

Comparative evaluation of the effectiveness of fuzzy operators of Object-Based processing of satellite images in monitoring vegetation changes in the Karkheh watershed

 Seyed Akbar Hosseini¹ ,
 Mostafa Karampour^{*2} ,
 Amir Hossein Halabian³ ,
 Behrouz Nasiri⁴

1- PhD student in Meteorology, Lorestan University, Lorestan, Iran. Email: hosseini.s.akbar@gmail.com

2- (*Corresponding author) Associate professor, Department of geography, Lorestan University, Lorestan, Iran..Email: karampour.m@lu.ac.ir

3- Associate professor, Department of geography, Payam Noor University, Tehran, Iran. Email: am_halabian@pnu.ac.ir

4- Associate professor, Department of geography, Lorestan University, Lorestan, Iran. Email: nasiri.b@lu.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2025/06/01

Date of last review:

2025/09/30

Date of accept:

2025/09/30

Date of online publication:

2025/09/30

Keywords:

Remote sensing,
Fuzzy,
Object Based,
Monitoring,
Karkheh

Extended Abstract

Introduction

Vegetation is an indicator of ecosystem health and plays an important role in maintaining ecological balance, regulating the water cycle, and facilitating the flow of matter and energy. The dynamics of vegetation caused by environmental stresses and human activities are increasing and require continuous long-term monitoring and surveillance. With the development of remote sensing technology, remote sensing images have been widely used in vegetation survey work.

Materials & Methods

In this study, multispectral images from the Landsat satellite were used, including time series from 1994 (Landsat 5), 1999 (Landsat 5), 2004 (Landsat 5), 2009 (Landsat 7), 2014 (Landsat 8), 2019 (Landsat 8), and 2024 (Landsat 8). After obtaining the desired time series images from the Google Earth Engine system, the desired images were called in the ENVI 5.6 software environment and cropped using the shapefile of the study area. Then, the desired images were saved in TIFF format. Pre-processing operations, including radiometric and atmospheric corrections, were performed on all images. eCognition software was used for segmentation and also classification based on object-oriented fuzzy operators. In order to perform object-oriented processing of images, image segmentation was performed at this stage. ... ► Page 164

How to Cite:

Hosseini, S.A. Karampour, M. Halabian, A.H. Nasiri, B. (2025). Comparative evaluation of the effectiveness of fuzzy operators of Object-Based processing of satellite images in monitoring vegetation changes in the Karkheh watershed. Scientific -Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(135), 163-182.

In the segmentation stage, satellite images were segmented based on different scales, shape factors, and compression factors to achieve the optimal scale, shape factors, and compression factors, and after achieving the optimal segmentation conditions, two classes were created under the title of vegetation cover and non-vegetation cover.

Subsequently, the training points required for each class were determined to train the algorithm used. Then, using fuzzy operators, including AND, OR, MGE, MAR, MGWE, and ALP, the classification process was performed based on object-oriented processing of satellite images.

Results & Discussion

With the aim of producing image objects, the segmentation process was performed at different scales, shape factors and compression factors to achieve optimal segmentation. At this stage, the multi-resolution segmentation method was used for image segmentation. The most optimal segmentation included a scale of 40, a shape factor of 0.3 and a compression factor of 0.7. Because at scales higher than 40, the creation of image objects was not performed well. After the segmentation and generation of image objects were completed, two classes of vegetation cover and non-vegetation cover were created, and a number of image objects produced in the segmentation stage were selected as training points and a number were selected as ground reality points. At this stage, classification was performed based on the nearest neighbor algorithm and by selecting parameters such as mean, standard deviation, skewness, and texture for each band.

Conclusion

The results showed that the fuzzy AND operator, with an overall accuracy of 97.38% and a kappa coefficient of 0.9818, performed best in monitoring vegetation cover in the Karkheh watershed. A 30-year Landsat time series analysis revealed an approximately 18% decline in vegetation cover. This trend, driven by both human and natural factors, poses a serious threat to ecological sustainability and local communities, highlighting the urgent need for comprehensive policies on vegetation protection and restoration.



صفحات ۱۸۲ - ۱۶۳

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۵، پاییز ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

doi <https://doi.org/10.22131/sepehr.2025.2059184.3134>

ارزیابی مقایسه‌ای کارآیی عملگرهای فازی پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در پایش تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبریز کرخه

سیداکبر حسینی^۱، مصطفی کرم‌پور^{۲*}، امیرحسین حلییان^۳، بهروز نصیری^۴

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران hosseini.s.akbar@gmail.com
 ۲- (*نویسنده مسئول) دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران karampoor.m@lu.ac.ir
 ۳- دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران am_halabian@pnu.ac.ir
 ۴- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران nasiri.b@lu.ac.ir

چکیده

پوشش گیاهی شاخص سلامت اکوسیستم است و نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیکی، تنظیم چرخه آب و تسهیل جریان ماده و انرژی دارد. پویایی پوشش گیاهی ناشی از تنش‌های محیطی و فعالیت‌های انسانی در حال تسریع است و نیاز به پایش و نظارت طولانی مدت مداوم دارد. با توسعه فناوری سنجش از دور، تصاویر سنجش از دور به‌طور گسترده در کار بررسی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این پژوهش، ارزیابی مقایسه‌ای کارآیی عملگرهای فازی پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در پایش تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبریز کرخه با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره لندست است. در راستای این هدف، پس از تهیه تصاویر سری زمانی سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۸، ۱۳۸۳، ۱۳۸۸، ۱۳۹۳، ۱۳۹۸ و ۱۴۰۳ از سامانه گوگل ارث انجین، با استفاده از رویکرد پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای و عملگرهای AND، OR، MGE، MAR، MGWE استفاده از مقیاس، ضریب شکل و ضریب فشردگی بهینه انجام شد و پس از آن دو کلاس پوشش گیاهی و غیر پوشش گیاهی ساخته شد و نمونه‌های تعلیماتی نیز انتخاب شدند. در مرحله بعد طبقه‌بندی انجام گرفت و برای تعیین دقت طبقه‌بندی، با استفاده از نقاط کنترل واقعیت زمینی انتخابی، دقت کلی و ضریب کاپا برای نقشه‌های تولیدی محاسبه شدند. نتایج پژوهش نشان داد که عملگر فازی AND با دقت ۹۷/۳۸ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۸۱۸ بهترین عملکرد را در پایش پوشش گیاهی حوضه کرخه دارد. تحلیل سری زمانی تصاویر لندست طی ۳۰ سال گذشته کاهش حدود ۱۸ درصدی پوشش گیاهی را آشکار کرد. این روند که ناشی از عوامل انسانی و طبیعی است، تهدیدی جدی برای پایداری اکولوژیکی و جوامع محلی محسوب می‌شود و ضرورت اتخاذ سیاست‌های جامع حفاظت و احیای پوشش گیاهی را برجسته می‌نماید.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۷/۰۸

واژه‌های کلیدی:

سنجش از دور؛

فازی؛

شی‌گرا؛

پایش؛

کرخه

استناد به این مقاله:

حسینی، س.الف؛ کرم‌پور، م؛ حلییان، الف.ح؛ نصیری، ب (۱۴۰۴) ارزیابی مقایسه‌ای کارآیی عملگرهای فازی پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در پایش تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبریز کرخه؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴(۱۳۵)، ۱۸۲ - ۱۶۳.

۱- مقدمه

پوشش گیاهی یکی از عناصر اصلی زیست‌بوم‌های محیطی است که نقش مهمی در روابط متقابل سطح زمین و اتمسفر ایفا می‌کند. پوشش گیاهی از طریق ترسیب کربن نقش اساسی در مبارزه با بیابان‌زایی، افزایش رفاه انسانی و کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد. به همین دلیل پوشش گیاهی یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی شرایط زیست‌بوم است (Zhang et al., 2024). پوشش گیاهی نقش مهمی در حفظ یکپارچگی ساختاری و عملکردی اکوسیستم‌های روی زمین دارد و یک پارامتر مهم در تنظیم چرخه‌های بیوژئوشیمیایی سطح زمین است. پوشش گیاهی همچنین نقش مهمی در تنظیم چرخه‌های کربن زمینی، تأثیرگذاری بر تبادل انرژی سطحی و تعادل آب در مقیاس منطقه‌ای و جهانی ایفا می‌کند. لذا هرگونه تغییر در الگوی پوشش گیاهی می‌تواند نشان‌دهنده تحولات ساختاری رخ داده در یک منطقه باشد. تغییرات پوشش گیاهی عمدتاً به تغییرات متغیرهای آب و هوایی مانند بارندگی و دما مربوط می‌شود. بررسی پویایی پوشش گیاهی برای درک روابط پوشش گیاهی و آب و هوا در مقیاس‌های منطقه‌ای، به منظور توسعه پایدار و حفاظت از منابع طبیعی مهم است (Pradhan et al., 2024). پوشش گیاهی شاخص سلامت اکوسیستم است و نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیکی، تنظیم چرخه آب و تسهیل جریان ماده و انرژی دارد (C. Zhao et al., 2024). پویایی پوشش گیاهی ناشی از تنش‌های محیطی و فعالیت‌های انسانی در حال تسریع است و نیاز به پایش و نظارت طولانی مدت مداوم دارد (Wang et al., 2022). پایش پوشش گیاهی سنتی عمدتاً براساس بررسی‌های میدانی صورت می‌گیرد که برای مناطق بزرگ ناکارآمد است. با توسعه فناوری سنجش از دور، تصاویر سنجش از دور به‌طور گسترده در کار بررسی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سنجش از دور ماهواره‌ای به دلیل مزیت‌هایی چون داشتن پوشش فضایی در مقیاس وسیع و مشاهده محیطی به‌صورت سری زمانی طولانی

مدت، به‌طور گسترده در پایش پوشش گیاهی در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود. روش‌های استخراج پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور شامل دو روش مبتنی بر پیکسل و مبتنی بر شیء است. روش مبتنی بر پیکسل، از پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای به‌عنوان کوچک‌ترین واحد طبقه‌بندی استفاده می‌کند و از اطلاعات موجود در هر پیکسل برای قضاوت در مورد کلاس پوشش گیاهی استفاده می‌کند. این روش، ویژگی‌های پیکسل‌های اطراف را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین در این روش یک پدیده با طیف‌های مختلف و همچنین یک طیف یکسان از پدیده‌های مختلف وجود دارد (Cao et al., 2024). از این‌رو در روش پردازش پیکسل پایه تصاویر ماهواره‌ای، وجود ناهمگونی در محیط بیوفیزیکی باعث ایجاد اختلاط طیفی و شباهت‌های طیفی در عملیات طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. به‌نحوی که در مکانی که یک پیکسل با پیکسل‌های محیط اطراف خود تفاوت داشته باشد، نوفه فلفل نمکی^۲ به‌وجود می‌آید (Hartoni et al., 2022). تفاوت روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا به واحد اساسی پردازش برمی‌گردد. به‌طوری که واحد اساسی پردازش در روش‌های پیکسل پایه همان تک پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای است، در حالی که واحد اصلی پردازش روش شیء‌گرا براساس گروهی از پیکسل‌ها است که به‌عنوان اشیاء تصویری، از تقسیم‌بندی تصویر ماهواره‌ای تولید می‌شوند (Norris et al., 2024). روش‌های پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای نه تنها از نوفه فلفل نمکی روش‌های طبقه‌بندی سنتی مبتنی بر پیکسل جلوگیری می‌کنند، بلکه در مقایسه با روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل سنتی که فقط می‌توانند از اطلاعات طیفی پیکسل برای طبقه‌بندی استفاده کنند، می‌توانند اطلاعات بافت، شکل، تن، روابط هندسی و توپولوژی را نیز ادغام کنند (X. Zhao et al., 2024).

محققان برای پایش تغییرات پوشش گیاهی، طبقه‌بندی کننده‌های مختلف را براساس عملکرد و میزان دقت آن‌ها

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۸)

ارزیابی مقایسه‌ای کارایی عملگرهای فازی پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای در... / ۱۶۷

نشان داده که روش فازی شیء‌گرا با دقت کلی ۹۸ درصد عملکرد بهتری نسبت به روش نزدیک‌ترین همسایگی با دقت ۹۵ درصد داشته است (رضائی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). موسی‌پور و همکاران (۱۴۰۴) با هدف پایش رشد و گسترش شهری کلان‌شهر تبریز، با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره سنتینل-۲، توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان پیکسل‌پایه و عملگرهای فازی مبتنی بر پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای را با هم مقایسه نمودند. نتایج مطالعه این پژوهشگران نشان‌دهنده عملکرد بهتر عملگر فازی AND نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد استفاده است (موسی‌پور و همکاران، ۱۴۰۴). بنابراین با توجه به مشکلات موجود در روش پردازش پیکسل‌پایه تصاویر ماهواره‌ای، هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی مقایسه‌ای کارایی عملگرهای فازی پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای در پایش تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبریز کرخه با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره لندست است. در این پژوهش برای اولین بار به این موضوع در محدوده مورد مطالعه پرداخته شده که این امر جنبه نوآوری پژوهش را توجیه می‌نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، حوضه آبریز رودخانه کرخه است. حوضه آبریز رودخانه کرخه در ناحیه غربی ایران، در مناطق میانی و جنوبی کوه‌های زاگرس قرار گرفته است. مساحت حوضه آبریز رودخانه کرخه در حدود ۵۰۷۶۸ کیلومتر مربع هست که در حدود ۳۳۶۷۴ کیلومتر مربع آن را کوهپایه و حدود ۱۷۵۹۴ کیلومتر مربع آن را دشت تشکیل داده است (صفری و همکاران، ۱۴۰۲). این حوضه از لحاظ مختصات جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۶ دقیقه و ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و بین ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۴ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و از شمال به حوضه آبریز سفید رود و از غرب به حوضه‌های

مورد بررسی قرار داده‌اند که می‌توان به این موارد اشاره نمود. Brink و Eva (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست اقدام به پایش تغییرات پوشش گیاهی جنوب صحرائ آفریقا در سری زمانی دوره ۲۵ ساله نمودند و به این نتیجه رسیدند که مقدار پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه کمتر شده و در مناطق بایر افزایش داشته است (Brink & Eva, 2009).

Kang و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI^۱) و پردازش تصاویر سری زمانی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ سنجنده مودیس به آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی منطقه خودمختار مغولستان داخلی در کشور چین پرداختند. نتیجه کار این محققین بیانگر کاهش ۱۰ درصدی میزان پوشش گیاهی منطقه است (Kang et al., 2021).

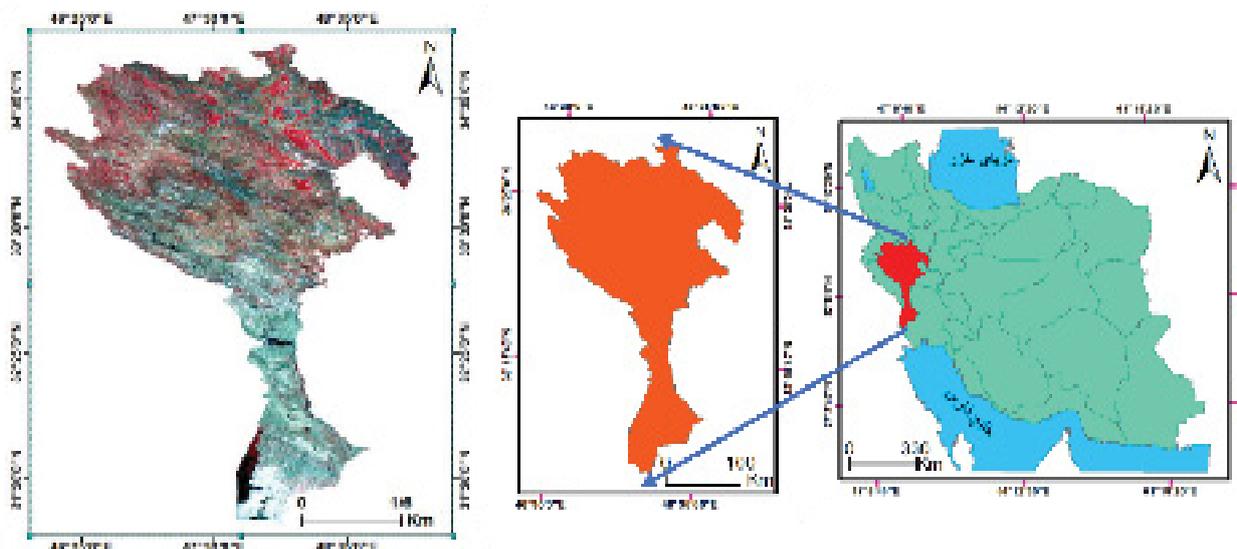
Hussain و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر سری زمانی سال‌های ۱۹۸۴ الی ۲۰۲۰ ماهواره لندست و با به‌کارگیری الگوریتم حداکثر احتمال، اقدام به پایش تغییرات پوشش گیاهی در شهر وهاری واقع در ایالت پنجاب پاکستان نمودند. نتیجه پژوهش این محققین کاهش ۱۴/۵ درصدی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد (Hussain et al., 2022).

de Oliveira و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از الگوریتم حداقل فاصله اقلیدسی در بستر سامانه گوگل‌ارث انجین اقدام به طبقه‌بندی و پایش تغییرات پوشش گیاهی در شهر ایپوکسینا^۲ واقع در ایالت پارا در برزیل نمودند و به این نتیجه رسیدند که مقدار پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه آن‌ها در محدوده سال‌های ۲۰۱۶ الی ۲۰۲۳ به مقدار ۲۱/۹ درصد کاهش پیدا کرده است (de Oliveira et al., 2024).

رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و تکنیک‌های طبقه‌بندی شیء‌گرا (شامل الگوریتم‌های فازی و نزدیک‌ترین همسایگی) پهنه‌های آبی را استخراج و مقایسه کردند. نتایج این پژوهش

1- Normalized Difference Vegetation Index

2- Ipixuna



نگاره ۱: محدوده منطقه مورد مطالعه

(لندست ۵)، ۱۳۸۳ (لندست ۵)، ۱۳۸۸ (لندست ۷)، ۱۳۹۳ (لندست ۸)، ۱۳۹۸ (لندست ۸) و ۱۴۰۳ (لندست ۸) استفاده شد. تصاویر، مربوط به ماه‌های خرداد و تیر ماه هستند که با توجه به گستره وسیع محدوده مورد مطالعه و همچنین بالا بودن حجم تصاویر، تصاویر مورد نیاز از سامانه گوگل ارث انجین^۲ بارگیری شدند که امکان دسترسی به آرشیو بلند مدت داده‌های سنجش از دور را فراهم می‌کند (Hussain *et al.*, 2022). به منظور بارگیری تصاویر مورد نیاز از سامانه گوگل ارث انجین، از گذر ۱۶۵ الی ۱۶۸ و ردیف ۳۶ الی ۳۹ استفاده شد. پس از دریافت تصاویر سری زمانی مورد نظر از سامانه گوگل ارث انجین، در محیط نرم‌افزار ENVI 5.6 تصاویر مورد نظر فراخوانی و با استفاده از شیپ فایل منطقه مورد مطالعه برش زده شد. سپس، تصاویر مورد نظر با فرمت TIFF ذخیره شدند. عملیات پیش پردازش، شامل تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری بر روی کلیه تصاویر انجام شد (Wang *et al.*, 2022). از نرم‌افزار ایکاگنیشن^۳ برای قطعه‌بندی^۴ و همچنین طبقه‌بندی مبتنی بر عملگرهای فازی شی‌گرا استفاده شد (Feizizadeh *et al.*, 2017). برای انجام پردازش شی‌گرای

آبریز مرزی، از شرق به حوضه آبریز دز و از جنوب به کرخه سفلی محدود می‌شود. حوضه آبریز رودخانه کرخه با نام اختصاری کرخه بزرگ یکی از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی قلمداد می‌شود. این حوضه زیرمجموعه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان به‌شمار می‌رود. آبراهه اصلی این حوضه، رود کرخه است که از تلاقی رودهای سیمره و زال در جنوب پلدختر تشکیل شده است. رژیم بارشی این حوضه اغلب مدیترانه‌ای است. حوضه مورد نظر بیش از نیمی از استان‌های لرستان و کرمانشاه و بخش‌هایی از استان‌های کردستان، همدان، ایلام و خوزستان را در بر می‌گیرد (سعدیان و شفیع‌زاده مقدم، ۱۴۰۰).

نگاره ۱ نقشه موقعیت حوضه آبریز رودخانه کرخه در ایران و تصویر ماهواره‌ای آن در باند مادون قرمز نزدیک را نشان می‌دهد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده و روش تحقیق

در این پژوهش از تصاویر چند طیفی^۱ ماهواره لندست، شامل سری زمانی سال‌های ۱۳۷۳ (لندست ۵)، ۱۳۷۸

2- Google Earth Engine

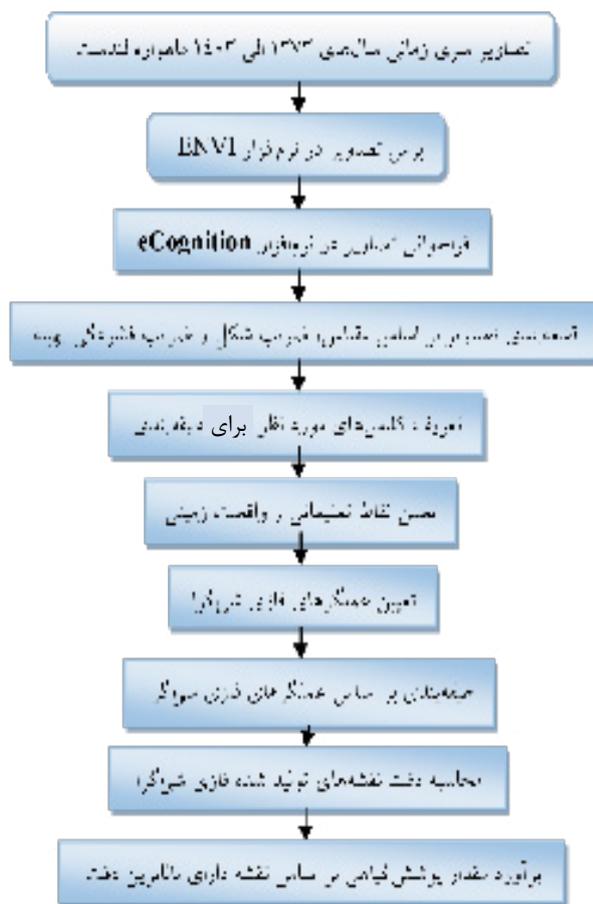
3- eCognition

4- Segmentation

1- Multi Spectral

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

ارزیابی مقایسه‌ای کارایی عملگرهای فازی پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در... / ۱۶۹



نگاره ۲: مراحل انجام پژوهش

۳- مبانی نظری تحقیق

۳-۱- پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای (OBIA)

تصاویر ماهواره‌ای حاصل از تکنیک‌های دورسنجی مشتمل بر ردیف‌ها و ستون‌هایی هستند که پیکسل نام دارند. پیکسل در واقع کوچک‌ترین واحد یک تصویر ماهواره‌ای است که حاوی مقدار بازتاب طیفی اندازه‌گیری شده توسط سنجنده است. نحوه پردازش تصاویر ماهواره‌ای عاملی اساسی و مهم در فرایند طبقه‌بندی محسوب می‌شود. بنابراین براساس نحوه پردازش تصاویر ماهواره‌ای، به صورت کلی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به دو رویکرد پردازشی مبتنی بر پیکسل و مبتنی بر شیء تقسیم‌بندی نمود. رویکردهای مبتنی بر پیکسل، هر پیکسل

تصاویر، در این مرحله اقدام به طبقه‌بندی تصویر شد. در مرحله طبقه‌بندی، اقدام به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای براساس مقیاس، ضریب شکل و ضریب فشردگی متفاوت برای رسیدن به مقیاس، ضریب شکل و ضریب فشردگی بهینه شد (Yilmaz et al., 2024) و پس از دستیابی به شرایط طبقه‌بندی بهینه، دو کلاس تحت عنوان پوشش گیاهی و غیر پوشش گیاهی ساخته شد. در ادامه، براساس تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای به خصوص در باند مادون قرمز نزدیک، شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی و همچنین با استفاده از سامانه گوگل ارث، تعداد ۴۱۱ شیء ساخته شده به عنوان نقاط تعلیماتی مورد نیاز کلاس‌ها، برای آموزش الگوریتم‌های مورد استفاده و همچنین تعداد ۱۸۶ نقطه نمونه واقعیت زمینی برای ارزیابی دقت تعیین شدند. در این مرحله سعی شد نقاط نمونه به صورت تصادفی انتخاب شوند و همچنین پراکنش این نقاط به گونه‌ای باشد که همه منطقه مورد مطالعه را پوشش دهند. سپس با استفاده از عملگرهای فازی، شامل AND، OR، MGE، MAR، MGWE و ALP فرایند طبقه‌بندی براساس پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت (Najafi et al., 2019). پس از طبقه‌بندی تصاویر، با استفاده از نقاط نمونه واقعیت زمینی، در مرحله پس‌پردازش، نقشه‌های تولیدی حاصل از مرحله پردازش که حاصل طبقه‌بندی پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای بودند از حالت رستری به حالت برداری تبدیل و با استفاده از نرم‌افزار Arc Map عملیات کارتوگرافیکی برای به دست آوردن نقشه‌های نهایی انجام شد. در نهایت براساس نقشه تولیدی دارای بالاترین مقدار دقت، برای پایش مقدار پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نگاره ۲ روند انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

برای هر عضو یک مجموعه معین در نظر می‌گیرد در حالی که منطق فازی یک منطق چند مقداری است که مقادیر واقع در محدوده صفر تا یک را برای هر عضو یک مجموعه معین در نظر می‌گیرد. در الگوریتم پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، مشخصات یک شیء تصویری را می‌توان با یک فضای ویژگی فازی تعیین نمود و با یک تابع عضویت، آن را توصیف نمود (Najafi et al., 2019). الگوریتم طبقه‌بندی فازی شیء‌گرا، اطلاعات مبهم، ناقص و نامشخص در فضای ورودی را براساس برخی از مجموعه قوانین تفسیر می‌کند. این الگوریتم، یک مجموعه فازی را توسط یک درجه عضویت تعریف می‌کند و ویژگی‌های هر شیء تصویری را براساس نسبت فازی اختصاص داده شده به آن شیء تصویری، مشخص می‌نماید. در پردازش فازی شیء‌گرا، هر کلاس حداقل با یک تابع عضویت توصیف می‌شود که این تابع، درجه عضویت را برای هر شیء تصویری تعریف می‌کند. مقادیر درجه عضویت در محدوده صفر (بدون عضویت) تا یک (عضویت کامل) واقع شده است (Kazemi Garajeh et al., 2022). پردازش فازی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای از مجموعه قوانین تصمیم‌گیری منطق فازی برای انجام فرایند طبقه‌بندی استفاده می‌کند و به‌عنوان یک روش طبقه‌بندی نرم شناخته می‌شود (Feizizadeh, 2018). جدول ۱ عملگرهای فازی شیء‌گرا را نشان می‌دهد.

۳-۳- ارزیابی دقت

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی^۱، یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی است. بنابراین باید در نظر داشت که همیشه پس از انجام طبقه‌بندی، نتایج آن نیز ارزیابی شوند. معمول‌ترین روش برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، انتخاب یک سری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی است. این داده‌های معلوم را واقعیت زمینی^۲ یا داده‌های مرجع^۳ می‌نامند که پس از انتخاب نمونه‌های

را با توجه به ویژگی‌های طیفی آن به یک کلاس اختصاص می‌دهند (Uça Avcı et al., 2011). بنابراین رویکرد پیکسل‌پایه بر پیکسل‌های منفرد متمرکز می‌شود و اطلاعاتی از قبیل بافت، اندازه اشیاء، شکل و رابطه فضایی موجود در پیکسل‌های مجاور هر پیکسل که می‌توان از آن‌ها برای افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده کرد را در نظر نمی‌گیرد. به همین دلیل در طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل امکان وجود نوفه فلغل نمکی وجود دارد (Ali et al., 2023). رویکرد مبتنی بر پیکسل از داده‌های چندطیفی و تکنیک‌های آماری برای طبقه‌بندی پیکسل‌ها براساس الگوهای طیفی آن‌ها استفاده می‌کند. با این حال، این روش دارای محدودیت‌هایی مانند طبقه‌بندی نادرست و عدم تطابق گستره‌های مکانی است. بر خلاف روش‌های مبتنی بر پیکسل، مؤلفه مهم در پردازش تصویر مبتنی بر شیء، قطعات تصویری است نه پیکسل‌های منفرد. اشیاء تصویری از طریق فرآیند قطعه‌بندی ایجاد می‌شوند. در فرایند قطعه‌بندی پارامترهایی مانند ناهمگونی، فشردگی، رنگ، شکل، ویژگی‌های فضایی، همسایگی، الگو و توپولوژی دخالت دارند (Vu Viet Du et al., 2024). در رویکرد مبتنی بر شیء، عملیات قطعه‌بندی با تک پیکسل شروع می‌شود و پس از آن پیکسل‌های مشابه با اندازه‌ها، شکل‌ها و ویژگی‌های مختلف به‌صورت اشیاء تصویری ترکیب می‌شوند تا هنگامی که به آستانه همگنی تعریف شده‌ای برسند. سه عامل اساسی که در فرآیند قطعه‌بندی نقش مهمی دارند عبارتند از مقیاس، شکل و فشردگی. میانگین اندازه شیء به‌طور مؤثر توسط پارامتر مقیاس کنترل می‌شود. پارامتر شکل بر جداسازی اشیاء تصویری تأثیر می‌گذارد. از سوی دیگر، پارامتر فشردگی تعیین می‌کند که مرزهای اشیاء تصویری واضح‌تر یا نرم‌تر باشند (Yilmaz et al., 2024).

۳-۲- طبقه‌بندی فازی شیء‌گرا

در علم ریاضی به‌طور کلی دو منطق دودویی و فازی به‌صورت جدا از هم وجود دارند. منطق دودویی منطقی دو مقداری است که فقط یکی از حالت‌های صفر یا یک را

1- Accuracy Assessment

2- Ground Truth

3- Reference Data

جدول ۱: عملگرهای فازی شیء‌گرا (Feizizadeh et al., 2017)

عملگر	علامت اختصاری	عملکرد
And (min)	AND	بیانگر اشتراک منطقی و شامل کمترین مقدار ارزش بازگشتی از طبقه‌بندی فازی
Or (max)	OR	بیانگر اجتماع منطقی و شامل بیشترین مقدار ارزش بازگشتی از طبقه‌بندی فازی
Mean (arithmetic)	MAR	بیانگر میانگین حسابی طبقه‌بندی فازی
Mean (geometric)	MGE	بیانگر میانگین هندسی طبقه‌بندی فازی
Mean (geom. weighted)	MGWE	بیانگر میانگین هندسی وزن دار طبقه‌بندی فازی
And (*)	ALP	بیانگر اشتراک منطقی و حاصل ضرب طبقه‌بندی فازی

در این رابطه، Po درستی مشاهده شده و Pc توافق مورد انتظار هستند (موسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی دقت، از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شده است. برای این منظور، پس از انجام طبقه‌بندی، با استفاده از نقاط کنترل زمینی، به ارزیابی دقت کلی و ضریب کاپای هر کدام از الگوریتم‌های مورد استفاده اقدام شد.

۴- بحث و یافته‌های تحقیق

پس از بارگیری تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز از سامانه گوگل ارث انجین، برای انجام تصحیح رادیومتریکی تصاویر و با هدف منطبق نمودن ارزش درجات خاکستری تصاویر با ارزش پیکسل‌های واقعی بازتاب زمینی، درجات خاکستری تصاویر به رادیانس تبدیل و سپس با استفاده از تصحیح اتمسفری، به ضرایب بازتاب^۴ زمینی تبدیل شدند. به منظور اعمال تصحیح رادیومتریکی از ابزار Radiometric Calibration و برای اعمال تصحیح اتمسفری از مدل فلش^۵ در محیط نرم‌افزار ENVI استفاده شد. برای طبقه‌بندی نمودن تصاویر ماهواره‌ای سری زمانی مورد نظر براساس عملگرهای فازی مبتنی بر پردازش شیء‌گرا نرم‌افزار ایکاگنیشن مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر به تفکیک در محیط این نرم‌افزار فراخوانی و به صورت یک پروژه ذخیره شدند. با هدف تولید اشیاء تصویری، فرایند قطعه‌بندی در مقیاس‌ها، ضریب شکل‌ها و ضریب فشردگی‌های مختلف برای رسیدن به قطعه‌بندی بهینه انجام گرفت. در این مرحله

واقعیت زمینی، ماتریس خطا^۱ تشکیل می‌شود. ماتریس خطا نتیجه مقایسه پیکسل به پیکسل پیکسل‌های معلوم واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است. یکی از پارامترهای دقت طبقه‌بندی که از ماتریس خطا استخراج می‌شود، دقت کلی^۲ است. در ماتریس خطا، دقت کلی میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نمایش می‌دهد و از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\text{O.A.} = \frac{\sum_{i=1}^c E_{ii}}{N} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، O.A دقت کلی، c تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا هستند. ضریب کاپا^۳ یکی دیگر از شاخص‌های دقت طبقه‌بندی است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. ضریب کاپا، دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر ضریب کاپا، پس از حذف تأثیر شانس در طبقه‌بندی، مقدار تطابق با واقعیت زمینی را محاسبه خواهد کرد. مقدار صفر برای کاپا یعنی طبقه‌بندی بدون هیچ ضابطه‌ای و کاملاً تصادفی انجام شده و مقدار یک به آن معنی است که طبقه‌بندی کاملاً صحیح و براساس نمونه‌های گرفته شده است. شاخص کاپا از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

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

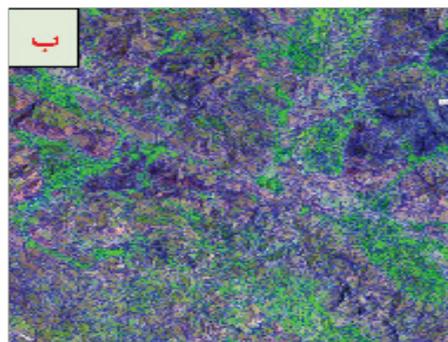
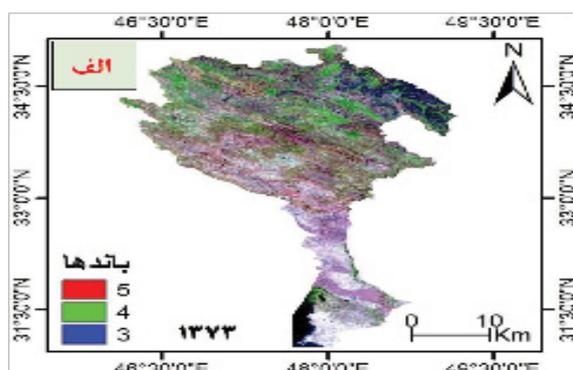
1- Error Matrix

2- Overall Accuracy

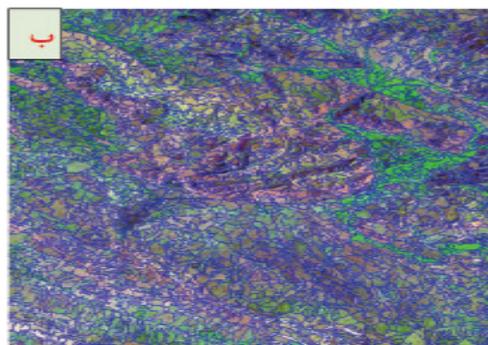
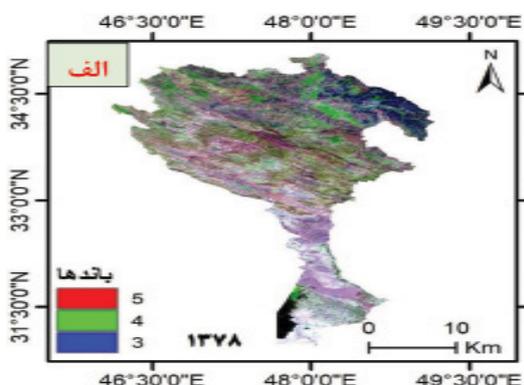
3- Kapa Coefficient

4- Reflectance

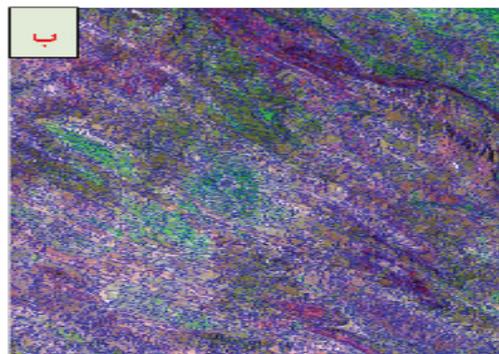
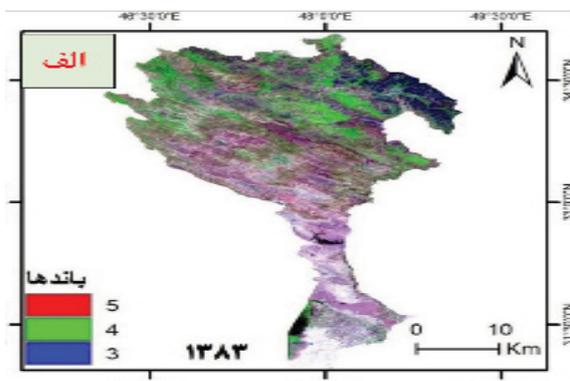
5- FLAASH



نگاره ۳: الف) تصویر سری زمانی سال ۱۳۷۳ منطقه مورد مطالعه ب) نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه تصویر سال ۱۳۷۳



نگاره ۴: الف) تصویر سری زمانی سال ۱۳۷۸ منطقه مورد مطالعه ب) نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه تصویر سال ۱۳۷۸



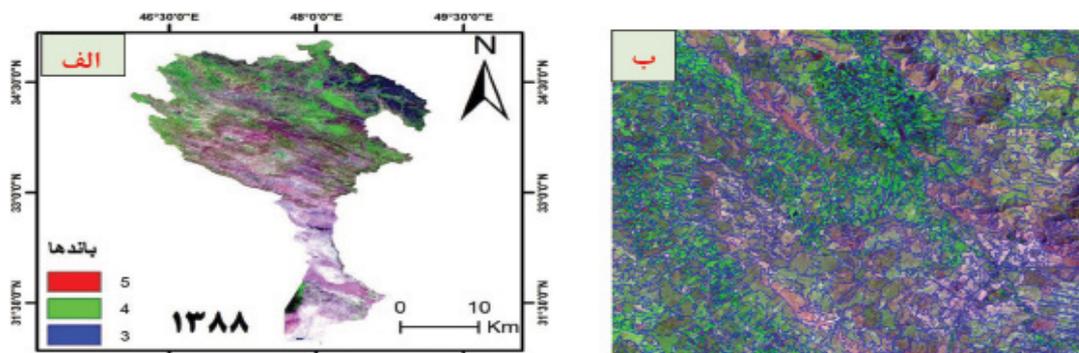
نگاره ۵: الف) تصویر سری زمانی سال ۱۳۸۳ منطقه مورد مطالعه ب) نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه تصویر سال ۱۳۸۳

قطعه قرار می‌گرفتند و در مقیاس‌های کمتر از ۴۰ نیز در برخی از موارد یک عارضه در چندین قطعه قرار می‌گرفت. نگاره‌های ۳ الی ۹، هر یک نشان‌دهنده تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در سری زمانی مشخص و همچنین نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه همان تصویر هستند.

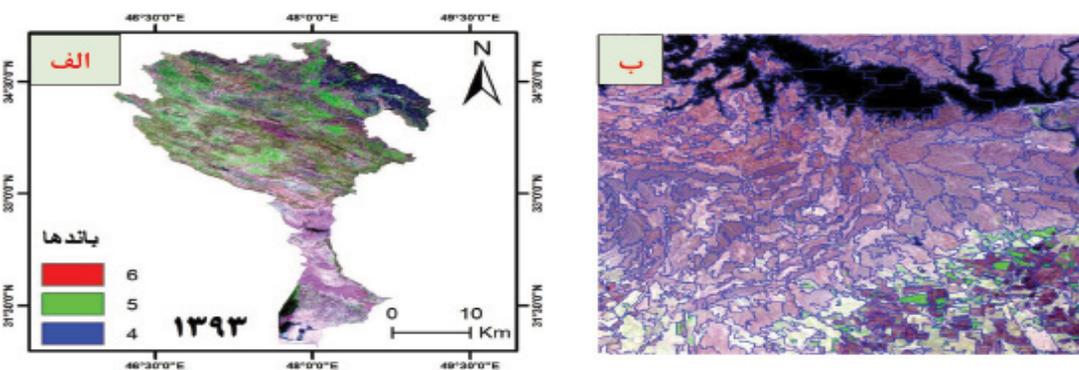
به‌منظور قطعه‌بندی تصویر از روش قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه^۱ استفاده شد. قطعه‌بندی بهینه شامل مقیاس ۴۰ و ضریب شکل ۰/۳ و ضریب فشردگی ۰/۷ بود. چون در مقیاس‌های بالاتر از ۴۰، ساخت اشیاء تصویری به خوبی انجام نمی‌گرفت به‌طوری که چندین عارضه متمایز در یک

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

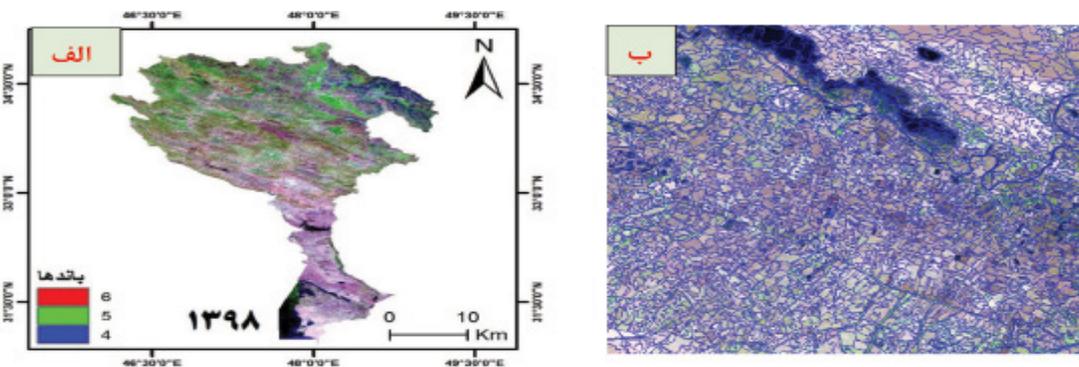
ارزیابی مقایسه‌ای کارایی عملگرهای فازی پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای در... / ۱۷۳



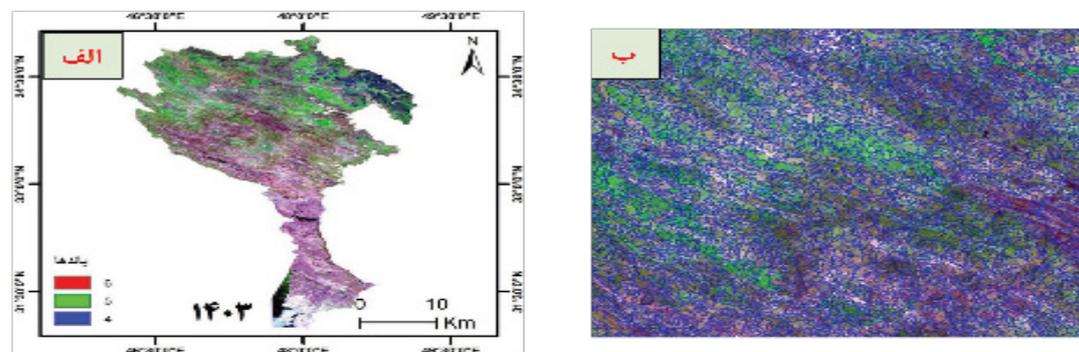
نگاره ۶: الف) تصویر سری زمانی سال ۱۳۸۸ منطقه مورد مطالعه (ب) نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه تصویر سال ۱۳۸۸



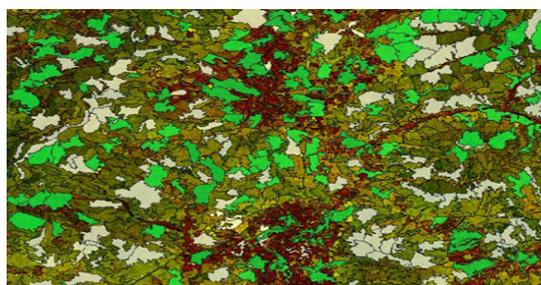
نگاره ۷: الف) تصویر سری زمانی سال ۱۳۹۳ منطقه مورد مطالعه (ب) نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه تصویر سال ۱۳۹۳



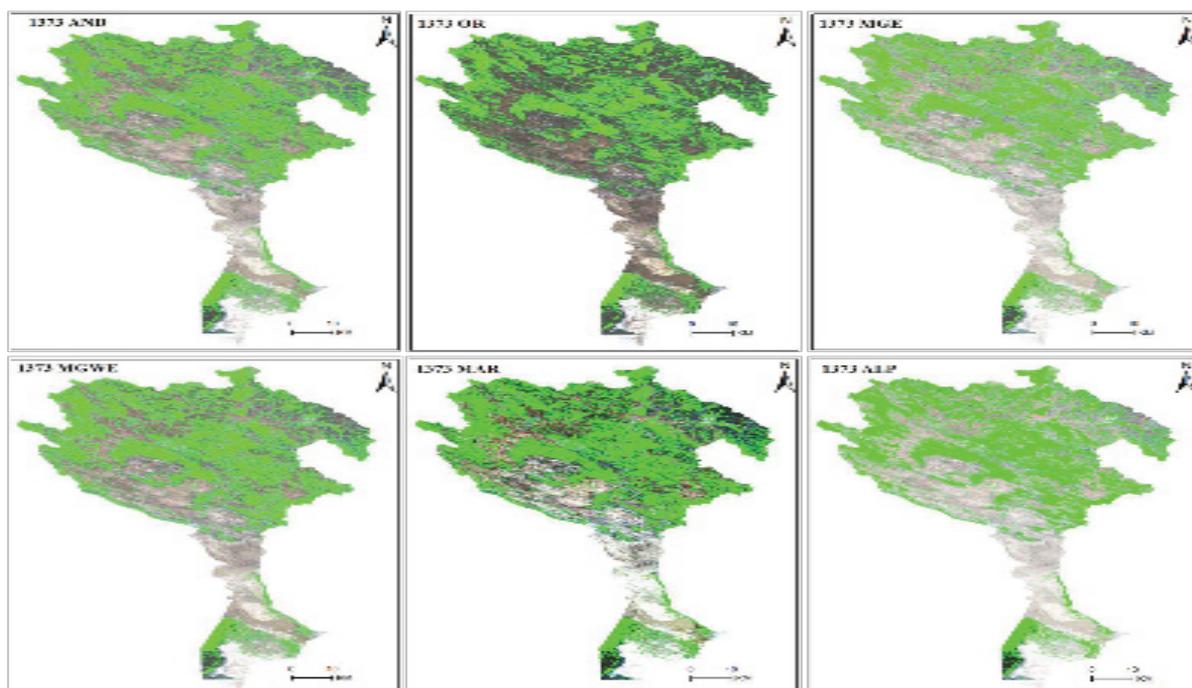
نگاره ۸: الف) تصویر سری زمانی سال ۱۳۹۸ منطقه مورد مطالعه (ب) نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه تصویر سال ۱۳۹۸



نگاره ۹: الف) تصویر سری زمانی سال ۱۴۰۳ منطقه مورد مطالعه (ب) نمونه‌ای از قطعه‌بندی بهینه تصویر سال ۱۴۰۳



نگاره ۱۰: نمونه‌های آموزشی ایجاد شده با استفاده از اشیاء تصویری



نگاره ۱۱: نقشه‌های تولیدی سال ۱۳۷۳ عملگرهای فازی شیء‌گرا

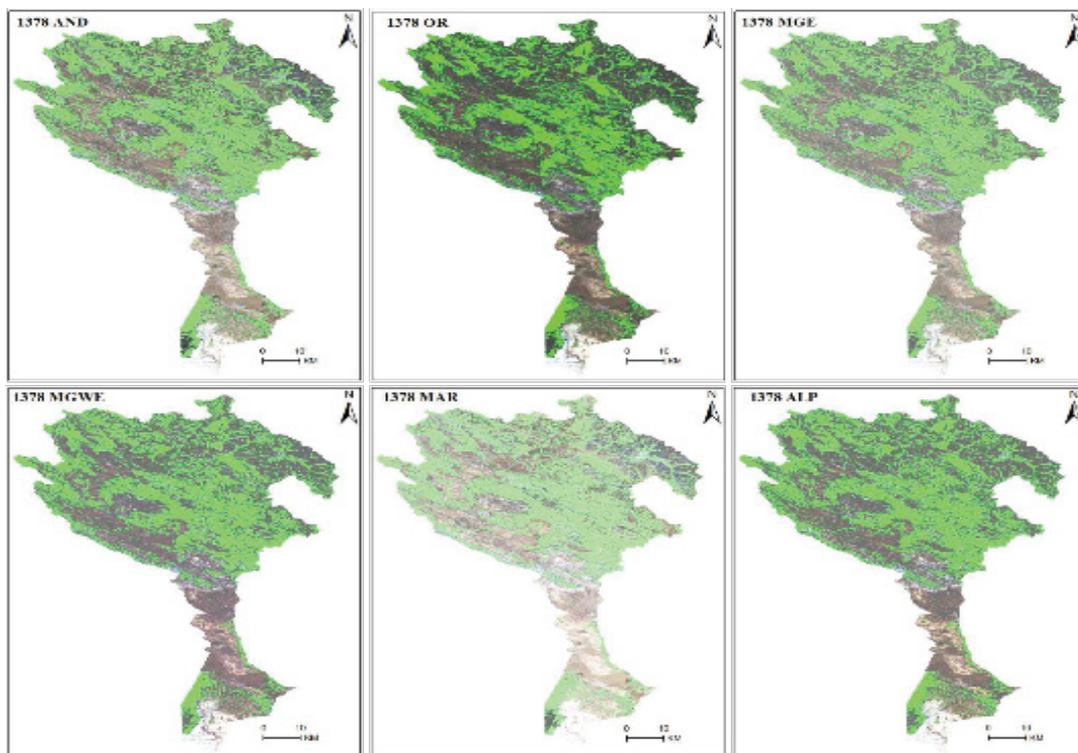
پس از پایان یافتن عملیات قطعه‌بندی و تولید اشیاء تصویری، دو کلاس پوشش گیاهی و غیر پوشش گیاهی ساخته شدند. در این مرحله تعداد ۴۱۱ قطعه از اشیاء تصویری تولید شده در مرحله قطعه‌بندی به‌عنوان نقاط تعلیماتی و تعداد ۱۸۶ قطعه نیز به‌عنوان نقاط واقعیت زمینی انتخاب شدند. نقاط تعلیماتی و واقعیت زمینی مورد نظر، کاملاً به‌صورت تصادفی و از سراسر منطقه مورد مطالعه براساس تفسیر بصری تصاویر، سامانه گوگل ارث و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی انتخاب شدند. نگاره ۱۰ تعدادی از نقاط انتخابی نمونه‌های آموزشی را نشان می‌دهد.

برای فازی‌سازی اشیاء تصویری ساخته شده، عملگرهای فازی شیء‌گرا شامل AND، OR، MGE، MAR، ALP و MGWE هر یک به‌صورت جداگانه تعریف و پس از اعمال هر عملگر فازی شیء‌گرا، عملیات طبقه‌بندی صورت گرفت. در این مرحله، برای اختصاص مقادیر عضویت نمونه‌های کلاس‌های مختلف روش نزدیک‌ترین همسایه^۱ مورد استفاده قرار گرفته و با انتخاب پارامترهایی از قبیل میانگین، انحراف معیار، چولگی و بافت برای هر باند انجام شد. نگاره‌های ۱۱ الی ۱۷ نشان‌دهنده همپوشانی^۲ نقشه‌های تولید شده با ترکیب باندی مادون قرمز، قرمز و سبز هستند.

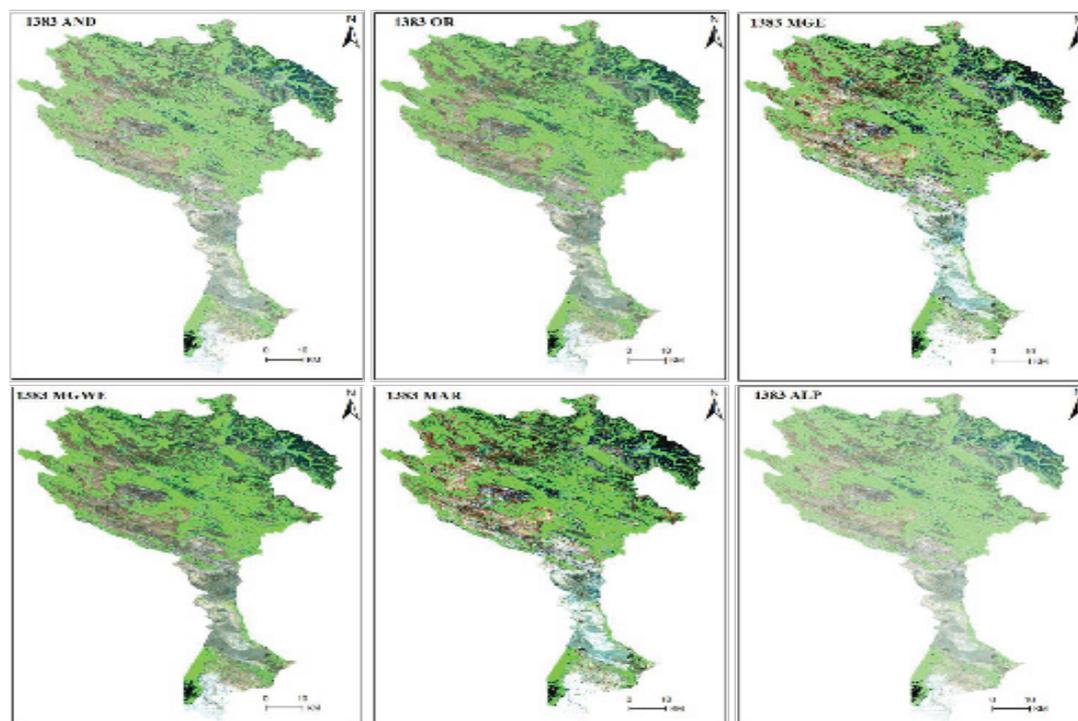
۱- Nearest Neighbor
۲- Overlay

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

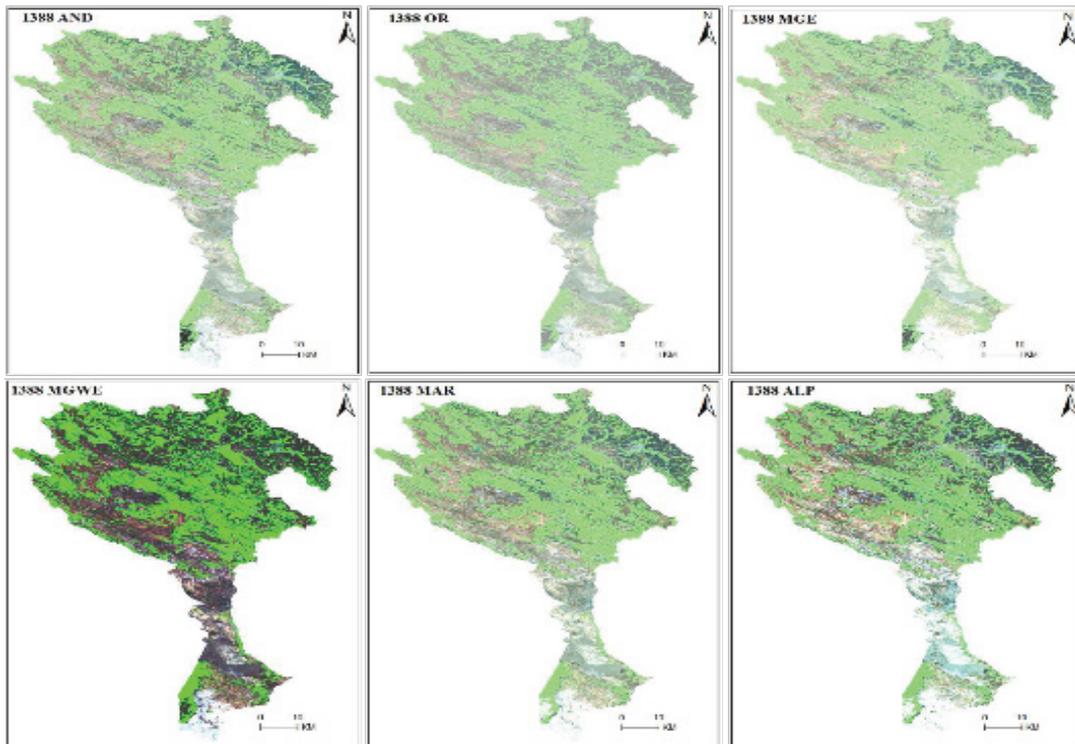
ارزیابی مقایسه‌ای کارایی عملگرهای فازی پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در... / ۱۷۵



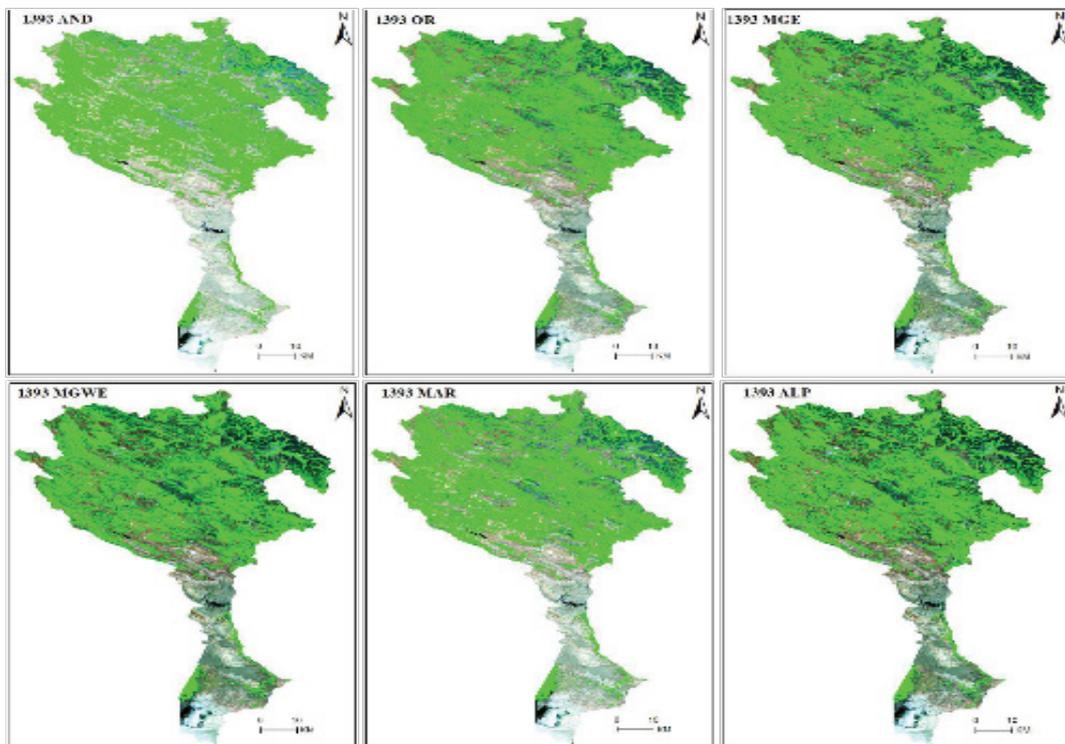
نگاره ۱۲: نقشه‌های تولیدی سال ۱۳۷۸ عملگرهای فازی شیء‌گرا



نگاره ۱۳: نقشه‌های تولیدی سال ۱۳۸۳ عملگرهای فازی شیء‌گرا



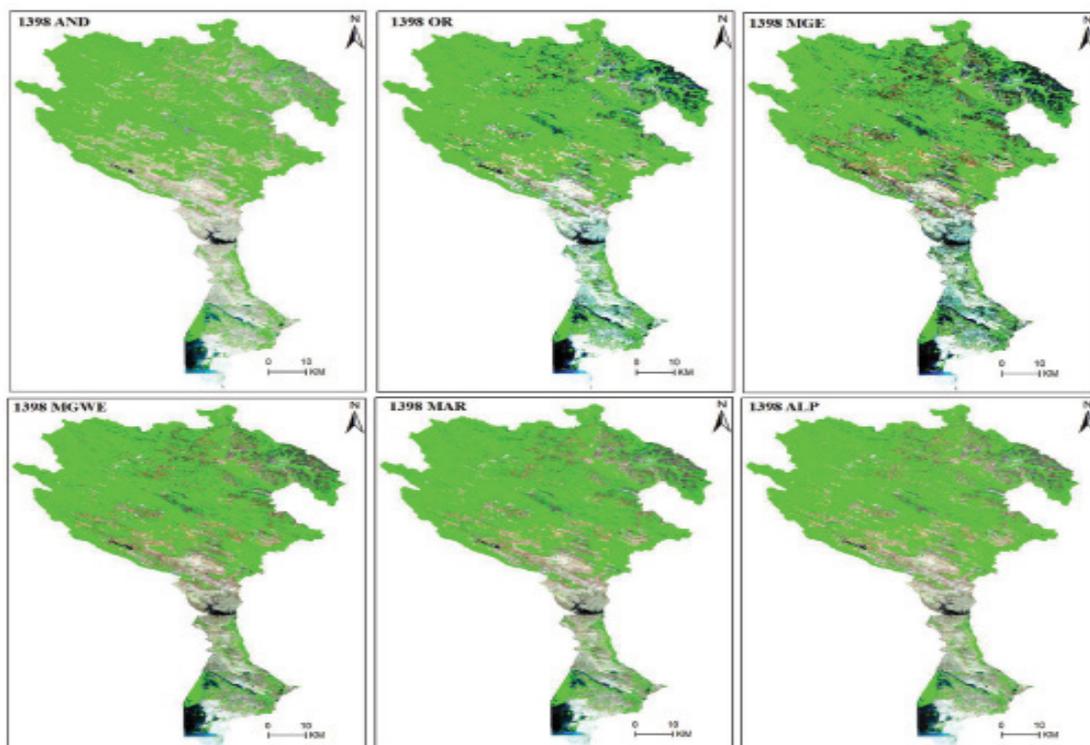
نگاره ۱۴: نقشه‌های تولیدی سال ۱۳۸۸ عملگرهای فازی شی‌گرا



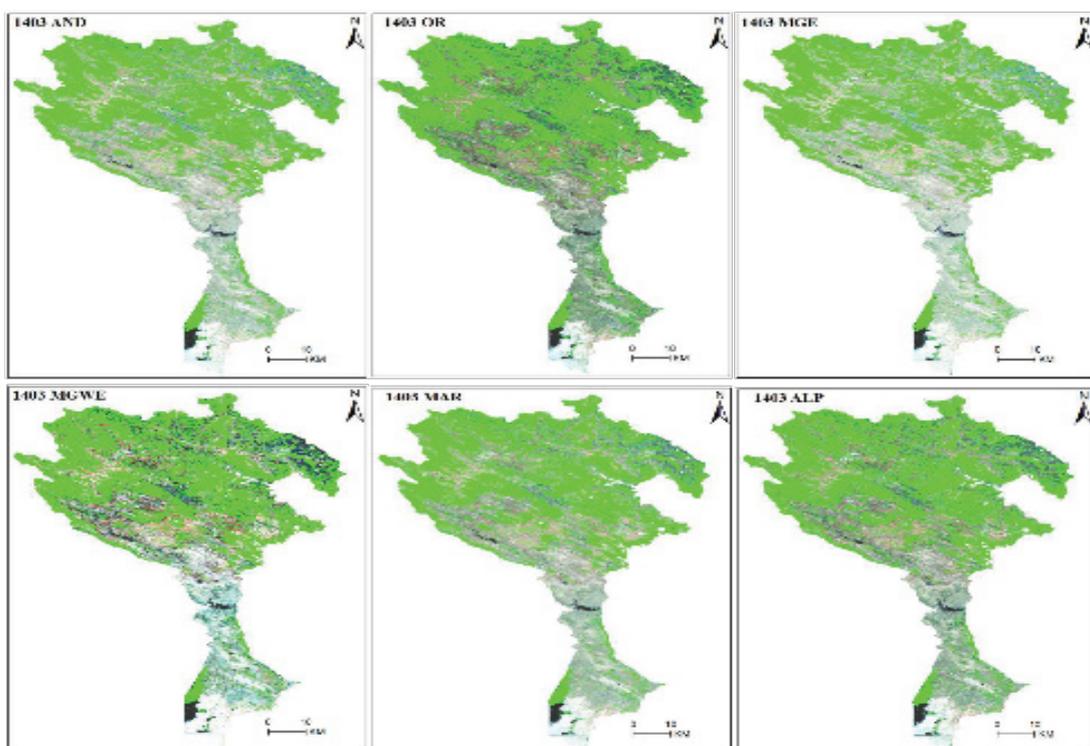
نگاره ۱۵: نقشه‌های تولیدی سال ۱۳۹۳ عملگرهای فازی شی‌گرا

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

ارزیابی مقایسه‌ای کارآیی عملگرهای فازی پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در... / ۱۷۷



نگاره ۱۶: نقشه‌های تولیدی سال ۱۳۹۸ عملگرهای فازی شیء‌گرا



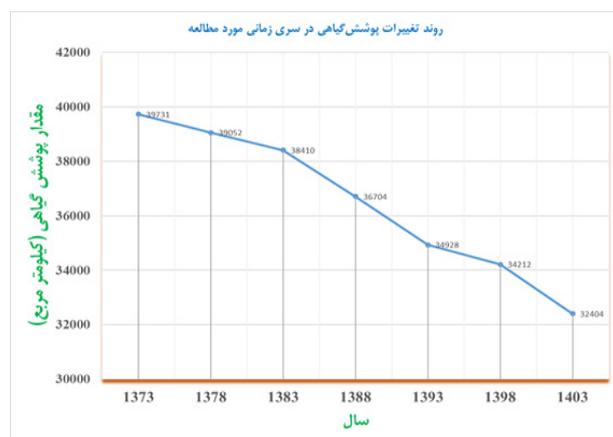
نگاره ۱۷: نقشه‌های تولیدی سال ۱۴۰۳ عملگرهای فازی شیء‌گرا

جدول ۳ نشان‌دهنده برآورد میزان پوشش گیاهی در سری زمانی مورد مطالعه است.

جدول ۳: مساحت پوشش گیاهی برآورد شده

سال	مساحت پوشش گیاهی (کیلومتر مربع)	درصد تغییر نسبت به دوره قبل
۱۳۷۳	۳۹۷۳۱	-
۱۳۷۸	۳۹۰۵۲	۱/۷ - درصد
۱۳۸۳	۳۸۴۱۰	۱/۶ - درصد
۱۳۸۸	۳۶۷۰۴	۴/۵ - درصد
۱۳۹۳	۳۴۹۲۸	۴/۸ - درصد
۱۳۹۸	۳۴۲۱۲	۲/۱ - درصد
۱۴۰۳	۳۲۴۰۴	۵/۳ - درصد

نمودار ۱ روند تغییرات مساحت پوشش گیاهی در سری زمانی ۱۳۷۳ الی ۱۴۰۳ در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



نمودار ۱: روند تغییرات مساحت پوشش گیاهی در حوزه آبریز کرخه در سری زمانی مورد مطالعه

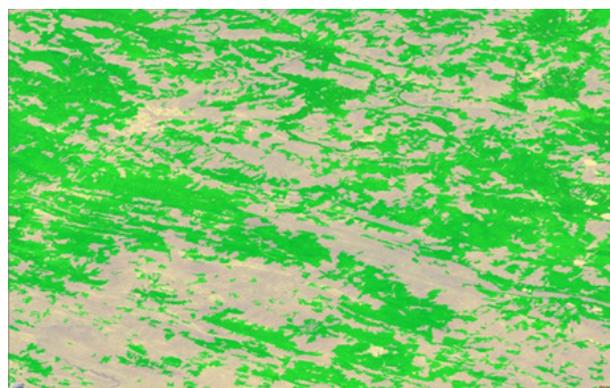
بررسی داده‌های مربوط به مساحت پوشش گیاهی حوزه آبریز کرخه در بازه زمانی ۳۰ ساله از سال ۱۳۷۳ تا ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که این شاخص با روندی کاملاً نزولی مواجه بوده است. در سال ۱۳۷۳ مساحت پوشش گیاهی حدود ۳۹،۷۳۱ کیلومتر مربع برآورد شده است. اما در سال

پس از تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در سری زمانی مورد نظر با استفاده از عملگرهای فازی شیء‌گرا، اقدام به محاسبه دقت طبقه‌بندی هر کدام از عملگرهای مورد استفاده شد. به منظور محاسبه دقت طبقه‌بندی از طریق نرم‌افزار ایکاگنیشن، با استفاده از نقاط کنترل واقعیت زمینی انتخابی، دقت کلی و ضریب کاپا برای نقشه‌های تولیدی محاسبه شدند. جدول ۲ نمایانگر دقت کلی و ضریب کاپای به‌دست آمده در این تحقیق هست.

جدول ۲: ضریب کاپا و دقت کلی به‌دست آمده برای هر الگوریتم

عملگر فازی	ضریب کاپا	دقت کلی (درصد)
AND	۰/۹۸۱۸	۹۷/۳۸
OR	۰/۹۵۲۳	۹۵/۱۰
MGE	۰/۹۷۹۵	۹۷/۱۱
MAR	۰/۹۶۸۵	۹۶/۱۳
MGWE	۰/۹۶۷۲	۹۶/۱۶
ALP	۰/۹۶۶۳	۹۶/۰۹

پس از ارزیابی دقت کلیه نقشه‌های تولیدی، نقشه تولیدی عملگر دارای بیشترین دقت از حالت رستری به برداری تبدیل و مساحت پوشش گیاهی در هر سری زمانی برآورد شد. در پژوهش حاضر با توجه به اینکه عملگر فازی شیء‌گرای AND دارای دقت بیشتری بود، از این رو برآورد میزان پوشش گیاهی نیز براساس نقشه تولیدی این عملگر انجام شد. نگاره ۱۸ نشان‌دهنده نمونه‌ای از نقشه تولیدی با استفاده از طبقه‌بندی عملگر فازی شیء‌گرای AND است.



نگاره ۱۸: نمایشی نزدیک از طبقه‌بندی عملگر فازی AND

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

ارزیابی مقایسه‌ای کارآیی عملگرهای فازی پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در... / ۱۷۹

طیفی ماهواره لندست امکان تولید نقشه پوشش گیاهی با استفاده از مدل شیء‌گرا با دقت قابل قبول وجود دارد. مقایسه دقت طبقه‌بندی عملگرهای فازی شیء‌گرا بیانگر این موضوع است که از بین کلیه روش‌های مورد استفاده در این تحقیق، عملگر فازی AND که بیانگر اشتراک منطقی و شامل کمترین مقدار ارزش بازگشتی از طبقه‌بندی فازی است با دقت کلی ۹۷/۳۸ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۸۱۸ مقدار دقت بیشتری را ارائه نمود که به نظر می‌رسد این امر ناشی از ساختار متفاوت عملگر فازی AND با سایر عملگرها باشد به طوری که عملگر AND امکان جمع‌آوری ورودی‌های فازی را فراهم می‌کند و منجر به خروجی‌های ظریف‌تری می‌شود که منعکس‌کننده عدم قطعیت ذاتی در پدیده‌های دنیای واقعی است. از طرفی این عملگر که معمولاً به‌عنوان تابع کمینه پیاده‌سازی می‌شود، با ادغام درجات مختلف عضویت، منجر به نتایج دقیق‌تر و معقول‌تر در پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. نتایج این تحقیق همسو با نتایج پژوهش رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۹) و موسی‌پور و همکاران (۱۴۰۴) است، به طوری که نتایج تحقیق این منابع نیز دلالت بر توانایی استخراج و طبقه‌بندی عوارض طبیعی و انسان‌ساخت با استفاده از الگوریتم‌های پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا دارند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که پردازش شیء‌گرای فازی، به‌ویژه با استفاده از عملگر AND، ابزاری کارآمد برای پایش تغییرات پوشش گیاهی در مقیاس‌های زمانی و مکانی گسترده محسوب می‌شود. از این رو توصیه می‌شود پژوهش‌های آتی ضمن توسعه کاربرد این رویکرد در سایر حوضه‌های آبریز کشور، به بررسی ترکیب آن با داده‌های سنجش‌ازدوری جدیدتر با قدرت تفکیک بالاتر و نیز استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی بپردازند تا تصویر جامع‌تری از پویایی اکوسیستم‌های گیاهی فراهم شود. از نتایج دیگر این تحقیق، برآورد روند کاهشی مقدار پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است به طوری که پیامدهای این کاهش پوشش گیاهی بسیار گسترده است. از بین رفرنز زیستگاه‌های

۱۴۰۳ این مقدار به ۳۲,۴۰۴ کیلومتر مربع کاهش یافته که بیانگر کاهشی معادل حدود ۱۸ درصد در طی سه دهه است. محاسبه تغییرات دوره‌ای نشان می‌دهد که در بازه سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۸ کاهش اندک و معادل ۱/۷ درصد رخ داده است. در ادامه، بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ کاهشی مشابه (۱/۶ درصد) برآورد شده است. با این حال، از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ کاهش شدت بیشتری یافته و حدود ۴/۵ درصد از سطح پوشش گیاهی کاسته شده است. این روند در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ نیز با کاهش ۴/۸ درصدی ادامه داشته است. بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ روند نزولی اندکی کندتر شده و افت ۲/۱ درصدی ثبت شده است، اما مجدداً در فاصله سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۳ بیشترین کاهش (۵/۳ درصد) مشاهده شده است. این الگوی تغییرات نشان می‌دهند در حالی که کاهش پوشش گیاهی در دهه‌های ابتدایی (۱۳۷۰ و ۱۳۸۰) با شیب ملایم‌تری همراه بوده، در دهه‌های اخیر شدت آن بیشتر شده است. به‌ویژه کاهش‌های محسوس در دو دوره ۱۳۸۸-۱۳۸۳ و ۱۴۰۳-۱۳۹۸ زنگ خطری جدی برای وضعیت منابع طبیعی منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شوند. علل احتمالی این روند می‌تواند در دو دسته عوامل انسانی و طبیعی جای گیرد. از یک سو، تغییر کاربری اراضی برای کشاورزی، شهرنشینی و توسعه صنعتی، همراه با چرای مفرط دام‌ها و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی، از مهم‌ترین عوامل انسانی هستند. از سوی دیگر، پدیده‌هایی مانند خشکسالی‌های مکرر، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی نیز در تشدید این روند نقش داشته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش کارآیی عملگرهای فازی شیء‌گرا شامل AND، OR، MGE، MAR، MGWE و ALP در پایش تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبریز کرخه مورد مقایسه قرار گرفتند. برای این منظور از تصاویر ماهواره لندست در سری زمانی ۱۳۷۳، ۱۳۷۸، ۱۳۸۳، ۱۳۸۸، ۱۳۹۳، ۱۳۹۸ و ۱۴۰۳ استفاده شد. براساس نتایج این تحقیق با استفاده از تصاویر چند

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

- 1- Ali, A., Dunlop, P., Coleman, S., Kerr, D., McNabb, R. W., & Noormets, R. (2023). Glacier area changes in Novaya Zemlya from 1986–89 to 2019–21 using object-based image analysis in Google Earth Engine. *Journal of Glaciology*, 69(277), 1305-1316. <https://doi.org/10.1017/jog.2023.18>
- 2- Brink, A. B., & Eva, H. D. (2009). Monitoring 25 years of land cover change dynamics in Africa: A sample based remote sensing approach. *Applied Geography*, 29(4), 501-512. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.004>
- 3- Cao, Q., Li, M., Yang, G., Tao, Q., Luo, Y., Wang, R., & Chen, P. (2024). Urban Vegetation Classification for Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Combining Feature Engineering and Improved DeepLabV3+. *Forests*, 15(2), 382. <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/2/382>
- 4- de Oliveira, S. M., Beltrão, N. E. S., Machado, F. F., & Lima, I. F. (2024). Monitoring Vegetation Cover in mining areas in the municipality of Ipixuna do Pará (PA). *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-3-2024, 115-120. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-2024-115-2024>
- 5- Feizizadeh, B. (2018). A Novel Approach of Fuzzy Dempster-Shafer Theory for Spatial Uncertainty Analysis and Accuracy Assessment of Object-Based Image Classification. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(1), 18-22. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2763979>
- 6- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Tiede, D., & Moghaddam, M. H. R. (2017). Evaluating fuzzy operators of an object-based image analysis for detecting landslides and their changes. *Geomorphology*, 293, 240-254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.06.002>
- 7- Hartoni, Siregar, V., Wouthuyzen, S., & Agus, S. (2022). Object based classification of benthic habitat using Sentinel 2 imagery by applying with support vector

طبیعی، کاهش تنوع زیستی، تشدید فرسایش خاک، افزایش خطر سیلاب‌ها و کاهش توان اکوسیستم در تنظیم چرخه آب و هوا از جمله نتایج این روند به شمار می‌روند. در عین حال، کاهش پوشش گیاهی اثر مستقیمی بر کیفیت زندگی جوامع محلی دارد و امنیت غذایی و اقتصادی آن‌ها را تهدید می‌کند. براساس این تحلیل، می‌توان نتیجه گرفت که تداوم کاهش پوشش گیاهی خطری جدی برای پایداری محیط زیست منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. بنابراین، اتخاذ سیاست‌های جامع برای حفاظت، احیا و توسعه پوشش گیاهی ضروری است. اقداماتی همچون جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، مدیریت پایدار چرا، گسترش برنامه‌های جنگل‌کاری و بیابان‌زدایی، و نیز افزایش مشارکت جوامع محلی در حفاظت منابع طبیعی می‌تواند به کاهش روند نزولی و حتی بازگشت تدریجی پوشش گیاهی کمک نماید. از نتایج این تحقیق می‌توان برای مدیریت منابع طبیعی و آمایش سرزمین در سازمان‌های مختلف از جمله سازمان حفاظت محیط زیست، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، سازمان جهاد کشاورزی و همچنین سازمان جنگل‌ها و مراتع، برای ارزیابی‌های اکولوژیکی و محیطی استفاده نمود.

۶ - پیشنهادات

در راستای امکان‌سنجی تولید نقشه‌های دارای دقت بیشتر با موضوع استخراج پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به پژوهشگران علاقه‌مند حوزه سنجش از دور پوشش گیاهی راهکارهای ذیل پیشنهاد می‌شود:

- ترکیب نمودن تصاویر چندطیفی نوری^۱ با تصاویر راداری.
- مقایسه الگوریتم‌های یادگیری عمیق^۲ و طبقه‌بندی کننده‌های یادگیری ماشین شیء‌گرا.
- استفاده از داده‌های سنجنده‌های دارای قدرت تفکیک مکانی بالا.

1- Optical

2- Deep learning

4292/11/21/2583

14- Norris, G. S., LaRocque, A., Leblon, B., Barbeau, M. A., & Hanson, A. R. (2024). Comparing Pixel- and Object-Based Approaches for Classifying Multispectral Drone Imagery of a Salt Marsh Restoration and Reference Site. *Remote Sensing*, 16(6), 1049. <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/6/1049>

15- Pradhan, B., Yoon, S., & Lee, S. (2024). Examining the Dynamics of Vegetation in South Korea: An Integrated Analysis Using Remote Sensing and In Situ Data. *Remote Sensing*, 16(2), 300. <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/2/300>

16- Rezaei Moghaddam, M. H., Mohammadzadeh, K., & Pishnamaz Ahmadi, M. (2020). Investigating and comparing object-oriented algorithms used for extraction of water bodies from sentinel imagery. *Sepehr*, 29(115), 21-34. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.47878> .In Persian.

17- Sadian, A., & Shafizadeh-Moghadam, H. (2021). Investigation of land use changes in Karkkeh watershed during 1990 and 2020 using Google Earth Engine platform and Landsat satellite images. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(10), 2569-2580. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.330075.669068> .In Persian.

18- Safari, S., Sadeghian, M. S., Haji-Kandi, H., & Mahdi Zadeh, S. S. (2023). Evaluation of soft computing models in regional flood hydrological homogenization (Case study: Karkkeh watershed). *Water and Irrigation Management*, 13(3), 817-835. <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.354624.1054> .In Persian.

19- Uça Avcı, Z., Karaman, M., Ozelkan, E., & Papila, I. (2011). A Comparison of Pixel-Based and Object-Based Classification Methods, A Case Study: Istanbul, Turkey.

20- Vu Viet Du, Q., Minh Pham, T., Manh Pham, V., Duy Nguyen, H., Huy Nguyen, Q., Thanh Pham, V., & Cao Nguyen, H. (2024). An experimental comparison of pixel-based and object-based classifications with different machine learning algorithms in landscape pattern analysis – Case study from Quang Ngai city, Vietnam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1345(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1345/1/012019>

machine and random forest algorithms in shallow waters of Kepulauan Seribu, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230155>

8- Hussain, S., Qin, S., Nasim, W., Bukhari, M. A., Mubeen, M., Fahad, S., Raza, A., Abdo, H. G., Tariq, A., Mousa, B. G., Mumtaz, F., & Aslam, M. (2022). Monitoring the Dynamic Changes in Vegetation Cover Using Spatio-Temporal Remote Sensing Data from 1984 to 2020. *Atmosphere*, 13(10), 1609. <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/10/1609>

9- Kang, Y., Guo, E., Wang, Y., Bao, Y., Bao, Y., & Mandula, N. (2021). Monitoring Vegetation Change and Its Potential Drivers in Inner Mongolia from 2000 to 2019. *Remote Sensing*, 13(17), 3357. <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/17/3357>

10- Kazemi Garajeh, M., Feizizadeh, B., Weng, Q., Rezaei Moghaddam, M. H., & Kazemi Garajeh, A. (2022). Desert landform detection and mapping using a semi-automated object-based image analysis approach. *Journal of Arid Environments*, 199, 104721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104721>

11- Mousapour, M., Feizizadeh, B., Hosseini, S. A., Karchi, H., & Seifi, A. (2020). Comparison of the performance of artificial neural network, support vector machine and object-oriented model in monitoring snow cover changes using multi-temporal Landsat images (Case study: Alvand mountain range). *Climatology Researches*, (39), 105-121. In Persian.

12- Mousapour, M., Kafash Charandabi, N., & Khorrami, H. (2025). Comparison of the efficiency of kernel functions of pixel-based support vector machine and object-oriented fuzzy operators in monitoring Tabriz urban growth and expansion changes. *Journal of Remote Sensing & GIS Applications in Environmental Sciences*, 5(14), 1-20. <https://doi.org/10.22034/rsgi.2025.63373.1098> .In Persian.

13- Najafi, P., Navid, H., Feizizadeh, B., Eskandari, I., & Blaschke, T. (2019). Fuzzy Object-Based Image Analysis Methods Using Sentinel-2A and Landsat-8 Data to Map and Characterize Soil Surface Residue. *Remote Sensing*, 11(21), 2583. <https://www.mdpi.com/2072->

21- Wang, Z., Wei, C., Liu, X., Zhu, L., Yang, Q., Wang, Q., Zhang, Q., & Meng, Y. (2022). Object-based change detection for vegetation disturbance and recovery using Landsat time series. *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 1706-1721. <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2129870>

22- Yilmaz, E. O., Kavzoglu, T., Colkesen, I., Tonbul, H., & Teke, A. (2024). Methodology For Extracting Poplar Planted Fields From Very High-Resolution Imagery Using Object-Based Image Analysis and Feature Selection Strategy. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10, 259-265.

23- Zhang, J., Yang, Z., Zheng, S., & Yue, H. (2024). Dynamic monitoring of vegetation growth in Engebei ecological demonstration area based on remote sensing. *Environmental Earth Sciences*, 83(2), 59. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11371-7>

24- Zhao, C., Pan, Y., Ren, S., Gao, Y., Wu, H., & Ma, G. (2024). Accurate vegetation destruction detection using remote sensing imagery based on the three-band difference vegetation index (TBDVI) and dual-temporal detection method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103669. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103669>

25- Zhao, X., Jing, L., Zhang, G., Zhu, Z., Liu, H., & Ren, S. (2024). Object-Oriented Convolutional Neural Network for Forest Stand Classification Based on Multi-Source Data Collaboration. *Forests*, 15(3), 529. <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/3/529>

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

