



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 4, Winter 2023

۶۱-۸۲

مقاله پژوهشی

کاربرد داده‌های ماهواره سنتینل-۲ در تدقیق تغییرات پوشش اراضی

در محدوده بستر تالاب انزلی

مریم حقیقی خمایی^۱، محمد پناهنده^۲، محمدجواد تجدد^۳، فریبرز جمالزاد فلاح^۴، مهسا عبدلی^۵

۱. مربی گروه پژوهشی محیط‌زیست طبیعی، پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی، رشت

۲. استادیار گروه پژوهشی فراوری پسماند، پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی، رشت

۳. کارشناس پژوهش، گروه پژوهشی محیط‌زیست طبیعی، پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی، رشت

۴. استادیار گروه پژوهشی محیط‌زیست طبیعی، پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی، رشت

۵. کارشناس پژوهش، گروه پژوهشی محیط‌زیست طبیعی، پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی، رشت

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۷

چکیده

تالاب‌ها به‌منزله جزء اساسی اکوسیستم جهانی در پیشگیری یا کاهش شدت سیل، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و فراهم آوردن زیستگاه منحصربه‌فرد برای گیاهان و جانوران و دیگر خدمات و سودمندی‌ها، از عناصر اصلی استراتژی حفاظت منطقه‌ای‌اند. تالاب بین‌المللی انزلی در استان گیلان یکی از ده تالاب ارزشمند جهان است که به‌لحاظ تغییرات ساختاری حاصل از فرایندهای انسان‌ساخت، دچار تغییرات زیادی در کاربری اراضی و پوشش گیاهی شده و ماهیت و کارکردهای اکولوژیک آن به‌خطر افتاده است. هدف این مطالعه بررسی کاربری داده‌های سنجش از دور در نقشه‌سازی تغییرات الگوی فضایی سیمای سرزمین، به‌کمک نمونه‌برداری زمینی در سطح بستر تالاب و تجزیه و تحلیل تغییرات انسجام سرزمینی براساس متریک‌های سیمای سرزمین است. ابتدا داده‌های ماهواره‌ای بررسی شد و از طریق طبقه‌بندی تصاویر سنتینل-۲، متعلق به سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ با نقاط نمونه‌برداری زمینی، نقشه کلاس‌های پوشش اراضی در هفت طبقه کشاورزی، بایر، نیزار، جنگل، مرتع، پهنه آبی و شهری، برای نقشه‌سازی و تجزیه و تحلیل متریک‌های سیمای سرزمین، پدید آمد. پس از استخراج متریک‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس و سیمای سرزمین با نرم‌افزار Fragstats و تعیین متریک‌های مناسب طبق روش PCA، با نرم‌افزارهای R و Canoco، متریک‌های JJI، LPI، LSI، ENN_MN، TE، CA، NP، SHAPE_MN، PARA_MN، JJI، AREA_MN به‌منزله متریک‌های کاربردی برای تحلیل بهتر منطقه، انتخاب شدند. آنالیز متریک‌ها بیانگر آن است که به‌طور کلی سیمای سرزمین از هم گسیخته‌شده، از نظر شکلی، پیچیده‌تر و نامنظم‌تر و از نظر میزان یکپارچگی عناصر ساختاری، ناپیوسته‌تر شده است. **کلیدواژه‌ها:** متریک سیمای سرزمین، سنجش از دور، کاربری اراضی، تغییرات ساختاری، تالاب انزلی.

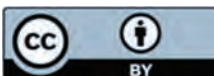
* نویسنده مکاتبه‌کننده: گیلان، رشت، خیابان ملت، ضلع غربی باغ محتشم، خیابان شهید سیادت، پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی. تلفن: ۰۹۱۱۸۰۶۷۷۰۳، دورنگار:

۰۱۳۳۳۴۶۰۲۸

Email: haghghi@acecr.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0002-7053-8020>

<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2022.102888>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

۱- مقدمه

تالابها از جمله مهم‌ترین اکوسیستم‌ها و عرصه‌های حیات در جهان و یکی از بارزترین زیبایی‌ها و شاهکارهای خلقت‌اند. تالابها خدمات اکولوژیکی ارزشمندی همچون حفظ تنوع زیستی، حفظ کیفیت آب، جلوگیری از سیل و خشک‌سالی، کاهش آلودگی‌ها و زیستگاه حیات‌وحش را فراهم می‌کنند (Kim et al., 2011) و یکی از دارایی‌های طبیعی شناخته می‌شوند که پشتوانه‌های مهم گوناگونی برای جامعه بشری فراهم می‌کنند؛ با این حال در پی حوادث گوناگون انسانی و طبیعی، در معرض تهدید قرار دارند و مدیریت ضعیفی دارند (Orimoloye et al., 2019). فاکتورها و عوامل اصلی که کارکردهای اکولوژیک این اکوسیستم‌ها را دگرگون می‌کنند، تغییرات پوشش اراضی است که طی آن، زراعت‌های متمرکز جایگزین پوشش گیاهی طبیعی می‌شود و نیز بهره‌برداری بیش‌ازاندازه از آب‌های زیرزمینی، خشکاندن و زهکشی‌های مصنوعی تالاب و دگرگونی و کانال‌کشی رودخانه‌ها؛ همچنین فعالیت‌هایی مانند احداث طرح‌های بزرگ آبیاری که مقدار زیادی آب نیاز دارند و ممکن است باعث کاهش جریان ورودی تالاب و همچنین کاهش جریان خروجی از تالاب شود (Ghorbani et al., 2013).

ایران با داشتن بیش از ۲۵۰ تالاب بزرگ و کوچک و به دلیل موقعیت جغرافیایی‌اش، از اهمیت ویژه‌ای در آسیای جنوب‌غرب برخوردار است. از این تعداد تالاب، ۲۵ سایت در فهرست رامسر با عنوان تالاب‌های مهم جهانی ثبت شده‌اند و چندین تالاب دیگر نیز در حال مطالعه برای پیوستن به این معاهده‌اند (Department of Environment, 2022). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی فرایندی است که به ایجاد درک صحیح از نحوه تعامل انسان و محیط‌زیست منجر می‌شود. تغییرات کاربری یکی از عوامل مهم در تغییر جریان هیدرولوژیک، فرسایش حوضه و انهدام تنوع‌زیستی است؛ بنابراین می‌توان، با اطلاع از روند تغییرات کاربری اراضی، در راستای هدایت اکوسیستم به سمت تعادل گام برداشت. داشتن آمار و اطلاعات به‌هنگام لازمه مدیریت صحیح

عرصه‌های طبیعی است (Meyer & Turner, 1994). در موارد بسیاری، تصاویر ماهواره‌ای یا عکس‌های هوایی اطلاعات مهمی به‌منظور برآورد نوع، شدت و وسعت تغییرات پوشش اراضی فراهم می‌کنند. این نوع کاربرد تصاویر ماهواره‌ای گاه تنها گزینه عملی برای کسب اطلاعات است (Rafii et al., 2012). تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی، به‌منظور اطلاع از کاربری‌ها و برنامه‌ریزی برای کاربری‌های گوناگون و دلخواه از جمله اطلاعات اساسی در استفاده بهینه از منابع زمینی است و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای رایج‌ترین روش در تهیه نقشه‌های مکانی پوشش/ کاربری اراضی شمرده می‌شود (Mathur & Foody, 2008). این نکته درباره مناطق حساس، به‌ویژه تالاب‌ها، از اهمیت بیشتری برخوردار است (Lambim & Gaist, 2006). تالاب‌ها نظام‌هایی حیات‌بخش‌اند که مطلقاً جایگزینی ندارند. امروزه بسیاری از سنجنده‌های نوری، لیزری و راداری ماهواره‌ها، در طول موج‌های متفاوتی، سطح زمین را پایش می‌کنند. از پیشرفته‌ترین این ماهواره‌ها، سری ماهواره‌های سنتینل آژانس فضایی اروپاست که ماهواره سنتینل-۲ را در سال ۲۰۱۵، برای دیده‌بانی از زمین به‌منظور بررسی پوشش زمین و عوارض موجود در آن مانند جنگل‌ها و خدماتی چون بررسی یا پیش‌بینی بلایای طبیعی به فضا پرتاب کرد (Rafii et al., 2012). تا به‌صورت سیستماتیک، تصاویر اپتیکی را در قدرت تفکیک مکانی بالا (۱۰ تا ۶۰ متر) از سطح خشکی و دریا برداشت کند. هدف اصلی مأموریت این ماهواره تهیه داده‌های ماهواره‌ای با وضوح بالا، برای نظارت بر کاربری اراضی، تغییرات آب‌وهوا و بلایای طبیعی زمین است. هدف مهم دیگر آن تکمیل سایر برنامه‌های ماهواره‌ای جهانی، مانند برنامه‌های ماهواره‌ای لندست^۱ و SPOT^۲، با اطمینان از تداوم نظارت بر پویایی روی سطح زمین است (Phiri et al., 2020).

1. Landsat
2. Satellite Pour l'Observation de la Terre

گوگل ارث انجین، تالاب‌های جزیره نیوفاندلند واقع در کانادا را شناسایی و فهرست‌بندی کردند. دهکردی^۶ و همکاران (۲۰۲۲)، برای تهیه نقشه زمین‌های کشاورزی در دو کلاس زراعی و غیرزراعی، از تلفیق روش‌های قطعه‌بندی و طبقه‌بندی در گوگل ارث انجین و شاخص‌های مستخرج از تصاویر سنتینل-۲ بهره‌جسته‌اند. بیات^۷ و همکاران (۲۰۲۲) نیز، با تلفیق طبقه‌بندی تصاویر سنتینل-۲ و داده‌های زمینی، نقشه پراکنش صنوبرکاری‌های استان زنجان را با صحت ۹۶/۷٪ و با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^۸، به‌دست آوردند. طبق نتایج، بیشترین میزان صنوبرکاری در زنجان است.

از طرفی تالاب‌ها، با حفظ ویژگی‌های طبیعی، در دستیابی به ترکیب بوم‌شناختی و سیمای سرزمین مناطق طبیعی کاربرد دارند. الگوهای کاربری‌های مجاور این اکوسیستم‌های طبیعی، عملکرد آنها را در سیمای سرزمین منطقه تعیین می‌کند؛ از این‌رو شناخت تغییرات سیمای سرزمین، طی زمان، برای ارزیابی تاثیر توسعه، پیش‌بینی تغییرات محیط‌های طبیعی آن سیمای سرزمین، ارزیابی نتایج راهبردهای متفاوت مدیریتی و شناخت مناطق حساس، به‌منظور طرح‌ریزی و مدیریت پایدار سرزمین، ضروری است (Madadi & Ashrafzadeh, 2010). تغییرات پوشش/ کاربری سرزمین در نتیجه فعل‌وانفعالات پیچیده فاکتورهای ساختاری و عملکردی مرتبط با تقاضا، ظرفیت تکنولوژیکی و ارتباطات اجتماعی، تأثیرات گسترده‌ای در سیمای سرزمین دارد (Matsushita et al., 2006).

به‌دلیل قدرت تفکیک بالا، تصاویر چندباندی این ماهواره در مطالعات جدید بسیار پرکاربرد بوده است. مارتین-گایگو^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیقی در منطقه حفاظت‌شده شیلی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ به مدل‌سازی توده‌های درختان بومی و غیربومی، با موضوعیت تکه‌تکه‌شدن و تغییر ساختار سیمای سرزمین منطقه، با استفاده از الگوریتم درخت تصادفی اقدام کردند. نتایج نشان می‌دهد افزایش گونه‌های غیربومی خطر جدی برای رویشگاه‌های طبیعی این مناطق محسوب می‌شوند. کول^۲ و همکاران (۲۰۲۲)، با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل-۲، الگوی طغیان سالیانه و چندین ساله تالاب مارا^۳ در تانزانیا طی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ را بازتولید کردند. الگوریتم جنگل تصادفی (RF) به‌صورت دوفصلی، با استفاده از هشت باند سنتینل-۲، پنج شاخص آب و پوشش گیاهی و یک مدل سطح دیجیتال (DSM)، برای طبقه‌بندی پوشش زمین در منطقه تالاب، به‌روش نیمه‌خودکار آموزش داده شد. نتایج نشان داد که گسترش و انقباض فصلی تالاب از رژیم دووجهی سازگار پیروی می‌کند و نتایج حاصل از تعادل آب، اهمیت جریان رودخانه در فصل خشک و بارش محلی برای نوسانات فصلی را تأیید می‌کند. وای^۴ و همکاران (۲۰۲۲)، با استفاده از تصاویر سنتینل-۲، داده‌های تالاب رودخانه زرد را براساس الگوریتم جنگل تصادفی استخراج کردند و پس از آن فرایند تغییرات تالاب و عوامل غالب آن از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵، با استفاده از ژئودکتور و گرانش، تحلیل و پایش شد. مدل مرکزی نتایج نشان داد که مجموعه متغیرهای بهینه متشکل از شاخص‌های لبه‌قرمز براساس الگوریتم جنگل تصادفی، با دقت کلی و ضریب کاپای ۰/۹۳ و ۹۵/۷۵٪، دارای بالاترین دقت طبقه‌بندی بودند. طی این سال‌ها، منطقه وسیعی از تالاب طبیعی در دلتای رودخانه زرد به تالابی مصنوعی تبدیل شده است. مهدیان‌پری^۵ و همکاران (۲۰۱۸)، با ترکیب داده‌های سنتینل-۱ و ۲ در سامانه تحت وب

1. Martin-Gallego
2. Kool
3. Mara
4. Wei
5. Mahdianpari
6. Dehkordi
7. Bayat
8. Support Vector Machin (SVM)

مطالعه توسعه داده‌های سنجش از دور، مانند سنتینل-۲، در بهبود دقت محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین، هنگام بررسی تغییرات کاربری اراضی در مناطق تالابی است؛ بنابراین از تصاویر سنتینل-۲، به دلیل وجود باندهای ده‌متری برای افزایش دقت طبقه‌بندی و افزایش دقت محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین در سطح محدوده بلافاصله تالاب انزلی استفاده می‌شود. با توجه به تراکم و تعدد انواع پوشش گیاهی در تالاب انزلی، استفاده از تصویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا می‌تواند در بهبود تجزیه و تحلیل انواع پوشش و کاربری‌ها مؤثر باشد. پس از تصحیح تصاویر، طبقه‌بندی آنها با دو الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان انجام و نتایج طبقه‌بندی، پس از اعتبارسنجی، به منظور بررسی تغییرات کاربری‌ها و مساحت آنها بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰، با محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس و سیمای سرزمین، تجزیه و تحلیل می‌شود. در این مطالعه، تالاب انزلی در جایگاه یکی از منابع محیط‌زیستی مهم در استان گیلان بررسی می‌شود و سعی بر آن است تا، با به‌کارگیری فناوری سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و متریک‌های سیمای سرزمین، راهکارهایی مناسب به منظور حفاظت از این تالاب مطرح شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

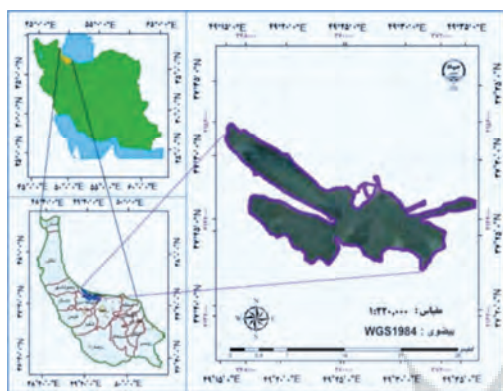
تالاب بین‌المللی انزلی در جنوب غرب دریای خزر قرار گرفته و یکی از ۲۵ تالاب بین‌المللی ایران است که در سال ۱۳۵۴، به همراه هجده تالاب دیگر، به دفتر کنوانسیون رامسر معرفی شد. منطقه ثبت‌شده آن،

دو جنبه اساسی ساختار سیمای سرزمین، یعنی ترکیب^۱ و شکل فضایی^۲ لکه‌ها^۳ را می‌توان به کمک متریک‌های سیمای سرزمین اندازه‌گیری کرد (Arekhi, 2015). امروزه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی ابزارهای نوینی را به منظور کمی کردن این ویژگی‌های سیمای سرزمین در بررسی تغییرات و امکان شناسایی، نقشه‌سازی، تجزیه و تحلیل الگوهای سیمای سرزمین و متریک‌های گوناگون آن فراهم آورده‌اند که با بررسی این متریک‌ها^۴ در گذر زمان، می‌توان روند تغییرات را بهتر مشاهده کرد و ماهیت عوامل پدیدآورنده را شناخت و آنها را در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، مدنظر قرار داد (Maleki Najafabadi et al., 2011). رجایی^۵ و همکاران (۲۰۲۰)، در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز رودخانه تجن، از تصاویر ماهواره‌ای و تجزیه و تحلیل متریک‌های سیمای سرزمین بهره جستند؛ زیرا تغییرات کاربری اراضی و تخریب پوشش‌های طبیعی سبب اختلال در اکوسیستم و کاهش تنوع زیستی می‌شود. نظرنژاد^۶ و همکاران (۲۰۲۰) در حوضه آبخیز بالانچ‌چای، دشتی و همکاران (۱۳۹۷) در تالاب میانکاله، کرمی و میرسنجری^۷ (۲۰۱۸) در تالاب هویزه و براتی^۸ و همکاران (۲۰۱۷) در پارک ملی و پناهگاه حیات وحش کلاه قاضی، به منظور بررسی تغییرات و تحلیل تغییرات کاربری اراضی، از این روش بهره بردند.

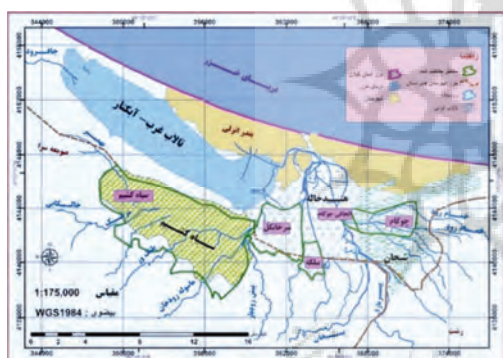
همان‌طور که اشاره شد، یکی از مهم‌ترین مبانی مدیریت منابع طبیعی مطالعات در زمینه نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی است؛ در حال حاضر، اطلاعات حاصل از سنجش از دور منبعی ایده‌آل برای تهیه نقشه پوشش و کاربری زمین، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی، محسوب می‌شود. سنجش از دور امکانات لازم و کافی را به منظور استخراج و به‌روزرسانی نقشه‌های پوشش زمین، در اختیار کاربران قرار می‌دهد. اطلاعات استخراج‌شده از طریق سنجش از دور اغلب کمک مؤثری در مشاهده بصری الگوهای کاربری اراضی هستند. هدف این

1. Composition
2. Configuration
3. Patch
4. Metrics
5. Rajaei
6. Nazar Neghad
7. Karami & Mirsanjari
8. Barati

ارتباط با سایر بخش‌ها و افت تراز سطح آب راه را برای تجاوز ساکنان حاشیه تالاب به بخش‌های گوناگون سیاه‌کشیم و کاهش پهنای تالاب در این بخش باز کرده است (Modaberi & Shokoohi, 2019).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تالاب انزلی



شکل ۲. بخش‌های گوناگون تالاب انزلی

در این فهرست، شامل تمامی تالاب انزلی، تالاب سیاه‌کشیم، منطقه حفاظت‌شده سلکه و دیگر آب‌بندان‌های متعدد محدوده تالاب می‌شود (Ghahraman & Atar, 2002). این تالاب در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 25'$ تا $37^{\circ} 30'$ عرض شمالی و $49^{\circ} 25'$ تا $49^{\circ} 30'$ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). وسعت محدوده بلافصل تالاب انزلی در فصل‌های زمستان و بهار، به دلیل افزایش بارش، تا حدود ۲۱۸ کیلومترمربع و در فصل تابستان، به سبب کاهش حجم ورودی آب، کمبود بارش و افزایش میزان تبخیر، به ۸۰ کیلومترمربع می‌رسد (Ashouri & Abdoos, 2012). این تالاب از شمال به دریای خزر، از جنوب به صومعه‌سرا، از شرق به پیربازار و از غرب به کپورچال و آبکنار محدود می‌شود. تفاوت میان بخش‌های گوناگون تالاب از نظر خصوصیات جغرافیایی، ویژگی آب‌وهوایی و تنوع گیاهی و جانوری، سبب تقسیم تالاب به چهار بخش شرقی، مرکزی، غربی و جنوب‌غرب (سیاه‌کشیم) شده است (شکل ۲). بخش مرکزی تالاب انزلی امروزه پهنه آبی وسیعی است و دو پناهگاه حیات‌وحش سلکه و سرخانکل، به همراه خروجی آب تالاب به دریا، در محدوده این بخش از تالاب قرار دارد. امروزه بیشتر بخش شرقی این تالاب پوشیده از گیاهان آبی بن‌درآب و یکی از آلوده‌ترین و کم‌عمق‌ترین محدوده‌های تالاب انزلی است. پناهگاه حیات‌وحش چوکام در محدوده این بخش از تالاب قرار دارد. بخش غربی تالاب انزلی که از نوع لاگون است، پهنه آبی وسیعی به‌شمار می‌رود و عمیق‌ترین بخش تالاب در محدوده این بخش قرار دارد. سیاه‌کشیم قدیمی‌ترین منطقه حفاظت‌شده در مجموعه تالاب انزلی است که امروزه، به‌جز چند کلاسه (پهنه آبی) و رودخانه‌های جاری در آن، بقیه سطح آن از گیاهان آبی بن‌درآب، به‌ویژه نی^۱، پوشیده شده است (Javedankherad et al., 2011). در سالیان اخیر، ارتباط بخش سیاه‌کشیم با سایر بخش‌ها، به دلیل کاهش عمق، به حداقل رسیده است. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که این کاهش

۲-۲- داده‌ها

به‌منظور طبقه‌بندی بستر تالاب، از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ استفاده شده که اطلاعات باندهای گوناگون آن در جدول ۱ آمده است. این ماهواره یکی از جدیدترین ماهواره‌های سازمان فضایی اتحادیه اروپاست. دلیل استفاده از آن بالا بودن قدرت تفکیک مکانی مناسب (۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر) و قدرت تفکیک طیفی مناسب (دوازده باند از محدوده ۴۹۰ نانومتر تا ۲۱۹۰ نانومتر) است.

1. *Phragmites australis*

که از پوشش گیاهی منطقه تأثیر می‌پذیرد نیز، زمان مناسب در فصل رشد پوشش گیاهی است و تصاویر متعلق به ماه‌های خرداد تا مرداد بهترین تصاویر برای منطقه مورد مطالعه به‌شمار می‌رود؛ زیرا این بازه زمانی بیشترین میزان رشد گیاهان آبی را دربردارد و با ورود به فصل پاییز (ماه‌های آبان و آذر)، سردی هوا و بارندگی‌های مداوم، نخست آنکه رشد گیاهان آبی کاملاً متوقف می‌شود و گاه کل گیاه از بین می‌رود و دوم، شرایط آب‌وهوایی منطقه، به‌دلیل ابرناکی شدید و بارش‌های فراوان شامل باران و برف، امکان ثبت تصاویر ماهواره‌ای مناسب را نمی‌دهد. بنابراین پس از دریافت تصاویر مناسب، برای تفکیک اراضی محدوده تالاب، منطقه مورد مطالعه با توجه به شناخت از آن به هفت کلاس کاربری طبقه‌بندی شد؛ شامل نیزار، مرتع، کشاورزی، شهری، جنگل، پوشش آب و پوشش لاله تالابی. جدول ۲ بیانگر مشخصات تصاویر استفاده‌شده در این مطالعه است.

۲-۳- نمونه برداری زمینی

برداشت نمونه‌های تعلیمی با استفاده از دستگاه GPS^۱ به‌منظور طبقه‌بندی تصویر سنتینل-۲، متعلق به سال ۲۰۲۰، با مراجعه به تالاب انجام شد. این نمونه‌ها در سطح آبی، با استفاده از قایق و در سطح خشکی، با پیمایش زمینی در کل محدوده اطراف تالاب، با دقت برداشت شدند. نقاط نمونه برداشت‌شده (شکل ۳) به‌منزله نمونه‌های تعلیمی، برای شناسایی کلاسه‌های گوناگون کاربری اراضی، به نرم‌افزار معرفی شدند. با توجه به برداشت نقاط نمونه و شناخت کامل

در این پژوهش، به‌منظور برخورداری از قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر برای طبقه‌بندی بهتر، از چهار باند ۲، ۳، ۴ و ۸ استفاده شده است.

جدول ۱. اطلاعات باندهای استفاده‌شده دریافتی از ماهواره

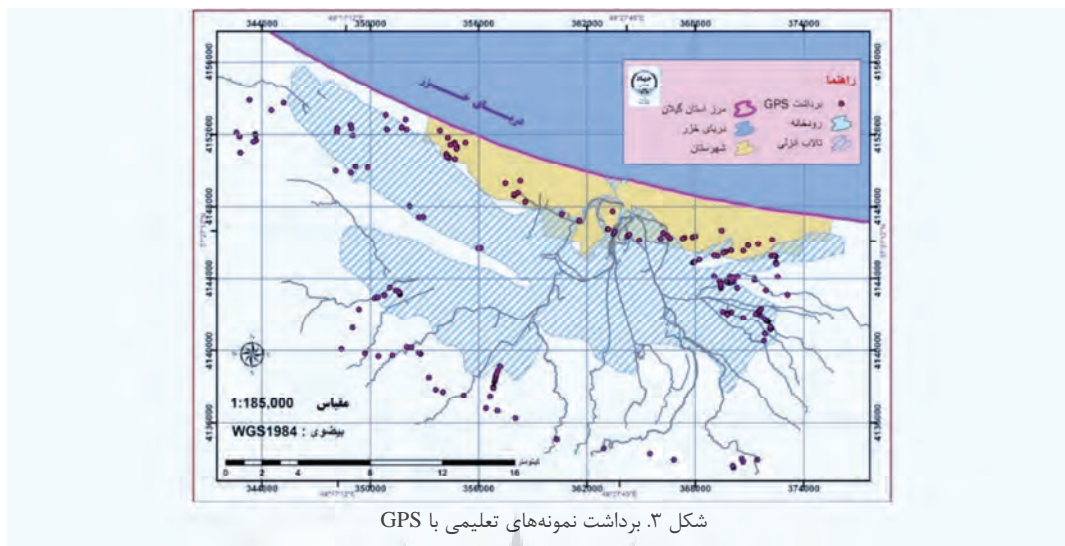
سنتینل-۲		
قدرت تفکیک مکانی (متر)	طول موج (نانومتر)	باندهای مورد استفاده
۱۰	۴۹۰	۲
۱۰	۵۶۰	۳
۱۰	۶۶۵	۴
۱۰	۸۴۲	۸

به‌منظور دریافت تصاویر محدوده مورد مطالعه، این تصاویر از وبگاه USGS (وبگاه زمین‌شناسی امریکا)، در دو دوره زمانی ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰، دانلود شد. با توجه به ابری بودن این محدوده در بیشتر طول سال، تصاویر انتخابی متعلق به فصل تابستان بوده زیرا میزان تغییرات سطح و عمق تالاب انزلی، پیش‌ازهمه، متأثر از تراز آبی دریای خزر و دبی رودخانه‌های ورودی به تالاب است و در گام‌های بعدی، مواردی همچون تغییرات کاربری و سپس بارش و دما باعث تغییراتی در میزان سطح و عمق تالاب می‌شوند. تراز آبی دریای خزر نیز همواره در حال تغییر است و روند این تغییرات ماهیت سینوسی دارد (Attarchi, Kharyaband & Attarchi, 2020)؛ بنابراین، در فصل تابستان که سطح تراز دریا بالاست، آب تالاب نیز در سطح بالایی قرار دارد (Modaberi & Shokoochi & Kharyaband, 2019). به‌منظور آشکارسازی پوشش اراضی

جدول ۲. اطلاعات تصاویر استفاده‌شده دریافتی از ماهواره سنتینل-۲

ماهواره	تاریخ دریافت تصویر	خط مسیر Path	خط برداشت ROW	توان تفکیک مکانی	منبع
سنتینل-۲	۲۰۲۰/۶/۱۹	۱۶۶	۳۴	ده متر	USGS
سنتینل-۲	۲۰۱۶/۸/۱۹	۱۶۵	۳۴	ده متر	USGS

1. Global Positioning System



پیکسل به پیکسل، امکان جبران برخی خطاهای آنها را دارد (Fatemi & Rezaei, 2013). مهم‌ترین بخش، قبل از پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای، تصحیح اتمسفری است. تصحیح اتمسفری، درموردی که به مقادیر انرژی ساطع شده از اشیاء نیاز است و یا هنگامی که شدت سیگنال ارسالی از طرف اشیاء کمتر از تأثیرات اتمسفری باشد، ضرورت دارد (Alavipanah, 2019). این تصحیح به‌ویژه درموردی به‌کار می‌رود که مقایسه و تجزیه و تحلیل تصاویر چندزمانه مدنظر است (Hadjimitsis et al., 2010).

۲-۵-۲- پردازش داده‌های ماهواره‌ای

۲-۵-۱- طبقه‌بندی
طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، به‌منظور نسبت دادن ارزش‌های رقومی موجود در تصویر به گروه‌هایی با مشخصه‌های همگن، با هدف متمایز کردن اشیاء یا پدیده‌های متفاوت از یکدیگر به‌کار می‌رود (Alavipanah, 2019). طبقه‌بندی تصاویر، درواقع، فرایندی است که طی آن تصویری ماهواره‌ای که از باندهای متفاوتی در طیف‌های متنوع امواج

به‌دست آمده درمورد منطقه، به این نتیجه رسیدیم که برای تفکیک اراضی محدوده تالاب، طبقه‌بندی در هفت کلاس کاربری شامل نیزار، مرتع، کشاورزی، شهری، جنگل، پوشش آب و مناطق بایر ضروری است. همچنین به‌منظور تهیه نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی هر دو تصویر، از تفسیر بصری، ترکیب‌های رنگی کاذب و سامانه Google earth Pro استفاده شد که به‌صورت ROI^۱ در نرم‌افزار ENVI 5.6 وارد شد.

۲-۴- پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای

در مرحله پیش‌پردازش، قبل از هرگونه پردازش بصری یا رقومی، به خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و دیگر موارد داده‌های خام توجه می‌شود؛ بنابراین شناسایی و تشخیص خطاهای احتمالی داده‌های ماهواره‌ای اهمیت بسیاری دارد. پس از دریافت داده‌ها، باید آنها را از نظر هندسی و رادیومتری به‌دقت بررسی کرد. حتی اگر قبلاً تصحیحاتی روی این داده‌ها انجام شده باشد، باید کاملاً درمورد خطاهای چنین داده‌هایی آگاهی داشت (Alavipanah, 2019). مرحله بعد تصحیحات رادیومتری است؛ شامل آن دسته از تصحیحاتی که فقط روی درجات خاکستری اعمال می‌شود و فقط با تغییر جداگانه مقادیر آنها (به‌صورت

1. Region of Interest

۲-۵-۲- صحت‌سنجی

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی آگاهی از درستی و صحت آن است. پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند، صحت تصویر طبقه‌بندی شده ارزیابی می‌شود. از روش‌های تعیین صحت کلی و ضریب کاپا در تعیین میزان خطا و دقت طبقه‌بندی استفاده شد. میزان خطا و دقت طبقه‌بندی که ممکن است ناشی از برچسب‌گذاری اشتباه پیکسل‌ها پس از طبقه‌بندی باشد، باید تعیین شود. سنجش صحت نقشه‌های تهیه‌شده براساس تصاویر ماهواره‌ای اغلب از طریق تشکیل ماتریس خطا انجام می‌شود (Hajibigloo et al., 2020) و صحت کلی برابر است با نسبت تعداد پیکسل‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده طبقه به کل پیکسل‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده در تمامی طبقات. ماتریس خطا میزان تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده را با واقعیت زمینی نشان می‌دهد و قطر آن بیانگر درصد کلاس‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده است (Lillesand et al., 2004). صحت کلی براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad \text{رابطه (۱)}$$

ضریب کاپا نیز میزان تطابق بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی را بیان می‌کند و با توجه به این نکته، تطابق‌های اتفاقی به‌وجودآمده از ملاحظات حذف می‌شوند (Richards, 1999). ضریب کاپا طبق رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$KAPPA = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

۳- اکولوژی سیمای سرزمین

درمورد شیوه به‌کارگیری و تفسیر متریک‌ها به‌منظور شناسایی و کمی‌سازی فرایند فضایی مورد نظر، هنوز اجماع نظری میان اکولوژیست‌های سیمای سرزمین

الکترومغناطیس تشکیل شده است، به نقشه کاربری تبدیل می‌شود؛ این نقشه بیانگر کلاس‌های متفاوت است و هر کلاس نیز به یک کاربری اشاره می‌کند. روش طبقه‌بندی نظارت‌شده برپایه معرفی دقیق نمونه طبقات و پدیده‌های مدنظر کاربر در سامانه تجزیه و تحلیل است. این نمونه‌ها که معمولاً از طریق کار میدانی، عکس‌های هوایی بزرگ‌مقیاس و نقشه‌های موضوعی تعیین می‌شوند، باید به‌بهترین نحو معرف طبقات باشند (Malmiran, 2004; Alavipanah, 2019; Alizadeh Rabiei, 1993). روش‌های پارامتریک (حداقل فاصله تا میانگین، حداکثر احتمال و مواردی از این‌گونه) و ناپارامتریک (شبکه عصبی^۱، ماشین بردار پشتیبان و مواردی از این‌دست) در طبقه‌بندی به‌کار می‌روند. در این مطالعه، از روش‌های ناپارامتریک استفاده شده است. طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی ساختار قدرتمندی برای فرایندهای کنترلی، طبقه‌بندی داده‌ها و خوشه‌بندی اطلاعات دارد. وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی مرحله‌به‌مرحله، براساس اطلاعات ورودی که دریافت می‌کند، تغییر کرده است و با افزایش میزان این اطلاعات، شبکه خطای خود را بیشتر کاهش می‌دهد. یکی از مرسوم‌ترین انواع شبکه‌های عصبی «شبکه عصبی پرسپترون» و متداول‌ترین الگوریتم آموزشی این شبکه‌ها «الگوریتم پس‌انتشار خطا» است (Tso & Mather, 2009). طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان نیز از روش‌های کلاسه‌بندی الگوست که برای تفکیک کلاس‌ها در داده‌های آموزشی، ابررویه‌ها را روی آنها برآزش می‌دهد. نخستین مرحله، برای تعیین ابررویه، یافتن نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی دو کلاس است. این نمونه‌های آموزشی «بردار پشتیبان» نام دارند. از جمله قابلیت‌های ماشین بردار پشتیبان توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیرخطی داده‌های آموزشی است. در این حالت با استفاده از توابع کرنل، داده‌ها به فضایی با بعد بزرگ‌تر انتقال می‌یابند که در آن تفکیک‌پذیری بهتر انجام می‌شود و ابررویه جداکننده در آن فضا تعیین می‌شود (Waske & Van der Linden, 2008).

1. Neural Network (ANN)

۱) مساحت هر طبقه (CA): مجموعه مساحت‌های تمامی لکه‌های همسان در منطقه
 ۲) کل لبه یا حاشیه کلی (TE): بیانگر طول کل لبه‌ها و مرزهای درون یک سیمای سرزمین که از طریق رابطه (۳) تعیین می‌شود.
 در این معادله، eik طول لبه بین لکه‌های i و k است.

$$TE = \sum_{k=1}^{m1} eik \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳) تعداد لکه یا پهرو (NP)^۳
 ۴) نمایه شکل سیمای سرزمین (LSI)
 ۵) نمایه درون پراکنش و مجاورت (IJI). این شاخص نشان‌دهنده نحوه پراکنندگی لکه در سیمای سرزمین بوده است.
 ۶) نمایه بزرگ‌ترین پیچ (LPI) درصدی از کل مساحت منطقه را نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین لکه آن را اشغال کرده است.
 ۷) توزیع نسبت محیط به مساحت- میانگین (PARA_MN)

وجود ندارد و از سوی دیگر، معمولاً نحوه تغییرات متریک‌ها بر اثر عوامل متفاوت ساختاری و در مناطق گوناگون دارای تفاوت است. از این رو در استفاده و تفسیر متریک‌ها باید دقت لازم به کار رود؛ به نحوی که با توجه به هدف بررسی، متریک‌ها و رفتار آنها در نظر گرفته و از میان آنها، متریک‌های مناسب انتخاب شود. از آنجاکه هیچ‌یک از متریک‌های سیمای سرزمین به تنهایی نمی‌تواند به‌طور کامل بیانگر وضعیت آشفستگی باشد، تیان^۱ و همکاران (۲۰۱۱) پیشنهاد کردند، همانند رابطه‌ای چندمتغیره، مجموعه‌ای از متریک‌ها با وزن‌های متناسب با هم ترکیب شوند. این کار را می‌توان با اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۲ روی نتایج متریک‌ها و استفاده از مقادیر در تحلیل‌ها انجام داد. برای اجرای تحلیل PCA، از دو نرم‌افزار R و CANOCO به‌منزله نرم‌افزارهای متن‌باز و کاربردی استفاده شد و فهرست متریک‌های خروجی از این تحلیل در جدول ۳ مشخص شده است. شکل ۴ چارچوب کلی تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۳. متریک‌های خروجی تحلیل PCA

علامت اختصاری	متریک	واحد متریک	توضیحات
CA	مساحت کلاس	مترمربع	-
TE	حاشیه کلی یا لبه کل	متر	طول کل حاشیه‌ها در یک کلاس یا کل سیمای سرزمین
NP	تعداد لکه‌ها		تعداد لکه‌ها را در سیمای سرزمین و یا کل تعداد لکه‌ها را در طبقه‌ای خاص محاسبه می‌کند
LSI	نمایه شکل سیمای سرزمین	ندارد	نسبت طول کل حاشیه لکه‌ها بر مساحت کل
IJI	پراکنندگی و مجاورت	درصد	میزان گسستگی و توزیع لکه‌ها
LPI	نمایه بزرگ‌ترین لکه	درصد	نسبت مساحت بزرگ‌ترین لکه به کل سیمای سرزمین
PARA_MN	نسبت محیط به مساحت		نسبت محیط مجموع لکه‌های هر کلاس به مساحت لکه‌های همان کلاس
SHAPE_MN	میانگین شکل		نسبت مجموع محیط لکه‌ها تقسیم بر تعداد لکه‌ها از همان نوع
ENN_MN	میانگین نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی	متر	-
AREA_MN	میانگین مساحت لکه		کارکرد تعداد لکه‌ها در سطح کلاس است

1. Tian
2. Principal Component Analysis
3. patch

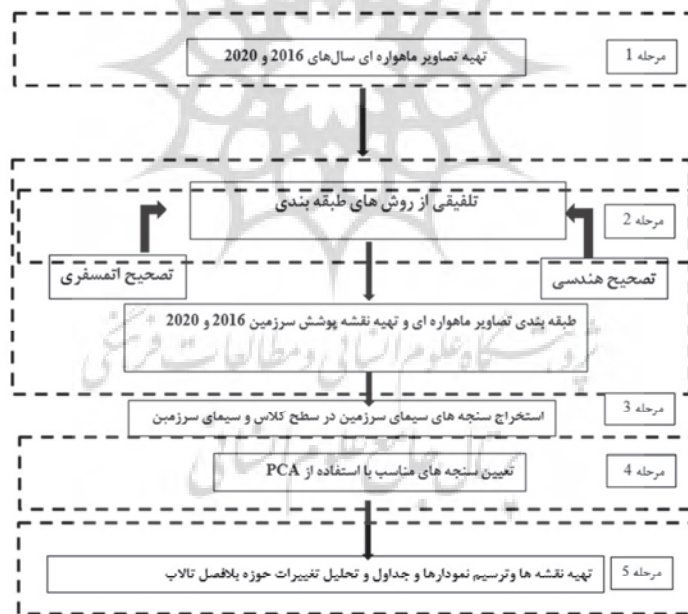
۴-۱- نتایج بررسی کاربری‌ها و مساحت کاربری‌ها در سطح بستر تالاب انزلی بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰

نتایج تغییرات هر کلاس کاربری در الگوریتم ماشین بردار، طی دو دوره ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰، در جدول ۵ بررسی شده و در جدول ۶ نیز، نتایج الگوریتم شبکه عصبی نشان داده شده است. با توجه به درصد هر کاربری در این دو دوره، نتیجه می‌گیریم کاربری‌های کشاورزی و مناطق شهری افزایش و کاربری‌های مرتع و نیزار نیز روندی کاهش طی این چهار سال داشته‌اند. با توجه به جدول ۵، می‌توان نتیجه گرفت شهرنشینی و کشاورزی در اطراف سطح بستر تالاب روندی رو به افزایش است. در بین تمامی کاربری‌ها در سال ۲۰۱۶، بیشترین مورد به کلاس آب و کمترین میزان درصد به کلاس مناطق شهری بازمی‌گردد و در سال ۲۰۲۰، بیشترین درصد وسعت طبقات به کلاس آب و کمترین درصد وسعت به کلاس شهر تعلق دارد.

۸) توزیع میانگین نمایه شکل (SHAPE_MN)
 ۹) توزیع فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه- میانگین (ENN_MN)
 ۱۰) توزیع میانگین مساحت پهرو (AREA_MN)

۴- نتایج و بحث

طبقه‌بندی دو تصویر ماهواره سنتینل-۲ با استفاده از دو الگوریتم SVM و ANN انجام شد. جدول ۴ بررسی نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد. الگوریتم ماشین بردار در سال ۲۰۱۶، با ضریب کاپای ۰/۹۱ و دقت کلی ۹۴/۰۱ و در سال ۲۰۲۰، با دقت کلی ۹۵/۶۱ و ضریب کاپای ۰/۹۴، در قیاس با الگوریتم شبکه عصبی، نتایج و دقت بیشتری دارد.



شکل ۴. چارچوب کلی تحقیق

جدول ۴. صحت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی تصاویر سنتینل-۲

تصویر سنتینل-۲، سال ۲۰۲۰		تصویر سنتینل-۲، سال ۲۰۱۶		الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده
صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	
۹۲/۸۶	۰/۹۱	۸۷/۶۱	۰/۸۲	ANN
۹۵/۶۱	۰/۹۴	۹۴/۰۱	۰/۹۱	SVM

ماشین بردار پشتیبان در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ در مورد تصاویر سنتینل-۲ در سطح بستر تالاب انزلی بهترین نتایج را داراست. نقشه‌های شکل‌های ۵ تا ۸ طبقات حاصل از دسته‌بندی تصاویر سنتینل-۲، طی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ در سطح بستر تالاب انزلی را نشان می‌دهد.

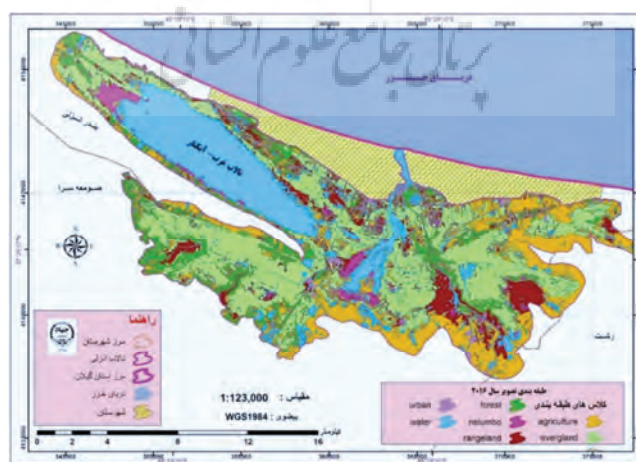
براساس جدول ۶، درصد حضور کاربری‌ها در نقشه حاصل از طبقه‌بندی با الگوریتم شبکه عصبی نشان می‌دهد کاربری کشاورزی، جنگل و نیزار، بین سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰، افزایش داشته است. همان‌طور که در ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری حاصل از طبقه‌بندی‌کننده‌های ماشین بردار و شبکه عصبی بیان شد و همچنین بنابر جدول ۴، الگوریتم

جدول ۵. نتایج درصد هر کاربری در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

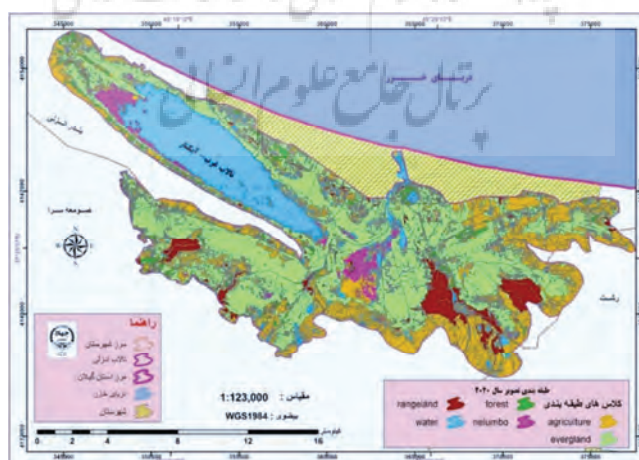
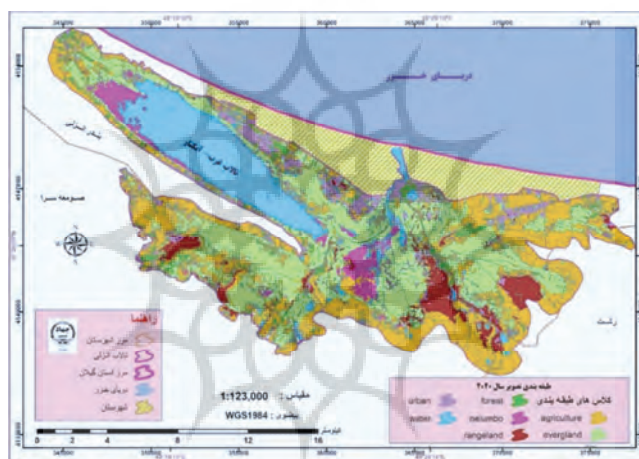
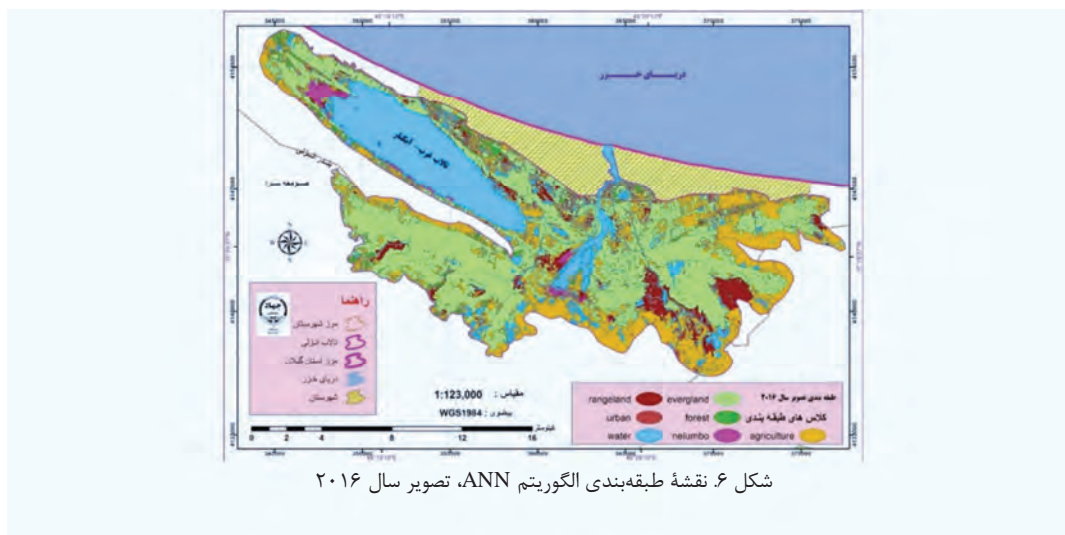
کلاس طبقه‌بندی	تصویر سال ۲۰۱۶		تصویر سال ۲۰۲۰	
	مساحت (هکتار)	درصد حضور	مساحت (هکتار)	درصد حضور
پوشش نیزار (Everglade)	۳۳۰۲	۱۳/۱۷	۲۹۶۲	۱۱/۸۲
مرتع (Rangeland)	۱۰۳۱/۵	۴/۱۲	۷۹۶	۳/۱۸
کشاورزی (Agriculture)	۲۰۲۲	۸/۰۷	۳۲۲۵	۱۲/۸۷
مناطق شهری (Urban)	۱۱۲/۵	۰/۴۵	۲۶۱	۱/۰۴
جنگل (Forest)	۹۸۵	۳/۹۳	۴۷۲	۱/۸۸
آب (Water Body)	۱۷۴۰۰	۶۹/۴۳	۱۶۹۷۲	۶۷/۷۲
لاله تالابی (Nelumbo)	۲۱۰	۰/۸۴	۳۷۵	۱/۵۰

جدول ۶. نتایج درصد هر کاربری در الگوریتم شبکه عصبی (ANN)

کلاس طبقه‌بندی	تصویر سال ۲۰۱۶		تصویر سال ۲۰۲۰	
	مساحت (هکتار)	درصد حضور	مساحت (هکتار)	درصد حضور
پوشش نیزار	۴۱۱۵	۱۶/۴۲	۴۳۴۷	۱۷/۳۴
مرتع	۶۸۰	۲/۷۱	۶۶۵	۲/۶۵
کشاورزی	۲۴۶۲	۹/۸۲	۲۴۷۰	۹/۸۶
شهر	۹۷/۵	۰/۳۹	۱۰۵	۰/۴۲
جنگل	۹۸	۰/۳۹	۳۲۵	۱/۳۰
آب	۱۷۴۸۵/۵	۶۹/۷۷	۱۶۸۴۸/۵	۶۷/۲۲
لاله تالابی	۱۲۵	۰/۵۰	۳۰۲/۵	۱/۲۱



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی الگوریتم SVM، تصویر سال ۲۰۱۶



۲-۲-۴- نتایج بررسی متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین در بستر تالاب انزلی
جدول ۹ و شکل ۹ میزان تغییرات متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین بستر تالاب را نشان می‌دهد. تمامی متریک‌ها، در سطح سیمای سرزمین بستر تالاب، روندی افزایشی داشته و متریک NP و IJI اندکی کاهش داشته‌اند.

۲-۴- نتایج بررسی متریک‌ها در بستر تالاب انزلی
۱-۲-۴- نتایج بررسی متریک‌ها در سطح کلاس در بستر تالاب انزلی
جدول‌های ۷ و ۸ مقادیر متریک‌هایی را نشان می‌دهد که براساس نتایج PCA، در نرم‌افزارهای R و CANOCO محاسبه شده است.

جدول ۷. تغییرات متریک در سطح کلاس بستر تالاب انزلی در سال ۲۰۱۶

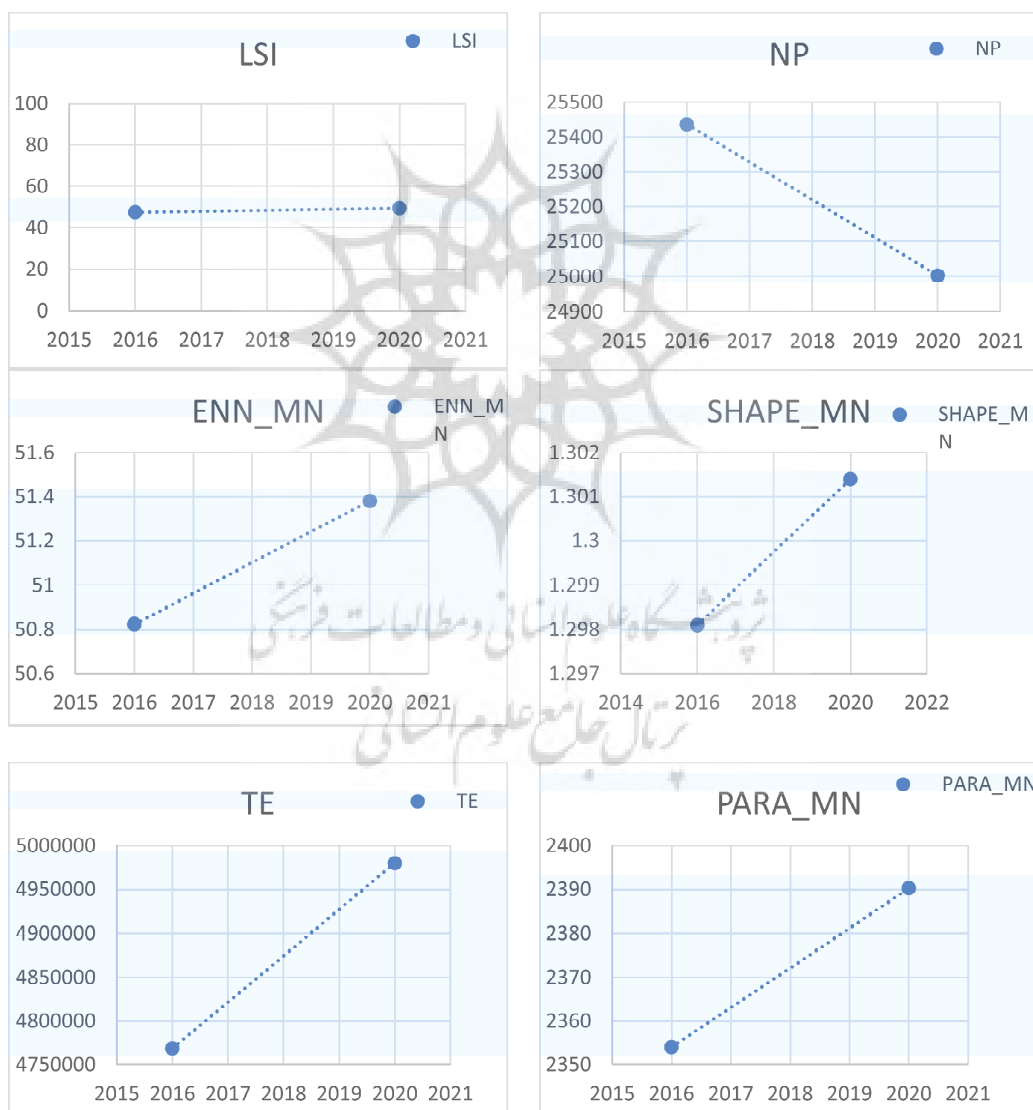
AREA_MN	IJI	PARA_MN	SHAPE_MN	ENN_MN	LSI	NP	TE	LPI	CA	کلاس‌های کاربری
1/6005	74/2314	2437/546	1/3276	39/4665	69/8168	5288	2569260	3/642	8463/52	نیزار (Everglade)
0/4645	78/2642	2342/732	1/31	47/525	86/0639	5922	1805620	0/418	2750/5	مرتع (Rangeland)
0/7725	78/7913	2362/452	1/2997	41/2944	80/6101	6917	2356860	1/2897	5343/59	کشاورزی (Agriculture)
0/2865	76/5712	2210/465	1/2858	81/8571	37/4914	1052	260940	0/025	301/39	شهری (Urban)
0/9626	65/9193	1998/764	1/3077	58/8008	58/2233	2706	1188890	0/3442	2604/75	جنگلی (Forest)
2/0935	76/5565	2761/226	1/2325	60/1682	30/5897	2408	869360	5/1315	5041/21	پیکره آبی (Water body)
0/4899	65/7423	2098/641	1/2153	111/1658	31/9112	1140	301880	0/2504	558/51	لاله تالابی (Nelumbo)

جدول ۸. تغییرات متریک در سطح کلاس بستر تالاب انزلی در سال ۲۰۲۰

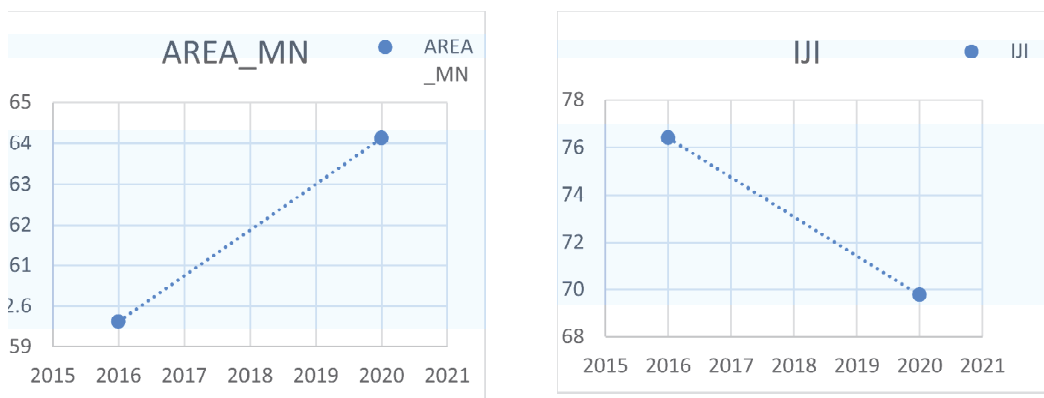
AREA_MN	IJI	PARA_MN	SHAPE_MN	ENN_MN	LSI	NP	TE	LPI	CA	کلاس‌های کاربری
1/2543	49/2129	2399/985	1/3303	37/348	80/6648	6252	2858740	2/885	7841/72	نیزار (Everglade)
1/3026	70/6997	2401/681	1/3608	35/4601	95/6194	6544	3531990	2/1563	8524/49	مرتع (Rangeland)
1/3026	60/7177	2401/681	1/3608	35/4601	95/6194	6544	3531990	2/1563	8524/49	کشاورزی (Agriculture)
0/3795	70/8792	2334/503	1/2871	64/6548	61/1651	2759	792700	0/158	1046/97	شهری (Urban)
0/4626	77/4579	1944/233	1/2738	67/3551	51/3911	2134	500/646	0/0646	987/24	جنگلی (Forest)
1/934	50/9882	2847/718	1/1794	69/3026	23/2348	2024	581800	4/837	3914/49	پیکره آبی (Water body)
0/5657	63/5903	2348/992	1/2536	82/9711	38/6593	1755	487880	0/3688	992/76	لاله تالابی (Nelumbo)

جدول ۹. تغییرات متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین در بستر تالاب انزلی

طبقه‌بندی تصویر ۲۰۲۰	طبقه‌بندی تصویر ۲۰۱۶	متریک
25003	25437	NP
4795/49	47/4233	LSI
3014/1	1/2981	SHAPE_MN
3807/51	8235/50	ENN_MN
2390/2847	2354/0566	PARA_MN
4980170	4768800	TE
69/7754	76/3933	IJI
2/6413	2/5962	AREA_MN



شکل ۹. نمودار تغییرات متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین، بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰



ادامه شکل ۹

کاربری‌های جنگل، کشاورزی و آب کاهش و در مابقی کلاس‌ها، روندی افزایشی داشته است. نتیجه آن است که افزایش هم‌زمان NP و CA، در کلاس‌های پوشش شهری و نیزار، به توسعه این نوع لکه‌ها اشاره دارد و کاهش CA و افزایش NP در کلاس پوشش جنگل نیز گویای از هم‌گسیختگی است و از نظر زیستگاهی، اثر منفی داشته است.

LPI نشان‌دهنده مساحت بزرگ‌ترین لکه است؛ نتایج بررسی متریک آن، در کلاس کشاورزی و مرتع، افزایش را نشان می‌دهد و در بقیه کلاس‌ها ثابت است. افزایش LPI در کلاس کشاورزی بیان می‌کند بزرگ‌ترین لکه کشاورزی، به‌مرور زمان، وسعت یافته است. این شاخص، وقتی که در کنار NP بررسی شود و NP دارای کاهش باشد، یعنی لکه‌های کشاورزی به تدریج به هم‌پیوسته و بزرگ‌تر شده و یا لکه‌های دیگر به این کلاس کاربری تبدیل شده‌اند. این افزایش به دلیل تبدیل لکه‌های جنگل و آب است. نتایج مشابه در تحقیقات دیگر بازگو می‌کند افزایش NP نشانه تجزیه و روند افزایشی تخریب سیمای سرزمین بوده است. نتایج بررسی میرزایی^۱ و همکاران (۲۰۱۳)، در استان مازندران، مطابق نتیجه این پژوهش است. نتیجه بررسی متریک NP و شاخص LPI افزایش حجم لکه

1. Mirzayi

۵- تجزیه و تحلیل کلی متریک‌ها در سطح کلاس و سیمای سرزمین در بستر تالاب انزلی

تحلیل متریک‌ها در سطح کلاس از طریق محاسبه متریک‌های JJI، CA، TE، LSI، AREA_MN، NP، LPI و ENN_MN انجام شد. برای تحلیل و درک متریک‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس، متریک‌ها به صورت دسته‌ای تجزیه و تحلیل شدند. در این بین، متریک CA که بیان‌کننده مساحت هر طبقه است، کاهش لکه‌های جنگلی و لکه‌های پوشش آب و افزایش لکه‌های کشاورزی، شهری و مرتع را نشان می‌دهد که حاکی از توسعه لکه‌های انسان‌ساخت و کاهش توسعه لکه‌های طبیعی در بستر تالاب است. با توجه به اینکه لکه‌های انسان‌ساخت در حال افزایش است، می‌توان تأثیرات منفی در الگوی بستر تالاب را انتظار داشت. همچنین کاهش پوشش آب و افزایش طبقه کشاورزی و شهری چه‌بسا نتیجه افزایش زمین‌های تحت کشاورزی و تبدیل اراضی جنگلی و پوشش آب به این نوع کاربری‌ها باشد که نشان از خشک‌شدن تالاب و تجاوز به بستر تالاب با هدف کشاورزی و توسعه انسانی دارد. از دیگر سو، به علت افزایش دمای هوا در فصل‌های گرم، میزان تبخیر از سطح تالاب و تبخیر و تعرق از گیاهان تالابی نیز افزایش می‌یابد (Modaberi & Shokoohi, 2019). بررسی متریک NP که بیان‌کننده تعداد لکه است، نشان می‌دهد این متریک در

نتایج ناشی از سنجه مجاورت و پراکندگی (III) نشان می‌دهد، در کاربری آب، با کاهش و در دیگر کاربری‌ها، با روندی ثابت مواجهیم. کاهش این سنجه نشان‌دهنده کوچک شدن لکه آب و خالی شدن بیشتر مناطق تالاب از پوشش آب است. در سطح سیمای سرزمین، متریک‌ها در مقیاس بزرگ‌تر و در سطح کل پهنة منطقه مورد مطالعه برای کاربری‌های متفاوتی ارزیابی می‌شوند. تحلیل متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین با محاسبه متریک‌های ENN_MN, SHAPE_MN, LSI, LPI, NP, PARA_MN, TE, JJI, TA و LPI انجام شده است. متریک درون پراکنش و مجاورت (III) براساس مجاورت لکه‌هاست و در این متریک، مجاورت هر لکه با لکه دیگر ارزیابی می‌شود زیرا در اینجا هرگز لکه‌های مشابه کنار یکدیگر قرار نمی‌گیرند (Mokhtari & Sayah Nia, 2016). روند تغییرات این متریک در بستر تالاب، در دوره مطالعه، با کاهش روبه‌رو شده است. کاهش آن در سطح سیمای سرزمین نشان می‌دهد لکه‌ها با هم اختلاط مطلوب ندارند (یعنی لکه‌های گوناگون کنار یکدیگر قرار نگرفته‌اند). متریک کل لبه در سطح سیمای سرزمین نیز روندی افزایشی داشته که بیانگر افزایش طول لبه‌ها و بروز ازهم‌گسیختگی است. روند NP یا تعداد لکه در سطح سیمای سرزمین بستر تالاب کاهش و TE افزایش داشته است؛ این مسئله گویای گسترش لکه‌های موجود و توسعه‌یافتگی آنهاست. متریک میانگین شکل لکه یا SHAPE_MN نشان‌دهنده توزیع مکانی لکه‌هاست. افزایش این متریک در سطح سیمای سرزمین به تعداد پایین لکه‌ها در بستر تالاب و گسترش آنها اشاره دارد. متریک PARA-MN یا نسبت محیط به مساحت و سنجه میانگین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) که میزان تکه‌تکه‌شدگی لکه‌های یک کلاس را نشان می‌دهد، نیز روندی افزایشی را در بین تمامی کلاس‌ها داراست. سه متریک LPI, TA, و LPI طی دوره مطالعه روندی ثابت داشته‌اند.

کشاورزی را نشان می‌دهد و این بدان مفهوم است که کاربری کشاورزی به سمت افزایش گستردگی در لکه اصلی پیش رفته و این تبدیل‌ها بدون برنامه‌ریزی و به حالت نامنظم است؛ از آنجاکه کاربری کشاورزی عملی انسانی است، موجب تخریب سایر کاربری‌ها شده است. متریک TE طول کل لبه‌ها و مرزهای سیمای سرزمین است و نتایج آن در کاربری شهری، کشاورزی و مرتع روندی افزایشی و در کاربری جنگل و آب، روندی کاهشی داشته است. سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه، در سال ۲۰۱۶، شامل لکه‌های بزرگ‌تر و از لحاظ شکل، ساده‌تر و از نظر پراکنش، متمرکزتر بوده و روند توسعه و گسترش فعالیت‌های انسانی باعث کوچک‌تر شدن لکه‌ها و شکل نامنظم آنها شده است. متریک LSI شاخص شکل سیمای سرزمین است؛ افزایش آن نشان از افزایش پراکندگی و در نتیجه، بی‌نظمی بیشتر دارد. نتایج این شاخص به افزایش در تمامی کاربری‌ها، به جز پوشش آب، اشاره می‌کند. افزایش این متریک، در کاربری کشاورزی و شهری، گویای پیچیده‌تر شدن و نامنظم‌تر شدن شکل هندسی کاربری‌هاست که با توجه به افزایش میزان این کاربری‌ها طی روند مطالعه، چنین نتایجی دور از انتظار نیست. متریک AREA_MN، یا میانگین مساحت پهرو، طی این دوره در کلاس‌های کاربری شهری، کشاورزی و مرتع، روندی افزایشی داشته است. افزایش این متریک نشان‌دهنده بزرگ شدن یک لکه است که با توجه به افزایش لکه‌های انسان‌ساخت و کاهش در کاربری جنگل، با تخریب در بستر تالاب مواجهیم. متریک میانگین شکل لکه یا SHAPE_MN به توزیع مکانی لکه‌ها اشاره دارد. کاهش این متریک در سطح سیمای سرزمین، در کلاس پوشش آب، بیانگر تعداد زیاد لکه‌های آب در بستر تالاب و پراکنش آنهاست. متریک PARA-MN یا نسبت محیط به مساحت و سنجه میانگین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) که میزان تکه‌تکه‌شدگی لکه‌های یک کلاس را نشان می‌دهد نیز روندی ثابت را بین تمامی کلاس‌ها دارد.

۶- نتیجه‌گیری

تالاب بین‌المللی انزلی، به‌منزله یک اکوسیستم آبی منحصربه‌فرد در شمال کشور، خدمات و کارکردهای بسیاری برای ذی‌نفعان گوناگون دارد. در سال‌های اخیر و تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی، ادامه حیات این تالاب با خطرهای مهمی مواجه شده و مهم‌ترین عوامل ایجادکننده این تغییرات تبدیل کاربری اراضی است. بدین‌دلیل، بررسی و آشکارسازی تغییرات پوشش کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی‌های فعلی و آتی استفاده از سرزمین، به‌منظور حفاظت و احیای این اکوسیستم طبیعی، اهمیت می‌یابد. در این مطالعه، با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل-۲ و متریک‌های سیمای سرزمین، تغییرات کاربری اراضی در سطح کلاس و سیمای سرزمین تالاب انزلی بررسی شد. قدرت تفکیک بالای تصاویر سنتینل-۲ موجب افزایش دقت در طبقه‌بندی، محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین و بهبود تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری‌های گوناگون می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر، با استفاده از متریک‌های سطح سیمای سرزمین و کلاس، بیان می‌کند که به‌طور کلی سیمای سرزمین در این منطقه تکه‌تکه‌تر، از نظر شکلی پیچیده‌تر و نامنظم‌تر، و از نظر میزان یکپارچگی عناصر ساختاری، ناپیوسته‌تر شده است. تفسیر نتایج نشان می‌دهد عوامل اصلی این تغییرات پویایی شدید کاربری انسان‌ساخت و کاربری کشاورزی در منطقه، طی مقطع زمانی مورد نظر بوده که در نهایت، اثرگذاری بیشتری داشته‌اند. این نتیجه با نتایج تحقیق کرمی و فقهی^۱ (۲۰۱۲)، در کمی‌کردن سنجه‌های سیمای سرزمین به‌منظور حفاظت از الگوی کاربری اراضی پایدار استان کهگیلویه و بویراحمد، مطابقت دارد. در واقع، افزایش مساحت کل کلاس و تعداد لکه‌ها، تراکم حاشیه و مساحت بزرگ‌ترین اندازه لکه کاربری شهری و کشاورزی نشان‌دهنده کاهش مساحت کاربری آب و جنگل و کاهش شدید اندازه بزرگ‌ترین لکه در طول سالیان، درمورد کاربری جنگل است. نتایج این پژوهش، با تحقیق نصیری و درویش‌صفت^۲ (۲۰۱۸)

درمورد منطقه ارسباران نیز، مطابقت دارد و افزایش متریک تعداد لکه، در هر دو تحقیق، گویای ازهم‌گسیختگی کاربری‌های طبیعی به‌دنبال کاربری‌های انسانی است. همچنین متریک مساحت لکه و تراکم حاشیه بیانگر کاربری نیزار است که بیشترین سهم را در بین کاربری‌ها در بستر تالاب دارد و به‌عبارتی، عنصر اصلی سیمای سرزمین بستر تالاب کاربری نیزار است. جنگل‌های منطقه که زمانی به‌هم‌پیوسته و دارای یکپارچگی بسیار بودند، دچار فرایند تکه‌تکه‌شدگی^۳ و ازهم‌گسیختگی شده‌اند. این فرایند که تغییرات ساختاری شدیدی در سیمای سرزمین ایجاد کرده، به فروافت کارکرد آن منجر خواهد شد و علاوه‌بر کاهش بازدهی به‌دلیل کوچک‌شدن قطعات زمین، موجب افزایش دسترسی انسانی در سیمای سرزمین می‌شود و زمین‌های مرغوب باقی‌مانده در معرض تهدید ساخت‌وسازهای کنترل‌نشده قرار می‌گیرد. این نتیجه با نتایج پژوهش طالبی امیری^۴ و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد که هدف آن تحلیل تخریب سیمای سرزمین حوضه آبخیز نکا بوده است. تفسیر نتایج گویای این واقعیت نیز است که لکه‌های انسان‌ساخت و کشاورزی در سیمای سرزمین، در بازه زمانی مورد نظر، روند تغییراتی کاملاً هم‌سو را طی کرده‌اند که این ممکن است ناشی از اثر مستقیم و شدت بیشتر حضور انسان در تعیین الگوی چینش آنها، در مقایسه با دیگر کاربری‌ها باشد. این نتیجه با نتایج مطالعات شهپریان^۵ و همکاران (۲۰۱۴) تطبیق دارد که در پی ارزیابی تغییرات الگوهای مکانی سیمای سرزمین در حاشیه رودخانه زاینده‌رود بوده‌اند و همچنین دریافتند که پوشش اراضی بایر منطقه دچار کاهش سطح و تخریب شده است. افزایش مناطق کشاورزی و شهری حاصل تبدیل اراضی جنگلی و پوشش آب به این

1. Karami & Feghhi
2. Nasiri & Darvishsefat
3. Fragmentation
4. Talebi Amiri
5. Shahparian

- Ground Data in Zanjan Province**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 14(3), PP. 1-14.
<https://doi.org/10.52547/gisj.14.3.1>
- Bennett, G. & Mulongoy, K.J., 2006, **Review of Experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones**, Technical Series; Secretariat of the Convention on Biological Diversity: Montreal, QC, Canada, 23. P. 100.
<https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-23.pdf>
- Dashti, S., Sabzghabaei G.R., Jafarzadeh, K. & Bazmara Baleshti, M., 2019, **Changes Detection Assessment of Miankaleh Coastal wetland by Landuse Planning Approach**, Journal of Wetland Ecobiology, 10(4), PP.5-20.
["https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-728-en.html"](https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-728-en.html)
- Dehkordi, A., Valadanouzj, M.J. & Safdarinezhad, A., 2022, **Cropland Mapping through Integration of Segmentation and Classification Techniques in Google Earth Engine**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 4(1), PP. 1-19.
<https://doi.org/10.52547/gisj.14.1.1>
- Department of Environment, 2022, **Introducing Iran's Wetlands and the Ramsar Convention**, <https://crw.doe.ir/portal/file>.
- Fatemi S.B. & Rezaei, Y., 2013, **Basics of Remote Sensing**, Azadeh Publications, Tehran.
- Gallego, F.J., 2004, **Remote Sensing and Land Cover Area Estimation**, International Journal of Remote Sensing, 25(15), PP. 3019-3047.
<https://doi.org/10.1080/01431160310001619607>
- Ghahraman, A. & Atar, F., 2002, **Anzali Wetland in Danger of Death (an Ecologic- Floristic Research)**, Journal of Environmental Studies, 28, PP. 1-38
- Ghorbani, R., Taghipour, A.A. & Mahmoudzadeh, H., 2013, **Analysis and Evaluation of Land Use Changes in International Wetlands of Ala-Gol, Alma- Gol & Ajay-Gol In Turkaman Sahra, Using Multi-temporal Satellite Images**, Geography and Environmental Planning, 33(48), PP. 167-186.
[doi: 10.1001.1.20085362.1391.23.4.11.5](https://doi.org/10.1001.1.20085362.1391.23.4.11.5)
- کاربری‌هاست که با توجه به رابطه مستقیم تراز سطح آب تالاب با تراز سطح آب دریای خزر، این عوامل در کنار گسترش مناطق شهری و زراعی، نشان از پیشروی به‌سوی بسترهای آبی تالاب دارد و در صورت نبود برنامه‌ریزی صحیح، به خشک‌شدن تالاب خواهد انجامید.
- ۷- تشکر و قدردانی**
- این مطالعه با حمایت جهاد دانشگاهی و آرسوی پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی گیلان انجام شده است. از حمایت و همکاری تمامی عزیزانی که ما را در تحقق آن یاری کردند، قدردانی می‌کنیم.
- ۸- منابع**
- Acreman, M.C. & Hollis, G.E., 1996, **Water Management and Wetlands in Sub-Saharan Africa**, IUCN, Gland, Switzerland.
- Alavipanah, S.K., 2019, **Principles of Modern Remote Sensing and Interpretation of Satellite Images and Aerial Photographs**, Tehran University Press, Tehran.
- Alizadeh Rabiei, H., 1993, **Remote Sensing (Principles and Application)**, Samt Publications, University of Tehran, Tehran.
- Arekhi, S., 2015, **Application of Landscape Metrics in Assessing land Use Changes' Trend by Using Remote Sensing and GIS Case Study: Dehloran Dessert area**, Geography and Development, 13(40), PP. 5-68.
[doi: 10.22111/GDIJ.2015.2098](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2015.2098)
- Ashouri, A. & Abdoos, A., 2012, **Important Wetland Habitats of Gilan Water Birds**, Katiba Gil Publications, Rasht.
- Barati, B., Jahani, A., Zebardast, L. & Raygani, B., 2017, **Integrated Assessment of te Protected Areas Using Landscape Ecological Approach 9Case Stud: Kolah Ghazy Natinal Patk and Wildlife Refuge)**, Town and Coubrty Planning, 9(1), PP. 153- 168.
[doi: 10.22059/JTCP.2017.61412](https://doi.org/10.22059/JTCP.2017.61412)
- Bayat, M., Mirakhorloo, Kh., Sadeghzadeh, H. & Heidari Masteali., S., 2022, **Preparation and Verification of Poplar Plantation Mapping Using Satellite Data of Sentinel-2 and**

- Hadjimitsis, D.G., Papadavid, G., Agapiou, A. & Themistocleous, K., 2010, **Atmospheric Correction for Satellite Remotely Sensed Data Intended for Agricultural Applications: Impact on Vegetation Indices**, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(4), PP. 89-95.
doi: 10.5194/nhess-10-89-2010
- Hajibigloo, M., Berdi Sheikh, V., Memarian, H. & Chooghi Bairam, K., 2020, **Determination of Quantity and Allocation Disagreement Indices in Selection of Appropriate Algorithm for Land Use Classification in Pixel and Objected Base in Gorgarood River Basin**, Remote Sensing & GIS in Natural Resources, 10(4), PP. 1-20.
<http://dori.net/dor/20.1001.1.26767082.1398.10.4.1.4>
- Javedankherad, E., Esmaeili Sari, A. & Bahramifar, N., 2011, **Investigation of Persistent Organic Pollutants Residue in Sediments of International Anzali Wetland, Iran**, Journal of Environmental Studies, 37(57), PP. 35-44.
doi: 20.1001.1.10258620.1390.37.57.5.3
- Karami, A. & Fegghi, J., 2012, **Investigation of Quantitative Metrics to Protect the Landscape in Land Use by Sustainable Pattern (Case Study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad)**, Journal of Environmental Studies, 37(60), PP. 79-88.
doi: 20.1001.1.10258620.1390.37.60.8.2
- Karami, P. & Mirsanjari, M.M., 2018, **Analysis of Landscape Degradation in the Hawizeh Wetland by Using Remote Sensing**, Journal of Wetland Ecology, 10(35), PP. 39-45.
doi: 10.1007/s10661-014-4156-0
- Kharyaband, S. & Attarchi, S., 2020, **Evaluation of Anzali Wetland Depth Changes Using Satellite Images and Meteorological Data over Thirty Years**, International Journal of Remote Sensing & GIS, 12(2), PP. 73-82.
<https://doi.org/10.52547/gisj.12.2.73>
- Kim, K.G., Lee, H. & Lee, D.H., 2011, **Wetland Restoration to Enhance Biodiversity in Urban Areas-A Comparative Analysis**, Landscape Ecol. Eng., 7, PP. 27-32.
doi: 10.1007/s11355-010-0144-x
- Kool, J., Lhermitte, S., Hrachowitz, M., Bregoli, F. & McClain, M.E., 2022, **Seasonal Inundation Dynamics and Water Balance of the Mara Wetland, Tanzania Based on Multi-Temporal Sentinel-2 Image Classification**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 109, P. 102766.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102766>
- Lambin, E. F., & Geist, H. J., 2006, **Land-use and land-cover change: Local Processes and Global Impacts**, Springer.
- Lillesand, T.M., Kiefer R.W. & Chipman, J.W., 2004, **Remote Sensing and Image Interpretation**, fifth ed., J. Wiley & Sons, Inc., New York.
doi: 10.2307/634969
- Madadi, H. & Ashrafzadeh, M.R., 2010, **A Study of Land Cover Change in Bamdej Wetland with Landscape Ecology Approach**, Journal of Marine Science and Technology, 9(1), PP. 51-61.
- Mahdianpari, M., Salehi, B., Mohammadimanesh, F., Homayouni, S. & Gill, E., 2018, **The First Wetland Inventory Map of Newfoundland at a Spatial Resolution of 10 m Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Data on the Google Earth Engine Cloud Computing Platform**, Remote Sensing, 11(1), P. 27.
<https://doi.org/10.3390/rs11010043>
- Maleki Najafabadi, S., Soffianian, A. & Rahdari, V., 2011, **landscape Change Detection in Mouteh Wildlife Refuge, Using Geographic Information Systems**, Journal of Natural Environment, 63(4), PP. 373-387.
- Malmiran, H., 2004, **Guide for Preparing Thematic Maps from Satellite Images**, Third edition, Publications of the Geographical Organization of the Ministry of Defense and Armed Forces Support, Tehran.
doi: 20.1001.1.25883860.1376.6.23.3.4
- Martin-Gallego, P., Aplin, P., Marston, C., Altamirano, A. & Pauchard, A., 2020, **Detecting and Modelling Alien Tree Presence Using Sentinel-2 Satellite Imagery in Chile's Temperate Forests**, Forest Ecology and Management, 474, P. 118353.

- <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118353>
 Mathur, A. & Foody, G.M., 2008, **Crop Classification by Support Vector Machine with Intelligently Selected Training Data for an Operational Application**, International Journal of Remote Sensing, 29(8), PP. 2227-2240.
<https://doi.org/10.1080/01431160701395203>
 Matsushita, B., Xu, M. & Fukushima, T., 2006, **Characterizing Changes in Landscape Structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan Using a HighQuality GIS Dataset**, J. of Landscape and Urban Planning, 78(3), PP. 241-250.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.08.003>
 Meyer, W.B. & Turner, B.L., 1994, **Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective**, Cabridge University Press.
 Mirzayi, M., Riyahi Bakhtiyari, A., Salman Mahini, A. & Gholamalifard, M., 2013, **Investigating the Land Cover Changes in Mazandaran Province Using Landscape Ecology's Metrics Between 1984-2010**, Iranian Journal of Applied Ecology, 2(4), PP. 37-54
 doi: 20.1001.1.24763128.1392.2.4.5.0
 Modaberi, H. & Shokoohi, A., 2019, **Determining Anzali Wetland Environmental Water Requirement Using Eco-Hydrologic Methods**, Iran Water Resources Research, 15(3), PP. 91-104.
 doi: 20.1001.1.17352347.1398.15.3.7.8
 Mokhtari Z. & Sayah Nia, R., 2016, **The Basics of Studying and Quantifying the Landscape Structure Along with FRAGSTATS 4.2 Software Guide**, Avai Qalam Publications, Tehran.
 Nasiri, V. & Darvishsefat, A., 2018, **Analysis of Land Use and Land Cover Using Ecological Landscape Metrics (Case Study: Arasbaran Region)**, Environmental Sciences, 16(3), PP. 101-118.
 doi: 10.22069/JWFST.2019.14944.1744
 Nazar Neghad, H., Hosseine, M. & Mostafazadeh, R., 2020, **Assessment of Changes in Landuse Connectivity and Pattern Using Landscape Metrics in the Zolachai Watershed, Salmas**, Geographical Planning of Space Quarterly Journall, 9(34), PP, 53-60.
 doi: 10.30488/GPS.2020.95381.2570
 Orimoloye, I.R., Mazinyo, S.P., Kalumba, A.M., Nel, W., Adigun, A.I. & Ololade, O.O., 2019, **Wetland Shift Monitoring Using Remote Sensing and GIS Techniques: Landscape Dynamics and Its Implications on Isimangaliso Wetland Park, South Africa**, Earth Science Informatics, Springer, Vol. 12, PP. 553-563.
 doi: 10.1007/s12145-019-00400-4
 Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V.R., Murayama, Y. & Ranagalage, M., 2020, **Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review**, Remote Sensing, 12(14), P. 229.
<https://doi.org/10.3390/rs12142291>
 Rafii, Y., Alavipanah, S.K., Malekmohammadi, B., Ramazani Mehrian, M. & Nasiri, H., 2012, **Producing Land Cover Maps Using Remote Sensing and Decision Tree Algorithm (Case Study: Bakhtegan National Park and Wildlife Refuge)**, Geography and Environmental Planning, 23(3), PP. 93-110.
 Rajaei, F., Esmaili Sari, A., Salmanmahiny, A., Delavar, M. & Massah Bavani, A.R., 2020, **Assessment of Land Changes in Tajan River Watershed with Emphasis on Landscape Metrics**, Journal of Environmental Science & technology, 22(1), PP. 351- 366.
 doi: 10.30495/jest.2018.16325.2477
 Richards, J.A., 1999, **Remote Sensing Digital Image Analysis**, Springer-Verlag, Berlin.
 Saroueii, S., Darishsefat, A. & Namirianian, M., 2020, **Modeling the Yield of Woody Biomass on the Ground of Zagros Oak Forests Using Sentinel-1 Satellite Radar Data**, Remote Sensing and Iran GIS, 12(4), PP. 36-52.
<https://doi.org/10.52547/gisj.12.4.35>
 Shahparian, M., Mehdipour, N., Shafiizadeh, M. & Fakheran, S., 2014, **Evaluation of Changes in the Spatial Patterns of the Landscape of Zayandehroud River in the Last Decade**, The Second National Conference on Climate

- Change and Sustainable Development Engineering of Agriculture and Natural Resources, Shahid Beheshti University, Tehran, 26 Shahrivar.
- Talebi Amiri, Sh., Azari Dehkordi, F., Sadeghi, S.H. & Soofbaf, S.R., 2009, **Analysis of Landscape Degradation in the Neka Watershed Using Landscape Ecology Metrics**, Journal of Environmental Sciences, 6(3), PP. 133-144.
- Tian, Y., Jim, C., Tao, Y. & Shi, T., 2011, **Landscape Ecological Assessment of Green Space Fragmentation in Hong Kong**, Urban Forestry & Urban Greening, 10, PP. 79-86.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.11.002>
- Tso, B. & Mather, P.M., 2009, **Classification Methods for Remotely Sensed Data**, Taylor and Francis Group, LLC, CRC Press, New York. PP. 376.
<https://doi.org/10.1201/9781420090741>
- Waske, B. & Van der Linden, S., 2008, **Classifying Multilevel Imagery from SAR and Optical Sensors by Decision Fusion**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46(5), PP. 1457-1466.
doi: 10.1109/TGRS.2008.916089
- Wei, C., Guo, B., Fan, Y., Zang, W. & Ji, J., 2022, **The Change Pattern and Its Dominant Driving Factors of Wetlands in the Yellow River Delta Based on Sentinel-2 Images**, Remote Sensing, 2(14), P. 4388.
<https://doi.org/10.3390/rs14174388>



مجله علمی سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲
Vol.15, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

61-82

Application of Sentinel- 2 Satellite Data in Investigating Land Cover Changes in the Bed of Anzali Wetland

Haghighi Khomami M.^{1*}, Panahandeh M.², Tajaddod M.J.², Jamalzad Fallah F.⁴, Abdoli M.⁵

1. Instructor of Natural Environment Research Group, Academic Center for Education Culture & Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht
2. Assistant Prof. of Waste Processing Research Group, Academic Center for Education Culture & Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht
3. Research Expert, Natural Environment Research Group, Academic Center for Education Culture & Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht
4. Assistant Prof. of Natural Environment Research Group, Academic Center for Education Culture & Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht, Iran.
5. Research Expert, Natural Environment Research Group, Academic Center for Education Culture & Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht

Abstract

Wetlands as an integral part of the global ecosystem in flood prevention or mitigation, feeding aquifers and providing unique habitat for plants and animals and other services and benefits are key elements of a regional conservation strategy. Anzali International Wetland in Guilan Province is one of the 10 most valuable wetlands in the world, which has undergone many changes in land use and vegetation due to structural changes resulting from man-made processes, and its nature and ecological functions have been endangered. The purpose of this study is to investigate the application of remote sensing data in mapping changes in the spatial pattern of the landscape with the help of field work training areas at the bed of the wetland and to analyze the changes of territorial cohesion based on the metrics of the landscape. First, satellite data were analyzed and Sentinel -2 images from 2016 to 2020 were classified by training areas. Then, a map of land cover in 7 classes of agriculture, barren, reed, forest, rangeland, water and urban area was created for mapping and analysis of land use metrics. After extracting class-level and landscape-level metrics in Fragstats software and determining appropriate metrics using PCA method with R and Canoco software, LPI, LSI, ENN_MN, CA, TE, NP, SHAPE_MN, PARA_MN, IJN, ARE_ Applications were selected for better analysis of the area. Analysis of metrics indicates that, in general, the landscape is fragmented, more complex and irregular in form, and more discontinuous in terms of the degree of integration of structural elements.

Keywords: Landscape metric, Remote sensing, Land use, Structural changes, Anzali wetland.

* Correspondence Address: Guilan, Rasht, Mellat St., West Side of Mohtasham Park, Shahid Siadati St., Environmental Research Institute, Tel: 09118067703, Fax: 01333364028
Email: haghighi@acecr.ac.ir
<https://orcid.org/0000-0002-7053-8020>
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2022.102888>

