Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

# Evaluation of the ability of different algorithms and visual interpretation of Google Earth images in the separation and classification of plant ecological units

**Samaneh Sadat Mahzooni-Kachapi[1], Pejman Tahmasebi*[2], Ataollah Ebrahimi[3], Mohammad Hassan Jouri[4]**

1. PhD student in Range Management, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resource and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2. Corresponding author; Associate Prof., Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resource and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: pejman.tahmasebi@nres.sku.ac.ir
3. Associate Prof., Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resource and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
4. Assistant Prof., Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Noor Branch, Noor, Iran.

**Article Info**

**Article type:**
Research Full Paper

**Article history:**
Received: 23.03.2022
Revised: 24.11.2022
Accepted: 03.12.2022

**Keywords:**
Sentinel 2,
Classification Tree Analysis Algorithm,
Decision Forest Algorithm,
Auxiliary data

## Abstract

**Background:** Satellite images and remote sensing technology are recognized as efficient and modern tools for extracting information related to earth sciences, which make it possible to evaluate and monitor ecosystems at a lower cost than field methods. One of the most important methods of extracting information from satellite data is various image classification techniques. The present study was conducted in order to evaluate the capability of Classification Tree Analysis and Decision Forest algorithms on Sentinel 2 satellite images as well as a visual interpretation of Google Earth images to separate and classify plant ecological units in one of the semi-steppe rangelands of Chaharmahal and Bakhtiari province.

**Methodology**: In order to distinguish plant ecological units (homogeneous units of vegetation), the visual interpretation method was first used, which included determining polygons on the image and then defining homogeneous areas with similar characteristics in order to identify the dominant type and surface cover of the land. Then, the characteristics of each polygon were interpreted based on the dominant species and the type of disturbances and a general classification was done. After separating the plant ecological units and separating the approximate boundaries of the units, vegetation sampling was done according to the peak growth time of the plant species. After determining the vegetation cover and its production, the average percentage of the estimated vegetation cover in each ecological unit was calculated. For this purpose, first, the dominant plant species of each specific unit and then its accompanying species were determined on the condition of having 50% or more coverage of the previous species. Finally, the identified plant ecological units were named based on the dominant species and by physiognomic and floristic methods and expressed in the form of descriptive statistics. In this study, in addition to the visual interpretation method, Classification Tree Analysis and Decision Forest algorithms were also used to generate a vegetation map. For this purpose, multispectral images of the MSI Sentinel 2 sensor were used as the main processing source. In the next stage, ground control samples were taken randomly from each group of plant ecological units as a model for the spectral characteristics of the classes. Then, the samples were separated into training and experimental datasets, in such a way that a part was divided for classification (one-third of the samples) and another part was divided to estimate the accuracy of the results of the



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

mentioned classification algorithms (two-thirds of the samples). In order to extract information as best as possible, auxiliary layers such as digital elevation model, principal component analysis, and plant indices such as NDVI along with spectral data were used in the classification process. Then the algorithms were classified in Idrisi TerrSet software. In this way, maps of plant ecological units related to the studied area were obtained. In order to evaluate the accuracy of the classification results, the resulting maps were checked with the registered ground reality points. Then, the error matrix related to each method was generated by the software, and finally, the extracted statistics were evaluated and compared.

**Results:** The results of visual interpretation showed that finally 7 types of plant ecological units were identified that were different in terms of structural features, including Astragalus verus, Bromus tomentellus, Scariola orientalis, Astragalus verus-Bromus tomentellus, Astragalus verus-Stipa hohenikeriana, Bromus tomentellus- Stipa hohenikeriana and Stipa hohenikeriana. The results obtained from the Classification Tree Analysis algorithm showed that the ecological unit Astragalus verus-Stipa hohenikeriana with %0.99 and the ecological unit Bromus tomentellus with %0.90 have the highest and lowest producer accuracy, respectively. While the highest user accuracy is related to the ecological unit Astragalus verus with %0.99 and the lowest value belongs to the ecological unit Stipa hohenikeriana with %0.85. On the other hand, the results of the Decision Forest algorithm indicate producer accuracy and user accuracy above %0.95 in all plant ecological units. So that the ecological unit Astragalus verus and Astragalus verus-Stipa hohenikeriana with %100 and the ecological unit Bromus tomentellus with %0.95 have the highest and lowest producer accuracy, respectively. While the highest user accuracy is related to the ecological unit Astragalus verus-Bromus tomentellus with %100 and the lowest value belongs to the ecological unit Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana with %0.97. The results also show that the overall accuracy and kappa coefficient for the Classification Tree Analysis algorithm is %0.94 and 0.92, respectively, and for the Decision Forest algorithm is %0.99 and 0.97.

**Conclusion:** According to the obtained results, it can be stated that the Decision Forest algorithm has a higher capability in using spectral information for the classification of plant ecological units in comparison with the Classification Tree Analysis algorithm and led to more accurate results. Also, the integration of the auxiliary bands obtained from the original images along with the raw bands can provide the most valuable information for the identification of plant ecological units. The results of the present research also indicate that if multispectral satellite images with appropriate resolution are not available, using Google Earth images due to their ease of access and their free availability is very suitable and affordable for the preparation of thematic maps such as land cover. It is economical and the map produced from it can be used as a ground reality.

**Cite this article**: Mahzooni-Kachapi, S.S., P. Tahmasebi, A. Ebrahimi, M. Hassan Jouri, 2023. Evaluation of the ability of different algorithms and visual interpretation of Google Earth images in the separation and classification of plant ecological units. Journal of Rangeland, 16(4): 745-764.



© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5
Publisher: Iranian Society for Range Management

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

# ارزیابی قابلیت خوارزمیک‌های مختلف و تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث در تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی

**سمانه سادات محزونی کچپی[۱]، پژمان طهماسبی*[۲]، عطاالله ابراهیمی[۳]، محمدحسن جوری[۴]**

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: pejman.tahmasebi@nres.sku.ac.ir

۳. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۴. دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران.

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل – پژوهشی

**تاریخ دریافت** ۱۴۰۱/۰۱/۰۳
**تاریخ ویرایش:** ۱۴۰۱/۰۹/۰۳
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۹/۱۲

**واژه‌های کلیدی:**
سنتینل ۲،
طبقه‌بندی درختی،
درخت تصمیم‌گیری،
داده‌های کمکی.

**چکیده**

**سابقه و هدف:** تصاویر ماهواره‌ای و فناوری سنجش از دور از ابزارهای کارآمد و نوین جهت استخراج اطلاعات مربوط به علوم زمین شناخته می‌شوند که ارزیابی و پایش اکوسیستم‌ها را با هزینه‌ای کمتر از روش‌های میدانی ممکن می‌سازند. یکی از مهم‌ترین روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای، تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر است. پژوهش حاضر به منظور ارزیابی قابلیت خوارزمیک‌های طبقه‌بندی درختی و درخت تصمیم‌گیری بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و همچنین تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث جهت تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی در یکی از مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** جهت تفکیک واحدهای اکولوژیک گیاهی (واحدهای همگن پوشش گیاهی) ابتدا از روش تفسیر بصری استفاده شد که شامل تعیین پلی‌گون‌ها بر روی تصویر و سپس تعریف مناطق همگن با خصوصیات مشابه بود تا نوع تیپ غالب و پوشش سطحی زمین تشخیص داده شود. سپس ویژگی هر پلی‌گون بر اساس گونه‌های غالب و نوع آشفتگی‌ها تفسیر و یک طبقه‌بندی کلی انجام گرفت. بعد از تفکیک واحدهای اکولوژیک گیاهی و جداسازی مرز تقریبی واحدها، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی مطابق با زمان اوج حداکثر رشد گونه‌های گیاهی انجام شد. پس از تعیین پوشش گیاهی و تولید آن، میانگین درصد پوشش‌های گیاهی برآورد شده در محدوده هر واحد اکولوژیک محاسبه شد. برای این منظور، ابتدا گونه غالب گیاهی هر واحد مشخص و سپس گونه‌های همراه آن مشروط به داشتن ۵۰ درصد و یا بیشتر پوشش گونه ماقبل آن تعیین شد. در نهایت واحدهای اکولوژیک گیاهی تشخیص داده شده حاصل بر اساس گونه غالب و به روش فیزیونومیک و فلورستیک، نام‌گذاری و به‌صورت آمار توصیفی بیان شد. در این مطالعه علاوه بر روش تفسیر بصری، از خوارزمیک‌های طبقه‌بندی درختی و درخت تصمیم‌گیری نیز جهت تولید نقشه پوشش گیاهی استفاده شد. بدین منظور تصاویر چندطیفی سنجنده MSI سنتینل ۲ به‌عنوان منبع اصلی پردازش مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد نمونه‌های کنترل زمینی به‌عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات، از هر گروه از واحدهای اکولوژیک گیاهی در طی عملیات میدانی و به‌صورت تصادفی برداشت شدند. سپس تفکیک نمونه‌ها به مجموعه داده‌های آموزشی و آزمایشی انجام گرفت، بدین صورت که قسمتی برای طبقه‌بندی (یک‌سوم نمونه‌ها) و بخشی دیگر جهت برآورد



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

صحت نتایج حاصل از خوارزمیک‌های طبقه‌بندی ذکر شده (دوسوم نمونه‌ها) تقسیم شدند. به منظور استخراج هرچه بهتر اطلاعات، لایه‌های کمکی همچون مدل رقومی ارتفاع، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و شاخص‌های گیاهی نظیر NDVI به همراه داده‌های طیفی در فرآیند طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس نسبت به طبقه‌بندی خوارزمیک‌ها در نرم‌افزار Idrisi TerrSet اقدام شد. بدین ترتیب نقشه‌های واحدهای اکولوژیک گیاهی مربوط به منطقه مورد مطالعه به‌دست آمد. جهت ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، نقشه‌های حاصل با نقاط واقعیت زمینی ثبت شده مورد بررسی قرار گرفت. سپس ماتریس خطای مربوط به هر روش توسط نرم‌افزار تولید و در نهایت ارزیابی و مقایسه آماره‌های استخراج شده انجام شد.

**نتایج:** نتایج حاصل از تفسیر بصری نشان داد در نهایت ۷ نوع واحد اکولوژیک گیاهی که از نظر ویژگی‌های ساختاری متفاوت بودند شناسایی شدند که شامل *Astragalus verus*، *Bromus tomentellus*، *Scariola orientalis*، *Astragalus verus-Bromus tomentellus*، *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana*، *Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana* و *Stipa hohenikeriana* است. نتایج به‌دست آمده از خوارزمیک طبقه‌بندی درختی نشان داد که واحد اکولوژیک *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana* با ۰/۹۹ درصد و واحد اکولوژیک *Bromus tomentellus* با ۰/۹۰ درصد به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین دقت تولید کننده را دارا هستند. در حالی‌که بالاترین دقت استفاده‌کننده (دقت کاربر) مربوط به واحد اکولوژیک *Astragalus verus* با ۰/۹۹ درصد و پایین‌ترین مقدار آن متعلق به واحد اکولوژیک *Stipa hohenikeriana* با ۰/۸۵ درصد است. از طرفی نتایج حاصل از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری بیانگر دقت تولیدکننده و دقت کاربر بالای ۰/۹۵ درصد در تمامی واحدهای اکولوژیک گیاهی است. به‌طوری‌که واحد اکولوژیک *Astragalus verus* و *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana* با ۱۰۰ درصد و واحد اکولوژیک *Bromus tomentellus* با ۰/۹۵ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین دقت تولید کننده را دارا هستند. در حالی‌که بیشترین دقت کاربر مربوط به واحد اکولوژیک *Astragalus verus-Bromus tomentellus* با ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار آن متعلق به واحد اکولوژیک *Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana* با ۰/۹۷ درصد است. نتایج همچنین حاکی از آن است که دقت کلی و ضریب کاپا برای خوارزمیک طبقه‌بندی درختی به‌ترتیب برابر ۰/۹۴ درصد و ۰/۹۲ و برای خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری برابر ۰/۹۹ درصد و ۰/۹۷ است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان نمود که خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری از قابلیت بالاتری در به‌کارگیری اطلاعات طیفی جهت کلاسه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی در مقایسه با خوارزمیک طبقه‌بندی درختی برخوردار بوده و منجر به نتایج دقیق‌تری شد. همچنین ادغام باندهای کمکی به‌دست آمده از تصاویر اصلی به‌همراه باندهای خام، می‌تواند باارزش‌ترین اطلاعات را برای تشخیص واحدهای اکولوژیک گیاهی فراهم آورد. نتایج تحقیق حاضر همچنین حاکی از آن است که در صورت در دسترس نبودن تصاویر چندطیفی ماهواره‌های با قدرت تفکیک مناسب، استفاده از تصاویر گوگل ارث با توجه به سهولت دسترسی و رایگان بودن آن‌ها در تهیه نقشه‌های موضوعی مانند پوشش زمین بسیار مناسب و مقرون به صرفه است و نقشه تولید شده از آن می‌تواند به‌عنوان یک واقعیت زمینی مورد استفاده قرار گیرد.

**استناد**: محزونی کچپی، س.ی.، پ. طهماسبی، ع. ابراهیمی، م.ح. جوری، ۱۴۰۱. ارزیابی قابلیت خوارزمیک‌های مختلف و تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث در تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی. مرتع، ۱۶(۴): ۷۴۵-۷۶۴.

DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5

**ناشر**: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

**مقدمه**

پوشش گیاهی به‌عنوان یک محرک در تغییر شرایط رویشگاهی و ترکیب گونه‌ای (۳۵)، از مهم‌ترین پارامترهای مورد اندازه‌گیری در مطالعات و بررسی‌های مختلف مراتع است که به مرور زمان و در اثر عوامل مختلف طبیعی و یا انسانی دچار تغییر شده و شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۳). بنابراین نیاز به آشکارسازی، پیش‌بینی و نظارت بر روند تغییرات پوشش‌های گیاهی چه در بعد کمی و چه در بعد کیفی در یک اکوسیستم، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۴۶). تاثیر این موضوع در علوم جامعه‌شناسی گیاهی به‌حدی است که بدون طبقه‌بندی پوشش گیاهی، شناخت مناسبی از ویژگی‌های آن حاصل نمی‌شود (۶). از این‌رو همواره بر طبقه‌بندی پوشش و مطالعه جوامع گیاهی به مثابه ابزار ارتباطی مناسبی در پژوهش‌های محیط زیستی و استفاده از اطلاعات بوم‌شناختی در برنامه‌ریزی، نظارت، حفاظت و مدیریت رویشگاه‌های طبیعی تاکید می‌گردد (۲۴).

ازجمله اطلاعات مفید جهت مطالعه و شناخت پوشش‌های گیاهی، تعیین محدوده پراکنش تیپ‌های مختلف و تهیه نقشه پوشش گیاهی است (۳۲). امروزه با توجه به اهمیتی که پایش اکوسیستم‌های طبیعی جهت نیل به توسعه پایدار پیدا کرده است، تهیه نقشه پوشش گیاهی دقیق و به‌هنگام و بررسی روند تغییرات ساختار جوامع گیاهی به‌عنوان ابزار مدیریتی مراتع اهمیت خاصی یافته و به‌عنوان اولین مبنای تصمیم‌گیری در نظارت بر مراتع و محیط زیست محسوب می‌گردد. از آنجایی‌که ارزیابی مراتع، یکی از اساسی‌ترین امور به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی مراتع در جهت توسعه پایدار منابع طبیعی بوده و تهیه نقشه پوشش گیاهی مناطق مختلف، از اهداف مهم جامعه‌شناسان گیاهی است، بهره‌گیری روزافزون از تصاویر ماهواره‌ای، امکان مناسبی را جهت نظارت مداوم برای دست‌یابی به این امر ایجاد نموده و موجب شده است تا این تصاویر به‌عنوان یک منبع مهم اطلاعاتی جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی قلمداد شوند (۴۶).

تصاویر موجود در گوگل ارث که به‌صورت رایگان در دسترس است، با دارا بودن قدرت تفکیک مکانی زیاد هم از وضوح تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی برخوردارند و هم جهت تعیین ساختار اکوسیستم‌ها و یا تغییرات آن‌ها در طول زمان کاربرد دارند (۲۷). هدف اصلی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای که نشان دادن ماهیت یک واحد گیاهی و ترکیب گونه‌های سازنده آن است (۱۰)، در گذشته بر مبنای تفسیر بصری کاربر بود. این روش بر اساس سیستم بینایی انسان به دیدن تصویر و درک کلی آن وابسته است که هم نیازمند تشخیص عناصر الگویی تصویر است و هم به تحلیل و الحاق دانش متنی نیاز دارد. در نتیجه نیاز روزافزون به تهیه نقشه‌های مختلف پوشش اراضی برای مدیریت و سامان‌دهی بهتر و دسترسی آسان به داده‌ها با توان تفکیک بالای گوگل ارث، زمینه را برای استفاده از این تصاویر جهت تهیه نقشه‌های پوشش فراهم آورده است (۲۷). هرچند تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث، روشی برای تهیه نقشه پوشش گیاهی است اما این روش زمان‌بر بوده و هزینه بالایی در بر دارد (۴۸).

با پیشرفت فناوری ماهواره‌ای در دهه‌های اخیر، ابزار سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای با توجه به قدرت تفکیک مکانی، باندی و زمانی مناسبشان (۲۸) به‌عنوان سریع‌ترین راه دسترسی جهت استخراج اطلاعات مربوط به سطح زمین شناخته می‌شوند (۴۴). تکنیک‌های سنجش از دور به دلیل تناوب در اخذ تصاویر یک ناحیه، تصویربرداری در طول موج‌های مختلف در یک زمان و در نهایت امکان پردازش و تفسیر سریع داده‌های کسب شده، در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فناوری با توجه به وسعت مناطق مورد مطالعه، اطلاعات طیف‌های متعدد و مشاهده تقریبا ثابت (۳۰)، توانایی ارزیابی و پایش مراتع را داشته و مطالعه اکوسیستم‌ها را با هزینه‌ای کمتر از روش‌های میدانی ممکن می‌سازد، در نتیجه به منزله یکی از مهم‌ترین ابزارهای کسب اطلاعات مکانی و موضوعی برای مطالعه پوشش گیاهی قلمداد می‌شود (۴۵).

یکی از مهم‌ترین روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌های سنجش از دور، تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر به‌عنوان مهم‌ترین فرآیند تولید محصولات جغرافیایی است (۱). همراه با تنوع تصاویر ماهواره‌ای، خوارزمیک‌های مختلفی از طبقه‌بندی، متناسب با توان تفکیک تصاویر، شرایط منطقه مورد مطالعه و اهداف پژوهش‌ها توسعه یافته‌اند. از آنجا که هدف اصلی از پردازش



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

تصاویر ماهواره‌ای، تهیه نقشه‌های موضوعی و کارآمد است، انتخاب خوارزمیک مناسب طبقه‌بندی نقش به‌سزایی در این امر ایفا می‌نماید. در سال‌های اخیر خوارزمیک‌های یادگیری ماشینی به جهت بهره‌مندی از روش‌های دانش‌پایه در جوامع سنجش از دور و مشاهده زمین که با آن علم داده و جوامع سنجش از دور شروع به همسو شدن کرده‌اند، محبوب شده‌اند. این روش‌ها که خصوصیات غیرخطی و غیرپارامتریکی دارند، کارآمد و موثر هستند و از آنجا که به توزیع آماری خاصی وابسته نبوده و دقت بالایی در طبقه‌بندی دارند، توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند (۳۱). بنابراین، انتخاب یک خوارزمیک مناسب، در صورت توانایی داده‌های ماهواره‌ای در تفکیک جوامع گیاهی جهت به‌دست آوردن یک نقشه دقیق ضروری است (۱۳).

ازجمله مطالعات صورت گرفته در زمینه تهیه نقشه‌های پوشش زمین و تغییرات آن‌ها، می‌توان به بررسی دونی‌وی و همکاران (۲۰۱۲) اشاره نمود که بیان داشتند به‌کارگیری تفسیر بصری با استفاده از تصاویر گوگل ارث جهت تهیه نقشه پوشش زمین از صحت بالایی برخوردار است. لودویگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز ضمن تهیه نقشه میزان تخریبات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر گوگل ارث اظهار داشتند که این تصاویر، قابلیت تولید نقشه مذکور با صحت بسیار بالایی را دارا هستند. طی پژوهشی بیان شد که خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری دقیق‌ترین نتایج را جهت طبقه‌بندی پوشش اراضی به‌دست می‌دهد (۹). در مطالعه‌ای که در سال (۲۰۱۲) در ارزیابی کارایی روش طبقه‌بندی درختی جهت استخراج نقشه کاربری اراضی صورت گرفت نشان داد که بالاترین دقت طبقه‌بندی مربوط به طبقه‌بندی درختی با روش انشعاب جینی بود (۵). بررسی صورت گرفته توسط ایکسی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد هنگامی که باندهای طیفی برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند، خوارزمیک‌های یادگیری ماشین از عملکرد بهتری برخوردارند (۵۰). همچنین در تحقیقی، ترکیب داده‌های کمکی را در کنار باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای، جهت کمک به تشخیص ویژگی‌های پوشش زمین توصیه نمودند (۱۹). طبق گزارشی در ارزیابی تغییرات پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست TM و با سه خوارزمیک ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم‌گیری و حداکثر احتمال بیان شد علی‌رغم کیفیت و دقت خوب هر سه روش، درخت تصمیم‌گیری نتایج بهتری نسبت به دو روش دیگر به‌دست می‌دهد (۳۴). طی تحقیقی بیان شد که بیشتر فرآیند طبقه‌بندی در کلاس‌های اصلی پوشش زمین اجرا شده و منجر به تولید نقشه‌های طبقه‌بندی دقیق شده است (۲۹). مطابق با بررسی‌های انجام گرفته، استفاده از داده‌های سنجنده TM جهت طبقه‌بندی تصاویر با سه روش درخت تصمیم‌گیری، حداکثر احتمال و روش طبقه‌بندی نظارت نشده حاکی از آن است که درخت تصمیم‌گیری دقت کلی و ضریب کاپای بالاتری نسبت به دو روش مذکور داشته است (۴۰).

آگاهی از انواع پوشش سطح زمین و بررسی روند تغییرات آن‌ها در یک چشم‌انداز ناهمگن، به‌عنوان اطلاعات پایه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نقش مهمی در این امر ایفا می‌نمایند. مرور پژوهش‌های پیشین حاکی از آن است که هرچند روش‌های ناپارامتریک در طبقه‌بندی پوشش گیاهی به‌ویژه در سال‌های اخیر استفاده شده است، اما کمتر برای تفکیک واحدهای همگن پوشش گیاهی با ترکیب و ساختار متفاوت که تا حدودی رفتارهای طیفی مشابهی را از خود به نمایش می‌گذارند، صورت گرفته است. این امر به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی نسبتا گسسته دارند حائز اهمیت خواهد بود. لذا لزوم مطالعات جامع بر مبنای حمایت و حراست از این ذخایر ارزشمند با تکیه بر آگاهی از وضعیت پوشش و ترکیب فلورستیکی گیاهان موجود و تهیه نقشه‌هایی که بیانگر تفکیک پوشش‌های مرتعی از یکدیگر باشد جهت مدیریت بهینه و سامان‌دهی بهتر آن‌ها ضروری می‌نماید. مطالعه حاضر با هدف: ۱- ارزیابی قابلیت خوارزمیک‌های طبقه‌بندی درختی و درخت تصمیم‌گیری بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و همچنین تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث جهت تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی و ۲- استفاده از داده‌های کمکی برای بهبود دقت طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی براساس بهترین خوارزمیک اجرا شده در یکی از مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است. لذا مقایسه این روش‌ها جهت دست‌یابی به انتخاب روشی بهتر برای تشخیص واحدهای



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

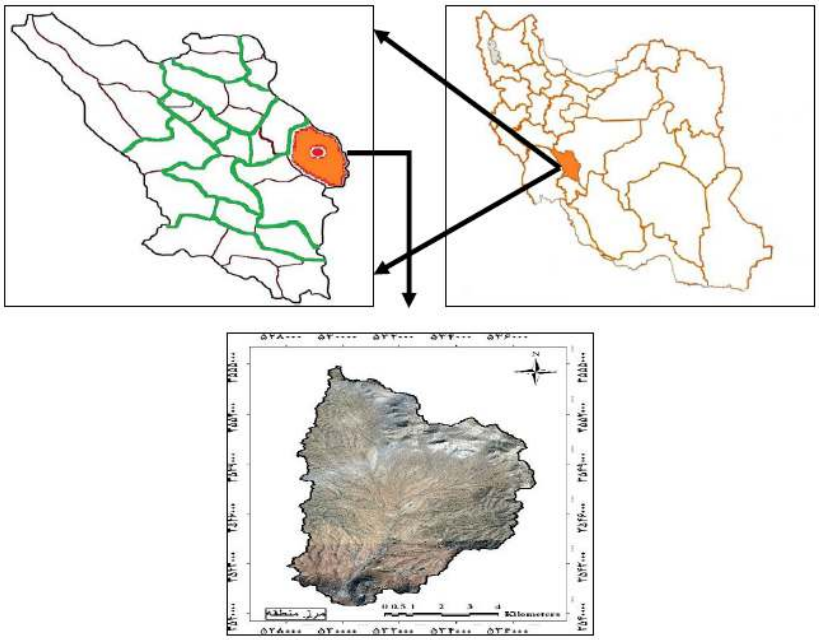
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

مجزای گیاهی بر اهمیت و ضرورت انجام این موضوع صحه می‌گذارد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در یک چشم‌انداز طبیعی از مراتع نیمه‌استپی در کوه زاگرس مرکزی در جنوب غربی ایران واقع شده است. این مراتع با مساحتی معادل ۷۷۱۲ هکتار، در فاصله ۴/۶۵ کیلومتری شهرستان بروجن در شرق استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. محدوده منطقه مورد مطالعه بین مدارهای ´۵۱°۱۷ تا ´۵۱°۲۳ طول شرقی و ´۰۰°۳۲ تا ´۳۲°۰۶ عرض شمالی است. این منطقه از نظر توپوگرافی عمدتا دشتی بوده، پست‌ترین و بلندترین ارتفاع آن به‌ترتیب ۲۲۴۸ و ۲۳۷۳ متر از سطح دریا است. متوسط بارش سالانه منطقه ۲۵۳ میلی‌متر (بیشتر در زمستان و اوایل بهار) و متوسط دمای سالانه نیز ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد است. طبق تقسیم‌بندی کوپن، این منطقه دارای اقلیم معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک است. گونه‌های غالب منطقه، گندمیان چندساله و بوته‌ای‌ها نظیر *Astragalus verus*، *Stipa hohenikeriana* و *Bromus tomentellus* هستند.



**شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان چهارمحال و بختیاری و مرز منطقه**

## روش تحقیق

### تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی با استفاده از تصاویر گوگل ارث

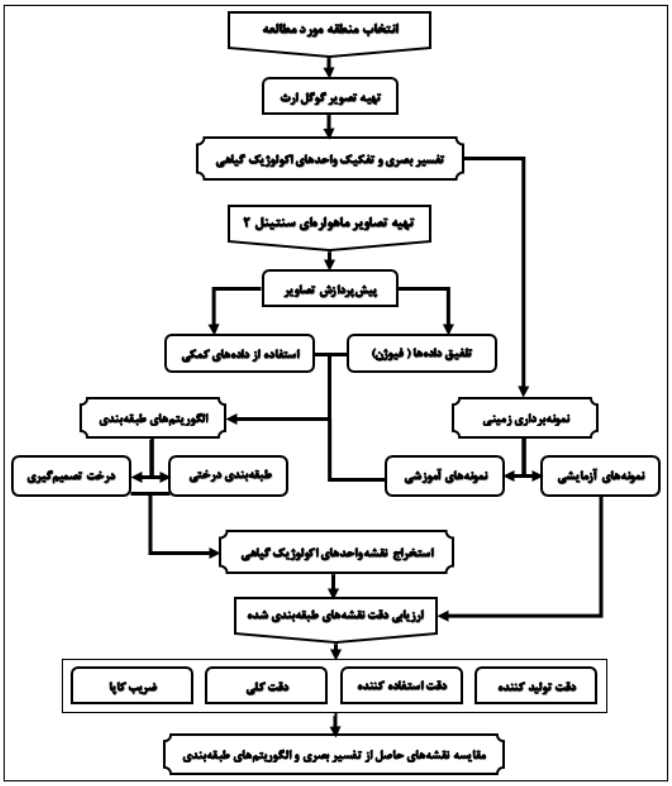
بدین منظور، ابتدا تصویر منطقه مورد مطالعه (تصویر ماهواره WorldView2 با توان تفکیک مکانی ۴۶ سانتی‌متر برای باند پانکروماتیک و ۱/۸۵ متر برای باند چندطیفی) مربوط به تاریخ ۲۰۱۹/۵/۲۳ تا ۲۰۱۹/۶/۲۰ از سامانه Google Earth تهیه شد (۱۶). سپس تصویر به محیط نرم‌افزار ArcGis انتقال یافت و مرز منطقه مورد نظر بر روی آن مشخص شد. از آنجایی‌که تصاویر گوگل ارث دارای مزایایی نظیر طبیعی بودن رنگ عوارض و پدیده‌ها، داشتن دید سه‌بعدی و تفکیک‌پذیری آبراهه‌ها و جاده‌ها هستند، بنابراین جهت تفکیک واحدهای اکولوژیک گیاهی از روش تفسیر بصری استفاده شد. فرآیند تفسیر بصری شامل تعیین پلی‌گون‌ها بر روی تصویر و سپس تعریف مناطق همگن با خصوصیات مشابه نظیر رنگ، شکل، سایه، بافت، الگو و اندازه است تا نوع تیپ غالب و پوشش سطحی زمین تشخیص داده شود (۱۴). در این نقشه ابتدا لکه‌هایی که از



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

نظر نوع گونه گیاهی همگن بودند و ماهیت طبیعی داشتند مشخص شد. سپس ویژگی هر پلی‌گون بر اساس گونه‌های غالب و نوع آشفتگی‌ها تفسیر و یک طبقه‌بندی کلی انجام گرفت. جهت آگاهی از میزان صحت نقشه با طبیعت، بیش از ۲۰۰ نقطه به‌صورت منفرد از هر نوع واحد اکولوژیک گیاهی برداشت شد و این نقاط به‌عنوان نقاط واقعیت زمینی در محیط نرم‌افزار ArcGis بر روی تصویر ثبت شد و صحت نقشه تهیه شده با استفاده از معیار ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت واحدهای اکولوژیک گیاهی تشخیص داده شده حاصل بر اساس گونه غالب و به روش فیزیونومیک و فلورستیک، نام‌گذاری و به‌صورت آمار توصیفی بیان شد.




**شکل ۲: الگوی کلی مراحل انجام کار**

**نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در هر واحد اکولوژیک جهت شناسایی ترکیب گیاهی**

بعد از تفکیک مرز تقریبی واحدهای اکولوژیک گیاهی، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی مطابق با زمان اوج حداکثر رشد گونه‌های گیاهی انجام شد. بدین منظور، از هر واحد اکولوژیک ۵-۴ واحد که پراکنش مناسبی در سطح منطقه داشتند توسط بررسی میدانی جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند. سپس در هر واحد اکولوژیک (بسته به اندازه هر واحد) ابتدا ۵ الی ۱۰ ماکروپلات ۳۰*۳۰ مترمربعی به‌طور تصادفی- سیستماتیک مستقر شد. نمونه‌برداری از پوشش تاجی به تفکیک فرم رویشی با استفاده از ۳ پلات ۲*۲ مترمربعی در هر ماکروپلات انجام گرفت (۴۲). جهت اندازه‌گیری زیست‌توده بالای سطح زمین به روش نمونه‌گیری مضاعف، پوشش گیاهان یک‌ساله و چندساله علفی در ۲۵ درصد پلات‌ها، از ارتفاع یک سانتی‌متری سطح خاک برداشت شدند (۷). در مورد گیاهان بوته‌ای موجود در پلات‌ها، ابتدا شاخه‌هایی از هر گیاه بوته‌ای که نماینده ۱۰ الی ۲۰ درصد اندازه کل گیاه بودند جدا شدند (۴) و این شاخص با گیاه موجود در هر پلات مقایسه و مقدار زیست‌توده هر گیاه تخمین زده شد و پس از خشک شدن در هوای آزاد توزین گشتند. در مرحله بعد با استفاده از رابطه رگرسیونی بین مقادیر نظری و وزن شده، مقادیر



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

زیست‌توده در مابقی پلات‌ها برآورد شد. سپس میانگین درصد پوشش گونه‌های گیاهی برآورد شده در محدوده هر واحد اکولوژیک محاسبه شد. در نهایت گونه غالب گیاهی هر واحد مشخص و سپس گونه‌های همراه آن مشروط به داشتن ۵۰ درصد و یا بیشتر پوشش گونه ماقبل آن تعیین شد. بدین ترتیب نام‌گذاری هر واحد اکولوژیک گیاهی بر مبنای روش فلورستیک صورت گرفت.

**تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**

در این مطالعه علاوه بر تفسیر بصری، از خوارزمیک‌های طبقه‌بندی درختی و درخت تصمیم‌گیری نیز جهت تولید نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی استفاده شد. بدین منظور تصاویر چندطیفی سنجنده MSI سنتینل ۲ به‌عنوان منبع اصلی پردازش، مورد استفاده قرار گرفت. برای این‌کار تصاویر مذکور از تاریخ ۲۰۱۹/۵/۲۳ تا ۲۰۱۹/۶/۲۰ که هم‌زمان با فصل حداکثر رشد گیاهان مرتعی در منطقه مورد مطالعه است، از سایت سازمان فضایی اروپا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه گردید. این تصاویر شامل ۱۳ باند طیفی در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه بوده و فاقد باند حرارتی است که دارای توان تفکیک مکانی متغیر ۱۰ تا ۶۰ متر است (۲۶). با توجه به اینکه مهم‌ترین باند در مطالعات پوشش گیاهی باند قرمز و مادون‌قرمز نزدیک است، ماهواره سنتینل ۲ از چندین باند مادون‌قرمز نزدیک برخوردار است و پیکسل‌های ۱۰ متری در باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ آن امکان استخراج اطلاعات بیشتر از پوشش گیاهی را فراهم می‌آورد (۴۹).

**پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**

پس از بررسی میدانی و تدقیق زمینی، نقشه حاصل از تفسیر بصری به‌دلیل دقت بالای آن به‌عنوان مبنای ارزیابی دقت، جهت بررسی تکنیک‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. بعد از دریافت تصاویر سنتینل ۲ در سطح L1C، ابتدا تصاویر از لحاظ خطاهای رادیومتری، هندسی و ... مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس باندهای مورد نظر این ماهواره در نرم‌افزار SNAP فراخوانی و زمین مرجع شد. در مرحله بعد از طریق الگوریتم Sen2Cor عرضه شده از سوی آژانس فضایی اروپا، عملیات پردازش تصاویر بر روی باندهای بازتابی داده‌ها صورت گرفت (۳۳). با استفاده از اطلاعات تصویر و مدل رقومی ارتفاع، میزان بخار آب و عمق نوری اتمسفر محاسبه شد. سپس با استفاده از جداول تبدیل موجود در نرم‌افزار مدل اتمسفری متناسب با شرایط تصویربرداری، فراخوانی شده و روی تصاویر اعمال شد. در نهایت تصویر اصلاح شده جهت استخراج نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی در نرم‌افزار Idrisi TerrSet مورد استفاده قرار گرفت.

**تلفیق داده‌ها با قابلیت‌های متفاوت طیفی و مکانی جهت بهبود تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی (فیوژن)**

یکی از تکنیک‌هایی که به منظور واضح‌سازی، بهبود و بارزسازی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، ادغام تصاویر (Image fusion) توسط فرآیند Pansharping است. ادغام تصاویر، فرآیند ترکیب تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و طیفی مختلف و تولید تصویری جدید است که هم‌زمان دارای خصوصیات هر دو تصویر است، لذا تصویر جدید قابلیت بیشتری نسبت به تک‌تک تصاویر اصلی خواهد داشت. بر همین اساس باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ ماهواره سنتینل ۲ دارای توان تفکیک مکانی ۱۰ متر است که می‌توان از آن به‌عنوان بهترین مکمل جهت افزایش توان تفکیک مکانی استفاده نمود (۴۹). بدین ترتیب برای هماهنگ‌سازی ابعاد پیکسل‌های تمامی تصویر، باندها با تفکیک‌پذیری طیفی ۲۰ متر از تصاویر سنتینل ۲، به ۱۰ متر ارتقا یافتند که سبب بهبود کیفیت تصویر جدید و افزایش مقدار جزئیات جهت بالا بردن دقت نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی خواهند شد.

**استفاده از داده‌های کمکی جهت تفکیک و طبقه‌بندی دقیق‌تر واحدهای اکولوژیک گیاهی**

با توجه به اینکه پوشش گیاهی منطقه از نوع مرتعی است، انتظار می‌رود اکثر واحدهای اکولوژیک گیاهی رفتار طیفی نسبتا مشابهی داشته باشند. در نتیجه به‌دلیل تفکیک‌پذیری بین طبقه‌ای پایین، ساختارهای مکانی پیچیده‌ای را در چشم‌انداز ناهمگن تشکیل می‌دهند (۳۷). لذا به‌کارگیری داده‌های طیفی به‌تنهایی جهت تفکیک واحدهای آمیخته کافی نمی‌باشد. در چنین مواردی استفاده از منابع غیرطیفی همچون داده‌های کمکی می‌توانند در



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

افزایش دقت طبقه‌بندی مؤثر باشند. به همین دلیل در این پژوهش از لایه‌های کمکی همچون مدل رقومی ارتفاع، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و شاخص‌های گیاهی نظیر NDVI به‌عنوان ورودی‌های کمکی به همراه داده‌های طیفی در فرآیند طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند که علاوه بر کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت عمل، سبب بالا رفتن دقت طبقه‌بندی و تفکیک واحدها می‌گردند.

**تلفیق داده‌های کمکی با داده‌های ماهواره‌ای**

در این مرحله لایه‌های کمکی (نظیر مدل رقومی ارتفاع و داده‌های نسبت باندی همچون شاخص گیاهی NDVI) با استفاده از باندهای تصویر ماهواره‌ای ادغام شدند. بدین منظور با استفاده از دستورهای موجود در نرم‌افزار ابتدا عمل کشیدگی طیفی (Stretch) بر روی مدل رقومی ارتفاع صورت گرفت تا به کمک آن علاوه بر تبدیل داده‌های واقعی (Integer) به داده‌های بایت باینری (Byte Binary)، گستردگی باندی تصویر حاصله مطابق دیگر باندهای ماهواره بین ۲۵۵-۰ تغییر یابد. همچنین مقادیر پیکسل‌ها در لایه اطلاعاتی NDVI نیز پس از تغییر ساختار از داده‌های واقعی به داده‌های بایت باینری کشیدگی یافتند تا بسته به میزان کمی یا زیادی NDVI محاسباتی، مقادیر ذکر شده را دریافت دارند. بنابراین فرآیند ادغام داده‌های کمکی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و عمل‌گرهای موجود در نرم-افزار صورت گرفت و در اثر این فرآیند لایه‌های کمکی دارای خصوصیاتی همانند داده‌های ماهواره‌ای گشتند.

**خوارزمیک طبقه‌بندی درختی (Classification Tree Analysis)**

خوارزمیک طبقه‌بندی درختی، یک روش ناپارامتری است (۸) که با تفکیک متوالی داده‌ها در هر میانگره به میانگره‌های جدید حاوی زیرمجموعه‌های همگن‌تر بر مبنای پیکسل‌های تعلیمی پیش می‌رود. یک میانگره جدیدا ایجاد شده ممکن است در حالتی که پیکسل‌های تعلیمی حاوی تنها یک کلاس است یا غالبیت پیکسل‌ها با یک کلاس است، ایجاد یک برگ نماید. زمانی‌که دیگر میانگره‌ای برای انشعاب وجود ندارد، قواعد نهایی طبقه‌بندی درختی شکل می‌گیرد. یکنواختی نمونه‌ها در تمامی گره‌ها با استفاده از معیار عدم خلوص اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به اینکه نرم‌افزار Idrisi TerrSet سه روش انشعاب شامل آنتروپی، نسبت بهره و شاخص جینی را به‌عنوان معیار عدم خلوص به‌کار می‌برد، در این مطالعه از روش طبقه‌بندی درختی با انشعاب جینی که مهم‌ترین و پرکاربردترین اندازه عدم خلوص است (۵۱) و سعی دارد همگن‌ترین دسته را در میان سری داده‌ها پیدا کند و آن را از بقیه داده‌ها جدا نماید، جهت تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی استفاده شد.

**خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری (Decision Forest)**

خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری، از روش‌های چندمرحله‌ای جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است که از طبقه‌بندی کننده‌های مرتبط باهم استفاده می‌نماید. بدین ترتیب مجموعه‌ای از تصمیمات بر اساس شروط منطقی اتخاذ می‌شوند تا پیکسل‌ها به‌صورت سلسله مراتبی طبقه‌بندی گردند (۳۶). سپس خوارزمیک مذکور به‌صورت بازگشتی، مجموعه‌ای از داده‌ها را براساس مجموعه‌ای از شاخص‌های تعریف شده در هر گره از درخت مورد نظر، به زیرمجموعه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌نماید. این بخش‌بندی بازگشتی، منجر به ایجاد ساختاری درخت مانند می‌شود. بنابراین یک مجموعه داده براساس تصمیم تعریف شده از طریق این درخت، با تقسیم شدن پی‌درپی گره به مجموعه‌ای از پاسخ‌های ممکن منتهی می‌گردد و براساس آن برچسب کلاس به هر مشاهده اختصاص می‌یابد. مهم‌ترین ویژگی این روش، به‌کارگیری مشترک داده‌های منابع مختلف، به منظور تصمیم‌گیری مناسب درباره کلاس نهایی پیکسل‌ها می‌باشد به‌طوری‌که هر تصمیمی، داده‌ها را در یکی از کلاس‌های مورد نظر طبقه‌بندی می‌نماید (۴۱).

**فرآیند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای**

به منظور طبقه‌بندی براساس خوارزمیک‌های مختلف، نمونه‌های کنترل زمینی به‌عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات، از هر گروه از واحدهای اکولوژیک گیاهی در طی عملیات میدانی و به‌صورت تصادفی برداشت شدند. در مرحله بعد تفکیک نمونه‌ها به مجموعه داده‌های آموزشی و آزمایشی انجام گرفت که از پراکنش مناسبی در سطح تصاویر برخوردار هستند (۲۵). بدین صورت که قسمتی برای انجام طبقه‌بندی (یک‌سوم نمونه‌ها) و بخشی دیگر جهت برآورد صحت نتایج حاصل از خوارزمیک‌های ذکر شده (دوسوم نمونه‌ها) تقسیم شدند. پس از مشخص نمودن ویژگی‌های تصاویر و تعیین باندهای مناسب جهت انجام



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

طبقه‌بندی، داده‌های آموزشی هر یک از کلاس‌ها به خوارزمیک‌ها معرفی شدند. در نهایت خوارزمیک‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت نظارت شده و با تعیین ۷ کلاس اعمال گردید. بدین ترتیب نقشه‌های واحدهای اکولوژیک مربوط به منطقه مورد مطالعه ایجاد شد و دقت آن‌ها با استفاده از نمونه‌های آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت. شایان ذکر است برای اینکه مقایسه مناسبی بین این روش‌ها انجام گیرد، داده‌های آموزشی و صحت سنجی برای تمامی روش‌ها یکسان در نظر گرفته شد تا شرایط انجام طبقه‌بندی برای همه مشابه باشد.

**ارزیابی دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده از تصاویر ماهواره‌ای**

در این پژوهش به منظور ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی، روش اعتبارسنجی متقابل به‌کار گرفته شد. نتایج این ارزیابی به‌صورت ماتریس خطا که حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم در واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است، ارائه شد. اعداد موجود در سطرهای ماتریس نشان دهنده تعداد پیکسل‌های هر کلاس برای نقشه به‌دست آمده از خوارزمیک طبقه‌بندی‌کننده و ستون‌ها بیانگر تعداد پیکسل‌های هر کلاس برای داده‌های جمع‌آوری شده در عملیات میدانی است. از آنجا که هر یک از شاخص‌های مستخرج از ماتریس خطا، اطلاعات متفاوتی را ارائه می‌دهند و بسته به هدف استفاده کننده، می‌توان شاخص‌های متعددی را مد نظر قرار داد، بنابراین در مطالعه حاضر، پارامترهای دقت تولید کننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه گردید (۲۰).

دقت تولید کننده، نشان‌دهنده میزان طبقه‌بندی صحیح پیکسل‌های یک طبقه نسبت به مجموع پیکسل‌های همان طبقه در واقعیت زمینی است و از تقسیم عناصر قطری به مجموع مقادیر ستون همان کلاس به‌دست می‌آید. دقت کاربر، نسبت پیکسل‌های صحیح به مجموع پیکسل‌های یک سطر است که از طریق تقسیم عناصر قطری به مجموع عناصر سطر همان کلاس حاصل می‌شود (۴۳). دقت کلی، میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که بر اساس نسبت پیکسل‌هایی که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند به کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد و از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها به‌دست می‌آید (۴۷). ضریب کاپا، بر اساس اندازه‌گیری تفاوت بین تعداد پیکسل‌هایی که به‌درستی شناسایی شده‌اند و تعداد پیکسل‌هایی که به صورت نادرست طبقه‌بندی شده‌اند انجام می‌گیرد. این شاخص برخلاف دقت کلی، پیکسل‌هایی که به‌درستی پیش‌بینی نشده‌اند را نیز در محاسبات اعمال می‌نماید.

## نتایج

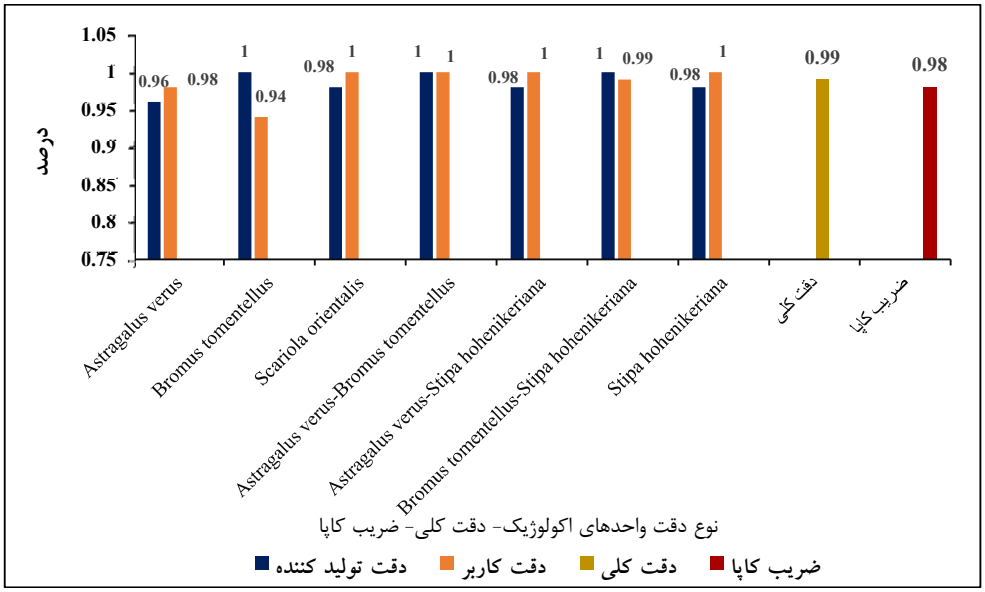
**تفسیر بصری واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصویر گوگل ارث**

نتایج حاصل از تفسیر بصری حاکی از آن است که در نهایت ۷ نوع واحد اکولوژیک گیاهی به روش فیزیونومیک-فلورستیک شناسایی و تفکیک شدند که شامل *Astragalus verus*، *Bromus tomentellus*، *Scariola orientalis*، *Astragalus verus-Bromus tomentellus*، *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana*، *Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana* و *Stipa hohenikeriana* هستند. چنانچه ملاحظه می‌گردد تعداد واحدهای اکولوژیک گیاهی در منطقه بسیار زیاد و در قطعات کاملا مجزایی از بزرگ تا کوچک نشان داده شده است که به لحاظ داشتن خصوصیات محیطی خاص از سایر بخش‌ها متمایز شده، ساختار گیاهی و عملکرد اکولوژیکی یکسانی دارند و از نظر ویژگی‌های ساختاری متفاوت هستند (شکل ۴). همان‌طور که نتایج ارزیابی نقشه حاصل از تفسیر بصری در شکل (۳) نشان می‌دهد، بررسی پارامترهای آماری واحدهای مختلف اکولوژیک نظیر دقت تولید کننده و دقت کاربر گویای آن است که تمامی واحدها دارای صحت بالایی هستند. از طرفی دقت کلی طبقه‌بندی برابر ۰/۹۹ درصد و ضریب کاپای کل نیز ۰/۹۸ است که نشان از دقت بالای این روش است.

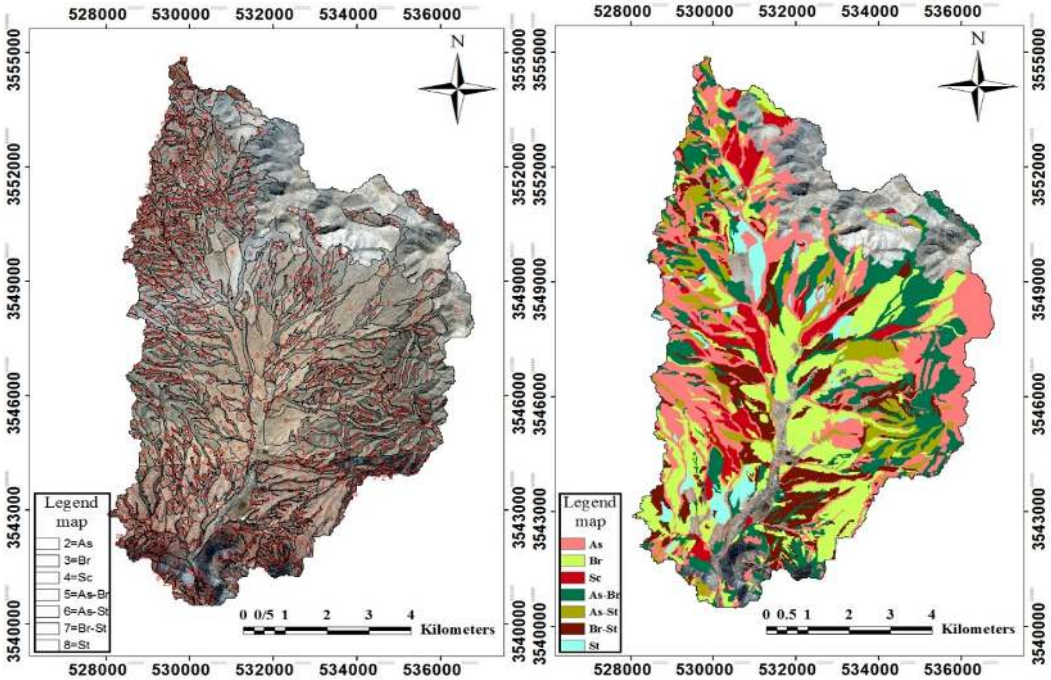


[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]




**شکل ۳: نتایج ماتریس خطای نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی حاصل از تفسیر بصری بر روی تصویر گوگل ارث**




**شکل ۴: شناسایی و استخراج واحدهای اکولوژیک گیاهی با ویژگی‌های ساختاری متفاوت و سپس طبقه‌بندی واحدهای گیاهی همگن و با خصوصیات مشابه بر روی تصویر گوگل ارث**

**خوارزمیک طبقه‌بندی درختی واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**

نتایج حاصل از خوارزمیک طبقه‌بندی درختی نشان می‌دهد که واحدهای اکولوژیک گیاهی در ۷ گروه شناسایی و تفکیک شدند که هر کدام از این واحدها متناظر با یک نوع پوشش مشخص زمینی است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد واحد اکولوژیک *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana* با ۰/۹۹ درصد و واحد اکولوژیک *Bromus*



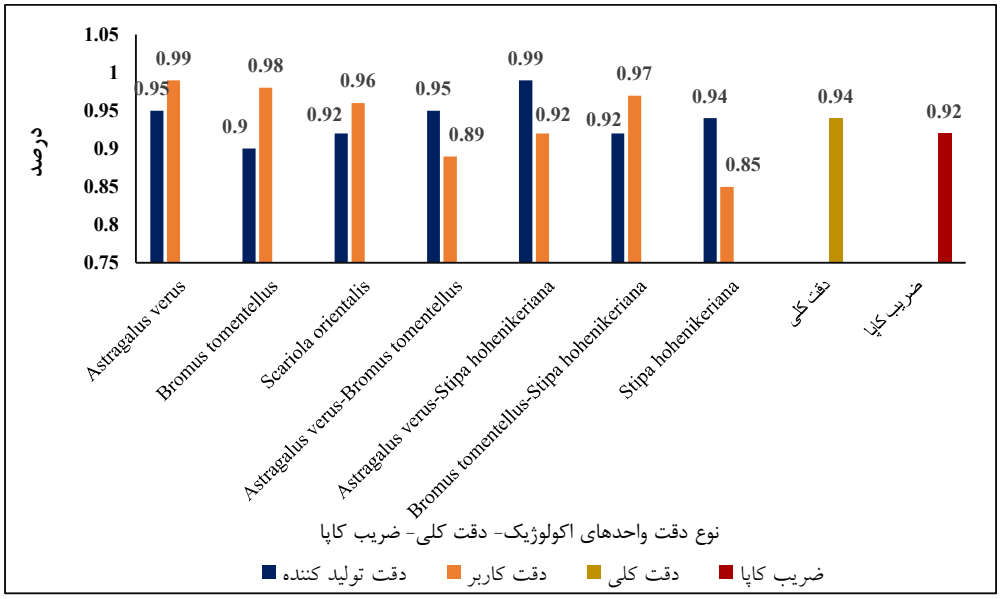
[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

*tomentellus* با ۰/۹۰ درصد به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین دقت تولید کننده را دارا هستند. در حالی‌که بالاترین دقت کاربر مربوط به واحد اکولوژیک *Astragalus verus* با ۰/۹۹ درصد و پایین‌ترین مقدار آن متعلق به واحد اکولوژیک *Stipa hohenikeriana* با ۰/۸۵ درصد است. سایر واحدهای اکولوژیک گیاهی نیز دارای دقتی بین دو گروه مذکور بوده‌اند (شکل ۵ و ۶).

نتایج طبقه‌بندی مذکور همچنین نشان داد که دقت کلی برابر ۰/۹۴ درصد و ضریب کاپای کل نیز ۰/۹۲ است که در محدوده مورد تایید قرار دارند. با توجه به اینکه دلاپیان و اسمیت (۱۹۹۹) ضرایب کاپای بزرگ‌تر از ۰/۷ را خیلی خوب عنوان نمودند، خروجی‌های حاصل از خوارزمیک مورد استفاده بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ چه از نظر تک‌تک واحدهای اکولوژیک و چه از نظر مجموع صحت و ضریب کاپا از بالاترین دقت برخوردارند.

این امر نشان از قابلیت و توانایی بالای این خوارزمیک جهت تهیه اطلاعات دقیق و به‌هنگام از مشخصه‌های مرتعی است که می‌تواند گزینه مناسبی برای مطالعات و بررسی پوشش گیاهی باشد. نتایج به‌دست آمده همچنین حاکی از آن است که با افزودن لایه‌های کمکی (مدل رقومی ارتفاع، شاخص گیاهی NDVI و تحلیل مؤلفه‌های اصلی)، امکان تفکیک واحدهای مختلف اکولوژیک با صحت بیشتر، افزایش می‌یابد در نتیجه دقت کلی و ضریب کاپای نقشه حاصل از طبقه‌بندی، به‌ترتیب افزایشی حدود ۴ و ۵ درصدی بر روی تصاویر سنتینل ۲ را در مقایسه با زمانی که تنها باندهای ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفتند نشان دادند. به‌علاوه دقت تولیدکننده و دقت کاربر نیز افزایش قابل توجهی را در واحدهای اکولوژیک گیاهی داشتند که باعث بهبود تفکیک‌پذیری واحدها از یکدیگر شدند.

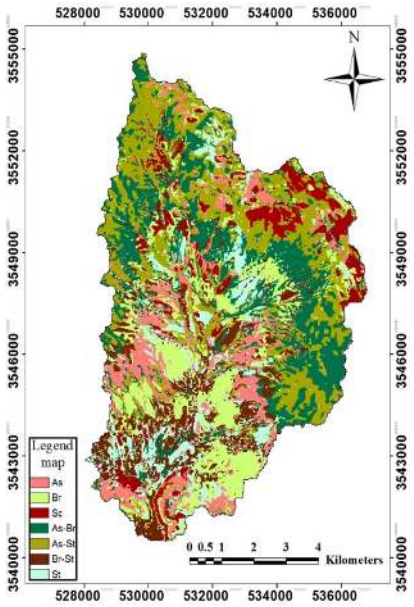



**شکل ۵: نتایج ماتریس خطای نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی حاصل از خوارزمیک طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]




**شکل ۶: نقشه حاصل از خوارزمیک طبقه‌بندی درختی واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**

**خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**

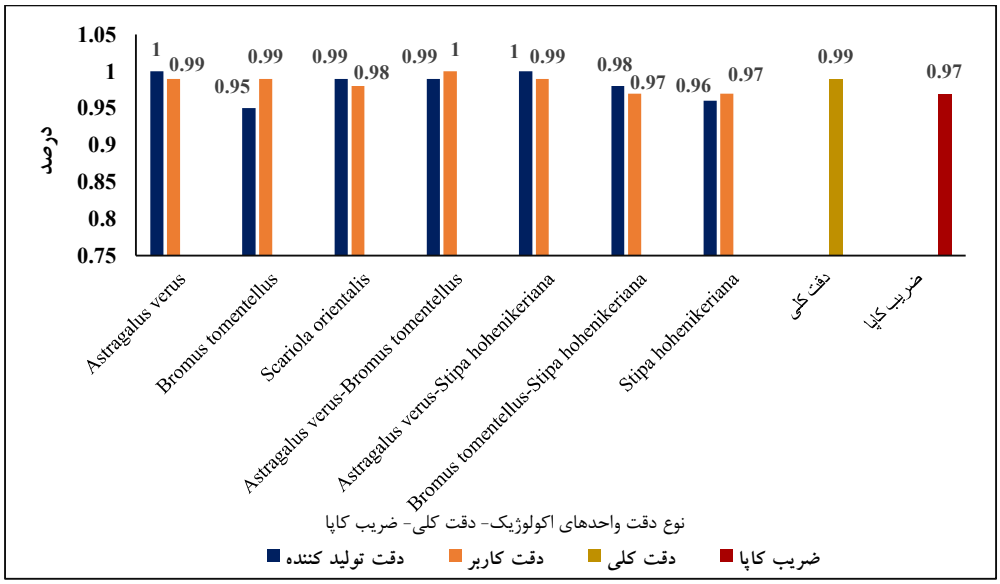
همان‌طوری که از پارامترهای ماتریس خطای حاصل از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری بر می‌آید، تمام واحدهای اکولوژیک گیاهی از دقت تولید کننده و دقت کاربر بالای ۰/۹۵ درصد برخوردار هستند، به‌طوری‌که واحد اکولوژیک *Astragalus verus* و *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana* با ۱۰۰ درصد و واحد اکولوژیک *Bromus tomentellus* با ۰/۹۵ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین دقت تولید کننده را دارا هستند. در حالی‌که بیشترین دقت کاربر مربوط به واحد اکولوژیک *Astragalus verus-Bromus tomentellus* با ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار آن متعلق به واحد اکولوژیک *Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana* با ۰/۹۷ درصد است (شکل ۷ و ۸).

نتایج به‌دست آمده از این طبقه‌بندی همچنین حاکی از آن است که دقت کلی برابر ۰/۹۹ درصد و ضریب کاپای کل نیز ۰/۹۷ است. از طرفی، مقادیر مشاهده شده در قطر ماتریس خطا بسیار بیشتر از مقادیر خارج از قطرها بوده و همین موضوع مؤید دقت بالا و کارآمدی بیشتر این روش است. نکته مورد توجه دیگر در رابطه با نتایج طبقه‌بندی این است که افزودن لایه‌های کمکی (مدل رقومی ارتفاع، شاخص گیاهی NDVI و تحلیل مؤلفه‌های اصلی)، منجر به افزایش دقت کلی و ضریب کاپای نقشه حاصل از طبقه‌بندی به‌ترتیب حدود ۳ و ۳/۵ درصد بر روی تصاویر سنتینل ۲ در مقایسه با زمانی که تنها باندهای خام مورد استفاده قرار گرفتند، شده است. به‌علاوه دقت تولید کننده و دقت کاربر نیز افزایش قابل توجهی را در واحدهای اکولوژیک گیاهی داشتند که باعث بهبود جداسازی واحدها از یکدیگر شدند. بر اساس مقادیر محاسبه شده می‌توان دریافت که خروجی‌های حاصل از خوارزمیک مورد استفاده بسیار مطلوب هستند.

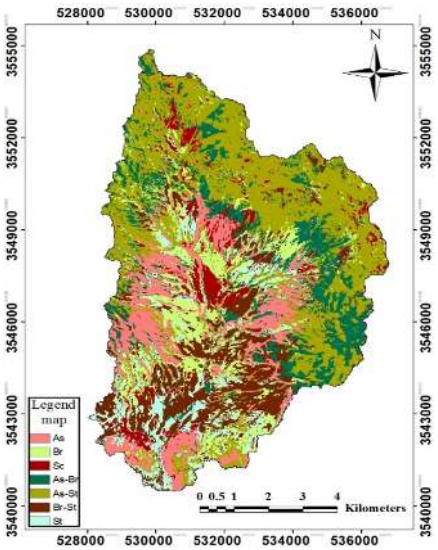


[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]




**شکل ۷: نتایج ماتریس خطای نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی حاصل از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**




**شکل ۸: نقشه حاصل از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲**

## بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی پوشش زمین و طبقه‌بندی جهت تشخیص کمی پوشش گیاهی پراکنده، از وظایف مهم در سنجش از دور نوری هستند (۵۲) و تولید نقشه‌های پوشش گیاهی به منظور مدیریت بهینه و سامان‌دهی بهتر آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فناوری ماهواره‌ای به‌عنوان سریع‌ترین راه دسترسی جهت استخراج اطلاعات مربوط به سطح زمین شناخته می‌شوند که ارزیابی و پایش اکوسیستم‌ها را با هزینه‌ای کمتر از روش‌های میدانی ممکن می‌سازد (۴۴).



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

نتایج به‌دست آمده از تفسیر بصری نشان داد که در نهایت ۷ نوع واحد اکولوژیک گیاهی که از نظر ویژگی‌های ساختاری متفاوت بودند شناسایی شدند. همچنین نتایج حاصل از پارامترهای ماتریس خطا نشان داد که دقت کلی و ضریب کاپای آن به‌ترتیب برابر ۰/۹۹ درصد و ۰/۹۸ است. نتایج نقشه طبقه‌بندی شده به وسیله تفسیر بصری نشان داد که بیشتر واحدهای اکولوژیک گیاهی به‌طور صحیح نام‌گذاری شده‌اند و تنها چند مورد اندک از انتخاب‌ها به دلیل تغییرات رنگ خاک و خصوصیات طیفی مشابه، نادرست هستند. یکی از معیارهای مهمی که مستقیما در پوشش گیاهی به‌کار می‌رود رنگ است که با استفاده از خاصیت روشنی و تیرگی تصاویر می‌توان گونه‌های مختلف گیاهی را تشخیص داد (۲۱). به‌طوری‌که با استفاده از شاخص‌های رنگ، تن و بافت می‌توان گونه‌های بوته‌ای را از گندمیان و علف‌زار جدا نمود. زیرا بوته‌هایی نظیر گون به دلیل کوچک بودن برگ‌ها و خشبی بودن بخش ساقه‌ها و شاخه‌ها جذب نور بیشتری داشته و کاهش میزان انعکاسات طیفی را به همراه دارند، در نتیجه انتظار می‌رود تیره‌ترین بخش‌ها را در تصویر به خود اختصاص دهند. در مقابل، گندمیان به دلیل داشتن برگ‌هایی سوزنی، قابلیت جذب نور کمتر و انعکاسات طیفی بیشتری دارند، در نتیجه رنگ‌های خاکستری با تن روشن را نشان می‌دهند. از طرف دیگر، علف‌زارها و گندمیان بافت یکنواخت و نرمی را دارا هستند، در حالی‌که گونه‌های بوته‌ای معمولا در اثر سایه‌های برگ‌ها و شاخه‌ها الگوی زبر و ناهمواری از قطعات تاریک و روشن متناوب را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که موارد انتخابی به‌خصوص رنگ و بافت برای تشخیص واحدهای اکولوژیک گیاهی، مؤلفه‌های قابل اعتمادی هستند و طبقه‌بندی به روش بصری شیوه مناسبی جهت نقشه‌برداری از اکوسیستم از جمله شناسایی واحدهای مجزای گیاهی، فاصله بین آن‌ها و تعیین ساختار مراتع می‌تواند باشد. این نتایج با یافته‌های (۱۵) و (۲۷) که بیان می‌دارند نقشه تولید شده از تصاویر گوگل ارث از صحت بالایی برخوردار است و می‌توان به‌عنوان یک واقعیت زمینی استفاده نمود، مطابقت دارد.

نتایج به‌دست آمده از پارامترهای ماتریس خطا توسط خوارزمیک‌های طبقه‌بندی بر روی تصاویر ماهواره سنتینل ۲، بیانگر دقت تولید کننده، دقت کلی و ضریب کاپای بالای ۰/۹۰ درصد برای واحدهای اکولوژیک گیاهی است. اکثر گونه‌های گیاهی موجود در این واحدها بوته‌ای‌ها و گندمیان یک‌ساله هستند که پوشش بیشتری را ایجاد می‌نمایند. از این‌رو دقت بالای جداسازی این واحدهای اکولوژیک در مقایسه با سایر واحدها امری مورد انتظار است، به‌خصوص هنگامی که پهنه تحت اشغال این واحدها نسبتا همگن شناسایی شوند (۲۲). دقت بالای طبقه‌بندی یک طبقه می‌تواند ناشی از ویژگی‌های طیفی متمایز آن در مقایسه با دیگر واحدها باشد. این موضوع نشان دهنده تنوع در خصوصیات طیفی گیاهان به‌دلیل اختلافات ساختاری و زیستی و همچنین خاک زمینه است (۱۸). به‌عنوان مثال، واحد اکولوژیک *Astragalus verus* گونه‌ای بوته‌ای است که در شیب‌های تندتری توزیع شده است. بنابراین، به دلیل پوشش سایبان بالاتر و ارائه پیکسل‌های خالص، به‌خوبی استخراج شد. *Bromus tomentellus* یک گونه علف گندمی است و عمدتا در مناطق هموار توزیع می‌شود. این گونه به دلیل حضور گسترده و پیچیده خود در ساختار پوشش گیاهی، دشوارترین کلاس برای شناسایی است. در عین حال، با دقت بالایی توسط خوارزمیک درخت تصمیم به تصویر کشیده شده است. کلاس *Scariola orientalis* از گونه‌های نیمه بوته‌ای است که مناطق کوچک را پوشش می‌دهد. این کلاس با توزیع پراکنده و نامنظم با مناطقی از خاک لخت که به‌طور مکرر بین گیاهان قابل مشاهده است، مشخص می‌شود. در نهایت، سنسورها بازتاب مخلوطی از پوشش گیاهی و خاک را ثبت می‌کنند و میزان خطا در این کلاس بیشتر می‌شود. واحدهای اکولوژیکی که ترکیبی از گونه‌های بوته‌ای و گندمیان هستند (نظیر *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana*) و تقریبا در سراسر منطقه به‌طور یکنواخت وجود دارند، باعث ایجاد پیکسل‌های بیشتری می‌شوند که با هم ترکیب شده‌اند. این کلاس‌ها از دو گونه غالب تشکیل شده‌اند که به‌دلیل تفاوت‌های شکل زندگی رفتار طیفی متفاوتی دارند، با این وجود با دقت بالایی توسط خوارزمیک‌های طبقه‌بندی استخراج شدند. نتایج حاصل از این تحقیق با پژوهش‌های (۵)، (۲۹) و (۵۰) مطابقت دارد.



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی، بهترین روش طبقه‌بندی با استفاده از دقت‌های به‌دست آمده تعیین شد. خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری به مراتب بهتر عمل کرده و با دقت کلی ۰/۹۹ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۷ به‌عنوان مناسب‌ترین روش به منظور تمایز واحدهای اکولوژیک گیاهی شناخته شد. علت دقت بالای خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری، استفاده از دامنه گسترده‌ای از انواع متغیرهای پاسخ، تغییرناپذیری به تبدیل متغیرهای تبیینی، سهولت ساخت درختان، سهولت تفسیر و غیرحساس بودن به نقاط دور افتاده است (۱۱). این خوارزمیک که نسبت به نویز در داده‌های ورودی غیرحساس است، بدون هیچ فرض اولیه‌ای شروع به مدل‌سازی داده‌ها می‌نماید و تمایل به اجرای سریع، قوی و کارآمد دارد (۳۸). لحاظ نمودن میزان احتمال وقوع هر یک از واحدها در تصمیم‌گیری به‌صورت سلسله‌مراتبی موجب کلاسه‌بندی بهتر واحدهای اکولوژیک آمیخته شد. این امر توانایی بالای این خوارزمیک را در تهیه اطلاعات دقیق و به‌هنگام از مشخصه‌های مرتعی جهت مدیریت بهتر این مراتع بیان می‌دارد. از طرفی برداشت نمونه‌های کافی از طبقات مختلف پوشش گیاهی، احتمال تعلق صحیح هر یک از پیکسل‌های تصویر دریافتی از ماهواره، به طبقات مناسب و صحیح را افزایش می‌دهد. بنابراین حصول نتایج مناسب از طبقه‌بندی تصاویر در گرو نمونه‌های کافی و مناسب است (۲). از آنجایی‌که نمونه‌های آموزشی از مناطق نسبتا همگن پوشش گیاهی جمع‌آوری شده‌اند و از پراکنش مناسبی برخوردار هستند که چگونگی بازتاب طیفی کلاس‌ها را بیان می‌کنند، بنابراین واضح است که تفکیک‌پذیری و دقت بالایی را در هنگام طبقه‌بندی نشان خواهند داد. با توجه به اینکه ضریب کاپای همه روش‌ها بیش از ۰/۹۰ بوده است لذا می‌توان با اطمینان بیان نمود نقش شانس در طبقه‌بندی پیکسل‌های مجهول بسیار پایین بوده و طبقه‌بندی بر مبنای نمونه‌های آموزشی صورت گرفته است (۳۹). در این راستا پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه روش‌های طبقه‌بندی ناپارامتریک (۹)، (۳۴) و (۴۰) گویای آن است که خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری از لحاظ معیارهای اطلاعاتی از عملکرد بهتری برخوردار است.

مورد دیگر استفاده از داده‌های کمکی همراه با باندهای خام جهت بهبود دقت طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک بوده است. حضور متفاوت گونه‌های مختلف و دامنه متغیر حضور آن‌ها در واحدهای اکولوژیک، بر روی ارزش طیفی پیکسل‌ها و میزان بازتاب یک واحد اکولوژیک معین در نقاط مختلف تاثیر گذاشته و در نتیجه باعث تداخل طیفی بین واحدهای مجاور و عدم تفکیک دقیق آن‌ها از یکدیگر می‌شود. بنابراین به‌کارگیری داده‌های غیرطیفی مؤثر در پراکنش مکانی واحدهای اکولوژیک به همراه داده‌های طیفی ضرورت می‌یابد (۳). از میان داده‌های غیرطیفی به‌کار گرفته شده در این پژوهش، مدل رقومی ارتفاع تاثیر بیشتری در تفکیک واحدهای اکولوژیک گیاهی از یکدیگر داشته و باعث افزایش دقت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی شد. به‌طوری‌که نتایج نشان داد که دقت کلی و ضریب کاپای نقشه حاصل از خوارزمیک طبقه‌بندی درختی، به‌ترتیب حدود ۴ و ۵ درصد و نقشه حاصل از خوارزمیک درخت تصمیم به‌ترتیب حدود ۳ و ۳/۵ درصد در مقایسه با زمانی‌که تنها باندهای خام مورد استفاده قرار گرفتند بهبود یافتند. بازتاب خاک، تاثیر قابل توجهی بر رفتار طیفی گیاهان داشته و معمولا پاسخ‌های طیفی پوشش‌های گیاهی را پنهان می‌کند. به همین ترتیب، در یک مطالعه مرتبط در مورد طبقه‌بندی پوشش اراضی در مراتع خشک، جی و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که مراتع از گیاهان و بوته‌ای‌ها با شباهت طیفی بالا تشکیل شده است که نتیجه طبقه‌بندی را پیچیده می‌کند (۱۷). به نظر می‌رسد که داده‌های کمکی اثرات بازتاب خاک لخت بر روی سیگنال‌های دریافتی توسط سنسورهای باندهای خام را جبران می‌کنند، در نتیجه نویز را کاهش می‌دهند و پیکسل‌های خالص بیشتری را در ارتباط با واحدهای اکولوژیک ارائه می‌دهند. نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر با تحقیق (۱۹) مطابقت دارد.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که خوارزمیک‌های طبقه‌بندی با توجه به مشخصات فیزیکی منطقه مطالعاتی، نوع توزیع داده‌های ماهواره‌ای، مشخص بودن اطلاعات مقایسه‌ای و میزان نمونه آموزشی عملکردهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. به‌طوری‌که خوارزمیک درخت تصمیم-گیری از قابلیت بالاتری در به‌کارگیری اطلاعات طیفی جهت کلاسه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی در مقایسه با



[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

خوارزمیک طبقه‌بندی درختی برخوردار بوده و منجر به نتایج دقیق‌تری شد. همچنین ادغام باندهای کمکی به‌دست آمده از تصاویر اصلی به‌همراه باندهای خام، می‌تواند باارزش‌ترین اطلاعات را برای تشخیص واحدهای اکولوژیک گیاهی ارائه داده و جزئیات دقیقی از پدیده‌های سطح زمین فراهم آورد. نتایج تحقیق حاضر همچنین حاکی از آن است که در صورت در دسترس نبودن تصاویر چندطیفی ماهواره‌های با قدرت تفکیک مناسب، استفاده از تصاویر گوگل ارث با توجه به سهولت دسترسی و رایگان بودن آن‌ها در تهیه نقشه‌های موضوعی مانند پوشش زمین بسیار مناسب و مقرون به صرفه است و نقشه تولید شده از آن می‌تواند به‌عنوان یک واقعیت زمینی مورد استفاده قرار گیرد. این مطالعه در نهایت ممکن است جهت‌های تحقیقاتی جدیدی را در مورد استراتژی‌های طبقه‌بندی برای ترسیم دقیق واحدهای اکولوژیک گیاهی در مراتع نیمه‌خشک فراهم کند.

**References**


1. Afrasinei, G., M. Melis, C. Buttau, J. Bradd & C. Arras, 2017. Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria). Journal of Applied Remote Sensing, 11(1): 016025:1- 016025:28.
2. Al-Bilbilsi, H., 2019. Spatial Monitoring of Urban Expansion Using Satellite Remote Sensing Images: A Case Study of Amman City. Jordan. Sustainability, 11(8): 1-14.
3. Ali Mohammadi, A., A.A. Metkan, P. Ziaian & H. Tabatabai, 2018. Comparison of pixel-based, object-oriented and decision tree classification methods in the preparation of forest types map using remote sensing data (case study: Astara forest). Applied Research Journal of Geographical Sciences, 10(13): 7-26. (In Persian).
4. Andrew, M.H., I.R. Noble & R.T. Lange, 1976. A nondestructive method for estimating the weight of forage on shrubs. The Rangeland Journal, 1(3): 225231.
5. Arekhi, S. 2012. Evaluation of the efficiency of the tree classification method for extracting land use map using satellite data in Cham Gardalan area of Ilam province. Geography and urban planning, 4: 17-26. (In Persian).
6. Asadi, H., O. Esmailzadeh, S.M. Hosseini, Y. Asri & H. Zare, 2016. Application of Cocktail method in vegetation classification. Taxonomy and Biosystematics, 8(28): 21-38.
7. Bonham, C.h.D. 2013. Measurements for Terrestrial Vegetation. John Wiley & Sons.
8. Breiman, L., J.H. Friedman, R.A. Olshen & C.J. Stone, 1984. Classification and regression trees, Wadsworth and Brooks/Cole. Monterey, California, USA.
9. Castillejo-González, I.L., C. Angueira, A. García-Ferrer & M. Sánchez de la Orden, 2019. Combining Object-Based Image Analysis with Topographic Data for Landform Mapping: A Case Study in the Semi-Arid Chaco Ecosystem. Argentina. ISPRS Int. J. Geo-Inf, 8: 132.
10. Culman, S.W., H.G. Gauch, C.B. Blackwood & J.E. Thies, 2008. Analysis of T-RFLP data using analysis of variance and ordination methods: a comparative study. Journal of Microbiological Methods, 75(1): 55-63.
11. Death, G. & K.E. Fabricius, 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. Ecology, 81(11): 3178-3192.
12. Dellepiane, S.G. & P.C. Smith, 1999. Quality Assessment of Image Classification Algorithms for Land Cover Mapping: A review and a proposal for a cost-based approach. International Jour. Remote Sensing, 20(8): 1461-1486.
13. Dogan, O.K., Z. Akyurek & M. Beklioglu, 2009. Identification and mapping of submerged plants in a shallow lake using quickbird satellite data. Journal of Environmental Management, 90(7): 2138-2143.
14. Duffy, J.P., L. Pratt, K. Anderson, P.E. Land & J.D. Shutler, 2018. Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone, Estuarine. Coastal and Shelf Science, 200: 169-180.
15. Duniway, M.C., J.W. Karl, S. Schrader, N. Baquera & J.E. Herrick, 2012. Rangeland and pasture monitoring: an approach to interpretation of high-resolution imagery focused on observer calibration for repeatability. Environmental monitoring and assessment, 184(6): 3789-3804.
16. Eugenio, F., J. Martin, J. Marcello & E. Fraile-Nuez, 2013. Environmental monitoring of El Hierro Island submarine volcano, by combining low and high resolution satellite imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 29: 53-66.




[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

17. Ge, G., Z. Shi, Y. Zhu, X. Yang & Y. Hao, 2020. Land use/cover classification in an arid desert-oasis mosaic landscape of China using remote sensed imagery: Performance assessment of four machine learning algorithms. Glob. Ecol. Conserv, 88: e00971.
18. Hadian, F., R. Jafari, H. Bushari & S. Soltani, 2013. Evaluation of the accuracy of spectral indices of vegetation zoning at the scale of vegetation types and study area using TM sensor data in the southern Zagros regions. Remote Sensing and GIS of Iran, 4(4): 83-100. (In Persian).
19. Hurskainen, P., H. Adhikari, M. Siljander, P.K.E. Pellikka & A. Hemp, 2019. Auxiliary datasets improve accuracy of object-based land use/land cover classification in heterogeneous savanna landscapes. Remote. Sens. Environ, 233: 111354.
20. Jia, K., X. Wei, X. Gu, Y. Yao, X. Xie & B. Li, 2014. Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. Geocarto International, 29(8): 941- 951.
21. Keshavarz, E., A. Ebrahimi & A.A. Naqipour, 2018. Comparison of kernel windows and different tolerance thresholds in the object-oriented classification method in order to identify individual plant units in dry areas in Marjan Borujen rangeland. Master's thesis in nature engineering, pasture orientation, 111 p. (In Persian).
22. Keshavarz, E., A. Ebrahimi & A.A. Naghipour, 2019. Comparing the accuracy of pixel-based and object-oriented classification methods in preparing a map of plant types (case study: Marjan Borujen). Marta Scientific Journal, 14(2): 272-285. (In Persian).
23. Koomen, E. & J. Stillwell., 2007. Modelling land-use change. In modelling land-use change, pp. 1-22. Springer, Dordrecht.
24. Kusbach, A., J.N. Long, H. Van Miegroet & L.M. Shultz, 2012. Fidelity and diagnostic species concepts in vegetation classification in the Rocky Mountains. Northern Utah, USA. Botany, 90(8): 678-693.
25. Lillesand, T.M. & R.W. Kiefer, 1994. Remote sensing & image interpretion. 3th Ed., John wiley & sons Inc., New York, 750 p.
26. Lima, T.A., R. Beuchle, A. Langner, R.C. Grecchi, V.C. Griess & F. Achard, 2019. Comparing Sentinel 2 MSI and Landsat 8 OLI Imagery for Monitoring Selective Logging in the Brazilian Amazon. Remote sensing, 11: 1- 21.
27. Ludwig, A., H. Meyer & T. Nauss, 2016. Automatic classification of Google Earth images for a larger scale monitoring of bush encroachment in South Africa. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 50: 89-94.
28. Lv, Z., T. Liu, Y. Wan, J.A. Benediktsson & X. Zhang, 2018. Post-Processing Approach for Refining Raw Land Cover Change Detection of Very High-Resolution Remote Sensing Images. Remote Sensing, 10: 472 p.
29. Macintyre, P., A. van Niekerk & L. Mucina, 2020. Efficacy of multi-season Sentinel-2 imagery for compositional vegetation classification. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf, 85: 101980.
30. Manly, B.F. & J.A.N. Alberto., 2016. Multivariate statistical methods: a primer. Chapman and Hall/CRC. 269 p.
31. Mountrakis, G., J. Im & C. Ogole, 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. Photogrammetry and Remote Sensing, 66: 247–259.
32. Mueller-Dombois, D. & H. Ellenberg, 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley.
33. Navarro, G., I. Caballero, G. Silva, P.C. Parra, Á. Vázquez & R. Caldeira, 2017. Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 58(2): 97-106.
34. Otukei, J.R. & T. Blaschke, 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12: 27-31.
35. Rannow, S. & M. Neubert., 2014. Managing protected areas in central and Eastern Europe under climate change, 322 p.
36. Richards, J.A. & X. Jia., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, Berlin: Springer-Verlag. 4th edition.
37. Rodriguez-Galiano, V. & M. Chica-Olmo., 2012. Land cover change analysis of a Mediterranean area in Spain using different sources of data: Multi-seasonal Landsat images, land surface temperature. Digital terrain models and texture. Appl. Geogr, 35: 208– 218.
38. Rogan, J., J. Franklin, D. Stow, J. Miller, C. Woodcock & D. Roberts, 2008. Mapping land-cover modifications over large areas: A comparison of machine learning algorithms. Remote. Sens. Environ, 112: 2272–2283.

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]

39. Saadat, M. & R. Shah Hosseini., 2018. Presenting a combined method based on parametric and non-parametric classification algorithms in order to separate different covers in Hyrkani forests. Remote Sensing and GIS of Iran, 11(4): 83-100. (In Persian).
40. Sharma, R., A. Ghosh & P.K. Joshi, 2014. Decision tree approach for classification of remotely sensed satellite data using open source support Degree Level: field measurements across scales: comparing pixel aggregation and image For Classification. International Journal of Engineering Development and Research, 2: 1-5.
41. Sharma, H. & S. Kumar., 2016. A survey on decision tree algorithms of classification in data mining. International Journal of Science and Research, 5(4): 2094-2097.
42. Tahmasebi, P., M. Moradi & R. Omidipour, 2017. Plant Functional Identity as the Predictor of Carbon Storage in Semi-Arid Ecosystems. Plant Ecology & Diversity, 139-151.
43. Thenkabail, P.S. 2015. Remotely Sensed Data Characterization. Classification and Accuracies, CRC Press, Boca Raton.
44. Unger, D.R., D.L. Kulhavy & I.K. Hung, 2013. Validating the Geometric Accuracy of High Spatial Resolution Multispectral Satellite Data. GIScience and Remote Sensing, 50(3): 271–280.
45. Van Leeuwen, W.J.D., B.J. Orr, S.E. Marsh & S.M. Herrmann, 2006. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. Remote Sens. Environ, 100(1): 67–81.
46. Verrelst, J., C.V. Gustau, M.M. Jordi, P.R. Juan, V. Frank, G.P.W.C. Jan & M. José, 2015. Optical remote sensing and the retrieval of terrestrial vegetation biogeophysical properties, a review. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens, 108: 273–290.
47. Villa, A., J.A. Benediktsson, J. Chanussot & J. Jutten, 2011. Hyperspectral Image Classification with Independent Component Discriminant Analysis. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49(12): 4865–4876.
48. Wang, Q., W. Shi, P.M. Atkinson & Q. Wei, 2017. Approximate area-to-point regression kriging for fast hyperspectral image sharpening. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 10(1): 286-295.
49. Weng, Q., 2018. Remote Sensing Time Series Image Processing. Engineering & Technology, Geography, 263 p.
50. Xie, Z., Y. Chen, D. Lu, G. Li & E. Chen, 2019. Classification of Land Cover, Forest, and Tree Species Classes with ZiYuan-3 Multispectral and Stereo Data. Remote. Sens, 11: 164.
51. Yoneyama, Y., S. Suzuki, R. Sawa, K. Yoneyama, G.G. Power & T. Araki, 2002. Increased plasma adenosine concentrations and the severity of preeclampsia. Obstetrics & Gynecology, 100(6): 66-70.
52. Yuan, Q., Y. Wei, X. Meng, H. Shen & L. Zhang, 2018. A Multiscale and Multidepth Convolutional Neural Network for Remote Sensing Imagery Pan-Sharpening. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote. Sens, 11: 978–989.


[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-26 ]

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.7.5 ]