



<https://gеп.uis.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 34, Issue 3, No.91, Autumn 2023, pp. 1-3
Received: 22/10/2022 Accepted: 07/01/2023

Feasibility of Identifying and Studying the Damage of Inner-City Streets Using Drone and Satellite Images (Case Study: A Part of Yazd City)

Hamid Reza Ghafarian Malamiri¹ *, Negar Naghipur², Mohammad Mansourmoghaddam³, Ahmad Mazidi⁴

1- Assistant professor, Department of Geography, University of Yazd, Yazd, Iran
hrghafarian@yazd.ac.ir

2- M.Sc. student of Remote Sensing, Yazd University, Yazd, Iran
negarnaqipur@stu.yazd.ac.ir

3- Ph.D. student of Remote Sensing, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
m_mansourmoghaddam@sbu.ac.ir

4- Associate professor, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran
mazidi@yazd.ac.ir

Abstract

Sustainability in the field of pavements is one of the subsets of sustainability topics in sustainable development. In the upcoming research, various supervised and object-oriented methods and fusions of satellite and drone images by using the Gram-Schmidt algorithm were used to investigate asphalt damage, including asphalt cracking and wear, in order to provide the best method for investigation. The results showed that the supervised methods of support vector machine with a kappa coefficient of 87% and overall accuracy of 90% provided the best and shortest distance method with the kappa coefficient and overall accuracy of 57% and 67%, respectively, while showing the lowest accuracy in

*Corresponding Author

Ghafarian Malamiri, H. R., Naghipur, N., Mansourmoghaddam, M., & Mazidi, A. (2023). Feasibility of identifying and studying the damage of inner-city streets using drone and satellite images (case study: a part of Yazd city). *Geography and Environmental Planning*, 34 (3), 1 -6.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



10.22108/GEP.2023.135448.1551



10.22108/gеп.2023.135448.1551

the classification of supervised methods. Also, among the object-oriented methods, the support vector machine algorithm with a kappa coefficient of 86% and an overall accuracy of 91% had a more accurate output compared to the other studied algorithms. The lowest accuracy was related to the nearest neighbor algorithm with a kappa coefficient of 78% and an overall accuracy of 80%. In the UAV fusion output with Sentinel-2, the classification was done by using the most optimal algorithm and the support vector machine in the object-oriented method. The results showed an increase in classification accuracy up to the kappa coefficient of 91% and overall accuracy of 93%. Furthermore, the thresholding method with a Kappa coefficient of 90% showed the best result for detecting asphalt wear.

Keywords: Asphalt, Remote Sensing, Drone, Classification, Road

Introduction

Sustainability in an environment highly depends on the sustainability of the components of that environment. Sustainability in the field of pavements is also one of the subsets of sustainability topics in sustainable development. Ways of communication are among the most important structures in a city; thus, monitoring and maintenance of urban and intercity communication networks are always among the most used cases of urban management.

Materials & Methods

In the upcoming research, various supervised classification methods, such as K-Nearest Neighbors, Artificial Neural Network, Support Vector Machine, Maximum Likelihood, and Minimum Distance, and object-oriented classification methods, such as Random Forest, Decision Tree, Naïve Bayes, and fusion of sentinel-2 images and drone images, by using the Gram-Schmidt algorithm were used to investigate asphalt damage, including asphalt cracking and wear, in order to provide the best method for investigation. Also, to study the lifespan of asphalt, first, the spectral profile of different points of asphalt was drawn. Then, it was compared with the existing spectral libraries and classified via classification based on the threshold limit.

Research findings

The obtained results indicated that in the supervised method, the algorithm of support vector machine achieved the highest accuracy with an overall accuracy of 90% and a kappa coefficient of 87%. Similarly, in the section of object-oriented algorithms, the method of support vector machine achieved the best accuracy with an overall accuracy of 91% and a kappa coefficient of 86%. The higher accuracy of the algorithm of support vector machine was probably due to the preparation of a more optimal decision boundary compared to other algorithms. Also, the minimum distance method obtained the lowest accuracy among all the classification algorithms. The inaccuracy of the shortest distance algorithm in road classification was proven in the research conducted by [Li et al. \(2020\)](#). The results also showed that the most optimal algorithm investigated in the current research, i.e., the support vector machine, in the fused image of the UAV with satellite images, increased the overall accuracy and Kappa coefficient up to 93% and 91%, respectively. This increase indicated the effective role of fusion in increasing classification accuracy, which was probably the result of merging the higher radiometric power of the Sentinel-2 image with an image that had a high spatial resolution of the UAV. Moreover, the results of this research revealed the higher accuracy of the threshold method

with an overall accuracy of 80% and a Kappa coefficient of 90% compared to the object-oriented classification of the support vector machine for distinguishing worn asphalt from less worn asphalt.

Discussion of Results & Conclusion

The results demonstrated that the supervised methods of support vector machine with a kappa coefficient of 87% and overall accuracy of 90% provided the best and shortest distance method with the kappa coefficient and overall accuracy of 57% and 67%, respectively, thus showing the lowest accuracy in the classification of supervised methods. Also, among the object-oriented methods, the algorithm of support vector machine with a kappa coefficient of 86% and overall accuracy of 91% had a more accurate output compared to the other studied algorithms, while the lowest accuracy was related to the nearest neighbor algorithm with a kappa coefficient of 78% and an overall accuracy of 80%. In the UAV/Sentinel-2 data fusion, the classification was done by the most optimized algorithm, which was the support vector machine in the object-oriented method and the results showed an increase in classification accuracy with the kappa coefficient of 91% and overall accuracy of 93%. Mansourmoghaddam et al. (2022) also proved an increase in classification accuracy after fusing the Landsat-8 image with images of higher spatial resolution. Also, the thresholding method with a Kappa coefficient of 90% showed the best result for detecting asphalt wear. The efficiency of using the the threshold method to separate asphalt into two defined classes was proven in the research conducted in this field by [Kim et al. \(2012\)](#) as well. The results of this research are suitable for municipal and road construction organizations to monitor the asphalt conditions of urban roads and increase road safety, as well as sustainability of cities and citizens' well-being, while spending less money, time, and manpower.

امکان‌سنجی شناسایی و مطالعه آسیب‌های خیابان‌های شهری با استفاده از تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهر یزد)

حمیدرضا غفاریان مالمیری ^{id}، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

hrghafarian@yazd.ac.ir

نگار نقی‌پور، دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه یزد، یزد، ایران

negarnaqipur@stu.yazd.ac.ir

محمد منصورمقدم، دانشجوی دکتری مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

m_mansourmoghaddam@sbu.ac.ir

احمد مزیدی، دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

mazidi@yazd.ac.ir

چکیده

راه‌های ارتباطی جزو مهم‌ترین و اصلی‌ترین ساختارهای موجود در سطح یک شهر هستند؛ بنابراین پایش و نگهداری از شبکه‌های ارتباطی شهری و بین شهری همواره جزو موارد پرکاربرد مدیریت شهری است. در پژوهش پیش رو از روش‌های مختلف نظارت‌شده، شیء‌گرا و فیوژن تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی با استفاده از الگوریتم گرام-اشمیت برای بررسی آسیب‌های آسفالت از جمله ترک‌خوردگی و فرسودگی آسفالت استفاده شده است تا بهترین روش برای تحلیل ارائه شود. نتایج نشان‌دهنده آن بود که امکان استخراج آسیب‌های مربوط به آسفالت با تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای با استفاده از روش‌های سنجش از دوری وجود دارد. در بررسی روش‌های متفاوت استخراج آسیب‌ها، روش‌های نظارت‌شده ماشین‌بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۸۷ و دقت کلی ۹۰ درصد بیشترین و روش کمترین فاصله با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۵۷ و ۶۷ درصد کمترین دقت را در طبقه‌بندی روش‌های نظارت‌شده از خود نشان داده‌اند؛ همچنین بین روش‌های شیء‌گرا، الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۸۶ و دقت کلی ۹۱ درصد خروجی دقیق‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد مطالعه داشته و کمترین دقت نیز مربوط به الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با ضریب کاپا ۷۸ و دقت کلی ۸۰ درصد بوده است. در خروجی فیوژن پهپاد با سنتینل-۲، طبقه‌بندی با بهینه‌ترین الگوریتم بررسی شده، ماشین‌بردار پشتیبان در روش شیء‌گرا انجام شد که نتایج نشان‌دهنده افزایش دقت طبقه‌بندی به ضریب کاپای ۹۱ و دقت کلی ۹۳ درصد بود؛ همچنین روش آستانه‌گذاری با ضریب کاپای ۹۰ درصد نشان‌دهنده بهترین نتیجه برای تشخیص فرسودگی آسفالت است. نتایج این پژوهش به منظور پایش وضعیت آسفالت راه‌های شهری با هدف افزایش امنیت جاده‌ها و نیز پایداری شهرها و رفاه شهروندی برای سازمان‌های شهرداری و راه‌سازی با صرف هزینه، زمان و نیروی انسانی کمتر مناسب است.

واژه‌های کلیدی: آسفالت، سنجش از دور، پهپاد، طبقه‌بندی، جاده

*نویسنده مسئول

غفاریان مالمیری، حمیدرضا، نقی‌پور، نگار، منصورمقدم، محمد، مزیدی، احمد. (۱۴۰۱). امکان‌سنجی شناسایی و مطالعه آسیب‌های خیابان‌های شهری با استفاده از تصاویر

پهپادی و ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهر یزد). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۴ (۳)، ۱۴۰-۱۱۹.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



10.22108/GEP.2023.135448.1551



10.22108/gep.2023.135448.1551

مقدمه

راه‌های ارتباطی جزو مهم‌ترین و اصلی‌ترین ساختارهای موجود در سطح یک شهر هستند؛ بنابراین پایش و نگهداری از شبکه‌های ارتباطی شهری و بین شهری همواره جزو موارد پرکاربرد در حوزه عمران و مدیریت شهری است (Some, 2016). با در نظر گرفتن راهکارهایی به‌منظور پایش به‌موقع و همه‌جانبه آسفالت خیابان با استفاده از نقشه‌هایی برای تعیین میزان خرابی یا طبقه‌بندی روسازی‌ها، مدیریت بهتری به‌منظور اولویت‌دهی به تعمیرات یا نگهداری روسازی‌ها وجود دارد (Cubero-Fernandez et al., 2017). این مسئله نیازمند صرف هزینه‌های بسیاری برای به دست آوردن اطلاعات موردنیاز آسیب‌های آسفالت و همچنین زمان زیادی است که به‌نوبه خود موجب کندشدن زمان رسیدگی به مسیرها می‌شود (Koch et al., 2015). آسفالت‌هایی که در معرض ترافیک و شرایط جوی متفاوت قرار دارند، دچار فرسایش می‌شوند و از بین می‌روند (Aksoy et al., 2005). آسیب‌های موجود در آسفالت خیابان باعث ایجاد مشکلاتی از جمله آسیب به اتومبیل‌های در حال حرکت، ایجاد نویز، آسیب‌های جدی‌تر روسازی در آینده، هزینه‌های بیشتر برای ترمیم آن و مشکلاتی از این قبیل می‌شوند. در این راستا، باید به‌منظور کنترل کیفیت و تعمیر و نگهداری از راه‌ها در هر یک از سطوح مقدار زیادی پول و زمان صرف کرد (Zhang et al., 2015).

یکی از روش‌های کنترل آسیب‌های مربوط به آسفالت، بهره‌گیری از تکنیک‌های مبتنی بر روش‌های سنجش از دور و استفاده از تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای است (Cubero-Fernandez et al., 2017) که علاوه بر جامعیت و دقت زیاد، بسیار کم‌هزینه و البته سریع است و در مقایسه با روش‌های قدیمی که بررسی سطح راه‌ها از سوی کارگران و کارشناسان فنی و به‌صورت حضور در محل و بازدید میدانی صورت می‌گرفت، از لحاظ زمانی و مالی بسیار مقرون‌به‌صرفه‌تر است (Zhang et al., 2015). در چند سال گذشته، تکنیک‌های هواپرد سنجش از دور به دلیل وسعت تحت پوشش زیاد، بیشتر موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است (Mansourmoghaddam et al., 2022c). البته این روش خود ایراداتی دارد که از آن جمله ضرورت دارابودن دقت مکانی زیاد برای تشخیص ترک‌ها نام برده می‌شود (Guo, 2010). پیشرفت‌های اخیر سنجش از راه دور، به‌طور مؤثر جمع‌آوری تصاویر را با وضوح زیاد (محدوده کمتر از ۱۰ سانتی‌متر) و تصاویر هوایی رنگ طبیعی را با هزینه کم ممکن کرده که این مورد بسته به نوع و ارتفاع پرواز سکوهای پهپادی، دقت‌های مکانی متفاوتی دارد (تقی پور و همکاران، ۱۳۹۷).

پهپادها به دلیل ارتفاع پرواز قابل‌کنترل برای پایش معابر بسیار مناسب هستند؛ زیرا به دلیل بالارفتن قدرت تفکیک مکانی اندازه پیکسل‌های موجود در تصاویر تا حد زیادی کاهش داده می‌شود و به یک جزء از چندین جزء موجود در یک پیکسل می‌رسد که در ارائه نتایج بسیار دقیق‌تر و مناسب‌تر خواهد بود (Sankarasrinivasan et al., 2015). برای رسیدگی به معابر نیاز به تصاویری است که نشان‌دهنده بهترین قدرت تفکیک مکانی لازم برای شناسایی نوع و اطلاعات مکانی دقیقی از محل آسیب‌دیدگی معابر باشد و با تولید نقشه‌های مشخص و دقیق به‌سادگی انواع آسیب‌ها و مکان آنها را جست‌وجو کند (Kim et al., 2015). از طرفی، تقسیم‌بندی آسفالت‌ها بین طبقات مختلف، روند رسیدگی به خیابان‌ها را سرعت می‌بخشد (Zhang, 2008). در فرسودگی آسفالت، میزان انعکاس بیشتر و بیان می‌شود که ویژگی جذب یا انعکاس امواج با تغییر از فاز مواد هیدروکربن (مانند آسفالت تازه و سالم) به فاز مواد معدنی (کم شدن مواد روغنی و قیری آسفالت) تغییر پیدا می‌کند (Metts et al., 2015). علاوه بر آن، در زمان‌هایی که امکان دسترسی به تصاویر پهپادی در شرایط خاصی

وجود ندارد یا هدف بررسی و استفاده از قدرت تفکیک طیفی است و چون زیادکردن قدرت تفکیک طیفی پهپادها نیازمند حسگرهای دقیق و پرهزینه‌ای است، در چنین شرایطی با تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی از قدرت تفکیک مکانی بالای پهپاد و قدرت تفکیک طیفی ماهواره‌ها بهره برده می‌شود (Zhao et al., 2019).

پایش وضعیت آسفالت از راه دور برای اولین بار در سال 1980، با نصب سنسورهای الکترونیکی روی ماشین‌ها انجام شد که دارای فیلم‌برداری دیجیتال، عکس‌برداری و سنسورهای لیزری بودند (COX et al., 1986). هوانگ و نگوین، در پژوهشی اقدام به ایجاد یک مدل خودکار از سوی تکنیک‌های پردازش تصویر با استفاده از تصاویر پهپادی و الگوریتم یادگیری ماشین نظیر جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی برای طبقه‌بندی کردند که نتایج نشان‌دهنده آن بود که ماشین بردار پشتیبان به بیشترین میزان دقت طبقه‌بندی یعنی ۸۷/۵ درصد و پس از آن شبکه عصبی مصنوعی با ۸۴/۲۵ درصد و جنگل تصادفی با ۷۰ درصد دست یافت (Hoang & Nguyen, 2019). لی و همکاران با هدف آشکارسازی مشکلات آسفالت به وسیله داده‌های پهپادی و لیدار و همچنین طبقه‌بندی جنگل تصادفی اقدام به تشخیص آسیب‌های آسفالت کردند که نتیجه آن با ضریب کاپا ۹۲ درصد برای ویژگی‌های مطرح‌شده در پژوهش مناسب بودند که شامل درز، ترک و آسیب‌دیدگی سطحی هستند (Li et al., 2019). یفان پن و همکاران نیز با هدف تشخیص آسیب‌دیدگی آسفالت به وسیله تصاویر پهپادی با استفاده از تصاویر چند طیفی پهپادی و شبکه مصنوعی و ماشین لرنینگ برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده کردند که نتیجه آن اثبات کارایی زیاد روش‌های سنسجش از دور و تصاویر پهپادی برای آشکارسازی آسیب‌دیدگی‌های آسفالت بود (Pan et al., 2018). عامری و همکاران (۱۳۹۷) با هدف استخراج ترک جاده‌های بین‌شهری به کمک تصاویر پهپادی با روش پیشنهادی شامل شش مرحله تولید تصاویر، جداکردن جاده از محیط اطراف، شناسایی و حذف عوامل مزاحم، پیش‌پردازش تصاویر، ترکیب فیلترهای مورفولوژی همراه با ویژگی‌های به هم پیوستگی عوارض و انتخاب کاندید ترک‌ها، اعمال کلاسه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و درنهایت، بازبینی نهایی تصویر و ارائه نقشه ترک اقدام به تشخیص آسیب‌های موجود در آسفالت کردند که نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی نشان‌دهنده موفقیت ۹۸/۳۱ درصدی در استخراج ترک‌ها بود.

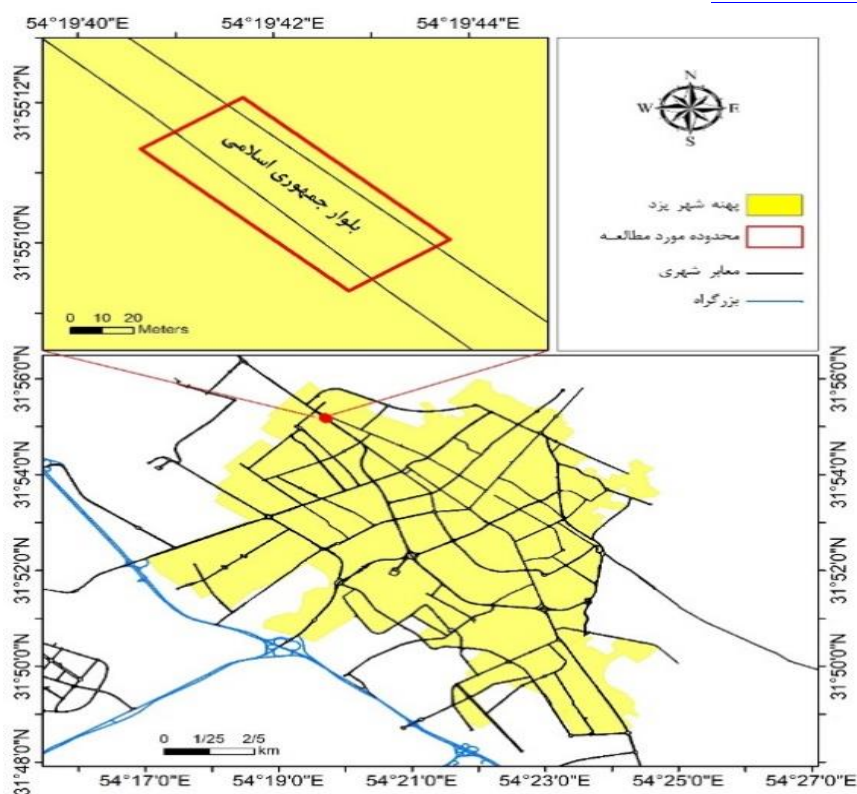
راه‌های ارتباطی جزو مهم‌ترین و اصلی‌ترین ساختارهای موجود در سطح یک شهر هستند (Some, 2016)؛ همچنین ایمنی راه‌ها تا حد زیادی وابسته به سلامت جاده‌هاست (Cubero-Fernandez et al., 2017). از طرفی، ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری زیرساخت‌های حمل‌ونقل نیازمند مقادیر بسیار زیادی از مصرف مواد، انرژی و ورودی و سرمایه‌گذاری است و از این رو، این عوامل از علل ایجاد موانع جالب‌توجهی در ایجاد توسعه پایدار به شمار می‌آیند (معرفی و همکاران، ۱۳۹۵). در گذشته پیشینه کنترل وضعیت راه توسط کارشناسانی انجام می‌شده است که با حضور در محل آسیب‌دیدگی، درباره شرایط آسفالت تصمیم‌گیری می‌کردند (Kim et al., 2006)؛ اما از آنجا که روش‌های سنتی موجب صرف هزینه‌های سرسام‌آور گاهی تا ۶۷ بیلیون دلار در سال و همچنین زمان‌بر شدن و کندی روند رسیدگی به آسیب‌های سطحی می‌شود (Koch et al., 2015)، استفاده از روش‌های سنسجش از دور و تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی زیاد سبب کاهش هزینه و زمان و تسهیل پایش وضعیت راه‌ها می‌شود؛ بنابراین در پژوهش پیش رو سعی بر این شد تا با استفاده از سنسجش از دور و تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای با امکان‌سنجی و نیز یافتن روشی بهینه از نظر تکنیکی و زمانی و مالی، آسیب‌های مربوط به آسفالت خیابان‌ها بررسی

شود تا با صرف هزینه و زمان کمتر و دقت بیشتر به تحلیل آسیب‌ها در خیابان‌های شهری و علل و عوامل آن توجه و به این شکل روند رسیدگی به معابر سریع شود.

مواد و روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

شهر یزد، مرکز استان و شهرستان یزد است که جزو ۱۸ کلان‌شهر ایران محسوب می‌شود و در مجاورت کویر مرکزی ایران قرار گرفته است. شهر یزد در مرکز استان یزد قرار دارد و در محدوده ۵۴ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این شهر مساحتی برابر با ۱۱۰ کیلومتر مربع دارد (منصور مقدم و همکاران، ۱۴۰۰ الف) که پژوهش پیش رو در محدوده‌ای از شهر یزد با مساحت ۶۹۹۹ متر مربع انجام شده است. از مجموع ۲۸۷/۶ کیلومتر راه استان یزد، ۱۳۹/۷ کیلومتر راه بین شهری است که از این مقدار، ۹۶/۵ کیلومتر را بزرگراه، ۲۶/۱ کیلومتر را راه اصلی و ۱۷/۱ کیلومتر را راه فرعی تشکیل داده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹).



شکل (۱) نقشه شهر یزد به همراه موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure (1) Map of Yazd city with the location of the studied area

داده‌های استفاده شده

در پژوهش حاضر از تصاویر پهپادی (RGB) برداشت شده از معابر شهر یزد با قدرت تفکیک ۵ سانتی‌متری

استفاده شد؛ همچنین از تلفیق تصاویر پهپادی با ماهواره‌ای سنتینل-۲ سنسور MSI^۱ (جدول ۱) برای آشکارسازی آسیب‌های روسازی آسفالت خیابان‌ها (ترک خوردگی، شیارشدگی و چاله‌های موجود در آن) و طبقه‌بندی براساس طول عمر استفاده شد.

جدول (۱) مشخصات تصاویر سنتینل ۲- استفاده شده در پژوهش پیش رو

Table (1) Characteristics of Sentinel-2 images used in the upcoming research

باند	قدرت تفکیک مکانی (متر)	طول موج (نانومتر)	باند	قدرت تفکیک مکانی (متر)	طول موج (نانومتر)
۲	۱۰	۴۹۰	۶	۲۰	۷۴۰
۳	۱۰	۵۶۰	۷	۲۰	۷۸۳
۴	۱۰	۶۶۵	۸	۱۰	۸۴۲
۵	۲۰	۷۰۵			

روش شناسایی پژوهش

در پژوهش پیش رو ابتدا با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در نرم‌افزار انوی^۲ و شی‌گرا در نرم‌افزار ایکاگنیشن^۳ بهترین روش برای تشخیص و جداسازی ترک و آسفالت انجام گرفت. سپس با ادغام تصاویر پهپادی با ماهواره‌ای سنتینل ۲- و پهپادی و اجرای بهترین الگوریتم طبقه‌بندی به دست آمده از ارزیابی دقت مرحله پیشین، اقدام به طبقه‌بندی مجدد تصویر برای تفکیک آسفالت از ترک شد. در پژوهش حاضر به منظور بررسی عمر آسفالت با توجه به منحنی پروفایل طیفی موجود برای آسفالت و رسم پروفایل طیفی برای محدوده مورد بررسی از دو روش طبقه‌بندی و حد آستانه استفاده شد. برای تفکیک خیابان در تصاویر پهپادی، ماهواره‌ای و تلفیق آنها انواع تکنیک‌های طبقه‌بندی (شی‌گرا و پیکسل مبنا) اعمال شده است تا بهترین روش برای تفکیک به دست بیاید. سپس با آن خیابان از دیگر عناصر موجود در محیط تمایز خواهد یافت.

تفکیک آسفالت از ترک

در پژوهش حاضر، به منظور شناسایی و استخراج درزها و ترک‌ها انواع روش‌های طبقه‌بندی شامل طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده، نظارت‌نشده و شی‌گرا روی تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای و تلفیق آنها اعمال شد تا پس از تشخیص مناسب‌ترین روش طبقه‌بندی، با بررسی نتایج خروجی و بررسی هر یک از آنها بهترین روش طبقه‌بندی تفکیک آسفالت از ترک انتخاب شود.

روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده

طبقه‌بندی نظارت‌شده جزو طبقه‌بندی‌های پیکسل مبنا بوده و انتخاب داده‌های آموزشی و پوشش‌های مختلف برای طبقه‌بندی ضروری است. در طبقه‌بندی نظارت‌شده تحلیلگر پیکسل‌های مربوطه را انتخاب کرده است. سپس با توجه به ویژگی‌ها پیکسل انتخابی طبقه‌بندی شکل می‌گیرد (Jog & Dixit, 2016). به منظور پیاده‌سازی الگوریتم‌های نظارت‌شده در پژوهش حاضر، برای هر کلاس، بالغ بر ۵۰۰ نمونه آموزشی انتخاب شده است که ۱۵۰ نمونه از بازدید

1. Multispectral Instrument
2. Envi
3. eCognition

حضور و ۵۰ نمونه از تصویر براساس تجربه کاربر برای اعتبارسنجی و ۳۰۰ نمونه از تصویر به‌منظور ورودی الگوریتم انتخاب شد.

نزدیک‌ترین همسایه (K Nearest Neighbors)

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (KNN) در سال ۱۹۹۷ از سوی آها^۱ و همکارانش ارائه شده است (Wettschereck, 1997) و از این نظر الگوریتم ساده‌ای است که از هیستوگرام شاخص‌های طیفی مجزا و نمونه‌های آموزشی استفاده می‌کند. از معایب این روش، این است که در برخی نواحی تصویر، پیکسل‌ها طبقه‌بندی نشده‌اند یا برخی از آنها در یک کلاس قرار می‌گیرند و با یکدیگر هم‌پوشانی دارند (Alimjan et al., 2018). به‌منظور ارزیابی عملکرد این الگوریتم روی تصاویر پهبادی با هدف تفکیک آسفالت از ترک، این روش طبقه‌بندی در محیط انوی^۲ پیاده‌سازی شد.

شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) شبیه‌سازی‌های الهام‌گرفته از متغیرهای آزمایشی هستند که برای انجام وظایف خاص مانند تشخیص الگو، خوشه‌بندی، طبقه‌بندی و غیره انجام می‌شوند. هر پارامتر که گاهی به‌عنوان نورون نیز شناخته می‌شود، تابعی است که پس از دریافت یک یا چند ورودی، خروجی تولید می‌کند. سپس خروجی به لایه بعدی نورون‌ها منتقل می‌شود و خروجی‌های بیشتری تولید می‌کند. خروجی‌ها به لایه بعدی نورون‌ها منتقل می‌شوند و به همین ترتیب ادامه می‌یابند تا زمانی که هر لایه نورون در نظر گرفته شود و نورون‌های انتهایی ورودی خود را دریافت کنند (Atkinson & Tatnall, 1997). برای طبقه‌بندی تصویر با روش ANN در پژوهش حاضر، از الگوریتم پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار انوی استفاده شد.

الگوریتم یادگیری ماشین (Support Vector Machine)

ماشین بردار پشتیبان (SVM) روش طبقه‌بندی نظارت‌شده است که از تئوری یادگیری آماری مشتق شده است و اغلب نتایج طبقه‌بندی خوبی را از داده‌های پیچیده به دست می‌دهد. این الگوریتم با در نظر گرفتن مرزی بین داده‌ها کلاس‌ها را ایجاد می‌کند (Vapnik, 1999). عملکرد اساسی این الگوریتم یافتن یک ابر صفحه بهینه به‌منظور سطح تصمیم‌گیری به روشی است که حاشیه (مرز) بین دو کلاس را بیشینه کند. در صورتی که داده‌ها به‌صورت خطی جداپذیر نباشند، داده‌ها با کرنلی غیر خطی به فضایی با ابعاد بیشتر برده می‌شوند تا در آنجا ابر صفحه‌ای بهینه تشکیل شود. (Bekkari et al., 2012).

بیشترین احتمال (Maximum Likelihood)

در طبقه‌بندی حداکثر احتمال (ML) از ارزیابی واریانس و کوواریانس کلاس‌ها استفاده می‌شود و فرض بر آن است که داده‌ها برای هر کلاس در هر باند به‌طور نرمال توزیع شده است. به این ترتیب، احتمال تعلق پیکسل معین به کلاس خاص محاسبه می‌شود. در این روش، که الگوریتم پیاده‌سازی شده آن در نرم‌افزار انوی مورد استفاده پژوهش حاضر قرار گرفت، هر پیکسل به کلاسی اختصاص داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق را به آن کلاس دارد.

1. Aha
2. ENVI

(Richards & Richards, 1999).

کمترین فاصله (*Minimum Distance*)

الگوریتم کمترین فاصله (MD) در مرحله اول میانگین همه طبقات را که با استفاده از روش تعیین نقاط تعلیمی تفکیک شده‌اند و سپس فاصله اقلیدسی بین بازتاب هر پیکسل را از میانگین تمام طبقه‌ها محاسبه می‌کند. در این روش هر پیکسل به طبقاتی تعلق دارد که کمترین مقدار فاصله را تا میانگین آن کلاس داشته باشد. الگوریتم کمترین فاصله از نظر ریاضی پیچیده نبوده و از نظر محاسباتی نیز مناسب است (علیزاده ربیعی، ۱۳۷۲). به‌منظور اعمال این الگوریتم بر تصاویر پژوهش حاضر، از نرم‌افزار انوی استفاده شد.

طبقه‌بندی شیء‌گرا (*Object Base Image Analysis*)

طبقه‌بندی شیء‌گرا (OBIA) به‌منظور تشخیص بهتر الگوی طبقه‌بندی، از الگوی شبیه به الگوی تشخیص انسان برای بهبود عملکرد طبقه‌بندی استفاده می‌کند (Blaschke, 2010). روش شیء‌گرا اطلاعات بهتر و دقیق‌تری را نسبت به روش‌های پایه ارائه می‌دهد (Blaschke et al., 2014).

طبقه‌بندی‌کننده جنگل تصادفی (*Random Forest*)

الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی (RF) یک طبقه‌کننده گروهی است و به‌صورت مجموعه‌ای از درختان طبقه‌بندی‌کننده متفاوت عمل می‌کند (Breiman, 1996). در این روش، طبقه‌بندی‌کننده مجموعه‌ای است که درخت‌های تصمیم‌گیری متعددی را با استفاده از زیرمجموعه‌ای از نمونه‌های آموزشی و متغیرهای انتخاب‌شده به‌طور تصادفی تولید می‌کند. جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری ماشینی نظارت‌شده است که به‌طور گسترده در مسائل رگرسیون و طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Belgiu & Drăguț, 2016).

درخت تصمیم‌گیری (*Decision Tree*)

الگوریتم درخت تصمیم‌گیری (DT) رویکردی شیء‌گرا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است که در آن به فرض خاصی در توزیع داده‌های ورودی نیاز نبوده و این مهم‌ترین تفاوت الگوریتم DT با الگوریتم‌های پارامتریک و انتخابی است (Safavian & Landgrebe, 1991). این رویکرد از یک گره یعنی کل داده‌ها و گره میانی یعنی شاخه‌ها و گره پایانی یعنی برگ تشکیل شده است؛ بنابراین هر عارضه به‌صورت طبقه‌ای گروه‌بندی می‌شود تا به گره پایانی برسد که تعلق نهایی به یک کلاس است (Pal & Mather, 2001).

الگوریتم بیز (*Bayes*)

یک شبکه بیزی در بیانی ساده نمایشی از واکنش‌های متقابل متغیرهایی است که باید طبق یک الگو پیش بروند. علاوه بر آن، کیفیت و کمیت بین الگوها را نیز در طبقه‌بندی دخیل می‌کند. با استفاده از قضیه بیز و توجه به رخداد B، احتمال وقوع A پیدا می‌شود که در این صورت B مدرک و A فرضیه است. فرضی که در این الگوریتم مطرح است، این است که پیش‌بینی‌کننده‌ها d ویژگی‌های مستقل هستند؛ یعنی وجود یک ویژگی خاص بر دیگری تأثیر نمی‌گذارد (Kingston et al., 2005).

ادغام تصاویر (*Fusion*)

ادغام تصاویر سنجش از دور با هدف ادغام اطلاعات به‌دست‌آمده با قدرت تفکیک‌های مختلف مکانی، طیفی و

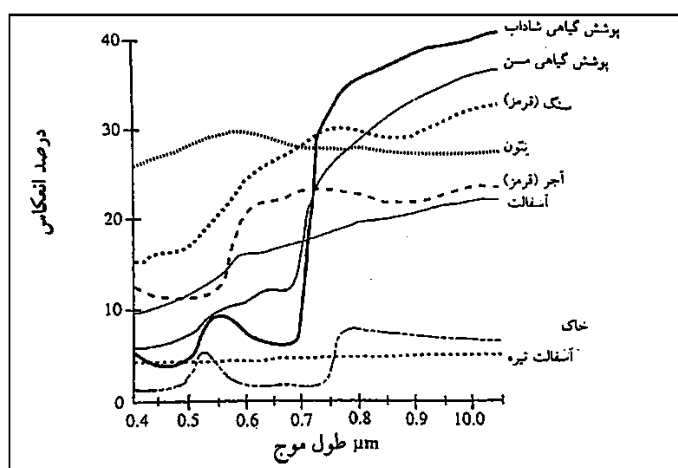
زمانی از سنجنده‌های نصب‌شده در ماهواره‌ها، سیستم‌های هوابرد و سنجنده‌های مبتنی بر پایگاه زمینی انجام می‌پذیرد. هدف از این کار، تولید داده‌های جدیدی که حاوی اطلاعات دقیق‌تری از چیزی است، در هر یک از منابع داده‌های منفرد بوده است (Aiazzi et al., 2007). در پژوهش حاضر، برای حصول نتیجه بهتر به منظور طبقه‌بندی، از تلفیق تصاویر سنتینل ۲- و پهپادی استفاده شد. به این ترتیب که با داشتن باند RGB پهپاد و ۷ باند از ماهواره سنتینل با استفاده از الگوریتم گرام اشمیت^۱ ادغام صورت گرفت. در این ادغام باند آبی و قرمز و سبز پهپاد با باندهای متناظر در سنتینل ۲- ترکیب شد؛ همچنین برای افزایش هرچه بیشتر قدرت رادیومتریکی، باندهای ۵ تا ۸ سنتینل ۲- نیز به دلیل نزدیکی طول موج، با باند قرمز پهپاد ادغام شد. برتری الگوریتم گرام اشمیت در آن است که خصوصیات تصویر چند طیفی را با قدرت تفکیک مکانی کم در ترکیب با تصویر حاصل از ادغام آن با داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی زیاد حفظ می‌کند (Mansourmoghaddam et al., 2022dGonzalez-Audicana et al., 2003);

تفکیک آسفالت فرسوده (عمر آسفالت)

برای طول عمر روسازی‌ها با مطالعه منابع موجود (کتابخانه‌های طیفی موجود در کتب و سایت‌های معتبر)، استخراج منحنی‌های طیف‌های به‌دست‌آمده از تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای، تشکیل منحنی طیفی محدوده بررسی و مقایسه با یکدیگر با توجه به اینکه روسازی‌ها با گذشت زمان دچار تغییرات فیزیکی می‌شوند، به عمر روسازی‌ها پی برده می‌شود (Hartgen et al., 2014)؛ از این رو، به منظور طبقه‌بندی و تفکیک آسفالت با طول عمر متفاوت، از دو روش طبقه‌بندی و حد آستانه استفاده شد. در روش طبقه‌بندی از دقیق‌ترین روش یافت‌شده بین روش‌های مورد مطالعه این پژوهش استفاده شد.

حد آستانه

در این روش طبقه‌بندی، از تکنیک‌های آستانه‌گذاری و برش هیستوگرام استفاده می‌شود. برای طبقه‌بندی به صورت مستقیم از خود تصویر استفاده می‌شود. در غیر این صورت با تکنیک‌های پیش و پس پردازش نیز ترکیب می‌شود. در پژوهش حاضر، ابتدا پروفایل طیفی نقاط مختلف آسفالت ترسیم شد. سپس با مقایسه با کتابخانه‌های طیفی موجود مانند شکل (۲) تحلیل و با استفاده از طبقه‌بندی براساس حد آستانه دسته‌بندی شد. به منظور طبقه‌بندی، از باندهای طیفی طبقات تصویر مورد بررسی استفاده و با توجه به طبقات موجود در تصویر، هر باند به منظور طبقه‌بندی کلاس مربوطه به کار برده شد. بعد طبقات اضافی حذف شد تا پوشش آسفالت باقی بماند؛ همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، هر پوشش دارای منحنی رفتار طیفی منحصربه‌فردی است که با دیگر پوشش‌ها در باندهای مختلف متفاوت است؛ به‌طور مثال، باند مادون قرمز و قرمز برای تشخیص پوشش گیاهی مناسب بوده و باند مادون قرمز و ناحیه مرئی برای تشخیص پوشش‌های شهری مناسب است. با توجه به منحنی رفتار طیفی دو نوع آسفالت نمونه‌گیری‌شده و تعیین کمترین و بیشترین مقدار برای طبقه‌بندی با استفاده از حد آستانه طبقه‌بندی شد.



شکل (۲) منحنی درصد بازتاب طیفی برخی مواد در مناطق شهری (علوی‌پناه، ۱۳۸۲)

Figure (2) Spectral reflection percentage curves of some materials in urban areas (Alavi-Panah, 2003)

نتایج

طبقه‌بندی با روش‌های نظارت‌شده

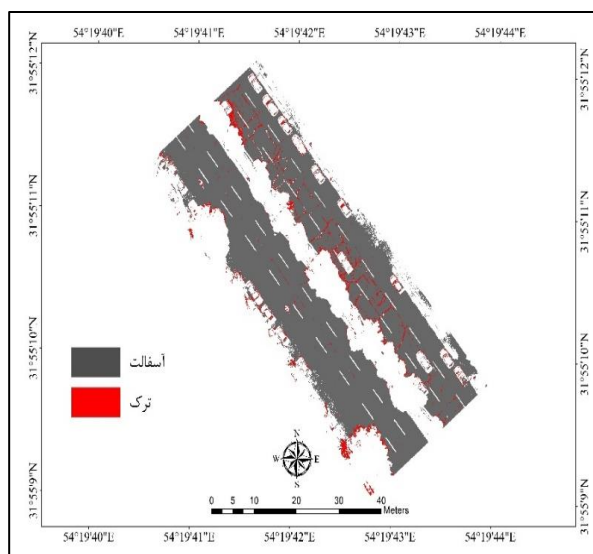
براساس نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی با روش‌های نظارت‌شده، روش نزدیک‌ترین فاصله با ۱۳۶۵/۹ مترمربع بیشترین و بیشترین شباهت با ۱۸۹۱/۲ مترمربع کمترین مساحت را در کلاس آسفالت خروجی داده‌اند. این مقدار در کلاس ترک‌های آسفالت در روش نزدیک‌ترین فاصله با ۵۵۳/۷ مترمربع بیشترین و در روش نزدیک‌ترین همسایه با ۷۱/۵ مترمربع کمترین بوده است. این در حالی است که خروجی‌های مساحت دو روش ماشین بردار پشتیبان به ترتیب ۱۶۹۳/۳ و ۸۷/۵ مترمربع برای دو کلاس آسفالت و ترک و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۱۶۱۵/۹ و ۸۶ مترمربع برای این دو کلاس مذکور، نزدیک‌ترین مقادیر نسبت به هم هستند (جدول ۲).

جدول (۲) مساحت‌های هر کلاس در طبقه‌بندی‌های مختلف با روش نظارت‌شده (مترمربع)

Table (2) The areas of each class in different classifications with the supervised method (m²)

کلاس	نزدیک‌ترین فاصله	بیشترین شباهت	نزدیک‌ترین همسایه	شبکه عصبی مصنوعی	ماشین بردار پشتیبان
آسفالت	۱۳۶۵/۹	۱۲۱۱/۷	۱۸۹۱/۲	۱۶۱۵/۹	۱۶۹۳/۳
ترک	۵۵۳/۷	۴۶۰/۷	۷۱/۵	۸۶	۸۷/۵

نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی به این روش‌ها حاکی از آن است که روش ماشین بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۸۷ و دقت کلی ۹۰ درصد بیشترین (جدول ۵ و شکل ۵) و روش کمترین فاصله با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۵۷ و ۶۷ (جدول ۷ و شکل ۷) کمترین دقت را در طبقه‌بندی دارد. روش شبکه عصبی مصنوعی که نزدیک‌ترین مقادیر مساحت به روش ماشین بردار پشتیبان را داشته است نیز با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۸۵ و ۸۹ در رتبه دومین و دقیق‌ترین روش جای گرفته است (جدول ۴ و شکل ۴). دو روش بیشترین شباهت و نزدیک‌ترین همسایه نیز با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۸۱ و ۸۵ (جدول ۶ و شکل ۶) و ۷۲ و ۷۹ (جدول ۳ و شکل ۳) به ترتیب در رتبه سوم و چهارم از نظر دقت الگوریتم‌های بررسی شده قرار گرفتند.



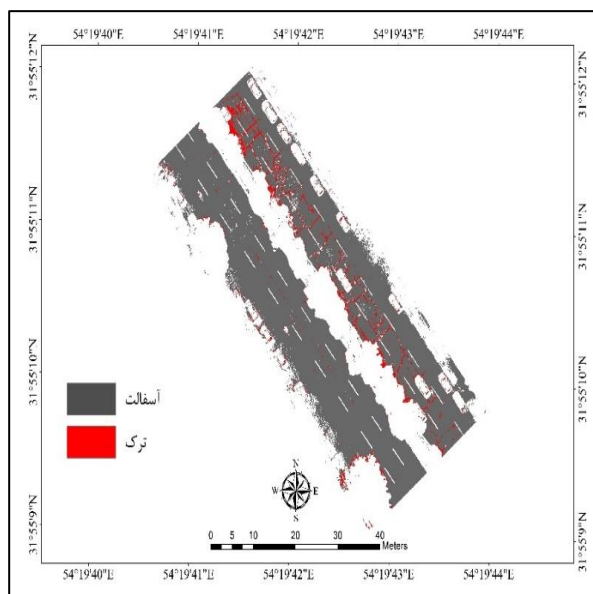
شکل (۳) طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه

Figure (3) Nearest neighbor classification

جدول (۳) نتایج طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه (درصد)

Table (3) Nearest neighbor classification results (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۷۹	۷۲	۹۸/۶	۸۶/۱	آسفالت
		۴۳/۶	۵۹/۴	ترک



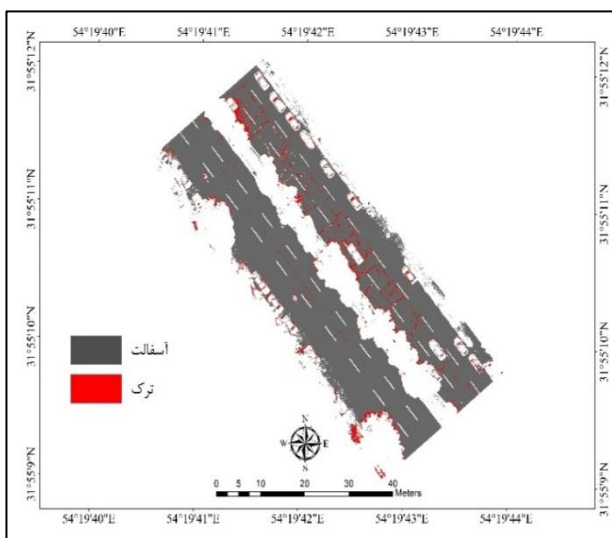
شکل (۴) طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی (Neoral Net)

Figure (4) Classification of artificial neural network (Neoral Net)

جدول (۴) نتایج طبقه‌بندی شبکه عصبی (درصد)

Table (4) Neural network classification results (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۸۹	۸۵	۹۸/۷	۹۰/۳	آسفالت
		۳۱/۴	۶۰/۶	ترک



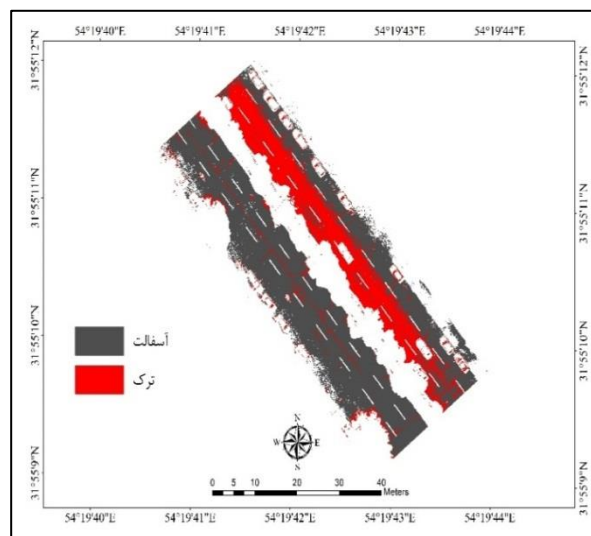
شکل (۵) طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

Figure (5) Support vector machine algorithm classification

جدول (۵) نتایج طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (درصد)

Table (5) Classification results of support vector machine algorithm (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۹۰	۸۷	۹۹/۹	۹۴/۴	آسفالت
		۸۸	۹۱/۷	ترک



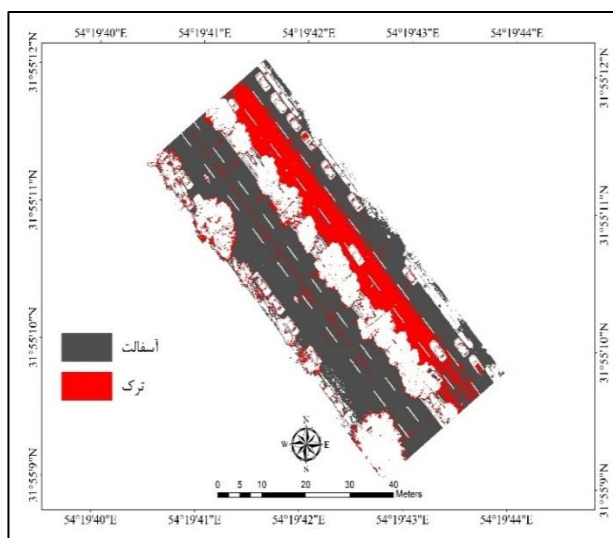
شکل (۶) طبقه‌بندی بیشترین شباهت

Figure (6) Maximum Likelihood classification

جدول (۶) نتایج طبقه‌بندی بیشترین شباهت (درصد)

Table (6) Classification results of the Maximum Likelihood (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۸۵	۸۱	۷۱/۹	۹۴/۷	آسفالت
		۸۶/۸	۳۰/۲	ترک



شکل (۷) طبقه‌بندی کمترین فاصله

Figure (7) Minimum distance classification

جدول (۷) نتایج طبقه‌بندی کمترین فاصله (درصد)

Table (7) Classification results of the Minimum distance (percentage)

کلاس	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	ضریب کاپا	دقت کلی
آسفالت	۸۸	۷۳/۸	۵۷	۶۷
ترک	۲۵/۸	۸۲/۹		

طبقه‌بندی با روش‌های شیء‌گرا

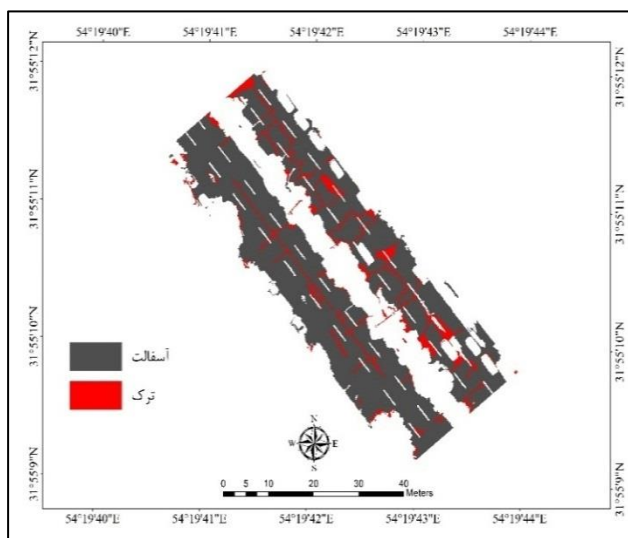
نتایج حاصل از طبقه‌بندی آسفالت و ترک با روش‌های شیء‌گرا نشان‌دهنده آن است که الگوریتم‌های این روش نسبت به الگوریتم‌های روش نظارت‌شده نتایج نزدیک به هم تری از خود نشان داده‌اند. به این ترتیب، روش ماشین بردار پشتیبان و نزدیک‌ترین همسایه به‌طور مشترک با $1489/3$ مترمربع بیشترین و روش بیز با $1240/4$ مترمربع کمترین مساحت آسفالت را طبقه‌بندی کرده است. این در حالی است که کمترین میزان ترک با $150/6$ مترمربع مربوط به دو الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و نزدیک‌ترین همسایه و بیشترین آن برای روش بیز با $366/1$ مترمربع بوده است (جدول ۸).

جدول (۸) مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی‌شده در طبقه‌بندی شیء‌گرا

Table (8) Area of classified classes in object-oriented classification

ماشین بردار پشتیبان	نزدیک‌ترین همسایه	تصادفی جنگل	درخت تصمیم‌گیری	بیز	آسفالت
$1489/3$	$1489/3$	$1314/3$	$1301/2$	$1240/4$	آسفالت
$150/6$	$150/6$	$318/6$	$312/7$	$366/1$	ترک

نتایج ارزیابی دقت الگوریتم‌های استفاده‌شده در روش شیء‌گرا نشان‌دهنده آن است که در این روش نیز الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با ضریب کاپای 86 و دقت کلی 91 خروجی دقیق‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد مطالعه داشته است (جدول ۱۰ و شکل ۷). کمترین دقت بین الگوریتم‌های مورد بررسی مربوط به الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب 78 و 80 بوده است (جدول ۱۰ و شکل ۹). در همین حال، الگوریتم‌های درخت تصمیم‌گیری (جدول ۱۲ و شکل ۱۱) و جنگل تصادفی (جدول ۱۱ و شکل ۱۰) با نتایج مشابه در ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب 80 و 87 درصد، به‌صورت مشترک در رتبه دوم دقت قرار گرفته‌اند. الگوریتم بیز نیز با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب 79 و 86 درصد در رتبه سوم دقت قرار گرفت (جدول ۱۳ و شکل ۱۲).

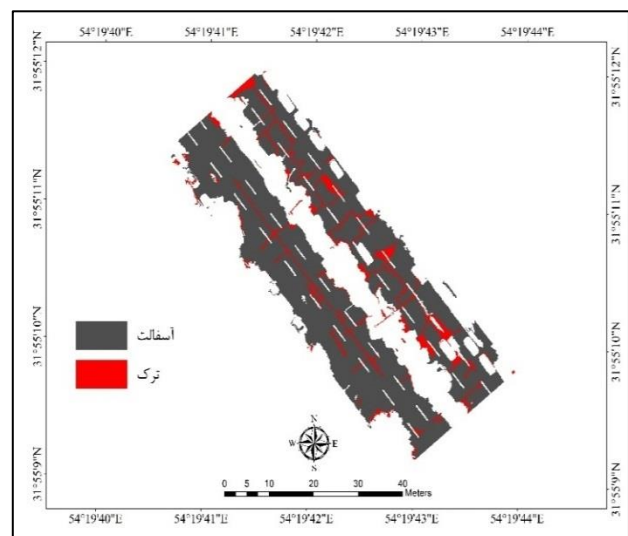


شکل (۸) طبقه بندی شیء گرا الگوریتم ماشین بردار پشتیبان
Figure (8) Object-oriented classification of support vector machine algorithm

جدول (۹) نتایج طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (درصد)

Table (9) Support vector machine algorithm classification results (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۹۱	۸۶	۷۶/۵	۹۷/۲	آسفالت
		۷۳/۵	۵۷/۹	ترک

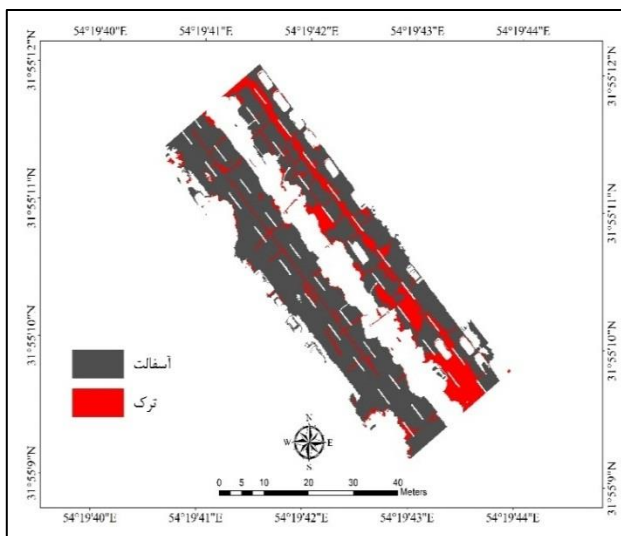


شکل (۹) طبقه‌بندی شیء گرا نزدیک‌ترین همسایه
Figure (9) Nearest neighbor object-oriented classificatio

جدول (۱۰) نتایج طبقه‌بندی الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (درصد)

Table (10) Classification results of the nearest neighbor algorithm (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۸۰	۷۸	۷۸/۶	۹۶/۱	آسفالت
		۸۳/۶	۴۹/۴	ترک

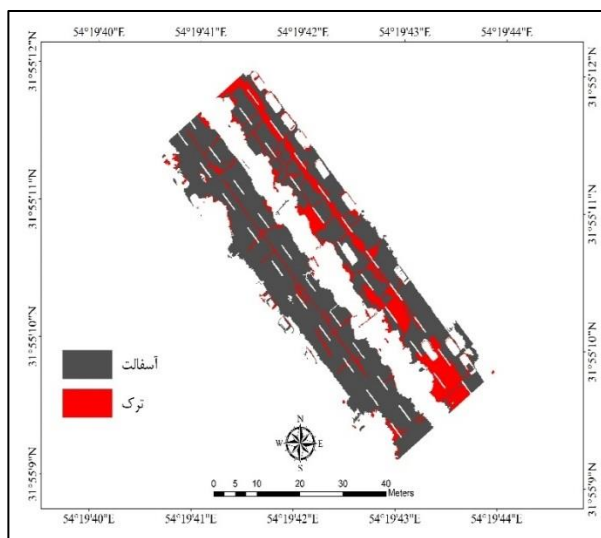


شکل (۱۰) طبقه‌بندی شیء‌گرا جنگل تصادفی
Figure (10) Random forest object-oriented classification

جدول (۱۱) نتایج طبقه‌بندی شیء‌گرا جنگل تصادفی
(درصد)

Table (11) Random forest object-oriented classification results (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۸۷	۸۰	۶۵/۵	۹۲	آسفالت
		۷۲/۹	۳۰/۲	ترک

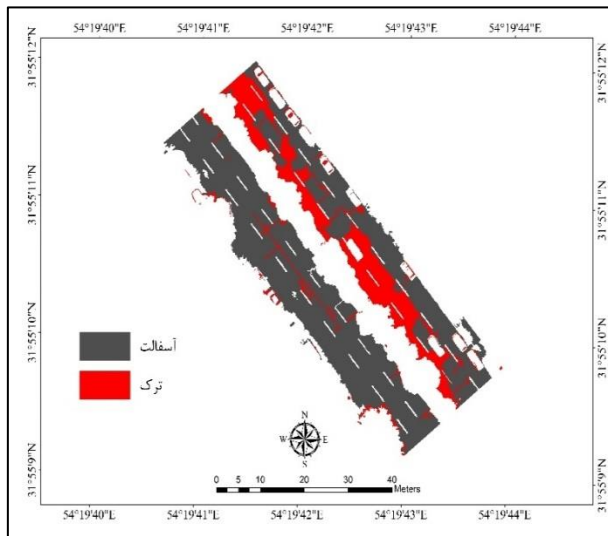


شکل (۱۱) طبقه‌بندی شیء‌گرا درخت تصمیم‌گیری
Figure (11) Object-oriented classification of the decision tree

جدول (۱۲) نتایج طبقه‌بندی شیء‌گرا درخت تصمیم‌گیری
(درصد)

Table (12) Object-oriented decision tree classification results (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۸۷	۸۰	۶۴/۳	۹۳/۶	آسفالت
		۹۲/۹	۲۹/۵	ترک



شکل (۱۲) طبقه‌بندی شیء‌گرایز

Figure (12) Object-oriented Bayes classification

جدول (۱۳) نتایج طبقه‌بندی شیء‌گرایز (درصد)

Table (13) Object-oriented Bayes classification results (percentage)

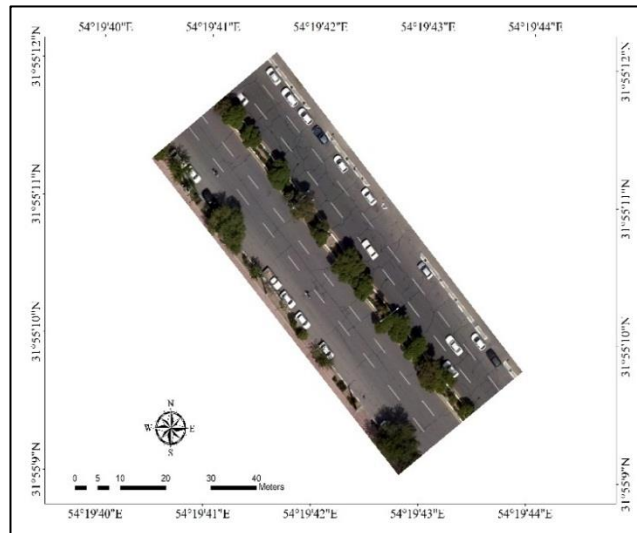
دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۸۶	۷۹	۵۶/۷	۹۵/۲	آسفالت
		۶۱/۳	۱۵/۲	ترک

نتایج حاصل از طبقه‌بندی روی تصویر فیوژن شده

به‌منظور افزایش دقت طبقه‌بندی حاصل از تصویر پهپاد با قدرت مکانی ۵ سانتی متری این تصویر با تصاویر سنتینل ۲- با رزولوشن ۱۰ متری فیوژن شدند. خروجی حاصل از فیوژن تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالای پهپاد و تفکیک طیفی تصاویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده آن است که این تصویر با خطای جذر میانگین مربعات ۰/۳۰ از نظر هندسی خروجی مناسبی داشته است (شکل ۱۳).



(A)

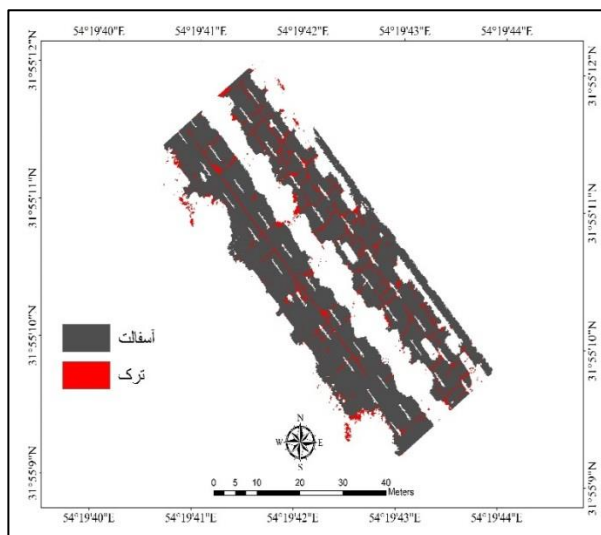


(B)

شکل (۱۳) مقایسه تصویر اصلی پهپاد (چپ) با خروجی فیوژن شده با تصویر سنتینل ۲- (راست)

Figure (13) Comparison of the original UAV image (A) with the fusion output with the Sentinel-2 image (B)

سپس خروجی فیوژن پهپاد با بهینه‌ترین الگوریتم بررسی شده، ماشین بردار پشتیبان در روش شی‌اگرا طبقه‌بندی شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که افزایش دقت طبقه‌بندی به ضریب کاپای ۹۱ و دقت کلی ۹۳ درصد بود (جدول ۱۴ و شکل ۱۴).



شکل (۱۴) طبقه‌بندی شی‌اگرا تصویر فیوژن شده

Figure (14) Object-oriented classification of the fusion image

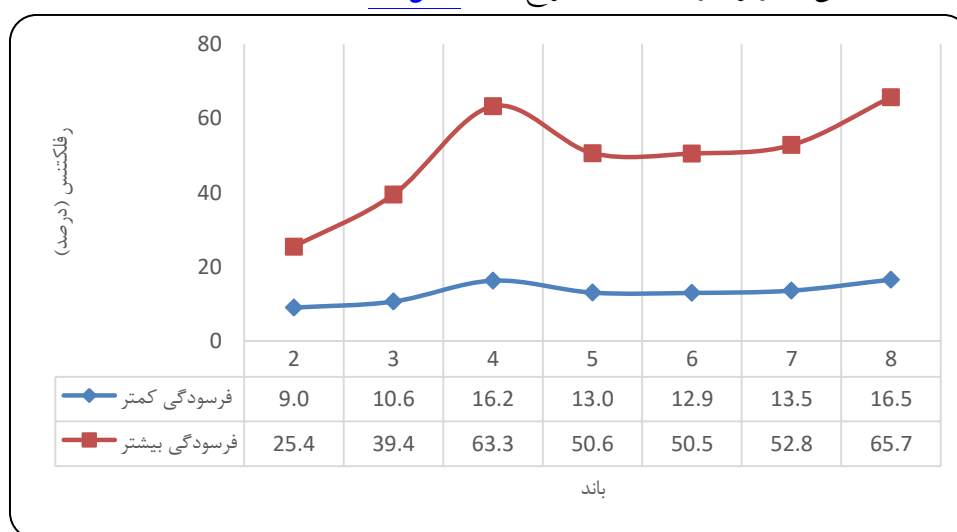
جدول (۱۴) نتایج طبقه‌بندی شی‌اگرا ماشین بردار پشتیبان تصویر فیوژن شده (درصد)

Table (14) Results of object-oriented classification of fusion image support vector machine (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۹۳	۹۱	۹۹/۹	۹۵/۸	آسفالت
		۸۸/۴	۹۵/۶	ترک

پایش عمر آسفالت

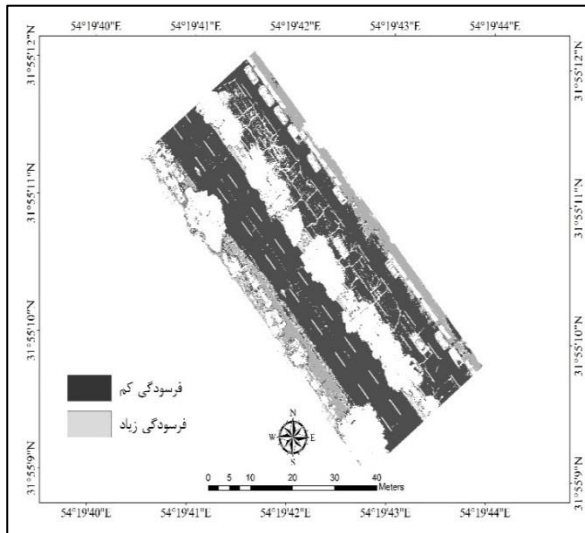
در پژوهش حاضر به منظور طبقه‌بندی آسفالت براساس فرسودگی و عمر آن، از دو روش حد آستانه و طبقه‌بندی با بهینه‌ترین روش مورد مطالعه استفاده شد. برای طبقه‌بندی عمر آسفالت با روش حد آستانه، ابتدا پروفایل طیفی دو نوع آسفالت در باندهای طیفی تصویر فیوژن شده استخراج شد (شکل ۱۵).



شکل (۱۵) طبقه‌بندی حد آستانه

Figure (15) Threshold classification

نتایج طبقه‌بندی فرسودگی آسفالت (شکل ۱۵) براساس حد آستانه طیفی نشان‌دهنده آن است که خروجی آن با ضریب کاپای ۹۰ و دقت کلی ۸۰ دقت مناسبی را ارائه داده است (جدول ۱۵).



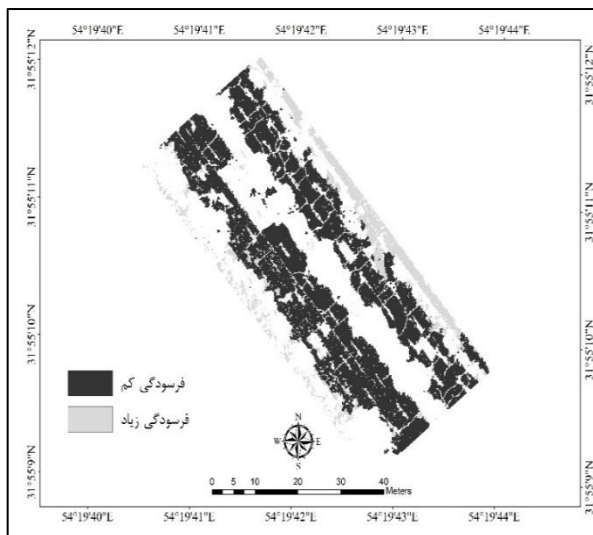
شکل (۱۶) طبقه‌بندی حد آستانه

Figure (16) Threshold classification

جدول (۱۵) نتایج طبقه‌بندی با حد آستانه (درصد)
Table (15) Classification results with threshold (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۸۰	۹۰	۹۹/۹	۸۴/۶	فرسودگی کمتر
		۷۲/۶	۹۹/۹	فرسودگی بیشتر

نتایج طبقه‌بندی عمر آسفالت براساس طبقه‌بندی با الگوریتم شی‌اگرای ماشین بردار پشتیبان (شکل ۱۶) نشان‌دهنده دقت به نسبت پایین‌تر این طبقه‌بندی با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۵۱ و ۷۲ درصد است (جدول ۱۶).



شکل (۱۷) طبقه‌بندی شی‌اگرای ماشین بردار پشتیبان

Figure (17) Object-oriented classification of support vector machine

جدول (۱۶) نتایج طبقه‌بندی با طبقه‌بندی شی‌اگرای ماشین بردار پشتیبان (درصد)

Table 16- classification results with support vector machine object-oriented classification (percentage)

دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس
۷۲	۵۱	۷۷/۲	۸۴	فرسودگی کمتر
		۶۶/۲	۹۷/۶	فرسودگی بیشتر

جدول (۱۷) مقایسه دقت کلی و کاپای طبقه‌بندی‌های انجام‌شده

Table (17) Comparison of the overall accuracy and kappa of the performed classifications

دقت کلی	ضریب کاپا (درصد)	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	کلاس‌ها	انواع طبقه‌بندی	نوع طبقه‌بندی
۷۹	۷۲	۹۸/۶	۸۶/۱	آسفالت	الگوریتم نزدیک	طبقه‌بندی نظارت شده
		۴۳/۶	۵۹/۴	ترک	ترین همسایه	
۸۹	۸۵	۹۸/۷	۹۰/۳	آسفالت	الگوریتم شبکه	
		۳۱/۴	۶۰/۶	ترک	عصبی	
۹۰	۸۷	۹۹/۹	۹۴/۴	آسفالت	الگوریتم ماشین	
		۸۸	۹۱/۷	ترک	بردار پشتیبان	
۸۵	۸۱	۷۱/۹	۹۴/۷	آسفالت	الگوریتم بیشترین	
		۸۶/۸	۳۰/۲	ترک	شباهت	
۶۷	۵۷	۷۳/۸	۸۸	آسفالت	الگوریتم کمترین	
		۸۲/۹	۲۵/۸	ترک	فاصله	
۹۱	۸۶	۷۶/۵	۹۷/۲	آسفالت	الگوریتم ماشین	طبقه‌بندی شیء‌گرا
		۷۳/۵	۵۷/۹	ترک	بردار پشتیبان	
۸۰	۷۸	۵۴/۶	۸۲/۱	آسفالت	الگوریتم نزدیک	
		۶۵/۶	۲۱/۴	ترک	ترین همسایه	
۸۷	۸۰	۶۵/۵	۹۲	آسفالت	الگوریتم جنگل	
		۷۲/۹	۳۰/۲	ترک	تصادفی	
۸۹	۸۰	۶۴/۳	۹۳/۶	آسفالت	الگوریتم درخت	
		۹۲/۹	۲۹/۵	ترک	تصمیم‌گیری	
۸۶	۷۹	۵۶/۷	۹۵/۲	آسفالت	الگوریتم بیز	
		۶۱/۳	۱۵/۲	ترک		
۹۳	۹۱	۹۹/۹	۹۵/۸	آسفالت	الگوریتم	تصویر فیوژن‌شده
		۸۸/۴	۹۵/۶	ترک	شیء‌گرای ماشین بردار پشتیبان	

با توجه به نتایج به دست آمده از (جدول ۱۷) نتایج نشان‌دهنده آن بود که روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۸۷ و دقت کلی ۹۰ درصد بیشترین و روش کمترین فاصله با ضریب کاپای و دقت کلی به ترتیب ۵۷ و ۶۷ درصد کمترین دقت را در طبقه‌بندی روش‌های نظارت‌شده از خود نشان دادند؛ همچنین بین روش‌های شیء‌گرا، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۸۶ و دقت کلی ۹۱ درصد خروجی دقیق‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد مطالعه داشت و کمترین دقت نیز مربوط به الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با ضریب کاپای ۷۸ و دقت کلی ۸۰ درصد بود. در خروجی فیوژن نتایج نشان‌دهنده افزایش دقت طبقه‌بندی به ضریب کاپای ۹۱ و دقت کلی ۹۳ درصد بود.

تحلیل نتایج

پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی استفاده از تصاویر پهپادی به‌تنهایی و نیز ادغام آنها با تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور پایش وضعیت آسفالت راه‌های درون‌شهری شهر یزد و همچنین یافتن بهینه‌ترین الگوریتم طبقه‌بندی این تصاویر به همین منظور با سه روش نظارت‌شده، شیء‌گرا و حد آستانه است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده آن است که طبقه‌بندی آسفالت شهری با استفاده از تصاویر سنجنش از دور در روش نظارت‌شده، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با دقت کلی ۹۰ و ضریب کاپای ۸۷ درصد بیشترین دقت را به دست داده است (جدول ۱۷). به‌طور مشابه، در بخش الگوریتم‌های شیء‌گرا نیز مجدد روش ماشین بردار پشتیبان با دقت کلی ۹۱ و ضریب کاپای ۸۶ بهترین دقت را حاصل داد. دقت بیشتر الگوریتم ماشین بردار پشتیبان به دلیل در نظر گرفتن مرز تصمیم‌گیری بهینه‌تر نسبت به سایر الگوریتم‌هاست (Huang et al., 2002). پژوهش‌هایی مشابه، دقت و کارایی بیشتر الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را در طبقه‌بندی تصاویر به اثبات رسانده‌اند (مختاری و نجفی، ۱۳۹۴؛ نظری و همکاران، ۱۳۹۹)؛ همچنین روش کمترین فاصله کمترین دقت را بین همه الگوریتم‌های طبقه‌بندی به دست داد. نبود دقت الگوریتم کمترین فاصله در طبقه‌بندی راه‌ها پیش‌تر نیز در پژوهشی به اثبات رسید که از سوی لی و همکاران انجام شده بود (Li et al., 2020). نتایج نشان‌دهنده آن بود که بهینه‌ترین الگوریتم موردبررسی پژوهش حاضر، یعنی ماشین بردار پشتیبان، در تصویر فیوژن‌شده پهپاد با تصاویر ماهواره‌ای، موجب افزایش دقت کلی به ۹۳ و ضریب کاپا به ۹۱ درصد شد. این افزایش نشان‌دهنده نقش مؤثر فیوژن در افزایش دقت طبقه‌بندی است که به احتمال حاصل از ادغام قدرت رادیومتریکی بالاتر تصویر حاصل از سنتینل ۲- به تصویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد پهپاد است. منصور مقدم و همکاران نیز افزایش دقت طبقه‌بندی روی تصویر لندست ۸- را پس از فیوژن با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر یعنی سنتینل ۲- به اثبات رسانده‌اند (منصور مقدم و همکاران، ۱۴۰۰ب)؛ همچنین نتایج این پژوهش نشان‌دهنده دقت بیشتر روش حد آستانه با دقت کلی ۸۰ و ضریب کاپای ۹۰ نسبت به طبقه‌بندی شیء‌گرای ماشین بردار پشتیبان در تفکیک آسفالت فرسوده از کمتر فرسوده است. بهره‌وری استفاده از روش حد آستانه برای تفکیک آسفالت به دو کلاس معین پیش‌تر نیز در پژوهش‌هایی که در همین زمینه انجام شده، به اثبات رسیده است (Kim et al., 2012).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده، در طبقه‌بندی نظارت‌شده روش الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با روش شبکه عصبی مصنوعی نشان‌دهنده نتایج نزدیک به هم بود. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بیشترین دقت و روش کمترین فاصله کمترین نتیجه و دقت را در طبقه‌بندی از خود نشان دادند؛ اما در طبقه‌بندی شیء‌گرا نتایج حاکی از آن است که الگوریتم‌های این روش نتایج نزدیک‌تر به هم را نسبت به روش‌های نظارت‌شده نشان دادند. در بررسی دقت‌های حاصله از طبقه‌بندی روش‌های شیء‌گرا روش ماشین بردار پشتیبان خروجی به‌نسبت دقیق‌تری را نسبت به روش‌های دیگر داشته است. در فیوژن تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم گرام-اشمیت نتیجه طبقه‌بندی با

بهترین روش به دست آمده از مرحله پیشین که روش ماشین بردار پشتیبان در روش‌های شیء‌گراست، نشان‌دهنده آن است که دقت افزایش یافته و طبقه‌بندی روی تصویر فیوژن شده بین تمامی روش‌های طبقه‌بندی بیشترین دقت را داشته است؛ همچنین نتایج بررسی فرسودگی آسفالت و طول عمر آن در دو روش طبقه‌بندی و حد آستانه‌گذاری نشان‌دهنده آن بود که روش حد آستانه با دقت بیشتر و بهتری نسبت به روش طبقه‌بندی عملکرد کرده است. با توجه به اینکه سلامت آسفالت بر اتومبیل‌ها و ایجاد نویز کمتر تأثیر بسزایی داشته است و همچنین اثرات زیست‌محیطی کمتری را دارد، با علم به اینکه با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌توان سریع‌تر و با صرف هزینه کمتری برای پیش‌حفظ و نگهداری و رفع مشکلات روسازی‌ها اقدام کرد، در مدت‌زمان کوتاه‌تری برای پایداری محیط و توسعه پایدار آن نقش بسزایی دارد.

منابع

- تقی‌پور، علی‌اکبر، رسولی، حمید، و فامیلی، افشین (۱۳۹۷). بررسی توان تصاویر پهپادی دقیق در ارزیابی پدیده فرسودگی آسفالت (نمونه موردی: روستای الوار سفلی، حوالی شهر تبریز). مهندسی زیرساخت‌های حمل‌ونقل، ۴(۳)، ۹۹-۱۱۵. <https://doi.org/10.22075/jtie.2018.13220.1260>
- علوی‌پناه، کاظم (۱۳۸۲). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). دانشگاه تهران.
- علیزاده ربیعی، حسن (۱۳۷۲). سنجش از دور (اصول و کاربرد). انتشارات سمت.
- مختاری، محمدحسین، و نجفی، احمد (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM. علوم آب و خاک، ۱۹(۷۲)، ۳۵-۴۵.
- <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.4>
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۹). سالنامه آماری استان یزد. درگاه ملی آمار. <https://amar.org.ir/salnameh-amar/agentType/ViewSearch/CustomFieldIDs/65/SearchValues/1399/PropertyTypeID/646>
- معرفی، ثنا، پاک شیر، امیرحسین، و گلی خوراسگانی، احمد (۱۳۹۵). بررسی آسفالت گرم و داغ و تأثیر آن در توسعه پایدار (مقاله مروری). ششمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار و عمران شهری، اصفهان. <https://civilica.com/doc/577510>
- منصورمقدم، محمد، روستا، ایمان، زمانی، محمدصادق، مختاری، محمدحسین، کریمی فیروزجایی، محمد، و علوی پناه، کاظم (۱۴۰۰الف). مطالعه و پیش‌بینی تغییرات دمای سطح زمین شهر یزد: بررسی اثر مجاورت و تغییرات پوشش اراضی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۲(۴)، ۱-۲۷. <https://doi.org/10.30495/girs.2021.682083>
- منصورمقدم، محمد، روستا، ایمان، زمانی، محمدصادق، مختاری، محمدحسین، کریمی فیروزجایی، محمد، و علوی پناه، کاظم (۱۴۰۰ب). بررسی و مدل‌سازی تأثیر ترکیب و آرایش چشم‌انداز شهر یزد بر دمای سطح زمین با استفاده از یادگیری ماشین و داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲. سنجش از دور و GIS/ایران، ۱۵(۳)، ۱-۲۶. <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.102195>
- نظری، داود، ماهوش محمدی، ندا، آدابی، محمدحسین، هزارخانی، اردشیر، قویدل سیوکی، محمد، و کلانی، هانیه

(۱۳۹۹). مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال برای تفکیک واحدهای دگرسانی منطقه تخت گنبد. زمین‌شناسی ایران، ۵۳(۱۴)، ۳۱-۴۳.

<http://geology.saminattech.ir/Article/9781/FullText>

References

- Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., & Selva, M. (2007). *MS b Pan image fusion by an enhanced Gram-Schmidt spectral sharpening*. 26th Earsel Symp New Dev. Challenges Remote Sensing. <http://www.earsel.org/symposia/2006-symposium-Warsaw/pdf/340.pdf>
- Aksoy, A., Şamlıoğlu, K., Tayfur, S., & Özen, H. (2005). Effects of various additives on the moisture damage sensitivity of asphalt mixtures. *Journal of Construction and Building Materials*, 19(1), 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.003>
- Alavi Panah, S. K. (2003). *Application of remote sensing in earth sciences (soil sciences)*. Tehran University Press. [In Persian].
- Alimjan, G., Sun, T., Liang, Y., Jumahun, H., & Guan, Y. (2018). A new technique for remote sensing image classification based on combinatorial algorithm of SVM and KNN. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 32(07), 1859012. <https://doi.org/10.1142/S0218001418590127>
- Alizade Rabiei, H. (1993). *Remote Sensin (principles and application)*. Samat. [In Persian].
- Atkinson, P. M., & Tatnall, A. R. (1997). Introduction neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 18(4), 699-709. <http://dx.doi.org/10.1080/014311697218700>
- Bekkari, A., Idbraim, S., Elhassouny, A., Mammass, D., El Yassa, M., & Ducrot, D. (2012). Spectral and spatial classification of high resolution urban satellites images using haralick features and SVM with SAM and EMD distance metrics. *International Journal of Computer Applications*, 46(11), 28-37. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=f5eeeb791929b09ea5aeb9010abae83c2369f8141>
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., ... & Tiede, D. (2014). Geographic object-based image analysis-towards a new paradigm. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 87, 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Journal of Machine Learning*, 24(2), 123-140. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00058655>
- Cox, G., Curphey, D., Fronek, D., & Wilson, J. (1986). Remote video sensing of highway pavements at road speeds: Using the Motorola 68020 microprocessor. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 1(1), 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.1986.tb00109.x>
- Cubero-Fernandez, A., Rodriguez-Lozano, F., Villatoro, R., Olivares, J., & Palomares, J. M. (2017). Efficient pavement crack detection and classification. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 1, 1-11. <https://link.springer.com/article/10.1186/s13640-017-0187-0>
- Gonzalez-Audicana, M., Garcia, R., & Herrero-Isern, J. (2003). Fusion of multispectral and panchromatic images using new methods based on wavelet transforms-Evaluation of crop classification accuracy. *Geoinfor Eur Wide Integr*, 265-272. <http://www.earsel.org/symposia/2002-symposium-Prague/pdf/037.pdf>
- Guo, H. (2010). Understanding global natural disasters and the role of earth observation. *International Journal of Digital Earth*, 3(3), 221-230. <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.499662>
- Hartgen, D. T., Fields, M. G., & Feigenbaum, B. (2014). *21st annual report on the performance of state*

- highway systems(1984-2012). (n.p). http://reason.org/files/21st_annual_highway_report.pdf
- Hoang, N. D., & Nguyen, Q. L. (2019). A novel method for asphalt pavement crack classification based on image processing and machine learning. *Journal of Engineering with Computers*, 35(2), 487-498. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00366-018-0611-9>
- Huang, C., Davis, L., & Townshend, J. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23(4), 725-749. <https://doi.org/10.1080/01431160110040323>
- Jog, S., & Dixit, M. (2016, June). Supervised classification of satellite images. In *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP)* (pp. 93-98). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CASP.2016.7746144>
- Kim, H., Sim, S. H., & Cho, S. (2015, August). Unmanned aerial vehicle (UAV)-powered concrete crack detection based on digital image processing. In *International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*. http://sstl.cee.illinois.edu/papers/aeseancrisst15/194_Kim_Unmanned.pdf
- Kim, H., Soleymani, H., Han, S. H., & Nam, H. (2006, October). Evaluation of asphalt pavement crack sealing performance using image processing technique. In *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Tokyo, Japan* (Vol. 35, p. 341345). <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=805ca70fc109fb2dad588fd422f777c12502c42>
- Kim, Y. R., Pinto, I., & Park, S. W. (2012). Experimental evaluation of anti-stripping additives in bituminous mixtures through multiple scale laboratory test results. *Journal of Construction and Building Materials*, 29, 386-393. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.012>
- Kingston, G. B., Lambert, M. F., & Maier, H. R. (2005). Bayesian training of artificial neural networks used for water resources modeling. *Journal of Water Resources Research*, 41(12). <https://doi.org/10.1029/2005WR004152>
- Koch, C., Georgieva, K., Kasireddy, V., Akinci, B., & Fieguth, P. (2015). A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure. *Journal of Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 196-210. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.008>
- Li, X., Liu, L., & Huang, L. (2020). Comparison of several remote sensing image classification methods based on envi. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 605-611. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W10/605/2020/isprs-archives-XLII-3-W10-605-2020.pdf>
- Li, Z., Cheng, C., Kwan, M. P., Tong, X., & Tian, S. (2019). Identifying asphalt pavement distress using UAV LiDAR point cloud data and random forest classification. *ISPRS International Journal of GeoInformation*, 8(1), 39. <https://doi.org/10.3390/ijgi8010039>
- Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M. S., Mokhtari, M. H., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S. K. (2022a). Investigating and Modeling the Effect of the Composition and Arrangement of the Landscapes of Yazd City on the Land Surface Temperature Using Machine Learning and Landsat-8 and Sentinel-2 Data. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 15(3), 1-26. <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.102195> [In Persian].
- Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M., Mokhtari, M. H., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S. K. (2022b). Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(4), 1-27. <https://doi.org/10.30495/girs.2021.682083> [In Persian].
- Mansourmoghaddam, M., Ghafarian Malamiri, H. R., Arabi Aliabad, F., Fallah Tafti, M., Haghani, M., & Shojaei, S. (2022c). The Separation of the Unpaved Roads and Prioritization of Paving These Roads Using UAV Images. *Journal of Air, Soil and Water Research*, 15, 11786221221086285. <https://doi.org/10.1177/11786221221086285>
- Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Ghaffarian, H., & Mokhtari, M. H. (2022d). Evaluating the capability of spatial and spectral fusion in land-cover mapping enhancement. *Journal of Earth*

- Observation and Geomatics Engineering*, 6(1).
<https://doi.org/10.22059/eoge.2022.348987.1125>
- Maroofi, S., Pak Shir, A. H., & Goli-Khorasgani, A. (2015). *Investigation of warm asphalt and hot asphalt and its impact on sustainable development* (review article). 6th International Conference on Sustainable Development & Urban Construction, Isfahan. <https://civilica.com/doc/577510/> [In Persian].
- Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K., Christofe, A., Pilakoutas, K., & Hadjimitsis, D. (2015, June). Monitoring asphalt pavement damages using remote sensing techniques. In *Third international conference on remote sensing and geoinformation of the environment (RSCy2015)* (Vol. 9535, pp. 237-248). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2195702>
- Mokhtari, M. H., & Najafi, A. (2015). Comparison of support vector machine and neural network classification methods in land use information extraction through Landsat TM data. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 19(72), 35-45. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.4> [In Persian].
- Nazari, D., Mahvash Mohammadi, N., Adabi, M. H., Hazarkhani, A., Ghavidel-Syooki, M., & Kalani, H. (2020). Separating alteration units in the Takht-e-Gonbad district using via comparing two classification methods of Support vector machine and maximum likelihood. *Iranian Journal of Geology*, 53(14), 31-43. <http://geology.saminattech.ir/Article/9781/FullText> [In Persian].
- Pal, M., & Mather, P. M. (2001, November). Decision tree based classification of remotely sensed data. In *Proceedings of 22nd Asian conference on remote Sensing* (Vol. 5, p. 9). <https://www.academia.edu/download/39963411/046PAL.PDF>
- Pan, Y., Zhang, X., Cervone, G., & Yang, L. (2018). Detection of asphalt pavement potholes and cracks based on the unmanned aerial vehicle multispectral imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(10), 3701-3712. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2865528>
- Richards, J. A., & Richards, J. (1999). *Remote sensing digital image analysis* (Vol. 3). Springer.
- Safavian, S. R., & Landgrebe, D. (1991). A survey of decision tree classifier methodology. *IEEE Transactions Onsystems, Man and Cybernetics*, 21(3), 660-674. <https://doi.org/10.1109/21.97458>
- Sankarasrinivasan, S., Balasubramanian, E., Karthik, K., Chandrasekar, U., & Gupta, R. (2015). Health monitoring of civil structures with integrated UAV and image processing system. *Procedia Computer Science*, 54, 508-515. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.06.058>
- Some, L. (2016). *Automatic image-based road crack detection methods KTH*. (n.p). <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:945233>
- Statistical Center of Iran. (2019). *Statistical Yearbook of Yazd Province*. National Portal of Statistics. <https://amar.org.ir/salnamehamari/agentType/ViewSearch/CustomFieldIDs/65/SearchValues/1399/PropertyTypeID/646> [In Persian].
- Taghipour, A. A., Rasouli, H., & famili, A. (2018). Road Pavement Distress Extraction Using UAV Imageries (Case Study: Alvar-e-Sofla Village near Tabriz). *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 4(3), 99-116. <https://doi.org/10.22075/jtie.2018.13220.1260> [In Persian].
- Vapnik, V. (1999). *The nature of statistical learning theory*. Springer Science & Business Media. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4757-3264-1>
- Wettschereck, D., Aha, D. W., & Mohri, T. (1997). A review and empirical evaluation of feature weighting methods for a class of lazy learning algorithms. *Artificial Intelligence Review*, 11(1), 273-314. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006593614256>
- Zhang, C. (2008). An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, 37, 627-632. http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/109.pdf
- Zhang, S., Bogus, S. M., Lippitt, C. D., Neville, P. R., Zhang, G., Chen, C., & Valentin, V. (2015). Extracting pavement surface distress conditions based on high spatial resolution multispectral digital aerial photography. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(9), 709-720.

<https://doi.org/10.14358/PERS.81.9.709>

Zhao, L., Shi, Y., Liu, B., Hovis, C., Duan, Y., & Shi, Z. (2019). Finer classification of crops by fusing UAV images and Sentinel-2A data. *Journal of Remote Sensing*, 11(24), 3012. <https://doi.org/10.3390/rs11243012>