



## Assessing Wetland Land Cover Classification Quality Using Data Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 (Case Study: Horul Azim Wetland)

Amir Shahrokh Amini<sup>\*1</sup>, Aida Parvandi<sup>2</sup>, Zahra Azargoshayesh<sup>3</sup>

1. Department of surveying Engineering, Islamic Azad University South Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: [sh\\_amini@azad.ac.ir](mailto:sh_amini@azad.ac.ir)

2. Department of Surveying Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: [z.azar8699@gmail.com](mailto:z.azar8699@gmail.com)

3. Department of Surveying Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: [st\\_z\\_azargoshayesh@azad.ac.ir](mailto:st_z_azargoshayesh@azad.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

Received: October 13, 2024

Received in revised form:

November 08, 2024

Accepted: December 17, 2024

Available online: December 21, 2024

**Keywords:**

radar,

image fusion,

object-oriented classification,

Horul Azim Wetland,

Sentinel1&2.

### ABSTRACT

**Objective:** Population growth, global warming, and poor management have led to the depletion of the world's water resources. To preserve these resources, management and continuous monitoring, the preparation of land use and land cover maps are essential.

**Method:** In this regard, Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images were used to prepare land cover maps of the Horul Azim wetland, along with spatial and frequency fusion methods such as IHS, PCA, Brovey, Ehlers, and Wavelet-IHS. Fusing the images helped reduce the effects of clouds and dust, and by adding texture to Sentinel-2 optical images, it increased classification accuracy. The classification of images after fusion was done using Support Vector Machine (SVM) and Nearest Neighbor (KNN) methods.

**Results:** The evaluation of results with overall accuracy (OA) and kappa coefficient showed an increase in the OA parameter by 1-6% and the Kappa parameter by 2-5% in KNN classification, and an increase in the OA and Kappa parameters by 1-5% and 1-4%, respectively, in SVM classification compared to classification with optical images..

**Conclusions:** Frequency and hybrid methods were selected as the best fusion methods, and SVM was chosen as the most accurate classification method. Among the two polarizations, VV and VH, VV polarization showed better performance.

**Cite this article:** Amini, A., Parvandi, A., Azargoshayesh, Z. (2024). Assessing Wetland Land Cover Classification Quality Using Data Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 (Case Study: Horul Azim Wetland). *Journal of Ecohydrology*, 11 (4), 543-562. <https://doi.org/10.22059/ije.2025.384845.1849>



© Amir Shahrokh Amini, Aida Parvandi, Zahra Azargoshayesh.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ije.2025.384845.1849>

## **Introduction**

Wetlands are among the most vital ecosystems on Earth, playing a crucial role in regulating hydrological cycles, maintaining biodiversity, controlling climate, and preventing soil erosion. However, these ecosystems face serious threats due to human activities, climate change, and land-use modifications. One of the most affected wetlands is the Hoor al-Azim wetland, which has suffered significant degradation in recent decades. Effective monitoring and management of wetlands require accurate and up-to-date land cover classification, which can be efficiently achieved using remote sensing technologies.

Remote sensing provides valuable insights into land cover changes, especially through optical and synthetic aperture radar (SAR) sensors. Optical sensors (e.g., Sentinel-2) capture spectral information but are highly dependent on weather conditions, making them ineffective under cloud cover or dust storms. On the other hand, SAR sensors (e.g., Sentinel-1) can penetrate clouds and operate in all weather conditions, providing valuable structural and textural information. However, SAR images lack spectral details. The fusion of SAR and optical images can overcome the limitations of each sensor and enhance classification accuracy by integrating spectral and structural characteristics.

## **Materials and Methods**

This study aims to improve land cover classification of Hoor al-Azim wetland by fusing Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 optical images. Image fusion was performed using three spatial domain methods (IHS, PCA, Brovey), three frequency and hybrid domain methods (Wavelet, Ehlers, Wavelet-IHS). The goal of fusion was to preserve spectral integrity while enhancing spatial and textural details. To ensure accurate classification, images were preprocessed using radiometric and geometric corrections. Sentinel-1 images were speckle-filtered using REFINEDLEE and LEESIGMA filters, while Sentinel-2 images underwent atmospheric correction. After co-registration, fused images were classified using Support Vector Machine (SVM) and K-Nearest Neighbor (KNN) classifiers. The classification results were assessed using Overall Accuracy (OA) and Kappa Coefficient to evaluate the effectiveness of fusion methods.

## **Results**

The classification results demonstrated that: Frequency and hybrid fusion methods (Wavelet, Ehlers, Wavelet-IHS) achieved higher accuracy than spatial methods (IHS, PCA, Brovey). These methods preserved spectral details while enhancing spatial resolution. SVM outperformed KNN in all classification experiments, achieving higher OA and Kappa values. Fusing Sentinel-1 and Sentinel-2 images improved classification accuracy, mitigating cloud cover limitations and enhancing wetland delineation. Using VV polarization from Sentinel-1 SAR provided better classification results compared to VH polarization, particularly for barren-salty lands and water bodies. The fusion process increased OA by 1–6% and Kappa by 2–5% for KNN classification, while for SVM, OA improved by 1–5% and Kappa by 1–4% compared to optical-only classification.

## **Conclusion**

The results indicate that frequency and hybrid fusion techniques provide superior classification accuracy compared to spatial methods, as they better preserve spectral characteristics. Furthermore, SVM proved to be a more effective classifier than KNN for this dataset. The fusion of optical and SAR imagery enhances land cover classification and significantly reduces cloud and atmospheric-related issues, making it a valuable approach for wetland monitoring and natural resource management.

## **Author Contributions**

All authors have equal contributions to this article.

## **Data Availability Statement**

All data used in this research are publicly available (sources provided in the Methods).

**Acknowledgements**

-

**Ethical considerations**

The authors avoided from data fabrication and falsification.


**Funding**

-

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

## بررسی کیفیت طبقه‌بندی پوشش اراضی تالاب‌ها با تلفیق تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲ (مطالعه موردی: تالاب هورالعظیم)

امیرشاهرخ امینی،<sup>۱\*</sup> آیدا پروندی،<sup>۲</sup> زهرا آذرگشایش<sup>۳</sup> 

۱. استادیار گروه سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران. رایانامه: [sh\\_amini@azad.ac.ir](mailto:sh_amini@azad.ac.ir)
۲. کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران. رایانامه: [z.azar8699@gmail.com](mailto:z.azar8699@gmail.com)
۳. کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران. رایانامه: [st\\_z\\_azargoshyesh@azad.ac.ir](mailto:st_z_azargoshyesh@azad.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	موضوع: رشد جمعیت، گرمایش جهانی و مدیریت نادرست باعث کاهش منابع آبی جهان شده است. برای حفظ این منابع، مدیریت و پایش مستمر، تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی، ضروری است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲	هدف: بررسی کیفیت طبقه‌بندی پوشش اراضی و کاربری تالاب‌ها در تالاب هورالعظیم با استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری به‌منظور نیل به نتایج دقیق‌تر است.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۸	روش تحقیق: در این راستا، برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی تالاب هورالعظیم، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲ همراه با روش‌های تلفیق مکانی و فرکانسی مانند PCA، IHS، Brovey، Ehlers و Wavelet-IHS استفاده شده است. تلفیق تصاویر به کاهش اثرات ابر و گردوغبار کمک کرده و با افزودن بافت به تصاویر نوری سنتینل-۲، دقت طبقه‌بندی را افزایش داد. طبقه‌بندی تصاویر بعد از تلفیق با استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM) و نزدیک‌ترین همسایگی (KNN) انجام شد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۷	یافته‌ها: ارزیابی نتایج با شاخص‌های دقت کلی (OA) و ضریب کاپا نشان از افزایش پارامتر OA به میزان ۱-۶ درصد و پارامتر Kappa به میزان ۲-۵٪ در طبقه‌بندی KNN، و افزایش پارامترهای OA و Kappa به ترتیب ۱-۵ درصد و ۱-۴ درصد در طبقه‌بندی SVM نسبت به طبقه‌بندی با تصویر نوری شد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱	نتیجه‌گیری: روش‌های فرکانسی و ترکیبی به‌عنوان بهترین روش‌های تلفیق انتخاب شدند و SVM به‌عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی انتخاب شد. از دو قطبش VV و VH، قطبش VV عملکرد بهتری نشان داد.
کلیدواژه‌ها: رادار، تلفیق تصویر، طبقه‌بندی شیء‌گرا، تالاب هورالعظیم، سنتینل ۱ و ۲.	

استناد: امینی، امیرشاهرخ؛ پروندی، آیدا؛ آذرگشایش، زهرا. بررسی کیفیت طبقه‌بندی پوشش اراضی تالاب‌ها با تلفیق تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲ (مطالعه موردی: تالاب هورالعظیم). مجله اکوهیدرولوژی، ۱۱(۴)، ۵۴۳-۵۶۲.

<https://doi.org/10.22059/ije.2025.384845.1849>



© امیرشاهرخ امینی، آیدا پروندی، زهرا آذرگشایش.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

تالاب‌ها به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های مهم و حیاتی زمین، نقش اساسی در حفظ تنوع زیستی، تعدیل اقلیم و تأمین منابع آب دارند. در واقع تالاب‌ها اراضی حد واسط بین اکوسیستم‌های خشکی و آبی هستند که می‌توانند برای نگهداری و رهاسازی آرام آب سیلاب و کنترل سیل، بازسازی آب‌های زیرزمینی، فیلتر پاک‌کننده آب آلوده و بهبود کیفی آن، فراهم کردن زیستگاه حیات وحش و به‌منظور چراگاه و مراکز تفریح و سرگرمی استفاده شوند (حیدری، ۱۳۹۳). با این حال، به دلیل تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های صنعتی و رشد شهرنشینی، تالاب‌ها به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و در حال حاضر با تهدیدات جدی مواجه‌اند (صالحی، ۱۳۹۵). از این رو پایش تالاب‌ها نه تنها به حفاظت از این زیستگاه‌ها کمک می‌کند، بلکه اطلاعات ارزشمندی در مورد تغییرات زیست‌محیطی و روندهای اکولوژیکی فراهم می‌آورد که برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بسیار حائز اهمیت است. در این راستا، در حوضه‌های آبخیز به‌خصوص تالاب‌ها، نوع پوشش و کاربری اراضی مشخصه مهمی است که در فرایند رواناب بر روی میزان نفوذ، فرسایش، تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد. در واقع، کاربری اراضی یکی از روش‌های بهره‌برداری از زمین به‌منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است (حیدری، ۱۳۹۳) و یکی از مهم‌ترین مبانی مدیریت و نظارت منابع طبیعی، مطالعات مربوط به نقشه‌های کاربری اراضی است. نقشه پوشش و کاربری اراضی یکی از الزامات هرگونه برنامه‌ریزی توسعه‌های ملی و منطقه‌ای است که مدیران، برنامه‌ریزان و کارشناسان را قادر می‌سازد با شناسایی وضع موجود و مقایسه قابلیت‌ها و پتانسیل‌ها، در زمینه رفع نیازهای حال و آینده، اقدامات لازم را طراحی و اجرا نمایند (حق‌پرست، ۱۳۹۰).

از مراحل اساسی و ابتدایی مطالعه کاربری اراضی به کمک اطلاعات سنجنش از دور ایجاد یک سیستم طبقه‌بندی است که باید با توجه به اهداف مطالعه و ویژگی‌های جغرافیایی منطقه و با مشورت افراد صاحب‌نظر در این زمینه تهیه گردد. استخراج اطلاعات از تصاویر رقومی و طبقه‌بندی و مقایسه دقت و صحت تصاویر ماهواره‌ای از مهم‌ترین مراحل است که می‌تواند به دو روش پیکسل‌مبنا و شیء‌گرا صورت گیرد (صالحی، ۱۳۹۵). در روش پیکسل‌مبنا، هر پیکسل به‌طور مستقل از دیگر پیکسل‌ها طبقه‌بندی می‌شود و این روش براساس ویژگی‌های طیفی پیکسل‌ها عمل می‌کند (جنسن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). این روش ساده و کارآمد است، اما در شناسایی الگوهای پیچیده و ویژگی‌های مکانی محدودیت‌هایی دارد (کونگ و هاوارد<sup>۲</sup>، ۱۹۹۰). در مقابل، در روش شیء‌گرا، تصاویر ابتدا به نواحی یا اشیا تقسیم می‌شوند و سپس این اشیا براساس ویژگی‌های مکانی، طیفی و بافتی طبقه‌بندی می‌شوند (اتوکی، بلاشک و کالینز<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵). این روش به دلیل توانایی بهتر در شناسایی الگوهای پیچیده و کاهش تأثیر نویز، معمولاً نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد (هی و کاستیلا<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶).

با پیشرفت تکنولوژی و پیدایش سنسورهای متنوع در طیف الکترومغناطیس و بهره‌مندی توأم از اطلاعات طیفی و مکانی سنسورهای مختلف، از تلفیق تصاویر استفاده می‌گردد. تلفیق تصویر ترکیبی است از دو یا چند تصویر از منابع مختلف که در رزولوشن، محدوده طیفی و روش‌های اخذ تصویر باهم متفاوت اند و هدف تبدیل آن به یک تصویر واحد است که تمام ویژگی‌های مهم تصاویر ورودی در خود حفظ کرده باشد (برتشنايدر و کائو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱). این تصاویر در سه سطح پیکسل، ویژگی و سیمبل می‌توانند باهم تلفیق شوند و اطلاعات با کیفیتی را نتیجه دهند که از یک تصویر واحد امکان‌پذیر نیست (باسعید، هریش و الما<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲؛ گشتاسبی و نیکولوف<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷؛ هال و مک‌مولن<sup>۸</sup>، ۲۰۰۴). به‌علاوه، استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی و روش‌های فیوژن تصاویر به بهبود دقت و کیفیت داده‌های به‌دست‌آمده کمک می‌کنند و با کمک این روش‌ها می‌توان به راحتی تغییرات کمی و کیفی تالاب‌ها را پایش کرد.

1. Jensen
2. Gong & Howarth
3. Otukey, Blaschke & Collins
4. Hay & Castilla
5. Bretschneider & Odej
6. Basaeed, Harish & Al-Mualla
7. Goshtasby & Nikolov
8. Hall & McMullen

ایران نیز با قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، مانند بسیاری از کشورها با مسئله بحران آب مواجه است. به دلیل توزیع نامناسب بارش در زمان و مکان، خشکسالی همواره به عنوان یک خطر طبیعی بخش‌های مختلف کشور از جمله حوضه‌های آبخیز و تالابها را متأثر می‌کند (افراخته‌نژاد، ۱۳۹۵). همچنین فعالیت‌های انسانی از جمله توسعه شهری و کشاورزی و ساخت جاده، اغلب باعث آسیب غیرمستقیم و از دست رفتن مقدار قابل توجهی از تالابها و مناطق ساحلی شده (صالحی، ۱۳۹۵) و از آنجا که کشور ایران دارای ۲۵۱ تالاب بزرگ و کوچک است (حیدری، ۱۳۹۳)، لازم است منابع آبی برای پیشگیری از خشکسالی و نابودی مورد مطالعه و نظارت قرار گیرند. در این راستا، تحقیقات زیادی در زمینه پایش تالابها در ایران انجام شده است (افراخته‌نژاد، ۱۳۹۵؛ عبادی، ۱۳۹۸؛ بخشی، علیخواه اصل و رضوانی، ۱۳۹۳؛ قزل، ۱۳۹۷؛ لطفی، احمدی ندوشن و ابوالحسنی، ۱۳۹۶؛ ملک محمدی، جهانی شکیب و یآوری، ۱۳۹۲؛ فکری و همکاران، ۱۴۰۰). در طول چند دهه اخیر نیز، پیشرفت‌های قابل توجهی هم در الگوریتم‌ها و هم در کاربردهای عملی پایش تالابها انجام شده است. برای مثال، روش‌های تلفیق تصاویر، که شامل ادغام اطلاعات از تصاویر نوری و راداری است، می‌توانند به بهبود دقت و پوشش اطلاعاتی در مطالعات تالابها کمک کنند. این روش‌ها می‌توانند ویژگی‌های مختلف اکوسیستم را به طور هم‌زمان از زوایای مختلف بررسی کنند و نتایج دقیق تری را فراهم آورند (پل و جندرن، ۱۹۹۸؛ برتشنايدر و کائو، ۲۰۰۱؛ هال و مک‌ملن، ۲۰۰۴؛ اهلرز<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ دینگ و ونگ<sup>۳</sup>؛ باو، هوانگ و یانگ<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲؛ باسعید، هریش و الملا، ۲۰۱۲؛ امرسیخان<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابدیکان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ دو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ روجومر<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۷؛ النگر<sup>۹</sup>؛ کنگ<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ جوی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). به طور کلی، استفاده از تصاویر تلفیقی راداری و نوری در مطالعات تالابها به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که درک بهتری از تغییرات زیست‌محیطی و سلامت این اکوسیستم‌های حساس داشته باشند (ونگ، منگ و یو، ۲۰۱۰؛ کومار<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ جونفانگ<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ مهدوی و همکاران، ۲۰۱۷؛ آروبا و شیخ سعیداحمد<sup>۱۵</sup>؛ کاپلان<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ مهدیان پور و همکاران، ۲۰۲۰؛ سان<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). در این مقاله به بررسی عمیق تری از روش‌های پایش و چالش‌های موجود در پایش تالابها پرداخته و تأثیرات آن‌ها بر حفظ این اکوسیستم‌ها مورد بررسی قرار خواهد داد. هدف از این تحقیق، بررسی کیفیت طبقه‌بندی پوشش اراضی و کاربری تالابها در تالاب هورالعظیم با استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری به منظور نیل به نتایج دقیق تر است. همچنین انواع روش‌های تلفیق و طبقه‌بندی برای این تالاب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

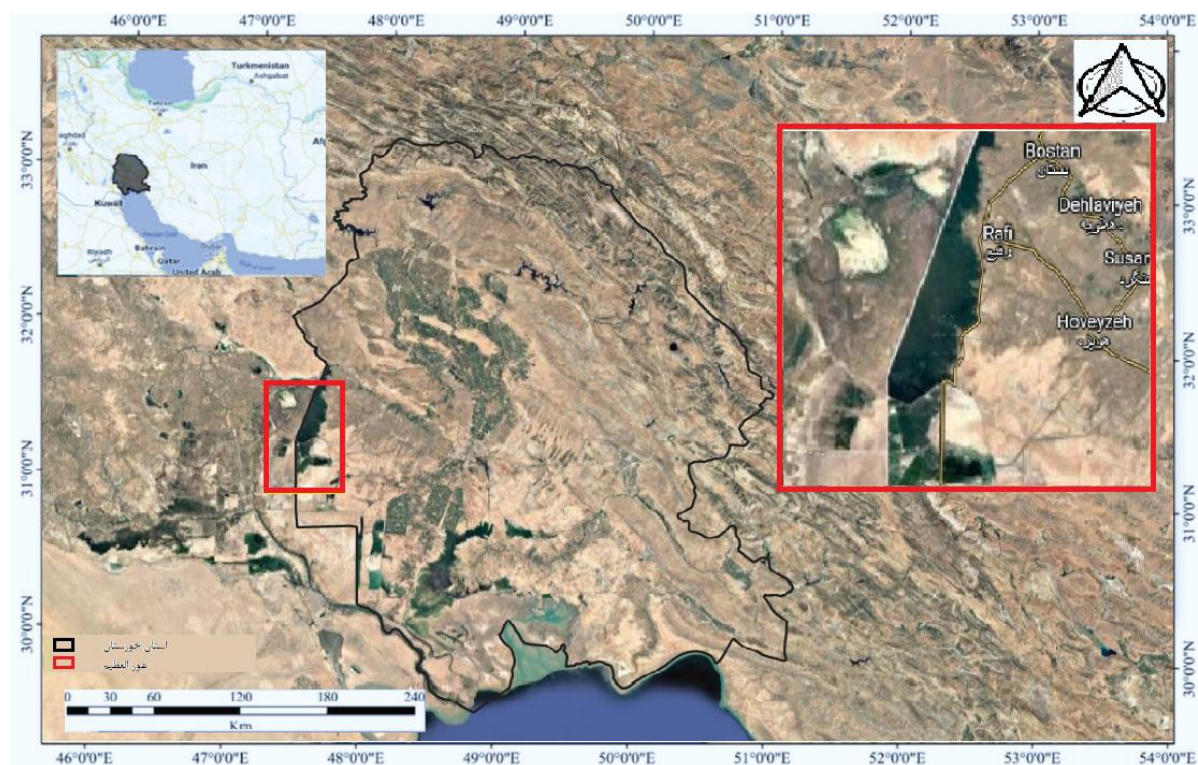
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

تالاب هورالعظیم در غرب استان خوزستان، در انتهای رود کرخه، در منطقه مرزی دشت آزادگان واقع شده است. طول جغرافیایی این تالاب از  $۴۷^{\circ}۲۰'$  تا  $۴۷^{\circ}۵۵'$  شرقی و عرض جغرافیایی آن از  $۳۱^{\circ}۵۰'$  تا  $۳۱^{\circ}۵۸'$  شمالی کشیده شده است. این تالاب که

1. Pohl & Genderen
2. Ehlers
3. Ding & Wang
4. Bao, Huang & Yanga
5. Amarsaikhan
6. Abdikan
7. Du
8. Rujoiu-Mare
9. El-naggar
10. Kang
11. Joy
12. Wang, Meng & Yu
13. Kumar
14. Junfang
15. Arooba, Z., & Sheikh Saeed, A.
16. Kaplan
17. Sun

بزرگ‌ترین تالاب مرزی ایران در مرز ایران و عراق است، یک‌سوم پهنایش در ایران و دوسوم آن در عراق واقع شده است. تالاب هورالعظیم از غرب به‌وسیله رود دجله و از شرق توسط جلگه همواری در خاک ایران احاطه شده است. تالاب در خاک عراق، از جنوب تا کنار دجله و از شمال تا چند کیلومتری شهر عماره در کنار دجله ادامه دارد و در ایران، شهرهای بستان، سوسنگرد و هویزه در کنار این هور قرار دارند. رفیع، نزدیک‌ترین شهر به هورالعظیم، در فاصله تقریباً ۵ کیلومتری از تالاب قرار دارد (https://fa.wikipedia.org).



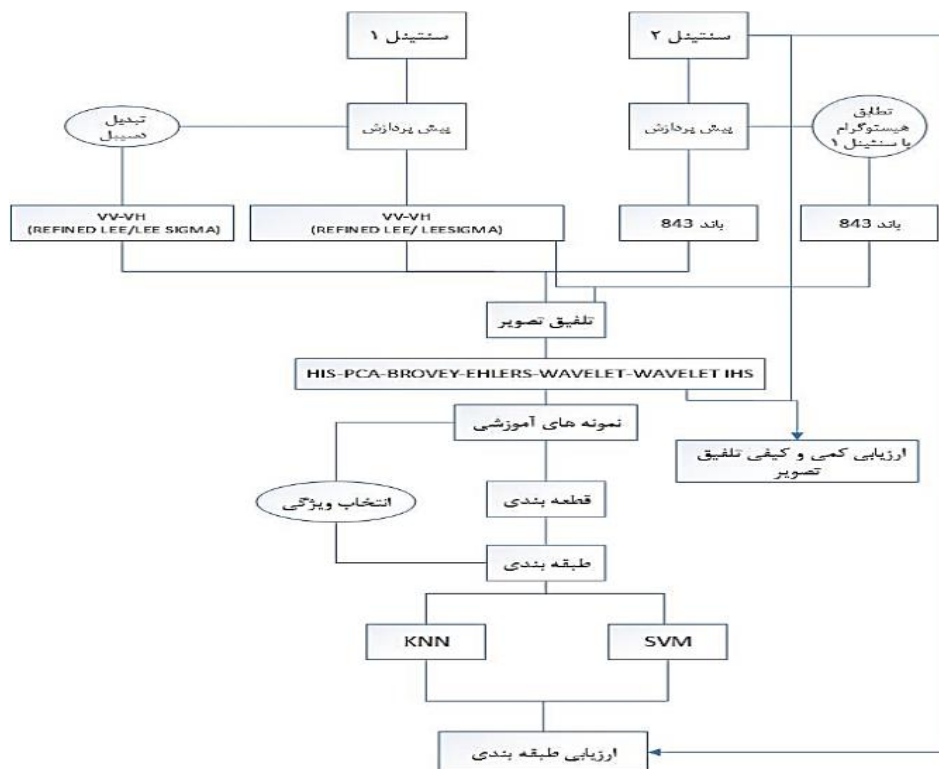
شکل ۱. موقعیت تالاب هورالعظیم

### داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از تصاویر دو سنجنده نوری و راداری سنتینل-۲ و سنتینل-۱ برای شناسایی و طبقه‌بندی بخش‌های مختلف تالاب هورالعظیم و کاربری‌های اطراف آن استفاده شده است. آژانس فضایی اروپا سری ماهواره‌های سنتینل را برای پایش زمین، شرایط جوی و مدیریت ریسک طراحی کرده و تصاویر آن‌ها را به‌صورت رایگان در اختیار کاربران قرار می‌دهد. سنتینل-۱ شامل دو ماهواره خورشیدآهنگ است که در باند C و فرکانس ۵/۴۰۵ گیگاهرتز فعالیت کرده و داده‌های راداری با قطبش‌های VV و VH و رزولوشن ۱۰ متر ارائه می‌دهند. سنتینل-۲ نیز از دو ماهواره خورشیدآهنگ با ۱۳ باند طیفی در رزولوشن‌های ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متری تشکیل شده است. زمان اخذ تصویر در مناطق تالابی بستگی به فصل رشد گیاهان در آن ناحیه دارد و اخذ تصویر، زمانی که سبزیگی موجود در گیاهان حداکثر است، مناسب‌تر است. استفاده از تصاویر بهاری به‌دلیل پوشش گیاهی گسترده برای تالاب هورالعظیم توصیه شده است (افراخته‌نژاد، ۱۳۹۵). بنابراین برای جلوگیری از هرگونه اعوجاجات مکانی و تغییرات منطقه‌ای و دسترسی به دقت بالاتر برای تلفیق تصاویر، دو تصویر باید در فاصله زمانی کمی نسبت به هم توسط ماهواره اخذ شده باشند. برای این منظور تصویر راداری از ماهواره sentinel 1-IW, level1 GRD و تصویر نوری از ماهواره sentinel 2-MSI, level1c انجام مطالعات از سایت copernicus<sup>۱</sup> در تاریخ ۲۰۱۹/۰۶/۰۵ معادل ۱۳۹۸/۰۳/۱۶ اخذ شده است. پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصویر سنتینل-۱ که شامل اعمال فایل مداری، حذف نویز حرارتی، تصحیحات رادیومتریکی و هندسی، و حذف نویز اسپیکل هستند، انجام شد. در این تحقیق با اعمال دو فیلتر refinedlee که لبه‌ها را حفظ می‌کند و فیلتر leesigma که تصویر نرم‌تری ارائه

1. <https://www.copernicus.eu/en>

می‌دهد، بر روی تصویر تالاب به‌منظور مقایسه کارایی دو فیلتر در تلفیق و طبقه‌بندی استفاده شده است. به‌منظور تصحیح رادیومتریکی تصاویر سنتینل-۲، از افزونه Sen2corr موجود نرم‌افزار SNAP استفاده شد. پس از اعمال این افزونه، تصویر به سطح 2A منتقل می‌شود و برای انواع پردازش آماده است. برای انتخاب باند مناسب از آنجا که قطبش مناسب رادار برای طبقه‌بندی، وابسته به نوع دیتا و منطقه می‌باشد، هر دو پلاریزاسیون VV و VH برای بررسی کارآمدی قطبش‌ها در فضای تالابی به کار گرفته شده است. مادون قرمز نزدیک یکی از باندهایی است که تنوع پوشش گیاهی در آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای قابل تفکیک است. با هدف مطالعات پوشش اراضی از باند ۸ (مادون قرمز نزدیک)، باند ۴ (قرمز) و باند ۳ (سبز) در رزولوشن ۱۰ متر استفاده شد. این ترکیب باندهای معمولاً برای مطالعات آبی و اراضی به کار می‌رود. با توجه به رزولوشن مکانی یکسان دو تصویر، نیازی به هم‌بعدسازی تصاویر نیست. هم‌مرجع‌سازی تصاویر با استفاده از ابزار co-registration در نرم‌افزار SNAP انجام شده و سپس هر دو تصویر، در اندازه ۱۰۵۰۰×۱۰۵۰۰ برش خورده و برای تلفیق آماده می‌شوند. سنجنده‌های راداری و نوری در ناحیه‌های طیفی متفاوتی تصویربرداری می‌کنند که این نواحی هیچ‌گونه هم‌پوشانی با یکدیگر ندارند. از این‌رو در برخی از روش‌های تلفیق تصویر و استفاده توأم این دو سنجنده برای تکمیل یکدیگر، اعوجاج طیفی تشدید می‌شود. به همین دلیل روش‌های متفاوتی برای کاهش این مشکلات ارائه شده است؛ از جمله این روش‌ها تطابق هیستوگرام دو تصویر است. در این تحقیق روند کلی انجام پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است.

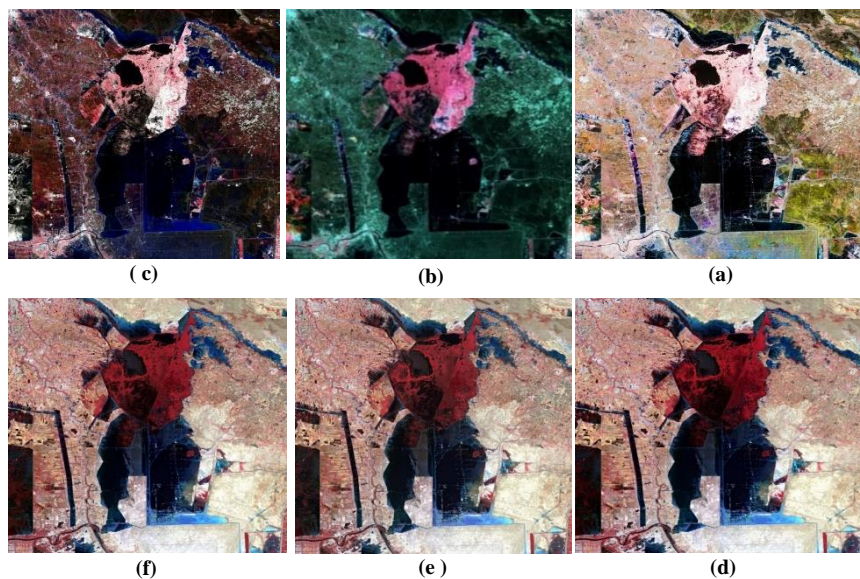


شکل ۲. روند کلی انجام پژوهش

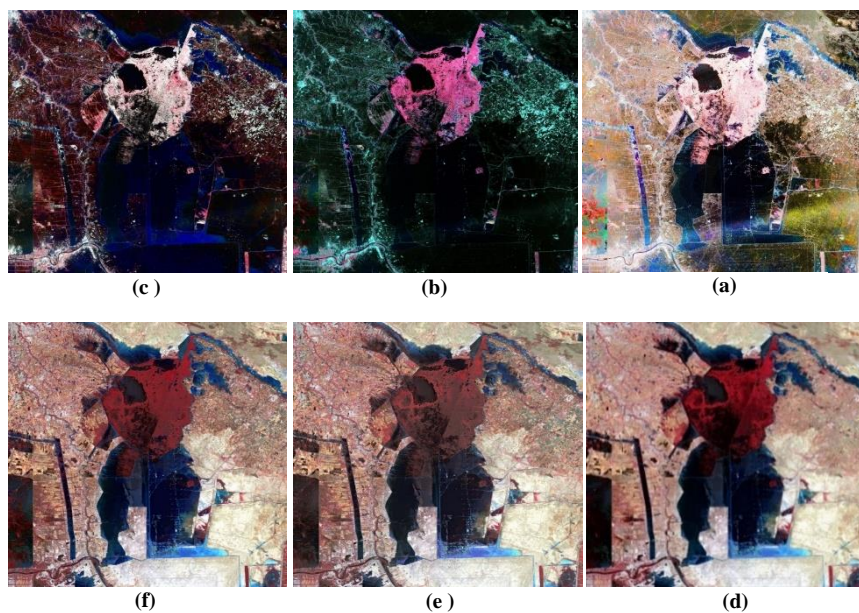
### تلفیق تصاویر

تلفیق تصاویر راداری سنتینل-۱ با تصویر اپتیکی سنتینل-۲ در مناطقی چون هورالعظیم که با بخار آب، پوشش ابر و گردوغبار سروکار دارند، می‌تواند گزینه خوبی محسوب شود و کیفیت طبقه‌بندی تصاویر را بهبود بخشد. این تلفیق با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE و شش روش تلفیق شامل HIS، PCA، BROVEY، EHLERS، WAVELET و WAVELET- IHS به‌منظور ارزیابی مناسب‌ترین روش‌ها، برای این محیط تالابی انجام شده است. شکل ۳ و ۴ تصاویر تلفیق‌شده تصویر اپتیکی با تصویر راداری در قطبش VV و VH را نشان می‌دهد که با فیلتر Refiendlee رفع نویز شده‌اند. شایان ذکر است که به‌دلیل اختلاف ناچیز بصری دو فیلتر، تنها پردازش‌ها روی تصاویر رادار با فیلتر Refiendlee نمایش داده شده‌اند.





شکل ۳: تصاویر تلفیق شده سنتینل ۲ و سنتینل ۱ با قطبش VV (REFINEDLEE). (a) روش IHS، (b) روش BROVEY، (c) روش EHLERS، (d) روش PCA، (e) روش WAVELET، (f) روش WAVELET-IHS



شکل ۴: تصاویر تلفیق شده سنتینل ۲ و سنتینل ۱ با قطبش VH (REFINEDLEE). (a) روش IHS، (b) روش BROVEY، (c) روش EHLERS، (d) روش PCA، (e) روش WAVELET، (f) روش WAVELET-IHS

ارزیابی تصاویر تلفیقی که با فیلترهای Leesigma و Refinedlee و در شرایط اعمال تطابق هیستوگرام تصحیح شده‌اند، با دو پارامتر کمترین مربعات و ضریب همبستگی انجام و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ارزیابی تصویر تلفیقی تصویر نوری و راداری در قطبش‌های VH و VV و با دو فیلتر Leeesigma و Refinedlee

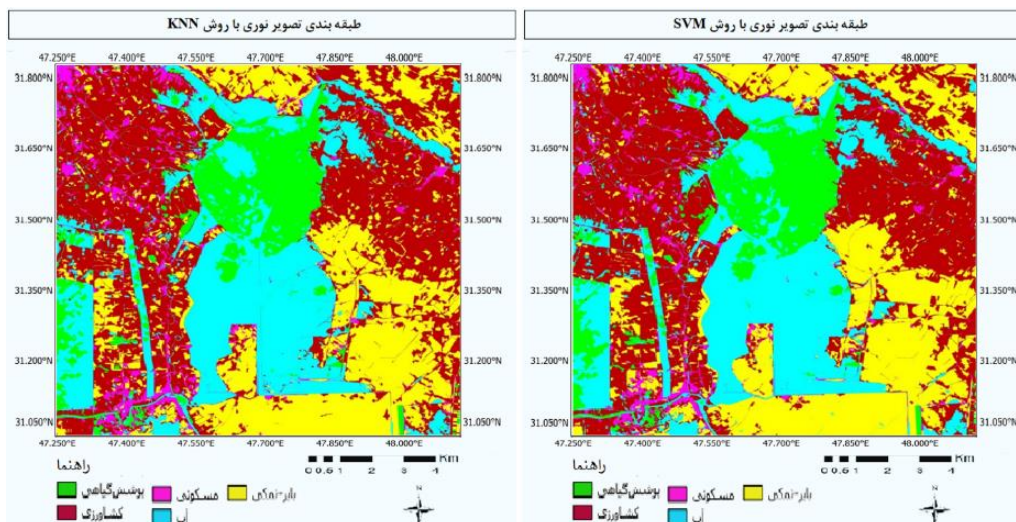
IMAGES	Methods	CC	RMSE	IMAGES	Methods	CC	RMSE
843-VHLeesigma	BROVEY	-0.144	1.394	843-VVLeesigma	BROVEY	-0.051	1.355
	HIS	0.049	1.019		HIS	0.251	0.904
	PCA	-0.175	1.333		PCA	-0.095	1.237
	EHLERS	0.964	0.202		EHLERS	0.968	0.193
	WAVE-HIS	0.941	0.261		WAVE-HIS	0.975	0.169
	WAVELET	0.933	0.277		WAVELET	0.972	0.181
IMAGES	Methods	CC	RMSE	IMAGES	Methods	CC	RMSE
843-VHRefindlee	BROVEY	-0.139	1.404	843-VVRefindlee	BROVEY	-0.044	1.357
	HIS	0.047	1.020		HIS	0.263	.0898
	PCA	-0.168	1.343		PCA	-0.087	1.243
	EHLERS	0.948	0.243		EHLERS	0.948	0.245
	WAVE-HIS	0.880	0.370		WAVE-HIS	0.946	0.250
	WAVELET	0.867	0.392		WAVELET	0.937	0.270

نتایج حاصل از تلفیق نشان می‌دهد که در هر دو قطبش VV و VH، سه روش Ehlrs، Wavelet و Wavelet-IHS، طیف تصویر نوری را به خوبی حفظ کرده و اطلاعات مکانی راداری را نیز در خود گنجانده‌اند. پارامترهای CC و RMSE در این روش‌ها حاکی از همبستگی بالای تصاویر تلفیق شده است. تصاویر تلفیق شده توسط روش‌های مکانی Brovey، IHS و PCA شباهت بصری با تصویر نوری ندارند؛ هر چند اطلاعات مکانی تصاویر راداری را به خوبی حفظ کرده‌اند. CC و RMSE پایین هر سه روش نشان از اعوجاج طیفی این تصاویر و عدم حفظ اطلاعات طیفی از تصویر مرجع است. همچنین قطبش VH در قسمت زیرین تالاب، بین دو سطح زمین‌های نمکی و آب، بازپراکنش متفاوتی ندارد و از آنجا که روش‌های مکانی، اطلاعات مکانی را به خوبی حفظ کرده و با اطلاعات طیفی همبستگی بالایی ندارند. این عدم کنتراست و تفاوت برای تمایز بین سطح‌های ذکر شده، در تصاویر تلفیق شده با روش‌های مکانی وارد شده است.

### طبقه‌بندی تصاویر

پس از تلفیق تصویر، تصاویر با روش شیء‌گرا طبقه‌بندی می‌شوند. اولین گام در طبقه‌بندی شیء‌گرا قطعه‌بندی تصویر است. با استفاده از نرم‌افزار ecognition تصاویر، قطعه‌بندی و برای طبقه‌بندی آماده می‌شوند. مقادیر پارامترهای قطعه‌بندی نیز با توجه به نوع منطقه و بافت آن برابر با  $Compachness=0.2$ ,  $Shape=0.8$ ,  $Scale=80$  انتخاب شده است. نمونه‌های آموزشی با استفاده از تصویر نوری و داده‌های تست مورد نیاز با استفاده از نقشه کاربری کل ایران و تصاویر گوگل ارث تهیه شدند. از آنجا که این تالاب منطقه‌ای حفاظت شده و لب مرزی است، امکان تهیه داده‌های زمینی و اخذ تصاویر با رزولوشن بالا از این منطقه مقدور نبود. نمونه‌های آموزشی و آزمایشی با نسبت ۷۰-۳۰ جمع‌آوری شدند، به گونه‌ای که پراکندگی مناسبی در کل تصویر داشته باشند. با توجه به تفسیر منطقه، پنج کلاس آب، بایر - نمکی، کشاورزی، پوشش گیاهی و مسکونی برای پوشش اراضی این تالاب و اطراف آن در نظر گرفته شده است. یکی از مزیت‌های طبقه‌بندی شیء‌گرا، استفاده از ویژگی‌های طیفی، بافتی، فیزیکی در طول طبقه‌بندی است. به این منظور و برای انتخاب ویژگی، با توجه به نوع منطقه و اهمیت بیشتر طیف تصویر، همچنین به دلیل استفاده از داده رادار و بافتی که در اختیار می‌گذارد و ابزار fso موجود در نرم‌افزار ecognition نسبت به انتخاب ویژگی‌های مناسب برای تالاب اقدام شد که ویژگی‌های مورد استفاده شامل این‌هاست: spectral, mean, mode, quantile standard deviatin, skewness, textural, dissimilarity, correlation and entropy.

پس از قطعه‌بندی، تعریف نمونه‌ها و انتخاب ویژگی، تصویر با استفاده از دو الگوریتم SVM و KNN در محیط شیء‌گرا طبقه‌بندی شد. کیفیت طبقه‌بندی نیز با استفاده از پارامترهای Kappa و OA بررسی شده است. ابتدا طبقه‌بندی تصویر نوری با دو الگوریتم ذکر شده به صورت جداگانه در شکل ۵ انجام می‌شود.

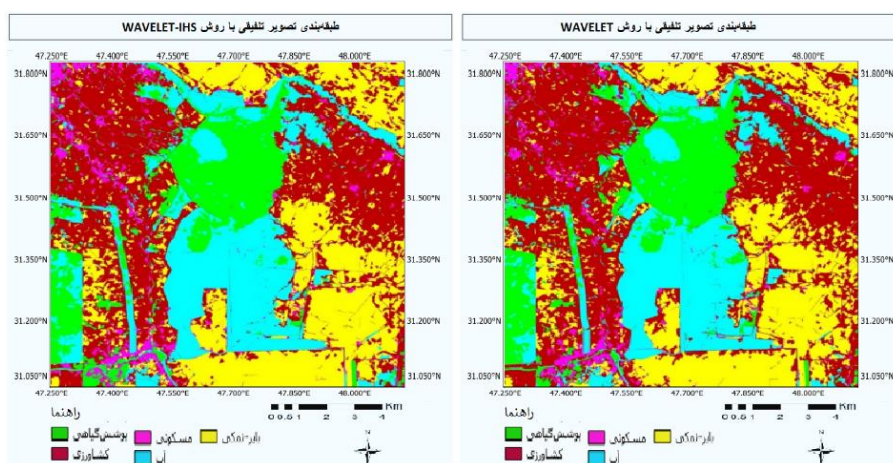


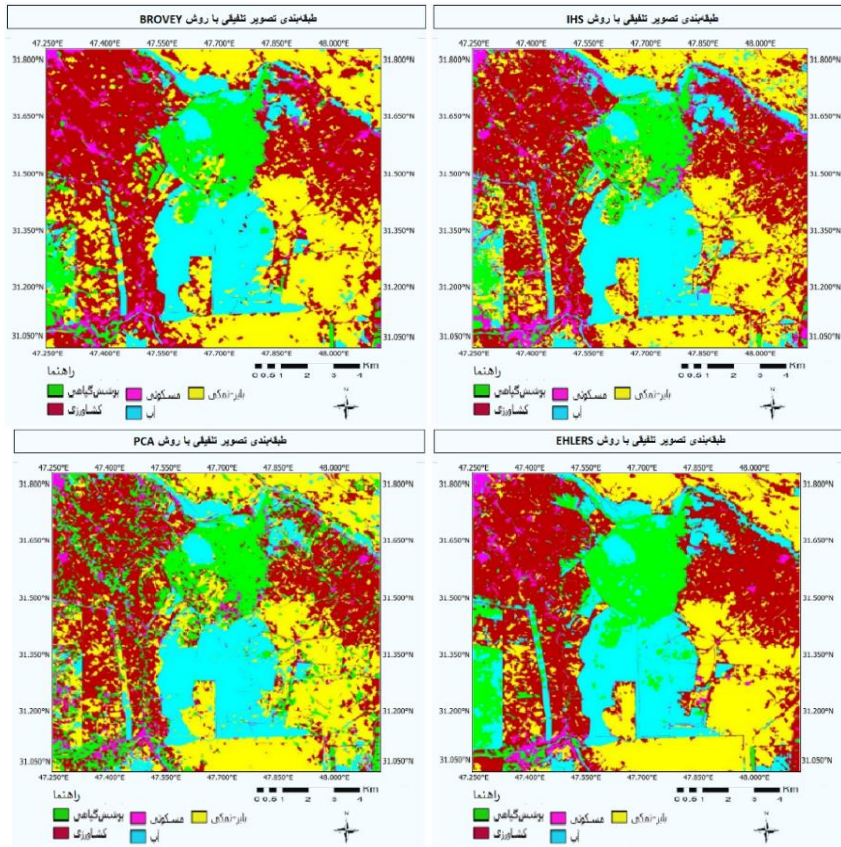
شکل ۵. طبقه‌بندی تصویر نوری با روش SVM و KNN

جدول ۲. ارزیابی طبقه‌بندی تصویر نوری با دو روش SVM و KNN

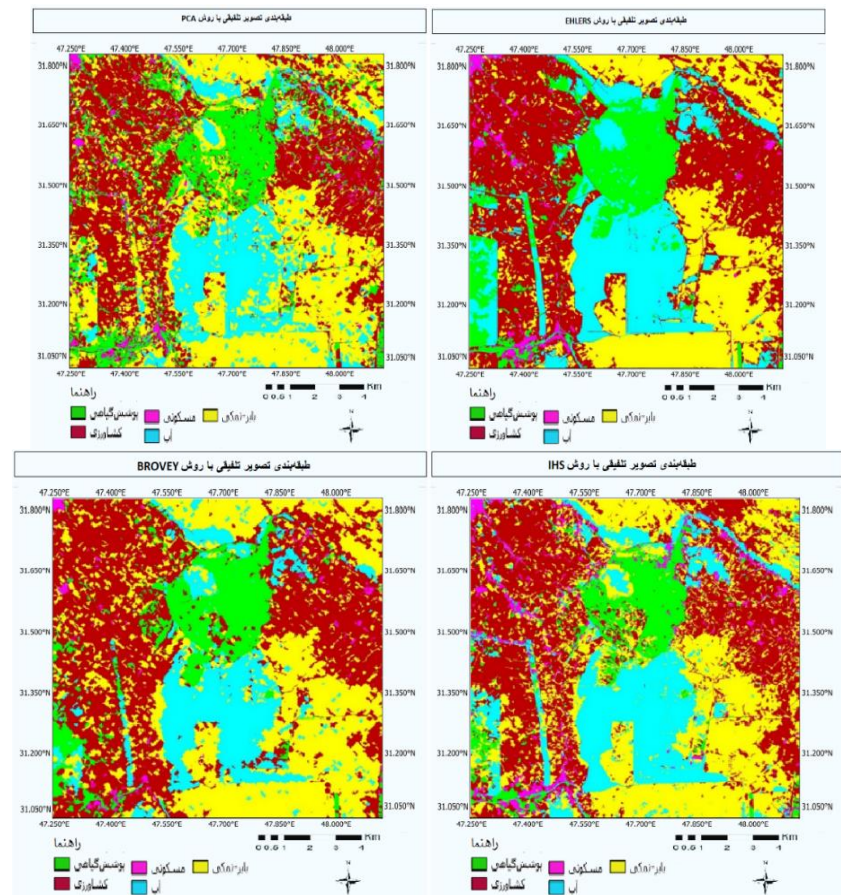
Method	کشاورزی	پوشش گیاهی	مسکونی	آب	بایر-نمکی	OA	Kappa
KNN	88.88	94.185	87.25	98.94	60.35	87.88	0.845
SVM	96.09	97.81	80.17	98.88	67.58	90.53	0.879

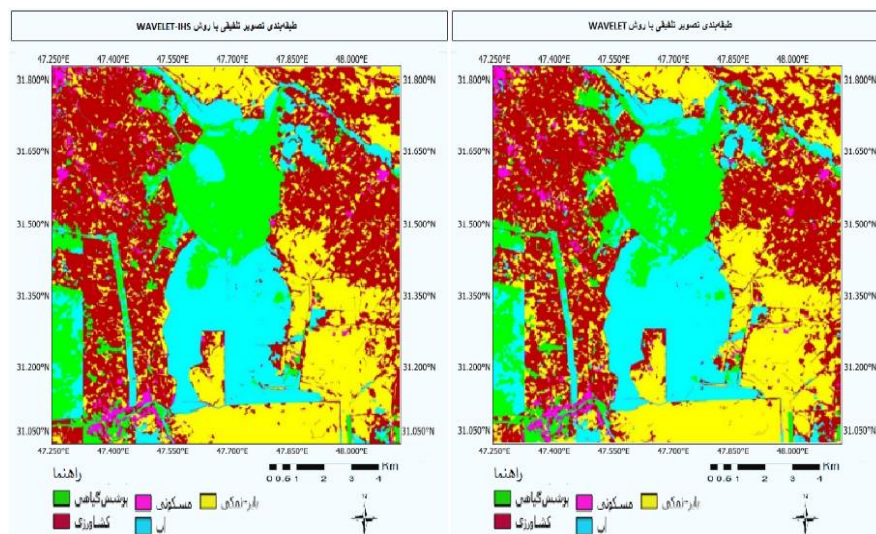
در جدول ۴ نتایج طبقه‌بندی بر روی تصویر نوری با ترکیب باندی ۸-۴-۳، برتری روش SVM را نسبت به KNN با توجه به پارامترهای OA و Kappa نشان می‌دهد. همچنین SVM کلاس‌های نمکی-بایر، کشاورزی و گیاهی را با دقت بالاتری طبقه‌بندی کرده است. با توجه به دقت پایین کلاس‌های مسکونی و بایر-نمکی در هر دو روش، انتظار می‌رود که این دو کلاس جزو چالش‌انگیزترین کلاس‌ها برای طبقه‌بندی در این تالاب باشد. در گام بعد، تصاویر تلفیق‌شده نوری و رادار با دو قطبش VV و VH با دو روش SVM و KNN طبقه‌بندی می‌گردد. ابتدا نتایج روش KNN در شکل ۶ و ۷ و سپس روش SVM در شکل ۸ و ۹ ارائه می‌گردد.





شکل ۶. طبقه‌بندی تصاویر تلفیق شده نوری و رادار با قطبش VV (REFINEDLEE) با روش KNN





شکل ۷. طبقه‌بندی تصاویر نوری و رادار با قطبش VH (REFINEDLEE) با روش KNN

برای ارزیابی طبقه‌بندی KNN بر روی تصاویر تلفیق‌شده نوری و رادار در هر دو قطبش و رفع نویز شده با فیلتر REFINEDLEE از دو پارامترهای Kappa و OA استفاده گردید.

جدول ۳. ارزیابی کلاسی طبقه‌بندی KNN بر روی تصاویر تلفیقی نوری و راداری با قطبش VV

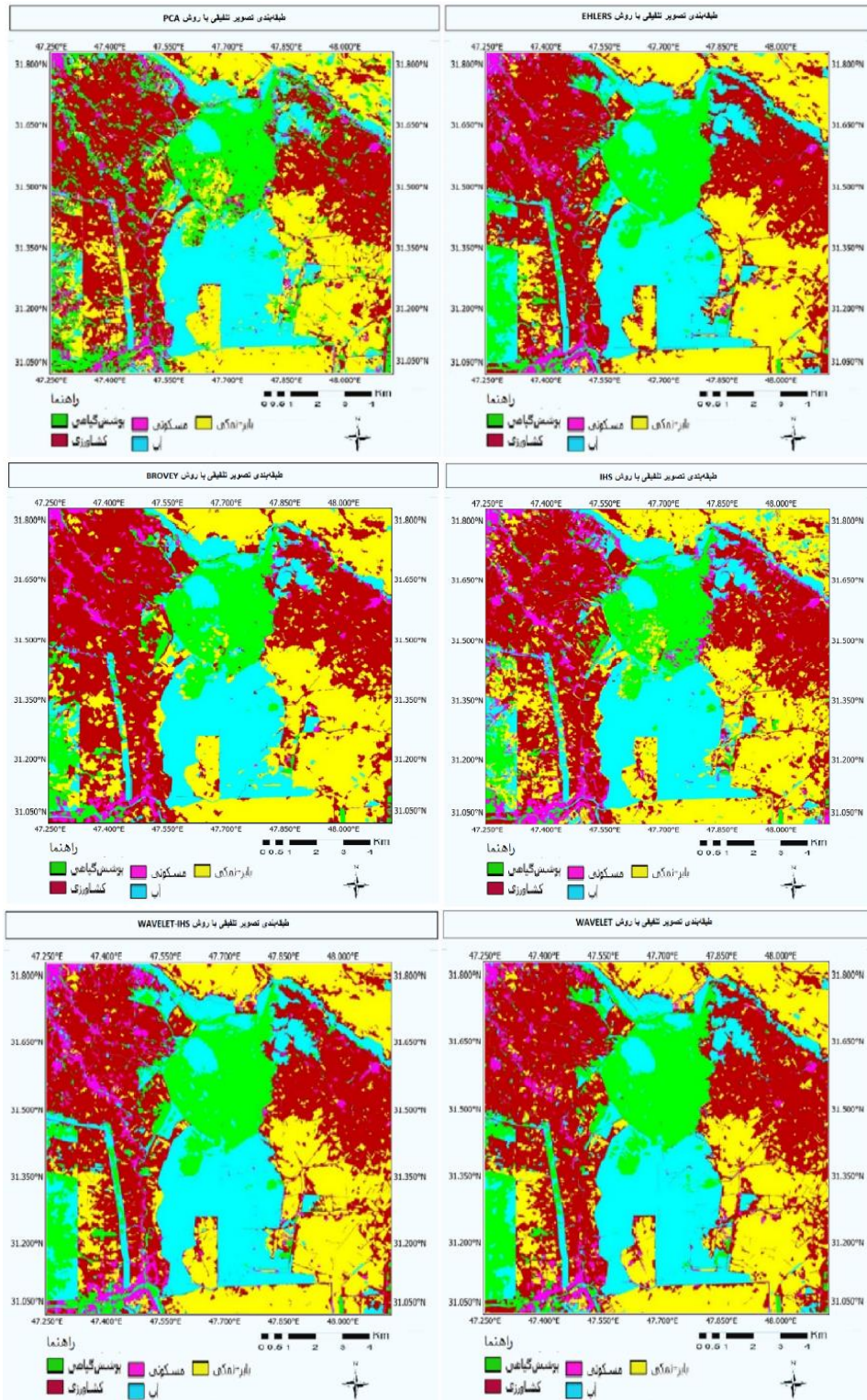
	روش‌ها	کشاورزی	پوشش گیاهی	مسکونی	آب	بایر-نمکی	OA	Kappa
843-VVRefindlee	BROVEY	75.72	95.19	56.69	91.24	69.19	84.37	0.799
	HIS	88.87	83.55	69.41	95.46	73.32	87.14	0.835
	PCA	84.26	75.92	68.23	90.50	61.51	81.73	0.766
	EHLERS	93.58	94.49	70.48	95.21	81.12	91.19	0.887
	WAVE-HIS	82.76	98.33	79.20	98.70	75.50	90.26	0.875
	WAVELET	91.15	98.67	71.76	94.36	74.81	90.03	0.872
843		88.88	94.18	87.25	98.94	60.35	87.88	0.845

جدول ۴. ارزیابی کلاسی طبقه‌بندی KNN بر روی تصاویر تلفیقی نوری و راداری با قطبش VH

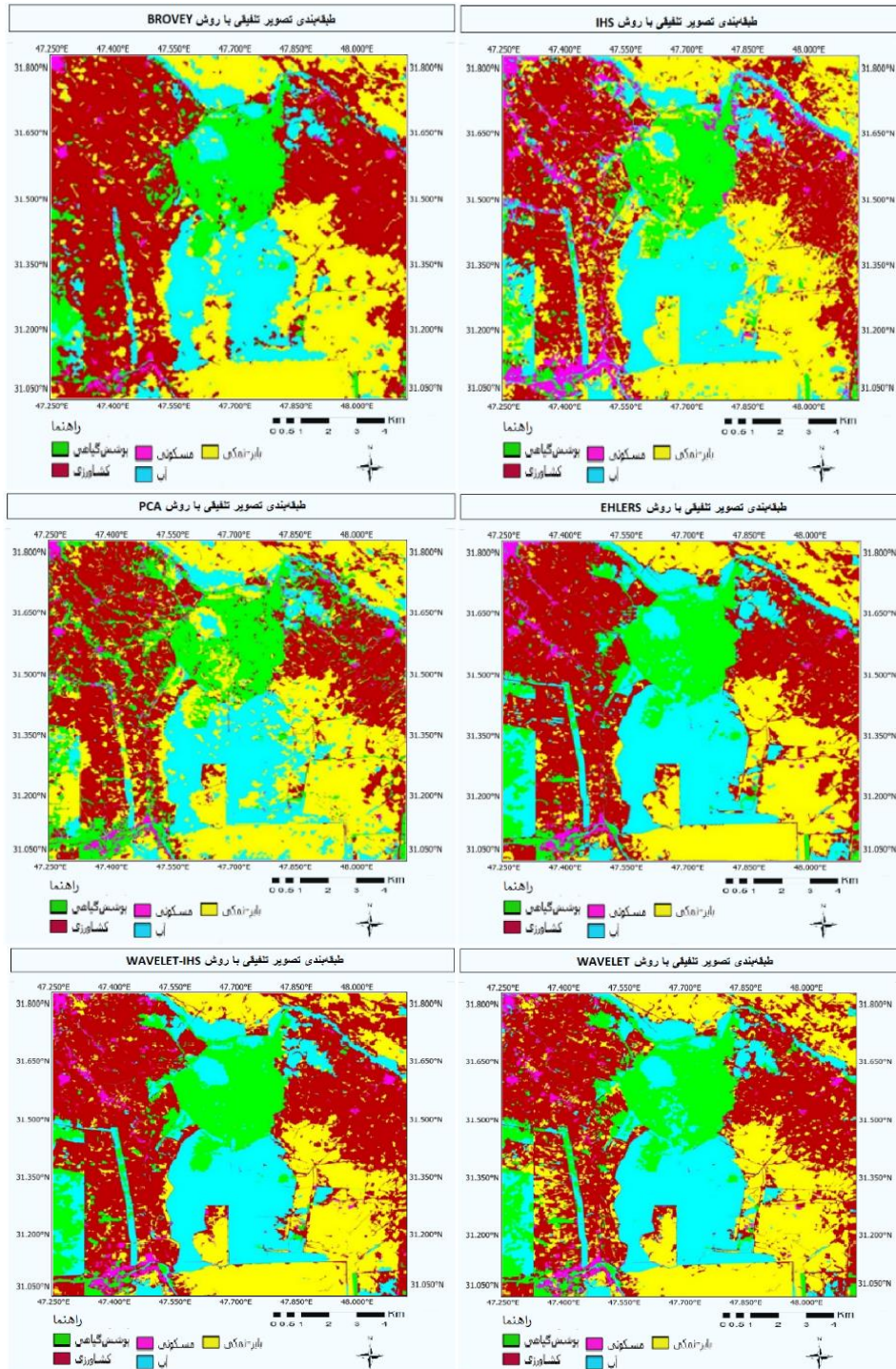
	روش‌ها	کشاورزی	پوشش گیاهی	مسکونی	آب	بایر-نمکی	OA	Kappa
843-VHRefindlee	BROVEY	71.90	97.25	46.12	84.09	69.50	81.94	0.767
	HIS	79.56	68.83	58.86	79.04	62.81	77.52	0.710
	PCA	78.65	74.20	64.62	54.71	58.45	73.20	0.652
	EHLERS	92.97	96.55	66.59	98.97	77.33	90.99	0.884
	WAVE-HIS	84.20	98.68	64.64	97.20	66.26	87.18	0.835
	WAVELET	89.19	98.67	66.99	97.12	71.63	89.26	0.862
843		88.88	94.18	87.25	98.94	60.35	87.88	0.845

نتایج حاصل از پارامترهای ارزیابی در جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد روش‌های فرکانسی و ترکیبی که در تلفیق نیز از دقت بالایی برخوردار بودند، دقت طبقه‌بندی بالایی نیز دارند؛ اگرچه در برخی موارد دقتی مشابه با روش‌های مکانی داشته‌اند. در این میان سه روش Wavelet، Ehlers و Wavelet دقتی بالاتر از دقت تصویر نوری در قطبش VV کسب کرده و در قطبش VH نیز دو روش Wavelet و Ehlers نسبت به طبقه‌بندی تصویر نوری دقیق‌تر بوده‌اند؛ در نتیجه روش‌های مشخص‌شده WAVELET-IHS، EHLERS و WAVELET، منطقه تالابی را در مقایسه با تصویر نوری، با دقت بالاتری طبقه‌بندی کرده‌اند و OA را ۱-۶ درصد و Kappa را ۲-۵ درصد افزایش داده‌اند. در مقایسه دو قطبش VV و VH، قطبش VV میانگین عملکرد بهتری داشته است. همچنین دقت طبقه‌بندی روش‌های مکانی در قطبش VH پایین‌تر است؛ زیرا این قطبش در تمایز بین کلاس‌های بایر-نمکی و آبی قدرتمند عمل نمی‌کند و از مزایای روش‌های فرکانسی و ترکیبی می‌توان به رفع این مشکل با دخالت دادن طیف نوری به تصویر اشاره کرد.

مطابق با نتایج طبقه‌بندی‌هایی که دقت کلی بالاتری از طبقه‌بندی تصویر نوری داشته‌اند، کلاس آب تنها توسط تلفیق تصویر نوری و رادار در قطبش VH، دقتی بالاتر از کلاس آب در طبقه‌بندی تصویر نوری کسب کرده است. کلاس بایر-نمکی و پوشش گیاهی توسط اکثر تصاویر تلفیقی افزایش یافته و کلاس کشاورزی در تلفیق رادار با قطبش VV بهتر عمل کرده است. در ادامه نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر تلفیق‌شده نوری و رادار در هر دو قطبش با روش SVM در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه می‌گردد.



شکل ۸. طبقه‌بندی تصاویر تلفیق‌شده نوری و رادار با قطبش VV (REFINEDLEE) با روش SVM



شکل ۹. طبقه‌بندی تصاویر تلفیق‌شده نوری و رادار با قطبش VH (REFINEDLEE) با روش SVM

جدول ۵. ارزیابی کلاسی طبقه‌بندی SVM تصاویر تلفیقی نوری و راداری VV

روش‌ها	کشاورزی	پوشش گیاهی	مسکنی	آب	بایر-نمکی	OA	Kappa
BROVEY	95.79	97.26	65.59	97.35	76.17	90.90	0.883
HIS	92.35	97.21	71.88	98.04	72.16	90.14	0.873
PCA	92.55	79.82	76.72	92.28	66.11	85.53	0.814
EHLERS	98.53	95.05	80.10	98.79	80.76	93.37	0.915
WAVE-HIS	96.22	96.40	85.01	98.90	82.41	93.96	0.922
WAVELET	97.29	97.01	71.68	97.74	81.43	92.78	0.907
843- VVRefindlee	96.09	97.81	80.17	98.88	67.58	90.53	0.879

جدول ۶. ارزیابی کلاسی طبقه‌بندی SVM تصاویر تلفیقی نوری و راداری VH

	روش‌ها	کشاورزی	پوشش گیاهی	مسکونی	آب	بایر-نمکی	OA	Kappa
843-VVRefindlee	BROVEY	88.58	98.85	54.93	83.62	66.42	84.54	0.801
	HIS	83.64	91.41	78.19	83.12	65.82	84.47	0.800
	PCA	84.66	82.31	72.02	67.40	71.70	80.87	0.754
	EHLERS	93.26	98.79	68.25	98.72	79.22	91.86	0.895
	WAVE-HIS	93.79	99.31	69.13	98.28	79.95	92.17	0.899
	WAVELET	88.94	98.44	69.60	98.16	77.27	90.75	0.881
	843	96.09	97.81	80.17	98.88	67.58	90.53	0.879

با توجه به نتایج جدول‌های ۵ و ۶ در طبقه‌بندی SVM، روش‌های ترکیبی و فرکانسی، دقت بالاتری نسبت به تصویر نوری داشته‌اند و برتری آن‌ها در مقایسه با روش‌های مکانی واضح است. در این میان، روش PCA کمترین دقت را نشان داده و دقت SVM نیز از KNN بیشتر بوده است. با استفاده از روش‌های تلفیق، دقت پارامترهای OA و Kappa به ترتیب ۱-۵ درصد و ۱-۴ درصد نسبت به تصویر نوری افزایش یافته است. قطبش VH در کلاس‌های آب، مسکونی و کشاورزی بهبود دقت نداشته، اما قطبش VV در روش Wavelet-IHS دقت بیشتر کلاس‌ها، به جز کلاس گیاهی را افزایش داده است. در اکثر روش‌های تلفیق، طبقه‌بندی SVM دقت بهتری در کلاس‌های کشاورزی و آب نسبت به تصویر نوری داشته و تلفیق تصویر نوری با قطبش VH برای کلاس پوشش گیاهی و با قطبش VV برای کلاس بایر-نمکی دقت بالاتری ارائه داده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد تلفیق تصاویر راداری و نوری می‌تواند دقت طبقه‌بندی را بهبود بخشد و روش‌های ترکیبی و فرکانسی مناسب‌تر از روش‌های مکانی برای این هدف هستند. همچنین طبقه‌بندی SVM با دقت بالاتری نسبت به KNN تالاب را طبقه‌بندی کرده و قطبش VV برای این تالاب مناسب‌تر است، چراکه کلاس‌های آبی و بایر-نمکی را بهتر تمیز می‌دهد.

## نتیجه‌گیری

در حال حاضر، تمامی منابع آبی در معرض تهدید و نابودی قرار دارند که تالاب‌ها یکی اساسی‌ترین مورد‌های آن محسوب می‌شوند. در حدود سیصد سال گذشته ۸۷ درصد تالاب‌های جهان از بین رفته‌اند و یکی از اصلی‌ترین دلایل آن استفاده از زمین تالاب‌ها به مقصود کشاورزی بوده است. با استفاده از سنجش از دور و تهیه نقشه‌های پوشش اراضی آن‌ها برای تصمیم‌گیری درست، می‌توان این روند نابودی را متوقف کرد. مطالعات این تحقیق بر روی تالاب هورالعظیم واقع شده که اکثر قسمت‌های آن در دهه‌های گذشته از بین رفته است. به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی دقیق از تلفیق سنجنده راداری ماهواره سنتینل-۱ و سنجنده نوری ماهواره سنتینل-۲ استفاده شده است. باندهای ۸-۴-۳-۲ سنتینل-۲ و هر دو قطبش سنتینل-۱، پس از پیش‌پردازش‌ها و هم‌مرجع‌سازی، با استفاده از روش‌های مکانی IHS، PCA و Brovey و روش‌های فرکانسی و ترکیبی Ehlers، wavelet و IHS-Wavelet با یکدیگر تلفیق شده و با جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی و آزمایشی و انتخاب ویژگی با دو روش ماشین بردار پشتیبان و نزدیک‌ترین همسایه طبقه‌بندی گشته‌اند. ارزیابی تلفیق با دو پارامتر RMSE و CC نشان می‌دهد که روش‌های تلفیقی فرکانسی و ترکیبی تمایل بیشتری به حفظ طیف نوری از خود نشان می‌دهند و مقدار ضریب همبستگی آن‌ها با تصویر نوری بالای ۹۰ درصد است. روش طبقه‌بندی SVM در تمامی تصاویر رادار، نوری و تلفیق‌شده دقت بالاتری نسبت به روش KNN فراهم کرده است. طبقه‌بندی قطبش VV رادار نسبت به قطبش VH رادار به‌خصوص در کلاس‌های بایر-نمکی و آب بهتر عمل کرده است. بیشتر روش‌های فرکانسی و ترکیبی با دقتی بالاتر از تصویر نوری، تالاب را طبقه‌بندی کرده‌اند و روش‌های مکانی با اعوجاج طیفی بالا، کمترین دقت‌ها را در بر می‌گیرند. به همین منظور و برای نزدیک‌تر کردن بازه طیفی رادار و نوری با یکدیگر از روش‌های تطبیق هیستوگرام و یا تبدیل رادار به ضریب پراکنش استفاده شده است که توانستند برخی روش‌های مکانی را بهبود بخشند. در نهایت استفاده از روش‌های تلفیق در طبقه‌بندی KNN پارامتر OA را ۱-۶ درصد و پارامتر Kappa را ۲-۵ درصد افزایش و طبقه‌بندی SVM پارامترهای OA و Kappa را به ترتیب ۱-۵ درصد و ۱-۴ درصد نسبت به طبقه‌بندی با تصویر نوری افزایش داده است. از این رو استفاده از تلفیق تصویر رادار و نوری دقت طبقه‌بندی را افزایش



می‌دهد و علاوه بر آن مشکلات پوشش ابری، گردوغبار و شرایط جوی نامناسب را بهبود می‌بخشد؛ بنابراین از استفاده سنسورها به صورت جداگانه، در طبقه‌بندی تالاب‌ها مناسب‌تر است. به‌طور کلی، روش طبقه‌بندی SVM برای این مطالعات دقت بالاتری از روش Knn حاصل نموده است و همچنین روش‌های Wavelet، Ehlers، Wavelet-IHS و تلفیق رادار و نوری و در هر دو قطبش رادار دقت بالاتری از طبقه‌بندی تصاویر به صورت جداگانه ارائه کرده‌اند و از نظر کلی، حوزه‌های ترکیبی و فرکانسی نتایج دقیق‌تری را فراهم می‌کنند. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج تحقیقات جودا و هیو<sup>۱</sup> (۲۰۲۲)، فراری<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۳)، کاپلان و اودام<sup>۳</sup> (۲۰۱۸)، دگنه<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۳) و جعفرزاده و همکاران (۲۰۲۴) همسوست. در این تحقیقات نشان داده شده که تلفیق داده‌های راداری و اپتیکی، راداری با راداری با سنسورهای متفاوت باعث افزایش دقت طبقه‌بندی می‌شود. نتایج و تجربیات کسب‌شده در این تحقیق حاکی از پتانسیل بالای داده‌ها و روش‌های سنجش از دور در پایش منابع ارزشمند آبی است.

### سپاسگزاری

نویسندگان از سازمان فضایی اروپا برای دسترسی رایگان به تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲ سپاسگزاری می‌کنند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

1. Judah & Hu
2. Ferrari
3. Kaplan & Avdan
4. Dagne

### References

- Abdikan, S., Sanli, F.B., Ustuner, M., & Calò, F. (2016). Land Cover Mapping Using Sentinel-1 SAR Data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI-B7*: 757-761. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B7-757-2016>
- Afarakhte Nejad, M. (2015). *Vegetation dynamic investigation in Horulazim wetland using remote sensing*. Master's thesis, Department of Environment, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technologies. [Persian]
- Amarsaikhan, D., Battsengel, V., Bolor, G., Enkhjargal, D., & Jargaldalai, E. (2015). Fusion Of Optical and SAR Images For Enhancment of forest Classes. *The Asian Conference on RS*. Manila, Philippines. 1-5.
- Arooba, Z., & Sheikh Saeed Ahmad. (2017). Land Cover Classification of Ucchali Wetlands Complex and Assessment of its Correlation with Temporal Climatic Changes. *Science, Technology and Development (PCST) 17-29*. <https://doi.org/10.3923/std.2017.17.29>
- Bakhshi, A., Marzieh Alikhah Asl, Z., & Rizwani, M. (2014). Preparation of land use map of Miqan wetland using supervised and fuzzy classification method. *Human and Environment Quarterly*, (32). [in persian]
- Basaeed, E., Bhaskar, H., & Al-Mualla, M. (2012). Beyond pan-sharpening: Pixel-level fusion in remote sensing applications. International Conference on Innovations in Information Technology (IIT). 139-144. <https://doi.org/10.1109/INNOVATIONS.2012.6207718>
- Bao, C., Huang, G., & Yanga, S. (2012). Application of fusion with SAR and optical images in land use classification based on SVM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (isprs) XXXIX-B1*: 11-14. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-11-2012>, 2012
- Bretschneider, T., & Odej K. (2001). image Fusion in Remote Sensing. 1st Online Symposium of Electronic Engineers.
- Dagne, S.S., Hirpha, H.H., & Tekoye, A.T. (2023). Fusion of sentinel-1 SAR and sentinel-2 MSI data for accurate Urban land use-land cover classification in Gondar City, Ethiopia. *Environ Syst Res*12, 40. <https://doi.org/10.1186/s40068-023-00324-5>
- Ding, Y., & Wang, Y. (2011). Analysis and Evaluation on Fusion Methods of Medium and High Spatial Resolution Remote Sensing Image. IEEE, 19th International Conference on Geoinformatics 1-4. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2011.5981113>
- Ebadi, M. (2018). *The use of satellite images in the assessment of land use changes in Horul Azim wetland and the impact of changes in the ecosystem of the region*. Master's thesis, Faculty of Earth Sciences, Chamran University of Ahvaz. [in persian]
- Ehlers, Manfred, Sascha Klonus, Pär Johan Åstrand, & Pablo Rosso. (2010). Multi-sensor image fusion for pansharpening in remote sensing. <https://doi.org/10.1080/19479830903561985>
- El-naggar, Aly M. (2018). Determination of optimum segmentation parameter values for extracting building from remote sensing images. *Alexandria Engineering Journal (elsevier)*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.10.001>
- Fekri, E., Latifi, H., Amani, M., & Zobeidinezhad, A. (2021). A training sample migration method for wetland mapping and monitoring using sentinel data in google earth engine. *Remote Sens.*, 13, 4169. <https://doi.org/10.3390/rs13204169>
- Ferrari, F., Ferreira, M., Almeida, C.A., & Feitosa, R.Q. (2023). Fusing Sentinel-1 and Sentinel-2 Images for Deforestation Detection in the Brazilian Amazon Under Diverse Cloud Conditions, in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 20, pp. 1-5, Art no. 2501005, <https://doi.org/10.1109/LGRS.2023.3242430>
- Gong, P., & Howarth, P. J. (1990). The Use of Structural Information for Improving Land-Cover Classification Accuracies at the Rural-Urban Fringe, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(1), 67-73.
- Goshtasby, A., & Nikolov, S. (2007). Image fusion: Advances in the state of the art. *Inf.fusion* 8: 114-118. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2006.04.001>
- Hall, David L., & Sonya A. H. McMullen. (1992-2020). *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion* (Artech House Information Warfare Library).

- Haqparast, M. (2018). *Classification of land use and land cover in the catchment area and the feasibility of its improvement with a digital elevation model*. Master thesis, Department of Photogrammetry and Remote Sensing Engineering, School of Mapping Engineering, Khwaja Nasiruddin Tousi University of Technology. [in persian].
- Hay, G., & Castilla, G. (2006). *Object-Based Image Analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT)*. ISPRS Archives – Volume XXXVI-4/C42, 2006. 36.
- Heydari, M. (2014). *Investigation of wetland vegetation using combined classification of remote sensing images*. Master's thesis, Faculty of Mapping Engineering, Khwaja Nasiruddin Tosi University of Technology. [in persian]
- Jafarzadeh, H., Mahdianpari, M., Gill, E. W., & Mohammadimanesh, F. (2024). Enhancing Wetland Mapping: Integrating Sentinel-1/2, GEDI Data, and Google Earth Engine. *Sensors*, 24(5), 1651. <https://doi.org/10.3390/s24051651>
- Jensen, J.R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Jiao, D., WeishengLi, N., BinXiao, & QamarNawaz. (2016). Union Laplacian pyramid with multiple features for medical image fusion. *Neurocomputing (elsevier)* 326–339. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.02.047>
- Joy, J., Santhi, N., Ramar, K., & Sathya Bama, B. (2019). Spatial frequency discrete wavelet transform image fusion technique for remote sensing applications. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 715–726. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.004>
- Judah A, Hu B. (2022). An Advanced Data Fusion Method to Improve Wetland Classification Using Multi-Source Remotely Sensed Data. *Sensors (Basel)*. 2022 Nov 18; 22(22): 8942. <https://doi.org/10.3390/s22228942>
- Junfang, Y., Guangbo, R., Yi, M., & Yanguo, M. (2016). Coastal Wetland Classification Based on High Resolution SAR and Optical Image Fusion. *IGARSS (IEEE)* 886–889 <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7729224>
- Kang, J., Honghai Y., Hongyan, Zh., & Liangpei, Zh. (2018). Support Vector Machine Classification of Crop Lands using Sentinel-2 Imagery. *IEEE* <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2018.8476101> Kumar, L., Priyakant, S., & Subhashni, T. (2014). Improving image classification in a complex wetland ecosystem through image fusion techniques. *Journal of Applied Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083616>
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2018). Sentinel-1 and Sentinel-2 Data Fusion For Wetland Mapping: Balıkdami, Turkey, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-3, 729–734, <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-3/729/2018/>
- Kaplan, G., Yigit Avdan, Z., & Avdan, U. 2019. Mapping and Monitoring Wetland Dynamics Using Thermal, Optical, and SAR Remote Sensing Data. In *Wetlands Management - Assessing Risk and Sustainable Solutions*, 87–107. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80264>
- Lotfi, G., Ahmadi Nadushan, M., & Abolhasani, M. (2016). Preparation of the land cover map of Gandaman wetland area with maximum likelihood classification. *The 7th National Conference of New Ideas in Agriculture*. [in persian] Malek Mohammadi, B., Jahani Shakib, F., & Yavari, A. (2013). Hydrogeomorphic classification of wetlands in order to determine ecological functions (case study: Chaghakhor wetland). *Scientific Research Journal of Geography and Planning* 257–274. [in persian]
- Mahdavi, S., Salehi, B., Granger, J., Amani, M., Brisco, B., & Huang, W. 2017. Remote sensing for wetland classification: a comprehensive review. *GIScience & Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1419602>
- Mahdianpari, M., Salehi, B., Mohammadimanesh, F., Brisco, B., Homayouni, S., Gill, E., DeLancey, E.R., Bourgeau- Chavez, L. (2020). Big data for a big country: The first generation of Canadian wetland inventory map at a spatial resolution of 10-m using Sentinel-1 and Sentinel-2 data on the Google Earth Engine cloud computing platform. *Canadian. Journal. Remote Sens.* 46, 15–33. <https://doi.org/10.1080/07038992.2019.1711366>
- Otukei, J. R., Blaschke, T., & Collins, M. (2015). Fusion of TerraSAR-x and Landsat ETM+ data for protected areamapping in Uganda. *International Journal of Applied Earth Observation and* 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.12.012>

- Pohl, C., & Van Genderen J. L. (1998). Multisensor Image Fusion In Remote Sensing: Concepts, Methods And Applications (Review Article). *International Journal Of Remote Sensing*, 19(5): 823-854. <https://doi.org/10.1080/014311698215748>
- Qezel, A. (2017). *Land cover classification by combining radar and optical time series images*. Master's thesis, Department of Mapping Engineering, Faculty of Civil Engineering and Mapping, University of Advanced Industrial and Technological Postgraduate Education. [in persian]
- Rujoiu-Mare, M-R., Bogdan Olariu, Bogdan-Andrei Mihai, Constantin Nistor, & Ionuț Săvulescu. (2017). Land cover classification in Romanian Carpathians and Subcarpathians using multi-date Sentinel-2 remote sensing imagery. *European Journal of Remote Sensing* 50: 496-508. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1365570>
- Sun, L., Chen, J., Guo, S., Deng, X. & Han, Y. 2020 Integration of time series Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for crop type mapping over oasis agricultural areas. *Remote Sensing* 12 (1), 158. <https://doi.org/10.3390/rs12010158>
- Salehi, M. (2015). *Evaluation and monitoring of land cover changes in Minab Tiab international wetland using remote sensing and GIS techniques*. Master's thesis, Faculty of Humanities, Hormozgan University. [in persian]
- Wang, J., Fanshuai, M., & Huan, Y. (2010). Wetland Cover Information Extraction Research Based On the Multi-polar Radar Images and Multi spectrum. 3rd International Congress on Image and Signal Processing (IEEE) 2298-2301. <https://doi.org/10.1109/CISP.2010.5647835>