

بررسی مطلوبیت زیستگاهی سرخس آبی (*Azolla filiculoides*, Lam.) در برخی از اکوسیستم‌های آبی استان گیلان و مازندران با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته

رحمت زرکامی* و مرتضی سحرخیز

ایران، صومعه‌سرا، دانشگاه گیلان، دانشکده منابع طبیعی صومعه‌سرا، گروه محیط‌زیست

تاریخ دریافت: ۱۱-۶-۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۱۳-۹-۱۳۹۷



چکیده

سرخس آبی آزولا (*Azolla filiculoides*, Lam.) یکی از خطرناک‌ترین گونه‌های گیاهی مهاجم در مناطق معتدله و گرمسیری جهان می‌باشد. برای بررسی مطلوبیت زیستگاهی آزولا، ۴ ایستگاه مختلف در استان‌های گیلان و مازندران انتخاب گردید. ۱۵ متغیر فیزیکی - شیمیایی و ساختاری در هر ایستگاه هم‌زمان با داده‌های زیستی (براساس ۲۴ نمونه حضور و ۲۴ نمونه عدم حضور آزولا) به‌صورت ماهانه در طول یک سال (۱۳۹۶-۱۳۹۷) نمونه‌برداری گردید. نتایج آزمون من-ویتنی نشان داد که به غیر از درجه حرارت آب‌وهوا، آمونیم و کدورت ($P < 0/01$ برای همه متغیرها)، در بقیه متغیرها اختلاف معنی‌داری بین حضور و عدم حضور گیاه آزولا با سایر متغیرها مشاهده شده است (برای همه متغیرها $P < 0/01$). نتایج آزمون تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که عمق آب، فسفات و هدایت الکتریکی بترتیب تأثیرگذارترین متغیرها در مؤلفه‌های اول تا سوم بوده به‌طوری که بیشترین تأثیر را در ارتباط با مطلوبیت زیستگاهی آزولا در اکوسیستم‌ها داشتند. نتایج مدل خطی تعمیم‌یافته نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین حضور و عدم حضور آزولا در ایستگاه‌ها با تمام متغیرهای مورد استفاده در آنالیز مؤلفه اصلی وجود داشته است ($P < 0/01$).

واژه‌های کلیدی: آزولا، مطلوبیت زیستگاهی، حضور و عدم حضور، آنالیز مؤلفه اصلی، مدل خطی تعمیم‌یافته

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۸۷۶۱۶۳۱، پست الکترونیکی: rzarkami2002@yahoo.co.uk

مقدمه

تالاب‌ها از اکوسیستم‌های حساس و شکننده در بین اکوسیستم‌های آبی در روی کره زمین محسوب می‌شوند لذا ازدیاد جمعیت گیاهان مهاجم آبی (خصوصاً شناورهای آزاد) می‌تواند باعث آسیب‌های جبران‌ناپذیری در تالاب‌ها گردند. ازجمله این آسیب‌ها می‌توان به اشغال کل سطح تالاب توسط این گیاهان مهاجم اشاره کرد به‌طوری که پرندگان تالابی دیگر قادر به استفاده از این زیستگاه‌ها نخواهند بود (۲ و ۳).

در حال حاضر مشکلات زیادی اکوسیستم‌های آبی شمال کشور ایران ازجمله آب‌بندان‌ها و تالاب‌ها را تهدید می‌کند. ازجمله این تهدیدها می‌توان به هجوم برخی از گونه‌های

مطالعه و بررسی مطلوبیت زیستگاهی آبزیان (۲ و ۳) و شناسایی عوامل مؤثر در مطلوبیت زیستگاهی آنها نقش بسیار مهمی برای مدیریت و حفاظت از زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌های آبی خصوصاً برای اکوسیستم‌های حساس تالابی دارد (۱۹). در حال حاضر، تخریب زیستگاه‌های آبزیان به دلیل هجوم گونه‌های مهاجم به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل انقراض گونه‌های آبزیان به شمار می‌آید (۲). بنابراین حفاظت و مدیریت صحیح زیستگاه‌ها و داشتن زیستگاه‌های مطلوب کمک شایانی برای حفظ و جلوگیری از انقراض و نابودی گونه‌ها می‌کند (۱۸ و ۲۸).

توانایی این گیاه در تثبیت ازت، آزولا برای اولین بار در سال ۱۳۶۳ از کشور فیلیپین وارد استان گیلان شد و به تدریج و در سال ۱۳۶۹ به منابع آبی تالاب انزلی (۱۹) و پس از آن به خیلی از اکوسیستم‌های آبی دیگر راه یافت. این گیاه به سرخس پشه نیز معروف است چون پناهگاه خوبی برای پشه‌ها می‌باشد (۴).

از نظر اکولوژیکی این سرخس آبی معمولاً در آب‌های راکد نهرها، تالاب‌ها و شالیزارها از نواحی معتدله تا نواحی گرمسیری یافت می‌شود (۲۰). این گیاه در شرایط محیطی و فصلی متفاوت می‌تواند رنگ‌های مختلفی (قرمز و سبز) به خود بگیرد (۲۱). آزولا دارای ریشه‌های نازک بوده که روی سطح آب گسترده می‌شود و رشد بسیار سریعی دارد بطوری که زمان دو برابر شدن این گیاه ۲-۵ روز است و در صورت مساعد بودن شرایط به سرعت گسترش پیدا کرده و قادر است کل سطح تالاب را بپوشاند (شکل ۱) (۴).

مهاجم آبی شناور آزادی مثل گیاه سرخس آبی آزولا (*Azolla filiculoides*, Lam.) در تالاب انزلی و اخیراً در برخی از تالاب‌های مورد مطالعه مثل کاس گشت و تالاب حاصل و سنبل آبی (*Eichhornia crassipes*, Mart.) که اخیراً به تالاب انزلی هجوم برده است را نام برد. گونه مورد مطالعه (سرخس آبی آزولا) در طی کمتر از سه دهه اخیر باعث تهدید برخی از آب بندان‌ها و تالاب‌های شمال کشور ایران شده است.

گیاه آزولا از تیره *Azollaceae* یک سرخس آبی شناور آزاد است که از طریق جنسی و رویشی تکثیر پیدا می‌کند. دو گونه از مضرترین گونه‌های جنس آزولا به نام پیناتا و فیلیکولیدس از علف‌های هرز و آزار دهنده در جهان شناخته شده‌اند (۴، ۲۲ و ۲۳). گونه فیلیکولیدس یک گونه مهاجم در ایران است (۱۹). آزولا در همزیستی با جلبک *Anabaena* قابلیت جذب و تثبیت نیتروژن از هوا را دارد که این موضوع موجب شده که آزولا به عنوان یک کود گیاهی مناسب در نظر گرفته شود. لذا با توجه



شکل ۱- سرخس آبی آزولا (*Azolla filiculoides*) به رنگ‌های سبز (سمت چپ) و قرمز (سمت راست: عکس گرفته شده از ایستگاه حاصل، یکی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در تحقیق فعلی، و پوشیده شدن کل سطح منطقه توسط این گیاه مهاجم)

بسیار حریص‌تر هست (۴). عوامل مختلف فیزیکی - شیمیایی و ساختاری مثل نور، باد، رطوبت نسبی، دمای آب، اسیدیته آب و مواد مغذی موجود در آب می‌توانند بر رشد و پراکنش آزولا تأثیر بگذارند. تاکنون تحقیقاتی در مورد مطلوبیت زیستگاهی آزولا در تالاب انزلی (پناهگاه

آزولا مثل اکثر گونه‌های مهاجم دیگر، می‌تواند از نظر اکولوژیکی در شرایط مختلف زیست‌محیطی زندگی و تولیدمثل کند. برخلاف گونه‌های بومی، این گونه مهاجم برای به دست آوردن منابع مثل مواد مغذی و نور و غیره نسبت به گونه‌های بومی محیط (مثل سرخس سالونیا)

نظر به این که آزولا از جمله گونه مهم مهاجم گیاهی آبی شناور آزاد در جهان شناخته شده است (۴)، لذا شناختن متغیرهای مهم و تأثیرگذار روی مطلوبیت زیستگاهی این گونه می‌تواند در مسائل مدیریتی اکوسیستم‌های آبی کمک مؤثری نماید. لذا هدف این مطالعه تحقیقی، بررسی مطلوبیت زیستگاهی گیاه آزولا براساس متغیرهای مهم و تأثیرگذار (فیزیکی-شیمیایی و ساختاری) بر میزان احتمال حضور و عدم حضور این گیاه در برخی از اکوسیستم‌های آبی استان‌های گیلان و مازندران می‌باشد.

مواد و روشها

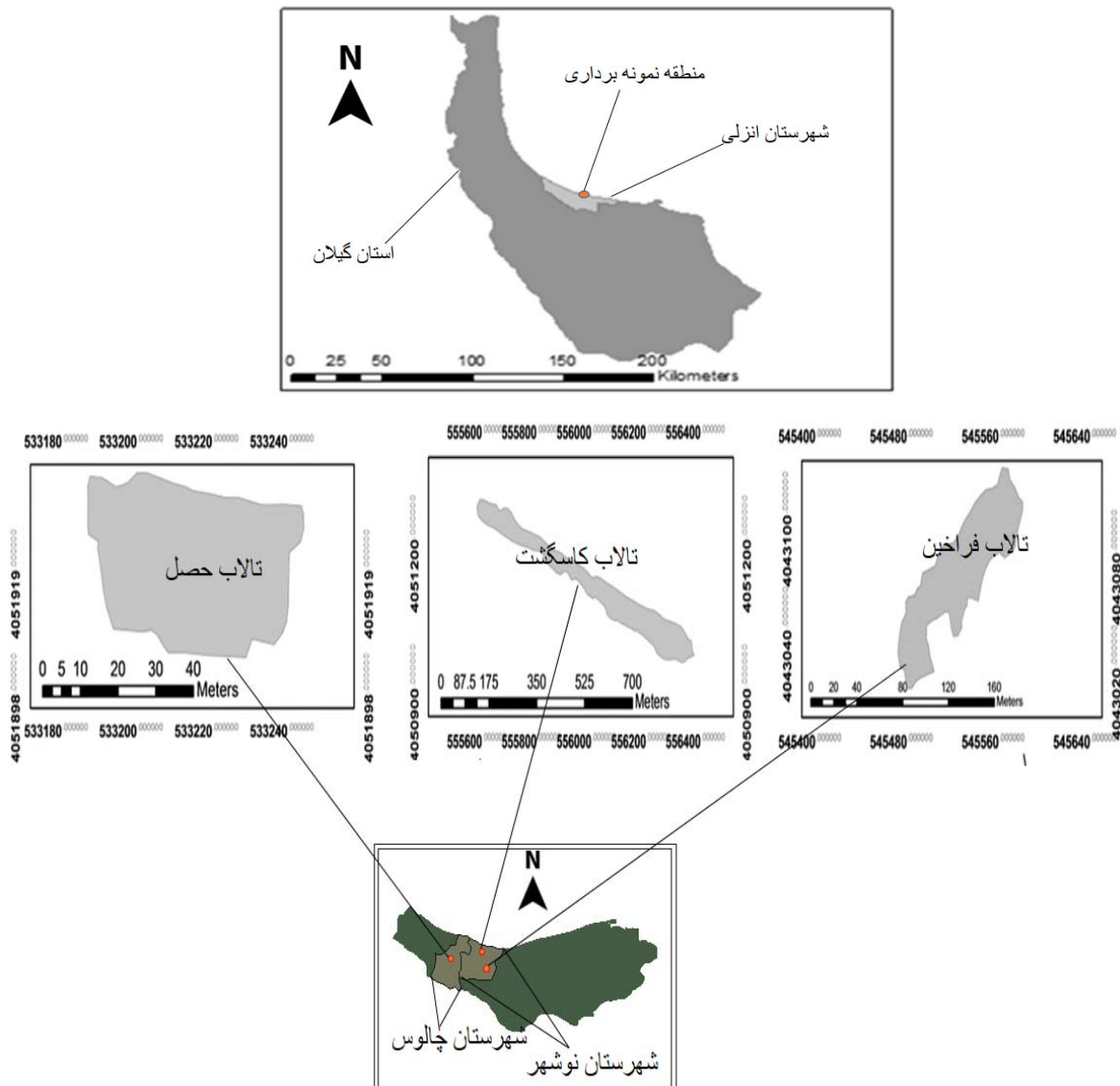
مناطق مورد مطالعه: کار تحقیقی فعلی در ۴ ایستگاه واقع در استان‌های گیلان و مازندران انجام گرفت که یکی از این ایستگاه‌ها در استان گیلان و ۳ تا دیگر از این ایستگاه‌ها در استان مازندران در نظر گرفته شدند (شکل ۲).

دلایل انتخاب این ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن شرایط بوم‌شناختی، جغرافیایی و مورفولوژیکی و فعالیت‌های انسانی بوده است. اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های نمونه‌برداری به همراه موقعیت تقریبی و عوامل تهدید کننده آنها در جدول ۱ خلاصه شده است.

جمع‌آوری داده: داده‌های مرتبط با عوامل زیستی (حضور و عدم حضور گیاه) و غیرزیستی (عوامل فیزیکی-شیمیایی و ساختاری مناطق مورد مطالعه) در ۴ ایستگاه مختلف در استان‌های گیلان و مازندران در مدت یک سال (۱۳۹۷-۱۳۹۶) اندازه‌گیری شدند. براساس مشاهدات علمی از مطالعه حاضر، تاکنون هیچ‌گونه شواهدی دال بر هجوم سرخس آزولا در قسمت‌های خروجی پل غازیان در شهرستان انزلی و همچنین تالاب فراخین در شهرستان نوشهر وجود نداشته است اما در تالاب کاسگشت در شهرستان نوشهر و تالاب حصل در شهرستان چالوس این گیاه مشاهده شده است.

حیات‌وحش سلکه) انجام شده است (۲۰). براساس یافته‌های محققان، درجه حرارت آب‌وهوا و عوامل شیمیایی مثل فسفر از متغیرهای بسیار ضروری برای رشد آزولا قلمداد شده است بطوریکه کمبود این عوامل می‌تواند موجب کاهش رشد و حضور آزولا در تالاب شود. افزایش میزان فسفر موجود در آب به دلیل پدیده پرغذایی یا یوتریفیکاسیون (ورود فاضلاب‌های خانگی و روان آب‌های کشاورزی و پساب‌های صنعتی) باعث افزایش رشد نمایی آزولا می‌گردد (۲۰).

برای ارزیابی مطلوبیت زیستگاهی موجودات زنده (مثل گیاهان مهاجم آبی) و همچنین برای داشتن برنامه‌های صحیح مدیریتی در تالاب‌ها (۲۰)، نیاز به تعیین روش‌ها و تکنیک‌های آماری مناسب (۱ و ۲) و همچنین متغیرهای بهینه برای زیستگاه موجود می‌باشد (۲۹) و چنانچه از ویژگی‌های بوم‌شناختی و مطلوبیت زیستگاهی این گیاهان آبی مهاجم اطلاعات دقیقی در دسترس نباشد بدون شک اهداف حفاظت و مدیریت تالاب‌ها با مشکل مواجه خواهد شد (۲۸). دلیل عمده کاربرد مدل خطی تعمیم‌یافته یا (Generalized Linear Model) GLM (مدل اصلی به کار رفته در تحقیق فعلی) پیش‌بینی میزان احتمال حضور و یا عدم حضور گیاه آزولا است. GLM تعمیم رگرسیون خطی است و برای داده‌هایی که توزیع نرمال ندارند استفاده می‌شوند (۱۷). آنالیز مؤلفه اصلی یا (Principal Component Analysis) PCA (۱۳) از جمله تکنیک‌های دیگر مورد استفاده در این کار تحقیقی بوده و از این تکنیک‌ها برای کاهش حجم متغیرها در مؤلفه‌ها استفاده می‌شود و بدین ترتیب می‌توان متغیرهای مهم و تأثیرگذار روی مطلوبیت زیستگاهی گونه مورد مطالعه را تعیین نمود. لذا استفاده از روش‌های آماری چند متغیره از قبیل تحلیل مؤلفه اصلی می‌تواند تکنیک بسیار سودمندی قبل از بکار گرفتن مدل‌های اکولوژیکی باشند (۲، ۲۴، ۲۵ و ۳۰).



شکل ۲- ایستگاه‌های نمونه‌برداری و موقعیت تقریبی آنها در استان گیلان- نقشه بالا (پل غازیان در شهرستان انزلی) و استان مازندران- نقشه پایین (سبز). موقعیت شهرستان نوشهر و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این شهرستان (ایستگاه کاسگشت و ایستگاه فراخین) و شهرستان چالوس (ایستگاه حاصل).

نمونه‌گیری، شرایط نمونه‌گیری از ایستگاه‌ها در یک روز و در پانزدهم هرماه و در همان نقطه قبلی برای ایستگاه‌های مورد نظر تکرار شده است.

بنابراین در دو تا از ایستگاه‌های موردنظر، گیاه به صورت حضور و در دو تا ایستگاه دیگر به صورت عدم حضور در نظر گرفته شده است. نمونه‌ها اندازه‌گیری شده بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و برای کاهش میزان خطا در انجام

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده به همراه موقعیت تقریبی و عوامل تهدید کننده آنها

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	موقعیت	عوامل تهدید کننده
۱	پل غازیان	واقع در شهرستان انزلی - حوزه آبریز تالاب انزلی با وسعتی در حدود ۳۷۴۰ کیلومتر مربع - محدوده‌ی مختصاتی ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه طولی و ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه عرضی - میانگین بارش سالانه در حوزه‌ی آبریز تالاب، ۱۲۸۰ میلی‌متر (۵).	ورود انواع آلاینده‌های معدنی، آلی و بیولوژیک (۱۴)
۲	فراخین	- واقع در منطقه جنگلی ماشلک در فاصله ۱۰ کیلومتری ضلع جنوبی شهرستان نوشهر - مساحت این تالاب تقریباً ۷۰۰۰ مترمربع - موقعیت جغرافیایی: ۳۷° ۵۱' طول جغرافیایی و ۳۶° ۳۶' عرض جغرافیایی - ارتفاع از سطح دریا: ۸۱۵ متر و شیب آن ۶۰ درصد در جهت شرقی	- فعالیت‌های گردشگری از عوامل عمده تهدید این تالاب
۳	حصل	- واقع در منطقه جنگلی مشعل شهرستان چالوس در فاصله ۳ کیلومتری ضلع جنوبی کیلومتر ۵ فعالیت‌های انسانی از جمله گردشگری و دامپروری جاده ارتباطی شهرستان چالوس به شهر مرزن آباد - مساحت: حدود ۳۰۰۰ مترمربع - موقعیت جغرافیایی: ۳۱° ۵۱' طول جغرافیایی و ۳۲° ۳۶' عرض جغرافیایی - ارتفاع از سطح دریا: ۲۶۰ متر و شیب آن ۴۰ درصد در جهت جنوبی	در اطراف تالاب و هجوم گونه مهاجم آزولا
۴	کاسگشت	- واقع در منطقه جلگه‌ای روستای مزگا شهرستان نوشهر ضلع جنوبی کیلومتر ۱۰ جاده ارتباطی افزایش مواد مغذی و آبشویی پساب‌های صنعتی و شهرستان نوشهر به شهر رویان - مساحت تالاب: تقریباً ۲۳۰۰۰ مترمربع - موقعیت جغرافیایی: ۳۷° ۵۱' طول جغرافیایی و ۳۶° ۳۶' عرض جغرافیایی - ارتفاع تالاب از سطح دریا: ۲۰ متر پایین‌تر از سطح دریا	کشاورزی و فاضلاب شهری

تمام نمونه‌های آب در بطری‌های مخصوص نمونه‌گیری و با نگهداری در جای تاریک و سرد و به آزمایشگاه منتقل شدند. درجه حرارت آب و هوا (با استفاده از یک ترمومتر دیجیتال)، عمق آب (با استفاده از یک متر چوبی مدرج)، اسیدیته (pH-meter, WTW) و هدایت الکتریکی آب (TDS-meter, WTW) به طور مستقیم در هر ایستگاه و بقیه متغیرها به روش استاندارد در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند (۶) شامل نیتريت (Spectrophotometer Hack, DR 2000)، آمونیم (Spectroquant®, Merck, NOVA 60A)، نیترات (Spectrophotometer Hack, DR 2000)، رطوبت نسبی (Kipp & Zonen, CMA 6)، فسفات (Spectrophotometer, Hack DR 2000) کدورت (WTW 249 electrode)، اکسیژن مورد نیاز زیستی (Manometric, OxiTop®)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (Spectrophotometer, Hach DR 2000)، میزان کل مواد جامد معلق (DIN 38414- gravimetric method)، میزان کل مواد جامد محلول (TDS - meter, WTW). برای پی بردن به حضور و یا عدم حضور سرخس آزولا در هر ایستگاه و تشخیص آن با سایر گیاهان شناور همزیست آن، از وجود کارشناسان متخصص در امور گیاه‌شناسی استفاده شده است.

ارزیابی داده‌ها: اولین گام در ارزیابی داده‌ها جهت مطلوبیت زیستگاهی سرخس آزولا، استفاده از آمار توصیفی (حداقل، حداکثر، میانگین، میان و انحراف معیار داده‌ها) جهت مشخص کردن پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده بوده است (جدول ۲). گام بعدی، تشخیص

تمام نمونه‌های آب در بطری‌های مخصوص نمونه‌گیری و با نگهداری در جای تاریک و سرد و به آزمایشگاه منتقل شدند. درجه حرارت آب و هوا (با استفاده از یک ترمومتر دیجیتال)، عمق آب (با استفاده از یک متر چوبی مدرج)، اسیدیته (pH-meter, WTW) و هدایت الکتریکی آب (TDS-meter, WTW) به طور مستقیم در هر ایستگاه و بقیه متغیرها به روش استاندارد در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند (۶) شامل نیتريت (Spectrophotometer Hack, DR 2000)، آمونیم (Spectroquant®, Merck, NOVA 60A)، نیترات (Spectrophotometer Hack, DR 2000)، رطوبت نسبی (Kipp & Zonen, CMA 6)، فسفات (Spectrophotometer, Hack DR 2000) کدورت (WTW 249 electrode)، اکسیژن مورد نیاز زیستی

داشته و در نیمه دیگر گیاه حضور نداشته است. تعداد نمونه برای هر متغیر ۴۸ بوده است که از این تعداد ۲۴ نمونه برای حضور و ۲۴ نمونه هم برای عدم حضور گیاه در مناطق مورد بررسی ثبت شده است.

نتایج حاصل از آزمون نرمال بودن داده‌ها (تست شده با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) نشان داد که از کل عوامل بررسی شده در ایستگاه‌های مختلف، فقط داده‌های مربوط به متغیرهای اسیدیته و درصد رطوبت نسبی از پراکنش نرمال پیروی کردند ($P > 0.05$) برای هر ۲ عوامل) در حالی که داده‌های بقیه متغیرها دارای پراکنش غیرنرمال بودند ($P < 0.05$).

نتایج آزمون من-ویتنی نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری بین حضور و عدم حضور آزولا با درجه حرارت آب‌وهوا، آمونیوم و کدورت مشاهده نشده است (هرچند در مورد کدورت احتمال حضور/عدم حضور آزولا فقط در سطح کمتر از ۰/۰۱ معنی‌دار نبوده اما در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار بوده است) در حالی که در بقیه متغیرها اختلاف معنی‌داری بین حضور و عدم حضور گیاه آزولا با سایر متغیرهای مورد مطالعه مشاهده شده است ($P < 0.01$) برای همه متغیرها). به بیان روشن‌تر این موضوع دلالت می‌کند که حضور و یا عدم حضور گیاه آزولا در مناطق مورد مطالعه ممکن است در اثر افزایش و کاهش این متغیرها تغییر کند.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که از بین متغیرهای مورد بررسی در ایستگاه‌ها، متغیرهایی مانند اکسیژن خواهی شیمیایی با اکسیژن خواهی زیستی ($r = 0.96, P < 0.01$) و هر دوی این متغیرها خود با متغیرهای دیگری مثل کدورت، میزان کل مواد جامد معلق و فسفات (چه در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۱ و یا کمتر از ۰/۰۵) همبستگی بالای ۰/۵ را نشان دادند و از طرف دیگر درجه حرارت هوا با درجه حرارت آب ($r = 0.96, P < 0.01$)، هدایت الکتریکی با کل مواد جامد محلول ($r =$

نرمال/غیرنرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بوده تا بتوان از آزمون‌های آماری و مدل‌های مناسب برای ارزیابی مطلوبیت زیستگاهی گیاه آزولا استفاده کرد. در مرحله بعد، ارتباط بین متغیرهای کیفی و ساختاری در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون تعیین شد تا در صورت وابسته بودن متغیرها، عوامل همبسته حذف شوند. با استفاده از آزمون من-ویتنی، مقایسه میانه داده‌ها برای متغیرهای که داده‌های غیرنرمال داشتند (برحسب حضور و عدم حضور گیاه) انجام گرفت. به منظور تعیین مطلوبیت زیستگاهی گیاه مورد مطالعه و متغیرهای مهم تأثیرگذار روی مطلوبیت زیستگاهی گونه، داده‌ها به روش آنالیز مؤلفه اصلی در نرم‌افزار PAST (۱۲) با استفاده ماتریکس همبستگی تجزیه و تحلیل شدند. برای اجرای این آنالیز، ابتدا لگاریتم طبیعی داده‌ها بر مبنای ۱۰ در نظر گرفته شده که در این خصوص مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر حضور و عدم حضور گیاه مورد نظر مشخص شدند. آخرین مرحله در تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش‌بینی احتمال حضور/عدم حضور این گیاه با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته بوده است تا میزان احتمال حضور/عدم-حضور آزولا با توجه به مهمترین و تأثیرگذارترین متغیرهای فیزیکی-شیمیایی و ساختاری در اکوسیستم‌ها مشخص شود.

نتایج

آنالیز پراکنش داده‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه: در جدول ۲ پراکنش داده‌ها (حداقل، حداکثر، میانگین، میانه و انحراف معیار به همراه سطح معنی‌دار بودن آماری آنها) برای تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده به تفکیک در هر کدام از ایستگاه‌ها و همچنین در کل ایستگاه‌ها که در طول یک سال اندازه‌گیری شده نشان داده شده است. بسامد میزان احتمال وقوع گیاه در تالاب‌ها، ۵۰ درصد بوده است به طوری که در نیمی از مناطق مورد مطالعه گونه حضور

متغیرها در ایستگاه‌ها ممکن است بترتیب منجر به کاهش و یا افزایش در مقدار و یا غلظت این عوامل شود.

PCA: همانطور که اشاره شد بخاطر عدم اختلاف معنی‌دار بین حضور و عدم حضور گیاه (تست شده با آزمون من-ویتی در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۱) با درجه حرارت آب‌وهوا، آمونیوم و کدورت، این عوامل در مؤلفه اصلی لحاظ نشده‌اند. از طرف دیگر متغیرهای مثل BOD_5 ، COD ، TSS ، TDS و NO_2^- به علت همبستگی زیاد با خیلی از متغیرها و تأثیر تقریباً مشابه آنها بر روی حضور و عدم حضور گیاه از دیدگاه آماری و حتی از نظر اکولوژیکی، در هنگام اجرای تحلیل‌های چند متغیره حذف شدند.

($r = 0.98, P < 0.01$)، نیتريت با هدایت الکتریکی آب ($r = 0.46, P < 0.01$) و نیتريت با کل مواد جامد محلول ($r = 0.42, P < 0.01$) و فسفات با کل مواد جامد معلق ($r = 0.81, P < 0.01$) همبستگی بالا و مثبتی را نشان دادند. بطوری که افزایش در مقادیر هرکدام از عوامل در مناطق مورد مطالعه ممکن است در ارتباط مستقیم با افزایش مقدار یا غلظت عوامل دیگر باشد. نتایج آزمون همبستگی پیرسون همچنین نشان داده است که برخلاف متغیرهای ذکر شده، برخی از عوامل مثل نیترات با فسفات ($r = -0.31, P < 0.05$) و فسفات با عمق آب ($r = -0.33, P < 0.05$) همبستگی متوسط و منفی نشان دادند بطوری که افزایش و یا کاهش در مقدار یا غلظت این

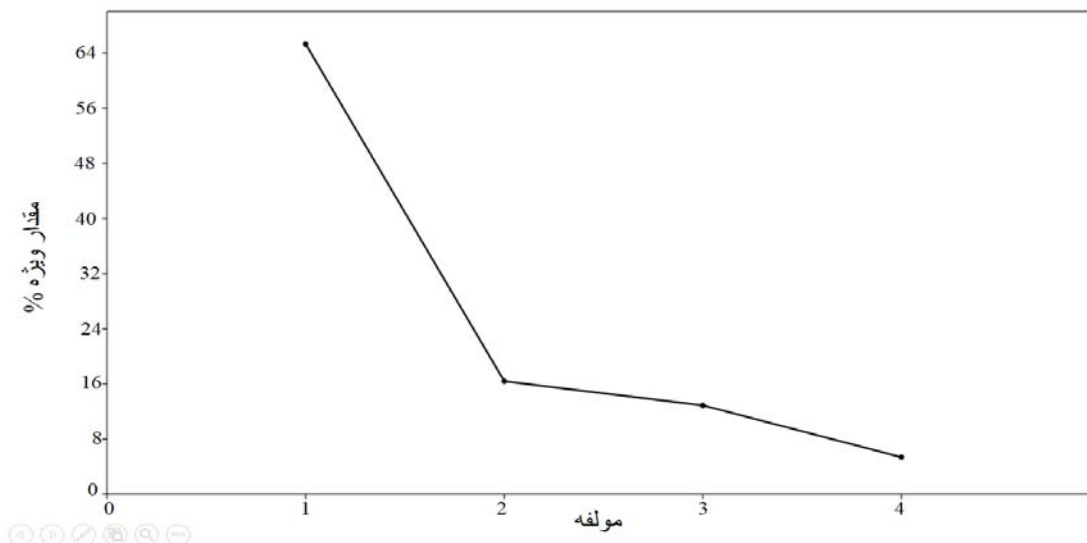
جدول ۲- متغیرهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف با نشان دادن میزان پراکنش داده‌ها (حداقل، حداکثر، میانگین، میانه و انحراف معیار داده‌ها) در طول یک سال نمونه‌برداری (۱۳۹۶-۱۳۹۷). p -value: سطح معنی‌دار بودن آماری برای هر جفت متغیرها از طریق آزمون من-ویتی نمایش داده شده است. *n: داده دارای پراکنش نرمال بوده لذا این عوامل در آزمون من-ویتی در نظر گرفته نشدند. میانگین هرکدام از ایستگاه‌ها به‌صورت جداگانه در نظر گرفته شده است. TSS : کل مواد جامد معلق و TDS : کل مواد جامد محلول

هدایت الکتریکی ($\mu\text{s/cm}$)	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	pH	عمق آب (cm)	رطوبت نسبی (%)	دمای آب ($^{\circ}\text{C}$)	دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)
۲۷۳،۰۰	۰،۸۴	۱۷۲،۰۰	۶،۹۴	۲۰،۰۰	۵۰،۰۰	۵،۰۰	۴،۰۰
۴۳۷۲،۰۰	۳۵،۰۰	۴۲۵۰،۰۰	۸،۳۳	۶۵۰،۰۰	۹۵،۰۰	۳۳،۰۰	۳۱،۰۰
۵۶۷،۲۰	۱۳،۲۲	۴۳۶،۰۳	۷،۶۹	۱۱۰،۰۰	۷۷،۷۱	۱۵،۲۶	۱۶،۱۳
۴۱۲،۵۰	۹،۱۰	۲۸۴،۵۰	۷،۷۳	۵۰،۰۰	۷۹،۰۰	۱۴،۰۰	۱۵،۰۰
۶۱۷،۶۴	۱۰،۷۳	۶۰۷،۵۸	۰،۳۵	۱۵۱،۴۴	۱۱،۴۴	۷،۹۰	۷،۸۰
۰،۰۰	۰،۰۰	۰،۰۰	*n	۰،۰۰	*n	۰،۵۷	۰،۵۷
۱۰۹۵،۰۴	۹،۳۲	۹۲۰،۱۴	۷،۶۶	۳۰۷،۵۰	۸۰،۴۲	۱۶،۸۰	۱۸،۱۷
۴۴۱،۱۷	۴،۵۰	۳۰۹،۵۸	۷،۷۹	۵۶،۶۷	۶۳،۶۷	۱۲،۲۵	۱۲،۹۲
۳۰۹،۴۵	۲۹،۲۷	۲۱۸،۰۷	۷،۶۲	۳۵،۴۵	۷۵،۶۴	۱۲،۸۲	۱۴،۰۰
۴۱۴،۳۸	۱۱،۳۱	۲۹۰،۳۱	۷،۶۸	۴۰،۰۰	۸۹،۹۲	۱۸،۶۹	۱۹،۰۰

	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	آمونیم (mg/l)	نیتريت (mg/l)	نترات (mg/l)	فسفات (mg/l)	کدورت (FTU)
حداقل	۲,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۵	۰,۰۰	۲,۰۰
حداکثر	۱۵۵,۰۰	۷۸,۰۰	۰,۹۰	۰,۱۳۰	۳,۷۶۰	۱,۲۰	۲۱۴,۰۰
میانگین	۳۳,۹۶	۱۵,۵۰	۰,۱۹	۰,۰۲۰	۰,۴۱۰	۰,۳۱	۳۵,۶۷
میانه	۲۳,۰۰	۱۰,۰۰	۰,۰۶	۰,۰۱۰	۰,۰۸۰	۰,۰۵	۱۸,۵۰
انحراف معیار	۳۳,۷۵	۱۵,۸۸	۰,۲۵	۰,۰۲۰	۰,۶۸۰	۰,۴۳	۴۴,۴۳
<i>p</i> -value	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۸۶	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳
میانگین غازیان*	۲۴,۰۸	۹,۰۰	۰,۳۲	۰,۰۵۰	۱,۲۱۰	۰,۰۴	۵۶,۷۵
میانگین فراخین*	۴,۹۱	۲,۵۰	۰,۰۳	۰,۰۱۰	۰,۳۲۰	۰,۱۱	۴,۲۹
میانگین حاصل*	۷۸,۴۵	۳۷,۳۶	۰,۳۹	۰,۰۱۰	۰,۰۵۰	۱,۰۴	۷۳,۸۲
میانگین کاسگشت*	۳۲,۲۳	۱۴,۹۹	۰,۰۴	۰,۰۰۴	۰,۰۵۰	۰,۱۲	۱۲,۹۲

اصلی را به خود اختصاص دادند به طوری که سهم مؤلفه اول به تنهایی ۶۵/۳۱ درصد و مؤلفه دوم به تنهایی ۱۶/۴۱ درصد می‌باشد (شکل ۳).

بنابراین مدل تحلیل مؤلفه اصلی با بقیه عوامل در نظر گرفته شد. نتایج آنالیز مؤلفه اصلی نشان داد که مؤلفه‌های ۱، ۲ و ۳ در مجموع ۹۴/۶۱ درصد (با مقدار ویژه: ۳/۷۸) از کل تغییرات ناشی از متغیرهای انتخاب شده در مؤلفه

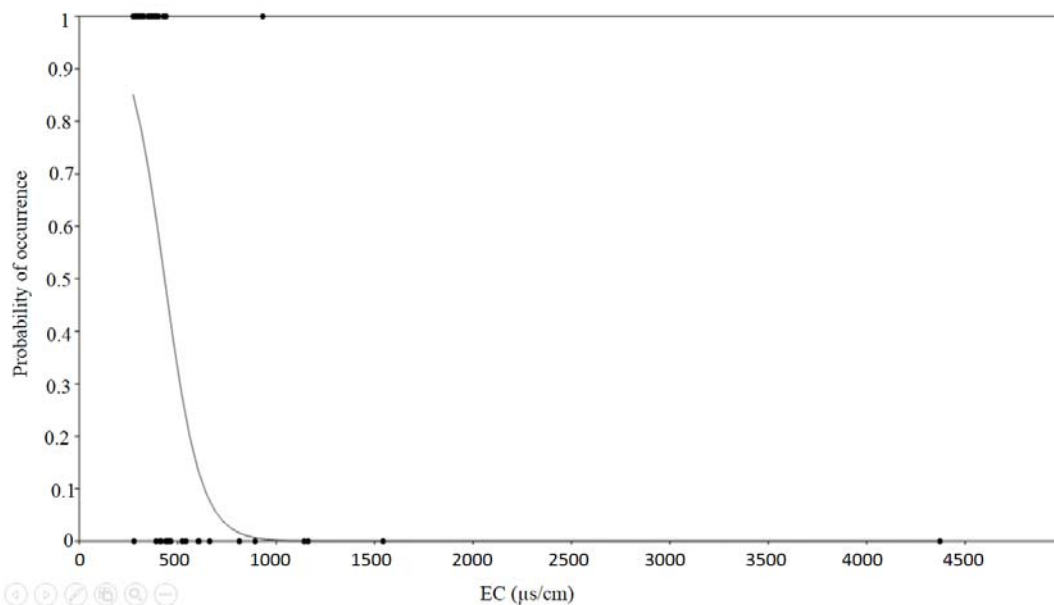
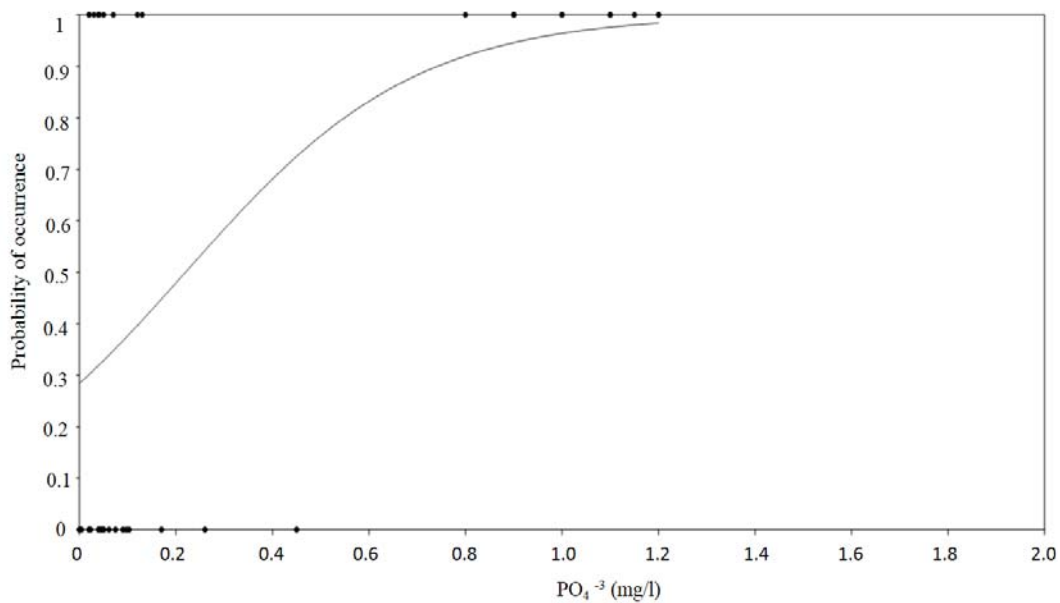


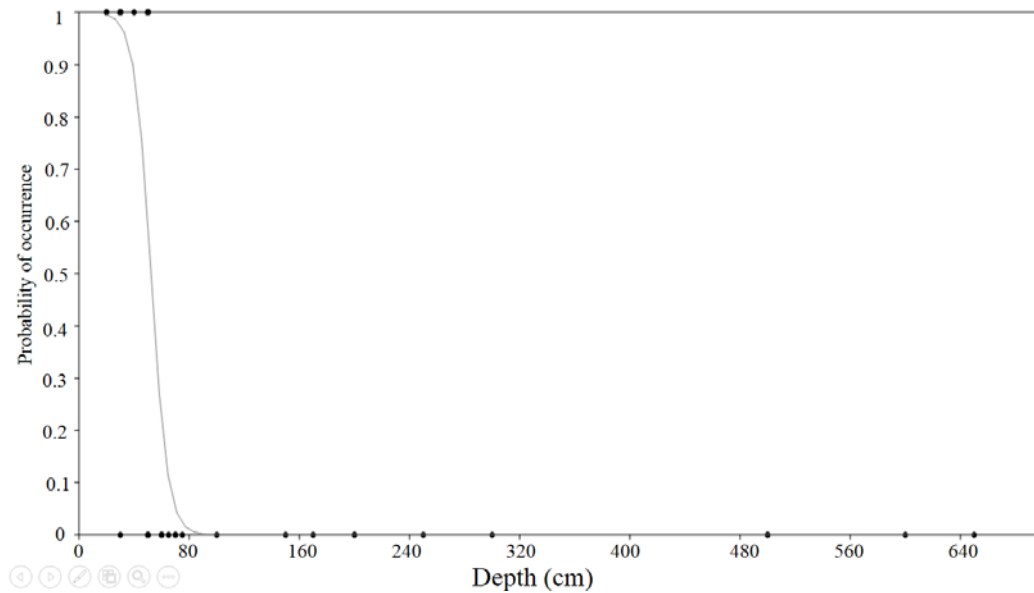
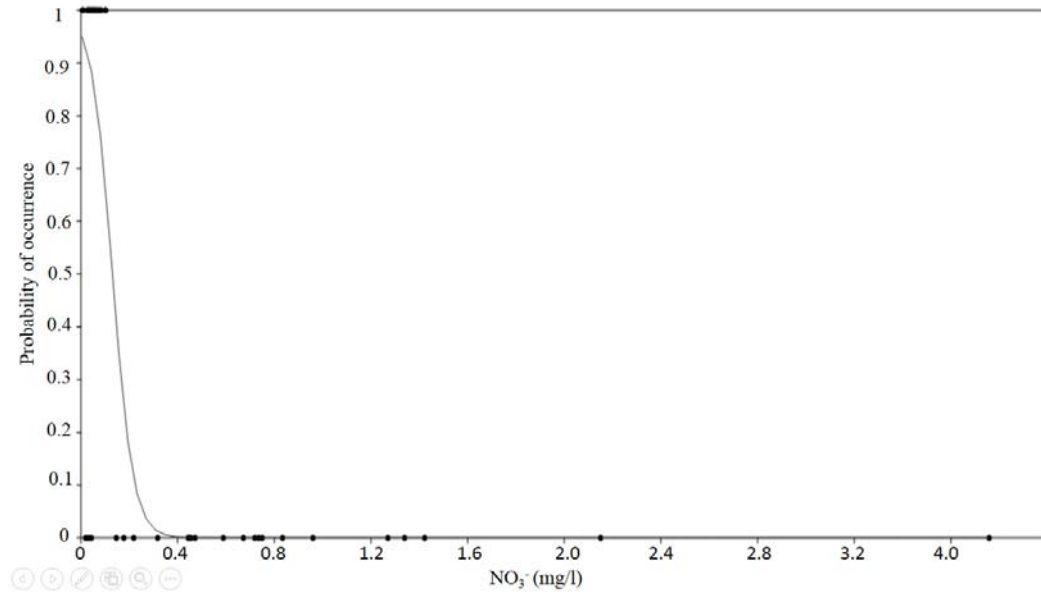
شکل ۳- پلات سنگریزه برای نشان دادن مؤلفه‌های مهم (متغیرهای تأثیرگذار) بر روی مطلوبیت زیستگاهی آزولا در ایستگاه‌های مورد بررسی (مؤلفه‌های اول تا سوم به ترتیب عمق آب، فسفات و هدایت الکتریکی می‌باشند)

برعکس با افزایش میزان بار هدایت الکتریکی، نترات و عمق آب ممکن است از میزان حضور گیاه کاسته شود (شکل ۵).

جدول ۳- ضریب همبستگی بین متغیرهای انتخاب شده در آنالیز مؤلفه اصلی و متغیرهای مهم استنتاج شده از سه مؤلفه اول

شماره مؤلفه	مهم‌ترین متغیر در اولین اولویت برای هر مؤلفه	ضریب همبستگی سه مؤلفه اول با کل متغیرهای انتخاب شده در PCA			
		عمق آب	فسفات	هدایت الکتریکی	نترات
۱	عمق آب	۱,۰۰	-۰,۳۳	۰,۳۹	۰,۴۹
۲	فسفات	-۰,۳۳	۱,۰۰	-۰,۲۶	-۰,۳۳
۳	هدایت الکتریکی	۰,۳۹	-۰,۲۶	۱,۰۰	۰,۱۸





شکل ۵- مدل GLM برای نشان دادن پیش‌بینی احتمال حضور و عدم حضور گونه مهاجم آزولا براساس مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در اکوسیستم‌های مورد مطالعه

بحث

این گیاه با استفاده از تکنیک‌های PCA و GLM در ۴ تا از اکوسیستم‌های آبی مختلف در استان‌های گیلان و مازندران انجام گرفته است به طوری که این تحقیق از جمله اندک پژوهش‌هایی است که ارتباط بین حضور/عدم حضور گیاه را با خصوصیات کیفی و ساختاری این اکوسیستم‌ها نشان می‌دهد.

نظر به اینکه سرخس آبی آزولا یکی از مخرب‌ترین و تهدید آمیزترین گونه‌های ماکروفیت آبی شناور آزاد در تالاب‌های معتدله و گرمسیری جهان شناخته شده است (۴) لذا تحقیق کنونی با هدف تعیین مطلوبیت زیستگاهی

می‌شود و این عمل می‌تواند موقعیت بسیار مناسبی را برای رشد تصاعدی این سرخس آبی در چنین شرایطی فراهم آورد (۱۹).

نتایج مدل همچنین نشان داد که افزایش متغیرهای نظیر هدایت الکتریکی، نیترات و عمق آب ممکن است احتمال حضور این سرخس مهاجم را در مناطق مورد بررسی محدود کند. براساس منحنی‌های مدل، افزایش بیش‌ازحد بار هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری می‌تواند حضور و رشد این سرخس آبی را کاملاً کاهش و حتی غیرممکن کند. نظر به این که گیاه مورد نظر از جمله ماکروفیت‌های آب‌های شیرین می‌باشد لذا غلظت بیش‌ازحد هدایت الکتریکی باعث کاهش تحمل این گیاه در این اکوسیستم‌ها می‌شود. میزان بالای بار هدایت الکتریکی در مناطق مزبور که تابعی از میزان املاح هادی مثل سدیم و... در این اکوسیستم‌ها می‌باشد می‌تواند شرایط را برای حضور این سرخس آب شیرین بسیار نامساعد کند. مطالعات زیادی تأثیر منفی ازدیاد هدایت الکتریکی و شوری آب را روی رشد گونه‌های مختلف آزولا بررسی کرده‌اند (۱۰ و ۱۶). همانطور که در آنالیز مؤلفه اصلی هم اشاره شد بیشترین میزان بار هدایت الکتریکی در پل غازیان (ایستگاه خروجی به دریای خزر) ثبت شده است (باتوجه به میانگین متغیر مورد بررسی در این ایستگاه در جدول ۱) بطوری که غلظت زیاد هدایت الکتریکی در این منطقه می‌تواند یکی از عوامل باز دارنده برای استقرار، رشد و حضور گیاه باشد.

ازجمله متغیرهای دیگر که برای بررسی مطلوبیت زیستگاهی آزولا در مطالعه کنونی مهم تشخیص داده شده است نیترات است. از نتایج مدل می‌توان استدلال کرد که با افزایش غلظت نیترات در آب ممکن است احتمال حضور گیاه کمتر شود. در نگاه اول به نظر می‌رسد نتایج مدل اغوا کننده باشد چون این ماده همانند مواد مغذی دیگر نظیر فسفات ممکن است برای رشد بسیاری از گیاهان آبی

برای بررسی مطلوبیت زیستگاهی سرخس مهاجم آزولا در مطالعه کنونی، متغیرهای متعددی اندازه‌گیری شده است. هرچند تمام این متغیرها ممکن است کم‌وبیش بروی رشد و بقای جمعیت گونه مورد نظر در اکوسیستم‌های مورد بررسی تأثیر بگذارند اما همواره باید مؤثرترین متغیرها را در مبحث ارزیابی مطلوبیت زیستگاهی گونه‌ها تعیین کرد (۲ و ۲۸). لذا برای حصول به نتیجه بهتر و پیش‌بینی دقیق‌تر نیاز است متغیرهای را که مقادیر مطلق ضریب همبستگی آنها بالاتر از ۰/۵ است در مبحث آنالیز مطلوبیت زیستگاهی گونه‌ها چشم‌پوشی کرد و حتی در برخی از مطالعات بسته به اهداف تحقیق حذف متغیرهای همبسته بالاتر از ۰/۴ نیز پیشنهاد شده است (۲۸) چون هر ضریب همبستگی بالاتر از مقادیر ذکر شده ممکن است اختلالاتی را در پیش‌بینی مدل‌ها ایجاد کنند (۲۷). لذا حذف یک یا چند تا از این متغیرهای با ضریب همبستگی بالا (با هدف تعیین تأثیرگذارترین عامل‌ها برای مطلوبیت زیستگاهی گونه) براساس مطالعات دیگران پیشنهاد شده است (۱۱، ۱۵، ۱۹، ۲۷، ۲۸ و ۳۰). لذا در مطالعه فعلی، با استفاده از تکنیک مؤلفه اصلی ۴ متغیر مهم و تأثیرگذار برای بررسی نیازهای زیستگاهی آزولا در نظر گرفته شده است و تأثیر همین تعداد عامل‌ها برای پیش‌بینی احتمال حضور/عدم حضور گونه با استفاده از مدل GLM مشخص شده است. براساس مدل GLM، عنصر فسفر به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین متغیرها برای بررسی نیازهای زیستگاهی آزولا تشخیص داده شده است. ارزش این ماده به‌عنوان یک عنصر حیاتی از زمان‌های قدیم برای رشد آزولا بااهمیت تشخیص داده شده است (۹، ۲۱ و ۲۶). اخیراً هم مطالعات زیادی اهمیت فسفر را برای این رشد و حضور این سرخس آبی در اکوسیستم‌های آبی تأیید کرده‌اند (۲۰، ۲۲ و ۲۳). استعمال کودهای شیمیایی حاوی مواد فسفردار و به دنبال آن غنی شدن این اکوسیستم‌های مورد مطالعه ناشی از افزایش فسفات، باعث فراهم کردن بستر زیست مناسب برای این گیاه مهاجم در این محیط‌های یوتروفه

نشان داده است که بهترین عمق برای رشد آزولا ۵۰ سانتی‌متر است به طوری که بالاتر از این عمق حضور گیاه کمتر می‌شود لذا نتایج فعلی تقریباً همسو با پژوهش‌های قبلی است (۲۰).

نتیجه‌گیری

براساس پیامد حاصله از مدل‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که مطلوبیت زیستگاهی سرخس مهاجم آزولا در اکوسیستم‌های مورد تحقیق هم می‌تواند تحت تأثیر متغیرهای ساختاری (نظیر عمق آب) و هم متغیرهای کیفی آب (مثل فسفات، هدایت الکتریکی و نترات) قرارگیرد. براساس نتایج این تحقیق، همچنین می‌توان نتیجه گرفت این سرخس آبی بیشتر در جاهایی از مناطق که حالت یوتروفه داشته و از طرف دیگر کمترین میزان هدایت الکتریکی (در ارتباط با شوری کم) و کمترین عمق را داشته باشد سکنی می‌گزیند. از نتایج آزمون من-ویتنی و مدل خطی تعمیم یافته می‌توان نتیجه گرفت که ممکن است ارتباط معنی‌داری بین مطلوبیت زیستگاهی آزولا با درجه حرارت هوا در تالاب‌ها وجود نداشته باشد ($P < 0.05$) که این امر را احتمالاً می‌توان به خاطر تغییرات شرایط اقلیمی در کشور نسبت داد بطوری که به نظر می‌رسد شرایط در اکثر فصول سال برای زیست و حضور آزولا در مناطق ذکر شده مهیا می‌باشد. از دیدگاه اکولوژیکی نتایج این مطالعات می‌تواند برای بررسی نیازهای زیستگاهی سایر گونه‌های شناور مهاجم در اکوسیستم‌های آبی در سرتاسر جهان که شرایط مشابه با مناطق مورد مطالعه این تحقیق فعلی را دارند مورد استفاده قرار گیرد.

ضرورت داشته باشد. اما نتایج تحقیقات پیشین نشان داده است تا زمانی که فسفات به اندازه کافی در محیط وجود دارد، سرخس آزولا نیاز مبرمی به استفاده از نترات ندارد (۸ و ۲۲). دلیل این امر این است که آزولا از جمله سرخس‌های آبی است که می‌تواند ازت هوا را تثبیت کند و از نظر تولید این ماده کاملاً خود کفا است بطوری که کمبود و یا فقدان ازت هیچ‌گونه مشکلی برای این سرخس ایجاد نمی‌کند و حتی ازدیاد ازت تا زمانی که فسفات در محل به اندازه کافی وجود داشته باشد نه تنها برای گیاه سودی ندارد بلکه وجود فسفات باعث اختلال در جذب ازت برای گیاه می‌شود لذا نتایج این تحقیق در راستای مطالعات قبلی دیگران است (۲۰).

از متغیر مهم ساختاری در ایستگاه‌های نمونه‌برداری که برای مطلوبیت زیستگاهی گونه مهاجم آزولا نقش کلیدی را ایفا کرد عمق آب بوده است. از منحنی مدل می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش عمق ایستگاه‌ها از ۸۰ سانتی‌متر به بالا احتمال حضور گیاه به تدریج کاسته می‌شود. لذا براین اساس، عمق‌های زیاد در اکوسیستم‌ها می‌توانند یکی از متغیرهای محدود کننده برای رشد و بقای گیاهان شناور آزادی مثل آزولا باشد (۷ و ۲۱). نظر به این که حداکثر عمق مناطق نمونه‌برداری ۶۵۰ سانتی‌متر و آن‌هم در قسمت خروجی ثبت شده است لذا براساس نتایج مدل، عمق‌های زیاد می‌توانند به‌عنوان یک عامل باز دارنده برای استقرار آزولا مطرح باشد لذا یکی از دلایل احتمالی عدم حضور این سرخس در منطقه مذکور می‌تواند به خاطر ازدیاد عمق در تمام فصول سال در منطقه باشد. یافته‌های قبلی محققان

منابع

۲-زرکامی، ر.، حسامی، ه.، و آق، ن.، ۱۳۹۶. بررسی مطلوبیت زیستگاهی *Artemia parthenogenetica* در تالاب میقان (استان مرکزی) با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره، مجله پژوهش‌های جانوری (مجله زیست‌شناسی ایران)، شماره ۴، صفحات ۱۱-۱۲.

۱-پیری صحراگرد، ح.، ۱۳۹۶. مدلسازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی با روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: مراتع غرب تفتان، شهرستان خاش)، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، شماره ۴، صفحات ۱۵-۱.

- ۳- زرکامی، ر.، خزایی، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی مطلوبیت زیستگاهی گیاه پرطاوسی سنبله ای (*Myriophyllum spicatum* L.) در برخی از اکوسیستم های آبی استان مازندران و گیلان، مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، شماره ۳. صفحات ۷۱۷-۷۰۵.
- ۴- زرکامی، ر.، ۱۳۹۵. گیاهان آبرزی مهاجم، انتشارات حق شناس، ۱۸۴ صفحه.
- ۵- غضبان، ف.، و زارع خوش اقبال، م.، ۱۳۹۰. بررسی منشأ آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی (شمال ایران)، محیط‌شناسی، شماره ۵۷. صفحات ۱۲-۱.
- 6-APHA, 1989. Standard methods for examining of water and waste water, 17th edition, Method 507, Washington, D. C., 531 p.
- 7-Biswas, M., Parveen, S., Shimozawa, H., and Nakagoshi, N., 2005. Effects of *Azolla* species on weed emergence in a rice paddy ecosystem. *Weed Biology and Management*, 5, PP: 176–183.
- 8-Costa, M. L., Santos, M. C. R., and Carrapico, F., 1999. Biomass characterization of *A. filiculoides* grown in natural ecosystems and wastewater, *Hydrobiologia*, 415, PP: 323–327.
- 9-EL Katony, T. M., Serao, M. S., Badway, A. M., and Mousa, M. A., 1996. Effect of phosphorus on growth and uptake of nutrients by *A. filiculoides* Lam. *Journal of Environmental Sciences*, 12, PP: 69-88.
- 10-Fernández-Zamudio, R., García-Murilloa, P., and Cirujano, S., 2010. Germination characteristics and sporeling success of *A. filiculoides* Lam., an aquatic invasive fern, in a Mediterranean temporary wetland, *Aquatic Botany*, 93, PP: 89-92.
- 11-Goethals, P., 2005. Data driven development of predictive ecological models for benthic macroinvertebrates in rivers. PhD thesis, Ghent University, Gent, Belgium, 377 p.
- 12-Hammer, O., 2013. Paleontological statistics (PAST), Natural History Museum, University of Oslo, Oslo, 221 p.
- 13-Harper, D.A.T., (ed), 1999. Numerical Palaeobiology. John Wiley & Son, New York.
- 14- JICA (Japan International Cooperation Agency), 2005. The study on integrated management for ecosystem Conservation of the Anzali wetland in the Islamic Republic of Iran. Nipon Koei Co., LTD. Final report 222 pp.
- 15- Kuhn, M., and Johnson, K. ۲۰۱۳. Applied predictive modeling, New York: Springer .DOI 10.1007/978-1-4614-6849-3. 615 pp.
- 16-Masood, A., Shah, N. A., Zeeshan, M., and Abraham, G., 2006. Differential response of antioxidant enzymes to salinity stress in two varieties of *Azolla* (*A. pinnata* and *A. filiculoides*). *Environmental and Experimental Botany*, 58, PP: 216-222.
- 17-Nelder, J., and Wedderburn, R., 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*. Blackwell Publishing, 135 (3), PP: 370–384.
- 18-Sadeghi, R., Zarkami, R., and Van Damme, P., 2017. Analyzing the occurrence of an invasive aquatic fern in wetland using data-driven and multivariate techniques. *Wetlands Ecology and Management*, 25, pp: 485-500.
- 19-Sadeghi, R., Zarkami, R., and Van Damme, P., 2014. Modelling habitat preference of an alien aquatic fern, *Azolla filiculoides* (Lam.), in Anzali wetland (Iran) using data-driven methods. *Ecological Modelling*, 284, PP: 1–9.
- 20-Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K., and Van Damme, P., 2013a. Application of genetic algorithm and greedy stepwise to select input variables in classification tree models for the prediction of habitat requirements of *Azolla filiculoides* (Lam.) in Anzali wetland, Iran. *Ecological Modelling*, 251, PP: 44-53.
- 21-Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K., and Van Damme, P., 2013b. A review of some ecological factors affecting the growth of *Azolla* spp. *Caspian Journal of environmental science*, 11, PP: 65-76.
- 22-Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K., and Van Damme, P., 2012a. Use of support vector machines (SVMs) to predict distribution of an invasive water fern *Azolla filiculoides* (Lam.) in Anzali wetland, southern Caspian Sea, Iran. *Ecological Modelling*, 244, PP: 117–126.
- 23-Sadeghi, R., Zarkami, R., Van Damme, P., and Sabetraftar, K., 2012b. Application of classification trees to model the distribution pattern of a new exotic species *Azolla filiculoides* (Lam.) at Selkeh Wildlife Refuge, Anzali wetland, Iran. *Ecological Modelling*, 243, PP: 8–17.

- 24-Shmueli, G., 2010. To explain or to predict? *Statistical science*, 25, PP: 289–310.
- 25-Son, D., Cho, K., and Lee, E., 2017. The potential habitats of two submerged macrophytes, *Myriophyllum spicatum* and *Hydrilla verticillata* in the river ecosystems, South Korea. *Knowledge and management of aquatic ecosystems*, 22, PP: 418, 58.
- 26- Sadeghi, R., Zarkami, R., and Van Damme, P., 2014. Modelling habitat preference of an alien aquatic fern (*Azolla filiculoides*) Lam., in Anzali wetland (Iran) using data-driven methods. *Ecological Modelling*, 284, pp: 1-9.
- 27-Walczak, S., and Cerpa, N., 1999. Heuristic principles for the design of artificial neural networks. *Information and Software Technology*, 41, PP: 107–117.
- 28-Zarkami, R., Moradi, M., Sadeghi, R., Bani, A., and Abbasi, K., 2018. Input variable selection with greedy stepwise search algorithm for analyzing the probability of fish occurrence: A case study for *Alburnoides mossulensis* in the Gamasiab River, Iran, 118, PP: 104-110.
- 29-Zarkami, R., Sadeghi, R., and Goethals, P., 2012. Use of fish distribution modelling for river management. *Ecological Modelling*, 230, PP: 44-49.
- 30-Zhao, J., Cao, J., Tian, S., Chen, Y., Zhang, S., Wang, Z., and Zhou, X., 2014. A comparison between two GAM models in quantifying relationships of environmental variables with fish richness and diversity indices. *Aquatic Ecology*, 48, PP: 297–312.

Study of habitat suitability of water fern (*Azolla filiculoides*, Lam.) in some aquatic ecosystems of Guilan and Mazandaran provinces using generalized linear model

Zarkami*, R., Saharkhiz, M.,

Dept. of Environment Science, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme Sara, I.R. of Iran

Abstract

Water fern (*Azolla filiculoides*) is one of the most dangerous invasive aquatic plant species in the temperate and tropical regions of the world. 4 different sites were selected in Guilan and Mazandaran provinces to examine the habitat suitability of *Azolla*. 15 physical, chemical and structural variables at each site were monthly sampled simultaneously with biological data (based on 24 presence instances and 24 absence instances of *Azolla*) during one year (2017-2018). The results of the Mann-Whitney test showed that except water and air temperature, ammonium and turbidity ($P > 0.01$ for all), a significant difference was observed between the presence and absence of *Azolla* and the remaining variables ($P < 0.01$ for all). The obtained results of the principal component analysis showed that water depth, phosphate and electric conductivity were the most influential factors in the first to third components, respectively so that they had the major effect on the habitat suitability of *Azolla* in the sampling sites. The results of generalized linear model showed that there was a significant difference between the presence and absence of *Azolla* in the sampling sites and all variables used in the principal component analysis ($P < 0.01$).

Key words: *Azolla*, habitat suitability, presence and absence, principal component analysis, generalized linear model