رشد افسارگسیخته سرخس آبی (*Azolla filiculoides*, Lam.) در تالاب انزلی؛ تراژدی معرفی یک گونه مهاجم به یکی از مهم‌ترین پیکره‌های آبی ایران

علیرضا رادخواه[1*]، سهیل ایگدری[1]، هادی پورباقر[1] و اسماعیل صادقی‌نژاد ماسوله[2]

[1] ایران، کرج، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

[2] ایران، بندر انزلی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی

چکیده

در پژوهش حاضر، یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی و نمونه‌های تهاجم بیولوژیک در ایران که سال‌ها بلای جان تالاب انزلی در شمال کشور شده، مورد بررسی قرار گرفته است. سرخس آبی یا آزولا (*Azolla filiculoides*) نام یک گونه غیربومی و مهاجم است که در بسیاری از اکوسیستم‌های شمالی کشور از جمله تالاب انزلی وارد شده است. این گونه که بومی قاره آمریکا است، به‌طور گسترده از طریق مکانیسم‌های مختلف در سراسر جهان گسترش یافته است. متاسفانه اگرچه مدت تقریباً زیادی از زمان معرفی آزولا به تالاب انزلی در شمال کشور می‌گذرد، اما هنوز، همچنان اقدامات مناسبی از سوی سازمان‌های ذی‌ربط از جمله سازمان‌های محیط‌زیست و شیلات برای مبارزه با این گونه مهاجم صورت نگرفته است. در این تحقیق، مکانیسم‌های مختلف در مبارزه با گیاه آزولا مورد بحث قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که در کنار روش‌های کنترل مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، همچنان پیشگیری به‌عنوان رویکرد اولیه محسوب می‌شود. بنابراین، در اولین اقدام لازم است که سازمان‌های ذی‌ربط از انتشار بیشتر گونه‌های مهاجم از جمله آزولا به پیکره‌های آبی کشور جلوگیری کند. در ادامه، در میان روش‌های مختلفی که ذکر شد، روش‌های مکانیکی و بیولوژیکی به‌دلیل اثرات زیست‌محیطی کمتر بر روی اکوسیستم، مورد توجه قرار گرفته‌اند. اگرچه به‌نظر می‌رسد که در زمینه مبارزه با انتشار گیاه آزولا در تالاب انزلی، سریع‌ترین راهکار استفاده از شیوه‌های مکانیکی باشد، با این حال، این روش به‌دلیل امکان تکه شدن گیاه و احتمال رشد مجدد آن چندان مناسب نیست. در بین روش‌های مذکور، استفاده از رویکردهای بیولوژیکی در صورتی‌که توسط کارشناسان و محققان خبره با توجه به کلیه جوانب اتخاذ شده باشد، می‌تواند کمک‌کننده باشد. از جمله مطالعات و تجربیات موید این موضوع می‌توان به کنترل بیولوژیکی گیاه آزولا در آفریقای جنوبی در طی سال‌های گذشته اشاره کرد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از حشراتی مانند سرخرطومی (*Stenopelmus rufinasus*) می‌تواند به عنوان یک عامل بیولوژیک برای کنترل آزولا در تالاب انزلی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آزولا، گونه مهاجم، تالاب انزلی، کنترل بیولوژیک، سرخرطومی آبی، اثرات زیست‌محیطی

*نویسنده مسئول؛ پست الکترونیک: alirezaradkhah@ut.ac.ir

مقدمه

یکی از چالش‌های زیست‌محیطی مهمی که امروزه تنوع زیستی در سطح جهان را تهدید می‌کند، تهاجم بیولوژیکی است. گونه‌های غیربومی مهاجم در خارج از محدوده طبیعی خود تاثیرات منفی بر تنوع زیستی جانوران و گیاهان بومی در منطقه جدید برجای می‌گذارند که این وضعیت می‌تواند تا مرز خطر و نابودی گونه‌های بومی پیش رود (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۷). این تهاجم نه تنها برای طبیعت یک کشور، بلکه برای اقتصاد آن نیز پیامدهای نگران کننده‌ای به‌همراه دارد. از جمله نمونه‌های شاخص برای تهاجم بیولوژیکی در ایران می‌توان به ورود سرخس آبی به نام آزولا (*Azolla filiculoides* Lam.) از فیلیپین به بندر انزلی در شمال استان گیلان اشاره کرد. این گونه گیاهی برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ برای انجام مطالعات در مورد ظرفیت تثبیت نیتروژن وارد کشور شد و از آن

پس، به یک کود ایده‌آل برای شالیزارهای برنج و همچنین یک افزودنی برای خوراک گاو تبدیل شد. با توجه به توانایی این گونه در انتشار به‌واسطه انسان، وسایل نقلیه یا باد، آب و حیوانات، در نهایت در اوایل دهه ۱۹۹۰ به تالاب انزلی نیز راه یافت. آزولا پس از معرفی به تالاب انزلی به‌سرعت رشد کرد و به توده‌های متراکمی تبدیل شد که گستره وسیعی از آب‌های سطحی را می‌پوشاند (Hashemloian and Azimi, 2009). گسترش و انتشار افسارگسیخته این گیاه در تالاب انزلی در طول سال‌های گذشته موجب شد که خسارت‌های متعددی در بخش‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، گردشگری و اجتماعی به پیکره این اکوسیستم مهم و همچنین، نواحی مجاور آن در شمال کشور وارد شود.

گرچه مدت تقریباً زیادی از زمان معرفی آزولا به‌عنوان یک گونه غیربومی و مهاجم به تالاب انزلی در شمال کشور می‌گذرد، اما و هنوز اقدامات مناسب و شایسته‌ای از سوی سازمان‌های ذی‌ربط از جمله سازمان‌های محیط‌زیست و شیلات برای مبارزه با این گونه مهاجم صورت نگرفته است. در این مطالعه، پس از معرفی گیاه آزولا و مشکلات زیست‌محیطی حاصل از آن، مکانیسم‌های مختلف مبارزه با این گونه گیاهی مورد توجه قرار گرفته است و تجربیات سایر کشورها در رابطه با این مسئله تبیین شده است. امید است که مطالب ارائه شده در ان تحقیق بتواند در جهت طرح مسائل و معضلات زیست‌محیطی تالاب انزلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی کشور و همچنین بیان راه‌حل‌های موجود، مورد توجه قرار گیرد.

خصوصیات بیولوژیک

آزولا (*A. filiculoides*) یک سرخس کوچک هتروسپور و آبزی است که به‌ندرت به بیش از ۲۵ میلی‌متر می‌رسد (O'Keeffe, 1986). ماکروفیت آزولا از یک ریزوم اصلی تشکیل شده است که به ریزوم‌های ثانویه منشعب می‌شود. در این گیاه، مواد مغذی مستقیماً از آب توسط ریشه جذب می‌شوند. با این حال، در آب‌های بسیار کم‌عمق، ریشه‌ها ممکن است خاک را لمس کنند و در نتیجه مواد مغذی را از آن استخراج کنند (Wagner, 1997; Pereira *et al*., 2014). طبق یافته‌های حاصل از مطالعات Rao (۱۹۳۶)، در گونه *Azolla pinnata*، ریشه‌ها با رسیدن به طول ۵۰–۴۰ میلی‌متر می‌ریزند. تارهای کشنده ریشه که در امتداد طول ریشه یافت می‌شوند، محل مناسبی برای استقرار و رشد تعداد زیادی از تک یاخته‌ها و جلبک‌ها هستند (Rao, 1936; CABI, 2022).

آزولا به‌واسطه ازدیاد طول و تکه‌تکه شدن شاخه‌های کوچک، قادر به تولیدمثل رویشی و سریع در طول سال است. در شرایط ایده‌آل، میزان رشد آلودگی این گونه گیاهی هر ۴ تا ۵ روز، دو برابر می‌شود. آزولا با برخورداری از چنین نرخ رشدی قادر است که سطوح برکه‌ها و دریاچه‌ها را در عرض چند هفته یا چند ماه به طور کامل بپوشاند. در شرایط محیطی مساعد، آزولا از طریق اسپورها تولیدمثل می‌کند (Henderson and Cilliers, 2002). این گونه می‌تواند بر روی پاها و پرهای پرندگان آبزی و بر روی پستاندارانی مانند اسب آبی و سمور دریایی نیز پخش شود. امروزه، این مسئله به‌واسطه تجارت آبزیان آکواریومی در بین کشورهای مختلف رواج یافته است.

زیستگاه

محدوده بومی پراکنش گیاه آزولا (*A. filiculoides*) شامل آمریکای جنوبی و غرب آمریکای شمالی است. این گونه گیاهی اغلب در نهرها، رودخانه‌ها، برکه‌ها و دریاچه‌هایی یافت می‌شود که با جریان آهسته آب همراه هستند (Ashton, 1992). آزولا معمولاً به‌عنوان یک گونه زینتی در استخرها و مخازن پرورش ماهی استفاده می‌شود. این گیاه از این کانون‌ها پخش می‌شود و بسیاری از پیکره‌آبی غنی‌شده با مواد مغذی را اشغال می‌کند. آزولا به‌طور کلی به‌عنوان یک گیاه هرزآبی در نظر گرفته نمی‌شود. این گونه به‌دلیل توانایی ویژه‌ای که در تثبیت نیتروژن دارد، معمولاً همراه با برنج رشد می‌کند و به‌عنوان کود سبز در مزارع کشت برنج استفاده می‌شود (Wagner, 1997).

تهاجم بیولوژیک

از آنجایی که آزولا (*A. filiculoides*) به‌عنوان یک گیاه برای استخرهای پرورش ماهی استفاده می‌شود، می‌توان گسترش بیشتر این گونه را محتمل دانست. در آفریقا و اروپا، پراکندگی این گونه آبزی بین کشورها بدون شک به دلیل جابجایی پرندگان آبزی ادامه خواهد داشت، چراکه پرندگان قادر هستند تکه‌های گیاه را بین پیکره‌های آبی پخش کنند. به‌طور کلی، هجوم آزولا به کشورهایی ادامه

خواهد داشت که در آن‌ها مجموعه‌ای از عوامل از قبیل وجود آب‌های یوتروفیک، فقدان دشمنان طبیعی و تجارت غیرقانونی به وضعیت این گونه به‌عنوان یک علف هرز و مهاجم کمک کنند (Lumpkin and Plucknett, 1982).

دخالت‌های انسان گیاه آزولا را به اروپا، شمال و جنوب صحرای آفریقا، چین، ژاپن، نیوزیلند، استرالیا، کارائیب، هاوایی و سایر نقاط جهان معرفی کرده است (شکل ۱). در سیستم های آبی یوتروفیک، آزولا به‌سرعت رشد می کند و به راحتی با پوشش گیاهی بومی رقابت می کند. پوسیدگی ریشه آزولا، همراه با عدم نفوذ نور، یک محیط بی‌هوازی ایجاد می‌کند که می‌تواند کیفیت آب آشامیدنی را به‌دلیل بوی بد، رنگ و کدورت کاهش دهد و بقای موجودات دیگر را نیز غیرممکن سازد.

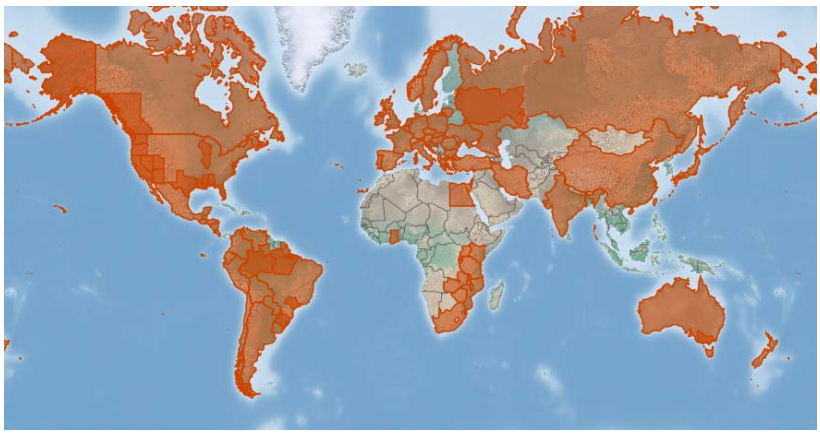
مصارف اقتصادی و غیره

آزولا به‌دلیل توانایی تثبیت نیتروژن، می‌تواند به‌منظور افزایش سرعت رشد محصولاتی که در آب رشد می‌کنند مانند برنج، مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر، این گیاه پس از برداشت از دریاچه‌ها، به‌عنوان کود سبز نیز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. اگرچه علاوه بر موارد ذکر شده، آزولا به‌عنوان گیاه زینتی در استخرها استفاده می‌شود، اما با این حال، این کاربردها نمی‌توانند به‌طور کلی اثرات منفی ناشی از این گیاه را جبران کنند.

رشد افسارگسیخته آزولا در تالاب انزلی

شرایط اقلیمی شالیزارها، برکه‌ها و رودخانه‌های شمال ایران بهترین زیستگاه برای زادآوری و رشد آزولا است. آزولا به‌مدت ۲۰ سال در سه استان شمالی ایران توزیع شده و رشد بسیار سریعی داشته است. مشاهدات به‌عمل آمده نشان داد که پراکندگی بالایی از آزولا در این استان‌ها وجود دارد. آزولا در گیلان بیشترین فراوانی را دارد و در تمام آب‌های آرام این استان وجود دارد (Sadeghi *et al.*, 2014a). همچنین، حضور این گونه را در سطح تمامی باتلاق‌های شالیزاری، دریاچه‌ها، برکه‌ها، تالاب‌ها و رودخانه‌های گیلان ثبت شده است. نمونه‌هایی از آب‌های غرب به شرق گیلان شامل مرداب تالاب انزلی، تالاب لنگرود، تالاب کیاشهر، تالاب امیرکالیه و تالاب سوستان لاهیجان، تالاب استار آباد و رودخانه لنگرود هستند، که حضور گیاه آزولا در این اکوسیستم‌های آبی مورد تایید قرار گرفته است (Hashemloian and Azimi, 2009). مشاهدات میدانی به‌عمل آمده در تالاب انزلی حاکی از این است که در بسیاری از حوضچه‌ها و شالیزارها، تمامی سطح آب توسط آزولا پوشانده شده است (شکل ۲).

سرخس آبی که به‌عنوان یک افزودنی برای کشت برنج در گیلان وارد شد، در نهایت، به رودخانه‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و برکه‌های مازندران رسید (Sadeghi *et al.*, 2014b). آزولا در سطح برخی از شالیزارها و تالاب‌های سراندون و بالادون ساری، آبشار دارابکلا، آب انبار آبان، دریاچه عباس آباد، آبشار زنگات، دریاچه گل پابا، دریاچه صابون، آبشار شاهانداش در لاریجان، سواساره قرار گرفت.



شکل ۱- پراکنش جهانی آزولا در کشورهای مختلف (CABI, 2022).

شکل ۲- انتشار گسترده آزولا (*A. filiculoides*) در تالاب انزلی (Anzali Wetland, 2022)

این گونه همچنین در آبشار بلده، تالاب کندوچال، دریاچه ولشت در کلاردشت، دریاچه خزرینی در شمال نوشهر، آبشارهای آکاپل و هریجان، تالاب لاپو پلنگان در شرق نکا، در رامسر آذرک، ریشبراز، آبشار چاردار، آبشارهای کندر باسر حضور دارد. اگرچه آزولا در تمامی برکه‌ها و شالیزارهای استان مازندران یافت می‌شود، اما فراوانی آن در این استان کمتر از گیلان است (Hashemloian and Azimi, 2009). فراوانی آزولا در استان گلستان نیز تقریباً پایین بوده و اغلب در شالیزارهای برنج یافت می‌شود. بررسی وضعیت اقلیمی استان گلستان نشان می‌دهد که این استان نسبت به مازندران و گیلان از دمای هوای بالاتری برخوردار است و از طرف دیگر، شالیزارهای برنج آن نیز کمتر است. بر اساس گزارش Hashemloian و Azimi (۲۰۰۹)، آزولا در تمام محصولات برنج در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان مشاهده شده است.

مشکلات زیست‌محیطی

آزولا (*Azolla filiculoides*) بومی قاره آمریکا، در قرن نوزدهم به بریتانیا معرفی شد و در آب‌های آرام و ساکن گسترش یافت. این گونه اغلب زیستگاه‌های ارزشمند یا در معرض تهدید را مورد هجوم قرار می‌دهند. آزولا می‌تواند تأثیرات مختلفی داشته باشد. این گونه، سطح دسترسی به نور و اکسیژن را برای گیاهان و جانوران زیر آب کاهش می‌دهد (Coetzee *et al*., 2011). علاوه بر موردی که ذکر گردید، غلبه بر گیاهان بومی، تغییر pH و سایر متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب، جلوگیری از فعالیت‌های تفریحی مانند ماهیگیری و قایق‌سواری و از همه مهم‌تر به خطر افتادن جان دام‌ها و افراد محلی از جمله مسائل حیاتی مرتبط با انتشار گیاه آزولا در تالاب انزلی اند (Invasive-Species, 2022; Anzali Wetland, 2022).

آزولا با توانایی تثبیت نیتروژن از طریق ارتباط با سیانوباکتریوم همزیست، قادر است در آب های فقیر از نیتروژن نیز تسلط یابد. آزولا می تواند خود را به صورت رویشی تکثیر کند و در شرایط مناسب جمعیت خود را به سرعت دو برابر کند (Hill and Cilliers, 1999). کنترل دستی یا مکانیکی معمولاً گران است و منجر به ترخیص کوتاه مدت می شود و باید با بهبودی آزولا تکرار شود. کنترل شیمیایی با چالش های مشابه با خطرات اضافی برای زیستگاه آبی مواجه است. گیاه *A. filiculoides* یکی از پنج علف هرز آبزی بود که در سال ۲۰۱۴ فروش آن در بریتانیا ممنوع شد (Invasive-Species, 2022).

سرخس آبی با افزایش بار مواد مغذی بر اکوسیستم‌های شمال ایران اثرات نامطلوبی برجای گذاشته است و به یوتریفیکاسیون رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و برکه‌ها کمک می‌کند. توده‌های متراکم آزولا از نفوذ نور در مناطق مختلف آب جلوگیری می‌کنند و از این‌رو، موجب کاهش اکسیژن آب و به‌خطر افتادن حیات آبزیان از جمله ماهیان می‌شوند (Hashemloian and Azimi, 2009).

بر طبق مشاهدات میدانی در تالاب‌های شمال کشور، توده-های متراکم آزولا حدود ۲۵ درصد از سطح آب‌های تالاب انزلی را تشکیل داده است. آزولا در اکثر آب‌ها به‌عنوان یک گونه زینتی محسوب می‌شود، اما در آب‌های استان گیلان و مازندران با مسدود کردن ورودی پمپ‌ها و فیلترها، ورود به مخازن آب آشامیدنی و محدود کردن استفاده تفریحی از سدها و تخریب آب‌های شرب، مشکلاتی را ایجاد کرده است. بیشترین مشکلات شامل مسدود شدن سطح آب و محدود کردن گیاهان و جانوران دریایی است. این امر می‌تواند باعث تغییرات گسترده‌ای در تنوع زیستی این اکوسیستم‌های آبی شود، چراکه *A. filiculoides* می‌تواند به‌سرعت گسترش یابد و توده‌های رویشی متراکمی را در مناطقی از آب‌های ساکن تشکیل دهد. این مسئله به نوبه خود، نور موجود برای سایر گیاهان آبزی و اکسیژن موردنیاز سایر آبزیان را محدود می‌کند (Hashemloian and Azimi, 2009). توده‌های متراکم تشکیل شده می‌توانند موجب خفگی گونه‌های دیگر به‌دلیل کمبود اکسیژن شوند. آزولا در فهرست گیاهان هرزآبی و مضر ایالات متحده قرار گرفته است. در نیوزیلند، این گیاه جایگزین سرخس بومی (*Azolla rubra*) در بیشتر مناطق شمالی نیوزیلند شده است. بر طبق گزارش‌های به‌عمل آمده از اثرات زیست‌محیطی آزولا، به‌نظر می‌رسد که کنترل تکثیر این گونه در برخی از مناطق جهان مانند آفریقای جنوبی و بخش شمالی ایران (تالاب انزلی) ضروری تلقی می‌شود (Hashemloian and Azimi, 2009).

شیوه‌های کنترل و مدیریت

اقدامات مدیریتی اتخاذ شده برای هر گونه گیاهی مهاجم به عواملی مانند زمین، هزینه و در دسترس بودن نیروی کار، شدت آلودگی و وجود گونه‌های مهاجم دیگر بستگی دارد. بهترین شکل مدیریت گونه‌های مهاجم، پیشگیری است. اگر چنانچه پیشگیری دیگر امکان‌پذیر نباشد، بهتر است که هجوم علف‌های هرز را در زمانی که کوچک هستند، کنترل کرد. این مسئله لازمه تشخیص زودهنگام و پاسخ سریع به این معضل زیست‌محیطی و اقتصادی را نشان می‌دهد. مدیریت پایدار اکوسیستم‌های آبزی نیازمند ارزیابی و پایش مداوم است که این مسئله در نوع خود مشکل به‌نظر می‌رسد. در ادامه به انواع شیوه‌های کنترل گیاه آزولا که به سه دسته مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تقسیم می‌شوند، اشاره می‌شود.

کنترل مکانیکی

تجربه نشان داده است که امکان حذف علف‌های هرز و کوچک با استفاده از چنگک‌ها و شبکه‌های ریزمشبک وجود دارد. با این حال، نقطه ضعف کنترل مکانیکی این است که در شرایط ایده‌آل، توده علف هرز می‌تواند هر ۵-۴ روز، دو برابر شود (Lumpkin and Plucknett, 1982). علاوه بر این، امکان استقرار مجدد هاگ‌های ساکن در بستر پیکره آبی نیز اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. Ashton (۱۹۹۲) پیرو بررسی‌هایی که روی حذف مکانیکی گیاه آزولا از اکوسیستم‌های آبی انجام داد، بیان داشت هنگامی که *A. filiculoides* در معرض آسیب ناشی از فعالیت‌های فیزیکی قرار می‌گیرد، قطعات جدا شده به شدت نور بسیار حساس بوده و در اثر نور مستقیم خورشید رشد می‌کنند. بنابراین، Ashton (۱۹۹۲) استفاده از همزن‌های مکانیکی را به‌منظور ایجاد تلاطم کافی برای شکستن گیاهان پیشنهاد کرد. با این حال، برآوردهای اقتصادی نشان می‌دهد که هزینه چنین رویکردی (حتی در مقیاس کوچک) بسیار زیاد خواهد بود.

کنترل شیمیایی

مواد شیمیایی پیشنهادی برای کنترل آزولا (*A. filiculoides*) شامل گلایفوسیت (Glyphosate)، پاراکوات (Paraquat) و دیکوات (Diquat) و نفت سفید مخلوط با یک سورفکتانت هستند. با این حال، استفاده از پاراکوات در حال حاضر در اتحادیه اروپا، سوئیس و تعدادی از کشورهای دیگر ممنوع است. استفاده از دیکوات در اتحادیه اروپا محدود به تیمارهای زمینی است و دیگر نمی‌توان آن را برای کنترل علف‌های هرز آبزی مجاز دانست. گلایفوسیت از جمله پرمصرف‌ترین علف‌کش‌ها در سراسر جهان است که می-تواند آب‌های سطحی را آلوده کنند. تحقیقات نشان می‌دهد که گلایفوسیت باعث ایجاد استرس اکسیداتیو در ماهیان می‌شود. همچنین، این ماده ممکن است باعث سمیت تولیدمثل در سیستم پستانداران شود (Webster *et al.*, 2014; Zaller *et al.*, 2021). بر اساس گزارش مرکز بین‌المللی کشاورزی و علوم زیستی (CABI) در سال ۲۰۲۲، گلایفوسیت برای ماهیان و جلبک‌ها سمی است و تا

زمانی‌که این علف‌کش تجزیه نشود، نمی‌توان از آب برای مصارف آبیاری یا ذخیره‌سازی استفاده کرد.

کنترل بیولوژیکی

آفریقای جنوبی تنها کشوری است که از یک برنامه کنترل بیولوژیکی کلاسیک بر علیه *A. filiculoides* استفاده کرد (Hill and Cilliers, 1999). این کشور از چهار گونه حشره به‌عنوان عوامل کنترل بیولوژیکی آزولا استفاده کرد. این گونه‌ها شامل *Pseudolampsis guttata Leconte*، *P. darwinii Sherer*، *S. brunneus Hustache* و سرخرطومی (*Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal) بودند. ارزیابی‌های انجام شده نشان داد که همه این گونه‌ها آسیب زیادی به توده‌های آزولا در کشور مبدا وارد می‌کنند. اگرچه مشخص شد که همه گونه‌های مذکور نسبتاً آسیب‌زا هستند، اما با این حال، سرخرطومی (*S. rufinasus*) به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه از بین سایرین برای انتشار در آفریقای جنوبی انتخاب شد (شکل ۳) و تصمیمات لازم جهت معرفی آن صورت پذیرفت. این گونه پس از رهاسازی در سال ۱۹۹۷، نتایج چشم‌گیری به‌همراه داشت به‌طوری‌که موجب انقراض *A. filiculoides* در مناطق رهاسازی شد (CABI, 2022). بر اساس گزارش CABI (۲۰۲۲)، در آفریقای جنوبی از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۰۴، نزدیک به ۲۵۰۰۰ نمونه سرخرطومی در سراسر آفریقای جنوبی رهاسازی شدند و آسیب تغذیه‌ای آن‌ها منجر به انقراض *A. filiculoides* از اکثر مناطق شد. به‌طور متوسط، حدوداً ۱۰ ماه طول کشید تا یک ناحیه پس از رهاسازی سرخرطومی ها پاک شود. اگر چه در ابتدا، توانایی پراکندگی سرخرطومی ها دست کم گرفته شده بود، اما آن‌ها توانستند بدون هیچ کمکی تا ۳۵۰ کیلومتر پراکنده شوند (Hill and Cilliers, 1999).

مساحت سطح علف‌های هرز کنترل شده در مجموع ۲۰۳ هکتار و مناطق آلوده به‌طور متوسط در طی ۷ ماه (در محدوده ۳ تا ۱۱ ماه) کنترل شدند. پنج سال پس از رهاسازی سرخرطومی، *A. filiculoides* دیگر تهدیدی برای اکوسیستم های آبی در آفریقای جنوبی نبود و اثرات آن بر استفاده از منابع آب به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. روش مذکور برای کنترل زیستی آزولا در کشورهای موزامبیک و زیمبابوه موفقیت‌آمیز بود. کنترل بیولوژیکی *A. filiculoides* در حال حاضر به‌طور گسترده به‌عنوان موفق‌ترین برنامه کنترل بیولوژیکی علیه یک گیاه بیگانه و مهاجم در آفریقای جنوبی در نظر گرفته می‌شود (Coetzee *et al.*, 2011; Madeira *et al.*, 2016). سرخرطومی (*S. rufinasus*) از زمانی که برای اولین بار توسط Janson (۱۹۲۱) در آنجا گزارش شد در بریتانیا وجود داشته است و احتمالاً همراه با گیاه به اروپا آورده شده است. تاکنون این گونه در ایرلند، فرانسه، بلژیک، هلند و اسپانیا ثبت شده است (Hussner, 2010). با توجه به موارد ذکر شده، استفاده از سرخرطومی (*S. rufinasus*) به‌عنوان یک عامل بیولوژیک می‌تواند در کنترل آلودگی آزولا بسیار موثر باشد. موید این موضوع یافته‌های حاصل از مطالعه Hussner و Lösch (۲۰۰۵) می‌باشد که روی تغذیه بالغین و لاروهای این حشره از برگ‌های آزولا تاکید می‌کنند.

شکل ۳- سرخرطومی آزولا (*Stenopelmus rufinasus*). (Bugguide, 2022)

مطالعه موردی گیاه آزولا در آفریقای جنوبی

آزولا (*A. filiculoides*) نخستین بار در سال ۱۹۴۸ از رودخانه اُرلوگ اِسپورت (Oorlogspoort) واقع در استان کیپ شمالی در آفریقای جنوبی ثبت و تا سال ۱۹۹۹ از ۱۵۲ نقطه در این منطقه گزارش شد. با توجه به اثرات نامطلوب محیطی و اقتصادی آزولا، یک برنامه کنترل بیولوژیکی با ورود یک گونه حشره تحت عنوان سرخرطومی (*Stenopelmus rufinasus*) از فلوریدا (ایالات متحده آمریکا) در سال ۱۹۹۵ آغاز شد. در آفریقای جنوبی از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۰۴، نزدیک به ۲۵۰۰۰ سرخرطومی در سراسر آفریقای جنوبی رها شدند و آسیب تغذیه‌ای آنها منجر به انقراض *A. filiculoides* از اکثر مناطقی شد که در آن زمان مورد بررسی قرار گرفتند. به‌طور متوسط ده ماه طول کشید تا یک ناحیه پس از رهاسازی سرخرطومی‌ها پاک شود. اگر چه در ابتدا، قدرت پراکندگی سرخرطومی‌ها دست کم گرفته شده بود، اما در نهایت، آن‌ها توانستند بدون هیچ کمکی تا ۳۵۰ کیلومتر پراکنده شوند.

تنها پنج سال پس از رهاسازی سرخرطومی‌ها، آزولا دیگر تهدیدی برای آب‌های آفریقای جنوبی تلقی نمی‌شد (McConnachie *et al*., 2004). این موفقیت‌ها در بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ به دقت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج کنترل سریع گیاه آزولا را به‌واسطه رهاسازی سرخرطومی‌ها نشان داد. بر طبق گزارش‌های به‌دست آمده، تنها چهار سال پس از مطالعات McConnachie و همکاران (۲۰۰۴)، سرخرطومی‌ها موفق شدند گیاه آزولا را در هر مکانی که رها شده بود، کنترل کنند.

با ارزیابی‌هایی که از سال ۲۰۰۸ در آفریقای جنوبی انجام گرفت، شواهد بیشتری از موفقیت این برنامه‌ها به‌دست آمد. در سال ۲۰۱۰، از ۱۰۲ ناحیه‌ای که *A. filiculoides* مورد بررسی قرار گرفت (حدود ۴۰ درصد از نواحی مورد مطالعه)، آزولا در ۱۹ ناحیه (۱۹ درصد) وجود داشت و *S. rufinasus* از ۱۴ ناحیه آلوده (حدود ۷۰ درصد از نواحی مورد مطالعه) ثبت شد. پس از ارزیابی مناطق، مشخص گردید که *A. filiculoides* دیگر معضل مهمی در آفریقای جنوبی نیست (CABI, 2022).

سرخرطومی (*Stenopelmus rufinasus*)

سرخرطومی نیمه‌آبزی متعلق به راسته قاب‌بالان یا سخت‌بال‌پوشان (Coleoptera: Curculionidae) بوده و بومی جنوب و غرب ایالات متحده است (Parys *et al*., 2015). این گونه در آغاز قرن بیستم به‌طور تصادفی از طریق مواد گیاهی از آرژانتین و پاراگوئه به اروپا منتقل است (Manzek 1927; Richerson and Grigarick, 1967). سرخرطومی در سال ۱۹۹۷ برای کنترل بیولوژیکی آزولا به آفریقای جنوبی معرفی شد و توانست این علف هرز و مهاجم آبی را با موفقیت کنترل کند (Farahpour-Haghani *et al*., 2018). این حشره به‌عنوان یکی از موفق‌ترین عوامل کنترل بیولوژیکی در سراسر جهان شناخته می‌شود. با این حال، هیچ سابقه‌ای مبنی بر حضور آن در گونه‌های آزولا در آسیا تا سال ۲۰۱۴ ثبت نشد. حضور سرخرطومی در آسیا اولین بار در اکتبر ۲۰۱۷ توسط Friedman (۲۰۱۷) گزارش شد. فرح‌پور حقانی و همکاران (۱۳۹۷) سرخرطومی (*S. rufinasus*) را به‌عنوان شایع‌ترین عامل کنترل زیستی آزولا در جهان معرفی کردند. این محققین با جمع‌آوری نمونه‌هایی از سرخرطومی از کانال‌های آبرسانی مجاور تالاب انزلی، برای نخستین بار حضور سرخرطومی در ایران را تایید کردند (فرح‌پور حقانی، ۱۳۹۸).

نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

مطالعه حاضر نشان می دهد که سرخس آبی یا آزولا به‌عنوان یکی از گونه‌های غیربومی و مهاجم در کشور، تاثیرات زیست‌محیطی قابل ملاحظه‌ای بر تالاب انزلی داشته است. با توجه به این مسئله و ضرورت کنترل این گونه مهاجم، لازم است که سازمان‌های مسئول به‌ویژه سازمان محیط‌زیست برای برطرف کردن این معضل زیست‌محیطی در کشور گام‌های مؤثری بردارند. اولین نکته قابل تامل در رابطه با این موضوع، جلوگیری از انتشار بیشتر گیاه آزولا در اکوسیستم‌های آبی کشور است. از این‌رو، اولین اقدام باید در جهت پیشگیری از معرفی و ورود آزولا به سایر اکوسیستم‌ها صورت گیرد. این مسئله می‌تواند توسط سازمان محیط‌زیست کشور و به‌طور ویژه یگان حفاظت محیط‌زیست مورد پیگیری قرار گیرد.

وجود شرایط اکولوژیکی مناسب برای رشد و گسترش آزولا و همچنین، عدم وجود دشمنان طبیعی آن در تالاب انزلی موجب شده است که این گونه به‌تدریج به یک عامل مهاجم در تالاب انزلی تبدیل شود. بر طبق گزارش‌ها و

تحقیقات به‌عمل آمده، از بین روش‌های مختلفی که برای مبارزه با گیاه آزولا در دسترس است، روش‌های مکانیکی و بیولوژیکی به‌دلیل اثرات زیست‌محیطی کمتری که روی اکوسیستم اعمال می‌کنند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اگرچه به‌نظر می‌رسد که در زمینه مبارزه با انتشار گیاه آزولا در تالاب انزلی، سریع‌ترین راهکار استفاده از شیوه-های مکانیکی باشد، با این حال، این روش به‌دلیل احتمال تکه تکه شدن گیاه و رشد مجدد آن چندان مناسب و کارساز نیست. در بین روش‌های مذکور، استفاده از رویکردهای بیولوژیکی در صورتی‌که با توجه به کلیه جوانب ممکن صورت گرفته باشند، می‌تواند بسیار مفید باشد. طبق تجربیاتی که در آفریقای جنوبی حاصل شد، استفاده از حشراتی مانند سرخرطومی (*S. rufinasus*) می-تواند به عنوان یک عامل بیولوژیک برای کنترل آزولا در تالاب انزلی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

رادخواه ع.ر.، ایگدری س، پورباقر ه. و حسینی س.و. ۱۳۹۷. مروری بر پراکنش گونه غیربومی آمورچه (*Pseudorasbora parva*) در آب‌های داخلی ایران و بررسی اثرات اکولوژیکی آن. کنفرانس حفاظت از ماهیان بومزاد اکوسیستم‌های آب‌های داخلی ایران. دانشگاه تهران (گروه شیلات دانشگاه تهران) و انجمن ماهی‌شناسی ایران. ۲۸ آذر ۱۳۹۷، کرج.

فرح‌پورحقانی آ.، توسیوسکی ا.، یعقوبی ب.، جلاییان م. و پورامیر ف. ۱۳۹۷. اولین گزارش فعالیت سرخرطومی (*Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, (Coleoptera:Curculionidae در ایران. نشریه گیاه پزشکی. دوره ۷، شماره ۲، صفحات ۲۴۶-۲۴۳.

فرح‌پور حقانی آ. ۱۳۹۸. کنترل بیولوژیک آزولا در ایران: چالش‌ها و ظرفیت‌های موجود. نشریه مهار زیستی در گیاه‌پزشکی. دوره ۷، شماره ۱، صفحات ۹۲-۷۱.

Anzali Wetland. 2022. Anzali Wetland Ecological Management Project - Phase 2. Invasive Alien Species Control. https://anzaliwetland.com/invasive-alien-species-control. Accessed 17 May 2022.

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. Department of Water Affairs and Forestry, South Africa.

Bugguide. 2022. *Stenopelmus rufinasus* on *Azolla caroliniana* - Stenopelmus rufinasus. https://bugguide.net/node/view/2064022/bgimage. Accessed 10 May 2022.

CABI. 2022. Centre for Agriculture and Bioscience International. Invasive Species Compendium. *Azolla filiculoides* (water fern). https://www.cabi.org/isc/datasheet/8119. Accessed 10 May 2022.

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

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

Friedman A.L.L. 2017. The first record of the Azolla frond weevil *Stenopelmus rufinasus* (Curculionidae: Brachycerinae: Tanysphyrini) in Israel. Israel Journal of Entomology, 47: 103-106.

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

Henderson L. and Cilliers C.J. 2002. Invasive aquatic plants-a guide to the identification of the most important and potentially dangerous invasive aquatic and wetland plants in South Africa. PPRI Handbook No. 16, Agricultural Research Council, Pretoria. 7 p. https://invasives.org.za/wp-content/uploads/SAPIA_News_17_Oct2010.pdf. Accessed 16 May 2022.

Hill M.P. and Cilliers C.J. 1999. *Azolla filiculoides* Lamarck (Pteridophyta: Azollaceae), its status in South Africa and control. Hydrobiologia, 415(13): 203-206.

Hussner A. and Lösch R. 2005. Alien aquatic plants in a thermally abnormal river and their assembly to neophyte- dominated macrophyte stands (River Erft, Northrhine-Westphalia). Limnologica, 35: 18-30.

Hussner A. 2010. NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Azolla filiculoides*. Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS. www.nobanis.org. Accessed 15 May 2022.

Invasive-Species. 2022. *Azolla filiculoides*. https://www.invasive-species.org/species/azolla. Accessed 15 May 2022.

Janson O.E. 1921. *Stenopelmus rufinasus* GYLL., an addition to the list of British Coleoptera. The Entomologist's Monthly Magazine, 57: 225–226.

Lumpkin T.A. and Plucknett D.L. 1982. Azolla as a green manure: use and management in crop production. Azolla as a green manure: use and management in crop production. Westview Press Boulder, Colorado, 230 p.

Madeira P.T., Hill M.P., Dray F.A.J., Coetzee J.A., Paterson I.D. and Tippinga 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. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.03.007

Manzek E. 1927. *Stcnopclmus rufinasus* Gyll., ein fur Deutschland neuer Kafer. Entomologische Blätter, 23: 189-191.

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

O'Keeffe J.H. 1986. Ecological research on South African rivers – a preliminary synthesis. South African National Scientific Programmes Report, 121: 1-121.

Parys K.A., Tewari S. and 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. DOI:10.1649/0010-065X-69.2.316

Pereira A.L. and Vasconcelos V. 2014. Classification and phylogeny of the cyanobiont Anabaena azollae Strasburger: an answered question? International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 64: 1830-1840. DOI 10.1099/ijs.0.059238-0

Rao H.S. 1936. The structure and Life-history of Azolla pinnata R. Brown. With remarks on the fossil history of the Hydropteridae. Proceedings of the Indian Academy of Science, 2: 175-200.

Richerson P.J. and Grigarick A.A. 1967. The Life History of *Stenopelmus rufinasus* (Coleoptera: Curculionidae). Annals of the Entomological Society of America, 60(2): 351-354. DOI:10.1093/aesa/60.2.351

Sadeghi R., Zarkami R., Sabetraftar K. and Van Damme P. 2014a. Analysis of environmental factors determining distribution pattern of *Azolla filiculoides* (Lam.) azollaceae in Anzali wetland, northern Iran. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 79(1): 199-205.

Sadeghi R., Zarkami R., Sabetraftar K. and Van Damme P. 2014b. Habitat suitability modelling in auto-ecology analysis of *Azolla filiculoides* (Lam.) azollaceae in Selkeh wildlife refuge (Iran). Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 79(1):193-198.

Wagner G.M. 1997. *Azolla*: A Review of Its Biology and Utilization. Botanical Review, 63(1): 1-26.

Webster T.M.U., Laing L.V., Florance H. and Santos E.M. 2014. Effects of Glyphosate and its Formulation, Roundup, on Reproduction in Zebrafish (*Danio rerio*). Environmental Science and Technology, 48(2): 1271-1279. DOI: 10.1021/es404258h

Zaller J.G., Weber M., Maderthaner M. and Székács A. 2021. Effects of glyphosate-based herbicides and their active ingredients on earthworms, water infiltration and glyphosate leaching are influenced by soil properties. Environmental Sciences Europe, 33: 51. DOI: 10.1186/s12302-021-00492-0

Unbridled growth of water fern (*Azolla filiculoides* Lam.) in Anzali wetland; The tragedy of introducing an invasive species to one of the most important water bodies of Iran

Radkhah A.R.[1*], Eagderi S.[1], Poorbagher H.[1], Sadeghinejad Masouleh E.[2]

[1] Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

[2] Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Inland Waters Aquaculture Research Center, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e Anzali, I.R. of Iran

Abstract

In the present study, one of the most important environmental problems and examples of biological invasion in Iran, has been investigated. Water fern (*Azolla filiculoides*) is an exotic and invasive species that has been introduced to Anzali Wetland and has pushed the famous water body to the brink of destruction for many years. In this study, various mechanisms to control *Azolla* are discussed. Studies have shown that in addition to mechanical, chemical and biological methods, prevention is still considered as the primary approach. Among the various methods, mechanical and biological methods have been considered due to the less environmental side-effects they inflict on the ecosystem. While it seems that the fastest solution could be the use of mechanical methods to combat *Azolla* in Anzali wetland, however, this method is not very suitable due to the possibility of plant fragmentation and the possibility of plant regrowth. Among the control methods, the use of biological approaches can be helpful if it is adopted by experts and researchers considering all aspects. This is confirmed by case studies and experiences from other countries, including the biological control of *Azolla* in South Africa over the past years.

Keywords: Azolla, Anzali wetland, Biological control, Waterfern weevil, Environmental impacts