University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Environmental impact assessment of engineering measures and exploitation on forest ecosystems

Amirreza Esfandyar[1] | Meghdad Jourgholami[2]✉ | Jahangir Feghhi[3]

1. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: amirrezaesfandyar@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mjgholami@ut.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: jfeghhi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 29 May 2024

Received in revised form 31 July 2024

Accepted 08 August 2024

Published online 31 August 2024

Keywords:

Environmental impact assessment,
Forest exploitation,
Kheyrud forest,
Matrix,
Hierarchical analysis.

ABSTRACT

Exploitation operations and related engineering measures have environmental effects and consequences, While if the environmental tips and guidelines are considered in the initial design and planning and there is a correct prediction of the possible consequences of these activities, the amount of harmful environmental consequences in the areas under exploitation operations will decrease. The purpose of this research is the exploitation activities and related engineering in forest ecosystems, as well as providing comprehensive and efficient methods and guidelines for environmental monitoring in all forest ecosystems. For this purpose, a set of effective environmental criteria and indicators from engineering measures and forest exploitation were selected and weighted using the Analytical Hierarchy Process (AHP). Then, by using the obtained weights for the criteria and indicators, the evaluation of the environmental effects was carried out with the help of the weight matrix method. The results of the hierarchical analysis process showed that the soil physics criterion (0.213) has the highest weight among the environmental impact assessment criteria and the pile quality criterion (0.125) has the least weight and importance. Among the environmental indicators, the soil porosity index has the highest weight and the highest priority, and the microbial biomass environmental index has the least importance. The results of the weighted matrix for the environmental impact assessment of the Namkhaneh district of the Kheyrud forest showed that the destruction rate of this part of the forest due to the exploitation activity and engineering measures related to it is average. The highest environmental impact and negative score in the weighted matrix is related to the environmental index of soil nutrients with 22% of the effect in the final total score of the weighted matrix, and the lowest is related to the water erosion index with 6% of the effect in the weighted matrix, which indicates the widespread destruction of soil nutrients due to exploitation in Namkhaneh district. Using the results of the weighted matrix and hierarchical analysis, it is possible to prioritize the environmental indicators and criteria in order to carry out protective and management measures to reduce damage and destruction in forest areas.

Cite this article: Esfandyar, A., Jourgholami, M., & Feghhi, J. (2024). Environmental impact assessment of engineering measures and exploitation on forest ecosystems. *Journal of Natural Environment*, 77 (2), 341-357. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.377262.2679

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.377262.2679

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری بوم‌سازگان‌های جنگلی

امیررضا اسفندیار[۱] | مقداد جورغلامی[۲]✉ | جهانگیر فقهی[۳]

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: amirrezaesfandyar@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mjgholami@ut.ac.ir
۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: jfeghhi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

کلیدواژه‌ها:
ارزیابی اثرات محیط‌زیستی،
بهره‌برداری جنگل،
تحلیل سلسله‌مراتبی،
جنگل خیرود،
ماتریس.

چکیده

عملیات بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن از اثرات و پیامدهای محیط‌زیستی برخوردار هستند، در حالی‌که اگر نکات و دستورالعمل‌های محیط‌زیستی در طراحی و برنامه‌ریزی‌های اولیه مد نظر قرار گیرد و پیش‌بینی درستی از پیامدهای احتمالی این فعالیت‌ها وجود داشته باشد، میزان پیامدهای مخرب محیط‌زیستی در مناطق تحت عملیات بهره‌برداری کاهش می‌یابد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات فعالیت بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن بر بوم‌سازگان جنگلی و همین‌طور ارائهٔ روش و دستورالعملی جامع و کارآمد برای پیامدسنجی محیط‌زیستی این فعالیت در کلیهٔ بوم‌سازگان‌های جنگلی است. به این منظور ابتدا مجموعه‌ای از معیارها و شاخص‌های محیط‌زیستی تأثیرپذیر از اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل انتخاب و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی شد. سپس با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده برای معیارها و شاخص‌ها، نسبت به ارزیابی اثرات محیط‌زیستی با کمک روش ماتریس وزنی اقدام شد. نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که معیار فیزیک خاک (۰/۲۱۳) بالاترین وزن را در بین معیارهای پیامدسنجی محیط‌زیستی داشته و معیار کیفیت توده (۰/۱۲۵) کمترین وزن و اهمیت را دارا است. در میان شاخص‌های محیط‌زیستی شاخص تخلخل خاک بیشترین وزن (۰/۳۱۱) و بالاترین اولویت را دارا بوده و شاخص محیط‌زیستی زیست‌تودهٔ میکروبی (۰/۱۵۳) کمترین اهمیت را دارا است. نتایج حاصل از ماتریس وزنی برای پیامدسنجی محیط‌زیستی بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود نشان‌دهندهٔ تخریبی با شدت متوسط در این بخش جنگلی در اثر فعالیت بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن بوده است. بیشترین تأثیر و امتیاز منفی محیط‌زیستی در ماتریس وزنی مربوط به شاخص محیط‌زیستی مواد مغذی خاک با ۲۲ درصد اثر در مجموع نهایی امتیاز ماتریس وزنی ارزیابی بوده و کمترین آن مربوط به شاخص فرسایش آبی با ۶ درصد تأثیر در ماتریس وزنی است که نشان‌دهندهٔ تخریب گستردهٔ مواد مغذی خاک در اثر بهره‌برداری در بخش نم‌خانه است. با استفاده از نتایج ماتریس وزنی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان نسبت به اولویت‌بندی شاخص‌ها و معیارهای محیط‌زیستی به‌منظور انجام اقدامات حفاظتی و مدیریتی به جهت کاهش آسیب و تخریب در عرصه‌های جنگلی اقدام نمود.

استناد: اسفندیار، امیررضا؛ جورغلامی، مقداد؛ و فقهی، جهانگیر (۱۴۰۳). پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری بوم‌سازگان‌های جنگلی. *محیط زیست طبیعی*، ۷۷ (۲)، ۳۵۷-۳۴۱.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.377262.2679

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

با استفاده از روش‌ها و فرآیندهای مختلف، عملیات بهره‌برداری از جنگل ممکن است به شکل‌های متفاوتی بر اکوسیستم‌های جنگلی تأثیر بگذارند. این تأثیرات شامل مواردی مانند تأثیر بر کیفیت و حجم آب رواناب، تنوع زیستی، زادآوری، کوبیدگی و کاهش حاصلخیزی خاک است (Shahriari *et al*., 2019). بنابراین، انجام یک پیامدسنجی محیط‌زیستی (EIA[۱]) از بهره‌برداری از جنگل‌ها و همین‌طور اقدامات مهندسی وابسته به آن، برای ارزیابی آثار بالقوهٔ محیط‌زیستی بهره‌برداری از جنگل و شناسایی اقداماتی برای کاهش اثرات مخرب آن، اهمیت ویژه‌ای دارد (Labelle and Lemmer, 2019).

ارزیابی آثار محیط‌زیستی و مدیریت جنگل دو فرآیند مرتبط هستند که می‌توانند به یکدیگر کمک کنند. ارزیابی آثار در مدیریت جنگل، باهدف شناسایی اثرات منفی اقدامات انجام شده صورت می‌گیرد (Etehadi Abari *et al*., 2014). ارزیابی آثار محیط‌زیستی می‌تواند به مدیران جنگل کمک کند تا تأثیرات بالقوهٔ فعالیت‌های جنگل‌داری بر محیط‌زیست را شناسایی و ارزیابی کنند. این اطلاعات می‌تواند باعث انتخاب گزینه‌هایی با تأثیر منفی کمتر شود. به‌عبارت‌دیگر EIA روشی برای تعیین جهت یا پیش‌بینی تأثیرات محیط‌زیستی پروژه‌های مدیریت جنگل بر سلامت اکوسیستم جنگلی است (Makhdoum, 2002).

پیامدسنجی محیط‌زیستی فرآیندی گروهی است که در آن متخصصان مختلف به شناسایی و ارزیابی اثرات مثبت و منفی یک طرح، عملیات یا پروژه بر بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و بوم‌شناختی محیط‌زیست می‌پردازند و راه‌حل‌هایی برای کاهش یا حذف اثرات منفی ارائه می‌دهند (Hartmann *et al*., 2012; Grunberg *et al*., 2023). این ارزیابی، گزینه‌های مختلف یک طرح را مقایسه کرده و سعی در ایجاد تعادل بین هزینه‌های اقتصادی و اثرات محیط‌زیستی دارد تا روشی را انتخاب کند که هزینه‌های اقتصادی و منافع محیط‌زیستی مطلوب و متناسبی داشته باشد (Motamedi, 2018).

به‌طورکلی باید گفت اهمیت حفاظت از جنگل‌های ایران و جلوگیری از روند تخریب کمی و کیفی آن‌ها، به‌ویژه جنگل‌های خزری که تنها جنگل‌های تجاری کشورمان هستند، بر کسی پوشیده نیست. این جنگل‌ها از ارزش و اهمیت بالایی برخوردارند و به‌عنوان یکی از منابع توسعه در کشور و همچنین به‌دلیل نقش اکولوژیک مهمی که دارند، نیازمند حفاظت و مراقبت هستند (Marvi Mohadjer, 2005). طی سالیان گذشته، طرح‌های متعددی برای جنگلداری و همین‌طور پروژه‌های بهره‌برداری در ایران اجرا شده است. بااین‌حال، بررسی سوابق این طرح‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد، ملاحظات محیط‌زیستی به‌طور کامل در نظر گرفته نشده است. این بی‌توجهی به محیط‌زیست، منجر به بروز آلودگی‌های مختلف و تخریب و تهی‌سازی منابع طبیعی در کشور شده است (Manori, 2004).

برای پیامدسنجی محیط‌زیستی، روش‌های مختلفی وجود دارد که شامل مواردی مانند کارشناسی ویژه، چک‌لیست، ماتریس، شبکه و تحلیل هزینه–سود است. برای انتخاب روش مناسب، عوامل مختلفی از جمله دسترسی به اطلاعات، متخصصین، زمان، بودجه و فناوری‌های رایانه‌ای باید در نظر گرفته شود (Motamedi, 2018). در این پژوهش، برای ارزیابی اثرات بالقوهٔ محیط‌زیستی بهره‌برداری از جنگل و اقدامات مهندسی وابسته به آن و همین‌طور تعریف اقداماتی برای کاهش اثرات منفی، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP[۲]) برای شناسایی مهم‌ترین معیارها و شاخص‌ها استفاده و سپس بر پایهٔ معیارها و شاخص‌های انتخاب شده با نظر متخصصین دستورالعمل واحدی برای پیامدسنجی محیط‌زیستی ایجاد خواهد شد. تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یک ابزار تصمیم‌گیری است که از مقایسه‌های زوجی و وزن‌ها برای ارزیابی چندین معیار و زیرمعیار استفاده می‌کند (Grošelj *et al*., 2023).

مرور ادبیات نشان می‌دهد در سال‌های اخیر شناسایی و معرفی معیارها و شاخص‌های محیط‌زیستی به جهت پایش و کنترل سلامت بوم‌سازگان‌های جنگلی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است؛ از آن جمله Teymuri و Zarafshar (۲۰۲۲) در بررسی "معرفی شاخص‌های زیستی مناسب جهت پایش کیفیت و سلامت خاک بوم‌سازگان‌های جنگلی" به مطالعهٔ شاخص‌های تنفس میکروبی پایه، تنفس میکروبی برانگیخته و کربن و نیتروژن موجود در زی‌تودهٔ میکروبی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که هرگونه تغییر

[۱] Environmental Impact Assessment

[۲] Analytic Hierarchy Process

مدیریتی در عرصه‌های جنگلی، اعم از جنگل‌شناسی، جنگلداری و یا بهره‌برداری، باید در جهت حفظ جمعیت‌های میکروبی خاک و فعالیت آنها باشد تا کیفیت و سلامت خاک آسیب نبیند. همچنین در مطالعه‌ای روی رایج‌ترین معیارها و شاخص‌های مورداستفاده برای ارزیابی پایداری عملیات بهره‌برداری در هر یک از سه رکن اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی توسط Grünberg و همکاران (۲۰۲۳) با مرور سیستماتیک مطالعات مرتبط انجام شده، معیارهای مورد استفاده در شرایط مختلف (شامل: ماشین‌های بهره‌برداری، مناطق جغرافیایی، شیب اراضی، زمان، نوع پژوهش و روش‌های جنگل‌داری) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین توجه در مطالعات انجام شده به بعد محیط‌زیستی (۴۶٪) معطوف بوده است، به‌دنبال آن بعد اقتصادی (۳۸٪) و سپس بعد اجتماعی (۱۶٪) قرار دارند. به‌عبارت دیگر، مطالعات مربوط به ابعاد اجتماعی پایداری عملیات بهره‌برداری کمترین سهم را داشته‌اند. در میان رده‌های مختلف معیارها، بهره‌وری (۱۵٪)، هزینه‌ها (۱۰٪)، مواد مغذی خاک (۹٫۵٪) و فشردگی خاک (۹٪) به‌ترتیب بیشترین میزان بررسی را به‌خود اختصاص داده‌اند. در مطالعه‌ای دیگر در زمینهٔ ارزیابی اثرات محیط زیستی بهره‌برداری از جنگل توسط Lotfalian و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر چوبکشی بر تنوع زیستی زادآوری درختی و پوشش علفی در اطراف مسیر چوبکشی پرداخته شد. براساس نتایج به‌دست آمده، مشخص شد که مقادیر اسیدیته، هدایت الکتریکی، ازت، پتاسیم، کلسیم و کربن خاک در فواصل مختلف از مسیر چوبکشی اختلاف معنی‌داری ندارند. همچنین، میانگین شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی در فواصل مختلف از مسیر چوبکشی نیز اختلاف معنی‌داری ندارد. از این‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که تنوع زیستی زادآوری درختی و پوشش علفی در اثر چوبکشی تغییری نکرده است. همچنین Etehadi Abari و همکاران (۲۰۱۸) به مطالعه‌ای در زمینهٔ تغییرات رواناب و رسوب در پی تغییر برخی ویژگی‌های خاک در اثر بهره‌برداری جنگل پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که تغییرات در پوشش تاجی و گیاهی ناشی از بهره‌برداری جنگل، تأثیر معنی‌داری بر میزان رواناب و رسوب دارند. همچنین، براساس یافته‌های این پژوهش، رابطهٔ معنی‌دار و مثبتی بین درصد رس و وزن مخصوص ظاهری خاک با میزان رواناب وجود دارد؛ در حالی‌که درصد اسیدیته، ماسه، و مواد آلی با مقدار رواناب رابطهٔ معنی‌دار و منفی دارند.

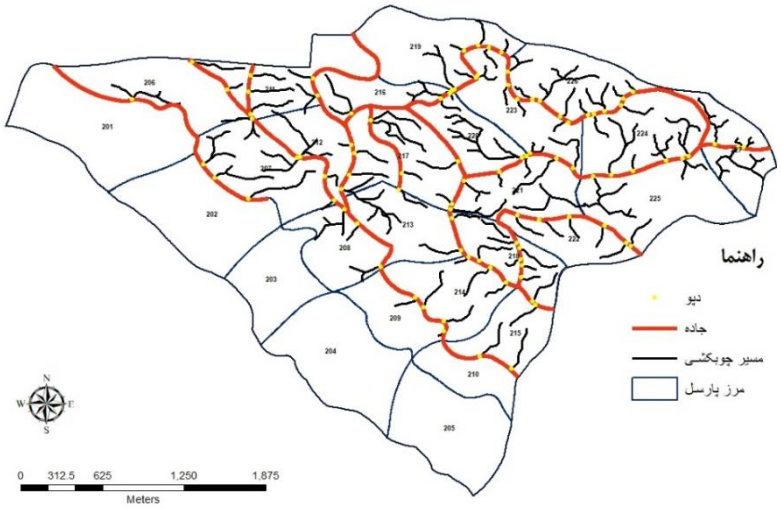
پژوهش حاضر با ارائهٔ یک ارزیابی کامل از اثرات محیط‌زیستی بالقوهٔ بهره‌برداری از جنگل و اقدامات مهندسی وابسته به آن و شناسایی اقداماتی مؤثر برای کاهش اثرات منفی، به توسعهٔ یک رویکرد پایدار برای بهره‌برداری از جنگل کمک خواهد. هدف از این پژوهش شناسایی مهم‌ترین معیارها و شاخص‌ها برای سنجش پیامدهای محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و همین‌طور اجرای پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل در یک بخش طرح جنگلداری است.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد بررسی: منطقهٔ مورد مطالعه که به نام بخش نم‌خانه شناخته می‌شود، با وسعت ۱۰۸۰/۶۶ هکتار، در فاصلهٔ ۱۲ کیلومتری دفتر طرح واقع در روستای نجارده واقع شده است. این بخش به بیست و هفت پارسل تقسیم شده است. این منطقه از شمال به یال جنوبی جنگل‌های چلندر حوزهٔ ۴۶ و چلک، از شرق به جنگل‌های بخش گرازبن، از جنوب به رودخانهٔ خیرود و از غرب به جنگل‌های بخش پاتم و رودخانهٔ خیرود محدود است.

بخش نم‌خانه با ارتفاع متوسط ۸۰۰ متر از سطح دریا، در قسمت تحتانی راشستان‌های خزری قرار دارد. وجود یک جبههٔ جنوبی در این بخش و مناطق سنگلاخی، قله‌های با خاک کم‌عمق و دره‌های مرطوب، باعث استقرار جوامع گیاهی دیگری مانند بلوط ممرزستان و یا افرا ملجستان در این بخش شده است. روی خاک‌های پسدو گلی، جوامع جنگلی بلوط–ممرزستان شکل می‌گیرند، روی خاک‌های قهوه‌ای شسته شده و قهوه‌ای جنگلی به‌طورعمده راشستان‌های خالص و روی خاک‌های قهوه‌ای مرمری شده راشستان‌های آمیخته قرار دارند.

در طرح تجدیدنظر تهیه شده در سال ۹۴، از مجموع ۱۰۸۰/۶۲ هکتار جنگل بخش نم‌خانه، پارسل‌های شمارهٔ ۱ تا ۵ به‌وسعت ۲۹۱/۷۲ هکتار به‌صورت حمایتی اداره می‌شوند و به‌علت شیب و نبود امکانات لازم، هیچ‌گونه بهره‌برداری و دخالتی در آنها صورت نمی‌گیرد. در بقیهٔ پارسل‌ها که مساحت آنها ۷۸۸/۳ هکتار است، مدیریت جنگلداری اعمال می‌شود. در شکل ۱ نقشهٔ حدود و مرز پارسل بخش نم‌خانه و همین‌طور دپو و مسیرهای چوبکشی این بخش ارائه شده است. اطلاعات مربوط به میزان کلی برداشت‌ها و چگونگی برداشت در طی اجرای دو دوره اجرای طرح، در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- نقشهٔ دپو و مسیرهای چوبکشی بخش نم‌خانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود

جدول ۱- میزان برداشت از بخش نم‌خانه طی دو دورهٔ بهره برداری، برگرفته از Kiasari (2017)

سال اجرای طرح	برنامهٔ پیش‌بینی برداشت (سیلو)	میزان برداشت (سیلو)	کسری برداشت (سیلو)
۱۳۷۴-۱۳۶۱	۶۴۰۰۰	۵۶۴۷۵	۷۵۲۵
۱۳۹۱-۱۳۷۹	۵۴۹۷۹	۲۸۱۲۲	۲۶۸۵۷
۱۳۹۲	۱۲۸۰۰	-	-

در این مطالعه، نقشهٔ پارسل‌ها و مسیرهای بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. با انجام بازدید میدانی و مرور مقالات و پژوهش‌های صورت‌گرفته در بخش نم‌خانه جنگل خیرود و استفاده از قابلیت‌های سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی[۳]، باتوجه به میزان تخریب صورت‌گرفته ناشی از اقدامات مهندسی و بهره‌برداری در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود برای هر یک از معیارها و شاخص‌های انتخاب شده و کلاسه‌بندی شده امتیاز مخصوصی در نظر گرفته می‌شود. معیارها و زیرمعیارهای به‌کاررفته در این تحقیق پس از مرور منابع و مطالعات کتابخانه‌ای گردآوری شدند. به‌این منظور، مقالات، پروژه‌های تحقیقاتی و پایان‌نامه‌های مرتبط با موضوع تحقیق، مورد بررسی قرار گرفتند (Grünberg *et al.*, 2023) و معیارهای مهم و مشترک میان آن‌ها که بیشترین مطالعه در پژوهش‌های پیشین روی آن‌ها انجام شده بود، به‌عنوان معیارها و شاخص‌های اصلی در ارزیابی اثرات محیط‌زیستی بهره‌برداری و اقدامات مهندسی در جنگل انتخاب شدند (جدول ۲).

در مرحلهٔ انجام نظرسنجی از ۸ نفر از کارشناسان حوزه‌های مختلف از جمله اکولوژی، جنگلداری و مهندسی جنگل با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌ها شناسایی شد. برای اولویت‌بندی بین معیارهای مختلف به معیارهای منتخب وزن داده می‌شود تا درجهٔ اهمیت هر معیار در ارزیابی اثرات محیط‌زیستی بهره‌برداری جنگل محاسبه شود. وزن‌دهی به روش مقایسهٔ زوجی است. سیستم نمره‌دهی در این روش براساس طیف ۳تایی ساعتی صورت می‌گیرد (جدول ۳). در نهایت وزن نهایی شاخص‌های مختلف محیط‌زیستی در محیط نرم‌افزار اکسل گردآوری و اولویت هر یک مشخص می‌شود. به‌طورکلی، هنگامی که تعداد مقایسات افزایش می‌یابد، اطمینان از سازگاری مقایسات به‌راحتی دست نیافته و این می‌تواند به چالش کشیدن نتایج منجر شود؛ بنابراین، برای اطمینان از سازگاری مقایسات، از نرخ ناسازگاری استفاده می‌شود. طبق نظر Saaty (۱۹۸۰)، اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری مقایسات به‌طور قابل‌قبول محسوب می‌شود؛ در غیر این صورت، مقایسات باید بازبینی شود. نرم‌افزار Expert Choice نسخهٔ ۱۱، نرخ ناسازگاری را برای تمام محاسبات محاسبه می‌کند.

[۳] از نرم‌افزار Arc GIS برای ایجاد پایگاه‌داده‌ها و روی‌هم گذاری نقشه‌ها استفاده شده است.

جدول ۲- معیارها و شاخص‌های محیط‌زیستی

معیار محیط زیستی	شاخص محیط‌زیستی
فیزیک خاک	تراکم خاک میزان رطوبت خاک تخلخل خاک هدایت هیدرولیکی خاک هدایت الکتریکی خاک دمای خاک
تنوع زیستی	تنوع زیستی گیاهی و جانوری تنوع زیستی خاک
تأثیرات محیط زیستی	صدمه به تودهٔ باقیمانده انتشار گازهای گلخانه‌ای
شیمی خاک	مواد مغذی خاک تنفس خاک ظرفیت تبادل کاتیونی pH خاک
معیارهای مرتبط با زمین	فرسایش ابی پوشش خاک (لاشبرگ، هوموس) به‌هم‌خوردگی خاک قابلیت تردد ماشین رد چرخ
کیفیت توده	زیست‌تودهٔ زادآوری بازسازی ریشه زیست‌تودهٔ میکروبی خاک

جدول ۳- مقادیر ترجیهات برای مقایسات زوجی

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح با کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح بااهمیت یا مطلوبیت مساوی	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲ و ۴ و ۶ و ۸

در ادامه باتوجه‌به معیارها و شاخص‌های انتخاب‌شده برای انجام فرآیند ارزیابی اثرات محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و روش اندازه‌گیری و محاسبهٔ اثرات هر یک از این شاخص‌ها، میزان تخریب هر یک از آن‌ها در کلاسه‌های ۵تایی به‌صورت تخریب خیلی زیاد (نمره ۵)، زیاد (نمره۴)، متوسط (نمره۳)، ضعیف (نمره۲) و ناچیز (نمره۱) طبقه‌بندی شدند. هر یک از شاخص‌های ارزیابی در پنج‌طبقه از یک به‌عنوان کمترین میزان تخریب و آسیب به شاخص محیط‌زیستی تا پنج به‌عنوان بیشترین میزان تخریب شاخص محیط‌زیستی کلاسه‌بندی شدند.

در این پژوهش، از طریق مطالعه، تحقیق، مصاحبه و بازدیدهای میدانی، مجموعه‌ای از فعالیت‌ها که در طول عملیات بهره‌برداری و اقدامات مهندسی مرتبط با آن‌ها بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های محیط‌زیستی دارند، انتخاب شدند. این فعالیت‌ها به شرح زیر بود:

قطع یکسره، سایر قطع‌ها، مسیر چوبکشی، چوبکشی با ماشین‌آلات، چوبکشی به روش سنتی، دپوی چوب، حمل‌ونقل چوب (حمل‌ونقل ثانویه، بارگیری چوب آلات و .....)، تبدیلات چوبی که این فعالیت‌ها سپس در ماتریس وزنی ارزیابی وارد می‌شوند (Oghnoum *et al*., 2015).

هر یک از شاخص‌های ارزیابی وارد شده در ماتریس وزنی از یک یا چند مورد از این ریز فعالیت‌ها تأثیر می‌پذیرند. در مواردی که صرفاً یک، ریز فعالیت بر یک شاخص ارزیابی اثر داشته باشد، در ماتریس ارزیابی و در محاسبات نهایی امتیاز ۱۰۰ برای آن ریز فعالیت در نظر گرفته خواهد شد اما چنانچه بیشتر از یک ریز فعالیت روی شاخص ارزیابی تأثیر بگذارد، به‌نسبت میزان تأثیر آن ریزفعالیت‌ها بر شاخص، امتیاز از یک تا ۱۰۰ برای هر کدام از آنها در نظر گفته خواهد شد. در ادامه از یک ماتریس وزنی برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل استفاده می‌شود (De Wolf *et al*., 2020).

بعد از تعیین فهرست فعالیت‌های پروژه و همین‌طور شناسایی شاخص‌های محیط‌زیستی اصلی، باید شروع به ارزش‌گذاری آثار فعالیت‌ها بر عوامل محیط‌زیستی از نظر کمی و کیفی شود. بدین‌منظور جهت کمی‌کردن فعالیت‌های پروژه هر یک از خانه‌های ماتریس مطابق جدول با اعدادی بین ۰ تا ۵+ ارزش‌گذاری می‌شوند.

به‌منظور تصمیم‌گیری در مورد عملیات در گام نخست می‌بایست باتوجه به وزن هر شاخص و میزان تأثیر ریز فعالیت‌ها روی شاخص‌های محیط‌زیستی و میزان تخریب هر شاخص توسط ریزفعالیت‌های عملیات بهره‌برداری به‌صورت کیفی، مشخص و ماتریس وزنی کامل شود. عدد و امتیاز نهایی مربوط به هر شاخص محیط‌زیستی با انجام عملیات ضرب بین وزن زیر معیار در وزن ریزفعالیت‌ها در نمره‌ای که باتوجه به میزان تخریب شاخص محیط‌زیستی توسط ریز فعالیت‌های عملیات بهره‌برداری، داده شده است، به‌دست می‌آید. در اینجا فرمول کلی محاسبهٔ عدد نهایی اثر محیط‌زیستی هر شاخص آورده شده است.

$$(\cdots + (\text{نمرهٔ میزان تخریب2} \times \text{وزن ریز فعالیت2}) + (\text{نمرهٔ میزان تخریب1} \times \text{وزن ریز فعالیت 1})) \times \text{وزن زیر معیار}$$

بعد از به‌دست‌آمدن عدد نهایی هر زیر معیار و همین‌طور مجموع امتیاز هر یک از آنها مجموع نهایی ماتریس وزنی به‌دست خواهد آمد.

تصمیم‌گیری در مورد میزان تخریب عرصهٔ جنگلی توسط عملیات بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن و ارزیابی اثرات محیط‌زیستی توسط ماتریس وزنی بر اساس حدود زیر انجام می‌گیرد:

الف) چنانچه مجموع نهایی عدد ماتریس کمتر از عدد ۱۰۰۰۰ محاسبه شود، میزان تخریب عملیات مهندسی و بهره‌برداری ناچیز در نظر گرفته می‌شود.

ب) چنانچه مجموع نهایی عدد ماتریس بین ۲۰۰۰۰– ۱۰۰۰۰ محاسبه شود، میزان تخریب عملیات مهندسی و بهره‌برداری ضعیف در نظر گرفته می‌شود.

ج) چنانچه مجموع نهایی عدد ماتریس بین ۳۰۰۰۰– ۲۰۰۰۰ محاسبه شود، میزان تخریب عملیات مهندسی و بهره‌برداری متوسط در نظر گرفته می‌شود.

د) چنانچه مجموع نهایی عدد ماتریس بین ۴۰۰۰۰– ۳۰۰۰۰ محاسبه شود، میزان تخریب عملیات مهندسی و بهره‌برداری زیاد در نظر گرفته می‌شود.

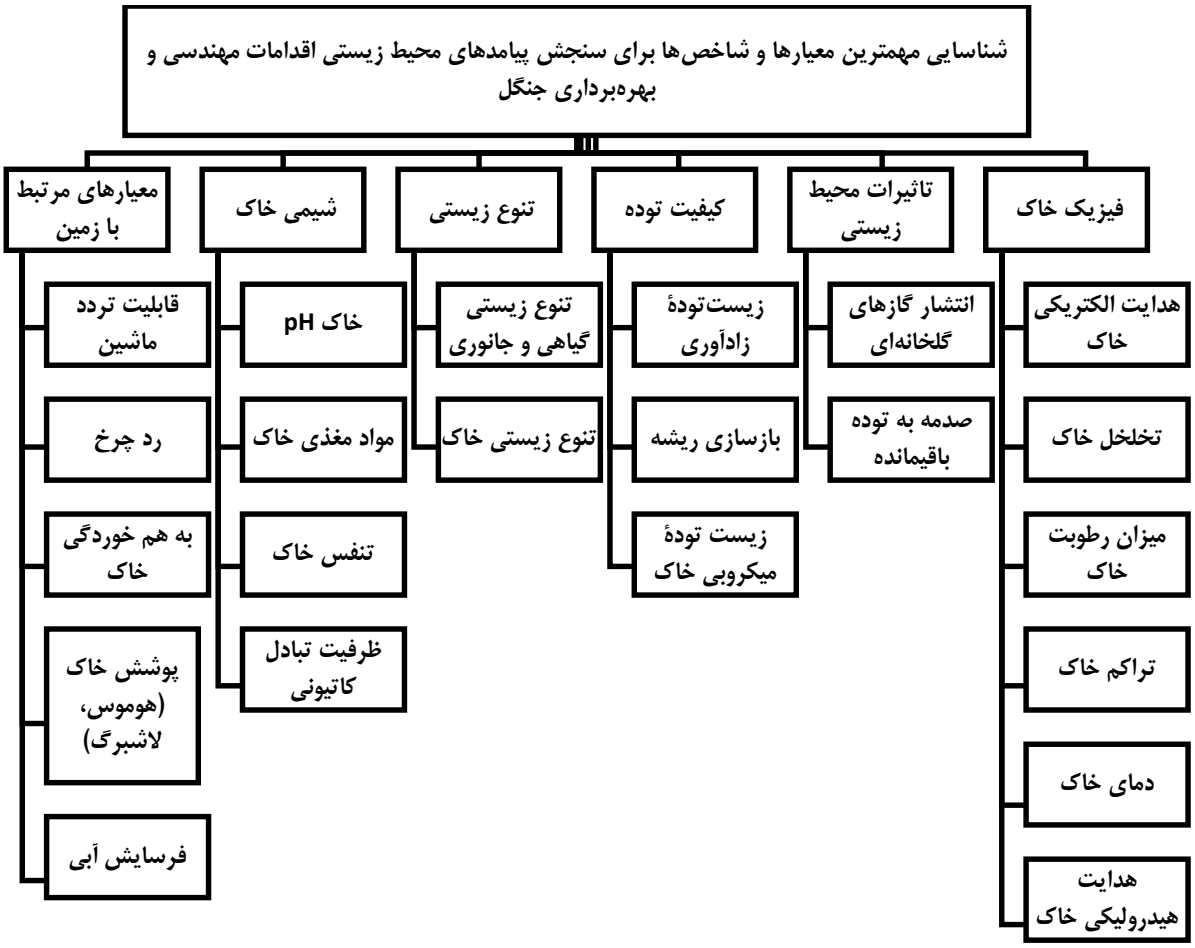
ه) چنانچه مجموع نهایی عدد ماتریس بین ۵۰۰۰۰– ۴۰۰۰۰ محاسبه شود، میزان تخریب عملیات مهندسی و بهره‌برداری خیلی زیاد در نظر گرفته می‌شود.

مقادیر عنوان شده بر اساس طبقه‌بندی شاخص‌های محیط‌زیستی بوده و با توجه به نوع و حدود طبقه‌بندی برای امتیازدهی میزان تخریب شاخص‌های محیط‌زیستی قابل تغییر است.

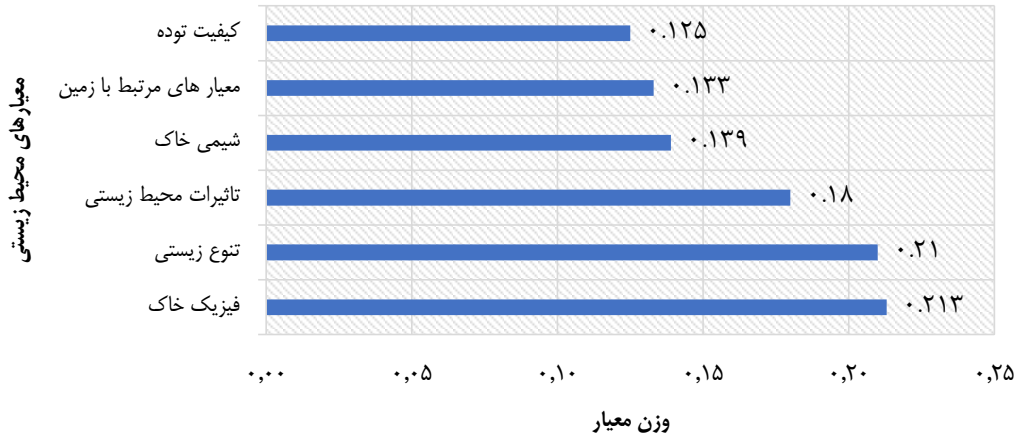
یافته‌های پژوهش

طرح سلسله‌مراتبی: در شکل ۲ طرح سلسله‌مراتبی درختی شامل معیارها و شاخص‌های شناسایی شده، برای شناسایی مهم‌ترین معیارها و شاخص‌ها برای سنجش پیامدهای محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری از جنگل ارائه شده است.

محاسبهٔ وزن و انتخاب ارجح‌ترین معیار اصلی: باتوجه‌به امتیازدهی، به مقایسهٔ بین شش معیار اصلی که عددی از ۱ تا ۹ اختیار می‌کند، پرداخته شد همچنین باتوجه به خروجی نرم‌افزار اکسپرت چویس، رتبه‌بندی و ارزش وزنی تعیین شدهٔ معیارها در شکل ۳ ارائه شده است (نرخ ناسازگاری ۰/۰۳).



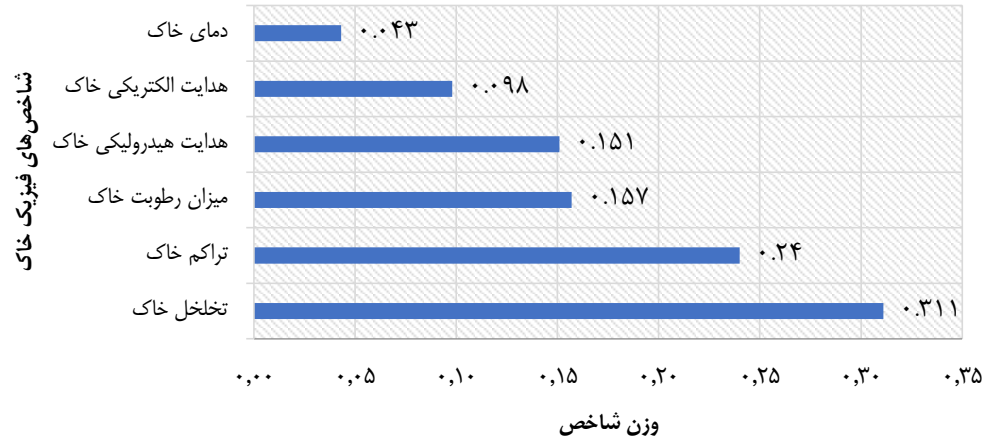
شکل ۲- طرح درختی تحلیل سلسله‌مراتبی



شکل ۳- نمودار وزن و اولویت معیارهای اصلی

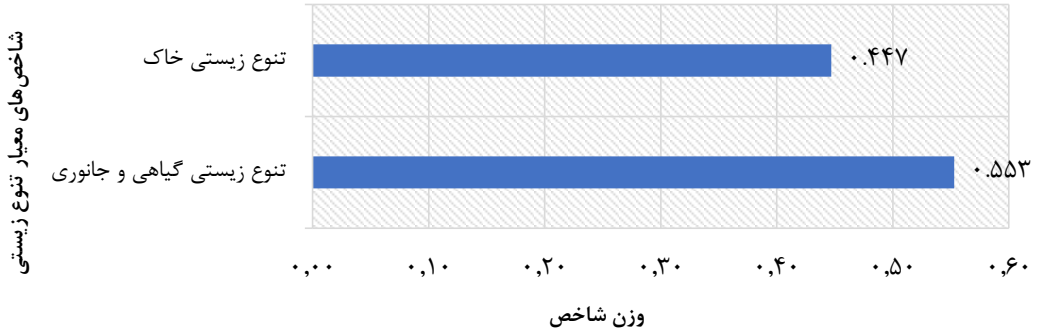
نتایج نشان داد که معیار فیزیک خاک بالاترین وزن (۰/۲۱۳) را در بین شاخص‌های پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و معیار کیفیت توده کمترین وزن (۰/۱۲۵) را در بین این معیارها به‌خود اختصاص داد.

تعیین ارجحیت شاخص‌های مربوط به زیر معیارها: در شکل ۴ رتبه‌بندی و ارزش وزنی تعیین شده شاخص‌های معیار فیزیک خاک ارائه شده است (نرخ ناسازگاری ۰/۰۴).



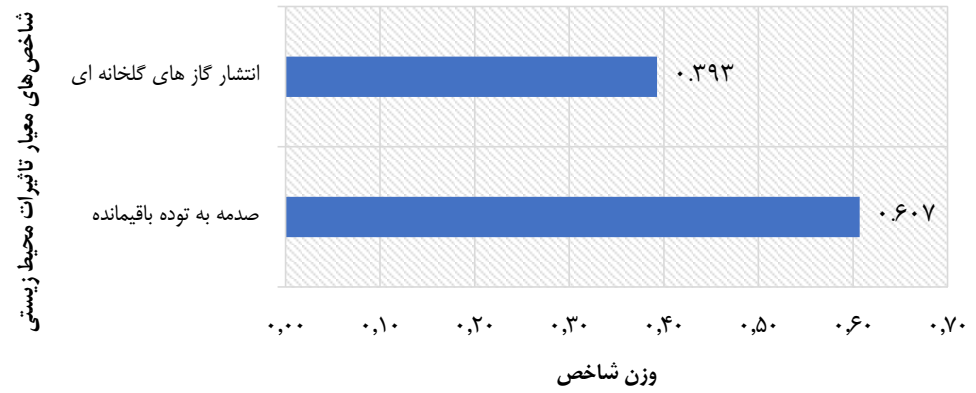
شکل ٤- نمودار وزن و اولویت شاخص‌های معیار فیزیک خاک

نتایج نشان داد که شاخص تخلخل خاک بالاترین وزن (۰/۳۱۱) را در بین شاخص‌های معیار فیزیک خاک پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص دمای خاک کمترین وزن (۰/۰۴۳) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد. در شکل ۵ رتبه‌بندی و ارزش وزنی تعیین شده شاخص‌های معیار تنوع زیستی ارائه شده است (نرخ ناسازگاری ۰/۰۰).

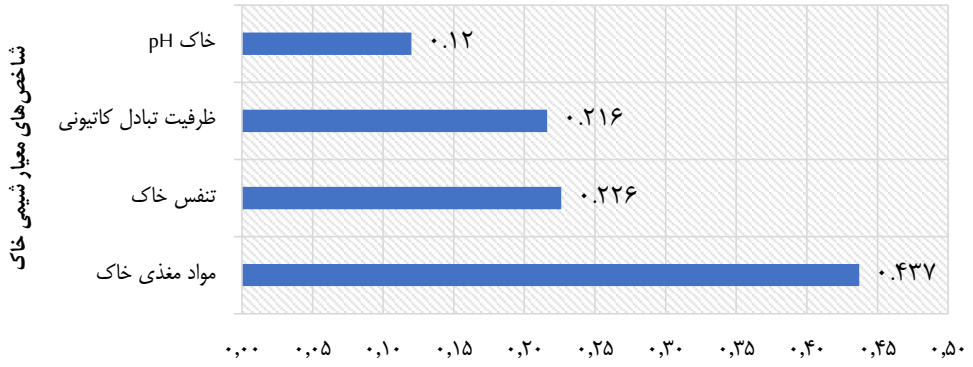


شکل ٥- نمودار وزن و اولویت شاخص‌های معیار تنوع زیستی

نتایج نشان داد که شاخص تنوع زیستی گیاهی و جانوری بالاترین وزن (۰/۵۵۳) را در بین شاخص‌های معیار تنوع زیستی پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص تنوع زیستی خاک کمترین وزن (۰/۴۴۷) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد. رتبه‌بندی و ارزش وزنی تعیین شده شاخص‌های معیار تأثیرات محیط‌زیستی نیز در شکل ۶ ارائه شده است (نرخ ناسازگاری ۰/۰۰). نتایج نشان داد که شاخص صدمه به تودهٔ باقیمانده بالاترین وزن (۰/۶۰۷) را در بین شاخص‌های معیار تأثیرات محیط‌زیستی پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص انتشار گازهای گلخانه‌ای کمترین وزن (۰/۳۹۳) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد. در شکل ۷ رتبه‌بندی و ارزش وزنی تعیین شده شاخص‌های معیار شیمی خاک ارائه شده است (نرخ ناسازگاری ۰/۰۳).

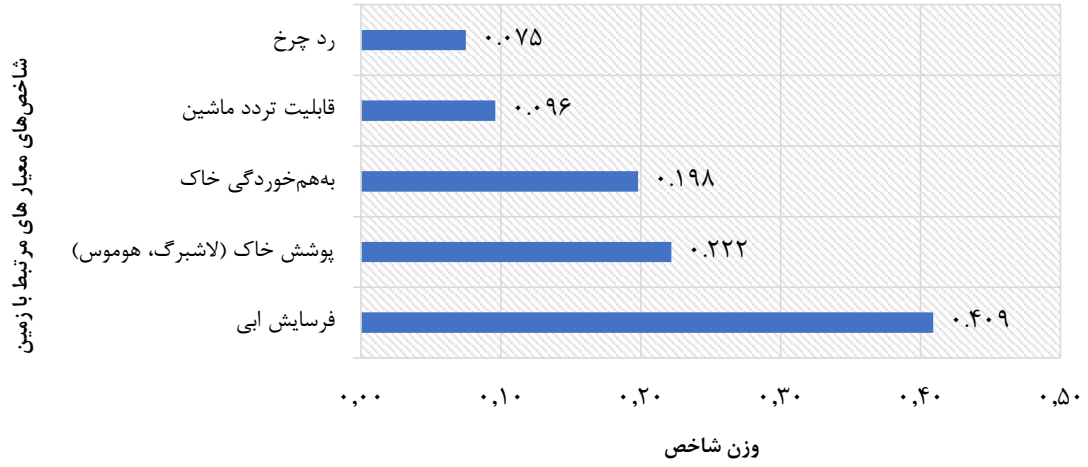


شکل ٦- نمودار وزن و اولویت شاخص‌های معیار تأثیرات محیط‌زیستی



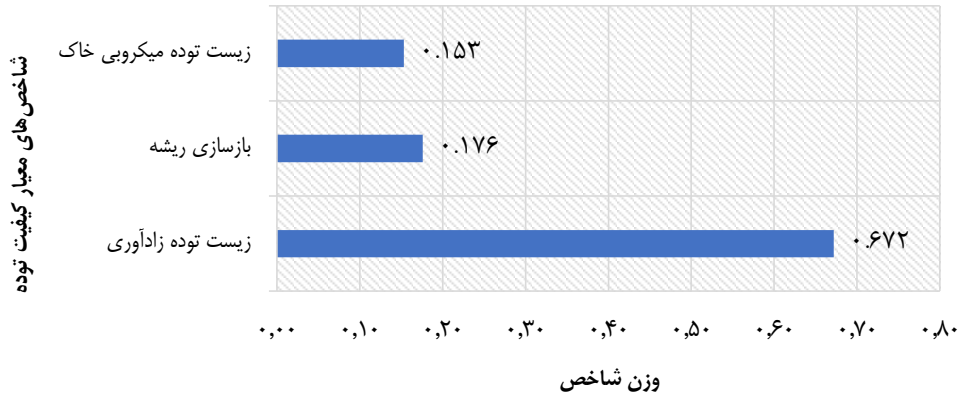
شکل ۷- نمودار وزن و اولویت شاخص‌های معیار شیمی خاک

نتایج نشان داد که شاخص مواد مغذی خاک بالاترین وزن (۰/۴۳۷) را در بین شاخص‌های معیار شیمی خاک پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص pH خاک کمترین وزن (۰/۱۲۰) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد. در شکل ۸ رتبه‌بندی و ارزش وزنی تعیین شده شاخص‌های معیارهای مرتبط با زمین ارائه شده است (نرخ ناسازگاری ۰/۰۳).



شکل ۸ - نمودار وزن و اولویت شاخص‌های معیار مرتبط با زمین

نتایج نشان داد که شاخص فرسایش آبی بالاترین وزن (۰/۴۰۹) را در بین شاخص‌های معیارهای مرتبط با زمین پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص رد چرخ کمترین وزن (۰/۰۷۵) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد. در شکل ۹ رتبه‌بندی و ارزش وزنی تعیین شده شاخص‌های معیار کیفیت توده ارائه شده است (نرخ ناسازگاری ۰/۰۰۰۰۲).



شکل ۹- نمودار وزن و اولویت‌بندی شاخص‌های معیار کیفیت توده

نتایج نشان داد که شاخص زیست‌تودهٔ زادآوری بالاترین وزن (۰/۶۷۲) را در بین شاخص‌های کیفیت تودهٔ پیامدسنجی محیط زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص زیست‌تودهٔ میکروبی کمترین وزن (۰/۱۵۳) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد.

وزن‌دهی و رتبه‌بندی شاخص‌های اصلی: باتوجه به استفاده از ماتریس وزنی در پیامدسنجی محیط‌زیستی وزن هر یک از شاخص‌های انتخاب‌شده نسبت به یکدیگر مشخص و پس از آن این شاخص‌ها نسبت به یکدیگر رتبه‌بندی شدند. با مشخص‌شدن وزن نهایی هر شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها، شش شاخص انتخاب شده به‌ترتیب اول تا ششم اولویت‌بندی شدند. در جدول ۴ وزن نهایی هر شاخص نسبت به شاخص‌های سایر معیارها آورده شده است.

جدول ٤- وزن نهایی هر شاخص نسبت به شاخص‌های سایر معیارها

ردیف	نام معیار	وزن معیار	نام شاخص	وزن شاخص	وزن نهایی شاخص	امتیاز در ماتریس وزنی
۱	فیزیک خاک	۰/۲۱۳	تخلخل خاک	۰/۳۱۱	۰/۲۱۳×۰/۳۱۱=۰/۰۶	۱۳/۳
۲	شیمی خاک	۰/۲۱۰	مواد مغذی خاک	۰/۴۳۷	۰/۲۱۰×/۴۳۷=۰/۰۹	۲۰
۳	تأثیرات محیط زیستی	۰/۱۸۰	صدمه به توده باقیمانده	۰/۶۰۷	۰/۱۸۰×۰/۶۰۷=۰/۱۰	۲۲
۴	معیارهای مرتبط با زمین	۰/۱۳۹	فرسایش آبی	۰/۴۰۹	۰/۱۳۹×/۴۰۹=۰/۰۵	۱۱/۱
۵	تنوع زیستی	۰/۱۳۳	تنوع زیستی گیاهی و جانوری	۰/۵۵۳	۰/۱۳۳×۰/۵۵۳=۰/۰۷	۱۵/۵
۶	کیفیت توده	۰/۱۲۵	زیست‌تودهٔ زادآوری	۰/۶۷۲	۰/۱۲۵×۰/۶۷۲=۰/۰۸	۱۷/۷
		مجموع				۱۰۰

در جدول ۵ وزن نهایی هر شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها مشخص شد. بدین‌صورت که با توجه به وزن‌های حاصل شده برای شاخص‌های محیط‌زیستی، اولویت هر یک از آن‌ها نسبت به یکدیگر مقایسه و در نهایت شش شاخص فوق در فرآیند ارزیابی وارد شد. با استفاده از وزن‌های حاصل شده به هر یک از این شاخص‌ها نسبت به یکدیگر امتیازی برحسب درصد داده شد که از این امتیاز در ماتریس وزنی ارزیابی اثرات محیط‌زیستی استفاده شد. نتایج جدول ۶ حاکی از آن است که شاخص صدمه به تودهٔ باقیمانده، بالاترین وزن (۰/۱) را در بین شاخص‌های محیط‌زیستی پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص فرسایش آبی کمترین وزن (۰/۰۵) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد. بنابراین شاخص صدمه به تودهٔ باقیمانده بالاترین اولویت (۲۲ درصد) را در بین شاخص‌های پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل و شاخص فرسایش آبی کمترین اولویت (۱۱/۱ درصد) را در بین این شاخص‌ها به‌خود اختصاص داد.

پیامدسنجی محیطزیستی بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود

امتیازدهی میزان تخریب شاخص‌های محیطزیستی بخش نم‌خانه: باتوجه به طبقه‌بندی‌های صورت‌گرفته برای هر شاخص محیطزیستی برای ارزیابی میزان تخریب آن شاخص توسط فعالیت‌های بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن، میزان تخریب هر یک از این شاخص‌ها بر اثر بهره‌برداری در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود با انجام بازدید میدانی و همین‌طور مراجعه به مقالات و مطالعه‌های صورت‌گرفته به‌دست آمد و هر یک از شاخص‌ها براساس میزان تخریب و باتوجه به طبقه‌بندی‌های صورت‌گرفته برای پیامدسنجی در ماتریس وزنی، امتیازی دریافت کردند که در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵– امتیاز میزان تخریب شاخص‌های محیطزیستی بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود

شاخص محیطزیستی	امتیاز میزان تخریب در بخش نم‌خانه
تخلخل خاک	۲
مواد مغذی خاک	۳
صدمه به توده باقیمانده	۳
فرسایش آبی	۱
تنوع زیستی گیاهی و جانوری	۲
زیست‌توده زادآوری	۴

مطابق جدول ۵ شاخص‌های محیطزیستی تنوع زیستی گیاهی و جانوری و زیست‌تودهٔ زادآوری بیشترین میزان تخریب را بر اثر فعالیت بهره‌برداری در بخش نم‌خانه داشته و به شاخص فرسایش آبی کمترین میزان تخریب و خسارت وارد شده است.

ماتریس وزنی

نتایج حاصل از ارزش‌گذاری ماتریس وزنی در جدول ۶ آمده است. با توجه به اثرات محیطزیستی که فعالیت بهره‌برداری جنگل و اقدامات مهندسی وابسته به آن روی شاخص‌های محیطزیستی اکوسیستم جنگل دارند، اقدام به ارزش‌گذاری ماتریس وزنی (۷×۶) شد.

جدول ٦– ماتریس وزنی ارزیابی اثرات محیطزیستی بخش نم‌خانه

	وزن شاخص‌ها	سایر قطع‌ها	تبدیلات چوبی	حمل‌ونقل چوب (حمل‌ونقل ثانویه، بارگیری چوب‌آلات و .....)	دپوی چوب	چوبکشی به روش سنتی	مسیر چوبکشی	قطع یکسره	مجموع
تخلخل خاک	۲۲	– –	– –	۲(الف) ۲۰(ب)	– –	۲ ۴۰	۲ ۴۰	– –	۴۴۰۰
مواد مغذی خاک	۲۰	– –	– –	– –	– –	– –	۳ ۱۰۰	– –	۶۰۰۰
صدمه به تودهٔ باقیمانده	۱۷/۷	– –	– –	– –	– –	۳ ۲۰	۳ ۸۰	– –	۵۳۱۰
فرسایش آبی	۱۵/۵	– –	– –	۱ ۲۰	– –	۱ ۴۰	۱ ۴۰	– –	۱۵۵۰
تنوع زیستی گیاهی و جانوری	۱۳/۳	۲ ۳۰	– –	– –	– –	– –	۲ ۳۰	۲ ۴۰	۲۶۶۰
زیست‌تودهٔ زادآوری	۱۱/۱	– –	– –	– –	– –	۴ ۵۰	۴ ۵۰	– –	۴۴۴۰
مجموع	۱۰۰								۲۴۳۶۰

الف) امتیاز میزان تخریب شاخص محیطزیستی

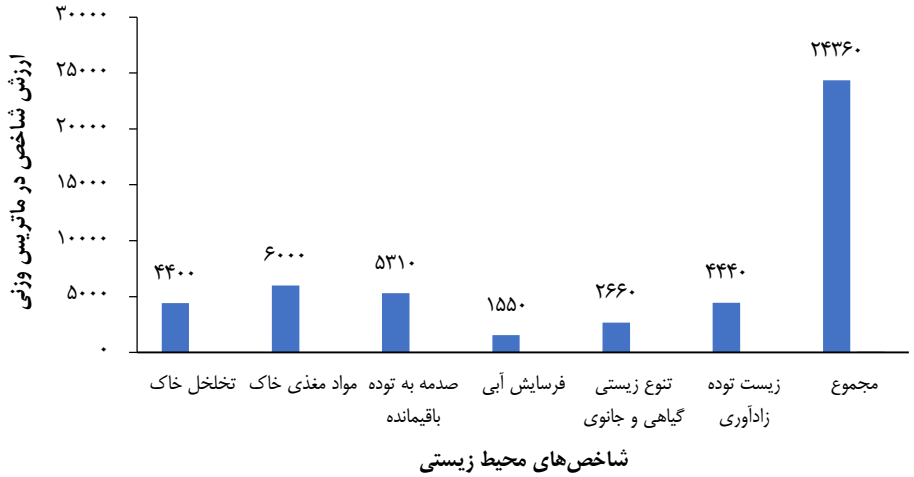
ب) وزن نسبی ریز فعالیت‌های پروژه (از ۱۰۰)

تجزیه‌وتحلیل ماتریس وزنی: مطابق جدول ۶ مجموع نهایی امتیاز ماتریس وزنی عدد ۲۴۳۶۰ به‌دست آمد و با توجه به اینکه عدد محاسبه شده در بازهٔ ۳۰۰۰۰ —۲۰۰۰۰ قرار دارد، بنابراین با توجه به نتایج ماتریس وزنی، میزان تخریب فعالیت بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن در بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود متوسط ارزیابی شد.

بیشترین وزن و میزان تخریب بر اکوسیستم جنگلی بخش نم‌خانه بر اثر فعالیت بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن،

مربوط به شاخص محیط‌زیستی مواد مغذی خاک بوده (۶۰۰۰) و کمترین آن مربوط به شاخص محیط‌زیستی فرسایش آبی (۱۵۵۰) می‌باشد.

ماتریس وزنی پیامدسنجی محیط‌زیستی نشان داد که بیش از ۶۰ درصد اثرات محیط‌زیستی برروی اکوسیستم جنگلی مربوط به ریز فعالیت مسیرهای چوبکشی در فعالیت بهره‌برداری بوده و ریز فعالیت‌های دپوی چوب و تبدیلات چوبی، تأثیر محیط‌زیستی زیادی روی شاخص‌های محیط‌زیستی نمی‌گذارند. در شکل ۱۰ اثر ریز فعالیت‌ها روی هر شاخص محیط‌زیستی به تفکیک ارائه شده است.



شکل ۱۰- نمودار مجموع ماتریس وزنی برای هر شاخص محیط‌زیستی

نتایج نشان داد که بیشترین تأثیر منفی محیط‌زیستی مربوط به شاخص محیط‌زیستی مواد مغذی خاک با ۲۲ درصد اثر در مجموع نهایی امتیاز ماتریس وزنی ارزیابی بوده و پس از آن شاخص‌های صدمه به تودهٔ باقیمانده با ۲۰ درصد اثر در جایگاه دوم و شاخص تخلخل خاک و زیست تودهٔ زادآوری با ۱۶ درصد در جایگاه سوم قرار دارند. همچنین کمترین میزان تأثیر بر مجموع نهایی امتیاز ماتریس وزنی مربوط به شاخص تنوع زیستی گیاهی و جانوری با ۱۰ درصد و فرسایش آبی با ۶ درصد اثر بر مجموع ماتریس وزنی است (شکل ۱۰).

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و نظرات کارشناسان و متخصصان، مهم‌ترین معیارها و شاخص‌ها برای پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل بررسی شد. نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها و شاخص‌ها نشان داد که معیار فیزیک خاک دارای بیشترین ارزش نسبت به سایر معیارهاست. پس از معیار فیزیک خاک، معیار تنوع زیستی با اختلاف کمی در رتبهٔ دوم قرار دارد و معیارهای تأثیرات محیط‌زیستی، شیمی خاک، مرتبط با زمین و کیفیت توده به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این رتبه‌بندی به این معنا نیست که تمام شاخص‌های معیاری که وزن بیشتری دارد، نسبت به شاخص‌های دیگر معیارها اولویت دارند. به‌عنوان‌مثال در بین شاخص‌های معیار فیزیک خاک، شاخص‌های تخلخل و تراکم خاک از وزن بسیار بالایی برخوردار هستند؛ اما شاخص‌های هدایت الکتریکی و دمای خاک وزن قابل‌توجهی ندارند. در بین شاخص‌ها، تخلخل خاک از معیار فیزیک خاک دارای بالاترین وزن و اولویت است که این نکته نشان‌دهندهٔ اهمیت فوق‌العاده بالای آن برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی بهره‌برداری و اقدامات مهندسی در اکوسیستم جنگلی است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی شاخص زیست‌تودهٔ میکروبی خاک از معیار کیفیت توده دارای کمترین وزن و پایین‌ترین اولویت بین شاخص‌ها بوده که این نکته بیانگر اهمیت کم این شاخص برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی فعالیت بهره‌برداری در جنگل است.

همان‌طورکه ملاحظه شد فاکتورهای بسیاری از عملیات بهره‌برداری و اقدامات مهندسی وابسته به آن در اکوسیستم‌های جنگلی تأثیر می‌پذیرند. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی با مقایسهٔ این فاکتورها و حل پیچیدگی‌های بین آنها، منجر به اولویت‌بندی و وزن‌دهی

درست و منطقی این عوامل و در نتیجه انتخاب بهترین تصمیم می‌شود.

در این پژوهش برای شناسایی معیارها و شاخص‌های تأثیرپذیر از عملیات بهره‌برداری از منابع کتابخانه‌ای و همین‌طور تعداد مطالعاتی که روی یک شاخص یا معیار خاص در اکوسیستم جنگلی توسط سایر پژوهشگران انجام شده و در منابع معتبر منتشر شده است، استفاده شد. Grünberg و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود ۱۱۲ مطالعه برای معیار فیزیک خاک شناسایی کردند که این عدد بیشترین میزان مطالعه بر روی یک معیار در بین معیارهای تأثیرپذیر از عملیات بهره‌برداری در جنگل بوده است. همچنین کمترین تعداد مطالعهٔ شناسایی شده نیز مربوط به معیار کیفیت توده با ۲۵ مطالعه بوده است که از این جهت تعداد مطالعات شناسایی شده معیارها و شاخص‌ها شباهت بسیار زیادی به وزن‌دهی و اولویت‌بندی انجام شده در این پژوهش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی دارد (Grünberg *et al*., 2023).

Oghnoum و همکاران (۲۰۱۵) ارزیابی آثار محیط‌زیستی با استفاده از روش ماتریس در بخش پاتم جنگل خیرود را یکی از روش‌های مناسب پیامدسنجی محیط‌زیستی در جنگل عنوان نمود که در این روش سلول‌های ماتریس براساس قضاوت متخصصان و تکیه بر دانش و اطلاعات شخص ارزیابی‌کننده، ارزش‌گذاری می‌گردند و این قضاوت براساس معیارهایی صورت می‌گیرد که از قبل ارزیاب آنها را تعیین و انتخاب نموده است. در این پژوهش اما از یک ماتریس وزنی برای ارزیابی اثرات محیطی استفاده شد تا بتوان برای هر یک از شاخص‌ها وزن مخصوص آن شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها در ارزیابی اعمال شود. این نکته خود باعث آن می‌شود که شاخصی با وزن و اهمیت بالاتر تأثیر بیشتری در نتیجه پیامدسنجی داشته باشد و شاخص محیط‌زیستی با وزن پایین‌تر تأثیر کمتری در فرآیند ارزیابی بگذارد. با توجه به اینکه ماتریس وزنی امکان اعمال وزن و اولویت برای شاخص‌های محیط‌زیستی را در اختیار ارزیاب می‌گذارد و با توجه به وزن‌دهی‌های انجام شده در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌نظر می‌رسد که ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ماتریس وزنی برای اجرای پیامدسنجی محیط‌زیستی روش مؤثری باشد. در این پژوهش صرفاً تأثیرات منفی که توسط ریز فعالیت‌های فعالیت بهره‌برداری بر روی شاخص‌های محیط‌زیستی وارد می‌شود، بررسی شده است. مقایسهٔ فعالیت‌های مختلف جنگلداری نشان داده است که بیشترین اثرات منفی، ناشی از فعالیت‌های بهره‌برداری در جنگل بوده است (Shahriari *et al*., 2019).

از بین ریز فعالیت‌های عملیات بهره‌برداری، ریز فعالیت مسیر چوبکشی بیشترین اثر را روی شاخص‌های محیط‌زیستی ارزیابی داشت. مطالعات نشان داده است که در حال حاضر مشخصات کلی مسیرهای چوبکشی در جنگل‌های شمال ایران با استانداردها فاصله دارد که موجبات افزایش خسارت به خاک را در این مناطق فراهم آورده است (Lotfalian *et al*., 2018). طراحی درست و اصولی مسیرهای چوبکشی با درنظرگرفتن معیارها و شاخص‌های محیط‌زیستی تأثیرپذیر از این مسیرها می‌تواند باعث کاهش تأثیرات منفی عملیات بهره‌برداری شود. از جمله می‌توان اقداماتی نظیر طراحی و ساخت مسیرهای چوبکشی در امتداد خطوط تراز انجام داد. این نوع از طراحی، کمترین میزان فرسایش در زمین را نسبت به سایر طراحی‌ها داشته و همین‌طور از ایجاد رواناب جلوگیری می‌کند.

نتایج حاصل از ماتریس وزنی نشان داد که تأثیر منفی ریز فعالیت‌های بهره‌برداری روی شاخص محیط‌زیستی مواد مغذی خاک در بخش نم‌خانه بیشترین امتیاز و اثر را در پیامدسنجی محیط‌زیستی داشته است که این نکته هم به‌علت وزن بالای این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها و همین‌طور میزان تخریب زیاد این شاخص طی عملیات بهره‌برداری بوده است. همچنین کمترین امتیاز و تأثیر منفی در ارزیابی اثرات محیط‌زیستی مربوط به شاخص محیط‌زیستی تنوع زیستی گیاهی و جانوری بوده است. این شاخص محیط‌زیستی هم وزن کمتری نسبت به سایر شاخص‌ها داشته و هم امتیاز تخریب کمتری طی عملیات بهره‌برداری توسط ریزفعالیت‌ها دریافت کرده است. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد مطالعات شناسایی شده به‌منظور انتخاب معیارها و شاخص‌ها، همپوشانی بالایی با وزن‌دهی و اولویت‌بندی انجام شده در این پژوهش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی دارد.

نتایج پیامدسنجی‌هایی که بر اکوسیستم‌های جنگلی در ایران انجام شده است نشان دادند که برخی خصوصیات مهم و تعیین‌کنندهٔ توده‌های جنگلی در سطح بخش‌های مورد اجرای طرح‌ها، دچار تغییراتی شدند که جنگل را به‌صورت مطلوب و پایدار هدایت نمی‌کند و این دخالت‌ها باتوجه به توان رویشگاه و جامعهٔ گیاهی مستقر در آن انجام نشده و تغییر در ترکیب و آمیختگی

تیپ جنگل بعد از اجرای طرح‌ها به‌طور کامل مشخص است و تیپ فعلی از لحاظ تنوع زیستی و شرایط اکولوژیک با جنگل دست‌نخورده مغایرت دارد که در این زمینه می‌توان به پژوهش انجام شده توسط Amiri (۲۰۱۸) اشاره کرد. در این پژوهش برای طبقه‌بندی میزان تخریب شاخص محیط‌زیستی تنوع زیستی گیاهی و جانوری توسط ریز فعالیت‌های بهره‌برداری به‌منظور امتیازدهی میزان تخریب در ماتریس وزنی از تابع شانون–وینر استفاده شد. Nouri و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی تنوع گونه‌های درختی و اثر آن برای مدیریت پایداری جنگل میزان تابع شانون–وینر را برای منطقهٔ بهره‌برداری شده و منطقهٔ بهره‌برداری نشده در بخش پاتم جنگل خیرود به‌دست آوردند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که پس از انجام عملیات بهره‌برداری عدد تابع شانون–وینر نزدیک به یک واحد کاهش پیدا کرده است که این نکته در این پیامدسنجی نیز در بخش نم‌خانه مشاهده شد.

به‌منظور طبقه‌بندی میزان تخریب شاخص محیط‌زیستی فرسایش آبی، از اطلاعات مربوط به میزان رواناب تولیدی در طول مسیر چوبکشی و جنگل دست‌نخورده استفاده شد. Moradnezhadi و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعهٔ خود نشان دادند که با افزایش درصد بهره‌برداری از درختان جنگلی در زیر حوضه‌های واقع در سرشاخه و میانهٔ حوض، مقدار دبی ماهانهٔ رواناب افزایش می‌یابد. این نکته و همین‌طور نتایج ماتریس وزنی ارزیابی نشان‌دهنده آن است که افزایش میزان رواناب در طول مسیرهای چوبکشی یکی از اثرات منفی فعالیت بهره‌برداری بر اکوسیستم جنگلی است.

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان‌دهندهٔ آن است که فعالیت بهره‌برداری و ریز فعالیت‌های مربوط به آن، آثار منفی بسیاری بر شاخص‌های محیط‌زیستی و به‌طور کلی بر بوم‌سازگان جنگلی وارد می‌کنند. این مورد را می‌توان در تحقیقات مشابه دیگر از جمله Moradnezhadi و همکاران (۲۰۱۹) و Jourgholami و همکاران (۲۰۱۴) و Arya و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کرد. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که معیارها و شاخص‌های پیامدسنجی محیط‌زیستی اقدامات مهندسی و بهره‌برداری جنگل نسبت به یکدیگر اهمیت و اولویت متفاوتی دارد و می‌بایست در برنامه‌ریزی و انجام اقدامات حفاظتی و در بخش‌های مختلف مدیریت جنگل این اولویت‌ها را در نظر گرفت. نتایج این پژوهش نشان از کارایی استفادهٔ همزمان از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ماتریس وزنی از شیوه‌های ارزیابی اثرات محیط‌زیستی دارد. به‌منظور بررسی‌های بیشتر، پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های آینده از دیگر شیوه‌های ارزیابی برای پیامدسنجی محیط‌زیستی عملیات بهره‌برداری استفاده شود تا بهترین روش ارزیابی در ارتباط با عملیات بهره‌برداری جنگل مشخص شوند.

References

Amiri, M., 2018. Silvicultural characteristics of an unlogged mixed oriental beech stand in the Golesatan Province. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) 31(3), 539-555. (In Persian)

Arya, H., Rafatnia, N., Najafi, A., Habashi, H., Gilanipoor, N., 2014. Soil compaction rate caused by steel tracked skidder traffic in two skidding directions (Case study: Soordar Vatashan in Nour city). Forest Sustainable Development 1(1), 1-14. (In Persian)

Bayat, M., Heidari Masteali, S., 2021. Evaluation and Comparison of Biodiversity Indexes of Tree Species in Hyrcanian Forests (Case Study: Kheyroud, Ramsar and Neka Forests). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) 34(2), 315-326. (In Persian)

Canter, L.W., 1996. Environmental Impact Assessment; McGraw-HILL Book Company, New York. 450 p.

Etehadi Abari, M., Majnounian, B., Malekian, A., Jourgholami, M., 2018. Does forest harvesting change the runoff quality? Iranian Journal of Forest 10(1), 13-2. (In Persian)

De Wolf, C., Hoxha, E., Fivet, C., 2020. Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study. Sustainable Cities and Society 61(2), 102322.

FAO., 2020. The state of the world's forests 2020. Forests, biodiversity and people: Key findings. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/state-of-forests/en/

Grošelj, P., Zandebasiri, M., Pezdevšek Malovrh, Š., 2023. Evaluation of the European experts on the application of the AHP method in sustainable forest management. Environment, Development and Sustainability 42(1), 1-27.

Grunberg, J., Ghaffariyan, M., Jourgholami, M., Labelle, E., Kaakkurivaara, N., Goncalves Robert, R., Kuhmaier, M., 2023. Criteria and Indicators for Assessing the Sustainability of Timber Harvesting Operations studied from 2017 to 2021 — a systematic Review. Current Forestry Reports 112(4),

2114-2128.
Hartmann, M., Howes, C.G., Vaninsberghe, D., Yu, H., Bachar, D., Christen, R., Henrik Nilsson, R., Hallam, S.J., Mohn, W. W., 2012. Significant and persistent impact of timber harvesting on soil microbial communities in Northern coniferous forests. ISME Journal 6(12), 2199-2218.
IPCC., 2019. Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. https://www.ipcc.ch/srccl-chapter/chapter-2/
Johansson, H., Eriksson, M., 2019. Assessing the environmental impacts of forest use: A review of ecological, social, and economic factors. Forest Ecology and Management 432(2), 707-723.
Jourgholami, M., Rizvandi, V., Majnounian, B., 2014. Evaluating the environmental impacts of forest harvesting resulting from tree felling trees on the residual stands (Case study: Kheyrud Forest). Environmental Researches 4(7), 115-124.
Kiasari, J., 2017. Evaluating the effect of forestry projects on the quantitative and qualitative status of forest stands (case study: Nem Khane section of Khairud forest). Master thesis. Department of Environment, University of Tehran. Karaj, Iran, 114 p. (In Persian)
Kim, B., Cruden, G., Crable, E.L., Quanbeck, A., Mittman, B.S., Wagner, A.D., 2023. A structured approach to applying systems analysis methods for examining implementation mechanisms. Implementation Science Communications 4(1), 127.
Labelle, E.R., Lemmer, K.J., 2019. Selected environmental impacts of forest harvesting operations with varying degree of mechanization. Croatian Journal of Forest Engineering 40(2), 39-257.
Lotfalian, M., Zare, N., Falah, A., Hojati, S., Imani, P., 2018. Environmental effects of wood extraction on composition and biodiversity regeneration (tree and herbaceous cover) (A case study: Gardeshy district of Choob and Kaghaz Mazandaran). Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources) 71(1), 93-107. (In Persian)
Makhdoum, M., 2002. Degradation Model: A Quantitative EIA Instrument, Acting as a Decision Support System (DSS) for Environmental Management. Environmental Management 30(1), 151-156. (In Persian)
Manori, M., 2004. Environmental impact assessment. Mitra Publications, Tehran, 460 p. (In Persian)
Marvi Mohadjer, M., 2005. Forestry and forest cultivation. Tehran University Publications, Tehran, 388 p. (In Persian)
Moradnezhadi, M., Jourgholami, M., Bozorg-Haddad, O., 2019. The effect of forest harvesting variants for mitigating the runoff and loss of water resources using SWAT rainfall-runoff model in Kheyrud forest watershed. Journal of Forest and Wood Products 71(4), 275-287. (In Persian)
Motamedi, M., Arayian, A., Khani, Z., 2018. Examining the types of common methods of environmental impact assessment (EIA) along with the practical examination of the methods. Journal of Geography, Civil Engineering and Urban Management Studies 4(1), 148-158. (In Persian)
Newton Michael, C., Elizabeth, C., 2006. harvesting impacts on understory regeneration in two-storied Douglas-Fir stands. Western Journal of Applied Forestry 21(1), 14-18
Nouri, Z., Feghhi, J., Zahedi Amiri, G., Rahmani, R., 2010. Estimation of species diversity in forest different stories (case study: Patom district of Kheyrud forest). Journal of Natural Environment 63(4), 399-407. (In Persian)
Oghnoum, M., feghhe, J., makhdoum, M., Jabareyan, B., 2015. Environmental Impact Assessment of the Forest Management Plan, Using Degradation Model (Case Study: Patom District of Kheyroud Forest). Environmental Researches 5(10), 63-72. (In Persian)
Palviainen, M., Peltomaa, E., Laurén, A., Kinnunen, N., Ojala, A., Berninger, F., Zhu, X., & Pumpanen, J., 2021. Water quality and the biodegradability of dissolved organic carbon in drained boreal peatland ,under different forest harvesting intensities. Science of The Total Environment 806, 150919.
Saaty, T.L., 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research 48(1), 9-26.
Shahriari, A., Moghadami Rad, M., Abdie, E., 2019. The effects of logging on forest soil (Azad Shahr Kuhmian Forest). Journal of Plant Ecosystem Conservation 6(13), 233-250 (In Persian)
Shariat, M., Manori, M., 1994. An introduction to environmental assessment. Publications of the Environmental Protection Organization, Tehran, 297 p. (In Persian)

Sobh Zahedi, S., Naghdi, R., Gharibreza, M.R., Salehi, A., Zahedi, G., 2020. Assessing the Effects of Strip Cutting methods on Soil Erosion (A Case Study: Chafroud Forest). Iranian Journal of Forest 12(1), 49-60. (In Persian)

Sohrabi, H., Jourgholami, M., Jafari, M., 2021. Evaluation of changes in soil physical, chemical and biological properties 25 years after skidding operations in Kheyrud forest. Journal of Forest and Wood Products 73(4), 403-415. (In Persian)

Spahbodi, K., Kiasari, S., 2000. Evaluation of one of the main methods of forestry in the forests of the north (Pijom forestry plan). National Conference on Northern Forest Management and Sustainable Development, Ramsar, Iran. pp. 229-269. (In Persian)

Wenger, R.B., Rhyner, C.R., 1972. Evaluation of Alternatives For Solid Waste Systems. Journal of Environmental Systems 2(1), 89-108.

Zarafshar, M., Teymuri, M., 2022. Introduction of suitable biological indicators to monitor the quality and health of the soil of forest ecosystems. Journal of Sustainable Management of Hyrcanian Forests 4(1), 29-35. ([In Persian)