



Studying and Monitoring Changes in Horul Azim Wetland Using Landsat 8 Images

Fariba Moghani Rahimi¹ | Ahmad Mazidi²

1. Department of Geography, Faculty of Humanities and Social, Yazd University, yazd, Iran.

2. Corresponding Author, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social, Yazd University, yazd, Iran.
E-mail: mazidi@yazd.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 22 Oct 2023
Received in revised form: 30 Dec 2023
Accepted: 31 Dec 2023
Available online: 06 Apr 2024

Keywords:
Horul Azim lagoon,
AWEI index,
Classification of images,
Combining images,
Satellite images.

ABSTRACT

Wetlands are one of the most important ecosystems and living areas in the world, one of the most obvious beauty and masterpieces of creation. As an essential part of the global ecosystem, these wetlands have played an important role in preventing or reducing the intensity of floods, feeding underground aquifers, providing a unique habitat for plants and animals, maintaining water quality, agricultural production, fisheries, saving floods, and controlling soil erosion. The current research aims to investigate the changes in water surface and water area as well as the changes in the land cover of Horul Azim Wetland for the statistical period of 2013 to 2022 using Landsat8 satellite images. In this study, maps of water areas and land cover were made using Landsat8 image integration techniques and by applying the AWEI spectral index and maximum likelihood algorithm in ENVI5.3, ArcGIS software. By checking the accuracy of the results of satellite image processing and classification (2013 Kappa coefficient equal to 95% and overall accuracy 96%, year 2022 Kappa coefficient equal to 90% and overall accuracy 92%) It was found that the supervised image classification, the maximum likelihood algorithm for the studied area is close to ground reality and has acceptable accuracy. Also, the maps related to the monitoring of changes in the water area of Horul Azim wetland (AWEI index) showed that the size of the wetland has been decreasing in the studied years, so in 2013 the area of the water area of the wetland was equal to 336 square kilometers. which has decreased to 147 square kilometers in 2022. The results of the classification of images in the studied years also indicate the decrease of water and plant covers and the increase of barren lands and salt marshes in the studied periods. There have been many influential factors, including environmental and human factors, on this process of changes in the studied periods.

Cite this article: Moghani Rahimi, F., Mazidi, A. (2024). Studying and Monitoring Changes in Horul Azim Wetland Using Landsat 8 Images. *Geography and Environmental Sustainability*, 14 (1), 13-33. DOI: 10.22126/GES.2023.9738.2698



© The Author(s).
DOI: 10.22126/GES.2023.9738.2698

Publisher: Razi University

مطالعه و پایش تغییرات تالاب هورالعظیم با استفاده تصاویر لندست ۸

فریبا مغانی رحیمی^۱ | احمد مزیدی^۲

۱. گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران mazidi@yazd.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰</p> <p>دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>تالاب هورالعظیم، شاخص AWEI، طبقه‌بندی تصاویر، تلفیق تصاویر، تصاویر ماهواره‌ای.</p>	<p>تالاب‌ها از جمله مهم‌ترین اکوسیستم‌ها و عرصه‌های حیات در جهان، یکی از بارزترین زیبایی و شاهکارهای خلقت هستند. این تالاب‌ها به عنوان جزء اساسی اکوسیستم جهانی در پیشگیری یا کاهش شدت سیل، تغذیه سفره‌های زیرزمینی، فراهم زیستگاه منحصر به فرد برای گیاهان و جانوران، حفظ کیفیت آب‌ها، تولیدکشاورزی، شیلات، ذخیره سیلاب‌ها و کنترل فرسایش خاک نقش مهمی داشته‌اند. هدف پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، به بررسی تغییرات سطح و پهنه آبی و همچنین تغییرات پوشش اراضی تالاب هورالعظیم برای دوره آماری ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ می‌باشد. در این مطالعه نقشه‌های پهنه‌های آبی و پوشش اراضی با استفاده از تکنیک‌های تلفیق تصاویر لندست ۸ و با اعمال شاخص طیفی AWEI و الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزارهای ArcGIS، ENVI5.3، انجام شد. با بررسی صحت نتایج حاصل از پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (سال ۲۰۱۳ ضریب کاپا برابر ۹۵٪ و دقت کلی ۹۶ درصد، سال ۲۰۲۲ ضریب کاپا برابر با ۹۰٪ و دقت کلی ۹۲ درصد) مشخص شد که طبقه‌بندی تصاویر به صورت نظارت‌شده، الگوریتم حداکثر احتمال برای منطقه مورد مطالعه به واقعیت‌های زمینی نزدیک و از صحت قابل قبولی برخوردار است. و همچنین، نقشه‌های مربوط به پایش تغییرات پهنه آبی تالاب هورالعظیم (شاخص AWEI) نشان داد که وسعت تالاب در سال‌های مورد بررسی دارای روند کاهشی بوده به این صورت که در سال ۲۰۱۳ مساحت پهنه آبی تالاب برابر با ۳۳۶ کیلومترمربع بوده که در سال ۲۰۲۲ به مقدار ۱۴۷ کیلومترمربع کاهش یافته است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر در سال‌های مورد بررسی نیز حاکی از کاهش پوشش‌های آبی و گیاهی و افزایش اراضی بایر و شورزار در دوره‌های مورد بررسی می‌باشد. عوامل تاثیرگذار زیادی از جمله عوامل محیطی و انسانی بر این روند تغییرات در دوره‌های مورد بررسی وجود داشته است.</p>

استناد: مغانی رحیمی، فریبا؛ مزیدی، احمد (۱۴۰۳). مطالعه و پایش تغییرات تالاب هورالعظیم با استفاده تصاویر لندست ۸. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۴ (۱)، ۱۳-۳۳. DOI: 10.22126/GES.2023.9738.2698



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

۱- مقدمه

تالاب‌ها به عنوان یکی از بارزترین زیبایی‌های طبیعت، مفیدترین و در عین حال پرچالش‌ترین بخش اکوسیستم‌های طبیعت به شمار می‌روند. این زیستگاه‌های حیاتی و متنوع از جمله نظام‌های حیات بخشی هستند که مطلقاً جایگزینی ندارند. تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی کشور به منزله سرمایه‌های ارزشمندی هستند که تنظیم آب‌های زیرزمینی در محیط پیرامون، تعدیل میکروکلیم، تامین منابع تغلیف دام و... در گرو حفاظت منطقی از آن است. تالاب‌ها به عنوان جزء اساسی اکوسیستم جهانی در پیشگیری یا کاهش شدت سیل، تغذیه سفره‌های زیرزمینی و فراهم نمودن زیستگاه منحصر به فرد برای گیاهان و جانوران و دیگر خدمات و سودمندی‌ها از جمله حفاظت از کیفیت آب‌ها، تولید کشاورزی، شیلات و سرگرمی و دیگر خدماتی چون ذخیره سیلاب‌ها و کنترل فرسایش خاک نقش مهمی داشته و همچنین از عوامل موثر در حفظ تنوع چشم‌اندازها و از عناصر اصلی برای استراتژی حفاظت منطقه‌ای است. اخیراً برآورد شده است که تالاب‌های جهانی حدود ۶/۲ تا ۶/۷ درصد سطح زمین را اشغال کرده‌اند.

به این دلیل تعداد زیادی از تالاب‌ها در سرتاسر جهان به وسیله سازمان‌های مختلف محافظت و نظارت می‌شوند. ایران با دارا بودن بیش از ۲۵۱ تالاب بزرگ و کوچک و به دلیل موقعیت جغرافیایی خود از اهمیت ویژه‌ای در آسیای جنوب غربی برخوردار است (عبادی، ۱۳۹۸: ۳). تغییرات کاربری تالاب‌ها از جمله نگرانی‌های اصلی محیط‌زیست جهانی نسبت به این عارضه می‌باشد. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی فرآیندی است که به ایجاد درک صحیح از نحوه تعامل انسان و محیط‌زیست منجر می‌شود. تغییرات کاربری یکی از فاکتورهای مهم در تغییر جریان هیدرولوژیک، فرسایش حوضه و انهدام تنوع‌زیستی می‌باشد (Meyer & Turner, 1994).

اهمیت تالاب‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران بیش‌تر از مناطق مرطوب است. در این مناطق آب به عنوان یک عامل کلیدی و تعیین‌کننده زیستگاه‌ها به شمار می‌آید و بر اساس همین موضوع تالاب‌ها به دلیل تامین و تنظیم آب عامل مهمی در حفظ و بقاء تنوع زیستی محسوب می‌گردند. تالاب هورالعظیم در دهه‌های گذشته و به دلایل مختلف دچار تغییرات در پهنه و میزان آب شده است. نظر به اهمیت زیست‌محیطی این تالاب برای کشور لازم است تا تغییرات این تالاب مورد پایش و ارزیابی دقیق قرار گرفته و تبعات این تغییرات مورد مطالعه قرار گیرد. بررسی تغییرات پوشش اراضی دارای سوابق بسیار طولانی و همزمان با شروع زندگی بشر می‌باشد. بدین صورت که انسان‌های نخستین پس از تشکیل جوامع و مهاجرت به زمین‌های مختلف که عمدتاً در حوالی رودخانه‌ها بوده و اقامت آن‌ها به عنوان مکان‌هایی برای زندگی، اقدام قربانبه تغییر دادن پوشش‌زمین‌های بدون کاربری به زمین‌های مناسب برای کشاورزی و دامداری نمودند (چشم‌براه، ۱۳۹۳: ۲۵).

آشکارسازی تغییرات عبارت است از کاربرد مجموعه داده‌ها چند زمانه با هدف تشخیص پهنه‌هایی که پوشش آن‌ها در فواصل مختلف تصویربرداری تغییراتی داشته‌اند؛ این تغییرات ممکن است ناشی از تغییرات پوشش در کوتاه مدت مانند برف یا سیلاب، تغییرات پوشش چون توسعه شهری و یا تبدیل اراضی کشاورزی به پوشش‌های مسکونی و صنعتی باشد (Varol et al, 2010). راه‌های مختلفی برای پایش و تشخیص تغییرات پوشش‌زمین در طول زمان وجود دارد. که دو روش مطالعات میدانی و استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور به دلیل پوشش گسترده، قابلیت تکرارپذیری، سهل‌الوصول بودن داده‌ها، دقت بالای داده‌های حاصله و صرفه‌جویی در هزینه و زمان از ویژگی‌هایی است که ارجحیت استفاده از این اطلاعات را نسبت به سایر روش‌ها برای بررسی پوشش گیاهی، پوشش‌زمین و تغییرات آن فراهم ساخته است. بیشتر سنجنده‌های چندطیفی دارای ۳ تا ۱۰ باند طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی هستند. این سنجنده‌ها امکان تفکیک و تبعیض انواع مختلف پوشش گیاهی، سنگ‌ها، خاک، آب، اراضی بایر، اراضی ساخته شده توسط بشر را می‌دهند (Shwetank & Bhatia, 2010).

سنجنده‌های سنجش‌ازدور انواع داده را از عوارض سطح زمین، که انرژی الکترومغناطیسی را گسیل و انعکاس می‌دهند فراهم می‌آورد و این داده‌ها جهت ارائه اطلاعات درباره منابع تحت ارزیابی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

در این تکنولوژی معمولاً طبقه‌بندی امواج بر اساس طول موج آن‌ها در طیف الکترومغناطیسی صورت می‌گیرد که امکان بررسی پدیده‌های زمینی را فراهم می‌آورد. این امر بر این اساس استوار است که سنجنده سیستم سنجنش‌ازدور اطلاعات پدیده‌های زمینی را در چندین بخش از طیف انرژی الکترومغناطیس ثبت می‌کند و با توجه به این که بسیاری از پدیده‌های زمینی انعکاس طیفی و گسیل‌مندی مشخصی دارند با استفاده از این مشخصه‌ها می‌توان نسبت به شناسایی آن‌ها در تصاویر رقومی سنجنش‌ازدور اقدام نمود (فیضی‌زاده، ۱۳۸۶: ۵۶).

تالاب هورالعظیم یک تالاب مشترک بین ایران و عراق است و بزرگ‌ترین تالاب مرزی ایران محسوب می‌شود به صورت کلی تالاب خصوصیتی بین اکوسیستم خشکی و آبی را دارد، کاربری اراضی و بررسی تغییرات آن در دوره زمانی بلندمدت با استفاده از داده‌های ماهواره و پیشرفت‌هایی که سنجنش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی داشتند می‌تواند اطلاعات مفید و ارزشمندی را در اختیار علاقه‌مندان قرار دهند. والرئو بایوچی و همکاران، در تحقیقی اقدام به استخراج خطوط ساحلی در منطقه ساحلی آبروزو کشور ایتالیا با استفاده از تصاویر World View2 که دارای ۸ باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ متر برای باند پانکروماتیک و ۸/۱ متر برای سایر باندها می‌باشد، نمودند. آن‌ها جهت تعیین نوع پوشش زمین اقدام به طبقه‌بندی طیفی نموده و همچنین جهت طبقه‌بندی دقیق‌تر و تفکیک ماسه خشک از ماسه تر از الگوریتم‌های NDVI، NDWI، SAM و FM استفاده کردند (Valerio Baiocchi et al, 2012).

فیسیسا و همکاران، برای استخراج پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره لندست ۵ در پنج کشور دانمارک، سوئیس، اتیوپی، نیوزلند و آفریقای جنوبی به منظور ارزیابی شاخص AWEI استفاده کردند. پژوهشگران یاد شده در محاسبه این شاخص از باندهای آبی، قرمز و مادون قرمز استفاده کردند. شاخص AWEI sh برای حذف نقاطی که جزء طبقه غیرآب هستند به کار گرفته می‌شود. همچنین، در مناطق سایه و تاریک به پیش زمینه شهری نیز به کار گرفته می‌شود. AWEI nsh نیز شاخصی برای بهبود شاخص AWEI sh ارائه شده است که نقاطی را که با استفاده از شاخص AWEI sh قادر به حذف نیست را با استفاده از این شاخص با دقت بیشتری جدا کنیم (Feyisa et al, 2014). ویتک و همکاران، تغییرات پوشش‌زمین را بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۹۰ در غرب آفریقا با استفاده از یک نمونه سیستماتیک از تصاویر ماهواره‌ای بررسی می‌کنند. منابع داده اولیه برای طبقه‌بندی پوشش‌زمین، اسکنر چندطیفی (MSS) لندست برای سال ۱۹۷۵ و (TM) برای دوره ۱۹۹۰ استفاده کرده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۹۷۵ حدود ۶ درصد از غرب آفریقا با پوشش درختان مترکم همراه با ۱۲ درصد از موزائیک پوشش درخت پوشیده شده بود. تقریباً نیمی از این منطقه را زمین‌های جنگلی دیگر پوشانده و ۳۲ درصد باقی‌مانده را پوشش گیاهی دیگر تشکیل می‌داد (Vittek et al, 2014). ژی و همکاران، تحقیقی در رابطه با آب‌های زلال، گل‌آلود و آلوده انجام دادند. نتایج نشان داد که NDWI، AWEI_sh و NDWI به ترتیب با صحت کلی ۸۵/۵۵ درصد، ۹۵/۵۰ درصد و ۹۶/۶۱ درصد بیشترین صحت را برای آب‌های زلال، گل‌آلود و آلوده دارند. بعد از اعمال شاخص‌ها از الگوریتم آتس برای انتخاب آستانه استخراج آب استفاده کردند. علاوه بر این آن‌ها با مقایسه روش‌های دستی انتخاب آستانه با الگوریتم آتس به این نتیجه رسیدند که الگوریتم آتس قابلیت بهتری برای انتخاب آستانه استخراج آب دارد (Xie et al, 2016).

سارپ و اوزچلیک، از شاخص‌های AWEI، MNDWI، NDWI و روش طبقه‌بندی SVM برای استخراج آب از تصاویر TM و ETM استفاده کردند. عملکرد هر یک از شاخص‌ها را با استفاده از روش پیرسون، اندازه‌گیری شاخص شبیه‌ساز ساختاری و مجذور میانگین مربعات خطا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نیز بر کارایی شاخص MNDWI و روش طبقه‌بندی SVM تاکید داشت (Sarp & Ozcelik, 2017). ناندی و همکاران، به بررسی تغییرات سطح آب در دریاچه چلیکا در طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۶ با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست و با اتکا به روش آشکارسازی طیفی آب و با استفاده از شاخص‌های AWEI، MNDWI، NDWI پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص MNDWI برآورد بهتر و دقیق‌تری را نسبت به سایر شاخص‌ها از خود نشان می‌دهد (Nandi et al, 2018).

نهو و همکاران، به ارزیابی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تکنیک‌های سنجنش‌ازدور و GIS

پرداخته‌اند. و از تصاویر چندطیفی Landsat 7 ETM+ برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، داده‌های بارش و دما برای ۳۱ سال بین سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۷ برای تجزیه و تحلیل بیش‌تر جمع‌آوری شد. نتایج حاکی از آن است که افزایش دما (۱۹ درصد)، کاهش حدود ۶۲ درصدی بارندگی و سدسازی بیش از حد در حوضه ارومیه به همراه سوءمدیریت منابع آبی از عوامل کلیدی کاهش سطح آب دریاچه ارومیه است. علاوه بر این، تحقیقات فعلی بحران زیست‌محیطی بالقوه را در نتیجه کوچک شدن دریاچه پیش‌بینی می‌کند و چند گزینه ممکن را پیشنهاد می‌کند. بینش‌های ارائه شده توسط این مطالعه می‌تواند برای محیط‌بانان و سازمان‌های مرتبط با این موضوع و موضوعات مشابه مفید باشد (Nhu et al., 2020).

دئولی و کومار، در پژوهش خود به تجزیه و تحلیل نوسانات آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های GRACE برای منطقه Terai در هند از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ پرداختند. برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی، تحلیل روند ناپارامتریک با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی، آزمون من-کندال و مدل‌های میانگین متحرک استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داده است که نوسانات آب زیرزمینی طی سال‌های مورد بررسی به شدت کاهش یافته و روند برای این دوره مطالعه منفی است (Deoli & Kumar, 2020). افزلی و همکاران، در پژوهش خود به پایش منابع آبی و پوشش گیاهی کلان حوضه هیرمند با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای بارش جهانی GMP و داده‌های GRACE و همچنین تصاویر لندست ۵ و ۸ برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی و پیکره‌های آبی پرداختند. با وجود خشکسالی‌های شدید، نتایج نشان دهنده مداخلات انسانی و افزایش مصرف آب و افزایش سطح پوشش گیاهی در بالادست رودخانه هیرمند است (Afzali et al., 2022).

محمد اسماعیل (۱۳۸۹)، پایش تغییرات پوشش‌اراضی شهر کرج را در دوره زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۱ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست‌های TM و ETM با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده مورد بررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که به طور میانگین هر سال ۳۰۰ هکتار بر وسعت اراضی ساخته شده افزوده شده که قسمت اعظم آن با پیشروی در اراضی کشاورزی بوده است. خسروی (۱۳۸۹) با استفاده از ۷ شاخص ماهواره‌ای در طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۷ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به ارزیابی تغییرات پهنه آبی تالاب شهرستان پلدختر پرداخت. سطح آبی تالاب را با استفاده از شاخص‌ها استخراج کرده و سپس نتایج به دست آمده را با سطح پهنه آبی که از گوگل‌ارث در همان سال تهیه شده بود مقایسه نمود. نتایج نشان داد که شاخص‌های AWEInsh و AWEIsh جهت تعیین سطح پهنه آبی بهترین نتایج را ارائه دادند.

مظفری و نارنگی فرد (۱۳۹۳) به بررسی میزان بارش بر تغییر سطح آب دریاچه مهارلو واقع در استان شیراز با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجنده TM ماهواره لندست در تاریخ‌های ۲۰ مارس ۱۹۹۹ و ۱۸ مارس ۲۰۰۹ پرداخته‌اند. سپس جهت استخراج تغییرات مساحت دریاچه از تصاویر ماهواره‌ای با بکارگیری روش طبقه‌بندی نظارت شده با اعمال الگوریتم بیشترین شباهت، نوسان‌های سطح آب دریاچه در تاریخ‌های یاد شده انجام پذیرفت. یافته‌های آن‌ها نشان داد، مساحت دریاچه در سال ۲۰۰۹ با کاهش ۱۰۹ کیلومترمربعی در زمان مشابه نسبت به سال ۱۹۹۹ همراه بوده است، که عمدتاً به دلیل کاهش ۲۰۰ میلی‌متری میزان بارش در سال آبی نسبت به دوره مشابه می‌باشد.

باقری و همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل تغییرات پهنه آبی دریاچه بختگان از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی پرداختند. از تصاویر ماهواره لندست و نیز داده‌های بارندگی و دبی ایستگاه‌های وزارت نیرو در حوضه دریاچه بختگان و رودخانه کر استفاده نمودند. برای تعیین میزان تغییرات پهنه آبی دریاچه از روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال به منظور طبقه‌بندی تصاویر و از روش مقایسه پس پردازشی برای صحت‌سنجی کاربری‌های طبقه‌بندی شده دریاچه بختگان و محدوده پیرامون آن استفاده نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نمایانگر آن بود که کاهش بارندگی و مهم‌تر از آن افزایش سطوح زیرکشت آبی در بالادست دریاچه بختگان و در نتیجه افزایش مصرف آب برای آبیاری، باعث خشک شدن کامل دریاچه بختگان شده است.

ملکی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای الگوی تغییرات پهنه آبی تالاب هامون را در طی یک دوره آبیاری و خشک

شدن تالاب مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای این کار از تصاویر ماهواره لندست ۸ و با روش هیبرید استفاده نمودند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که تالاب هامون، هیرمند مدت زمان کوتاه‌تری در مقایسه با سایر قسمت‌های تالاب، دارای آب می‌باشد. نخعی‌نژادفرد و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی به ارزیابی الگوریتم‌های مختلف ادغام تصاویر در تهیه نقشه شاخص‌های گیاهی پرداختند. به منظور دسترسی به اطلاعات طیفی همزمان پوشش گیاهی در استان خراسان جنوبی، از تکنیک ادغام تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مادیس استفاده گردید. ابتدا نتایج حاصل از شش الگوریتم ادغام، شامل NNDiffuse، HPF، Gram-Schmidt، Brovey، PC و CN در یک محدوده آزمایشی در استان خراسان جنوبی با استفاده از معیارهای آماری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوریتم NNDiffuse از دقت مطلوب‌تری جهت ادغام باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک لندست ۸ و مادیس برخوردار است.

علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، ۷ و محیط آنلاین Google Earth Engine و الگوریتم NDWI با هزینه و زمانی کم، به جداسازی پدیده آب از سایر پدیده‌ها به منظور بررسی تغییرات مساحت پهنه‌های آبی موجود در حوضه آبریز سد شهید عباسپور ناشی طی ۲۰ سال اخیر پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد در حوضه یادشده، بیشترین حجم آب در سال ۲۰۱۹ وجود داشته و آبگیرها و سدها لبریز از آب شده اند، به گونه‌ای که با اختلاف زمانی یک ماه، ۲۵ کیلومترمربع به حجم آب‌های آن‌ها افزوده شده است.

مغانی‌رحیمی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی به بررسی توسعه شهری و تغییرات پوشش‌اراضی محدوده شهر ابرکوه با استفاده از تلفیق باندهای تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که؛ مجموعه مساحت منطقه مورد بررسی ۱۳ کیلومترمربع می‌باشد؛ که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ اراضی مسکونی دارای روند افزایشی می‌باشد، به این صورت که در سال ۲۰۰۰ مقادیر آن برابر با ۴/۲۵ کیلومترمربع بوده که در سال ۲۰۲۰ مقدار آن به ۵/۵۸ کیلومترمربع افزایش یافته است، تغییرات مساحت اراضی بایر در سال‌های مورد بررسی دارای نوسان بوده به این صورت که در سال ۲۰۰۰ مساحت آن برابر با ۳/۶۱ کیلومترمربع، در سال ۲۰۱۰ برابر با ۲/۵ کیلومترمربع و در سال ۲۰۲۰ برابر با ۳/۷۳ کیلومترمربع می‌باشد.

ابراهیمی خوسفی (۱۴۰۲) در تحقیقی به روند تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پیکره‌های آبی واقع در منطقه سیستان و عوامل موثر بر آن با استفاده از تصاویر و محصولات ماهواره‌ای، داده‌های هواشناسی و آزمون من-کنندال و شیب سن مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل نشان دهنده روند کاهش معناداری پارامترهای دمایی حداقل، دمایی حداکثر، دمایی میانگین، بارش، مساحت پهنه‌های آبی و شاخص خشک‌سالی پالمر است. از طرفی تغییرات شاخص NDVI روندی افزایشی معنادار را نشان داد که ناشی از توسعه کمی اراضی زیر کشت کشاورزی در دشت سیستان است.

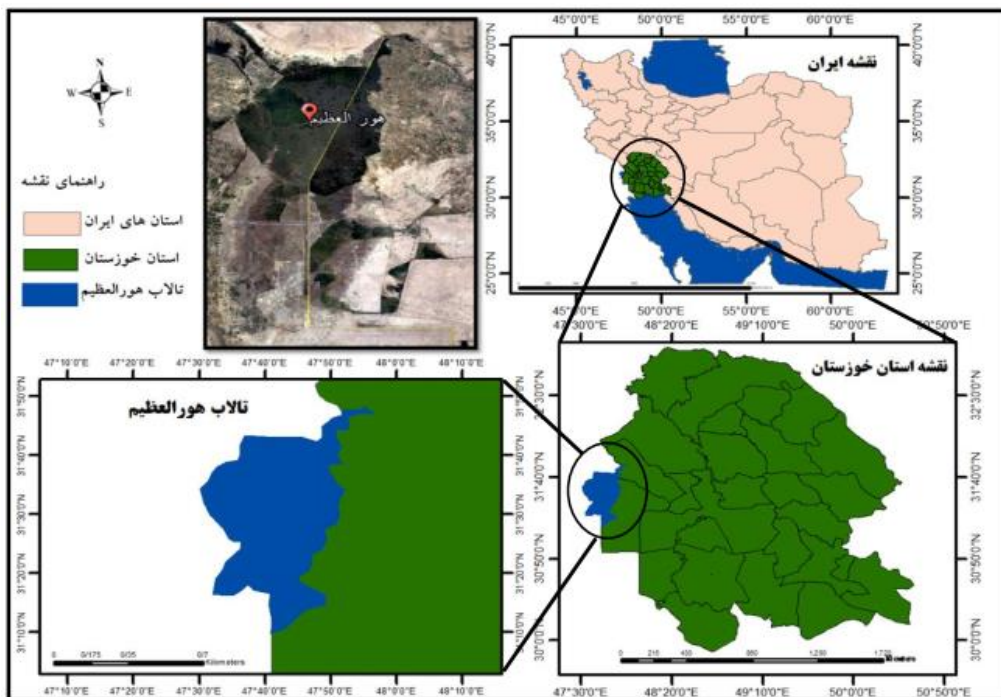
همه این تحقیقات نشان می‌دهد که تصاویر سنجش‌ازدور از قابلیت بالایی برای استخراج نقشه‌های پوشش اراضی و پهنه‌های آبی و بررسی روند تغییرات آن‌ها برخوردار بوده و در سراسر جهان توسط محققین به کار گرفته شده است. با توجه به نتایج تحقیقات پیشین می‌توان بیان کرد، تنوع استفاده از سنجنده‌های مختلف و استفاده از داده‌ها و تصاویر بلندمدت از مزیت‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت بررسی روند تغییرات می‌باشد. با توجه به اهمیت و ضرورتی که مسئله پایش تغییر تالاب هورالعظیم دارد؛ در صدد هستیم که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و با به کارگیری تکنیک ادغام تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ طی دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ و با به کارگیری روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شاخص طیفی AWEI به بررسی روند تغییر پوشش اراضی و پهنه‌های آبی تالاب هورالعظیم بپردازیم.

مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه

تالاب هورالعظیم یا هورالهویزه، بخشی از تالاب دائمی آب شیرین در بین‌النهرین سفلی است که میان دو کشور ایران و عراق قرار گرفته است. حد شرقی هور در خاک ایران، در شمال غرب شهرستان بستان و در نزدیکی روستای چزابه به مختصات ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه غربی قرار گرفته است. این تالاب از مغرب نیز در

محدوده جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۷ دقیقه در مجاورت روستای سوله و از سمت جنوب نیز در عرض جغرافیایی ۴۱ درجه قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت این تالاب که توسط اداره کل محیط‌زیست استان خوزستان مشخص شده حدود ۱۱۸ هزار هکتار است که حدود یک سوم آن در ایران و مابقی آن در کشور عراق است، که با احداث خاکریز مرزی توسط کشور عراق، مساحت آن در خاک ایران به ۸۷۹ کیلومتر مربع می‌رسد (فولادوند و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

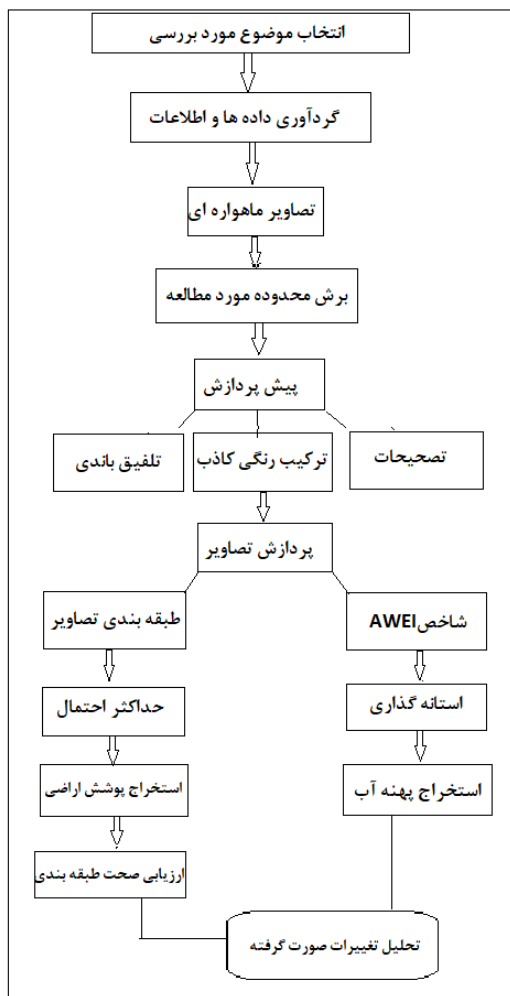
داده‌های مورد استفاده

هر پژوهش بر اساس موضوع مورد تحقیق و اهدافی که در پی دستیابی به آن‌ها است نیاز به ابزار و داده‌های مخصوص به خود دارد. بنابراین گردآوری اطلاعات و داده‌ها به منظور شناسایی و مطالعه منطقه، یکی از ملزومات هر تحقیقی می‌باشد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست ۸ (سنجنده OLI) استفاده شده است. در مجموع از ۲ تصویر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد و در تحلیل مراحل پژوهش که در ادامه شرح داده خواهد شد مورد استفاده قرار گرفت. این تصاویر محدوده زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ را پوشش می‌دهند (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تصاویر لندست ۸ محدوده مورد مطالعه از تاریخ ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲

ماهواره	سنجنده	تاریخ تصاویر	ساعت تصاویر	باندها	طول موج	رزولوشن
				Coastal / Aerosol	0.433-0.453 μm	30M
				Visible blue	0.450-0.515 μm	30M
		۲۰۱۳/۸/۱۳	۷:۲۳:۳۹	Visible green	0.525-0.600 μm	30M
				Visible red	0.630-0.680 μm	30M
	OLI			Near-infrared	0.845-0.885 μm	30M
	لندست ۸			Short wavelength infrared	1.56-1.66 μm	30M
				Short wavelength infrared	2.10-2.30 μm	60M
				panchromatic	0.50-0.68 μm	15M
				Cirrus	1.36-1.39 μm	30M
				Thermal	10.3-11.3 μm	100M
	TIRS	۲۰۲۲/۸/۲۲	۷:۲۲:۱۱	Thermal	11.5-12.5 μm	100M

به منظور جمع‌آوری، پردازش، تجزیه و تحلیل داده‌ها، تهیه نقشه پهنه‌های آبی و پوشش‌اراضی و تهیه و تدوین این پژوهش با توجه به روش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل مراحل زیر می‌باشد (شکل ۲):



شکل ۲. فلوچارت انجام تحقیق

مراحل عملیات سنجش از دور

برش منطقه مورد مطالعه

یک تصویر ماهواره‌ای، ممکن است برخی از قسمت‌های آن بیرون از محدوده مطالعاتی مورد نظر ما باشد، پس لازم است که قسمت‌های اضافه از محدوده مورد نظر بریده شود. این امر باعث پایین آمدن حجم فایل ذخیره شده گشته و در هنگام فراخوانی مجدد فایل مورد نظر و اجرای عملیات پردازش، وقت کمتری صرف شود و نیز عملیات فقط بر محدوده مورد نظر محدود شود (لرستانی و شهریار، ۱۳۹۰).

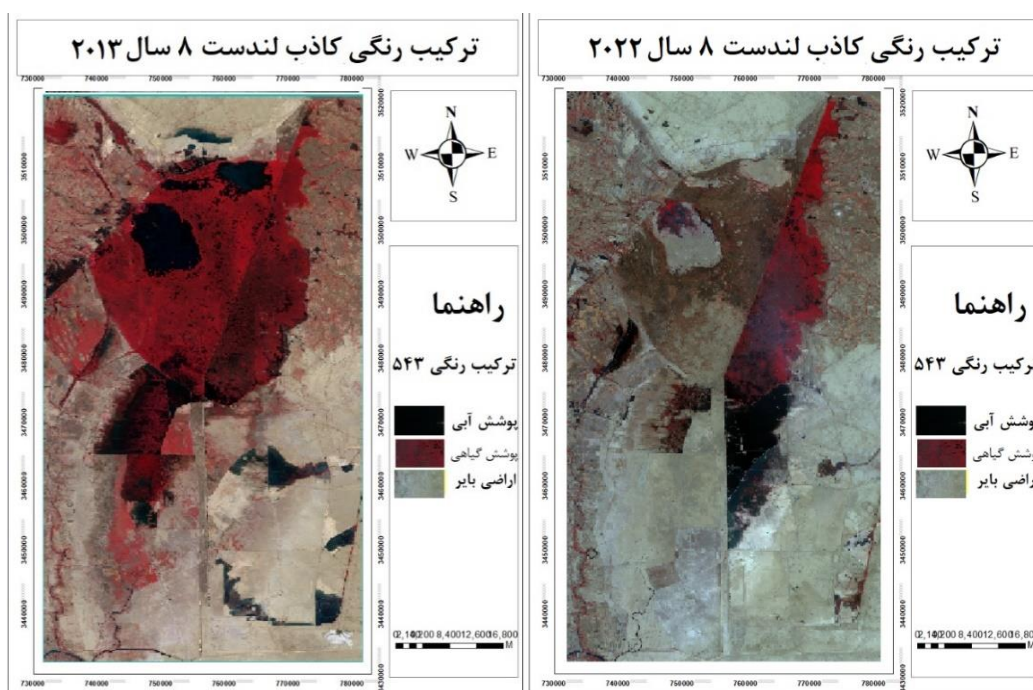
پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها

مرحله پیش‌پردازش، در واقع تصحیح و بهینه‌سازی اطلاعات است. تصاویر خام سنجش از دور همیشه دارای خطایی در هندسه و همچنین مقادیر ثبت شده برای پیکسل‌ها می‌باشند، به دسته اول این خطاها، خطاهای هندسی و به دسته دوم خطای رادیومتریکی گویند. برخی از این خطاها در ایستگاههای گیرنده زمینی تصحیح می‌شوند، ولی تصاویر در نهایت باید توسط کاربران از لحاظ وجود این خطاها بررسی گردد و در صورت لزوم تصحیح شوند. پس به طور کلی تصحیحات را می‌توان به دو دسته تصحیحات هندسی و تصحیحات رادیومترکی تقسیم نمود (اکبری و شکاری‌بادی،

۱۳۹۳). نتایج حاصل از بررسی کیفیت تصاویر نشان داد که تصاویر مورد استفاده نیاز به تصحیحات رادیومتریکی (اتمسفیری) دارد که این تصحیحات بر دو تصویر مورد استفاده اعمال گردید.

ترکیب رنگی کاذب

برای شناخت اولیه از پدیده‌های سطح زمین، می‌توان آن‌ها را به صورت تصویر رنگی کاذب نشان داد. از ترکیب سه باند مختلف و اختصاص هر رنگ از سه رنگ اصلی قرمز، سبز، آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته می‌شود. در تصویر رنگی کاذب، رنگ قرمز به باند مادون قرمز، رنگ سبز به باند قرمز و رنگ آبی به باند سبز نسبت داده می‌شود، در نتیجه پوشش گیاهی که حداکثر بازتاب را در باند مادون قرمز دارد، به رنگ قرمز، آب به رنگ سیاه و خاک لخت به رنگ قهوه‌ای - خاکستری دیده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۶: ۲۴۱). در این پژوهش به منظور بارزسازی تصاویر و استخراج اطلاعات بیشتر از تصاویر از ترکیب رنگی کاذب، (۵-۴-۳ باندهای مادون قرمز، قرمز و سبز) استفاده شده که در این ترکیب رنگی گیاهان در تصاویر به رنگ قرمز دیده می‌شوند (شکل ۳)

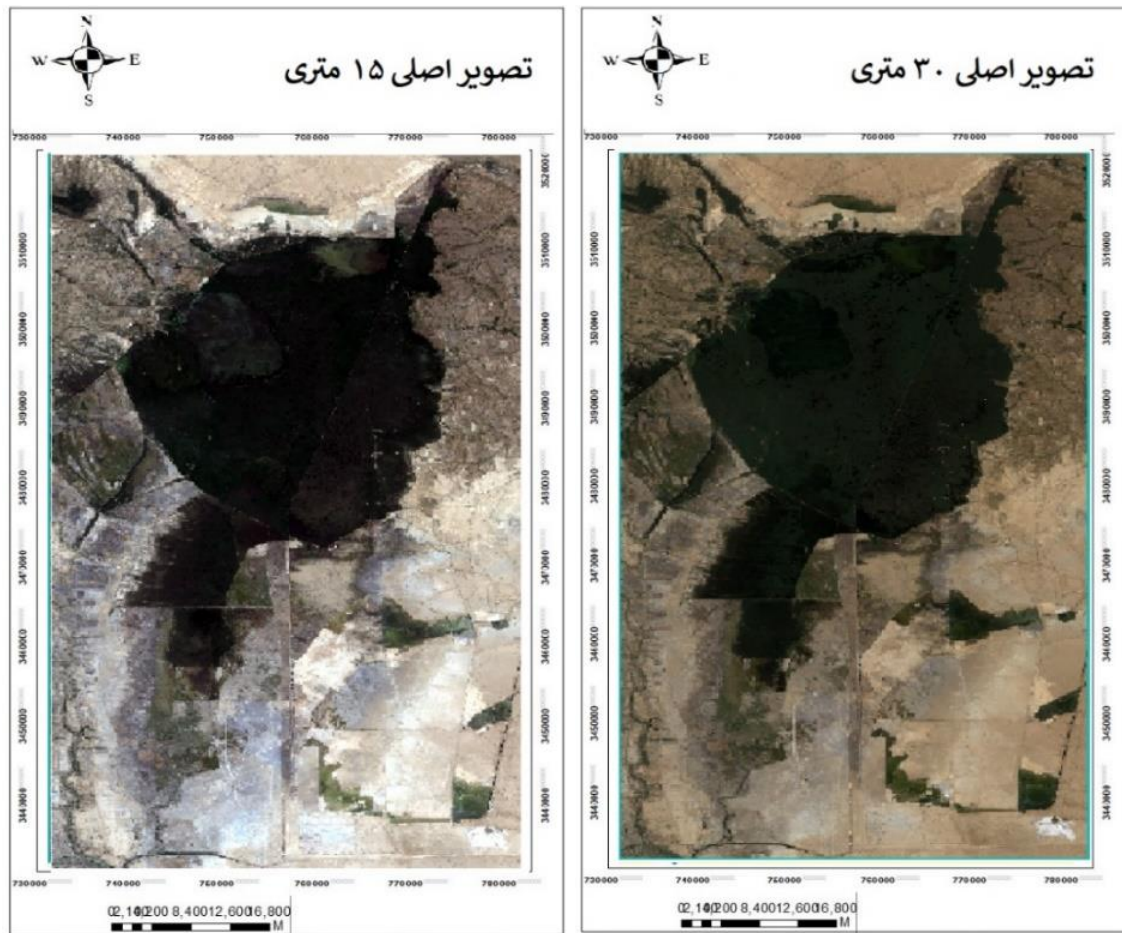


شکل ۳. ترکیب رنگی کاذب (۵.۴.۳) سال ۲۰۲۲ و ۲۰۱۳

تلفیق تصاویر

به منظور به کارگیری منابع مختلف داده در سنجش از دور یکی از تکنیک‌هایی که در پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده پژوهشگران قرار می‌گیرد تکنیک ادغام تصاویر یا فیوژن می‌باشد با استفاده از این روش می‌توان تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی و طیفی مختلف را در هم ادغام کرد و تصویر جدیدی ایجاد نمود که همزمان دارای خصوصیات هر دو تصویر است. ترکیب یک تصویر دورسنجی رنگی با قدرت تفکیک پایین با یک تصویر سیاه‌وسفید با قدرت تفکیک (تصویر پانکروماتیک) بالا به طوری که تصویر رنگی خصوصیات اولیه خود را حفظ کند و قدرت تفکیک تصویر دومی را داشته باشد به عنوان فیوژن اطلاق می‌گردد (عبادی، ۱۳۹۸: ۷۸). کیفیت و ظاهر این تصاویر همانطور که در شکل دیده می‌شود نسبت به تصویر اصلی بهتر است و قابلیت تفکیک پذیری پدیده‌ها در آن بیشتر است. در واقع این تصویر خصوصیات تصویر پانکروماتیک و چند طیفی را توأم دارا است که این امر در شناسایی عوارض روی زمین (با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالای تصویر پانکروماتیک) بسیار کاربرد دارد. تصویر نهایی تولید شده ضمن اینکه ویژگی‌هایی تصویر چند طیفی را برخوردار است بلکه ویژگی‌های مکانی تصویر پانکروماتیک را دارد.

در این مطالعه با انجام ادغام تصویر چندطیفی که دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است با باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، تصویری با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر حاصل شد. بدین منظور روش‌های مختلف تلفیق تصاویر که شامل: Brove, HIS, PCA و gram. Schmidt. Pansharpring می‌باشد برای تصاویر اعمال شد و مورد مقایسه قرار گرفتند؛ که از بین این روش‌ها، روش gram. Schmidt. Pansharpring نسبت به سایر روش‌ها وضوح بهتری از عوارض منطقه مورد مطالعه را نشان می‌داد که تفکیک پوشش‌ها راحت‌تر بود. بر همین اساس تلفیق تصاویر با این روش اعمال شد (شکل ۴).



شکل ۴. تصویر سنجنده OLI قبل از فیوژن تصویر (سمت راست) و بعد از فیوژن تصویر (سمت چپ)

محاسبه شاخص AWEI

شاخص‌ها با استفاده از ترکیب باندهای مختلف و استفاده از تضاد محدوده طیفی باندها باعث بهبود در سیگنال طیفی دریافتی، شناسایی بهتر و خارج شدن نویز از قسمت‌های مختلف طول موج‌ها می‌شوند. روش‌های شناسایی سطح آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای؛ همان‌طور که از اسم آن‌ها نیز پیداست وابسته به تصاویر ماهواره‌های مختلف هستند. از میان ماهواره‌های مختلف، سری لندست از جمله پرکاربردترین برای شناسایی سطح آب می‌باشند. یکی از روش‌های شناسایی سطح آب روش‌های مبنی بر شاخص‌های طیفی است، که استفاده از هر یک از این شاخص‌ها به موقعیت منطقه مورد مطالعه و ویژگی سطوح آبی مورد نظر بستگی دارد (Campos et al, 2012).

در پژوهش حاضر برای شناسایی پهنه آبی منطقه مورد بررسی از شاخص طیفی AWEI استفاده شده است. شاخص AWEI یا شاخص اتوماتیک استخراج آب در برطرف کردن پیکسل‌های تیره و شناسایی سطوح آبی کاربرد دارد. که جهت محاسبه این شاخص از ترکیب باندهای سبز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز با طول موج کوتاه استفاده

می‌شود. هدف اصلی شاخص AWEI به حداکثر رساندن تفکیک پیکسل‌های آب از غیر آب با استفاده از تفاضل باندها می‌باشد. با اعمال این شاخص در مناطقی که $AWEI < 0$ باشد پیکسل غیر آب هست و در مناطقی که $AWEI > 0$ باشد پهنه آب محسوب می‌شود که به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد (رابطه ۱) (Feyisa et al, 2014).

$$AWEI = 4 * (Green - MIR) - ((0.25 * NIR) + 2.75 * SWIR) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه Green: انعکاس باند سبز، MIR: انعکاس باند مادون قرمز با طول موج، NIR: انعکاس باند مادون قرمز نزدیک، SWIR: انعکاس باند مادون قرمز با طول موج کوتاه برای شناسایی پهنه‌های آبی و تمیز دادن سایر عوارض از پهنه آبی به وسیله شاخص‌های سنجش از دور، نیاز به داشتن حد آستانه مناسب می‌باشد (Campos et al, 2012).

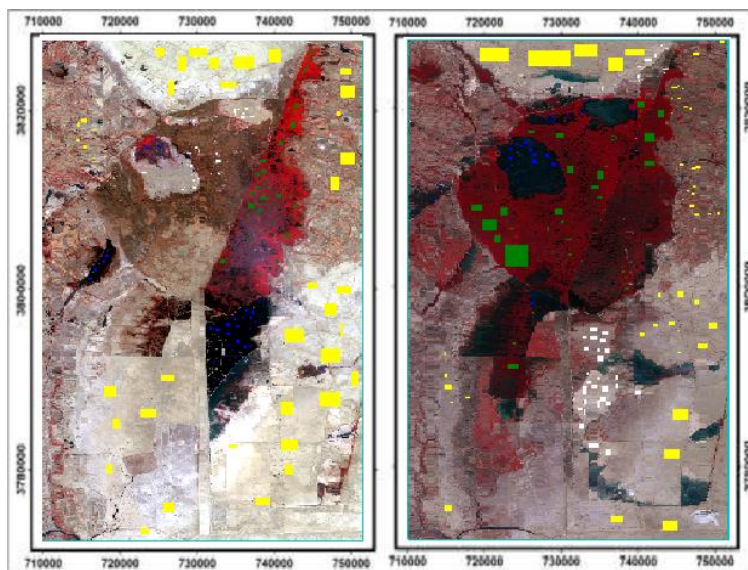
طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقاتی آن‌ها که دارای رفتار طیفی یکسانی باشند، طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای گفته می‌شود. به عبارتی طبقه‌بندی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده تصاویر، اختصاص دادن یا معرفی کردن هر یک از پیکسل‌ها به کلاس یا پدیده خاصی را طبقه‌بندی اطلاعات گویند. روش‌های طبقه‌بندی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند. طبقه‌بندی نظارت‌شده فرایندی است که از آن طریق امکان کلاس‌بندی پیکسل‌ها موجود در یک تصویر (دارای باندهای متعدد)، در گروه‌های معین میسر می‌گردد. در این نوع طبقه‌بندی کنترل شده می‌توان پیکسل‌های مشابه، از نقطه نظر بازتابش انرژی الکترومغناطیسی، را در الگوهای موردنظر (مطابق با واقعیت‌های سطح زمین و اطلاعات حاصله از دنیای واقعی) دسته‌بندی و از بقیه منفک کرد (رسولی، ۱۳۸۷: ۴۰۵). در این روش طبقه‌بندی برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌گردد، بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخصی از تصویر برای هر کدام از کلاس‌ها، عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌ها در نظر گرفته شده انجام می‌شود (نیازی و همکاران، ۱۳۸۹).

از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال یکی از کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر محسوب می‌شود (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰). در روش مذکور فرض بر این است که همه مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، احتمال تعلق یک پیکسل به یک کلاس خاص مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در واقع پیکسل موردنظر به کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد (احمدی ندوشن و همکاران، ۱۳۸۸). در این پژوهش الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده محاسبه شد. برای انجام طبقه‌بندی نظارت‌شده، انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز از کلاس‌های مختلف با شناخت از منطقه و با استفاده از اطلاعات جانبی و بر مبنای DN تصاویر با ترکیب رنگی کاذب ۵-۴-۳ برای لندست ۸ پیاده شد، و تفکیک‌پذیری کلاس‌های پوشش با بهره‌گیری از الگوریتم حداکثر احتمال، محاسبه شد. برای این منظور در منطقه مورد مطالعه به فراخور سهم هر طبقه تعداد مناسبی نمونه تعلیمی به طور تصادفی با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث و تصویر رنگی کاذب انتخاب شدند، که شرح آن در جدول ۲ آمده است. در انتخاب نمونه‌های تعلیمی سعی شد ضمن این که معرف خوبی برای طبقات مورد نظر باشد، از پراکنش خوبی نیز برخوردار باشد. (شکل ۵).

جدول ۲. کلاس‌های پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه

ردیف	کلاس‌های پوشش	تعداد نمونه‌های آموزشی	نحوه توزیع نمونه‌ها
۱	پوشش آبی	۴۵	تصادفی در سراسر منطقه
۲	پوشش گیاهی	۵۰	تصادفی در سراسر منطقه
۲	اراضی بایر	۶۰	تصادفی در سراسر منطقه
۴	اراضی شوره زار	۳۵	تصادفی در سراسر منطقه



شکل ۵. پراکنش نمونه‌های تعلیمی

پس‌پردازش طبقه‌بندی

پس از پایان طبقه‌بندی معمولاً نتایج به صورت خام وجود دارند و با کمی پردازش می‌توان دقت نتایج را بالا برد یا آن‌ها را به صورت دلخواه تغییر داد. برخی از مهم‌ترین این پردازش عبارتند از: انتخاب رنگ مجدد برای کلاس‌ها، برداری نمودن، ترکیب با اطلاعات و داده‌های دیگر، محاسبه مساحت پوشش‌ها، مقیاس‌گذاری، تعیین و تغییر سیستم مختصات، درج اطلاعات جانبی، و... این که کدام یک از این موارد اعمال شوند کاملاً به پروژه مورد نیاز کاربر بستگی دارد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۳).

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از درستی و صحت آن است. در این ارزیابی مشخص می‌شود که داده‌های به دست آمده متناسب با کاربر مورد نظر، از دقت لازم برخوردار هستند یا خیر (خدمتگزار دولتی، ۱۳۹۰). بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند، اقدام به ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده می‌گردد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰). نمونه‌های تعلیمی در حقیقت شامل نو احی نمونه از انواع پوشش‌های مورد نظر می‌باشد که معمولاً به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۲). نتیجه ارزیابی دقت در جدول ماتریس خطا نشان داده می‌شود. بنابراین در این مرحله از پژوهش، برای کسب اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شده، بدین منظور نیاز به نقاط کنترل زمینی می‌باشد که این نقاط با استفاده از نرم‌افزار گوگل‌ارث به صورت جداگانه برای هر یک از پوشش‌ها از سطح منطقه برداشته شده و در نرم‌افزار ENVI5.3 پارامترهای ارزیابی دقت نظیر: صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه و استخراج شده است. نتیجه ارزیابی دقت در جدول ماتریس خطا نشان داده می‌شود. روش معمول و استاندارد برای تعیین دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده، از ماتریس خطا است (رضایی لیواری، ۱۳۹۱: ۴۲).

ماتریس خطا که ماتریس ابهام نیز نامیده می‌شود، حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (در واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است. ماتریس خطا که به صورت جدول ارائه می‌شود، داده‌های زمینی به صورت ستون‌ها و داده‌های مربوط به نتایج طبقه‌بندی به صورت سطرها ظاهر می‌شوند. پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند روی قطر اصلی قرار می‌گیرند و عناصر غیر قطری، مجموعه خطاها می‌باشند (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۳: ۲۳۶). بر مبنای ماتریس خطا پارامترهای متعددی برای بیان دقت و خطا استخراج می‌گردند. دقت کلی

میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد (رابطه ۲):

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^C E_{ij}}{N} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه C تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ij} اعضای قطر ماتریس خطا و O.A دقت کلی طبقه‌بندی می‌باشد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۳: ۲۳۶). ضریب کاپا یکی دیگر از پارامترهای دقت است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. (خدمتگزار دولتی، ۱۳۹۰: ۴۷).

یکی از معروف‌ترین برآوردهای کاپا با استفاده از عناصر ماتریس خطا عبارتند از (رابطه ۳):

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این فرمول N تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، X_{i+} مجموع عناصر سطر i ام و X_{+i} مجموع عناصر ستون i ام می‌باشند که به صورت زیر محاسبه می‌شوند (رابطه‌های ۴، ۵ و ۶):

$$N = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c X_{ij} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$X_{+j} = \sum_{i=1}^r X_{ij} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$X_{i+} = \sum_{j=1}^c X_{ij} \quad \text{رابطه (۵)}$$

r و c تعداد سطر و ستون ماتریس خطا هستند (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۳).

میزان ضریب کاپا بین ۰ تا ۱ متغیر است (بین ۰ تا ۱۰۰ درصد) (خدمتگزار دولتی، ۱۳۹۰). ضریب کاپای معادل یک نشان‌دهنده یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح، ضریب کاپای معادل صفر نشان‌گر یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی و مقدار منفی نیز به معنی وجود خطا در طبقه‌بندی است (رضایی لیواری، ۱۳۹۱: ۴۲).

بنابراین در این مرحله از پژوهش، برای کسب اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شده، بدین منظور نیاز به نقاط کنترل زمینی می‌باشد که این نقاط با استفاده از نرم‌افزار گوگل‌ارث به صورت جداگانه برای هر یک از پوشش‌ها از سطح منطقه برداشته شده و در نرم‌افزار ENVI5.3 پارامترهای ارزیابی دقت نظیر: صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه و استخراج شده است. نتیجه ارزیابی دقت در جدول ماتریس خطا (۴) نشان داده می‌شود.

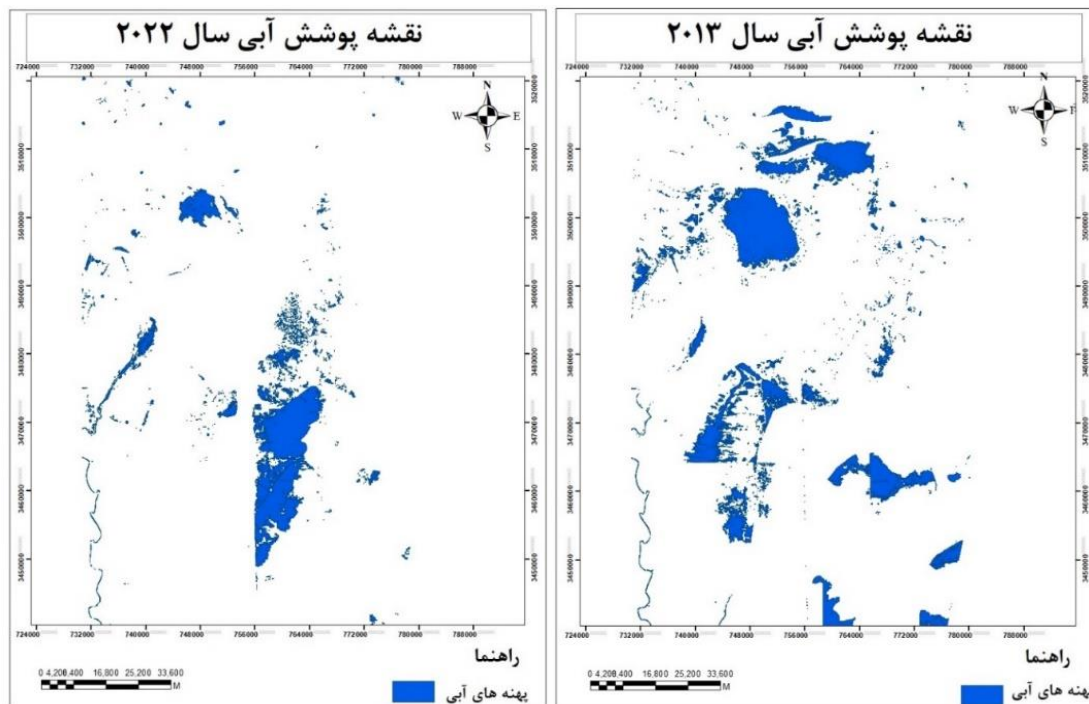
آشکارسازی تغییرات

در این پژوهش به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش‌اراضی منطقه از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. در این روش، می‌توان به اطلاعات تغییر یافته در طول دوره آماری از منطقه دست یافت. با استفاده از این روش امکان تعیین تغییرات رخ داده شده در هر کلاس نسبت به کلاس دیگر وجود دارد.

نتایج

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای، تکنیک‌های پیش‌پردازش از قبیل تصحیحات رادیومتریک جهت کاهش اثر اتمسفر بروی تصاویر اعمال شد. بعد از عملیات پیش‌پردازش داده‌های خام تصاویر برای انجام عملیات پردازش به بازتاب جو تبدیل شده و سپس منطقه مورد مطالعه از کل تصویر برش داده شد. شاخص طیفی AWEI استفاده از مقادیر بازتاب در باندهای مختلف طیف الکترومغناطیس (سبز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز با طول موج کوتاه) را ممکن می‌سازند. بنابراین در پژوهش حاضر، با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 در قسمت محاسبات باندهای، شاخص طیفی، AWEI برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ جهت استخراج پهنه آب تالاب هورالعظیم انتخاب و محاسبه گردید. نتایج نشان داد که؛

شاخص AWEI دارای مقادیر بزرگتر از صفر (مقادیر مثبت) نشان دهنده پهنه آب و کوچکتر از صفر (مقادیر منفی) نشان دهنده پهنه غیر آب (پوشش گیاهی و خاک) می‌باشد. سپس در نرم‌افزار GIS مساحت پهنه‌های آبی برای هر سال محاسبه و نقشه مربوط به آن‌ها استخراج شد، (شکل ۶).

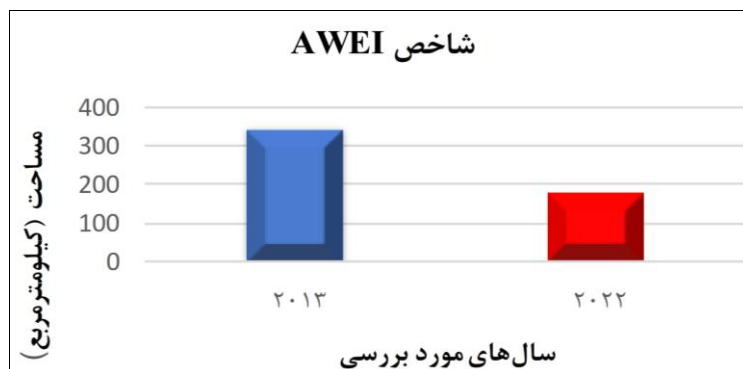


شکل ۶. استخراج پهنه آبی تالاب هورالعظیم با استفاده از شاخص طیفی AWEI

آستانه‌گذاری بر روی هیستوگرام تصاویر شاخص AWEI برای استخراج مساحت پهنه آبی انجام شد و حد آستانه صفر (0) انتخاب و بر اساس آن پهنه‌های آبی از غیر آب مشخص گردید و مساحت پهنه آبی برای هر سال محاسبه شده و برای بررسی تغییرات مورد مقایسه قرار گرفته و نتیجه آن در جدول (۳) و شکل (۷) ارائه شده است.

جدول ۳. مساحت تغییرات پهنه‌های آبی

سال	پهنه آبی (km ²)	پهنه غیر آب (km ²)	جمع
۲۰۱۳	۳۳۶	۴۱۴۸	۴۴۸۴
۲۰۲۲	۱۷۴	۴۳۱۰	۴۴۸۴



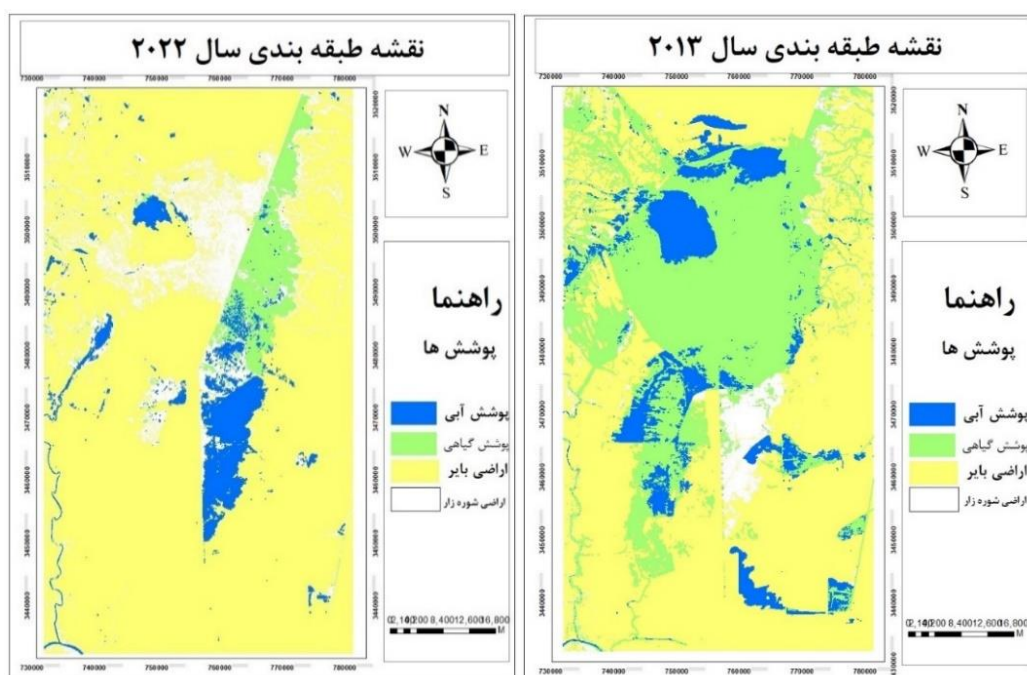
شکل ۷. مقایسه مساحت پهنه‌های آبی در سال‌های مورد بررسی

مساحت کل منطقه مورد مطالعه ۴۴۸۴ کیلومتر مربع (منطقه برش داده شده از تصاویر اصلی) می‌باشد. با توجه به جدول و نمودار مربوطه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ تغییرات زیادی در پهنه آبی در تالاب هورالعظیم رخ داده است. به طور

کلی پهنه آبی تالاب در سال ۲۰۱۳ به مقدار ۳۳۶ کیلومتر مربع بوده که در سال ۲۰۲۲ به مقدار ۱۶۲ کیلومتر مربع (۱۷۴ کیلومتر مربع) کاهش یافته است. عوامل متعدد انسانی و محیطی زیادی می‌تواند در این روند کاهش پهنه آبی در تالاب هورالعظیم موثر باشند از جمله: خشکسالی‌های پی‌درپی و بروز تغییرات زیان‌بار در اقلیم باعث تغییر شرایط محیطی مانند شوری بالا و دمای نامناسب شده است. افزایش آلودگی ناشی از ورود پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری به رودخانه‌های منتهی به تالاب، احداث جاده‌ها و خاکریز علاوه بر قطع ارتباط آبی بخش‌هایی از تالاب سبب تبدیل آن‌ها به شوره زار و خشکی شده است. احداث سد کرخه و در نتیجه عدم رعایت حق آبه تالاب، دخل و تصرفات انسانی از جمله جاده سازی، فعالیت‌های نفتی و تعرض به زمین‌های تالاب سبب شده که برخی از قسمت‌های تالاب کاملاً خشک شوند.

تغییرات پوشش اراضی در دوره مورد بررسی

با توجه به داده‌های موجود، قدرت تفکیک مکانی تصاویر و دانش پژوهشگر ۴ کلاس آموزشی شامل پوشش‌های آبی، پوشش گیاهی، اراضی بایر و اراضی شوره‌زار برای هر تصویر به صورت جداگانه انتخاب شده است. نتایج به دست آمده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3، به فرمت وکتور تغییر داده شد و نتیجه در قالب شیپ‌فایل به محیط نرم‌افزار GIS انتقال گردید. پس از تشکیل پایگاه اطلاعات زمینی، نقشه‌های پوشش اراضی و تغییرات آن، در دو دوره استخراج شده و مساحت هر کدام از کلاس‌های پوشش اراضی تعیین گردید. شکل ۸، نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد که در هر کدام از آن‌ها، ۴ کلاس با رنگ‌های متفاوت تعیین و نشان داده شده است.



شکل ۸. نقشه‌های پوشش اراضی حاصل از الگوریتم حداکثر احتمال برای سال‌های (۲۰۲۲ و ۲۰۱۳) منطقه مورد مطالعه

بعد از اجرای عمل طبقه‌بندی ضروری است که میزان صحت این طبقه‌بندی محاسبه شود. چرا که در غیر این صورت نه تنها نقشه‌های حاصله قابل استناد نخواهد بود بلکه از سطح اعتماد به تصاویر طبقه‌بندی نیز کاسته خواهد شد (مغانی رحیمی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین در این مرحله از پژوهش، برای کسب اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شده، بدین منظور نیاز به نقاط کنترل زمینی می‌باشد که این نقاط با استفاده از نرم‌افزار Google Earth به صورت جداگانه برای هر یک از پوشش‌ها از سطح منطقه برداشته شده و در نرم‌افزار ENVI 5.3

پارامترهای ارزیابی دقت نظیر: دقت تولیدکننده، دقت کاربر، خطای اضافه، خطای حذف، صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه و استخراج شده است (جدول ۴).

در جدول ۴ مشاهده می‌شود که تصاویر استخراج شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال دارای دقت بالایی هستند. مقدار ضریب کاپا برای سال‌های مورد بررسی بدین شکل است که سال ۲۰۱۳ ضریب کاپا برابر ۰.۹۵ و دقت کلی ۹۶ درصد، سال ۲۰۲۲ ضریب کاپا برابر با ۰.۹۰ و دقت کلی ۹۲ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد میزان خطا اندک و قابل قبول می‌باشد.

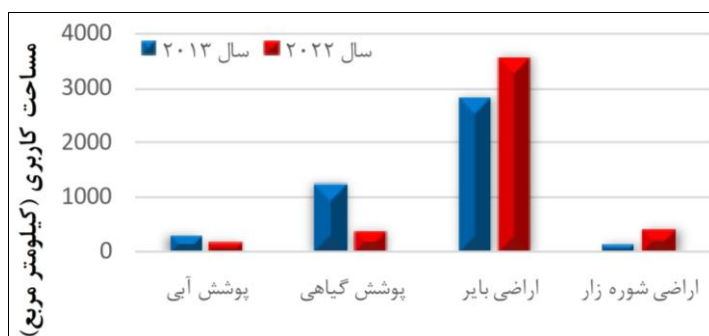
جدول ۴. نتایج ارزیابی دقت الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی پوشش اراضی در تصاویر ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲

سال	پوشش	دقت تولیدکننده (درصد)	دقت کاربر (درصد)	خطای اضافه (درصد)	خطای حذف (درصد)	صحت کلی	ضریب کاپا
۲۰۱۳	پوشش‌های آبی	۹۸/۰۰	۹۸/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۹۶/۹۰	۹۵٪
	پوشش گیاهی	۹۹/۰۰	۹۶/۱۶	۳/۸۵	۰/۰۰		
	اراضی بایر	۹۵/۸۳	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۱۷		
	اراضی شوره‌زار	۸۶/۰۰	۸۷/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰		
۲۰۲۲	پوشش‌های آبی	۹۹/۲	۹۶/۷۲	۳/۲۸	۰/۰۰	۹۲	۹۰٪
	پوشش گیاهی	۹۸/۱۸	۸۰/۰۰	۲۲/۸۶	۱/۸۲		
	اراضی بایر	۷۰/۰۱	۹۹/۰۰	۰/۰۰	۲۳/۶۱		
	اراضی شوره‌زار	۸۳/۰۰	۹۰/۱	۰/۰۰	۲/۲۵		

در نهایت به منظور بررسی ماهیت تغییرات از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. مساحت مجموع پوشش‌های منطقه مورد مطالعه برابر با ۴۴۸۴ کیلومتر مربع می‌باشد. با توجه به این که در طول دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ تغییرات در سطح هر یک از پوشش‌های موجود رخ داده است، برای بررسی مساحت و میزان تغییرات هر یک از پوشش‌های زمین در طول دوره زمانی مورد نظر، اطلاعات مربوط به دو نقشه طبقه‌بندی شده در جدول (۵) نمایش داده شده است. برای شناسایی نوع تغییرات، تصاویر طبقه‌بندی شده سال‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته و نتیجه آن به صورت شکل (۹) ارائه گردیده است.

جدول ۵. مساحت و درصد تغییرات پوشش‌ها در منطقه مورد مطالعه

نوع پوشش	سال ۲۰۱۳		سال ۲۰۲۲		روند تغییرات
	مساحت (KM ²)	درصد	مساحت (KM ²)	درصد	
پوشش آبی	۳۰۰	۶/۷۰	۱۸۰	۴/۰۲	کاهشی
پوشش گیاهی	۱۲۳۶	۲۷/۵۶	۳۶۵	۸/۱۴	کاهشی
اراضی بایر	۲۸۰۳	۶۲/۵۱	۳۵۲۴	۷۸/۵۹	افزایشی
اراضی شوره‌زار	۱۴۵	۳/۲۳	۴۲۷	۹/۲۵	افزایشی
جمع	۴۴۸۴	۱۰۰	۴۴۸۴	۱۰۰	



شکل ۹. مقایسه مساحت پوشش‌ها در سال‌های مورد بررسی

باتوجه به جدول (۵) و شکل (۹)، می‌توان گفت که پهنه‌های پوشش آبی و پوشش گیاهی در ۲ سال مورد بررسی روند کاهشی داشته به گونه‌ای که در سال ۲۰۱۳ به ترتیب برابر با ۳۰۰ کیلومترمربع (۶/۷۰ درصد) و ۱۲۳۶ کیلومترمربع (۲۷/۵۶ درصد) بوده ولی در سال ۲۰۲۲ به مقدار ۱۸۰ کیلومترمربع (۴/۰۲ درصد) و ۳۶۵ کیلومتر مربع (۸/۱۴) کاهش یافته است. اراضی بایر و اراضی شور هزار برعکس دو پوشش آبی و گیاهی دارای روند افزایشی بوده بدین شکل که در سال ۲۰۱۳ مقادیر هر کدام به ترتیب ۲۸۰۳ کیلومترمربع (۶۵/۵۱ درصد) و ۱۴۵ کیلومترمربع (۳۰/۲۳) درصد) بوده که در سال ۲۰۲۲ مقادیر آن‌ها به ترتیب ۳۵۲۴ کیلومترمربع (۷۸/۵۹ درصد) و ۴۲۷ کیلومترمربع (۹/۲۵) درصد) افزایش یافته است. عوامل مختلفی در این روند افزایشی و کاهشی پوشش‌ها در در تالاب هورالعظیم با توجه به مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر چنین است که: تالاب هورالعظیم چه در کشور ایران (طرح جامع مدیریت تالاب هورالعظیم دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۷، مطالعات جامع هورالعظیم دانشگاه علوم و فنون خرمشهر، ۱۳۸۸، شرکت مهندسی ساز آب‌پردازان، ۱۳۸۳) و چه در کشور عراق (Mohamed et al, 2008) نشان از وجود شرایط سخت زیست‌محیطی ناشی از خشکسالی‌های سال‌های اخیر و افزایش آلودگی ناشی از ورود پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری به رودخانه‌های منتهی به تالاب بوده است، به علاوه احداث سد کرخه، احداث جاده‌ها و خاکریز علاوه بر قطع ارتباط آبی بخش‌هایی از تالاب سبب تبدیل آن‌ها به شورزار و خشکی شده است.

بحث

تالاب هورالعظیم یکی از مهم‌ترین و ارزشمندترین زیستگاه‌های آبی کشور بوده و اهمیت بسیاری از لحاظ هیدرولوژی، بیولوژیکی و اکولوژیکی در حیات وحش منطقه دارد و یکی از بزرگترین تالاب‌های دائمی در بین‌النهرین سفلی بوده و از لحاظ اکوسیستم یکی از نادرترین تالاب‌های ایران و آسیا محسوب می‌شود. (پاپهن، ۱۳۸۷). از تالاب‌ها به خاطر زنجیره غذایی گسترده و تنوع زیستی غنی که در آن‌ها فراهم می‌شود، به عنوان کلبه‌های سیستم آبی و فروشگاه‌های بزرگ زیستی نام برده می‌شود و به خاطر دارا بودن ارزش اقتصادی-اجتماعی نیز، از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردارند. روش‌های سنجش‌ازدور ماهواره‌ای از روش‌های متداول شناسایی آب‌های سطحی می‌باشند. در این میان تصاویری برای شناسایی پهنه‌های آبی مناسب هستند که دارای باندهای جذبی آب باشند. ماهواره لندست از جمله ماهواره‌های پرکاربرد در این زمینه می‌باشند. با توجه به حد آستانه مناسب و منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شاخص AWEI دارای عملکرد مناسبی بوده و دقت بالایی در شناسایی آب‌های سطحی دارد. آستانه مورد استفاده در این تحقیق از روی هیستوگرام شاخص استخراج شده که دقت استخراج پهنه‌های آبی را بالا می‌برد. ضمن اینکه استفاده از تکنیک تلفیق تصاویر (تلفیق باندهای اپتیکی با باند پانکروماتیک)، در انجام این مطالعات قابلیت‌های بیشتری را ارائه داد تا نتیجه بهتری حاصل شود. پوشش‌اراضی شامل انواع بهره‌برداری از زمین به منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است. در این تحقیق با استفاده از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای تغییرات سطح و پهنه آبی و همچنین تغییرات کاربری تالاب هورالعظیم برای دوره آماری ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفت و توضیحات مربوط به تغییرات هر کدام نیز بدان پرداخته شد.

نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به پایش تغییرات پهنه آبی تالاب هورالعظیم (شاخص AWEI) نشان داد که وسعت تالاب در سال‌های مورد بررسی دارای روند کاهشی بوده است (شکل ۶، جدول ۳ و شکل ۷) و همچنین با بررسی صحت نتایج حاصل از پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (جدول ۴) مشخص شد که طبقه‌بندی تصاویر به صورت نظارت‌شده، الگوریتم حداکثر احتمال برای منطقه مورد مطالعه به واقعیت‌های زمینی نزدیک و از صحت قابل‌قبولی برخوردار است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر در سال‌های مورد بررسی نیز حاکی از کاهش پوشش‌های آبی و گیاهی و افزایش اراضی بایر و شورزار در دوره‌های مورد بررسی می‌باشد (شکل ۸، جدول ۵ و شکل ۹).

عوامل تأثیرگذار زیادی از جمله عوامل محیطی و انسانی بر این روند تغییرات در دوره مورد بررسی وجود داشته است که شامل این موارد می‌باشد: خشکسالی‌های پی‌درپی و بروز تغییرات زیان‌بار در اقلیم باعث تغییر شرایط محیطی مانند شوری بالا و دمای نامناسب شده، این یعنی تغییرات چشمگیر در اکوسیستم، تعداد گونه آبزیان، جانداران و گیاهان و همچنین افراد را کاهش داده که کاهش شاخص‌های تنوع و افزایش غالبیت را به همراه داشته. افزایش آلودگی ناشی از ورود پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری به رودخانه‌های منتهی به تالاب بوده است، به علاوه احداث جاده‌ها و خاکریز علاوه بر قطع ارتباط آبی بخش‌هایی از تالاب سبب تبدیل آن‌ها به شوره‌زار و خشکی شده است. احداث سد کرخه و در نتیجه عدم رعایت حق‌آبه تالاب، دخل و تصرفات انسانی از جمله جاده‌سازی، فعالیت‌های نفتی و تعرض به زمین‌های تالاب سبب شده که برخی از قسمت‌های تالاب کاملاً خشک شوند در نتیجه قطعه‌قطعه شدن تالاب و افزایش لکه‌های خشکی و شوری، خشک شدن تالاب در حال گسترش است. این روند بیان می‌دارد که افزایش دخالت‌های انسانی به افزایش روند تخریب منتهی خواهد شد. با این وجود اقداماتی برای جلوگیری از تخریب و از بین رفتن این تالاب مهم شده است. کشور ایران یکی از پیشروترین کشورها در زمینه موضوعات مربوط به حفاظت از تنوع زیستی در جهان بوده و خاستگاه کنوانسیون رامسر نیز در ایران واقع شده. این کنوانسیون یکی از مهم‌ترین معاهده‌های بین‌المللی در زمینه حفاظت از تنوع زیستی و زیستگاه‌های آن‌ها (محیط‌های تالابی) است. تالاب هورالعظیم نیز از این قاعده مستثنی نبوده، و اقداماتی جهت پایداری محیط صورت گرفته است مثل احداث دایک‌های مرزی در بخش شرقی تالاب که در خاک کشورمان قرار دارد، پر آب می‌باشد. این امر بیانگر پیامد استفاده از راهکارهای مناسب در جهت حفظ منابع طبیعی می‌باشد. چنانچه بتوان با روش‌های دیگر علاوه بر حفظ شرایط موجود مقدمات گسترش منابع آبی را نمائیم، می‌توان بسیاری از مشکلات طبیعی نظیر نابودی حیات وحش، گسترش آلودگی‌های جوی و ریزگردها، گسترش بیماری‌ها و موارد دیگر را گرفت.

منابع

- ابراهیمی خوسفی، محسن (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهنه‌های آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان*، ۲۱ (۷۱)، ۱۳۹-۱۶۵. doi: 10.22111/GDIJ. 2023.7598
- احمدی‌ندوشن، مژگان؛ سفینیان، علی‌رضا؛ خواجه‌الدین، سید جمال‌الدین (۱۳۸۸). تهیه نقشه پوشش‌اراضی شهر اراک با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۴۱ (۶۹)، ۸۳-۹۸. https://jphgr. t.ac.ir/article_21515.html
- اکبری، الهه؛ شکارآبادی، علی (۱۳۹۳). *پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI با نمونه‌های کاربردی در علوم زمین، نقشه‌برداری، جغرافیا و محیط‌زیست*. تهران، نشر ماهواره.
- باقری، محمدحسین؛ باقری، علی؛ سهولی، غلام عباس (۱۳۹۵). تحلیل تغییرات پهنه آبی دریاچه بختگان تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۲ (۳)، ۱-۱۱. https://www.iwrr.ir/article_41333.html
- پاپهن‌شوشتری، مهدی (۱۳۸۷). طرح جامع مدیریت تالاب هورالعظیم. دانشگاه شهید چمران اهواز، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان خوزستان.
- چشم‌براه، فاطمه (۱۳۹۳). تأثیر تغییر پوشش‌اراضی بر بیابان‌زایی با استفاده از سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: دشت ابرکوه). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.
- خدمتگزاردولتی، معصومه (۱۳۹۰). تهیه نقشه پوشش‌اراضی با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای (منطقه سفارود). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد منابع طبیعی، دانشگاه گیلان.
- خسروی، محمود (۱۳۸۹). تحلیل زمانی- فضایی پایداری دریاچه‌های هامون. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۶ (۳)، ۶۸-۷۹. https://www.iwrr.ir/article_15984.html
- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر (۱۳۸۸). *مطالعات جامع هورالعظیم*. اداره کل شیلات خوزستان.
- رسولی، علی‌اکبر (۱۳۸۷). *مبانی سنجش‌ازدور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای*. انتشارات دانشگاه تبریز.

- رضایی لیواری، ولی (۱۳۹۱). کاربرد سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در تغییرات زمانی مشخصات کمی بدنند. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد منابع طبیعی، دانشگاه تربیت‌مدرس.
- شرکت مهندسی مشاور ساز آب پردازان (۱۳۸۳). *بازنگری مطالعات مرحله اول ساماندهی هورالعظیم*. شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان.
- عبادی، معصومه (۱۳۹۸). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در ارزیابی تغییرات کاربری‌اراضی تالاب هورالعظیم و تاثیر تغییرات در اکوسیستم منطقه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۸۶). *سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین*. چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۹۲). کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین (علوم خاک). چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران.
- علی بخشی، ترانه؛ عزیزی، زهرا؛ وفایی نژاد، علیرضا؛ آقامحمدی زنجیرآبادی، حسین (۱۳۹۹). بررسی تغییرات مساحت پهنه‌های آبی حوضه آبریز سد شهید عباسپور ناشی از سیل‌های ۲۰۱۹ با استفاده از Google Earth Engin. *مجله اکوهیدرولوژی*، ۷ (۲)، ۳۴۵-۳۵۷. doi: 10.22059/IJE.2020.295785.1272
- فاطمی، سیدباقر؛ رضایی، یوسف (۱۳۹۳). *مبانی سنجش‌ازدور*. چاپ چهارم، تهران، انتشارات آزاده تهران.
- فولادوند، سمیرا؛ صیاد، غلامرضا؛ حمادی، کاظم؛ معاضد، هادی (۱۳۹۰). بررسی تحولات کمی آب ورودی به تالاب هورالعظیم در اثر احداث سد مخزنی کرخه. *علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۶ (۴)، ۱-۸. doi: 20.1001.1.25885952.1392.36.4.1.8
- فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۸۶). مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا در تهیه نقشه‌های پوشش‌اراضی (مطالعه موردی: جلگه شرقی دریاچه ارومیه). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد (RS & GIS)، دانشکده علوم‌انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.
- قربانی، رسول؛ تقی‌پور، علی‌اکبر؛ محمودزاده، حسن (۱۳۹۰). ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری‌اراضی محدوده تالاب‌های بین‌المللی آلاگل، آلماکل و آجی گل ترکمن صحرا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳ (۴)، ۱۶۸-۱۸۶. https://gep.ui.ac.ir/article_18573.html
- لرستانی، قاسم و شهریار، علی (۱۳۹۰). کاربرد ENVI در سنجش‌ازدور (تحلیل و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای). انتشارات دانشگاه تهران.
- محمد اسماعیل، زهرا (۱۳۸۹). پایش تغییرات پوشش اراضی کرج با استفاده از تکنیک سنجش از دور. *نشریه پژوهش خاک (علوم و آب)*، ۲۴ (۱)، ۸۱-۸۸. doi: 10.22092/IJSR.2010.126531
- مظفری، غلامرضا؛ نارنگی فرد، مهدی (۱۳۹۳). بررسی میزان بارش بر تغییر سطح آب دریاچه مهارلو با استفاده از داده‌های سنجش از دور. *فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب*، ۶ (۱)، ۷۳-۸۲. <https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-192-fa.html>
- مغانی‌رحیمی، فریبا؛ مزیدی، احمد؛ غفاریان‌المیری، حمیدرضا (۱۴۰۱). بررسی توسعه شهری و تغییرات پوشش اراضی محدوده شهر ابرکوه با استفاده از تلفیق باندهای تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸. *فصل‌نامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۳۱ (۱۲۱)، ۱۲۸-۱۴۱. doi: 10.22131/sepehr.2022.252773
- ملکی، سعید؛ سفیانیان، علی‌رضا؛ سلطانی‌کوپائی، سعید؛ پورمنافی، سعید؛ شیخ‌الاسلام، فرید (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات پهنه آبی تالاب هامون در دوره آبیگری سالیانه و تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۴ (۱)، ۲۲۵-۲۱۶.
- نخعی‌نژادفرد، سارا؛ غلامی، حمید؛ اکبری، داوود؛ تلفر، مت؛ رضایی، مرضیه (۱۳۹۸). ارزیابی الگوریتم‌های مختلف ادغام تصاویر در تهیه نقشه شاخص‌های گیاهی. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۸ (۱۱۲)، ۱۹۹-۲۱۷. doi: 10.22131/sepehr.2020.38616
- نیازی، یعقوب؛ اختصاصی، محمدرضا؛ ملکی‌نژاد، حسین؛ حسینی، سیدزین‌العابدین (۱۳۸۹). مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه‌های پوشش‌اراضی. *مطالعه موردی: حوزه سد ایلام*. جغرافیا و توسعه، ۸ (۲۰)، ۱۱۹-۱۳۲. https://gdij.usb.ac.ir/article_633.html

References

Abpardazan Consultancy Engineering Company. (2013). *revision of the studies of the first stage of organizing Horul Azim*. Khuzestan Water and Electricity Organization Joint Stock

- Company. (In Persian).
- Afzali, R., Kamran Dastjerdi, H., Zibasaz Khoshmanzareh, S., Zaki, Y., & Yazdanpanah Dero, Q. (2022). Monitoring of water resources and vegetation in the Helmand Basin using satellite image time-series and border hydro-political challenges. *Water Policy*, 8 (24), 122- 246. doi: 10.2166/wp.2022.280.
- Ahmadi Nedushan, M., Sufianian, A.R., & Khwaja-al-Din, S. J.D. (2009). Preparation of land cover map of Arak city using artificial neural network and maximum likelihood classification methods. *Natural Geographical Researches*, 41 (69), 83-98. https://jphgr.t.ac.ir/article_21515.html (In Persian)
- Akbari, E., & Shikarabadi, A. (2013). *Processing and extracting information from satellite data using ENVI software with applied examples in earth sciences, mapping, geography and environment*. Geography and Environment, Tehran, Satellite Publishing. (In Persian).
- Alavi-Panah, S. K. (2006). *Thermal remote sensing and its application in earth sciences*. Swcond edition, Tehran, Tehran University Press. (In Persian).
- Alavi-Panah, S. K. (2012). *Application of Remote Sensing in Earth Sciences (Soil Sciences)*. 4th edition, Tehran University Press. (In Persian).
- Ali Bakshi, T., Azizi, Z., Vafajejad, A., & Aghamohammadi Zanjerabadi, H. (2019). Investigating the changes in the area of the water areas of Shahid Abbasour dam catchment area due to the floods of 2019 using Google Earth Engine. *Ecohydrology magazine*, 7 (2), 345-357. doi: 10.22059/IJE.2020.295785.1272 (In Persian).
- Bagheri, M. H., Bagheri, A., & Sehouli, G. A. (2015). Analysis of changes in the water area of Bakhtegan Lake under the influence of natural and human factors. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 12 (3), 1-11. https://www.iwrr.ir/article_41333.html (In Persian).
- Campos, J.C., Sillero, N., & Brito, J.C. (2012). Normalized difference water indexes have dissimilar performances in detecting seasonal and permanent water in the Sahara–Sahel transition zone. *Journal of Hydrology*, 1 (25), 438-446. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.07.042.
- Cheshm-Barah, F. (2013). *the effect of land cover change on desertification using remote sensing (case study: Abarkoh Plain) Mokhtari*. Faculty of Natural Resources and Desertology, Yazd University. (In Persian).
- Deoli, V., & Kumar, D. (2020). Analysis of groundwater fluctuation using GRACE satellite data. *Indian Journal of Ecology*, 4 (96), 299-302.
- Ebadi, M. (2018). *The use of satellite images in the assessment of land use changes in the Horul Azim wetland and the impact of changes on the region's ecosystem*. Master's thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Earth Sciences. (In Persian).
- Ebrahimi Khosfi, M. (2023). Analysis of changes in the area of Hamon wetlands and other water areas in Sistan region using satellite images. *Geography and Development, University of Sistan and Baluchistan*, 21 (71), 139- 165. doi: 10.22111/GDIJ.2023.7598 (In Persian).
- Faizizadeh, B. (2016). *Comparison of pixel-based and object-oriented methods in the preparation of land cover maps (case study: eastern plain of Lake Urmia)*. Master's Thesis (RS & GIS), Faculty of Human Sciences and social of Tabriz University. (In Persian).
- Fatemi, S.B., & Rezaei, Y. (2012). *Remote Sensing Foundations*. Basics of remote sensing. 4th edition, Azadeh Publishing House, Tehran. (In Persian).
- Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S.R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 23 (140), 23-35. doi: 10.1016/j.rse.2013.08.029.
- Foladvand, S., Sayad, Gh., Hammadi, K., & Moazed, H. (2013). investigation of quantitative changes of water entering Horul Azim wetland due to the construction of Kark-heh reservoir dam. *the first national conference on strategies to achieve sustainable agriculture, Payam Noor University, Khuzestan province*, 36 (4), 1-8. doi:

- 20.1001.1.25885952.1392.36.4.1.8 (In Persian)
- Ghorbani, R., Taghipour, A.A., & Mahmoudzadeh, H. (1990). Evaluation and analysis of land use changes in the area of Alagol, Almagol and Ajigol international wetlands of the Turkmen Sahara using multi-temporal satellite images. *Geography and Environmental Planning*, 23 (4), 168-186. https://gep.ui.ac.ir/article_18573.html (In Persian).
- Khedmat gozar dolati, M. (2013). *preparation of land cover map using principal component analysis on satellite images (Shagarud region)*. Natural Resources Master's Thesis, Gilan University. (In Persian).
- Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology. (2018). *Horul Azim Comprehensive Studies*, Khuzestan Fisheries Directorate. (In Persian).
- Khosravi, M. (2009). Temporal-spatial analysis of the stability of Hamon Lakes. *Iran Water Resources Research Journal*, 6 (3), 68-79. https://www.iwrr.ir/article_15984.html (In Persian).
- Lorestani, Q., & Shahriar, A. (2018). *Application of ENVI in Remote Sensing (Analysis and Interpretation of Satellite Images)*. Tehran University Publications. (In Persian).
- Maleki, S., Koupaei, S.S., Soffianian, A., Saatchi, S., Pourmanafi, S., & Rahdari, V. (2019). Human and climate effects on the Hamoun wetlands. *Weather, Climate, and Society*, 3 (11), 609-622. doi: 10.1175/WCAS-D-18-0070.1.
- Maleki, S., Sufianian, A.R., Soltani-Kopai, S., Pourmanafi, S., & Sheikh-ul-Islam, F. (2017). Analysis of changes in the water area of Hamon wetland during the annual water withdrawal period and changes in land use and land cover in the region. *Research Journal Sources of Iran*, 14 (1), 216- 225. (In Persian).
- Meyer, W. B., & BL Turner, I. I.)1994). Changes in land use and land cover: a global perspective Vol. 4. Cambridge microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change*, 25 (11), 49-65. doi: 10.4236/oje.2021.117032.
- Moghani-Rahimi, F., Mazidi, A., & Ghafarian-Malmiri, H. (2022). Investigating urban development and land cover changes in Abarkoh city using the integration of Landat 7 and 8 satellite image bands. *Geographical Information Scientific Research Quarterly (Sapehr)*, 31 (121), 128- 141. doi: 10.22131/sepehr.2022.252773 (In Persian).
- Mohamed, A. R. M., Hussain, N. A., Al-Noor, S. S., Mutlak, F. M., Al-Sudani, I. M., Mojer, A. M., Toman, A.J., & Abdad. M. A. (2008). Fish assemblage of restored AL-Hawizeh marsh, Southern Iraq. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 4 (8), 1-20. doi: 10.2478/v10104-009-0029-5.
- Mohammad Ismail, Zahra. (2010). monitoring land cover changes in Karaj using remote sensing technique. *Soil Research Journal (Science and Water)*, 24 (1), 81- 88. doi: 10.22092/IJSR.2010.126531 (In Persian).
- Mozafari, Gh., & Narangi Fard, M. (2014). Investigating the amount of precipitation on the water level change of Maharlo lake using remote sensing data. *Wetland Ecobiology Research Quarterly, Islamic Azad University Ahvaz Branch*, 6 (1), 73-82. <https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-192-fa.html> (In Persian).
- NakhaiNajadfard, S., Gholami, H., Akbari, D., Telfer, M., & Rezaei, M. (2018). Evaluation of different image integration algorithms in the preparation of plant index maps. *Geographical Information Scientific Research Quarterly (Sephehr)*, 28 (112), 199-2017. doi: 10.22131/sepehr.2020.38616 (In Persian).
- Nandi, D., Chowdhury, R., Mohapatra, J., Mohanta, K., & Ray, D. (2018). Automatic delineation of water bodies using multiple spectral indices. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 4 (4), 498-510.
- Nhu, V.H., Mohammadi, A., Shahabi, H., Shirzadi, A., Nadhir, A., Baharin Bin, A., Chen, W., Khodadadi, M., Ahmadi, M., Khosravi, K., Jaafari, A., & Nguyen, H. (2020). Monitoring and Assessment of Water Level Fluctuations of the Lake Urmia and Its Environmental Consequences Using Multitamporal Landsat 7 ETM Image. *Int J Environ Res Public Health*, 8 (24). doi: 10.3390/ijerph17124210.
- Niazi, Y., Ekhtasasi, M., Maleki-Nejad, H., & Hosseini, S. A.A. (2009). Comparison of two

- methods of maximum likelihood classification and artificial neural network in extracting land cover maps. Case study: Ilam Dam area. *Geography and Development*, 8 (20), 119-132. https://gdij.usb.ac.ir/article_633.html (In Persian).
- Paphen Shoshtri, M. (2017). *Horul Azim Wetland Management Master Plan*. Shahid Chamran University of Ahvaz, General Department of Environmental Protection of Khuzestan Province. (In Persian).
- Rasouli, A.A. (2008). *Fundamentals of Applied Remote Sensing with Emphasis on Satellite Image Processing*. Tabriz University Publications. (In Persian).
- Rezaei Livari, V. (2012). *Application of remote sensing and geographic information system in temporal changes of quantitative characteristics*. Master's thesis on natural resources, Tarbiat Modares University. (In Persian).
- Sarp, G., & Ozcelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 3(11), 381-391. doi: 10.1016/j.jtusci.2016.04.005
- Shwetank, JK., & Bhatia, K. (2010). Review of rice crop identification and classification using hyper-spectral image processing system. *International Journal of Computer Science & Comm-unication*, 1 (1), 253- 258.
- Valerio, B., Raffaella, B., Donatella, D., & Fabio, R.I. (2012). Coastline Detection Using High Resolution Multispectral Satellite Images. *Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage Rome, Italy*, 6 (10), 1-15.
- Varol, C., Ercoskun, O., & Gurer. Y. (2010). Local participatory mechanisms and collective actions for sustainable urban development in Turkey. *Habitat International*, 1 (35), 9- 16. doi: 10.1016/j.habitatint.2010.02.002.
- Vitteck, M., Brink, A., Donnay, F., Simonetti, D., & Desclée, B. (2014). Land Cover Change Monitoring Using Landsat MSS/TM Satellite Image Data over West Africa between 1975 and 1990. *Remote sensing*, 6 (1), 658- 676. doi: 10.3390/rs6010658.
- Xie, H., Luo, X., Xu, X., Pan, H., & Tong, X. (2016). Evaluation of Landsat 8 OLI imagery for unsupervised inland water extraction. *International Journal of Remote Sensing*, 37(8), 1826-1844. doi: 10.1080/01431161.2016.1168948.

