et al., 2018). این آفت در اغلب نقاط کشور، خسارت شدیدی به درختان نارون وارد می‌سازد و علاوه بر برگ‌زدایی و تغییرات ظاهری موجب اختلال در فیزیولوژی درختان و کاهش مقاومت در برابر سایر آفات و تنش‌های محیطی و کاهش کیفیت چوب می‌گردد (Arbab et al., 2001 & Hall et al., 1987).

مشکلات مهار و مدیریت سوسک برگ‌خوار نارون عمدتاً به‌دلیل زیست‌شناسی پیچیده، چندنسلی بودن و توانایی این آفت در تطابق با شرایط محیطی مختلف ایجاد شده است. این آفت دارای چندین نسل در سال می‌باشد که سبب افزایش سریع جمعیت و خسارت‌های گسترده به درختان نارون می‌گردد، به‌ویژه نسل بهاره که خسارت شدیدی ایجاد می‌کند. همچنین مقاومت نسبی این حشره به برخی آفت‌کش‌های شیمیایی و فعالیت بالای دشمنان طبیعی از جمله پارازیتوئیدها باعث می‌شود که مهار آن نیازمند برنامه‌های مدیریتی تلفیقی و مستمر باشد (Arbab et al., 2001; Safari, 2019). زنبور پارازیتوئید (*Tetrastichus gallerucae* (Fonscolombe))، یک عامل مهار زیستی مؤثر برای سوسک برگ‌خوار نارون است که با پارازیت کردن تخم‌های این آفت، نقش کلیدی در مدیریت پایدار جمعیت آن روی درختان نارون ایفا می‌کند (Zohdi & Talebi, 2011). لازمه تدوین صحیح برنامه مدیریت تلفیقی هر آفت، داشتن آگاهی کامل از زیست‌شناسی، بوم‌شناسی، آستانه زیان اقتصادی و دینامیس جمعیت آن است (Liebhold et al., 2006). پایش مستمر تغییرات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون سبب شناسایی مناطق آلوده شهری می‌شود؛ در نتیجه می‌توان مدیریت مؤثری روی این آفت داشت و با مشاهده اولین علائم حضور سوسک برگ‌خوار نارون می‌توان اقدام به مهار از طریق روش‌های مدیریت تلفیقی آفت کرد و از وارد شدن خسارت به درختان و فضای سبز شهری جلوگیری کرد (Dreistadt, 2016).

تحقیقات ارباب و همکاران (Arbab et al., 2003) نشان داد که این حشره در ایران و در (سایر مناطق گرمسیری دنیا، دارای سه نسل و در مناطق معتدل دارای دو نسل در سال می‌باشد و همچنین نشان داده شده است که در شهر قزوین، این حشره دارای چهار نسل کامل در سال است. طبق تحقیقات خلیلی ماهانی و همکاران (Khalili Mahani et al., 2004)، تعداد تخم‌هایی که سوسک برگ‌خوار نارون ماده می‌گذارد، تحت تأثیر ویژگی‌هایی چون طول دوره لاروی سنین دوم و سوم، طول عمر حشرات نر و طول دوره پیش از تخم‌ریزی قرار گرفت که البته این ویژگی‌ها، در میزبان‌های مختلف متفاوت بودند.

همچنین نتایج بررسی باروری و جدول زندگی سوسک برگ‌خوار نارون روی چهار گونه میزبان درخت نارون چتری، *Ulmus minor* (Trautv.) 'Umbraculifera'، نارون وسک، *Ulmus minor* Mill.، نارون مجنون، *Ulmus minor* 'Pendula' Boom، و درخت داغداغان، *Celtis australis* L.، در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که در هر دو فصل بهار و تابستان، نرخ خالص تولیدمثل و نرخ ذاتی رشد این آفت روی نارون وسک بیشتر از سایر میزبان‌های مورد بررسی بوده است. براساس تحقیقات میرکریمی و همکاران (Mirkarimi et al., 2006)، نسل بهاره سوسک برگ‌خوار نارون خسارت شدیدی ایجاد کرد، ولی نسل تابستانه، به‌دلیل شرایط فصلی و پارازیتسم شدید زنبورها و مگس‌های پارازیتوئید، خسارت چندانی نداشت. در بلغارستان دو نسل کامل (Pedigo & Wagner, 1989)، در استرالیا یک نسل (Dreistadt & Dahlsten, 1990)، در روسیه دو نسل (Kalguzhnaya, 1995)، در شیلی چهار نسل (Huerta et al., 2011) و در اسپانیا تعداد نسل‌ها با توجه به شرایط اقلیمی مختلف، از یک تا چهار نسل گزارش شده است (Rodrigo et al., 2019). زیست‌شناسی سوسک برگ‌خوار نارون در منطقه کردستان عراق نیز مورد مطالعه قرار گرفت و تعداد سه نسل در سال برای این حشره شناسایی شد (Mustafa, 2020).

تا کنون مطالعه‌ای در مورد زیست‌شناسی سوسک برگ‌خوار نارون در فضاهای سبز شهر کرمانشاه انجام نشده است و این تحقیق برای اولین بار در این منطقه صورت گرفته است. با توجه به گسترش سوسک برگ‌خوار نارون در فضای سبز شهر کرمانشاه، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی نوسانات جمعیت و تعداد نسل آفت، تعیین نوع پراکنش فضایی آفت و شناسایی دشمنان طبیعی آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی نوسانات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون، نمونه برداری از مراحل مختلف زیستی آفت هر سه روز یک بار در قسمت‌های مختلف شهر کرمانشاه انجام شد. نمونه‌برداری‌ها از اسفند سال ۱۴۰۱ آغاز و تا آذر ۱۴۰۲ ادامه داشت. بازدیدهای ابتدایی هر فصل به‌منظور تعیین زمان شروع فعالیت حشرات زمستان‌گذران انجام شد تا زمان دقیق آغاز فعالیت آفت مشخص شود. برای این منظور، ۱۳ منطقه از کرمانشاه به‌عنوان مناطق نمونه‌برداری انتخاب گردید که اطلاعات مربوط به این مناطق در جدول ۱ ارائه شده است. از بین این ۱۳ منطقه، به‌طور تصادفی هر سه روز یک بار شش منطقه انتخاب و در هر دوره نمونه‌برداری، ۳۰ درخت نارون مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی و مشخصات مناطق نمونه‌برداری شده در شهر کرمانشاه

Table 1- Geographical coordinates and characteristics of sampling locations in Kermanshah city

Region name	Geographic coordinate
Ferdowsi Square, City Park (Azadegan)	N3796590.6, E687659.6
Lashgar	N3797079.2, E689828.8
Kianshahr	N3797058.7, E689746.4
Elahiyeh	N3804670.5, E691011.2
Tawon	N3804201.4, E690733.9
Pardis	N3797388.2, E687849.2
Taghbostan	N3808453.8, E695346.3
Kuhistan Park	N3807029.1, E695347.3
Golestan	N3801651.6, E689090.6*
Ershad	N3802226.1, E690998.4
Zafar Blvd.	N3803010.6, E690771.1
Anahita	N3807605.7, E691638.7
Sajjad Blvd.	N3798033.5, E685113.3

$$m^* = \alpha + \bar{x}\beta \quad \text{معادله (۳)}$$

$$m^* = \bar{x} + \left(\frac{s^2}{\bar{x}}\right) - 1 \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن‌ها، α : نشان‌دهنده تمایل افراد جمعیت به تجمع (در صورت مثبت بودن) یا دافعه بین افراد (در صورت منفی بودن) است و β : نشان‌دهنده نوع پراکنش جمعیت است که همانند مقادیر b قانون توان تیلور برای تعیین نوع توزیع فضایی تفسیر می‌شود (Krebs, 1999).

آزمون معنی‌دار بودن اختلاف شیب خط رگرسیون محاسبه‌شده (شاخص b تیلور و β آیوآو) با عدد یک به کمک آماره t بررسی می‌گردد.

$$t = \frac{|\text{slope} - 1|}{SE_{\text{slope}}} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن slope : شیب خط رگرسیون برآوردشده (مقادیر b یا β) و SE_{slope} : خطای استاندارد شیب خط رگرسیون است. مقدار t محاسبه‌شده با t جدول با درجه آزادی $n-2$ مقایسه و اگر قدرمطلق مقدار t محاسبه‌شده از t جدول بزرگ‌تر باشد، اختلاف مقادیر b تیلور و β آیوآو با عدد یک معنی‌دار و پراکنش فضایی آفت تجمعی یا یکنواخت خواهد بود، ولی اگر اختلاف با عدد یک معنی‌دار نباشد، پراکنش از نوع تصادفی خواهد بود (Feng & Nowierski, 1992). پس از تعیین نوع توزیع فضایی براساس هر یک از شاخص‌ها، تعداد نمونه‌برداری بهینه (N_{opt}) با استفاده از ضرایب رگرسیونی Taylor's power law (معادله ۶) و Iwao's patchiness method (معادله ۷) محاسبه گردید.

$$N_{opt} = \left(\frac{t\alpha/2}{D}\right)^2 2a\bar{x}^{(b-2)} \quad \text{معادله (۶)}$$

$$N_{opt} = \left(\frac{t\alpha/2}{D}\right)^2 2\left(\frac{\alpha+1}{\bar{x}} + \beta - 1\right) \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن‌ها، D : معادل میزان خطای قابل قبول بوده و بیانگر نسبت ثابت و مطلوب میانگین است. به عبارت دیگر، اگر مقدار $D=0.25$ باشد، نشان می‌دهد که ۹۵ درصد احتمال دارد که میانگین

در فرآیند بررسی درخت‌های نارون، تعداد ۳۰ درخت نارون از نواحی مختلف شهر به صورت تصادفی انتخاب شد و روی هر درخت و در قسمت میانی تاج آن، در هر یک از چهار جهت اصلی، یک سرشاخه به طول ۲۰ سانتی‌متر انتخاب و با دقت مورد بررسی قرار گرفت و تعداد تخم، لاروهای سنین یک تا سه، شفیره و حشرات کامل روی آن‌ها شمارش و ثبت گردید. هر سرشاخه ۲۰ سانتی‌متری، به عنوان یک واحد نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. به منظور مشاهده بهتر و شمارش دقیق، از یک ذره‌بین استفاده گردید.

برای تعیین الگوی توزیع فضایی مراحل مختلف زیستی آفت، از روش رگرسیونی تیلور و آیوآو استفاده شد. در روش تیلور، داده‌های مربوط به هر تاریخ نمونه‌برداری به طور جداگانه در نظر گرفته شده و میانگین و واریانس آن‌ها محاسبه گردید. طبق این روش، بین واریانس جمعیت (S^2) و میانگین تراکم جمعیت ($\bar{x}$) معادله ۱ برقرار است.

$$S^2 = a\bar{x}^b \quad \text{معادله (۱)}$$

برای تبدیل معادله ۱ به یک رابطه خطی و محاسبه ضرایب a و b ، دو طرف معادله فوق در لگاریتم ضرب می‌گردد و معادله ۲ به دست خواهد آمد.

$$\text{Log}(s^2) = \log(a) + b \log(\bar{x}) \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، a : عرض از مبدأ که به اندازه نمونه بستگی دارد، b : شیب خط که نشان‌دهنده نوع الگوی توزیع فضایی آفت است که طبق قانون توان تیلور به شرح ذیل تفسیر می‌شود: اگر مقدار b برابر با ۱ باشد، توزیع فضایی تصادفی است؛ اگر بزرگ‌تر از ۱ باشد، توزیع فضایی تجمعی و اگر کمتر از ۱ باشد، توزیع فضایی یکنواخت است (Arlando & Torres, 2005).

شاخص آیوآو در حقیقت شیب رابطه رگرسیونی بین میانگین ازدحام لویید m^* و میانگین جمعیت ($\bar{x}$) است که طبق معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌گردد.

جمعیت آن‌ها ملایم‌تر و نسبتاً پایدارتر از مراحل تخم و لارو بود. در مجموع، سه اوج ظهور حشرات کامل، در روزهای ۲۶ اردیبهشت، ۱۲ تیر و ۶ شهریور مشاهده شد. بیشترین جمعیت حشرات کامل در کل فصل، در روز ۶ شهریور با میانگین $2/77 \pm 0/31$ حشره به‌ازای هر واحد نمونه‌برداری به دست آمد.

اثر دما و رطوبت بر نوسانات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون

رابطه نوسانات جمعیت مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با تغییرات دما و رطوبت نسبی روزانه محیط، با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه بررسی شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که اگرچه رابطه تغییرات جمعیت در تمام مراحل زندگی با متغیر دما از نوع مستقیم بود، ولی تنها در مرحله تخم این رابطه از نظر آماری معنی‌دار شد ($P = 0.003$) و در سایر مراحل، دما اثر معنی‌داری روی تغییرات جمعیت نداشت. در مورد رطوبت نسبی، تغییرات جمعیت در تمام مراحل زیستی به‌جز مرحله تخم، رابطه عکس با تغییرات رطوبت نسبی روزانه داشت، ولی در هیچ یک از موارد این رابطه از نظر آماری معنی‌دار نبود.

تعیین الگوی توزیع فضایی

برای تعیین الگوی توزیع فضایی سوسک برگ‌خوار نارون، از قانون توان تیلور و شاخص آیوانو استفاده شد. دلیل استفاده از این دو روش آن است که این شاخص‌ها براساس داده‌های حاصل از چندین مرحله نمونه‌برداری به دست می‌آیند و به‌عنوان روش‌های رگرسیونی با دقت بالا شناخته می‌شوند. این تکنیک‌ها به‌خوبی می‌توانند الگوهای پراکنش و تجمع آفت را در محیط مورد بررسی تشخیص دهند و اطلاعات مفیدی درباره تراکم و توزیع فضایی آن ارائه دهند.

قانون توان تیلور یک رابطه آماری است که برای تعیین الگوی توزیع فضایی جمعیت موجودات زنده از جمله آفات استفاده می‌شود. این قانون به‌طور گسترده در بوم‌شناسی و علوم کشاورزی برای تحلیل پراکنش و توزیع فضایی گونه‌ها به کار گرفته می‌شود. در واقع، قانون توان تیلور نشان می‌دهد که چگونه واریانس (پراکندگی) یک جمعیت نسبت به میانگین تراکم آن تغییر می‌کند. در جدول ۳ آماره‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده براساس قانون توان تیلور برای مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون ارائه شده است. بر این اساس، مقادیر شیب خط برای مراحل لارو سن سه و مجموع مراحل نابالغ، به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از یک هستند، که نشان‌دهنده الگوی تجمعی در این مراحل است. این بدان معنا است که جمعیت آفت در این مراحل تمایل به تجمع در نقاط خاص دارد. برای سایر مراحل زندگی، شیب خط رگرسیون تفاوت معنی‌داری با یک نشان ندادند و بیانگر وجود

نمونه، ۲۵ درصد بالاتر یا پایین‌تر از میانگین واقعی جامعه باشد (Southwood & Henderson, 2009).

به‌منظور بررسی ارتباط بین تغییرات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون و متغیرهای میانگین دما و رطوبت نسبی روزانه، از مدل رگرسیون چندگانه استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج

نوسانات جمعیت مراحل زیستی مختلف سوسک برگ‌خوار

نارون در شهر کرمانشاه

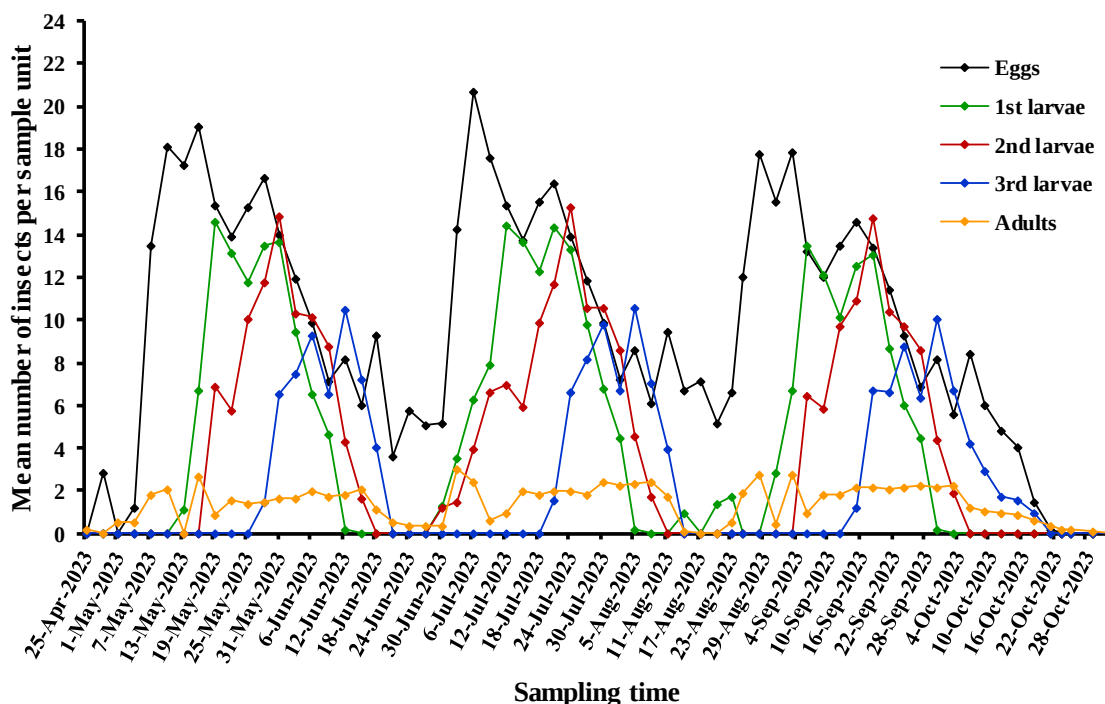
طی یک برنامه نمونه‌برداری منظم، از اوایل اسفند ۱۴۰۱ تا آخر آذر ۱۴۰۲، نوسانات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون به‌طور منظم هر سه روز یک بار بررسی شد و نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است. به‌طور مشخص، سه اوج (پیک) جمعیتی در مراحل مختلف زیستی این حشره مشاهده شد. نخستین دسته‌جات تخم در اوایل اردیبهشت در برخی از نقاط نمونه‌برداری شده مشاهده گردید که نشان‌دهنده آغاز فعالیت آفت در فصل جدید است. بیشترین میزان تخم‌ریزی در روز ۲۶ اردیبهشت مشاهده شد، زمانی که تعداد تخم به ۱۹ عدد در هر واحد نمونه‌برداری رسید، کاهش میزان تخم‌ریزی آغاز گردید. دومین اوج تراکم تخم‌ها در روز ۱۶ تیر مشاهده شد که در این زمان به‌طور میانگین $2/47 \pm 20/73$ تخم در هر واحد نمونه‌برداری به ثبت رسید که بالاترین مقدار در طول فصل بود و سومین اوج تخم‌ریزی نیز در ۱۲ شهریور رخ داد و به این ترتیب سه دوره تخم‌ریزی مشخص برای سوسک برگ‌خوار نارون در طول فصل ثبت گردید (شکل ۱).

بررسی نوسانات جمعیت در مراحل لاروی، که بیشترین میزان آسیب را به درختان وارد می‌کنند، نشان داد که لاروهای سن یک، سه اوج جمعیتی در روزهای ۲۹ اردیبهشت، ۲۱ تیر و ۱۵ شهریور داشتند. بالاترین جمعیت لاروهای سن یک با میانگین $1/25 \pm 14/60$ لارو در هر واحد نمونه‌برداری در روز ۲۹ اردیبهشت مشاهده شد. برای لاروهای سن دو نیز الگوی مشابه تخم ثبت شد؛ سه اوج مشخص در تاریخ‌های ۱۰ خرداد، ۲ مرداد و ۲۷ شهریور تشخیص داده شد. اوج جمعیت لاروهای سن سه که مرحله نهایی لاروی قبل از شفیرگی محسوب می‌شود، به‌ترتیب در روزهای ۲۲ خرداد، ۱۴ مرداد و ۸ مهر به ثبت رسید. این الگوی نسبتاً منظم و پیوسته در نوسانات جمعیت آفت، نشان‌دهنده وجود یک روند قابل پیش‌بینی در تطابق آن با شرایط اقلیمی و محیطی منطقه کرمانشاه است.

روند نوسانات جمعیت حشرات بالغ *X. luteola*، نسبت به مراحل تخم و لاروی تفاوت داشت و زمان‌های اوج تراکم جمعیت آن‌ها برخلاف مراحل قبل، چندان متمایز از زمان‌های دیگر نبود و نوسانات

برگ‌خوار نارون را توصیف کرده است. ضمن اینکه با توجه به مقادیر P_{value} برای تمام مراحل زیستی، رابطه رگرسیونی بین لگاریتم واریانس و لگاریتم میانگین معنی‌دار بود.

توزیع تصادفی برای این مراحل است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، مقادیر ضریب تبیین (R^2) برای تمام مراحل (۰/۷۱۷ – ۰/۹۲۸) به یک نزدیک بودند که نشان می‌دهد، قانون توان تیلور به‌خوبی الگوی توزیع فضایی سوسک



شکل ۱- نوسانات جمعیت مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola*) در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۲
Figure 1- Population fluctuation of different life stages of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola*, across various months in 2023

جدول ۲- نتایج بررسی رابطه نوسانات جمعیت مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola*)، با تغییرات میانگین دما و رطوبت نسبی روزانه با استفاده از روش رگرسیون چندگانه

Table 2- Multiple regression analysis of population fluctuations of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola*, in relation to average daily temperature and humidity

Life stage	Relative humidity		Temperature		Regression	
	Coefficient	Pvalue	Coefficient	Pvalue	r	Pvalue
Egg	0.013 ± 0.060	0.825	0.414 ± 0.135	0.003	0.452	0.001
Larva 1	-0.004 ± 0.061	0.944	0.212 ± 0.138	0.131	0.265	0.104
Larva 2	-0.005 ± 0.055	0.925	0.193 ± 0.123	0.121	0.274	0.089
Larva 3	-0.023 ± 0.041	0.581	0.028 ± 0.093	0.761	0.137	0.555
Adult	-0.012 ± 0.010	0.209	0.023 ± 0.022	0.295	0.35	0.018

ضرایب β با عدد یک تفاوت معنی‌داری نداشتند و نشان می‌دهد که الگوی توزیع فضایی برای تمام مراحل از نوع تصادفی بود. با بررسی نتایج آماره t_{β} نیز مشخص است که همه مقادیر از مقادیر جدول کوچک‌تر بودند و بنابراین به لحاظ آماری، توزیع فضایی برای همه مراحل از نوع تصادفی بود (جدول ۴).

نتایج مربوط به تحلیل توزیع فضایی مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با استفاده از شاخص آیوانو در جدول ۴ ارائه شده است. ضریب بتا برای مراحل مختلف زیستی به‌ترتیب برای مراحل تخم، لارو سن ۱، لارو سن ۲، لارو سن ۳، حشره کامل و مجموع مراحل نابالغ برابر با ۰/۸۸۴، ۰/۹۵۱، ۰/۸۴۶، ۰/۹۷۱، ۰/۹۸۸ و ۰/۱۴ به دست آمد. به‌طور کلی، در تمام مراحل زیستی، مقادیر

جدول ۳- آماره‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده براساس قانون توان تیلور برای مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون

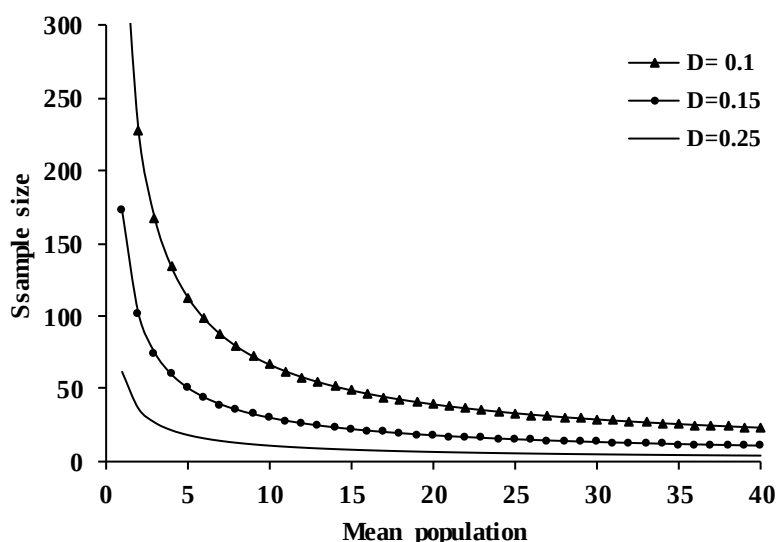
Table 3- Taylor's power law regression analysis for spatial distribution patterns of elm leaf beetle life stages

Life stage	Intercept $\pm$ SE (Confidence interval 95%)	b $\pm$ SE (Confidence interval 95%)	t _{table} ($\alpha=0.05$)	t _b (df)	R ²	P _{value}	Spatial distribution
Egg	0.840 $\pm$ 0.103 (0.634-1.046)	0.919 $\pm$ 0.103 (0.713-1.125)	2.004	0.786 (58)	0.583	0.000**	Random
Larvae1	0.618 $\pm$ 0.096 (0.423 $\pm$ 0.813)	1.005 $\pm$ 0.109 (0.784 $\pm$ 1.227)	2.029	0.055 (38)	0.701	0.000**	Random
Larvae2	0.764 $\pm$ 0.090 (0.580 $\pm$ 0.948)	0.854 $\pm$ 0.104 (0.643 $\pm$ 1.066)	2.037	1.403 (34)	0.679	0.000**	Random
Larvae3	0.479 $\pm$ 0.041 (0.395 $\pm$ 0.563)	1.163 $\pm$ 0.053 (1.054 $\pm$ 1.273)	2.052	3.075 (29)	0.946	0.000**	Cumulative
Adult	-0.002 $\pm$ 0.034 (-0.070 $\pm$ 0.066)	0.943 $\pm$ 0.076 (0.790 $\pm$ 1.096)	2.001	0.750 (61)	0.717	0.000**	Random
Total immature stages	0.475 $\pm$ 0.093 (0.288 $\pm$ 0.661)	1.187 $\pm$ 0.083 (1.020 $\pm$ 1.354)	2.023	2.947 (49)	0.843	0.000**	Cumulative

جدول ۴- آماره‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده براساس شاخص آیواتو برای مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون

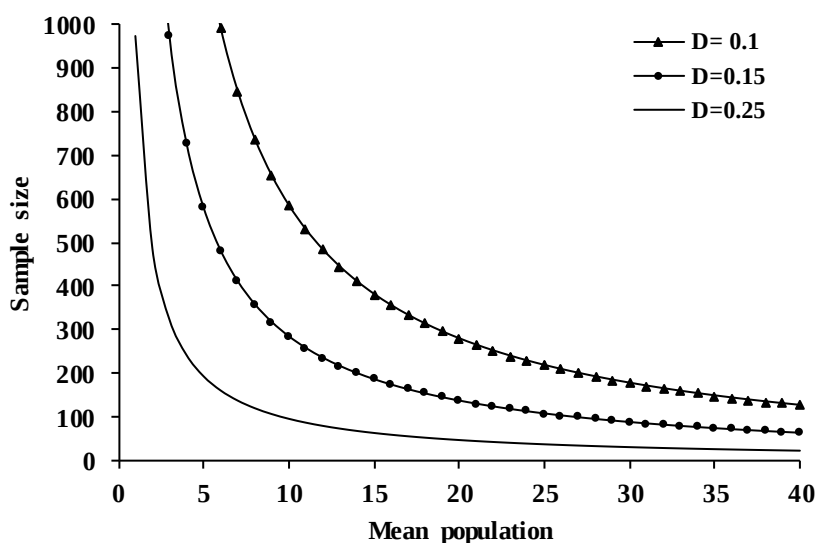
Table 4- Iwao's patchiness regression analysis for spatial distribution patterns of elm leaf beetle life stages

Life stage	Intercept $\pm$ SE (Confidence interval 95%)	$\beta\pm$ SE (Confidence interval 95%)	t _{table} ($\alpha=0.05$)	t _p (df)	R ²	P _{value}	Spatial distribution
Egg	7.273 $\pm$ 1.424 (4.421 $\pm$ 10.125)	0.884 $\pm$ 0.122 (0.640 $\pm$ 1.128)	2.004	0.950 (58)	0.480	0.000**	Random
Larvae1	4.596 $\pm$ 0.663 (3.252 $\pm$ 5.940)	0.915 $\pm$ 0.072 (0.770 $\pm$ 1.060)	2.029	0.680 (38)	0.824	0.000**	Random
Larvae2	4.862 $\pm$ 0.803 (3.226 $\pm$ 6.497)	0.864 $\pm$ 0.092 (0.677 $\pm$ 1.052)	2.037	1.770 (34)	0.739	0.000**	Random
Larvae3	2.864 $\pm$ 0.427 (1.987 $\pm$ 3.741)	1.021 $\pm$ 0.066 (0.887 $\pm$ 1.156)	2.052	0.402 (29)	0.868	0.000**	Random
Adult	0.202 $\pm$ 0.186 (0.170 $\pm$ 0.575)	0.988 $\pm$ 0.113 (0.763 $\pm$ 1.213)	2.001	0.106 (61)	0.562	0.000**	Random
Total immature stages	4.304 $\pm$ 0.593 (3.111 $\pm$ 5.496)	1.002 $\pm$ 0.032 (0.937 $\pm$ 1.068)	2.023	0.437 (49)	0.954	0.000**	Random



شکل ۲- ارتباط بین تعداد نمونه بهینه و میانگین تراکم جمعیت مجموع مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با استفاده از روش رگرسیونی تیلور در سال ۱۴۰۲

Figure 2- Relationship between the optimal sample size and the average population density of all life stages of the elm leaf beetle using the Taylor regression method in 2023



شکل ۳- ارتباط بین تعداد نمونه بهینه و میانگین تراکم جمعیت مجموع مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با استفاده از روش رگرسیونی آیوانو در سال ۱۴۰۲

Figure 3- Relationship between the optimum sample size and the average population density of all life stages of the elm leaf beetle using the Iwao regression method in 2023

به‌عنوان مثال، در سطح دقت $D=0.1$ ، اگر میانگین تراکم جمعیت سوسک برگ‌خوار در یک واحد نمونه‌برداری ۵ باشد، روش تیلور تعداد نمونه را حدود ۱۱۳ برآورد می‌کند، درحالی‌که روش آیوانو برای همین شرایط، تعداد نمونه را بیش از ۱۰۰۰ نمونه تخمین می‌زند. برای سطح دقت $D=0.25$ ، برای میانگین تراکم جمعیت ۵، تعداد نمونه بهینه با استفاده از روش‌های تیلور و آیوانو به ترتیب ۱۹ و ۱۹۲ نمونه برآورد می‌شود. بر این اساس، روش تیلور امکان برنامه‌ریزی بهینه در نمونه‌برداری را فراهم می‌آورد تا ضمن حفظ دقت مطلوب، از اتلاف منابع و زمان جلوگیری شود.

بحث

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سوسک برگ‌خوار نارون، در شرایط اقلیمی شهر کرمانشاه دارای سه نسل مشخص با تراکم جمعیتی نسبتاً یکنواخت است. تعداد نسل سوسک برگ‌خوار نارون در مناطق مختلف جهان، بسته به شرایط اقلیمی، بین دو تا چهار نسل در سال گزارش شده است (Dreistadt & Arbab et al., 2003; Dahlsten, 1990; Huerta et al., 2011; Rodrigo et al., 2019; Mustafa, 2020). این تنوع، بیانگر پاسخ بیولوژیک متفاوت آفت به متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و طول فصل رشد در هر منطقه است. وجود سه نسل از آفت در کرمانشاه، با گزارش منطقه هم‌اقلیم شمال عراق (Mustafa, 2020) مطابقت دارد. مشاهده تعداد نسل کمتر در مناطق معتدل‌تر و نسل‌های بیشتر در مناطق با فصل رشد طولانی‌تر و گرم‌تر، نقش تعیین‌کننده اقلیم منطقه در پویایی جمعیت

در مواردی که نتایج حاصل از روش‌های تیلور و آیوانو در تعیین الگوی توزیع فضایی آفت متفاوت هستند، مقدار ضریب تبیین (R^2)، به‌عنوان معیار ارزیابی دقت برازش مدل به داده‌ها اهمیت می‌یابد و در شرایط وجود تناقض بین نتایج دو روش، برای تشخیص الگوی پراکنش فضایی آفت، اولویت با استفاده از روشی است که ضریب تبیین بالاتری دارد. با توجه به مقایسه مقدار R^2 در مدل‌های تیلور و آیوانو برای حشرات کامل مدل تیلور ($R^2 = 0.717$) و برای مجموع مراحل نابالغ، مدل آیوانو ($R^2 = 0.954$) داده‌ها را بهتر برازش کردند. منحنی‌های مربوط به تعداد نمونه بهینه و میانگین تراکم مجموع مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون در سه سطح دقت ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد با استفاده از ضرایب روش‌های رگرسیونی قانون توان تیلور و شاخص آیوانو در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. نمودارهای مربوط به تعیین تعداد نمونه نشان می‌دهند که در تراکم‌های یکسان از جمعیت آفت، روش رگرسیونی قانون توان تیلور، تعداد نمونه کمتری را در مقایسه با روش آیوانو برآورد می‌کند. در هر دو نمودار مشخص است که با افزایش میانگین تراکم جمعیت، تعداد نمونه‌های لازم برای دستیابی به دقت‌های مختلف (۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد) کاهش می‌یابد. این روند بیانگر آن است که هرچه تراکم جمعیت بالاتر باشد، نمونه‌برداری با حجم کمتر نیز قادر به برآورد دقیق‌تر پراکندگی جمعیت خواهد بود. همان‌گونه که مشخص است، با استفاده از روش رگرسیون قانون توان تیلور در تمام سطوح دقت، تعداد نمونه‌های کمتری نسبت به روش آیوانو مورد نیاز است و نشان می‌دهد که این روش برای برآورد تعداد نمونه، کارآمدتر از روش آیوانو است.

این آفت را به‌وضوح نشان می‌دهد. تفاوت در تعداد نسل‌ها نه یک تناقض، بلکه بازتابی از سازگاری این گونه با طیف وسیعی از زیستگاه‌ها است که ضرورت درک آن برای برنامه‌ریزی مدیریت منطقه‌ای آفت را بیشتر نشان می‌دهد. ویژگی خاص آفت در مطالعه حاضر، یکنواختی نسبی در تراکم جمعیت بین نسل‌های مختلف است که با بسیاری از گزارش‌های قبلی متفاوت است، زیرا درحالی‌که مطالعات میرکریمی و همکاران (Mirkarimi et al., 2006) کاهش تدریجی تراکم در نسل‌های بعدی را نشان دادند، در این تحقیق، نسل‌های دوم و سوم، تقریباً با همان شدت نسل اول ظاهر شدند، پدیده‌ای که می‌تواند ناشی از شرایط اقلیمی نسبتاً پایدار منطقه کرمانشاه در طول فصل رشد، کیفیت و در دسترس بودن مداوم میزبان (درختان نارون)، تعادل خاص در جمعیت دشمنان طبیعی و سازگاری فیزیولوژیک جمعیت محلی این آفت با شرایط منطقه باشد. این یافته‌ها، اهمیت مطالعات منطقه‌ای در مدیریت آفات را برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که الگوی زیستی و جمعیتی یک آفت تا چه حد می‌تواند در مناطق مختلف، متفاوت باشد. این روند تقریباً یکنواخت تغییرات جمعیت نسل‌های مختلف سوسک برگ‌خوار نارون در شهر کرمانشاه، لزوم اجرای برنامه‌های نظارت و مهار مستمر در طول فصل را آشکار می‌سازد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که دما تأثیر مستقیم اما متفاوتی بر مراحل مختلف زندگی سوسک برگ‌خوار نارون دارد. درحالی‌که تأثیر دما بر مرحله تخم از نظر آماری معنی‌دار بود، برای مراحل لاروی و حشرات بالغ اثر معنی‌دار دما به اثبات نرسید. این تفاوت را می‌توان با در نظر گرفتن تفاوت‌های اساسی در بوم‌شناسی و فیزیولوژی این مراحل توضیح داد. مرحله تخم، به‌عنوان یک ساختار ثابت و غیرمتحرک، برای نمو جنینی و تفریح به‌شدت و به‌طور مستقیم به درجه حرارت وابسته است (Bale et al., 2002). در مقابل، مرحله لاروی، در معرض طیف وسیعی از عوامل تنظیم‌کننده جمعیت قرار دارد. پس از تفریح تخم، جمعیت اولیه لاروها بلافاصله تحت تأثیر عواملی مانند شکارگری، پارازیتسم، رقابت درون‌گونه‌ای بر سر منابع غذایی و بیماری‌ها قرار می‌گیرد. این عوامل می‌توانند اثر افزایشی اولیه دما بر تعداد تخم را به‌سرعت خنثی یا پنهان کنند، به‌طوری‌که نوسانات نهایی جمعیت لاروها، از یک رابطه خطی ساده با دما پیروی نمی‌کند و بیشتر تحت تأثیر این عوامل زیستی پیچیده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، تحرک لاروها نسبت به تخم‌های ثابت، می‌تواند منجر به پراکنش فضایی متفاوت و واریانس بالاتر در داده‌های نمونه‌برداری شود که خود می‌تواند توان آماری برای تشخیص یک رابطه خطی ساده را کاهش دهد. در مورد رطوبت نسبی، اگرچه نتایج ما رابطه معکوسی را نشان داد، اما این رابطه از نظر آماری معنی‌دار نبود. براساس نظریه هافمن و همکاران (Hoffmann et al., 2003)، رطوبت نسبی تأثیر غیرخطی و پیچیده‌ای بر فیزیولوژی و اکولوژی

حشرات دارد. این نظریه پیش‌بینی می‌کند که اثرات رطوبت بر شاخص‌های زیستی حشرات عمدتاً در شرایط حدی (رطوبت بسیار بالا یا بسیار پایین) بروز می‌کند و در محدوده میانی رطوبت، تأثیرات آن معمولاً کم‌اهمیت‌تر و گاه غیرقابل تشخیص است. این الگو احتمالاً ناشی از سازوکارهای تطابقی و فیزیولوژیک است که به حشرات اجازه می‌دهد که در محدوده وسیعی از شرایط رطوبتی به حیات خود ادامه دهند. این نظریه توضیح می‌دهد که چرا در بسیاری از مطالعات میدانی (از جمله تحقیق حاضر)، روابط معنی‌داری بین رطوبت نسبی و تغییرات جمعیت حشرات در شرایط نرمال مشاهده نمی‌شود. یافته‌های ما با مطالعات دویج و همکاران (Deutsch et al., 2008) که نشان دادند دما به‌عنوان عامل غالب بر رشد جمعیت حشرات عمل می‌کند، همسو است. این محققان با استفاده از روش‌های آماری پیشرفته تأیید کردند که اثر دما معمولاً قوی‌تر از رطوبت ظاهر می‌شود. با این حال، نتایج ما در برخی موارد با مطالعات دیگر تفاوت دارد که این موضوع را می‌توان با نظریه کینگسالور و همکاران (Kingsolver et al., 2011) توجیه کرد. براساس این نظریه، پاسخ حشرات به عوامل محیطی به‌شدت تحت تأثیر سازگاری‌های محلی قرار دارد. این یافته‌ها به‌طور کلی نشان می‌دهد که روابط بین عوامل محیطی و دینامسم جمعیت حشرات معمولاً ساده و خطی نیست و به عوامل متعددی مانند سازگاری‌های جمعیت محلی، تعامل پیچیده بین عوامل محیطی، مرحله زندگی حشره و شرایط خاص منطقه مورد مطالعه وابسته است. این پیچیدگی‌ها، ضرورت انجام مطالعات جداگانه روی آفات در مناطق مختلف را برای درک بهتر روابط اکوفیزیولوژیک، به‌خوبی نشان می‌دهد.

نتایج این مطالعه که با استفاده از دو روش تی‌تور و آی‌واو به بررسی توزیع فضایی سوسک برگ‌خوار نارون پرداخته است، نشان می‌دهد که اکثر مراحل زندگی این آفت (تخم، لاروهای سنین یک و دو، و حشرات کامل) از الگوی توزیع تصادفی پیروی می‌کنند، درحالی‌که لاروهای سن سه با توجه به دقت بالاتر مدل تی‌تور، الگوی تجمع‌ی را نشان دادند. این یافته‌ها با مطالعات ساوت وود و هندرسون (Southwood & Henderson, 2009) هم‌خوانی دارد که توزیع تصادفی را در غیاب عوامل محدودکننده شدید محیطی برای بسیاری از حشرات گزارش کرده‌اند. تفاوت در الگوی توزیع لاروهای سن سه ممکن است ناشی از عوامل متعددی باشد، از جمله تغییر رفتار تغذیه‌ای در مراحل مختلف لاروی، افزایش تحرک لاروهای مسن‌تر، واکنش متفاوت به عوامل محیطی و تأثیر دشمنان طبیعی. در مقایسه دو روش تحلیلی، مدل تی‌تور برای تخمین تعداد نمونه بهینه در سطوح دقت مختلف کارایی بیشتری نشان داد که با یافته‌های کلاسیک تی‌تور (Taylor, 1961) و مطالعات ناکمن (Nachman, 1981) مطابقت دارد. اهمیت این نتایج از جنبه کاربردی در طراحی برنامه‌های مدیریت آفات، همان‌طور که کربس (Krebs, 1999) تأکید کرده است، بسیار

درک جامع‌تری از اکولوژی این آفت به دست آید.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با بررسی نوسانات جمعیت و عوامل مؤثر بر مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون در شهر کرمانشاه، اهمیت شناخت دقیق رفتار جمعیتی این آفت و تأثیر شرایط محیطی را برجسته می‌کند. یافته‌ها نشان داد که تغییرات دما تأثیر قابل توجهی بر افزایش جمعیت، به‌ویژه در مرحله تخم‌ریزی داشت. مشخص شدن زمان‌های اوج جمعیتی برای هر مرحله زیستی، فرصت مناسبی را برای انجام اقدامات کنترلی هدفمند فراهم می‌آورد. این اطلاعات زیستی و بوم‌شناختی می‌تواند به طراحی برنامه‌های مدیریت تلفیقی مؤثر، با حداقل مصرف آفت‌کش‌ها و کاهش خسارت‌های اقتصادی آفت کمک کند و حفظ سلامت و کیفیت فضای سبز شهری را تسهیل نماید. پایش مستمر و دقیق جمعیت آفت، همراه با تحلیل عوامل محیطی، از ضروریات موفقیت در مدیریت پایدار این آفت است.

حیاتی است، چرا که شناخت دقیق الگوی پراکنش، امکان اجرای روش‌های مهار هدفمندتر و صرفه‌جویی در منابع را فراهم می‌آورد. در پهنه‌های شهری که الگوی کشت نارون در فضای سبز یکپارچه نیست، تعداد بالای درختان نارون می‌تواند زمینه‌ساز حضور آفت باشد، اما الگوی تجمع آن بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های زیستی آفت، کیفیت میزبان، حضور دشمنان طبیعی و شرایط محیطی است. از دیدگاه عملیاتی، محاسبه تعداد نمونه بهینه با استفاده از این روش‌ها در مدیریت تلفیقی آفات، این امکان را می‌دهد تا برنامه‌های پایش آفات براساس اصول علمی طراحی شود. به‌عنوان مثال، در سطح دقت ۲۵ درصد، مدل تیلور تعداد نمونه کمتری نسبت به روش آیواو پیشنهاد می‌دهد که این امر منجر به صرفه‌جویی قابل توجه در زمان و هزینه می‌شود. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که نیاز به پایش سریع و کارآمد جمعیت آفت وجود دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجاکه مدل تیلور براساس نتایج مطالعه حاضر از دقت و کارایی بیشتری برخوردار است، می‌تواند مبنای علمی برای برنامه‌ریزی نمونه‌برداری و مدیریت این آفت در منطقه کرمانشاه باشد. هرچند پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، تأثیر عوامل دیگری مانند ساختار فضایی میزبان و دشمنان طبیعی نیز مورد بررسی قرار گیرد تا

References

- Arbab, A., Jalali Sendi, J., & Sahragard, A. (2001). On the biology of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae) in laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 21(2), 73-85. (In Persian with English abstract)
- Arbab, A., Jalali Sendi, J., & Sahragard, A. (2003). Some aspects of bioecology of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Mull. (Col.: Chrysomelidae) in Qazvin urban area. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 34(4), 847-854. (In Persian with English abstract)
- Arlando, P. S., & Torres, L. M. (2005). Spatial distribution and sampling of *Thaumetopoea pityocampa* (Lep.: Thaumetopoeidae) populations on pinus pinstar. *Forest Ecology and Management*, 210(1-3), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.041>
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., & Good, J. E. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1-16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668-6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>
- Dreistadt, S. H. (2016). Pests of Landscape Trees and Shrubs: An Integrated Pest Management Guide. UCANR Publications, Oakland, California, USA. 448 pages.
- Dreistadt, S. H., & Dahlsten, D. L. (1990). Relationships of temperature to elm leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) development and damage in the field. *Journal of Economic Entomology*, 83(3), 837-841. <https://doi.org/10.1093/jee/83.3.837>
- Feng, M. G., & Nowierski, R. M. (1992). Spatial distribution and sampling plans for four species cereal aphid (Hom.: Aphididae) infesting spring wheat in southwestern Idaho. *Journal of Economic Entomology*, 85(3), 830-837. <https://doi.org/10.1007/BF02372427>
- Hajjaliloo, S., Moruj, G., & Sadeghi Namghi, H. (2015). Studying the population and life cycle of the elm leaf-eating beetle *Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae) in Mashhad region. The First Conference on the Sustainable Development of Urban Green Space, Yesterday, Today, Tomorrow. Tabriz. (In Persian)
- Hall, R. W., Townsend, A. M., & Barger, J. H. (1987). Suitability of thirteen different host species for elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Environmental Horticulture*, 5(3), 143-145. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-5.3.143>
- Hejazi, R. (1985). Wood Science and Wood Industry. Tehran University Press, Tehran, Iran. 326 pages (In Persian).

- Hoffmann, A. A., Hallas, R. J., Dean, J. A., & Schiffer, M. (2003). Low potential for climatic stress adaptation in a rainforest *Drosophila* species. *Science*, 301(5629), 100-102. <https://doi.org/10.1126/science.1084296>
- Huerta, A., Chiffelle, I., Puga, K., Azúa, F., Jimenez, R., & Araya, J. E. (2011). Life cycle of *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Santiago, Chile, and sex phenotype differentiation of adults. *Boletín de Sanidad Vegetal de Plagas*, 37, 57-64.
- Kalguzhnaya, N. (1995). *Galerucella luteola* (Col.: Chrysomelidae) as a pest of plantations of trees in the Southern Eryeni Hills. *Entomologi-Cheskone Obozrenie*, 14(1), 45-51. <https://doi.org/10.5555/19961102526>
- Khalili Mahani, M., Seydoleslami, H., & Hatami, B. (2004). Studying the life tables and fertility of the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Müller (Chrysomelidae: Col) on four different hosts in laboratory conditions. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, 8(3), 209-216. (In Persian)
- Kiarasi, M., Arbab, A., Sheikharjan, A., Moradi, M., & Mohammadipour, A. (2018). Investigation on the efficacy of chemical control of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Mull. by trunk injection. *Journal Pesticides in Plant Protection Sciences*, 5(1), 32-42. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/JPPPS.2018.120587>
- Kingsolver, J. G., Arthur Woods, H., Buckley, L. B., Potter, K. A., MacLean, H. J., & Higgins, J. K. (2011). Complex life cycles and the responses of insects to climate change. *Integrative and Comparative Biology*, 51(5), 719-732. <https://doi.org/10.1093/icb/ucr015>
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology*. 2nd Edition. Benjamin Cummings, Menlo Park, California, USA, 624 pages.
- Liebold, A. M., Johnson, D. M., & Bjornstad, O. N. (2006). Geographic variation in density-dependent dynamics impacts the synchronizing effect of dispersal and regional stochasticity. *Population Ecology*, 48, 131-138. <https://doi.org/10.1007/s10144-005-0248-6>
- Mirkarimi, A., Esmaili, M., & Azmaeshfared, P. (2006). *Agricultural Entomology (insects, mites, rodents and harmful molluscs) and Their Control*. Tehran University Printing and Publishing Institute, Tehran, Iran. 528 pages (In Persian).
- Mustafa, R. A. (2020). Biology of elm leaf beetles *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Kurdistan region-Iraq. *Journal of Biodivers Endanger Species*, 8(1), 4. <https://doi.org/10.24105/2332-2543.2020.8.238>
- Nachman, G. (1981). A mathematical model of the functional relationship between density and spatial distribution of a population. *Journal of Animal Ecology*, 50(2), 453-460. <https://doi.org/10.2307/4066>
- Nilofari, P. (1984). *Encyclopedia of Commercial Timbers of the World*, Tehran University Press, Tehran, Iran. 412 pages (In Persian).
- Pedigo, B., & Wagner, M. R. (1989). *Introduction to Forest and Shade Tree Insects*, Academic Press. Minnesota, USA. 639 pages.
- Rodrigo, E., Bosch, A. M. S., Xamaní, P., & Laborda, R. (2019). Life cycle, parasitism and damage of *Xanthogaleruca luteola* (Muller) in Valencia (SE Spain): A preliminary study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126474. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126474>
- Safari, S., Alipoor, N., & Galini, M. (2019). Biology of *Xanthogaleruca luteola* and study on different method for its control in Garmsar region. *Iranian Plant and Biotechnology Quarterly*, 14(3), 29-43. (In Persian)
- Southwood, T. R. E., & Henderson, P. A. (2009). *Ecological Methods*. John Wiley & Sons. Oxford, United Kingdom. 592 pages.
- Taylor, L. R. (1961). Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189(4766), 732-735. <https://doi.org/10.1038/189732a0>
- Zohdi, H., & Talebi, A. (2011). Study on some biological characteristics of *Tetrastichus gallerucae* (Hym., Eulophidae), important parasitoid of elm leaf beetle eggs in Kerman, Iran. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44(11), 1076-1080. <https://doi.org/10.1080/03235401003755338>