

ارزیابی تغییرات ساختار سیمای سرزمین تالاب بین‌المللی انزلی بر مبنای شاخص تروفی و آرایه مدل GA-GMDH

رباب احمدزاده^۱، محمد دهداردرگاهی^{۲*}، نعمت‌اله خراسانی^۳، فروغ فرساد^۴، محمدرضا رحیمی‌بشر^۵ و علی‌رضا میرزاجانی^۶

- (۱) دکتری محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- (۲) استادیار گروه محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: dehdardargahi@iau.ac.ir
- (۳) استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- (۴) دانشیار گروه محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- (۵) استادیار گروه بیولوژی دریا، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
- (۶) دانشیار گروه اکولوژی، سازمان ترویج آموزش و تحقیقات کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده آبی‌پروری آب‌های داخلی کشور، بندرانزلی، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹

چکیده

تالاب‌ها به‌عنوان زیستگاهی بدون جایگزین بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری را حمایت می‌کنند و این بوم‌سازگان‌های ارزشمند به‌واسطه فعالیت‌های انسانی دچار افت کیفیت زیستگاه می‌شوند. پرغذایی ناشی از ورود مواد آلی یکی از عوامل مهم تغییر ساختار سیمای سرزمین تالاب‌ها است. این پژوهش با هدف بررسی روند پرغذایی بر سیمای سرزمین تالاب انزلی صورت گرفت. در این تحقیق فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب شامل دما، هدایت الکتریکی (EC)، pH و اکسیژن محلول (DO)، نیتروژن کل (TN)، فسفر کل (TP) و کلروفیل a، در ۵ ایستگاه به‌صورت فصلی و سالانه اندازه‌گیری شد و سپس سطح تروفی (TSI) با استفاده از متغیرهای فسفات کل (TP)، نیتروژن کل (TN)، عمق دید سکشی (SD) و کلروفیل a تعیین شد. جهت بررسی تغییرات پوشش زمین از داده های ماهواره‌ای در بازه‌های زمانی ۱۹۹۴، ۲۰۰۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ و سپس متریک‌های سیمای سرزمین محاسبه شد و در ادامه جهت مدل‌سازی جهت پیش‌بینی روند تغییرات TSI و ارتباط آن با تغییرات سیمای سرزمین از روش شبکه عصبی GMDH استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد TSI کل در تمام چهار دوره مورد نظر تحقیق در مرحله یوتروف قرار دارد. نتایج بررسی متریک‌های سیمای سرزمین نشان داد کمترین مساحت پهنه آبی ۴۱۸۳/۹۲ هکتار و بیشترین مساحت پوشش گیاهی برابر با ۱۱۶۹۶/۳۱ هکتار در سال ۲۰۱۸ بوده است. شاخص شکل لکه نشان داد بیشترین مقدار عددی این شاخص در پهنه آبی برابر با ۱/۴۹ در سال ۱۹۹۴ بوده و بیشترین مقدار در خصوص پوشش گیاهی مربوط به ۱۹۹۴ و ۲۰۱۴ برابر با ۱/۳۵ است. در خروجی سنجه‌ها از مدل‌سازی با کمک الگوریتم GA-GMDH نشان‌دهنده کاهش مساحت پهنه آبی بوده و مساحت پوشش گیاهی تفاوت محسوسی را نشان نمی‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تالاب بین‌المللی انزلی، تروفی، دریای کاسپین، سیمای سرزمین.

مقدمه

برای بسیاری از موجودات زنده، بوم‌سازگان آبی زیستگاهی بدون جایگزین بوده و در میان آنها تالاب‌ها نقش بسیار بااهمیتی داشته و گونه‌های گیاهی و جانوری متعددی را حمایت می‌کنند (مجونیان، ۱۳۷۷). تمامی بوم‌سازگان دارای شرایط بوم‌شناختی ویژه بوده و فعالیت‌ها و دخالت‌های انسانی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر کاهش کیفیت خدمات ارایه شده توسط اکوسیستم‌های طبیعی شناخته شده است (Penfound & Vaz, 2024; Zhu et al., 2023). از سوی دیگر این دخالت‌ها به اشکال مختلف باعث تخریب ساختار سیمای سرزمین اکوسیستم‌ها می‌گردد که به دنبال خود می‌تواند تغییرات عملکردی آنها را سبب شود (Wu et al., 2020). در این بین تالاب‌ها به‌عنوان اکوسیستم‌های ارزشمند، زیستگاهی بینابینی و تعاملی بین خشکی‌ها و پهنه‌های آبی شناخته می‌شوند (Singh et al., 2024). همچنین باید در نظر داشت که تالاب‌های ساحلی نقش مهمی در تبادل آب و مواد مغذی، مهاجرت موجودات زنده خشکی با رودخانه‌ها و دریاها و همچنین حفاظت از خطوط ساحلی و تعادل شرایط اقلیمی و تنظیمات هیدرولوژیکی ایفا می‌کنند (Aldous et al., 2021; Guo et al., 2021).

ورود پساب‌های حاوی مواد آلی اثرات ناخوشایندی بر گیاهان و جوامع زیستی آنها داشته و به وسیله غنی‌سازی محتوی مواد آلی در آنها باعث تسریع روند پرغذایی می‌گردد (Abedini & Mirzajani, 2018). پرغذایی^۱ پیکره آبی جریانی است که در آن مواد غذایی در محیط آبی غنی شده است که این غنی‌شدگی می‌تواند منشا انسانی و یا طبیعی داشته باشد (Cigagna et al., 2016). البته باید در نظر داشت که در شرایط طبیعی، چند صد سال طول می‌کشد تا سطح پرغذایی یک دریاچه افزایش یابد و فشارهای وارده از سوی دخالت‌های انسانی این روند را تسریع می‌کند. مهمترین فاکتورهای موثر که باعث پرغذایی دریاچه‌ها می‌شوند نیتروژن و فسفر هستند که بر جامعه فیتوپلانکتونی تاثیر گذاشته و باعث شکوفایی آنها می‌شود. ارزیابی روند و شرایط پرغذایی در اکوسیستم‌های آبی توسط روش‌های متعددی بررسی می‌گردد و شاخص TSI شاخصی بر پایه تولید است که در آن

زی‌توده فیتوپلانکتونی پایه و اساس سطح تروفیک دریاچه‌ها، مخازن سدها و محیط آبی بسته بر مبنای عوامل مغذی و غیرمغذی می‌باشد. زی‌توده جلبکی می‌تواند به‌طور مستقل بر اساس غلظت کلروفیل، عمق دید سکشی و غلظت فسفر کل TP تخمین زده شود (Wetzel, 2001).

خشک شدن و از بین رفتن تالاب‌های با ارزش کشور و در سطح جهان، یکی از تراژدی‌های تکرارشونده در دهه‌های اخیر بوده است. در سال‌های گذشته و در حال حاضر به‌دلیل عوامل مختلف و بنیادین و مدیریت نادرست منابع آب در کشور، به‌صورت پرتکرار کشور با این مشکل اساسی و مهم روبه‌رو بوده است. در این بین تالاب بین‌المللی انزلی مهمترین تالاب حوضه جنوبی دریای کاسپین است که با دارا بودن ارزش‌ها و نقش عملکردی مهم، دهه‌ها است که فکر و دانش محققان را جهت حفظ و احیا آن به خود مشغول کرده است (Pedram Jarf et al., 2024). افزایش میزان بار ورودی رودخانه‌ها، گسترش صنایع و حضور صنایع آلاینده و آب‌بر، کشاورزی ناپایدار، تغییر کاربری زمین‌ها، عدم نظارت اصولی بر صنایع فعال و گردشگری‌های غیراصولی در حوضه تالاب باعث سرعت بخشیدن به روند نابودی تالاب انزلی گردیده است (Ahmadzadeh et al., 2021).

امروزه تغییرات ناشی از پوشش زمین و نوسانات مساحت پوشش گیاهی و پهنه آبی در طول زمان با بررسی تصاویر ماهواره‌ای قابل بررسی است و باید در نظر داشت که در نتیجه دگرگونی‌های پوشش زمین در حوضه تالاب، تالاب‌ها می‌توانند دچار از هم گسیختگی و تکه تکه شدن زیستگاه‌ها شده و در سیمای سرزمین ایجاد تزلزل و در پی آن عدم ثبات گردد (Pal & Debanshi, 2021). تالاب انزلی در بخش جنوب‌غربی دریای کاسپین از مهمترین اکوسیستم‌های تالابی کشور به‌شمار رفته و از نظر زمین‌شناسی بسیار جوان محسوب می‌گردد (JICA, 2005). این تالاب مهمترین زایشگاه جنوبی دریای کاسپین و بزرگترین حوضه آب شیرین در بخش محسوب می‌گردد. منابع عمده آلاینده تالاب انزلی عبارتند از: شهرها، صنایع، فعالیت‌های تجاری، معادن، فعالیت‌های کشاورزی و آلودگی‌های بیمارستانی، شیرابه شهرک‌های صنعتی و لندفیل سراوان. رودخانه‌های ورودی به تالاب،

پساب‌های صنایع و بیمارستانی را با خود به تالاب وارد می‌کنند. این پساب‌ها شامل همه انواع آلاینده‌ها مانند مواد شیمیایی فرآیندی، مواد پتروشیمی، فلزات سنگین، مواد مغذی و مواد معلق هستند. زهاب‌های ناشی از مزارع برنج نیز حاوی مواد مغذی و سموم کشاورزی هستند که باعث افزایش پدیده پرغذایی یا پیر شدن تدریجی تالاب می‌شود و ورود رسوبات جامد و بار مواد معلق به تالاب نیز باعث کاهش عمق تالاب و مرگ زودرس آن خواهد شد (جمال‌زاد و همکاران، ۱۳۷۸). تالاب که یک بستر آبی و یک تصفیه‌کننده طبیعی است، نقش پالایندگی دارد و مانع انتشار آلودگی آب رودخانه‌ها به آب دریا است. این ویژگی، یکی از نشانه‌های پرازش و مهم تالاب انزلی است. روش شاخص سطح تروفیک کارلسون^۱ (Carlson, 1977) بر اساس فسفر کل^۲، نیتروژن کل^۳، کلروفیل a و بر اساس عمق دید سکشی (شاخص شفافیت)، برای ارزیابی پدیده پرغذایی استفاده می‌شوند. از سوی دیگر ارتباط معنی‌داری بین ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین و عملکردهای زیست محیطی آن وجود دارد که سنجه‌های سیمای سرزمین می‌توانند ابزارهای مفید برای برنامه‌ریزی در این خصوص محسوب شوند. سنجه‌های سیمای سرزمین، ساختار فضایی و طبقات لکه‌ها و کل قطعات یا موزائیک‌های لکه‌ها را اندازه‌گیری و توصیف می‌نماید. این متریک‌ها اطلاعات مناسبی درباره ترکیب و چیدمان فضایی در سطح سیمای سرزمین تولید می‌نماید.

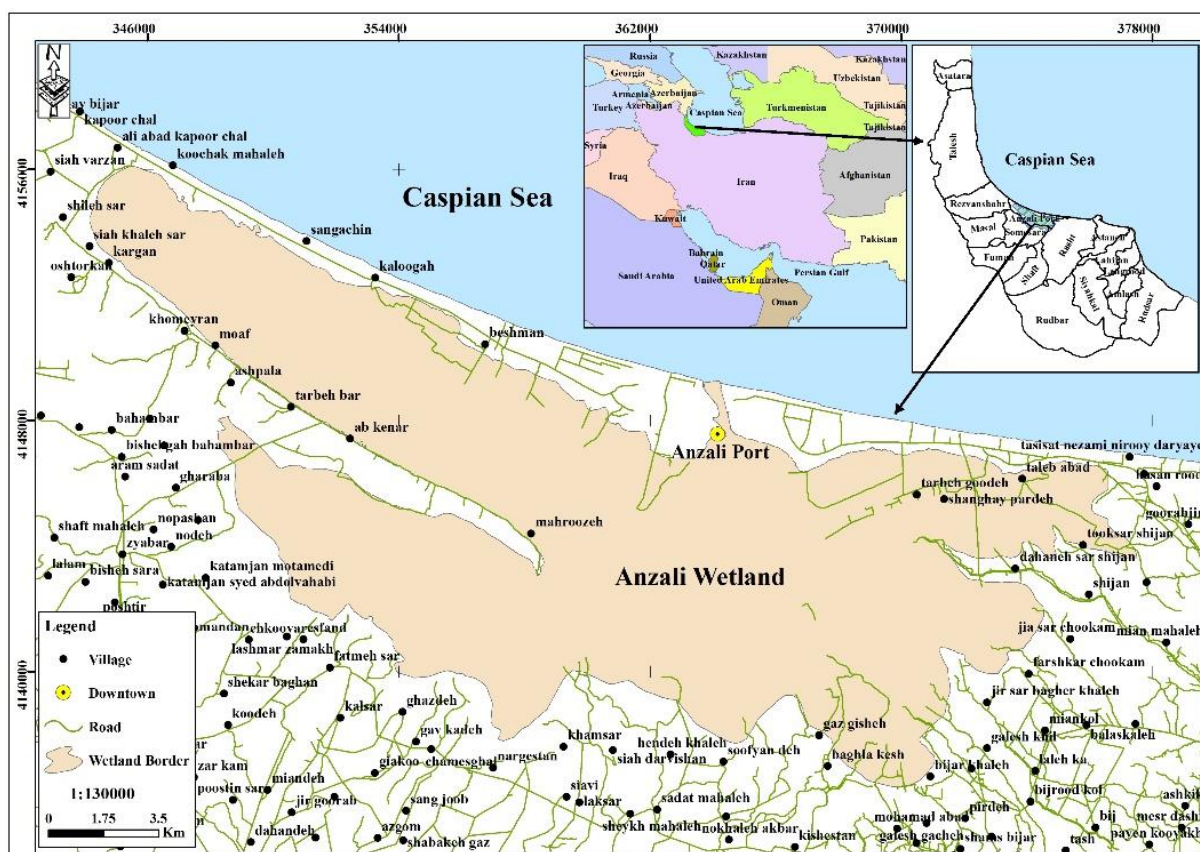
در این پژوهش وضعیت تروفی تالاب انزلی از طریق روش کارلسون و با پارامترهای شفافیت (عمق دید سکشی)، نیتروژن کل، فسفر کل، کلروفیل a در سه دهه متوالی ۱۳۷۳، ۱۳۸۱، ۱۳۹۳ و همچنین در سال ۱۳۹۷ اندازه‌گیری شده و شرایط تروفیک مورد مقایسه قرار گرفت. میزان نیتروژن و فسفر تالاب انزلی (میروشندل و همکاران، ۱۳۹۲) اندازه‌گیری شده و گرایش به سمت یوتروف شدن در بیشتر بخش‌های تالاب دیده شده است. در سال ۱۳۹۰ روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور توسط زبردست و جعفری (۱۳۹۰) انجام گردید که طی دوره ده ساله از ۱۹۸۶ تا

۲۰۰۲ میلادی مورد مطالعه قرار گرفت و میزان تخریب و تغییرات ناشی از مساحت و پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار داده شد (میرزاجانی و همکاران، ۱۳۸۸). به‌منظور کاربردی‌تر شدن نتایج حاصل از این پژوهش و به‌منظور قابلیت بخشیدن برای پیش‌بینی کردن شرایط آبی تالاب با توجه به این دستاوردها، تغییرات ساختار سیمای سرزمین بر اساس نوسانات سطح تروفیک آن، بر اساس الگوریتم GMDH (روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها^۴) مدل‌سازی گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: تالاب بین‌المللی انزلی در شمال ایران، در استان گیلان و در جنوب دریای کاسپین در مختصات عرض جغرافیای ۳۶° ۵۵' و ۳۷° ۳۲' شمالی و طول جغرافیای ۴۵° ۴۸' و ۴۹° ۴۲' شرقی قرار گرفته است (Fallah et al., 2021). دوره زمین‌شناسی شکل‌گیری تالاب به اواخر پلیوسن و یا هولوسن باز می‌گردد (Bastami et al., 2018). مساحت تالاب، ۱۹۳ کیلومترمربع بوده و این مساحت بسته به شرایط اقلیمی و ارتفاع آب دریا بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومترمربع نوسان می‌کند (Esmaeilzadeh et al., 2016). تالاب انزلی در سال ۱۹۷۵ در کنوانسیون تالاب‌های رامسر به ثبت رسیده و به‌دلیل فعالیت‌های انسانی و پیشرفت‌های فناوری در حوضه آبخیز آن در سال ۱۹۹۳ در لیست مونتره قرار گرفته است (Ramsar List, 2021). این تالاب دارای چهار بخش غربی، مرکزی، شرقی و سیاه کشیم است.

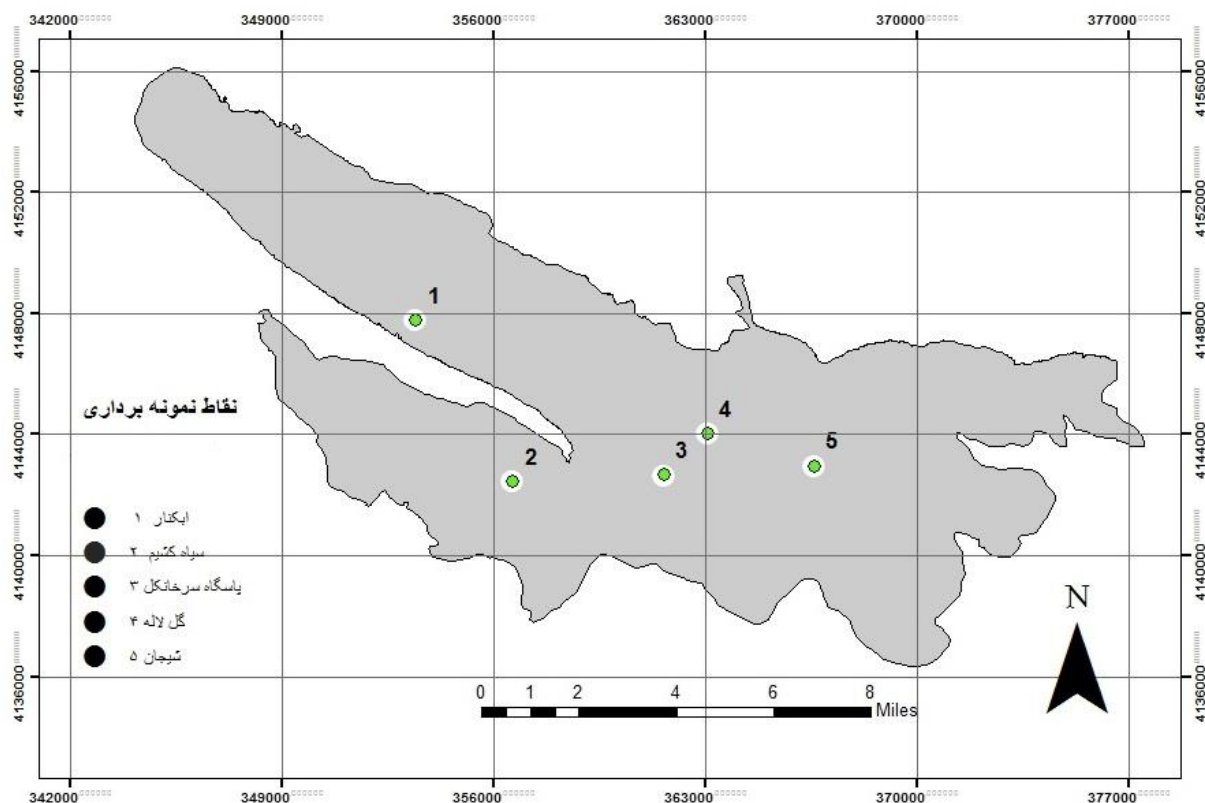
1. TSI
2. Total Phosphorus (TP)
3. Total Nitrogen (TN)



شکل ۱. موقعیت قرارگیری محدوده مطالعاتی، تالاب بین‌المللی انزلی

محاسبه سطح تروفیک تالاب انزلی: اندازه‌گیری سطح تروفیک تالاب در این مطالعه در ۵ ایستگاه (شکل ۲) در مناطق مختلف تالاب صورت گرفت. ایستگاه یک منطقه تالاب غربی (آبکنار)، ایستگاه ۲ منطقه سیاه‌کشیم، ایستگاه ۳ و ۴ در بخش مرکزی تالاب و پاسگاه منطقه سرخانکل و محدوده گل و ایستگاه ۵ در بخش شرقی تالاب (منطقه شیجان) قرار دارند.

تالاب انزلی جزء تالاهای طبیعی و آب شیرین کشور بوده و دارای ۱۱ رود اصلی و ۳۰ رود فرعی است که رودخانه‌ها پس از آبیاری شالیزارهای برنج به همراه جریان‌های سطحی حوزه آبریز وارد تالاب می‌شوند (Hargalani et al., 2014). حجم زیادی از آلودگی‌ها از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی اطراف تالاب به‌ویژه از طریق رودخانه پیربازار^۱ در این تالاب تخلیه می‌گردد (Bastami et al., 2018) که باعث تغییراتی در ساختار و عملکرد تالاب شده است. چهار منطقه تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست در محدوده تالاب انزلی واقع شده است که عبارتند از: منطقه حفاظت شده سیاه کشیم و سه پناهگاه حیات وحش سرخانکل، سلکه و چوکام. لازم به ذکر است که تالاب انزلی طی سال‌های متمادی همیشه تحت تأثیر نوسانات تراز آب دریای کاسپین بوده که این امر بر ساختار تالاب نقش به‌سزایی داشته است.



شکل ۲. ایستگاه‌های نمونه‌برداری تالاب انزلی (بخش‌های غربی، جنوبی، مرکزی و شرقی)

سنجش اکسیژن محلول آب به روش وینکلر و pH به روش الکترومتری با دستگاه مولتی متر شرکت WTW اندازه‌گیری و سنجش نیتروژن کل و فسفر کل به روش هضم پرسولفات پتاسیم به وسیله دستگاه اتوکلاو صورت گرفت. سطح تروفی از روش کارلسون (Carlson, 1977) با استفاده از متغیرهای فسفات کل (TP)، نیتروژن کل (TN)، عمق دید سکشی (SD) و کلروفیل a تعیین شد. سطح تروفی تالاب انزلی در این بازه زمانی با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید:

$$TSI (Chl) = 9/81 \ln (chl) + 30/6$$

$$TSI (TP) = 14/42 \ln (TN) + 4/15$$

$$TSI (SD) = 60 - 14.41 \ln (SD)$$

$$TSI (TN) = 14/43 \ln (TN) + 54/45$$

غلظت کلروفیل (chl. a) میکروگرم بر لیتر

فسفات کل (TP) میکروگرم بر لیتر

عمق دید سکشی SD، متر

نیتروژن کل (TN) میلی گرم بر لیتر

رابطه (۱)

رابطه (۲)

رابطه (۳)

رابطه (۴)

جهت سنجش فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب شامل: دما، هدایت الکتریکی (EC)، pH و اکسیژن محلول (DO)، نیتروژن کل (TN)، فسفر کل (TP) و کلروفیل a، نمونه‌برداری توسط روتنر انجام و به منظور اندازه‌گیری شفافیت آب از سکشی دیسک استفاده شد (Carlson, 1977; Bohn et al., 2018, Kumar et al., 2019).

دمای هوا و آب با استفاده از دماسنج جیوه‌ای در محل اندازه‌گیری و نمونه‌های آب جهت سنجش مقادیر کلروفیل a، TN و TP توسط ظروف یک لیتری به آزمایشگاه منتقل و با روش‌های استاندارد مورد سنجش قرار گرفتند (APHA, 2005).

جدول ۱. سطوح تروفیک بر مبنای جدول کارلسون

سطح تروفیک	TP (μgL^{-1})	SD (m)	Chl.a (μgL^{-1})	TSI
الیگوتروف	<۶	>۸	<۰/۹۵	<۳۰
الیگوتروف	۱۲-۶	۸-۴	۰/۹۵-۲/۶	۳۰-۴۰
مزوتروف	۲۴-۱۲	۴-۲	۶/۳-۲/۷	۵۰-۴۰
یوتروف	۴۸-۲۴	۲-۱	۲۰-۷/۳	۶۰-۵۰
یوتروف	۹۶-۴۸	۱-۰/۵	۲۰-۵۶	۶۰-۷۰
هایپریوتروف	۱۹۲-۹۶	۰/۲۵-۰/۵	۱۵۵-۵۶	۸۰-۷۰
هایپریوتروف	۳۸۴-۱۹۲	<۰/۲۵	>۱۵۵	>۸۰

منبع: Carlson & Simpson, 1996

شدند (Cadavid-Florez et al., 2019; Inkoom et al., 2018; Lin et al., 2018; Madanian et al., 2018; Wu and Hobbs, 2002; Yohannes et al., 2020).

جدول ۲. مربوط به توضیح متریک‌های سیمای سرزمین محاسبه شده

توضیحات	سنجه ^۵
میانگین مساحت لکه‌ها بر اساس هر طبقه یا کلاس پوشش زمین (هکتار)	مساحت کلاس ^۶
تعداد لکه‌ها در هر طبقه یا کلاس پوشش زمین	تعداد لکه‌ها ^۷
میانگین اندازه لکه‌ها در هر طبقه یا کلاس از پوشش زمین (هکتار)	متوسط اندازه لکه ^۸
شاخص پیچیدگی شکل لکه در هر طبقه یا کلاس از پوشش زمین (هرچه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد شکل لکه به دایره یا مربع نزدیک‌تر است و هرچه پیچیدگی شکل لکه افزایش یابد، این عدد از یک بیشتر خواهد شد.	شاخص میانگین شکل لکه ^۹

منبع: Yan et al., 2017; Lin et al., 2018

مدل‌سازی: به منظور مدل‌سازی و شبیه‌سازی جهت پیش‌بینی روند تغییرات TSI و ارتباط آن با تغییرات سیمای سرزمین تالاب انزلی از روش شبکه عصبی GMDH (روش کنترل گروهی داده‌ها) استفاده گردید. این روش یک رویکرد خودسازماندهی داده بوده و به تدریج مدل‌های پیچیده‌تری در طول ارزیابی عملکرد مجموعه داده‌های ورودی و خروجی تولید می‌کند. الگوریتم GMDH برای سیستم‌های پیچیده بسیار مناسب است و می‌تواند به‌طور مستقیم اطلاعات را در

طبقه‌بندی پوشش زمین^۱: در این پژوهش از تصاویر ماهواره ای در دسترس با وضوح متوسط Landsat 5 سنجنده TM^۲ برای سال ۱۹۹۴ و از تصاویر ماهواره ای Landsat 7 سنجنده ETM برای سال ۲۰۰۲ و همچنین برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ از تصاویر ماهواره ای Landsat 8 سنجنده OLI^۴ استفاده شد. به منظور اطمینان از صحت نقشه‌های تعیین شده از طریق طبقه‌بندی، ضریب کاپا یک (Stehman, 1997) و ضریب صحت کلی محاسبه گردید. جهت پردازش و طبقه‌بندی (کلاسه‌بندی) تصاویر ماهواره ای از نرم‌افزار ENVI 4.8 استفاده شد و همچنین فرآیند تحلیل و خروجی گرفتن از نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 صورت گرفت. کاربری‌ها و پوشش زمین به چهار طبقه پوشش گیاهی، پهنه آبی، ساختمانی و زراعی تفکیک شدند.

محاسبه متریک‌ها: برای محاسبه از تصاویر ماهواره ای رستری کلاسه‌بندی شده در محیط Arc GIS استفاده شد و توسط نرم افزار Patch analyst 5.2 متریک‌ها انتخاب و محاسبه شدند. برای محاسبه شاخص‌های تصاویر ماهواره ای رستری از بخش patch gride در نرم‌افزار Patch analyst استفاده شد. شاخص‌های سیمای سرزمین محاسبه شده در این مطالعه عبارتند از (جدول ۲): مساحت طبقه (کلاس) CA، متوسط اندازه لکه (MPS)، شاخص شکل لکه (MSI)، تعداد لکه‌ها (NP) بر اساس مطالعات مشابه پیشین در زمینه بررسی ساختار سیمای سرزمین در بازه‌های زمانی مشخص انتخاب

5. Metric
6. Class Area (CA)
7. Number of Patches (NumP)
8. Mean Patch Size (MPS)
9. Mean Shape Index (MSI)

1. Land cover
2. Thematic Mapper
3. Enhanced Thematic Mapper Plus
4. Operational Land Imager

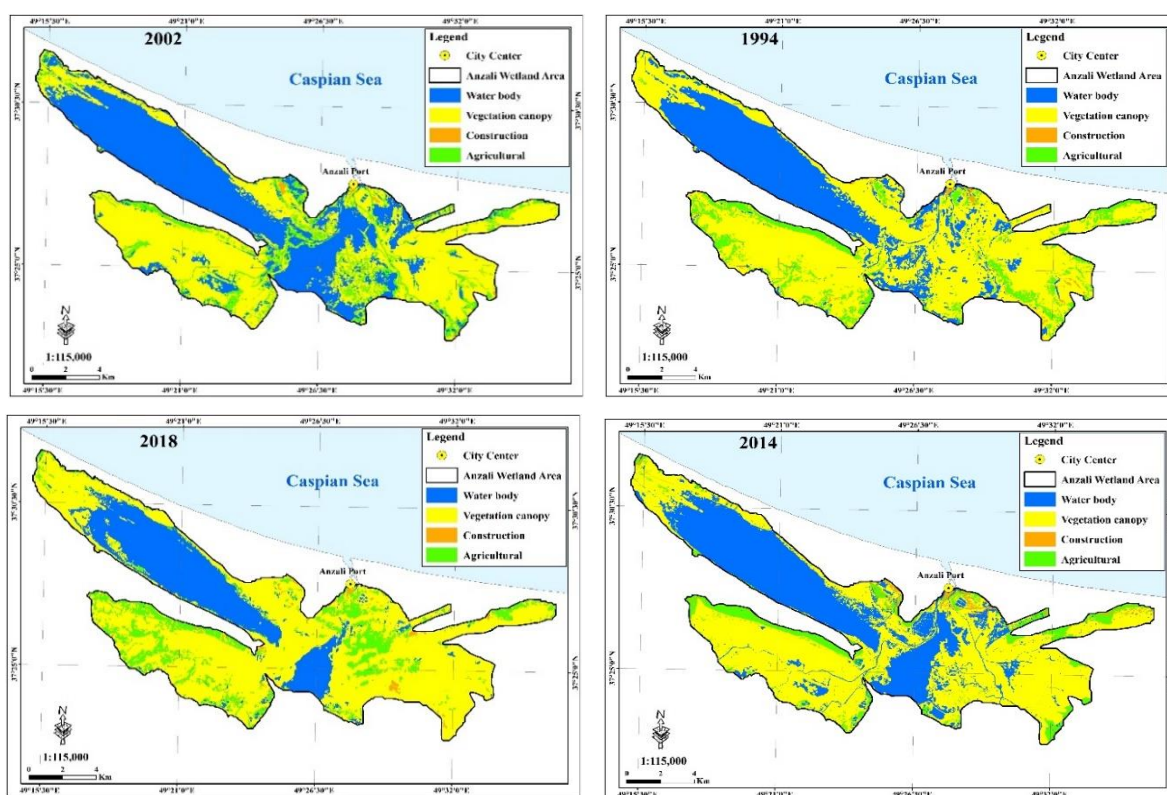
مورد تابع هدف، از نمونه‌برداری داده‌ها استخراج نماید. جهت اجرای فرآیند بهینه‌سازی ساختار شبکه GMDH از الگوریتم ژنتیک^۱ استفاده شد که این امر موفقیت امتیازدهی هماهنگ اثرات را به میزان زیادی افزایش خواهد داد. در مدل‌سازی ارایه شده، داده‌های ناشی از سنجش شاخص TSI آب تالاب انزلی به‌عنوان ورودی به مدل ارایه شده و سنجه‌های سیمای سرزمین توسط مدل به عنوان خروجی ارایه می‌گردد.

نتایج و آنالیز داده‌ها

کلاسه‌بندی پوشش زمین و نتایج محاسبه متریک‌ها: به‌منظور بررسی دقت و صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی، ضریب صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد، مقدار دقت کلی طبقه بندی برای سال‌های ۱۹۹۴ برابر با ۹۱/۵، سال ۲۰۰۲ برابر با ۹۸/۷، سال ۲۰۱۴ برابر ۹۶/۵ و در سال ۲۰۱۸ معادل ۹۷/۵ درصد برآورد گردید که در حد بسیار مطلوب می‌باشد (Congalton & Green, 2019) که پس از انجام مراحل طبقه بندی در نرم‌افزار و تهیه نقشه خروجی انجام گرفت.

همچنین مقایسه پس از طبقه‌بندی انجام شد و ضریب کاپا برای سال ۱۹۹۴ برابر با ۰/۸۵، سال ۲۰۰۲ برابر با ۰/۹۰، سال ۲۰۱۴ برابر با ۰/۸۶ و برای سال ۲۰۱۸ برابر با ۰/۸۷ به‌دست آمد که با توجه به اینکه به یک نزدیک شود، این حالت ایده‌آل می‌باشد (Foody, 2020). پس از کلاسه‌بندی تصاویر ماهواره ای چهار طبقه پوشش زمین در شکل (۳)، مربوط به چهار دوره مورد مطالعه قابل مشاهده است. همچنین نتایج حاصل از محاسبه متریک‌ها در پهنه آبی و پوشش گیاهی (بخش طبیعی تالاب) در جدول (۳) آورده شده است.

بررسی تغییرات ساختار پوشش گیاهی و پهنه آبی: کمترین مساحت پهنه آبی ۴۱۸۳/۹۲ هکتار در سال ۲۰۱۸ به ثبت رسیده و بیشترین مساحت پوشش گیاهی برابر با ۱۱۶۹۶/۳۱ هکتار نیز در همین سال محاسبه شد. درصد اشغال شده توسط پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ ثابت بوده است.



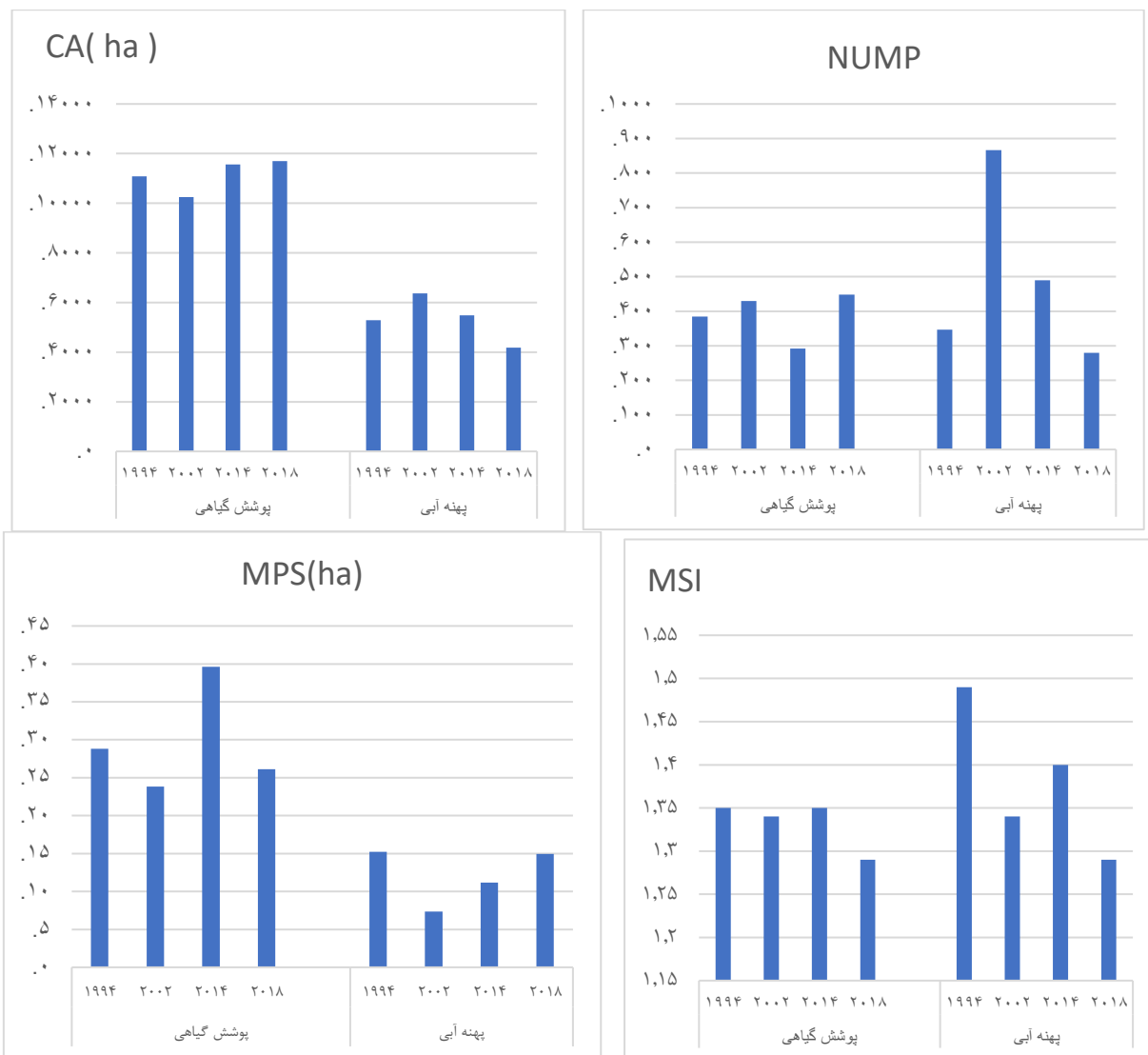
شکل ۳. نقشه‌های حاصل از کلاسه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس پوشش سطح زمین

دهد و در سال ۲۰۱۸ این شاخص برابر ۱۴/۹۴ هکتار می باشد که البته از سال ۱۹۹۴ کمتر می باشد. بیشترین مقدار MPS در سال ۲۰۱۴ برابر با ۳۹/۶۰ هکتار ثبت شده است. این شاخص در سال ۲۰۱۸ کاهش یافته و به ۲۶/۱۱ هکتار رسیده است. شاخص MSI بیانگر شکل لکه ها است، هرچه این شاخص به عدد ۱ نزدیک تر باشد، آن لکه به شکل دایره نزدیک تر می باشد و هرچه شکل از دایره فاصله بگیرد، مقدار کمی این شاخص افزایش پیدا خواهد کرد. کمترین مقدار عددی این شاخص در خصوص پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۸ برابر با ۱/۲۹ می باشد و همچنین کمترین مقدار این شاخص در کلاس پهنه آبی نیز در سال ۲۰۱۸ و برابر با ۱/۲۹ ثبت شده است. بیشترین مقدار عددی این شاخص در پهنه آبی برابر با ۱/۴۹ در سال ۱۹۹۴ بوده و بیشترین مقدار در خصوص پوشش گیاهی مربوط به ۱۹۹۴ و ۲۰۱۴ برابر با ۱/۳۵ می باشد.

متریک تعداد لکه ها در تمامی کلاسه ها نوسانات مدام را مشخص می کند، آنچه مشخص است تعداد لکه های پهنه آبی از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۲ روند افزایشی داشته و بیشترین تعداد لکه ها این پوشش زمین در سال ۲۰۰۲ معادل ۸۶۶ لکه می باشد (بیشترین مساحت پهنه آبی نیز مربوط به سال ۲۰۰۲ بوده و برابر با ۶۳۶۵/۷۹ هکتار می باشد). از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ روند کاهشی تعداد لکه های آبی نشان داده شده و کمترین تعداد لکه ها در سال ۲۰۱۸ معادل ۲۸۰ لکه بوده است (در این بازه مساحت کل پهنه آبی نیز کاهش را نشان داده است). از سوی دیگر بیشترین تعداد لکه های پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۸ برابر ۴۴۸ بوده و کمترین تعداد لکه های پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۴ برابر ۲۹۲ ثبت گردیده است. نتایج حاصل از متریک MPS نشان می دهد این شاخص در خصوص پهنه آبی از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲ کاهش داشته و از ۱۵/۲۳ هکتار به ۷/۳۵ هکتار رسیده است. البته بین سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ متوسط اندازه لکه های آبی افزایش نشان می

جدول ۳. نتایج حاصل از محاسبه متریک های سیمای سرزمین مربوط به پوشش گیاهی و پهنه آبی

نوع پوشش زمین	سال	CA	NUMP	MPS	MSI
پوشش گیاهی	۱۹۹۴	۱۱۰۸۳/۶۸	۳۸۵	۲۸/۷۹	۱/۳۵
	۲۰۰۲	۱۰۲۴۵/۳۳	۴۳۰	۲۳/۸۳	۱/۳۴
	۲۰۱۴	۱۱۵۶۲/۳	۲۹۲	۳۹/۶۰	۱/۳۵
	۲۰۱۸	۱۱۶۹۶/۳۱	۴۴۸	۲۶/۱۱	۱/۲۹
پهنه آبی	۱۹۹۴	۵۲۸۳/۹۰	۳۴۷	۱۵/۲۳	۱/۴۹
	۲۰۰۲	۶۳۶۵/۷۹	۸۶۶	۷/۳۵	۱/۳۴
	۲۰۱۴	۵۴۷۹/۳۸	۴۹۰	۱۱/۱۸	۱/۴۰
	۲۰۱۸	۴۱۸۳/۹۲	۲۸۰	۱۴/۹۴	۱/۲۹



شکل ۴. تغییرات متریک‌های سیمای سرزمین در چهار دوره زمانی ۱۹۹۴، ۲۰۰۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ در طبقات پوشش گیاهی و پهنه آبی

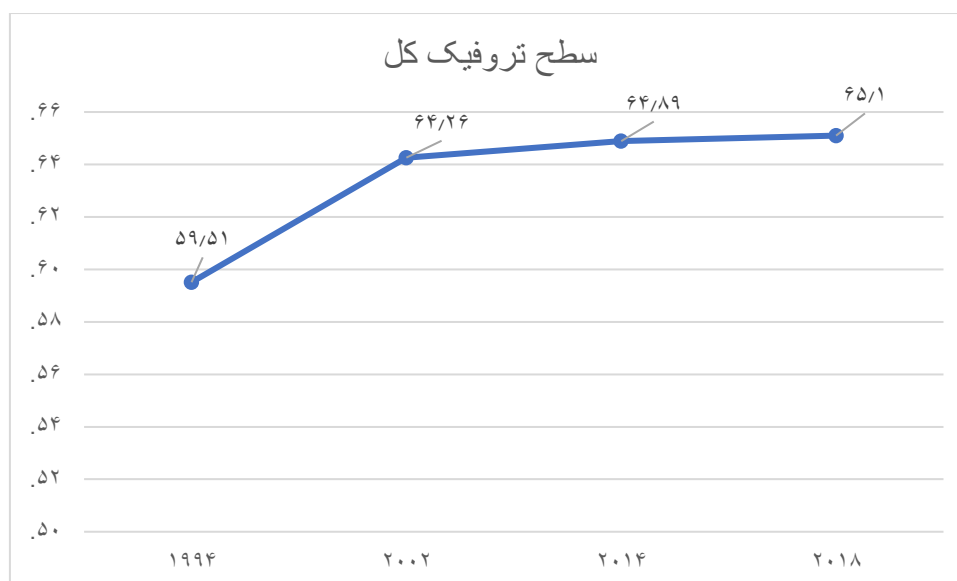
حالی است که در بررسی ایستگاه به ایستگاه تالاب (نمودارهای شکل (۶)) در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ در فصول بهار و تابستان در بسیاری از مناطق از جمله منطقه سرخانکل (ایستگاه ۳)، گل لاله (ایستگاه ۴) و شیجان (ایستگاه ۵)، تالاب در مرحله هایپرتروف قرار دارد. تمایل به هایپرتروف شدن در بهار ۲۰۱۴ ($TSI = ۶۷/۴۱$) و در سال ۲۰۱۸ در بهار ($TSI = ۶۶/۹$) و تابستان ($TSI = ۶۶/۶۵$) نیز مشاهده می‌گردد.

نتایج حاصل از شاخص سطح تروفي TSI بر طبق نمونه برداری‌های سال ۲۰۱۸ و داده‌های سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴ شاخص‌های تروفي کارلسون به صورت TSI فصلی و TSI سالانه به تفکیک در جدول (۴) آورده شده است. بر اساس نمودار شکل (۵)، TSI کل در تمام چهار دوره مورد نظر تالاب در مرحله یوتروف قرار دارد. این در حالی است که در صورت بررسی فصل به فصل مشاهده می‌گردد تالاب در تابستان ۲۰۱۴ در حالت هایپرتروف بوده است. این در

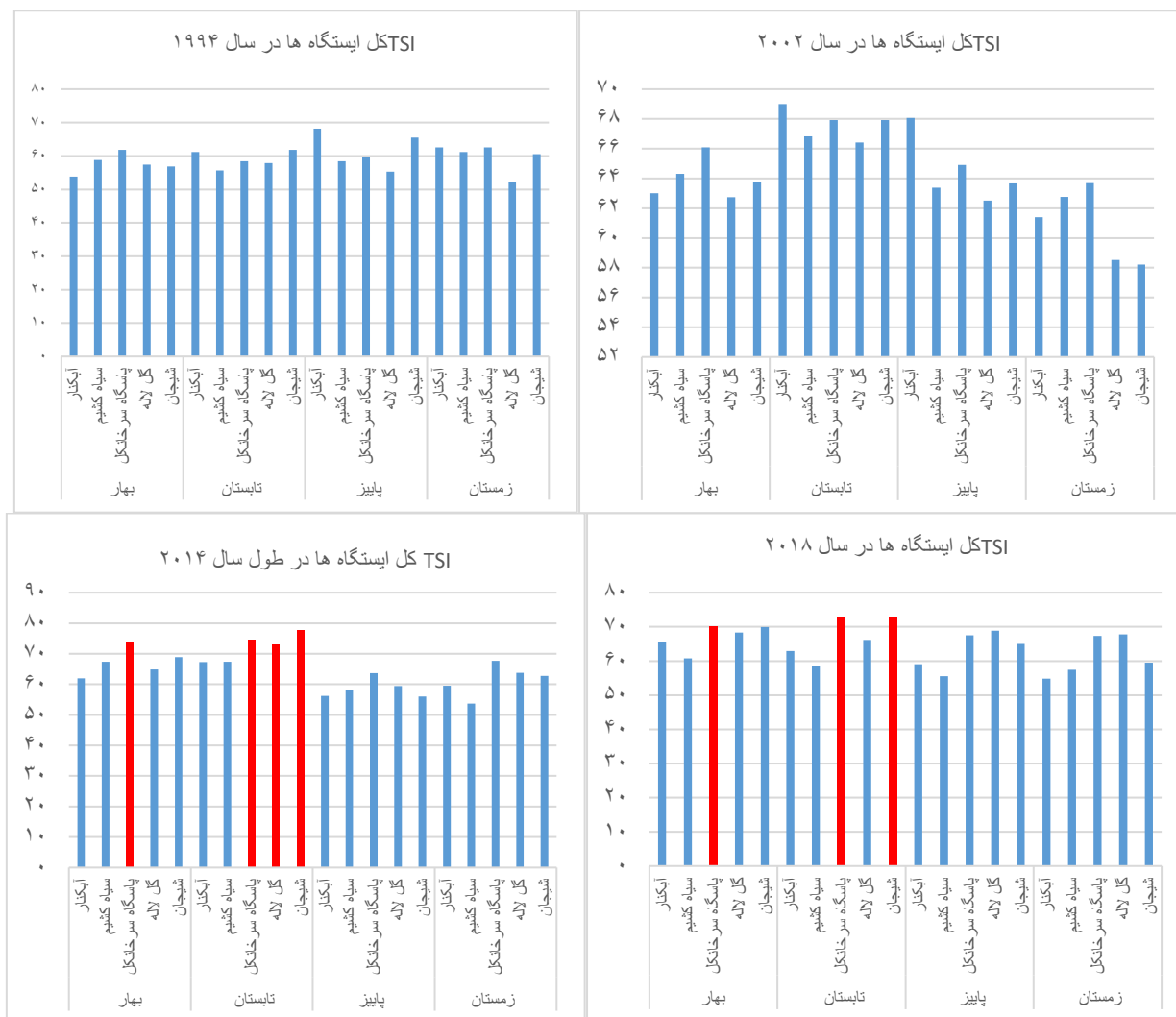
جدول ۴. نتایج حاصل از سنجش تروفی در چهار دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸

(هایپرتروف = H، یوتروف = U)

سال	فصل	TSI کل	وضعیت تروفی
۱۹۹۴	بهار	۷۵/۵۷	U
	تابستان	۵۹/۰۰	U
	پاییز	۶۱/۴۶	U
	زمستان	۵۹/۸۲	U
	کل سال	۵۹/۵۱	U
۲۰۰۲	بهار	۶۳/۹۷	U
	تابستان	۶۷/۶۲	U
	پاییز	۶۴/۵۱	U
	زمستان	۶۰/۹۲	U
	کل سال	۶۴/۲۶	U
۲۰۱۴	بهار	۶۷/۴۱	U
	تابستان	۷۲/۰۵	H
	پاییز	۵۸/۶۵	U
	زمستان	۶۱/۴۶	U
	کل سال	۶۴/۸۹	U
۲۰۱۸	بهار	۶۶/۹۰	U
	تابستان	۶۶/۶۵	U
	پاییز	۶۱/۹۴	U
	زمستان	۶۲/۹۷	U
	کل سال	۶۵/۱۰	U



شکل ۵. نمودار تغییرات سطح تروفی تالاب در بازه زمانی مورد مطالعه



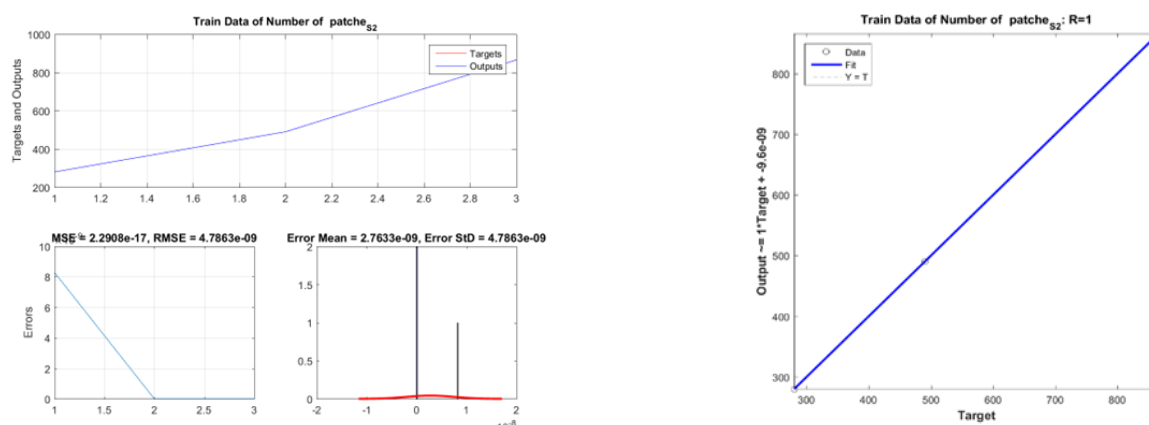
شکل ۶. نوسانات تغییر سطح ترونی به تفکیک ایستگاه‌ها و در فصول مختلف سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸

سازی، تعداد نرون‌ها و لایه‌ها برای استخراج خروجی‌های تعلیم داده شده مشخص گردید.

بررسی گردید که در نمودارها خروجی و هدف^۱ مشخص می‌گردد که آیا هدف، خروجی را پوشش می‌دهد یا خیر. در هر دو این نمودارهای نمونه خط قرمز و آبی رو هم افتاده و این بدان معنی است که اهداف و خروجی کاملاً روی هم قرار گرفته‌اند و خطای کمی را نشان می‌دهند. در حقیقت خروجی، هدف را دنبال نموده و شبکه توانسته با خطای بسیار کم به نتیجه مطلوب برسد. دو نمودار Errors به دو صورت میانگین خطا^۲ و خطا فاصله از خط^۳ نشان داده شده که این خطا همان طور که مشخص است 10^{-10} و در شکل (۷) عدد 10^{-8} را که خطا بسیار ناچیزی است، نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از مدل‌سازی: داده های ورودی در این مرحله TSI کل محاسبه شده می‌باشد که برای هر دوره نمونه برداری یک‌ساله ۲۰ ورودی TSI کل را شامل می‌گردد و خروجی‌ها نیز متریک‌های مساحت کل، تعداد لکه‌ها، متوسط اندازه لکه و شاخص شکل لکه بوده است که به تفکیک طبقات و سنجه‌ها برای پوشش سرزمینی پهنه آبی و پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی برای هر سنجه از هر پوشش سرزمین به‌طور جداگانه استخراج گردیده و به تعداد خروجی‌ها شبکه آموزش دیده و از کلیه ورودی‌ها برای به‌دست آوردن تک تک خروجی‌ها استفاده می‌گردد. مدل‌سازی در بستر الگوریتم ژنتیک GA برقرار شده که در درون خود GMDH در حال انجام می‌باشد و به‌طور تداخلی انجام شده است. در واقع GA سعی می‌کند GMDH را بهبود بخشد. با توجه به ورودی‌ها و به‌منظور حصول کمترین خطا در مدل

1. Out put and Target
2. MSE
3. StD



شکل ۷. نمونه‌ای از نمودار رگرسیون و نمودار میزان خطا حاصل از آموزش داده‌های ورودی جهت اخذ خروجی

جدول ۵. پیش‌بینی تغییرات متریک‌های سیمای سرزمین در سال

۱۴۰۵

تعداد	شاخص	متوسط	مساحت طبقه	طبقات
لکه‌ها	شکل لکه	اندازه لکه	CA (هکتار)	پوشش زمین
(NP)	(MSI)	(MPS)		
۴۳۲/۵۸	۱۹/۸۴	۱/۲۴	۱۱۴۸۳/۴۸	پوشش گیاهی
۹۰/۴۳	۲۰/۵۹	۱/۱	۲۶۵۷/۵۱	پهنه آبی

شکل (۷) خروجی آخر برای مدل‌سازی هر کدام از سنجه‌های استخراج شده را نشان می‌دهد. در نهایت می‌توان بیان نمود با توجه به اینکه GA-GMDH با داده‌های کم توانسته به خروجی‌های مورد نظر برسد، بنابراین این شبکه آموزش‌دیده توانایی محاسبه و پیش‌بینی سنجه‌های مورد نظر ساختاری سیمای سرزمین را با توجه به فاکتور شاخص تروپی کل^۱ دارا می‌باشد. به‌منظور پیش‌بینی شرایط آینده، از روش برون‌یابی استفاده شده (به‌عنوان نمونه سال ۱۴۰۵) که با توجه به داده‌های ارایه شده نخست TSI کل مربوط به سال ۱۴۰۵ پیش‌بینی گردیده است.

با توجه به جدول (۵)، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد مساحت پوشش گیاهی نسب به سال ۱۳۹۷ از ۱۱۶۹۶/۳۱ هکتار به ۱۱۴۸۳/۴۸ هکتار کاهش داشته و سنجه تعداد لکه‌های پوشش گیاهی از ۴۴۸ به ۴۲۳ کاهش داشته است. مساحت پهنه آبی از ۴۱۸۳/۹۲ به ۲۶۵۷/۵۱ هکتار کاهش و تعداد لکه‌ها از ۲۸۰ به ۹۰/۴۳ کاهش را نشان می‌دهد. شاخص متوسط اندازه لکه‌ها MPS پوشش گیاهی از ۲۶/۱۱ هکتار در سال ۱۳۹۷ به ۱۹/۸۴ هکتار خواهد رسید و در خصوص پهنه آبی از این شاخص از ۱۴/۹۴ هکتار افزایش خواهد داشت و به ۲۰/۵۹ هکتار خواهد رسید.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصله، بیشترین مساحت پوشش گیاهی و کمترین میزان مساحت لکه‌های آبی در سال ۲۰۱۸ به ثبت رسیده است، از طرفی مساحت پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ افزایش نامحسوسی داشته است، اما کاهش سطح پهنه آبی در این دو سال قابل ملاحظه بوده است. در کنار کاهش سطح پهنه آبی افزایش سطح نیزارها مشاهده می‌شود که گسترش پوشش گیاهی در تمامی ادوار نمونه‌برداری در قسمت شرقی، مرکزی و بخش سیاه‌کشیم (ایستگاه ۲) شدت داشته و لکه آبی بزرگ آبکنار (ایستگاه ۱) در قسمت غربی تالاب بخش اعظم مساحت تالاب را به خود اختصاص داده است.

بار ورودی فاضلاب شهرستان رشت به قسمت‌های شرقی و مرکزی (پورکی، ۱۳۹۵؛ جمشیدی‌زنجانی و سعیدی، ۱۳۹۲) بستر مناسبی برای رشد گیاهان در این مناطق فراهم نموده است. روند افزایشی مساحت پوشش گیاهی در دوره زمانی مورد نظر با افزایش سطح TSI کل در همین دوره ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد و بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن، افزایش سطح تروفي با افزایش مساحت پوشش گیاهی و تعداد لکه همبستگی دارد (ضریب همبستگی مساحت لکه پوشش گیاهی و تروفي برابر $0/80$ و ضریب همبستگی تعداد لکه‌های پوشش گیاهی و تروفي $0/40$ می‌باشد). بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن سنجه مساحت پهنه‌های آبی و تعداد لکه‌ها در این طبقه با شاخص تروفي TSI همبستگی منفی ($-0/40$) داشته است. یکی از عوامل مهم کاهش پهنه‌های آبی و افزایش مساحت پوشش گیاهی را می‌توان به افزایش روند تروفي در این دوره زمانی نسبت داد. متریک تعداد لکه NUMP می‌تواند میزان تکه‌تکه شدن مربوط به آن پوشش زمین را نشان دهد. در بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ میزان این سنجه در پوشش گیاهی کاهش یافته، اما این شاخص در سال ۲۰۱۸ بیشترین مقدار خود را نشان داده است. این در حالی است که میزان این سنجه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ در پهنه‌های آبی روند نزولی داشته و البته متوسط اندازه لکه‌های آبی MPS افزایشی بوده است و احتمالاً یکی از دلایل آن خشک شدن لکه‌های کوچک و

ناپدید شدن آنها می‌باشد که می‌تواند به دلیل بار آبی ورودی به تالاب به‌ویژه TN در این بازه زمانی افزایش داشته باشد. همچنین به دلیل افزایش بار رسوبات ورودی (معاونت پژوهشی دانشگاه تهران، ۱۳۹۵) به تالاب شاخص شفافیت آب (عمق دید سکشی) روند کاهشی را نشان می‌دهد که حجم رسوبات و مواد مغذی باعث کاهش عمق آب و خشکیدگی پهنه آبی کوچک شده و می‌تواند باعث محو شدن لکه‌های آبی گردد. در کلاس پهنه آبی، تعداد لکه‌ها در سال ۲۰۰۲ برابر ۸۶۶ بوده و نسبت به سایر دوره‌ها بسیار بیشتر بوده است. شایان ذکر است این افزایش تعداد لکه‌ها ناشی از افزایش مساحت پهنه‌ها آبی در سال ۲۰۰۲ می‌باشد. البته در کنار این افزایش تعداد لکه بر اساس سنجه متوسط اندازه لکه MPS مشخص می‌گردد که این شاخص در سال ۲۰۰۲ به عدد $7/35$ هکتار رسیده است، بنابراین در کنار افزایش تعداد لکه‌ها، اندازه لکه‌ها کاهش یافته است. بررسی سنجه تغییرات تعداد لکه‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد نوسان تعداد لکه‌های پوشش گیاهی به مراتب کمتر از پهنه‌های آبی است، زیرا تغییرات رویشگاهی در طول یک یا چند سال به تدریج صورت می‌گیرد و گسترش جوامع و تیپ‌های گیاهی یا عقب نشینی آنها با تاخیر زمانی بیشتری نسبت به پهنه‌های آبی رخ خواهد داد.

مساحت لکه‌های آبی با روند کاهشی مطمئناً بستر مناسبی برای زیست ماهیان و زادآوری آنها نخواهد بود. باید توجه داشت که گونه *Phragmites australis* از انواع نی می‌باشد که با گسترش بسیار بخش عمده پوشش گیاهی اکوسیستم‌های تالابی را به خود اختصاص داده و نقش مهمی در جریان‌ات اکوهیدرولوژیکی محیط آبی بازی می‌کند. همچنین تبخیر و تعرق در دریاچه‌ها و تالاب‌های کم عمق تحت سلطه این گیاه یک تا هفت برابر از تبخیر پهنه‌های آبی بدون پوشش گیاهی بیشتر است (Zhang et al., 2021). این گیاه توانایی رشد در محدوده زیستگاهی تالابی الیگوتروف تا دریاچه‌ها و تالاب‌هایی با سطح آلودگی بالا را دارا است (Březinová & Vymazal, 2014). گونه نی عمده پهنه پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است. البته این افزایش مساحت در پوشش گیاهی یکی از بسترهای مناسب جهت ایجاد امنیت

برای پرندگان آبی و کنار آبی را فراهم می‌نماید (عاشوری و وارسته‌مرادی، ۱۳۹۳)، البته در صورت تراکم بیش از حد نیزارها این کارآیی از دست خواهد رفت. با توجه به اینکه تعداد لکه‌های آبی روند کاهشی را نشان داده‌اند و شاخص متوسط اندازه لکه MPS در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ به افزایش روبه‌رو بوده و نشان‌دهنده حذف لکه‌های آبی کوچک است. شاخص MPS نیز از شاخص‌های مناسب تکه‌تکه شدن زیستگاه است. از سوی دیگر افزایش این شاخص می‌تواند موجب افزایش خوشه‌ای تدریجی لکه‌ها و همچنین افزایش اندازه لکه‌ها در طول زمان شود و کاهش این شاخص نیز تکه تکه شدن و از هم گسیختگی را نشان می‌دهد (Yohannes et al., 2020). افزایش متوسط اندازه لکه‌های آبی به تدریج به منزله حذف لکه‌های کوچک و آبگیرهای کوچک و جایگزینی با پوشش گیاهی است و این امر باعث شده اگرچه تعداد لکه‌ها کمتر شده ولی لکه‌های باقی‌مانده آبی بزرگتری ایجاد کنند. افزایش شاخص MPS یکی از شاخص‌های کاهش تکه‌تکه شدن یا تکه‌تکه شدن می‌باشد و در مسیر توالی با گسترش و تاج پوشش گیاهان قطعا لکه‌های کوچک به هم ملحق شده و لکه‌های بزرگ‌تر را می‌سازد، لکه‌های آبی در مابین لکه‌های گیاهی نیز به تدریج محو شده و در نتیجه با حذف لکه‌های کوچک، لکه‌های آبی با مساحت‌های بزرگ‌تر باقی می‌مانند و این فرآیند می‌تواند تا مراحل پایانی توالی این اکوسیستم ادامه پیدا کنند. شاخص شکل لکه MSI تغییرات زیاد را در ادوار مورد بررسی نشان نمی‌دهد، اما پیچیدگی شکل لکه‌ها همان طور که می‌تواند میزان تماس را با محیط اطراف افزایش دهد. از سوی دیگر کنج‌هایی ایجاد می‌کند که می‌تواند پناهگاه یا محل زادآوری و زیستی گونه‌های مختلف جانوری (مانند پناه و منطقه امن، لانه‌سازی پرندگان و تخم‌گذاری و یا تخم‌ریزی ماهیان و دوزیستان) باشد. هر چه شاخص MSI به عدد یک نزدیک‌تر باشد، شکل لکه‌ها به دایره نزدیک‌تر بوده و از نظر گشت‌زنی‌های حفاظتی شرایط مناسب‌تر می‌باشد و از سوی دیگر پیچیدگی در شکل لکه می‌تواند فرایندهای نظارتی و حفاظتی را با مشکلاتی روبه‌رو نماید.

Ashok (۲۰۲۱) تغییرات و پویایی ساختار تالاب Renuka در هندوستان را با کمک تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ با استفاده از GIS و RS مطالعه و تغییرات فضایی-

زمانی پهنه آبی و پوشش گیاهی را بررسی نموده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد مساحت کل تالاب کاهشی بوده و همچنین تصاویر ماهواره‌ای را برای پیگیری و پایش تغییرات ساختاری تالاب ابزار مناسب و پرکاربردی معرفی می‌کنند. در پژوهش حاضر از داده‌های ماهواره‌های لندست برای طبقه‌بندی پوشش زمین استفاده شده است. در همین زمینه پژوهش دیگری نیز از Jie و همکاران (۲۰۲۱) که بر تغییرات تالاب‌های واقع در Mongolian plateau در جنوب مغولستان صورت گرفته، پژوهشگران با استفاده از سنجش از دور و GIS روند تغییرات را در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بررسی کردند. همچنین با بررسی تعداد لکه‌های آبی مشخص نمودند که آنها در بازه زمانی مد نظر تقریباً نصف شده است. این پژوهش نشان می‌دهد تغییرات رخ داده شده بر اقلیم بخش شمالی کشور (از لحاظ دما و بارش) تاثیرگذار بوده است، بنابراین در مقایسه پژوهش Jie و همکاران (۲۰۲۱) و تحقیق حاضر می‌تواند اشاره کرد که تالاب‌ها در سال‌های اخیر در اقصی نقاط جهان دستخوش تغییرات و آسیب‌های شدید بوده‌اند. یکی از نکاتی که وی در مقاله اشاره کرده کاهش مساحت تالاب‌های طبیعی و افزایش مساحت تالاب‌های انسان‌ساخت است که این در مورد در پژوهش Lin و همکاران (۲۰۱۸) نیز بررسی و مطرح گردیده است. دخالت‌های انسانی نقش پررنگی در حیات رو به زوال اکوسیستم‌های تالابی داشته است. Lin و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات الگوی سیمای سرزمین تالاب در جزیره ZhouShan واقع در چین در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ را بررسی کردند. با کمک سنجش سیمای سرزمین به ویژه با توجه به آنالیز مساحت مشخص گردید مساحت تالاب‌های طبیعی به دلیل فعالیت‌های انسانی کاهش نشان داشته و در این بازه زمانی تالاب‌های مصنوعی و انسان‌ساخت افزایش مساحت داشته است. سناریو تکرارشونده کاهش مساحت پهنه های آبی که ناشی از فعالیت‌های انسان‌محور در حاشیه تالاب ها بوده و در کنار گرمایش جهانی، روند توالی تالاب را تسریع می‌نمایند.

در طول دوره نمونه‌برداری در سال ۲۰۱۸ و استخراج داده‌های موجود از دوره‌های پیشین سنجش سطح تروفي در راستای تخمین شاخص TSI، تالاب انزلی به‌طور کلی در شرایط یوتروف قرار داشته و در بررسی انجام شده، مشخص شد که

در فصول گرم سال (بهار و تابستان) در محدوده ایستگاه پاسگاه سرخانکل (ایستگاه ۳) و ایستگاه شیجان (ایستگاه ۵) در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸، دچار هایپرتروفی گردیده است. میل به هایپرتروف شدن در سایر بخش‌های تالاب به‌ویژه بخش‌های مرکزی و شرقی در سال ۲۰۱۸ مشهود است. فاکتور TP در سال ۲۰۱۸ در فصول پاییز و زمستان به‌ویژه در نواحی مرکزی و شرقی افزایش داشته است. از طرفی غلظت TN در سال ۲۰۱۸ با افزایش قابل توجهی به نسبت سال ۲۰۱۴ روبه‌رو بوده است. روند افزایشی در سه دهه کاملاً ملموس می‌باشد و این امر به‌دلیل اثرات بار ورودی توسط پیربازار روگاست (جایکا، ۱۳۹۸) که حجم زیادی از آلودگی‌ها را از شهرستان رشت و حومه وارد تالاب انزلی می‌نماید و محدوده شرق و جنوب‌شرقی تالاب به شدت تحت تاثیر آلودگی‌های آن قرار می‌گیرد و روند خشک شدن در این قسمت با شدت بیشتری اتفاق افتاده است. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای به روشنی مشخص است که لکه‌های آبی از سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۲ به سمت سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ در قسمت شرقی و جنوبی کاهش چشمگیر داشته و در سال ۲۰۱۸ لکه‌ها آبی در این محدوده به کلی ناپدید گردیده‌اند. بیشترین مقادیر مربوط به کلروفیل a در بهار و تابستان به ثبت رسیده است. در سال ۲۰۱۸ به نسبت سال ۲۰۱۴ کاهش در غلظت میانگین سالانه قابل مشاهده است و بیشترین غلظت‌های مربوط به این فاکتور در سال ۲۰۱۴ در قسمت‌های مرکزی و شرقی تالاب ثبت گردیده است که این افزایش غلظت به‌دلیل ورود مواد مغذی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی حاشیه تالاب و ورود پساب‌های حاوی کود به تالاب می‌باشد. در پژوهش Ni و همکاران (۲۰۲۱) در دریاچه Aha چین مشخص شد شاخص TSI در دوران پس از بارندگی و رطوبت، مقادیر کمتری را نشان می‌دهد که در تالاب بین‌المللی انزلی نیز در فصول پر باران به ویژه پاییز و زمستان با توجه به رقیق شدن عناصر شیمیایی ورودی به تالاب، مقادیر کمتری از شاخص TSI مشاهده شد. تاثیر رقیق‌سازی بر کاهش سطح تروفي در تحقیق Lopes (۲۰۱۹) در خصوص حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های شمالی کشور برزیل بوده نیز مشخص گردیده است. در پژوهش‌هایی که در حوزه شاخص تروفي انجام می‌شود، شاخص TN، TP و کلروفیل a از اهمیت بیشتری برخوردار است، به‌طوری‌که

در پژوهش Cutrim و همکاران (۲۰۱۹)، Mamun و An (۲۰۱۷)، از این شاخص‌ها برای سنجش تروفي استفاده شده است. البته در تحقیق حاضر علاوه بر این سه پارامتر مهم، شاخص عمق دید سکشی (شفافیت) نیز به‌منظور تعیین سطح تروفي در هر چهار دوره مد نظر قرار گرفت. از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ عمق دید سکشی با کاهش قابل ملاحظه‌ای مواجه بوده و این می‌تواند ارتباط معنی‌داری را با میزان غلظت کلروفیل a نیز نشان دهد. در سال ۲۰۱۸ میزان میانگین کلروفیل a کاهش سالانه را نشان می‌دهد و عمق دید سکشی میانگین سالانه نیز تا حدودی به نسبت سال ۲۰۱۴ افزایش یافته است. بیشترین عمق دید سکشی در سال ۲۰۱۸ مربوط به محدوده غربی (ایستگاه شماره ۱) می‌باشد.

در خصوص سطح تروفي تالاب انزلی پژوهش‌های مختلفی به انجام رسیده به‌ویژه در پژوهشکده آبی‌پروری توسط گروه تحقیقاتی در دوره‌های پیشین این روند ادامه داشته است. از آن دست می‌توان به پژوهش میرزاجانی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره نمود که روند فراغنی شدن تالاب را در بازه سال‌های ۱۹۹۲ لغایت ۲۰۰۲ مورد بررسی قرار دادند. آنها فاکتورهای نیتروژن کل، فسفر کل و کلروفیل a را اندازه‌گیری کردند و بر اساس پژوهش آنها نیز تالاب در بازه زمانی مورد بررسی در مرحله یوتروف قرار داشته است. البته آنها مشخص کردند درصد یوتروف شدن بخش‌های مختلف تالاب انزلی روند رو به رشدی داشته است. بر اساس مشابَهت نتایج حاصله توسط ایشان و تحقیق حاصل باید بیان نمود بیشتر بخش‌های تالاب با توجه به شاخص TSI در حالت یوتروف قرار داشته و دارد. ارایه مدل‌سازی می‌تواند به‌طور موثری در کاهش زمان اجرا و سرعت بالا در پاسخگویی به‌کار گرفته شود و از این ابزارها می‌توان به‌طور گسترده به‌منظور پایش محیط‌های آبی و با اهداف مختلف استفاده نمود. همچنین با توجه به اینکه مدل‌سازی انجام شده قابلیت این را دارد که با ورود داده‌های تعلیمی در سال‌های آتی بتوان بر قدرت پیش‌بینی‌کنندگی مدل توسعه‌یافته GA-GMDH افزود. در خروجی سنجه‌ها از مدل‌سازی ارایه شده در پژوهش حاضر با کمک الگوریتم GA-GMDH نشان‌دهنده کاهش مساحت پهنه آبی بوده و همچنین مساحت پوشش گیاهی تفاوت محسوسی را نشان نمی‌دهد و تعداد لکه‌های پوشش گیاهی افزایشی بوده و تعداد

آبی بزرگ آبکنار در قسمت غربی تالاب بخش اعظم مساحت را به خود اختصاص داده است. به طور کلی می توان بیان نمود افزایش تروفي یکی از دلایل افزایش سطح پوشش گیاهی به ویژه نیزارها شده و همچنین با کاهش سطح پهنه آبی حذف لکه های آبی کوچک و کم عمق شدن تالاب میزان اختلاط رسوبات با لایه های فوقانی آب بیشتر شده و عمق دید سکشی کاهش یافته و این خود بر روند افزایشی سطح تروفي کل موثر خواهد بود. نیزارها و پوشش گیاهی متراکم، کارآیی این پهنه گیاهی را جهت لانه گزینی و زادآوری ماهیان و پرندگان مختل خواهد نمود. همچنین با توجه به عمق کم تالاب در بسیاری از بخش ها و فاصله ایجاد شده بین پهنه آبی توسط نیزارها، بنابراین فعالیت های گردشگری و تفریحی و همچنین گشت زنی های حفاظتی داخل تالاب دچار مشکل گردیده است. آب های کم عمق بستر نامناسبی برای پرندگان غواص خواهد بود و اکوسیستم کیفیت مطلوب را برای ادامه حیات و مهاجرت این پرندگان از دست می دهد. در پژوهش حاضر می توان انتظار داشت که مدل توسعه یافته GA-GMDH با کمترین خطا خروجی های مناسبی برای پیش بینی تغییرات ساختاری سیمای سرزمین بر مبنای ورودی TSI محاسبه شده در اختیار قرار دهد.

اگرچه احیا تالاب بین المللی انزلی هم اکنون نیز با مشکلاتی همراه است، اما ادامه این روند می تواند به مرور جبران ناپذیر شده و باعث از بین رفتن پهنه های آبی و از دست رفتن چرخه طبیعی اکوسیستم تالاب بین المللی انزلی و جایگزینی کامل پوشش گیاهی و خشک شدن تالاب گردد که این امر صدمات بزرگی بر میکروکلیم منطقه و شرایط اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی آن خواهد داشت و حیات وحش باارزش محدوده تالاب با خطر جدی مواجه خواهد شد.

منابع

پورکی، ه. (۱۳۹۵) امکان سنجی بهره گیری از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر رشت به عنوان یکی از منابع آب تجدیدشونده برای مصارف کشاورزی. کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (تهران)، دوره اول، تهران، صفحات ۹-۱.

لکه های پهنه آبی با کاهش مواجه شده است. از سوی دیگر شاخص متوسط اندازه لکه MPS برای لکه های پوشش گیاهی کاهش یافته و در لکه های پهنه آبی افزایش را نشان می دهد. همچنین شاخص MSI تفاوت معنی داری را مشخص نمی کند. این امر نشان دهنده آن است که در صورت ادامه دار بودن شرایط متحمل شده بر پیکره اکوسیستم تالاب بین المللی انزلی تغییرات سیمای سرزمین تالاب و همچنان به سوی مراحل پایانی توالی شده و افزایش روند فراغنی شدن که بررسی شده است از عوامل شاخص و بسیار تاثیرگذار در این خصوص خواهد بود.

نتیجه گیری نهایی

ارزیابی روند پرغذایی و طبقه بندی آن در تالاب های ساحلی به دلیل تغییرات آنها از نظر زمانی و مکانی، کار دشواری است. تالاب انزلی در طی سالیان گذشته و به دلیل تغییرات مختلف پیرامونی از قبیل تغییرات کاربری زمین، تغییرات اقلیمی، بار رسوبات و آلودگی های صنعتی و کشاورزی و خانگی و ورودی به آن، هجوم گونه های مهاجم، نوسانات سطح آب دریای کاسپین و برداشت آب به منظور کشاورزی، در شرایطی به سر می برد که مدیریت و احیا این اکوسیستم با ارزش را با دشواری روبه رو کرده و تا حدودی غیرممکن می نماید. بر اساس نتایج حاصل شده در طول دوره نمونه برداری در سال ۲۰۱۸ و استخراج داده های موجود از دوره های پیشین سنجش سطح تروفي در راستای تخمین شاخص TSI، تالاب انزلی به طور کلی در شرایط یوتروف قرار داشته و در بررسی انجام شده مشخص شد که در فصول گرم سال (بهار و تابستان) در محدوده ایستگاه سرخانکل و ایستگاه شیجان در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۴، دچار هایپرتروفي گردیده است. در خصوص تغییرات ساختار سیمای سرزمین همانطور که در نمودارهای حاصل از محاسبات سنجها مشاهده می شود، بیشترین مساحت پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۸ به ثبت رسیده است. همچنین کمترین میزان مساحت لکه های آبی نیز در سال ۲۰۱۸ به ثبت رسیده است. در کنار کاهش سطح پهنه آبی افزایش سطح نیزارها مشاهده می شود که با هم رابطه معکوسی را نشان می دهند. گسترش پوشش گیاهی در تمامی ادوار نمونه برداری در قسمت شرقی، مرکزی و بخش سیاه کشیم شدت داشته و لکه

- 113-123. Retrieved from <https://doi.org/10.22092/ISFJ.2018.115765/>
- Ahmadzadeh, R., Dehdar Dargahi, M., Khorasani, N., Farsad, F. and Rahimibashar, M.R. (2021) Evaluation of changes in physico-chemical parameters and trophic state of Anzali International Wetland based on Carlson Index. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(10): 261-276.
- Aldous, A., Schill, S., Raber, G., Paiz, M.-C., Mambela, E. and Stévant, T. (2021) Mapping complex coastal wetland mosaics in Gabon for informed ecosystem management: use of object-based classification. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7(1): 64-79. Retrived from <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rse2.161/>
- APHA. (American Public Health Association) (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC.
- Ashok, A. (2021) Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based Landsat imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23: 100547.
- Bastami, K.D., Neyestani, M.R., Molamohyedin, N., Shafeian, E., Haghparast, S., Shirzadi, I.A. and Baniamam, M. (2018) Bioavailability, mobility, and origination of metals in sediments from Anzali Wetland, Caspian Sea. *Marine pollution bulletin*, 136: 22-32.
- Bohn, V.Y., Carmona, F., Rivas, R., Lagomarsino, L., Diovisalvi, N. and Zagarese, H.E. (2018) Development of an empirical model for chlorophyll-a and Secchi Disk Depth estimation for a Pampean shallow lake (Argentina). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(2): 183-191.
- Březinová, T. and Vymazal, J. (2014) Competition of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands with horizontal subsurface flow – does it affect BOD5, COD and TSS removal. *Ecological Engineering*, 73: 53–57. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.022/>
- Cadavid-Florez, L., Laborde, J. and Zahawi, R.A. (2019) Using landscape composition and configuration metrics as indicators of woody vegetation attributes in tropical pastures. *Ecological Indicators*, 101: 679-691.
- Carlson, R.E. (1977) A trophic state index for lakes1. *Limnology and Oceanography*, 22(2): 361-369 .
- Carlson, R.E. and Simpson, J. (1996) A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. *North American Lake Management Society*, 96: 305-305.
- Cigagna, C., Bonotto, D.M., Camargo, A.F.M. and Sturaro, J.R. (2016) Trophic state index (TSI) and physico-chemical characteristics of a shallow reservoir in southeast Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 75(2): 102-102.
- Congalton, R.G. and Green, K. (2019) Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices, CRC Press. pp: 50-120.
- Cutrim, M.V.J., Ferreira, F.S., Dos Santos, A.K.D., et al. (2019) Trophic state of an urban coastal lagoon (Northern Brazil), seasonal variation of the جایکا (آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن، شرکت نیپون کوئه). (۱۳۹۸) طرح میان‌مدت حفاظت از تالاب انزلی از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰، تهیه شده در پروژه مدیریت اکولوژیک تالاب انزلی- فاز دوم، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گیلان، جمهوری اسلامی ایران، غیر قابل‌انتشار.
- جمال‌زاده، ف.، صفت، ع.ا.د. و نظامی، ش. (۱۳۷۸) بررسی وضعیت تروفی تالاب انزلی با استفاده از GIS، شاخص تروفی (TSI). نشریه محیط‌شناسی، ۲۵(۲۳): ۱-۱۰.
- جمشیدی‌زنجانی، ا. و سعیدی، م. (۱۳۹۲) ارزیابی آلودگی و پهنه‌بندی کیفی رسوبات سطحی تالاب انزلی بر اساس نتایج شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین. محیط‌شناسی، ۳۹(۴): ۱۵۷-۱۷۰.
- زبردست، ل. و جعفری، ح. (۱۳۹۰) ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور و ارایه راه‌حل مدیریتی. نشریه محیط‌شناسی، ۵۷(۳۷): ۵۷-۶۴.
- عاشوری، ع. و وارسته‌مرادی، ح. (۱۳۹۳) بررسی تنوع گونه‌ای پرندگان آبی و کنار آبی مهاجر زمستان گذران در تالاب بین‌المللی انزلی. اکوبیولوژی تالاب، ۶(۲۰): ۵۵-۶۶.
- مجنونیان، ه. (۱۳۷۷) تالاب‌ها، طبقه‌بندی و حفاظت تالاب‌ها. تهران: انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۱۰-۱۱۰ صفحه.
- معاونت پژوهشی دانشگاه تهران. (۱۳۹۵) بررسی ترکیب رسوبات در سطح و عمق استاندارد تالاب انزلی، اداره کل حفاظت محیط زیست استان گیلان، صفحات ۲۰-۸۰.
- میرروشندل، ا.، خاوندکار، ا. و البنین، ا. (۱۳۹۲) بررسی میزان ازت و فسفر تالاب انزلی در ایجاد پدیده شکوفایی جلبکی. فصلنامه علوم و مهندسی محیط زیست، ۲(۵): ۱۸-۱۱.
- میرزاجانی، ع.، خداپرست، ح.، بابایی، ه.، عابدینی، ع. و دادی‌فندی، ع. (۱۳۸۸) روند فراغنی‌شدن تالاب انزلی با استفاده از اطلاعات ده‌ساله ۱۳۷۱-۱۳۸۱. محیط‌شناسی، ۳۵(۵۲): ۶۵-۷۴.
- Abedini, A. and Mirzajani, A. (2018) Physicochemical status of water and nutritional level of Anzali wetland. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(6):

- the effects of urban expansion on land surface temperature patterns by landscape metrics: a case study of Isfahan city, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(189): 1-11.
- Mamun, M. and An, K.G. (2017) Major nutrients and chlorophyll dynamics in Korean agricultural reservoirs along with an analysis of trophic state index deviation. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10(2): 183-191.
- Ni, M., Ge, Q., Li, S., Wang, Z. and Wu, Y. (2021) Trophic state index linked to partial pressure of aquatic carbon dioxide in a typical karst plateau lake. *Ecological Indicators*, 120: 106912. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106912/>
- Pal, S. and Debanshi, S. (2021) Developing wetland landscape insecurity and hydrological security models and measuring their spatial linkages. *Ecological Informatics*, 66: 101461. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101461/>
- Pedram Jarf, M., Kamali, A., Khara, H., Pourang, N. and Shekarabi, S.P.H. (2024) Microplastic pollution and heavy metal risk assessment in *Perca fluviatilis* from Anzali wetland: Implications for environmental health and human consumption. *Science of The Total Environment*, 907: 167978. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167978/>
- Penfound, E. and Vaz, E. (2024) Modelling future wetland loss with land use landcover change simulation in the Greater Toronto and Hamilton Area: The importance of continued greenbelt development restrictions. *Habitat International*, 143: 102974. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102974/>
- Ramsar List. (2021) The List of Wetlands of International Importance. Retrieved from <https://www Ramsar.org/>
- Stehman, S.V. (1997) Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62(1): 77-89.
- Singh, R., Saritha, V. and Pande, C.B. (2024) Monitoring of wetland turbidity using multi-temporal Landsat-8 and Landsat-9 satellite imagery in the Bisalpur wetland, Rajasthan, India. *Environmental Research*, 241: 117638. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117638/>
- Wetzel, R.G. (2001) *Limnology: lake and river ecosystems*. Gulf Professional Publishing, pp: 220-267.
- Wu, C., Chen, B., Huang, X. and Dennis Wei, Y.H. (2020) Effect of land-use change and optimization on the ecosystem service values of Jiangsu province, China. *Ecological Indicators*, 117: 106507. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106507/>
- phytoplankton community and environmental variables, *Estuarine. Coastal and Shelf Science*, 216: 98-109.
- Esmailzadeh, M., Karbassi, A. and Moattar, F. (2016) Heavy metals in sediments and their bioaccumulation in *Phragmites australis* in the Anzali wetland of Iran. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 34(4): 810-820 .
- Fallah, M., Pirali Zefrehei, A.R. and Hedayati, A. (2021) Evaluating limnological condition of Anzali international wetland during 32 years period using nutrient parameters and TSI indices. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(2): 370-384.
- Foody, G.M. (2020) Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. *Remote Sensing of Environment*, 239: 111630/ Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111630/>
- Guo, H., Cai, Y., Yang, Z., Zhu, Z. and Ouyang, Y. (2021) Dynamic simulation of coastal wetlands for Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay area based on multi-temporal Landsat images and FLUS model. *Ecological Indicators*, 125: 107559.
- Hargalani, F.Z., Karbassi, A., Monavari, S.M. and Azar, P.A. (2014) A novel pollution index based on the bioavailability of elements: A study on Anzali wetland bed sediments. *Environmental monitoring and assessment*, 186(4): 2329-2348.
- Inkoom, J.N., Frank, S., Greve, K., Walz, U. and Fürst, C. (2018).. Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in West Africa. *Ecological Indicator*, 85: 117-127.
- JICA, D. (2005) The study on integrated management for ecosystem conservation of the Anzali Wetland in the Islamic Republic of Iran, Draft Final Report, pp. 2-2.
- Jie, W.H., Xiao, C.L., Zhang, C., Zhang, E., Li, J.Y., Wang, B., Niu, H.W. and Dong, S.F. (2021) Remote sensing-based dynamic monitoring and environmental change of wetlands in southern Mongolian Plateau in 2000–2018. *China Geology*, 4(2): 353-363.
- Kumar, P., Mahajan, A.K. and Meena, N.K. (2019) Evaluation of trophic status and its limiting factors in the Renuka Lake of the Lesser Himalaya, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2): 3-11.
- Lin, W., Cen, J., Xu, D., Du, S. and Gao, J. (2018) Wetland landscape pattern changes over a period of rapid development (1985-2015) in the ZhouShan Islands of Zhejiang province, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 213: 148-159. DOI:[10.1016/j.ecss.2018.08.024/](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.024/)
- Lopes, O.F., Rocha, F.A., de Sousa, L.F., da Silva, D.M.L., Amorim, A.F., Gomes, R.L., Sampaio da Silva Junior, A.L. and de Jesus, R.M. (2019) Influence of land use on trophic state indexes in northeast Brazilian river basins. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2): 77-77. DOI: 10.1007/s10661-019-7188-7/
- Madanian, M., Soffianian, A.R., Koupai, S.S., Pourmanafi, S. and Momeni, M. (2018) Analyzing

- on soil water in semiarid wetland, North China: Which is more influential. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 22(1): 85-95.
- Zhu, L., Zhu, K. and Zeng, X. (2023) Evolution of landscape pattern and response of ecosystem service value in international wetland cities: A case study of Nanchang City. *Ecological Indicators*, 155: 110987. Retrived from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110987/>
- Wu, J. and Hobbs, R. (2002) Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis, *Landscape Ecology*, 17(4): 355-365.
- Yan, F., Zhang, S., Liu, X., Yu, L., Chen, D., Yang, J., Yang, C., Bu, K. and Chang, L. (2017) Monitoring spatiotemporal changes of marshes in the Sanjiang Plain, China. *Ecological Engineering*, 104(A): 184-194.
- Yohannes, H., Soromessa, T., Argaw, M. and Dewan, A. (2020) Changes in landscape composition and configuration in the Beressa watershed, Blue Nile basin of Ethiopian Highlands: Historical and future exploration. *Heliyon*, 6(9): e04859. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04859/>
- Zhang, Y., Wang, X., Yan, S., Zhu, J., Liu, D., Liao, Z., Li, C. and Liu, Q. (2021) Influences of *Phragmites australis* density and groundwater level

Assessment of changes in Landscape Structure of Anzali international wetland based on Trophic index and GA-GMDH model

Robab Ahmadzadeh¹, Mohammad Dehdar Dargahi^{2*}, Nematollah Khorasani³, Fourogh Farsad⁴, Mohammad Reza Rahimibashar⁵, and Alireza Mirzajani⁶

- 1) Ph.D. Student of Environment, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 2) Assistant Professor of Environment, La.C, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. *Corresponding Author Email Address: dehdardargahi@iau.ac.ir
- 3) Professor of Environment, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
- 4) Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 5) Assistant Professor, Department of Marine Biology, La.C, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
- 6) Associate Professor, Department of Ecology, Inland Water Aquaculture Research Center of Iran, Inzali, Iran.

Date of Submission: 2025/02/07

Date of Acceptance: 2025/07/03

Abstract

Wetlands support several plant and animal species as an irreplaceable habitat, and these valuable ecosystems are suffering from a decline in habitat quality due to human activities. Eutrophication due to enrichment with organic matter is one of the most important in changes of landscape structure. This study aims to investigate the eutrophication process on the landscape of Anzali Wetland. In this study, physical and chemical factors of water including temperature, electrical conductivity (EC), pH, dissolved oxygen (DO), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and chlorophyll a were measured at 5 stations seasonally and annually, and then the trophic level (TSI) was determined using the variables total phosphate TP, total nitrogen TN, depth of view SD, and chlorophyll a. Satellite data was used to examine land cover changes in the periods of 1994, 2002, 2014 and 2018, and then landscape metrics were calculated. Next, the GMDH neural network method was used for modeling to predict the trend of TSI changes and its relationship with landscape changes. The research results show that the total TSI is in the eutrophic level in all four periods of the wetland. The results of the landscape metrics show that the lowest area of the water area was 4183.92 hectares and the highest area of vegetation cover was 11696.31 hectares in 2018. The mean patch shape index shows that the highest numerical value of this index in the water area it was 1.49 in 1994 and the highest value for vegetation cover was 1.35 in 1994 and 2014. The output of the indicators from modeling with the help of the GA-GMDH algorithm shows a decrease in the area of the water area, Also the area of the vegetation cover does not show a significant difference.

Keywords: Caspian Sea, International Wetland Anzali, Landscape, Trophy.