

Monitoring fifty-year changes in riparian forests of Gotvand County, Iran, using remote sensing images

M. Sharif¹, A.A. Kakroodi^{2*}, S. Heidari³ and A. Kiani⁴

1- MSc. Graduate, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Ph.D. Students of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

4- MSc. Graduate, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 18.04.2023

Accepted: 02.07.2023

Abstract

Background and objectives: Riparian forest ecosystems play a crucial role in maintaining ecological resilience and biodiversity in hot and arid regions. Additionally, these forests serve as vital safeguards against agricultural land erosion and alterations in riverbeds. Long-term monitoring is imperative to preserve the ecological capacity and biodiversity of riparian forests, which are continually impacted by climate change and land use/cover changes (LUCC). These changes have far-reaching implications for the environment, biodiversity, food security, and human health.

Methodology: This study utilized the Landsat satellite series archive for Gotvand County in Iran. The analysis commenced with an image from the MSS sensor (Landsat 1) in 1972, followed by images from the TM, ETM+, and OLI sensors placed in orbit on 7/16/1982, 4/15/1999, and 11/2/2013, respectively. Raw calibrated pixel values underwent conversion to surface reflectance through atmospheric correction. Classification input layers included spectral bands and two indices (NDVI, SAVI for vegetation cover, and MNWDI, NDWI2 for water class), derived from available spectral bands for each year. Object-based classification, employing the SVM algorithm, was implemented to extract forest areas, water bodies, agricultural lands, and other phenomena. Various values for scale, shape, and compression were applied in the object-based classification method to enhance separation. Evaluation metrics such as Overall Accuracy, Producer's Accuracy, User's Accuracy, and Kappa Coefficient were employed to assess classification results.

Results: The study observed the lowest difference between Red and NIR bands for the MSS sensor and the highest difference for the ETM+ sensor. Classification accuracy was lower for years when ground sample conditions were validated through satellite images compared to other years. In 2022, with improved spatial and spectral accuracy, the overall accuracy reached 98.9%, the Kappa coefficient was 0.89, and user and producer accuracies for the forest class were 97% and 99%, respectively. Agricultural land changes witnessed a staggering growth of over 4393% from 1972 to 2022. Riparian forest ecosystems, dominant in the area between 1972 and 2000 (ranging from 3670.6 to 2379.2 hectares), experienced a 35% loss. From 2000 to 2022 (covering 1569.6 hectares), an additional 34% of this plant ecosystem's area was lost.

Conclusion: The research findings highlight a 57.23% decrease in riparian forests over the past fifty years, reaching its lowest point of 1279.2 hectares in 2010. Concurrently, agricultural land area expanded by 45 times from 1972 to 2022, indicating a significant shift in land cover from forests to agriculture. The observed changes align with shifting precipitation (-1.5 mm/yr) and temperature (0.04 °C/yr) trends, impacting the studied ecosystems. This study serves as a crucial benchmark for the sustainable management of riparian forests along the Karun River in Gotvand County.

Keywords: Biodiversity, ecological capability, Landsat, OBIA, SVM.

پایش پنجاه سال تغییرات جنگل‌های کران‌رودی شهرستان گتوند با استفاده از تصاویر سنجش از دور

مرتضی شریف^۱، عطاء‌اله عبداللهی کاکرودی^{۲*}، سوسن حیدری^۳ و ابوذر کیانی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. پست الکترونیک a.a.kakroodi@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: تغییرات بوم‌سازگان‌های جنگلی کران‌رودی، چالش‌های قابل‌توجهی بر توان بوم‌شناختی و تنوع زیستی مناطق گرم و خشک دارند. همچنین، این جنگل‌ها به‌عنوان عاملی در جلوگیری از فرسایش اراضی کشاورزی و تغییرات بستر رودخانه‌ها، حائز اهمیت هستند. پایش تغییرات بلندمدت آن‌ها برای حفاظت از توان بوم‌شناختی و تنوع زیستی ضروری است. بوم‌سازگان‌های جنگلی کران‌رودی به‌طور مداوم تحت تأثیر تغییر اقلیم و تغییرات کاربری و پوشش زمین (LUCC) قرار می‌گیرند که بر محیط زیست، تنوع زیستی، امنیت غذایی و سلامت انسان اثر می‌گذارند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه از آرشیو سری ماهواره‌های لندست برای شهرستان گتوند استفاده شد. اولین تصویر به‌دست‌آمده از منطقه مورد مطالعه، یک تصویر از سنجنده MSS (لندست ۱) در سال ۱۹۷۲ میلادی است. پس‌از آن، سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI هستند که به‌ترتیب در تاریخ‌های ۱۹۸۲/۷/۱۶، ۱۹۹۹/۴/۱۵ و ۲۰۱۳/۲/۱۱ در مدار زمین قرار گرفتند. مقادیر بیکسل کالیبره‌شده خام با استفاده از ماژول تصحیح اتمسفر به بازتاب سطحی تبدیل شد. تصویر سنجنده MSS مربوط به سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۸۱ به قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای مطابقت با تصاویر دیگر، نمونه‌برداری شد. برای اعتبارسنجی نتایج نهایی طبقه‌بندی، داده‌های آموزشی به سه روش جمع‌آوری شد. همچنین، در روش طبقه‌بندی به‌صورت شیء‌مبنا، مقادیر مختلف برای مقیاس، شکل و فشردگی برای تفکیک قطعه‌های همسان اعمال شد تا با توجه به مقیاس تعیین‌شده، هر شیء با مرزبندی مناسب و یکسان ایجاد شود. برای ارزیابی نتایج نهایی طبقه‌بندی از معیارهای صحت‌سنجی شامل صحت کلی، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر استفاده شد.

نتایج: کمترین اختلاف بین باندهای Red و NIR برای سنجنده MSS و بیشترین اختلاف مربوط به سنجنده ETM+ مشاهده شد. صحت طبقه‌بندی برای سال‌هایی که شرایط داده‌های در دسترس به‌عنوان نمونه‌های زمینی از طریق تصاویر ماهواره‌ای صحت‌سنجی شد، نسبت به سال‌های دیگر کمتر بود. برای سال ۲۰۲۲، صحت کلی ۹۸/۹، ضریب کاپا ۰/۸۹ با صحت کاربر ۹۷ درصد و صحت تولیدکننده ۹۹ درصد برای طبقه جنگل به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دقت مکانی و طیفی تصاویر ماهواره‌ای، نتایج صحت‌سنجی بهبود یافته است. نرخ تغییرات اراضی کشاورزی با رشد بیشتر از ۴۳۹۳ درصد در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال ۱۹۷۲ روبرو بوده است. بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۰، بوم‌سازگان جنگلی کران‌رودی، طبقه غالب گیاهی در این منطقه بود که به‌ترتیب، مساحتی بین ۳۶۷۰/۶ تا ۲۳۷۹/۲ هکتار را پوشش می‌داد. این بوم‌سازگان در دوره زمانی مذکور حدود ۳۵ درصد از مساحت خود را از دست داده بود. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ (با مساحت ۱۵۶۹/۶) نیز حدود ۳۴ درصد دیگر از مساحت این بوم‌سازگان گیاهی از بین رفته است.

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به یافته‌های این پژوهش، طی نیم قرن گذشته ۵۷/۲۳ درصد از مساحت بوم‌سازگان جنگلی کران‌رودی مورد مطالعه کاهش یافته است. کمترین مساحت این جنگل‌ها در سال ۲۰۱۰ با ۱۲۷۹/۲ هکتار برآورد شد. مساحت اراضی کشاورزی طی پنجاه سال گذشته حدود ۴۵ برابر شده است. تغییرات پوشش سطح زمین در این منطقه حاکی از گسترش اراضی کشاورزی و کاهش جنگل‌ها است. همچنین، روند تغییرات سالانه پارامترهای آب و هوا شامل کاهش بارش به‌مقدار ۱/۵- میلی‌متر و دمای هوا به‌مقدار

۰/۰۴ درجه سانتی‌گراد به نوبه خود می‌تواند بوم‌سازگان‌های مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار دهد. یافته‌های این پژوهش، معیاری برای مدیریت پایدار تغییرات پدیده‌های سطح زمین در جنگل‌های کران‌رودی پیرامون رودخانه کارون در شهرستان گتوند است.

واژه‌های کلیدی: تنوع زیستی، توان بوم‌شناختی، لندست، SVM، OBIA

مقدمه

بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌طور مداوم تحت تأثیر تغییر اقلیم مانند الگوی تغییرات آب و هوا و تغییرات کاربری و پوشش زمین (LUCC) قرار می‌گیرند که بر محیط زیست، تنوع زیستی، امنیت غذایی و سلامت انسان تأثیر می‌گذارند (Viana et al., 2019). رشد جمعیت، بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی، تغییرات آب و هوایی، تشدید کشاورزی، شتاب شهرنشینی و فرایندهای صنعتی شدن به تغییر کاربری شدت داده‌اند (Şerban et al., 2021). همچنین، آتش‌سوزی جنگل‌ها، تغییرات شدید باد، افزایش خشک‌سالی‌ها و گسترش شیوع آفات، تغییرات این بوم‌سازگان‌های گیاهی را تسریع خواهند داد.

انتظار می‌رود که آتش‌سوزی در مناطق جنگلی افزایش یابد (van der Werf et al., 2017)، درحالی‌که پویایی آن‌ها، یک موضوع کلیدی برای مدیریت آتش‌سوزی، حفاظت از محیط زیست و افزایش توان بوم‌شناختی جنگل‌ها است (Şerban et al., 2021). طی سال‌های اخیر، تعداد آتش‌سوزی‌ها در بوم‌سازگان‌های گیاهی ایران گسترش یافته است. به‌طوری‌که در استان خوزستان و نواحی زاگرس (همچون بخش‌هایی از استان‌های فارس، کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر) فراوانی بیشتری از این آتش‌سوزی‌ها رخ داده است (Sharif & Kiani, 2023). ازجمله این بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌توان به جنگل‌های کران‌رودی (Riparian Forest) اشاره کرد. جنگل‌های کران‌رودی به سبب دارا بودن ویژگی حفاظت از گسترش رودخانه‌ها و در نتیجه، جلوگیری از فرسایش خاک که در هنگام سیلابی شدن رودخانه‌ها رخ می‌دهد، بسیار مهم هستند. تنوع گوناگون اعم از پوشش گیاهی منحصربه‌فرد شامل درختچه‌ها، بوته‌ها و درختان از خصوصیات دیگر این بوم‌سازگان است (Sharif

et al., 2022; Sharif & Hamzeh, 2022). این جنگل‌ها اغلب در پیرامون رودخانه‌ها و با شرایط زیستی خاصی شکل می‌گیرند که ویژگی‌های ارتفاعی و خاکی شامل رسوبات ته‌نشین شده و خاک رسی از جمله این عوامل هستند. با توجه به شرایط اقلیمی ایران و تنش‌های محیط‌زیستی در حوضه‌های آبی (Karimi et al., 2021) و مخاطرات طبیعی شامل سیلاب‌ها، ریزگردها، آفات و گسترش شهرنشینی، بوم‌سازگان‌های جنگلی یکی از دوره‌های با تنش‌های جدی خود را تجربه می‌کنند (Moradi et al., 2016; Najafi et al., 2020). این مخاطرات، بوم‌سازگان‌های جنگلی کران‌رودی را با چالش‌های جدی مانند کاهش تنوع زیستی و تخریب روبرو کرده است. استان خوزستان از جمله مناطق مهم دارای محدوده وسیعی از این جنگل‌ها به‌شمار می‌رود که با توجه به شرایط اقلیمی و تنش‌های آبی، احتمال افزایش خطر تخریب این جنگل‌ها وجود دارد. هرچند پژوهش‌هایی در خصوص تغییرات و تنش‌های موجود در این بوم‌سازگان‌های گیاهی انجام شده است (Ghadiripour & Bavi, 2018; Jafari, 2020; Ahmadi et al., 2021; Sharif & Hamzeh, 2022)، اما اثرات ترکیبی تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر تغییرات چشم‌انداز بوم‌سازگان‌های جنگلی کران‌رودی در پیرامون رودخانه‌های استان خوزستان به اندازه کافی ارزیابی نشده است.

با گسترش داده‌های سنجش از دور، مشاهده چگونگی روند تغییرات پدیده‌های سطح زمین، تغییر اقلیم به‌ویژه پایش تعامل شرایط آب و هوایی با بوم‌سازگان‌های گیاهی نسبت به گذشته آسان‌تر شده است. این فناوری‌های ماهواره‌ای به‌همراه تکنیک‌های پردازش تصویر، ابزار قدرتمند و مؤثری در تشخیص دینامیک مکانی-زمانی تغییرات کاربری سطح زمین در کوتاه‌ترین زمان با هزینه کم، دقت مناسب و پوشش وسیع

می‌کند (Deluigi & Lambiel, 2013). علاوه بر این، SVM به طور معمول فقط به مجموعه داده‌های آموزشی کوچک نیاز دارد و مجموعه داده‌های چندبعدی را مدیریت می‌کند (Şerban *et al.*, 2021)، بنابراین استفاده از این روش طبقه‌بندی در تصاویر سنجش از دور گسترش یافته است. از جمله پژوهش‌های داخلی در این زمینه می‌توان به Omati و Sahebi (۲۰۱۶)، Ahmadi و همکاران (۲۰۲۱) و Veysi و همکاران (۲۰۲۲) و پژوهش‌های خارجی مانند Koda و همکاران (۲۰۱۸)، Shu و Cai (۲۰۱۹) و Şerban و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد.

پژوهش پیش‌رو به دنبال شناسایی تغییرات چشم‌انداز بوم‌سازگان جنگل‌های کران‌رودی طی ۵۰ سال گذشته (۱۳۵۱-۱۴۰۱) با استفاده از فناوری‌ها و تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای در شهرستان گتوند است. به‌طور کلی، اهداف این پژوهش شامل ۱- تولید نقشه روند ۵۰ سال گذشته جنگل‌های کران‌رودی از تصاویر سری لندست برای دوره ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۱ و ۲- ارزیابی ویژگی‌های پوشش زمین و توزیع فضایی بوم‌سازگان جنگلی در منطقه مورد مطالعه هستند. این پژوهش با نشان دادن اهمیت نسبی ویژگی‌های مختلف جنگل‌های کران‌رودی می‌تواند به سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در تعیین اولویت‌های حفاظتی و تعریف و اجرای سیاست‌های مناسب برای حفاظت تنوع زیستی جنگل‌های کران‌رودی کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، جنگل‌های کران‌رودی شهرستان گتوند واقع در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی است (شکل ۱). محدوده ارتفاعی این منطقه بین ۲۹ تا ۱۱۸ متر از سطح دریا (تهیه‌شده از مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model) ماهواره آلوِس پالساَر ۱۲/۵ متری) با متوسط ارتفاع حدود ۵۷ متر از سطح دریا است (شکل ۱-ج). اقلیم این منطقه، گرم و خشک تا گرم و مرطوب است. بین

هستند (Hamzeh *et al.*, 2013). همچنین، تکنیک‌های مختلفی برای تشخیص تغییرات پوشش‌های گیاهی توسعه یافته‌اند. از جمله آن‌ها، تفاوت تصاویر ماهواره‌ای، تحلیل رگرسیون، شاخص‌های پوشش گیاهی، تجزیه و تحلیل بردار تغییر، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تبدیل‌های تصاویر سنجش از دور را می‌توان نام برد. ساده‌ترین شاخص تغییر برای ارزیابی پوشش گیاهی، بازتاب سطح اصلی باندهای ماهواره‌ای در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال، باندهای مادون قرمز و موج کوتاه لندست (Short-wave infrared) در تشخیص اختلال‌های جنگل نسبت به باندهای دیگر لندست مناسب هستند (Healey *et al.*, 2006). شاخص‌های تبدیل تصاویر نیز به‌طور گسترده استفاده می‌شوند. زیرا می‌توانند شش باند نوری لندست را به سه شاخص (روشنایی، سبزی و رطوبت) متعامد ساده‌سازی کنند (Zhu *et al.*, 2012).

از روش‌های دیگر بررسی تغییرات پوشش‌های گیاهی، روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا و شیء‌مبنا هستند. در پژوهش‌های متعددی، مزایای تجزیه و تحلیل تصویر شیء‌مبنا (OBIA: Object-based image analysis) و الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی (SVM: Support Vector Machine) نسبت به رویکردهای مبتنی بر پیکسل در نقشه‌برداری پوشش زمین برای تجزیه و تحلیل تغییرات نشان داده شده است (Hussain *et al.*, 2013; Hossain & Chen, 2019). علاوه بر اطلاعات طیفی، OBIA ناهمگونی فضایی پیکسل‌هایی را که در خوشه‌هایی برای تشکیل اشیاء گروه‌بندی می‌شوند، در نظر می‌گیرد. الگوریتم‌های SVM یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشینی برای طبقه‌بندی پوشش زمین هستند که در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شوند (Thanh Noi & Kappas, 2018; Şerban *et al.*, 2021). این روش طبقه‌بندی برای مجموعه داده‌های با ابعاد/تعداد زیاد مناسب است. زیرا از برازش بیش از حد مدل اجتناب می‌کند، همبستگی خودکار بین ورودی‌های مشابه را در نظر می‌گیرد و امکان تفسیر احتمالی خروجی‌ها را با یک تابع تصمیم‌گیری پیوسته فراهم

سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶، متوسط درجه حرارت سالانه حدود ۲۵/۱، متوسط دمای بیشینه ۳۳/۴، کمینه دمایی ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارش ۲۶۸/۴ میلی‌متر در سال و رطوبت نسبی ۴۷ درصد در سال بوده است (Ahmadi et al., 2021). عمده جوامع گیاهی غالب در این بوم‌سازگان جنگلی شامل درختان پده (*Populus euphratica* Olivier) و کنار (*Ziziphus spina-christi* (L.) Willd.)، درختچه‌های گز (*Tamarix L. Sp.*)، جاز (*Vitex pseudo-* *Lycium* (negundo (Hausskn.) Hand.-Mzt. سریم (*shawii* Roem. & Schult. و اشکوب بوته‌ای لگجی (*Prosopis farcta*) و کهورک (*Capparis spinosa* L.) (Banks & Sol.) J.F.Macbr. هستند (Sharif et al., 2022; Sharif & Hamzeh, 2022). در آخرین نقشه ارائه‌شده در سال ۱۳۹۸ توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، این پوشش گیاهی تحت عنوان بیشه‌زارها (جنگل کران‌رودی) و درختچه‌های با تاج پوشش بیشتر از ۱۰ درصد نام برده شده است.

ارتفاع (متر)
Elevation (m)
High : 118.6
حداکثر
Low : 31.3
حدادقل

Sensor OLI (2022)
SWIR2
NIR
Green

شکل ۱- الف) کشور ایران، ب) استان خوزستان، ج) مدل رقومی ۱۲/۵ متری و د) تصویر ترکیب رنگی کاذب سنجنده OLI از منطقه مورد مطالعه

Figure 1. a) Iran, b) Khouzsan province, c) Digital Elevation Model 12.5 m, and d) Image of false color composite of OLI sensor of the study area

با تفکیک زمانی و مکانی مناسب به‌شمار می‌رود، استفاده شد. اولین تصویر به‌دست آمده از منطقه مورد مطالعه، یک تصویر از سنجنده MSS (لندست ۱) در سال ۱۹۷۲ میلادی است. پس‌از آن، سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI

روش پژوهش جمع‌آوری داده در این پژوهش از آرشیو سری ماهواره‌های لندست به دلیل اینکه جامع‌ترین پایگاه داده تصاویر سنجنش از دور

تفکیک مکانی (MSS) و بیشترین خطا (RMSE) را در میان تصاویرهای انتخاب شده داشت (جدول ۱). علاوه بر این، تصویر مربوط به سال ۱۳۵۱ در مردادماه به دست آمد که تشخیص مناطق جنگل را از اراضی کشاورزی دشوار می کند. با این حال، مناطق آب و هوایی و شرایط ارتفاعی رویش بوم سازگان جنگلی کران رودی از پوشش گیاهی، قابل تشخیص هستند.

هستند که به ترتیب در تاریخهای ۱۶/۷/۱۹۸۲، ۱۵/۴/۱۹۹۹ و ۱۱/۲/۲۰۱۳ در مدار زمین قرار گرفتند. ویژگی های این تصاویر در جدول ۱ ارائه شده است. معیارهای انتخاب تصویر شامل آلودگی و ابرناکی کمتر از ۲۰ درصد و پوشش در فصل بهار و اواسط تابستان به دلیل اوج فصل رشد در چرخه فنولوژیکی جنگل های کران رودی (Sharif et al., 2022) بودند. تصویر مربوط به سال ۱۹۸۱ با تفکیک مکانی بزرگ تر (۶۰ متر)، کمترین کیفیت (به دلیل

جدول ۱- سری زمانی تصاویر سنجنده های ماهواره لندست مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Time series of images the Landsat satellite sensors used in the research

Satellite	Acquisition Date	Scan time	Pixel size (m)	Spectral resolution (μm)	Name sensor	Cloud cover	RMSE
Landsat	1972/8/1	06:50:27	60	0.499-0.989	MSS-1	20%	14.24
	1981/6/15	06:34:54	60	0.497-1.036	MSS-5	20%	24.4
	1985/5/5	06:30:50	30	0.452-2.349	TM	20%	4.6
	1990/8/7	06:35:41	30	0.452-2.349	TM	20%	4.63
	1995/7/20	07:20:06	30	0.452-2.349	TM	20%	5.27
	2000/5/22	07:07:42	30	0.452-2.346	ETM+	20%	4.4
	2005/8/8	07:05:04	30	0.452-2.346	ETM+	20%	4.5
	2010/8/6	07:07:54	30	0.452-2.346	ETM+	20%	4.2
	2015/8/12	07:15:25	30	0.433-2.3	OLI	20%	4.37
	2020/8/9	07:15:42	30	0.433-2.3	OLI	20%	5.47
2022/8/15	07:16:16	30	0.433-2.3	OLI	20%	5.5	

۱۴۶/۶ (سال ۲۰۱۸) و ۵۲۷/۱ میلی متر (سال ۱۹۹۸) ثبت شده است. همچنین، روند تغییرات سالانه بارش با ۱/۵- میلی متر و انحراف معیار ۰/۵ میلی متر به دست آمد (شکل ۲-الف). متوسط، کمینه و بیشینه دمای هوا نیز به ترتیب ۲۶/۹، ۲۵ (سال ۱۹۹۸) و ۲۸/۲ درجه سانتی گراد (سال ۲۰۱۸) ثبت شده است. روند تغییرات میانگین سالانه دما با ۰/۰۴ و کمینه و بیشینه ۰/۰۵ درجه سانتی گراد، افزایشی بود (شکل ۲-ب).

داده های تعلیمی و آزمون برای ارزیابی نتایج طبقه بندی برای اعتبارسنجی نتایج نهایی، طبقه بندی داده های آموزشی به سه روش جمع آوری شد. برای سال های ۱۹۷۲

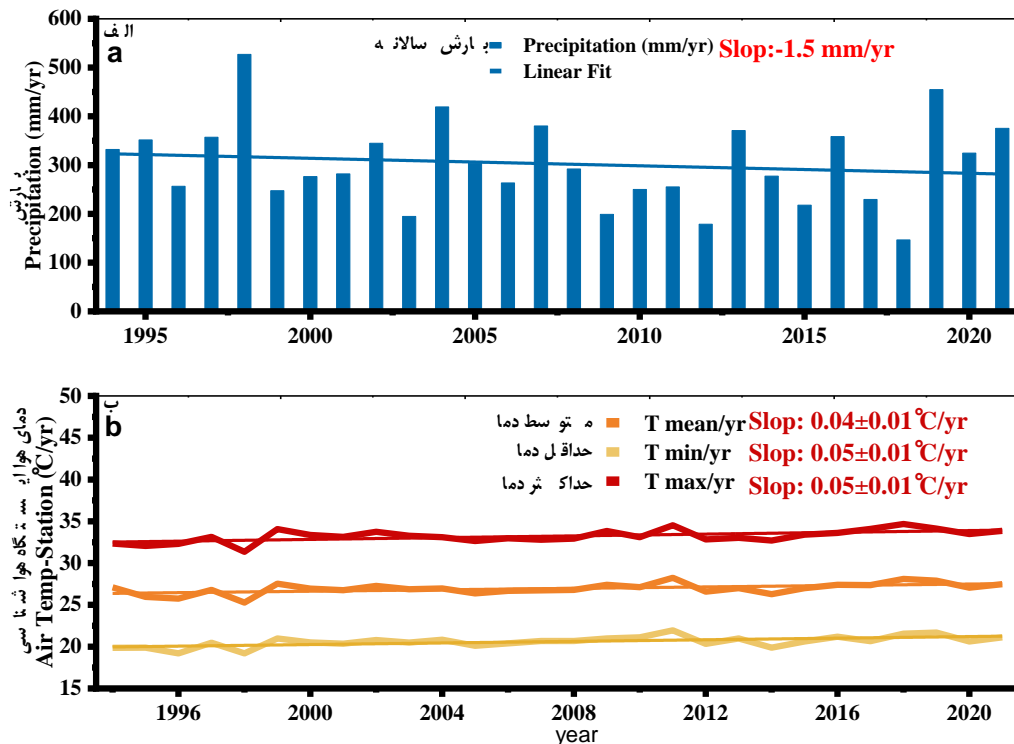
مقادیر پیکسل کالیبره شده خام با استفاده از ماژول تصحیح اتمسفر Quick Atmospheric به بازتاب سطحی تبدیل شد. تصویر سنجنده MSS مربوط به سال های ۱۹۷۲ و ۱۹۸۱ به قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای مطابقت با تصاویر دیگر، بازنمونه برداری (Resampling) شده است.

داده های جوی منطقه مورد مطالعه

برای بررسی تغییرات پارامترهای جوی، داده های ایستگاه هواشناسی شوشتر (۱۹۹۴ تا ۲۰۲۱) دریافت و تجزیه و تحلیل شد. روند تغییرات دما و بارش این ایستگاه در شکل ۲ آمده است. میانگین، کمینه و بیشینه بارش سالانه در این دوره زمانی به ترتیب حدود ۳۰۲/۴،

بصری، نقاط آموزشی برای صحت‌سنجی انتخاب شدند.

تا ۱۹۹۵ از طریق ترکیب رنگی کاذب تصاویر ماهواره‌ای شامل باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز و شناخت

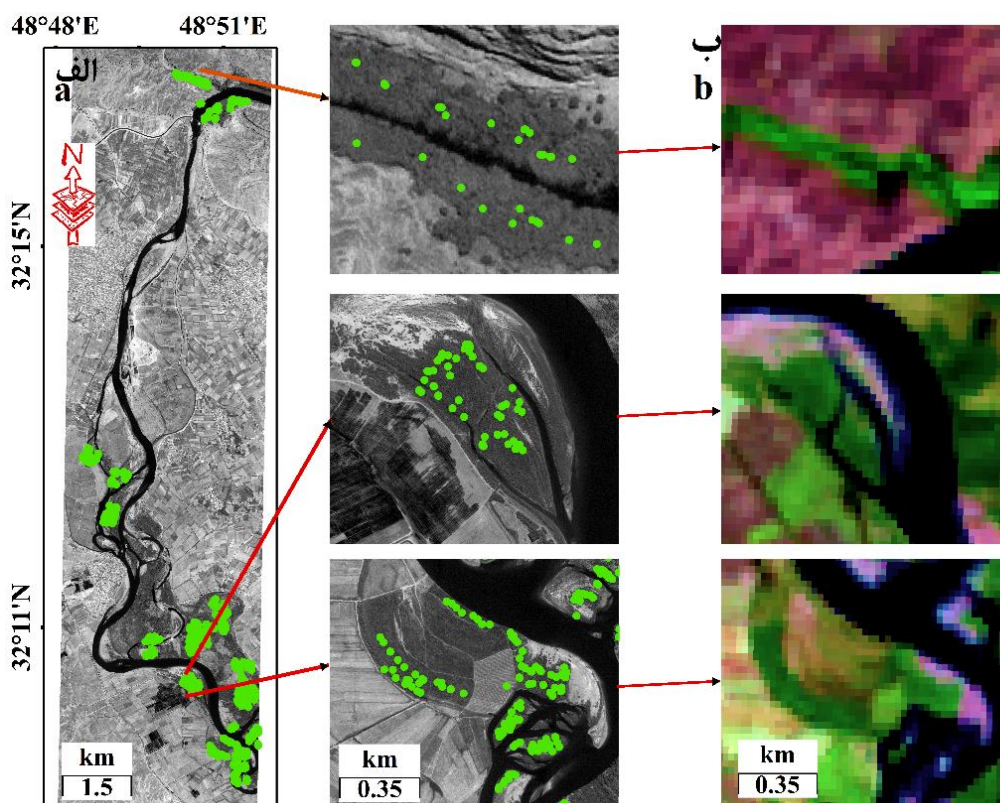


شکل ۲- روند تغییرات بارش (الف) و دما (ب) در ایستگاه هواشناسی شوشتر (۱۴۰۰-۱۳۷۳)

2021)-Figure 2. Precipitation (a) and temperature (b) trends in Shushtar weather station (1994

به همراه تصویر سنجنده OrbView ارائه شده است. با این حال، برای طبقه‌های دیگر فقط از طریق ترکیب رنگی کاذب در هر سال به صورت جداگانه، نقاط آموزشی تهیه شد. گفتنی است که داده‌های برداشت شده برای طبقه‌بندی و صحت‌سنجی نهایی با تخصیص ۷۰ درصد (داده‌های تعلیمی) و ۳۰ درصد (برای تست) در هر سال صورت گرفته است. در نهایت، نقشه‌های به دست آمده از طریق محاسبه ضریب آماری کاپا و ماتریس خطا شامل صحت کلی، صحت تولیدکننده و صحت کاربر ارزیابی شدند.

این روش از جمله راه‌حل‌های مناسب برای مواقعی که دسترسی به منطقه مورد مطالعه برای کاربر به منظور برداشت نمونه‌های تعلیمی وجود ندارد، مناسب است (Şerban *et al.*, 2021). اما برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۲ با توجه به وجود تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد گوگل ارث، از تصاویر سنجنده OrbView با قدرت تفکیک مکانی یک متر و نقاط میدانی (برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲) که نویسندگان در پژوهش‌های گذشته از منطقه برداشت کرده بودند (Meroni *et al.*, 2021; Sharif & Hamzeh, 2022; Sharif *et al.*, 2022)، استفاده شد. در شکل ۳ پراکندگی نقاط آموزشی



شکل ۳- الف) تصویر سنجنده OrbView با قدرت تفکیک یک متر با پراکندگی نمونه‌های تعلیمی از جنگل‌های کران‌رودی (تاریخ ثبت تصویر ۲۰/۵/۲۰۰۰) و ب) تصویر ترکیب رنگی سنجنده ETM+ (۱۰/۶/۲۰۰۰)

Figure 3. a) Image of OrbView sensor with a resolution of 1 meter with a scattering of vegetation samples (image registration date 20/5/2000), and b) Image of color combination of ETM+ sensor (10/6/2000)

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$SAVI = \frac{(1+L) * (\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{\rho_{NIR} + \rho_{Red} + L} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$NDWI2 = \frac{(\rho_{Green} - \rho_{NIR})}{(\rho_{Green} + \rho_{NIR})} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$MNDWI = \frac{(\rho_{Green} - \rho_{SWIR2})}{(\rho_{Green} + \rho_{SWIR2})} \quad \text{رابطه (۴)}$$

شاخص‌های مورد استفاده

در این پژوهش، سنجه گیاهی تفاضل نرمال‌شده گیاهی (NDVI، رابطه (۱)) (Huete *et al.*, 2002) و سنجه گیاهی تعدیل‌کننده اثر خاک (SAVI، رابطه (۲)) (Huete *et al.*, 1994; Chi *et al.*, 2019) استفاده شد. سنجه NDVI مربوط به ناحیه‌ای با نوع خاک یکسان است، بنابراین اگر این فرض صادق نباشد، ناهمسانی انواع خاک روی نتایج حاصل از NDVI تأثیر منفی خواهد گذاشت. مقادیر مختلف NDVI می‌تواند بیانگر پوشش‌های گیاهی متفاوت باشد. همچنین، برای پایش پهنه‌های آب از شاخص تفاضل نرمال‌شده آب (NDWI2، رابطه (۳)) (McFeetrs, 1996) و نیز شاخص اصلاح‌شده تفاضل نرمال‌شده آب (MNDWI، رابطه (۴)) (Xu, 2006) استفاده شد.

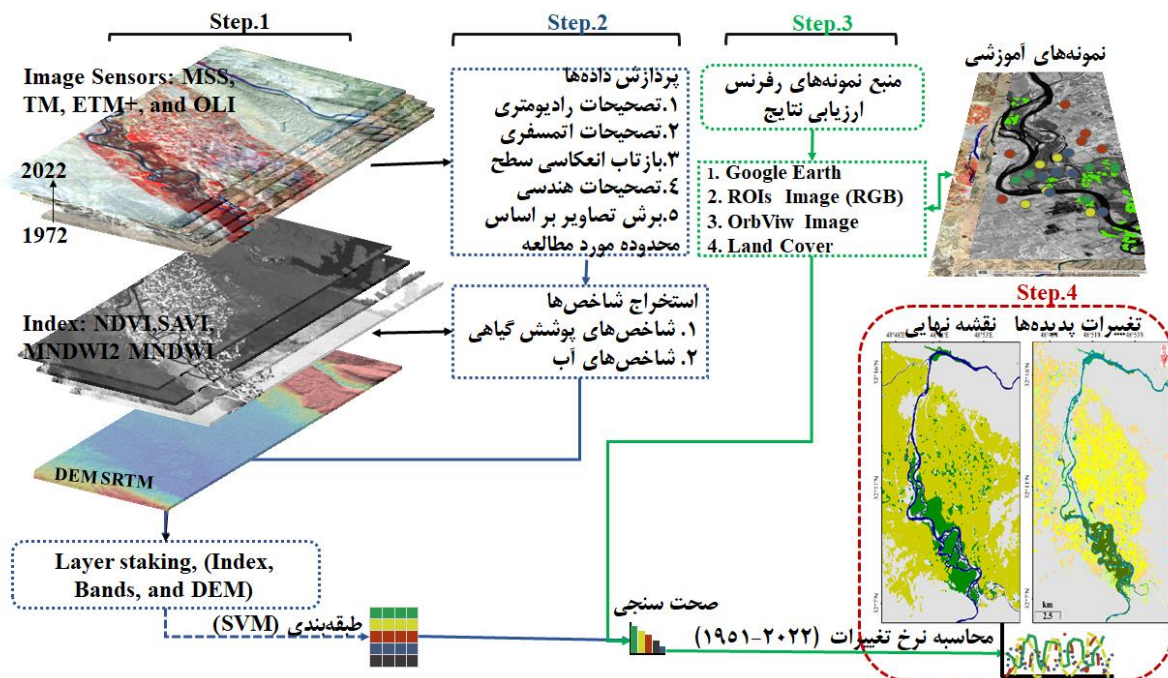
در رابطه‌های (۱) و (۲)، ρ_{NIR} و ρ_{Red} به ترتیب بازتاب زمینی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند. پارامتر L در رابطه (۲) برای کاهش تأثیر پس‌زمینه خاک استفاده شد (Huete *et al.*, 2002) که مقدار آن با توجه به تراکم تاج پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه ۰/۵ در نظر گرفته شد. شاخص NDWI2 به منظور تعیین مقدار مناطق پوشیده از آب و

(MSS)، لایه‌های ورودی در این روش طبقه‌بندی شامل باندهای طیفی سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک، شاخص‌ها و مدل رقومی منطقه مورد مطالعه بودند، اما برای سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI تصاویر مورد استفاده شامل باندهای سنجنده‌ها، شاخص‌ها و مدل رقومی ارتفاعی زمین هستند. از این تصاویر ورودی به روش طبقه‌بندی، طبقه‌های مناطق جنگلی، آب، اراضی کشاورزی و پدیده‌های دیگر استخراج شد. روش طبقه‌بندی شیء‌مبنا و با استفاده از الگوریتم SVM انجام شد. SVM یک روش یادگیری ماشینی مبتنی بر تئوری یادگیری آماری است که فضای ورودی اصلی را به یک فضای ویژگی با ابعاد زیادتر برای یافتن یک ابر صفحه جداکننده بهینه تبدیل می‌کند. همچنین، در روش طبقه‌بندی به صورت شیء‌مبنا، مقادیر مختلف برای مقیاس، شکل و فشردگی برای تفکیک قطعه‌های همسان اعمال می‌شود تا با توجه به مقیاس تعیین شده، هر شیء با مرزبندی مناسب و یکسان ایجاد شوند. در این تحقیق به ترتیب مقادیر پنج، یک و ۰/۸ برای مقیاس، شکل و فشردگی استفاده شد.

رطوبت تالاب‌ها و نیز ترسیم مساحت پهنه آبی ایجاد شد. در رابطه ۳ از باندهای $pNIR$ و $pGreen$ (در سنجنده MSS) استفاده شد، اما با توجه به عیب این شاخص که اغلب به دلیل اثرات زیاد نویز است، شاخص MNDWI که از باندهای $pGreen$ و $pSWIR2$ استفاده می‌کند (رابطه ۴)، توسعه داده شد. در پژوهش پیش‌رو برای سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI که هر دو محدوده طیفی ($pGreen$ و $pSWIR2$) را دارند، از این شاخص استفاده شد. شاخص MNDWI می‌تواند به طور مؤثر تأثیر نویز را از سطح آب و نیز نویز از خاک و پوشش گیاهی را خنثی و حتی حذف کند (Xu, 2006).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

لایه‌های ورودی برای طبقه‌بندی شامل باندهای طیفی و دو شاخص NDVI و SAVI برای پوشش گیاهی و MNWDI و NDWI2 برای پهنه‌های آبی، مشتق شده از باندهای طیفی موجود برای هر سال بودند. علاوه بر این، مدل ارتفاع رقومی زمین نیز به کار برده شد، بنابراین برای سال ۱۳۵۱ (سنجنده



شکل ۴- فلوچارت پژوهش

Figure 4. Research flowchart

Kappa Coefficient هستند که در این پژوهش برای بررسی و ارزیابی نتایج نهایی طبقه‌بندی از آن‌ها استفاده شد. این پارامترها از طریق رابطه‌های (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند.

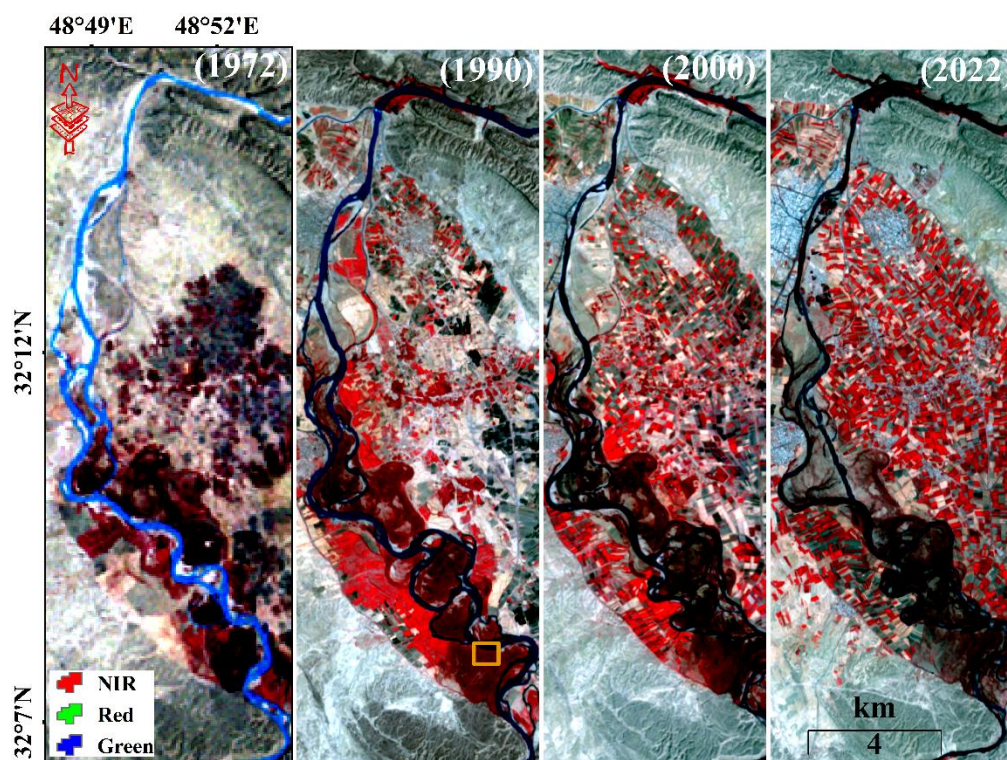
$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^C E_{ii}}{N} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\text{Kappa Coefficient} = \frac{P_0 - P_C}{1 - P_C} \times 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۵)، C تعداد طبقه‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم و E_{ii} اعضای قطر اصلی ماتریس خطا هستند (Xu et al., 2020). برای محاسبه ضریب کاپا در رابطه (۶) P_0 صحت مشاهده شده و P_C احتمال توافق مورد انتظار است.

در نهایت، پس از انجام طبقه‌بندی تصاویر برای هر دوره زمانی، تغییرات کلاس‌ها برای دوره مورد مطالعه (از طریق ماژول Change Detection) به دست آمد. برای بخش‌های مختلف آنالیز داده‌ها از نرم‌افزارهای eCognition، ArcMap و ENVI، Originpro استفاده شد.

معیارهای ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج روش‌های ارزیابی صحت نهایی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای وابسته به نوع طبقه‌بندی و نیز اطلاعات جانبی موجود متفاوت است (Najafi et al., 2017). تکنیک‌های مجزا برای اندازه‌گیری صحت مجموعه داده‌های سنجش از دور طبقه‌بندی شده وجود دارند. اساس این تکنیک‌ها، متکی به ماتریس خطا است. برخی از این تکنیک‌ها شامل Overall Accuracy، Producer's Accuracy، User's Accuracy و



شکل ۵- تصاویر ترکیب رنگی کاذب (RGB: NIR, Red, Green) از منطقه مورد مطالعه به ترتیب برای سنجنده‌های MSS (۱۹۷۲)،

TM (۱۹۹۰)، ETM+ (۲۰۰۰) و OLI (۲۰۲۲)

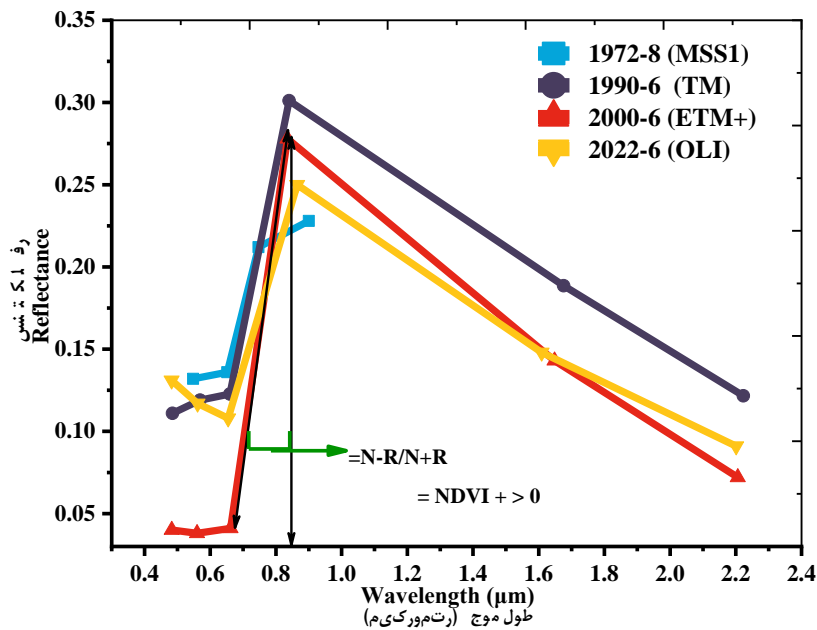
Figure 5. Images of false color combination (RGB: NIR, Red, Green) of the studied area for MSS (1972), TM (1990), ETM+ (2000) and OLI (2022) sensors

نتایج

مقایسه سری تصاویر لندست در طی ۵۰ سال گذشته

سری تصاویر سنجنده‌های MSS، TM، ETM+ و OLI با ترکیب رنگی کاذب پس از پردازش در شکل ۵، به ترتیب برای سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۲ آمده است. باتوجه به نمودار طیفی سنجنده‌ها که برای پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۶)، کمترین اختلاف بین باندهای جذبی (Red) و بازتابی (NIR) برای سنجنده MSS

و بیشترین اختلاف آن‌ها در سنجنده ETM+ مشاهده شد. این تفاوت در شکل ۵ (کادر نارنجی) برای پوشش گیاهی هدف که به صورت یکسان از درختان در هر چهار سنجنده برداشت شد، قابل مشاهده است. گفتنی است که این اختلاف بین بازتابندگی و جذب در هر دو باند باتوجه به شرایط کلروفیلی گیاه، نوع پوشش و نیز شرایط جوی که بر روی بازتابندگی تأثیر می‌گذارد، متفاوت خواهد بود.



شکل ۶- نمودار طیفی پوشش جنگلی کران رودی در چهار سنجنده برای سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۲

Figure 6. Spectral diagram of the vegetation coverage of riparian forest in four sensors for the years 1972, 1990, 2000 and 2022

۱۹۹۰ به دست آمد (جدول ۲). همچنین، صحت نهایی سال ۲۰۱۰ به دلیل خطای نوارنوارشدگی در تصاویر سنجنده ETM+، کم برآورد شد. صحت کاربر و صحت تولیدکننده برای طبقه جنگل برای سال‌های پایانی که در مساحت بوم‌سازگان جنگلی، تغییرات بیشتری رخ داده است، کاهش یافت. نتایج کلی طبقه‌بندی در سال ۱۹۷۲، صحت کلی نقشه ۸۹/۴۵ با ضریب کاپا ۰/۸۴ را نشان می‌دهد. در این سال مقدار صحت کاربر و صحت تولیدکننده برای طبقه جنگل به ترتیب ۸۰/۶۶ درصد و ۹۳/۳۶ درصد بود. تصاویر

طبقه‌بندی تصاویر

نتایج صحت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی برای چهار کلاس (جنگل، کشاورزی، آب و پدیده‌های دیگر) در سال‌های مورد بررسی و صحت کاربر و صحت تولیدکننده برای کلاس پوشش گیاهی در جدول ۲ نشان داده شده است. صحت طبقه‌بندی برای سال‌هایی که شرایط داده‌های در دسترس به عنوان نمونه‌های زمینی از طریق تصاویر ماهواره‌ای صحت‌سنجی شد، نسبت به سال‌های دیگر کمتر بود. کمترین مقدار صحت طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۹۷۲ تا

کلی ۹۸/۹، ضریب کاپای ۰/۸۹ با صحت کاربر ۹۷ درصد و صحت تولیدکننده ۹۹ درصد برای طبقه جنگل به دست آمد که نشان می‌دهد با افزایش دقت مکانی و طیفی تصاویر ماهواره‌ای، نتایج صحت‌سنجی بهبود یافته است (جدول ۲).

موجود در سال مذکور فقط از سنجنده MSS در دسترس بود که قدرت تفکیک مکانی و طیفی آن به نسبت کمتر از سری‌های دیگر سنجنده‌های لندست است. با این حال، نتایج به دست آمده قابل اطمینان است. برای سال ۲۰۲۲، صحت

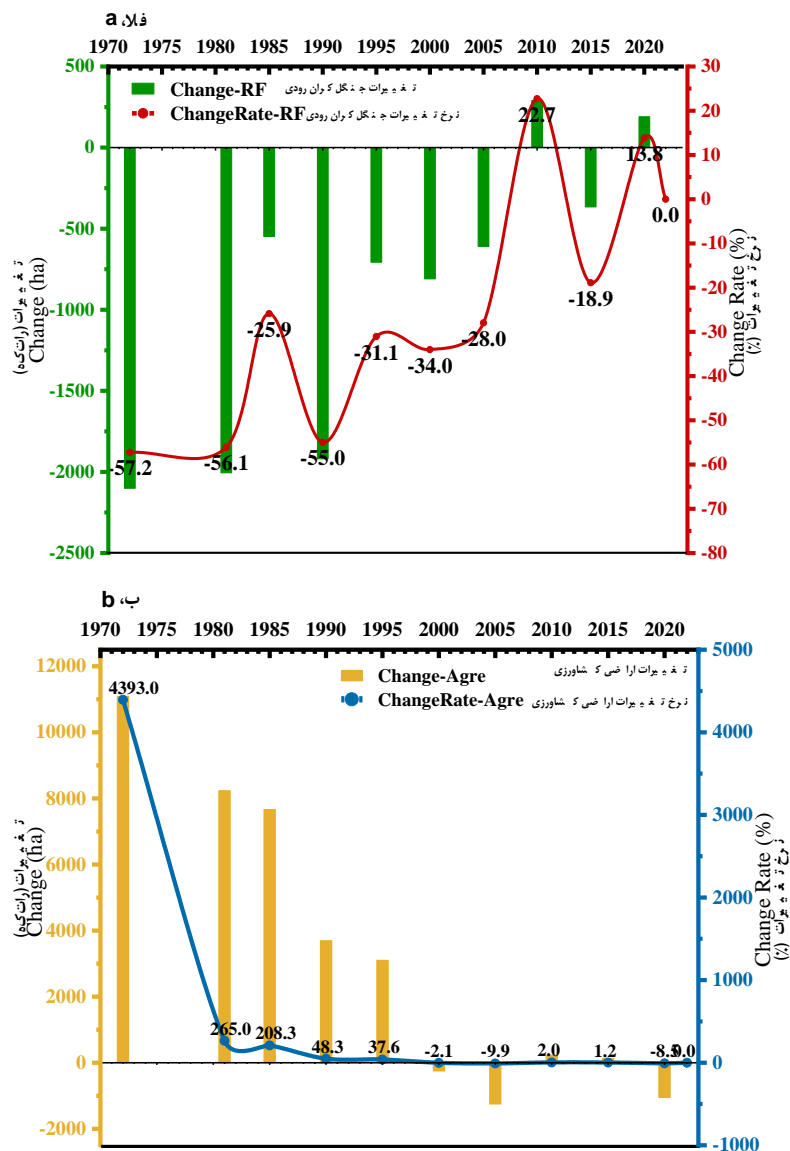
جدول ۲- نتایج معیارهای صحت‌سنجی استفاده شده در این پژوهش

Table 2. The results of accuracy assessment criteria used in this study

Year	Kappa coefficient (%)	Overall accuracy	Producer's accuracy (%)	User's accuracy (%)
	All classes	Forest class		
1972	0.84	89.45	93.36	80.66
1981	0.77	84.65	80.9	91.14
1985	0.71	80.2	79.33	99.89
1990	0.74	80.89	93.3	99.9
1995	0.98	98.7	97.24	99.4
2000	0.91	93.75	99.8	92.76
2005	0.85	93.3	96.42	89.63
2010	0.82	85.63	96.46	87.5
2015	0.86	94.4	86.79	93.14
2020	0.83	90.6	64.6	91.2
2022	0.89	98.9	99.1	97.03

مطالعه، نرخ تغییرات اراضی کشاورزی با رشد بیشتر از ۴۳۹۳ درصد در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال ۱۹۷۲ روبرو بوده است. طبق شکل ۷-ب، نرخ تغییرات اراضی کشاورزی در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۵ مثبت بود که افزایش اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه طی سال‌های مذکور را نشان می‌دهد، اما در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ گسترش اراضی کشاورزی نسبت به سال ۲۰۲۲ تغییر زیادی نکرده است. گفتنی است که بین دو تا پنج درصد از مساحت اراضی کشاورزی با توجه به نوع کشت دیم و یا آیش اراضی کشاورزی به طور دقیق قابل برآورد نبود. همچنین، به دلیل خشک‌سالی‌های رخ داده در سطح کشور ایران، به ویژه استان خوزستان در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰، این مقدار خطا در مشاهده و پایش اراضی کشاورزی با تصاویر ماهواره‌ای قابل پذیرش است. چراکه آن‌ها اغلب به دلیل آیش و یا خارج شدن از کشت ممکن است در تصاویر ماهواره‌ای به عنوان کلاس خاک لخت طبقه‌بندی شوند.

نرخ تغییرات بوم‌سازگان جنگلی کران‌رودی و اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه روند تغییرات جنگل‌های کران‌رودی (هر سال نسبت به ۲۰۲۲) در شکل ۷-الف ارائه شده است. کمترین مساحت طبقه جنگل‌های کران‌رودی ۱۲۷۹ هکتار بود که در سال ۲۰۱۰ مشاهده شد. بوم‌سازگان مذکور در این سال، کاهش ۶۵ درصدی (۲۳۹۱/۴ هکتار) را نسبت به سال ۱۹۷۲ (۳۶۷۰/۶ هکتار) نشان داد. تغییرات در روند بلندمدت (سال ۱۹۷۲ نسبت به ۲۰۲۲)، با بیشترین نرخ کاهش حدود ۵۷/۲۳- درصد و بیشترین نرخ رشد با افزایش ۲۲ درصد در سال ۲۰۲۲ نسبت به ۲۰۱۰ مشاهده شد. همچنین، روند مساحت این بوم‌سازگان‌های گیاهی در سال‌های اخیر (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲) به نسبت سال‌های قبل، کمی بهبود یافته است. با این حال، مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که بخشی از این افزایش مربوط به افزایش کاشت درخت در پیرامون اراضی کشاورزی است. برخلاف کاهش طبقه جنگل در طی سال‌های مورد

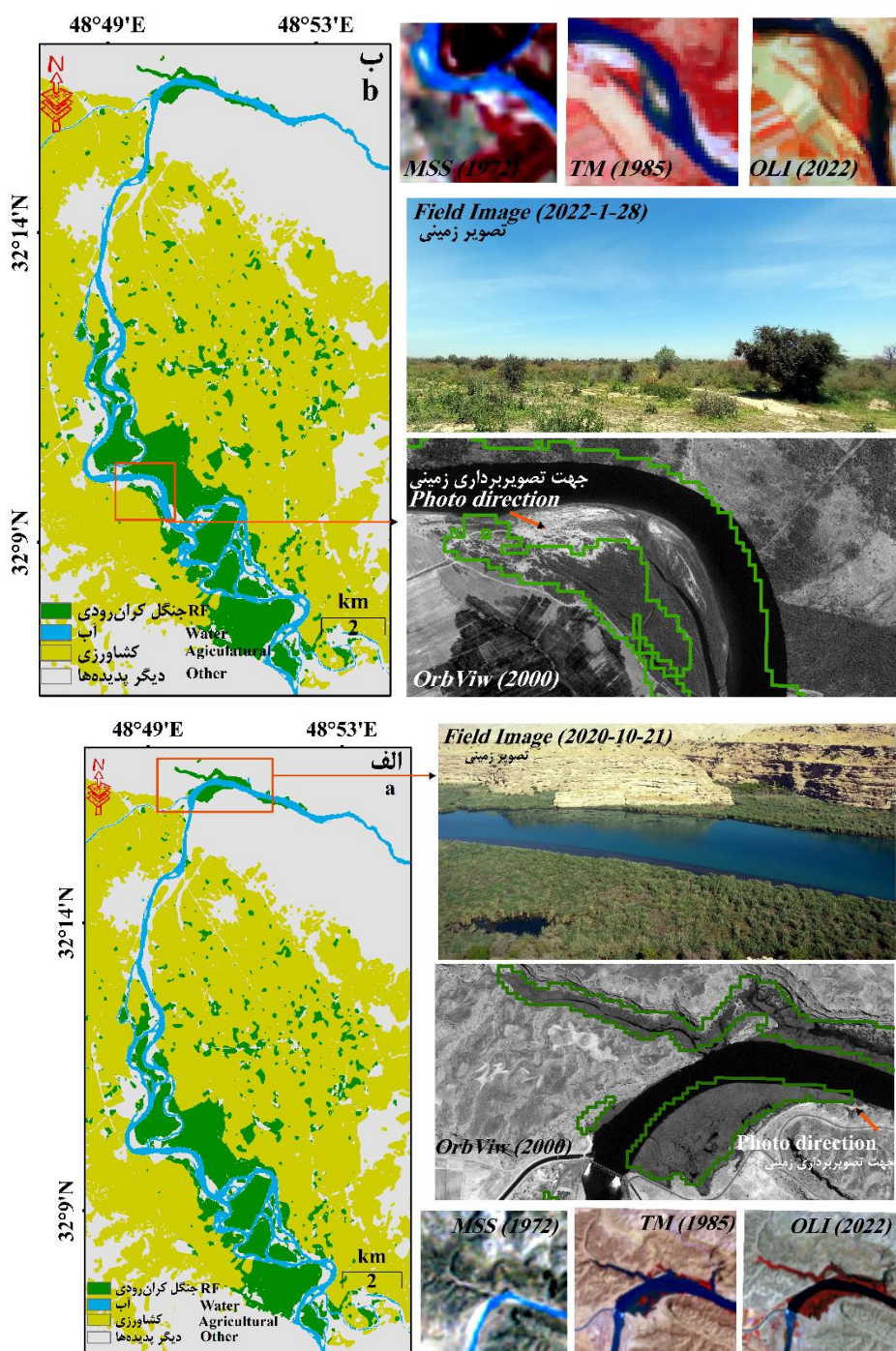


شکل ۷- نرخ تغییرات کلاس‌های جنگل‌های کران‌رودی (الف) و اراضی کشاورزی (ب) بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۲
 Figure 7. The rate of changes in riparian forest (a), and agricultural land (b) classes between 1972 and 2022

گیاهی گسترش یافته است. طی دهه‌های بعد، فرسایش خاک توسط سیلاب‌ها و رسوب‌گذاری در دریاچه سد، عاملی در شروع رشد پوشش گیاهی شده است (شکل ۸-الف- تصویر ترکیب رنگی سنجنده در سال ۱۹۸۵). گفتنی است که به دلیل توان تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای، بخش‌هایی از پیکسل‌ها که بازتابی از چند پیکسل (پدیده) هم‌جوار هستند، سبب می‌شود تا در نتایج طبقه‌بندی به‌خوبی تفکیک نشوند. این مسئله در شکل ۸-ب نشان داده شده است. همچنین، روند کاهش و تخریب

در شکل ۸، نقشه پوشش گیاهی به‌همراه تصاویر میدانی و ترکیب رنگی کاذب از سال‌های مختلف برای مشاهده روند تغییرات ارائه شده است. ایجاد بند میزان گتوند، گسترش پهنه آبی و در نهایت رسوب‌گذاری، یکی از دلایل افزایش پوشش گیاهی در پیرامون رودخانه پیش از بهره‌برداری از بند میزان گتوند این سد است. در سال ۱۹۷۲ با توجه به احداث نشدن سد تنظیمی گتوند، پوشش گیاهی در این بخش از پیرامون رودخانه وجود نداشت (شکل ۸-الف)، اما از سال ۱۹۸۱ به تدریج پوشش

پوشش گیاهی و تغییرات دو طبقه آب و جنگل در این بخش از جنگل‌های کران‌رودی با استفاده از تصاویر ترکیب رنگی کاذب برای سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۵ و ۲۰۲۲ در شکل ۸ نشان داده شده است.

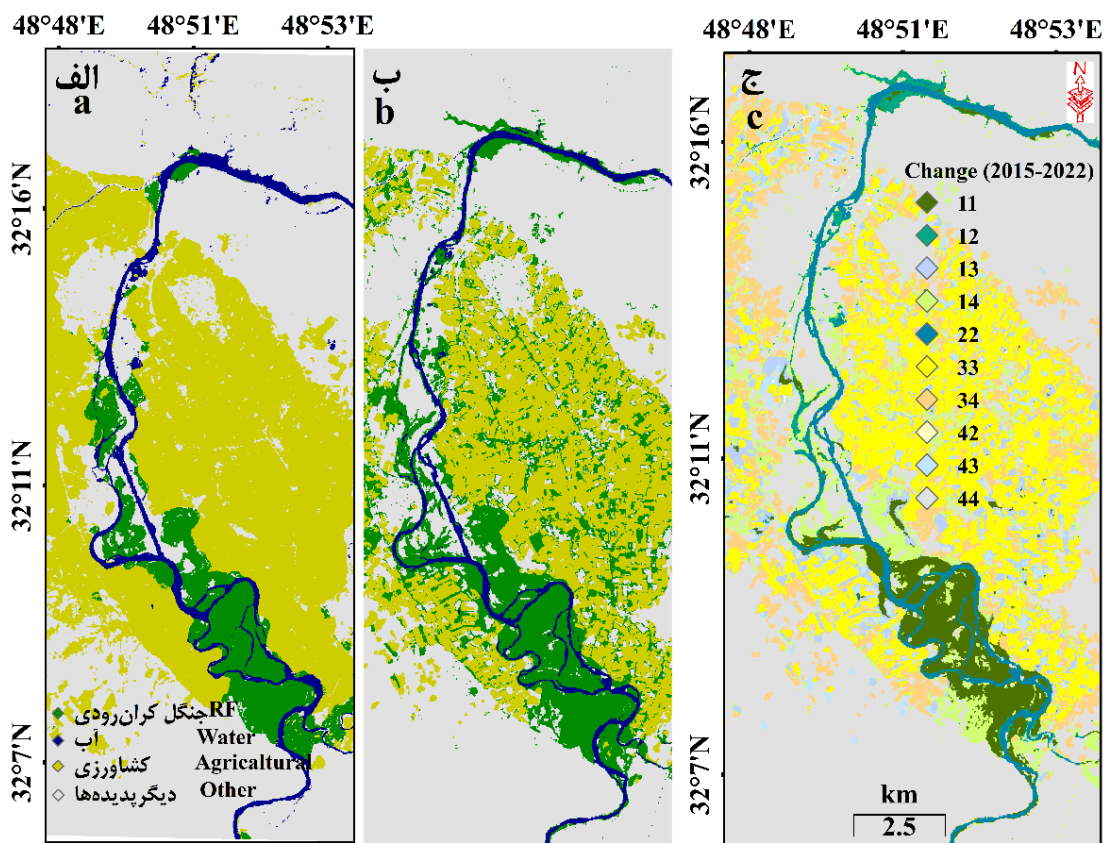


شکل ۸- نقشه پوشش جنگل‌های کران‌رودی به همراه تصاویر سنجنده OrbViw در سال ۲۰۰۰، تصاویر زمینی و تصاویر ترکیب رنگی (NIR, Red, Green) از پویایی تغییرات پوشش گیاهی در سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۵ و ۲۰۲۲

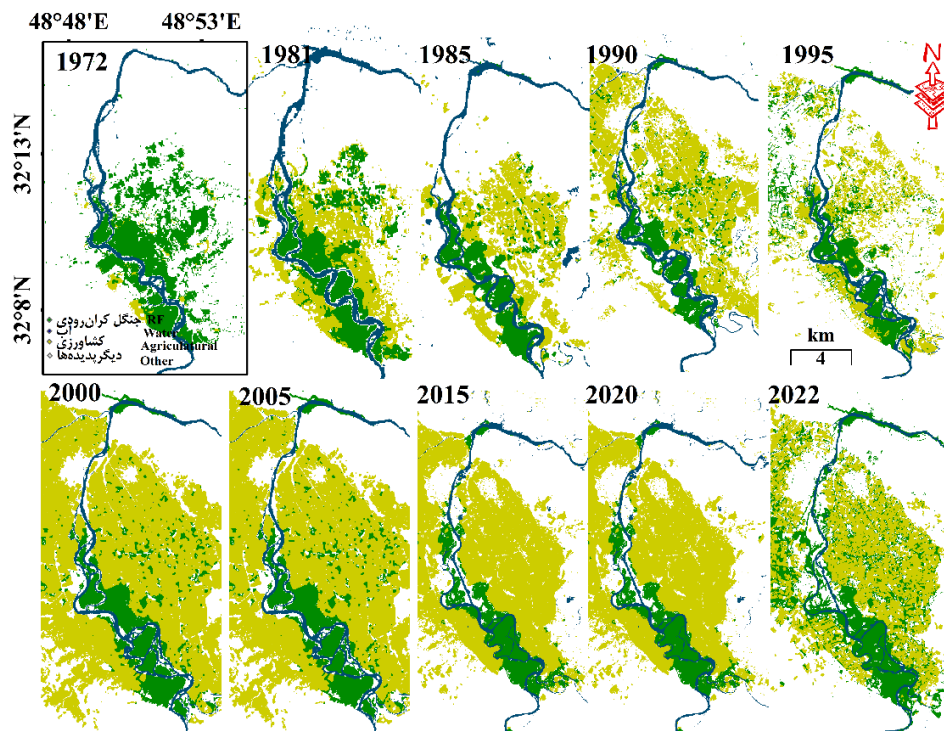
Figure 8. Map of riparian forests (RF) along with OrbViw sensor images in 2000, field images and color combination images (NIR, Red, Green) of vegetation change dynamics in 1972, 1985 and 2022

داشته است. با توجه به یافته‌های تحقیق، کاشت درختان در پیرامون اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی در سال‌های اخیر (۲۰۲۰-۲۰۲۲) نسبت به سال ۲۰۰۰ و پیش‌از آن افزایش یافته است (شکل ۹-ب). این مسئله، یکی از دلایل افزایش نسبی در مساحت این بوم‌سازگان جنگلی بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ است. از طرف دیگر، طبقه جنگل کران‌رودی اغلب از کلاس جنگل به سه کلاس آب، خاک لخت و سپس، اراضی کشاورزی تغییر یافته است، اما توسعه طبقه اراضی کشاورزی سبب تخریب بخش قابل توجهی از اراضی منابع طبیعی طی سال‌های مورد مطالعه شده است. شکل ۹-ج، تغییرات کاربری چهار کلاس جنگل، آب، کشاورزی و دیگر پدیده‌ها را بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. در شکل ۱۰ نیز نقشه نهایی در سال‌های مختلف ارائه شده است.

پویایی جنگل‌های کران‌رودی منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۰، جنگل‌های کران‌رودی، طبقه غالب گیاهی در این منطقه بود که به ترتیب، مساحتی بین ۳۶۷۰/۶ تا ۲۳۷۹/۲ هکتار را پوشش می‌داد. این بوم‌سازگان طی دوره مذکور حدود ۳۵ درصد از مساحت خود را از دست داده بود. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ (با مساحت ۱۵۶۹/۶) حدود ۳۴ درصد دیگر از مساحت این بوم‌سازگان گیاهی از بین رفته است (جدول ۳). پس از طبقه جنگل، اراضی کشاورزی با مساحتی حدود ۲۵۲ هکتار در سال ۱۹۷۲ (زمین آبی بدون در نظر گرفتن اراضی قابل کشت دیم) به ۷۶۴۷/۸ هکتار در سال ۱۹۹۰ و ۱۱۳۳۸/۶ هکتار در سال ۲۰۲۲ رسید که نشان می‌دهد نرخ رشد اراضی کشاورزی از سال ۱۹۷۲ تا سال ۲۰۲۲ رشد بیشتر از ۴۳۹۳ درصد

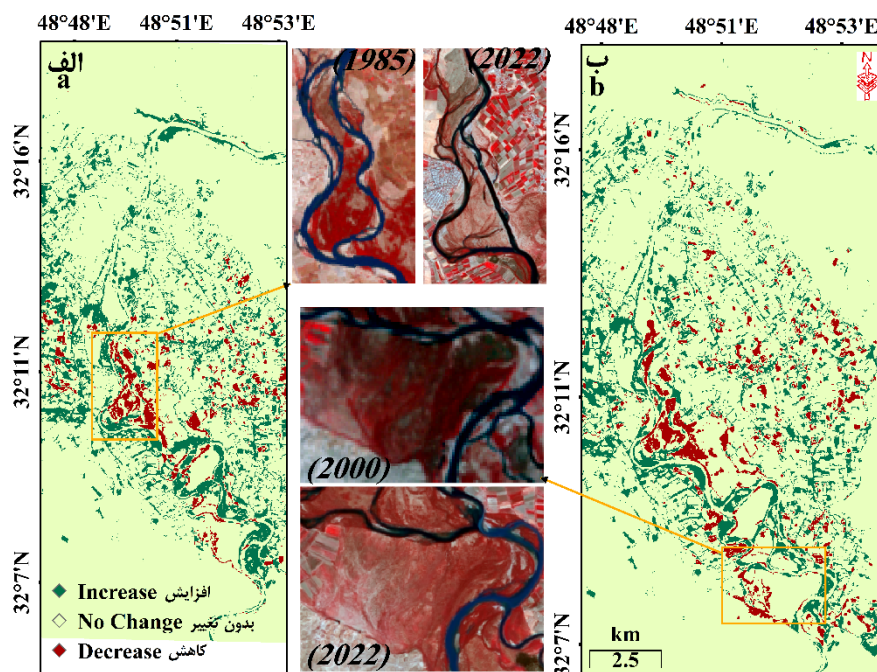


شکل ۹- الف) نقشه نهایی سال ۲۰۱۵، ب) نقشه سال ۲۰۲۲ و ج) نقشه تغییرات بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲
Figure 9-a) Final map of 2015, b) map of 2022, and c) map of changes between 2015 and 2022



شکل ۱۰- نتایج طبقه‌بندی مساحت جنگل‌های کران‌رودی از ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۲

Figure 10. Classification results of riparian forest area from 1972 to 2022

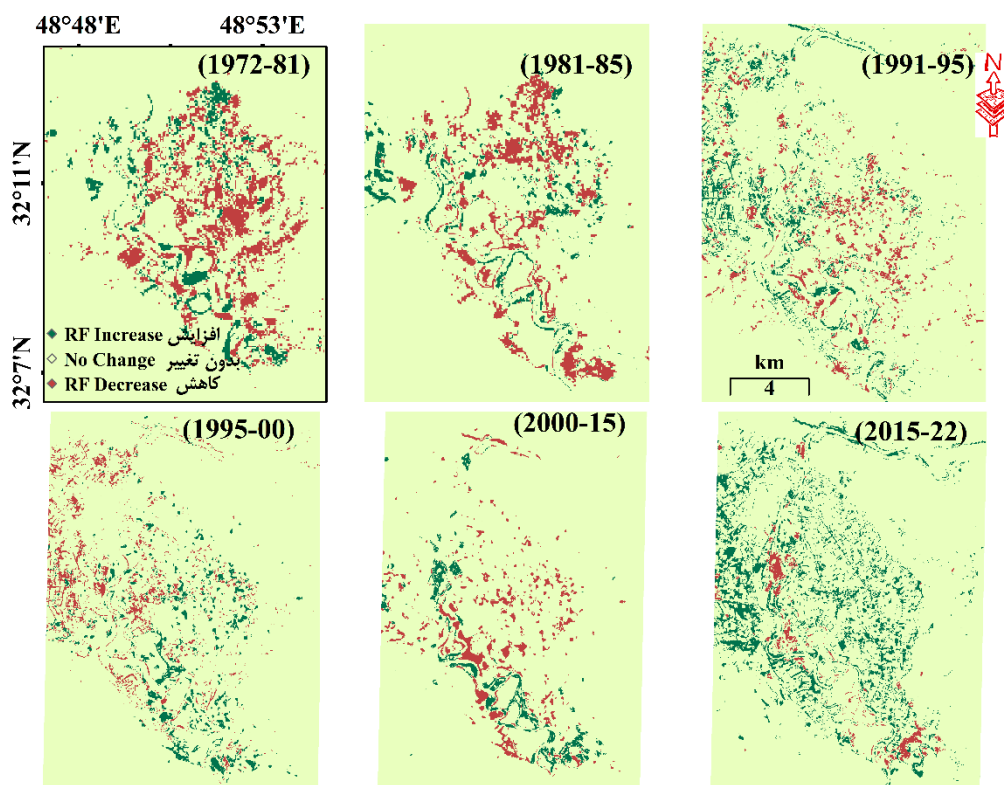


شکل ۱۱- الف) نقشه تغییرات جنگل‌های کران‌رودی در سال ۲۰۲۲ نسبت به ۱۹۸۵ و ب) تغییرات سال ۲۰۲۲ نسبت به ۲۰۰۰
تصاویر ترکیب رنگی مربوط به تاریخ ۱۴۰۱/۸ است.

Figure 11. a) The map of the changes of riparian forests in 2022 compared to 1985, and b) Its changes of 2022 compared to 2000
The color combination images are related to 2022/8.

نمودند. از این رو، برای تحلیل نتایج به توصیف این تغییرات نیاز است. این گسترش پوشش درختی و ویلاباغ‌ها در اراضی کشاورزی و پیرامون رودخانه‌ها می‌تواند ناشی از اصلاحات و تغییر سیاست در بخش‌های کشاورزی و جنگل‌داری باشد. طبق یافته‌های پژوهش پیش‌رو، بین سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۲۲، تغییرات جنگل اغلب در مناطق شمالی و بین شاخه‌های رودخانه کارون رخ داده است (شکل ۱۱-الف)، اما بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، بخش‌های انتهایی این جنگل‌ها نیز تخریب شده‌اند و کاهش بیشتری را تجربه کرده‌اند (شکل ۱۱-ب). نقشه‌های پویایی بوم‌سازگان جنگلی در شکل ۱۲ ارائه شده است.

شکل ۱۱ پویایی تغییرات جنگل‌های کران‌رودی برای سال ۲۰۲۲ نسبت به سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در بخش‌های بزرگ‌نمایی شده در این شکل قابل مشاهده است، در پیرامون رودخانه اغلب، تغییرات کاهش‌ی رخ داده است. بخشی از این تغییرات ناشی از تغییر بستر رودخانه، نوارهای حاشیه‌ای این جنگل‌ها است که می‌تواند به دلیل جنگل‌تراشی، تخریب توسط دامداران و نیز متأثر از تغییر اقلیم باشد. همچنین، گسترش کاشت درختان در پیرامون اراضی کشاورزی و احداث ویلاباغ‌ها طی دهه‌های اخیر از دلایل عمده افزایش پوشش درختی است. به این دلیل، در نقشه‌های نهایی قابل حذف



شکل ۱۲- نقشه تغییرات بوم‌سازگان‌های جنگلی کران‌رودی بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۲

Figure 12. The map of the changes of riparian forests (RF) between 1972 and 2022

جدول ۳- مساحت، تغییرات و نرخ تغییرات کلاس‌های اراضی کشاورزی و جنگل‌های کران‌رودی از ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۲

Table 3. Area, changes and rate of change in the classes of agricultural land and riparian forests from 1972 to 2022

Year	Riparian forest (ha)	Agricultural area (ha)	Total (ha)	Change of riparian forest (ha)	Change of agricultural area (ha)	Change rate of riparian forest (%)	Change rate of Agricultural (%)
1972	3670.6	252.4	3922.9	-2,100.9	11,086.2	-57.2	4,393
1981	3575.2	3106.4	6681.6	-2,005.5	8,232.1	-56.1	265
1985	2117.9	3677.8	5795.7	-548.3	7,660.7	-25.9	208.3
1990	3488.1	7647.8	11135.9	-1,918.4	3,690.8	-55	48.3
1995	2276.7	8242.2	10518.9	-707.1	3,096.4	-31.1	37.6
2000	2379.2	11586.6	13965.8	-809.6	-248	-34	-2.1
2005	2179.2	12586.6	14765.8	-609.6	-1,248	-28	-9.9
2010	1279.2	11116.6	12395.8	290.4	222	22.7	2
2015	1935.1	11206.5	13141.6	-365.5	132.1	-18.9	1.2
2020	1379.2	12386.6	13765.8	190.4	-1,048	13.8	-8.5
2022	1569.6	11338.6	12908.2	-	-	-	-

بحث

یافته‌های پژوهش پیش‌رو نشان داد که بوم‌سازگان جنگلی کران‌رودی در منطقه مورد مطالعه طی ۵۰ سال (۱۹۷۲ تا ۲۰۲۲) حدود ۵۷/۲ درصد کاهش یافته است. همسو با این نتایج، بررسی تأثیر سد گتوند بر پوشش گیاهی زمین‌های پایین‌دست آن نشان داد که مساحت این بوم‌سازگان گیاهی از ۱۱۱۷ هکتار در سال ۱۹۹۹ به ۹۲۱ هکتار در سال ۲۰۱۸ (۱۷/۵ درصد) کاهش یافته است (Sharif & Hamzeh, 2022). همچنین، بررسی روند تخریب بیشه‌زارهای پده (P. *euphratica*) در حاشیه رودخانه کارون در دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ حاکی از افزایش تراکم پهروها (درختان پده) در واحد سطح (۰/۵۳ به ۱/۹ درصد) بود (Ahmadi et al., 2021). با این حال، از بزرگی و اندازه پهروها (تکه‌های تجمع درختان پده) طی دوره زمانی ۲۰ ساله، کاسته و اندازه آن‌ها کوچک‌تر شده بود. در واقع، اندازه تکه‌های تجمع درختان پده به‌عنوان مهم‌ترین نوع پوشش درختی این بوم‌سازگان گیاهی از ۰/۱۲ (در سال ۱۹۹۸) به ۰/۰۶ درصد (در سال ۲۰۱۸) کاهش یافته است که با یافته‌های پژوهش پیش‌رو مطابقت دارد.

در روند بلندمدت، اختلال و رشد مجدد طبقه پوشش جنگلی کران‌رودی در منطقه مورد مطالعه اغلب در امتداد رودخانه و اطراف دره‌های طبیعی انتقال آب در اراضی کشاورزی متمرکز رخ داده است. این نتایج نشان می‌دهد که علت اصلی جنگل‌زدایی، تغییر بستر رودخانه و توسعه اراضی کشاورزی است (شکل ۱۲). همچنین در بخش‌های درونی این جنگل‌ها، توسعه جاده، شیوع آفات/حشرات، گسترش ریزگردها، خشک‌سالی، آتش‌سوزی و تخریب توسط ساکنان محلی برای دام‌ها می‌توانند از عوامل دیگر تخریب جنگل در این منطقه به‌شمار آیند. خشکیدگی درختان، آتش‌سوزی بخش‌هایی از این جنگل‌ها (در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱) و توسعه جاده (در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲) توسط بررسی میدانی منطقه تأیید می‌شوند. قابل‌ذکر است که تغییرات بستر رودخانه و فرسایش خاک پیرامون بستر آن‌ها به‌دلیل سیلاب و افزایش سطح آب در شرایط خاص مانند افزایش بارش در

سطح حوضه آبخیز از عوامل دیگر تخریب پوشش گیاهی منطقه و جنگل‌زدایی هستند. اگر چه در بخش‌هایی نیز این رسوب‌گذاری سبب گسترش پوشش گیاهی شده است (شکل ۸-الف).

با توجه به تنش‌های آبی و خشک‌سالی‌های سطح کشور، اثرات توسعه اقتصادی و تغییر در سیاست‌های مدیریت جنگل بر بوم‌سازگان‌های جنگلی به پایش بیشتری نیاز دارند. شناخت و طبقه‌بندی بوم‌سازگان‌های گیاهی و برنامه‌ریزی متناسب با هر نوع از آن‌ها در سطح کشور ایران از جمله ضرورت‌های جدی در راستای احیا و گسترش سطح جنگل‌ها به‌شمار می‌رود. چراکه آن‌ها به‌عنوان یکی از منابع مهم ذخیره کربن و حفظ تنوع زیستی برای چشم‌اندازهای طبیعی و حفاظت از ویژگی‌های بوم‌شناختی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای، بسیار حائز اهمیت هستند. محصولات ماهواره‌ای مدرن، فرصت‌های بیشتری را برای تعیین پویایی جنگل تحت اثرات انسانی در مقیاس مختلف فراهم کرده‌اند (Viana et al., 2019; Şerban et al., 2021; Sharif et al., 2022). از این فناوری در شناسایی بوم‌سازگان‌های طبیعی گیاهی که تحت تأثیر تغییر اقلیم و یا فعالیت‌های انسانی مخرب قرار می‌گیرند، در پژوهش‌های گذشته استفاده شده است (Liu et al., 2017; Miao et al., 2020; Huang et al., 2021; Sharif & Attarchi, 2021). گسترش تصاویر ماهواره‌ای اکنون داده‌های جامعی را در سطح جهان از طریق مراکز فضایی مختلف فراهم کرده است. از آنجایی که ایران، یکی از کشورهای با شرایط اقلیمی مختلف از مرطوب (در نوار شمالی ایران) تا گرم و گرم و خشک در بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی به‌شمار می‌رود، توسعه آینده نقشه‌های جنگلی بسیار قابل‌اعتماد و دقیق می‌تواند از اجرای برنامه نظارت و ارزیابی فهرست موجودی جنگل‌های ملی پشتیبانی کند و تنش‌های اقلیمی را ارزیابی و تسهیل کند. از این‌رو، شناخت انواع محصولات ماهواره‌ای در پایش پوشش‌های گیاهی در پژوهش‌های آینده، ضرورت بیشتری دارد که در این پژوهش به بخشی از آن پرداخته شد.

هدف این پژوهش، بررسی تغییرات جنگل‌های کران‌رودی

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, F., Koshafar, A. and Attaroshan, S., 2021. Investigation of destruction of *Populus euphratica* Oliv. forests along the Karun River in a 20-year period using Landsat satellite images. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 9(18): 325-341 (In Persian with English Summary).
- Chi, Y., Sun, J., Liu, W., Wang, J. and Zhao, M., 2019. Mapping coastal wetland soil salinity in different seasons using an improved comprehensive land surface factor system. *Ecological Indicators*, 107: 105517.
- Deluigi, N. and Lambiel, C., 2013. PERMAL: a machine learning approach for alpine permafrost distribution modeling. *Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft. Saint Niklaus, Switzerland, 29 Jun.-1 Jul. 2011*: 47-62.
- Ghadiripour, P. and Bavi, S., 2018. Riparian forests of Khuzestan province, the forgotten forest ecosystems in Iran. *Journal of Iran Nature*, 2(6): 16-23 (In Persian with English Summary).
- Hamzeh, S., Naseri, A.A., Alavipanah, S.K., Mojaradi, B., Bartholomeus, H.M., Clevers, J.G.P.W. and Behzad, M., 2013. Estimating salinity stress in sugarcane fields with spaceborne hyperspectral vegetation indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 282-290.
- Healey, S.P., Yang, Z., Cohen, W.B. and Pierce, D.J., 2006. Application of two regression-based methods to estimate the effects of partial harvest on forest structure using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 101(1): 115-126.
- Hossain, M.D. and Chen, D., 2019. Segmentation for Object-Based Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 150: 115-134.
- Huang, K., Zhang, Y., Tagesson, T., Brandt, M., Wang, L., Chen, N., ... and Fensholt, R., 2021. The confounding effect of snow cover on assessing spring phenology from space: A new look at trends on the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 756: 144011.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 195-213.
- Huete, A., Justice, C. and Liu, H., 1994. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49(3): 224-234.

در یک دوره ۵۰ ساله (۱۹۷۲ تا ۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بود. از این رو، تصاویر ۳۰ متری لندست که بیشترین تصاویر موجود با قدرت تفکیک طیفی و مکانی مناسب را داشته‌اند، با روش طبقه‌بندی SVM پردازش شدند. جمع‌بندی یافته‌های پژوهش پیش‌رو، بیانگر نکات زیر است:

۱- روش طبقه‌بندی شیء‌مبنا بر اساس الگوریتم SVM با صحت کلی قابل‌اطمینان ($OA > 80\%$)، تطابق مناسب ضریب کاپا ($K = 0.71-0.77$) را برای تصاویر سال‌های ۱۹۸۱، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰ نشان داد. برای سال‌های دیگر با توجه به کیفیت مناسب تصاویر، $OA > 85\%$ و $K > 0.8$ به دست آمد. در تجزیه و تحلیل تغییرات این نتایج ممکن است که برخی از برآوردهای بیش از حد طبقه‌ها (به‌عنوان مثال اراضی کشاورزی) را اضافه کند که به دلیل تغییرات بیشتر مشاهده شده، در این زمینه قابل قبول است.

۲- در طی ۵۰ سال گذشته، ساختار سیمای سرزمین و به‌دنبال آن، نرخ تغییرات بوم‌سازگان جنگلی در منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است، اما اراضی کشاورزی بیشتر از ۴۳۹۳ درصد در سال ۲۰۲۲ نسبت به ۱۹۷۲ افزایش نشان داد. تغییرات سریع چشم‌انداز طبیعی و کاربری زمین به خوبی قابل مشاهده است. این نتایج، اطلاعات پایه و مفیدی را برای توسعه پایدار در این منطقه ارائه می‌دهد. با این حال، به پژوهش‌های بیشتری برای درک بهتر سازوکارهای تغییرات چشم‌انداز، پیش‌بینی روند تغییر و تعیین راهبردهای تطبیقی نیاز است.

۳- کاهش سطح جنگل‌های کران‌رودی در این منطقه، تنوع زیستی گیاهی را به همراه خواهد داشت و با از بین رفتن پیوستگی سیمای سرزمین، ساختار کلی تنوع زیستی جانوری را نیز تغییر خواهد داد. از این رو، پیشنهاد می‌شود که در سطح ملی، ابتدا شناسایی و پایش چگونگی تغییرات انواع بوم‌سازگان‌های جنگلی و سپس، راهبردهای توسعه جنگل‌ها برای حفظ و گسترش کمی و کیفی آن‌ها مورد توجه قرار گیرد.

- trend using Landsat data in Tehran Megacity. Iranian Journal of Forest, 12(2): 257-270 (In Persian with English Summary).
- Omati, M. and Sahebi, M.R., 2016. Change detection in polarimetric SAR images based on improved watershed algorithm. Journal of Geomatics Science and Technology, 6(2): 63-78 (In Persian with English Summary).
 - Şerban, R.D., Şerban, M., He, R., Jin, H., Li, Y., Li, X., ... and Li, G., 2021. 46-year (1973–2019) permafrost landscape changes in the Hola Basin, Northeast China using machine learning and object-oriented classification. Remote Sensing, 13(10): 1910.
 - Sharif, M. and Attarchi, S., 2021. Investigation the effect of environmental parameters on mangrove ecosystems using satellite images. Nivar, 45(114-115): 97-107 (In Persian with English Summary).
 - Sharif, M., Attarchi, S. and Kakroudi, A.A., 2022. Investigating the phenology changes of three plant species in different ecosystems using radar and optical data. Journal of Physical Geography Research, 54(1): 111-133 (In Persian with English Summary).
 - Sharif, M. and Hamzeh, S., 2022. Investigating the effect of Gotvand Dam on changes in soil salinity and vegetation cover of downstream lands of the dam using satellite imagery and spectral indices. Environmental Sciences, 19(4): 225-248 (In Persian with English Summary).
 - Sharif, M. and Kiani, A., 2023. Estimation of fire area in Iranian vegetation using MODIS and Alos-2 data. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 15(3): 103-124 (In Persian with English Summary).
 - Shu, W. and Cai, K., 2019. A SVM multi-class image classification method based on DE and KNN in smart city management. IEEE Access, 7: 132775-132785.
 - Thanh Noi, P. and Kappas, M., 2018. Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery. Sensors, 18(2): 18.
 - van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., van Leeuwen, T.T., Chen, Y., Rogers, B.M., ... and Kasibhatla, P.S., 2017. Global fire emissions estimates during 1997–2016. Earth System Science Data, 9: 697-720.
 - Veysi, R., Fattahi, B. and Khosrow Beigi, S., 2022. Predicting and preparing a risk map of rangeland fires using random forest algorithms and support vector machine (Case study: Arak rangelands). Journal of Rangeland, 16(1): 413-426 (In Persian with English Summary).
 - Viana, C.M., Oliveira, S., Oliveira, S.C. and Rocha, J., 2019. Land use/land cover change detection and
 - Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H. and Stanley, D., 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 80: 91-106.
 - Jafari, S., 2020. Effects of dam construction and the Karoon River's change of hydrology regime on soil salinity and dust storms of Khuzestan Plain. Irrigation Sciences and Engineering, 43(1): 157-172 (In Persian with English Summary).
 - Karimi, M., Heidari, S. and Rafati, S., 2021. The trend of atmospheric water cycle components (precipitation and precipitable water) in catchments of Iran TT. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 8(2): 33-54 (In Persian with English Summary).
 - Koda, S., Zeggada, A., Melgani, F. and Nishii, R., 2018. Spatial and structured SVM for multilabel image classification. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 56(10): 5948-5960.
 - Liu, R., Shang, R., Liu, Y. and Lu, X., 2017. Global evaluation of gap-filling approaches for seasonal NDVI with considering vegetation growth trajectory, protection of key point, noise resistance and curve stability. Remote Sensing of Environment, 189: 164-179.
 - 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, 17(7): 1425-1432.
 - Meroni, M., D'Andrimont, R., Vrieling, A., Fasbender, D., Lemoine, G., Rembold, F., ... and Verhegghen, A., 2021. Comparing land surface phenology of major European crops as derived from SAR and multispectral data of Sentinel-1 and -2. Remote Sensing of Environment, 253: 112232.
 - Miao, N., Jiao, P., Tao, W., Li, M., Li, Z., Hu, B. and Moermond, T.C., 2020. Structural dynamics of *Populus euphratica* forests in different stages in the upper reaches of the Tarim River in China. Scientific Reports, 10(1): 3196.
 - Moradi, B., Ravanbakhsh, H., Meshki, A. and Shabaniyan, N., 2016. The effect of fire on vegetation structure in Zagros forests (Case Study: Sarvabad, Kurdistan province). Iranian Journal of Forest, 8(3): 381-392 (In Persian with English Summary).
 - Najafi, A., Azizi Ghalati, S. and Mokhtari, M.H., 2017. Assessment kernel support vector machines in classification of landuses (Case study: Basin of Cheshmeh Kileh-Chalkrod). Journal of Watershed Management Research, 8(15): 92-101 (In Persian with English Summary).
 - Najafi, Z., Darvishsefat, A.A., Fatehi, P. and Attarod, P., 2020. Time series analysis of vegetation dynamic

- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025-3033.
- Zhu, Z., Woodcock, C.E. and Olofsson, P., 2012. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 122: 75-91.
- Xu, F., Li, Z., Zhang, S., Huang, N., Quan, Z., Zhang, W., ... and Prishchepov, A.V., 2020. Mapping winter wheat with combinations of temporally aggregated Sentinel-2 and Landsat-8 data in Shandong Province, China. *Remote Sensing*, 12(12): 2065.
- urban sprawl analysis: 621-651. In: Pourghasemi, H.R. and Gokceoglu, C. (Eds.). *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 770p.