



University of Tehran Press

ECO HYDROLOGY

Home Page: <https://ije.ut.ac.ir>

Online ISSN: 2423-6101

Evaluation of Parametric and Non-Parametric Models in Estimating Canopy Cover Density of Zagros Forests Using Remote Sensing and Machine Learning

Sajad Alie Mahmudi Sarab,^{1*}  Mohammad Hadi Moayeri,²  Mohammad Mirzavand,³ 
Shaban Shataee Jouibary,⁴  Alireza Rashki⁵ 

1. Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran; E-mail: sajadali9@yahoo.com
2. Associate Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran; Email: moayeri38@yahoo.com
3. Assistant Prof., School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran; Email: MMirzavand@ut.ac.ir
4. Professor., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran; E-mail: shataee@gau.ac.ir
5. Associate Prof., Department of Desert and Arid Zones Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; Email: arrashki@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received April 07, 2025
Received in revised form May 13, 2025
Accepted June 06, 2025
Available online June 22, 2025

Keywords:

Poliades,
Canopy Cover Percentage,
Multiple Linear Regression,
Remote Sensing,
Artificial Neural Network.

ABSTRACT

Research Topic: Evaluation of Parametric and Non-Parametric Models in Estimating Canopy Cover Density of Zagros Forests Using Remote Sensing and Machine Learning

Objective: This study aims to compare parametric and non-parametric methods for estimating the percentage of forest canopy cover in a section of the Zagros ecosystem.

Method: In order to achieve the research objective, field sampling was conducted to determine the percentage of canopy cover, and high-resolution satellite imagery was utilized. The vegetation indices TSAVI, NDVI, and WDV were calculated. Subsequently, the values derived from the vegetation cover indices at the sample plots were extracted using the Zonal Statistics function in ArcGIS. Multiple linear regression and artificial neural networks were employed to estimate vegetation density. To compare the performance of these two models, the metrics RMSE, RMSE%, and R^2 were utilized.

Results: The results indicated that the MLR model achieved an R^2 value of 0.54 and an RMSE% of 10.4 at a 0.05 confidence level, while the MLP model yielded an R^2 of 0.82 and an RMSE% of 4.5.

Conclusions: The comparative analysis demonstrated that the artificial neural network (MLP) provided more accurate estimates with lower error rates than the multiple linear regression (MLR) method in predicting vegetation density.

Cite this article: Alie Mahmudi Sarab, S., Moayeri, M.H., Mirzavand, M., Shataee Jouib, Sh., Rashki, A. (2024). Evaluation of Parametric and Non-Parametric Models in Estimating Canopy Cover Density of Zagros Forests Using Remote Sensing and Machine Learning. *ECOHYDROLOGY*, 12(2), 749-761. <http://doi.org/10.22059/ije.2025.397227.1873>



© Sajad Alie Mahmudi Sarab, M.H. Moayeri, Mohammad Mirzavand, Shaban Shataee Jouib
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2025.397227.1873>

Materials and Methods

To assess the percentage of canopy cover in the selected area, a systematic random sampling method was initially employed. The entire area was divided into a grid with dimensions of 200 × 400 meters. At the intersections of the grid lines, 1,200 sample plots were established, and the variables of tree density (number per hectare) and canopy cover percentage were calculated for each individual plot and subsequently for the overall area.

For the purpose of utilizing vegetation indices, high-resolution satellite imagery from the Pleiades satellite was acquired and subjected to preprocessing. This satellite provides two sets of data: one with a spatial resolution of 50 centimeters (panchromatic band) and another with multispectral data at a resolution of 2 meters. During the geometric correction process, ground control points were utilized to accurately position the pixels in their true locations within the imagery. Typically, polynomial equations of degrees 1, 2, and 3 are employed for geometric correction, necessitating 3, 6, and 10 control points, respectively.

To estimate tree canopy cover percentage, the aforementioned satellite images were used to derive remote sensing-based vegetation indices. Specifically, the indices TSAVI1, NDVI, and WdVI were computed. In this study, multiple linear regression (using the Enter method) was applied to estimate canopy cover percentage based on these vegetation indices. The assumptions of regression analysis—including independence of errors, homoscedasticity, and normality of the dependent variable—were thoroughly evaluated.

In the neural network modeling phase, the values of the vegetation indices NDVI, WdVI, and TSAVI1 corresponding to the sample plot locations were input as independent variables. The canopy cover percentage obtained from ground sampling within the sample plots served as the dependent output variable.

Results

This study explored the correlation between the NDVI, TSAVI, and WdVI indices and the percentage of canopy cover in sample plots by utilizing the Zonal Statistical function within ArcGIS. The normality of the dependent variable was validated using the Kolmogorov-Smirnov test, which indicated a normal distribution at a significance level of 0.05. Both Pearson and Spearman correlation tests demonstrated significant relationships between the vegetation indices and canopy cover. However, multicollinearity was detected between the WdVI and TSAVI indices, necessitating the exclusion of WdVI from the analysis. The results of the multiple linear regression revealed an R^2 value of 0.54 and a root mean square error (RMSE) of 10.4%.

For optimal modeling, a neural network comprising two layers, with four neurons in each layer, was constructed, achieving a coefficient of determination of 0.81. This model effectively predicted the relationship between canopy cover percentage and the vegetation indices. Furthermore, the findings indicated a substantial reduction in the area of dense forest (defined as having over 40% canopy cover) alongside an increase in the area classified as having less than 25% canopy cover throughout the study period.

Conclusion

In conclusion, the utilization of high-resolution images for estimating vegetation density demonstrates significant advantages when employing artificial neural networks, with estimation accuracy exceeding that of multiple linear regression methods. It is recommended that future studies compare various algorithms of artificial neural networks and evaluate their respective results.

Data Availability Statement

It is a part of Ph.D thesis which is undergoing in the Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Baghmalek County Department of Natural Resources and Watershed Management for their support.

Ethical considerations

The authors avoided from data fabrication and falsification.

Funding

No fund.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ارزیابی مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک در تخمین تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از سنجش از دور و یادگیری ماشین

سجاد عالی محمودی سراب،^{۱*} محمدهادی معیری،^۲ محمد میرزاوند،^۳ شعبان شتایی،^۴ علیرضا راشکی^۵

۱. استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: sajadali9@yahoo.com
۲. دانشیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: moayeri38@yahoo.com
۳. استادیار گروه علوم و فناوری‌های محیطی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران. رایانامه: MMirzavand@ut.ac.ir
۴. استاد، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: shataee@r.ac.gau
۵. استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: arrashki@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	موضوع: ارزیابی مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک در تخمین تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از سنجش از دور و یادگیری ماشین.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸	هدف: هدف از انجام این تحقیق مقایسه روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک در برآورد درصد تاج‌پوشش جنگل در بخشی از اکوسیستم زاگرس بود.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳	روش تحقیق: برای رسیدن به هدف تحقیق از نمونه برداری میدانی جهت تعیین درصد تاج پوشش و تصویر ماهواره‌ای با اندازه تفکیک مکانی بالا پلی‌آدیاس استفاده شد و شاخص‌های TS-AVI، NDVI و WDVI تهیه گردید. سپس ارزش‌های حاصل از تهیه شاخص‌های پوشش گیاهی در محل قطعات نمونه با استفاده از تابع Zonal statistical در Arc GIS استخراج و از رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد تراکم پوشش گیاهی استفاده شد. برای مقایسه این دو مدل از متغیرهای RMSE، RMSE% و R^2 استفاده شد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۶	یافته‌ها: نتایج رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که میزان R^2 و RMSE% در سطح اعتماد ۰/۰۵ به ترتیب برابر ۰/۵۴ و ۱۰/۴ بود. همچنین نتایج شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که میزان R^2 و RMSE% به ترتیب برابر ۰/۸۲ و ۴/۵ به دست آمد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱	نتیجه‌گیری: نتایج مقایسه مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه عصبی ضمن خطای کمتر، برآورد بهتری نسبت به رگرسیون خطی چندگانه در برآورد تراکم پوشش گیاهی دارد.
کلیدواژه‌ها: پلی‌آدیس، درصد تاج‌پوشش، رگرسیون خطی چندگانه، سنجش از دور، شبکه عصبی مصنوعی	

استناد: عالی محمودی سراب، سجاد؛ معیری، محمدهادی؛ میرزاوند، محمد؛ شتایی، شعبان؛ راشکی، علیرضا. ارزیابی مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک در تخمین تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از سنجش از دور و یادگیری ماشین. مجله اکوهیدرولوژی، ۱۲(۲)، ۷۶۱-۷۴۹.

<http://doi.org/10.22059/ije.2025.397227.1873>



© سجاد عالی محمودی سراب، محمدهادی معیری، محمد میرزاوند، شعبان شتایی، علیرضا راشکی.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

جنگل‌های زاگرس از جمله مناطق مهم و بالارزش منابع طبیعی ایران است که به علت نقشی که در ذخیره آب‌های زیرزمینی، حفاظت خاک و دیگر خدمات اقتصادی-اجتماعی ایفا می‌کنند، از اهمیت بسیاری برخوردارند (پیرباوقار، ۱۳۹۱). بنابراین شناخت هرچه بیشتر این اکوسیستم به منظور مدیریت بهتر آن ضروری است (میلر، ۲۰۰۳). از آنجا که اطلاع از وضعیت کمی جنگل بیشتر از طریق عملیات میدانی به دست می‌آید که به خاطر هزینه زیاد و زمان‌بر بودن و عدم دسترسی به همه قسمت‌های جنگل مقرون به صرفه نیست (لیو^۲ و همکاران، ۲۰۰۴)، برای رفع این معضل، روش‌های سنجش از دور به عنوان یک ابزار ارزشمند در این راستا معرفی و استفاده شده‌اند (شتایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ لبوئف، ۲۰۱۲). از جمله روش‌های غیرمستقیم می‌توان به روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش‌های رگرسیون و سایر روش‌های مبتنی بر داده‌های محیطی و سنجش از دور اشاره کرد. برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور در داخل و خارج از کشور مطالعات زیادی انجام شده است (وفایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ پرما و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین از ترکیب‌های نسبت‌گیری برای ایجاد شاخص‌های پوشش گیاهی مختلف نیز بهره برده شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۶). لذا در تحقیق پیش رو به منظور برآورد درصد تاج‌پوشش گیاهی در منطقه حفاظت‌شده کوه آرزو در شهرستان باغملک، از عملیات میدانی و شاخص‌های پوشش گیاهی شامل شاخص TSAVI، شاخص NDVI و شاخص WDVی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای پلی‌آدیس پس از تصحیحات هندسی و بررسی‌های طیفی لازم استفاده شد.

پیشینه پژوهش

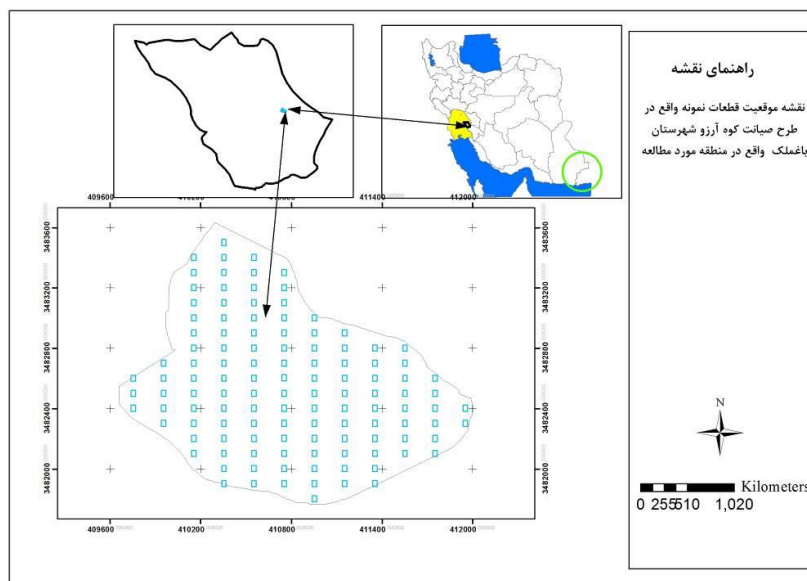
فودی^۴ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از سنجنده TM و نمونه‌برداری میدانی به مقایسه مدل‌های رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد زی‌توده جنگلی در برزیل پرداختند. اوتکی و بلاسک^۵ (۲۰۱۰) با استفاده از سه مدل SVM, MLC و DTS به بررسی و ارزیابی تغییرات پوشش زمین پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که هر سه مدل از دقت بالای ۹۰ درصد برخوردار بودند. آرخی و ادیب‌نژاد (۱۳۹۰) به بررسی و مقایسه کارایی دو روش پارامتریک و ناپارامتریک جهت کارایی طبقه‌بندی کاربری اراضی حوضه سد ایلام پرداختند. ایشان بیان کردند که روش‌های ناپارامتریک (SVM) نسبت به روش‌های پارامتریک (حداکثر احتمال) برتری دارند. گودرزی، عباس‌پور و خاکباز (۱۳۹۱) به مقایسه سه روش SVM، حداکثر احتمال و شبکه عصبی برای تفکیک واحدهای زمین‌شناسی پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که روش SVM بیشترین مقدار صحت کلی نسبت به دو روش دیگر داشته و برابر ۸۳ درصد بود. شجاعیان و همکاران (۱۳۹۳) به مقایسه روش‌های پارامتریک (حداقل فاصله و جعبه‌ای) و ناپارامتریک (SVM) در طبقه‌بندی پوشش گیاهی در شهرستان دزفول پرداختند. بدین منظور از داده‌های لندست استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که روش SVM نسبت به روش‌های پارامتری از دقت مطلوب‌تری برخوردارند. راهداری و همکاران (۱۳۹۲a) به بررسی تغییرات درصد تاج‌پوشش جنگل در پناهگاه حیات‌وحش موته از ۲۹۰ محل نمونه‌برداری زمینی و شاخص‌های پوشش گیاهی مختلف ماهواره‌ای پرداختند و از رگرسیون و ضریب همبستگی و روش‌های مقایسه‌ای پس از طبقه‌بندی استفاده کردند. در تحقیقی دیگر راهداری و همکاران (۱۳۹۲b) به بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداختند. نوریان و شتایی جویباری (۱۳۹۳) قابلیت سنجنده‌های کوئیک‌برد، ترا، ASTER و TM لندست با قدرت تفکیک مکانی متفاوت در تفکیک توده‌های خالص جنگل کاری پرداختند؛ این تحقیق که با تأکید بر شاخص‌های طیفی در جنگل کاری سری ۱ شصت کلاته گرگان انجام شده بود، نشان داده است در صورتی که بتوان بین شاخص‌های پوشش گیاهی و مطالعات میدانی رابطه معقولی ایجاد کرد، استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های محیطی دیگر که هزینه و زمان انجام آنالیزها برای رسیدن به هدف را افزایش می‌دهند، لزومی نخواهد داشت.

1. Miller
2. Lu
3. Leboeuf
4. Foody
5. Otukey & Blaschke

روشناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

ناحیه رویشی زاگرس وسیع‌ترین منطقه جنگلی کشور با بیش از ۵/۵ میلیون هکتار وسعتی معادل حدود ۴۰ درصد کل جنگل‌های کشور را در بر می‌گیرد (کوچپیده و کیخسروی، ۱۳۸۷). منطقه مورد مطالعه شامل بخش‌های از جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس واقع که در شمال استان خوزستان و در شهرستان باغملک به نام منطقه حفاظت‌شده کوه آرزو است. گونه غالب این اکوسیستم بلوط ایرانی است. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی ۴۹۶۰۰ تا ۴۱۲۰۰۰ و عرض جغرافیایی ۳۴۸۰۰۰ تا ۳۴۸۳۶۰۰ قرار دارد و میزان مساحت آن برابر ۲۴۹/۵ هکتار است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش قطعات نمونه طراحی‌شده در طرح صیانت کوه آرزو واقع در شهرستان باغملک

برداشت داده‌های میدانی

به منظور نمونه‌برداری درصد تاج‌پوشش جنگل در محدوده انتخاب‌شده، ابتدا با استفاده از روش نمونه سیستماتیک تصادفی کل محدوده شبکه‌ای شد. ابعاد این شبکه ۴۰۰×۲۰۰ متر بود. سپس در محل برخورد محورهای شبکه قطعات نمونه ۱۲۰۰ برداشت گردید و متغیرهای تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش در هر قطعه نمونه و در نهایت برای کل عرصه محاسبه گردید (زبیری، ۱۳۸۴). برای نمونه‌برداری تعداد ۱۲۰ قطعه نمونه با ابعاد ۴۰×۳۰ متر بر روی شبکه‌ای با ابعاد ۲۰۰×۱۰۰ متر پیاده شد (چین، ۱۹۳۸). برای تعیین تعداد قطعه نمونه لازم، آماربرداری مقدماتی انجام شد. سپس تعداد قطعه نمونه در رابطه با درصد انحراف از معیار ۳۹ درصد و درصد اشتباه آماربرداری به احتمال ۹۵ درصد کمتر از ۷ درصد محاسبه شد. از آنجاکه کل محدوده انتخاب‌شده ۲۴۷/۶۴ هکتار بود، تعداد ۱۲۰ قطعه نمونه روی نقشه پیاده و از این تعداد ۱۱۶ قطعه نمونه برداشت شد. تعداد ۴ قطعه نمونه به دلیل عدم امکان اجرا و شیب تند دامنه برداشت نشد. سپس با استفاده از آماربرداری زمینی جنگل گردشی متغیرهای تعداد درختان در هر پلات، قطر تاج درختان در هر قطعه نمونه برداشت شد. سپس آمارهای تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش در هکتار نیز محاسبه گردید. با توجه به اینکه از مجموع کل تعداد قطعه نمونه‌ها به علت شیب تند، فقط ۱۱۶ پلات برداشت شد، آمارهای مورد هدف از محاسبات انجام‌شده بر روی این ۱۱۶ قطعه نمونه به دست آمد. برای محاسبه تعداد قطعه نمونه در هکتار و درصد تاج‌پوشش از روابط ۱-۳ تا ۵-۱ استفاده شد (زبیری، ۱۳۸۴):

$$n = \frac{t \times (Sx\%)^2}{(E\%)^2} \quad N_{ha} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{((132 \times 1200) / 10000)} \quad CCi = \tau / 4(CD1 \times CD2) \quad \overline{CC} = \frac{\sum_{i=1}^n CCi}{n} \quad CC\% = \frac{N_{ha} \overline{CC}}{100}$$

۱

۲

۳

۴

۵ رابطه

در روابط فوق، n مقدار قطعه نمونه، N_{ha} برابر تعداد در هکتار، CC_i درصد تاج پوشش، $\overline{CC}$ متوسط سطح تاج تک درخت و $CC\%$ درصد تاج پوشش است.

محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

تصاویر ماهواره پلای آدیس

به منظور استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا پلای آدیس تهیه شد و پیش پردازش لازم صورت گرفت. این ماهواره دارای دو سری داده با توان تفکیک ۵۰ سانتی متری (باند Pan) و چندطیفی با توان تفکیک ۲ متر (Multispectral) است. باندهای چندطیفی شامل چهار باند آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک (NIR) و یک باند پانکروماتیک بوده که باندهای چندطیفی بعد از ترکیب رنگی تا ۰/۵ متر قابل بهبود هستند. محدوده رادیومتری باند پانکروماتیک آن بین ۴۷۰-۸۳۰ و برای باندهای چندطیفی برابر سبز ۵۰۰-۶۲۰ برای باند آبی ۴۳۰-۵۵۰، ۵۹۰-۷۱۰ قرمز و برای باند مادون قرمز نزدیک ۷۴۰-۹۴۰ نانومتر است. همچنین توان تفکیک رادیومتری ۱۱ بیت در هر پیکسل و زمان طی مدار ۹۳/۶ دقیقه است. عرض نوار برداشت از نادیر برابر ۲۰ کیلومتر است.

تصحیحات هندسی

در تصحیح هندسی به کمک نقاط کنترل زمینی پیکسل‌ها در موقعیت واقعی خود در تصویر قرار می‌گیرند. برای انجام تصحیح هندسی تصاویر معمولاً از معادله‌های چندجمله‌ای ۱، ۲ و ۳ استفاده می‌شود که به ترتیب ۳، ۶ و ۱۰ نقطه کنترل لازم دارند (زیری و مجد، ۱۳۷۵). در این تحقیق، از ۱۱ نقطه کنترل زمینی و از تابع درجه دوم در نرم افزار PCI Geomatica استفاده شد. همچنین برای نمونه‌گیری مجدد از روش نزدیک‌ترین همسایه بهره برده شد. میزان RMSE به دست آمده کمتر از یک پیکسل و به ترتیب ۰/۲۹ پیکسل به دست آمد. همچنین بعد از ژئورفرنس شدن تصاویر با استفاده از مسیر جاده‌ها بر روی نقشه ۱/۲۵۰۰۰ مورد بررسی چشمی قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد که تصاویر اخذ شده دارای خطاهای رادیومتری نبودند. برای بررسی اثرات اتمسفری از روش دامنه هیستوگرام استفاده شد. بعد از انجام پیش پردازش‌های مناسب تصاویر مذکور با استفاده از نرم افزار ENVI₅، شاخص‌های پوشش گیاهی تهیه گردید. همچنین ارزش‌های شاخص‌های پوشش گیاهی تولید شده در محل قطعات نمونه که مرکز آن‌ها با استفاده از GPS دوفرکانسه ثبت شده بود، استخراج شدند. به منظور انجام رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی برای بررسی رابطه بین داده‌های زمینی و ارزش‌های شاخص‌های استخراج شده، به ترتیب از نرم افزار SPSS₁₆ و NeuroSolutions₇ استفاده شد. در نهایت، خروجی‌های دو تصویر مورد مقایسه قرار گرفتند. بدین منظور برای انجام و تحلیل رگرسیون، ۷۵ درصد داده‌های نمونه برداری و ۲۵ درصد مابقی داده‌ها برای تست مدل کنار گذاشته شد. همچنین به منظور ایجاد و بررسی کارایی شبکه عصبی، ۶۵ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد برای تست و ۱۵ درصد اعتبارسنجی مدل استفاده شد. سپس نتایج برآورد تاج پوشش گیاهی حاصل از رگرسیون خطی چندگانه با نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شد.

برآورد درصد تاج پوشش درختان

به منظور بررسی برآورد درصد تاج پوشش درختان از تصاویر فوق‌الذکر برای ایجاد شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش از دور استفاده شد. بدین منظور شاخص‌های TS_{AVI1} ، $NDVI$ و $WDVI$ تهیه شدند (جدول ۲). برای تهیه شاخص‌های TS_{AVI1} و $WDVI$ ضرایب اصلاح خط خاک (L)، شیب خط (a) و عرض از مبدأ خط خاک ضروری است. متغیر L از رابطه $L=1-2a \times NDVI \times WDVI$ و a و b ضرایب خط رگرسیونی بین ارزش پیکسل‌های باند مادون قرمز و قرمز در مناطق فاقد پوشش گیاهی است (ریچاردسون و ویگ، ۱۹۷۷). دامنه متغیر L بین ۰ تا ۱ است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، درصد پوشش گیاهی کاهش و اثر بازتاب خاک پس زمینه افزایش می‌یابد، به طوریکه مقدار صفر بیانگر پوشش گیاهی انبوه است (راهداری و همکاران، ۱۳۹۲). (b)

جدول ۲. شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش از دور

منبع	فرمول	نام شاخص گیاهی
(Rouse, 1974)	$NIR-Red / NIR+Red$	Normalized Differential Vegetation Index (NDVI)
(Clevers, 1978)	$NIR-a. RED$	Weighted Difference Vegetation Index (WDVI)
(Baret et al. 1989)	$a \times (NIR-a \times REDb) / a \times NIR+RED-ab$	Transformed Soil Adjuste Vegetation Index(TSAVI1)

NIR, RED, a و b به ترتیب باند قرمز، مادون قرمز نزدیک، ضریب اصلاحی خاک، شیب خط خاک و عرض از مبدأ خط خاک هستند.

مدل خطی رگرسیون چندگانه

در این تحقیق، برای برآورد میزان درصد تاج پوشش با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی از رگرسیون خطی چندگانه Enter استفاده شد. به منظور استفاده از رگرسیون مفروضات آن (استقلال خطا، هم‌راستایی و نرمال بودن متغیر وابسته) در نظر گرفته شد (رضایی ارشد و همکاران، ۱۳۹۱).

شبکه عصبی مصنوعی

یکی از روش‌های کارآمد در حل مسائل پیچیده، شکستن آن به زیرمسئله‌های ساده‌تر است که هرکدام از این زیربخش‌ها به‌نحو ساده‌تری قابل درک و توصیف باشند (کیا، ۱۳۸۹). مدل یک عصب باید شامل ورودی‌هایی باشد که در نقش سیناپس انجام وظیفه کنند. این ورودی‌ها در وزن‌هایی ضرب می‌شوند تا قدرت سیگنال را تعیین کنند. درنهایت، یک عملگر ریاضی تصمیم‌گیری می‌کند که عصب فعال شود یا خیر (میرزاوند و همکاران، ۱۳۹۴).

مدل ریاضی شبکه‌های عصبی مصنوعی

اگر جواب مثبت باشد، میزان خروجی را مشخص می‌کند. مدل ساده‌ای برای توصیف یک نرون در شکل (۲) نشان داده شده است. در این مدل، p ورودی شبکه، w وزن، b بایاس و y خروجی شبکه است. یکی از عمده‌ترین الگوریتم‌های این روش پرسپترون چندلایه است، که برای پیش‌بینی پدیده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (فتی‌پور جلیلیان و نجبا، ۱۳۸۸). مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ساختار پرسپترون که بهترین و کارآمدترین عملکرد را دارند، با استفاده از نرم‌افزار NeuroSolution انجام گرفت. همچنین از تابع انتقال سیگموئید که رایج‌ترین تابع انتقال در شبکه عصبی مصنوعی است، در لایه‌های مخفی استفاده شد. در شبکه‌های از نوع پس‌انتشار خطا قاعده‌ای برای تعیین تعداد لایه پنهان و تعداد نرون جود ندارد (ولی و همکاران، ۱۳۸۹). در مدل‌سازی شبکه عصبی ارزش‌های شاخص‌های پوشش گیاهی $NDVI$ ، $WDVI$ ، $TSAVI1$ در محل مقاطعات نمونه به‌عنوان داده‌های ورودی و درصد تاج پوشش در قطعات نمونه حاصل از نمونه‌برداری زمینی به‌عنوان متغیر خروجی وارد شدند. روش عمومی برای به دست آوردن روش سعی و خطا و البته تجربه دیگر محققان است (فیض‌نیا، عسگری و معظمی، ۱۳۸۶). به‌منظور آموزش و ارزیابی شبکه، کل داده‌ها به‌طور تصادفی به سه بخش آموزشی^۱ (۶۵ درصد)، اعتبارسنجی^۲ (۱۵) و آزمون^۳ (۲۵ درصد) دسته‌بندی شدند (امیریوسف و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعه حاضر برای آموزش تعداد ۲ لایه مخفی و در هر لایه ۴ نرون، ۱ نرون در لایه خروجی استفاده شد. برای هر شبکه (ANN) ابتدا در یک ترکیب پیش‌فرض و با تکرارهای متفاوت ضریب تبیین و خطا مورد بررسی قرار گرفت تا درنهایت مدل با کمترین خطا (RMSE) و بالاترین ضریب تبیین انتخاب شد.

1. Terrain
2. Validation
3. Test

توجه به مقادیر ضریب تبیین و مقدار خطا، مزیت مدل‌های مختلف را نسبت به هم نشان می‌دهد. بنابراین به منظور مقایسه بین مدل رگرسیون خطی چندگانه با شبکه عصبی مصنوعی از آماره‌های ضریب تبیین، RMSE و RMSE% استفاده شد؛ روابط ۸ تا ۱۰ (وفایی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{Estimated}} - Y_{\text{Target}})^2}{n}} \quad \text{RMSE\%} = \frac{\text{RMSE}}{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}} \times 100 \quad R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{Estimated}} - Y_{\text{Target}})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{Estimated}} - Y_{\text{Mean}})^2}$$

نتائج

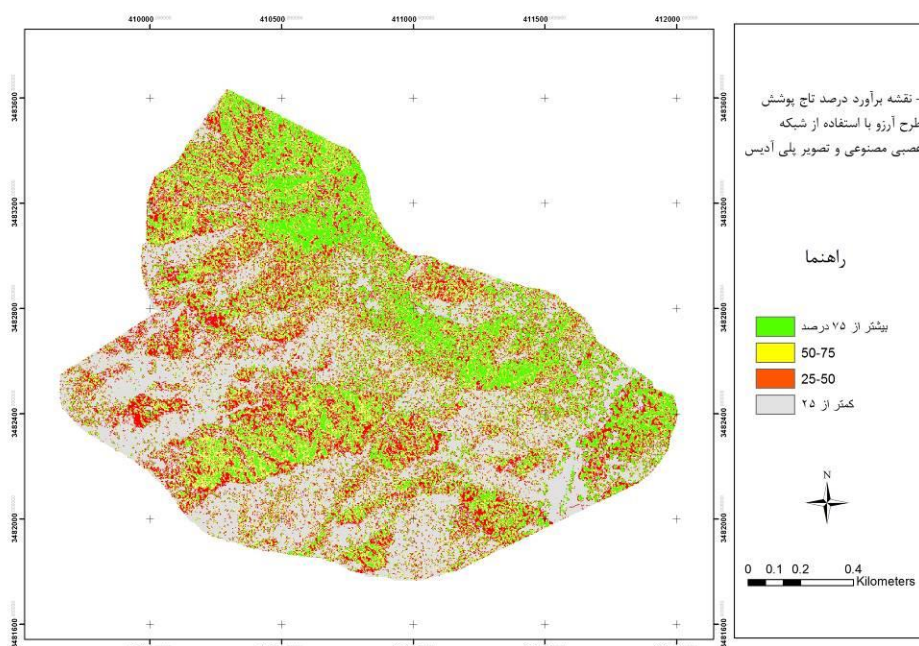
منطقه مورد مطالعه از طریق روش سیستماتیک با شروع نقطه تصادفی مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. نتایج نمونه‌برداری نشان داد که تعداد در هکتار برابر ۸۶/۶ اصله در هکتار و درصد تاج‌پوشش برابر ۲۰/۵ درصد است.

با توجه به نزدیکی زمان نمونه‌برداری از طبیعت و زمان اخذ تصویر پلی‌آدیس، ابتدا از مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی با کمک داده‌های برداشت‌شده در عملیات میدانی و شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور حاصل از این تصاویر استفاده شد. سپس اثر خاک پس‌زمینه بین باند قرمز و مادون قرمز نزدیک برای ایجاد شاخص‌های اصلاح‌کننده اثر بازتاب خاک در محل‌های فاقد پوشش گیاهی، میزان ضریب تبیین برابر ۰/۸۷ را نشان داد (رابطه ۱۱). همچنین میزان ضریب اصلاحی L مطابق رابطه (۱۲) به دست آمد.

$$Y=0.66x- 595.49 \quad (11) \text{ ابطء}$$

$$Y=1-2\times0.66NDVI\times WDI \quad (12)$$

به منظور بررسی همبستگی بین شاخص‌های NDVI، TSAVI و WDI و درصد تاج پوشش در قطعات نمونه، ابتدا با کمک تابع Zonal statistical در Arc GIS، ارزش‌های شاخص‌های مختلف استخراج شد و با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌های متغیر وابسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که متغیر وابسته در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ نرمال بود. سپس از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی با درصد تاج پوشش استفاده شد. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داد که همه شاخص‌ها در سطح حدود اعتماد ۰/۰۵ با متغیر وابسته همبستگی نشان دادند. نتایج رگرسیون چندگانه نشان داد که بین شاخص‌های WDI و TSAVI هم‌راستایی وجود داشته و میزان VIF بالاتر از ۱۰ است. بنابراین با توجه به میزان ضریب تبیین و خطای برآورد، متغیر WDI نیز کنار گذاشته شد. همچنین، نتایج مدل نهایی نشان داد که ضریب تبیین و درصد خطای RMSE کاهش محسوسی پیدا نکرد. نتایج رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که میزان R^2 برابر ۰/۵۴ و میزان $RMSE\%$ برابر ۱۰/۴ در سطح اعتماد ۰/۰۵ بود (جدول ۳ و شکل ۴).



شکل ۵. درصد تاج‌پوشش حاصل از تصویر ماهواره‌ای پلی‌آدیس و شبکه عصبی مصنوعی

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نمونه‌برداری نشان داد که از نظر تعداد در هکتار برابر $86/6$ اصله در هکتار، درصد تاج‌پوشش $20/5$ درصد، سطح مقطع برابر $8/75$ متر مربع در هکتار و بیشتر سطح منطقه از نظر درجه شادابی در درجه ۳ قرار دارد. نتایج تحقیق نوشادی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی جنگل‌های زاگرس در شهرستان آبدانان ایلام نشان داد که متوسط تعداد در هکتار و سطح مقطع برابر سینه در هکتار به ترتیب برابر $77/84$ و $9/19$ متر مربع بود که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. مقایسه روش‌های رگرسیون چندگانه خطی با شبکه عصبی مصنوعی در برآورد درصد تاج‌پوشش جنگل نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی توانایی بالاتری در برآورد درصد تاج‌پوشش دارد که با تحقیقات گودرزی، عباسپور و خاکباز (۱۳۹۱)، وفایی و همکاران (۱۳۹۴)، کرمی و همکاران (۱۳۹۶) و آرخی و همکاران (۱۳۹۰) هم‌خوانی دارد. شجاعیان و همکاران (۱۳۹۳) نیز بیان کردند که روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری دقت بالاتری در طبقه‌بندی پوشش گیاهی دارند. همچنین، میزان ضریب تبیین و درصد $RMSE$ به دست آمده حاصل از شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی چندگانه به ترتیب $0/82$ و $11/5$ در برابر $0/54$ و $10/4$ به دست آمد. در این تحقیق از شاخص‌های $NDVI$ ، $TSAVI$ و $WDVI$ استفاده شد و برای برآورد درصد تاج‌پوشش در طبقات تراکمی مورد استفاده از برآورد شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. مختاری و نجفی (۱۳۹۴) در حوزه آبخیز تنکابن به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که دقت ماشین‌بردار پشتیبان ($91/67$ درصد) نسبت به شبکه عصبی ($90/67$ درصد) دقت بالاتری داشته است. همچنین تحقیق آن‌ها نشان داد که روش ماشین‌بردار پشتیبان با اختلاف ۱ درصد در دقت کلی و ۲ درصد در ضریب کاپا ($0/86$)، دارای دقت بالاتری بوده است. هونگ و کلمس^۱ (۲۰۱۲) در اسپانیا به مقایسه دقت روش ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی، حداکثر احتمال و طبقه‌بندی ساختار درختی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داده است که روش ماشین‌بردار پشتیبان بیشترین دقت و حداکثر احتمال کمترین دقت را داشته است. آن‌ها علت برتری ماشین‌بردار پشتیبان را نسبت به دو روش دیگر را در ایجاد مرز تصمیم‌گیری بهینه بیان کردند. ژئو^۲ همکاران (۲۰۱۲) برای استخراج کاربری اراضی در چین از تصاویر ETM^+ از دو روش طبقه‌بندی شبکه عصبی و ماشین‌بردار پشتیبان استفاده کردند. نتایج مقایسه این دو روش نشان داد که در تحقیق آن‌ها هر دو نوع طبقه‌بندی دارای

1. Huang and Klemas

2. Guo

دقت بالای ۹۷ درصد بوده و ماشین بردار پشتیبان دارای دقت کلی ۱/۴ درصد نسبت به روش شبکه عصبی بوده است. گودرزی، عباسپور و خاکباز (۱۳۹۱) به مقایسه روش ماشین بردار پشتیبان با روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی در طبقه بندی تصاویر لندست TM پرداختند. نتایج آن ها نشان داد که روش ماشین بردار پشتیبان با دقت ۸۳/۴۲ درصد بیشترین دقت را نسبت به دو روش دیگر داشته است. بنابراین به طور کلی می توان نتیجه گرفت که برای استفاده از تصاویر با وضوح بالا در راستای برآورد تراکم پوشش گیاهی استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بسیار سودمند بوده و دقت برآورد آن ها بالاتر از روش های رگرسیونی خطی چندگانه است. پیشنهاد می گردد در مطالعات بعدی، الگوریتم های مختلف شبکه عصبی مصنوعی باهم مقایسه شوند و نتایج آن ها مورد مقایسه قرار گیرند.

References

- Amiryousefi, M.R., Zarei, M., Azizi, M., & Mohebbi, M. (2012). Modelling some physical characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruit during ripening using artificial neural network. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 857-867.
- Arekhi, S., & Adibnejad, M. (2011). Efficiency assessment of the of Support Vector Machines for land use classification using Landsat ETM+ data (Case study: Ilam Dam Catchment). *Iranian Journal of Range and Desert Research (IJRDR)*, 18 (3), 420-440. (In Persian)
- Baret, F., Guyot, G., & Mojer, D.J. (1989). *TSVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effectson LAI and APAR estimation* PP. 1355-1358. In Proc. IGARRS 89 Can. Symposium of Remote Sensing 12th, Vancouver, BC, Canada.
- Cain, S.A. (1938). The species-area curve. *American Midland Naturalist*, 19, 573-581.
- Clevers, J.G.P.W. (1978). *The deviation of simplified reflectance model for estimation of leaf area index*.
- Fathipour Jalilian, A., & Najba, M. (2009). *Neural network in SPSS*. Kian publication. 151 p. (In Persian)
- Feiznia, S., Asgari, M.H., & Moazzami, M. (2008). Investigating the applicability of Neural Network method for estimating daily suspended sediment yield (Case study: Zard Drainage Basin, Khozestan Province). *Journal of the Iranian Natural Res*, 60(4), 1199-1210. (In Persian)
- Foody, G.M., Boyd, D.S., & Cutler, M.E.J. (2003). Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions, *Remote Sensing of Environment*, 85, 463-474.
- Goodarzi Mehr, S., Abbaspur, R.A., Ahadnejad, V., & Khakbaz, B. (2012). Comparison of Support Vector Machine, Neural Network, and Maximum Likelihood Methods for the Separation of Lithological Units. *Iranian Journal of Geology*, 6(21). (In Persian)
- Guo, Y., De Jong, K., Liu, F., Wang, X., & Li, C. (2012). A Comparison of Artificial Neural Networks and Support Vector Machines on Land Cover Classification, Springer-verlag Berlin Heidelberg, *Communications in Computer and Information Science ISICA, CCIS*, 316, 531-539.
- Huang, J.L., & Klemas, V. (2012). Using remote sensing of land cover change in coastal watersheds to predict downstream water quality. *J. Coast. Res.* 28, 930-944.
- Karami, O., Fallah, A., Shataei, Sh., & Latifi, H. (2017). Investigation on the feasibility of mapping of oak forest dieback severity using Worldview-2 satellite data (Case study: Ilam forests). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(3), 452-462. DOI: 9.2017.ijfpr/22092.1. (In Persian)
- Kia, M. (2010). *Neural network in Matlab*. Kian publication. 226 p. . (In Persian)
- Kouchpideh, N., & Keykhosravi, D. (2008). History of Natural Resource Evolution in Iran - Forests, Rangelands, and Watershed Management Organization Pooneh Publications. 96 p. (In Persian)
- Leboeuf, A., Fournier, R.A., Luther, J.E., Beaudoin, A., & Guindon, L. (2012). Forest attribute estimation of northeastern Canadian forests using QuickBird imagery and a shadow fraction method. *Forest Ecology and Management*, 266, 66-74.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral response in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management*, 198, 149-167.
- Miller, S.D. (2003). A consolidated technique for enhancing desert dust storm with MODIS, *Geographical research letters NO*, 20pp. 12-1-12-4.
- Mirzavand, M., Ghasemieh, H., Akbari, M., & Sadatinejad, J. (2015). Artificial Neural Network (ANN) Model for Ground Water Quality Simulation (Case study: Kashan aquifer). *Journal of Range and Watershed Management*. 68(1), 159-171. (In Persian)
- Mokhtari, M., & Najafi, A. (2015). Comparison of Support Vector Machine and Neural Network Classification Methods in Land Use Information Extraction through Landsat TM Data. *Jwss*, 19 (72), 35-45. (In Persian)
- Noshadi, H., Namiranian, M., Attarod, P., & Hoseinzadeh, J. (2014). Effect of Physiographic Factors on Mortality of Persian Oak in the Middle of Forests (Case study: Ilam). *Journal of Forest and Wood Products*, 67(1), 73-84. (In Persian)

- Nourian, N., & Shataee Jooybari, Sh. (2014). Capability investigation the different spatial resolution satellites with emphasis on spectral indices for separation of planted pure stands. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 12 (3), 149-166. (In Persian)
- Otukei, J. R., & Blaschke, T. (2010). Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31.
- Parma, R., Shataee, Sh., Khodakarami, Y., & habashi, H.. (2011). Capability Investigation on ETM+ Data for Forest Type Mapping in the Zagros Forests (Case Study Ghalajeh Forests, Kermanshah Province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 18(1), 1-76. (In Persian)
- Pir Bavaghar, M. (2011). Evaluation of capability of IRS-P6 satellite data for predicting quantitative attributes of forests (case study: Northern Zagros forests). *Iranian Journal of Forest*, 3(4), 277-289. (In Persian)
- Rahdari, V., Maleki, S., Soffianian, A.R., Khajeddin, S.J., & Pahlevanravi, A. (2013a). Change detection of canopy cover percentage using satellite data during 1972 to 2008 (case study: Mouteh Wild Life Refuge). *Iranian Journal of Range and Desert Research (IJRDR)*. 20(3), 508- 521. (In Persian)
- Rahdari, V., Soffianian, A.R., Khajeddin, S.J., & maleki, S. (2013b). Identification of Satellite Image Ability for Vegetation Cover Crown Percentage Mapping in Arid and Semi Arid Region (Case study: Mouteh wild life sanctuary). *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(4), 43-54. (In Persian)
- Rezae Arshad, R., Sayyad, GH., Mazloom, M., Shorafa, M., & Jafarnejady, A. (2012). Comparison of Artificial Neural Networks and Regression Pedotransfer Functions for Predicting Saturated Hydraulic Conductivity in Soils of Khuzestan Province. *Jwss*, 16 (60), 107-118.
URL: <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2310-fa.html> (In Persian)
- Richardson, A. J., & Wieg, C. L. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 43, 1541– 1552.
- Rouse, J. W. (1974). Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFS Type III, Final Report, Greenbelt*, MD. 371 pp-NDVI.
- Shataee, Sh., Kalbi, S., & Fallah. A. (2012). Forest attributes imputation using machine-learning methods and ASTER data: comparison of k-NN, SVR and random forest regression algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19), 6254-6280 (In Persian).
- Shojaeeian, A., Mokhtari Chelche, S., Keshtkar, I., & Soleymani rad, E. (2015). Comparing the Performance of Parametric and Nonparametric Methods in Land Cover Classification using Landsat-8 Satellite Images (Case study: A part of Dezful city). *Quarterly of Geographical Data*, 24(93), 53-64. (In Persian)
- Vafaei, S., Pourhashemi, M., Pirbavaghar, M., & Jafari, E. (2016). Applying artificial neural network and multiple linear regression models for estimation of forest density in Marivan forests. *Iranian Journal of Forest*, 7(4), 539-555. (In Persian)
- Vali, A.A., Moayeri, M., Ramesht, M.H., & Movahedinia, N. (2010). A Comparative Performance Analysis of Artificial Neural Networks and Regression Models for Suspended Sediment Prediction. Case Study Alexander Cachment in Zayand Roud Basin. *Physical Geography Research (JPHGR)*, 71(3), 21-30. (In Persian)
- Zobeiri, M. (2005). *Forest inventory*. University of Tehran Press. (In Persian)
- Zobeiri, M., & Majd, A. (2022). *Introduction to Remote Sensing and Its Applications in Natural Resources*. University of Tehran Press. (In Persian)