Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 11, Issue 2, 2023 p: 120-131

OPEN ACCESS

Research Paper

Specification of Forest Road Surface Potholes using UAVs Image Evaluation

Aiub Rezaei Motlagh[1], Aidin Parsakhoo[2], Akbar Najafi[3] and Jahangir Mohamadi[4]

1- Ph.D. Student of Forest Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(Corresponding author: aiubrezaee@yahoo. com)
2- Associate Profesor, Department of Forestry, Faculty of Forest Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Associate Profesor, Department of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, TMU, Noor, Iran
4- Assistant Profesor, Department of Forestry, Faculty of Forest Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 18 October, 2022 Accepted: 13 December, 2022

Extended Abstract

Background: The surface layer of roads is subject to various forms of damage over time, primarily due to the combined effects of traffic and atmospheric factors. This degradation leads to a significant decline in road quality, which can pose safety risks for users. Therefore, the quick and accurate detection of surface layer anomalies is essential for effective monitoring of road health status. Timely identification of these issues allows for appropriate maintenance and repairs, ultimately enhancing road safety and longevity. To improve the efficiency of surface layer inspections, drones have emerged as valuable tools, providing reliable information in the assessment of road conditions. By utilizing drone technology, it becomes possible to conduct comprehensive evaluations of road surfaces, enabling the identification of specific problems such as potholes, cracks, and other forms of wear.

Methods: This research was conducted with the objective of revealing the top layer damage on forest roads by employing UAV (Unmanned Aerial Vehicle) images and advanced image processing techniques. The study focused on a 3.6 km long road located within the Dr. Bahramnia Educational and Research Forest in Golestan Province. High-resolution images obtained from the UAV were processed using photogrammetric techniques to create orthomosaic images and a digital elevation model of the ground. These processed images served as a foundation for identifying and assessing surface layer anomalies, particularly potholes. To achieve this, three supervised learning algorithms were employed: Nearest Neighbor, K-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine (SVM). Each algorithm was rigorously evaluated for its effectiveness in classifying and identifying the various types of damage present in the road surface. The process began with the collection of UAV imagery, which was then subjected to photogrammetric processing. This involved calculations to generate orthomosaic images that accurately represented the road surface. The digital elevation model provided additional context regarding the topography of the area, allowing for a more detailed analysis of the surface layer. Once the images were prepared, they were analyzed using the selected machine learning algorithms. The Nearest Neighbor algorithm assesses the proximity of data points to classify anomalies, while the K-Nearest Neighbor algorithm extends this concept by considering multiple neighboring points for classification. The Support Vector Machine algorithm, on the other hand, uses hyperplanes to distinguish between different classes of data, making it particularly effective for complex datasets.

Results: The results of the study demonstrated that the orthomosaic images generated from photogrammetric calculations exhibited high accuracy, providing a reliable basis for further

Copyright ©2023 Rezaei Mutlagh et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]

[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

analysis. The assessment of the algorithms used for pothole classification revealed that all three algorithms displayed strong capabilities in identifying road surface damages. Specifically, the Nearest Neighbor algorithm achieved an accuracy of 92.04%, indicating its effectiveness in recognizing surface anomalies. The K-Nearest Neighbor algorithm performed slightly better, reaching an accuracy of 94.31%. However, the Support Vector Machine algorithm significantly outperformed the others, achieving an impressive accuracy of 96.59%. This high level of accuracy underscores the potential of SVM for effectively classifying and identifying road surface failures.

The successful application of these algorithms not only highlights their individual strengths but also emphasizes the importance of utilizing advanced technologies in road maintenance. The ability to accurately detect and classify potholes can lead to more efficient repair processes and better allocation of resources for road maintenance. Additionally, the integration of UAV imagery with machine learning techniques provides a scalable solution that can be applied to various road types and conditions.

Conclusion: In conclusion, the Support Vector Machine algorithm emerged as the most effective supervised learning method in this study, achieving the highest classification accuracy at 96.59%. This finding suggests that SVM is particularly well-suited for identifying and classifying failures in road surfaces, making it a valuable tool for transportation agencies and road maintenance professionals. The research underscores the potential of UAV imagery combined with machine learning algorithms to enhance the detection of abnormalities in forest roads, including potholes. By adopting these innovative technologies, road management can become more proactive, ensuring safer and more reliable transportation infrastructure in forested areas. Future studies may explore the application of these methods in diverse environments and road conditions, further validating their effectiveness and adaptability in real-world scenarios. The integration of such advanced methodologies can significantly contribute to the sustainability and safety of road networks, ultimately benefiting both users and the environment.

Keywords: Pavement distress, Photogrammetry, Quadcopter, Remote Sensing, Supervised classification

How to Cite This Article: Rezaei Mutlagh, A., Parsakhoo, a., Najafi, a., & Mohamadi, j. (2023). Specification of Forest Road Surface Potholes using UAVs Image Evaluation. *Ecol Iran For*, 11(2), 120-131. https://doi.org/10.61186/ifej.11.22.110

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]

[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

مقاله پژوهشی

ارزیابی مشخصات چاله‌های لایه رویه جاده‌های جنگلی با استفاده از تصاویر پهپاد

ایوب رضایی مطلق[۱]، آیدین پارساخو[۲]، اکبر نجفی[۳] و جهانگیر محمدی[۴]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: aiubrezaee@yahoo.com)
۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۴- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۲
صفحه: ۱۲۰ تا ۱۳۱

چکیده مسبوط

مقدمه و هدف: لایه‌رویه جاده با گذشت زمان و بر اثر ترافیک و عوامل جوی دچار آسیب‌های مختلف می‌شوند و از کیفیت آن‌ها کاسته می‌شود. بنابراین، استخراج سریع و دقیق ناهنجاری لایه‌رویه برای نظارت مؤثر بر وضعیت سلامت جاده بسیار مهم است. به‌منظور بهبود کارایی بازرسی لایه‌رویه، امروزه پهپادها ابزار مفیدی برای به‌دست آوردن اطلاعات قابل اعتماد در زمینه لایه‌رویه جاده استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با هدف آشکارسازی خرابی لایه‌رویه جاده‌های جنگلی با استفاده از تصاویر پهپاد و فنون پردازش تصویر در جاده‌ای به‌طول ۳/۶ کیلومتر در جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیا استان گلستان انجام گرفت. تصاویر حاصل از پهپاد با استفاده از محاسبات فتوگرامتری پردازش و تصویر ارتوموزائیک و مدل رقومی ارتفاع زمین تهیه شد؛ سپس تصاویر حاصل جهت شناسایی و بررسی چاله‌های لایه‌رویه با استفاده از سه الگوریتم یادگیری نظارت شده نزدیک‌ترین همسایه، K - نزدیکترین همسایه و ماشین‌بردار پشتیبان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تصویر ارتوموزائیک حاصل از محاسبات فتوگرامتری دارای صحت بالایی است. همچنین بررسی صحت الگوریتم‌های مورد استفاده جهت طبقه‌بندی و شناسایی چاله‌ها نشان داد که این الگوریتم‌ها قابلیت خوبی در شناسایی خرابی لایه‌رویه جاده دارند. الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، K - نزدیکترین همسایه و ماشین‌بردار پشتیبان به‌ترتیب خرابی‌های لایه رویه را با صحت ۹۲/۰۴، ۹۴/۳۱ و ۹۶/۵۹ درصد برآورد کردند.

نتیجه‌گیری: الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان یک الگوریتم یادگیری نظارت شده با صحت ۹۶/۵۹ درصد دارای بیشترین صحت طبقه‌بندی در مقایسه با دو الگوریتم دیگر بود و به‌عنوان یک روش مناسب جهت طبقه‌بندی و شناسایی خرابی‌ها در این پژوهش معرفی شد. از تصاویر پهپاد حاصل و الگوریتم‌های یادگیری نظارت شده می‌توان برای شناسایی ناهنجاری لایه‌رویه جاده‌های جنگلی از جمله چاله‌ها استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور ، طبقه‌بندی نظارت شده، فتوگرامتری، کوادکوپتر، ناهنجاری روسازی

مقدمه

شبکه جاده‌ها از برجسته‌ترین زیرساخت‌ها هستند که به‌طور سیستماتیک در زیرمجموعه خطوط حیاتی حمل و نقل طبقه‌بندی می‌شوند (Dadrasjavan *et al.*, 2019). و هر ساله بخشی از بودجه‌های عمرانی را به‌منظور ساخت، ترمیم، به‌سازی، حفظ و نگهداری به‌خود اختصاص می‌دهند. بسیاری از عوامل مانند دما، رطوبت، هوازدگی و بارش می‌تواند بر ساختار لایه‌رویه تأثیر منفی بگذارد و منجر به انواع مشکلات جاده شود که نه‌تنها بر استفاده عادی از جاده‌ها تأثیر می‌گذارد، بلکه منجر به خسارات اقتصادی زیادی نیز می‌شود. بنابراین، شناسایی ناهنجاری لایه‌رویه برای پایش وضعیت جاده، نگهداری و مدیریت راه اهمیت زیادی دارد (Hartgen *et al.*, 2014; Lopes *et al.*, 2014). پژوهش‌ها نشان داده است با وجود آنکه لایه‌رویه جاده آسفالته معمولاً برای مدت ۲۰ سال طراحی می‌شوند، اما در عمل دوره بهره‌برداری از این لایه‌ها به ۱۰ الی ۱۲ سال محدود می‌شود و بعد از این دوره بدون ترمیم جدی قابلیت سرویس‌دهی ندارند (Ameri and Golchin, 2005). جاده‌های غیرآسفالته هر ساله احتیاج به مراقبت و نگهداری دارند. عدم تعمیر و نگهداری به‌موقع باعث می‌شود تا خرابی‌ها در ابعاد وسیع‌تر ظاهر شوند و در نتیجه هزینه بازسازی چند برابر گردد (Hudson *et al.*, 1979; Dobson *et al.*, 2014). کیفیت لایه‌رویه رابطه نزدیکی با طول عمر جاده دارد (Pan *et al.*, 2019). چاله‌ها یکی از رایج‌ترین آسیب‌های سطح جاده هستند که از طریق انحلال ریزدانه‌ها و آزادسازی درشت‌دانه‌های مصالح ایجاد می‌شوند (Hajek and Phang, 1986). چاله‌ها عیوب پیاله‌ای شکل در سطح روسازی هستند که شدتشان با جذب رطوبت و باقی ماندن آب در آنها افزایش می‌یابد. این نوع خرابی‌ها دارای قطری به‌طور متوسط بین ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر و عمقی تقریبا بیشتر از ۱/۵سانتی‌متر هستند (Abdi and Majnounian, 2018).

جهت بررسی و پایش کیفی لایه‌رویه جاده‌ها از دو روش مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌شود (McGhee, 2004). معمولاً روش‌های مستقیم نیاز به کارشناسان با تجربه و استفاده از دستورالعمل‌های ارزیابی دارد (Schnebele *et al.*, 2015). این روش‌ها می‌توانند داده‌های دقیق از وضعیت لایه رویه را ارائه دهند اما این شیوه جمع‌آوری داده، کاری زمان‌بر و طاقت‌فرسا محسوب می‌شود و دارای هزینه بالایی است (Kim *et al.*, 2006; Cheng *et al.*, 1999). البته این موضوع در همه موارد صدق نمی‌کند و در برخی موارد مانند استفاده از روش‌های دقیق و بازدید از داخل ماشین می‌تواند نتایج مناسبی ارائه دهد (Dobson *et al.*, 2014). مشکلات روش‌های مستقیم در اخذ داده منجر به استفاده از روش‌های نوینی می‌شود که شناخت دقیق، سریع و همچنین پیوسته و مستمر و کم‌هزینه از شرایط جاده را ممکن می‌سازد (Pazhouhan *et al.*, 2017; Kiss *et al.*, 2015; Kamkar Rouhani *et al.*, 2012). امروزه باتوجه به پیشرفت فناوری و ظهور پهپاد، این تکنولوژی در عرصه

مدیریت جنگل نیز وارد شده و به‌طور مستقیم جهت ارزیابی شرایط جاده موردتوجه قرار گرفته است. با توجه به اینکه فناوری‌های سنجش از دور در مقایسه با روش‌های مستقیم در هر برداشت مناطق وسیعی‌تری را تحت پوشش و ارزیابی قرار دهند می‌توانند در سطوح وسیع کاربرد زیادی داشته باشند. بدین ترتیب با پشتیبانی رایانه‌ها و فناوری‌های سنجش از دور، اشکال مختلف داده مانند تصاویر دیجیتال، لیدار (Light Detection and Ranging) و رادار می‌توانند اخذ شوند (Zhang and Bogus, 2014; Shatai Joibari, 2014; Schnebele *et al*., 2015; Mettas *et al*., 2012).

سیستم مدیریت روسازی یک روش سیستماتیک برای درک نیازهای تعمیر و نگهداری و اولویت‌های این عملیات فراهم می‌نماید و همچنین با توجه به وضعیت آینده روسازی، زمان بهینه به منظور انجام عملیات تعمیر را مشخص می‌کند (Haas, 1994). همچنین از نظر سنجش ازدوری سیستم مدیریت روسازی عبارت است از یک سیستم یکپارچه با برخی از انواع حسگرهای پیچیده که معمولاً روی یک وسیله نقلیه متحرک برای بررسی و پایش مداوم، انتخاب زمان‌های مناسب تعمیر، لکه‌گیری، روکش‌کردن و غیره برای نظارت بر لایه‌رویه نصب می‌شود (Schnebele *et al*., 2015). تصاویر رقومی لایه‌رویه مهم‌ترین نوع داده مورد استفاده هستند که برای استخراج ویژگی‌های آسیب‌های لایه‌رویه، مانند ویژگی‌های طیفی، هندسی و بافت مورد استفاده قرار می‌گیرند (Koch *et al*., 2015). این ویژگی‌ها در خوارزمی‌های طبقه‌بندی مناسب (مانند ماشین بردار پشتیبان) برای تعیین دسته‌بندی آسیب‌های سطح جاده وارد می‌شوند (Mokhtaria, S *et al*., 2016). (Cubero-Fernandez *et al*., 2017) با استفاده از یک تکنیک تشخیص ترک خودکار با شبکه‌های عصبی مصنوعی به بررسی ترک‌های حاصل در سطح رویه جاده حاصل از ناپایداری منطقه پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت طبقه‌بندی به دو کلاس ترک و بدون ترک، میزان موفقیت الگوریتم ۷۹/۹ درصد بود. در صورت وجود سه کلاس ترک، بدون ترک و خطوط سفید، این روش ۷۳/۳ درصد موفقیت‌آمیز است. (Pan *et al*., 2017) جهت تشخیص خرابی‌های لایه‌رویه (ترک‌ها و چاله‌ها) از تصاویر حاصل از پهپاد، با استفاده از چهار الگوریتم یادگیری تحت نظارت عمومی ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machines)، k- نزدیک‌ترین همسایه (K Nearest Neighbor)، جنگل تصادفی (Random Forest)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) مطالعاتی انجام دادند؛ که برای هر یک از الگوریتم‌های یادگیری مجموعه‌ای از پارامترهای مختلف در نظر گرفتند. معیار ارزیابی عملکرد الگوریتم بر مبنای صحت طبقه‌بندی و زمان محاسبات تعیین شد. با تغییر پارامتر الگوریتم‌ها به صحت طبقه‌بندی بیش از ۹۸ درصد در کمترین زمان محاسباتی رسیدند. آنها در نهایت الگوریتم جنگل تصادفی را به‌عنوان بهترین عملکرد در بالاترین صحت طبقه‌بندی و حداقل زمان اجرا معرفی نمودند.

(Leonardi *et al*., 2018) در مطالعات خود، عملکرد یک سیستم پهپاد جهت ثبت خودکار داده‌های سه‌بعدی برای شناسایی خرابی لایه‌رویه در سریعترین زمان ممکن را بررسی کردند. آنها در ابتدا جهت اخذ تصاویر با فاصله نمونه‌برداری زمینی (Ground Sample Distance) کمتر از یک سانتی‌متر، پارامترهای اولیه پرواز را طراحی نمودند؛ که این پارامترها شامل ارتفاع پرواز (۳۰ متر)، فاصله کانونی (۵ میلیمتر) و پوشش‌های طولی و عرضی ۸۰ درصد بود. سپس عملیات طراحی را براساس نرم‌افزار Pix4 dmapper به‌صورت خودکار و فرآیند بازسازی سه‌بعدی را با استفاده از نرم‌افزار Agisoft Photoscan انجام دادند. پس از پردازش تصاویر، با استفاده از یک فیلتر در ابرنقاط سه‌بعدی از مدل رقومی ارتفاعی زمین (Digital Elevation Model)، توسط نرم‌افزار 3D Reshaper، چاله‌ها موجود در لایه‌رویه را برجسته کردند و عمق چاله‌ها را با صحت زیرسه سانتی‌متر اندازه‌گیری کردند. (Fakhri *et al*., 2021) در پژوهشی به ارزیابی توانایی روش فتوگرامتری پهپاد در آشکارسازی ترک لایه‌رویه جاده‌ها پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی صورت گرفته در خصوص آشکارسازی پیکسل‌های ترک توسط الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با واقعیت زمینی در بهترین حالت و با استفاده از ارتوفتوموزائیک تولیدشده از تصاویر اخذ شده توسط پهپاد فانتوم ۴ پرو در ارتفاع ۲۰ متری، صحت ۹۶درصد را نشان داد. بنابراین آنها با توجه به صحت بالای این روش در آشکارسازی خرابی‌های ناشی از ترک، استفاده از فتوگرامتری پهپاد را به‌عنوان روشی مکمل و قابل اعتماد در سامانه مدیریت لایه‌رویه پیشنهاد کردند.

با توجه به اینکه امروزه از پهپاد به‌عنوان یک فناوری نوین در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شود، این علم به‌تدریج در حوزه پروژه‌های عمرانی به ویژه مباحث مربوط به جاده جهت تهیه تصاویر با توان تفکیک مکانی زیاد ورود پیدا کرد و در زمینه طراحی و ساخت و نگهداری جاده به مهندسان و متخصصان این علم کمک شایانی نمود. با توجه به اینکه اکثر مطالعات پیشین به بررسی توانایی پهپاد در آشکارسازی ترک‌های لایه‌رویه جاده آسفالته پرداخته‌اند و هیچ‌گونه مطالعه‌ای در زمینه شناسایی خرابی‌های جاده غیرآسفالته صورت نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش در مرحله اول بررسی توانایی پهپاد در زمینه بررسی وضعیت لایه‌رویه و آشکارسازی خرابی جاده غیرآسفالته و سپس طبقه‌بندی آنها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر و انتخاب بهترین الگوریتم با توجه به ویژگی‌های مربوطه می‌باشد. برای این کار تصاویر مربوط به جاده جنگلی با استفاده از پهپاد تهیه و سپس با استفاده از الگوریتم‌های مختلف پردازش و طبقه‌بندی شدند.

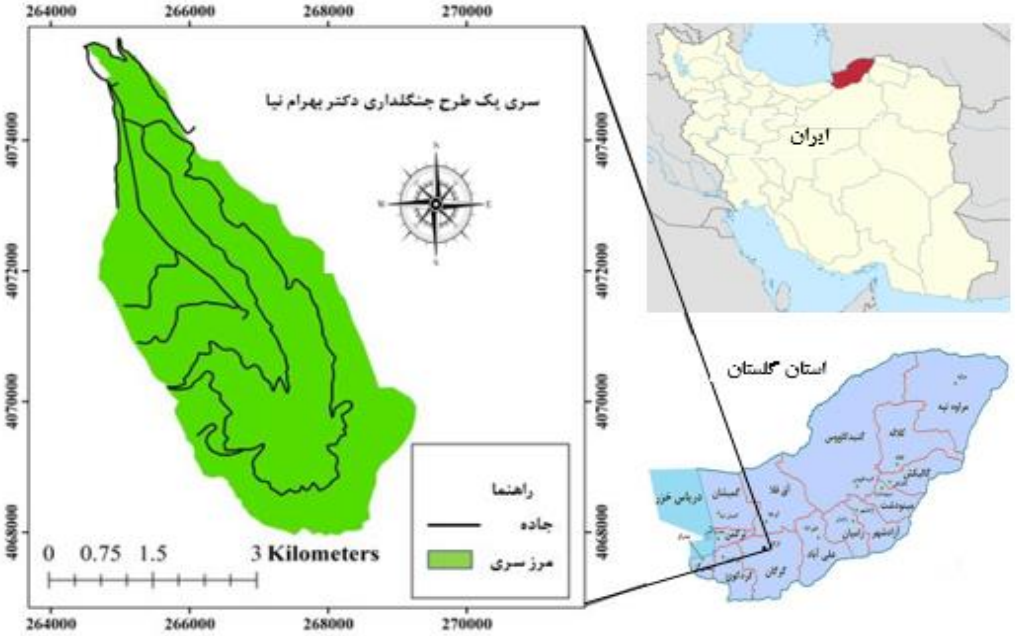
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

سری یک جنگل آموزشی– پژوهشی دکتر بهرام نیا به مساحت ۱۷۱۳/۱۳ هکتار در ۸ کیلومتری جنوب غربی شهرستان گرگان در حوزه ۸۵ طرح جامع جنگل‌های شمال

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

کشور و در حوزه استحفاظی اداره کل منابع طبیعی استان گلستان در محدوده سرجنگلبانی نوچمن و اداره منابع طبیعی شهرستان گرگان و در محدوده طول جغرافیایی "۲۶'۲۱°۵۴ تا "۵۷'۲۴°۵۴ و عرض جغرافیایی "۲۷'۴۳°۳۶ تا "۰۶'۴۸°۳۶ واقع شده است (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه مورد مطالعه ۲۲۹ تا ۷۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد است. طول کل جاده موجود در این منطقه ۳۱/۰۵۹ کیلومتر می‌باشد که ۴/۱۰۴ کیلومترآن از نوع جاده درجه یک و بقیه از نوع جاده درجه دو و سه می‌باشند. مواد مورد استفاده در لایه‌رویه این جاده‌ها بیشتر از مصالح رودخانه‌ای و در برخی موارد کوهی می‌باشد. طبق بررسی میدانی (مشخصات فنی جاده از جمله طول و عرض جاده، وضعیت روسازی و ...)، اکثریت لایه‌رویه در وضعیت نامناسبی با انواع ناهنجاری‌های شدید لایه‌رویه (رد چرخ، مواج شدن، شیار افتادگی و غیره) از جمله چاله قرار داشت (Plan booklet, 2008) .



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش در استان گلستان و ایران
Figure 1. Location of the research area in Golestan province and Iran

روش تحقیق

تصویربرداری و جمع‌آوری داده‌های مبتنی بر پهپاد

ابتدا با جنگل‌گردشی مناطق مورد مطالعه براساس معیارهایی همچون شیب جاده، تاج پوشش، طول و عرض جاده، حجم ترافیک، نوع مصالح مورد استفاده در لایه‌رویه و غیره شناسایی و سپس با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (Global Positioning System)، سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (Differential Global positinng System) و دوربین توتال استیشن (Total Station Theodolite) نقشه‌برداری زمینی انجام شد. در این مرحله ابتدا جاده مورد نظر شناسایی و مشخص گردید سپس با بررسی محدود مشخص شده، موقعیت مکانی خرابی‌های موجود با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی و دوربین توتال استیشن ثبت گردید و مساحت و عمق هر کدام از آنها با استفاده از شاخص و متر لیزری اندازه‌گیری شد (Parsakhoo, A *et al*., 2022). همچنین در این مرحله تعداد ۴۰ نقطه کنترل مشخص و سپس با استفاده از دوربین توتال و دستگاه شمیم موقعیت دقیق آنها در در حد یک سانتی‌متر برداشت شد. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار Pix4 dmapper جهت طراحی شبکه و تنظیم پارامترهای دوربین مواردی از قبیل تعیین ارتفاع پرواز، پوشش‌های طولی و عرضی بهینه، وجود و یا عدم وجود تیلت، سرعت مناسب پرنده، تعیین فاصله کانونی و سرعت شاتر (Shutter Speed)، ضریب شفافیت لنز (F-Stop)، وضوح‌یاب و لرزش‌گیر خودکار (Auto focus and stabilizer) و میزان حساسیت سنسور دوربین نسبت به نور موجود (International Organization for Standardization) مورد بررسی و تنظیم قرار گرفت. همچنین جهت اخذ تصاویر باکیفیت و تولید محصولات فتوگرامتری، قبل از انجام عملیات پرواز، مواردی از قبیل بررسی شرایط توپوگرافی، نوری، آب و هوایی، جهت باد، محدودیت‌های مخابراتی و مقررات داخلی نیز بررسی گردید. پس از انجام موارد فوق، طراحی پرواز با توجه به پارامترهایی همچون فاصله نمونه‌برداری زمینی (Ground Sample Distance)، پوشش تصاویر، ارتفاع پرواز، فاصله کانونی، هندسه شبکه فتوگرامتری، محدوده کاری، محل نقاط کنترل و همچنین طراحی محل نشست و برخاست پرنده با توجه به میزان ثبات پروازی و راه‌های دسترسی انجام شد. سپس پهپاد در امتداد جاده در ارتفاع ۶۰ متری از سطح زمین به صورت کاملا اتوماتیک پرواز و بر اساس برنامه پرواز

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

تصویربرداری انجام گرفت. پهپاد مورد استفاده در این مطالعه کوادکوپتر مدل فانتوم ۴ پرو ساخت شرکت DJI بود که دارای دوربینی با قدرت تفکیک مکانی ۱۲ مگاپیکسل می‌باشد. سایر مشخصات در شکل ۲ ارائه شده است.

نام دستگاه	فانتوم ۴ پرو
محصول	Dji
کشور سازنده	چین
برد قابل کنترل	۵ کیلومتر
سرعت پرواز	۷۲ کیلومتر برساعت
نوع پرواز	دستی و خودکار
نحوی کنترل	دستی و رادیویی
مدت زمان پرواز	۳۰ دقیقه
دوربین	۱۲ مگاپیکسل
فاصله کانونی	۸ میلی‌متر
ابعاد عکس	۳۶۴۸ × ۵۴۷۲ میلی‌متر
ابعاد حسگر	۸/۸ × ۱۲/۲ میلی‌متر

شکل ۲- پهپاد فانتوم ۴ پرو و مشخصات ان
Figure 2. Phantom 4 Pro UAV and its specifications

محاسبات فتوگرامتری

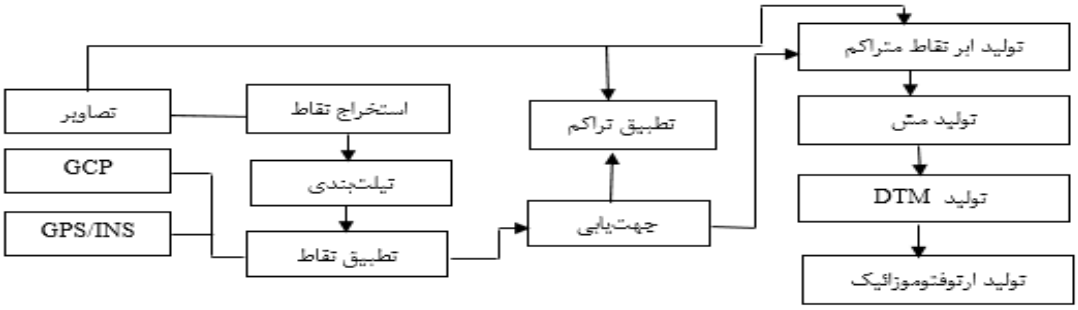
در محاسبات فتوگرامتری پس از اخذ و بررسی بصری تصاویر در صورت لزوم پیش‌پردازش انجام شد و تصاویری که از کیفیت پایین‌تری از نظر روشنایی، فوکوس و تاری بودند، حذف شدند. در مرحله بعد پردازش تصاویر و تهیه محصولات فتوگرامری از قبیل ارتوفتوموزائیک و مدل رقومی ارتفاعی زمین (Digital Elevation Model) در محیط نرم‌افزار Agisoft طی مرحله زیر انجام شد.

مرحله اول Align کردن تصاویر بود. در این مرحله جهت تشکیل بلوک فتوگرامتری و انجام عملیات توجیه نسبی بر روی مدل‌های تولیدشده در حالت Highest در هر تصویر مختصات سه‌بعدی و المان‌های دوربین تولید گردید. در مرحله بعدی با استفاده از نقاط کنترل زمینی تصاویر ژئورفرنس گردید. سپس با انتخاب زوج تصاویر استریو، تولید تصاویر اپیپولار، تناظریابی متراکم تصویری، تولید نقشه نابرابری (Disparity Map)، بازسازی سه‌بعدی ابرنقاط هر مدل استریو و تلفیق ابرنقاط مدل‌های استریو مختلف مبتنی بر روش‌های بهینه‌سازی مطرح در استریو چند نمایی (Multiple View Stereo)، ابرنقاط متراکم (Dense Cloud) ساخته شد. در مرحله بعد جهت تبدیل سطح گسسته‌ی ابرنقاط به سطح پیوسته، مش (Mesh) تولید گردید و پس از ساخت مش بر روی آن بافت (Texture) اعمال شد. سپس با عملیات فیلترینگ به صورت خودکار و با صحت و سرعت بالا مدل رقومی ارتفاعی زمین و ارتوفتوموزائیک تولید گردید. فلوچارت مرحله محاسبات فتوگرامتری در شکل ۳ نشان داده شده است.

پیش‌پردازش و بهبود تصاویر و حذف مناطق حاشیه‌ای غیر جاده‌ای

پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین و ارتوفتوموزائیک به‌منظور کاهش محتوای نویز و بهبود تصویر به‌گونه‌ای که چاله‌ها از پیش‌زمینه متمایز شوند مجموعه‌ای از فیلترهای سطح پایین و سطح بالا استفاده شد. سپس شبکه جاده‌ها بر روی تصویر ارتو پیش‌بینی و با توجه به عرض قطعه جاده، مناطق راه مربوطه استخراج شد. سپس اشیاء مزاحم و غیر هدف در سطح جاده با استفاده از اعمال حد آستانه حذف، سپس برای شناسایی خرابی‌ها روش آشکاری سازی لبه اعمال شد. با اعمال روش آشکارسازی لبه درجات خاکستری در محل خرابی‌ها به‌صورت نقطه یا رمپ ظاهر می‌شود. برای تقویت خرابی‌ها شناسایی شده، تجزیه و تحلیل اجزای متصل فیلتر مورفولوژیکی Top-Hat انجام شد. این کار باعث گردید که چاله‌های اولیه استخراج‌شده تقویت و به‌جای پیکسل‌ها به‌عنوان اشیاء تصویر در نظر گرفته شوند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]



شکل ۳- مراحل تهیه تصویر ارتوفتوموزائیک
Figure 3. The steps of preparing an ortho-photomosaic image

آماده‌سازی داده‌ها و انتخاب ویژگی‌ها

با توجه به قدرت تفکیک مکانی زیاد تصاویر سطح جاده، از الگوریتم تقسیم‌بندی چند وضوح (Multiresolution Segmentation) یکپارچه شده در نرم‌افزار توسعه‌دهنده eCognition 9.0 برای استخراج چاله‌ها از تصاویر لایه‌رویه استفاده شد (Pan *et al.*, 2017). این الگوریتم تک تک اشیاء تصویر با اندازه یک پیکسل (پیکسل لایه ورودی تصاویر پهپاد با رزولوشن ۱ سانتی‌متر) را شناسایی و آنها را بر اساس معیارهای همگنی نسبی با همسایگان خود ادغام می‌کند. این معیار همگنی ترکیبی از معیارهای طیفی و شکلی است که از طریق پارامتر مقیاس جامع محاسبه می‌شود. مقادیر بالاتر برای پارامتر مقیاس منجر به اشیاء تصویر بزرگتر و مقادیر کوچکتر در موارد کوچکتر می‌شود (Dadrasjavan *et al.*, 2019). با این‌حال، انتخاب یک پارامتر مقیاس مناسب برای استخراج چاله‌ها دشوار است. کنتراست، یکی از ویژگی‌های بافت محاسبه‌شده بر اساس ماتریس هم‌وقوع سطح خاکستری (Gray Level Co-occurrence Matrix) برای اندازه‌گیری تغییرات در مناطق دارای ناهنجاری (خرابی‌های لایه‌رویه) و غیرناهنجاری در مطالعه انتخاب شد. فرمول محاسبه کنتراست به‌صورت زیر است:

$$\text{Contrast} = \sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=1}^{N-1} P_{i,j}\,(i-j)^2 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

i و j به ترتیب تعداد سطر و ستون GLCM، P(i,j) مقدار موجود در سلول i,j و N تعداد سطرها یا ستون‌ها است.

وجود نمونه به‌مقدار مناسب برای تست و اعتبارسنجی الگوریتم یادگیری ماشینی ضروری است. در این مطالعه دو طبقه سطح جاده دارای چاله و سطح جاده بدون چاله تعریف شد. با توجه به این‌که مقادیر پیکسل در یک مکان به‌دلیل تفاوت روشنایی ناشی از زاویه تابش خورشید متفاوت است منجر به درجاتی از تفاوت بین نتایج تقسیم‌بندی یک هدف حاصل از تصاویر مختلف شد. از این‌رو، آماده‌سازی مجموعه داده‌ها طبق مراحل زیر انجام شد. تمام تصاویر مربوط به جاده به‌صورت جداگانه تقسیم‌بندی و با توجه به توزیع ارزش متفاوت هر ویژگی، نرمال‌سازی آن بر اساس رابطه (Ameri and Golchin, 2005) اجرا شد.

$$X_{Norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

X_{Norm} بردار ویژگی نرمال شده، X_{max} و X_{min} به‌ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل ویژگی X هستند. در نتیجه، مقادیر همه ویژگی‌ها در محدوده یکسانی از صفر تا یک هستند که باید کارایی همگرایی الگوریتم‌های یادگیری را افزایش دهد. به‌منظور بررسی قابلیت‌های هر نوع ویژگی در تشخیص چاله‌ها، شش ترکیب از سه نوع ویژگی به هر الگوریتم طبقه‌بندی (ویژگی‌های طیفی، هندسی، بافت، طیفی و هندسی، هندسی و بافت، و ویژگی‌های طیفی، هندسی و بافت) معرفی شد.

جدول ۱- مجموعه ویژگی‌های انتخاب شده
Table 1. Selected feature complex

طیف	بافت	هندسه
RGB	میانگین	مساحت
میانگین	تضاد	عرض / طول
انحراف معیار	همگنی	تناسب بیضوی
	عدم شباهت	جهت اصلی
	همبستگی	گرد بودن
	آنتروپی	شاخص شکل

آشکارسازی چاله‌ها و طبقه‌بندی

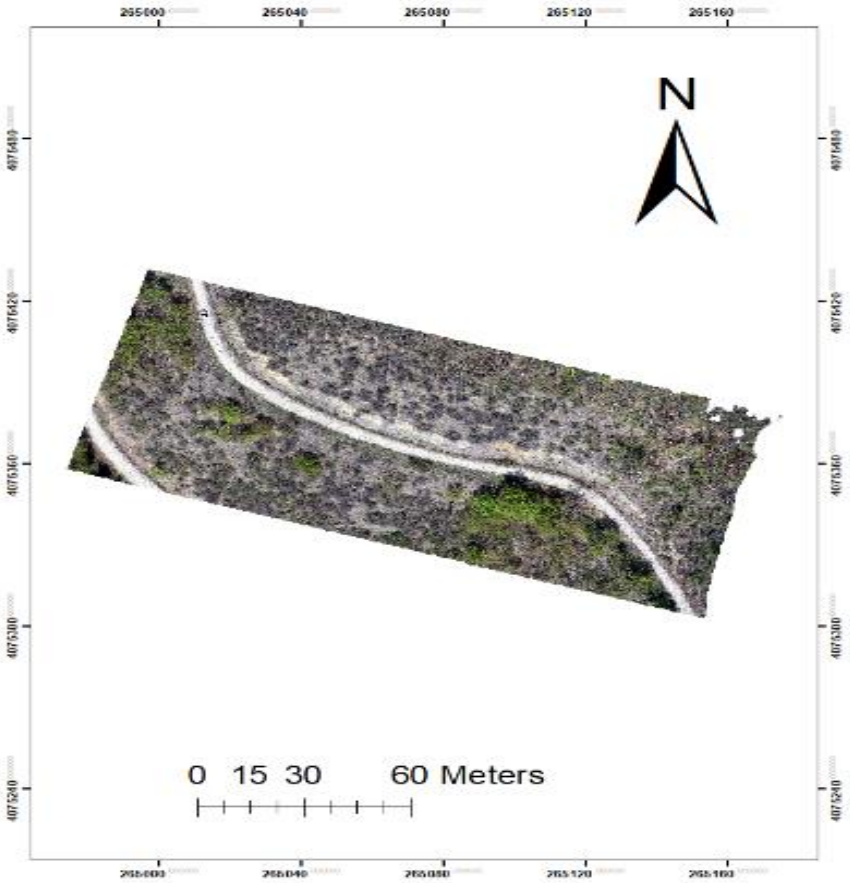
سه طبقه‌بندی‌کننده نظارت شده شامل K- نزدیک‌ترین همسایه یا ماشین بردار پشتیبان و نزدیک‌ترین همسایه برای شناسایی چاله‌ها در این مطالعه انتخاب شدند. به‌منظور بررسی صحت پیش‌بینی الگوریتم‌های یادگیری برای هر الگوریتم، یک مدل با استفاده از داده‌های آموزشی تهیه می‌شود. داده‌های آموزشی شامل دو کلاس چاله و غیر چاله بودند. در

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

طبقه‌بندی ابتدا ویژگی کلاس چاله و غیر چاله استخراج و شناسایی گردید و سپس در آموزش الگوریتم به‌عنوان فاکتورهای قابل بررسی وارد و درخت تصمیم براساس ویژگی‌های استخراج شده این داده‌ها یک شبکه نظارت شده جهت کلاسه‌بندی تصاویر به دو کلاس چاله و غیرچاله ایجاد کرد. در طی فرآیند طبقه‌بندی، از روش اعتبارسنجی متقابل برای طبقه‌بندی نمونه‌های آموزشی استفاده شد. نمونه‌های آموزشی به‌طور تصادفی بر اساس نسبت یک به سه نمونه‌گیری شدند که در آن ۷۰ درصد از داده‌های آموزشی برای آموزش مدل طبقه‌بندی و ۳۰ درصد بقیه به‌عنوان مجموعه اعتبارسنجی برای اعتبارسنجی صحت مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج و بحث

پس از انجام عملیات طراحی پرواز و هدایت پرنده به‌صورت خودکار، تصاویر توسط پهپاد فانتوم ۴ پرو با مشخصاتی پروازی ذکر شده در جدول ۲ اخذ گردید. شکل ۴ نمونه ای از تصویر اخذ شده توسط پهپاد می‌باشد.



شکل ۴- ارتوفتوموزاییک منطقه تصویربرداری شده و موقعیت آن در جنگل شصت کلاته
Figure 4. Orthophotomosaic of the imaged area and its location in Shasat Kalate forest

در این تصاویر ناهنجاری‌های لایه‌رویه جاده به خوبی مشخص است.

جدول ۲- مشخصات پرواز توسط دوربین فانتوم ۴ پرو
Table 2. Flight characteristics by Phantom 4 Pro camera

مشخصات پروازی فانتوم ۴ هنگام تهیه تصاویر	
حالت پرواز	خودکار
ارتفاع پرواز	۶۰ متر
سرعت پرواز	۵ متر
درصد پوشش	۸۵
ISO	۱۰۰
تعداد تصاویر اخذ شده	۲۵۸۳

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

در این پژوهش صحت طبقه‌بندی به‌عنوان شاخص مهم عملکرد سه الگوریتم یادگیری انتخاب شد. صحت طبقه‌بندی به‌عنوان نسبت تعداد نمونه‌های موفق طبقه‌بندی شده و کل نمونه‌ها تعریف می‌شود. جدول ۳ صحت طبقه‌بندی برای سه روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه، K- نزدیک‌ترین همسایه و بردار پشتیبان را با استفاده از ویژگی‌های به‌کارگرفته شده برای این الگوریتم‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه، K -نزدیک‌ترین همسایه و بردار پشتیبان

Table 3. classification results Nearest Neighbor, K- Nearest Neighbor and Support Vector Machines

روش طبقه بندی	کلاس		کلاس پیش‌بینی شده		
			چاله	بدون چاله	صحت کاربر (٪)
K - نزدیک‌ترین همسایه (KNN)	کلاس واقعی	چاله	۴۱	۲	۹۵/۳۴
		بدون چاله	۳	۴۲	۹۳/۳۳
		صحت تولید کننده (٪)	۹۳/۱۸	۹۵/۴۵	۹۴/۳۱
	صحت کلی (٪) : ۹۴/۳۱			ضریب کاپا (٪) : ۰/۸۸	
ماشین بردار پشتیبان(SVM)	کلاس واقعی	چاله	۴۳	۲	۹۵/۵۵
		بدون چاله	۱	۴۲	۹۷/۶۷
		صحت تولید کننده (٪)	۹۷/۷۲	۹۵/۴۵	۹۶/۵۹
	صحت کلی (٪) : ۹۶/۵۹			ضریب کاپا (٪) : ۰/۹۳	
نزدیک‌ترین همسایه (NN)	کلاس واقعی	چاله	۴۱	۴	۹۱/۱۱
		بدون چاله	۳	۴۰	۹۳
		صحت تولید کننده (٪)	۹۳/۱۸	۹۰/۹	۹۲/۰۴
	صحت کلی (٪) : ۹۲/۰۴			ضریب کاپا (٪) : ۰/۸۴	

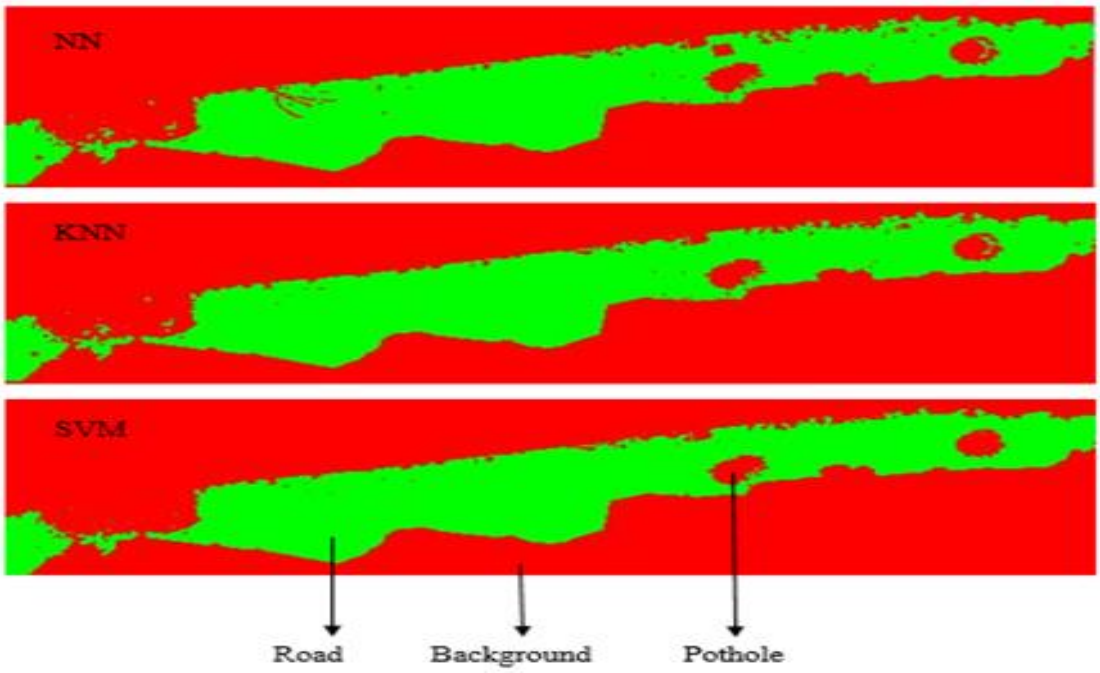
نتایج طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم K- نزدیکترین همسایه مطابق جدول ۳ نشان می‌دهد که صحت این الگوریتم با توجه به ویژگی‌های به کار گرفته شده برابر ۹۴/۳۱ درصد است؛ که این میزان صحت نشان از کارایی خوب این نوع الگوریتم در شناسایی و طبقه‌بندی چاله‌ها دارد؛ که این نتایج با کار (Parsakhoo *et al*., 2021) که میزان خرابی‌ها را با صحت ۹۶ درصد به دست آورده بودند همخوانی داشت. همچنین نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان طبق جدول ۳ نشان می‌دهد که صحت این طبقه‌بندی با توجه به ویژگی‌های به کار گرفته شده برابر۹۶/۵۹ درصد است این نتایج حاکی از این است که الگوریتم یاد شده خیلی خوب در تشخیص چاله‌ها عمل کرده است. علت صحت بالای روش ماشین بردار پشتیبان به‌کارگیری تمام ویژگی‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی می‌باشد که نتایج حاصل با کار (Pan *et al*., 2017; Fakhri *et al*., 2021; Dadrasjavan *et al*., 2019) همخوانی دارد. که در طبقه‌بندی نهایی، از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با سه کلاس ویژگی طیفی، بافتی و هندسی استفاده کردند. نتایج تولیدشده در تشخیص خرابی‌ها، دقتی در حدود ۷۵ درصد را با واقعیت زمینی نشان داد. همچنین نتایج طبقه‌بندی به‌روش نزدیک‌ترین همسایه با توجه به ویژگی‌های طیفی، هندسی و بافتی به‌کار گرفته شده دارای صحت کلی ۹۲/۰۴ درصد است. این میزان صحت با توجه سایر تحقیقات انجام گرفته که مبنای صحت مناسب را بالای ۷۰ درصد در نظر گرفته‌اند، حاکی از صحت مناسب این روش است هر چند در مقایسه با دو روش دیگر این روش از صحت کمتری برخوردار بوده است. علت صحت پایین این روش مربوط به‌کارگیری ویژگی طیفی، هندسی و بافتی کمتر نسبت به دو روش دیگر است که با نتایج حاصل با کار (Hartgen *et al*., 2014) مطابقت دارد، یعنی هرچه ویژگی مورد استفاده در طبقه‌بندی بیشر باشد میزان صحت روش بیشتر می‌باشد. با توجه به پیچیدگی تصاویر هوایی و بافت غیر یکنواخت و تنوع در شکل، اندازه و ظاهر چاله‌ها در سطح جاده‌های غیرآسفالته، می‌تواند برای یک فرآیند خودکار قابل‌قبول باشد.

مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی

در این بخش، نتایج طبقه‌بندی با هر سه الگوریتم، ماشین بردار پشتیبان، K- نزدیک‌ترین همسایه و نزدیک‌ترین همسایه را با هم مقایسه گردید تا نشان داده شود که کدام روش صحت بالاتری در طبقه‌بندی داشته است. طبقه‌بندی حاصل از ماشین بردار دارای صحت و ضریب کاپا به‌ترتیب ۹۶/۵۹ و ۰/۹۳ بود. که نشان دهنده صحت بسیار بالای این روش در برآورد چاله‌ها می‌باشد. روش طبقه‌بندی K- نزدیک‌ترین همسایه دارای صحت و ضریب کاپا به ترتیب ۹۴/۳۱ و ۰/۸۸ بود. که نشان دهنده صحت خوب این روش است. روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه دارای صحت و ضریب کاپا به‌ترتیب ۹۲/۰۴ و ۰/۸۴ بود. هرچند که این روش در مقایسه با دو روش دیگر صحت پایین‌تری دارد ولی این یک صحت خوب محسوب می‌شود (شکل ۵).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]



شکل ۵- مقایسه نتایج روش طبقه‌بندی NN ,KNN و SVM
Figure 5. Comparison of the results of classification methods NN, KNN and SVM

نتایج طبقه‌بندی که با ماشین بردار پشتیبان، K-نزدیک‌ترین همسایه و نزدیک‌ترین همسایه به‌دست آمد به‌طور همزمان با هم مقایسه شد (جدول ۶). از نتایج حاصل می‌توان جهت تأیید نتایج طبقه‌بندی استفاده کرد. مقایسه روش‌های مختلف در جدول ۸ نشان داده شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان دارای صحت بیشتری در مقایسه با دو روش دیگر است. هر نوع الگوریتم‌های یادگیری بر اساس مجموعه خاصی از پارامترها و ویژگی‌ها که به‌کار گرفته شده می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. الگوریتم‌هایی که از ویژگی‌های بیشتری استفاده می‌کنند، معمولاً عملکرد بهتری در تشخیص خرابی‌ها دارند که نتایج حاصل با کار (Pazhouhan *et al*., 2017) مطابقت دارد. الگوریتم یادگیری، (ماشین بردار پشتیبان، K-نزدیک‌ترین همسایه و نزدیک‌ترین همسایه) و نتایج حاصل از آنها نشان داد که هر سه الگوریتم به‌کار رقته در این مطالعه دارای صحت بالای ۰/۹۲ بودند، که با نتایج حاصل با کار (Pan *et al*., 2017) که الگوریتم‌های با میزان صحت بالای ۹۰ درصد را به‌عنوان الگوریتم مناسب جهت طبقه‌بندی معرفی کرد مطابقت دارد. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با صحت ۹۶/۵۹، دارای صحت بیشتری جهت شناسایی و طبقه‌بندی خرابی‌ها لایه‌رویه جاده نسبت به دو الگوریتم دیگر است علل این امر این است که ماشین بردار پشتیبان از ویژگی بیشتر در طبقه‌بندی استفاده کرد است. هرچه تعداد ویژگی‌های به‌کار گرفته شده در یک الگوریتم بیشتر باشد طبقه‌بندی و نتایج حاصل از آن بهتر می‌شود. بنابرین صحت آن بالاتر است و به عنوان الگوریتم مناسب‌تر در طبقه‌بندی چاله‌ها معرفی می‌شود. این نتایج با کار (Hartgen *et al*., 2014; Lopes *et al*., 2014) مطابقت دارد. صحت بالای ماشین بردار پشتیبان نشان دهنده این است که برآورد چاله‌ها با این روش نسبت به دو روش دیگر قابل اعتمادتر است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم‌هایی در طبقه‌بندی و شناسایی لایه‌رویه سطح جاده کابرد بیشتری دارند که دارای صحت بالاتری باشند. در این مطالعه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان به‌دلیل صحت بالا در تشخیص و شناسایی خرابی‌های لایه‌رویه جاده جنگلی، به‌عنوان الگوریتم مناسب معرفی شد.

جدول ۶- مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی
Table 6. Comparison of different classification methods

روش طبقه‌بندی	صحت کلی (٪)	ضریب کاپا (٪)
نزدیک‌ترین همسایه (NN)	۹۲/۰۴	۰/۸۴
K- نزدیک‌ترین همسایه (KNN)	۹۴/۳۱	۰/۸۸
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	۹۶/۵۹	۰/۹۳

نتیجه‌گیری کلی

فناوری سنجش از دور به‌عنوان یک روش مناسب برای کنترل و پایش جاده‌ها از دیرباز موردتوجه قرار گرفته است. پهپاد یک پلت‌فرم انعطاف‌پذیر است که می‌تواند با انواع مختلف سنسورهای سنجش از راه دور برای نظارت بر وضعیت لایه‌رویه استفاده شود. شناسایی و تشخیص خرابی لایه‌رویه جاده به‌صورت خودکار و با استفاده از تصاویر رقومی حاصل از پهپاد از جهات مختلف مفید و مقرن به‌صرفه است. تهیه تصاویر لایه‌رویه جاده با استفاده از پهپاد و اعمال فنون فتوگرامتری بر روی این تصاویر سبب تهیه مدل رقومی سطح زمین و ارتوفتوموزائیک با صحت بالا می‌شود که این مزیت این امکان را به‌وجود می‌آورد که در مرحله بعدی با استفاده از این تصاویر و تکنیک مربوط به پردازش تصویر، وضعیت لایه‌رویه در کمترین زمان ممکن به‌صورت خودکار مورد ارزیابی قرار بگیرد و اطلاعات جامع و کامل در اختیار نهادهای مربوطه جهت تعمیر و نگهداری قرار دهد. بازدید میدانی جاده‌ها توسط کارشناسان می‌تواند بسیار وقت‌گیر و پرهزینه باشد. از طرفی دخیل بودن طبع و نظر برداشت کننده، انجام عملیات تکراری و کسل کننده موجب کاهش صحت در تهیه اطلاعات و داده‌های به‌دست آمده در سطح شبکه می‌شود. برای بررسی خودکار وضعیت لایه رویه جاده‌ها می‌توان از اسکنرهای لیزری استفاده کرد. این ابزارها بسیار گرانقیمت بوده و هزینه خرید و تعمیر و نگهداری آنها بالاست. پهپادها در حقیقت با هزینه‌های بسیار منطقی‌تری نسبت به دیگر تجهیزات هوابرد تهیه شده و قادر به برآورد و پایش بسیاری از پارامترهای جنگل به صورت دوره‌ای هستند. با در دسترس بودن طیف وسیعی از حسگرهای قابل نصب بر روی این تجهیزات، این امکان حاصل می‌شود تا تصاویری متفاوتی با تفکیک‌های مکانی مختلف برداشت شود (Kargar *et al.*, 2022). ازاین‌رو استفاده از تصاویر پهپاد جهت آشکارسازی و استخراج خرابی جاده‌ای، نیازی ضروری در مدیریت و پایش وضعیت جاده‌ها به‌نظر می‌رسد. به‌این‌ترتیب می‌توان با هزینه‌ای نسبتاً پایین این کار را به‌صورت خودکار انجام داد. بنابراین در این پژوهش، با استفاده از مجموعه‌ای از تصاویر رقومی به‌دست آمده توسط پهپاد روشی خودکار جهت شناسایی و تشخیص خرابی لایه‌رویه با استفاده از الگوریتم یادگیری ارائه شد. سپس میزان صحت این روش مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین پس از تهیه تصاویر و تولید ارتوفتو موزائیک سطح جاده نمونه آموزشی مربوط به خرابی چاله تهیه و سپس با استفاده از سه الگوریتم یادگیری (ماشین بردار پشتیبان، K- نزدیک‌ترین همسایه و نزدیک‌ترین همسایه) پردازش و طبقه‌بندی تصاویر صورت گرفت. پس از پردازش و طبقه‌بندی تصاویر نتایج حاصل نشان داد که پهپاد مورد استفاده عملکردی مناسب در شناسایی و تشخیص خرابی‌ها داشت. در تشخص و شناسایی ناهنجاری جاده الگوریتم‌هایی که از ویژگی‌های بیشتری استفاده می‌کنند، معمولاً عملکرد بهتری دارند. الگوریتم‌های یادگیری (ماشین بردار پشتیبان، K- نزدیک‌ترین همسایه و نزدیک‌ترین همسایه) به‌کار گرفته شده در این پژوهش و نتایج حاصل از آنها نشان داد که هر سه الگوریتم دارای صحت بالای ۰/۹۲ هستند. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با صحت ۹۶/۵۹، دارای صحت بیشتری جهت شناسایی و طبقه‌بندی خرابی‌ها لایه‌رویه جاده نسبت به دو الگوریتم دیگر است. صحت بالای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نشان دهنده این است که برآورد چاله‌ها با این روش نسبت به دو روش دیگر قابل اعتمادتر است. بنابراین می‌توان ماشین بردار پشتیبان به‌دلیل صحت بالا در تشخیص و شناسایی خرابی‌های لایه‌رویه جاده جنگلی، به‌عنوان الگوریتم مناسب معرفی گردید.

تشکر و قدردانی

از بنیاد ملی علم ایران (معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری) برای حمایت مالی از این پروژه (طرح پژوهشی شماره ۴۰۰۰۸۲۷) قدردانی می‌کنیم.

References

Abdi, A., & Majnounian, B. (2018). Forest road maintenance. University of Tehran press.Tehran, Iran. 327pp (In Persian).

Ameri, M., & Golchin, B. (2005). Familiarity with the concepts of pavement management system, Ministry of Roads and Transportation, Deputy Minister of Research and Technology Education. Tehran: Transportation Research Institute, Iran (In Persian).

Cheng, H., Chen,J., Glazier, C., & Hu, Y. (1999). Novel approach to pavement cracking detection based on fuzzy set theory. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13 (4), 270–280. doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(1999)13:4(270).

Cubero-Fernandez, A., Rodriguez-Lozano, F. J., Villatoro, R., Olivares, J., & Palomares, J. M. (2017). Efficient pavement crack detection and classification. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 39 (1) , 1-11. doi:10.1186/s13640-017-0187-0.

Dadrasjavan, F., Zarrinpanjeh, N., & Ameri, A. (2019). Automatic Crack Detection of Road Pavement Based 2 on Aerial UAV Imagery. Preprints 2019 (In Persian). doi:10.20944/preprints201907.0009.v1

Dobson, T.C., Colin, B., , Chris, R., Melanie, W., & David, D. (2014). Collecting Decision Support System Data Through Remote Sensing of Unpaved Roads. *Journal of the Transportation Research Board*, 2433 (1),108 – 115. doi.org/10.3141/2433-12.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]

Fakhri, S. A., Saadatseresht, M., Varshosaz, M., & Zakeri, H. (2021). Evaluation of UAV Photogrammetric capability in Road Pavement Cracks Detection. *Journal of Civil Engineering Amirkabir*, 45(5), 1705- 1730 (In Persian). doi: 10.22060 / ceej.2021.19815.7263

Hajek, J., & Phang, W. (1986). Prioritization and Optimization of Pavement Preservation Treatments, *Journal of Transportation Researcll Record*, 126(1), 58-68. http://worldcat.org/isbn/0309048125.

Hartgen, D.T., Fields, M.G., & Feigenbaum, B. (2014). Performance of State Highway Systems. Los Angeles: Reason Foundation.

Haas, R. (1994). Modern pavement management, Krieger Publishing Company, Malabar. American.

Hudson, W.R., Haas, R., & Pedigo, R.D. (1979). Pavement management system development Washington, Transportation Research Board.

Kamkar Rouhani, A., Ishaqi, A., & Arab Miri, A. (2012). Processing and interpretation of ground penetration radar data in order to identify subsurface cavities and study stratification, granulation and estimation of clay in shallow subsurface sediments. *Journal of Earth and Space Geophysics*. 38(4), 155-173 (In Persian). doi:10.22059/JESPHYS.2013.30213

Kargar, M. R., Khabazi, F., & Hesabi, A. (2022). Evaluation Crown Height Model Extracted from the UAV in Individual Tree Detection in Sisangan Forest Park. *Journal of Ecology of Iranian Forest*. 10 (20),193-203 (In Persian). doi: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.9.6

Kim, H., Soleymani, H., Han, H., & Nam, H. (2006). Evaluation of asphalt pavement crack sealing performance using image processing technique. The International Association for Automation and Robotics in Construction, 341–345. doi.org/10.22260/isarc2006/0066.

Kiss, K., Malinenc, J., & Tokola, T. (2015). Forest road quality control using ALS data. *Canadian. Journal of Forest Research*. 45(1), 1636–1642. doi:10.1139/cjfr-2015-0067.

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. doi:10.1016/j.aei.2015.01.008

Leonardi, G., Barrile, V., Palamara, R., Suraci, F., & Candela, G. (2018). 3D Mapping of Pavement Distresses Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System, International Symposium on New Metropolitan Perspectives, Systems and Technologies. 101(1),164-171. doi:10.1007/978-3-319-92102-0_18.

Lopes, M., Zhao, D., Chailleux, E., Kane, M., Gabet, T., Petiteau, C., & Soares, J. (2014). Characterization of ageing processes on the asphalt mixture surface. 2nd International Symposium on, Asphalt Pavements et Environnement,15(1), 477–487. doi:10.1080/14680629.2014.922656.

McGhee, K.H. (2004). Automated Pavement Distress Collection Technique Synthesis of Highway Practice; National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board: Washington, DC, USA.

Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K., Christofe, A., Pilakoutas, K., & Hadjimitsis, D. (2015). Monitoring asphalt pavement damages using remote sensing techniques. The Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, 9535, 1-12. doi:10.1117/12.2195702.

Mokhtaria, S., Wub, L., & Yunc, H. B. (2016). Comparison of Supervised Classification Techniques for Vision-Based Pavement Crack Detection. *Journal of The Transportation Research Board*. (1), 13-17. (In Persian). doi: 10.3141/2595-13

Pan, Y., Zhang, X., Sun, M., & Zhao, P. (2017). Object-Based and Supervised Detection of Potholes and Cracks from the Pavement Images Acquired by UAV. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 4(4), 9-17. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-209-2017

Parsakhoo, A., Rezaei Motlagh, A., Matin Nia, B., & Gholami, Z. (2022). Effect of the Road Technical and Drainage Properties on Roadside Landslides in Watershed 85 in Golestan Province. *Ecology of Iranian Forest*. 10 (19):47-55 (In Persian). Doi: 10.52547/ifej.10.19.47

Pazhouhan, I., Najafi, A., Rouhani, A., & Vahidi, J. (2017). Extraction of Individual Tree Parameters by Using Terrestrial Laser Scanner Data in Hyricanian Forest, *Journal of ECOPERSIA*, 5(3),1837-1847 (In Persian). doi :10.18869/modares.Ecopersia.5.3.1837

Plan booklet. (2008). Forestry plan of Dr. Bahram Nia. 1(1), 235-238 (In Persian).

Schnebele, E., Tanyu, B. F., Cervone, G., & Waters, N. (2015). Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment. *Journal of European Transport Research Review*, 7(7), 1-19.doi: 10.1007/s12544-015-0156-6.

Shatai Joibari, Sh. (2014). Remote Sensing Fundamentals textbook. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan.Iran (In Persian).

Zhang, S., & Bogus, S. M., (2014). Use of Low-cost Remote Sensing for Infrastructure Management. The Construction Research Congress, Atlanta, 1299-1308. doi.org/10.1061/9780784413517.133.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-29]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.22.5.3]
[DOI: 10.61186/ifej.11.22.110]