

ارزیابی روند تغییرات بوم‌شناختی تالاب شادگان با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷)

کیان حاجیان^۱، امید بیرقدار کشکولی^{۱*}، نصرالله محبوبی صوفیانی^۱ و سعید پورمنافی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۲)

چکیده

امروزه خطر نابودی و تخریب تالاب‌ها به یکی از مهم‌ترین بحران‌های محیط‌زیستی در جهان تبدیل شده است. از این‌رو پایش پیوسته و طولانی‌مدت روند تغییرات بوم‌شناختی تالاب‌ها می‌تواند نقش کلیدی در حفاظت و مدیریت اصولی آنها داشته باشد. در مطالعه حاضر روند تغییرات ماهانه برخی شاخص‌های بوم‌شناختی محیط آبی تالاب شادگان شامل WST، NDVI، MVWR، VWR، LSWI، MNDWI و غلظت کروئیل-a طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تحلیل روند و بزرگی شیب روند به ترتیب از آزمون‌های من-کندال و شیب سن استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد حجم آب موجود در تالاب در طی دوره مطالعه دارای روند افزایشی معنادار بوده است، درحالی‌که پوشش گیاهی تالاب در این دوره روند کاهشی و معناداری داشته است ($p < 0/05$). همچنین نتایج نشان داد که تاریخ احتمالی شروع تغییر روند برای چهار شاخص NDVI، MVWR، MNDWI و LSWI اکتبر ۲۰۱۲ است که تقریباً هم‌زمان با توسعه برخی صنایع پرورش ماهی در بالادست این تالاب است. علاوه بر این در بازه زمانی مطالعه، بین شاخص‌های پوشش گیاهی با شاخص‌های آبی، همبستگی قوی معکوس (به‌طور میانگین به مقدار حدود $-0/86$) مشاهده شد. به‌طور خلاصه نتایج پژوهش حاضر شواهدی از یک توالی معکوس و شرایط بحرانی را در تالاب شادگان نشان داد. تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور و برخی روش‌های آماری مورد استفاده در این مطالعه و در نهایت، تهیه سری زمانی کامل و پیوسته از شاخص‌های مدنظر، می‌تواند برای شناخت بهتر پویایی بوم‌سازگان تالاب شادگان، و ارزیابی، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات وضعیت بوم‌شناختی این تالاب مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تالاب شادگان، تغییرات اکولوژیک، سنجنده مودیس، کروئیل

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: omid.beyraghdar@iut.ac.ir

مقدمه

تالاب‌ها با اینکه تنها ۶ درصد از سطح کره زمین را پوشانده‌اند، از ارزشمندترین و پرتولیدترین اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند و دارای انواع کارکردهای بوم‌شناختی، محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی هستند. متأسفانه در سال‌های اخیر به دلایل مختلفی مانند تغییرات اقلیمی، کمبود آب و تعارضات انسانی بی‌شمار، این اکوسیستم‌های حیاتی با خطرات جدی مواجه شده‌اند (۱۴). از این رو ارزیابی سلامت تالاب‌ها به وسیله پایش مداوم و مطالعه تغییرات آنها در طول زمان یکی از نیازهای ضروری در مدیریت و حفاظت از این اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌آید. روش‌های مختلفی برای پایش تالاب‌ها وجود دارد. استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از ابزارهای مناسب به‌منظور آشکارسازی تغییرات شاخص‌های اکولوژیک در اکوسیستم‌های تالابی به صورت پیوسته است (۱، ۷ و ۱۵). استفاده موفقیت‌آمیز از تکنیک سنجش از دور در مطالعات مربوط به پایش اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه تالاب‌ها در سراسر دنیا پیشینه طولانی داشته (۲) و در کشور ما نیز در سال‌های اخیر مطالعات موفقیت‌آمیزی با این رویکرد انجام شده است.

در زمینه پایش تغییرات و ارزیابی سلامت اکوسیستم‌های آبی، تصاویر و داده‌های ماهواره‌های لندست و مودیس جزء پرکاربردترین منابع اطلاعاتی سنجش از دور هستند (۷، ۱۱ و ۱۵). ارسنجان‌جی جوکار و همکاران (۴) از تصاویر ماهواره لندست طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۳ برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در محدوده تالاب بختگان استفاده کرده و بیان کردند که این تالاب در سال‌های اخیر ۴۲ درصد از وسعت خود را از دست داده است. یو و هو (۲۰) با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس، برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی مانند شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI = Normalized Difference Vegetation Index)، شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده (EVI = Enhanced Vegetation Index) و شاخص جلبک شناور (FAI = Floating Algae Index) را به منظور ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی تالاب ملی هونگزه چین

مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد به‌طور کلی شاخص FAI نسبت به دو شاخص دیگر از عملکرد بهتری برخوردار است و چرخه‌های فصلی پوشش گیاهی در طول زمان را به خوبی نشان می‌دهد. قرشی و همکاران (۱۲) نیز به کمک تصاویر سنجنده مودیس، شاخص‌های دمای سطح زمین (LST = Land Surface Temperature) و NDVI، شرایط پوشش گیاهی و دمایی شهر و تالاب گمیشان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از این بود که در تمام مواقع، شرایط بوم‌شناختی سطحی در شهر گمیشان بسیار بدتر از محیط تالاب گمیشان بوده است.

بیات و همکاران (۵) تأثیر ریزگردها را بر تغییرات پوشش گیاهی تالاب شادگان با استفاده از تصاویر مودیس در دو مقطع زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که سطح پوشش گیاهی این تالاب در سال ۲۰۱۱ در مقایسه با سال ۲۰۰۰، به میزان ۷/۳۶ درصد کاهش یافته است. علاوه بر این نتایج آنان نشان داد که با افزایش طوفان‌های گردوغبار بعد از سال ۲۰۰۲، بین مجموع غلظت سالیانه ریزگردها و شاخص NDVI در این دوره، یک ارتباط معکوس با ضریب همبستگی بالا (۰/۸۵) وجود داشته است. همچنین در پژوهشی دیگر صادقی‌راد و همکاران (۱۶) با استفاده از تصاویر لندست ۸ و ۷، شاخص NDVI را در تالاب شادگان بررسی کردند. نتایج نشان داد در سال ۲۰۰۰ سطح پوشش گیاهی خوب بوده (۷/۲۸ درصد)، این میزان در سال ۲۰۰۲ به بیش از این مقدار رسیده و تا سال ۲۰۱۰ با میانگین ۵/۸۷ درصد وجود داشته است، در حالی که از سال ۲۰۱۰ به‌مرور این شاخص کاهش یافته و در سال ۲۰۱۵ به ۱/۷۳ درصد رسیده است. این در حالی است که بررسی شاخص ارزیابی ریسک آسیب‌پذیری آلودگی منابع آب WRASTIC (Wastewater (W), Recreational activities (R), Agricultural activities (A), Size of the watershed (S), Transportation avenues (T), Industrial activities (I), and Cover of vegetation (C) نشان داد که نرخ افزایش سریع پوشش گیاهی در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۱۰، بیانگر افزایش آلودگی آب، افزایش پدیده

پایپی و همچنین توسعه صنایع و دخالت‌های انسانی، این بخش حذف شده یا به‌شدت کاهش پیدا کرده و تنها از طریق پساب‌های مجتمع پرورش ماهی آزادگان و پساب نیشکر آب-گیری می‌شود. ورود و پخش این آب در محیط تالاب، تنوع‌زیستی آن را به‌شدت تهدید می‌کند (۶). بخش جنوبی تالاب نیز شامل منطقه جزرومدی و خوریات بوده که توسط امواج جزرومدی خلیج فارس به‌صورت دوره‌ای آب‌گیری می‌شود (۶). این تالاب به‌سبب وسعت زیاد، غنای گونه‌های گیاهی و جانوری و همچنین نقش مهمی که در تنظیم و تعدیل میکروکلیمای منطقه (حرارت و رطوبت)، کنترل سیل، طوفان و گردوغبار ایفا می‌کند از ارزشمندترین تالاب‌های کشور به‌شمار می‌آید که البته در سالیان اخیر به‌سبب شرایط اقلیمی نامطلوب و تعارضات انسانی، کارکردهای ذاتی آن با اختلالات جدی مواجه شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و محدوده این تالاب را نشان می‌دهد.

اطلاعات تصاویر سنجنش از دور

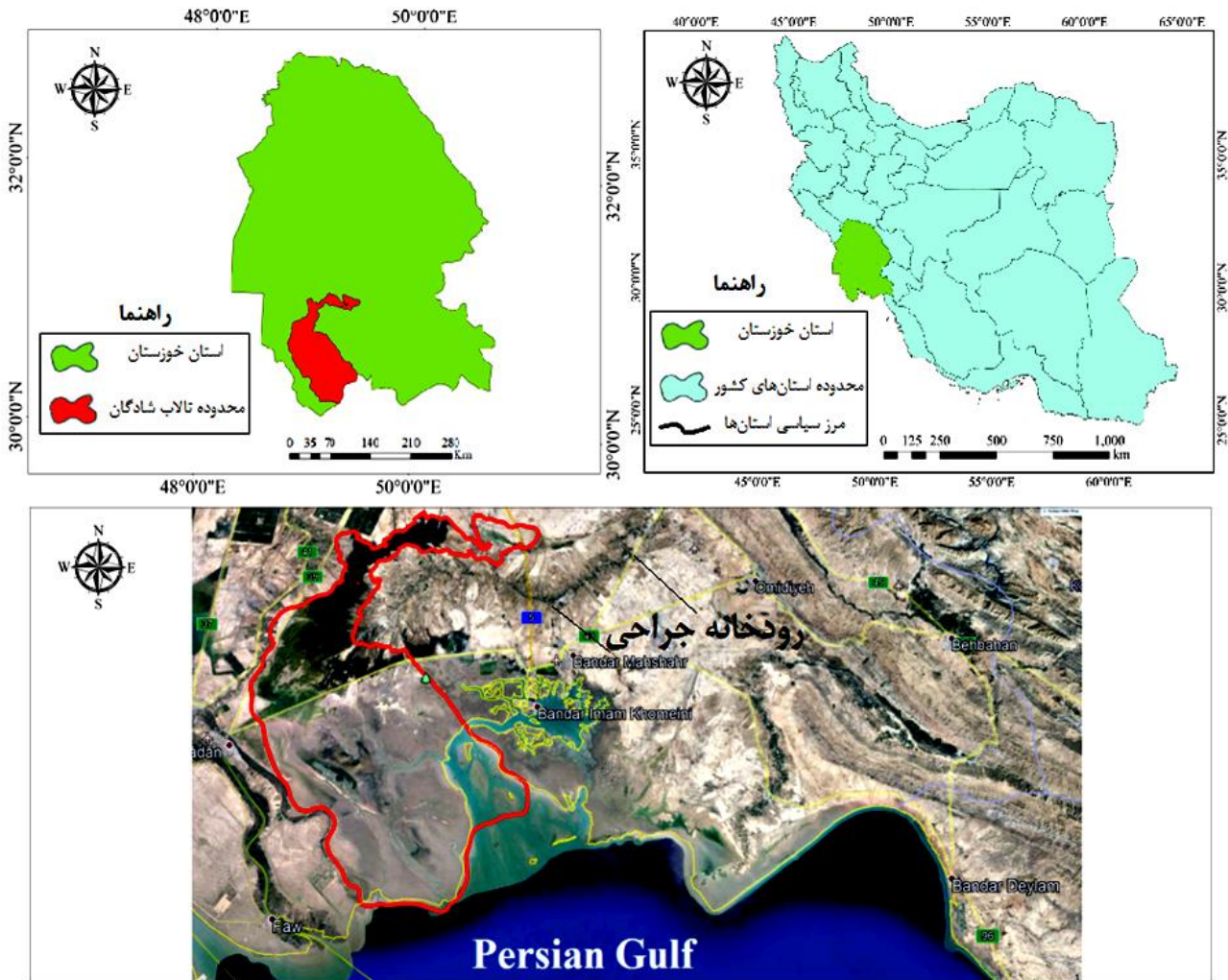
در مطالعه حاضر به‌منظور پایش شرایط بوم‌شناختی تالاب شادگان از سال ۲۰۱۷-۲۰۰۳ از تصاویر سطح سه سنجنده مودیس شامل MOD09A1 با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری در دوره‌های هشت‌روزه، دمای سطح زمین (LST = The Land Surface Temperature)، MOD11A2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متری در دوره‌های هشت‌روزه و همچنین تصاویر مودیس کلروفیل - a (Level 2 OC) با قدرت تفکیک مکانی چهار کیلومتر (در هر ماه یک تصویر) استفاده شده است. قابل ذکر است در مطالعه حاضر به تفکیک از تعداد ۷۰۵ تصویر مودیس ترا MOD09A1، ۷۰۵ تصویر مودیس ترا MOD11A2 و ۱۸۰ تصویر مودیس آکوا Level 2 OC استفاده شد که در مجموع ۱۵۹۰ تصویر مودیس را شامل می‌شود. محصولات سطح سه سنجنده مودیس (MOD09A1 و MOD11A2) ضمن داشتن تصحیحات هندسی، سینوسی و رادیومتریک به‌دلایل متعددی مانند کرویت زمین، چرخش زمین، تغییر در ارتفاع ماهواره و اختلاف در

یوتریفیکاسیون و تخریب این تالاب بین‌المللی است (۱۳). در مطالعه حاضر روند تغییرات ماهانه برخی از مهم‌ترین شاخص‌های بوم‌شناختی محیط آبی تالاب شادگان در طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۳ با استفاده از تکنیک سنجنش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس مورد ارزیابی قرار گرفته است. تاکنون مطالعات بوم‌شناختی بسیاری بر روی تالاب شادگان انجام شده، اما هیچ‌کدام از این مطالعات به‌صورت چندجانبه، ماهانه، پیوسته و طولانی‌مدت نبوده تا بتوان یک دورنمای مناسب از وضعیت بوم‌شناختی گذشته تالاب متصور شد. مطالعه حاضر اولین نمونه از مطالعات بوم‌شناختی با این نوع رویکرد به‌شمار می‌آید. همچنین مرور منابع مربوط به مطالعات بوم‌شناختی تالاب شادگان نشان می‌دهد برخی شاخص‌ها در مطالعه حاضر احتمالاً برای اولین بار برای تالاب شادگان محاسبه و گزارش شده که از آن‌جمله می‌توان به شاخص بهبودیافته اختلاف آبی نرمال-شده (Modified MNDWI = Normalized Difference Water Index)، شاخص آب سطحی (LSWI = Land Surface Water Index)، شاخص نسبت گیاه و آب (VWR = Vegetation-Water Ratio Index) و شاخص بهبودیافته نسبت گیاه و آب (Modified Vegetation - Water Ratio Index) اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

تالاب بین‌المللی شادگان در جنوب‌غربی استان خوزستان بین ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه تا ۳۱ درجه عرض شمالی، در پایین‌دست حوضه آبریز رودخانه جراحی واقع شده است. تالاب شادگان به‌عنوان وسیع‌ترین تالاب ساحلی خلیج فارس در جنوب‌غربی کشور تلقی می‌شود و دارای دو بخش شمالی و جنوبی است که عمده منبع تأمین آب در بخش شمالی شامل آب شیرین رودخانه جراحی و گاهی سیلاب رودخانه‌های کارون، کوپال و مالح است. البته در سالیان اخیر به‌دلایل مختلف از جمله خشکسالی‌های



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تالاب شادگان و رودخانه جراحی به‌عنوان منبع اصلی آب شیرین آن (رنگی در نسخه الکترونیکی)

تصویر در هر ماه در طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۳ ذخیره شد. در نهایت، مقدار عددی میانگین کلیه شاخص‌ها در هر ماه به صورت سری زمانی ایجاد شده و مورد بررسی قرار گرفت. در مورد شاخص غلظت کلروفیل-a نیز یک تصویر مودیس آکوا (Level 2 OC) با کیفیت بالا برای هر ماه تهیه شد و در نرم‌افزار R Studio با استفاده از مختصات جغرافیایی تالاب شادگان، اعداد مربوط به پیکسل‌های محیط آبی تالاب در هر ماه میانگین گرفته شد و به عنوان غلظت کلروفیل-a برای کل تالاب گزارش شد. غلظت کلروفیل-a یکی از شاخص‌های بیولوژیک در اکوسیستم‌های آبی است که واحد اندازه‌گیری آن، میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد.

زاویه تصویربرداری سنجنده نسبت به عمود، دارای اعوجاجاتی بود که برای رفع این اعوجاجات، تمام تصاویر با استفاده از افزونه MCTK نصب‌شده بر روی نرم‌افزار ENVI مجدداً تصحیح هندسی شدند.

تصاویر تصحیح‌شده با فرمت tiff ذخیره شده و سپس در محیط نرم‌افزار R Studio، به وسیله بسته‌های محاسباتی RSraster و RStoolbox و همچنین با استفاده از روابط تعریف‌شده، شاخص‌های NDVI، Water Surface، WST = Temperature، MNDWI، LSWI، VWR، MVWR و غلظت کلروفیل-a اعمال شد (جدول ۱). در گام بعد، از هر ۴ تصویر در ماه میانگین گرفته شد و به ازای هر شاخص، یک

جدول ۱. شاخص‌های سنجش از دور (۲) به کار گرفته شده در پژوهش حاضر

نام شاخص	نام اختصاری	ضابطه	ویژگی
شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی	NDVI	$\frac{B_{NIR} - B_{Red}}{B_{NIR} + B_{Red}}$	ارزیابی اوتریفیکاسیون (غنی شدن آب) و تا حدودی وضعیت شیمیایی تالاب (۱ و ۱۹)
شاخص تصحیح شده نرمال تفاضلی آب	MNDWI	$\frac{B_{Green} - B_{SWIR}}{B_{Green} + B_{SWIR}}$	مشخص کردن ویژگی‌های آب سطحی و تخمین مقدار آب در اکوسیستم؛ تفکیک آب از خاک، زمین مرطوب و پوشش گیاهی (۱۸)
شاخص آب سطح زمین	LSWI	$\frac{B_{NIR} - B_{SWIR}}{B_{NIR} + B_{SWIR}}$	آشکارسازی مراحل جایگزینی پوشش گیاهی در اکوسیستم
شاخص نسبت پوشش گیاهی-آب	VWR	$\frac{\sum NDVI}{\sum LSWI}$	بیانگر وضعیت فیزیکی تالاب (۲)
نسبت اصلاح شده پوشش گیاهی-آب	MVWR	$LN\left(\frac{NDVI+1}{MNDWI+1}\right)$	بیانگر وضعیت فیزیکی تالاب؛ قابلیت پیش‌بینی گذار بحرانی در اکوسیستم‌های تالابی (۲)

B_{NIR} ، B_{Red} ، B_{Green} ، B_{SWIR} به ترتیب باند نزدیک به مادون قرمز، باند قرمز، باند سبز و باند طول موج کوتاه مادون قرمز می‌باشند.

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

اندازه‌گیری‌های این شاخص به وسیله تکنیک‌های سنجش از دور در محدوده باندهای آبی تا سبز صورت می‌گیرد و محدوده طیفی ۴۴۰-۵۷۰ نانومتر (nm) را پوشش می‌دهد. در جدول ۱ به مشخصات شاخص‌های مورد مطالعه اشاره شده است.

$$\text{Var}(S) = \left\{ n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)((2t_j+5)) \right\} / 18 \quad (۳)$$

تحلیل روند

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

پس از استخراج اطلاعات و محاسبه سری‌های زمانی شاخص‌های سنجش از دوری مورد مطالعه، به منظور بررسی و شناخت نوع تغییرات ویژگی‌های مختلف تالاب، از آزمون ناپارامتریک روند من-کندال (Mann-Kendall) استفاده شد (۱۰). فرض صفر این آزمون به معنی عدم وجود روند در داده‌ها است. به طور کلی، آزمون روند من-کندال به صورت زیر قابل-محاسبه است (۱۰).

که در آن p بیانگر تعداد گروه‌های دارای مشاهدات تکراری در بین داده‌ها، و t_j نشان‌دهنده تعداد مشاهدات تکراری در j امین گروه است. چنانچه مقادیر قدر مطلق آماره Z از ۱/۹۶ و ۲/۵۷ تجاوز کند فرض صفر آزمون به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد رد خواهد شد. بزرگی یا شیب روند تغییرات برای یک متغیر

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (۱)$$

که در آن، O_t و E_t به ترتیب فراوانی مشاهده شده داده‌ها و فراوانی قابل انتظار داده‌ها از توزیع نرمال است. آماره χ^2 با توجه به درجه آزادی داده‌ها، با جدول مربع کای مقایسه خواهد شد.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (11)$$

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (12)$$

که در روابط فوق ρ و r به ترتیب ضرایب همبستگی اسپیرمن و پیرسون، d_i اختلاف بین رتبه‌های هر زوج مشاهده، x و y به-ترتیب داده‌های متغیر اول و دوم و n تعداد زوج مشاهدات است.

نتایج و بحث

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد تمرکز پژوهش حاضر بر پایش ماهانه برخی شاخص‌های اکوسیستمی تالاب شادگان با استفاده از اطلاعات سنجش از دور در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۳ بوده است. در شکل ۲ تغییرات سری زمانی شاخص WST که بیانگر دمای سطحی آب تالاب است به‌عنوان یک شاخص اقلیمی مؤثر بر فرایندهای اکوسیستم‌های آبی نشان داده شده است. علاوه بر این، در شکل ۲ نمودارهای سری زمانی هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه همراه با نقطه احتمالی آغاز روند یا شکست ساختاری آنها نمایش داده شده است. همچنین اطلاعات مربوط به معنی‌داری، جهت و بزرگی روند (شیب روند) هر یک از شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. در شکل ۳ نیز تغییرات ماهانه این شاخص و سایر شاخص‌های سنجش از دوری که بیانگر سلامت و شرایط اکوسیستم هستند به‌صورت نمودارهای جعبه‌ای نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد یک روند افزایش جزئی در سری زمانی شاخص دمای سطح آب وجود دارد، هرچند این روند از نظر آزمون من-کندال معنی‌دار شناخته نشد (جدول ۲). از سوی دیگر نمودارهای جعبه‌ای مربوط به این شاخص نشان

توسط آماره شیب سن (Sen's Slope) قابل بیان خواهد بود (۱۷) (رابطه ۵).

$$SS = \text{Median} \left[\frac{(Y_i - Y_j)}{(i - j)} \right] \quad \forall j < i \quad (5)$$

که در آن SS شیب روند، و Y_i و Y_j به ترتیب مشاهده‌های i ام و j ام متغیر مورد نظر هستند به شرطی که i بزرگتر از j باشد (۱۷). همچنین به منظور پیدا کردن زمان احتمالی شروع تغییرات داده‌ها (روند یا شکست ساختاری) از آزمون همگنی نرمال استاندارد (Standard Normal Homogeneity) استفاده شد. روابط ۶ تا ۹ محاسبات مربوط به این آزمون را نشان می‌دهند (۹). پیشینه T_k ها بیانگر محل آغاز تغییرات است. مقدار p -value برای ارزیابی معناداری نتیجه این آزمون از شبیه‌سازی به روش مونت-کارلو برآورد می‌شود (۹). کلیه محاسبات مربوط به آزمون‌های روند در این پژوهش به کمک نرم‌افزار R و بسته محاسباتی trend انجام شد.

$$T_k = kz_1^2 + (n-k)z_2^2 \quad (1 \leq k \leq n) \quad (6)$$

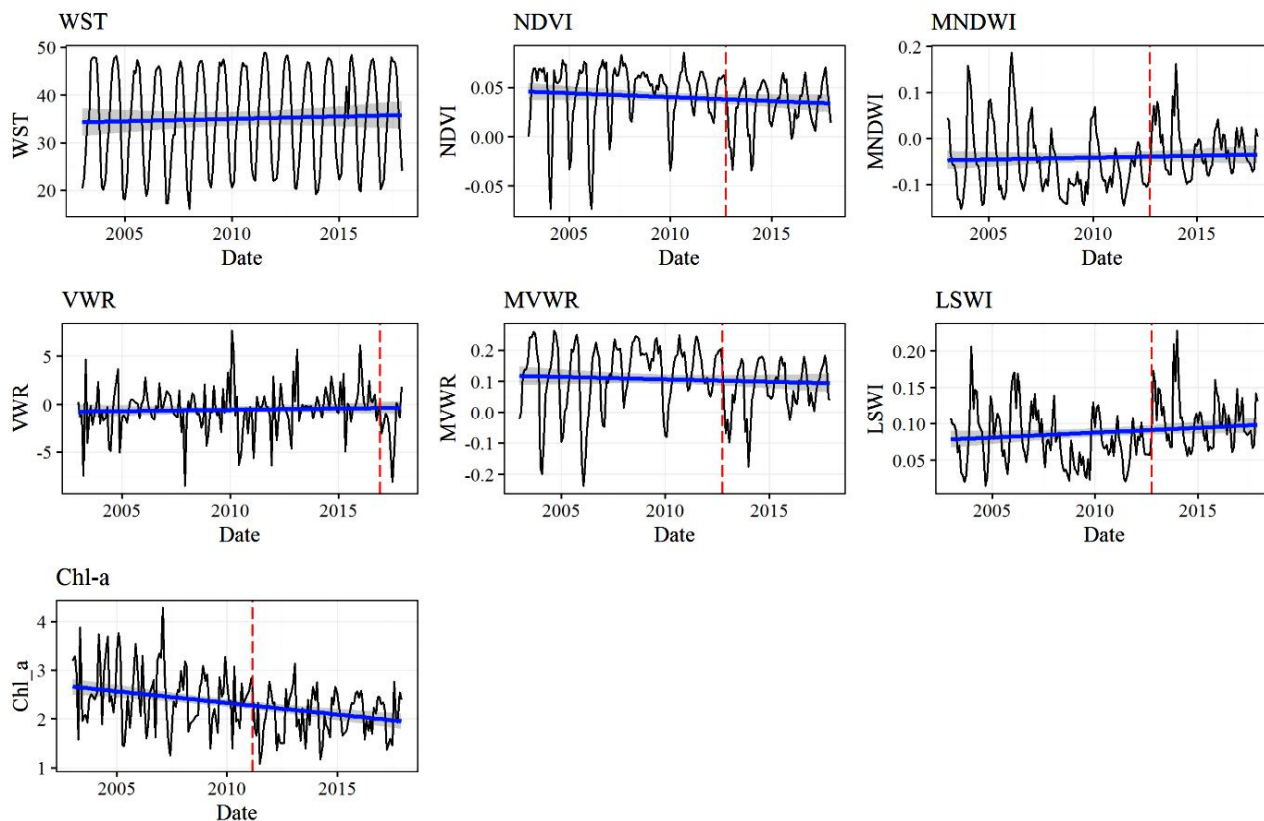
$$z_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (7)$$

$$z_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (8)$$

$$T = \max T_k \quad (9)$$

علاوه بر این، به منظور بررسی میزان و شدت ارتباط خطی بین شاخص‌های بوم‌شناختی مورد مطالعه از آزمون سنجش نرمال-بودن مربع کای (χ^2) و ضریب همبستگی بین شاخص‌ها استفاده شد. فرض صفر برای آزمون مربع کای مبنی بر نرمال بودن داده‌هاست (رابطه ۱۰) و چنانچه این فرض رد شود آماره مناسب برای برآورد میزان همبستگی بین متغیرها، ضریب همبستگی اسپیرمن (رابطه ۱۱) به جای ضریب همبستگی پیرسون (رابطه ۱۲) خواهد بود (۲۱).

$$\chi^2 = \sum_{t=1}^m \frac{(O_t - E_t)^2}{E_t} \quad (10)$$



شکل ۲. سری‌های زمانی ماهانه شاخص‌های مورد ارزیابی در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷. خطوط قرمز رنگ منقطع، محل احتمالی آغاز روند یا شکست ساختاری سری مورد نظر را نشان می‌دهد. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

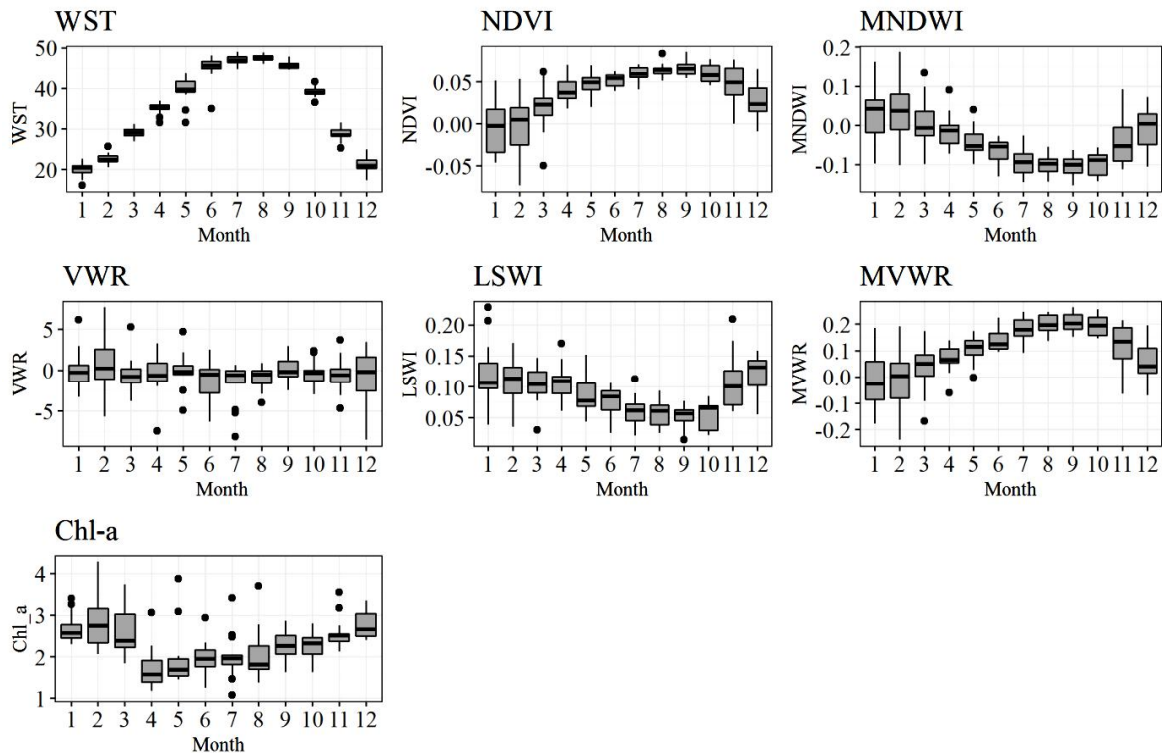
جدول ۲. نتایج آزمون‌های روند برای شاخص‌های مورد مطالعه در تالاب شادگان

شاخص	آماره Z من-کنندال	مقدار p-value برای آماره Z	نوع روند	نقطه آغاز تغییرات (شکست ساختاری یا روند)	مقدار p-value برای نقطه آغاز تغییرات	شیب روند (ماهانه)
NDVI	-۴/۱۶**	۰/۰۰	کاهشی	۲۰۱۲ اکتبر	۰/۰۴	-۰/۰۰۰۱**
MNDWI	۲/۱۸*	۰/۰۳	افزایشی	۲۰۱۲ اکتبر	۰/۰۳	۰/۰۰۰۲*
WST	۰/۶۴	۰/۵۲	فاقد روند	-----	۰/۶۲	۰/۰۰۶۳
VWR	۰/۹۷	۰/۳۳	فاقد روند	-----	۰/۲۰	۰/۰۰۲۵
LSWI	۲/۱۲*	۰/۰۳	افزایشی	۲۰۱۲ اکتبر	۰/۰۰	۰/۰۰۰۱*
MVWR	-۲/۴۲*	۰/۰۲	کاهشی	۲۰۱۲ اکتبر	۰/۰۲	-۰/۰۰۰۳*
Chl_a	-۴/۱۶**	۰/۰۰	کاهشی	۲۰۱۱ مارس	۰/۰۰	-۰/۰۰۳۶**

* و ** به ترتیب معنادار در سطح پنج و یک درصد

کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. همچنین نقطه آغاز تغییرات روند شاخص NDVI از ماه اکتبر سال ۲۰۱۱ بوده است. بیشترین مقدار این شاخص در ماه سپتامبر سال ۲۰۱۰ (۰/۰۹) و

می‌دهد که فصل گرم در منطقه با حداقل دمای حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد از ماه می شروع شده و تا ماه اکتبر ادامه می‌یابد. روند تغییرات شاخص NDVI در طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۳



شکل ۳. نمودار جعبه‌ای مربوط به تغییرات ماهانه شاخص‌های مورد مطالعه (ماه‌های میلادی)

LSWI برای تالاب شادگان بین ۰/۰۱ (سپتامبر ۲۰۰۴) تا ۰/۲۳ (ژانویه ۲۰۱۴) می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص VWR برای تالاب بین‌المللی شادگان بین ۷/۶۳ تا ۸/۵۱- است. بررسی مقادیر این شاخص نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص در فوریه سال ۲۰۱۰ (۷/۶۳) و کمترین مقدار آن در دسامبر سال ۲۰۰۷ (۸/۵۱-) به ثبت رسیده است. روند تغییرات شاخص MVWR برای تالاب شادگان در فاصله سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۳ افزایش معنی‌داری داشته و نقطه آغاز تغییر روند این شاخص، ماه اکتبر سال ۲۰۱۱ بوده است. دامنه تغییرات این متغیر بین ۰/۲۶ (سپتامبر ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴) تا ۰/۲۴- (فوریه ۲۰۰۶) می‌باشد.

به‌طور خلاصه نتایج نشان می‌دهد در فصل‌های گرم (می تا سپتامبر) مقادیر شاخص‌های NDVI و MVWR که بیانگر زی‌توده‌های گیاهی هستند، افزایش می‌یابد اما بیشترین مقدار این دو شاخص مربوط به ماه سپتامبر است (درست در زمانی که شاخص WST شروع به کاهش می‌کند). علت این موضوع،

کمترین مقدار آن در ماه فوریه سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ (۰/۰۷-) مشاهده شده است.

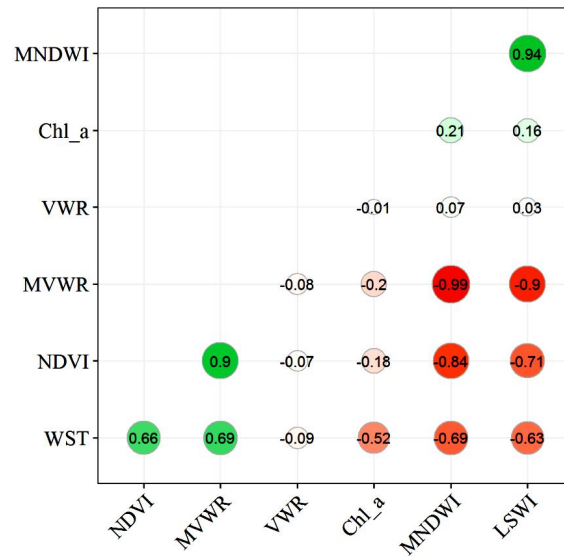
تغییرات دمای سطح آب تالاب از یک الگوی فصلی تکرارشونده برخوردار است. آزمون من-کندال نیز روند تغییرات معنی‌داری را در خصوص این شاخص در سال‌های مختلف نشان نمی‌دهد. کمترین دمای سطح آب تالاب به مقدار ۱۶/۰۵ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ و بیشترین مقدار آن به میزان ۴۸/۸۷ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای سال ۲۰۱۱ به ثبت رسیده است. با توجه به شکل ۲ بیشترین مقدار شاخص MNDWI در فوریه سال ۲۰۰۶ (۰/۱۹) و کمترین مقدار آن در سپتامبر سال ۲۰۰۳ و همچنین جولای سال ۲۰۱۱ مشاهده می‌شود. این شاخص در ماه‌های سرد سال مقادیر بیشتر و در ماه‌های گرم مقادیر کمتری را به خود اختصاص می‌دهد. تغییرات شاخص LSWI در طی سال‌های مورد مطالعه افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد و نقطه آغاز تغییر روند برای این شاخص، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۶ است. دامنه تغییرات شاخص

یک روند کاهشی معنادار است، درحالی‌که برای شاخص‌های WST و VWR روند معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور خلاصه نتایج نشان می‌دهد که مقدار شاخص‌های NDVI و MVWR که بیانگر شرایط پوشش گیاهی تالاب هستند به‌ترتیب با شیب $-0/0012$ و $-0/0036$ در سال رو به کاهش هستند، درحالی‌که شاخص‌های کمیت آب تالاب به‌طور میانگین به‌میزان حدود $0/0018$ در سال در حال افزایش است. این درحالی است که نقطه احتمالی شکست ساختاری یا آغاز روند برای هر چهار شاخص مورد نظر، اکتبر سال ۲۰۱۲ است. به‌عبارت‌دیگر بعد از این تاریخ، حجم آب موجود در تالاب به‌صورت قابل‌توجهی افزایش پیدا کرده، درحالی‌که زی‌توده‌های گیاهی آن به‌شدت کاهش یافته است. اصغری پوده و همکاران (۴) نیز نشان دادند که اگرچه در سال ۲۰۱۷ حدود ۴۸ هکتار به وسعت منطقه آبی تالاب اضافه شده اما این آب به‌دلیل ورود پساب صنایع نیشکر بوده که شوری آب در بخش شمالی تالاب را افزایش داده و اکوسیستم به‌سمت آب لب‌شور تغییر پیدا کرده و همین امر باعث شده که گونه‌هایی که تا حدودی آب شور و لب‌شور را ترجیح می‌دهند جایگزین گونه‌های آب شیرین و بومی تالاب شوند. این عامل لطمه سنگینی به تنوع‌زیستی تالاب به‌عنوان نمونه، به جامعه گیاهی *Typha scirpus* که در سرتاسر قسمت آب شیرین تالاب وجود دارد- وارد کرده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات شاخص تصحیح‌شده نرمال تفاضلی آب (MNDWI) در طی بازه زمانی مورد مطالعه افزایش معنی‌داری داشته است (شکل ۲ و جدول ۲). همان‌گونه که سری زمانی تغییرات شاخص MNDWI نشان می‌دهد در این شاخص در طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ سطح آب تالاب بسیار کم است که علت آن می‌تواند کاهش چشمگیر میزان بارندگی منطقه در سال مذکور باشد (۸).

علاوه بر این، بررسی منابع نشان داد که تاریخ برآوردشده برای شروع تغییرات معنی‌دار شاخص‌های فوق که جزء شاخص‌های اصلی برای ارزیابی سلامت اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند تقریباً هم‌زمان با شروع فاز دوم پروژه مجتمع

وجود گرمای بسیار شدید در ماه‌های ژوئن تا آگوست است که رشد زی‌توده‌های گیاهی را محدود می‌کند. از سوی دیگر در طی فصل گرم به‌علت کمبود یا فقدان کامل بارش و دمای زیاد، نه‌تنها منابع آب ورودی به تالاب محدود می‌شوند بلکه میزان تبخیر و تعرق از محیط تالاب نیز به‌شدت افزایش می‌یابد. همچنین شاخص‌های LSWI و MNDWI که بیانگر میزان آب در اکوسیستم هستند در این دوره به‌صورت چشمگیری کاهش می‌یابند. در ارتباط با شاخص غلظت کلروفیل-a، نتایج نشان داد این شاخص در ماه آوریل در کمترین میزان خود قرار دارد و به‌تدریج تا ماه دسامبر روند افزایشی داشته است (شکل ۳). همچنین نتایج نشان می‌دهد که تغییرات شاخص VWR در طول سال نسبتاً ثابت بوده و فاقد یک رفتار فصلی است. همچنین بر اساس نتایج آزمون نرمال‌بودن مربع کای (χ^2) مشخص شد که به‌جز سری LSWI سایر شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. از این‌رو در شکل ۴ ماتریس ضرایب همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌ها نشان داده شده که بیانگر نوع و شدت ارتباط بین شاخص‌هاست. همان‌طور که مشخص است یک همبستگی زیاد و معکوس (به‌طور میانگین حدود $-0/86$) بین شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI و MVWR) با شاخص‌های آبی (MNDWI و LSWI) وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که کمترین مقدار همبستگی مربوط به همبستگی شاخص‌های غلظت کلروفیل-a و VWR با سایر شاخص‌هاست. به‌طور کلی به‌جز ضریب همبستگی بین شاخص غلظت کلروفیل-a و شاخص دمای سطحی که $0/52$ است، میزان همبستگی این دو شاخص با سایر شاخص‌ها کمتر از $0/21$ است (شکل ۴).

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، دو شاخص MNDWI و LSWI به‌ترتیب با آماره‌های روند $2/18$ و $2/12$ دارای روند افزایشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و دو شاخص NDVI و MVWR به‌ترتیب با آماره‌های روند $4/16$ و $2/42$ - دارای روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بودند. همچنین شاخص غلظت کلروفیل-a نیز دارای



شکل ۴. ماتریس ضرایب همبستگی (اسپیرمن) بین شاخص‌های مورد مطالعه در تالاب شادگان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

رفتن این زیستگاه و تنوع زیستی در آن باشد. شاخص NDVI به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی سطح تروفی و مشخص‌کننده وضعیت شیمیایی تالاب شادگان در این مطالعه در طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۳ کاهش معنی‌داری را نشان داد. از عوامل کاهش این شاخص در طی سال‌های مورد مطالعه می‌توان به خشکسالی‌های اخیر و اثرات جانبی آن، کاهش متوسط بارندگی، گردوغبار (به‌عنوان یکی از بحران‌های محیط-زیستی در استان خوزستان) و تعارضات انسانی مانند افزایش زهکشی‌ها و همچنین تغییرات کاربری اراضی تالاب اشاره نمود (۵ و ۱۶).

صادقی‌راد و همکاران (۱۶) در مطالعه‌ای با استفاده از ماهواره ترا و سنجنده مودیس، شاخص NDVI را در تالاب شادگان بررسی کردند که نتایج آنها نیز نشان داده که این شاخص در طی بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۰ رو به کاهش بوده است. نتایج آنها نشان داد که در سال ۲۰۰۰، سطح پوشش گیاهی خوب ۷/۲۸ درصد بوده و تا سال ۲۰۱۰ نیز این میزان ۵/۸۷ درصد بوده است اما به‌مرور از سال ۲۰۱۰ سطح پوشش گیاهی خوب کاهش یافته و در سال ۲۰۱۵ به ۱/۷ درصد رسیده است. نتایج بیات و همکاران (۵) نیز نشان‌دهنده کاهش ۷/۳۶ درصدی سطح پوشش گیاهی تالاب شادگان در بازه زمانی

پرورش ماهی آزادگان است که از سال ۱۳۹۲ در بالادست تالاب شروع شده است. درخصوص کاهش شاخص‌های NDVI و MVWR در تالاب شادگان نیز دلایل متفاوتی تاکنون بیان شده است. برای نمونه جعفری آذر و همکاران (۸) خشکسالی‌های پیاپی و برداشت بی‌رویه از پوشش گیاهی تالاب را دلیل اصلی کاهش پوشش گیاهی شادگان می‌دانند. از سوی دیگر اصغری پوده و همکاران (۴) افزایش شوری آب و خاک منطقه به‌سبب ورود پساب‌های صنعتی به محیط تالاب را از دلایل دیگر این امر برشمرده‌اند. نتایج بیات و همکاران (۵) نیز نشان‌دهنده کاهش ۷/۳۶ درصدی سطح پوشش گیاهی تالاب شادگان در طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۰ بوده که دلیل آن را افزایش حجم و فراوانی وقایع گردوغبار در منطقه از سال ۲۰۰۲ به بعد دانسته‌اند. در هر صورت هرچند نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در تالاب شادگان نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی این تالاب در حال توسعه است، اما از آنجاکه شوری آب تالاب در حال افزایش است این امر یک پدیده مثبت برای این تالاب تلقی نخواهد شد و در آینده باید انتظار افزایش اراضی شوره‌زار را در محدوده تالاب داشت (۴). از سوی دیگر روند کاهش شاخص‌های اکوبیولوژیک مانند NDVI، MVWR و غلظت کروفیل a- در محدوده این تالاب می‌تواند نشان‌دهنده ازبین-

در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۷ تا ۱۹۸۸ میلادی تالاب در وضعیت ترسالی و بهترین شرایط خود بوده، اما از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ میلادی تالاب به سمت خشک‌سالی پیش رفته است. همچنین اطلاعات آماری ایستگاه‌های هواشناسی نشان داده که در چندین سال گذشته و به‌خصوص از سال ۲۰۰۸ میلادی به بعد، میانگین دمای هوای منطقه در طول سال از ۲۶ درجه سلسیوس بیشتر شده و در ماه‌های گرم مثل تیر تا شهریور، بارش‌ها کمتر از ۲۰ میلی‌متر بوده و یا حتی هیچ بارشی رخ نداده است. در ماه‌های سرد سال نیز بارش‌ها کمتر از ۴۰ میلی‌متر بوده و در کمتر از ۱۰ روز، بارش قابل مشاهده بوده که علت آن را می‌توان گرمای هوا و خشک‌سالی در منطقه شادگان دانست (۸).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد تغییرات غلظت کلروفیل-a به‌عنوان یکی از شاخص‌های بیولوژیک محیط آبی تالاب‌ها در طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۳ در تالاب شادگان روند نزولی داشته (شکل ۳) که از دلایل کاهش روند این شاخص در سال‌های مورد مطالعه می‌توان به شوری بیش از حد آب اشاره کرد. این شوری در قسمت شمالی تالاب به‌دلیل ورود زهاب‌های صنایع نیشکر ایجاد شده است. همچنین تغییرات دمای آب، پوشش گیاهی و گردوغبار می‌تواند از جمله عوامل مؤثر بر تغییرات شاخص غلظت کلروفیل-a باشد که به‌طور جداگانه می‌تواند مورد بررسی و مطالعه جامع قرار گیرد.

با توجه به وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران از لحاظ محیط‌زیستی و اکولوژیک، اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه تالاب‌ها نقش مهمی در حفظ تنوع‌زیستی و حتی تنظیم سایر زیست‌بوم‌های خشکی دارند، اما متأسفانه به‌دلیل ضعف مدیریتی، خشک‌سالی و کاهش جریان آب، تعداد قابل توجهی از تالاب‌های ایران در سالیان اخیر تخریب شده یا آسیب دیده‌اند که تالاب شادگان هم از این موضوع مستثنی نیست. این وضعیت به کاهش تنوع‌زیستی، ذخایر ژنتیکی و اختلال در عملکرد محیط‌زیستی تالاب‌ها منجر شده که به‌نوبه خود باعث آسیب‌های اجتماعی-اقتصادی و محیط‌زیستی شده است. تلفیق

۲۰۱۱-۲۰۰۰ بوده است. همچنین با افزایش گردوغبار در منطقه از سال ۲۰۰۲ به بعد، مجموع غلظت سالیانه ریزگردها ضریب همبستگی بالایی (۰/۸۵) با شاخص NDVI داشته و به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در مطالعه آنها نام برده شده است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داده که اگرچه تغییرات شاخص NDVI در کوتاه‌مدت با تغییرات غلظت گردوغبار رابطه بسیار واضحی نداشته اما در طولانی‌مدت، غلظت گردوغبار به‌وضوح نقش کنترل‌کننده در میزان این شاخص داشته است.

دمای سطح آب یکی از پارامترهای اکولوژیک و فیزیکی محیط آبی تالاب‌ها است که از دمای هوای منطقه تأثیر می‌پذیرد. اگرچه سری زمانی دمای سطح آب تالاب تغییرات معنی‌داری نداشته است (شکل ۲)، اما بررسی الگوهای تغییرات ماهیانه این شاخص نشان داده که دمای سطح آب تالاب در فصول سرد و معتدل سال (ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و دسامبر) روندی نسبتاً صعودی داشته و این افزایش دمای سطحی آب در ماه‌های سرد سال از لحاظ بوم‌شناختی می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. علت این مسئله می‌تواند افزایش دمای هوا در فصول سرد و معتدل باشد که ممکن است به‌دلیل خشک‌سالی و کاهش بارش‌ها در سالیان اخیر باشد. افزایش دمای سطحی آب تالاب‌ها در اواخر فصل پاییز و فصول زمستان و بهار ممکن است موجودات زنده تالاب را تحت تأثیر قرار دهد. به‌عنوان مثال، تالاب شادگان هر ساله در فصول پاییز و زمستان میزبان گونه‌های بسیار زیادی از پرندگان مهاجر است که به‌منظور زمستان‌گذرانی به این تالاب مهاجرت می‌کنند و این تغییرات دمای سطح آب تالاب می‌تواند بر این موجودات نیز تأثیرگذار باشد. همچنین این شاخص بر فرایند رسیدگی جنسی و تخم‌ریزی ماهیان تالاب شادگان نیز تأثیرگذار است (۶).

نتایج مربوط به بررسی بیشترین مقدار دمای سطح آب در هر ماه نشان داد که بیشتر مقادیر بیشینه دمای سطح آب در هر ماه، از سال ۲۰۰۹ به بعد بوده که با توجه به خشک‌سالی تالاب به‌خصوص از سال ۲۰۰۸ میلادی به بعد (۸) قابل توجیه است. نتایج یک بررسی جامع از وضعیت خشک‌سالی و ترسالی تالاب شادگان در طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵ میلادی نشان داده که

مطالعه حاضر به‌عنوان دورنمایی از تغییرات گذشته تالاب شادگان، می‌تواند به‌عنوان گامی پایه‌ای در راستای دستیابی به مدیریت اکوسیستمی و ارائه راهکارهای حفاظتی در این تالاب تلقی شود.

تکنیک‌های سنجش از دور و روش‌های آماری در این مطالعه به‌منظور تهیه سری زمانی کامل و پیوسته شاخص‌های بوم-شناختی، می‌تواند برای شناخت بهتر پویایی و تغییرات تاریخی بوم‌سازگان تالاب شادگان و همچنین ارزیابی، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات این اکوسیستم مورد استفاده قرار گیرد. نتایج

منابع مورد استفاده

- Adam, E., O. Mutanga and D. Rugege. 2010. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management* 18(3): 281-296.
- Alibakhshi, S., T. A. Groen, M. Rautiainen and B. Naimi. 2017. Remotely-sensed early warning signals of a critical transition in a wetland ecosystem. *Remote Sensing* 9(4): 352-371.
- Arsanjani, T. J., R. Javidan, M. J. Nazemosadat, J. J. Arsanjani and E. Vaz. 2015. Spatiotemporal monitoring of Bakhtegan Lake's areal fluctuations and an exploration of its future status by applying a cellular automata model. *Computers & Geosciences* 78: 37-43.
- Asghari poudeh, Z., O. Ghadirian Baharanchi, S. Nematollahi, S. Fakheran and S. Pourmanafi. 2019. Monitoring and prediction of land use/cover changes in Shadegan International Wetland. *Iranian Journal of Applied Ecology* 8(3): 63-76. (In Farsi)
- Bayat, R., S. Jafari, B. Ghermezcheshmeh and A. M. Charkhabi. 2016. Studying the effect of dust on vegetation changes (case study: Shadegan wetland, Khuzestan). *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources* 7(2): 17-32. (In Farsi)
- Environmental Protection Agency of Iran. 2010. Comprehensive management plan of Shadegan Wetland. Conservation of Iranian Wetlands Project, UNDP/GEF, Tehran.
- Guo, M., J. Li, C. Sheng, J. Xu and L. Wu. 2017. A review of wetland remote sensing. *Sensors* 17(4): 777.
- Jafari Azar, A., T. M. Sabzeqbaee and S. Dashti. 2017. Application of multi-criteria decision-making methods in environmental risk assessment (case study: the international wetland of Shadegan, Khur e Omayyeh and Khur e Mousa Estuary). *Geography and Environmental Hazards* 24: 97-119. (In Farsi)
- Khaliq M. N. and T. B. Ouarda. 2007. On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT). *International Journal of Climatology* 27: 681-687.
- Libiseller, C. and A. Grimvall. 2002. Performance of partial Mann-Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics* 13(1): 71-84.
- Lou, J., X. Li, R. Ma, F. Li, H. Duan and W. Hu. 2016. Applying remote sensing techniques to monitoring seasonal and interannual changes of aquatic vegetative in Taihu Lake, China. *Ecological Indicators* 60: 73-81.
- Qureshi, S., S. K. Alavipanah, M. Konyushkova, N. Mijani, S. Fathololomi, M. K. Firozjaei and A. A. Kakroodi. 2020. A Remotely sensed assessment of surface ecological change over the Gomishan Wetland, Iran. *Remote Sensing* 12(18): 2989.
- Rahimi Baloochi, L. and B. Malek Mohammadi. 2012. Methodology for assessing the vulnerability of surface water resources (case study: Jarahi Basin). 6th Conference and Exhibition on Environmental Engineering. Tehran, Iran. (In Farsi)
- Reis, V., V. Hermoso, S. K. Hamilton, D. Ward, E. Fluet-Chouinard, B. Lehner and S. Linke. 2017. A global assessment of inland wetland conservation status. *Bioscience* 67(6): 523-533.
- Rodriguez, Y. C., A. ElAnjoumi, J. D. Gomez, D. R. Perez and E. Rico. 2014. Using Landsat image time series to study a small water body in Northern Spain. *Environmental Monitoring and Assessment* 186(6): 3511-3522.
- Sadeghi Rad, A., S. K. Jafari and B. Allah Gani. 2017. Investigation of vegetation status of International Shadegan Wetland with NDVI index using MODIS sensor during 2000 to 2015. In: 12th Symposium on Advances in Science and Technology. Mashhad, Iran. pp. 69-79. (In Farsi)
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379-1389.
- Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14): 3025-3033.
- Yuan, L. and L. Zhang. 2006. Identification of the spectral characteristics of submerged plant *Vallisneria spiralis*. *Acta Ecologica Sinica* 26(4): 1005-1010.

20. Yu, K. and C. Hu. 2015. Changes in vegetative coverage of the Hongze Lake national wetland nature reserve: a decade-long assessment using MODIS medium-resolution data. *Journal of Applied Remote Sensing* 7(1): 073589.
21. Zar, J. H. 1972. Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association* 67(339): 578-580.

Evaluating the Trend of Ecological Changes in Shadegan Wetland Using MODIS Imagery (2003-2017)

K. Hajian¹, O. Beyraghdar Kashkooli^{1*}, N. Mahboobi Soofiani¹ and S. Pourmanafi¹

(Received: January 16-2021; Accepted: June 12-2021)

Abstract

Nowadays, the risk of degradation of wetlands is one of the main environmental challenges in the world, so continuous and long-term monitoring of ecological changes in wetlands can play a key role in their protection and proper management. In the present study, the trend of monthly changes in some of the most important ecological indicators of the aquatic environment of Shadegan wetland including WST, NDVI, MVWR, VWR, LSWI, MNDWI and Chlorophyll-a concentration (during 2003-2017) was evaluated using MODIS satellite imagery. The Mann-Kendall and Sen's slope tests were used to analyze the trend and its magnitude, respectively. Results showed a significant increasing trend in the volume of water in Shadegan wetland, while the vegetation of the wetland had a significant decreasing trend during the study period ($p < 0.05$). Also, the change in the monthly trend of NDVI, MVWR, MNDWI and LSWI time series was observed around October 2012, which approximately coincided with the development of aquacultural facilities in the northern part of this wetland. In addition, a strong inverse correlation (about -0.86) was observed between vegetation and water indices. Results further provided evidence of an inverse sequence and critical conditions in Shadegan wetland. Integrating remote sensing techniques and statistical methods in this study (to provide continuous time series of ecological indicators) can help to better understand the dynamics of wetland ecosystems (at different temporal and spatial scales). This approach is also applicable in evaluation, modeling and prediction of ecological changes in Shadegan wetland.

Keywords: Shadegan Wetland, Ecological changes, MODIS imagery, Chlorophyll

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*: Corresponding Author, Email: omid.beyraghdar@iut.ac.ir