Journal of Entomological Society of Iran
https://jesi.areeo.ac.ir
Entomological Society of Iran
2023, 43 (3), 259–273
Research Article
https://doi.org.10.61186/jesi.43.3.6
pISSN: 0259-9996
eISSN: 2783-3968
OPEN ACCESS

بررسی پراکنش جغرافیایی و تراکم جمعیت سرخرطومی آزولا *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal در شالیزارها و زیستگاه‌های آبی شمال کشور

مهدی جلائیان[۱]، آتوسا فرحپورحقانی[۱]، فرزاد مجیدی شیلسر[۱]، بیژن یعقوبی[۱] و مهرداد عمواقلی‌طبری[۲]

۱- بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

mahdi_jalaeian@yahoo.com https://orcid.org/0000-0002-1965-9695
hpapiliona@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-6158-4527
majidi14@yahoo.com https://orcid.org/0000-0002-4066-0279
byaghoubi2002@yahoo.com https://orcid.org/0000-0003-4231-7893

۲- بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران

ma_tabari@yahoo.com https://orcid.org/0000-0003-3152-2867

چکیده: آزولا (*Azolla* spp.: Salviniaceae) نوعی سرخس آبزی است که با هدف افزایش حاصلخیزی اراضی شالیزاری وارد کشور شد، اما این علف‌هرز به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و فقدان دشمنان طبیعی در زیستگاه جدید، طغیان نمود و به معضلی در زراعت برنج و عاملی مخرب در اکوسیستم‌های آبی تبدیل شد. در سال‌های اخیر عامل کنترل بیولوژیک این علف‌هرز به نام سرخرطومی آزولا *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal (Curculionidae) وارد شمال ایران شد. در این پژوهش پراکنش جغرافیایی و تراکم فصلی جمعیت سرخرطومی آزولا با نمونه‌برداری‌های منظم ماهیانه در شمال کشور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدت زمان لازم برای تکمیل یک نسل در شرایط نیمه‌صحرایی حدود دو هفته است. لاروها و حشرات کامل هر دو از آزولا تغذیه می‌کنند. سرخرطومی آزولا در شمال کشور به خوبی پراکنش یافته و مستقر شده است و با تغذیه از آزولا جمعیت آن را در تالاب‌ها، مانداب‌های دائمی و شالیزارها کاهش داده است. در مقایسه تراکم جمعیت سرخرطومی در سه منطقه غرب، شرق و مرکز استان گیلان مشخص شد که بیشترین تعداد کل (۶۶۷ عدد حشره در یک کیلوگرم آزولا) و بیشترین تعداد حشرات بالغ (۳۶۳ حشره‌ی بالغ در یک کیلوگرم آزولا) در منطقه مرکزی استان بود. در حالی‌که تراکم لاروها (۳۹۷ عدد لارو در یک کیلوگرم آزولا) در منطقه شرقی استان بیشتر از مناطق دیگر بود. در بررسی تراکم جمعیت در شهرستان‌های مختلف گیلان، بالاترین تراکم کل (۲۶۹۰ لارو و حشره‌ی کامل در یک کیلوگرم آزولا) و حشرات بالغ (۲۰۲۲ حشرهِ بالغ در یک کیلوگرم آزولا) در شهرستان شفت و بالاترین تراکم لارو (۱۹۲۰ لارو در یک کیلوگرم آزولا) در منطقه رودبنه لاهیجان مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، تراکم فصلی جمعیت سرخرطومی در بهار و زمستان بالاتر بود که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و حساسیت آزولا به گرما و رطوبت، بدیهی به نظر می‌رسد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، سرخرطومی آزولا به خوبی در مناطق شمالی کشور گسترش یافته و مستقر شده است.

واژه‌های کلیدی: سرخس آبی، کنترل بیولوژیک، علف هرز، گیلان، مازندران

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵
دبیر تخصصی: حسین رنجبر اقدم

Citation: Jalaeian, M., Farahpour-Haghani, A., Majidi-Shilsar, F. Yaghoubi, B. & Amooghli-Tabari, M. (2023) Study of geographical distribution and population density of *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, in paddy fields and aquatic ecosystems in northern Iran. *J. Entomol. Soc. Iran*, 43 (3), 259–273.

مقدمه

علف هرز آزولا *Azolla* spp. نوعی سرخس آبزی است که اولین بار توسط ژان باپتیست لامارک (Jean-Baptiste Lamarck) در سال ۱۷۸۳ توصیف شد. تاکنون هشت گونه‌ی شناخته شده از آزولا در دنیا معرفی شده که سه گونه‌ی *A. filiculoides* Lam.، *A. pinnata* R.Br. و *A. mexicana* Schltdl. & Cham. توسط پایگاه اطلاعاتی گونه‌های مهاجم در دنیا (Global Invasive Species Database) به عنوان گونه‌های مهاجم معرفی شده‌اند (Farahpour-Haghani, Carrapiço *et al.*, 2011؛2018). آزولا به دلیل دارا بودن نوعی باکتری همزیست به نام *Anabaena azollae* Strasburger (Nostocaceae) دارای توانایی تثبیت نیتروژن بوده و در ابتدای دهه شصت برای اولین بار به عنوان عامل تثبیت کننده نیتروژن به شالیزارهای ایران معرفی شد و در طول سه دهه حضور خود در ایران به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و فقدان دشمنان طبیعی، مشکلات عدیده‌ای را برای اکوسیستم‌های طبیعی و شالیزارها به وجود آورده است (Farahpour-Haghani *et al.*, 2016؛ Sadeghi *et al.*, 2013؛ Delnavaz & Azimi, 2009؛ JICA, 2005). مطابق بررسی‌های میدانی، آزولا مهم‌ترین علف‌هرز برخی مزارع

Corresponding author: Mahdi Jalaeian (E-mail: mahdi_jalaeian@yahoo.com)
© 2023 by Author(s), Published by the Entomological Society of Iran
This Work is Licensed under Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International Public License.

شالیزاری بوده و کشاورزان هزینه فراوانی صرف جمع‌آوری دستی یا مکانیکی آن می‌نمایند. در اراضی آلوده به آزولا، استقرار گیاهچه‌های برنج در اول فصل به تأخیر افتاده و در صورت بارش‌های فصلی و وزش باد، این علف‌هرز شناور سبب خوابیدگی برنج شده و گاه نشاکاری مجدد را ضروری می‌نماید. از سوی دیگر، آزولا اکوسیستم‌های آبی شمال کشور از جمله تالاب انزلی و امیرکلایه (گیلان) را مورد تهاجم قرار داده است (Farahpour-Haghani *et al.*, 2016 ؛ Sadeghi Delnavaz & Azimi, 2009؛*et al.*, 2013). پوسیدگی و تولید رسوبات آزولا از یک طرف می‌تواند سالانه حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر عمق تالاب‌ها و آبگیرهای آلوده را کاهش دهد و از طرفی پوشش یکپارچه سطح تالاب‌ها توسط آزولا، اسیدی شدن و افزایش درجه سمیّت زیستگاه‌های آبی و مرگ ماهیان و موجودات مفید دیگر را موجب می‌شود (JICA, 2005). هرچند اطلاعاتی در مورد گونه آزولای وارد شده در دهه شصت در دست نیست اما بر اساس منابع موجود تا چندی قبل *A. filiculoides* تنها گونه معرفی شده آزولا در ایران بود (Sadeghi *et al.*, 2013) ولی اخیراً گونه *A. pinnata* نیز از ایران گزارش شده است (Golmohammadi *et al.*, 2018).

در بسیاری از مناطق دنیا برای کنترل آزولا از روش‌های مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیک استفاده می‌شود. جمع‌آوری آزولا از سطح آب، از روش‌های کنترل این سرخس آبزی در دنیا محسوب می‌شود (Hill, 1997). با توجه به سرعت تکثیر آزولا، لایه جمع‌آوری شده در مدت کوتاهی جایگزین می‌شود. همچنین اسپورهای گیاه در محیط باقی می‌مانند که سبب می‌شود حتی پس از پاکسازی کامل نیز آلودگی مجدد ایجاد شود (Lumpkin & Plucknett, 1982). برای کنترل شیمیایی آزولا نیز برخی از علف‌کش‌های عمومی مانند گلایفوسیت (Steÿn *et al.*, 1979؛ Ashton, 1992)، پاراکوات و دیکوات (Axelsen & Julian, 1988) توصیه شده‌اند. با این وجود کلیه علف‌کش‌های نام برده شده به عنوان ترکیبات دارای تاثیرات آلایندگی احتمالی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی گزارش شده‌اند (Pan, 2023). همچنین تمامی این ترکیبات، علف‌کش‌های غیر انتخابی هستند که امکان استفاده از آن‌ها در شالیزار وجود ندارد (Meister, 1992; Farahpour-Haghani, 2018).

عامل کنترل بیولوژیک آزولا *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal (Col.: Curculionidae) که نوعی سرخرطومی آبزی است، به طور گسترده‌ای در کنترل غیرشیمیایی این سرخس آبزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرخرطومی *S. rufinasus* یک گونه‌ی چندخوار (الیگوفاژ) است که با توجه به تخصص میزبانی بالا در بسیاری از منابع به عنوان یک گونه‌ی تک‌خوار (مونوفاژ) نیز در نظر گرفته می‌شود. این سرخرطومی اگرچه می‌تواند از عدسک آبی و سالوینیا نیز به طور محدود تغذیه کند اما تنها روی گونه‌های آزولا قادر به تولیدمثل و بقای نسل است و ترجیح میزبانی آن در بین گونه‌های آزولا نیز روی گونه‌ی *A. filiculoides* می‌باشد (Madeira *et al.*, 2016). این سرخرطومی دارای عملکرد بسیار موفقی در کنترل آزولا در دنیا بوده و به عنوان یکی از موفق‌ترین نمونه‌های کنترل بیولوژیک در جهان شناخته می‌شود (Hill, 1998؛ McConnachie *et al.*, 2004b؛ Hill & Coetzee, 2017). این سرخرطومی بومی آمریکای شمالی است و برای اولین بار در سال ۱۹۶۷ از روی آزولا گزارش شد (Carrapiço *et al.*, 2011؛ Florencio *et al.*, 2015). کنترل بیولوژیک آزولا اولین بار در سال ۱۹۹۷ در آفریقای جنوبی و با رهاسازی این سرخرطومی آغاز شد (McConnachie *et al.*, 2004a؛ Coetzee *et al.*, 2011؛ Winston *et al.*, 2014). گونه *S. rufinasus* در سال ۱۹۹۹ از آفریقای جنوبی به زیمباوه برده شد (Hill & Julien, 2004; Hill & McConnachie, 2009) و در سال ۲۰۰۲ به منظور کنترل بیولوژیک آزولا در انگلستان رهاسازی شد. همچنین این گونه از فرانسه، آلمان، مجارستان، ایتالیا، موزامبیک، هلند، ایرلند شمالی، پرتقال، جمهوری ایرلند، اسلوواکی، اسپانیا و اوکراین نیز گزارش شده که بر این اساس این سوسک در این مناطق مستقر بوده و نیازی به رهاسازی مجدد نبوده است (Winston *et al.*, 2014).

زیست‌شناسی و پارامترهای جدول زندگی سرخرطومی آزولا در شرایط آزمایشگاهی و صحرایی در نقاط مختلف دنیا به طور دقیق مشخص شده‌اند. طول دوره‌ی انکوباسیون تخم در دمای ۲۱–۳۲ درجه سلسیوس بین ۴–۵ روز است. این حشره دارای سه سن لاروی است و طول دوره‌ی لاروی در دمای ۳۲ درجه سلسیوس چهار روز و در دمای اتاق به هفت روز می‌رسد. طول دوره‌ی شفیرگی نیز در دمای اتاق ۵ تا ۷ روز است. اما در دمای ۳۲ درجه سلسیوس شفیرگی با اختلال مواجه می‌شود. به این ترتیب طول دوره‌ی زندگی از تخم تا حشره‌ی بالغ بین ۲ تا ۳ هفته تعیین شده است ولی حشرات بالغ بین ۵۵ تا ۶۰ روز زندگی می‌کنند. سرخرطومی آزولا فاقد دیاپوز اجباری است و در صورت مساعد بودن شرایط دمایی و فراهم بودن میزبان، می‌تواند در تمام طول سال به فعالیت خود ادامه دهد. بر این اساس در مناطق مختلف دنیا تعداد نسل‌های متفاوتی (از ۴ تا ۱۴ نسل در سال) برای این حشره گزارش شده است (Mvandaba *et al.*, 2019؛ Richerson & Grigarick, 1967؛ Hill, 1998؛ McConnachie *et al.*, 2004a).

شناسایی، ارزیابی عملکرد و پایش تراکم جمعیت از اصول پایه در کنترل بیولوژیک علف‌های هرز محسوب می‌شوند. ارزیابی عملکرد عامل کنترل بیولوژیک بویژه پس از رهاسازی گسترده، ضروری است و موفقیت برنامه کنترل بیولوژیک را تضمین می‌کند (Morin *et al.* ؛ Van Driesche *et al.* 2010 Nordblom *et al.* 2002؛ Carson *et al.* 2008؛2009).

در ایران سرخرطومی آزولا *S. rufinasus* برای اولین بار در سال ۲۰۱۸ از سطح شالیزارها و آبگیرهای استان گیلان جمع‌آوری و گزارش شد (Farahpour-Haghani *et al.*, 2018). با این وجود تا قبل از انجام پژوهش حاضر، هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد شیوه فعالیت، سطح پراکنش جغرافیایی، تراکم جمعیت و عملکرد نسبی آن در کنترل آزولا در شرایط شمال کشور، در دسترس نبود. از آن‌جا که آزولا یک مشکل ملی است که در چند دهه‌ی اخیر در حال تخریب زیستگاه‌ها و تالاب‌های مهم شمال کشور بوده و خسارت زیادی به شالیکاران وارد کرده است، ضروری به نظر می‌رسد تا با پایش دقیق عامل کنترل بیولوژیک آن یعنی سرخرطومی آزولا، اطلاعات اولیه‌ای به دست آید. بدیهی است که کنترل غیرشیمیایی آزولا می‌تواند حیات دوباره‌ای به شالیزارها و زیستگاه‌های آبی ملی کشور ببخشد.

مواد و روش‌ها

شناسایی سرخرطومی. در مرحله اول، شناسایی حشرات بالغ با استفاده از کلید شناسایی (Alonso-Zarazaga & Lyal, 1999) در آزمایشگاه حشره‌شناسی موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. از آن‌جا که در طول مراحل نمونه‌برداری، با نمونه‌های مشکوک (با اندازه‌های متفاوت) زیادی روبرو شدیم، برای اطمینان بیشتر نسبت به شناسایی مولکولی نمونه‌ها اقدام شد. بدین منظور تعدادی از نمونه‌ها به کشور سوئیس (CABI: Centre for Agriculture and Bioscience International) ارسال شدند و توالی‌های به دست آمده از نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Finch Tv 1.4.0 با یکدیگر مقایسه شدند.

شیوه فعالیت. برای شناخت بیشتر از شیوه فعالیت سرخرطومی آزولا در شرایط اقلیمی ایران، مطالعه مقدماتی در شرایط نیمه‌صحرایی انجام شد. به این منظور محفظه‌های پرورش شامل لیوان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۳ و قطر دهانه ۹ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. در هر لیوان حدود ۳۰۰ سی‌سی آب چاه و ۵۰ گرم آزولا اضافه شد و دهانه لیوان نیز با توری‌های مشبک پوشانیده شد به طوری‌که امکان خروج حشرات کامل سرخرطومی از آن ممکن نبود. محفظه‌های پرورش حشره روی یک میز و کنار پنجره اتاقی (بدون هیچ وسیله گرمایشی یا سرمایشی) قرار داده شدند به طوری‌که شرایط دما، رطوبت و نور در این اتاق تا حد امکان به شرایط طبیعی نزدیک باشد. با توجه به ابعاد ظرف و نحوه تخم‌گذاری حشره، داخل هر یک از محفظه‌ها سه جفت سرخرطومی آزولا رهاسازی شد. با توجه به اینکه سرخرطومی‌های بالغ نر و ماده از نظر شکل ظاهری قابل تمایز نیستند، بنابراین آن‌ها در زمان جفت‌گیری انتخاب شدند. تعداد پنج تکرار (۱۵ جفت حشره‌ی کامل) در ابتدای آزمایش برای حشرات کامل در نظر گرفته شد. سپس به منظور جمع‌آوری تخم‌های هم‌سن، حشرات کامل با فاصله ۲۴ ساعت به محفظه‌های پرورش جدید انتقال داده شدند. جمع‌آوری تخم‌های هم‌سن به مدت ۱۰ روز ادامه یافت و تخم‌های جمع‌آوری شده به صورت گروهی مورد بررسی قرار گرفتند. محفظه‌های پرورش به فاصله ۲– ۳ روز بسته به شدت فعالیت سرخرطومی، بازبینی شدند و در صورت لزوم به آن‌ها آب و آزولا اضافه می‌شد. در این قسمت تمامی مراحل زیستی حشره به دقت بررسی شدند.

تعیین پراکنش جغرافیایی. در این پژوهش پراکنش جغرافیایی سرخرطومی *S. rufinasus* در دو استان گیلان و مازندران مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق به صورت میدانی (پیمایشی) و با بازدیدهای منظم ماهیانه از زیستگاه‌های آبی استان‌های گیلان و مازندران انجام شد. با توجه به اینکه بر اساس منابع موجود این سرخرطومی علاوه بر آزولا می‌تواند بقای خود را روی برخی از گیاهان دیگر مانند عدسک آبی *Lemna* spp. و سرخس شناور *Salvinia minima* Baker تا مدتی حفظ نماید (Mor *et al.*, 2010؛ Parys *et al.*, 2015)، در هر بازدید، نمونه‌برداری از این گیاهان نیز (در صورت وجود) انجام شد. مناطق آلوده به آزولا از طریق بازدیدهای میدانی و نیز با هماهنگی کارشناسان مربوطه از مدیریت جهاد کشاورزی هر شهرستان (جدول ۱) شناسایی و از آزولا، عدسک یا سالوینیا نمونه‌برداری شد.

جدول ۱– وضعیت حضور (+) یا عدم حضور (–) آزولا *Azolla* spp. و سرخرطومی *Stenopelmus rufinasus* در مناطق نمونه‌برداری شمال کشور

Table 1. *Stenopelmus rufinasus* and *Azolla* spp. presence (+) or absence (–) condition in the sampling areas of northern region of Iran

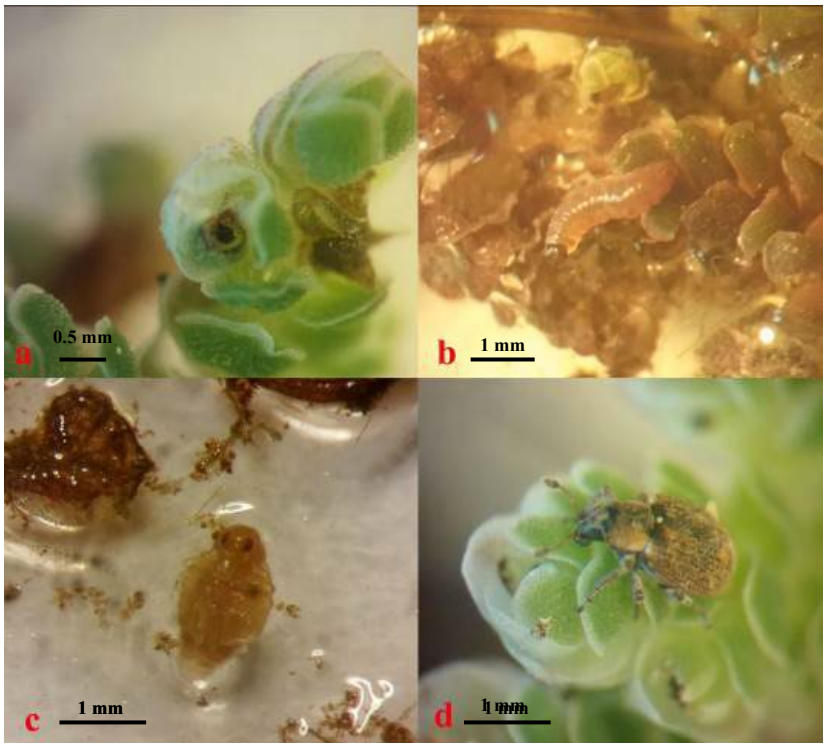
Province	Area	County	Azolla presence	Azolla infestation area %	Weevil presence	Weevil presence area %
Guilan	West	Astara	–	25%	–	25%
		Talesh	–		–	
		Rezvanshahr	+		+	
		Masal	–		–	
Guilan	Center	Fouman	–	50%	–	50%
		Someh Sara	+		+	
		Bandare-Anzali	+		+	
		Rasht	–		–	
		Shaft	+		+	
		Roudbar	–		–	
Guilan	East	Astaneh	+	67%	+	67%
		Lahijan	+		+	
		Siahkal	–		–	
		Langarud	+		+	
		Amlash	+		+	
		Roudsar	–		–	
Mazandaran	Center	Amol (Darwish-kheil)	+	100%	–	75%
		Amol (Rais Abad)	+		+	
		Amol (Kachab)	+		+	
		Babol (Hydarkola)	+		+	

جدول ۲– توالی‌های DNA دو نمونه بزرگ و کوچک سرخرطومی

Table 2. DNA sequences of small and larger weevils

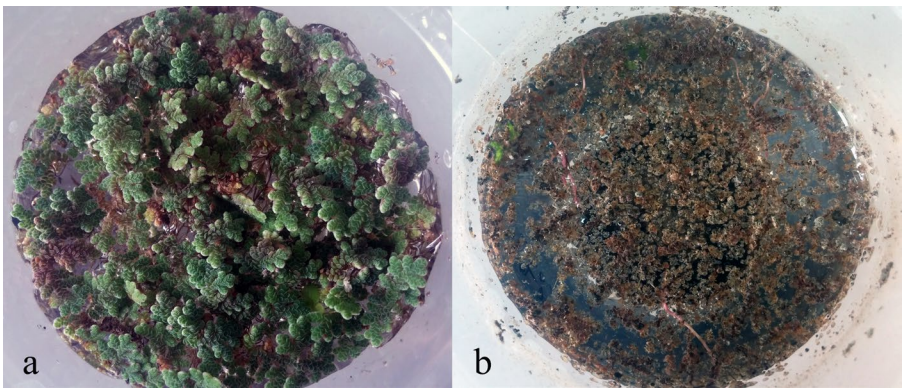
```
                    10        20        30        40        50        60        70        80        90
Large specimen  CAGGGATAGTGGGAACATCCCTAAGAATACTGATTCGAACAGAGTTAGGAAACCCTGGAACATTAATTGGAGATGATCAAATTTATAATACAATCGT
Small specimen  ..................................................................................................

                   110       120       130       140       150       160       170       180       190
Large specimen  TGCACATGCATTTATTATAATTTTCTTTATAGTGATACCAATTATAATTGGTGGCTTCGGAAACTGACTAGTACCACTGATATTAGGAGCTCCTGAT
Small specimen  ..................................................................................................

                   210       220       230       240       250       260       270       280       290
Large specimen  GCCTTCCCCCGAATAAACAATATAAGATTTTGACTTCTACCCCCTTCTTTAACCCTACTTCTAATAAGAAGAATCGTTGAAAGAGGAGCAGGTACTG
Small specimen  ..................................................................................................

                   310       320       330       340       350       360       370       380       390
Large specimen  GAACAGTATACCCCCCTCTTTCAAGAAATATTGCCCACTCTGGGGCCTCAGTAGACTTAGCAATTTTTAGCCTACATATAGCGGGGGTATCCTCAAT
Small specimen  ..................................................................................................

                   410       420       430       440       450       460       470       480       490
Large specimen  AGGGGCTATTAACTTCATTTCAACAACTATCAATATAAAACCTTCTGGTGTAAGCTCAGAACAATTAACCCTATTCATTTGAGCTGTAGGTATTACA
Small specimen  ..................................................................................................

                   510       520       530       540       550       560       570       580       590
Large specimen  CTTTTACTGCTTTTATCTCTACCAGTACTTGCTGGAGCTATTACAATACTATTAACAGATCGTAATATAAATACATCATTTTTTGACCCAGCTGGGG
Small specimen  ..................................................................................................

                   610       620       630       640
Large specimen  GAGACCCTATTCTTTACCAACACTTATTTTGATTCTTTGGA
Small specimen  ...................................
```

در صورت عدم وجود مناطق آلوده در هر شهرستان، تراکم سرخرطومی در آن منطقه صفر در نظر گرفته شد، زیرا که حضور سرخرطومی مشروط به حضور گیاه میزبان اصلی یعنی آزولا است. در هر مرحله از نمونه‌برداری، با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) مدل (Garmin®) مختصات جغرافیایی دقیق محل نمونه‌برداری تعیین شد و تصاویری از مناطق آلوده نیز تهیه شدند.



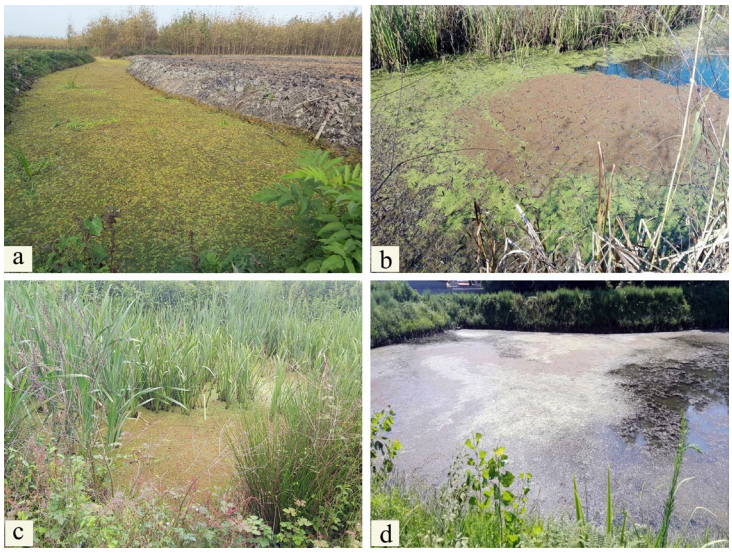
شکل ۱– مراحل مختلف چرخهِی زندگی در *Stenopelmus rufinasus* (a: تخم، b: لارو، c: شفیره، d: حشره‌ی بالغ)

Fig. 1. *Stenopelmus rufinasus* life cycle (a: egg; b: larvae; c: pupa; d: adult)



شکل ۲– آثار تغذیه *Stenopelmus rufinasus* روی آزولا در ظروف پرورش (a: قبل از تغذیه، b: بعد از تغذیه)

Fig. 2. Effects of *Stenopelmus rufinasus* feeding on Azolla (a: before feeding, b: after feeding)



شکل ۳– مناطق آلوده به آزولا در شهرستان بندرانزلی (a)، لاهیجان (b)، صومعه سرا (c) و رضوانشهر (d) (گیلان)

Fig. 3. Azolla infested area in Bandare-Anzali port (a), Lahijan (b), Someh Sara (c) and Rezvanshahr (d) (Guilan)

شکل ٤– مناطق آلوده به سلوینیا *Salvinia minima* (a&b) و عدسک آبی *Lemna* spp. (c&d) در شهرستان‌های لاهیجان (a&c) و بندرانزلی (b&d) (گیلان)

Fig. 4. *Salvinia minima* (a&b) and *Lemna* spp. (c&d) infested area in Lahijan (a&c) and Bandare-Anzali (b&d) (Guilan)

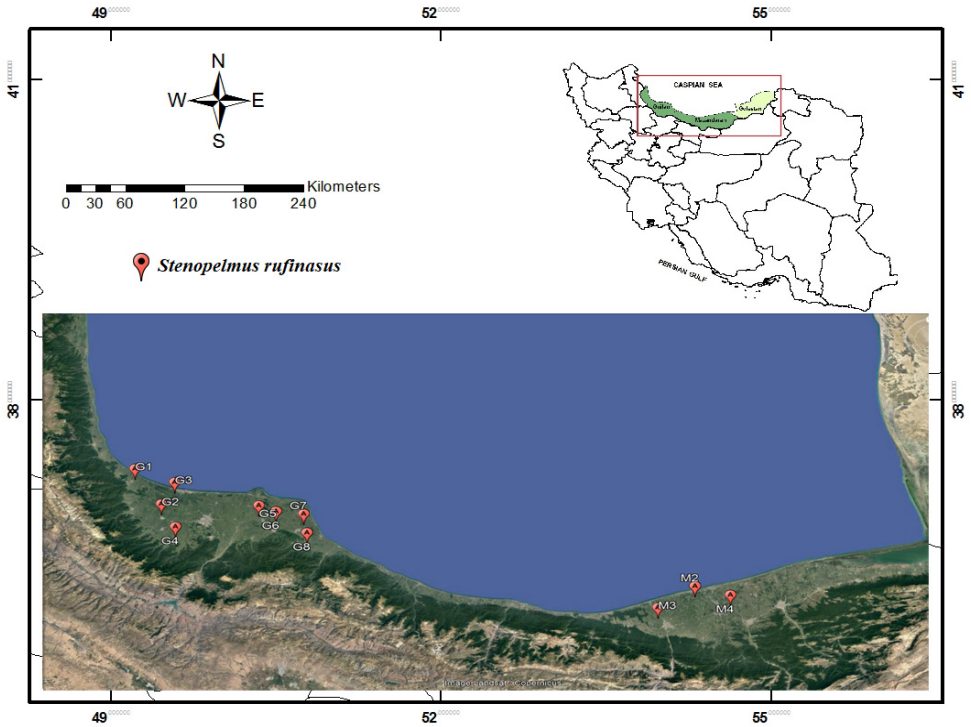
تعیین تراکم فصلی جمعیت. تراکم فصلی سرخرطومی در استان گیلان با نمونه‌برداری‌های منظم ماهیانه در سال‌های ۱۳۹۸–۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا استان گیلان به سه منطقه غربی، مرکزی و شرقی تقسیم شد. به منظور جمع‌آوری حشرات، از یک پیمانه توری شکل با گنجایش پنج کیلوگرم آزولا استفاده شد. اما با توجه به اینکه در بسیاری از مناطق نمونه‌برداری، تراکم آزولا پایین و مقدار نمونه در دسترس زیر پنج کیلوگرم بود، حدود یک کیلوگرم از آزولا به عنوان واحد نمونه‌برداری به مدت ۷۲ ساعت در قیف برلیز قرار داده شده و تعداد لاروها و حشرات کامل سرخرطومی در هر واحد نمونه‌برداری شمارش شدند. در این پژوهش، تراکم تعداد لارو و حشره کامل هم به طور جداگانه و هم به طور کلی محاسبه شدند.

تجزیه و تحلیل آماری. برای تجزیه‌ی آماری داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2013 استفاده شد و نقشه‌های پراکنش نیز با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.2 تهیه شد.

نتایج و بحث

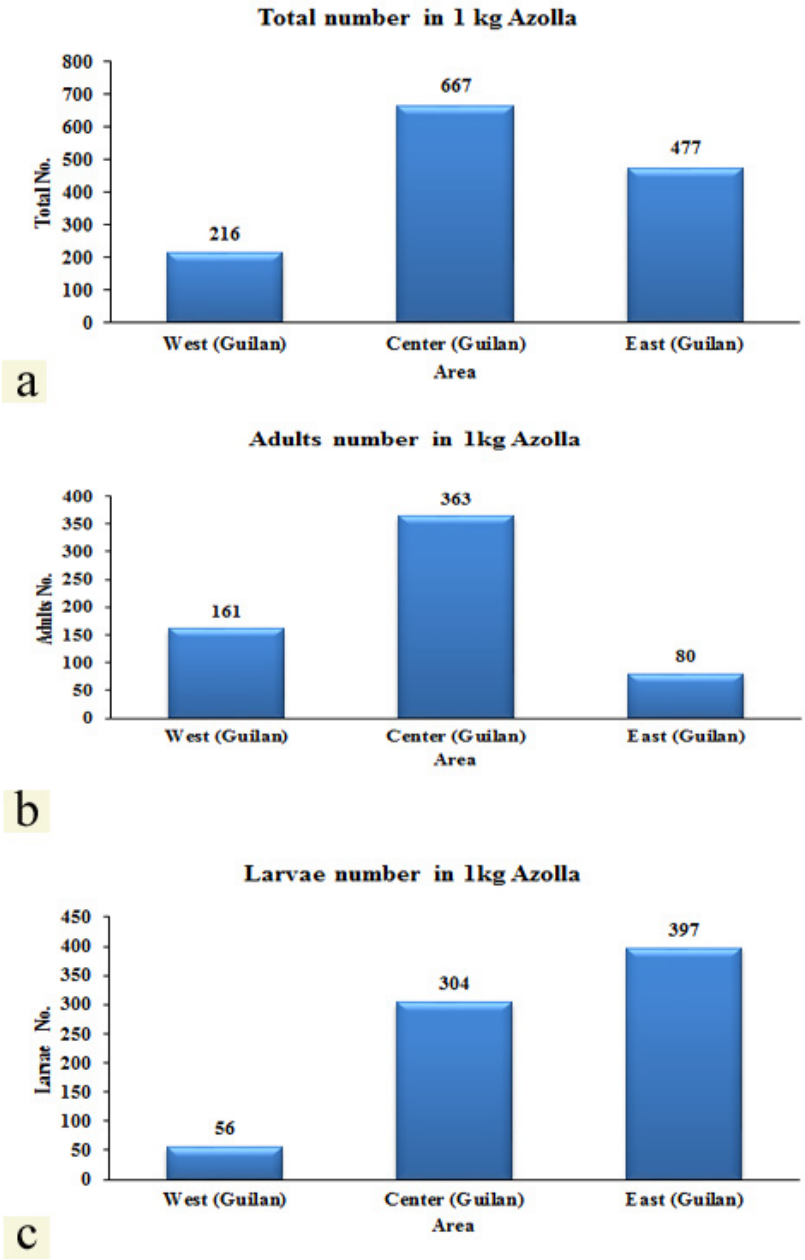
شناسایی سرخرطومی. تمام نمونه‌های جمع‌آوری شده از نقاط مختلف استان‌های گیلان و مازندران به عنوان سرخرطومی آزولا *Stenopelmus rufinasus* شناسایی شدند. در بررسی نمونه‌ی حشرات بالغ در جمعیت‌های بهاره سرخرطومی آزولا، یک گروه حشره‌ی بالغ با ابعاد بدنی بزرگتر و رنگ قهوه‌ای تیره و یک گروه حشره‌ی بالغ با ابعاد بدنی کوچکتر و رنگ قهوه‌ای روشن مشاهده شد. اگرچه اختلاف زیاد در اندازه و رنگ، شبهه‌ی تنوع گونه‌ای در جمعیت سرخرطومی را ایجاد کرد، اما بررسی توالی‌های مولکولی DNA آن‌ها (جدول ۲) نشان داد که تمام نمونه‌ها در حقیقت همان گونه *S. rufinasus* هستند و با توالی‌های نمونه‌های اولیه (KM440642 (NCBI database), Hendrich *et al.*, 2015) ارسال شده هم‌خوانی دارند (Farahpour-Haghani *et al.*, 2018).

شکل‌شناسی و شیوه فعالیت. مراحل مختلف چرخه‌ی زندگی سرخرطومی آزولا در شکل ۱ نمایش داده شده است. تخم‌گذاری به صورت انفرادی روی برگ‌های آزولا (شکل ۱–a) انجام می‌شود. حشره‌ی ماده معمولاً برای تخم‌گذاری یک حفرهِ کوچک روی برگ ایجاد کرده و پس از تخم‌گذاری، روی آن را با فضولات خود می‌پوشاند. تخم‌ها بیضی شکل به رنگ زرد مایل به نارنجی و قطری کمتر از ۰/۵ میلی‌متر دارند. طول دورهِی انکوباسیون تخم در شرایط اتاق حدود ۵ روز بود. لاروها به رنگ نارنجی و بدون پا بوده و دارای کپسول سر سیاه رنگ هستند (شکل ۱–b). طول لارو سن اول حدود یک میلی‌متر و در سن سوم (آخر) لاروی به بیش از سه میلی‌متر می‌رسد. تمامی سنین لاروی روی آزولا فعالیت می‌کنند و طول دوره‌ی لاروی در شرایط نیمه‌صحرایی حدود یک هفته ادامه می‌یابد. شفیره به طول تقریبی دو میلی‌متر داخل برگ‌های پوسیده‌ی آزولا تشکیل می‌شود و رنگ آن‌ها در ابتدا سفید تا شیری و در انتهای دورهِ رشد، تیره می‌شود. طول دورهِ شفیرگی حدود یک هفته است (شکل۱–c).



شکل ۵– نقشه پراکنش جغرافیایی سرخرطومی آزولا *Stenopelmus rufinasus* در استان‌های گیلان و مازندران. G1: رضوانشهر، G2: صومعه‌سرا، G3: بندر انزلی، G4: شفت، G5: آستانه اشرفیه، G6: لاهیجان، G7: لنگرود، G8: املش، M2: آمل (رییس‌آباد)، M3: آمل (کچب)، M4: بابل (حیدرکلا).

Fig. 5. Geographical distribution map of *Stenopelmus rufinasus* in Giulan and Mazandaran provinces. G1: Rezvanshahr, G2: Someh Sara, G3: Bandare- Anzali, G4: Shaft, G5: Astana Ashrafieh, G6: Lahijan, G7: Langarud, G8: Amlash, M2: Amol (Rais Abad), M3: Amol (Kachab), M4: Babol (Hydarkola)

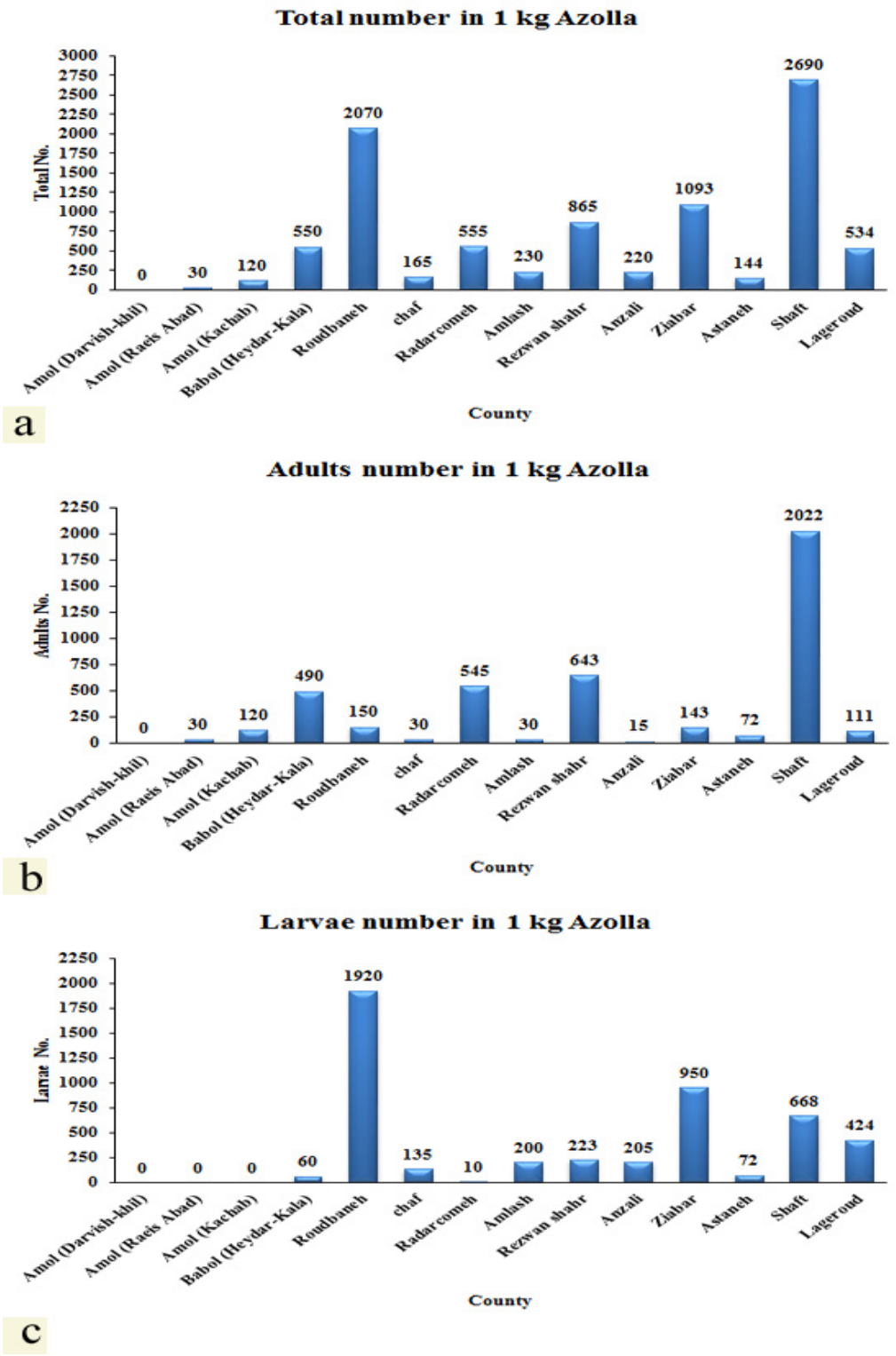


شکل ٦– میانگین تعداد کل (a)، حشره‌ی بالغ (b) و لارو (c) سرخرطومی آزولا در سه منطقه‌ی مختلف استان گیلان

Fig. 6. Average total number (a), adults (b) and larvae (c) of *Stenopelmus rufinasus* in three different regions of Guilan province

حشرات بالغ به طول تقریبی دو میلی‌متر و به رنگ قهوه‌ای تیره هستند. در سطح پشتی بالپوش حشرات کامل طرح‌های نامشخص تیره وجود دارد (شکل۱-d). مدت زمان لازم برای تکمیل یک نسل در شرایط نیمه‌صحرایی حدود ۲ تا ۳ هفته است ولی حشرات کامل تا چند ماه به زندگی خود ادامه می‌دهند. لاروها و حشرات کامل هر دو از آزولا تغذیه می‌کنند و موجب تخریب سطح آزولا می‌شوند (شکل ۲). حشرات کامل به خوبی قادر به پرواز هستند و در صورت وزش باد مسافت‌های بیشتری را در جهت باد پرواز می‌کنند. محدوده‌ی دمایی قابل تحمل برای این سرخرطومی از ۷- تا ۴۱+ درجه‌ی سلسیوس است. دمای ۱۳- و ۴۴+ درجه‌ی سلسیوس، مرگ و میر ۱۰۰ درصد این حشره را موجب می‌شود (Mvandaba *et al.*, 2019). بررسی‌های میدانی نشان داد که در نواحی شمال کشور، فعالیت سرخرطومی روی آزولا در زمستان نیز ادامه دارد و بنابراین همه مراحل زندگی حشره در زمستان روی میزبان گیاهی قابل مشاهده است. این یافته نشان می‌دهد که سرخرطومی آزولا فاقد دیاپوز اجباری است و می‌تواند در زمستان‌های ملایم نیز به فعالیت خود ادامه دهد (Mvandaba *et al.*, 2019).

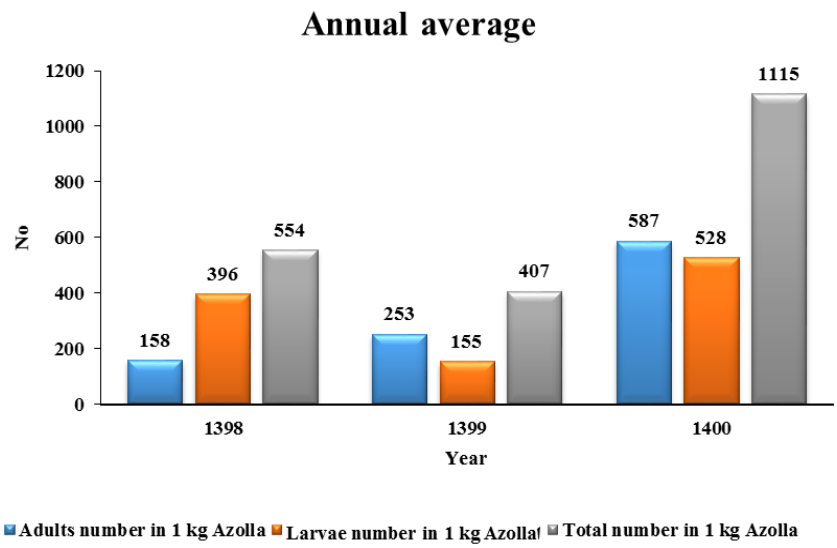
تعیین پراکنش جغرافیایی. جدول ۱ مناطق بررسی شده در استان‌های گیلان و مازندران را نشان می‌دهد. به طور کلی در حین نمونه‌برداری، آبگیرها، آب‌بندان‌ها و کانال‌های آبی نسبت به شالیزارها در اولویت قرار گرفتند. زیرا عملیات کشاورزی در شالیزار بر جمعیت سرخرطومی تاثیر منفی دارد. در طول دوره‌ی نمونه‌برداری برخی از مناطق فاقد آزولا بودند یا تراکم آزولا در آن مناطق به حدی پایین بود که عملا نمونه‌برداری از آن مناطق امکان‌پذیر نبود.



شکل ۷– تعداد کل (a)، حشرهِ بالغ (b) و لارو (c) سرخرطومی آزولا در واحد حجم به تفکیک شهرستان‌های آلوده

Fig. 7. The total number (a), adults (b) and Larvae (c) of *Stenopelmus rufinasus* per weight unit by infected cities

این مناطق در جدول با علامت (–) نشان داده شده‌اند که تراکم جمعیت سرخرطومی برای آن‌ها با توجه به وابستگی شدید این حشره به گیاه میزبان صفر در نظر گرفته شد. در مناطق نمونه‌برداری از آزولا، تصاویری از سطح نواحی آلوده به آزولا ثبت شدند تا شدت آلودگی مشخص شود (شکل ۳). بر اساس اطلاعات به دست آمده، درصد حضور آزولا و سرخرطومی در مناطق غرب، مرکز و شرق گیلان به ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۶۷ بود و در استان مازندران که فقط منطقه مرکزی مورد بررسی قرار گرفت درصد حضور آزولا ۱۰۰ و درصد حضور سرخرطومی ۷۵ بود (جدول ۱). علاوه بر این در برخی از مناطق نمونه‌برداری، آزولا تنها در شالیزارها وجود داشت. از سوی دیگر در برخی از مناطق علاوه بر آزولا، سلوینیا و عدسک آبی نیز وجود داشت اما سرخرطومی آزولا روی آن‌ها مشاهده نشد (شکل ۴).

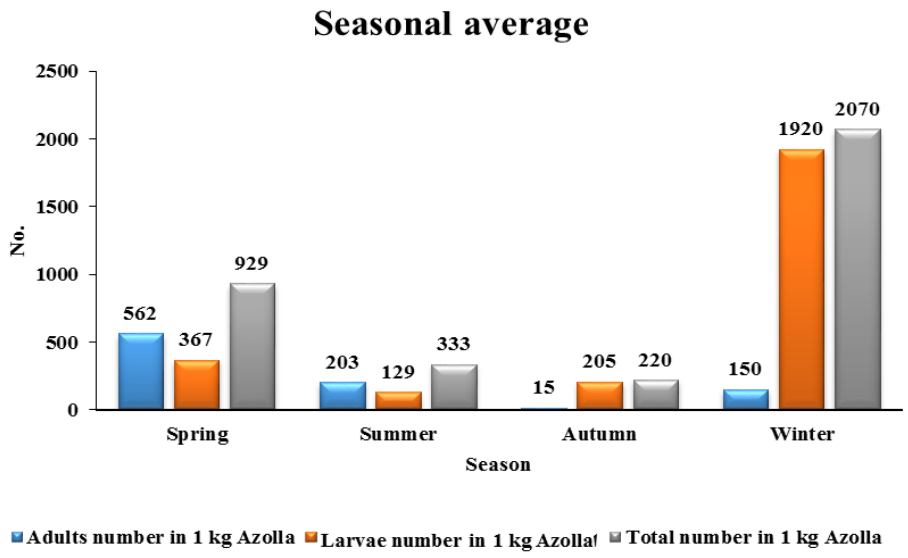


شکل ۸- تغییرات جمعیت سرخرطومی آزولا (به تفکیک تعداد کل، لارو و حشره کامل) در طول سه سال (۱۳۹۸تا ۱۴۰۰)

Fig. 8. Changes in the *Stenopelmus rufinasus* population (separated by the total number, larvae and adults) during three years (2019-2022)

لازم به ذکر است که در تمامی مناطق آلوده به آزولا به جز یک منطقه (آمل، درویش خیل) در مازندران، سرخرطومی نیز وجود داشت. به عبارتی تقریبا هر جا که در مناطق مورد بررسی آزولا وجود داشت، سرخرطومی در حال تغذیه و یا فعالیت روی آن مشاهده شد. بر اساس منابع موجود، سرخرطومی *S. rufinasus* یک گونه مونوفاژ با تخصص میزبانی بالا و ترجیح میزبانی روی آزولا است که حتی در بین گونه‌های مختلف آزولا نیز به نوعی انتخابی عمل می‌کند (Madeira *et al.*, 2016؛ Richerson & Grigarick, 1967) موارد معدودی از مشاهده این سرخرطومی روی سالیونیا و عدسک آبی وجود دارد اما تولیدمثل و تکثیر آن روی گونه‌های یاد شده گزارش نشده است (Mor *et al.*, 2010؛ Parys *et al.*, 2015). به این ترتیب عدم مشاهده این سرخرطومی در مناطقی که در آن آزولا وجود ندارد دور از انتظار نیست. شکل ۵ نقشه‌ی پراکنش سرخرطومی آزولا در استان‌های گیلان و مازندران را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات به دست آمده از پویش‌های میدانی در زمینه کنترل آزولا در استان گیلان، سه سطح مختلف کنترل آزولا توسط سرخرطومی در مناطق بررسی‌شده قابل تشخیص است: ۱- آب‌بندان‌ها و تالاب‌ها که در آن‌ها آزولا به خوبی مهار شده بود؛ ۲- مزارع دارای زهکش مناسب و خاک سبک که در این مناطق نیز کنترل آزولا رضایت‌بخش بود؛ ۳- مزارع دارای زهکش ضعیف و شرایط باتلاقی که در آن‌ها کماکان مشکل آزولا تا حدی وجود دارد.

تعیین تراکم فصلی جمعیت. در بررسی تراکم جمعیت سرخرطومی، تعداد لارو و حشره‌کامل هم به طور جداگانه و هم به طور کلی محاسبه شدند. در بررسی تعداد کل در سه منطقه‌ی استان گیلان، بیشترین تراکم مربوط به منطقه‌ی مرکزی با ۶۶۷ عدد حشره در یک کیلوگرم آزولا و کمترین تعداد مربوط به منطقه غرب گیلان با ۲۱۶ عدد حشره در یک کیلوگرم آزولا بود (شکل ۶-a). در مقایسه تراکم لارو و حشره‌ی کامل، بیشترین تراکم لارو با ۳۹۷ عدد لارو در یک کیلوگرم آزولا مربوط به منطقه شرق استان و کمترین تراکم با ۵۶ عدد لارو در یک کیلوگرم آزولا مربوط به منطقه غربی استان بود (شکل ۶-c). در حالی‌که در مورد تعداد حشرات بالغ، بیشترین تعداد حشرات بالغ به تعداد ۳۶۳ حشره‌ی بالغ در یک کیلوگرم آزولا در منطقه‌ی مرکزی و کمترین تعداد آن با ۸۰ عدد حشره‌ی بالغ در یک کیلوگرم آزولا مربوط به منطقه‌ی شرقی بود (شکل ۶-b). با بررسی میانگین دمای استان گیلان در سال‌های گذشته (Anonymous, 2018) و نقشه راه‌های آبی و رودخانه‌های استان گیلان (Farahpour-Haghani, 2018) تا حدودی دلایل تمرکز جمعیت سرخرطومی آزولا در بخش مرکزی استان قابل توجیه است. سرخرطومی آزولا یک گونه‌ی آبزی گرمادوست است و رطوبت و دمای بالا برای فعالیت این گونه به عنوان شرایط بهینه مورد نیاز است (Mvandaba *et al.*, 2019؛ Hill, 1998). در منطقه غرب گیلان راه‌های آبی دارای تراکم کمتر بوده و خاک، سبک و شنی است و شیب منطقه سبب می‌شود که تعداد آب‌بندان‌ها که زیستگاه اصلی سرخرطومی و آزولا محسوب می‌شود کمتر از مناطق مرکزی و شرقی باشد. علاوه بر این میانگین دمایی به دلیل وجود ارتفاعات بیشتر نسبت به سایر مناطق استان پایین‌تر است (Farahpour-Haghani, 2018؛ Anonymous, 2018). با توجه به حساسیت بیشتر لاروهای سرخرطومی به شرایط اقلیمی، تراکم پایین تعداد کل سرخرطومی در این منطقه می‌تواند واکنشی به شرایط اقلیمی منطقه باشد. به همان میزان منطقه‌ی مرکزی با شرایط رطوبت نسبی و دمای بالاتر، یک منطقه مناسب برای فعالیت سرخرطومی محسوب می‌شود که تراکم بالای جمعیت کل سرخرطومی در این منطقه تاییدی بر این نظر است. از سوی دیگر تراکم بیشتر راه‌های آبی در مناطق مرکزی و شرقی، ارتفاع کمتر و سنگین‌تر بودن خاک سبب ایجاد آب‌بندان‌های بیشتری می‌شود و زهکش ضعیف و باتلاقی بودن برخی از مناطق شرایط را برای فعالیت سرخرطومی و آزولا مناسب‌تر می‌کند. به این ترتیب با توجه به وابستگی بیشتر لاروها به رطوبت، تراکم بالاتر لارو سرخرطومی در منطقه‌ی شرقی که بیشترین میزان بارندگی را دارد دور از ذهن نیست. زیرا در اغلب حشرات از جمله سرخرطومی آزولا حشرات بالغ اغلب زیستگاه‌های مناسب‌تر را برای لاروها و نوزادان انتخاب کرده و خود در زیستگاه‌های با شرایط نسبی متوسط فعالیت می‌نمایند. از این رو با توجه به اینکه حشرات کامل سرخرطومی دارای مقاومت بیشتری نسبت به تغییرات دمایی و رطوبتی هستند، قدرت پرواز آن‌ها سبب شده که در منطقه مرکزی استان گیلان تراکم بیشتری داشته باشند. لازم به ذکر است که فاصله این سه منطقه از نظر جغرافیایی بسیار کم است و با توجه به قدرت پرواز بالای حشرات بالغ، این مناطق در واقع یک زیستگاه اکولوژیکی برای این حشره محسوب می‌شوند.



شکل ۹– تغییرات فصلی جمعیت سرخرطومی آزولا (به تفکیک تعداد کل، لارو و حشره کامل) در منطقه

Fig. 9. Seasonal changes of the *Stenopelmus rufinasus* population (by total number, larvae and adults) in the region

در مقایسه تراکم لارو، حشرات بالغ و تعداد کل سرخرطومی در شهرستان‌های مختلف، بیشترین تعداد کل ۲۶۹۰ لارو و حشره‌ی کامل در یک کیلوگرم آزولا بود که مربوط به شهرستان شفت بود و کمترین مقدار آن ۱۴۴ لارو و حشره‌ی کامل در یک کیلوگرم آزولا مربوط به شهرستان آستانه اشرفیه بود (شکل ۷a–). با بررسی تعداد لارو، به ترتیب بیشترین تعداد لارو با ۱۹۲۰ لارو در یک کیلوگرم آزولا در شهرستان لاهیجان و کمترین تعداد لارو با ۷۲ عدد لارو در یک کیلوگرم آزولا در شهرستان آستانه اشرفیه مشاهده شد (شکل ۷c–). در حالی‌که در مورد حشره‌ی بالغ، بیشترین تعداد با ۲۰۲۲ حشرهِ بالغ در یک کیلوگرم آزولا در شهرستان شفت و کمترین تعداد آن به تعداد ۱۵ حشره‌ی بالغ در یک کیلوگرم آزولا مربوط به شهرستان بندرانزلی بود (شکل ۷b–). لازم به ذکر است که دو شهرستان شفت و لاهیجان در منطقه‌ی گرم‌تر استان قرار گرفته‌اند در حالی‌که رطوبت و بارندگی در شهرستان لاهیجان نسبت به شفت بیشتر است. لذا تراکم بالای لارو سرخرطومی در لاهیجان و تجمع بیشتر حشرات بالغ در شفت با توجه به مقاوت بیشتر آن‌ها نسبت به خشکی نیز می‌تواند در واکنش به شرایط اقلیمی استان باشد. در بررسی تغییرات سالیانه تعداد کل سرخرطومی آزولا (لارو و حشرات بالغ) در واحد حجم در طول سه سال (۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰)، تعداد کل حشره در استان گیلان دارای روند افزایشی بود. با این وجود تغییرات جمعیت حشره یکنواخت نبود (شکل ۸). همان طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود کاهش جمعیت کل در سال ۱۳۹۹ در اثر کاهش تعداد لارو مشاهده می‌شود در حالی‌که تعداد حشرات بالغ همچنان افزایش یافته است. این امر می‌تواند نشان دهنده‌ی کاهش میزان زاد و ولد در طول این سال باشد. با توجه به وابستگی شدید حشرات مونوفاژ و الیگوفاژی مانند سرخرطومی آزولا به میزبان و تأثیر شرایط اقلیمی منطقه بر میزبان و عامل کنترل بیولوژیک، جمعیت این گروه از حشرات اغلب بیشتر تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند که یکی از نشانه‌های آن کاهش میزان زاد و ولد است. در واقع دلیل اصلی اهمیت پایش در موفقیت عملکرد عوامل کنترل بیولوژیک نیز تاثیر شدید شرایط محیطی بر عوامل کنترل بیولوژیک اختصاصی است (van Wilgen *et al.*, 2004؛ Rabindra & Bhumannavar, 2009؛ Zimmermann *et al.*, 2009). بنابراین تغییرات غیر یکنواخت جمعیت سرخرطومی باید مورد توجه قرار گیرد و ضرورت دارد شرایط محیطی مانند میزان بارندگی، دما و غیره در سال‌های کاهش جمعیت به دقت بازبینی شود. شکل ۹ تغییرات جمعیت سرخرطومی در فصل‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین تراکم جمعیت در زمستان و کمترین تراکم جمعیت در پاییز بوده است. در بررسی تغییرات فصلی جمعیت شب‌پرهِ نقش چینی کوچک *Cataclysta lemnata* (L.) در استان گیلان که از آزولا تغذیه می‌کند نیز همین حالت مشاهده شد (Farahpour-Haghani, 2018).

آزولا در طول ماه‌های زمستان و بهار دارای بیشترین رشد و تراکم بوده و در تابستان به دلیل شدت تابش زیاد آفتاب، رشد آن متوقف و مرگ‌ومیر آن افزایش می‌یابد (مشاهدات میدانی). دیگر محققین نیز آزولا را یک گیاه سایه‌پسند که در هوای معتدل و مرطوب دارای تکثیر و رشد بیشتری است گزارش کرده‌اند (Lumpkin & Plucknett, 1982). کیفیت ماده غذایی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر مراحل رشد و جمعیت حشره محسوب می‌شود (Clissold & Ohmart *et al.*, 1985؛Simpson, 2015). بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی استان و شرایط رشدی آزولا، جمعیت بالای سرخرطومی در شرایط بهینه‌ی رشدی میزبان دور از ذهن نیست. به این ترتیب با توجه به شرایط نامناسب تابستان برای رشد آزولا و فعالیت سرخرطومی روی آن، کاهش جمعیت عامل کنترل بیولوژیک (سرخرطومی آزولا) بعد از یک دوره شرایط اقلیمی نامناسب برای میزبان، طبیعی به نظر می‌رسد. چنین وضعیتی در شرایط مشابه در مورد شب‌پرهِ نقش چینی کوچک *C. lemnata* نیز مشاهده شد (Farahpour-Haghani *et al.*, 2018). همچنین تغییر اندازه بدن در حشرات بر اساس کیفیت ماده غذایی نیز یک پدیده‌ی رایج محسوب می‌شود (Davidowitz *et al.*, 2003؛ Björkman *et al.*, 2009؛ Holmes *et al.*, 2020). لذا مشاهده حشرات بالغ با اندازه بزرگ در بهار با توجه به شرایط مناسب زمستان برای رشد آزولا و افزایش کیفیت مادهِ غذایی در دسترس نیز می‌تواند به نوعی پاسخ حشره به افزایش کیفیت ماده غذایی باشد. از سوی دیگر بررسی‌های تفکیکی نشان داد که جمعیت بالای زمستانه، بیشتر مربوط به لاروها است که نشان می‌دهد در اقلیم گیلان این حشره اغلب به صورت لارو زمستان‌گذرانی می‌کند. بر اساس بررسی‌های انجام شده، سرخرطومی آزولا اگرچه یک گونه‌ی گرمادوست است اما در مرحله شفیرگی به

گرما حساس بوده و گرمای بالای ۳۲ درجه سلسیوس روی شفیره‌ها تاثیر منفی داشته و اغلب شفیره‌ها در این دما به حشره‌ی کامل تبدیل نمی‌شوند (Richerson & Grigarick, 1967). بنابراین با توجه به متوسط دمای بالای هوا در ماه‌های تابستان (۳۰–۳۶ درجه سلسیوس) در استان گیلان، اغلب شفیره‌های تابستانه به حشرات بالغ تبدیل نخواهند شد. جمعیت بالای لاروهای زمستان‌گذارن در مورد شب‌پره‌یِ نقش چینی کوچک نیز وجود داشت که نشان می‌دهد آزولا در شرایط اقلیمی گیلان محل زمستانگذرانی مراحل نابالغ گونه‌ی‌های مفید است (Farahpour-Haghani *et al.*, 2018) که این نکته باید به طور جدی مورد توجه قرار داده شود، زیرا ورود آفت‌کش‌ها و ترکیبات شیمیایی در طول فصل زمستان در استان به مناطق آلوده به آزولا می‌تواند بقای گونه‌های مفید را به شدت تحت تاثیر قرار دهد. تکمیل دوره‌یِ رشد در طول زمستان سبب می‌شود که جمعیت حشرات بالغ در فصل بهار بیش از سایر فصل‌ها باشد که تا پاییز با توجه به شرایط محیطی و آسیب به میزبان اصلی به حداقل می‌رسد.

نتیجه گیری

در هر دو استان گیلان و مازندران و در تمام زیستگاه‌های آبی و شالیزار، عامل کنترل بیولوژیک سرخرطومی آزولا حضور داشته ولی کارآیی آن در کنترل آزولا در دو زیستگاه مذکور متفاوت بود. این سرخرطومی، آزولا را در تالاب‌های غرقاب دایم تا حدود زیادی کنترل کرده است. میزان خسارت آزولا در شالیزارهایی که در اطراف تالاب‌ها قرار دارند به‌شدت کاهش یافته ولی در مزارع فاقد زهکش مناسب یا دارای آب‌های سطحی و غرقاب دائم یا مرطوب در تمام طول سال، همچنان این علف‌هرز مانعی در زراعت برنج است و هرساله طغیان فصلی آزولا به‌عنوان یک عامل خسارت‌زا مطرح است. با این وجود، نتایج این پژوهش نشان دهنده‌ی این است که کارایی بسیار خوب این سرخرطومی در تغذیه از آزولا سبب حذف این علف‌هرز از تالاب‌ها و مانداب‌های دایمی شده که مکان‌های عمده تکثیر آزولا بودند. از سویی دیگر، پراکنش و تراکم مراحل زیستی مختلف حشره تحت تاثیر شرایط اقلیمی منطقه بوده و دما و رطوبت در بقای حشره نقش مهمی دارند. شرایط اقلیمی در زمستان و بهار برای فعالیت حشره مناسب‌تر بوده و جمعیت حشره در فصل تابستان به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه این حشره به عنوان یک گونه‌ی الیگوفاژ شناخته شده و برای تکثیر و تولیدمثل به شدت وابسته به میزبان است، بنابراین تاثیر شرایط اقلیمی بر جمعیت حشره وابسته به میزبان بوده و شرایط اقلیمی نامساعد فصل تابستان (گرمای زیاد و تابش شدید آفتاب) در شمال کشور برای آزولا که یک گونه‌ی سایه‌پسند و رطوبت دوست است یکی از عوامل مهم در کاهش جمعیت حشره در تابستان است. لذا این امر می‌تواند عملکرد این گونه در شمال کشور را به عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک تحت تاثیر قرار دهد و ضرورت دارد مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه همکاران بخش تحقیقات گیاهپزشکی ستاد و معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور که در انجام نمونه‌برداری‌های صحرایی این پژوهش همکاری داشتند و همچنین موسسه تحقیقات برنج کشور به دلیل حمایت‌های مالی و فنی تشکر و قدردانی می‌شود.

حمایت مادی و معنوی

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی به شماره ۹۸۰۲۷۸–۰۰۶–۰۴–۰۴–۲ مصوب موسسه تحقیقات برنج کشور می‌باشد.

REFERENCES

Anonymous, (2018) Statistical report of the synoptic stations of the Meteorological Organization and base rain gauge stations, Ministry of Energy, Iran.

Alonso-Zarazaga M. A. & Lyal C. H. C. (1999) A World Catalogue of Families and Genera of Curculionoidea (Insecta: Coleoptera) (Excepting Scolytidae and Platypodidae). Entomopraxis, Barcelona, 315 pp. [27-XII-1999]

Ashton, P. J. (1992) Azolla Infestations in South Africa: History of the Introduction, Scope of the Problem and Prospects for Management. Water Quality Information Sheet. Pretoria, South Africa: Department of Water Affairs and Forestry.

Axelsen, S. & Julian, C. (1988) Weed control in small dams. Part II Control of salvinia, azolla and of water hyacinth. *Queensland Agricultural Journal* 114(5), 291-298.

Björkman, C., Gotthard, K. & Pettersson, M. W. (2009) *Body size. In Encyclopedia of insects* (pp. 114-116). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00038-2.

Carrapiço, F., Santos, R. & Serrano, A. (2011) First Occurrence of *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, 1835 (Coleoptera: Erirhinidae) in Portugal. *The Coleopterists Bulletin* 65(4), 436-437. https://doi.org/10.1649/072.065.0424.

Carson, W. P., Hovick, S. M., Baumert, A. J., Bunker, D. E. & Pendergast, T. H. (2008) Evaluating the post-release efficacy of invasive plant biocontrol by insects: a comprehensive approach. *Arthropod-Plant Interactions* 2(2), 77-86. https://doi.org/10.1007/s11829-008-9036-5.

Clissold, F. J. & Simpson, S. J. (2015) Temperature, food quality and life history traits of herbivorous insects. *Current Opinion in Insect Science* 11, 63-70. https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.10.011.

Coetzee, J. A., Hill, M. P., Byrne, M. J. & Bownes, A. (2011) A review of the biological control programmes on *Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms (Pontederiaceae), *Salvinia molesta* DS Mitch. (Salviniaceae), *Pistia stratiotes* L. (Araceae), *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. (Haloragaceae) and *Azolla filiculoides* Lam. (Azollaceae) in South Africa. *African Entomology* 19(2), 451-468. https://doi.org/10.4001/003.019.0202.

Davidowitz, G., D'Amico, L. J. & Nijhout, H. F. (2003) Critical weight in the development of insect body size. *Evolution & development* 5(2), 188-197. https://doi.org/10.1046/j.1525-142X.2003.03026.x.

Delnavaz-Hashemloian, B. & Azimi, A. A. (2009) Alien and exotic Azolla in northern Iran. *African Journal of Biotechnology* 8(2), 187-190.

Farahpour-Haghani, A., Jalaeian, M. & Landry, B. (2016) *Diasemiopsis ramburialis* (Duponchel) (Lepidoptera, Pyralidae, Spilomelinae) in Iran: first record for the country and first host plant report on water fern (*Azolla filiculoides* Lam., Azollaceae). *Nota Lepidopterologica* 39, 1-11. https://doi.org/10.3897/nl.39.6887.

Farahpour-Haghani, A. (2018) *Studying on possibility of use of a rice fields active aquatic moth in biological control of aquatic weeds, Azolla filiculoides Lamarck and Azolla pinnata R. Brown in paddy fields of northern Iran*, PhD thesis, University of Mohaghegh Ardabili, 154pp.

Farahpour-Haghani, A., Tosiveski, I., Yaghoubi, B., Jalaeian, M. & Pouramir, F. (2018) First report of the exotic weevil *Stenopelmus rufinasus* (Coleoptera: Curculionidae) occurrence in Iran. *Journal of Crop Protection* 7(2), 243-246.

Florencio, M., Fernández-Zamudio, R., Bilton, D. T. & Díaz-Paniagua, C. (2015) The exotic weevil *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, 1835 (Coleoptera: Curculionidae) across a "host-free" pond network. *Limnetica* 34(1), 79-84. https://doi.org/10.23818/limn.34.07.

Golmohammadi, M. J., Mohammaddoust Chamanabad, H. R., Yaghoubi, B. & Oveisi, M. (2018) Rice weed community composition and richness in northern Iran: a temperate rainy area. *Applied Ecology and Environmental Research* 16(4), 4605-4617. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_46054617.

Hendrich, L., Morinière, J., Haszprunar, G., Hebert, P. D., Hausmann, A., Köhler, F. & Balke, M. (2015) A comprehensive DNA barcode database for Central European beetles with a focus on Germany: adding more than 3500 identified species to BOLD. *Molecular Ecology Resources* 15(4), 795-818. https://doi.org/10.1111/1755-0998.12354.

Hill, M. P. (1997) The potential for the biological control of the floating aquatic fern, Azolla filiculoides Lamarck (red water fern/rooivaring) in South Africa. WRC.

Hill, M. P. (1998) Life history and laboratory host range of *Stenopelmus rufinasus*, a natural enemy for *Azolla filiculoides* in South Africa. *BioControl* 43(2), 215-224. https://doi.org/10.1023/A:1009903704275.

Hill, M. P. & Julien, M. H. (2004) The transfer of appropriate technology; key to the successful biological control of five aquatic weeds in Africa. In XI *International Symposium on Biological Control of Weeds* (p. 370).

Hill, J. H. & McConnachie A. J. (2009) *Azolla filiculoides Lamarck (Azollaceae). In R. Muniappan, G.V.P. Reddy, and A. Raman, Eds. Biological Control of Tropical Weeds using Arthropods*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 74-87. https://doi.org/10.1017/CBO9780511576348.005.

Hill, M. P. & Coetzee, J. (2017) The biological control of aquatic weeds in South Africa: Current status and future challenges. *Bothalia-African Biodiversity & Conservation* 47(2), 1-12. https://doi.org/10.4102/abc.v47i2.2152.

Holmes, L. A., Nelson, W. A. & Lougheed, S. C. (2020) Food quality effects on instar-specific life histories of a holometabolous insect. *Ecology and evolution* 10(2), 626-637. https://doi.org/10.1002/ece3.5790.

JICA (Japan International Cooperation Agency). (2005) The study on integrated management of Anzali Wetland in the Islamic Republic of Iran, Final report 2.

Lumpkin, T. A. & Plucknett, D. L. (1982) Azolla as a green manure: use and management in crop production. Westview Press.

Madeira, P. T., Hill, M. P., Dray Jr, F. A., Coetzee, J. A., Paterson, I. D. & Tipping, P. W. (2016) Molecular identification of Azolla invasions in Africa: The Azolla specialist, *Stenopelmus rufinasus* proves to be an excellent taxonomist. *South African Journal of Botany* 105, 299-305. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.007.

McConnachie, A. J., Hill, M. P. & Byrne, M. J. (2004a) Field assessment of a frond-feeding weevil, a successful biological control agent of red waterfern, *Azolla filiculoides*, in southern Africa. *Biological control* 29(3), 326-331. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.08.010.

McConnachie, A. J., Hill, M. P., Byrne, M. J. & de Wit, M. P. (2004b) The successful biological control of *Azolla filiculoides* in South Africa: an economic perspective. In XI International Symposium on Biological Control of Weeds (p. 576).

Meister, R. T. (1992) *Farm Chemicals Handbook 1992*. Meister Publishing Company. Willoughby, OH.

Mor, J. R., Sabater, L. C., Masferrer, J., Sala, J., Font, J. & Boix, D. (2010) Presence of the exotic weevil *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, 1836 (Coleoptera: Erirhinidae) in Ter River (NE Iberian Peninsula). *Boletín De La SEA* (46), 367-372.

Morin, L., Reid, A. M., Sims-Chilton, N. M., Buckley, Y. M., Dhileepan, K., Hastwell, G. T., Nordblom, T. L & Raghu, S. (2009) Review of approaches to evaluate the effectiveness of weed biological control agents. *Biological control* 51(1), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.017.

Mvandaba, S. F., Owen, C. A., Hill, M. P. & Coetzee, J. A. (2019) The thermal physiology of *Stenopelmus rufinasus* and *Neohydronomus affinis* (Coleoptera: Curculionidae), two biological control agents for the invasive alien aquatic weeds, *Azolla filiculoides* and *Pistia stratiotes* in South Africa. *Biocontrol Science and Technology* 29(1), 44-58. https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1525484.

Nordblom, T. L., Smyth, M. J. Swirepik, A. Sheppard, A. W. & Briese, D. T. (2002) Spatial economics of biological control: investing in new releases of insects for earlier limitation of Paterson's curse in Australia. *Agricultural Economics* 27(3), 403-424. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2002.tb00128.x.

Ohmart, C. P., Stewart, L. G. & Thomas, J. R. (1985) Effects of food quality, particularly nitrogen concentrations, of *Eucalyptus blakelyi* foliage on the growth of *Paropsis atomaria* larvae (Coleoptera: Chrysomelidae). *Oecologia* 65, 543-549. https://doi.org/10.1007/BF00379670.

PAN, (2023) Pesticide action network: https://www.panna.org/: retrieved in Jun 2023

Parys, K. A., Tewari, S. & Johnson, S. J. (2015) Adults of the Waterfern Weevil, *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae), Feed on a Non-Host Plant, *Salvinia minima* Baker, in Louisiana. *The Coleopterists Bulletin* 69(2), 316-318. https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.2.316.

Rabindra, J. & Bhumannavar, B. S. (2009) Biological control of weeds in India. Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods, 438pp. https://doi.org/10.1017/CBO9780511576348.022.

Richerson, P. J. & Grigarick, A. A. (1967) The life history of *Stenopelmus rufinasus* (Coleoptera: Curculionidae). *Annals of the Entomological Society of America* 60(2), 351-354. https://doi.org/10.1093/aesa/60.2.351.

Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K. & van Damme, P. (2013) A review of some ecological factors affecting the growth of Azolla spp. *Caspian Journal of Environmental Sciences* 11(1), 65-76.

Steÿn, D. J., Scott, W. E., Ashton, P. J. & Vivier, F. S. (1979) Guide to the use of herbicides on aquatic plants. Technical Report.

Van Driesche R. G., Carruthers R. I., Center T., Hoddle M. S., Hough-Goldstein J., Morin L., Smith L., Wagner D. L., Blossey B., Brancatini V., Casagrande R., Causton C. E., Coetzee J. A., Cuda J., Ding J.,

Fowler S. V., Frank J. H., Fuester R., Goolsby J., Grodowitz M., Heard T. A., Hill M. P., Hoffmann J. H., Huber J., Julien M., Kairo M. T. K., Kenis M., Mason P., Medal J., Messing R., Miller R., Moore A., Neuenschwander P., Newman R., Norambuena H., Palmer W. A., Pemberton R., Perez Panduro A., Pratt P. D., Rayamajhi M., Salom S., Sands D., Schooler S., Schwarzländer M., Sheppard A., Shaw R., Tipping P. W. & Van Klinken R. D. (2010) Classical biological control for the protection of natural ecosystems, Review. *Biological Control* 54, 2-33. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.03.003.

van Wilgen, B. W., De Wit, M. P., Anderson, H. J., Le Maitre, D. C., Kotze, I. M., Ndala, S., Brown, B. & Rapholo, M. B. (2004) Costs and benefits of biological control of invasive alien plants: Case studies from South Africa: Working for Water. *South African Journal of Science* 100(1-2), 113-122.

Winston, R. L., Schwarzländer, M., Hinz, H. L., Day, M. D., Cock, M. J. & Julien, M. H. (2014) *Biological control of weeds: a world catalogue of agents and their target weeds. Biological control of weeds: a world catalogue of agents and their target weeds*, (Ed. 5).

Zimmermann, H., Moran, C. & Hoffmann, J. (2009) *Biological control of tropical weeds using arthropods, Chapter 7: Invasive cactus species (Cactaceae)*, Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511576348.007.

Study of geographical distribution and population density of *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, in paddy fields and aquatic ecosystems in northern Iran

Mahdi Jalaeian[1], Atousa Farahpour-Haghani[1], Farzad Majidi-Shilsar[1], Bijan Yaghoubi[1] & Mehrdad Amooghli-Tabari[2]

1-Department of Plant Protection, Rice Research Institute of Iran, (AREEO), Rasht, Iran

✉ mahdi_jalaeian@yahoo.com https://orcid.org/0000-0002-1965-9695
✉ hpapiliona@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-6158-4527
✉ majidi14@yahoo.com https://orcid.org/0000-0002-4066-0279
✉ byaghoubi2002@yahoo.com https://orcid.org/0000-0003-4231-7893

2-Department of Plant Protection, Rice Research Institute of Iran, (AREEO), Amol, Iran

✉ ma_tabari@yahoo.com https://orcid.org/0000-0003-3152-2867

Article History

Received: 14 August 2023 | *Accepted:* 7 October 2023 | Subject Editor: Hossein Ranjbar Aghdam

Abstract

Azolla (*Azolla* spp.: Salviniaceae) is an aquatic fern that was introduced to the northern region of Iran with the aim of increasing the fertility of paddy fields, but due to suitable climatic conditions and the absence of natural enemies it became a problem in rice production and a destructive factor in aquatic ecosystems. In recent years, the biological control agent of this weed, Azolla weevil *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal (Curculionidae), was introduced in northern region of Iran. In this study, geographical distribution and seasonal population density of *S. rufinasus* in northern Iran were investigated through regular monthly sampling. The results showed that the time required to complete one generation in semi-field conditions is about two weeks. Both larvae and adults feed on Azolla. Azolla weevil is well distributed and established in the north regions of Iran and by feeding on Azolla, it has reduced its population in wetlands, permanent ponds and paddy fields. Comparing the population density of the weevil in three regions of Guilan province, indicated that the highest number of total density (667 insect in 1 kg Azolla) and adult (363 adults in 1 kg Azolla) belong to the central region of the province, while the density of larvae (397 larvae in 1 kg Azolla) in the eastern region of the province was higher than other regions. In the survey of the density in different cities, the highest density of total (2690 adults and larvae in 1 kg Azolla) and adult insects (2022 adults in 1 kg Azolla) was observed in Shaft city and the highest density of larvae (1920 larvae in 1 kg Azolla) was observed in the Rudbane of Lahijan. Based on the obtained results, the population density of the weevil is higher in spring and winter, which is not far from the mind considering the climatic conditions of the region and the sensitivity of Azolla to heat and low humidity. Based on the findings of this survey, the weevil has spread and settled well in the northern regions

Keywords: Weevil, Biological Control, Paddy field, Guilan, Mazandaran

Corresponding Author: Mahdi Jalaeian (Email: mahdi_jalaeian@yahoo.com)

Citation: Jalaeian, M., Farahpour-Haghani, A., Majidi-Shilsar, F. Yaghoubi, B. & Amooghli-Tabari, M. (2023) Study of geographical distribution and population density of *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, in paddy fields and aquatic ecosystems in northern Iran. *J. Entomol. Soc. Iran*, 43 (3), 259–273. https://doi.org.10.61186/jesi.43.3.6