Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Improving the Temporal and Spatial Accuracy of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Map using Satellite Image Fusion Algorithms

Zeinab Zaheri Abdehvand[1] | **Mostafa Kabolizadeh**[2]✉

1. Ph.D. Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Erath Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz Iran, **E-mail:** zaheri.gis@gmail.com
2. Corresponding author, Associate Professor of Remote Sensing and GIS, Faculty of Erath Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz Iran, **E-mail:** m.kabolizade@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2024/02/20
Received in revised
2024/04/28
Accepted
2024/05/15
Published
2024/05/16
Published online
2025/09/23

Keywords:
Khuzestan province, NNDiffuse algorithm, image fusion, Normalized Detection Vegetation Index, MODIS.

ABSTRACT

In vast areas, accessing satellite images with appropriate spatial resolution, such as Landsat images, is often challenging. dditionally, the temporal resolution of the Landsat satellite does not allow for the examination of short-term changes in phenomena such as vegetation. The aim of this research is to utilize temporal and spatial fusion techniques of Landsat-8 and MODIS satellite images to prepare a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) map. For this purpose, six image fusion algorithms—NNDiffuse (Nearest Neighbor Diffusion), PC (Principal Component), Brovey, CN (Color Normalized), Gram-Schmidt, and SFIM—were applied in an experimental area in Khuzestan province. After evaluating the results of these algorithms and selecting the most appropriate algorithm based on statistical indicators (spectral criteria such as the correlation coefficient and spatial criteria such as the Laplacian filter), the spectral and spatial information from the red and near-infrared bands of eight mosaic Landsat-8 images (30 m resolution) were combined with the red and near-infrared bands of one MODIS image (250 m resolution). To investigate vegetation cover, the NDVI was calculated using the fused satellite image for Khuzestan province. The results showed that the NNDiffuse fusion algorithm demonstrated very high accuracy among the tested algorithms in terms of spatial evaluation and spectral quality criteria. Consequently, this algorithm was selected to combine the red and near-infrared bands of Landsat-8 and MODIS images. Compared to the original Landsat-8 image, the NDVI map prepared using this algorithm had the lowest statistical errors, with an RMSE (Root Mean Square Error) of 0.1234 and an MAE (Mean Absolute Error) of 0.081.

Cite this article: Zaheri Abdehvand, Zeinab., & Kabolizadeh, Mostafa. (2025). Improving the Temporal and Spatial Accuracy of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Map using Satellite Image Fusion Algorithms. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (78), 24-43. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.17

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.17

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Vegetation in terrestrial ecosystems is an essential indicator for environmental assessment and plays a critical role in maintaining ecosystem balance. One of the most useful tools for monitoring land surface cover and the effects of climatic factors is the use of remote sensing data. Vegetation indices are widely employed as criteria for analyzing land cover changes, including vegetation dynamics and other environmental factors. Among these, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is one of the most widely used vegetation indices derived from satellite images. This index is based on the difference in spectral reflectance between the red and near-infrared bands, which are influenced by the state of vegetation. The simultaneous use of both spatial and temporal resolution in remote sensing monitoring systems is a critical issue in this field. To address this, numerous algorithms have been developed. One of the most important topics in satellite image fusion is the temporal-spatial integration of images from different sensors. In this type of fusion, images with high temporal resolution are combined with those having high spatial resolution. A significant challenge in using Landsat satellite images for monitoring and calculating environmental variables is their 16-day temporal resolution. In contrast, the MODIS sensor provides daily images but with lower spatial resolution. The absence of a single sensor with both high spatial and temporal resolution has led to the development of models that combine data from sensors with high spatial resolution (but low temporal resolution) and those with high temporal resolution (but low spatial resolution). Researchers have categorized image fusion algorithms into three general groups: pixel-based methods, feature-based methods, and decision-based methods. This research focuses on pixel-based methods to fuse Landsat-8 and MODIS satellite images. The primary goal of this study is to utilize spatial and temporal fusion techniques of Landsat-8 and MODIS images to prepare a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) map. By fusing these two types of satellite images, it becomes possible to leverage their respective advantages in a single image. After evaluating the results of various pixel-level image fusion algorithms and selecting the most suitable one based on statistical error calculations and spectral-spatial criteria, an NDVI map was prepared for Khuzestan province.

Material and Methods

In this research, data from MODIS and Landsat-8 sensors were used. After preprocessing the Landsat-8 and MODIS images, six image fusion algorithms—Brovey, NNDiffuse, Gram-Schmidt, PC (Principal Component), CN (Color Normalized), and SFIM (Smoothing Filter-based Intensity Modulation)—were evaluated using various statistical criteria.

First, the results of the six fusion algorithms were assessed in an experimental area in Khuzestan province. Statistical measures such as mean, standard deviation, and correlation of spectral reflectance for the red and near-infrared bands were used, along with spectral and spatial evaluation criteria. Additionally, statistical indices including Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Bias Error

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

(MBE) for the NDVI index were compared with the results obtained from the original Landsat-8 image. After selecting the best image fusion algorithm, the spectral and spatial information from the red and near-infrared bands of eight mosaicked Landsat-8 images (30-meter resolution) were fused with the red and near-infrared bands of one MODIS image (250-meter resolution). This approach minimized errors caused by the non-simultaneity of Landsat-8 images while preserving better spatial and spectral information. To investigate vegetation cover, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was prepared for Khuzestan province using the fused satellite image.

Results and Discussion

The results indicate that the NNDiffuse fusion algorithm is more accurate than the other algorithms for merging the red and near-infrared bands of Landsat-8 and MODIS satellite images. The NDVI extracted from this algorithm had the lowest RMSE (0.1234) and MAE (0.081) compared to the original Landsat-8 images. In contrast, the CN algorithm showed the highest errors, with RMSE (0.28), MAE (0.25), and MBE (-0.244). The NNDiffuse algorithm allows for the individual combination of corresponding bands, which is one of the reasons for its superior performance compared to other algorithms in this study. This algorithm also demonstrated the highest spatial correlation with the original Landsat-8 near-infrared band, excelling in edge preservation and spectral quality. It is important to note that both spatial and spectral criteria should be used simultaneously to evaluate a fusion algorithm, a point often overlooked in many studies. Based on these criteria, the NNDiffuse algorithm was selected as the final fusion algorithm. Using this method, the red and near-infrared bands of Landsat-8 and MODIS images were combined, and an NDVI map of Khuzestan province was prepared.

Conclusion

The evaluation of six image fusion techniques revealed that the NNDiffuse algorithm is the most suitable method for mapping vegetation in the study area. Accessing simultaneous satellite images with high spatial resolution, such as those from the Landsat series, remains a challenge in large-scale studies. Additionally, the 16-day temporal resolution of Landsat images limits their ability to capture short-term changes in phenomena. Therefore, the use of satellite image fusion techniques, such as combining Landsat images with MODIS data, can be highly beneficial for various studies. A comprehensive evaluation of fusion algorithms requires simultaneous consideration of both spatial and spectral features. This research addresses this challenge, and its results can serve as a valuable reference for similar studies.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

بهبود دقت زمانی و مکانی نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای

زینب ظاهری عبده وند [۱]، مصطفی کابلی زاده [۲]✉

۱. دانشجوی دکتری، گروه سنجش‌ازدور GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: zaheri.gis@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.kabolizade@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۲/۰۱

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۲/۲۶

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۰۲/۲۷

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
استان خوزستان،
الگوریتم NNDiffuse،
تلفیق تصاویر،
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)،
مادیس.

چکیده

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در محدوده‌های وسیع، امکان پوشش هم‌زمان کل منطقه را فراهم نمی‌کند. این مسئله زمانی که ارزیابی پوشش‌های گیاهی هم‌زمان و یا بررسی تغییرات پدیده‌های کوتاه‌مدت در یک منطقه وسیع مد نظر باشد، مطالعات را با چالش مواجه می‌سازد. ادغام داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست با قدرت تفکیک‌پذیری مکانی مناسب، با اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مادیس با قدرت تفکیک‌پذیری زمانی مناسب، می‌تواند راه‌حلی برای پیوند بین داده‌های با وضوح زمانی و مکانی مناسب باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی الگوریتم‌های مختلف ادغام تصاویر در تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) می‌باشد. بدین منظور از شش الگوریتم تلفیق، شامل NNDiffuse (انتشار نزدیک‌ترین همسایه)، PC (مؤلفه‌های اصلی)، Brovey، CN(رنگ نرمال شده)، Gram-Schmidt و SFIM (مدل مبتنی بر فیلتر هموارسازی) در یک محدوده آزمایشی در استان خوزستان استفاده شد. پس از ارزیابی نتایج الگوریتم‌ها و انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم تلفیق، بر اساس محاسبه میزان خطاهای آماری و ارزیابی معیارهای طیفی (ضریب همبستگی) و مکانی (فیلتر لاپلاسین)، اطلاعات طیفی و مکانی بازتاب باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک هشت تصویر موزائیک شده لندست-۸ (۳۰ متر) با باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک یک تصویر مادیس (۲۵۰ متر) تلفیق گردید. جهت بررسی پوشش‌های گیاهی، با تصویر ماهواره‌ای تلفیق شده، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، در محدوده استان خوزستان تهیه گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوریتم NNDiffuse از دقت مطلوب‌تری جهت ادغام باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک لندست ۸ و مادیس برخوردار است، به‌طوری‌که شاخص گیاهی NDVI به دست آمده از این الگوریتم در مقایسه با تصویر لندست- ۸ اصلی، از کم‌ترین خطای آماری RMSE (۰/۱۲۳۴) و MAE(۰/۰۸۱) برخوردار است.

استناد: ظاهری عبده وند، زینب؛ و کابلی زاده، مصطفی (۱۴۰۴). بهبود دقت زمانی و مکانی نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۴۳-۲۴.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.17

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

مقدمه

پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های خشکی به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی محیط‌زیست است و نقش مهمی در حفظ تعادل اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند. یکی از ابزارهای مفید جهت پایش پوشش سطح زمین و تأثیرات عوامل اقلیمی بر آن، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور است. شاخص‌های پوشش گیاهی به‌طور گسترده به‌عنوان معیارهایی برای تجزیه‌وتحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و عوامل دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرند. استفاده از نقشه‌های پوشش‌گیاهی یکی از ارکان مهم در تولید اطلاعات جهت برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان می‌باشد (انتظاری و همکاران،۱۳۹۷ :۱). یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی منتج از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) است. این شاخص، بر اساس اختلاف در بازتاب‌های طیفی (باندهای انعکاسی قرمز و مادون‌قرمز نزدیک) ناشی از وضعیت پوشش گیاهی حاکم است (ژو[1] و همکاران،۲۰۱۱: ۲۸). یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ماهواره لندست برای بررسی، پایش و محاسبه متغیرها و فرآیندهای محیطی، این است که تصاویر مربوط به سنجنده‌های این ماهواره با گام‌های زمانی ۱۶ روز تهیه می‌شوند. این در حالی است که سنجنده مادیس با قدرت تفکیک زمانی روزانه و البته با قدرت تفکیک مکانی پایین تصویر تهیه می‌کند.

اگر هدف پژوهش، بررسی گونه‌های پوشش گیاهی سریع‌الرشد در یک منطقه باشد. از دیدگاه زمانی، بسیار ضروری است که تفکیک زمانی تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده، به شیوه‌ای باشد که بتوان واکنش آن‌گونه را نسبت به اثرات پدیده‌های جوی کوتاه‌مدت مانند بارندگی ثبت نمود (بویت[2] و همکاران، ۲۰۱۶: ۸)؛ که با توجه به قدرت تفکیک زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست، امکان ثبت تغییرات پدیده‌های کوتاه‌مدت، وجود ندارد. بر این اساس از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی پایین‌تر، مانند تصاویر ماهواره‌ای مادیس استفاده می‌شود. از طرف دیگر هر فریم تصاویر ماهواره‌ای لندست دارای پهنای کم‌تر (۱۸۰×۱۸۰ کیلومتر) است و با توجه به اینکه قدرت تفکیک زمانی این ماهواره ۱۶ روز می‌باشد؛ بنابراین استفاده از تصاویر این ماهواره در محدوده‌های وسیع همچون استان خوزستان، امکان پوشش هم‌زمان کل منطقه موردتحقیق را فراهم نمی‌کند؛ بنابراین استفاده از موزائیک چندین تصویر (۸ تصویر در استان خوزستان) غیرهمزمان، جهت پوشش تمامی منطقه اجتناب‌ناپذیر است، این مسئله زمانی که هدف تحقیق، ارزیابی پوشش‌های گیاهی هم‌زمان و یا بررسی تغییرات پدیده‌های کوتاه‌مدت در یک منطقه وسیع باشد، مطالعات را با چالش روبرو می‌سازد. ادغام داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست با قدرت تفکیک‌پذیری مکانی مناسب، با اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مادیس با قدرت تفکیک‌پذیری زمانی مناسب، می‌تواند راه‌حلی برای پیوند بین داده‌های با وضوح زمانی و مکانی مناسب باشد (گو[3] و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۷). استفاده از این تکنیک در بسیاری از تحقیقات، مانند دوره‌های رشد گیاهان (گو و همکاران، ۲۰۱۷)، بررسی محدوده‌های دچار آتش‌سوزی (بویت و همکاران، ۲۰۱۶) و بررسی تغییرات کوتاه‌مدت اکولوژی (اولسوی[4] و همکاران، ۲۰۱۷)، نتایج قابل قبولی را ارائه نموده است.

به‌منظور تلفیق تصاویر محققان روش‌های تلفیق تصویر را به سه دسته کلی روش‌های مبتنی بر پیکسل، روش‌های مبتنی بر ویژگی و روش‌های مبتنی بر تصمیم‌گیری تقسیم‌بندی کرده‌اند (نیازی[5] و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۴۷). در این میان تلفیق در سطح پیکسل ساده‌ترین و پراستفاده‌ترین روش تلفیق تصاویر است (آل-واسای[6]، کالیانکار[7] و آل-زاکی[8]، ۲۰۱۱). تلفیق در سطح ویژگی، ویژگی‌های مختلف تصویر را مانند پارامترهای بافت، لبه‌ها، خطوط را از منابع مختلف داده استخراج نموده و در نهایت ممکن است از این پارامترهای استخراج شده به‌عنوان داده اصلی در پردازش‌های بعدی استفاده شود، تلفیق در

1. Zhou
2. Boyte
3. Gao
4. Olsoy
5. Niazi
6. Al-Wassai
7. Kalyankar
8. Al-Zuky

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

سطح تصمیم‌گیری نتایج الگوریتم‌های مربوط به منابع چندگانه را با یکدیگر ترکیب می‌کند تا به تصمیم‌گیری نهایی برسد. با توجه به اینکه پیکسل کوچک‌ترین واحد اطلاعات است، به همین دلیل روش‌های مبتنی بر پیکسل اطلاعات تصویر اصلی را حفظ می‌کنند و در مقایسه با دو روش تلفیق در سطح ویژگی و تلفیق در سطح تصمیم نتایج دقیق‌تری ارائه داده و کمترین میزان خطا را در فرآیند تلفیق ایجاد می‌کند (پل[9] و جندرن[10]، ۱۶:۲۰۱۶).

الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای در اغلب موارد باعث بهبود کیفیت تصویر و افزایش مقدار جزئیات در تصویر تلفیق شده خواهند شد. تلفیق تصاویر دارای کاربردهای زیادی ازجمله بهبود طبقه‌بندی، تشخیص عوارض و پدیده‌ها، ارزیابی نقشه تغییرات و جایگذاری اطلاعات ازدست رفته در یک تصویر با استفاده از تصویر سنجنده دیگر است. الگوریتم‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر ارائه شده است لذا جهت تلفیق تصاویر باید از روشی استفاده نمود که دارای دقت قابل قبولی باشد و بتواند هم‌زمان با بهبود دقت مکانی، محتوای طیفی تصویر چند طیفی را به‌طور مناسبی حفظ نماید.

در این تحقیق روش‌های مبتنی بر پیکسل جهت تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس مورداستفاده قرار گرفته است. مطالعات متعددی در رابطه با ارزیابی الگوریتم‌های مختلف تلفیق تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

نخعی‌نژاد فرد و همکاران (۱۳۹۸)، در تحقیقی به ارزیابی الگوریتم‌های مختلف تلفیق تصاویر در تهیه نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و HVCI هم‌زمان در استان خراسان جنوبی پرداختند. نتایج تحقیقات به دست آمده نشان داد که الگوریتم NNDiffuse از دقت مطلوب‌تری به‌منظور تلفیق باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک لندست- ۸ و مادیس برخوردار است. به‌طوری‌که شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به دست آمده از این الگوریتم در مقایسه با تصویر لندست-۸ اصلی، از کم‌ترین خطای آماری RMSE (۰/۰۰۳۱۱) و MAE (۰/۰۱۸۱) برخوردار است.

شیرازی و همکاران (۱۳۹۹)، به‌منظور بهبود بارزسازی گردوغبار نواحی صنعتی، به مقایسه روش‌های تلفیق داده‌های تصاویر سنجنده‌های مادیس و لندست ۸ پرداخته‌اند. نتایج ارزیابی نشان داد که بهترین روش تلفیق روش‌های Gram-Shcmidt، ESTARFM و STARFM است که با تصاویر سنجنده لندست دارای ضریب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۹۱، ۰/۹۹ و با تصاویر مادیس ۰/۵۱، ۰/۵ و ۰/۵۷ می‌باشد؛ بنابراین ازاین‌روش‌ها می‌توان جهت ترکیب تصاویر سنجنده مادیس و لندست به‌منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی با دقت بالا استفاده نمود.

ژو[11] و همکاران (۲۰۲۱)، شش الگوریتم تلفیق مکانی- زمانی از جمله الگوریتم‌های مبتنی بر عدم اختلاط، مدل رشد اختلاط خطی، مدل بازتابی تطبیقی مکانی و زمانی، فیوژن داده‌های مکانی-زمانی انعطاف‌پذیر و دو مدل رگرسیونی را جهت ارزیابی داده‌های سری زمانی شاخص پوشش گیاهی با وضوح مکانی بالا و پوشش مکرر برای نظارت بر پویایی سطح زمین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل فیوژن داده‌های مکانی-زمانی انعطاف‌پذیر بهترین الگوریتم جهت تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی می‌باشد؛ و ارزیابی دقت براساس پارامترهای آماری RMSE (۰/۱۳۵) و MSE (۰/۱۰) انجام شده است.

مولتو[12] (۲۰۲۲)، با استفاده از ادغام تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ (رزولیشن پایین، کیفیت طیفی بالا، وضوح زمانی بالا)، عکس‌های اورتوفوتو (رزولیشن بالا، وضوح زمانی کم) و تصاویر به‌دست‌آمده از هواپیماهای بدون سرنشین (رزولوشن مکانی بسیار بالا، وضوح زمانی کم)، سه شاخص طیفی NDVI، GNDVI، GCI را محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های تلفیق می‌تواند تخمین مقادیر شاخص‌های طیفی مختلف را در مقایسه با مقادیر محاسبه شده با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ بهبود بخشد.

چن[13] و همکاران (۲۰۲۳)، از الگوریتم فیوژن مکانی-زمانی (LOTSFM)، جهت تلفیق تصاویر لندست ۸ و تصاویر مادیس به‌منظور تهیه نقشه دمای سطح زمین در سری زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که براساس

[9].Pohl
[10]. Genderen
[11]. Zhou
[12]. Moltó
[13].Chen

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

ارزیابی پارامترهای آماری (RMSE)، این مدل می‌تواند داده‌های تحقیقاتی دمای سطح زمین را با وضوح مکانی-زمانی بالاتر (۳۰ متر) در محیط‌های حرارتی شهری ارائه دهد و پتانسیل کاربرد زیادی در نظارت بر آلودگی حرارتی انسانی و پدیده‌های حرارتی شدید دارد.

از مجموع سوابق تحقیق انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که عدم وجود هر دو قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا بر روی یک سنجنده منفرد از یک طرف و محدودیت‌های فنی هزینه طراحی چنین سنجنده‌هایی از طرف دیگر و به‌علاوه حضور ابر و شرایط نامساعد جوی که تهیه اطلاعات از تصاویر سنجش‌ازدوری را با محدودیت روبرو می‌کند، باعث توسعه مدل‌هایی گردید که اطلاعات مربوط به سنجنده‌های با توان تفکیک مکانی بالا و توان تفکیک زمانی پایین را با اطلاعات به دست آمده از سنجنده‌های با توان تفکیک مکانی پایین و توان تفکیک زمانی بالا ترکیب نمایند. ازآنجایی‌که الگوریتم‌های مختلف ادغام تصاویر ماهواره‌ای، نتایج مختلفی را ارائه می‌دهند، بنابراین ارزیابی دقت الگوریتم‌های تلفیق در مطالعات مختلفی مدنظر قرار گرفته است. هدف از این تحقیق دسترسی به اطلاعات طیفی هم‌زمان پوشش گیاهی در استان خوزستان، با استفاده از تکنیک‌های تلفیق و تصاویر ماهواره‌ای مادیس و لندست-۸ می‌باشد. به‌منظور ارزیابی الگوریتم‌های تلفیق در این تحقیق از هر دو نوع معیار مکانی و طیفی به‌طور هم‌زمان بهره گرفته شده است، این در حالی است که در اغلب مطالعات ارزیابی مکانی الگوریتم‌های تلفیق، نادیده گرفته می‌شود و تنها ویژگی‌های طیفی تصویر تلفیق شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نوآوری این تحقیق در مقایسه با تحقیقات مشابه، ارزیابی الگوریتم‌های مختلف تلفیق تصاویر ماهواره‌ای با در نظر گرفتن ویژگی‌های مکانی و طیفی و تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) هم‌زمان می‌باشد؛ بنابراین پس از ارزیابی نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف تلفیق تصاویر (شش الگوریتم تلفیق)، در سطح پیکسل و انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم تلفیق، بر اساس محاسبه میزان خطاهای آماری و ارزیابی معیارهای طیفی (ضریب همبستگی) و مکانی (فیلتر لاپلاسین)، هر کدام از الگوریتم‌ها، نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) هم‌زمان در محدوده استان خوزستان تهیه گردید.

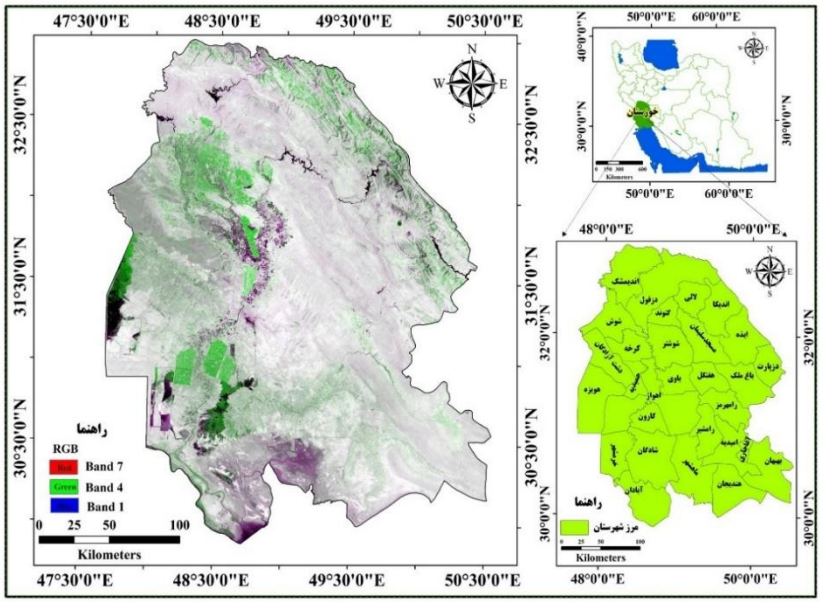
روش‌شناسی

موقعیت منطقه موردمطالعه

استان خوزستان با مساحت کل ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع، بین ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در جنوب غربی ایران قرار دارد. منطقه موردمطالعه در پژوهش حاضر وابستگی شدیدی به منابع طبیعی داشته، ازاین‌رو در برابر تنش‌های محیطی بسیار شکننده می‌باشد. خشک‌سالی‌های اخیر با تأثیر منفی بر پوشش‌های گیاهان مرتعی زمینه افزایش فرسایش آبی، بادی، ایجاد پدیده گردوغبار و توسعه بیابان‌زایی را فراهم نموده است (اژدری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵). موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

روش انجام پژوهش

در این تحقیق، به‌منظور دسترسی به اطلاعات طیفی هم‌زمان پوشش گیاهی در استان خوزستان، از تکنیک تلفیق تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. بدین منظور ابتدا نتایج به دست آمده از شش الگوریتم تلفیق، شامل NNDiffuse، PC، SFIM، CN، Gram-Schmidt و Brovey در یک محدوده آزمایشی در استان خوزستان با استفاده از معیارهای آماری متوسط، انحراف معیار و همبستگی بازتاب طیفی باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک، در نظر گرفتن معیار ارزیابی طیفی و مکانی الگوریتم‌ها و همچنین معیارهای خطای آماری RMSE، MAE و MBE شاخص NDVI با نتایج حاصل از لندست-۸ اصلی، مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

در این تحقیق از باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای مادیس و لندست-۸ به‌منظور تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شده است. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ سنجنده OLI و مادیس سنجنده Terra مورداستفاده در این تحقیق در جداول(۱ و ۲) ارائه شده است.

جدول (۱). مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست-۸

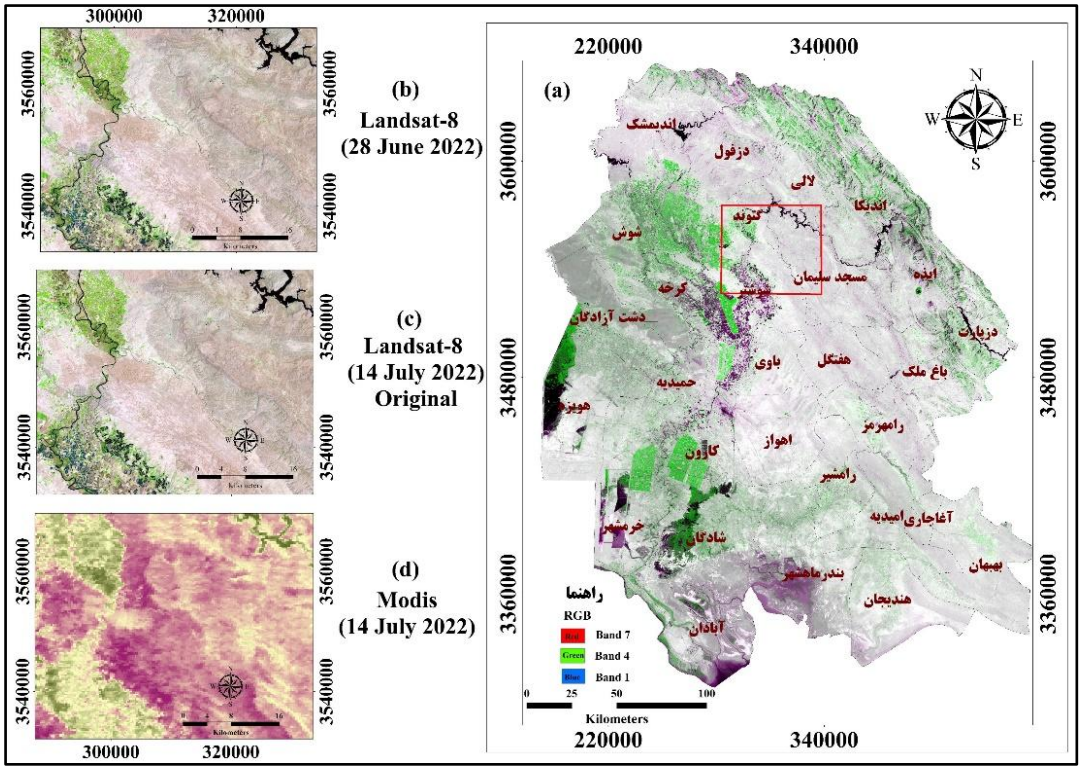
شماره	تاریخ	Path	Row
۱	۲۰۲۲/۶/۲۱	۱۶۴	۳۸
۲	۲۰۲۲/۶/۲۱	۱۶۴	۳۹
۳	۲۰۲۲/۶/۲۸	۱۶۵	۳۷
۴	۲۰۲۲/۶/۲۸	۱۶۵	۳۸
۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۱۶۵	۳۹
۶	۲۰۲۲/۶/۳۰	۱۶۶	۳۷
۷	۲۰۲۲/۶/۳۰	۱۶۶	۳۸
۸	۲۰۲۲/۶/۳۰	۱۶۶	۳۹
۹	۲۰۲۲/۷/۱۴	۱۶۵	۳۸

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

جدول (۲). مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مادیس سنجنده terra

سنجنده و ماهواره	شماره	تصویر	تاریخ
MODIS Terra	۱	MOD02QKM Calibrated Radiances-250 m	۲۰۲۲/۶/۲۵
MODIS Terra	۲	MOD02QKM Calibrated Radiances-250 m	۲۰۲۲/۷/۱۴

تصویر مادیس در این تحقیق، Level 1B، می‌باشد که در آن اصلاحات مربوط به رادیانس تصویر انجام شده است. با توجه به وسعت بسیار بالای استان خوزستان (پوشش موزائیک شده از ۸ تصویر لندست-۸) و به دلیل قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه تصاویر ماهواره‌ای لندست -۸، امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای هم‌زمان وجود ندارد؛ بنابراین در گام نخست منطقه‌ای آزمایشی در استان خوزستان جهت ارزیابی دقت الگوریتم‌های مختلف تلفیق تصاویر انتخاب گردید. انتخاب این محدوده امکان تفسیر بصری و مشاهده تفاوت‌های الگوریتم‌های تلفیق را با توجه به وسعت بالای منطقه موردمطالعه بهتر فراهم می‌نماید. این محدوده با وسعت حدود ۲۷۲۴ کیلومترمربع، قسمت‌هایی از شهرستان‌های گتوند، شوشتر و مسجدسلیمان در شمال شرق استان خوزستان را شامل می‌شود و دارای کاربری اراضی متنوع (رودخانه، منطقه شهری، اراضی کشاورزی و مرتعی) می‌باشد. در شکل (۲) موقعیت محدوده آزمایشی نشان داده شده است.



شکل (۲). a) موقعیت‌محدوده آزمایشی‌بر روی تصویر ماهواره‌ای استان خوزستان، b) تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، منطقه آزمایشی c) تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ اصلی، منطقه آزمایشی (تاریخ متناظر با مادیس) d) تصویر ماهواره‌ای مادیس

از اشکال (۱ تا ۸) جدول (۱) جهت موزائیک باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ در محدوده استان خوزستان استفاده شده است. محدوده آزمایشی در تصویر شماره ۴ لندست-۸ مربوط به تاریخ ۲۰۲۲/۶/۲۸ با تصویر مادیس مربوط به تاریخ (۲۰۲۲/۷/۱۴) تلفیق گردید. تصویر شماره ۹ لندست-۸ (لندست-۸ اصلی) که مربوط به تاریخ متناظر با مادیس تلفیق شده است یعنی (۱۴ ژوئیه ۲۰۲۲)، جهت بررسی دقت الگوریتم‌های تلفیق استفاده گردید. این تصویر از نظر مکانی همان تصویر شماره ۴ است، اما از نظر زمانی ۱۶ روز بعد از آن تصویربرداری شده است. پس از انتخاب مناسب‌ترین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

الگوریتم تلفیق، از شکل مادیس (۱) که مربوط به تاریخ ۲۰۲۲/۶/۲۵ است، جهت تلفیق با تصویر موزائیک شده لندست-۸ اشکال (۱ تا ۸)، در محدوده استان خوزستان استفاده شده است؛ زیرا این تصویر مناسب‌ترین فاصله زمانی با تاریخ تمام تصاویر موزائیک شده لندست-۸ را دارد؛ بنابراین مقادیر طیفی باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک مربوط به تصویر موزائیک شده با تاریخ‌های مختلف، با تلفیق با مقادیر طیفی تصویر مادیس با روش مناسب انتخاب شده، به مقادیر نزدیک‌تر آن تاریخ اصلاح شده است. در این تحقیق تصاویر مادیس استان خوزستان، به‌صورت رایگان از سایت (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov) دانلود گردید و تصحیحات هندسی در نرم‌افزار Envi 5.6 بر روی آن انجام گرفت. تصاویر لندست-۸ (Collection 1 Level1) نیز به‌صورت رایگان و تصحیح هندسی شده از سایت USGS (https://earthexplorer.usgs.gov) دانلود شدند. تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک بر روی تمامی تصاویر ماهواره‌ای موردمطالعه اعمال گردید و از روش تطبیق هیستوگرام[۱۴]، جهت موزائیک تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ استفاده شده است.

الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای

الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای پیکسل، جزئیات هندسی تصویر پانکروماتیک با وضوح‌بالا (PAN) و اطلاعات طیفی از یک تصویر چند طیفی (MS) با قدرت تفکیک مکان پایین را برای تولید تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا بکار می‌برند (ژانگ[۱۵]، کیمبال[۱۶] و رانینگ[۱۷] همکاران، ۲۰۱۶: ۸۴۵; پوشپراج[۱۸] و هدج[۱۹]، ۲۰۱۷: ۸). در این تحقیق دقت الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای شامل Brovey، NNDiffuse [۲۰] (انتشار نزدیک‌ترین همسایه)، Gram-Schmid، PC [۲۱](مؤلفه‌های اصلی)، CN[۲۲] (رنگ نرمال شده) و SFIM[۲۳] (مدل مبتنی بر فیلتر هموارسازی) موردبررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در الگوریتم NNDiffuse امکان تلفیق باند به باند تصاویر وجود دارد؛ بنابراین با استفاده از این الگوریتم‌ها باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸ با باندهای متناظر آن در تصویر ماهواره‌ای مادیس به‌صورت منفرد تلفیق گردید؛ اما در الگوریتم‌های Brovey، Gram-Schmid، CN، PC و SFIM حداقل دو باند تصویر چند طیفی (مادیس) برای تلفیق با باند تصویر با وضوح بهتر، موردنیاز است. به همین دلیل در این الگوریتم‌ها از باند مادون‌قرمز نزدیک تصویر ماهواره‌ای لندست- ۸ و دو باند قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصویر مادیس استفاده شده است. به این دلیل که باند مادون‌قرمز نزدیک نسبت به تغییرات پوشش گیاهی حساس‌تر است (مولر[۲۴] و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۹۶).

شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) برای ارائه نمودن اطلاعات مکانی- زمانی پوشش گیاهی بکار گرفته می‌شوند. دامنه این شاخص از ۱+ تا ۱- متغیر است. رابطه ۱، فرمول محاسبه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) را نشان می‌دهد.

$$NDVI=\frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$ رابطه (۱)

14 .Histogram Matching
15.Zhang
16. Kimball
17. Running
18. Pushparaj
19. Hegde
20. Nearest Neighbor Diffusion
21. Principal Component
22. Color Normalized
23. Smoothing Filter Based Intensity Modulation
24. Moller

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی، طول موج‌های قرمز (RED) و مادون‌قرمز نزدیک (NIR) به ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین مشخص می‌شود (گرونولد[۲۵] و باغ[۲۶]، ۲۰۰۷: ۱۳۸).

معیارهای ارزیابی حفظ اطلاعات مکانی و طیفی

از معیار ارزیابی حفظ اطلاعات مکانی جهت ارزیابی کیفیت مکانی در این تحقیق استفاده شده است. این معیار ازجمله شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی محسوب می‌شود. روش کار در این معیار بدین‌صورت است که در ابتدا روی تصویر تلفیق شده و تصویر پانکروماتیک، فیلتر بالا گذر (فیلتر لاپلاسین) طبق رابطه ۲ اعمال می‌شود و سپس از ضریب همبستگی بین این دو تصویر فیلتر شده جهت ارزیابی حفظ اطلاعات مکانی تصویر تلفیق شده استفاده می‌شود (ونگ[۲۷] و همکاران، ۲۰۱۷: ۳۸۸۷). بدین ترتیب با اعمال فیلتر بالا گذر (فیلتر لاپلاسین) بر روی تصاویر الگوریتم‌های تلفیق و تصویر پانکروماتیک (باند مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸)، مقدار همبستگی آن‌ها محاسبه می‌شود (رابطه ۲).

$$\mathrm{HPE} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

ضریب همبستگیCC [۲۸]، از پرکاربردترین معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی تصویر تلفیق شده است. شباهت تصویر تلفیق شده با تصویر چند طیفی، کیفیت طیفی الگوریتم موردنظر را مشخص می‌کند. (آسرب - جونیور[۲۹]، کلور[۳۰] و شاپیمن[۳۱]، ۲۰۰۶:۲۸۴). هرچقدر این معیار به یک نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر شباهت بیشتر اطلاعات طیفی تصویر تلفیق شده با تصویر چند طیفی می‌باشد رابطه (۳).

$$\mathrm{CC} = \frac{\sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n}(f(x,y)-\mu_f(r(x,y)-\mu_r)^2}{\sqrt{\sum_{x=1}^{m}\sum_{y=1}^{n}((f(x,y)-\mu_f)(r(x,y)-\mu_r)^2)}} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)، f و r پیکسل‌های باند تصویر چند طیفی و تلفیق شده و μ_r و μ_f میانگین پیکسل‌های باند تصویر چند طیفی و تلفیق شده را نشان می‌دهد.

معیارهای ارزیابی شاخص NDVI

پس از تلفیق اطلاعات باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس، نتایج به دست آمده از تلفیق تصاویر از طریق مقایسه آماری مقادیر متوسط، انحراف معیار و همبستگی بازتاب طیفی باندهای تلفیق شده، با باندهای طیفی لندست-۸ متناظر با تاریخ تصویر مادیس تلفیق شده، مورد ارزیابی قرار گرفت (ژو و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۶۰۷). در ادامه نقشه شش شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، تهیه گردید. در مرحله بعد، نقشه‌های رستری NDVI تهیه شده از شش الگوریتم تلفیق (Brovey، PC، CN، SFIM، Gram-Schmidt و NNdiffuse) به فایل نقطه‌ای تبدیل شده و از معیارهای آماری شامل خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، میانگین قدر

25. Groeneveld
26. Baugh
27. Wang
28. Correlation Coefficient
29. Acerbi-Junior
30. Clevers
31. Schaepman

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

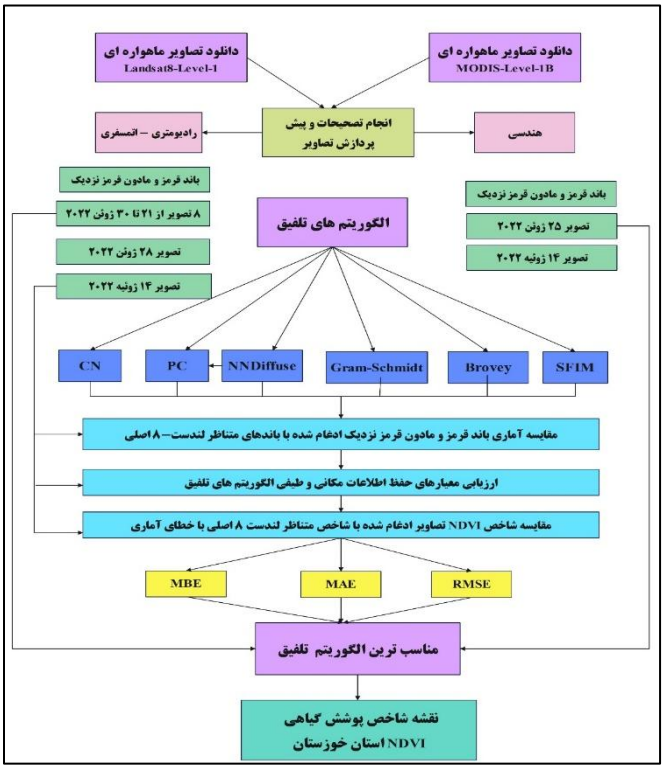
مطلق خطا (MAE) و میانگین اریبی خطا (MEB) جهت ارزیابی الگوریتم‌های تلفیق استفاده شد (سو[۳۲] و. اهلرز[۳۳]، ۲۰۱۷: ۹۴۳). این معیارها مقادیر خطا را نسبت به مقدار مطلوب صفر نشان می‌دهند و مشخص می‌کنند که مقادیر خطا در هر کدام از الگوریتم‌های تلفیق چه مقدار بوده است. معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، قدر مطلق متوسط خطای بین مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده را نشان می‌دهد و همواره مقادیر آن مثبت است، اما معیار میانگین اریبی خطا (MEB)، متوسط خطای بین مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده را نشان می‌دهد و دارای مقادیر مثبت و منفی می‌باشد. مقادیر مثبت آن به این معنی می‌باشد که الگوریتم مذکور تخمین بیش‌تر و مقادیر منفی هم حاکی از آن است که الگوریتم مذکور تخمین کمتری نسبت به مقادیر مشاهداتی (لندست – ۸) داشته است. روابط ۴ تا ۶، فرمول محاسباتی معیارهای خطاهای آماری را نشان می‌دهند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \widehat{x_i})}$$ رابطه (۴)

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}|\widehat{x_i} - x_i|$$ رابطه (۵)

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(\widehat{x_i} - x_i)$$ رابطه (۶)

در روابط (۴ تا ۶) x_i، مقادیر تخمین زده شده، $\widehat{x_i}$ مقادیر مشاهده شده و N تعداد داده‌هاست. مراحل انجام تحقیق در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل (۳). مراحل انجام پژوهش

[32]. Xu

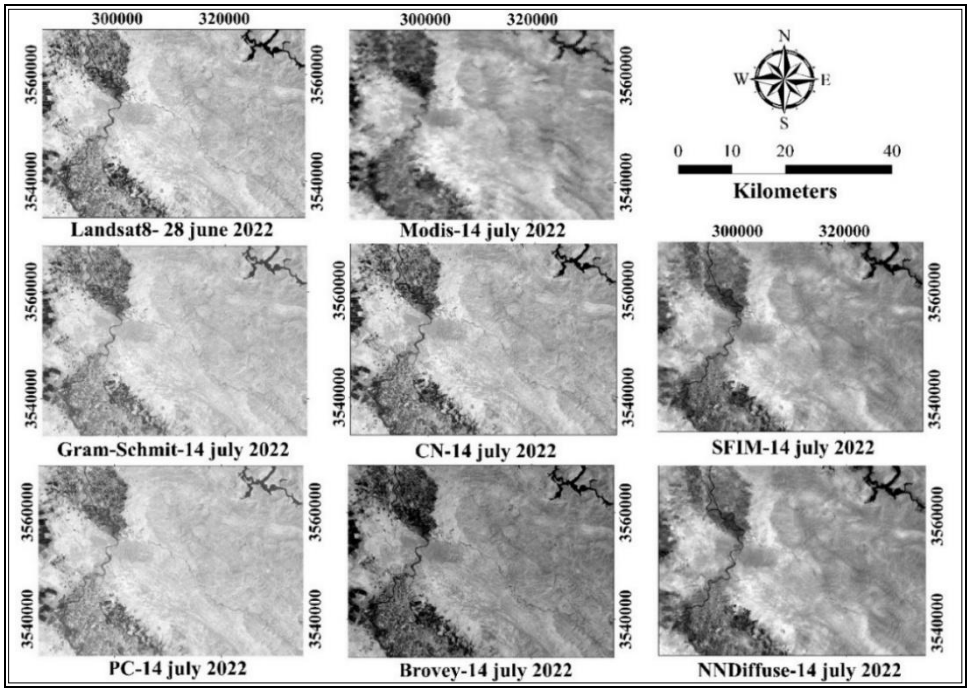
[33]. Ehlers

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

نتایج و بحث

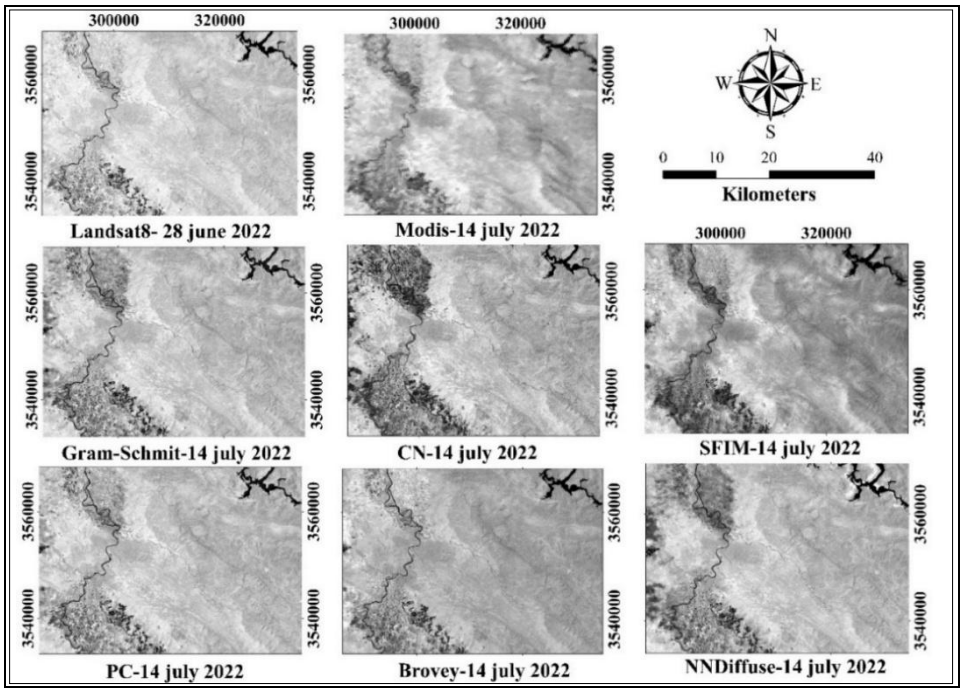
پس از تلفیق باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک لندست ۸ مربوط به تاریخ (۲۸ ژوئن ۲۰۲۲) و مادیس مربوط به تاریخ (۱۴ ژوئیه ۲۰۲۲)، نتایج به دست آمده با تصویر لندست-۸ اصلی مربوط به تاریخ (۱۴ ژوئیه ۲۰۲۲) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. در شکل‌های ۴ و ۵ باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تلفیق شده با الگوریتم‌های موردبررسی در این تحقیق به همراه باندهای مذکور تصاویر لندست-۸ و مادیس و در جدول (۳) پارامترهای آماری بازتاب باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک مربوط به هر الگوریتم ارائه شده است. بر این اساس در بین الگوریتم‌های موردبررسی، الگوریتم Gram- Schmidt نزدیک‌ترین مقدار بازتاب متوسط باند قرمز را در مقایسه با مقادیر متوسط لندست- ۸ از خود نشان می‌دهد؛ و بر این اساس مقادیر بازتاب متوسط باند قرمز به ترتیب در الگوریتم‌های NNDiffuse، CN و Gram- Schmidt بیش‌تر و در الگوریتم‌های SFIM ، Brovey و PC کمتر از مقدار متوسط این باند در لندست- ۸ می‌باشد. الگوریتم CN نیز در بین الگوریتم‌های موردبررسی، نزدیک‌ترین مقدار بازتاب متوسط باند مادون‌قرمز نزدیک را به مقادیر لندست- ۸ از خود نشان می‌دهد؛ و بر این اساس مقادیر بازتاب متوسط باند مادون‌قرمز نزدیک به ترتیب در الگوریتم‌های Gram- Schmidt و NNDiffuse بیش‌تر و در الگوریتم‌های SFIM، PC،CN و Brovey کم‌تر از مقدار متوسط این باند در لندست- ۸ می‌باشد. بررسی مقدار همبستگی باندهای قرمز الگوریتم‌های تلفیق با باند قرمز لندست -۸ نشان داد که الگوریتمBrovey بیش‌ترین و الگوریتم CN کم‌ترین میزان همبستگی را دارند. الگوریتم SFIM کم‌ترین و الگوریتم CN بیشترین میزان همبستگی را با باند مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸ را دارا می‌باشند. از نظر پارامتر انحراف معیار، الگوریتم PC در باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک دارای بیشترین شباهت با مقادیر انحراف معیار در لندست-۸ می‌باشد.



شکل (۴). باند قرمز در الگوریتم‌های تلفیق شده، تصویر ماهواره‌ای لندست- ۸ و مادیس

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]



شکل (۵). باند مادون‌قرمز نزدیک در الگوریتم‌های تلفیق شده، تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس

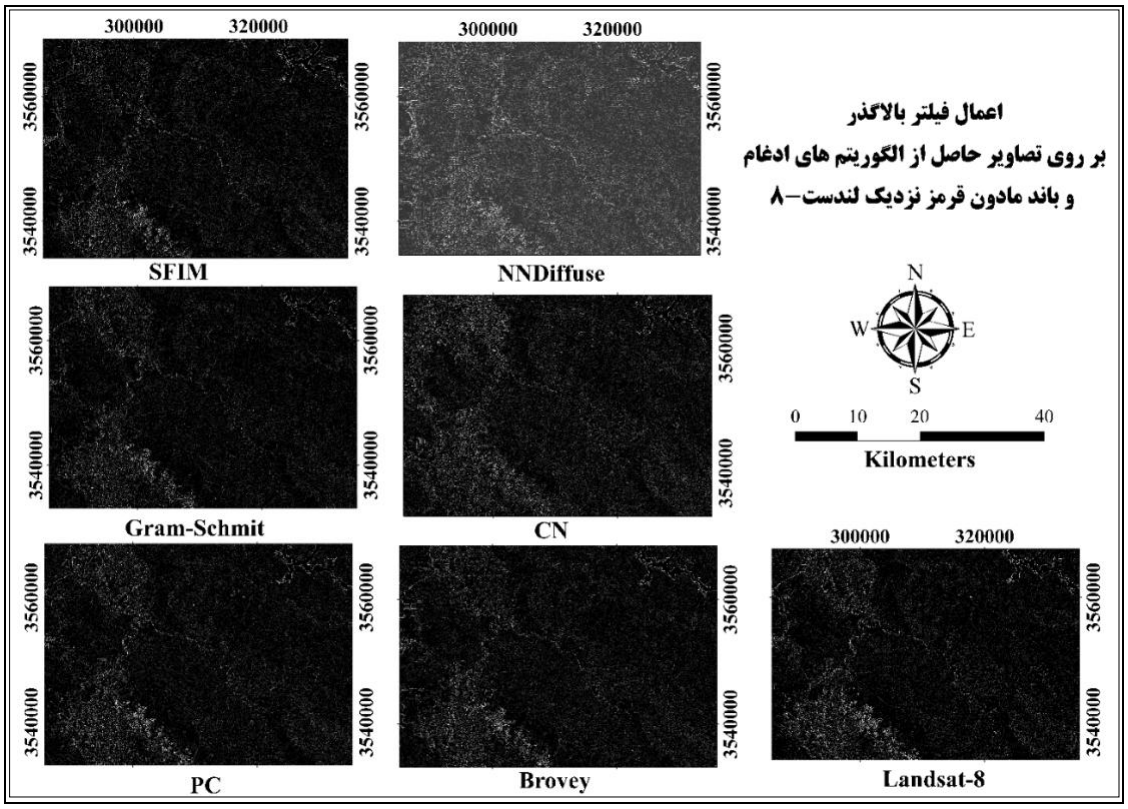
جدول (۳). پارامترهای آماری باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای تلفیق شده و تصویر اصلی لندست-۸ (واحد به میکرومتر)

پارامترهای آماری	Landsat-8	NNDiffuse	Brovy	SFIM	Gram-Schmidt	PC	CN
			باند قرمز				
میانگین	۰/۲۳۴۹	/۲۹۸۹	۰/۱۲۲۹	۰/۱۹۰۷	۰/۲۴۹۰	۰/۱۹۵۷	۰/۲۴۹۱
انحراف معیار	۰/۰۶۲۵	۰/۲۴۲۸	۰/۰۳۵۱	۰/۰۵۶۲	۰/۱۱۰۳	۰/۰۵۶۶	۰/۱۱۰۵
همبستگی	۱	۰/۷۲۶	۰/۷۴۲	۰/۷۱۵	۰/۶۴۵	۰/۶	۰/۶۲۹
			باند مادون‌قرمز نزدیک				
میانگین	۰/۳۱۶۸	۰/۳۵۵۷	۰/۱۹۸۱	۰/۱۵۹۱	۰/۳۵۷۷	۰/۲۹۱۷	۰/۳۱۵۳
انحراف معیار	۰/۰۶۳۱	۰/۱۲۸۷	۰/۰۳۵۱	۰/۰۴۴۰	۰/۱۳۵۳	۰/۰۶۲۸	۰/۰۶۲۴
همبستگی	۱	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸	۰/۸۷۵	۰/۸۲۱	۰/۹۲۲

به‌منظور ارزیابی انحرافات مکانی، فیلتر بالاگذر بر اساس رابطه ۲، برروی تصاویر حاصل از تلفیق و باند مادون‌قرمز نزدیک به‌عنوان باند پانکروماتیک (به دلیل حساسیت بالاتر نسبت به تغییرات پوشش گیاهی) لندست-۸ اعمال گردید شکل (۶)؛ و بین تصاویر حاصل از فیلتر هر کدام از الگوریتم‌های تلفیق و باند مادون‌قرمز نزدیک به‌صورت تک به تک همبستگی گرفته شد و نتایج این همبستگی در جدول (۴) به‌منظور آنالیزهای مکانی و حفظ لبه‌ها ارائه گردید تا مقدار انحرافات مکانی تصویر تلفیق شده، موردبررسی قرارگرفته شود. همچنین جهت ارزیابی کیفیت طیفی تصاویر حاصل از الگوریتم‌های تلفیق از ضریب همبستگی (CC) استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]



شکل (۶). اعمال فیلتر بالاگذر بر روی تصاویر حاصل از الگوریتم‌های تلفیق و باند مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸

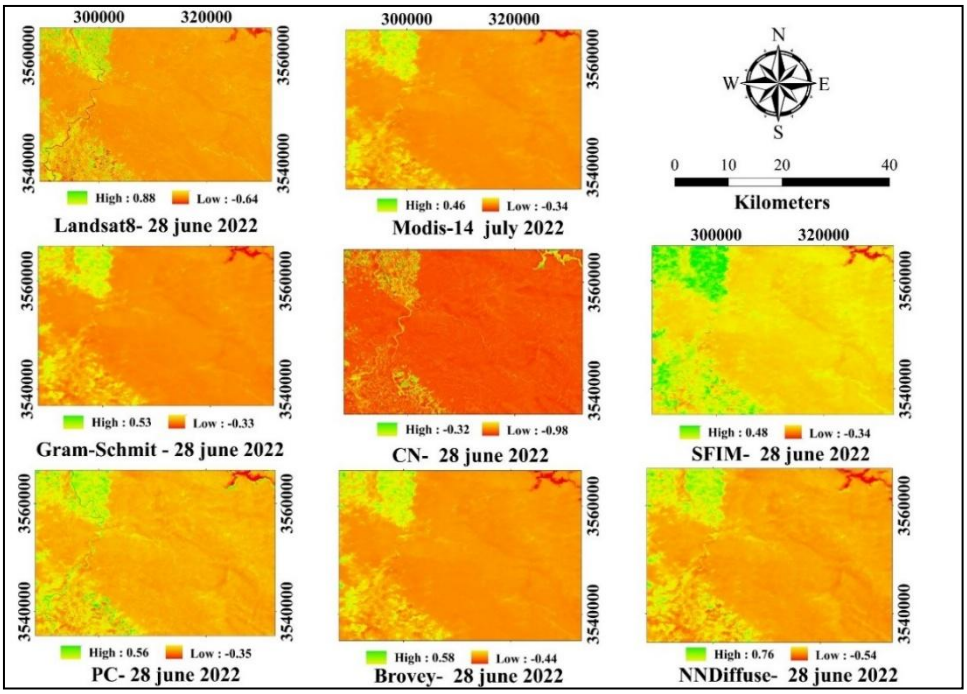
جدول (۴). نتایج حاصل از ارزیابی مکانی و طیفی الگوریتم‌های تلفیق تصاویر

الگوریتم‌های تلفیق تصاویر	NNDiffuse	Brovy	SFIM	Gram-Schmidt	PC	CN
همبستگی مکانی	۰/۹۵۶	۰/۸۸۰	۰/۸۷۹	۰/۹۵۵	۰/۹۵۵	۰/۴۶۹
همبستگی طیفی	۰/۹۰	۰/۷۸	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۷۸	۰/۳۹

بر اساس جدول (۴)، روش‌های NNDiffuse، Gram- Schmidt و PC در حفظ لبه‌ها بسیار مناسب عمل کرده است و همبستگی مکانی زیادی با باند مادون‌قرمز نزدیک (باند پانکروماتیک) دارند، درحالی‌که روش CN همبستگی مکانی ضعیفی از خود نشان داده است. به‌طوری‌که لبه‌ها و مرز عوارض در این روش قابل‌تشخیص نمی‌باشد. به لحاظ طیفی روش SFIM دارای بیشترین همبستگی طیفی و پس از آن روش NNDiffuse قرار گرفته است. روش CN به لحاظ حفظ اطلاعات طیفی دارای کمترین میزان همبستگی است. پس از تلفیق باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر لندست-۸ و مادیس، نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مربوط به هر کدام از الگوریتم‌های تلفیق تهیه گردید. در شکل (۷)، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) تهیه شده از الگوریتم‌های تلفیق موردبررسی ارائه شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]



شکل (۷). شاخص پوشش گیاهی (NDVI) الگوریتم‌های تلفیق موردبررسی و تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس

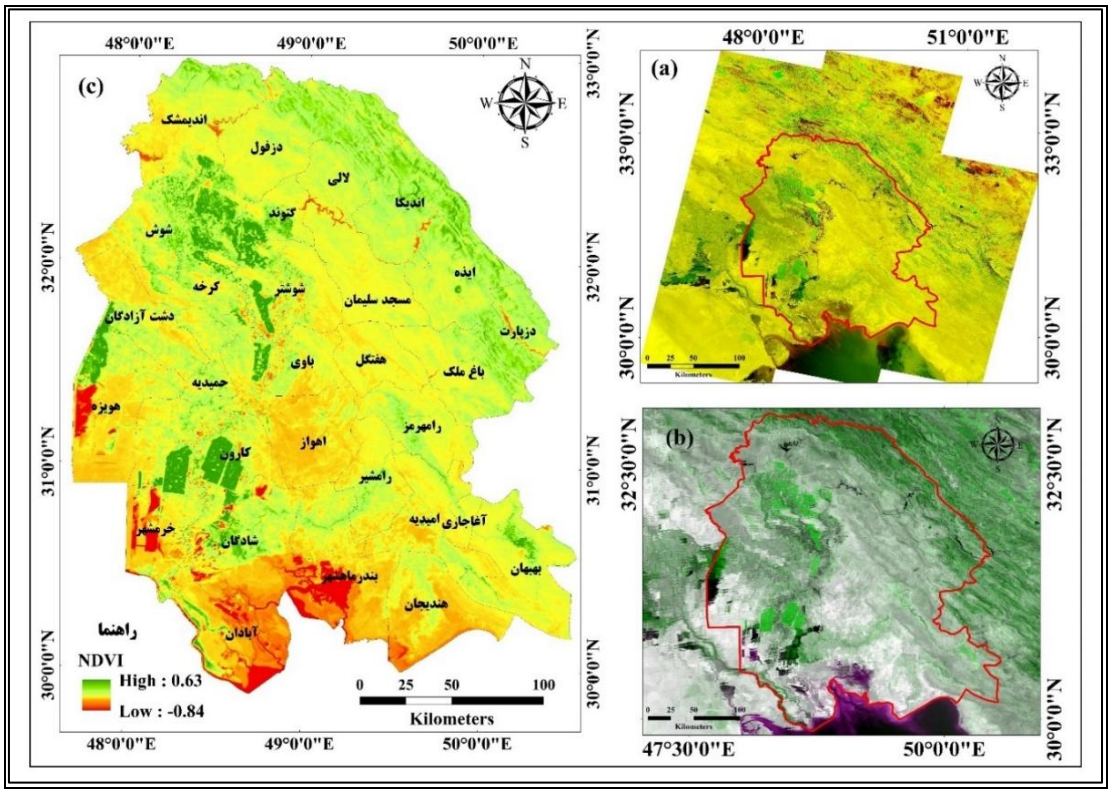
به‌منظور ارزیابی خطاهای آماری هر یک از الگوریتم‌های تلفیق نسبت به مقادیر این شاخص در لندست-۸، نقشه رستری مقادیر شاخص پوشش گیاهی (NDVI) محاسبه شده در هر کدام از الگوریتم‌های تلفیق به فایل نقطه‌ای تبدیل شده است. در جدول ۵، مقادیر خطای آماری RMSE، MAE و MBE نشان داده شده است. بر این اساس در میان الگوریتم‌های تلفیق موردبررسی الگوریتم NNDiffuse، کمترین مقدار خطای RMSE (۰/۱۲۳۴) و MAE (۰/۰۸۱) را به خود اختصاص داده است. الگوریتم Brovey کم‌ترین مقدار خطای MBE (۰/۰۱۲-) را دارا می‌باشد؛ و دارای میزان خطای RMSE (۰/۱۵۳۱) و MAE (۰/۱۰۴۹) می‌باشد. دو الگوریتم SFIM و Gram- Schmidt از لحاظ پارامترهای خطاهای آماری دارای وضعیت نسبتاً مشابهی هستند و به ترتیب از خطای RMSE (۱۶۰۲/ و ۰/۱۷۱۰)، MAE (۰/۱۱۲۳ و ۰/۱۰۱) و MBE (۰/۰۱۶- و ۰/۰۱۶۴-) برخوردار هستند. الگوریتم PC، مقدار خطای RMSE (۰/۱۸۱۸)، MAE (۰/۱۰۶۶) MBE (۰/۰۱۷۰ -) را به خود اختصاص داده است. بیشترین خطاهای RMSE (۰/۲۸) و MAE (۰/۲۵) و MBE (۰/۲۴۴-) مربوط به الگوریتم CN می‌باشد. با توجه به جدول ۵، الگوریتم NNDiffuse جهت تلفیق باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸ و مادیس از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد و الگوریتم CN از کمترین دقت برخوردار می‌باشد.

جدول (۵). ارزیابی شاخص پوشش گیاهی (NDVI) الگوریتم‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای نسبت به لندست-۸

معیارهای آماری	RMSE	MAE	MBE
	الگوریتم‌های تلفیق		
NNDiffuse	۰/۱۲۳۴	۰/۰۸۱	-۰/۰۱۵۷
Brovey	۰/۱۵۳۱	۰/۱۰۴۹	-۰/۰۱۲
SFIM	۰/۱۶۰۲	۰/۱۱۲۳	۰-/۰۱۶
Gram- Schmidt	۰/۱۷۱۰	۰/۱۰۱	-۰/۰۱۶۴
PC	۰/۱۸۱۸	۰/۱۰۶۶	-۰/۰۱۷۰
CN	۰/۲۸	۰/۲۵	-۰/۲۴۴

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی دقت مکانی و طیفی الگوریتم‌های تلفیق جدول (۴ و ۵)، الگوریتم NNDiffuse به‌عنوان الگوریتم تلفیق نهایی انتخاب گردید؛ بنابراین با استفاده از الگوریتم NNDiffuse در محدوده استان خوزستان، باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸ و مادیس تلفیق گردید و نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در کل محدوده استان تهیه گردید شکل (۸). با توجه به اینکه برای پوشش کل محدوده استان خوزستان از ۸ تصویر لندست- ۸ از تاریخ ۲۱ تا ۳۰ ماه ژوئن ۲۰۲۲ استفاده شده است، بنابراین از تصویر مادیس مربوط به تاریخ ۲۵ ژوئن ۲۰۲۲ جهت تلفیق با تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده گردید؛ زیرا این تصویر مناسب‌ترین فاصله زمانی با تاریخ تمام تصاویر موزائیک شده لندست-۸ را دارا می‌باشد.



شکل (۸). a) تصویر موزائیک شده از ۸ تصویر لندست - ۸، b) تصویر ماهواره‌ای مادیس، c) نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، تهیه شده از الگوریتم NNDiffuse

بالا بودن دقت الگوریتم NNDiffus در این پژوهش با نتایج مطالعات، ژو و همکاران، ۲۰۱۶، نخعی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. محققان مذکور نیز نشان دادند که الگوریتم NNDiffus در مقایسه با الگوریتم HPE، Gram-schmidt، PC و Brovey جهت تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی نتایج مطلوب‌تری دارد. در تحقیقات آن‌ها نیز الگوریتم تلفیق NNDiffuse در مقایسه با Brovey از دقت مناسب‌تری برخوردار می‌باشد. در الگوریتم تلفیق NNDiffuse، امکان تلفیق باندهای متناظر به‌صورت منفرد وجود دارد. در این تحقیق از تلفیق منفرد باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس استفاده شده است. این امکان می‌تواند یکی از دلایل قابلیت بالای الگوریتم NNDiffus در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در این تحقیق باشد در این تحقیق پس از الگوریتم NNDiffus، الگوریتم Brovey در مقایسه با تصویر لندست-۸ اصلی از کم‌ترین خطای آماری و بیش‌ترین همبستگی با باندهای متناظر قرمز و مادون‌قرمز لندست-۸ اصلی برخوردار است. با توجه به فرمول محاسباتی این الگوریتم، نسبت بازتاب هر باند به مجموع بازتاب باندهای تصویر چند طیفی (MS) را در مقدار بازتاب تصویر پانکروماتیک (PAN) ضرب می‌کند و به این صورت مقادیر بازتاب طیفی تصویر تلفیق شده، بازیابی می‌شود. با توجه به اینکه این نسبت به مقادیر بازتاب طیفی هر پیکسل تصویر پانکروماتیک (PAN) به‌طور ثابت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

ضرب می‌شود، بنابراین مقادیر بازتاب طیفی تصویر تلفیق شده، با نسبت ثابتی تغییر می‌کند. به همین دلیل همبستگی میان بازتاب طیفی باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصویر تلفیق شده از طریق الگوریتم Brovey و باندهای معادل آن در تصویر لندست-۸ بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. الگوریتم CN توضیح مشابه الگوریتم Brovey دارد و در این الگوریتم باند مادون‌قرمز نزدیک لندست- ۸ جایگزین باند متناظر آن در تصویر مادیس شده است. به همین دلیل میزان همبستگی باند مادون‌قرمز نزدیک تصویر تلفیق شده این الگوریتم با باند مادون‌قرمز نزدیک لندست- ۸، دارای بیشترین مقدار می‌باشد. ارزیابی معیارهای طیفی و مکانی الگوریتم‌های تلفیق تصاویر در این تحقیق نشان داد که الگوریتم CN اگر چه دارای همبستگی آماری مناسبی با باند مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸ اصلی می‌باشد اما از همبستگی طیفی و مکانی ضعیف‌تری برخوردار می‌باشد. الگوریتم‌های Gram-schmidt و PC از نظر دقت مکانی و طیفی و همچنین ارزیابی دقت خطاهای آماری در وضعیت متوسط قرار گرفته‌اند. الگوریتم SFIM بیشترین همبستگی طیفی و شباهت را با تصویر اولیه داشته است که این امر نشان‌دهنده کم‌ترین مقدار تخریب اطلاعات طیفی است ولی از نظر همبستگی مکانی این الگوریتم در وضعیت متوسطی قرار گرفته است؛ که این نتیجه با مطالعه کابلی‌زاده، رنگزن و محمدی (۱۳۹۷)، لو[۳۴]، کینگ[۳۵] و لی[۳۶] (۲۰۰۰) مطابقت دارد. این محققان در مطالعه خود بیان نمودند که کمترین مقدار تخریب اطلاعات طیفی مربوط به الگوریتم SFIM می‌باشد؛ بنابراین نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها مطابقت دارد. این روش ازآنجایی‌که محدودیت در تعداد باند ورودی نداشته و انحراف طیفی در آن کم می‌باشد، از روش‌های مناسب در تلفیق تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات مختلف محسوب می‌شود. الگوریتم NNDiffuse از نظر شاخص ارزیابی معیار کیفیت مکانی نیز دارای بالاترین همبستگی مکانی با باند مادون‌قرمز نزدیک لندست-۸ اصلی و از نظر ارزیابی معیار طیفی نیز در وضعیت بسیار مناسبی می‌باشد.

در این پژوهش سعی گردید در مقایسه با مطالعات پیشین، امکان تهیه نقشه پوشش گیاهی (NDVI) هم‌زمان در منطقه وسیع استان خوزستان با کمترین خطای ممکن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس و انواع مختلف الگوریتم‌های تلفیق مورد ارزیابی قرار گیرد. جهت ارزیابی همه جانبه دقت نقشه تهیه شده از معیارهای مختلف آماری متوسط، انحراف معیار و همبستگی بازتاب طیفی باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک، معیار ارزیابی طیفی (ضریب همبستگی) و مکانی (فیلتر لاپلاسین) و همچنین معیارهای خطای آماری RMSE، MAE و MBE استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که الگوریتم NNDiffuse با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی دقت مکانی و طیفی در میان الگوریتم‌های تلفیق موردبررسی از دقت مناسب‌تری به‌منظور تلفیق باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس برخوردار است و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) تهیه شده از این الگوریتم در مقایسه با تصویر لندست-۸ اصلی دارای کم‌ترین خطای آماری RMSE و MAE است.

در این تحقیق پس از الگوریتم NNDiffus، الگوریتم Brovey، از کم‌ترین خطای آماری برخوردار است. الگوریتم CN از همبستگی طیفی و مکانی ضعیف‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار می‌باشد. الگوریتم‌های Gram-schmidt و PC از نظر دقت مکانی و طیفی و دقت خطاهای آماری در وضعیت متوسط قرار گرفته‌اند. الگوریتم SFIM بیشترین همبستگی طیفی و کم‌ترین مقدار تخریب اطلاعات طیفی را داشته است ولی از نظر همبستگی مکانی در وضعیت متوسطی قرار گرفته است.

به‌طورکلی، با توجه به دقت نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) تهیه شده، می‌توان نتیجه گرفت که امکان تلفیق مکانی و زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و مادیس علی‌رغم استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ با اختلاف زمانی چند

[34].Lau
[35]. King
[36]. Li

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

روز از یکدیگر (به دلیل وسعت بسیار بالای استان خوزستان، پوشش موزائیک شده از ۸ تصویر لندست-۸ و نبود تصاویر ماهواره‌ای مناسب هم‌زمان) وجود دارد.

با توجه به جدید بودن مسئله تلفیق مکانی-زمانی داده‌های سنجش‌ازدوری و توسعه الگوریتم‌های مختلف در این حوزه، مطالعات کمی بر روی تلفیق مکانی-زمانی تهیه نقشه‌های شاخص پوشش‌گیاهی صورت گرفته است و بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی تلفیق پارامترهایی همچون بازتاب سطحی انجام شده است (ژو و همکاران، ۲۰۲۱).

الگوریتم‌های مختلفی در سال‌های اخیر توسعه پیدا کرده‌اند که لزوم بررسی بیشتر و دقیق‌تر این الگوریتم‌ها و مقایسه آن‌ها جهت انتخاب مناسب‌تر در مناطق مختلف احساس می‌شود. همچنین در مناطق وسیع مانند استان خوزستان که نیاز به چندین تصویر جهت پوشش سراسری محدوده وجود دارد، امکان دسترسی به تصاویر هم‌زمان داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بیش‌تر مانند تصاویر لندست همواره با چالش روبرو می‌باشد. علاوه بر آن قدرت تفکیک زمانی (۱۶ روز یک‌بار) این ماهواره، امکان بررسی تغییرات کوتاه‌مدت و پایش روزانه برخی از پدیده‌ها را فراهم نمی‌کند؛ بنابراین استفاده از تکنیک تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، مانند تلفیق تصاویر لندست با مادیس، می‌تواند در مطالعات بسیاری، مفید واقع شود و در نهایت داشتن ارزیابی درست و کامل زمانی حاصل می‌شود که دید جامع از ویژگی‌های مکانی و طیفی تصویر هم‌زمان با هم حاصل شود. در تحقیقات قبلی از جمله ژو و همکاران (۲۰۱۶)، نخعی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸)، شیرازی و همکاران (۱۳۹۹)، ارزیابی ویژگی‌های مکانی الگوریتم‌های تلفیق نادیده گرفته شده است؛ بنابراین این تحقیق بر روی این چالش متمرکز بوده و از دو معیار مکانی (فیلتر لاپلاسین) و طیفی (ضریب همبستگی) برای ارزیابی الگوریتم‌های تلفیق به‌طور هم‌زمان استفاده شده است. یافته‌های این تحقیق می‌تواند در تحقیقات مشابه، جهت ارزیابی الگوریتم‌های تلفیق مفید واقع شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و تحت پژوهانه شماره "SCU.EG1402.26151 " انجام شده است.

منابع

اژدری، علی؛ حیدریان پیمان؛ فتح‌بار، سمیرا؛ صالحی، حسین و فولادی، علی (۱۳۹۶). اولویت‌های کانون‌های تولید گردوغبار در استان خوزستان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی استان خوزستان.

انتظاری، علیرضا؛ زندی، رحمان؛ و خسروانی، مریم (۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات فضایی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست و مادیس، مطالعه موردی: استان خوزستان ۲۰۱۷-۱۹۸۶، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۱، شماره ۴.

شیرازی، میترا؛ اخوان محمد اخوان؛ متین‌فر، حمیدرضا و نخکش، منصور (۱۳۹۹). مقایسه روش‌های کاهش مقیاس تصویر MODIS و OLI برای تشخیص گردوغبار صنعتی، *مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۲۶ (۳). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119996

کابلی‌زاده، مصطفی؛ رنگزن، کاظم و محمدی، شاهین (۱۳۹۷). کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی، *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی* (سال نهم/ شماره سوم).

نخعی‌نژاد فرد، سارا؛ غلامی، حمید؛ اکبری، داود؛ تلفر، مت و رضایی، مرضیه (۱۳۹۸). ارزیابی استفاده از الگوریتم‌های مختلف ادغام تصویر در تهیه نقشه شاخص‌های گیاهی. *فصلنامه علمی ـ پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۸(۱۱۲)، ۱۹۹-۲۱۷. . https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38616

Acerbi-Junior, F., Clevers, J., & Schaepman, M. (2006). The assessment of multi-sensor image fusion using wavelet transforms for mapping the Brazilian Savanna. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4): 278-288. https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.01.001.

Al-Wassai, F., Kalyankar, N.V., & Al-Zuky, A A. (2011). Arithmetic and frequency filtering methods of pixel-based image fusion techniques. arXiv preprint arXiv:1107.3348.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]

Boyte, S.P., Wylie, B.K., Rigge, M.B. & Dahal, D. (2017). “Fusing MODIS with Landsat 8 data to downscale weekly normalized difference vegetation index estimates for central Great Basin rangelands, USA”, GIScience & Remote Sensing, 1-24. https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1382065

Chen, Sh., Zhang, L., Hu, X., Meng, Q., Qian, J. & Gao, J. (2023). "A Spatiotemporal Fusion Model of Land Surface Temperature Based on Pixel Long Time-Series Regression: Expanding Inputs for Efficient Generation of Robust Fused Results" Remote Sensing 15, no. 21: 5211. https://doi.org/10.3390/rs15215211.

Gao, F., Hilker, T., Zhu, X., Anderson, M., Masek, J., Wang, P., & Yang. (2017). Fusing Landsat and MODIS Data for Vegetation Monitoring. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 3(3): 47-60.

Lau, W., King, B.A., & Li, Z. (2000). The influence of image classification by fusion of spatially oriented images. International Archieves of Photogrammetry and Remote Sensing, 33(B7/2; PART 7): 752-759.

Moller, M., Gerstmann, h., Gao, F., Dahms, T.C., & Forster, M. (2017). Coupling of phenological information and simulated vegetation index time series: Limitations and potentials for the assessment and monitoring of soil erosion risk. CATENA, 150: 192-205. https://doi 10.1016/j.catena.2016.11.016

Moltó, E. (2022). "Fusion of Different Image Sources for Improved Monitoring of Agricultural Plots" Sensors 22, no. 17: 6642. https://doi.org/10.3390/s22176642.

Niazi, Y., Moosavi, V., Talebi, A., Mokhtari, M.H., & Shamsi, S.R.F. (2015). A wavelet-artificial intelligence fusion approach (WAIFA) for blending Landsat and MODIS surface temperature. Remote Sensing of Environment, 169, pp.243-254. https://doi.org/10/.1016/j.rse.2015.08.015.

Olsoy, P., Mitchell, J., Glenn, N., Flores, A. (2017). Assessing a Multi-Platform Data Fusion Technique in Capturing Spatiotemporal Dynamics of Heterogeneous Dryland Ecosystems in Topographically Complex Terrain. Remote Sensing, 9(10): 981

Pohl, C., & Van Genderen, J. (2016). Remote sensing image fusion: A practical guide. 1st ed. Crc Press, Boca Raton, 288.

Pushparaj, J., & Hegde, A.V. (2017). Evaluation of pan-sharpening methods for spatial and spectral quality. Applied Geomatics, 9(1): 1-12. https://doi.org/10.1201/9781315370101

Wang, Q., Blackburn, G.A., Onojeghuo, A.O., Dash, J., Zhou, L., Zhang, Y., & Atkinson, P.M. (2017). Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55(7): 3885-3899.

Xu, S., & Ehlers, M. (2017). Hyperspectral image sharpening based on Ehlers fusion.International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W7: 941-947. https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2683444

Zhang, K., Kimball, J. S., & Running, S.W. (2016). A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3(6), 834-853. http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1168

Zhao, J., Huang, L., Yang, H., Zhang, D., Wu, Z. & Guo, J. (2016). “Fusion and assessment of high-resolution WorldView-3 satellite imagery using NNDiffuse and Brovey algorithms. In Fusion and assessment of high-resolution WorldView-3 satellite imagery using NNDiffuse and Brovey algorithms”, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2606-2609.

Zhou, J., Chen, J., Chen, X., Zhu, X., Qiu, Y., Song, H., Rao, Y., Zhang, C., Cao, X., & Cui, X. (2021). Sensitivity of six typical spatiotemporal fusion methods to different influential factors: A comparative study for a normalized difference vegetation index time series reconstruction. Remote Sensing of Environment, 252, Article 112130. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112130

Zhou, J., Zhan, W.D., Hu & Zhao, X. (2011). Improvement of mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from HJ-1B satellite data. Chinese Geographical Science, 20: 123-131.https://doi.org/1010.1007/s11769-010-0123-z

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.17]