Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

Increasing the Plant Ecological Units monitoring accuracy with multi-sensor data fusion: a new approach in environmental hazards management

Masoumeh Aghababaei [1] | Ataollah Ebrahimi [2]✉ | Ali Asghar Naghipour [3] | Esmaeil Asadi [4]

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ma.aghababaeei@stu.sku.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: Ataollah.Ebrahimi@sku.ac.ir
3. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: aa.naghipour@sku.ac.ir
4. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: asadi-es@sku.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 16 July 2025
Accepted 29 October 2025
Published online 07 January 2025

Keywords:
Image fusion,
Remote sensing,
Gram-Schmidt algorithm,
Plant Ecological Units.

ABSTRACT

Objective: During a landscape, it is not facile to discriminate land parts that have dissimilar amounts and types of vegetation. Plant Ecological Units (PEUs) are known as management units and are a reflection of the management actions and natural disturbances in the region. By describing PEU through vegetation maps, it is possible to predict the change type in response to human or natural hazards. This research aims to fuse different resolutions of satellite images to increase the PEUs classification accuracy.

Methods: For this purpose, the Marjan-Borujen watershed in Chaharmahal va Bakhtiari province was selected. After field monitoring and surveys, four dominant PEUs groups were identified in the study area. In this study, bands from the Landsat_8 satellite images with 30 m spatial resolution (bands 7_2) and a 15 m panchromatic band (band 8) were used, as well as the Sentinel_2 satellite images including panchromatic bands (8, 4, 2, 3) with 10 m spatial resolution. First step, using the Landsat panchromatic band, the 30-m bands were upgraded to 15 m through the pen-sharpening process; so the 15 m data set was prepared from the Landsat_8 satellite. Then, to increase the spatial resolution of the 15-meter data set to 10 m, the Sentinel_2 panchromatic bands were used. In this way, the Sentinel_2 panchromatic bands were geometrically matched with the Landsat_8 15 m data set, and the Co-Registration process was performed with the minimum RMSE(0.05). Finally, two data sets (2 to 8 bands) of the Landsat_8 satellite images with 15 m and 10 m spatial resolution, the PEUs classification maps were prepared using the RF classification algorithm, and the maps' accuracy was displayed as an error matrix.

Results: The results show that increasing the spatial resolution significantly enhances the accuracy of PEUs classification maps. So that, the 15 m set shows the classification map overall accuracy as 66 %, while increasing the spatial resolution to 10 m, the overall accuracy has been enhanced to 82 %. As well as, the error matrix results show that the classification map procured from the 10 m set, all four PEUs groups have improved the producer accuracy, user accuracy, and kappa agreement index. So that in this map, PEU 2 and PEU 3 have the highest kappa agreement coefficient (83 percent).

Conclusions: This study shows that using the Gram-Schmidt fusion algorithm and consequently increasing the spatial resolution of Landsat 8 images from 30 m to 10 m reduces mixed pixels and increases pure pixels, which in turn improves the quality of PEU classification maps.

Cite this article: Aghababaei, M., Ebrahimi, A., Naghipour, A.A., & Asadi, E. (2025). Increasing the Plant Ecological Units monitoring accuracy with multi-sensor data fusion: a new approach in environmental hazards management. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 12 (3), 65-80. http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.3.5

© The Author(s)

Publisher: Kharazmi University
DOI: http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.3.5

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

During a landscape, it is not facile to discriminate land parts that have dissimilar amounts and types of vegetation. Plant Ecological Units (PEUs) are known as management units and are a reflection of the management actions and natural disturbances in the region. Although the PEUs' meaning and concept have been accepted, their importance and impact on assessing and monitoring are not well understood in natural ecosystems.

So that any landscape monitoring and assessment programs and management measures require knowledge and awareness of the region's PEUs. By describing PEU through vegetation maps, it is possible to predict the change type in response to human or natural hazards. This research aims to fuse different resolutions of satellite images to increase the PEUs classification accuracy. However, because PEUs have completely similar spectral behavior, the map's accuracy resulting from the classification is reduced due to the mixed pixels. So far, there has been no study to reduce the mixed pixels and consequently improve the PEUs map accuracy from plant community subclasses. So in this study, the fusion of different spatial resolution satellite images has been investigated to improve and increase the PEUs maps accuracy.

Methods

For this purpose, the Marjan-Borujen watershed in Chaharmahal va Bakhtiari province was selected. After field monitoring and surveys, four dominant PEUs groups were identified in the study area. In this study, bands from the Landsat_8 satellite images with 30 m spatial resolution (bands 7_2) and a 15 m panchromatic band (band 8) were used, as well as the Sentinel_2 satellite images including panchromatic bands (8, 4, 2, 3) with 10 m spatial resolution. First step, using the Landsat panchromatic band, the 30-m bands were upgraded to 15 m through the pen-sharpening process; so the 15 m data set was prepared from the Landsat_8 satellite. Then, to increase the spatial resolution of the 15-meter data set to 10 m, the Sentinel_2 panchromatic bands were used. In this way, the Sentinel_2 panchromatic bands were geometrically matched with the Landsat_8 15 m data set, and the Co-Registration process was performed with the minimum RMSE. In this stage, by selecting control points from the image's corners and edges and then from the image's center, attempts were made to reduce the displacement and shift between the two images to at least one pixel. After the two images matched geometry using the Gram-Schmidt algorithm, which is one of the most powerful image fusion algorithms, the Landsat_8 15 m bands were upgraded to 10 m spatial resolution. So, two band sets (2 to 8), which had 10 m and 15 m spatial resolution, respectively, were created from the Landsat_8 satellite images.

Finally, two PEUs classification maps with 10 m and 15 m spatial resolution, respectively, were prepared from these two data sets separately using the RF classification algorithm and training samples. The produced maps' accuracy was evaluated using test data and the preparation of an error matrix. Also, the significance or non-significance of producer accuracy, user accuracy, and Kappa agreement coefficient for different PEUs classes was examined through a statistical test (Friedman).

Results

In the study, Pan-sharpening and Gram-Schmidt algorithms were used to enhance 30-m images to 10-m from Sentinel_2 satellite panchromatic bands. A less than 0.05 RMSE value obtained from the fusion of the Gram-Schmidt algorithm clearly shows that the fusion images are spectrally and spatially consistent with the reference images. The PEUs' classification maps of

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

these two datasets were prepared using the RF classification algorithm. The results show that, due to the PEUs' similar spectral behaviors, the possibility of PEUs separating with greater accuracy increases with the increase in the satellite image spatial resolution. So, the data set with 15 m spatial resolution has been classified as a salt-and-pepper state, and the map's overall accuracy is 66 percent. In contrast, by increasing the spatial resolution to 10 m, the maps' overall accuracy has been improved by 15 percent, so that the overall accuracy has reached 82 percent. The error matrix results also show that the 10-m classification map has improved the producer accuracy, user accuracy, and kappa agreement index for all four PEUs. For like, the PEU2 kappa agreement index has improved from 44 percent to 83 percent. In this map, PEU 2 with the dominant grass species (Br. to), and plant ecological unit 3 with the dominant semi-shrub species (Sc. or), have the highest kappa agreement index (83 percent).

Conclusion

In this study, an attempt was made to investigate the ability of Landsat-8 and Sentinel-2 satellite images to fuse in preparing a PEUs map with high accuracy. So that the Sentinel-2 satellite has been designed to continue and upgrade Landsat satellite data and other missions. Satellite image fusion methods have always improved image quality and increased image detail. Image fusion has many applications, including improving classification, detecting defects, assessing changes, and replacing missing information in an image using another sensor image.

Various methods have been proposed for image fusion, so for image fusion, a method should be used that has acceptable accuracy and can, in addition to improving spatial accuracy, preserve the spectral content of the multispectral image well.

According to the results, classification based on the Landsat-8 and Sentinel-2 images fused is the best technique to increase the PEUs classification map accuracy in heterogeneous landscapes. Comparison of the results based on increasing the images spatial resolution in improving the PEUs maps' accuracy shows that using the Gram-Schmidt fusion algorithm and increasing the spatial resolution from 15 m to 10 m reduces the mixed pixels and increases the pure pixels, resulting in improved image quality and revealing more details in the produced maps. So that the Gram-Schmidt algorithm, in addition to improving the Landsat-8 images' spatial accuracy, has also preserved the images spectral content well.

Therefore, in order to have better and more complete results, more than one satellite image can be used in the process of preparing vegetation maps, because given the different characteristics of different sensors, using information from these sensors together will definitely provide better results.

Keywords: Image fusion, Remote sensing, Gram-Schmidt algorithm, Plant Ecological Units.

Author Contributions

First author: Preparation and preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparation of draft article.

Second author: First thesis supervisor, research design, supervision of research stages, review and control of results, correction, revision, and finalization of the article.

Third author: Second thesis supervisor, participation in research design, supervision of research, reading and revising the article.

Fourth author: Thesis advisor, supervision of research, reading and revising the article.

Data Availability Statement

Data is available upon request from the authors.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]

[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

Acknowledgements
This study is derived from the first author's Ph.D thesis, entitled "The Potential of Multi-Spectral Remote Sensing Data for Mapping and Monitoring Plant Ecological Units and Estimating Ecosystem Services at Landscape Level" under the guidance of the second and third authors, which was defended in September 2022 at Shahrekord University.

Ethical considerations
The author has observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by them.

Funding
This article has no sponsor.

Conflict of interest
According to the author's declaration, this article has no conflict of interest.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: **۵۱۴۶– ۲۵۸۸**

Homepage: https://khu.ac.ir

افزایش دقت پایش واحدهای اکولوژیکی گیاهی با ادغام داده‌های چندسنجنده‌ای: رویکردی نوین در مدیریت مخاطرات محیطی

معصومه آقابابایی [۱] | عطاالله ابراهیمی [۲]✉ | علی‌اصغر نقی‌پور [۳] | اسماعیل اسدی [۴]

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ma.aghababaeei@stu.sku.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: Ataollah.Ebrahimi@sku.ac.ir

۳. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: aa.naghipour@sku.ac.ir

۴. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: asadi-es@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷

کلیدواژه‌ها:
ادغام تصاویر،
سنجش از دور،
الگوریتم گرام اشمیت،
واحدهای اکولوژیک گیاهی.

هدف: در طول یک چشم‌انداز به‌راحتی نمی‌توان بخش‌هایی از اراضی که مقدار و نوع پوشش گیاهی متفاوتی دارند را تشخیص داد. واحدهای اکولوژیک گیاهی به‌عنوان واحدهای مدیریتی شناخته می‌شوند و گویای پیشینه مدیریت حاکم و تخریبات طبیعی بر منطقه هستند. با توصیف واحدهای اکولوژیک گیاهی از طریق تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی می‌توان نوع تغییرات در پاسخ به مخاطرات انسانی یا طبیعی را پیش‌بینی کرد. هدف این تحقیق، تلفیق تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی مختلف جهت افزایش دقت نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

روش پژوهش: در این مطالعه تصاویر ماهواره لندست_۸ با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر (باندهای ۷_۲) و باند پنکروماتیک ۱۵ متر (باند ۸)، همچنین تصاویر ماهواره سنتینل_۲ شامل ۴ باند پنکروماتیک (۸، ۴، ۳،۲) با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا با استفاده از باند پنکروماتیک ماهواره لندست، باندهای ۳۰ متری از طریق فرایند Pan-sharping به ۱۵ متر ارتقاء یافته و مجموع باندهای ۱۵ متری از ماهواره لندست_۸ تهیه شد. سپس برای افزایش وضوح مکانی تصاویر ۱۵ متری لندست به تصاویر ۱۰ متری، از باندهای پنکروماتیک ماهواره سنتینل_۲ استفاده شد. به این صورت که مجموع باندهای پنکروماتیک سنتینل_۲ جهت انطباق هندسی با مجموع باندهای ۱۵ متری ماهواره لندست_۸، فرایند Co_Registration با حداقل میزان RMSE (۰/۰۵) انجام گرفت. سپس با استفاده از الگوریتم گرام اشمیت، باندهای ۱۵ متری ماهواره لندست_۸ به توان تفکیک مکانی ۱۰ متر ارتقاء یافت. در نهایت با دو مجموع باندی (۲ تا ۸) تصاویر ماهواره لندست_۸ با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر و ۱۰ متر، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی RF نقشه‌های طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی تهیه شد و دقت نقشه‌های تولیدی به صورت ماتریس خطا نمایش داده شد..

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش توان تفکیک مکانی تصاویر بر دقت نقشه‌های طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی نیز افزوده می‌شود. به‌طوری که مجموعه باندهای ۱۵ متری میزان دقت کلی نقشه طبقه‌بندی را ۶۶ درصد نشان می‌دهند، در حالی که با افزایش وضوح مکانی باندها به ۱۰ متر، میزان دقت کلی نقشه طبقه‌بندی به ۸۲ درصد ارتقاء پیدا کرده است. همچنین نتایج ماتریس خطا نشان می‌دهد که نقشه طبقه‌بندی حاصل از مجموعه داده‌های ۱۰ متری، هر چهار گروه واحد اکولوژیک گیاهی میزان دقت تولیدکننده، دقت کاربر و شاخص توافق کاپا ارتقاء یافته است. به طوری که در این نقشه، واحد اکولوژیک گیاهی ۲ و ۳ بیشترین میزان ضریب توافق کاپا (۸۳ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از فرایند تلفیق گرام اشمیت و افزایش توان تفکیک مکانی از ۳۰ متر به ۱۰ متر سبب کاهش میزان پیکسل‌های مختلط و افزایش پیکسل‌های خالص و در نتیجه بهبود کیفیت تصاویر در نقشه‌های تولیدی می‌شود.

استناد: آقابابایی، معصومه؛ ابراهیمی، عطاالله؛ نقی‌پور، علی‌اصغر؛ و اسدی، اسماعیل (۱۴۰۴). افزایش دقت پایش واحدهای اکولوژیکی گیاهی با ادغام داده‌های چندسنجنده‌ای: رویکردی نوین در مدیریت مخاطرات محیطی. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۳)، ۶۵-۸۰.
http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.3.5

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

مقدمه

با توجه به فراوانی و تشدید بحران‌ها و نابسامانی‌هایی زیست محیطی نظیر تغییرات کاربری اراضی (لاوش[1] و همکاران، ۲۰۲۳)، نابودی مراتع و تغییر سطح جنگل‌ها و مراتع (چان[2] و همکاران، ۲۰۲۵)، خشکسالی و تغییرات پوشش گیاهی (تاماسوکی[3] و همکاران، ۲۰۲۲)، امروزه متخصصان و کارشناسان حوزه منابع طبیعی و محیط زیست بر لزوم دستیابی به الگویی در مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی تأکید دارند. یکی از مواردی که باعث تغییر اکوسیستم‌ها و در نتیجه تغییر اقلیم و بروز خشکسالی به صورت متوالی می‌شود، تغییرات پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی هم‌چون تغییر کاربری و پوشش اراضی می‌باشد. از آنجا که وسعت زیادی از سطح زمین را پوشش گیاهی اشغال کرده است، پایش این عنصر دارای اهمیت زیادی می‌باشد (آقابابایی و همکاران، ۱۴۰۳).

جامعه گیاهی مجموعه‌ای از گونه‌های گیاهی است که با هم در یک محل خاصی رشد می‌کنند و هر گونه در درون خود تبادل ژنی دارند. واحد جامعه برای مطالعه را واحد اکولوژیک گیاهی (PEU) گویند که ممکن است، در چندین محل تکرار شوند. هر واحد اکولوژیک گیاهی، ساختار گیاهی و عملکرد اکولوژیکی یکسان دارد و باعث تجمع منابع در اکوسیستم شده و نقش مهمی در توزیع مجدد منابع، همچون تولید رواناب و نفوذپذیری خاک دارند (اسکات آرمبروستر[4]، ۱۹۹۵). گاهی مخاطرات طبیعی و دخالت‌های بشر باعث جایگزینی حالت‌های پایدار و تبدیل واحدهای اکولوژیک گیاهی می‌شوند. به‌طوری که در بعضی از واحدها با خصوصیات توپوگرافی و خاک مشابه ممکن است تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در ترکیب پوشش گیاهی وجود داشته باشند که این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در پاسخ گونه‌های گیاهی به مخاطرات محیطی و فعالیت‌های مدیریتی باشد (رتکلیف[5] و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، واحدهای اکولوژیک گیاهی به‌عنوان واحدهای مدیریتی شناخته می‌شوند و گویای پیشینه آشفتگی‌های طبیعی و مدیریت حاکم بر منطقه هستند. با توصیف واحدهای اکولوژیک گیاهی از طریق تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی می‌توان نوع تغییرات در پاسخ به مخاطرات انسانی یا طبیعی را پیش‌بینی کرده و جهت تفسیر وضعیت پوشش اراضی و ارزیابی وضعیت حفاظت واحدهای اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (اشپیگال[6] و همکاران، ۲۰۱۶).

اگرچه تاکنون معنی و مفهوم واحدهای اکولوژیک گیاهی پذیرفته شده است ولی اهمیت و نقش آن‌ها در ارزیابی و پایش تغییرات اکوسیستم‌های طبیعی به‌خوبی درک نشده است. به‌طوری که هرگونه برنامه‌های پایش و ارزیابی اراضی و اقدامات مدیریتی نیازمند داشتن دانش و آگاهی از واحدهای اکولوژیک گیاهی آن منطقه است (مورگان[7] همکاران، ۲۰۱۷). برای تهیه چنین نقشه‌های مبنایی، روش‌های متعددی علاوه بر روش‌های میدانی که معمولاً پرهزینه و زمان‌بر بوده، همچنین باعث شناسایی و طبقه‌بندی غلط در مقیاس‌های وسیع می‌شوند (فنگ[8] و همکاران، ۲۰۱۰) توسعه یافته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های سنجش از دور اشاره کرد. همراه با پیشرفت فنّاوری سنجش‌ازدور، فرصت جدیدی برای مدلسازی کمی و منظم جهت پیش‌بینی واحدهای اکولوژیک گیاهی با توان اکولوژیکی مشابه ولی با ساختارهای متفاوت و یا دارای ساختارهای متفاوت و توان متفاوت فراهم آورده است. سنجش از دور، با خصوصیات رادیومتریکی، طیفی، زمانی و مکانی مختلف و از طریق فراهم آوردن اطلاعات جایگزین برای پایش‌های میدانی، خصوصیات گیاهی، فرایند تفکیک و جداسازی واحدهای اکولوژیک گیاهی را تسهیل کرده و می‌تواند برای مدیریت بهتر چشم‌اندازها و اکوسیستم‌های طبیعی، پایش و ارزیابی تغییرات تاج پوشش گیاهی جهت حفاظت از منابع طبیعی، احیای زیستگاه‌ها و کاهش مخاطرات محیطی به کار گرفته شود (هوانگ[9] و همکاران، ۲۰۲۵). اما از آنجا که در این مطالعه

[1] - Lausch
[2] - Chan
[3] - Tamassoki
[4] - Scott Armbruster
[5] - Ratcliff
[6] - Spiegal
[7] - Morgan
[8] - Feng
[9] - Huang

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

فرایند طبقه‌بندی برای انواع واحدهای اکولوژیک گیاهی، با رفتار طیفی کاملاً مشابه می‌باشد، لذا، ارزیابی قابلیت‌ها و محدودیت‌های داده‌های سنجنده‌های مختلف حائز اهمیت فراوانی است. برآوردن نیازهای مطرح شده در استفاده از داده‌های سنجش از دور برداشت شده از سطح زمین در بسیاری از کاربردها، تنها با استفاده از یک محصول کافی و ممکن نیست و برای درک دقیق‌تر، ادغام داده‌ها می‌تواند گزینه بهتری باشد (گاسپارویچ و جوگون[1]، ۲۰۱۸). ادغام و ترکیب داده‌های سنجش از دور، به افزایش قابلیت اطمینان در تفسیر نتایج و کاهش ابهامات طبقه‌بندی عوارض منجر می‌شود. ادغام داده‌های سنجش از دور اغلب به دلیل دستیابی به یک یا چند مورد از اهداف از جمله افزایش وضوح تصاویر چند طیفی، بهبود نتایج طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور و بهبود محتوای اطلاعاتی داده‌های سنجش از دور، صورت می‌پذیرد (لی[2] و همکاران، ۲۰۲۵).

پیشینه پژوهش

۱. پیشینه تجربی

جهت تلفیق و ترکیب تصاویر سنجش از دور تا کنون، مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. ناسا اسنادی را برای ادغام تصاویر ماهواره لندست_۸ و سنتینل_۲ تحت عنوان Harmonized Landsat-8 Sentinel-2 Produc (HLS) جهت تولید نقشه‌های کاربری/ پوشش زمین منتشر کرده است. استفاده از ماهواره‌های جدیدی مانند سنتینل_۲ به تدریج امکان جدیدی برای درک بهتر از پوشش سطحی زمین در قدرت مکانی بیشتری فراهم می‌آورد (آتزبرگر و تنکابیل[3]، ۲۰۱۷). در مطالعه‌ای با هدف تلفیق تصاویر دو ماهواره سنتینل_۲ و لندست_۸ به منظور طبقه‌بندی جنگل‌های کاج مدیترانه در یونان، روش‌های مختلف ادغام تصاویر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. الگوریتم‌های مورد استفاده شامل IHS، PCA و Gram Schmidt بود. معیارهای ضریب همبستگی، ضریب همبستگی فیلتر شده و خطای کمترین مربعات (RMSE) برای ارزیابی نتایج این روش‌ها بکار گرفته شد. نتایج نشان داد که بین روش‌های مورد استفاده، روش *Gram Schmidt* و PCA به ترتیب بهترین روش از لحاظ حفظ اطلاعات طیفی و مکانی می‌باشند و روش IHS از جنبه طیفی و مکانی دارای دقت مناسبی است (مالینیس[4] و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعه فاضلی و همکاران (۱۳۹۴) از جمله مطالعات دیگری است که برای کاربردهای تلفیق تصاویر تحت عنوان عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های ادغام تصاویر انجام شده است. در این تحقیق با استفاده از ۳ روش DWT, PC_ Sharpened و Gram Schmidt به‌منظور افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده شد. آن‌ها در نهایت ذکر کردند که در بین روش‌های استفاده شده روش Gram Schmidt نسبت به سایر روش‌ها، بیشترین تأثیرگذاری را در افزایش دقت طبقه‌بندی دارند.

۲. مدل مفهومی

مجموعه داده‌های ماهواره لندست به دلیل سابقه طولانی در تصویربرداری و در دسترس بودن رایگان تصاویر از مجموعه داده‌های باسابقه و ارزشمند برای نظارت و نقشه‌برداری پوشش گیاهی می‌باشند. اما مطالعات نشان می‌دهند که این ماهواره به دلیل توان تفکیک مکانی ۳۰ متر برای شناسایی و تفکیک پوشش گیاهی به‌خصوص برای واحدهای اکولوژیک گیاهی با رفتار طیفی کاملاً مشابه در چشم‌اندازهای ناهمگن کافی نمی‌باشد (یان[5] و همکاران، ۲۰۱۷). پس برای توصیف دقیق واحدهای اکولوژیک گیاهی به تصاویر چند طیفی با وضوح مکانی دقیق‌تری نیاز است. در ژوئن ۲۰۱۵، ماهواره سنتینل_۲ جهت تداوم داده‌ها و بهبود مأموریت ماهواره‌های پیش از خود پرتاب شد. این ماهواره به دلیل وضوح مکانی و زمانی بالا برای طیف گسترده‌ای از کاربردهای مبتنی بر سنجش از دور مفید می‌باشد (ژو[6]، ۲۰۲۰). ماهواره سنتینل_۲ با داشتن ۱۳ باند طیفی و توان تفکیکی مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر

[1] - Gasparovic & Jogun
[2] - Li
[3] - Atzberger & Thenkabail
[4] - Mallinis
[5] - Yan
[6] - Zhou

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

برای تقویت ماهواره لندست_۸ راه‌اندازی شد، بطوری که تصاویر ماهواره سنتینل_۲ همان سیستم مختصات جغرافیایی ماهواره لندست_۸ را دارد. بنابراین، خصوصیات مکانی و طیفی مشابه این دو ماهواره فرصتی برای ترکیب و تلفیق داده‌ها و بهبود طبقه‌بندی پوشش گیاهی را فراهم می‌آورد (وانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۹). تأثیر ادغام داده‌های دو سنجنده با توان تفکیک مکانی و طیفی مختلف هنوز بر بهبود طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیکی گیاهی جهت نظارت و پایش اکوسیستم‌های طبیعی و چشم اندازها ارزیابی نشده است.

با نگاه در طول یک چشم‌انداز به‌راحتی نمی‌توان بخش‌هایی از اراضی که مقدار و نوع پوشش گیاهی متفاوتی دارند را تشخیص داد. برای درک بهتر تنوع و مدیریت اصولی یک چشم‌انداز، باید قسمت‌های مختلف را به واحدهای اکولوژیک گیاهی همگن طبقه‌بندی کرد (براون و هاوستاد[2]، ۲۰۱۶). در این‌صورت هرگونه برنامه پایش و ارزیابی مخاطرات محیطی و اقدامات مدیریتی نیازمند شناخت کامل واحدهای اکولوژیک گیاهی و ارتباط آن‌ها با سایر بخش‌های چشم‌انداز است (آقابابایی و همکاران، ۲۰۲۱). ولی از آنجایی که واحدهای اکولوژیک گیاهی رفتار طیفی کاملاً مشابهی دارند، بنابراین میزان دقت نقشه‌های حاصل از فرایند طبقه‌بندی کاهش یابد. ازآنجایی‌که تا کنون هیچ روشی جهت کاهش میزان پیکسل‌های مخلوط و در نتیجه بهبود دقت نقشه طبقه‌بندی برای زیر طبقات جامعه گیاهی (واحدهای اکولوژیک گیاهی) مورد مطالعه قرار نگرفته است، لذا در این مطالعه تلفیق داده‌های با قدرت تفکیک مکانی مختلف جهت بهبود طبقه‌بندی و افزایش دقت نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است. فرایند تلفیق تصاویر بین باندهای چند طیفی و باند پنکروماتیک یک سنجنده یعنی فرایند Pan_sharping نیز در بهبود طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین تلفیق تصاویر بین دو سنجنده (باندهای ۱۰ متری ماهواره سنتینل_۲ و باندهای ۳۰ متری ماهواره لندست_۸) نیز انجام شده است.

روش‌شناسی پژوهش

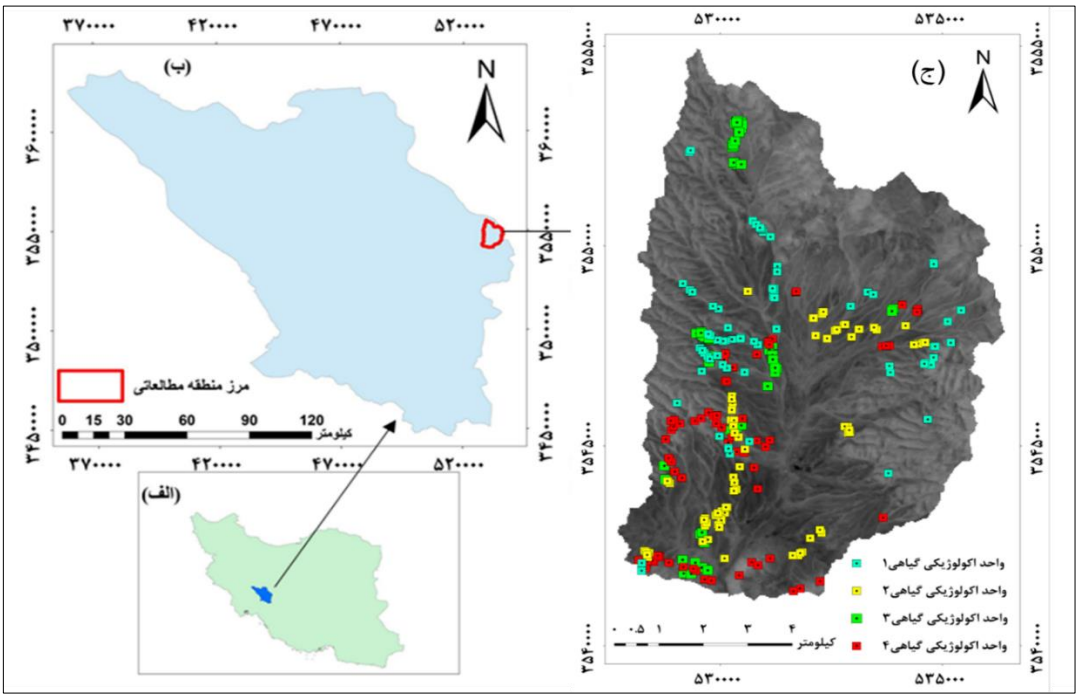
۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

این مطالعه در منطقه مرجن شهرستان بروجن از توابع استان چهارمحال‌وبختیاری انجام گرفته است (شکل ۱). این منطقه با مساحتی معادل ۷۷۱۲/۶۴ هکتار در شرق استان چهارمحال‌وبختیاری واقع شده است. از نظر جغرافیایی در حدفاصل ″۵۳ ´۱۸ °۵۱ تا ″۱۲ ´۱۹ °۵۱ طول شرقی و ″۵۶ ´۳ °۳۲ تا ″۵ ´۴ °۳۲ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط از سطح دریا در این منطقه معادل ۲۶۹۷/۴۸ متر از سطح دریای آزاد است. متوسط بارندگی طبق آمار ۲۵ ساله برابر ۲۰۰ میلی‌متر بوده است. طبق تقسیم‌بندی کوپن این منطقه دارای اقلیم معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک است. میانگین حداقل دما ۱/۶- سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دما ۲۷ درجه سانتی‌گراد است. پوشش گیاهی غالب منطقه گراس‌های چندساله و بوته‌ای است (آقابابایی و همکاران، ۲۰۲۴).

[1] - Wang

[2] - Brown and Havstad

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]



شکل ۱. نمای کلی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران (الف)، استان چهارمحال و بختیاری (ب)، و تصاویر گوگل ارث و مجموعه نقاط تست و تعلیمی ثبت شده در منطقه با پیمایش صحرایی (ج)

در منطقه مورد مطالعه، واحدهای اکولوژیک گیاهی مختلفی وجود دارد که به دلیل مدیریت صحیح، شدت بهره‌برداری زیاد نبوده و با وجود بارندگی کم (۲۲۰–۲۰۰ میلی‌متر)، قسمت اعظم منطقه دارای شرایط پوشش مناسبی می‌باشد. پوشش گیاهی غالب منطقه را گندمیان چندساله و بوته‌ای‌ها تشکیل می‌دهند. آنچه در این منطقه نمود خوبی دارد واحدهای اکولوژیک گیاهی منطقه است. به‌طوری‌که به‌جز در حاشیه‌های مرز که دارای کوه‌ها و صخره‌های سنگی است، بیشتر منطقه به‌صورت دشت مسطحی بوده و به خوبی می‌توان در سطح چشم‌انداز، واحدهای اکولوژیک گیاهی مختلف موجود در منطقه را مشاهده کرد (آقابابایی و همکاران، ۱۴۰۱). بعد از پایش و بررسی‌های میدانی چهار واحد اکولوژیک گیاهی غالب در منطقه شناسایی شد (جدول ۱) که شامل:

واحد اکولوژیک گیاهی ۱ ((Astragalus verus Olivier (As. ve)

واحد اکولوژیک گیاهی ۲ ((Bromus tomentellus Boiss (Br. to)

واحد اکولوژیک گیاهی ۳ ((Scariola orientalis Sojak (Sc. Or)

واحد اکولوژیک گیاهی ۴ ((Astragalus verus Olivier - Bromus tomentellus Boiss (As. ve - Br. to)

جدول ۱. واحدهای اکولوژیک گیاهی شناسایی شده و ویژگی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه

کد	گونه‌های غالب*	فرم زیستی	عکس‌های میدانی
واحد اکولوژیک گیاهی ۱	*Astragalus verus* Olivier.	بوته‌ای	

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

کد	گونه‌های غالب*	فرم زیستی	عکس‌های میدانی
واحد اکولوژیک گیاهی ۲	*Bromus tomentellus* Boiss.	گندمیان بلند	
واحد اکولوژیک گیاهی ۳	*Scariola orientalis* (Boiss.) Sojak.	نیمه بوته‌ای	
واحد اکولوژیک گیاهی ۴	*Astragalus verus* Olivier—*Bromus tomentellus* Boiss	بوته‌ای_ گندمیان بلند	

۲. داده‌ها و روش کار

در این مطالعه از تصاویر دو ماهواره لندست _۸ با سطح تصحیحات SR و یک مجموعه تصویر ماهواره سنتینل_۲ با سطح تصحیحات LIC، با گذر و ردیف ۱۶۴ و ۳۸ استفاده گردید. تصاویر ماهواره لندست_۸ با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر (باندهای ۷_۲) و باند پنکروماتیک ۱۵متر (باند ۸)، همچنین تصاویر ماهواره سنتینل_۲ شامل ۴ باند طیفی (۸، ۴، ۳،۲) با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر است (جدول ۲).

جدول ۲. مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک باندها (متر)	باند مورد استفاده	تاریخ اخذ تصاویر
لندست_۸	OLI	۳۰	۲-۷	۲۰۱۸/۰۶/۱۰
لندست_۸	OLI	۱۵	۸	۲۰۱۸/۰۶/۱۰
سنتینل_۲	MSI	۱۰	۲، ۳، ۴ و ۸	۲۰۱۸/۰۶/۱۹

۲-۱. تلفیق تصاویر ماهواره‌ای باقابلیت‌های متفاوت (طیفی و مکانی)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

بحث تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، داده جدیدی تولید می‌شود که توان تفکیک مکانی بالایی داشته که هم برای نمایش بهتر کاربرد دارد و هم اینکه در پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند باعث افزایش دقت کار و نتایج شود. ادغام چنین مجموعه داده‌هایی که اغلب از طریق سنجنده‌های مختلف کسب شده‌اند، تلفیق داده (فیوژن)، نامیده می‌شود. این روش مزیت خاصی دارد و برای ارتقاء توان تفکیک موثر که در آن برخی اطلاعات فقط در تفکیک مکانی پایین موجود بوده و یک‌سری اطلاعات دیگر در تفکیک مکانی بالاتر فراهم است، به‌کار می‌رود. در حقیقت هدف اصلی از ادغام تصاویر، حفظ مقادیر طیفی تصویر چند طیفی و بهبود توان تفکیک مکانی تصویر حاصل از ادغام می‌باشد.

در فرایند تلفیق داده‌ها اطلاعات طیفی در یک تصویر چند طیفی با توان تفکیک مکانی پایین با ساختار مکانی یک تصویر با توان تفکیک مکانی بالا (اغلب پنکروماتیک)، به منظور ساخت یک تصویر چند طیفی با توان تفکیک مکانی بالاتر تلفیق می‌شود. به عبارت دیگر، فرایند تلفیق تصاویر بین باندهای چند طیفی و باند پنکروماتیک یک سنجنده را Pan-sharping می‌گویند. در این مطالعه باندهای ۳۰ متری تصاویر لندست با استفاده از باند پنکروماتیک به ۱۵ متری ارتقاء یافت و مجموعه داده ۱۵ متری (باندهای ۸-۲) از ماهواره لندست ایجاد شد. یکسان‌سازی اندازه پیکسل تمام باندها با عمل بازنمونه‌گیری (RE-sampling) بر روی دیگر باندها با اندازه پیکسل بزرگتر به روش نزدیک‌ترین همسایه انجام گرفت تا مقادیر پیکسل‌های مجاور به پیکسل‌های جدید الحاق شوند.

نوع دیگر فرایند فیوژن شامل تلفیق تصاویر بین دو سنجنده است که در این مورد ابتدا باید اختلاف زمانی تصاویر مورد استفاده به حداقل مقدار کاهش یابد. در این مطالعه از باندهای پنکروماتیک ماهواره سنتینل_۲ (۱۰ متری) استفاده شد تا باندهای ۳۰ متری ماهواره لندست_ ۸ به ۱۰ متر ارتقاء یابند. الگوریتم مورد استفاده جهت تلفیق تصاویر الگوریتم گرام اشمیت (Gram Schmidt) است.

۲-۲. الگوریتم تلفیق گرام اشمیت (Gram-Schmidt image fusion)

یکی از قوی‌ترین الگوریتم‌های تلفیق تصاویر به‌شمار می‌رود که جزو روش‌های جایگزین مؤلفه به حساب می‌آید، به‌طوری که مجموعه‌ای از متغیرهای ناهمبسته و متعامد را از یک مجموعه متغیرهای همبسته تولید می‌کند. در این الگوریتم ابتدا میانگین‌گیری انجام شده و با استفاده از فرایند تبدیل (transformation) یک باند پنکروماتیک با استفاده از تصاویر چند طیفی شبیه‌سازی می‌شود و با سایر باندها تلفیق می‌شود. سپس یک تبدیل گرام اشمیت روی تصویر چندباندی اعمال می‌گردد که به اندازه تعداد باندهای تلفیق شده مولفه ایجاد می‌شود. در مرحله بعد با جایگزین مولفه اول (Substitution) این تصویر تبدیل شده با باند پنکروماتیک اصلی فرایند تلفیق انجام می‌گیرد. در نهایت با استفاده از فرایند معکوس روش گرام اشمیت تصویر به فضای اولیه خود برگردد. از مزیت‌های این الگوریتم این است که محدودیت تعداد باندی وجود ندارد و حتی برای تصاویر سنجندهای ابرطیفی نیز کاربرد دارد.

۲-۳. ارزیابی آماری و صحت سنجی نتایج تلفیق تصاویر

تلفیق تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور استفاده همزمان از اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌گیرد. اما روش‌های ادغام تصاویر معمولا دارای اعوجاج طیفی و مکانی در تصویر خروجی همراه بوده که میزان این انحرافات با توجه به الگوریتم مورد استفاده متفاوت است. برای آنکه هندسه دو تصویر آماده شده از لحاظ مختصاتی بر هم منطبق شده و میزان جابجایی بین تصویر ادغام شده و تصویر مرجع به حداقل ممکن کاهش یابد، لازم است تا عملیات بررسی کیفیت تصویر ادغام شده انجام گیرد. برای این منظور روش‌هایی ارائه گردیده است که به دو روش کلی، مقایسه توسط انسان (بصری) و محاسباتی انجام می‌پذیرد. روش‌های بصری بر اساس سیستم بینایی انسان مقایسه را انجام می‌دهند، در نتیجه این روش زمان‌بر و پرهزینه بوده و دارای مشکلاتی در روند ارزیابی می‌باشند، همچنین از آنجایی که شرایط نمایش تصویر و درک بصری افراد متفاوت است، از این رو ارزیابی محاسبات کمی تصویر در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. روش‌های ارزیابی کمی، با مقایسه تصویر ادغام شده با تصویر مرجع انجام می‌گیرد. این ارزیابی در روش‌های محاسباتی به‌منظور بررسی قدرت تفکیک طیفی و مکانی تصویر حاصل از ادغام

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

صورت می‌گیرد. از جمله می‌توان به روش پارامتر آماری میانگین مربع خطا (RMSE[1]) اشاره کرد. بنابراین در این مطالعه از پارامتر آماری RMSE برای ارزیابی میزان اختلافات طیفی بین تصویر مرجع(R) و تصویر فیوژ شده (F) استفاده گردید.

$$RMSE\ (R, F) = \frac{1}{MN}\sqrt{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[R(i,j) - F(i,j)]^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

۲-۴. طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی دقت نقشه‌ها

در این مرحله، طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیکی گیاهی با استفاده از دو مجموعه داده مربوط به تصاویر ماهواره لندست ۸ با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر و ۱۵ متر بر اساس الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی (RF) انجام شد. با مقایسه الگوریتم‌های طبقه‌بندی مشخص شد الگوریتم طبقه‌بندی RF قابلیت مطلوب و بهتری در طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی نسب به روش‌های دیگر دارد (آقابابایی و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۵. الگوریتم طبقه‌بندی RF

این الگوریتم یکی از زیرمجموعه‌های الگوریتم درخت تصمیم‌گیری است که در این الگوریتم از چندین شاخه درختی استفاده شده است. این الگوریتم بررسی می‌کند که هر پیکسل با چه شرایطی به یک کلاس می‌تواند اختصاص پیدا کند و از ساختار رای‌گیری استفاده می‌شود، به‌طوری که تعیین می‌کند هر پیکسل با چه میزان رای می‌تواند به یک کلاس الحاق شود و کلاسی که بیشترین رای را داشته باشد پیکسل به همان کلاس اختصاص داده می‌شود. در این روش اگر تعداد متغیرهایی ورودی M وجود داشته باشد، سیستم، ریشه مربعی از متغیرها را پیدا کرده و از بین تمام متغیرهای موجود بهترین ترکیب را انتخاب کرده و در فرآیند طبقه‌بندی وارد می‌کند و این فرایند را با استفاده از ساختار درخت تصمیم‌گیری چندین بار تکرار می‌کند تا به بزرگترین حالت خود برسد تا در نهایت بتواند با استفاده از بهترین ترکیب دقیق‌ترین نتایج حاصل شود.

۲-۶. صحت سنجی نقشه‌های طبقه‌بندی

در انجام فرایند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی صحت نقشه‌های حاصله نیاز به نمونه‌های تعلیمی (جهت انجام فرایند طبقه‌بندی) و نمونه‌های تست (جهت ارزیابی صحت و اعتبارسنجی نتایج) است که باید با پراکنش مناسب از سطح منطقه جمع‌آوری شوند. بدین منظور در سطح منطقه با پیمایش صحرایی در مجموع موقعیت جغرافیایی ۳۰۰ نقطه برای چهار واحد اکولوژیک گیاهی با استفاده از GPS دستی (Garmin eTrex 32x) ثبت شد (شکل ۱_ج). سپس این نقاط به دو گروه نقاط تعلیمی (۶۰ درصد) برای انجام فرایند طبقه‌بندی و نقاط تست (۴۰ درصد) برای اعتبارسنجی نتایج طبقه‌بندی و محاسبه ماتریس خطا تقسیم‌بندی شدند.

ماتریس خطای نقشه‌های طبقه‌بندی شده (Error Matrix Map): این ماتریس جهت اعتبارسنجی نتایج کاربرد دارد که دارای ساختار n*n با سطر و ستون برابر است. در این ماتریس ستون‌ها نشان دهنده داده‌های زمینی و ردیف‌ها نشان دهنده داده‌های نقشه طبقه‌بندی است. هر کدام از واحدهای موجود بین سطر و ستون به طبقات خاصی اختصاص یافته‌اند. محور اریب یا قطر اصلی ماتریس نشان دهنده پیکسل‌هایی هستند که درست و دقیق طبقه‌بندی شده‌اند و به طبقه مورد نظر الحاق شده‌اند. مقادیر موجود در بخش‌های دیگر ماتریس به‌عنوان پیکسل‌های خطا و اشتباه در طبقه‌بندی هستند. این ماتریس شامل دقت کلی، دقت کاپا، دقت کاربر و دقت تولید کننده است.

دقت کل (OA[2]): برای اعتبارسنجی کل نقشه کاربرد دارد. از تقسیم پیکسل‌های درست به تمامی پیکسل‌ها بدست می‌آید.

ضریب توافق کاپا (KIA[3]): این ضریب دقت نقشه تولیدی را با داده‌های زمینی می‌سنجد و پیکسل‌هایی که به‌غلط طبقه‌بندی شده‌اند را در نظر می‌گیرد که مقدار آن بین ۰ و ۱ متغیر است.

[1] - Root-mean-square error

[2] - Overall Accuracy

[3] - Kappa Index of Agreement

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]

[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

اعتبار و دقت هر یک از طبقات به طور جداگانه با دقت کاربر و دقت تولید کننده سنجیده می‌شود.

دقت کاربر (UA [۱]): پیکسل‌هایی که به طبقه اشتباه اختصاص یافته‌اند یعنی پیکسل‌هایی که متعلق به آن طبقه نیستند ولی به‌اشتباه به آن طبقه اضافه شده‌اند. تعداد پیکسل‌های درست هر طبقه تقسیم بر تعداد پیکسل‌های سطر (تصویری) آن طبقه است.

دقت تولیدکننده (PA [۲]): شامل پیکسل‌هایی است که به طبقات مشابه اختصاص یافته‌اند. تعداد پیکسل‌های درست هر طبقه به تعداد پیکسل‌های ستون (زمینی) آن طبقه است. یعنی پیکسل‌هایی که متعلق به یک طبقه هستند ولی به اشتباه در طبقات دیگر قرار گرفته‌اند و از طبقه اصلی حذف شده‌اند.

معادلات مورداستفاده برای محاسبه ماتریس خطا شامل:

رابطه (۲) $$OA=\frac{\sum_{i=1}^{k} X_{ii}}{N}$$

رابطه (۳) $$K=\frac{\sum_{i=1}^{k} X_{ii}-\sum_{i=1}^{r} X_i+X_{+i}}{n^2-\sum_{i=1}^{r} X_i+X_{+i}}$$

رابطه (۴) $$UA_i=\frac{X_{i,i}}{\sum_{j=1}^{n} X_{i,j}}$$

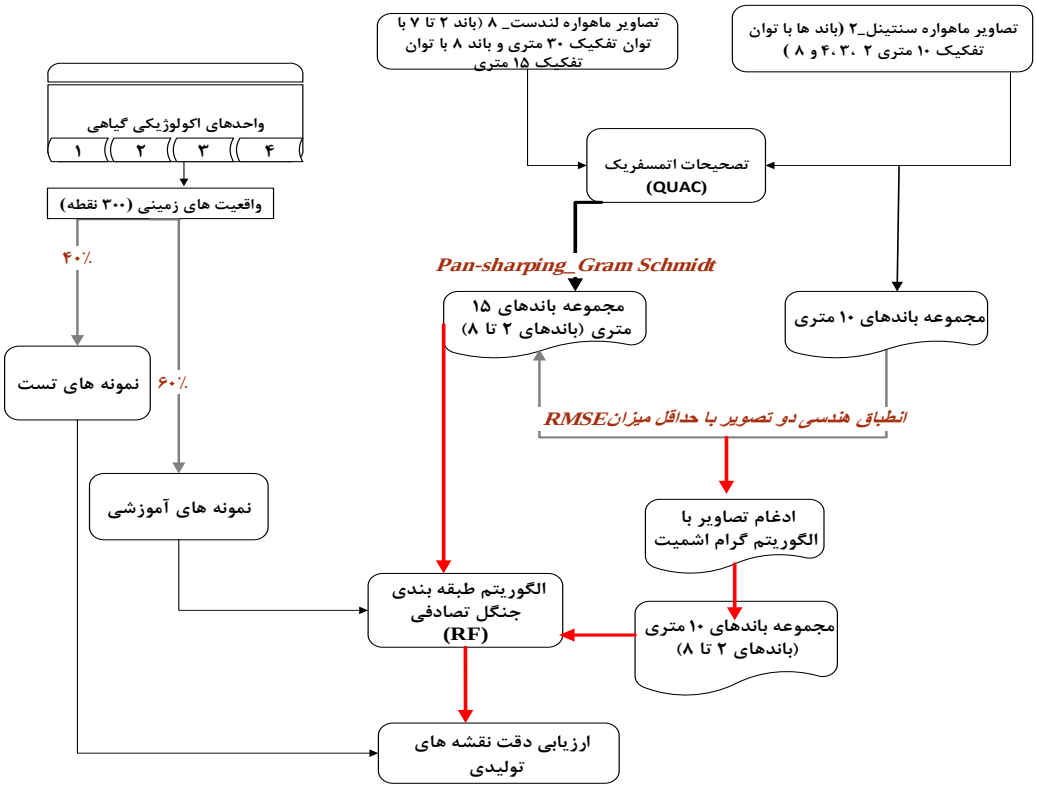
رابطه (۵) $$PA_j=\frac{X_{j,j}}{\sum_{j=1}^{n} X_{i,j}}$$

شکل ۲ ساختار کلی رویکرد مطالعه برای انجام فرآیند تلفیق بین تصاویر دو ماهواره لندست_۸ و سنتینل _۲ را نشان می‌دهد. ابتدا از تصاویر ماهواره لندست_۸، باندهای ۲ تا ۷ با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و باند پنکروماتیک با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر انتخاب شدند. همچنین از تصاویر ماهواره سنتینل_۲ باندهای ۱۰ متری یعنی باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ (باندهای پنکروماتیک) انتخاب شدند. از الگوریم QUAC جهت انجام تصحیحات اتمسفری استفاده شد تا اثرات پخش و جذب امواج الکترو مغناطیسی تعدیل یابند. با استفاده از باند پنکروماتیک ماهواره لندست، باندهای ۳۰ متری از طریق فرایند تلفیق Pan-sharping به ۱۵ متر ارتقاء یافته و مجموع باندهای ۱۵ متری از ماهواره لندست_۸ تهیه شد. سپس برای افزایش وضوح مکانی تصاویر ۱۵ متری لندست به تصاویر ۱۰ متری، از باندهای پنکروماتیک ماهواره سنتینل_۲ استفاده شده. به این صورت که مجموع باندهای پنکروماتیک سنتینل_۲ بعد از اعمال تصحیحات اتمسفریک جهت انطباق هندسی با مجموع باندهای ۱۵ متری ماهواره لندست_۸، فرایند Co_Registration (یکسان‌سازی موقعیت هندسی تصاویر دو سنجنده) با حداقل میزان RMSE انجام گرفت. این مرحله که به عنوان منطبق کردن هندسه دو تصویر انجام می‌شود یکی از مهمترین مراحل در فرایند تلفیق تصاویر محسوب می‌شود. در این مرحله با انتخاب نقاط کنترلی از قسمت گوشه‌ها و حاشیه تصاویر و سپس از مرکز تصاویر سعی می‌شود تا میزان جابجایی و شیفت بین دو تصویر حداقل به یک پیکسل کاهش یابد. بعد از مرحله انطباق هندسه دو تصویر با استفاده از الگوریتم گرام اشمیت که یکی از قویترین الگوریتم‌های تلفیق تصاویر بوده، باندهای ۱۵ متری ماهواره لندست_۸ به توان تفکیک مکانی ۱۰ متر ارتقاء یافت. در کل دو مجموع باند (۲ تا ۸) از تصاویر ماهواره لندست_۸ ایجاد شد که به ترتیب دارای توان تفکیک مکانی ۱۵ متر و توان تفکیک مکانی ۱۰ متر می‌باشند. در نهایت از این دو مجموع داده به صورت جداگانه با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی RF و نمونه‌های آموزشی دو نقشه طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی تهیه شد و دقت نقشه‌های تولیدی با استفاده از داده‌های تست و تهیه ماتریس خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین مقایسات دقت تولید کننده، دقت کاربر و ضریب توافق کاپا نقشه‌های طبقه‌بندی حاصل از دو مجموع داده برای هر یک از واحدهای اکولوژیک گیاهی از طریق آزمون آماری (فرید من) انجام گرفت تا معنی‌داری یا عدم معنی‌داری دقت نقشه‌های تولیدی با وضوح مکانی متفاوت از لحاظ آماری مورد بررسی قرار گیرد.

[1] - User's Accuracy

[2] - Producer's Accuracy

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

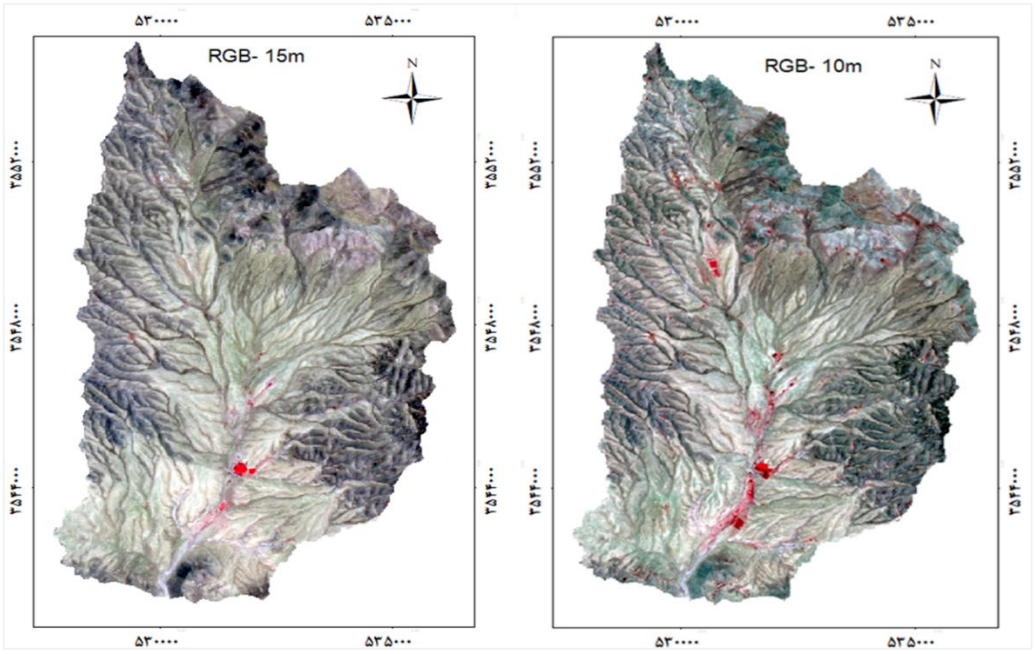


شکل ۲. مراحل کلی تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی

یافته‌های پژوهش

۱. باندهای حاصل از فرایند تلفیق با توان تفکیک مکانی مختلف مورد استفاده در طبقه‌بندی

باندهای ۱۰ متر و ۱۵ متر تصاویر ماهواره لندست –۸ که به‌صورت ترکیب رنگی کاذب از باندهای RGB یعنی باند سبز، قرمز و مادون قرمز است در شکل ۳ نشان داده شده است.



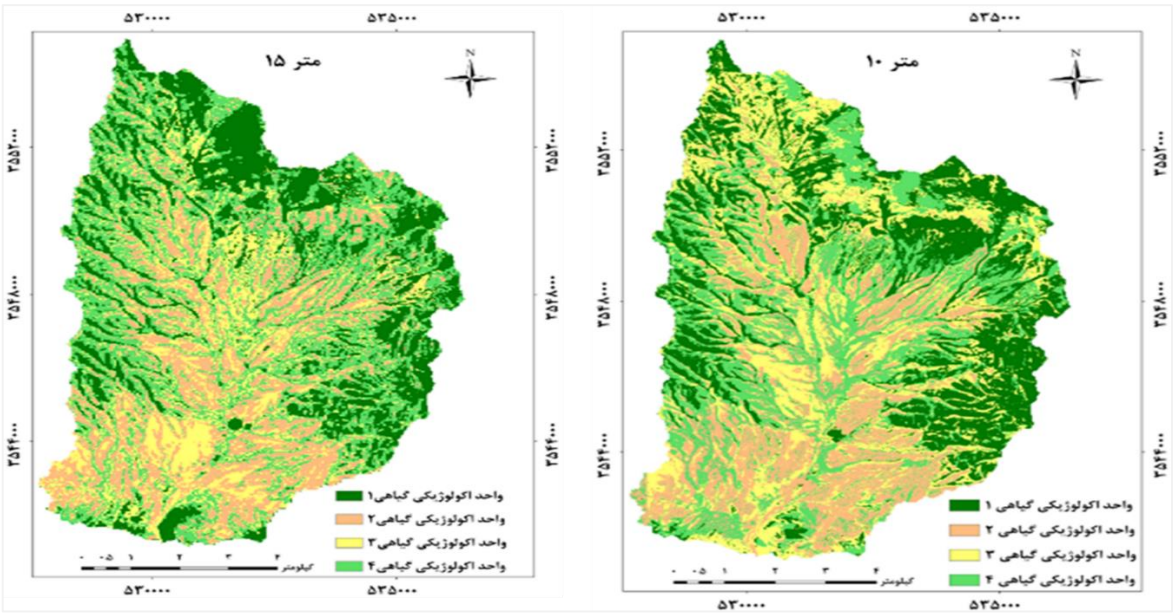
شکل ۳. نقشه ترکیب رنگی (RGB) ماهواره لندست_۸ برای مجموع باندهای ۱۰ متری و ۱۵ متری در منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

۲. تأثیر فرآیند تلفیق تصاویر ماهواره لندست–۸ و سنتینل–۲ در بهبود دقت طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی

همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، تلفیق تصاویر دو ماهواره لندست و سنتینل با استفاده از روش‌های Pan sharpening و Gram Schmidt انجام شد و تصاویر به‌صورت دو مجموعه داده با توان تفکیک مکانی ۱۰ متری و ۱۵ متر دسته‌بندی شدند. میزان RMSE کمتر از ۰/۰۵ حاصل از الگوریتم گرام اشمیت به وضوح نشان می‌دهند که تصاویر تلفیق شده از نظر طیفی و مکانی با تصاویر مرجع سازگاری دارند.

نتایج طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی با این دو مجموعه داده و با استفاده از الگوریتم RF در شکل ۴ ارائه شده است. مقایسه بصری اشکال نشان می‌دهد که نقشه حاصل از تصاویر با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر وضوح بیشتری دارند و به‌خوبی واحدهای اکولوژیک گیاهی از هم تفکیک شده‌اند ولی با کاهش توان تفکیک مکانی به ۱۵ متر پیکسل‌های مخلوط نیز افزایش یافته و نقشه طبقه‌بندی شده به حالت نمک– فلفلی تبدیل شده‌اند.



شکل ۴. نقشه‌های طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی با استفاده از الگوریتم RF برای مجموع داده‌های ۱۰ متر و ۱۵ متر ماهواره لندست_۸

صحت طبقه‌بندی نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی با استفاده از دو مجموعه داده تصاویر ماهواره لندست ۸ با وضوح مکانی ۱۰ متر و ۱۵ متر در جدول ۳ به عنوان نتایج خاصل از ماتریس خطا نمایش داده شده است. بر اساس نتایج این جدول هر چه توان تفکیک مکانی تصاویر افزایش می‌یابد بر دقت نقشه‌های طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی نیز افزوده می‌شود. به‌طوری که مجموعه باندهای ۱۵ متری میزان دقت کلی نقشه طبقه‌بندی را ۶۶ درصد نشان می‌دهند، در حالی که با افزایش وضوح مکانی باندها به ۱۰ متر، میزان دقت کلی نقشه طبقه‌بندی به ۸۲ درصد ارتقاء پیدا می‌کند. همچنین در این جدول ماتریس خطا درصد دقت تولیدکننده، دقت کاربر و شاخص توافق کاپا برای هر واحد اکولوژیک گیاهی در هر دو مجموع داده نمایش داده شده است. با توجه به نتایج این جدول وقتی که در فرایند طبقه‌بندی از مجموعه داده با وضوح مکانی ۱۵ متر استفاده شده است، واحد اکولوژیک گیاهی ۱ بیشترین میزان دقت تولید کننده، دقت کاربر و ضریب توافق کاپا به‌ترتیب با میزان ۷۹ درصد، ۸۰ درصد و ۷۰ درصد را به خود اختصاص داده است. در حالی که نتایج ماتریس خطا نشان می‌دهد که نقشه طبقه‌بندی حاصل از مجموعه داده‌های ۱۰ متری، هر چهار گروه واحد اکولوژیک گیاهی میزان دقت تولیدکننده، دقت کاربر و شاخص توافق کاپا ارتقاء یافته است. برای مثال میزان شاخص ضریب توافق کاپا برای واحد اکولوژیک گیاهی ۲ از ۴۴ درصد به ۸۳ درصد ارتقاء یافته است. در این نقشه واحد اکولوژیک گیاهی ۲ با گونه غالب گندمیان (Br. to)، و واحد اکولوژیک گیاهی ۳ با گونه غالب نیمه بوته‌ای (Sc. or)، بیشترین میزان ضریب توافق کاپا (۸۳ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

جدول ۳. دقت طبقه‌بندی نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی با استفاده از دو مجموعه داده با وضوح مکانی ۱۰ متری و ۱۵ متری از تصاویر ماهواره لندست_۸

مجموع باندهای ۱۰ متری لندست_۸				مجموع باندهای ۱۵ متری لندست_۸			
ضریب توافق کاپا (درصد)	دقت کاربر (درصد)	دقت تولیدکننده (درصد)		ضریب توافق کاپا (درصد)	دقت کاربر (درصد)	دقت تولیدکننده (درصد)	
۷۳	۸۲	۷۹	واحد اکولوژیک گیاهی ۱	۷۰	۸۰	۷۹	واحد اکولوژیک گیاهی ۱
۸۳	۹۴	۸۸	واحد اکولوژیک گیاهی ۲	۴۴	۵۷	۷۴	واحد اکولوژیک گیاهی ۲
۸۳	۷۸	۸۸	واحد اکولوژیک گیاهی ۳	۶۰	۷۳	۵۰	واحد اکولوژیک گیاهی ۳
۶۲	۷۵	۷۲	واحد اکولوژیک گیاهی ۴	۴۵	۵۴	۶۴	واحد اکولوژیک گیاهی ۴
کاپای کل: ۷۴ (درصد) دقت کل: ۸۲ (درصد)				کاپای کل: ۵۴ (درصد) دقت کل: ۶۶ (درصد)			

مقایسات آماری حاصل از نتایج نقشه‌های مجموع داده‌های ۱۰ متری و ۱۵ متری برای طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی از طریق آزمون آماری فریدمن در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج مقایسات آماری نشان داد که بین دقت نقشه‌های تولیدی داده‌های ۱۰ متری و ۱۵ متری به لحاظ میزان دقت تولید کننده، دقت تولید کاربر و ضریب توافق کاپا تفاوت آماری معنی‌داری (Sig <۰/۰۵) وجود دارد.

جدول ۴. نتایج حاصل از آزمون آماری فریدمن بین دقت نقشه‌های طبقه‌بندی مجموع داده‌ها با وضوح مکانی ۱۰ متر و ۱۵ متر

دقت نقشه‌ها	معنی‌داری
دقت تولیدکننده	*۰/۰۳۸
دقت کاربر	*۰/۰۲۳
ضریب توافق کاپا	*۰/۰۳۸

بحث

روش‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای همواره سبب بهبود کیفیت تصویر و افزایش مقدار جزئیات در تصویر ادغام شده می‌شود. تلفیق تصاویر دارای کاربردهای زیادی از جمله بهبود طبقه‌بند، تشخیص عوارض، ارزیابی تغییرات و جایگذاری اطلاعات از دست رفته در یک تصویر با استفاده از تصویر سنجده دیگر است. روش‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر ماهواره‌های مختلف ارائه شده است، لذا جهت تلفیق تصاویر باید از روشی استفاده کرد که دارای دقت قابل قبولی باشد و بتواند علاوه بر بهبود دقت مکانی، محتوای طیفی تصویر چند طیفی را به‌خوبی حفظ کند. در تحقیق حاضر از روش‌های Pan-sharping و Gram Schmidt برای تلفیق تصاویر ۳۰ متری و باند پنکروماتیک لندست_۸ با استفاده از باندهای پنکروماتیک ماهواره سنتینل_۲جهت افزایش وضوح مکانی تصاویر به ۱۰ متر و افزایش دقت نقشه‌های طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیکی گیاهی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به رفتارهای طیفی متفاوت واحدهای اکولوژیکی گیاهی با افزایش وضوح مکانی تصاویر ماهواره‌ای، امکان تفکیک واحدهای اکولوژیکی گیاهی با دقت بیشتر، افزایش یابد. به‌طوری که این تصاویر با وضوح مکانی ۱۵ متر نقشه‌هایی با دقت کلی ۶۶ درصد تولید شده ولی با افزایش وضوح مکانی تصاویر به ۱۰ متر میزان دقت کلی نقشه‌های طبقه‌بندی به میزان ۱۵ درصد ارتقاء یافته به‌طوری که دقت کلی نقشه‌های طبقه‌بندی به ۸۲ درصد افزایش یافته است. نتایج پژوهش‌های گذشته همگی بر قابلیت بالای الگوریتم گرام اشمیت جهت تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و بهبود اطلاعات مکانی باندها با حفظ اطلاعات طیفی تأکید کرده‌اند (اگزیو[1] و همکاران ۲۰۱۹، دیلون[2] و همکاران ۲۰۲۲).

باتوجه به سامانه طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین (Land use/land cover) که در سال ۱۹۷۶ توسط مؤسسه زمین شناسی آمریکا انجام گرفت ۹ طبقه اصلی تعیین شد که شامل: اراضی مسکونی، کشاورزی، مراتع، جنگل‌ها، آب‌های سطحی، اراضی مرطوب، اراضی بایر، توندرا، یخ و برف دائمی است. علاوه بر این، برای هر یک از طبقات اصلی زیرطبقاتی نیز معرفی شده است.

[1] - Xie

[2] - Dhillon

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

تاکنون بیشتر فرایند طبقه‌بندی ارضی و پوشش اراضی در بحث سنجش‌ازدور بر اساس طبقات اصلی انجام گرفته است، ازجمله مطالعات تاکارا [1] و همکاران (۲۰۱۷)، پیفلوگماچر [2] و همکاران (۲۰۱۹) و تینگو [3] و همکاران (۲۰۲۴) یافته‌های این مطالعات گویای آن است که در صورت وجود پدیده‌های مختلف با رفتارهای طیفی متفاوت (میزان جذب و بازتاب متفاوت امواج الکترومغناطیسی در باندهای مختلف سنجنده‌ها)، می‌توان نقشه‌های طبقه‌بندی با دقت زیادی را استخراج کرد. ولی هدف اصلی این مطالعه انجام فرایند طبقه‌بندی برای زیر طبقات پوشش گیاهی مراتع (واحدهای اکولوژیک گیاهی) است که از نظر طیفی کاملاً مشابه رفتار کرده و در نتیجه به دلیل افزایش میزان پیکسل‌های مختلط قابلیت تفکیک بین طبقات کاهش می‌یابد. بنابراین طبقه‌بندی چنین واحدهای گیاهی کار دشواری بوده و در نتیجه نقشه‌های طبقه‌بندی حاصل شده از این بخش با دقت کلی ۸۲ درصد نتایج نشان می‌دهد که ارتقاء توان تفکیک مکانی تصاویر ماهواره لندست_۸ به ۱۰ متر با استفاده از الگوریتم گرام اشمیت نتایج خوبی داشته که ضمن حفظ اطلاعات طیفی تصاویر ماهواره لندست از لحاظ توان تفکیک مکانی نیز ارتقاء یافته است.

آنالیز ماتریس خطا نشان می‌دهد نقشه طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی با وضوح مکانی ۱۰ متر از میزان صحت کلی خوبی برخوردار است. به‌طوری که با استفاده از فرایند تلفیق و افزایش توان تفکیک مکانی از ۳۰ متر به ۱۰ متر سبب کاهش میزان پیکسل‌های مختلط و میکس و افزایش پیکسل‌های خالص و در نتیجه بهبود کیفیت تصاویر و آشکارسازی جزئیات بیشتر در تصاویر می‌شود. مقایسه با منابعی نظیر دلپیان و اسمیت [4] (۱۹۹۴) که ضرایب دقت کلی بزرگ‌تر از ۰/۷ را خیلی خوب و کمتر از ۰/۴ را ضعیف عنوان کرده‌اند. بنابراین، نقشه‌های تولیدی با وضوح مکانی ۱۰ متر و ۱۵ متر به‌ترتیب با دقت کلی ۸۲ و ۶۶ درصد از صحت کلی خوبی برخوردار هستند.

با توجه به نتایج حاصل از ماتریس خطا، میزان دقت تولیدکننده، دقت کاربر و میزان ضریب توافق کاپا برای نقشه تولیدی با وضوح مکای ۱۰ متر، واحدهای اکولوژیک گیاهی دوم و سوم بیشترین رتبه‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند. نقش فنولوژیکی واحدهای اکولوژیک گیاهی در بهبود دقت طبقه‌بندی نیز باید موردتوجه قرار گیرد. واحد اکولوژیک گیاهی ۲ با گونه غالب گندمیان (Br to) و واحد اکولوژیک گیاهی با گونه غالب نیمه‌بوته‌ای (Sc. or) آغاز رشد رویشی آن‌ها زودتر از سایر واحدهای اکولوژیک گیاهی با گونه‌های غالب بوته‌ای اتفاق می‌افتد. در حالی که گونه‌های بوته‌ای رشد رویشی آن‌ها با تأخیر قابل توجهی نسبت به گونه‌های گندمیان آغاز می‌شود. بنابراین دو واحد اکولوژیک گیاهی با گونه‌های غالب گندمیان و نیمه بوته‌ای بیشترین تأثیرپذیری را از افزایش وضوح مکانی تصاویر و در نتیجه افزایش دقت طبقه‌بندی داشته‌اند. واحد اکولوژیک گیاهی ۴ با دو گونه غالب بوته‌ای_گندمیان (As. ve - Br. to) به دلیل فرم زیستی متفاوت در نتیجه رفتار طیفی متفاوتی داشته و میزان پیکسل‌های مختلط نیز افزایش یافته و کمترین تأثیرپذیری را حتی از افزایش وضوح مکانی تصاویر جهت بهبود دقت طبقه‌بندی داشته است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج این پژوهش طبقه‌بندی مبتنی بر تلفیق تصاویر لندست_۸ و سنتینل_۲ بهترین تکنیک به منظور افزایش دقت نقشه طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیکی گیاهی در چشم‌اندازهای ناهمگن است. مقایسه نتایج مبتنی بر افزایش وضوح مکانی تصاویر در بهبود دقت نقشه‌های طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی نشان می‌دهد که با استفاده از الگوریتم تلفیق گرام‌اشمیت و افزایش توان تفکیک مکانی از ۳۰ متر به ۱۰ متر سبب کاهش میزان پیکسل‌های مختلط و میکس و افزایش پیکسل‌های خالص و در نتیجه بهبود کیفیت تصاویر و آشکارسازی جزئیات بیشتر در نقشه‌های تولیدی می‌شود. بنابراین به منظور داشتن نتایج بهتر و کامل‌تر می‌توان بیش از یک تصویر ماهواره‌ای استفاده نمود زیرا با توجه به تفاوت ویژگی‌های سنجنده‌های مختلف، استفاده از اطلاعات این سنجنده‌ها در کنار هم قطعاً نتایج بهتری را ارائه خواهند داد.

[1] - Thakkar
[2] - Pflugmache
[3] - Tiengo
[4] - Dellepiane & Smith

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان در انجام و انتشار این پژوهش علمی، اصول اخلاقی را رعایت کرده‌اند و این امر مورد تأیید آنهاست.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله.

نویسنده دوم: استاد راهنمای اول پایاننامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده سوم: استاد راهنمای دوم پایاننامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر بدون حمایت مالی انجام شده است.

سپاسگزاری

این مطالعه برگرفته از پایان نامه دکتری نوسینده اول، تخت عنوان "پتانسیل داده‌های سنجش از دور چند طیفی برای نقشه برداری و پایش واحدهای اکولوژیک گیاهی و برآورد خدمات اکوسیستم در سطح چشم انداز" به راهنمایی نویسنده دوم و سوم می‌باشد که در شهریور ماه سال ۱۴۰۱ در دانشگاه شهرکرد دفاع شده است.

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از داوران محترم به خاطر مطالعه متن مقاله حاضر و ارائه نظرهای ساختاری و علمی ارزشمند سپاسگزاری نمایند.

منابع

آقابابایی، معصومه؛ ابراهیمی، عطاالله؛ نقی‌پور، علی‌اصغر؛ و اسدی، اسماعیل (۱۴۰۳). تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی جهت کمی‌سازی خدمات اکوسیستم (ترسیب کربن) در مراتع نیمه استپی استان چهار محال و بختیاری. *مجله مرتع*، ۱۸ (۳)، ۴۳۲-۴۵۰. https://doi.org/20.1001.1.20080891.1403.18.3.6.6

آقابابایی، معصومه؛ ابراهیمی، عطاالله؛ نقی‌پور، علی‌اصغر؛ و اسدی، اسماعیل (۱۴۰۱). توسعه دستورالعمل تفسیر چشمی تصاویر گوگل ارث به‌منظور تعیین واحدهای اکولوژیک گیاهی مراتع نیمه استپی. *مجله مرتع*، ۱۶ (۲)، ۳۵۹-۳۷۸. https://doi.org/20.1001.1.20080891.1401.16.2.1.5

فاضلی فارسانی، آرش؛ قضاوی، رضا؛ و فرزانه، محمد رضا (۱۳۹۴). بررسی عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های ادغام تصاویر (مطالعه موردی: زیر حوزه بهشت‌آباد). *مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۶ (۱)، ۹۱-۱۰۶.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

References

Aghababaei, M., Ebrahimi, A., Naghipour, A.A., Asadi, E., & Verrelst, J. (2024). Monitoring of Plant Ecological Units Cover Dynamics in a Semiarid Landscape from Past to Future Using Multi-Layer Perceptron and Markov Chain Model. *Remote Sens*, 16 (9), 1612. (in Persian) https://doi.org/10.3390/rs16091612

Aghababaei, M., Ebrahimi, A., Naghipour, A.A., Asadi, E., & Verrelst, J. (2021). Vegetation Types Mapping Using Multi-Temporal Landsat Images in the Google Earth Engine Platform. *Remote Sens*, 13 (22), 4683. (in Persian) https://doi.org/10.3390/rs13224683

Aghababaei, M., Ebrahimi, A., Naghipour, A.A., Asadi, E., & Verrelst, J. (2021). Classification of Plant Ecological Units in Heterogeneous Semi-Steppe Rangelands: Performance Assessment of Four Classification Algorithms. *Remote Sens*, 13 (17), 3433. (in Persian) https://doi.org/10.3390/rs13173433

Atzberger, C., & Thenkabail, P.S. (2017). Comparing Sentinel-2A and Landsat 7 and 8 Using Surface Reflectance over Australia. *remote sensing*, 9 (7), 659. https://doi.org/10.3390/rs9070659

Brown, J.R., & Havstad, K.M. (2016). Using ecological site information to improve landscape management for ecosystem services. Rangelands, 38, 318-21. https://doi.org/10.1016/j.rala.2016.10.011

Chan, K.K.Y., Ren, Z., Liu, Y., Song, H., Bai, Y., & Xu, B. (2025). Land Cover Change and FragmentationWithin China's Ramsar Sites. *Remote Sens*, 17 (5), 896. https://doi.org/10.3390/rs17050896

Dellepiane, S.G., & Smith, P.C. (1994). Quality assessment of image classification algorithms for land cover mapping: A review and a proposal for a cost based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1461-1486.

Dhillon, M.S. Dahms, T. Kübert-Flock, C. Steffan-Dewenter, I. Zhang, J. & Ullmann,T.(2022) Spatiotemporal Fusion Modelling Using STARFM: Examples of Landsat 8 and Sentinel-2 NDVI in Bavaria. *Remote Sens*, 14 (3), 677. https:// doi.org/10.3390/rs14030677

Feng, X., Fu, B., Yang, X., & Lu, Y. (2010). Remote sensing of ecosystem services: An opportunity for spatially explicit assessment. Chinese Geographical Science, 20, 522-35.

Gasparovic, M., & Jogun, T. (2018). The effect of fusing Sentinel-2 bands on land-cover classification. *International journal of remote sensing*, 39 (3), 822-41. https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1392640

Huang, Z., Yang, X., Liu, Y., Wang, Z., Ma, Y., Jing, H., & Liu, X. (2025). Multi-Type Change Detection and Distinction of Cultivated Land Parcels in High-Resolution Remote Sensing Images Based on Segment Anything Model. *Remote Sens*, 17 (5), 787. https://doi.org/10.3390/rs17050787

Lausch, A., Selsam, P., Pause, M., & Bumberger, J. (2024). Monitoring vegetation and geodiversity with remote sensing and traits. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 382 (2269), 20230058. https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0058

Li, G., Lai, H., Chen, B., Yin, X., Kou, W., Wu, Z., Chen, Z., & Wang, G. (2025). Spatial Distribution Pattern of Forests in Yunnan Province in 2022: Analysis Based on Multi-Source Remote Sensing Data and Machine Learning. *Remote Sens*, 17 (7), 1146. https://doi.org/10.3390/rs17071146

Mallinis, G., Mitsopoulos, I., & Chrysafi, I. (2018). Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIScience & remote sensing*, 55, 1-18. https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1354803

Morgan, J.L., Gergel, S.E., Ankerson, C., Tomscha, S.A., & Sutherland, I.J. (2017). Historical Aerial Photography for Landscape Analysis. *Landscape Ecology*, 25(7), 985-998. https://doi.org/10.1007/s10980-010-9474-1

Pflugmacher, D., Rabe, A., Peters, M., & Hostert, P. (2019). Mapping pan-European land cover using Landsat spectral-temporal metrics and the European LUCAS survey, *Remote Sensing of Environment*, 221, 583-95. https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.896282

Ratcliff, F., Bartolome, J., Macaulay, L., Spiegal, S., & White, M.D. (2018). Applying ecological site concepts and state-and-transition models to a grazed riparian rangeland. *Ecology and Evolution*, 8(2-4), 1–12. https://doi.org/10.1002/ece3.4057

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]

Scott Armbruster, W. (2011). The origins and detection of plant community structure: Reproductive versus vegetative processes. *Folia Geobotanica*, 30(4), 483-497. https://doi.org/ 10.1007/BF02803978

Spiegel, S., Bartolome, J.W., & White, M.D. (2016). Applying ecological site concepts to adaptive conservation management on an iconic Californian landscape. *Rangelands*, 38, 365-70. https://doi.org/ 10.1016/j.rala.2016.10.002

Tamassoki, E., Tamassoki, E., & Asadi Meyabadi, A. (2022). Climatic Analysis Routing and Simulation of Extreme Dust Storms in the West of Iran (Case Study: Kermanshah Synoptic Station). *Integrated Watershed Management*, 2(1), 33-47. (In Persian) https://doi.org/10.22034/IWM.2022.545938.1023

Thakkar, A.K., Desai, V.R., Patel, A., & Potdar, M.B. (2017). Post-classification corrections in improving the classification of Land Use/Land Cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20:79-89. https://doi.org/ 10.1016/j.ejrs.2016.11.006

Tiengo, R., Merino-De-Miguel, S., Uchoa, J., Guiomar, N., & Gil, A. (2024). Burned Areas Mapping Using Sentinel-2 Data and a Rao's Q Index-Based Change Detection Approach: A Case Study in Three Mediterranean Islands'Wildfires (2019–2022). *Remote Sens*, 17 (5), 830. https://doi.org/10.3390/rs17050830

Wang, M., Liu, Z., Ali Baig, M.H., Wang, Y., Li, Y., & Chen, Y. (2019). Mapping sugarcane in complex landscapes by integrating multi-temporal Sentinel-2 images and machine learning algorithms. *Land Use Policy*, 88, 104190. https://doi.org/ 10.1016/j.landusepol.2019.104190

Xie, Z.C., Yaoliang, Lu., Li, D., & Erxue, G. C. (2019). Classification of Land Cover, Forest, and Tree Species Classes with ZiYuan-3 Multispectral and Stereo Data. *Remote Sensing*, 11 (2), 164. https://doi.org/ 10.3390/rs11020164

Yan, L., Roy, D., Zhang, H., Li, J., & Huang, H. (2017). An Automated Approach for Sub-Pixel Registration of Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) and Sentinel-2 Multi Spectral Instrument (MSI) Imagery. *Remote Sensing*, 8 (6), 520. https://doi.org/10.3390/rs8060520

Zhou, B., Okin, G.S., & Zhang, J. (2020). Leveraging Google Earth Engine (GEE) and machine learning algorithms to incorporate in situ measurement from different times for rangelands monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111521. https://doi.org/ 10.1016/j.rse.2019.111521

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.4.5]

[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.5]