فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

۱۲۵-۱۴۰

بررسی روند تغییرات پوشش محدوده مرتبط با تالاب انزلی به کمک فناوری‌های سنجش از دور و چارچوب مفهومی DPSIR

مهسا عبدلی و محمد پناهنده*

[۱] گروه پژوهشی محیط زیست طبیعی، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران
[۲] گروه پژوهشی فرآوری پسماند، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

عبدلی، م. و م. پناهنده. ۱۳۹۹. بررسی روند تغییرات پوشش محدوده مرتبط با تالاب انزلی به کمک فناوری‌های سنجش از دور و چارچوب مفهومی DPSIR. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۴): ۱۲۵-۱۴۰.

سابقه و هدف: در طی چند دهه گذشته، فعالیت‌های انسانی تأثیرهای چشمگیری بر تالاب‌های ساحلی در سراسر جهان داشته است. تالاب انزلی یکی از ۱۸ تالاب ایران و دارای اهمیت بین‌المللی در کنوانسیون رامسر است. این اکوسیستم بی‌نظیر جهان با تنوع اکولوژیکی بالا به‌دلیل عامل‌هایی همچون آلاینده‌ها، رسوب‌گذاری، توسعه غیرمجاز زیرساخت‌های شهری، برداشت بیش از حد از منابع تالاب، گونه‌های مهاجم و تغییرات کاربری در معرض تهدید است. هدف این تحقیق بررسی روند تغییرات تالاب انزلی از طریق بررسی تغییرات زمانی، شناسایی وضعیت تالاب و استفاده از چارچوب مفهومی DPSIR جهت بررسی مشکل‌ها و بیان راهکارهای مناسب برای حفاظت از سیمای سرزمین می‌باشد.

مواد و روش‌ها: از تصویرهای ماهواره لندست ۵ و ۸ سنجنده‌های TM و OLI مربوط به سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ استفاده گردید. نقشه‌های پوشش زمین برای سال‌های یاد شده در ۵ طبقه پیکره آبی، زمین تالابی، گیاهان تالابی، مرتع و کشاورزی به کمک طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر احتمال در نرم افزار ENVI5.3 تهیه شد. آشکارسازی تغییرات به‌منظور بررسی وضعیت در حال حاضر تالاب انجام شد و سپس از چارچوب مفهومی نیرومحرکه-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ [۱]جهت تعیین روابط میان فعالیت‌های انسانی و محیط‌زیست و توصیف مشکل‌های محیط‌زیستی استفاده گردید.

نتایج و بحث: بنابر نتایج در بازه زمانی اول (۱۹۹۴ - ۲۰۰۸) پیکره آبی بیشترین تغییرات مساحت را با کاهش ۷/۶۳ درصد داشته است که در این تغییرات طبقه گیاهان تالابی بیشترین سهم را داشته به‌طوریکه ۱۰۴۵/۹۸ هکتار از پیکره آبی به گیاهان تالابی تبدیل شده است. پس از آن زمین تالابی با افزایش ۳/۸۴ درصد در رتبه دوم قرار دارد. در بازه زمانی دوم (۲۰۰۸ - ۲۰۱۸) پیکره آبی همانند دوره قبل با کاهش ۱۴/۱۹ درصد بیشترین تغییر را در این دوره داشته است. در کل دوره مطالعاتی از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸ پیکره آبی از ۴۷۴۹ هکتار در سال ۱۹۹۴ به ۱۰۴۲ هکتار در سال ۲۰۱۸ رسیده که بیشترین تبدیل مربوط به طبقه گیاهان تالابی بوده است. مساحت کاربری‌های

* Corresponding Author: *Email Address*. Panahandeh@acecr.ac.ir
http://doi.org.10.52547/envs.18.4.125

زمین تالابی، گیاهان تالابی، مرتع و کشاورزی به‌ترتیب ۱۰/۹۲، ۰/۷۸، ۴/۴۸ و ۵/۶۶ درصد افزایش یافته‌اند. نتایج ارزیابی صحت نقشه‌ها نشان می‌دهد صحت کلی برای سال ۲۰۱۸، ۹۶/۳۱، سال ۲۰۰۸، ۹۴/۱۴و برای سال ۱۹۹۴، ۹۰/۲۹ درصد و ضریب کاپا به‌ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۲ و ۰/۸۷ است. همچنین نیرومحرکه‌های مورد نظر در این تحقیق، افزایش جمعیت، صنایع و گردشگری می‌باشند.

نتیجه‌گیری: تحلیل تغییرهای زمانی تالاب انزلی گویای افزایش زمین تالابی، گیاهان تالابی، مرتع، کشاورزی و کاهش پیکره آبی که کلاس کانونی و با اهمیت در این تحقیق می‌باشد، است، بنابراین زیستگاه اصلی پرندگان و ماهی‌ها در حال نابودی می‌باشد. تغییرهایی که در بازه زمانی ۲۴ ساله (۱۹۹۴ - ۲۰۱۸) مورد مطالعه در کلاس‌های مختلف رخ داده سبب تغییر روند تالاب انزلی از توالی طبیعی به منشأ انسانی شده است. نیرومحرکه‌های رشد جمعیت، کشاورزی و صنعت سبب تغییر کاربری، ورود پساب‌های کشاورزی و صنعتی و بهره‌برداری بیش از توان منابع آب از تالاب انزلی شده‌اند که سلامت تالاب را با خطرهای جدی مواجه کرده‌اند. با توجه به این نتایج، برای حفاظت از این تالاب بین المللی نیاز به مشارکت مردمی، آموزش و فرهنگ‌سازی در سطح حوزه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تالاب انزلی، رویکرد DPSIR، سنجش از دور، ماهواره لندست.

مقدمه

فعالیت‌های انسانی تأثیرهای شدیدی بر زمین و محیط‌زیست دارد (Broadbent *et al*., 2012; Renetzeder *et al*., 2010). نقش اصلی تالاب‌های ساحلی در دادن خدمات حیاتی اکوسیستم، به‌عنوان نمونه، تأمین آب، بهره‌وری بیولوژیکی، زیستگاه‌های حیات‌وحش، نگهداری مواد مغذی، جذب و پراکندگی آلودگی، تنظیم جریان و انرژی رودخانه می‌باشد. حفظ این سیستم‌های پیچیده‌ی اکولوژیک و بهره‌مندی از منابع بی‌شمار اقتصادی، تفرجگاهی، ژنتیکی و غیره، تنها وابسته به مطالعه و شناخت دقیق هر تالاب است (Bartlett and Harris, 1993; Zhou, 1993; Wong *et al*., 1997; Whigham, 1999; Elias *et al*., 2001; Crozier and Gawli, 2003; Hern´andez-Romero *et al*., 2004; Schuyt, 2005). با این حال تالاب‌ها بیش از دیگر زیست بوم‌های طبیعی مورد غفلت واقع شده‌اند، مهمترین دلایل قابل بیان در این زمینه، تبدیل زمین و تجاوز به حریم تالاب‌ها به‌دلیل ناکارآمدی قوانین موجود در زمینه حفاظت از محیط‌های تالابی از یک سو و کاهش کیفیت تالاب‌های موجود به‌دلیل‌های متعدد مانند ورود انواع آلودگی‌ها از سوی دیگر است.

تالاب انزلی در سال ۱۹۷۵ در کنوانسیون رامسر به‌عنوان تالاب دارای اهمیت بین المللی ثبت شد. هدف‌های اصلی کنوانسیون رامسر، که توسط همه طرف‌های متعاهد از جمله ایران به امضا رسیده است، حفاظت و استفاده عاقلانه از تالاب‌ها برای دستیابی به توسعه پایدار است (Jones *et al*., 2009). در سال‌های اخیر تالاب انزلی در لیست مونترو قرار گرفته است، ایران با داشتن تعداد کل ۶ تالاب در معرض خطر، از جمله تالاب انزلی، مقام اول را در فهرست مونترو دارد (Ashoori and Abdos, 2012). که از اصلی‌ترین دلیل‌های آن تبدیل زمین، ورود رسوب‌ها و انواع آلاینده‌ها و مواد مغذی به تالاب است که ادامه این روند سبب کاسته شدن از عمر طبیعی این اکوسیستم آبی با ارزش می‌شود، به‌طوریکه در صورت ادامه وضعیت کنونی، تالاب انزلی بسیار زودتر از سرنوشت طبیعی خود از بین خواهد رفت (Mousazadeh *et al*., 2015). شناخت و ارزیابی تغییرهای صورت گرفته در محیط زیست و عامل‌های تهدید کننده اکوسیستم‌ها، فرآیندی است که منجر به ایجاد درک صحیحی از نحوه تعامل انسان و محیط‌زیست می‌شود. این مسئله در مورد منطقه‌های حساس زیستی و بویژه تالاب‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (Lambin and Geist, 2006).

تغییر کاربری و پوشش زمین‌ها بویژه تبدیل پوشش‌های طبیعی مؤثر مانند جنگل به سایر پوشش‌های مصنوع و نیمه مصنوع مانند توسعه شهری و کشاورزی، روند توالی سرزمینی در اکوسیستم‌های ارزشمندی مانند

تالاب را تسریع کرده و در فاصله زمانی کوتاه‌تری آن‌ها را به‌طرف تبدیل شدن به سازگان‌های خشکی سوق می‌دهد. در نتیجه سیمای سرزمین جدیدی شکل می‌گیرد که در آن سهم لکه‌های مصنوعی بیشتر شده و عنصرهای زیر ساختی سرزمین مانند لکه‌های کانونی آب، جنگل و تغذیه آب‌های زیرزمینی که دارای عملکردهای مهمی بوده و به‌عنوان زیر ساخت اکولوژیک در سرزمین‌های پایدار عمل می‌کنند زایل می‌شوند. سیمای سرزمین کنونی بازتابی از کاربری زمین‌ها در گذشته بوده و به‌عنوان قالبی زنده و پویا برای بیان کاربری پایدار زمین‌ها به‌کار گرفته می‌شود (Xiao, 1998). داده‌های ماهواره‌ای با پوشش دادن سطح وسیعی از سیمای سرزمین، دقت مکانی و تکرارهای زمانی مناسب، امکان تهیه نقشه‌های کاربری/ پوشش زمین مناسب به‌منظور پایش و برنامه‌ریزی سیمای سرزمین را در بسیاری از منطقه‌ها فراهم آورده‌اند (Herold *et al.*, 2005).

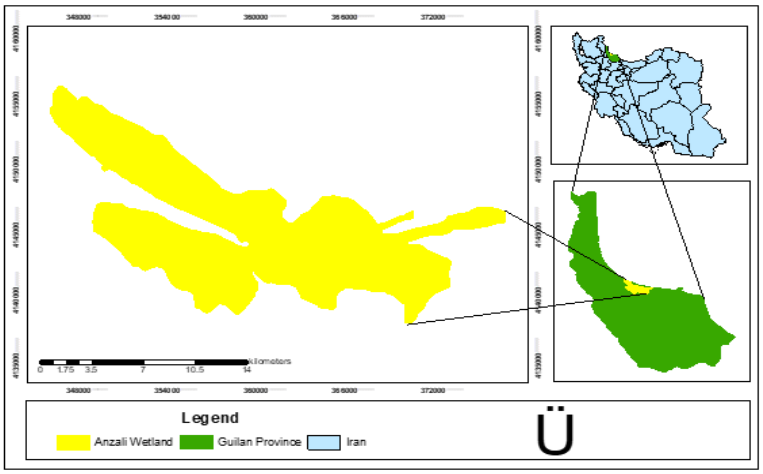
در این تحقیق، به‌منظور برقراری ارتباط بین پایش تغییرهای کاربری تالاب انزلی، وضعیت موجود و بیان راهکار از چارچوب مفهومی نیرو محرکه – فشار – وضعیت – اثر - پاسخ (DPSIR) استفاده شده است که یکی از جامع‌ترین روش‌ها برای ارزیابی دلیل‌ها، عواقب و پاسخ به تغییرهای محیطی می‌باشد. این مدل توسط برنامه‌ی محیط زیست سازمان ملل متحد [۲] پیشنهاد شد و در ارزیابی‌های آژانس محیط‌زیست اروپا[۳] در سال ۱۹۹۹ توسعه یافت. این مدل، ابزار ارزشمندی است که قادر به ارزیابی پارامترهای اقتصادی - اجتماعی و محیط زیستی می‌باشد. نیرو محرکه، نیروهایی هستند که به مشکل‌های محیط زیستی می‌انجامند. فشارها، فعالیت‌های انسانی هستند که سبب تخریب و پاسخ‌ها نیز فعالیت‌هایی هستند که توسط جامعه انسانی با هدف کم کردن فشارهای محیط زیستی و ارتقا کیفیت محیط انجام می‌شوند (Wu and Wu, 2012; Lundin, 2002). چارچوب DPSIR دارای ویژگی‌های سیستمیک و بین رشته‌ای می‌باشد. با توجه به این ویژگی‌ها از چارچوب DPSIR به‌منظور ارزیابی و مدیریت مسئله‌های مختلف مرتبط با محیط زیست به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Song and Frostell, 2012). آژانس محیط زیستی اروپا از DPSIR به‌منظور بررسی کمی و کیفی آب استفاده نمود (EEA, 1999). در آفریقا به‌منظور بررسی آلودگی محیط-زیستی تالاب Ebrie (Scheren *et al.*, 2004)، برای شکل دادن یک استراتژی توسعه پایدار در حوزه پو آدراتیک (Pirrone *et al.*, 2005)، در برنامه محیط‌زیست سازمان ملل (UNEP, 2007)، در شهر ناگویا ژاپن به‌منظور یکپارچه سازی جنبه‌های اجتماعی و محیط زیستی برای توسعه تنوع زیستی (Kohsaka, 2010)، برای ایجاد ارتباط بین احیای بوم‌شناختی یک رودخانه با بخش اجتماعی اقتصادی (Song and Frostell, 2012) از چارچوب DPSIR استفاده شد. مطالعات مختلفی در ایران و جهان از مدل DPSIR استفاده کردند. Saadati *et al.* (2013) از رویکرد DPSIR برای بررسی سنجه‌های مدیریت پایدار اکوسیستم‌های تالابی استفاده کرد، نتایج نشان داد سنجه‌های اقتصادی و اقتصادی - اجتماعی می-توانند به‌راحتی توسعه یابند و DPSIR را می‌توان به‌عنوان یک ابزار تحلیلی برای سیاست‌گذاری در زمینه مدیریت پایدار اکوسیستم‌های تالاب در ایران به‌کار برد. Ma (2019) چگونگی استفاده از مدل DPSIR برای ارزیابی محیط زیست حساس تالابی براساس اطلاعات آنتروپی را توضیح داد. Malekmohammadi and Jahanishakib (2017) از مدل DPSIR برای ارزیابی آسیب‌پذیری خدمات اکوسیستم تالاب و توصیف سنجه‌های تهدید با توجه به اهمیت، شدت و احتمال وقوع استفاده کردند. آن‌ها برای به‌دست آوردن مقادیر سه سنجه مورد استفاده در تحقیق خود از روش تصمیم‌گیری چند معیاره [۴] و برای اولویت‌بندی تهدیدها از نظر متخصصان استفاده کردند. نتایج نشان داد نیاز آبی زمین‌های پست و سیستم انتقال آب از مهمترین عامل‌های تهدید تالاب می‌باشد در همین

راستا از DPSIR برای تعیین یک استراتژی مدیریتی برای کاهش آسیب‌پذیری خدمات اکوسیستمی در پاسخ به نیرومحرکه‌ها، فشارها، وضعیت‌ها و اثرهای نشان داده شده توسط مدل استفاده کردند. Zacharias *et al*. (2008) در تحقیق خود مدل DPSIR را برای تالاب‌های موقت مدیترانه در سطح ملی و محلی مقایسه کردند. هدف از این مطالعه، توسعه مدیریت راهبردی برای حفاظت و احیای تالاب‌های موقت اروپا و یونان بود. بر اساس نتایج از نیرو محرکه‌های کشاورزی، دامداری و توریسم استفاده کردند. Pullanikkatil *et al*. (2016) در تحقیق خود برای ارزیابی تغییر کاربری زمین‌ها در حوزه رودخانه Likangala از روش سنجش از دور برای به‌دست آوردن تغییرات کاربری از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ و از رویکرد DPSIR برای توضیح پیچیدگی چنین تغییراتی استفاده کردند. نتایج سنجش از دور نشان داد کاربری‌های جنگل و بوته‌زار، کاهش و منطقه‌های کشاورزی و شهری افزایش داشته‌اند. عامل‌های اصلی تغییر در این حوضه، تقاضا برای زمین‌های کشاورزی با افزایش جمعیت است. فشارهای شناسایی شده شامل گسترش زمین‌های کشاورزی، مصالح ساختمانی، گیاهان دارویی، تولید چوب و زباله است. تأثیرها شامل کاهش دادن خدمات اکوسیستم، بیماری‌های ناشی از آب و از بین رفتن تنوع زیستی از طریق از بین رفتن زیستگاه‌های ناشی از کاربری زمین‌ها و تغییر پوشش زمین است. پاسخ‌های پیشنهادی این تحقیق شامل کاهش جنگل‌زدایی، اجرای بافرها در کنار رودخانه‌ها، مدیریت پسماند برای بهبود کیفیت آب، بهبود فاضلاب، دادن آموزش‌های اجتماعی به جوامع بوده است. Lin *et al*. (2007) از مدل DPSIR و داده‌های جمع آوری شده از تالاب‌های ساحلی در Xiamen چین، تغییرهای زمانی در ساختار اکوسیستم تالاب‌های ساحلی منطقه‌ای و عملکرد آن را از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند، نتایج نشان می‌دهد که با فعالیت‌های انسانی به‌عنوان نیرو محرکه، تخریب تالاب‌های ساحلی در این منطقه از سال ۱۹۵۰ به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است و این با کاهش عملکرد تالاب‌های ساحلی در همان زمان ارتباط دارد. نوآوری این مطالعه، تلفیق مدل DPSIR با داده‌های سنجش از دور است. هدف این تحقیق، بررسی روند تغییرات تالاب انزلی از طریق بررسی تغییرات زمانی، شناسایی وضعیت تالاب و استفاده از چارچوب مفهومی DPSIR برای بررسی مشکل‌ها و دادن راهکارهای مناسب برای حفاظت از سیمای سرزمین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

تالاب انزلی در فهرست رامسر قرار داشته و منطقه ثبت شده آن در این فهرست شامل تمام تالاب انزلی، تالاب سیاه کشیم، منطقه حفاظت شده سلکه و دیگر آب‌بندان‌های متعدد محدودهٔ تالاب است و در موقعیت جغرافیایی '25 °37 تا '30 °37 عرض شمالی و '25 °49 تا '30 °49 طول شرقی قرار دارد (شکل۱). تالاب انزلی یکی از ۲۴ تالاب بین المللی ایران است که محدوده بلافصل این تالاب براساس گزارش‌های موجود ۱۹۳۰۰ هکتار است. این تالاب از شمال به دریای خزر، از جنوب به صومعه سرا، از شرق به پیربازار و از غرب به کپورچال و آبکنار محدود است. بخش غربی تالاب انزلی که از نوع لاگون می‌باشد، پهنه آبی وسیعی است و عمیق‌ترین بخش تالاب در محدوده این بخش قرار دارد. سیاه کشیم، قدیمی‌ترین منطقه حفاظت شده در مجموعه تالاب انزلی است که امروزه به جز چند پهنه آبی و رودخانه‌های جاری در آن، بقیه سطح آن از گیاهان آبزی بن در آب بویژه نی[5] پوشیده شده است (Ashoori and Abdos, 2012). تالاب انزلی جزء تالاب‌های طبیعی و آب شیرین کشور بوده و دارای ۱۱ رود اصلی و ۳۰ رود فرعی است که پس از آبیاری مزرعه‌ها و شالیزارها به‌همراه جریان‌های سطحی حوزه آبریز تالاب به آن وارد می‌شوند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Location of the study area

داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

به‌منظور تهیه نقشه کاربری زمین‌ها از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM به تاریخ ۱۹۹۴/۶/۶، لندست ۵ سنجنده TM به تاریخ ۲۰۰۸/۶/۱۲ و لندست ۸ سنجنده OLI به تاریخ ۲۰۱۸/۶/۲۴، اخذ شده از پایگاه The United States Geological Survey (USGS) استفاده شده است. در انتخاب تصاویر، فصل اوج رویش پوشش گیاهی، نبود ابر و یکسان بودن ماه برداشت و نبود گپ در تصاویر هر سه سال، مورد توجه قرار گرفت، همچنین از تصاویر ماهواره سنتینل و Google earth به‌عنوان داده کمکی استفاده شده است. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل ENVI5.3، ArcMap10.3 و Idrisi می‌باشند.

تصحیح‌های هندسی و اتمسفری

پس از تهیه تصویرها با استفاده از مرز محدوده بلافصل تالاب، هر سه تصویر در نرم‌افزار ENVI برش داده شدند. سپس در مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، به‌عنوان مرحله تصحیح و بهینه‌سازی اطلاعات سعی شد تا خطای احتمالی سامانمند و غیر سامانمند موجود در تصاویر، تصحیح شود. با وجود اینکه قبل از رسیدن تصاویر ماهواره لندست به‌دست کاربران تصحیح هندسی و اتمسفری لازم توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا بر تصاویر اعمال می‌شود (Pishdad Soleymanabad *et al.*, 2016). در این تحقیق، برای کنترل تصحیح هندسی از ۱۸ نقطه کنترل در سطح منطقه از سامانه Google Earth استفاده شد و سپس تصویر سال ۲۰۱۸ به‌عنوان مبنا قرار گرفت و دو تصویر دیگر به روش تصویر به تصویر با تصویر مبنا در نرم افزار ENVI مورد مطابقت قرار گرفتند. برای از بین بردن اثرهای جذب و پراکندگی تابش توسط ذرات جوی (Omidipour *et al.*, 2014) از تصحیح اتمسفری QUICK استفاده گردید.

طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصویر فرآیند اختصاص پیکسل‌ها به کلاس‌های مختلف است و به‌طور معمول هر پیکسل به‌عنوان یک واحد جداگانه متشکل از مقادیر موجود در چندین باند طیفی رفتار می‌کند (Pullanikkatil *et al.*, 2016). در این تحقیق، از طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال در محیط نرم افزار ENVI5.1 استفاده گردید.

براساس آشنایی اولیه با منطقه، مطالعه چشمی تصویر، نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت نشده، استفاده از تصاویر Google Earth، استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل و بازدید میدانی مشخص شد که پنج نوع پوشش شامل طبقه پیکره آبی، زمین تالابی، کشاورزی، گیاهان تالابی و مرتع در منطقه قابل جداسازی هستند. برای

شناسایی و تفکیک پوشش گیاهی از سنجه پوشش گیاهی[۶] استفاده گردید، این سنجه، بیشترین حساسیت را به تغییرهای پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرهای جوی و زمینه‌ی خاک (به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد)، حساسیت کمتری دارد. برای برآورد سنجه پوشش گیاهی از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تصاویر لندست استفاده شده است. برای تفکیک پوشش آب مخزن تالاب از زمین‌های تالابی و مرطوب از سنجه آب[۷] برای هر سه تصویر استفاده گردید. همچنین برای شناخت بهتر عوارض و پدیده‌های مختلف زمینی از تصاویر رنگی کاذب[۸] ۵۴۳ برای لندست ۸ و ۴۳۲ برای لندست ۵ استفاده شد.

برای کاربری‌های موجود در منطقه با استفاده از بازدید میدانی، دستگاه موقعیت یاب جهانی، تصاویر Google Earth و تصاویر ماهواره سنتینل، نمونه‌های تعلیمی برای هر کاربری تهیه، و به دو دسته تقسیم شد: یک دسته جهت استفاده در طبقه‌بندی و دسته دوم جهت بررسی صحت طبقه‌بندی به‌کار رفت که برای طبقه‌بندی از ۷۰٪ و برای ارزیابی صحت از ۳۰٪ نمونه‌های تعلیمی استفاده گردید (Omidipour *et al*., 2014).

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای اطمینان از طبقه‌بندی، دقت طبقه‌بندی ارزیابی می‌شود. در این تحقیق، از دو سنجه ضریب کاپا[۹] و صحت کلی[۱۰] استفاده شد. صحت کلی عبارت است از نسبت پیکسل‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Rasouli, 2008).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \qquad (۱)$$

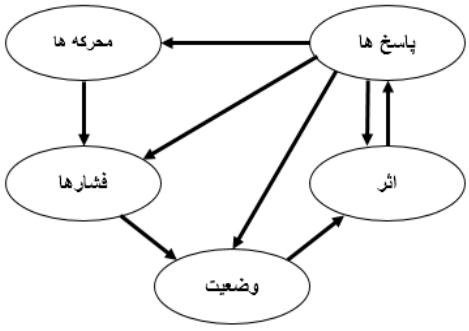
در این رابطه، OA دقت کل، N معرف تعداد کل پیکسل‌های آموزشی و SP جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست. در کارهای اجرایی اغلب از سنجه کاپا که پیکسل های نادرست طبقه بندی شده را مورد توجه قرار می دهد استفاده می شود و این از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Bonyad and Hajighaderi, 2007).

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، Po درستی مشاهده شده و Pc توافق مورد انتظار است. حالت ایده‌آل برای مقدار ضریب کاپا عدد یک است و چنانچه این مقدار برابر صفر باشد، طبقه-بندی کاملا تصادفی و اگر مقدار منفی به‌دست بیاید، نشان‌دهنده خطا در طبقه‌بندی است. سپس فیلتر حداکثر[۱۱] برای به‌دست آوردن تصویر یکنواخت و حذف پیکسل های پراکنده روی تصویرهای حاصل از طبقه‌بندی اعمال شد.

مدل DPSIR

در این تحقیق به‌منظور نشان تصویری در مورد نیروهای محرکه ایجاد تغییر در عملکرد تالاب انزلی از مدل DPSIR کمک گرفته شده است. ابزار ارزیابی و برنامه‌ریزی DPSIR شامل محرک‌ها، فشارها، وضعیت، اثرها و پاسخ‌ها به‌عنوان رویکرد جامع در شناسایی روابط کلیدی بین جامعه و محیط زیست به‌منظور پشتیبانی از مدیران در اخذ تصمیم‌های اجرایی است. مدل DPSIR در شکل (۲)، نشان داده شده است.



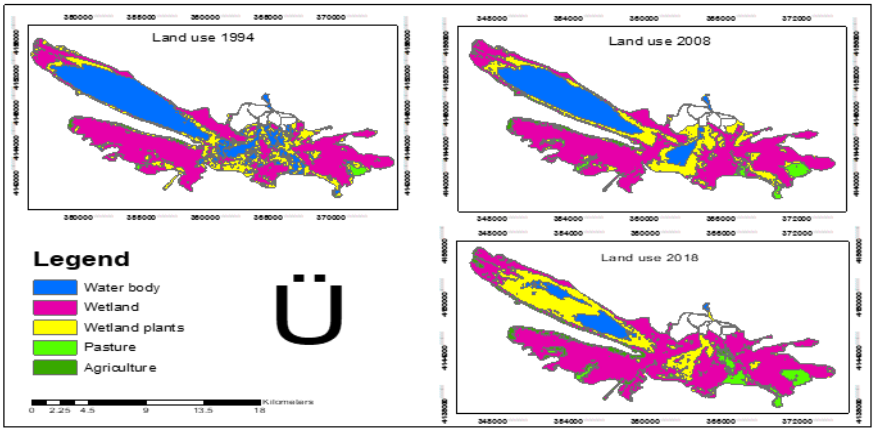
شکل ۲- مدل DPSIR (Smeets and Weterings, 1999)
Fig. 2- DPSIR model (Smeets and Weterings, 1999)

نتایج و بحث

تهیه نقشه پوشش زمین‌ها و تغییرات مساحت تغییر کاربری

به‌منظور بررسی روند تغییرهای کاربری پس از انجام

دادن پیش‌پردازش، تصاویر سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ طبقه‌بندی، و نقشه‌های پوشش و کاربری منطقه آماده شد (شکل۳). نتایج نشان داد که پیکره آبی با ۷/۶۳ درصد کاهش مساحت دارای بیشترین تغییرها در بازه زمانی اول است. و پس آن زمین‌های تالابی در رتبه دوم قرار دارد که از ۴۸/۳۸ درصد در سال ۱۹۹۴ به ۵۲/۲۲ درصد در سال ۲۰۰۸ افزایش یافته است. طی دوره دوم نیز پیکره آبی دارای بیشترین تغییرها می‌باشد که به میزان ۱۴/۱۹ درصد کاهش یافته است و سپس زمین‌های تالابی با افزایش ۷/۰۸ درصد بیشترین تغییرها را پس از پیکره آبی داشته است. در دوره ۲۴ ساله بیشترین تغییرها مربوط به پیکره آبی که به مقدار ۲۱/۸۲ درصد کاهش سطح داشته است و بعد از آن زمین‌های تالابی به‌میزان ۱۰/۹۲ درصد افزایش سطح در جایگاه دوم قرار دارد (جدول۱).



شکل ۳- نقشه‌های کاربری زمین‌ها در منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸

Fig. 3- Land use maps of the study area in 1994, 2008, and 2018

جدول ۱- مساحت کاربری‌ها از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸

Table 1. Land use areas from 1994 to 2018

1994-2018	2008-2018	1994-2008	2018		2008		1994		طبقات کاربری زمین‌ها Land use classes
درصد تغییرات Percentage of changes	درصد تغییرات Percentage of changes	درصد تغییرات Percentage of changes	مساحت(درصد) Area (Percentage)	مساحت(هکتار) Area (ha)	مساحت(درصد) Area (Percentage)	مساحت(هکتار) Area (ha)	مساحت(درصد) Area (Percentage)	مساحت(هکتار) Area (ha)	
-21.82	-14.19	-7.63	6.13	1042	20.32	3453	27.95	4749	پیکره آبی Water body
+10.92	+7.08	+3.84	59.30	10077	52.22	8873	48.38	8221	زمین تالابی Wetland
+0.78	+0.56	+0.22	22.38	3803	21.82	3709	21.6	3673	گیاهان تالابی Wetland plants
+4.48	+2.69	+1.79	5.49	934	2.80	477	1.01	173	مرتع Pasture
+5.66	+3.87	+1.79	6.68	1135	2.81	479	1.02	175	کشاورزی Agriculture

ارزیابی صحت

نقشه‌های طبقه‌بندی شده منطقه، مورد ارزیابی صحت قرار گرفت که نتایج ارزیابی این نقشه‌ها نشان می‌دهد صحت کلی برای سال ۲۰۱۸، ۹۶/۳۱، سال ۲۰۰۸، ۹۴/۱۴و برای سال ۱۹۹۴، ۹۰/۲۹ درصد و ضریب کاپا به‌ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۲ و ۰/۸۷ است که مبین همخوانی نقشه تولید شده با واقعیت زمینی است.

DPSIR

در این تحقیق با استفاده از سنجش از دور تغییرات ایجاد شده در سیمای سرزمین تالاب انزلی در طول ۲۴

سال بررسی شد و وضعیت موجود مشخص گردید برای یافتن دلیل این تغییرات و بیان راهکار برای بهبود وضعیت موجود از مدل تجزیه و تحلیلی DPSIR استفاده شد. با استفاده از چارچوب مفهومی DPSIR متغیرهای اصلی تغییر سیمای محدوده بلافصل تالاب انزلی شناسایی شده و روابط علت و معلولی بین آن‌ها تعیین شد (جدول۲).

جدول ۲- چارچوب DPSIR حوزه بلافصل تالاب انزلی

Table 2. DPSIR framework of Anzali Wetland connected domain

نیرومحرکه‌ها Driving forces	فشارها Pressures	وضعیت States	اثرات Impacts	پاسخ‌ها Responses
- رشد جمعیت Population growth - صنایع Industry - گردشگری Tourism	- برداشت بی‌رویه از منابع برای امرار معاش Improper extraction of resources for livelihood - صید و شکار غیرمجاز Illegal fishing and hunting - تولید زباله و فاضلاب بیشتر More waste and sewage production -تغییر کاربری زمین‌ها Land use change -توسعه مزرعه‌ها و باغ‌ها پیرامون تالاب Development of farms and gardens around the lagoon -تولید و تخلیه فاضلاب‌های صنعتی Production and discharge of industrial wastewater -تراکم گردشگران Tourist density - رشد پراکنده و ساخت و ساز اماکن سیاحتی بدون زیرساخت و دفع بهداشتی فاضلاب Scattered growth and construction of tourist places without infrastructure and sanitary disposal of sewage - افزایش تقاضا برای غذا، آب و خدمات Increased demand for food, water, and services - ریختن زباله توسط گردشگران Waste dumping by tourists	- افزایش سطح زیر کشت Increase the area under cultivation - کاهش کیفیت آب Decreased water quality - کاهش زمین‌های تالابی Reduction of wetlands - کاهش زیستگاه و افزایش پتانسیل سیلاب Reduce habitat and increase flood potential - تغییرات کاربری زمین‌ها Land use change - افزایش ورود پساب‌های صنعتی به تالاب و رسوب- گذاری Increasing the entry of industrial effluents into wetlands and sedimentation -افزایش کشاورزی برای پاسخ به نیازهای تغذیه‌ای Increase agriculture to meet nutritional needs	- آلودگی رودخانه پیربازار Pollution of Pirbazar river - تغییر سیمای سرزمین تالاب Changing the landscape of the wetland - تخریب زیستگاه Habitat destruction به‌دلیل: ۱. تغییر کاربری زمین‌ها Land use change ۲. افزایش برداشت آب برای کشاورزی Increased water harvesting for agriculture ۳. آتش سوزی‌های عمدی Intentional fires ۴. قطع نی زارهای داخل تالاب Cutting the reeds of the in the wetland - کاهش منابع ژنتیکی Decreased genetic resources - کاهش زیستگاه و تداوم زادآوری Habitat and continued fertility decline - کاهش خدمات اکوسیستم و تأثیر بر سلامت انسان Decreased ecosystem services and impact on human health - مرگ ماهی‌ها وجانداران آبزی به دلیل تخریب زیستگاه و آلودگی آب Death of fish and aquatic life due to habitat destruction and water pollution - کاهش تنوع زیستی Reduced biodiversity - کاهش تصفیه آب Reduced water purification - کاهش زیبایی شناختی Aesthetic reduction	- ایجاد ارتباطات و تعامل بین سازمان‌های ذی‌نفع Establish communication and interaction between beneficiary organizations - آموزش کافی و کارآمد در زمینه مدیریت و حفاظت تالاب Adequate and efficient training in wetland management and protection - مشارکت دولت و مردم Government and people partnership - افزایش آگاهی ذی نفعان و دست اندرکاران تالاب Increase the awareness of beneficiaries and employees of the wetland

نیرومحرکه‌های مهم و تأثیرگذار در این تحقیق رشد جمعیت، صنایع و گردشگری می‌باشند. جمعیت شهرستان بندر انزلی با توجه به آمار سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان در سال ۱۳۸۵، حدود ۳۸۸۴۸ خانوار و ۱۳۳۱۳۴ نفر بود که این تعداد در سال ۱۳۹۵ به حدود ۴۸۱۹۲ خانوار و ۱۳۹۰۱۵ نفر رسید. بنابر آمار، این روند افزایشی ادامه خواهد داشت. اندازه جمعیت بر کیفیت زیستگاه اثر می‌گذارد و آن را شکل می‌دهد.

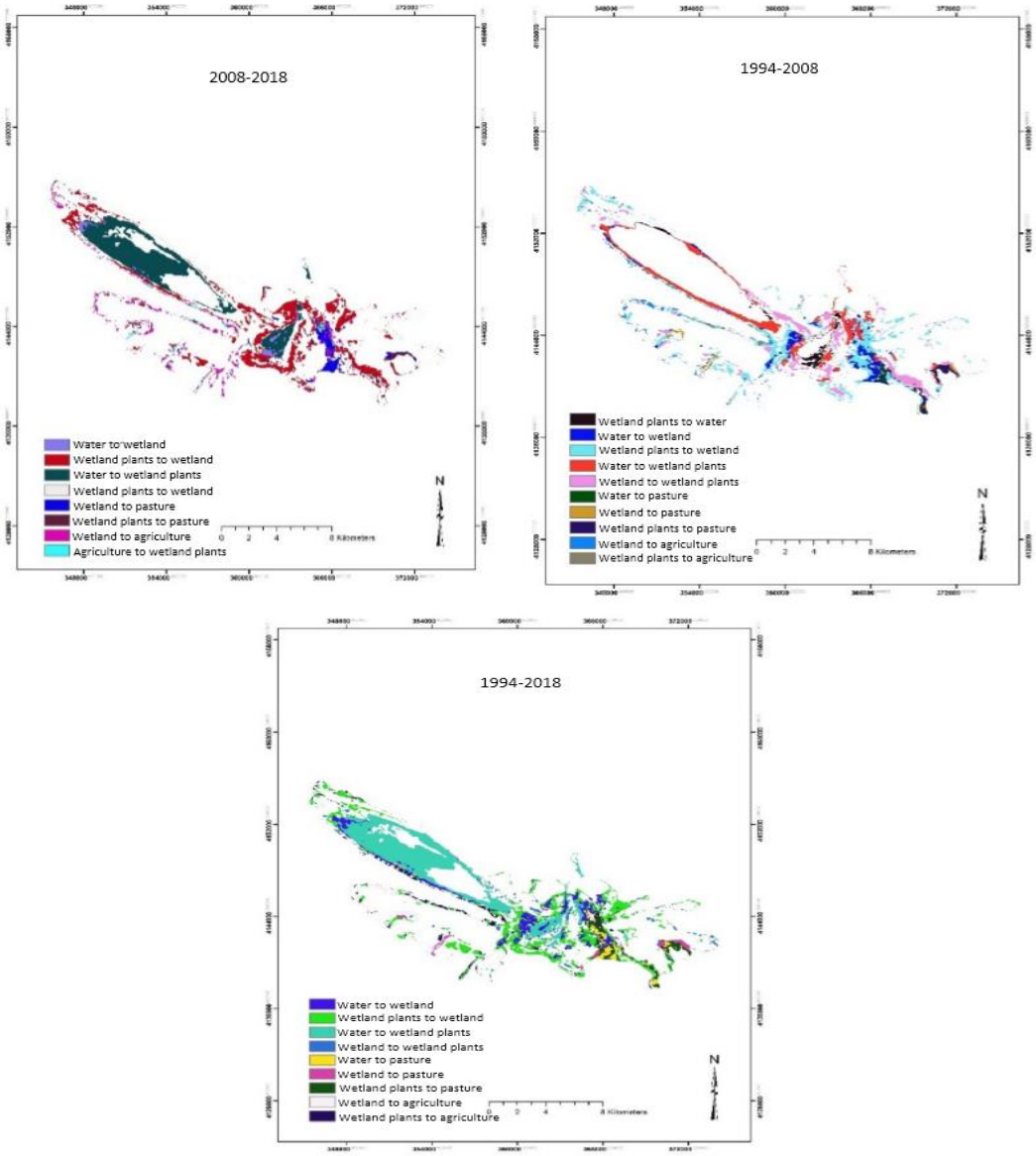
فشارهای وارد شده بر تالاب انزلی شامل تغییر کاربری، ورود پساب‌ها به تالاب و کشاورزی می‌باشد، به‌منظور بررسی روند تغییرات کاربری زمین‌ها در این تحقیق از جدول (۱) و شکل (۳) استفاده شد، بنابر نتایج به‌دست آمده در بازه زمانی ۲۴ ساله مورد مطالعه مساحت پیکره آبی از ۴۷۴۹ به ۱۰۴۲ هکتار، زمین تالابی از ۸۲۲۱ به ۱۰۰۷۷هکتار، گیاهان تالابی از ۳۶۷۳ به ۳۸۰۳ هکتار، مرتع از ۱۷۲ به ۹۳۴ هکتار و کشاورزی از ۱۷۵ به ۱۱۳۵ هکتار رسید.

نتایج بررسی نوع تغییرهای کاربری در محدوده بلافصل تالاب انزلی در بازه زمانی مورد مطالعه در جدول (۳) و شکل (۴) نمایش داده شده است. بنابر نتایج به‌دست آمده از جدول (۳) و شکل (۴)، ۴۷۴۲۰/۶۴ هکتار از مساحت کاربری‌ها در دوره اول بدون تغییر بوده‌است و بیشترین تغییر کاربری از گیاهان تالابی به زمین تالابی به میزان ۱۴۱۷/۵۹ هکتار بوده و سپس تبدیل پیکره آبی به گیاهان تالابی، زمین تالابی به گیاهان تالابی، پیکره آبی به زمین تالابی، گیاهان تالابی به پیکره آبی، زمین تالابی به کشاورزی و گیاهان تالابی به مرتع به‌ترتیب به‌مقدار ۱۰۴۵/۹۸ هکتار، ۹۰۳ /۶۹ هکتار، ۴۲۱/۹۲ هکتار، ۱۹۴/۵۸ هکتار، ۱۸۱/۴۴ هکتار و ۱۷۹/۹۱ هکتار دارای بیشترین تغییرها هستند. در بازه زمانی دوم(۲۰۰۸ - ۲۰۱۸)، ۴۴۵۶۹/۶۲ هکتار از مساحت کاربری‌ها از سال ۲۰۰۸ بدون تغییر در سال ۲۰۱۸ وجود دارد و بیشترین تغییر مربوط به تبدیل ۲۶۵۰/۵۰ هکتار از پیکره آبی به گیاهان تالابی بوده و پس از آن تغییرات کاربری زمین‌ها گیاهان تالابی به زمین تالابی، پیکره آبی به زمین تالابی، زمین تالابی به کشاورزی، گیاهان تالابی به مرتع و گیاهان تالابی به کشاورزی به‌ترتیب به‌میزان ۲۰۳۴/۹۰، ۸۰۷/۰۳، ۵۶۵/۲۰، ۳۸۵/۳۸ و ۳۶۳/۰۶ بیشترین تغییرها را به‌خود اختصاص دادند. همانطور که نتایج جدول (۳) و شکل (۴) نشان می‌دهد، طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸، ۴۶۱۹۷/۱۸ هکتار از مساحت کاربری‌ها بدون هیچ تغییری باقی مانده است و بیشترین تغییر کاربری در این بازه مربوط به تبدیل پیکره آبی به گیاهان تالابی با ۲۲۴۸/۱۱ هکتار بوده است و پس از آن تغییرات کاربری زمین‌ها گیاهان تالابی به زمین تالابی، زمین تالابی به کشاورزی، زمین تالابی به مرتع و زمین تالابی به گیاهان تالابی به‌ترتیب به‌میزان ۲۰۶۶/۵۸ هکتار، ۵۰۷/۲۴ هکتار، ۳۵۵/۶۸ هکتار و ۲۰۶/۱۹ هکتار دارای بیشترین تغییرها می‌باشند.

جدول ۳- نوع تغییرات کاربری در محدوده بلافصل تالاب انزلی در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۸، ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ و ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸

Table 3. The type of land use changes in the Anzali Wetland connected domain during 1994-2008, 2008-2018, and 1994-2018

1994-2018	2008-2018	1994-2008	نوع تغییرات کاربری User changes type	
مساحت (هکتار) Area (ha)				
44569.62	46197.18	47420.64	Unchanged	بدون تغییر
-	-	194.58	Wetland plants to Water body	گیاهان تالابی به پیکره آبی
807.03	163.35	421.92	Water body to Wetland	پیکره آبی به زمین تالابی
2034.90	2066.58	1417.59	Wetland plants to Wetland	گیاهان تالابی به زمین تالابی
2650.50	2248.11	1045.98	Water body to Wetland plants	پیکره آبی به گیاهان تالابی
263.61	206.19	903.69	Wetland to Wetland plants	زمین تالابی به گیاهان تالابی
215.82	-	68.31	Water body to Pasture	پیکره آبی به مرتع
189.81	355.68	82.71	Wetland to Pasture	زمین تالابی به مرتع
385.38	156.06	179.91	Wetland plants to Pasture	گیاهان تالابی به مرتع
565.20	507.24	181.84	Wetland to Agriculture	زمین تالابی به کشاورزی
363.06	144.54	128.16	Wetland plants to agriculture	گیاهان تالابی به کشاورزی



شکل ۴- نقشه نوع تغییرات کاربری در محدوده بلافصل تالاب انزلی بین سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۰۸، ۲۰۰۸-۲۰۱۸ و ۱۹۹۴-۲۰۱۸

Fig. 4- Map of land use changes in Anzali Wetland connected domain between 1994-2008, 2008-2018, and 1994-2018 years

وضعیت تالاب انزلی در طی دهه‌های گذشته در اثر ورود پساب‌های شهری، صنعتی و روستایی به سمت بحرانی شدن پیش رفته است. منابع اصلی آلودگی در حوزه آبخیز تالاب انزلی را می‌توان به موارد زیر تقسیم کرد:

فاضلاب‌های خانگی (سالانه ۳۰ میلیون تن)، فاضلاب‌های صنعتی (حدود ۵۰ کارخانه)، فضولات دامی، پساب‌های حاصل از آبیاری شالیزارها (۴ هزار لیتر)، ورود سایر پساب‌های حاصل از آبیاری زمین‌ها، تخریب و فرسایش جنگل‌ها و مرتع‌ها.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری‌های زمین‌ها یکی از پرکاربردترین موارد استفاده از داده‌های سنجش از دور است و از ضروری‌ترین اطلاعات مورد نیاز مدیران و متولیان منابع طبیعی، نقشه‌های کاربری زمین‌ها می‌باشد به‌همین دلیل در این تحقیق از سنجش از دور استفاده گردید. بنابر نتایج به‌دست آمده مساحت کاربری پیکره آبی در بازه زمانی اول ۷ درصد کاهش داشته و این کاهش در بازه زمانی دوم به ۱۴ درصد رسیده

که این کاهش به‌دلیل تبدیل پیکره آبی به گیاهان تالابی در اثر پدیده تغذیه گرایی می‌باشد و همچنین تبدیل به زمین‌های تالابی و مرتع در رتبه‌های بعدی قرار دارد. کلاس کانونی و با اهمیت در این تحقیق، پیکره آبی می‌باشد که مساحت آن کاهش چشمگیری داشته است. مساحت کاربری‌های زمین تالابی، گیاهان تالابی، مرتع و کشاورزی در طول دوره مورد مطالعه افزایش یافته است. روند تغییرات در ابتدا به‌صورت توالی طبیعی بوده که کاربری پیکره آبی به گیاهان تالابی و زمین‌های تالابی تبدیل شده است، سپس در اثر افزایش جمعیت، افزایش تقاضا و ضعف در مدیریت صحیح، انسان‌ها، زمین‌های تالابی حاشیه تالاب را به زمین‌های کشاورزی تبدیل کرده‌اند.

افزایش جمعیت انسانی بتدریج تقاضا برای آب، غذا و خدمات را افزایش داد و سبب فشارهایی بر تالاب شده است و به تبع آن کشاورزی در حاشیه تالاب افزایش یافت. همچنین وجود جاذبه‌هایی مانند چشم اندازهای بکر و طبیعی، گونه‌های گیاهی خاص منطقه (لاله آبی)، پرندگان (آشیانه‌های پرستوهای دریایی) و .... گردشگران زیادی را به‌خود جلب می‌کنند که از اقامتگاه‌های نزدیک به تالاب استفاده می‌کنند.

طی سال‌های اخیر پدیده تغذیه گرایی به چالشی جدی برای بسیاری از اکوسیستم‌های آبی تبدیل شده است. پدیده بیان شده در تالاب انزلی که به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های پراهمیت از ابعاد گوناگون محیط زیستی و اقتصادی مطرح است، به‌دلیل افزایش بیش ازحد بار مواد مغذی ناشی از فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و صنعتی در حوزه آبریز آن، سلامت تالاب را با خطرهای جدی روبرو ساخته است (Kimball and Kimball, 1974). نتایج این تحقیق با تحقیق Rahimi Balochi *et al*. (2016) روی تالاب شایگان، Zebardast and Jafari (2011) روی تالاب انزلی و Sokouti Oskoei and Ranaghad (2018) روی تالاب کانی برازان که با افزایش پدیده تغذیه‌گرایی به‌دلیل آلودگی ناشی از فعالیت انسانی مواجه بودند همسو می‌باشد.

گردشگران با تردد با قایق موتوری‌ها برای بازدید از این تالاب بین‌المللی سبب ایجاد سر و صدا و احساس ناامنی برای پرندگان می‌شوند این در حالی است که عامل امنیت برای پرندگان آبزی بسیار مهم می‌باشد (Hattori and Mae, 2001.) بنابر تحقیق Fathi saghezchi *et al*. (2018) گردشگری یک نیرو محرکه مهم در ایجاد تغییرات در پناهگاه تالابی حیات وحش سرخانکل می‌باشد.

با افزایش نیرومحرکه‌های نامبرده، تغییرهای کاربری در سطح سیمای سرزمین منطقه اتفاق افتاد که موجب افزایش سطح زیرکشت برنج، افزایش ورود پساب‌ها، افزایش پتانسیل سیلاب، افزایش بهره برداری از آب و کاهش آب‌های زیرزمینی در سطح محدوده بلافصل تالاب انزلی شده است که اثرهای منفی بسیاری بر سیما و زیبایی‌شناختی تالاب بهمراه داشته‌است و زیستگاه گونه‌های آبزی، پرندگان و تداوم زادآوری کاهش یافته‌است. افزایش نیرومحرکه‌ها سبب فشارهایی بر وضعیت حال حاضر تالاب انزلی شده است که در بعضی موارد اثرهای جبران ناپذیری بهمراه دارد، کاهش تعادل هیدرولوژیک (مصرف آب برای کشاورزی)، تغییر کاربری زمین‌های حفاظت شده به کشاورزی و جنگل، تخریب زیستگاه‌های آبی و تهدید امنیت زیستگاه، کاهش منابع ژنتیک، کاهش خدمات اکوسیستم و تأثیر بر سلامت انسان را به‌دنبال دارد. در این مطالعه، چارچوب DPSIR چشم انداز خاصی را در درک پویایی تعامل بین سیستم‌های انسانی و طبیعی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد تغییر کاربری از مهمترین تهدیدها در محیط‌زیست تالاب انزلی و پیرامون آن بوده است. بنابر نتایج این تحقیق جهت تصمیم‌گیری صحیح مدیریتی و برنامه‌های حفاظتی، به ترویج کشاورزی ارگانیک یا به حداقل رساندن مصرف آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی و آموزش

کشاورزها پیشنهاد می‌شود. در این راستا، مدیریت و سازماندهی پساب‌های صنعتی و خانگی و فرهنگ‌سازی بین مردم، توسعه شبکه فاضلاب، استفاده از قایق‌های پارویی بجای قایق‌های موتوری برای جلوگیری از ایجاد سر و صدا و حمایت از تشکیلات مردمی، NGOها و مردم محلی، حمایت عمومی برای حفظ مناطق حفاظت شده و همچنین موفقیت در حفاظت از اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی بسیار حیاتی است، بویژه به‌دلیل وسعت، عمق و حجم گیاهان آبزی در محدوده بخش غربی تالاب و آزاد بودن شکار پرندگان و صید ماهی با تورهای زیر آبی در این محدوده از تالاب انزلی (Ashoori and Varasteh Moradi, 2014) پیشنهاد می‌گردد بخشی از تالاب غرب که بیشتر محل فرود اردک‌ها می‌باشد، به‌عنوان پناهگاه حیات وحش در نظر گرفته شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] Driving force, Pressure, State, Impact and Response (DPSIR)
[2] United Nations Environment Programme
[3] European Environment Agency
[4] Criteria Decision Making Multiple (MCDM)
[5] *Phragmites australis*
[6] Normalized Difference Vegetation Index
[7] Modifed Normalized Difference Water Index
[8] False color composite images
[9] Kappa Coefficient
[10] Overall accuracy
[11] Majority

منابع

Ashoori, A. and Abdos, A., 2012. Important wetland habitats of Gilan aquatic birds. Publishing the Gill Inscription, Iran.

Ashoori, A. and Varasteh Moradi, H., 2014. Diversity of wintering waterfowls and waders in Anzali Wetland, Iran. Wetland Ecobiology. 6(2), 55-66. (In Persian with English abstract).

Bartlett, K.B. and Harris, R.C., 1993. Review and assessment of methane emission from wetland. Chemosphere. 26, 261–320.

Bonyad, A.A. and Hajighaderi, T., 2007. Producing natural forest maps of the Zanjan by Using ETM+ Data of Landsat 7 Satellite, science and technology of agriculture and natural resource. Water and Soil Science. 11(42), 627-638. (In Persian with English abstract).

Broadbent, E.N., Almeyda Zambrano, A.M., Dirzo, R., Durham, W.H., Driscoll, L., Gallagher, P., Salters, R., Schultz, J., Colmenares, A. and Randolph, S.G., 2012. The effect of land use change and ecotourism on biodiversity: a case study of Manuel Antonio, Costa Rica, from 1985 to 2008. Landscape Ecology. 27, 731–744.

Crozier, G.E. and Gawli, D.E., 2003. Wading bird nesting effort as an index to wetland ecosystem integrity. Waterbird. 26(3), 303–324.

EEA, 1999. Environmental Indicators: Typology and Overview. Technical Report No.25, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

Elias, J.M., Salati, E. and Salati, E., 2001. Performance of constructed wetland system for public water supply. Water Science and Technology. 44, 579–584.

Fathi saghezchi, F., Jafari, H.R., Adibi, M., Bagherzade Karimi, M. and Vafaei Manesh, R., 2018. Use of ecological services as an ecological Indicators to propose appropriate tourism type "case study: Sorkhankul wetland Wildlife Refuge". Journal of Environmental Studies. 44(2), 241-255. (In Persian with English abstract).

Hattori, A. and Mae, S., 2001. Habitat use and diversity of water birds in a coastal lagoon around Lake Biwa. Journal of Ecological Research. 16, 543-553.

Hern´andez-Romero, A.H., Tovilla-Hern´andez, C., Malo, E.A. and Bello-Mendoza, R., 2004. Water

quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico. Marine Pollution Bulletin. 48, 1130–1141.

Herold, M., Couclelis, H. and Clarke, K.C., 2005. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. Computers, Environment and Urban Systems. 29(4), 369-399.

Jones, K., Lanthier, Y., Voet, P., Valkengoed, E., Taylor, D. and Fernández-Prieto, D., 2009. Monitoring and assessment of wetlands using Earth Observation: The GlobWetland project. Journal of Environmental Management. 90, 2154–2169.

Kimball, K. and Kimball, S., 1974. The Limnology of the Anzali Mordab, Iran: A Study of Eutrophication Problems. Technical report: Human Environment Division, Iranian Department of the Environment. Iran.

Kohsaka, R., 2010. Developing biodiversity indicators for cities: applying the DPSIR model to Nagoya and integrating social and ecological aspects. Ecological Research. 25(5), 925- 936.

Lambin, E.F. and Geist, H., 2006. Land-use and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts. Springer, Germany.

Lin, T., Xue, X.Z. and Lu, C.Y., 2007. Analysis of coastal wetland changes using the "DPSIR" Model: a case study in Xiamen, China. Coastal Management. 35, 289-303.

Lundin, M., 2002. Indicators for measuring the sustainability of urban water systems: a life cycle approach. Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden.

Ma, S.H., 2019. The evaluation method of wetland ecological environment sensitivity based on information entropy. Ekoloji. 28(108), 1399-1405.

Malekmohammadi, B. and Jahanishakib, F., 2017. Vulnerability assessment of wetland landscape ecosystem services using driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) model. Ecological Indicators. 82, 293–303.

Mousazadeh, R., Ghaffarzadeh, H.R., Nouri, J., Gharagozlou, A. and Farahpour, M., 2015. Land use change detection and impact assessment in Anzali international coastal wetland using multi-temporal satellite images. Environmental Monitoring and Assessment. 187(12), 776.

Omidipour, R., Moradi, H.R. and Arekhi, S., 2014. Comparison of pixel-based and object-oriented classification methods in land use mapping using satellite data. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS. 5(3), 99-110. (In Persian with English abstract).

Pishdad Soleymanabad, L., Najafi nezhad, A., Sadaddin, A., Chapi, K. and Mohammadi Kangarani, H., 2016. Evaluation of degradation dynamics of Zeribar wetland using multi-temporal satellite image. Wetland Ecobiology. 8(1), 5-20. (In Persian with English abstract).

Pirrone, N., Trombino, G., Cinnirella, S., Algieri, A., Bendoricchio, G. and Palmeri, L., 2005. The Driver Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. Regional Environmental Change. 5, 111–137.

Pullanikkatil, D., Palamuleni, L. and Ruhiiga, T., 2016. Assessment of land use change in Likangala River catchment, Malawi: a remote sensing and DPSIR approach. Applied Geography. 71, 9-23.

Rahimi Balochi, L., Ghorbani, S. and Salehi, S., 2016. Application of environmental risk assessment in the sustainability of marine protected areas (case study: Nayband Marine National Park). Journal of Environmental Studies. 42(3), 565-582. (In Persian with English abstract).

Rasouli, A., 2008. The Basics of Applied Remote Sensing with Emphasis on Satellite Image Processing. University of Tabriz Publications, Tabriz, Iran.

Renetzeder, C., Schindler, S. and Peterseil, J., 2010. Can we measure ecological sustainability landscape pattern as an indicator for naturalness and land use intensity at regional, national and European level. Ecological Indicator. 10, 39–48.

Saadati, S., Motevallian, S.S., Rheinheimer, D.E. and Najafi, H., 2013. Indicators for sustainable management of wetland ecosystems using a DPSIR approach: a case study in Iran. In proceeding of: 6th International Perspective on Water Resources and the Environment conference,7th-9th January, At Izmir, Turkey.

Scheren, P., Kroeze, C., Janssen, F., Hordijk, L. and Ptasinski, K., 2004. Integrated water pollution assessment of the Ebrié lagoon, Ivory Coast, West Africa. Journal of Marine Systems. 44(1), 1-17.

Schuyt, K.D., 2005. Economic consequences of wetland degradation for local populations in Africa. Ecological Economics. 53, 177–190.

Smeets, E. and Weterings, R., 1999. Environmental Indicators: Typology and Overview. Technical report No. 25. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

Sokouti Oskoei, R. and Ranaghad, H., 2018. Study of factors affecting ectrophication in Kani-Brazan wetland, West Azarbaijan. Wetland Ecobiology.10(2), 5-14. (In Persian with English abstract).

Song, X. and Frostell, B., 2012. The DPSIR framework and a pressure-oriented water quality monitoring approach to ecological river restoration. Water. 4(3), 670-682.

UNEP, 2007. Global Environment Outlook GEO-4: Environment for Development. United Nations Environment Programme, Nairobi. Available online at: https://www.unenvironment.org/resources/year-books.

Whigham, D.F., 1999. Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment. The Science of Total Environment. 240, 31–40.

Wong, Y., Tam, N. and Lan, C., 1997. Mangrove wetland as wastewater treatment facility: a field trial. Hydrobiologia. 352, 49–59.

Wu, J. and Wu, T., 2012. Sustainability Indicators and Indices, Handbook of Sustainable Management. Imperial College Press, London.

Xiao, D., 1998. Ecological principles of landscape classification and assessment. The journal of Applied Ecology. 9(2), 217-221.

Zacharias, I., Parasidoy, A., Bergmeier, E., Kehayias, G., Dimitriou, E. and Dimopoulos, P., 2008. A "DPSIR" model for mediterranean temporary ponds: European, national and local scale comparisons. In Annales de Limnologie-International Journal of Limnology. 44, 253–266.

Zebardast, L. and Jafari, H., 2011. Use of remote sensing in monitoring the trend of changes of Anzali wetland in Iran and proposing environmental management solution. Journal of Environmental Studies. 37(57), 1-8. (In Persian with English abstract).

Zhou, L., 1993. The Trend, Potential and Management of Resource in China. Beijing Press, Beijing., China.

Environmental Sciences Vol.18 / No.4 / Winter 2021

125-140

Investigating the trends of land coverage in Anzali Wetland area using remote sensing techniques and DPSIR conceptual framework

Mahsa Abdoli[1], Mohammad Panahandeh[2*]

[1] Department of Natural Environment, Environmental Research Institute, University Jihad of Gilan Province, Rasht, Iran

[2] Department of Waste Process, Environmental Research Institute, University Jihad of Gilan Province, Rasht, Iran

Received: 2020.04.09 Accepted: 2020.06.10

Abdoli, M. and Panahandeh, M., 2021. Investigating the trends of land coverage in Anzali Wetland area using remote sensing techniques and DPSIR conceptual framework. Environmental Sciences. 18(4): 125-140.

Introduction: Over the past few decades, human activities had a significant impact on coastal wetlands around the world. Anzali Wetland is one of the 18 Iranian wetlands of international importance listed in the Ramsar Convention. This unique ecosystem with high ecological diversity is highly threatened by various factors such as pollutants, sedimentation, unauthorized development of urban infrastructure, over-harvesting of wetland resources, land-use changes, and invasive species. The aim of this study was to investigate the trend of changes in Anzali Wetland by examining time changes, identifying the condition of the wetland, and using the DPSIR conceptual framework to study problems and provide appropriate solutions to protect the landscape.

Material and methods: Landsat 5 and 8 TM and OLI sensors for 1994, 2008, and 2018 were used. The land cover maps for these years were prepared in five categories i.e. the water body, wetland, wetland plants, pasture, and agricultural land using the supervised classification with maximum likelihood algorithm in ENVI5.3 software. Changes were identified to assess the current status of the wetland. Then, the conceptual framework of DPSIR was used to determine the relationship between human activities and environmental activities and to describe environmental problems.

Results and discussion: According to the results of the first period (1994-2008), the water body had the highest area change with a 7.63% decrease, in which the wetland plants class had the most influential part, with 1045.98 hectares of water body converted into wetland plants. The wetland body was the second with 3.84 percent changes. During the second period (2008-2018), the water body had again the highest area change in this

[*] Corresponding Author: *Email Address*. Panahandeh@acecr.ac.ir
http://doi.org.10.52547/envs.18.4.125

period, with a 14.19% decrease. Over the entire study period from 1994 to 2018, the water body decreased from 4749 hectares in 1994 to 1042 hectares in 2018, with the largest conversion to wetland plants. The area of the wetland, wetland plants, pasture, and agricultural land uses increased by 10.92%, 0.78%, 4.48%, and 5.66%, respectively. The results of maps accuracy assessment showed that the overall accuracy for the years 2018, 2008, and 1994 were 96.31, 94.14, and 90.29%, respectively, and kappa coefficients were 0.94, 0.92, and 0.87, respectively. Also, the driving forces in this research were population growth, industry, and tourism.

Conclusion: Analysis of temporal changes in Anzali Wetland indicated an increase in wetland area, wetland plants, pastures, agriculture and a decrease in water bodies, which is the focal and important class in this study, so the main habitat of birds and fish is being destroyed. The changes that happened for 24 years (1994-2018) have changed the trend of Anzali Wetland from a natural sequence to a human one. The driving forces of population growth, agriculture, and industry led to land use changes, overuse of water resources, and the entry of agricultural and industrial effluents into Anzali Wetland, which poses serious risks to the health of the wetland. According to these results, in order to protect this international wetland, public participation, education, and culture-building are needed at the regional level.

Keywords: Anzali Wetland, DPSIR approach, Remote sensing, Landsat satellite.