



Scientific article

Population growth modeling of English-grain aphid, *Sitobion avenae* in field condition in Mahidasht region, Kermanshah

SHAHLA BAGHERI-MATIN¹, SHAHRAM SHAHROKHI²✉, HASSAN ALI VAHEDI¹,NASER MOEENI-NAGHADE¹, FARZAD JLILIAN³

1. Department of Plant Protection, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran; 2. Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; 3. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran

(Received: August 2024; Accepted: February 2025)

Abstract

The English grain aphid, *Sitobion avenae* (F.) (Hemiptera: Aphididae), is a numerous aphid in wheat fields of Iran. Population growth modeling is of importance in integrated pest management programs, so this study was carried out to develop appropriate models for predicting population of *S. avenae* in wheat fields of Mahidasht region of Kermanshah. In order to model aphid population, weekly sampling was carried out to count its number on 10,000 wheat tillers in a two-hectare field during five years. Based on the results, Exponential and Logistic models were not suitable for predicting the aphid population, but both Normal and Hyperbolic Secant Square models were confirmed based on statistical and biological criteria and so, they can be used to predict the aphid population in wheat fields of Mahidasht region of Kermanshah province and other regions with similar climates due to presenting a logical description of *S. avenae* population fluctuations in whole season.

Keywords: Modeling, population growth, *Sitobion avenae*, wheat



مقاله پژوهشی

مدل‌سازی رشد جمعیت شته گندم‌یولاف *Sitobion avenae* در شرایط مزرعه در منطقه ماهیدشت کرمانشاهشهلا باقری متین^۱، شهرام شاه‌رخی خانقاه^۲ , حسنعلی واحدی^۱، ناصر معینی نقده^۱، فرزاد جلیلیان^۳

۱- دانشگاه رازی، دانشکده کشاورزی، بخش گیاه پزشکی؛ ۲- موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ ۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

(تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۴۰۳)

چکیده

شته گندم‌یولاف، (*Sitobion avenae* (F.) (Hemiptera: Aphididae)) یکی از فراوان‌ترین شته‌های مزارع گندم ایران است. با توجه به اهمیت مدل‌سازی رشد جمعیت در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات، در این پژوهش نسبت به تهیه مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی جمعیت شته گندم - یولاف در مزارع گندم منطقه ماهیدشت کرمانشاه اقدام شد. برای این منظور، ضمن آماربرداری هفتگی از یک مزرعه گندم دو هکتاری طی پنج فصل زراعی، جمعیت شته در ۱۰۰۰۰ ساقه (پنجه) گندم شمارش و برای مدل‌سازی رشد جمعیت از آن استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، دو مدل نمایی و لجستیکی برای پیش‌بینی جمعیت شته مناسب نبودند، ولی مدل‌های نرمال و مربع سکانت هذلولوی ضمن تایید از نظر معیارهای آماری، از نظر زیستی نیز مورد تایید قرار گرفتند و به‌دلیل توصیف منطقی نوسانات جمعیت شته گندم - یولاف، در کل طول فصل، برای پیش‌بینی نوسانات جمعیت شته یولاف - گندم در مزارع گندم منطقه ماهیدشت و مناطق با اقلیم مشابه کرمانشاه قابل استفاده بودند.

واژه‌های کلیدی: شته گندم‌یولاف، رشد جمعیت، گندم، مدل‌سازی

مقدمه

شته‌ها به دلیل توانایی رشد سریع جمعیت، از آفات مهم کشاورزی به‌شمار می‌روند و همواره در برخی از مناطق طغیان می‌کنند. شش گونه از شته‌ها از جمله شته یولاف - گندم، *Sitobion avenae* (F.) (Hemiptera: Aphididae)، در مزارع غلات دنیا فراوانی بیشتری دارند (Blackman & Eastop, 1984). شته یولاف - گندم از مهمترین شته‌های مزارع گندم کشورهای مختلف مانند آمریکا محسوب می‌شود (Elliott and Kieckhefer 1987) و در سال‌های اخیر خسارت آن در برخی از کشورها از جمله هندوستان افزایش یافته است (Alawi et al., 2020).

این شته از مزارع غلات بسیاری از مناطق ایران نیز گزارش شده است. به گزارش (Rajabi & Behrozin 2007) و Afshari & Dastranj (2010) شته یولاف - گندم در اکثر مناطق گندم خیز ایران فعالیت دارد. این شته در ایران از مناطق گرم مانند اهواز تا مناطق سردسیر نظیر شهر کرد و خلخال و از مناطق مرطوب مانند مازندران و گرگان تا مناطق خشک نظیر سیستان و بلوچستان گزارش شده است (Rajabi & Behrozin, 2007).

شته گندم - یولاف یکی از شته‌های مهم مزارع گندم ایران می‌باشد، به‌طوری که در سال ۱۳۷۱ در گنبد، گرگان و مغان طغیان کرد و باعث کاهش قابل توجه میزان تولید محصول گندم شد (Nouri & Rezvani, 1994). این گونه علاوه بر خسارت مستقیم، ناقل بیماری ویروسی موزاییک جو و بیماری ویروسی کوتولگی زرد جو به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بیماری‌های غلات می‌باشد (Hu et al., 2013).

بارلو و دیکسون (Barlow & Dixon, 1980) مطالعه پویایی جمعیت شته‌ها در شرایط صحرایی را به‌دلیل نسل‌های متداخل، افزایش تصاعدی جمعیت و توزیع سنی ناپایدار غیر ممکن دانسته و مدل‌سازی رشد جمعیت را به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای مطالعه پویایی جمعیت این گروه از آفات معرفی کرده است. علاوه بر این، مدل‌های رشد جمعیت برای پیش‌بینی جمعیت شته‌ها و استفاده از آن در برنامه‌های مدیریت آن‌ها به‌روش‌های

مختلف مانند کنترل شیمیایی و بیولوژیک، ضروری هستند (Metcalf & Metcalf, 1995).

مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رشد جمعیت شته‌ها در اکوسیستم‌های کشاورزی تهیه شده است. برای مثال، (1980) Barlow & Dixon با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد جمعیت شته‌ها، تأثیر منفی افزایش جمعیت بر فراوانی شته‌ها به‌دلیل تجمع مواد دفعی و ترشح عسلک و همچنین تأثیر دشمنان طبیعی بر جمعیت آن‌ها را توصیف کردند. همچنین (1985) Kindlmann یک مدل برای تعیین تأثیر تجمعی عسلک بر بقای شته سیاه باقلا (*Aphis fabae* Scopoli) ارائه کرده است. ویلیام و همکاران (Williams et al., 1999) نیز با توجه به کاهش نرخ رشد سرانه جمعیت شته سبز هلو، *Myzus persicae* sulzer و شته سیاه باقلا با افزایش سن گیاه چغندرقد، مدلی برای تعیین تأثیر کیفیت میزبان بر رشد جمعیت ارائه کردند. پراجشو (Prajneshu, 1988) برای اولین بار یک مدل غیرخطی قابل آزمون را برای پیش‌بینی رشد جمعیت شته‌ها پیشنهاد کرد که در آن، نرخ رشد جمعیت تابعی از اندازه تجمعی جمعیت بود. این مدل سپس توسط (Matis et al., 2005) بهبود یافت و برای پیش‌بینی موفقیت‌آمیز رشد جمعیت شته *Monellia caryella* (Fitch) مورد استفاده قرار گرفت. مدل ارائه شده توسط (Matis et al., 2007 b) یکی از مهمترین مدل‌هایی است که برای توصیف رشد جمعیت حشرات در اکولوژی استفاده شده است. مدل یاد شده به‌واسطه پیش‌بینی دقیق اندازه و اوج جمعیت، ابزار قدرتمندی در مدیریت آفات به‌شمار می‌رود. همچنین کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت با گذشت زمان، اولین بار در مطالعه پویایی جمعیت شته سبز هلو و شته سیاه باقلا روی چغندرقد توسط (Williams et al., 1999) نشان داده شد و بر این اساس، کاستامانگا و همکاران (Costamagna et al., 2007)، مدل موسوم به مدل نرمال را ارائه کرده‌اند که در آن، نرخ ذاتی رشد با زمان تغییر می‌کند.

در ایران مطالعات کمی در زمینه استفاده از مدل‌های رشد

مدل نمایی (Exponential)

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

در این معادله t زمان (روز)، N_t تعداد شته در زمان t ، N_0

جمعیت اولیه شته و r نرخ ذاتی افزایش جمعیت شته است.

مدل لجستیکی (Logistic):

$$N_t = \frac{K}{1 + \frac{K - N_0}{N_0} e^{-rt}}$$

در این معادله K ظرفیت قابل تحمل محیط بر اساس تعداد

شته است.

مدل نرمال (مدل نرخ ذاتی افزایش جمعیت نزولی، Decreasing r)

$$\dot{N} = r(t)N \quad (1)$$

$$r(t) = r_{\max}(1 - ct) \quad (2)$$

$r_{\max}$ نشان‌دهنده نرخ ذاتی افزایش جمعیت در زمان $t = 0$

و c شیب خط رگرسیون است. (Costamagna et al. (2007)

با حل تحلیلی این دو معادله آن را به صورت رگرسیون غیرخطی

زیر ارایه نمودند

$$N_t = N_{\max} e^{(-g^2(t-t_{\max})^2)} \quad (3)$$

که در این مدل، میانگین و انحراف معیار به ترتیب عبارتند

از $\mu = t_{\max}$ و $\sigma = (\sqrt{2}g)^{-1}$ و پراسنجه‌های مدل مکانیکی،

از پراسنجه‌های مدل رگرسیونی (۳) به شرح زیر به دست می‌آید.

$$c = (t_{\max})^{-1} \quad (4)$$

$$r_{\max} = 2g^2 t_{\max} \quad (5)$$

$$N = N_{\max} / \exp(g^2 t_{\max}^2) \quad (6)$$

مدل مربع سکانت هذلولوی (مدل رشد وابسته به اندازه تجمعی)

در مدل مربع سکانت هذلولوی (Hyperbolic Secant)

Squared فرض بر این است که نرخ سرانه مرگ تابعی از اندازه

جمعیت گذشته است:

$$F(t) = \int_0^t N(s) ds \quad (1)$$

نرخ تغییر به صورت $\dot{N} = (\lambda - \delta F)N$ (۲) است که در آن

λ و δ به ترتیب نرخ تولد و مرگ است.

Matis et al. (2007b) راه حل تحلیلی برای آن به شرح زیر

ارایه داد:

$$N(t) = \frac{4N_{\max} e^{-b(t-t_{\max})}}{(1 + e^{-b(t-t_{\max})})^2} \quad (3)$$

جمعیت در برآورد جمعیت حشرات انجام شده است و در این

خصوص فقط می‌توان به تهیه مدل‌های رشد جمعیت شته

Metopolophium dirhodum (Walker) در مزارع گندم و کرم

گلوگاه انار در باغات انار استان سمنان اشاره کرد

(Amir - Maafi et al. , 2021; Fotouhi et al. , 2021).

استفاده از مدل‌های رشد برای پیش‌بینی جمعیت، از نظر

تعیین زمان کنترل شته‌ها حایز اهمیت است. تحقیقات در این

زمینه در کشور ما بسیار محدود بوده و تاکنون تحقیقی در زمینه

تهیه و ارایه مدل‌های رشد به منظور پیش‌بینی جمعیت شته‌های

مزارع گندم در استان کرمانشاه به عنوان چهارمین استان تولید

کننده گندم، انجام نشده است. در تحقیق حاضر چهار مدل برای

پیش‌بینی رشد جمعیت شته گندم - یولاف تهیه و مقایسه شده

و مدل‌های قابل استفاده برای توصیف پویایی جمعیت شته گندم

- یولاف معرفی شده است.

روش بررسی

برای تهیه مدل‌های رشد جمعیت شته گندم - یولاف از

۱۰۰ سری داده حاصل از نمونه‌برداری از جمعیت این شته در

یک مزرعه دو هکتاری گندم در منطقه ماهیدشت استان

کرمانشاه در سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌برداری از جمعیت شته با

شروع فصل زراعی آغاز و تا زمان برداشت محصول به صورت

هفتگی ادامه یافت و در هر بار نمونه‌برداری، تعداد ۱۰۰ ساقه

(پنجه) گندم بطور تصادفی انتخاب شده و قسمت‌های آلوده به

شته (برگ و خوشه) برای انتقال به آزمایشگاه و شمارش تعداد،

در یک لوله آزمایشی قرار داده شدند. در تحقیق حاضر در

مجموع، تعداد شته‌ها (پوره و حشره کامل) ۱۰۰۰۰ ساقه (پنجه)

با استفاده از استرئومیکروسکوپ در آزمایشگاه شمارش و نتایج

در جداول مربوطه ثبت گردید. با داده‌های به دست آمده،

نوسانات جمعیت شته در سال‌های مورد بررسی با استفاده از

چهار مدل نمایی، لجستیکی، مربع سکانت هذلولوی و نرمال

به شرح زیر مطالعه شد.

است. به‌طوری که ملاحظه می‌شود فعالیت این شته روی گندم از دهه اول و گاهی ابتدای دهه دوم فروردین ماه شروع شده و در سال‌های مختلف تا اوایل تیر ماه ادامه می‌یابد. افزایش سریع جمعیت، یکی از ویژگی‌های نوسانات جمعیت شته‌ها می‌باشد که پیش‌آگاهی جمعیت آن‌ها را بسیار مشکل می‌کند. این ویژگی در بررسی نوسانات جمعیت شته گندم - یولاف نیز مشاهده شد، به‌طوری که در سال‌های مورد بررسی در این تحقیق، اوج جمعیت ۳۶ تا ۴۲ روز (۷-۶ هفته) پس از شروع فعالیت شته و در بیشتر سال‌ها در دهه دوم اردیبهشت ماه اتفاق افتاد. همانطور که شکل ۱ نشان می‌دهد، نوسانات جمعیت شته در مزرعه گندم در سال‌های مورد بررسی متقارن بوده و الگوی تقریباً مشابهی داشت. در این الگو، جمعیت شته در ابتدای فصل کم بوده و سپس با رشد سریع به حداکثر مقدار خود (اوج جمعیت) با میانگین $34/01 - 11/24$ عدد شته در هر ساقه رسید و سپس کاهش یافت. این نوع الگو برای سایر شته‌ها نیز گزارش شده و دلیل کاهش جمعیت شته‌ها پس از رسیدن به اوج، کاهش کیفیت میزبان (Williams *et al.*, 1999)، افزایش رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای به دلیل کاهش فضا (Honek *et al.*, 2006)، افزایش دما (Asin & Pons, 2001; Morgan *et al.*, 2001) و دشمنان طبیعی (Jones, 1979; Holland & Thomas, 1997; Sigsgaard, 2002) ذکر شده است. همچنین به عقیده Skirvin *et al.* (1997) کاهش سریع جمعیت شته‌ها در اواسط فصل ناشی از اثر متقابل و پیچیده عوامل غیر زنده، دشمنان طبیعی و کاهش کیفیت گیاه بوده و هیچ کدام از این عوامل به تنهایی عامل کاهش جمعیت شته‌ها نیستند، به‌طوری که نوسانات جمعیت شته‌ها و دشمنان طبیعی آن‌ها، کیفیت گیاه میزبان و تولید مواد شیمیایی ثانویه برای دفاع گیاه میزبان در مقابل شته‌ها تحت تأثیر عوامل غیر زنده و از جمله دما، بارندگی و سرعت باد قرار می‌گیرد (Bernays & Chapman, 1994).

برای توصیف داده‌های نوسانات جمعیت شته یولاف-گندم در مزرعه گندم منطقه ماهیدشت کرمانشاه از چهار مدل نمایی، لجستیک، نرمال و مربع سکانت هذلولوی استفاده شد

که در این مدل، N_{max} حداکثر جمعیت، t_{max} زمان حداکثر جمعیت و b نرخ تولد تقریبی است. (Matis *et al.* 2008 b) راه حل تحلیلی دیگری برای این مدل ارائه نمودند که به‌عنوان مدل مربع سکانت هذلولوی شناخته می‌شود و به‌شرح زیر است:

$$N(t) = N_{max} \operatorname{sech}^2 \left[\frac{b(t - t_{max})}{2} \right] \quad (4)$$

در این مدل نیز پراسنجه‌های N_{max} ، t_{max} و b استفاده شده است که دو پراسنجه اول دارای مفهوم زیستی هستند. این مدل نیز شباهت زیادی به توزیع نرمال دارد، بنابر این با میانگین و انحراف معیار که مرکز و پراکنش این توزیع را نشان می‌دهد توصیف می‌شود، که عبارتند از $\mu = t_{max}$ و $\sigma = \pi / \sqrt{3} b$. در این مدل، پراسنجه‌های مدل مکانیکی از پراسنجه‌های مدل رگرسیونی (۴) به‌دست می‌آید که به‌شرح زیر است:

$$d = e^{(bt_{max})} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{b(d-1)}{(d+1)} \quad (6)$$

$$\delta = \frac{b^2}{2N_{max}} \quad (7)$$

$$N_0 = 4dN_{max}(1+d)^{-2} \quad (8)$$

نرخ سرانه رشد برای این مدل با استفاده از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\dot{N}/N = -bt \tanh \left[\frac{b(t - t_{max})}{2} \right] \quad (9)$$

تجزیه و تحلیل آماری

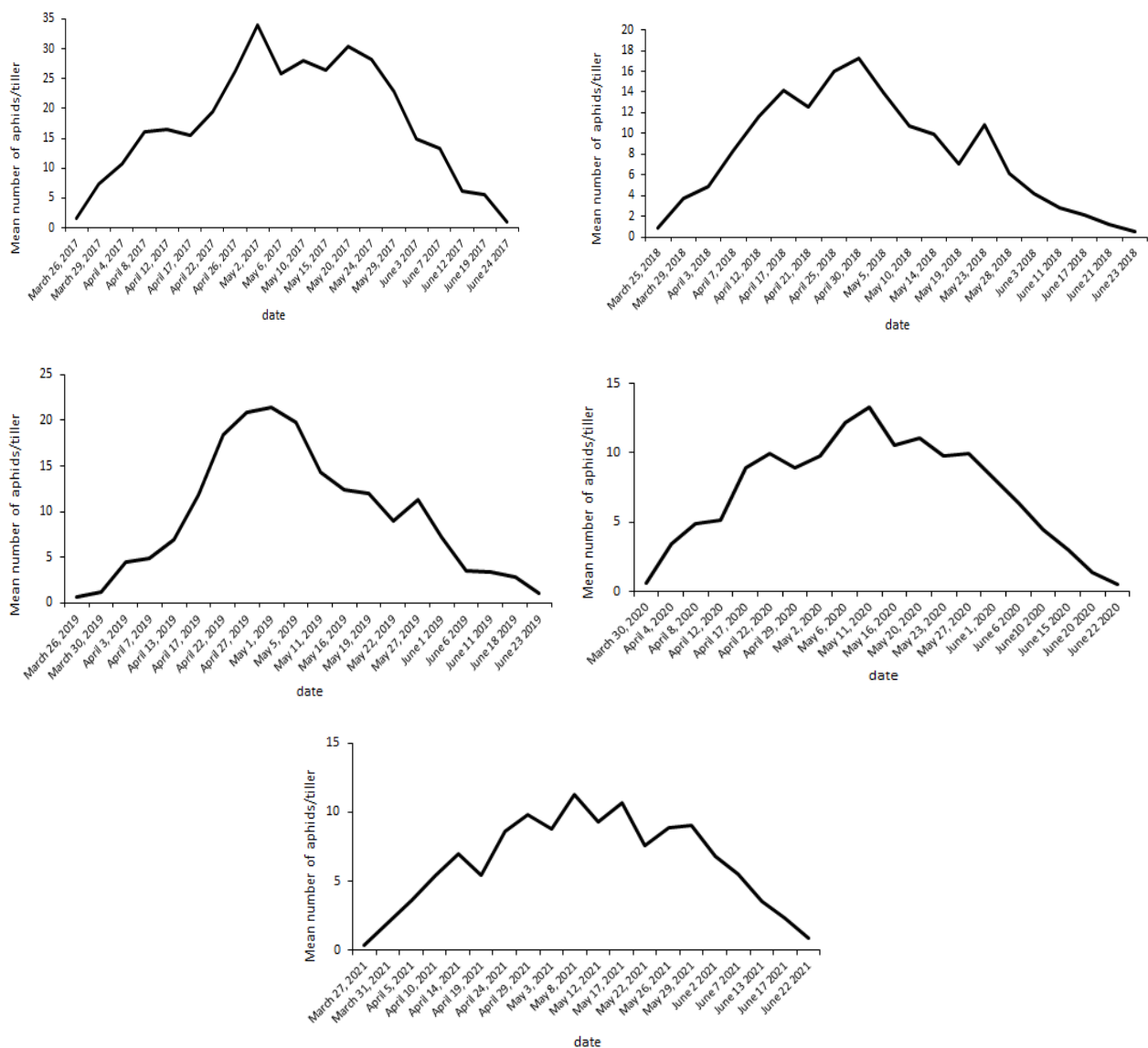
مقایسه مدل‌های رشد جمعیت براساس ضریب تبیین تصحیح شده انجام شد. محاسبات با استفاده از رویه NLIN نرم افزار SAS (Ver.9.4, 2013) و شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم شدند. همچنین به‌منظور مقایسه پراسنجه‌های مدل مربع سکانت هذلولوی با مدل نرمال از روش توصیه شده Matis *et al.* (2009) استفاده شد.

نتایج و بحث

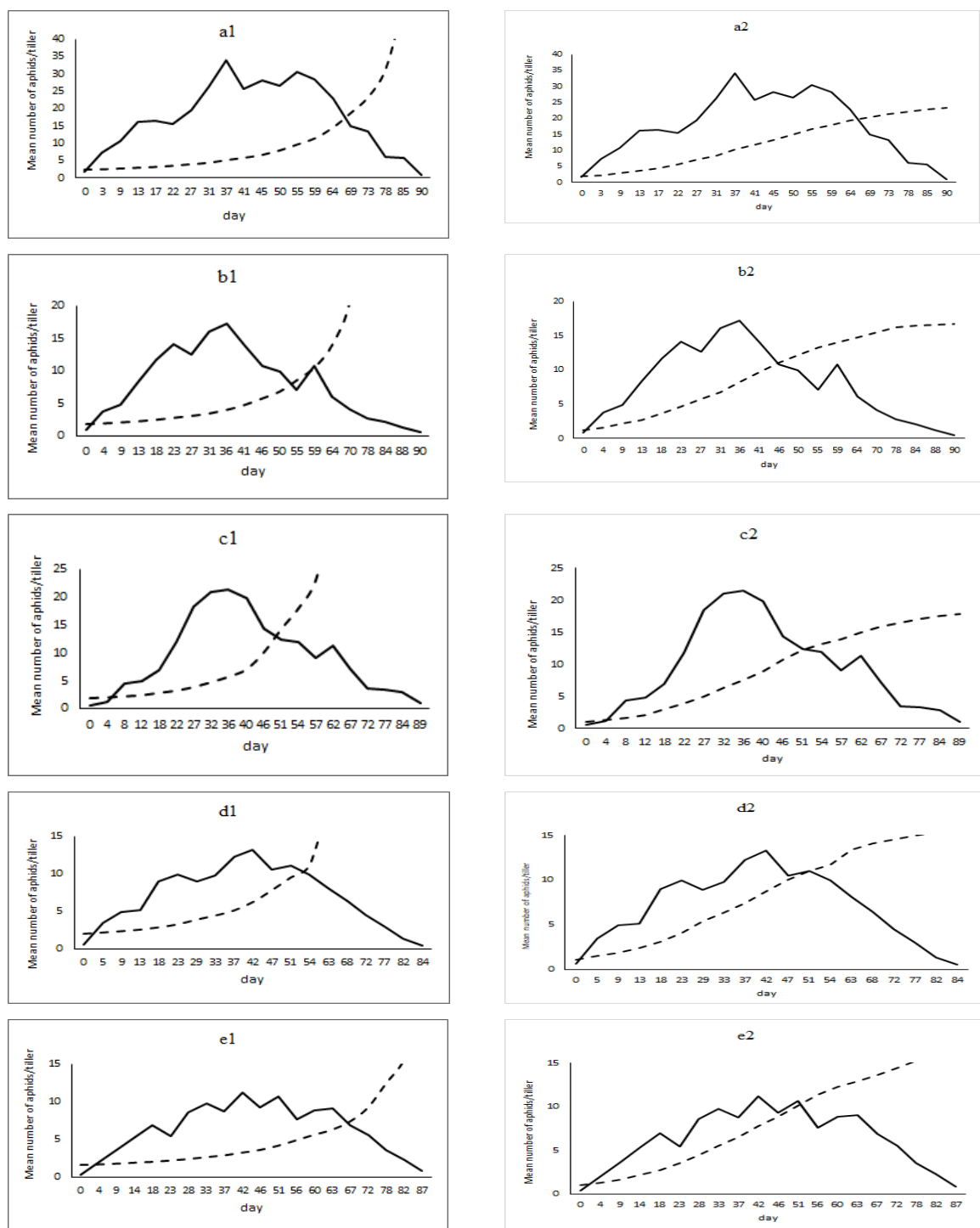
نوسانات جمعیت شته گندم - یولاف در سال‌های مختلف در منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه در شکل (۱) نشان داده شده

مدل نمایی و لجستیکی (شکل ۲)، قادر به توصیف نوسانات جمعیت شته در طول فصل نبودند. مدل رشد نمایی با فرض رشد نامحدود جمعیت تهیه شده است که در عمل در نوسانات جمعیت حشرات در طبیعت رخ نمی‌دهد. از طرف دیگر، مدل لجستیکی با فرض محدود بودن میزان رشد جمعیت و وجود حداکثر مقدار رشد موسوم به ظرفیت قابل تحمل محیط (Verhulst, 1838) ارایه شده است که در این تحقیق، نتوانست نوسانات جمعیت شته را در کل فصل پیش‌بینی کند.

که معیار آماری برازش و پراسنجه‌های مدل‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به مقادیر R^2_{adj} (۰/۹۹۸ - ۰/۹۴۸)، همه مدل‌ها از نظر آماری برای توصیف نوسانات جمعیت شته یولاف - گندم در سال‌های مورد مطالعه مناسب تشخیص داده شدند. با این وجود از نظر معیار زیستی، فقط دو مدل نرمال (Costamagna *et al.*, 2007) و مربع سکانت هذلولوی (Matis *et al.*, 2007 b, 2008 b) برای پیش‌بینی نوسانات جمعیت شته گندم - یولاف در کل طول فصل مناسب بودند (شکل ۲)، ولی دو



شکل ۱- نوسانات جمعیت شته یولاف - *Sitobion avenae* در مزرعه گندم منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه
Fig. 1. Population fluctuation of *Sitobion avenae* in wheat field in Mahidasht region, Kermanshah province



شکل ۲- پویایی جمعیت مشاهده شده شته *Sitobion avenae* در مزرعه گندم در منطقه ماهدشت استان کرمانشاه.

سال‌ها با a (2017), b (2018), c (2019), d (2020), e (2021) و برازش دو مدل با زیرنویس ۱ (مدل نمایی) و ۲ (مدل لجستیکی) نشان داده شده است. مشاهدات با خط و برآورد مدل‌ها با نقطه چین نشان داده شده‌اند.

Fig. 2. Observed population dynamics of *Sitobion avenae* in wheat fields in Mahidasht region, Kermanshah province (years indicated by a (2017), b (2018), c (2019), d (2020), e (2021)) and model estimats indicated by subscribe, 1 (Exponential model), and 2 (Logistic model). Observations are indicated by solid lines and model estimats by dotted lines.

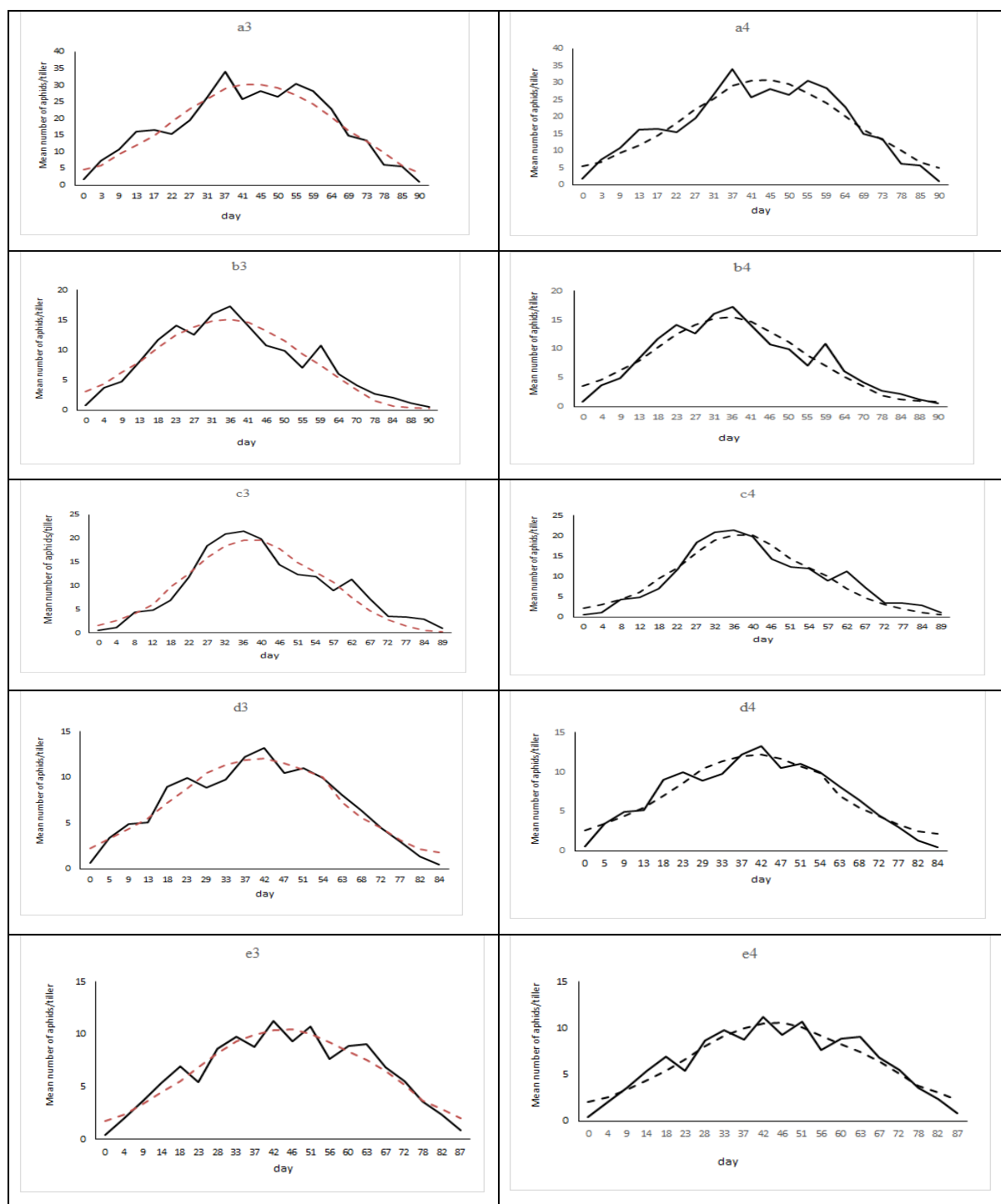
هذلولوی نسبت به مدل نرمال است. همچنین رابطه رگرسیونی پیش‌بینی زمان حداکثر جمعیت شته با استفاده از مدل مربع سکانت هذلولوی (t_{1max}) و نرمال (t_{2max}) به صورت $t_{1max} = 0.998 t_{2max}$ به دست آمد که نشان دهنده انطباق کامل دو مدل با همدیگر از این نظر بود (شکل ۴).

برای مقایسه عملکرد دو مدل نرمال و مربع سکانت هذلولوی در پیش‌بینی جمعیت شته گندم - یولاف، نرخ سرانه رشد جمعیت بر اساس روش پیشنهاد شده توسط Matis et al. (2007 c) برای داده‌های نوسانات جمعیت شته در مزرعه گندم در سال ۱۳۹۶ (که تراکم جمعیت شته نسبت به سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۷ بیشتر بود)، انجام شد. معادله این تابع برای مدل نرمال به صورت $r(t) = 0.086 - 0.00195 t$ و برای مدل مربع سکانت هذلولوی به صورت $r(t) = -0.0686 \tanh(0.0343 t - 1.514)$ به دست آمد. شکل (۵) نرخ سرانه رشد جمعیت شته گندم - یولاف در دو مدل یاد شده و جدول (۳) برآورد جمعیت شته توسط دو مدل در مقایسه با داده‌های مشاهده شده را در بازه زمانی فعالیت شته در مزرعه (روز اول تا ۹۰) نشان می‌دهد. نرخ سرانه رشد جمعیت در دو مدل در بازه زمانی ۷۰-۲۰ روز پس از شروع فعالیت شته در مزرعه که بیشترین نوسانات در اندازه جمعیت رخ داده است، بسیار نزدیک به یکدیگر بود. این وضعیت با نتایج مطالعات Johnson & Kotz (1970) مطابقت دارد. با توجه به شکل (۵)، برای مقایسه عملکرد دو مدل لازم است داده‌های ۲۰ روز اول و بازه زمانی ۹۰-۷۰ روز پس از شروع فعالیت شته در مزرعه مورد مقایسه قرار گیرد و برای این منظور بهتر است داده‌های بیشتری حتی شاید با مشاهدات روزانه جمع‌آوری شود. به‌طور کلی، بر اساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه دو مدل، می‌توان از هر دو مدل نرمال و مربع سکانت هذلولوی برای پیش‌بینی نوسانات جمعیت شته یولاف - گندم در مزارع گندم منطقه ماهیدشت کرمانشاه و مناطق مشابه استفاده کرد.

بر اساس نتایج تحقیق حاضر، دو مدل نرمال و مربع سکانت هذلولوی علیرغم تفاوت در فرمول مکانیکی و راه حل‌های تحلیلی، برازش مطلوبی با داده‌های نوسانات جمعیت شته گندم - یولاف داشته و به‌خوبی توانستند نوسانات جمعیت شته گندم - یولاف را در تراکم‌های مختلف در سال‌های مورد مطالعه پیش‌بینی کنند. پراسنجه‌های مهم این دو مدل شامل N_{max} ، t_{max} ، σ و AUC در جدول (۲) ارایه شده است.

از نظر معیار آماری، ضریب تبیین تصحیح شده دو مدل نرمال و مربع سکانت هذلولوی در تخمین مقادیر پراسنجه‌های یاد شده، در همه موارد بیشتر از ۰/۹۶ بود که نشان داد این مدل‌ها به‌خوبی توانستند با داده‌های نوسانات جمعیت در سال‌های مورد بررسی برازش یابند (جدول ۱). این دو مدل از نظر معیار زیستی نیز قابل قبول بودند. به‌طوری که حداکثر میانگین جمعیت شته مشاهده شده در مزرعه گندم ماهیدشت در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری ۳۴/۰۱ عدد شته در هر ساقه بود که ۳۷ روز پس از شروع فعالیت شته در مزرعه (زمان اوج جمعیت) در سال ۱۳۹۶ مشاهده شد که این مقادیر با استفاده از مدل‌های نرمال و مربع سکانت هذلولوی به‌ترتیب ۳۰/۳۰ عدد شته در هر ساقه در زمان اوج جمعیت ۴۳/۹۶ روز و ۳۰/۷۶ عدد شته در هر ساقه در زمان اوج جمعیت ۴۴/۱۵ روز برآورد شد. همچنین حداقل میانگین جمعیت شته در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری در تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۰ مشاهده شد که ۱۱/۲۴ عدد شته در هر ساقه در زمان اوج جمعیت ۴۲ روز بود که با استفاده از مدل‌های یاد شده به‌ترتیب ۱۰/۴۶ در زمان اوج جمعیت ۴۴/۳۵ و ۱۰/۵۹ عدد شته در هر ساقه در زمان اوج جمعیت ۴۴/۴۶ روز تخمین زده شد (جدول ۱).

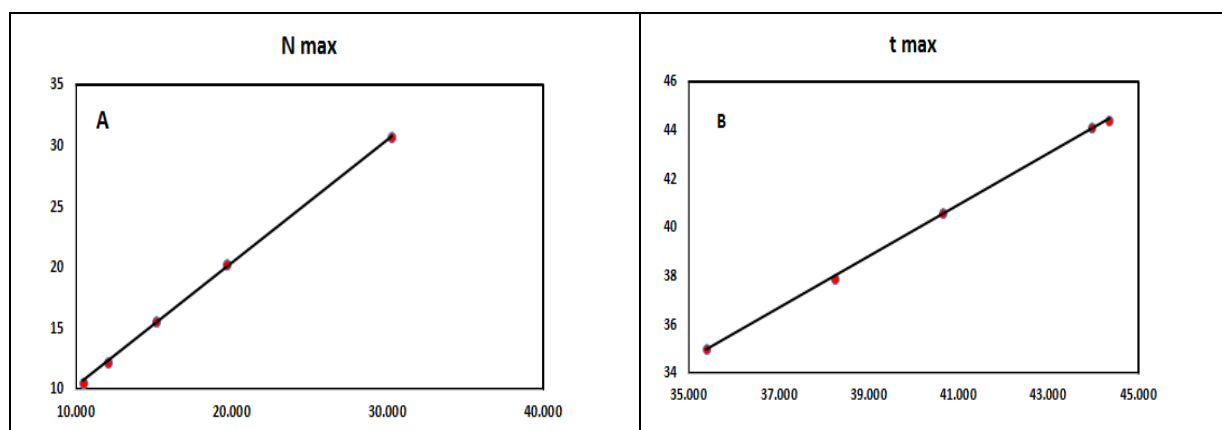
پیش‌بینی دو مدل برای اوج جمعیت (N_{max}) و زمان حداکثر جمعیت (t_{max}) بسیار به همدیگر نزدیک بود. معادله رگرسیونی این پراسنجه در دو مدل به صورت $N_{1max} = 1.020 N_{2max}$ ، با ضریب تبیین ۱ بود که نشان دهنده بیشتر بودن دو درصدی مقدار حداکثر جمعیت پیش‌بینی شده در مدل مربع سکانت



شکل ۳- پویایی جمعیت مشاهده شده شته *Sitobion avenae* در مزرعه گندم در منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه.

سال‌ها با *a* (2017), *b* (2018), *c* (2019), *d* (2020), *e* (2021) و برازش دو مدل با زیرنویس ۱ (مدل نرمال) و ۲ (مدل مربع سکانت هذلولوی) نشان داده شده است. مشاهدات با خط و برآورد مدل‌ها با نقطه چین نشان داده شده‌اند.

Fig. 3. Observed population dynamics of *Sitobion avenae* in wheat fields in Mahidasht region, Kermanshah province (years indicated by *a* (2017), *b* (2018), *c* (2019), (2020), *e* (2021)) and model estimats indicated by subscribe, 1 (Normal model), and 2 (Hyperbolic Secant Squared model). Observations are indicated by solid lines and model estimats by dotted lines.



شکل ۴- خط رگرسیون بین پراسنجه‌های مدل نرمال و مربع سکانت هذلولوی برای مجموعه داده‌های نوسانات جمعیت شته *Sitobion avenae*. A:

اندازه اوج جمعیت، B: زمان اوج جمعیت

Fig. 4. Regression lines for parameters of Hyperbolic Secant Squared vs Normal model for *Sitobion avenae* population fluctuation data set. A: Peak size, B: Time of peak

جدول ۱- پراسنجه‌های (میانگین $\pm$ خطای استاندارد) چهار مدل برازش داده شده با فراوانی جمعیت شته *Sitobion avenae* در مزرعه گندم استان کرمانشاه (ماهیدشت)

Table 1. Parameters (mean $\pm$ SE) obtained by fitting four population growth models to mean population abundances of *Sitobion avenae* in wheat field in Kermanshah province (Mahidasht)

Parameter	Kermanshah(Mahidasht)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Exponential					
r	0.815 $\pm$ 0.091	0.022 $\pm$ 0.005	0.027 $\pm$ 0.007	0.022 $\pm$ 0.006	0.020 $\pm$ 0.005
N_0	0.0185 $\pm$ 0.004	0.615 $\pm$ 0.086	0.645 $\pm$ 0.138	0.704 $\pm$ 0.135	0.493 $\pm$ 0.076
$R^2_{adj.}$	0.980	0.974	0.948	0.951	0.966
	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$
Logistic					
r	0.059 $\pm$ 0.002	0.068 $\pm$ 0.003	0.066 $\pm$ 0.002	0.067 $\pm$ 0.002	0.062 $\pm$ 0.002
N_0	1.827 $\pm$ 0.150	1.242 $\pm$ 0.116	0.993 $\pm$ 0.096	1.082 $\pm$ 0.105	1.007 $\pm$ 0.097
K	24.779 $\pm$ 0.529	17.105 $\pm$ 0.271	18.420 $\pm$ 0.323	16.217 $\pm$ 0.323	17.270 $\pm$ 0.421
$R^2_{adj.}$	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$
Normal					
N_{max}	30.303 $\pm$ 0.065	15.178 $\pm$ 0.775	19.699 $\pm$ 1.058	12.048 $\pm$ 0.466	10.462 $\pm$ 0.427
t_{max}	43.967 $\pm$ 0.001	35.396 $\pm$ 1.182	38.251 $\pm$ 1.035	40.651 $\pm$ 1.036	44.354 $\pm$ 1.104
g	0.031 $\pm$ 0.004	0.035 $\pm$ 0.002	0.041 $\pm$ 0.002	0.031 $\pm$ 0.001	0.030 $\pm$ 0.001
$R^2_{adj.}$	0.974	0.967	0.963	0.980	0.979
	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$
Hyperbolic Secant Squared					
N_{max}	30.768 $\pm$ 1.510	15.556 $\pm$ 0.804	20.36 $\pm$ 1.069	12.201 $\pm$ 0.547	10.597 $\pm$ 0.490
t_{max}	44.158 $\pm$ 1.269	35.023 $\pm$ 1.149	37.921 $\pm$ 0.967	40.628 $\pm$ 1.186	44.464 $\pm$ 1.229
b	0.068 $\pm$ 0.004	0.078 $\pm$ 0.005	0.093 $\pm$ 0.006	0.069 $\pm$ 0.004	0.065 $\pm$ 0.004
$R^2_{adj.}$	0.971	0.968	0.967	0.976	0.976
	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$	$P<0.0001$

جدول ۲- پراسنجه‌های مکانیکی شته *Sitobion avenae* در مزرعه گندم استان کرمانشاه (ماهیدشت)Table 2. Estimates of mechanistic parameters of *Sitobion avenae* in wheat field in Kermanshah province (Mahidasht)

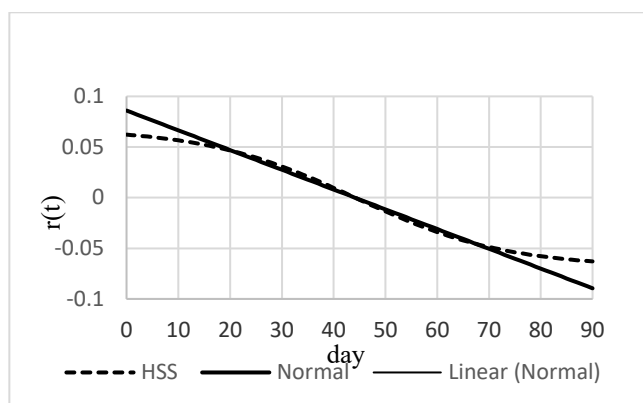
Model	Parameters	2017	2018	2019	2020	2021
Normal	μ	43.967	35.396	38.251	40.651	44.354
	σ	22.591	19.991	17.080	22.236	23.337
	N_0 (No.)	4.560	3.129	1.604	2.265	1.718
	$r_{\max}$	0.086	0.089	0.131	0.082	0.081
	c	0.023	0.028	0.026	0.025	0.023
	AUC (No.)	1715.572	757.629	843.196	671.367	311.850
Hyperbolic Secant Squared	μ	44.159	35.023	37.922	40.629	44.465
	σ	26.427	23.006	19.410	26.085	27.510
	N_0 (No.)	5.414	3.483	2.227	2.582	2.039
	λ (Aphid/day)	0.062	0.069	0.088	0.062	0.059
	δ (Aphid/day)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	AUC (No.)	1794.058	789.665	871.949	702.250	643.259

جدول ۳- مقایسه دو مدل نرمال و مربع سکانت هذلولوی از نظر برآورد جمعیت شته گندم - یولاف در مزرعه گندم منطقه ماهیدشت کرمانشاه در سال ۱۳۹۶

Table 3. Comparison of Normal and Hyperbolic Secant Squared models in estimating *Sitobion avenae* population in wheat field of

Mahidasht region, Kermanshah in 2007

Sampling time (day)	Observed population (aphid NO./tiller)	Model	
		Normal	Hyperbolic Secant Squared
1	1.70	4.56	5.41
3	7.27	5.85	6.51
9	10.75	9.15	9.29
13	16.15	11.84	11.61
17	16.48	14.86	14.31
22	15.41	18.89	18.12
27	19.45	22.86	22.16
31	26.27	25.70	25.26
37	34.01	28.90	28.99
41	25.76	30.04	30.41
45	28.11	30.27	30.74
50	26.41	29.24	29.57
55	30.42	26.90	26.88
59	28.26	24.29	23.99
64	22.79	20.45	19.99
69	14.94	16.40	16.03
73	13.34	13.27	13.13
78	6.18	9.74	10.01
85	5.61	5.82	6.64
90	0.93	3.80	4.87



شکل ۵- تخمین نرخ سرانه تغییر اندازه جمعیت شته *Sitobion avenae*

(مربع سکانت هذلولوی = نقطه چین، نرمال = خط)

Fig. 5. Estimated net per-capita rates for *Sitobion avenae* population size change (Hyperbolic Secant Squared = dashed line; Normal=solid line)

سپاسگزاری

از مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور برای فراهم نمودن زمینه فعالیت علمی و امکانات اجرایی این تحقیق قدردانی می‌گردد.

References

- AMIR - MAAFI, M., SHAHROKHI, S. and JAMSHIDI, M.R. (2021) Population growth modeling of rose-grain aphid, *Metopolophium dirhodum* (Walker) (Hemiptera: Aphididae) in field condition. Journal of Entomological Society of Iran 41(3), 199–218.
DOI: <http://doi.org/10.22117/jesi.2021.353086.1403>
- AMIRNAZARI, M. (2000) Fauna of wheat aphids and their natural enemies in Karaj, Iran. M. Sc. thesis, Islamic Azad University of Tehran, Research and Science Branch, 71 pp. (In Persian with English summary).
- ASIN, L. & PONS, X. (2001) Effect of high temperature on the growth and reproduction of corn aphids (Homoptera: Aphididae) and implications for their population dynamics on the northeastern Iberian peninsula. Environmental Entomology 30(6), 1127-1134.
DOI: <http://doi.org/10.1603/0046-225X-30.6.1127>
- BALCKMAN, R. L. & EASTOP, V. F. (1985) Aphids on the World's Crops: An Identification Guide. J. Wiley.
- BARLOW, N. & DIXON, A.F.G. (1980) Simulation of lime aphid population dynamics. Pudoc. Wageningen.
- BERNAYS, E. A., & CHAPMAN, R. E. (1994) Behavior: the process of host-plant selection. Host-Plant Selection by Phytophagous Insects, 95-165.
DOI: <http://doi.org/10.1017/S0007485300032855>
- COSTAMAGNA, A. C., VAN DER WERF, W., BIANCHI, F. J. J. A. & LANDIS, D. A. (2007) An exponential growth model with decreasing r captures bottom up effects on the population growth of *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae). Agricultural and Forest Entomology 9(4), 297-305. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2007.00348.x>
- DIXON, A. F. G. (1987a) Cereal aphids as an applied problem. Agricultural Zoology Reviews 2, 1-57.

در مطالعات قبلی محققین مختلف، امکان استفاده از مدل مربع سکانت هذلولوی برای تخمین جمعیت تعدادی از گونه‌های شته‌ها (Matis *et al.*, 2009) و مطالعه اثر عوامل محیطی بر پویایی جمعیت پروانه ابریشم باف ناجور (Matis & 2010) Al-Muhammed, (2008 a) همچنین با استفاده از پراسنجه‌های مدل مربع سکانت هذلولوی به عنوان متغیر پاسخ، اثر تغذیه بر پویایی جمعیت دو گونه شته *Monellia caryella* و *Lipaphis erysimi* (kaltenbach) را تعیین کرده‌اند. همچنین در ایرن از مدل مربع سکانت هذلولوی برای توصیف تأثیر کنترل کرم گلوگاه انار بر اندازه جمعیت آن در باغات انار استان سمنان استفاده شده است (Fotouhi *et al.*, 2021).

نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های حاصل از مدل سازی رشد جمعیت شته *Metopolophium dirhodum* (Walker) در مزرعه گندم توسط Amir - Maafi *et al.* (2021) مطابقت دارد. این محققین نیز امکان استفاده از دو مدل نرمال و مربع سکانت هذلولوی در تخمین جمعیت شته *M. dirhodum* در مزرعه گندم را با استفاده از معیارهای آماری و زیستی ثابت کردند.

- DIXON, A. F. G. (1987b) The way of life of aphids: host specificity, speciation and distribution. *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, 197-207.
- Douglas, A. E. (2003) The nutritional physiology of aphids. *Advances in Insect Physiology* 31(31), 73-140. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0065-2806\(03\)31002-1](http://doi.org/10.1016/S0065-2806(03)31002-1)
- FOTOUHI, K., Goldansaz, S. H., Amir-Maafi, M., Hosseiniaveh, V. and Masoudi-Nejad, A. (2021) Population growth model of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae) under field conditions. *Journal of Entomological Society of Iran* 41 (1), 1-10. DOI: <http://doi.org/10.22117/JESI.2021.351974.1396>
- HODJAT, S.H. & AZEMAYESHFARD, P. (1986) Aphids of wheat and other Graminae in Iran. *Iranian Journal of Applied Entomology and Phytopathology* 54 (1 & 2), 83-109. [In Persian with English summary].
- HOLLAND, J. M. & THOMAS, S. R. (1996) Quantifying the impact of polyphagous invertebrate predators in controlling cereal aphids and in preventing wheat yield and quality reductions. *Annals of Applied Biology* 131(3), 375-397. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1997.tb05167.x>
- HONEK, A., JAROSIK, V. & DIXON, A. F. G. (2006) Comparing growth patterns among field populations of cereal aphids reveals factors limiting their maximum abundance. *Bulletin of Entomological Research* 96(3), 269. DOI: <http://doi.org/10.1079/BER2006427>
- JONES, M. G. (1979) Abundance of aphids on cereals from before 1973 to 1977. *Journal of Applied Ecology* 1-22. DOI: <http://doi.org/10.2307/2402724>
- JOHNSON, N. L. & KOTZ, S. (1970) *Continuous Univariate Distributions-1*. Wiley, New York.
- KINDLMANN, P. (1985) A model of aphid population with age structure. In *Mathematics in Biology and Medicine* (pp. 72-77). Springer, Berlin, Heidelberg.
- KINDLMANN, P. (2004) A simple aphid population model. pp. 325-330 in Simon, J.C., Dedryver, C.A., Rispe, C. & Hulle, M. (Eds.) *Aphids in a New Millennium*. INRA, Paris. DOI: 10.13140/2.1.3671.5528
- KINDLMANN, P., & DIXON, A. F. G. (1996) Population dynamics of a tree-dwelling aphid: individuals to populations. *Ecological Modelling*, 89(1-3), 23-30. DOI: [http://doi.org/10.1016/0304-3800\(95\)00116-6](http://doi.org/10.1016/0304-3800(95)00116-6)
- KINDLMANN, P. & STADLER, B. (2004) Temporal fluctuations in through fall carbon concentrations in a spruce forest. *Ecological Modelling* 176(3-4), 381-388. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.11.015>
- KINDLMANN, P., ARDITI, R., & DIXON, A. F. G. (2004) A simple aphid population model. In *Aphids in a new millennium. Proceedings of the Sixth International Symposium on Aphids*, September, 2001, Rennes, France (pp. 325-330). Institut National de la Recherche Agronomique. DOI: <http://doi.org/10.13140/2.1.3671.5528>
- MATIS, J. H. & Al-Muhammed, M. J. (2010) Theory and application of the logistic probability density function as a population growth model. *Damascus University Journal for Basics Science* 26(1), 9-19.
- MATIS, J. H., KIFFE, T. R., MATIS, T. I. & STEVENSON, D. E. (2005) Nonlinear stochastic modeling of aphid population growth. *Mathematical Biosciences* 198(2), 148-168. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mbs.2005.07.009>
- Matis, J. H., Kiffe, T. R., Matis, T. I. & Stevenson, D. E. (2006) Application of population growth models based on cumulative size to pecan aphids. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 11(4), 425. DOI: <http://doi.org/10.1198/108571106X153336>
- MATIS, J. H., KIFFE, T. R., MATIS, T. I. & STEVENSON, D. E. (2007a) Stochastic modeling of aphid population growth with nonlinear, power-law dynamics. *Mathematical Biosciences* 208(2), 469-494. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mbs.2006.11.004>
- MATIS, J. H., KIFFE, T. R., MATIS, T. I., JACKMAN, J. A. & SINGH, H. (2007b) Population size models based on cumulative size, with application to aphids. *Ecological Modelling* 205(1-2), 81-92. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.02.009>
- MATIS, J. H., KIFFE, T. R., MATIS, T. I. & STEVENSON, D. E. (2007c) Stochastic modeling of aphid population

- growth with nonlinear, power-law dynamics. *Mathematical Biosciences* 208(2), 469-494. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mbs.2006.11.004>
- MATIS, J. H., KIFFE, T. R., MATIS, T. I., JACKMAN, J. A., GRANT, W. E. & SINGH, H. (2008a) On the use of growth rate parameters for projecting population sizes: Application to aphids. *Ecological modelling* 213(1), 133-142.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.12.003>
- MATIS, J. H., KIFFE, T. R., WERF, W. V. D., COSTAMAGNA, A. C., MATIS, T. I. & MICHELS JR, G. J. (2008 b) Comparisons of two symmetric density function solutions of aphid population growth models. *Proceedings of the Kansas State University Conference on Applied Statistics in Agriculture*. DOI: <http://doi.org/10.4148/2475-7772.1097>
- MATIS, J. H., KIFFE, T. R., VAN DER WERF, W., COSTAMAGNA, A. C., MATIS, T. I. & GRANT, W. E. (2009) Population dynamics models based on cumulative density dependent feedback: A link to the logistic growth curve and a test for symmetry using aphid data. *Ecological Modelling* 220(15), 1745-1751. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.026>
- MATIS, J.H., AL-MUHAMMED M.J. & VAN DER WERF, W., (2010) Using the logistic pdf model to mitigate autocorrelation in growth curve analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics* 64(2), 229-236.
- METCALF, R.L. & METCALF, R.A., (1995) *Destructive and useful insects*, 5th ed. McGraw-Hill, New York.
- MORGAN, D., WALTERS, K. F. A. & AEGERTER, J. N. (2001) Effect of temperature and cultivar on pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) life history. *Bulletin of Entomological Research* 91(1), 47. DOI: <http://doi.org/10.1079/BER200062>
- PRAJNESHU, C. S. (1998) A nonlinear statistical model for aphid population growth. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics* 51, 73-80.
- REZWANI, A., (2001) Key to the aphids (Hemiptera: Aphidinea) in Iran. Ministry of Jihad- e Agriculture, Agricultural Research, Education and Extention Organization. 304 pp.
- NOORI, P. & A. REZWANI, (1994) Wheat aphids and their population fluctuations in wheat fields of Tehran province, Iran. *J. Entomol. Soc. Iran*, 14: 35-44.
- SAS Statistical Analysis System. (2013) *SAS/STAT user's guide*, version 9.4. SAS Institute. Cary, NC.
- SHAHROKHI, S. (2003) Study of wheat aphids and their population dynamics in wheat fields of Varamin region, Iran. 181 pp., Ph.D. thesis. Islamic Azad University of Tehran, Research and Science Branch. [In Persian with English summary].
- SHAHROKHI, S., & AMIR-MAAFI, M. (2011a) Sequential sampling plan of *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae) in wheat fields. *Journal of Entomological Society of Iran*, 31(1). 69-82.
- SHAHROKHI, S., & AMIR-MAAFI, M. (2011b) Binomial sampling plan of *Metopolophium dirhodum* in irrigated wheat fields. *Applied Entomology and Phytopathology*, 79(1). 117-133.
DOI: <http://doi.org/10.22092/jaep.2011.107236>
- SHAHROKHI, S., & AMIR-MAAFI, M. (2013) Biology of apterous morph of rose grain aphid. *Metopolophium dirhodum* (Hem.: Aphididae) on wheat in laboratory condition. *Applied Entomology and Phytopathology*, 81(1).43-50.
DOI: <http://doi.org/10.22092/jaep.2013.100466>
- SIGSGAARD, L. (2002) A survey of aphids and aphid parasitoids in cereal fields in Denmark, and the parasitoids' role in biological control. *Journal of Applied Entomology* 126, 101-107. DOI: <http://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2002.00611.x>
- SKIRVIN, D. J., PERRY, J. N. & HARRINGTON, R. (1997) The effect of climate change on an aphid-coccinellid interaction. *Global Change Biology* 3(1), 1-11. DOI: <http://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00087.x>
- SYSSTAT. (2012) SigmaPlot for Windows, version 12.0.
- TSOULARIS, A. & WALLACE, J. (2002) Analysis of logistic growth models. *Mathematical Biosciences* 179(1), 21-55.
- VAN DER PUTTEN, W. H., VET, L. E., HARVEY, J. A. & WÄCKERS, F. L. (2001) Linking above-and belowground multitrophic interactions of plants,

herbivores, pathogens, and their antagonists. Trends in Ecology and Evolution 16(10), 547-554.

DOI: [http://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02265-0](http://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02265-0)

VERHULST, P. F. (1838) Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance Mathématique et Physique* 10, 113-126.

WILLIAMS, I. S., VAN DER WERF, W., DEWAR, A. M. & DIXON, A. F. G. (1999) Factors affecting the relative abundance of two coexisting aphid species on sugar beet. *Agricultural and Forest Entomology* 1(2), 119-125.

DOI: <http://doi.org/10.1046/j.1461-9563.1999.00017x>