مجله بهداشت و توسعه
سال نهم/شماره ۱/ بهار ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۵

تعیین مناطق مستعد گونه مهاجم آزولا (*Azolla filiculoides*) در تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از تکنیک GIS

مریم فلاح[۱]، احمدرضا پیرعلی زفره‌ئی[۲]، سیدعلی اکبر هدایتی[۳]

چکیده

مقدمه: در سال‌های اخیر مسئله ورود گونه‌های غیر بومی به اکوسیستم‌های آبی در بسیاری از نقاط دنیا مورد توجه قرار گرفته است و می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی آسیب‌پذیری‌های زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد. در این راستا متأسفانه تالاب بین‌المللی انزلی در دهه‌های اخیر با گسترش (*Azolla filiculoides*) مواجه بوده است و لزوم شناسایی مناطق مستعد حضور این گونه ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌ها: اطلاعات به دست آمده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت اکوسیستم‌های آبی ایفا می‌کند. بدین‌منظور در این مطالعه مقطعی، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز براساس عوامل مؤثر در پراکنش آزولا، نقشه نهایی مکان‌های مستعد براساس منطق فازی تهیه شد.

نتایج: نتایج به دست آمده نشان داد، ۴۵/۱۸ درصد از کل مساحت تالاب جزء مناطق با استعداد بالای حضور گونه مهاجم به شمار می‌رود. همچنین غرب تالاب پتانسیل بالاتری داشت که همسو با اطلاعات عوامل مؤثر بر پراکنش این گونه نیز بود.

بحث و نتیجه‌گیری: اطلاعات به دست آمده حاکی از تفکیک‌پذیری مناسب منطق فازی و GIS در پهنه‌بندی مناطق مستعد گونه آزولا بود. همچنین با توجه به وسعت مناطق مستعد لزوم داشتن یک استراتژی و برنامه مدون برای حفظ این تالاب و کنترل آلودگی‌ها و عوامل مخرب آن احساس گردید.

واژگان کلیدی: آزولا، تالاب انزلی، منطق فازی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، گونه غیربومی

مقدمه

آب و خاک دو عنصر اساسی تالاب می‌باشد و بر اثر تعامل این دو عامل، نوع تالاب، کمیت و کیفیت گونه‌های گیاهی و جانوری و ارتباط آن با محیط‌های همجوار مشخص می‌شود (۱). از آنجایی که تالاب‌ها جمعیت عظیمی از آبزیان، پرندگان، حیوانات وحشی و اهلی و افراد محلی را در خود و یا اطراف خود نگه می‌دارند، علاوه بر کارکردهای هیدرولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و گردشگری، از نظر اقتصاد زیست‌محیطی بسیار مهم به شمار می‌آیند (۲). امروزه آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از ورود آلاینده‌ها و پساب‌ها به زیست‌بوم‌ها و از بین بردن گونه‌های جانوری و گیاهی عموماً بر اثر مواد شیمیایی نیست بلکه بسیاری از این آسیب‌ها می‌تواند ناشی از دستکاری در نظام طبیعی زیست‌بوم‌ها باشد (۳). یکی از این آسیب‌ها که به ویژه در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان مورد توجه بسیاری قرار گرفته است، مسئله ورود گونه‌های غیر بومی (Alien

۱- کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- دکترا، گروه تولید و بهره برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانشیار، گروه تولید و بهره برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
نویسنده‌ی مسئول: مریم فلاح **Email:** Maryam.fallah85@gmail.com
آدرس: اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط زیست **تلفن:** ۰۹۳۳۴۴۰۹۵۸۳ فاکس: ۰۳۱۳۳۹۱۲۸۴۰

Species) به زیست بوم‌ها می‌باشد. ارگانیزم‌های غیربومی موجوداتی هستند که ورود آن‌ها موجب آسیب یا احتمال آسیب اقتصادی، زیست‌محیطی یا سلامت انسانی شود (٤). به‌طورکلی بخش قابل‌توجهی از گونه‌های زنده قابلیت تهاجم به دیگر اکوسیستم‌ها و تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بر آن‌ها را دارند (۳). گسترش گونه‌های غیربومی دارای ویژگی‌های مختلفی است که می‌توانند به عنوان معیارهای کلی در برآورد ریسک‌های احتمالی و نیز خسارت اقتصادی به کار روند. این ابعاد عبارت‌اند از: تأثیرات اکولوژیکی، تأثیرات ژنتیکی، تأثیر بر پویایی جمعیتی، تأثیر بر کل جمعیت‌های زنده و تأثیر بر فرآیندهای اکوسیستم (۵). امروزه بر اثر عوامل گوناگون غیرطبیعی که موجب جابه‌جایی گونه‌های زنده می‌شوند، هزاران گونه غیربومی اعم از گیاهی و جانوری در مناطق مختلف جهان یافت می‌شوند (٦). گسترش گونه‌های مهاجم پدیده‌ای است که می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی آسیب‌پذیری‌های زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد (۷). آزولا از ماکروفیت‌های آبزی می‌باشد و به خصوص جنس‌های *A. pinnata* و *A. filiculoides* به عنوان علف‌های هرز در اکوسیستم‌های آبی، شناخته می‌شوند (۱۱-۸). به همین دلیل *A. filiculoides* با گسترش سریع در اروپا و جنوب آفریقا به عنوان گونه مهاجم مطرح گردید (۱۱). از سوی دیگر گونه‌های بومی اکوسیستم با کاهش جمعیت خود در برابر تغییرات گسترده شرایط محیطی سازگار شدند و اغلب آن‌ها محدوده بردباری ویژه‌ای در برابر این شرایط دارند (۵،۱۲).

از جمله گونه‌های مهاجم معرفی شده در ایران، سرخس آبزی (*Azolla filiculoides*) است. یک گونه غیربومی در مناطق شمال ایران که در دهه ٦۰ توسط سازمان تحقیقات علمی صنعتی ایران از کشور فلیپین به عنوان گیاه جاذب ازت هوا برای اجرای طرح‌های مطالعاتی در زمینه کاشت برنج وارد کشور شد و به صورت یک فرم رویشی همزیست با جلبک سبز آبی (*Anabena azolin*) است که متأسفانه سهم وسیعی از آب‌های ساکن منطقه تالاب را تحت پوشش خود گرفته و باعث کاهش اکسیژن آب، تسریع روند یوتروفی تالاب و به خطر انداختن حیات دیگر گونه‌ها به خصوص آبزیان می‌گردد (۱۳).

آزولا به راحتی به وسیله جریان‌های آب، پرندگان و وسایل نقلیه جابه‌جا می‌شود و در مدت کوتاهی منطقه وسیعی را فرا می‌گیرد. وجود این گیاه آفت در تالاب انزلی سبب شده تا این تالاب در معرض مرگ زیستی قرار گیرد و بسیاری از فعالیت‌های حیاتی این اکوسیستم با ارزش مختل شود (١٤). اگرچه مدیریت گونه‌های مهاجم از سال ۱۹۸۰ آغاز شده است (۱۵)؛ اما با توجه به کثرت گونه‌های مهاجم، مطالعه و تحقیق در این خصوص همواره و به طور پیوسته لازم است. از اقدامات کشورهای مختلف در زمینه مدیریت ریسک ناشی از خسارت گونه‌های بیگانه IAS (Invasive Alien Species) می‌توان به گزارش پیش‌بینی گسترش گونه‌های گیاهی و آفات غیربومی که در سال ۲۰۰۲ توسط آکادمی ملی علوم در آمریکا منتشر شد، اشاره کرد (١٦). به نظر می‌رسد که علیرغم مصادیق و نمونه‌های مشهودی مانند آبزی شانه‌دار (*Mnemeiopsis leidyi*) دریای کاسپین و سرخس آزولا تالاب بین‌المللی انزلی، این مسئله در ایران چندان مورد توجه قرار نگرفته است (١٤). از طرفی گونه‌های گیاهی و به ویژه گیاهان آبزی به عنوان عضو کلیدی تالاب‌ها، می‌توانند به عنوان

شاخص زیست‌محیطی تلقی شوند و به همین خاطر آشکارسازی پراکنش مکانی و تغییرات زمانی جوامع گیاهی می‌تواند اطلاعات مهمی درباره تأثیر عوامل زیست‌محیطی بر تالاب به ما بدهد (۱۷).

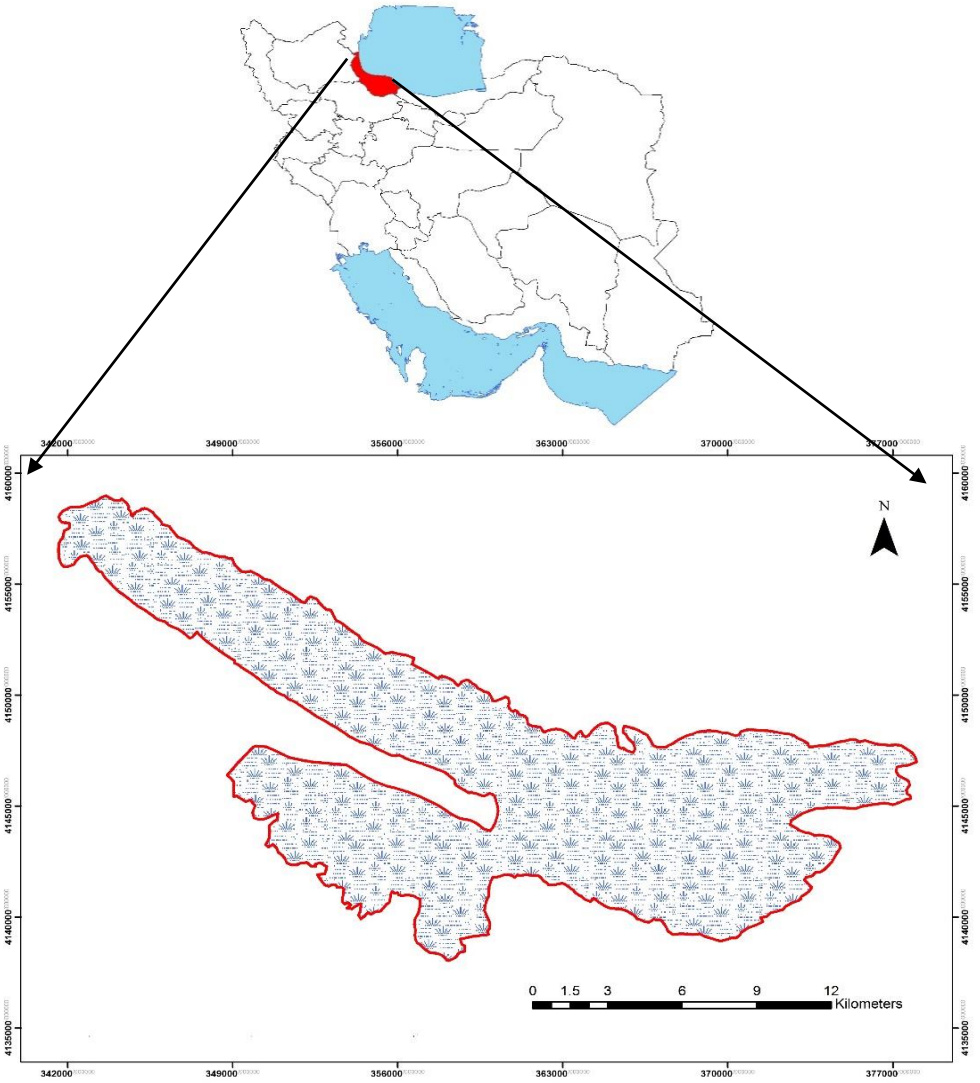
امروزه سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) GIS به عنوان ابزاری قوی جایگاه خاصی در پایش منابع طبیعی به ویژه منابع آبی را به خود اختصاص داده است و این امکان را فراهم می‌کند که پایش منابع آبی آسان‌تر و با هزینه کمتر انجام گردد (۱۸). داده‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی فرصت‌های مناسبی را جهت آنالیز کامل داده‌های مکانی فراهم می‌کنند و کاربردهای مؤثری برای بررسی پوشش اراضی و تغییرات آن‌ها در زمینه‌های محیط‌زیست، هیدرولوژی، کشاورزی، جنگلداری و جغرافیا و مدیریت شهری دارند (۱۹،۲۰). این مطالعه با نظر به اهمیت موضوع و نبودن مطالعات مشابه، پس از آگاهی از عوامل مؤثر بر رشد و پراکنش *Azolla filiculoides* در تالاب انزلی، با استفاده از تکنیک GIS و منطق فازی انجام شد تا مناطق مستعد این گونه، مدل‌سازی و نتایج بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه مقطعی، توصیفی- تحلیلی

است. تالاب انزلی در محدوده جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ٤۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ٤۹ درجه و ٤۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مساحت تالاب انزلی بیش از ۲۱۸ کیلومترمربع و مساحت حوزه آبریز آن ۳۷٤ هزار هکتار است. حدود ٥٤٪ آن را جنگل و مرتع، ۲۳٪ اراضی کشاورزی، ۸٪ محیط‌های آبی و بقیه را مناطق انسان ساخت و تأسیسات زیربنائی تشکیل می‌دهد. تالاب انزلی در سال ۱۳٥٤ در فهرست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر به ثبت رسید. همچنین سازمان بین‌المللی حیات پرندگان این تالاب را به عنوان زیستگاه با اهمیت پرندگان تشخیص داده است. منطقه حفاظت شده سیاه کشیم، پناهگاه حیات وحش سلکه و منطقه شکار ممنوع سرخانکل در تالاب انزلی واقع شده‌اند (۲۱).

آزولا متعلق به خانواده Azollaceae، راسته Salviniales، شاخه Pterdophyta است. جنس آزولا به دو زیرجنس Euzalla و Rhizosperma تقسیم می‌شود. آزولا تالاب انزلی *Azolla filiculoides* متعلق به Euzalla است (شکل ۲). (۲۲). آزولا گیاه آبزی و شناور (Free Floating)، بومی آب‌های گرم در آفریقا، آسیا و آمریکا است (۱٥).

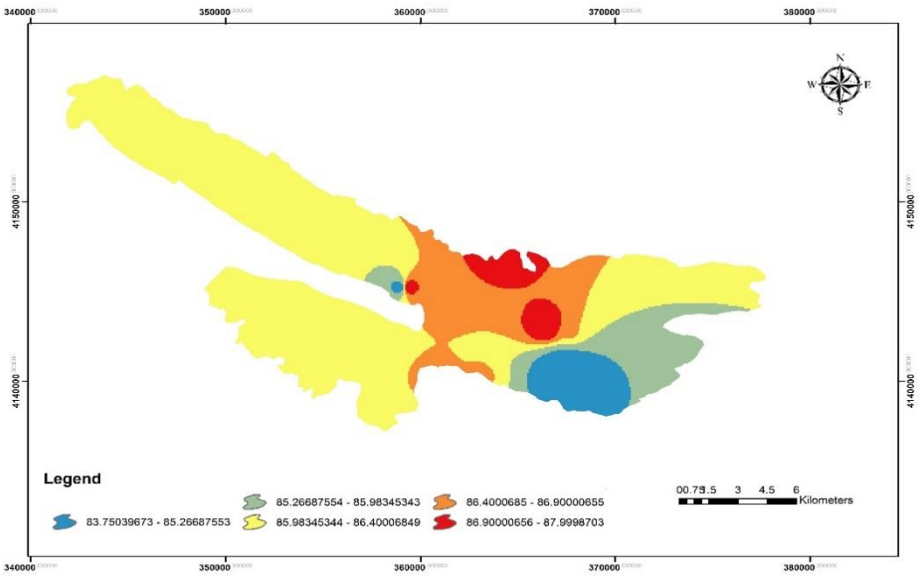


شکل ۱: موقعیت تالاب بر روی نقشه (این شکل توسط نگارنده و در محیط نرم افزار Arc GIS 10.2 تهیه شده است)

شکل ۲: گونه آزولا *Azolla filiculoides*

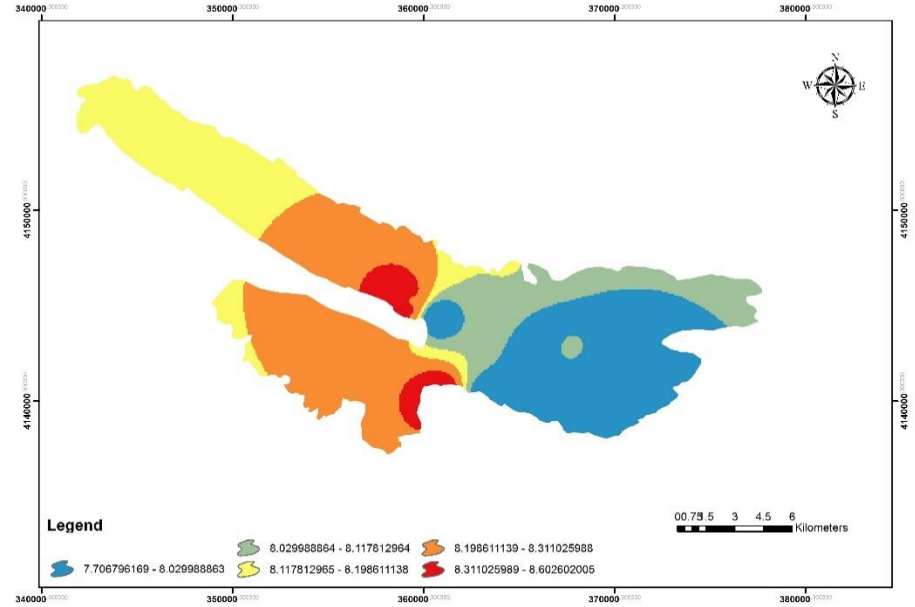
اولین گام در این مطالعه شناسایی عوامل مؤثر بر روی رشد و پراکنش گونه *Azolla filiculoides* در تالاب بود. مطالعات نشان داد که دما یکی از مهم‌ترین عوامل مرتبط با نرخ رشد ماکروفیت‌های شناور است. نتایج حاصل بر روی سه گونه *Lemna minor*، *Salvinia molesta* و *Azolla filiculoides* در محیط آزمایشگاه نشان داد که دما فاکتور مهمی در رسیدن به نرخ رشد ۸۹ تا ۹۵ درصد بود (۲۳،۲٤). Watanabe و Berja بیان کردند که حداکثر رشد آزولا در دمای بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (۲۵). صادقی و همکاران به پیش‌بینی توزیع گونه آزولا در پناهگاه حیات وحش سلکه در تالاب انزلی پرداختند و با استفاده از متغیرهای ساختاری زیستگاه و فیزیکوشیمیایی درصد پوشش آزولا را به صورت یک مدل در آوردند و بیان کردند که یک ارتباط منطقی بین توزیع آزولا و متغیرهای ساختاری زیستگاه مانند دمای هوا، رطوبت، شدت نور و عمق تالاب و متغیرهای فیزیکوشیمیایی مانند نیترات و فسفات وجود دارد (۲٦). اپتیمم رطوبت نسبی برای آزولا ۸٦ تا ۹۰ درصد می‌باشد. در این رطوبت آزولا رشد طبیعی خود را ادامه می‌دهد. رطوبت نسبی زیر ٦۰ درصد باعث خشکی و شکنندگی آزولا می‌شود (۱۳). نور یکی از فاکتورهای مهم جهت تولید بیوماس و تثبیت ازت توسط آزولا می‌باشد (۱۳). اپتیمم رشد آزولا در pH بین ٤/٥ تا ۷ و در دمای ۱۸ تا ۲٦ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۳،۲۷).

پس از شناسایی عوامل مؤثر در بخش قبلی، نسبت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی اقدام شد. بدین‌منظور براساس مطالعات، لایه‌های درصد رطوبت‌نسبی، دمای سطح آب و اسیدیته تهیه گردید. اطلاعات براساس نمونه‌برداری سال ۱۳۹۳ (توسط نگارنده)، (۱٤) استخراج و پس از میانگین‌گیری به وسیله درون‌یابی (Inverse Distance Weighted)IDW، در محیط Arc GIS 10.2، لایه‌های مورد مطالعه تشکیل شد. نقشه‌های پایه تشکیل شده بر این اساس در شکل ۳ قابل مشاهده است.

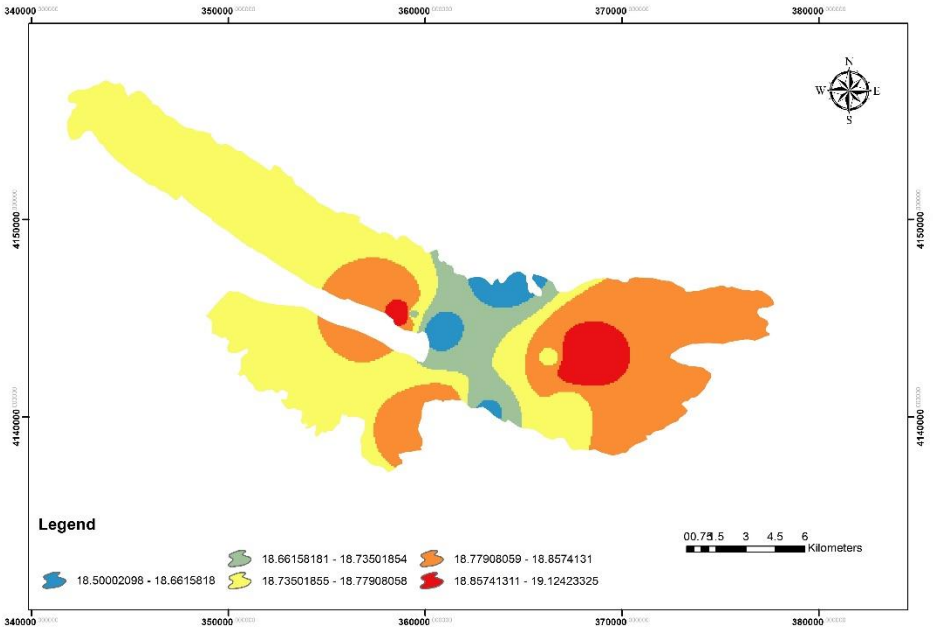


الف

ب



ج

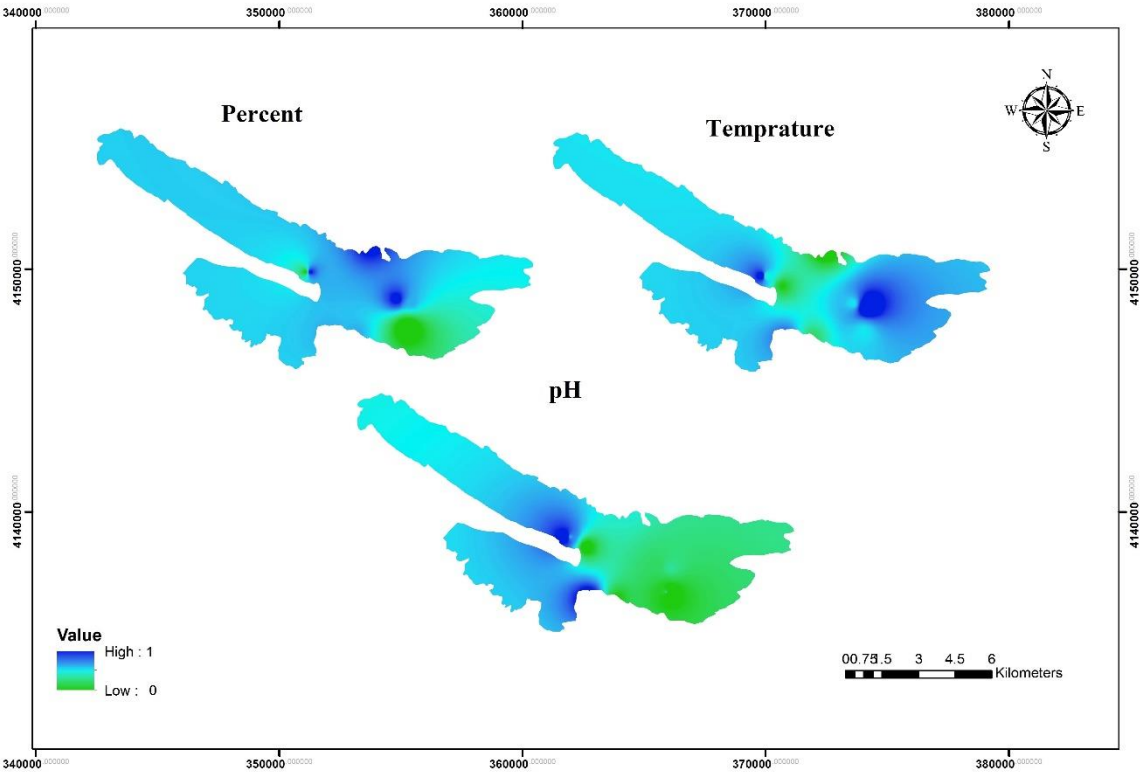


شکل ۳: نقشه‌های پایه ورودی مطالعه الف) درصد رطوبت نسبی ب) pH ج) دمای آب

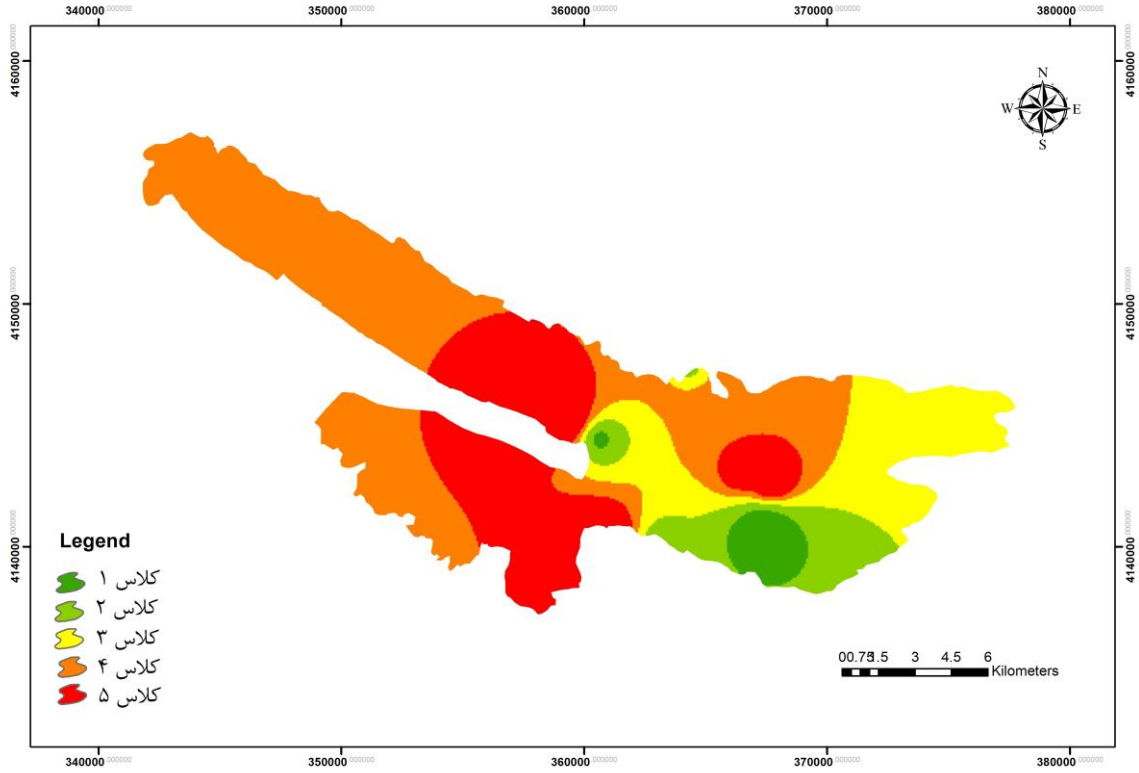
پس از آماده‌سازی و تهیه لایه‌ها، تلفیق لایه‌ها و برآورد مناطق مستعد براساس منطق فازی انجام شد. پس از آنالیز روش‌های مختلف منطق فازی، در تحقیق حاضر به دلیل مرتبط بودن نقشه‌ها و در یک راستا بودن نتایج آن‌ها از روش ضرب جبری فازی (Product) و گامای فازی (Fuzzy Guma) جهت هم‌پوشانی استفاده شد. بدین‌منظور با لایه‌های فازی به دست آمده با استفاده از محیط برنامه Arc GIS 10.2، هم‌پوشانی فازی (Fuzzy overlay) جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی در منطقه مورد مطالعه، انجام گرفت.

نتایج

در گام اول هریک از لایه‌های اطلاعاتی پایه براساس منطق فازی به بین صفر تا یک تبدیل شدند (شکل ٤). در گام بعد نقشه نهایی حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به دست آمد و به ٥ کلاس پتانسیل بسیارکم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ٥). در منطق فازی هریک از اعضای مجموعه یک مقیاس بین عدد صفر (غیرعضو) تا عدد یک (عضو کامل) را به خود اختصاص می‌دهد. به عبارتی، عدد یک بیانگر بهترین حالت و صفر بدترین حالت را در راستای رسیدن به نتیجه مطلوب نشان می‌دهد (شکل ٤ و ٥).



شکل ٤: لایه‌های اطلاعاتی تبدیل شده براساس منطق فازی



شکل ۵: نقشه مناطق مستعد حضور آزولا در تالاب انزلی به روش گاما

در جدول ۱ مساحت هر کلاس به تفکیک (درصد) براساس نقشه نهایی گزارش شده است. بیشترین مساحت مربوط به کلاس ۵ بود (٤٥/١٨ درصد).

جدول ۱: مساحت هر کلاس به تفکیک در روش گاما

کلاس	شرح	هکتار	درصد
۱	پتانسیل بسیار کم	۶۹/۶۶	۶/۱۳
۲	پتانسیل کم	۱۲۱/۴۱	۱۰/۶۹
۳	پتانسیل متوسط	۱۷۸/۲	۱۵/۶۹
۴	پتانسیل زیاد	۲۵۳/۱۷	۲۲/۲۹
۵	پتانسیل بسیار زیاد	۵۱۳/۰۹	۴۵/۱۸

بحث

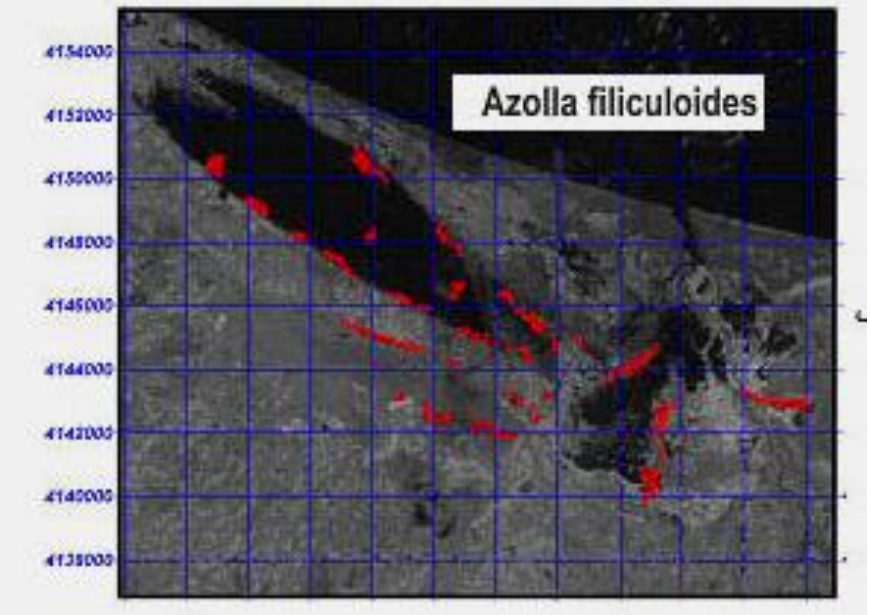
یک گیاه آبزی هنگامی که با رشد بیش از اندازه مانع انجام بسیاری از فعالیت‌های مورد نظر انسان و سایر موجودات شود به علف هرز تبدیل می‌گردد (۲۸). آزولا در تراکم‌های پایین در یک منطقه با رشد سریع و زمان کوتاه دوبرابر شدن، قدرت پراکندگی گسترده داشته و قادر است که تبدیل به یک علف هرز خطرناک شود. به طور تقریبی زمان دو برابر شدن آزولا ۵ روز است (۲۱،۲۷). رشد بیش از اندازه این علف هرز آبزی بر روی سطح آب در آبگیرهای

شمال کشور به ویژه تالاب انزلی موجب تأثیر نامطلوب بر کیفیت آب، کاهش تنوع موجودات جانوری و گیاهی تالاب و همچنین ایجاد مشکل برای شالی‌کاران منطقه گردیده است. علاوه بر این رشد انبوه این علف هرز بر روی سطح آب باعث جلوگیری از نفوذ نور به لایه‌های پایین‌تر سطح آب شده که مانعی برای رشد گیاهان غوطه‌ور در تالاب انزلی و در نهایت کاهش تنوع گیاهی و جانوری وابسته به آن گردیده است. از طرف دیگر به دلیل رشد متراکم این گیاه بر روی سطح آب، تبادلات گازی بین سطح و لایه‌های زیرین آب به حداقل رسیده که همین عمل منجر به کاهش شدید اکسیژن در لایه‌های مختلف آب و در نهایت منجر به مرگ و حذف بعضی از موجودات درون تالاب انزلی شده است. از طرفی در اکوسیستم‌های آبی، عمق آب و عناصر غذایی نقش کلیدی در تغییرات پوشش گیاهی ایفا می‌کنند (۲۹).

بر اساس نقشه‌های پایه اولیه (شکل ۳)، دمای آب در شرق و غرب تالاب نسبت به مرکز بیشتر است. pH در شرق کمتر یا به عبارتی نزدیک به شرایط اسیدی و در غرب تالاب بیشتر (یا به عبارتی نزدیک به شرایط قلیایی) بود. درصد رطوبت هوا در مرکز تالاب به طور نسبی بیشتر است. در همین راستا نقشه خروجی تلفیق لایه‌های فازی شده (شکل ۵) نشان داد که غرب و مرکز تالاب شرایط مساعدتری برای رشد آزولا داشت. این گونه در شرایطی که pH از حدی پایین‌تر برود رشد آن کاهش می‌یابد و این روابط در مورد رطوبت هوا و دمای آب نیز صدق می‌کند. بررسی جدول ۱ نشان داد دو کلاس آخر (پتانسیل زیاد و بسیار زیاد) به ترتیب ۲۲/۲۹ و ٤٥/١٨ درصد از مجموع کل کلاس‌ها را به خود اختصاص داد؛ لذا با توجه به این که این گونه در حال پیشروی در کل تالاب است، به این معنی نیست که در نواحی دیگر اصلاً حضور ندارد، بلکه این کلاس‌ها مناطق مستعدتر را نشان می‌دهد. از طرفی براساس تکنیک GIS و منطق فازی به راحتی می‌توان نواحی را براساس معیارها مورد شناسایی و مدل‌سازی نمود که این امر با توجه به اهمیت تالاب‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

از محدویت اصلی این مطالعه نبود آمار دقیق از میزان پراکنش گونه آزولا در سطح تالاب انزلی بود؛ لذا برای بررسی صحت مدل خروجی این مطالعه، پژوهش‌های صورت گرفته در مورد گیاهان آبزی مورد توجه قرار گرفت (۳۰،۳۱).

نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین در این زمینه همخوانی داشت و صحت نتایج را نیز تأیید نمود. براساس مقایسه تغییرات وزن زیست توده برحسب گرم در مترمربع گیاهان آبزی در مناطق مختلف در سال ۱۳۹۳، بیشترین مقدار گونه *Azolla filiculoides* در منطقه غرب‌تالاب انزلی (آبکنار) مشاهده شد (۳۰). همچنین در مطالعه میرزاجانی و همکاران میانگین سالانه وزن تر ماکروفیت‌ها در سال ۱۳۸۱، از گونه *Azolla filiculoides* به ترتیب در شیجان (شرق)، هندخاله و آبکنار (غرب) برابر با ۰/۲٦ و ۲۱۱ گرم بر متر مربع بود. نقشه پراکنش این مطالعه در شکل ٦ گزارش شده است (۳۱).



شکل ٦: نقشه پراکنش آزولا در سال ۱۳۸۱ (۳۱)

لازم به ذکر است افزایش حرارت و غلظت فسفر در دسترس، باعث افزایش رشد آزولا شده و زمان دو برابر شدن آن کاهش یافته است. آبگیرهای شمال کشور به ویژه تالاب انزلی تقریباً به دلیل ورود پساب زمین‌های کشاورزی، خانگی و صنعتی و حتی در بعضی مناطق بیمارستانی از نظر عناصر غذایی غنی می‌باشند. به دلیل تشدید فشارهای انسانی در اکوسیستم‌های طبیعی، بهسازی مؤثر و کارآمد جهت تالاب‌های تخریب شده و آسیب‌دیده از طریق مدیریت مناسب ضروری است (۳۲). از جمله برنامه‌های بهسازی تالاب می‌توان به برنامه‌های بنیاد ملی علوم (National Science Foundation)NSF، پژوهش زیست‌محیطی بلندمدت (Ecological Long Term Research) LTER، آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EnvironmentalUnited States Protection Agency) USEPA و برنامه تحقیقات تالاب‌ها (Program Wetlands Research) WRP اشاره کرد (۳۳). با توجه به توسعه روش‌هایی برای بهسازی تالاب‌ها در مقیاس حوزه آبخیز آن‌ها که طی سالیان اخیر افزایش پیدا کرده است، محققان بهسازی تالاب‌ها، در مرحله اول با برنامه‌ریزی به شناسایی عوامل تخریب در جهت بهبود بیشتر تالاب‌های تخریب شده و یا از دست رفته طی سال‌های گذشته و در مرحله بعد به بهسازی تالاب‌هایی که در مقیاس سیمای سرزمین کارآمدی بیشتری دارند، می‌پردازند، مانند بهسازی تالاب میسوری در حوزه می‌سی‌سی‌پی برای بازگرداندن عملکرد آن به قبل از شرایط تخریب (۳٤). در واقع بهسازی تالاب در مقیاس سیمای سرزمین به عنوان مؤثرترین روش برای بهبود کیفیت آب داخل حوزه پیشنهاد می‌شود که یکی از چالش‌های عمده زیست‌محیطی برای توسعه کشاورزی و افزایش تولید، کاهش اثرات آلودگی بر کیفیت آب اکوسیستم‌های آبی است. بهسازی تالاب در مقیاس حوزه آبخیز به عنوان یک استراتژی کلی با توجه به افزایش آلاینده‌های غیر نقطه‌ای در

اکوسیستم‌های آبی در توسعه پایدار کشاورزی پیشنهاد می‌گردد (۳٤). Doren و همکاران یک مدل مفهومی زیست‌محیطی برای حذف گیاهان و گونه‌های غیربومی مهاجم ارائه دادند. در این مدل از معیارهای توسعه ارزیابی برنامه‌های نظارت بر گونه‌های غیربومی و حضور گونه‌ها و فراوانی آن‌ها به عنوان یک شاخص استفاده کردند و در نهایت این مدل را در دریاچه Everglades آمریکا انجام دادند و پاسخ مناسبی در کنترل گسترش و کاهش اثرات گونه‌های مهاجم به دست آوردند (۳۵). Cui و همکاران در سال ۲۰۰۹، اثرات پروژه‌های بهسازی تالاب در دلتا رودخانه زرد کشور چین را در بلندمدت بررسی نمودند و بیان نمودند که بهسازی تالاب اثرات مثبتی بر اکوسیستم تالاب بعد از ۷ سال از نظر کیفیت آب، شوری، کیفیت خاک، ماده آلی خاک، جامعه گیاهی و گونه‌های پرنده نسبت به سال ۲۰۰۱ داشته است (۳۲). Piniewski و همکاران به تجزیه و تحلیل اکوسیستم تالابی در پارک ملی کمپیون در لهستان با استفاده از GIS با توجه به تغییر استفاده از زمین و افزایش مصرف آب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که نوع خاک و پوشش گیاهی و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی باعث تخریب زیستگاه شده است و در کل ۵ سناریو برای بهبود وضعیت تالاب و با فرض خروج از شبکه زهکشی ارائه شد (۳٦). McConnachie و همکاران بیان کردند که آزولا یک گیاه کوچک شناور می‌باشد که یک نوع حشره سرخرطومی به نام *Stenopelmus rufinasus Gyllenhal* از برگ و ساقه آن تغذیه می‌کند و به عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک در آفریقای جنوبی مورد استفاده قرار گرفت. آزولا برای اکوسیستم‌های آبی در جنوب آفریقا یک تهدید به شمار می‌آید. این آزمایش در ۲۲ منطقه مورد بررسی قرار گرفت که در ۱۸ منطقه باعث انقراض محلی علف هرز آزولا در طول ۵ سال شد (۳۷).

همان‌طور که در مقدمه بیان شد متأسفانه در ایران و به ویژه تالاب انزلی برنامه جامعی و مدون به این امر اختصاص نیافته است و پهنه‌بندی و مکان‌یابی گونه‌های مهاجمی آزولا چندان مورد توجه قرار نگرفته است و بسیاری از تالاب‌ها در اثر تغییرات آبی در نتیجه فعالیت‌های انسانی نابود شده‌اند؛ اما با توجه به مزایایی که تالاب‌ها در محیط‌زیست دارند منجر به اتخاذ سیاست‌هایی در جهت حفاظت و یا بهسازی از آن‌ها شده است. هنگامی که یک منطقه برای بهسازی انتخاب می‌شود، مشخص نیست چه مساحتی از تالاب ترمیم می‌شود؛ زیرا تالاب تخریب شده به راحتی با بهسازی به وضعیت قبلی خود باز نمی‌گردد. مدل هیدرولوژیکی (۳۸) برای برنامه‌ریزی مناطقی که برای بهسازی تالاب انتخاب می‌شوند، ابزار کارآمدی محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده نشان داد اکثر مساحت تالاب جزء مناطق با استعداد بالای حضور گونه مهاجم به شمار می‌رود. در بین نواحی مختلف، غرب تالاب پتانسیل بالاتری داشت که همسو با اطلاعات عوامل مؤثر بر پراکنش این‌گونه نیز بود. همچنین اطلاعات به دست آمده حاکی از تفکیک‌پذیری مناسب منطق فازی و GIS در پهنه‌بندی مناطق مستعد گونه آزولا بود. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان الگو برای موارد مشابه مورد بررسی کارشناسان قرار گیرد. همچنین با توجه به وسعت مناطق مستعد لزوم داشتن یک استراتژی و برنامه مدون برای حفظ این تالاب و

کنترل آلودگی‌ها و عوامل مخرب آن احساس می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از سازمان حفاظت محیط‌زیست که در انجام این پژوهش همکاری کردند، سپاسگزاری می‌نماید.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

References

1. Monaem M, Nasseri G, Bagherzadeh Karimi M. Principles of weltlands identification, modelling, and deliniation. Tehran: NabNegar; 2009. [In Persian]

2. Ministry of Jihad. Water Committee. Studies for reviving the Anzali wetland; 1988. Vol 1-2. p. 320. [In Persian]

3. Shackelford N, Hobbs RJ, Heller NE, Hallett LM, Seastedt TR. Finding a middle-ground: the native/non-native debate. Biological Conservation 2013;158:55-62. doi.org/10.1016/j.biocon.2012.08.020

4. National Invasive Species Council (US). National management plan: meeting the invasive species challenge. National Agricultural Library of the US Department of Agriculture; 2001.

5. Boets P, Lock K, Cammaerts R, Plu D, Goethals PL. Occurrence of the invasive crayfish Procambarus clarkii (Girard, 1852) in Belgium (Crustacea: Cambaridae). Belgian Journal of Zoology 2009;139(2):173-6.

6. U.S. Congress, Office of Technology Assessment. Harmful Non-Indigenous Species in the United States. Washington, DC: Government Printing Office; 1993.

7. Zimmerman WJ. Biomass and pigment production in three isolates of Azolla II. Response to light and temperature stress. Annals of Botany 1985;56(5):701-9. doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087059

8. Kay S, Hoyle S. Feathered Water Fern, Azolla pinnata. NC State University Aquatic Weed Fact Sheet, AWFS 009-00 [cited 2020 Jun 5]. Available from: http://plants.ifas.ufl.edu/plant-directory/azolla-pinnata/

9. Delnavaz Hashemloian B, Ataei Azimi A. Alien and exotic Azolla in northern Iran. African Journal of Biotechnology 2009; 8(2):187-90.

10. Bodle M. Feathered mosquito fern (Azolla pinnata R. Br.) comes to Florida. Aquatics 2008;30:4-8.

11. Hill MP. The impact and control of alien aquatic vegetation in South African aquatic ecosystems. African Journal of Aquatic Science 2003;28(1):19-24. doi.org/10.2989/16085914.2003.9626595

12. Olenin S, Minchin D, Daunys D. Assessment of biopollution in aquatic ecosystems. Marine Pollution Bulletin 2007;55(7-9):379-94. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.01.010

13. Pirasteh M. The protection and restoration of Anzali wetland. Department of Environmental Protection. Gilan: Library Research Center for Environmental Gilan; 1995.p. 373. Persian

14. Fallah M. Impacts of Land Use Changes on Water Quality of Anzali International Wetland [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology; 2014. [In Persian]

15. Costa ML, Santos MC, Carrapiço F, Pereira AL. Azolla–Anabaena's behaviour in urban wastewater and artificial media–Influence of combined nitrogen. Water Res 2009;43(15):3743-50. doi: 10.1016/j.watres.2009.05.038.

16. National Research Council (US). Predicting Invasions of Nonindigenous Plants and Plant Pests. Washington, D.C: National Academy Press; 2002.

17. Janes RA. The biology and control of *Azolla filiculoides* Lam. and Lemna minuta Kunth [dissertation]. England: University of Liverpool; 1995.

18. Zebiri M, Majd A. Introduction to Remote Sensing Technology and Applications in Natural Resources. 4th ed. Tehran: University Press; 2003. [In Persian]

19. Alavi Panah SK. Remote Sensing Application in Earth Sciences (Soil Science). 2nd ed. Tehran: Tehran University Press; 2006. [In Persian]

20. Brondizio ES, Moran EF, Mausel P, Wu Y. Land use change in the Amazon estuary: Patterns of Caboclo settlement and landscape management. Human Ecology 1994;22(3):249-78. doi: 10.1007/BF02168853

21. Azari Dehkordi F. Determining the border of the preserved area in Anzali wetland. Tehran: Iranian Department of Environmental Protection; 2009. p. 105. [In Persian]

22. Wagner GM. Azolla: a review of its biology and utilization. The Botanical Review 1997;63(1):1-26.

23. Van der Heide T, Roijackers RM, Van Nes EH, Peeters ET. A simple equation for describing the temperature dependent growth of free-floating

macrophytes. Aquatic Botany 2006;84(2):171-5. doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.09.004
24. Mitchell DS, Tur NM. The rate of growth of Salvinia molesta (S. auriculata Auct.) in laboratory and natural conditions. Journal of Applied Ecology 1975; 12(1): 213-25.
25. Watanabe I, Berja NS. The growth of four species of Azolla as affected by temperature. Aquatic Botany 1983;15(2):175-85. doi.org/10.1016/0304-3770(83)90027-X
26. Sadeghi R, Zarkami R, Sabetraftar K, Van Damme P. 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 2012;243:8-17. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.06.011
27. Sabet Raftar K. Azolla analysis of the environmental impacts on aquatic ecosystems of the wetlands [dissertation]. Tehran: Tehran University; 1994. [In Persian]
28. Shelton JL. Murphy T. *Aquatic Weed Management Control Methods*. SRAC: Southern Regional Aquaculture Center; 1989. No 360.
29. Jalili A, Hamzeh B, Asri Y, Shirvani A, Khoshnevis M, Pakparvar M, et al. Investigation on ecological pattern governing Anzali lagoon vegetation and their roles in ecosystem management. Journal of Science (University of Tehran) 2009; 35(1): 51-7. [In Persian]
30. Hosseinjani A, Bourani MS, Ahmadnezhad M, Sohrabi Langroudi T, Mahisefat F, Saberi Kouchesfahani H. Identification, Biomass determination and seasonal changes trend of the dominant aquatic plants' cover in Anzali wetland. Tehran: Iranian Fisheries Science Research Institute; 2014. [In Persian]
31. Mirzajani AR, Kiabi B, Jamalzadeh F, Fallahi M, Kamali A, Abdollahpour H, et al. Limnological survay of Anzali wetland data during 1990-2003 by use of GIS system. Tehran: Iranian Fisheries Science Research Institute; 2009. [In Persian]
32. Cui B, Yang Q, Yang Z, Zhang K. Evaluating the ecological performance of wetland restoration in the Yellow River Delta, China. Ecological Engineering 2009;35(7):1090-103. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.022
33. Hinkle RL, Mitsch WJ. Salt marsh vegetation recovery at salt hay farm wetland restoration sites on Delaware Bay. Ecological Engineering 2005;25(3):240-51. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.04.011
34. Comín FA, Sorando R, Darwiche-Criado N, García M, Masip A. A protocol to prioritize wetland restoration and creation for water quality improvement in agricultural watersheds. Ecological Engineering 2014;66:10-8. doi: 10.1007/BF02168853
35. Doren RF, Volin JC, Richards JH. Invasive exotic plant indicators for ecosystem restoration: an example from the Everglades restoration program. Ecological Indicators 2009;9(6):S29-36. doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.08.006
36. Piniewski M, Gottschalk L, Krasovskaia I, Chormański J. A GIS-based model for testing effects of restoration measures in wetlands: A case study in the Kampinos National Park, Poland. Ecological Engineering 2012;44:25-35. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.013
37. McConnachie AJ, Hill MP, Byrne MJ. Field assessment of a frond-feeding weevil, a successful biological control agent of red waterfern, *Azolla filiculoides*, in southern Africa. Biological Control 2004; 29(3): 326-31. doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.08.010
38. Boswell J, Olyphant G. Modeling the hydrologic response of groundwater dominated wetlands to transient boundary conditions: Implications for wetland restoration. Journal of Hydrology 2007; 332(3-4):467-76. doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.08.004

Health and Development Journal Original Article

Vol. 9, No. 1, Spring 2020 Received: 09.10.2019 Accepted: 15.01.2020

Determination of Potential Zones of Azolla filiculoides in Anzali International Wetland using GIS Technique

Maryam Fallah[1], Ahmadreza Pirali Zefrehei[2], Seyed Aliakbar Hedayati[3]

Abstract

Background: In recent years, the issue of the entry of non-native species into aquatic ecosystems has been noticed in many parts of the world. This can be considered as one of the most important indicators in the assessment of environmental vulnerabilities. Unfortunately, in recent decades Anzali international wetland has faced an expansion of *Azolla filiculoides*; and identification of areas prone to the presence of such species is necessary.

Methods: The information obtained from GIS plays an important role in the planning and management of aquatic ecosystems. For this purpose in this cross-sectional study, after preparing the required information layers based on the factors influencing the *Azolla filiculoides* distribution, the final map of susceptible places was prepared based on the fuzzy logic.

Results: The results showed that 45.18% of the total area of the wetland is considered to be very susceptible to the presence of invasive species. Also, the west of the wetland had a higher potential, which matched the information of the factors affecting the distribution of this species.

Conclusion: The information obtained indicated the appropriate separability of fuzzy logic and GIS in identifying the points that are prone to *Azolla filiculoides*. Also, considering the vastness of susceptible areas, it is necessary to have a strategy and program to preserve this wetland and control its pollution and destructive factors.

Keywords: Azolla, Anzali Wetland, Fuzzy Logic, Geographic Information System, Non-Native Species

Citation: Fallah M, Pirali Zefrehei A, Hedayati SA. Determination of Potential Zones of Azolla filiculoides in Anzali International Wetland using GIS Technique. Health and Development Journal 2020; 9(1):29-42. [In Persian] doi: 10.22034/9.1.29

© 2020 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1- MSc, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2- PhD, Department of Aquatics Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Associate Professor, Department of Aquatics Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Corresponding Author: Maryam Fallah **Email:** Maryam.fallah85@gmail.com
Address: Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
Tel: 09334409583 **Fax:** 03133912840