

پایش تغییرات مکانی-زمانی تالاب کیاکلايه لنگرود با هدف بررسی روند تخریب آن در طی ۲۴ سال اخیر با تصاویر سنجنش از دور

چکیده

باوجود رشد و آگاهی جوامع انسانی نسبت به اهمیت اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه تالاب‌ها، هنوز درک صحیح و فراگیر از اهمیت، کارکرد و ضرورت حفظ این زیستگاه‌های حیاتی و ارزشمند وجود ندارد. حفاظت از تالاب‌ها مستلزم داشتن آگاهی کامل از وضعیت تالاب و تغییرات ایجادشده در کاربری‌های مجاور آن در طول زمان است. یکی از تالاب‌هایی که در سال‌های اخیر در کشور مورد تخریب و بی‌توجهی قرار گرفته است تالاب کیاکلايه در شهرستان لنگرود استان گیلان است. در تحقیق حاضر که در سال ۱۳۹۸ انجام شد، جهت بررسی تغییرات زمانی- مکانی محدوده اثر تالاب مذکور، از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ استفاده شدند. شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص آب و شاخص مناطق مسکونی روی تصاویر اعمال شدند و نقشه‌های محدوده شهری و محدوده تالاب با تصاویر به‌دست‌آمده از شاخص‌ها به‌منظور تحلیل نتایج هم‌پوشانی داده شدند. نتایج تحقیق نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، پوشش گیاهی و سطح آب در طی ۲۴ سال اخیر کاهش و مناطق مسکونی افزایش چشمگیر داشته‌اند که این موضوع سبب افزایش احتمال بروز مخاطرات محیطی برای ساکنین و همچنین از بین رفتن سلامت اکوسیستم غنی تالاب شده است. شاخص سلامت اکوسیستم نشان می‌دهد مناطق اطراف مسکن مهر لنگرود، سادات‌محله، خالکیاسر و قاضی محله بیشترین آسیب را دیده‌اند.

واژگان کلیدی: سنجنش‌ازدور، سیستم اطلاعات مکانی، تالاب کیاکلايه، تغییرات مکانی-زمانی.

صغرا پور رمضان گابیه^۱

میلاد جانعلی پور^{۲*}

مریم نیک‌فر^۳

نادیا عباس زاده طهرانی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران،

واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران

۲. استادیار، پژوهشگاه هوافضا وزارت علوم،

تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه نقشه‌برداری، واحد رامسر، دانشگاه

آزاد اسلامی، رامسر، ایران

۴. استادیار، پژوهشگاه هوافضا وزارت علوم،

تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات:

milad_janalipour@ari.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۳۰۷۹۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۳

این مقاله پژوهشی برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی

ارشد است.

مقدمه

تالاب‌ها یکی از غنی‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی هستند که بر اساس کنوانسیون رامسر (۱۳۵۵) تعریف شده‌اند (سلیمی ترکمانی ۱۳۹۰). تالاب‌ها مجموعه وسیعی از محصولات و خدمات اکوسیستمی نظیر آبیاری، استخر ماهی‌های شیرین، تفریح و تفرج گردشگرها، کنترل سیل و کاهش آلودگی را فراهم می‌کنند (جهانی شکیب و همکاران ۲۰۱۵). بررسی تغییرات تالاب‌ها یکی از نیازهای اساسی در مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی است (Pourkhabbaz et al., 2015). مهم‌ترین تهدیدات تالاب‌ها در حال حاضر عبارت‌اند از: (۱) کاهش سطح آب تالاب‌ها (۲) توسعه زیرساخت‌ها بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی تالاب‌ها (۳) تغییر کاربری اراضی تالابی برای امور کشاورزی و شهرسازی، و (۴) شکار و صید غیرمجاز و بی‌رویه و برداشت علوفه و سایر محصولات تالابی، بیش‌ازحد توان تجدیدپذیری تالاب و ورود آلاینده‌های مختلف به تالاب‌ها. آسیب رساندن به تالاب‌ها تبعات و هزینه‌های بسیاری برای هر کشور در پی خواهد داشت. ازاین‌رو مدیریت و پایش تالاب‌ها یکی از نیازهای اصلی و اساسی هر کشور است (جعفری و همکاران ۱۳۸۶). شناسایی مناطق آسیب‌دیده و برنامه‌ریزی جهت بهبود وضع مناطق آسیب‌دیده یکی

از راهکارهای موجود جهت حفاظت از تالابها است (زبردست و جعفری ۱۳۹۰). به منظور حفاظت معقول و خردمندانه از تالابها و همچنین شناخت تغییرات در ویژگی‌های آنها که می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی باشد، می‌توان از فنون سنجش‌ازدور و تجزیه‌وتحلیل تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد، داده‌های سنجش‌ازدور، به دلیل قابل تکرار بودن و دید وسیع و یکپارچه، می‌توانند نقش اساسی در بررسی تغییرات و مدیریت تطبیقی تالابها داشته باشند. تغییرات کمی و کیفی ناشی از فرآیندهای نامطلوب انسانی و طبیعی در دهه‌های اخیر، اثرات منفی بسیاری بر ساختار و کارکرد این مجموعه‌ی بارزش گذاشته است و نقش تالابها را از تثبیت ریزگردها و پالایش محیطی، به خاستگاه و کانون گردوغبار منطقه‌ای تغییر داده است (حلبیان و شبانکاری ۲۰۱۷).

به منظور پایش اکوسیستم‌های تالابی تاکنون تحقیقات بسیاری ارائه شده است (Ozesmi and Rebelo *et al.*, 2009; Sharitz 1986; Bauer 2002). در برخی از تحقیقات انجام شده، محققین از روش‌های طبقه‌بندی و شناسایی تغییرات به صورت غیرمستقیم به بررسی وضعیت تالابها در یک بازه زمانی پرداخته‌اند (Rugege 2010; Adam *et al.*, 2010; Rebelo *et al.*, 2009; Song *et al.*, 2010). استفاده از روش‌های طبقه‌بندی و یا شناسایی تغییرات نظارت شده به دلیل نیاز به نمونه‌های تعلیمی از منطقه مورد مطالعه پرهزینه و زمان‌بر هستند. از طرف دیگر شناسایی تغییرات به‌تنهایی نشان‌دهنده سلامت و یا عدم سلامت یک اکوسیستم نیست و نیاز به تحلیل‌های ثانویه احساس می‌شود. علاوه بر این، برخی از تحقیقات از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین کیفیت آب پهنه‌های آبی نظیر تالاب‌های استفاده کرده‌اند (Ritchie *et al.*, 2003). برخی دیگر از تحقیقات به بررسی سلامت اکوسیستم به صورت مستقیم و غیرمستقیم پرداخته‌اند که در این پژوهش به آنها اشاره خواهد شد.

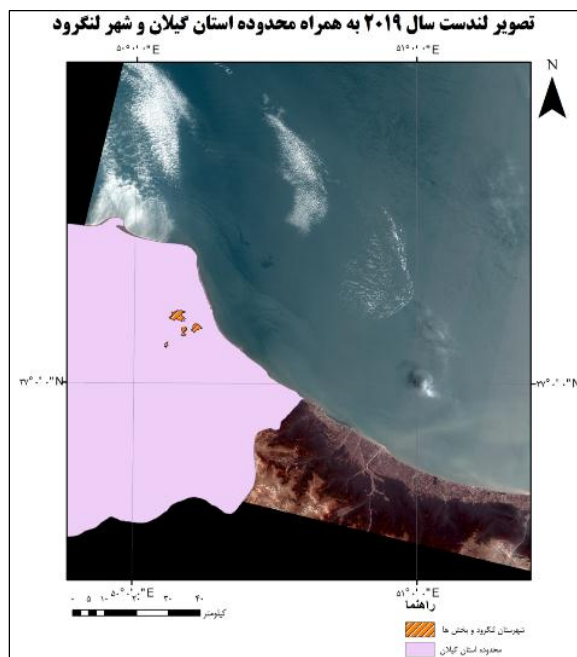
در سال ۲۰۱۹، Shen و همکاران با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تخریب تالاب Zoige Plateau در چین را مورد بررسی قرار دادند. به منظور بررسی مناطق آسیب‌دیده از نتایج تغییرات و پوشش گیاهی تصاویر ماهواره‌ای به همراه چند معیار دیگر در روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی بیشتر از دهه ۱۹۹۰ بوده است (Shen *et al.*, 2019). عباس زاده تهرانی در سال ۱۳۹۴ شمسی نشان داد که استفاده از شاخص‌های گیاهی با تواتر زمانی مناسب می‌تواند در پایش سلامت اکوسیستم‌ها مفید واقع شود (عباس زاده تهرانی، ۱۳۹۴). رحیمی بلوچی و همکاران در سال ۱۳۹۱ شمسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات پوششی و سلامت تالاب بین‌المللی شادگان را در دو دهه گذشته مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهند فشار زیادی به اکوسیستم تالاب وارد شده است و با ادامه این روند موجودیت و یکپارچگی تالاب آسیب جدی خواهد دید (رحیمی بلوچی و همکاران، ۱۳۹۱). زبردست و جعفری در سال ۱۳۹۰ شمسی با استفاده از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ تغییرات رخ داده در پهنه تالاب انزلی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهند که در این بازه ۱۰ ساله تالاب دچار تخریب شده است و پدیده تغذیه گرایبی در پهنه آبی تالاب مشاهده می‌شود (زبردست و جعفری ۱۳۹۰). همان‌طور که در پیشینه تحقیق مشاهده می‌شود عمده مطالعات انجام شده در زمینه تالابها مربوط به شناسایی تغییرات کاربری و پوششی رخ داده در آن است و تعداد محدودی از مطالعات به صورت غیرمستقیم از تغییرات کاربری/پوششی تالاب به بررسی سلامت اکوسیستم پرداخته‌اند که نیاز است در تحقیقات آتی به صورت مستقیم به این موضوع پرداخته شود. علاوه بر این در عمده تحقیقات انجام شده از شاخص‌های پوشش گیاهی جهت پایش سلامت اکوسیستم استفاده شده است. این در حالی است که به نظر می‌توان از سایر شاخص‌های نظیر مناطق مسکونی و آب در تالاب‌های شهری جهت بهبود نتایج نیز استفاده شود. در سال ۲۰۲۰، Ekumah و همکاران سلامت اکوسیستم تالاب‌های ساحلی غنا را با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بررسی کردند. شاخص‌های پوشش گیاهی، سطوح نفوذناپذیر و تغییر کاربری در این تحقیق مورد توجه قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهند که وضعیت سلامت در بازه زمانی مورد مطالعه رو به وخامت رفته است (Ekumah *et al.*, 2020). در سال ۲۰۱۹، Chen و همکاران با استفاده از ۱۳ شاخص مربوط به آب، خاک، بیولوژی و سیمای سرزمین سلامت اکوسیستم تالابها در بجینگ، تیانجین و هبی را بررسی نمودند. شاخص‌های مورد استفاده از سنجش‌ازدور و مشاهدات میدانی استخراج شدند. نتایج نشان می‌دهد وضعیت ۱۹ تالاب در منطقه مناسب نیست (Chen *et al.*, 2019). در

سال ۲۰۲۰، Wu و Chen وضعیت سلامت اکوسیستم تالاب Hangze در چین را با استفاده از ۱۲ شاخص سنجش‌ازدور و روش AHP بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهند مناطق اطراف تالاب دچار آسیب‌دیدگی شدید شده‌اند درحالی‌که مناطق درونی تالاب سالم هستند (Wu and Chen, 2020). در سال ۲۰۱۹، Orimoloye و همکاران تغییرات سلامت اکوسیستم تالاب Isimangaliso در آفریقا جنوبی را با شاخص‌های پوشش گیاهی و منطقه مسکونی به‌دست‌آمده از تصاویر لندست بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات شدیدی در شاخص‌های ذکرشده در منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته است (Orimoloye et al., 2020).

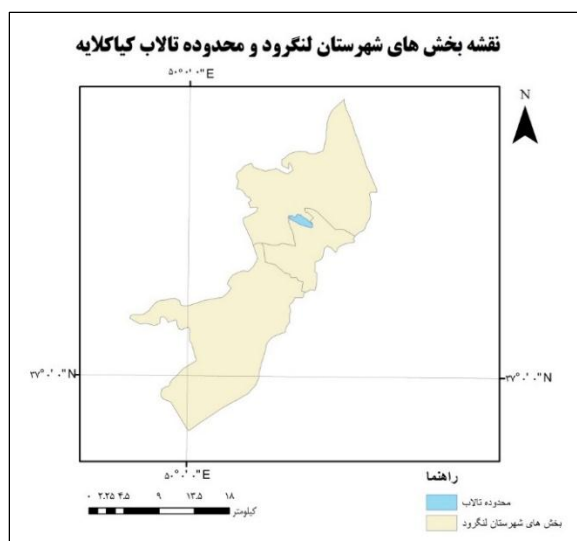
در این تحقیق برای اولین بار به دنبال شناسایی و پایش تغییرات مکانی-زمانی تالاب کیاکالایه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی خواهیم بود که در آن از شاخص‌های طیفی استفاده خواهد شد. تالاب کیاکالایه با توجه به این‌که یک منبع آب شهری محسوب می‌شود که در مجاورت شهرستان لنگرود است، اهمیت بالایی دارد. تاکنون در تحقیقی تغییرات و تخریب این اکوسیستم ارزشمند با سنجش‌ازدور انجام نشده است. از طرف دیگر نوع روش پردازش داده‌های سنجش‌ازدور با تلفیق لایه‌های برداری موجود به همراه تحلیل‌های مکانی و شاخص سلامت اکوسیستم جدید و بدیع است که تاکنون بر اساس دانش نویسندگان مورد استفاده قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

شهرستان لنگرود با وسعتی حدود ۴۸۰ کیلومترمربع در ناحیه شرق گیلان قرار گرفته است و فاصله آن با مرکز استان ۶۰ کیلومتر است. لنگرود در طول ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه جغرافیایی، در ارتفاع ۲۱ متر از سطح دریای خزر قرار دارد. این شهرستان بر روی جلگه‌ای سرسبز و در فاصله ۱۰ کیلومتر با دریای خزر قرار دارد و در قسمت‌های جنوبی آن کوهپایه‌های جنوبی آن جنگلی دیده می‌شود. در جنوب شهر لنگرود و داخل محدوده حریم شهری تالاب طبیعی و زیبای کیاکالایه قرار دارد. تالاب کیاکالایه در طول جغرافیایی (۵۰ درجه و ۹ دقیقه و ۱۴ ثانیه) و عرض جغرافیایی (۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه) واقع شده است. این تالاب از جمله آب‌بندان‌های شهرستان لنگرود و یکی از غنی‌ترین تالاب‌های گیلان از لحاظ تنوع گونه‌های حیاتی است. این تالاب بزرگ زمانی محل زمستان‌گذرانی پرنده‌گان مهاجر بود که گونه‌هایی چون حواصیل، چنگر، مرغابی، غاز، قو، لک‌لک، سلیم، انواع کاکائی، آبچلیک پا سرخ و تلیله شکم سیاه و غیره در این تالاب وجود داشت و همچنین شامل انواع پوشش گیاهی چون توسکا، نیزار، نیلوفر آبی، سمبل دریایی و گیاهان زیرآب بوده است که در حال حاضر برخی از گونه‌های نامبرده وجود دارند. شکل ۱ و شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه و همچنین تالاب کیاکالایه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان گیلان و شهرستان لنگرود (سال ۱۳۹۸).



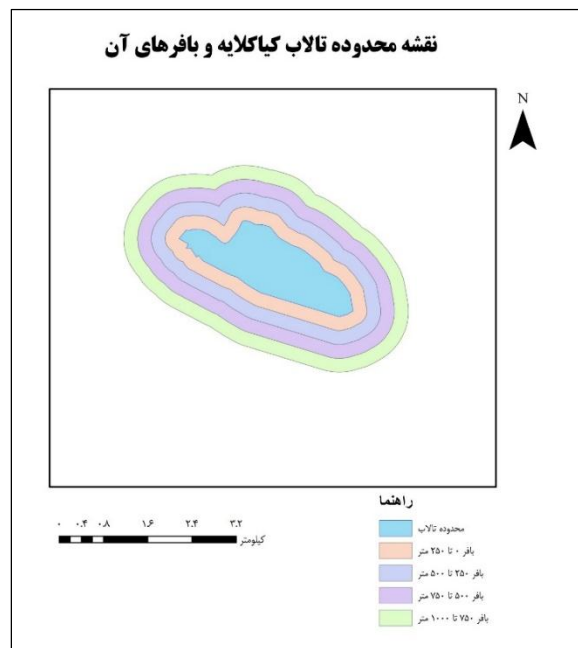
شکل ۲: موقعیت جغرافیایی شهرستان لنگرود و محدوده تالاب کیاکلايه (سال ۱۳۹۸).

در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست برای استخراج شاخص های پوشش گیاهی، آب و مناطق مسکونی استفاده شد. تصاویر از پایگاه www.earthexplorer.usgs تهیه شدند. با توجه به این که عمده تغییرات شهرستان لنگرود از سال ۲۰۰۰ آغاز شد یک تصویر از سال ۱۹۹۵ (قبل از تغییرات) و سه تصویر با بازه زمانی تقریباً شش سال یعنی سال های ۲۰۰۷، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ از منطقه اخذ شدند. علت تواتر زمانی انتخاب شده این است که باید تغییرات به اندازه ای باشند که در تصویر لندست قابل شناسایی باشند. فهرست تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شد. برای پردازش تصاویر ماهواره ای از نرم افزار OTB Orfeo استفاده شد که در پردازش تصاویر ماهواره ای قوی و استفاده از آن رایگان است.

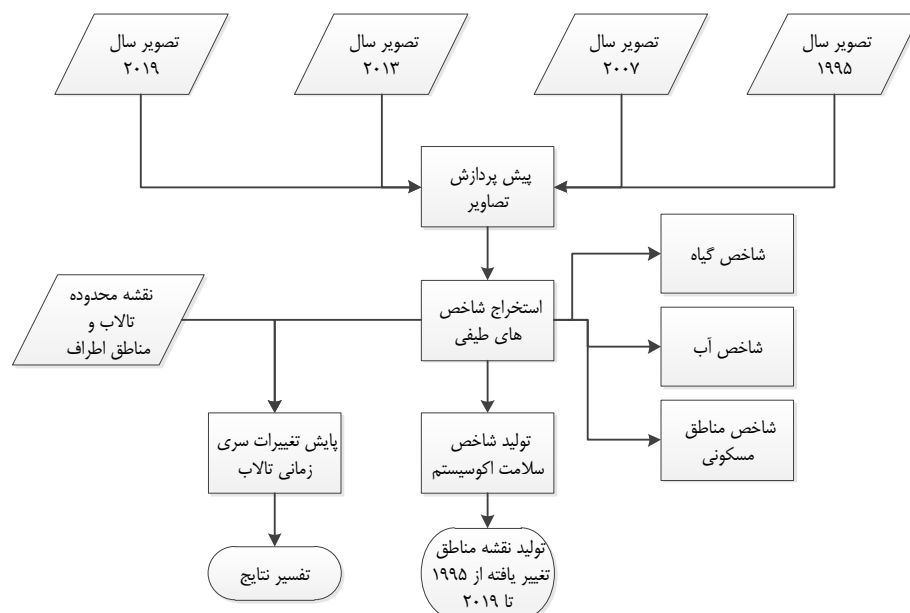
جدول ۱: تصاویر ماهواره‌ای اخذشده از شهرستان لنگرود (سال ۱۳۹۸).

نام تصویر	تاریخ تصویربرداری
LT51660341995176RSA00	۲۵-۰۶-۱۹۹۵
LT51650342007170MOR00	۱۹-۰۶-۲۰۰۷
LC81650342013170LGN01	۱۹-۰۶-۲۰۱۳
LC81650342019155LGN00	۰۴-۰۶-۲۰۱۹

نقشه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل محدوده تالاب و کاداستر شهری از شهرداری، اداره ثبت اسناد و املاک، اداره محیط زیست و اداره جهاد کشاورزی تهیه شدند. نقشه‌های تهیه شده از فرمت CAD به فرمت Shp تبدیل شدند. در شکل ۱ نمونه‌ای از تصویر ماهواره‌ای شهرستان لنگرود و موقعیت تالاب کیاکالایه در شهرستان بر روی تصویر نشان داده شد. بررسی تغییرات در محدوده تالاب کیاکالایه و اطراف تالاب با اعمال بافرهای ۲۵۰ متر انجام شد. به همین منظور نقشه شیب فایل محدوده تالاب و بافرهای آن در نرم‌افزار ArcGIS10.4 به دست آمد. نقشه محدوده تالاب کیاکالایه و بافرها در شکل ۴ نمایش داده شد.

**شکل ۳: محدوده تالاب و بافرها اطراف تالاب کیاکالایه لنگرود (سال ۱۳۹۸).**

روش تحقیق بر اساس مدل مفهومی شکل ۴ انجام شده است. ابتدا تصاویر مورد استفاده پیش پردازش می‌شوند. سپس شاخص‌های طیفی گیاه، مناطق مسکونی و آب با توجه به طبیعت منطقه مورد مطالعه و کلاس‌های کاربری و پوششی استخراج شدند. پس از آن پایش محدوده تالاب با استفاده از شاخص‌های استخراج شده و نقشه محدوده تالاب انجام می‌شود. نهایتاً نقشه تغییرات با استفاده شاخص سلامت اکوسیستم محاسبه خواهد شد.



شکل ۴: مدل مفهومی مراحل تحقیق برای شناسایی تغییرات و آسیب مناطق اطراف تالاب کیاکالایه لنگرود (سال ۱۳۹۸).

مرحله کالیبراسیون طیفی شامل تبدیل درجات خاکستری به رادیانس است که درواقع کالیبراسیون داخلی سنجنده است. در این مرحله مقادیر رقمی ثبت شده توسط سنجنده به انرژی (ولتاژ) ثبت شده توسط آن تبدیل می شود. با استفاده از رابطه ۱ و اطلاعات موجود در فراداده که به همراه داندلود تصاویر قابل دریافت است، تصاویر خام به تصاویر رادیانس تبدیل گردید (سبزی پرور، ۱۳۹۴).

$$L_{\lambda} = \text{gain} \times \text{QCAL} + \text{offset} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در رابطه ۱، L_{λ} : رادیانس QCAL درجه خاکستری در پیکسل موردنظر و gain و offset: ضرایب کالیبراسیون سنجنده هستند. در این پژوهش به منظور شناسایی عوارض موجود و آشکارسازی تغییرات مکانی تالاب، از شاخص هایی چون شاخص پوشش گیاهی، شاخص مناطق ساخته شده و مسکونی و شاخص آب استفاده می شود؛ زیرا پوشش غالب اطراف تالاب درختان، آب و مناطق مسکونی هستند. شاخص های گیاهی در مطالعات بسیاری جهت پایش میزان فضای سبز و کلروفیل مورد استفاده قرار گرفته اند. به دلیل نقاط ضعف طبیعی شاخص های پوشش گیاهی، تعداد زیادی شاخص پوشش گیاهی ارائه شده اند که نقاط ضعف و قوت خود را دارند. به دلیل بررسی دقت نتایج شاخص های گیاهی در این تحقیق از چند شاخص پوشش گیاهی استفاده شد. شاخص های پوشش گیاهی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ نمایش داده شد.

جدول ۲: رابطه شاخص های پوشش گیاهی مورد استفاده در تالاب کیاکالایه لنگرود (سال ۱۳۹۸).

منبع	رابطه ی شاخص	شاخص
(فاطمی و صدقی ۱۳۹۵)	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Normalized difference vegetation index (NDVI)
(Tucker, 1979)	$\sqrt{\left(\frac{NIR - Red}{NIR + Red}\right) + 0.5}$	Transformed normalized difference vegetation index (TNDVI)

منبع	رابطه‌ی شاخص	شاخص
(فاطمی و صدقی ۱۳۹۵)	$\frac{NIR}{Red}$	Ratio vegetation index (RVI)
((Qi et al., 1994)	$\frac{\gamma(NIR - \gamma Red - i)}{\gamma NIR + Red - \gamma i + X(1 + \gamma^2)}$	Transformed soil adjusted vegetation index (TSAVI)
(Qi et al., 1994)	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} (1 + L)$	Modified soil adjusted vegetation index (MSAVI)
(Qi et al., 1994)	$\frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2}$	Modified soil adjusted vegetation index 2 (MSAVI 2)
(فاطمی و صدقی، ۱۳۹۵)	$\frac{(NIR - Red)(1 + L)}{(NIR + Red + L)}$	Soil adjusted vegetation index (SAVI)
(Myneni et al., 1995)	$\mu = \frac{(NIR^2 - Red^2) + 1.5NIR + 0.5Red}{NIR + Red + 0.5}$	Global environment monitoring index (GEMI)
Crippen 1990; Barati et al., 2011	$NIR / (Red + NIR)$	Infrared percentage vegetation index (IPVI)

NIR باند مادون قرمز نزدیک از سنجنده / Red باند قرمز از سنجنده / L یک عامل تنظیم کننده خاک / γ شیب خط خاک می‌باشند.

با توجه به نیاز این تحقیق به مواردی چون ارزیابی خشک‌سالی و تفکیک پیکسل‌های خالص آب، بررسی آب عمیق، جداسازی پوشش گیاهی زمینی از گیاهان آبی و غیره از شاخص‌های آبی که بهترین نتیجه مربوطه را نمایش می‌دادند، استفاده شد (Babaei et al., 2019). شاخص‌های آب مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۳ نمایش داده شدند.

جدول ۳: رابطه شاخص‌های آب مورد استفاده در تالاب کیاکلاویه لنگرود (سال ۱۳۹۸).

منبع	رابطه شاخص	شاخص
(Gao, 1996)	$\frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$	Normalized difference water index (NDWI)
(McFeeters, 1996)	$\frac{Green - NIR}{Green + NIR}$	Normalized difference water index 2 (NDWI 2)
(Han-Qiu, 2005)	$\frac{Green - MIR}{Green + MIR}$	Modified normalized difference water index (MNDWI)
(Lacaux et al., 2007)	$\frac{MIR - GREEN}{MIR + GREEN}$	Normalized difference pond index (NDPI)
(Gardelle et al., 2010)	$\frac{RED - GREEN}{RED + GREEN}$	Normalized difference turbidity index (NDTI)

GREEN باند سبز از سنجنده / MIR باند مادون قرمز میانی از سنجنده / RED: باند قرمز از سنجنده هستند.

به منظور شناسایی مناطق مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های بایر نیاز به شاخص‌هایی است که جواب‌گوی این نیاز باشد. طبق بررسی‌های انجام شده بهترین شاخص‌های مورد نیاز انتخاب شد. شاخص‌های مناطق مسکونی (شامل روستایی و شهری) مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۴ نمایش داده شدند.

جدول ۴: رابطه شاخص‌های مناطق مسکونی مورد استفاده در تالاب کیاکالایه لنگرود (سال ۱۳۹۸).

منبع	رابطه شاخص	شاخص
(As-syakur et al., 2012)	$\frac{Band5 - Band4}{10\sqrt{Band5 + Band6}}$	Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI)
(As-syakur et al., 2012)	$\frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4}$	Normalised Difference Built-Up Index (NDBaI)
(As-syakur et al., 2012)	$\frac{Band5 - Band6}{Band5 + Band6}$	Normalised Difference Bareness Index (NDBI)
(As-syakur et al., 2012)	$\frac{Band7 - Band4}{Band7 + Band4}$	Urban Index (UI)

۱) در رابطه EBBI باندهای ۴ و ۵ و ۶ به ترتیب با طول موج‌های ۰/۸۳ میکرومتر و ۱/۶۵ میکرومتر و ۱۱/۴۵ میکرومتر جاگذاری می‌شوند.

۲) در رابطه NDBI باندهای ۵ و ۶ به ترتیب با طول موج‌های (۱/۵۵ — ۱/۷۵) میکرومتر و (۱۰/۴ — ۱۲/۵) میکرومتر جاگذاری می‌شوند.

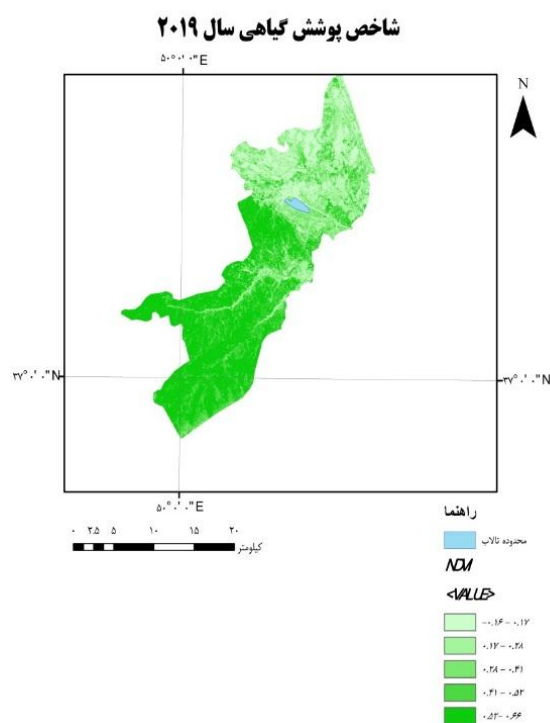
۳) در رابطه NDBaI باندهای ۴ و ۵ به ترتیب با طول موج‌های (۰/۹۰ — ۰/۷۸) میکرومتر و (۱/۷۵ — ۱/۵۵) میکرومتر جاگذاری می‌شوند.

۴) در رابطه UI باندهای ۷ و ۴ به ترتیب با طول موج‌های (۰/۹۰ — ۰/۷۸) میکرومتر و (۲/۰۹ — ۲/۳۵) میکرومتر جاگذاری می‌شوند.

پس از محاسبه شاخص‌ها، برای ارزیابی میزان تغییرات و سلامت اکوسیستم از یک شاخص جدید استفاده می‌شود. به منظور شناسایی مناطق به شدت آسیب دیده از نظر زیست محیطی در محدوده تالاب کیاکالایه از شاخص $\frac{NDVI+1}{NDBI+1}$ استفاده می‌شود (Tehrani and Makhdoum, 2013; Jafari et al., 2018). این شاخص از نسبت شاخص پوشش گیاهی و مناطق مسکونی استخراج می‌شود.

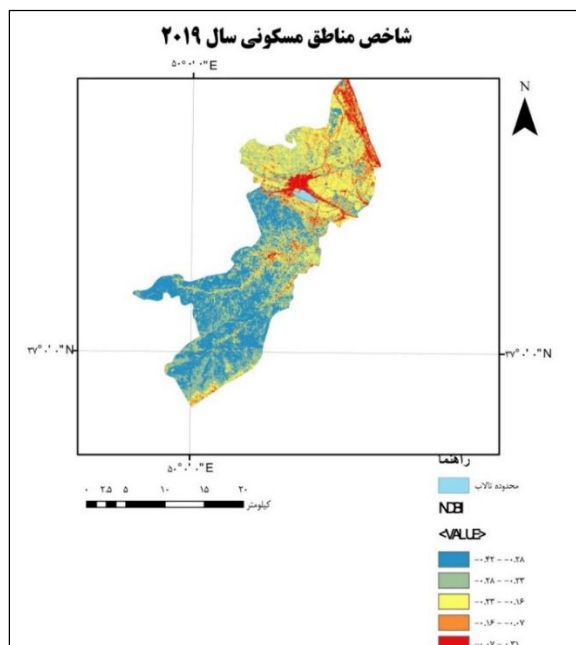
نتایج

پس اجرای روش پیشنهادی، شاخص‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه استخراج شدند. شکل ۵ برخی شاخص‌ها در سال‌های مختلف که از منطقه مورد مطالعه استخراج شده‌اند را به صورت بصری نمایش می‌دهد. بر اساس نتایج شاخص پوشش گیاهی که از NDVI تهیه شده است، مناطق جنوبی شهرستان لنگرود که پوشیده از جنگل است و همچنین مناطق اطراف شهرستان که مزارع برنج است، دارای سبزیگی بالا هستند. این موضوع نشان می‌دهد که شاخص NDVI به خوبی توانسته است پوشش گیاهی را شناسایی کند (شکل ۵). همچنین شاخص پوشش مسکونی، مناطق ساخته شده شهرستان لنگرود، روستاها و دهستان‌های اطراف آن را به خوبی شناسایی کرده است که در شکل ۶ به رنگ قرمز نمایش داده می‌شود. همچنین تغییرات شاخص پوشش آب از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ تغییرات زیادی داشته است (شکل ۷). در بدنه تالاب کیاکالایه تغییرات به شکلی است که مشخص می‌کند سطح آب تالاب کاهش یافته است.



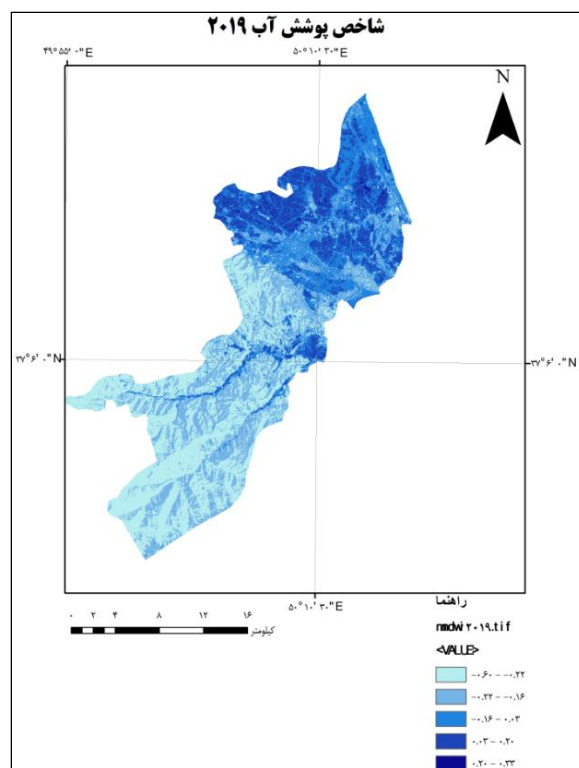
شکل ۵: شاخص گیاه استخراج شده از شهرستان لنگرود (سال ۱۳۹۸).

شاخص پوشش گیاهی از NDVI استخراج شده است.



شکل ۶: شاخص مناطق مسکونی استخراج شده از شهرستان لنگرود (سال ۱۳۹۸).

شاخص پوشش مسکونی از NDBI استخراج شده است.



شکل ۷: شاخص پوشش آب استخراج شده از شهرستان لنگرود (سال ۱۳۹۸).

شاخص پوشش آب از MNDWI استخراج شده است.

مقادیر شاخص‌های استخراج شده در این پژوهش در جدول ۵ نمایش داده شده‌اند (مقادیر تمامی شاخص‌ها در تمامی سال‌ها به پیوست مقاله در دسترس خواهد بود). بر اساس جدول ۵، مقدار میانگین شاخص‌های گیاهی در محدوده تالاب بیشتر از سایر مناطق اطراف آن (بافره‌های مختلف) بوده است. به عنوان مثال مقدار شاخص NDVI در محدوده تالاب ۰/۵۳ بوده است در حالی که بیشترین مقدار آن در محدوده ۱۲۵۰-۱۵۰۰ متر برابر ۰/۴۸ است. همچنین شاخص‌های آب استخراج شده از منطقه مورد مطالعه بیشترین مقدار آب را در محدوده تالاب نمایش می‌دهند که به علت وجود بدنه آبی در آن محدوده صحیح به نظر می‌رسد. به عنوان نمونه مقدار شاخص NDWI برابر ۰/۱۵ در محدوده تالاب بیشتر از سایر مناطق اطراف آن بوده است. به طور کلی بر اساس نتایج جدول ۵، مناطق مسکونی اطراف تالاب کمتر از سایر مناطق اطراف آن است. این موضوع با توجه به وجود مناطق مسکونی اطراف تالاب قابل توجه است. به عنوان مثال مقدار میانگین شاخص NDBI با کمترین مقدار ۰/۱۵ - در محدوده تالاب مشاهده می‌شود.

نتایج به دست آمده از سال ۲۰۰۷ مشابه سال ۱۹۹۵ است. به عبارت دیگر شاخص‌های گیاهی و بدنه آبی بیشترین مقدار را در تالاب داشته‌اند و کمترین مقدار منطقه مسکونی در محدوده تالاب مشاهده می‌شود. نسبت به سال ۱۹۹۵ وضعیت سلامت محیط زیست بر اساس این شاخص‌ها در سال ۲۰۰۷ بدتر به نظر می‌رسد. مقدار شاخص NDVI در محدوده تالاب از ۰/۵۳ به ۰/۴۲ افزایش یافته است که نشان دهنده کاهش پوشش گیاهی در منطقه است. همچنین مقدار شاخص NDWI از ۰/۱۵ به ۰/۰۶ کاهش یافته است که نشان دهنده افزایش پهنه آبی در این بازه زمانی

است؛ بنابراین به صورت کیفی می توان بیان کرد که منطقه مورد مطالعه در بازه ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۷ از نظر پوشش گیاهی، بدنه آبی و رشد منطقه مسکونی دچار فشار شده است.

در سال ۲۰۱۳، مقدار شاخص های پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه کاهش شدید داشته اند که نشان دهنده افت شدید سلامت محیط زیست است. مقدار NDVI محدوده تالاب از ۰/۴۳ به ۰/۳۳ رسیده است که این موضوع با مقادیر دیگر در شاخص های دیگر نیز مشاهده می شود. اگرچه تغییرات چندانی در مقادیر شاخص های آب مشاهده نمی شود اما شاخص های مناطق مسکونی تغییرات شدید داشته اند. به عنوان نمونه مقدار شاخص EEBI در محدوده تالاب از مقدار ۰/۲۳ - به مقدار ۹/۱۷ - رسیده است. این تغییرات در سایر شاخص های مناطق مسکونی مشاهده می شود. این نتایج نشان می دهند کاهش پوشش گیاهی در محدوده تالاب به تغییر مناطق مسکونی مرتبط است. یکی از مصادیق این جمله ساخت مسکن مهر شهرستان لنگرود در محدوده تالاب کیاکلاویه است. وضعیت تالاب در مناطق اطراف در سال ۲۰۱۹ تقریباً مشابه سال ۲۰۱۳ است اما نسبت به سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۷ به شدت محیط زیست آن دچار آسیب شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده از شاخص های مختلف می توان نتیجه گیری کرد که روند تغییرات شاخص های هر دسته روند تغییرات را مشابه یکدیگر نشان می دهند. به عنوان نمونه در شاخص پوشش گیاهی روند تغییرات TNDVI و RVI در بافرهای مختلف تقریباً مشابه یکدیگر است و روند کاهشی یا افزایشی آن ها تقریباً یکدیگر را تأیید می کنند. از این رو می توان از یکی از شاخص های هر دسته برای بررسی روند تغییرات در بازه زمانی ۲۴ ساله استفاده کرد. علاوه بر این، مقادیر شاخص ها دارای واحد نیستند و مقادیر آن ها در بازه های مختلف بسته به رابطه مورد استفاده برای برآورد آن ها متغیر است. همچنین معنای فیزیکی برای بازه های هر شاخص تاکنون ارائه نشده است. به طور کلی می توان بیان کرد اگر مقادیر شاخص ها بیشتر باشد نشان دهنده احتمال وجود بیشتر آن هدف مثلاً گیاه، آب و مناطق مسکونی در منطقه است.

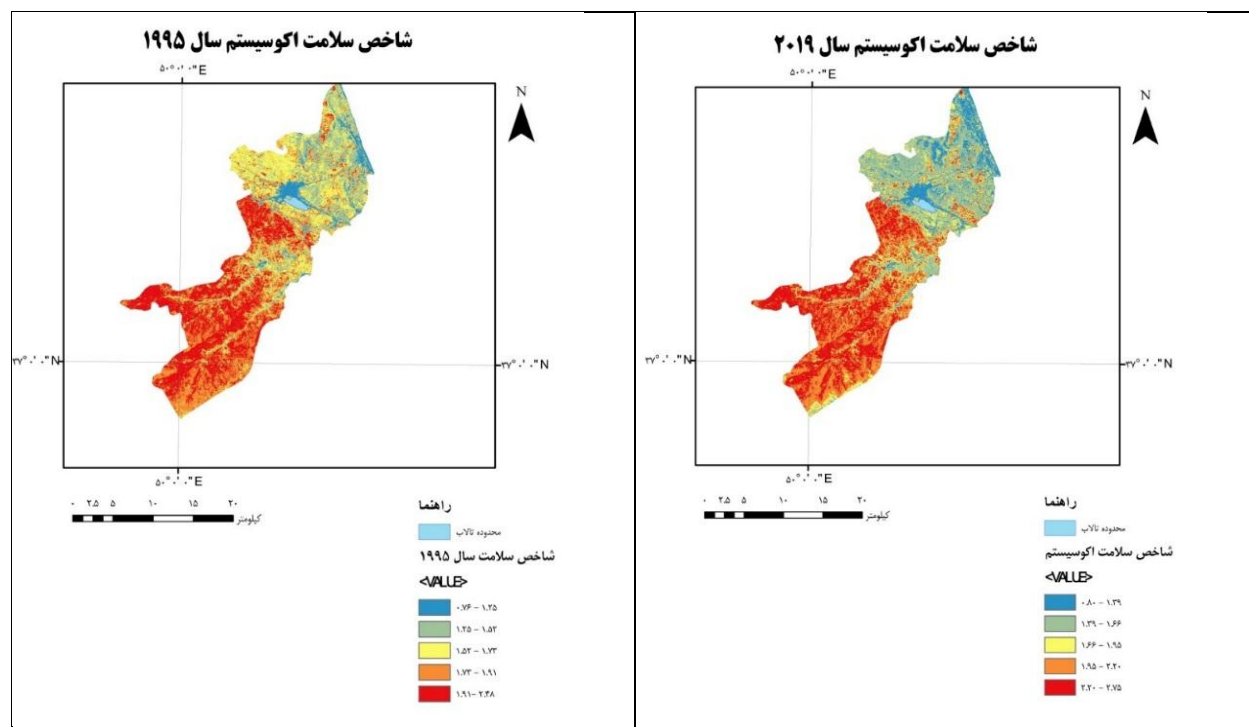
جدول ۵: نتایج شاخص های استخراج شده از شهرستان لنگرود در سال ۱۹۹۵، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ (سال ۱۳۹۸)

سال ۱۹۹۵							
شاخص	تالاب	۲۵۰-۰	۵۰۰-۲۵۰	۷۵۰-۵۰۰	۱۰۰۰-۷۵۰	۱۲۵۰-۱۰۰۰	۱۵۰۰-۱۲۵۰
		متر	متر	متر	متر	متر	متر
شاخص پوشش گیاهی	NDVI	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۴۸
	TNDVI	۱/۰۱	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸
	RVI	۳/۶۴	۲/۹۴	۲/۹۴	۲/۹۳	۳/۲۲	۳/۳۱
شاخص آب	NDWI	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۹
	NDWI2	-۰/۴۷	-۰/۳۹	-۰/۳۹	-۰/۳۹	-۰/۴۲	-۰/۴۳
	MNDWI	-۰/۳۵	-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۳۶	-۰/۳۴	-۰/۳۶
شاخص مسکونی	NDBI	-۰/۱۵	-۰/۰۶	-۰/۰۶	-۰/۰۵	-۰/۰۷	-۰/۰۹
	EBBI	-۰/۵	-۰/۲۴	-۰/۲۳	-۰/۲	-۰/۲۳	-۰/۲۳
	NDBaI	-۰/۳۷	-۰/۳۵	-۰/۳۴	-۰/۳۳	-۰/۳۴	-۰/۳۴
۲۰۰۷							
شاخص پوشش گیاهی	تالاب	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۳۸
		TNDVI	۰/۹۵	۰/۹	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۳
		RVI	۲/۶۸	۲/۱۷	۲/۲۴	۲/۲۶	۲/۴۴
شاخص آب	NDWI	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
	NDWI2	-۰/۳۹	-۰/۳	-۰/۳۱	-۰/۳۲	-۰/۳۲	-۰/۳۵

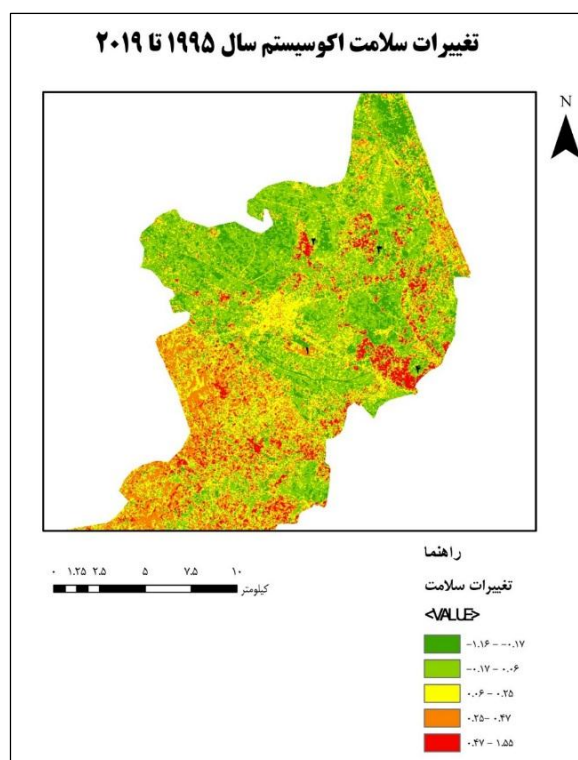
پایش تغییرات مکانی-زمانی تالاب کیاکالایه لنگرود با هدف بررسی روند تخریب آن در طی ۲۴ سال اخیر با تصاویر ... / پور رمضان گاییه و همکاران

شاخص پوشش مسکونی	MNDWI	-۰/۳۴	-۰/۲۹	-۰/۳۱	-۰/۳۲	-۰/۲۹	-۰/۲۹	-۰/۳
	NDBI	-۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱۳	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۵
	EBBI	-۰/۲۳	-۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۱۳	-۰/۱۷	-۰/۱۹
	NDBaI	-۰/۲۷	-۰/۲۸	-۰/۲۷	-۰/۲۶	-۰/۲۹	-۰/۲۹	-۰/۲۹
۲۰۱۳								
شاخص پوشش گیاهی	NDVI	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۳۱
	TNDVI	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹
	RVI	۲/۱۲	۱/۷۹	۱/۸۱	۱/۸۷	۱/۸۴	۱/۹	۲
شاخص آب	NDWI	-۰/۱۷	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۱۶
	NDWI2	-۰/۳	-۰/۲۴	-۰/۲۴	-۰/۲۵	-۰/۲۴	-۰/۲۶	-۰/۲۷
	MNDWI	-۰/۱۳	-۰/۱۱	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۰/۱۱	-۰/۱۱	-۰/۱۲
شاخص پوشش مسکونی	NDBI	-۰/۱۷	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۱۶
	EBBI	-۹/۱۷	-۶/۲۲	-۶/۱۳	-۶/۷۱	-۶/۷۶	-۷/۴۹	-۸/۲۸
	NDBaI	-۰/۳۶	-۰/۳۷	-۰/۳۶	-۰/۳۶	-۰/۳۷	-۰/۳۸	-۰/۳۸
۲۰۱۹								
شاخص پوشش گیاهی	NDVI	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۶
	TNDVI	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۷
	RVI	۲/۱۶	۱/۶۷	۱/۶۸	۱/۷۶	۱/۶۸	۱/۶۷	۱/۸
شاخص آب	NDWI	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵
	NDWI2	-۰/۲۹	-۰/۲۱	-۰/۲۱	-۰/۲۳	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲۲
	MNDWI	-۰/۱۴	-۰/۰۹	-۰/۱	-۰/۱۱	-۰/۰۷	-۰/۰۵	-۰/۰۷
شاخص پوشش مسکونی	NDBI	-۰/۱۶	-۰/۱۲	-۰/۱۱	-۰/۱۱	-۰/۱۳	-۰/۱۴	-۰/۱۵
	EBBI	-۸/۰۵	-۵/۱۸	-۴/۸۵	-۵/۳۶	-۵/۴۴	-۵/۹	-۶/۶
	NDBaI	-۰/۲۴	-۰/۳۲	-۰/۳۲	-۰/۳	-۰/۳۳	-۰/۳۴	-۰/۳۲

مقدار بالا این شاخص نشان دهنده اثرات مثبت و مقدار پایین آن اثرات منفی محیط زیستی را نمایش می دهد. به عبارت دیگر مناطق با پوشش گیاهی بیشتر و پوشش مسکونی کمتر مناطق مناسب هستند. شکل ۸ شاخص استخراج شده از منطقه مورد مطالعه در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۹ را نمایش می دهد. شکل ۹ اختلاف این شاخص میان سال های ۲۰۱۹ و ۱۹۹۵ را نشان می دهد.



شکل ۸: شاخص سلامت اکوسیستم استخراج شده در شهرستان لنگرود (سال ۱۳۹۸).



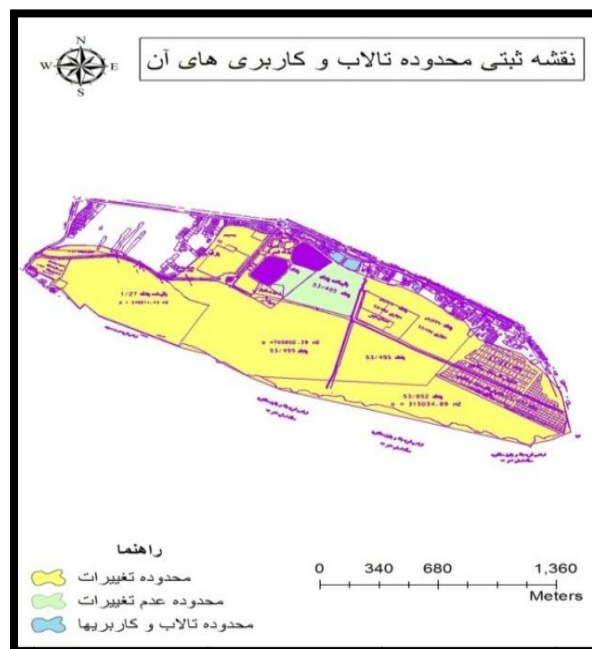
شکل ۹: مناطق تغییر کرده میان سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ در شهرستان لنگرود (سال ۱۳۹۸).

به منظور اعتبارسنجی خروجی‌های به‌دست‌آمده، شکل ۱۰ تصاویر اخذشده توسط عملیات میدانی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این تصاویر در محدوده پیشین تالاب اخذشده‌اند که نشان‌دهنده حجم ساخت‌وساز بالا در محدوده تالاب است. این تصاویر به‌گونه‌ای کاهش پوشش گیاهی (نیزارها و درختان منطقه) و افزایش محدوده شهری را در ناحیه تالاب نشان می‌دهد.

به منظور اعتبارسنجی دقیق‌تر نتایج از نقشه کاداستر شهری که از اداره ثبت شهرستان لنگرود اخذشده استفاده می‌شود. شکل ۱۱ نقشه ثبتی محدوده تالاب کیاکلايه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کل محدوده تالاب در حال حاضر قسمت سبز کوچک مرکز تصویر است. مناطق صورتی‌رنگ مناطق شهری و بلوک‌های ساختمانی ایجادشده در محدوده تالاب را نشان می‌دهد. این نقشه به‌نوعی نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌ها را تأیید می‌کند. لذا می‌توان نتیجه گرفت شاخص‌های استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند در پایش محیط‌زیست مناسب باشند.



شکل ۱۰: تصاویر اخذشده از کار میدانی در محدوده تالاب کیاکلايه (سال ۱۳۹۸).



شکل ۱۱: نقشه ثبتی محدوده تالاب کیاکالایه (سال ۱۳۹۸).

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تصاویر سری زمانی سنجنده TM ماهواره لندست فشارها، تغییرات و نهایتاً مخاطرات محیطی وارد به تالاب کیاکالایه در بازه زمانی ۲۴ ساله از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ بررسی شد. رشد و گسترش مناطق شهری در استان گیلان در چند دهه گذشته به دلیل رشد جمعیت و مهاجرت مردم از روستا به شهر با شتاب زیادی همراه بوده است. Abdollahi و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات کاربری شهرستان لاهیجان که در مرز شهرستان لنگرود قرار دارد را بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده تغییرات وسیع در کاربری اراضی است (Abdollahi et al., 2020). به دلیل اطمینان از تغییر کلاس‌های مختلف پوششی و کاربری اطراف تالاب کیاکالایه، از شاخص‌های پوشش گیاهی، آب و سطوح مسکونی استفاده شد. تحقیقات گذشته نشان دادند که این شاخص‌ها برای شناسایی اهدافی نظیر گیاه، آب و سطح مسکونی مناسب هستند (Babaei et al., 2019; As-syakur et al., 2012).

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهند پوشش گیاهی تالاب و مناطق اطراف در محدوده سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ کاهش شدید داشته است. این موضوع در مورد کاهش شدید پهنه آبی نیز صادق است. نتایج تحقیقات اخیر نشان‌دهنده این موضوع هستند که شاخص‌های پهنه آبی با صحت کلی بالاتر از ۹۰ درصد توانایی تفکیک آب از خشکی را دارند. به‌عنوان مثال، (Chen et al., 2020) و (Chen et al., 2020) کارایی مناسب شاخص‌های شناسایی آب در شناسایی منابع آب داخلی را نشان دادند. از طرف دیگر بررسی شاخص‌ها، نشان‌دهنده رشد مناطق مسکونی در اطراف تالاب کیاکالایه است (As-syakur et al., 2012). نتایج حاصل از اعتبارسنجی با مشاهدات زمینی و نقشه ثبتی تالاب نشان می‌دهند روش پیشنهادی به‌خوبی توانسته است مناطق ساخته‌شده را شناسایی کند. استفاده از مشاهدات میدانی و نقشه‌های وضع موجود از جمله معتبرترین منابع برای تفسیر و اعتبار سنجی نتایج است که در تحقیقات مختلف علوم زمین مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Janalipour and Mohammadzadeh, 2019).

اثرات مخرب ناشی از بین رفتن تالاب کیاکالایه، سبب کاهش اراضی کشاورزی، افزایش مناطق مسکونی و عدم مهاجرت پرندگان به منطقه شده است (Rezaie et al., 2020). پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی میزان فشار وارد به اکوسیستم اطراف تالاب و از بین رفتن ارزش اقتصادی سلامت اکوسیستم نیز به صورت کمی مورد بررسی قرار گیرد (Bhowmik, 2020). نتایج به دست آمده توسط رنجبران لنگرودی و همکاران نشان می‌دهد که در ۴۵ سال گذشته مساحت تالاب کیاکالایه از ۵۵۵ هکتار به ۵۵ هکتار کاهش یافته است که نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه ما را تأیید می‌کند (رنجبران لنگرودی و همکاران، ۱۳۹۲). در سال ۲۰۲۰، Ondiek و همکاران اثرات اجتماعی و اقتصادی تبدیل تالاب‌ها به زمین‌های کشاورزی در شرق آفریقا را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات حدود ۵۵ درصد میان سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۸ بوده است (Odiek et al., 2020). این موضوع نشان‌دهنده این است که روند تغییرات و آسیب تالاب‌ها یک معضل جهانی است.

بر اساس نتایج به دست آمده از شکل ۷، مناطقی که بیشترین تغییرات را داشته‌اند از نظر زیست‌محیطی آسیب جدی دیده‌اند و به رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند. منطقه شماره ۱ در این شکل مربوط به ساخت‌وسازهای مسکن مهر شهرستان لنگرود در محدوده تالاب کیاکالایه است که به خوبی توسط روش پیشنهادی شناسایی شده است. مناطق شماره ۲، ۳ و ۴ نیز مربوط به توسعه و ساخت‌وساز شهری و تغییر کاربری بشر در مناطق است. مناطق ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مربوط به سادات محله و خالکیاسر لنگرود و قاضی محله شهر سلمان می‌شوند. این نتایج نشان می‌دهند که روش پیشنهادی با قابلیت بالا توانسته است مناطق آسیب‌دیده تالاب را شناسایی نماید. با توجه به این که تغییرات اتفاق افتاده در شهرستان لنگرود به دلیل رشد و گسترش شهری بوده است، این شاخص سلامت توانسته مفید واقع شود. نتایج حاصل از تحقیق پوررمضان و درویش رحیم آبادی نشان می‌دهند که افزایش جمعیت در شهرستان لنگرود در بازه زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵ رخ داده است که این آمار با اطلاعات تغییرات مکانی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در این تحقیق هم‌خوانی دارد (پوررمضان و درویش رحیم آبادی، ۱۳۹۶).

تخریب شدید تالاب کیاکالایه، سبب افزایش ریسک مخاطرات محیطی و فشار محیط زیستی زیاد به مناطق مجاور شده است (رنجبران لنگرودی و همکاران، ۱۳۹۲). اولین اثر منفی تخریب تالاب عدم کوچ پرندگان مهاجر به تالاب است که سبب از بین رفتن چرخه محیط‌زیست می‌شود. علاوه بر این تخریب تالاب کیاکالایه که به نوعی آبندان کشاورزی محسوب می‌شد باعث از بین رفتن و خشک شدن مزارع اطراف شده است. این موضوع به نوعی یکی از دلایل رشد سطوح نفوذناپذیر در اطراف آن شده است. نهایتاً یکی دیگر از مخاطرات محیطی، از بین رفتن اثر تالاب در جذب و کاهش آلاینده‌ها و اثرگذاری در چرخه کربن منطقه است.

منابع

- پور رمضان، ع. و درویش رحیم آبادی، ا.، ۱۳۹۶. تحلیل سلسله مراتبی شهری و متعادل سازی توزیع فضایی جمعیت کانون‌های شهری استان گیلان. مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، ۱۲(۴): صفحات ۸۷۵-۸۹۳.
- جعفری، ح.، کریمی، س. و مداح، ف.، ۱۳۸۶. محدوده یابی سپر حفاظتی با تجزیه و تحلیل مشخصه‌های آلاینده به کمک GIS و RS در تالاب میانکاله. محیط‌شناسی، ۳۳(۴۴): صفحات ۵۵-۶۴.
- جهانی شکیب، ف.، ملک محمدی، ب.، زبردست، ل. و عادل، ف.، ۱۳۹۳. بررسی قابلیت و کاربرد خدمات اکوسیستمی به عنوان شاخص‌های اکولوژیکی در مدل DPSIR مطالعه بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی تالاب‌های بین‌النهرین و عوامل مؤثر بر آن. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۵(۱۰): صفحات ۱۲۰-۱۰۹.
- حلیبان، ا. و شبانکاری، م.، ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی تالاب‌های بین‌النهرین و عوامل مؤثر بر آن. انسان و محیط‌زیست، ۱۴(۴): صفحات ۲۴-۹.
- رحیمی بلوچی، ل.، زرعی، آ. و ملک محمدی، ب.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات زیست‌محیطی با- استفاده از سنجش‌ازدور و شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: تالاب بین‌المللی شادگان). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی. ۵(۲): صفحات ۷۳-۶۱.
- رنجبران لنگرودی، ن.، برجی، م.، امینی، م. و میرخورسندی، ع.، ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر کاربری تالاب کیاکالایه لنگرود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS. اولین همایش حفاظت از تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی ایران، همدان، شرکت هم اندیشان محیط‌زیست فردا. https://www.civilica.com/Paper-PWAE01-PWAE01_089.html

زبردست، ل. و جعفری، ح.، ۱۳۹۰. ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش‌ازدور و ارائه راه‌حل مدیریتی. محیط‌شناسی، ۳۷(۵۷)، صفحات ۶۴-۵۷.
سبزی پرور، ع.، ۱۳۹۴، تخمین ضریب آلودگی سطح زمین با استفاده از تصاویر Leval1-G و CDR ماهواره لندست-۷. هواشناسی کشاورزی، ۳(۲)، صفحات ۴۵-۵۴.

سلیمی ترکمانی، ح.، ۱۳۹۰. بررسی مشکل زیست‌محیطی دریاچه ارومیه از منظر حقوق بین‌الملل محیط‌زیست. راهبرد، ۲۰(۵۸)، صفحات ۲۰۲-۱۷۷.
فاطمی، س. و صدقی، ف.، ۱۳۹۵. بررسی مقایسه‌ای اثر استفاده از مقادیر پیکسل، بازتابش و بازتابندگی در محاسبه شاخص‌های گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT 8. سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۳۱(۳)، صفحات ۹۱-۱۰۴.
عباس زاده تهرانی، ن.، ۱۳۹۴، معرفی روشی جهت ارزیابی و پایش «سلامت اکوسیستم» با به‌کارگیری فناوری سنجش‌ازدور. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۶(۱۲) صفحات ۷۱-۸۴.

Abdollahi, A. A., (2020). Modeling Land Use Change Using Perceptron Neural Network (Case Study: Lahijan City). The Journal of Spatial Planning, 24(1), 49-79.

Adam, E., Mutanga, O. and Rugege, D., 2010. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands ecology and management* no. 18 (3):281-296.

As-syakur, A., Adnyana, I., Arthana, I. W. and Nuarsa, I. W., 2012. Enhanced built-up and bareness index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. *Remote Sensing* no. 4 (10):2957-2970.

Babaei, H., Janalipour, M. and Abbaszadeh Tehrani, N., 2019. A simple, robust, and automatic approach to extract water body from Landsat images (case study: Lake Urmia, Iran). *Journal of Water and Climate Change*.

Barati, S., Rayegani, B., Saati, M., Sharifi, A. and Nasri, M., 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* no. 14 (1):49-56.

Bhowmik, S., 2020. Ecological and Economic Importance of Wetlands and Their Vulnerability: A Review. In Current State and Future Impacts of Climate Change on Biodiversity (pp. 95-112). IGI Global.

Chen, W., Cao, C., Liu, D., Tian, R., Wu, C., Wang, Y., Qian, Y., Ma, G. and Bao, D., 2019. An evaluating system for wetland ecological health: Case study on nineteen major wetlands in Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Science of The Total Environment* no. 666:1080-1088.

Chen, F., Chen, X., Van de Voorde, T., Roberts, D., Jiang, H. and Xu, W., 2020. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111706.

Chen, X., Liu, L., Zhang, X., Xie, S. and Lei, L., 2020. A Novel Water Change Tracking Algorithm for Dynamic Mapping of Inland Water Using Time-Series Remote Sensing Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 1661-1674.

Crippen, R. E., 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote sensing of environment* no. 34 (1):71-73.

Ekumah, B., Armah, F. A., Afrifa, E. K., Aheto, D. W., Odoi, J. O. and Afitiri, A., 2020. Geospatial assessment of ecosystem health of coastal urban wetlands in Ghana. *Ocean & Coastal Management* no. 193:105226.

Gao, B., 1996. "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space." *Remote sensing of environment* no. 58 (3):257-266.

Gardelle, J., Hiernaux, P., Kergoat, L. and Grippa, M., 2010. Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface water from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali). *Hydrology and Earth System Sciences* no. 14 (2):309-324.

Han-Qiu, X., 2005. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *Journal of remote sensing* no. 5:589-595.

Jafary, P., Alimohammadi Sarab, A. and Abbaszadeh Tehrani, N., 2018. Ecosystem health assessment using a fuzzy spatial decision support system in Taleghan watershed before and after dam construction. *Environmental Processes* no. 5 (4):807-831.

Janalipour, M. and Mohammadzadeh, A., 2019. A novel and automatic framework for producing building damage map using post-event LiDAR data. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101238.

- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A. and Lafaye, M., 2007.** Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote sensing of environment* no. 106 (1):66-74.
- Li, X., Li, C. and Zhang, L., 2010.** Modeling the scenarios of wetland restoration in Hengshui Lake National Nature Reserve. *Procedia Environmental Sciences* no. 2:1279-1289.
- McFeeters, S. K., 1996.** The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* no. 17 (7):1425-1432.
- Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J. and Alexander, L., 1995.** The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* no. 33 (2):481-486.
- Ondiek, R. A., Vuolo, F., Kipkemboi, J., Kitaka, N., Lautsch, E., Hein, T. and Schmid, E., 2020.** Socio-economic determinants of land use/cover change in wetlands in East Africa: a case study analysis of the Anyiko wetland, Kenya. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 207.
- Orimoloye, I. R., Kalumba, A. M., Mazinyo, S. P. and Nel, W., 2020.** Geospatial analysis of wetland dynamics: wetland depletion and biodiversity conservation of Isimangaliso Wetland, South Africa. *Journal of King Saud University-Science* no. 32 (1):90-96.
- Ozesmi, S. L. and Bauer, M. E., 2002.** Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management* no. 10 (5):381-402.
- Pourkhabbaz, H. R., Khanghah, S. Y. and Salehipour, F., 2015.** Study of land use changes trend in Shadegan wetland using remote sensing and GIS and Offering management Solutions. *Wetland Ecobiology* no. 7 (3):55-66.
- Rezaie, A. M., Loerzel, J. and Ferreira, C. M., 2020.** Valuing natural habitats for enhancing coastal resilience: Wetlands reduce property damage from storm surge and sea level rise. *PloS one*, 15(1), e0226275.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H. and Sorooshian, S., 1994.** A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment* no. 48 (2):119-126.
- Rebelo, L. M., Finlayson, C. M. and Nagabhatla, N., 2009.** Remote sensing and GIS for wetland inventory, mapping and change analysis. *Journal of environmental management* no. 90 (7):2144-2153.
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V. and Everitt, J. H., 2003.** Remote sensing techniques to assess water quality. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* no. 69 (6):695-704.
- Sharitz, R., 1986.** Remote sensing inland wetlands: a multispectral approach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* no. 52 (1):87-100.
- Shen, G., Yang, X., Jin, Y., Xu, B. and Zhou, Q., 2019.** Remote sensing and evaluation of the wetland ecological degradation process of the Zoige Plateau Wetland in China. *Ecological indicators* no. 104:48-58.
- Song, G., Fu, C. and Yong, E., 2011.** The analysis of ecosystem service value's change in Yueqing Bay wetland based on RS and GIS. *Procedia Environmental Sciences* no. 11:1365-1370.
- Tehrani, N. A. and Makhdom, M. F., 2013.** Implementing a spatial model of Urban Carrying Capacity Load Number (UCCLN) to monitor the environmental loads of urban ecosystems. Case study: Tehran metropolis. *Ecological indicators* no. 32:197-211.
- Tucker, C. J., 1979.** Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of environment* no. 8 (2):127-150.
- Wu, C. and Chen, W., 2020.** Indicator system construction and health assessment of wetland ecosystem——Taking Hongze Lake Wetland, China as an example. *Ecological Indicators* no. 112:106164.