**علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره سه، خرداد ماه ۹۹**

# تعیین مناسب‌ترین مسیر پیشنهادی از طریق تحلیل سلسله مراتبی (AHP) معیارهای ارزیابی شبکه جاده‌های جنگلی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

**آیدین پارساخو[1*]**

*Aidinparsakhoo@yahoo.com*

**مهرسا یزدانی[2]**

**تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۷** **تاریخ پذیرش:۹۶/۷/۲۴**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** هدف پژوهش حاضر، تهیه نقشه قابلیت عبور اراضی طرح سعدآباد-ناهارخوران استان گلستان، طراحی مسیرهای پیشنهادی و انتخاب بهترین مسیر بر اساس معیارهای قابلیت عبور از طبقات اراضی، درصد شبکه‌بندی، توزیع سطحی و تن‌کیلومتر تصحیح‌شده بود.

**روش بررسی:** ابتدا نسبت به تهیه نقشه قابلیت عبور اقدام شده و سپس به‌کمک برنامه PEGGER دو مسیر پیشنهادی بر روی این نقشه طراحی شد و قابلیت عبور آن‌ها از طبقات مختلف اراضی برآورد گردید. درصد شبکه‌بندی و پوشش مشترک جاده‌ها با محاسبه تراکم طولی و تعیین مرز چوب‌کشی هر جاده و ایجاد بافر در اطراف آن‌ها مشخص شد. در ارزیابی توزیع سطحی، متوسط فاصله مراکز هندسی پارسل‌ها تا جاده اندازه‌گیری گردید. متوسط تن کیلومتر هر گزینه با توجه به ضریب تصحیح فاصله چوب‌کشی و ضریب تبدیل حجم به وزن چوب محاسبه شد. با وزن‌دهی و تحلیل سلسله مراتبی معیارهای ارزیابی نسبت به انتخاب بهترین مسیر پیشنهادی اقدام شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که جاده موجود در مقایسه با گزینه‌های دیگر در مناطق با قابلیت عبور بهتری واقع شده است. متوسط فاصله مراکز هندسی پارسل‌ها تا جاده‌های پیشنهادی اول، دوم و جاده موجود به‌ترتیب ۴۷۶/۹۸، ۴۸۰/۳۱ و ۴۲۸/۸۵ متر بود که نشان می‌دهد جاده موجود از توزیع بهتری برخوردار بود. بیش‌ترین درصد شبکه‌بندی توسط گزینه پیشنهادی اول (۸۲/۳ درصد) حاصل شد. بر اساس معیار تن‌کیلومتر، هر کیلومتر جاده موجود برای خروج تمام چوب‌ها از پارسل‌ها باید تا ۱۴۹/۹۶ تن وزن را تحمل نماید. جاده موجود از لحاظ عبور از اراضی با قابلیت عبور بالا، پوشش مشترک، توزیع سطحی و تن‌کیلومتر مناسب‌تر از سایر گزینه‌ها بود.

**بحث و نتیجه‌گیری:** با تجمیع معیارهای ارزیابی شبکه جاده‌های جنگلی به‌کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان به درک دقیق‌تری از کارایی شبکه جاده دست یافت و در نتیجه به انتخاب گزینه برتر مبادرت ورزید.

**واژه‌های کلیدی:** قابلیت عبور اراضی، مسیرهای پیشنهادی، معیارهای ارزیابی شبکه، سامانه اطلاعات جغرافیایی، طرح سعدآباد-ناهارخوران.

---

۱- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

*J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 3, June, 2021*

# Determination of the Most Appropriate Recommended Route Using Analytical Hierarchy Process (AHP) of Forest Road Network Evaluation Criteria in Geographical Information System (GIS)

**Aidin Parsakhoo[1*]**
*Aidinparsakhoo@yahoo.com*
**Mehrsa Yazdani[2]**

Admission Date:October 16, 2017 Date Received: July 29, 2017

**Abstract**

**Background and Objectives:** The aim of this study was to prepare the map of land suitability for passage in SaadAbad–Naharkhoran forestry plan, Golestan province and design the different variants of forest roads and choose the best one according to the amount of passage from land classes, openness percentage and surface distribution and modified tone-kilometer.

**Method:** The map of land suitability for passage was produced. Then, two variants were designed on this map using PEGGER and the amount of passage from land classes was estimated. Openness percentage and dead zones was determined by the calculating road density and skidding line and creating buffer. In Surface distribution algorithm, the distance from geometrical center of compartments to roads was measured. Tone-kilometer of variants was calculated according to skidding correction factor and conversion coefficient of volume to weight. The best variant was chosen based on AHP.

**Findings:** Results showed that existing road has passed from more suitability land as compared to other variants. Mean distance from geometric centers of compartment to first, second and existing variants were respectively 476.9, 480.3 and 428.8 m which indicates that existing road has better distribution. Maximum was recorded for first variant with amount of 82.3%. In tone-kilometer algorithm, each kilometer of existing road should bear 149.96 tones for extraction of woods from compartment. Existing road was better than two variants in terms of passage from suitability land, dead zone, surface distribution and ton-kilometer; so that after calculating the final weight it was determined that existing road is the best.

**Discussion and Conclusion:** Besides considering all the criteria in evaluation of forest road network leads to more accurate understanding of the performance of each variant and choice the best one.

**Keywords**: Land suitability for passage, Road variants, Network evaluation criteria, GIS, SaadAbad–Naharkhoran plan.

1- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran * (Corresponding Author)
2- M.Sc. Student, Department of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

**مقدمه**

پایداری و یا قابلیت اراضی که گزینه‌های جاده جنگلی از آنجا عبور داده می‌شود چه در مرحله ساخت و چه در مرحله بهره-برداری در تعیین هزینه‌ها و اثرات محیط‌زیستی نقشی کلیدی دارد. عوامل متعددی مانند جنس خاک، سنگ‌بستر، شیب دامنه، شبکه هیدروگرافی، تیپ جنگل، ارتفاع از سطح دریا، جهت دامنه، حجم در هکتار، فاصله از گسل، حساسیت به زمین‌لغزش و فرسایش در این رابطه تأثیرگذار هستند که با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) و ارزش‌دهی و ادغام این اطلاعات، نقشه‌ای تحت عنوان نقشه قابلیت عبور اراضی حاصل می‌شود (۱، ۲ و ۳). یک تراکم معین از شبکه جاده‌های جنگلی بسته به قابلیت عبور اراضی به شکل‌های متفاوت توزیع می‌شود (۴، ۵ و ۶). این توزیع در قالب مسیرهای پیشنهادی به‌کمک برنامه‌های الحاقی به محیط ArcView مانند PEGGER و یا روش‌های دستی با پرگار انجام می‌شود (۷، ۸ و ۹). بررسی حالات متفاوت توزیع شبکهٔ جاده و ارزیابی و کنترل کارایی آن‌ها جهت یافتن مطلوب‌ترین گزینه دارای اهمیّت بالایی است زیرا جاده‌سازی پرهزینه‌ترین سرمایه‌گذاری در روند اجرای طرح‌های جنگل‌داری بوده و روی هزینه‌های بخش‌های مختلف مدیریتی جنگل نیز تأثیر به‌سزایی دارد (۱۰ و ۱۱). برای انجام این ارزیابی‌ها، روش‌های گوناگونی مانند روش باکموند[1] روش توزیع سطحی، تن‌کیلومتر و غیره توسط محققین پیشنهاد و به‌کار بسته شده است (۴، ۱۲ و ۱۳). تاکنون در اغلب مطالعات نیز تنها از یک الی دو روش برای ارزیابی گزینه‌های مختلف شبکه جاده‌های جنگلی بهره گرفته شده است، در حالی‌که با ارزیابی شبکه جاده به‌کمک انواع معیارهای اقتصادی، فنی و اجرایی و سپس استفاده از فرآیندهای تصمیم‌سازی با معیارهای چندگانه می‌توان به درک دقیق‌تر و عمیق‌تری از کارایی هر شبکه دست یافت و در نهایت بهترین گزینه را برگزید (۱۴، ۱۵ و ۱۶). چنان‌که گوموس[2] (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای در کشور ترکیه، ۱۳ معیار را برای ارزیابی مسیرهای عبور جاده جنگلی در نظر گرفت. برخی از این معیارها عبارت بودند از شیب طولی، تعداد سازه‌های مورد نیاز (پل، کالورت[3] دیواره حفاظتی و ...)، زیبایی بصری، مطلوبیت سیستم زه‌کشی، دسترسی جهت اطفاء حریق، قدرت افتتاح-کنندگی جنگل، هزینه حمل و نقل، وضعیت فرسایش و کیفیت آب، خطر زمین‌لغزش، وضعیت زیستگاه‌های حیات‌وحش و سهولت و امنیت بهره‌برداری. سپس توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بهترین مسیر تعیین شد (۱۷). بدین‌ترتیب با به‌روز رسانی برخی معیارهای ارزیابی شبکه و به‌کار بستن تؤام آن‌ها می‌توان ارزش کلی معیارها را در ارزیابی‌ها بهبود بخشید (۱۸ و ۱۹). قابلیت عبور جاده از طبقات مختلف اراضی، درصد شبکه‌بندی، توزیع سطحی و تن‌کیلومتر تصحیح‌شده از جمله معیارهای ارزیابی شبکه جاده هستند که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است (۲۰ و ۲۱). با توجه به ضرورت حفاظت از عرصه جنگل و کاهش آسیب به اکوسیستم پایدار آن، طراحی شبکه جاده‌های جنگلی باید با دقت فراوان و با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته جهت بررسی همه‌جانبه انجام شود. لذا هدف از پژوهش حاضر تهیه نقشه قابلیت عبور اراضی برای طرح جنگل‌داری سعدآباد-ناهارخوران، طراحی دو مسیر پیشنهادی روی آن و سپس ارزیابی و مقایسه گزینه‌ها با شبکه جاده موجود بود. در پایان بهترین مسیر جاده با توجه به معیارهای قابلیت عبور از طبقات اراضی، درصد شبکه‌بندی، توزیع سطحی و تن‌کیلومتر تصحیح‌شده مشخص گردید.

**مواد و روش‌ها**

**مشخصات منطقه مورد مطالعه:** طرح جنگل‌داری سعد آباد – ناهارخوران واقع در حوزه‌آبخیز شماره ۸۵، در محدوده طول شرقی "۳۰ '۲۲ °۵۴ تا "۳۵ '۲۹ °۵۴ و عرض شمالی "۱۵ '۴۳ °۳۶ تا "۱۱ '۵۰ °۳۶ استان گلستان قرار دارد. مساحت کل منطقه ۴۲۳۲ هکتار و مساحت قابل بهره‌برداری ۲۵۱۳ هکتار، حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۱۵۰ و ۱۳۰۰ متر، متوسط شیب منطقه کم‌تر از ۳۰ درصد، تیپ خاک قهوه‌ای جنگلی و تیپ درختان ممرز-انجیلی است. برداشت چوب به

[1]- Backmund
[2]- Gumus
4- Culvert

شیوه تک‌گزینی و با اره‌موتوری انجام شده و مقطوعات به‌روش سنتی با قاطر و یا به روش صنعتی با اسکیدر از مسیرهای چوب‌کشی خارج می‌شوند. حدود ۴۳ کیلومتر جاده جنگلی در منطقه مورد مطالعه موجود است (۲۲).

**تهیه نقشه قابلیت عبور اراضی و طراحی مسیرهای پیشنهادی:** تهیه نقشه قابلیت عبور اراضی و شاخص‌های پردازش آن بدین‌شرح است:

بر اساس اطلاعات مندرج در کتابچه طرح جنگل‌داری سعد آباد- ناهارخوران، نقشه طبقات خاک یا اراضی شامل واحدهای ۱-۱۴، ۲-۱۷، ۴-۱۵ می‌باشد که به‌ترتیب مشخصات خاک برای جاده‌سازی مناسب‌تر می‌شود، نقشه شیب شامل طبقات ۰-۲۰٪، ۲۰-۳۰٪، ۳۰-۵۵٪ و ۵۵٪<، نقشه ظرفیت جنگل شامل طبقات ۰-۴۴، ۴۴-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰ و ۲۰۰-۳۳۰ مترمکعب در هکتار، نقشه جهت‌های جغرافیایی شامل جهت شمال، جنوب، شرق و غرب و نقشه آبراهه‌ها با رتبه ۱، ۲، ۳ و ۴ براساس رده‌بندی استرالر تهیه و پس از وزن‌دهی به‌روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نرم‌افزار Expert choice رابطه (۱) استخراج گردید.

قابلیت عبور=

$$۰/۳۵G + ۰/۲۲R + ۰/۲S + ۰/۱۸C + ۰/۰۵D \quad (۱)$$

که در آن $G$ شیب دامنه (درصد)، $R$ آبراهه‌ها، $S$ خاک، $C$ ظرفیت جنگل (مترمکعب در هکتار) و $D$ جهت دامنه می‌باشد (۲۳). برای تحلیل سلسله مراتبی تعداد ۳۰ پرسش‌نامه در میان متخصصین (اعضای هیأت علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقات) توزیع گردید که ۱۵ مورد آن وصول شد. سپس این لایه‌ها در محیط ArcGIS روی‌هم‌گذاری و نقشه قابلیت عبور اراضی تولید شد. در مرحله بعد، به‌کمک برنامه الحاقی PEGGER که در محیط ArcView کار می‌کند، بر روی نقشه قابلیت عبور اراضی دو مسیر پیشنهادی طراحی شد. این مسیرها از نوع جاده جنگلی درجه دو با استانداردهای فنی مربوطه بودند. بیش‌تر مسیر با شیب ۵ درصد طراحی گردید.

**ارزیابی مسیرهای پیشنهادی به‌روش درصد شبکه‌بندی:** در این روش پس از محاسبه تراکم طولی (رابطه ۲) و تعیین مرز چوب‌گیر برای هر جاده (رابطه ۳)، اقدام به ترسیم آن در اطراف جاده‌های جنگلی نموده و سپس به ارزیابی درصد پوشش پرداخته شد (۲۴).

$$RD = \frac{RL}{A} \quad (۲)$$

$$T = \frac{10000}{2RD} \quad (۳)$$

که در آن $RD$ تراکم طولی جاده (متر در هکتار)، $RL$ طول جاده (متر)، $A$ مساحت منطقه (هکتار) و $T$ مرز چوب‌گیر (متر) است. درصد شبکه‌بندی ($E$) قسمتی از سطح کل جنگل است که زیر پوشش جاده قرار دارد و برابر است با مساحت حوضه چوب‌گیر جاده ($S$) تقسیم بر سطح کل منطقه بهره‌برداری ($A$) ضرب‌در ۱۰۰ (رابطه ۴).

$$E = \frac{S}{A} \times 100 \quad (۴)$$

**ارزیابی توزیع سطحی مسیرهای پیشنهادی**: در این روش هر یک از پارسل‌ها به عنوان منطقهٔ هدف بوده و مراکز هندسی آن‌ها از طریق منوی Data management tool و دستور Feature to point برای کل سطح سری تعیین شد (۲۴). آن‌گاه فاصلهٔ این نقاط تا نزدیک‌ترین جاده اندازه‌گیری شد. جمع عدد بدست آمده بر تعداد نقاط تقسیم گردید تا فاصله متوسط هر نقطه تا جاده بدست آید (رابطه ۵).

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i k_i}{n} \quad (۵)$$

در این رابطه $Y$ متوسط فاصله هر نقطه تا جاده برای هر آلترناتیو (متر)، $D$ فاصله چوب‌کشی هر نقطه تا جاده (متر)، $k$ ضریب تصحیح فاصله چوب‌کشی، $n$ تعداد نقاط واقع شده در سطح مورد نظر و $i$ مرکز هندسی پارسل $i$ام است (۲۴).

**ارزیابی مسیرهای پیشنهادی به‌روش تن‌کیلومتر تصحیح شده**: در روش تن‌کیلومتر برای هر یک از نقاط شبکه و یا مرکز هندسی پارسل، وزن‌دهی یا ارزش‌گذاری صورت پذیرفت. وزن هر یک از نقاط، میزان چوب مورد عمل در سطح مربوط به آن نقطه بود (رابطه ۶).

$$TK = \frac{\sum_{i=1}^{n} (DkVm)_i}{n} \qquad (۶)$$

در این رابطه $TK$ متوسط تن کیلومتر برای هر گزینه شبکه - راه‌ها، $D$ فاصلهٔ چوب‌کشی هر نقطهٔ هدف تا جاده (کیلومتر)، $k$ ضریب تصحیح همان فاصله، $V$ حجم چوب مورد عمل در آن نقطه شامل گرده‌بینه و هیزم (مترمکعب)، $m$ ضریب تبدیل حجم به وزن چوب‌های آن نقطه، $n$ تعداد نقاط قرار گرفته در محدودهٔ نقشهٔ مورد نظر و $i$ مرکز هندسی پارسل $i$ام می‌باشد (۲۴). با لحاظ کردن مقادیر شیب، فاصله چوب‌کشی اصلاح گردید. بدین‌ترتیب در مناطق با شیب ۲۰-۰ درصد، ضریب تصحیح فاصله چوب‌کشی معادل ۲ و در مناطق با شیب ۵۰-۲۰ درصد، ضریب تصحیح معادل ۳ و در شیب‌های بالاتر ۳/۶ می‌باشد (۲۴). ضریب تبدیل حجم به وزن چوب ۰/۷ برآورد می‌شود (۲۴). با وزن‌دهی و مقایسات زوجی معیارهای قابلیت عبور اراضی، درصد شبکه‌بندی، تن‌کیلومتر و توزیع سطحی و رتبه‌بندی گزینه‌های ۱، ۲ و جاده موجود در طیف ۱ تا ۳ در نرم‌افزار Expert choice نسبت به انتخاب بهترین گزینه شبکه جاده از میان دو گزینه پیشنهادی و گزینه موجود اقدام شد.

**نتایج و بحث**

**قابلیت عبور از طبقات اراضی:** نتایج نشان داد که جاده موجود در مقایسه با گزینه‌های دیگر در مناطق با قابلیت عبور بهتری واقع شده است. درحالی‌که، جاده پیشنهادی دوم کم‌تر از سایر گزینه‌ها از مناطق با قابلیت عبور زیاد و در عین حال بیش‌تر از سایر گزینه‌ها از مناطق با قابلیت عبور کم عبور کرده است (جدول ۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که به‌ترتیب ۶۹، ۶۴ و ۷۲ درصد از طول کل جاده‌های پیشنهادی اول، دوم و موجود در طبقات اراضی با قابلیت عبور زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. فیروزان و همکاران (۱۳۸۸) و مرادمندجلالی و حسینی (۱۳۸۸) عوامل مؤثر بر مسیریابی جاده‌های جنگلی شامل نقشه‌های رقومی شیب، جهت، ارتفاع، موجودی درختان، تیپ جنگل و زمین‌شناسی را در محیط GIS روی‌هم‌گذاری کرده و نقشه توان عبور اراضی را تولید کردند (۶ و ۲۵). نتایج نشان داد که قابلیت عبور شبکه جاده پیشنهادی از مناطق با توان بالا نسبت به شبکه جاده موجود بیش‌تر بود. به‌طور کلی گزینه‌های طراحی شده با استفاده از قابلیت‌های GIS کوتاه‌تر بوده و از نقاط منفی کم‌تری عبور می‌کند (۲۳ و ۲۶)، در طراحی شبکه جاده موجود که در گذشته توسط مهندسین وقت اجرا شده بود از قابلیت GIS استفاده نشد و تنها به جنگل‌گردشی و ردیابی مسیر هادی روی نقشه توپوگرافی اکتفا گردید، با این وجود این شبکه شرایط مطلوب‌تری نسبت به سایر گزینه‌ها داشت که نشان‌دهنده دقت، تجربه و مهارت زیاد طراحان و متخصصین در عملیات میدانی و دفتری است.

**جدول ۱- قابلیت عبور گزینه‌های پیشنهادی شبکه جاده‌های جنگلی از طبقات مختلف اراضی**

Table 1. Passage of recommended forest road network from different land classes.

| قابلیت عبور اراضی / شبکه پیشنهادی | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم |
|---|---|---|---|---|
| شبکه جاده پیشنهادی ۱ (٪) | ۳۴/۸۹ | ۳۴/۶۷ | ۲۰/۲۳ | ۱۰/۲۱ |
| شبکه جاده پیشنهادی ۲ (٪) | ۳۲/۴۳ | ۳۱/۱۸ | ۲۳/۵۵ | ۱۲/۸۴ |
| شبکه جاده موجود (٪) | ۳۸/۹۳ | ۳۳/۲۳ | ۱۸/۹۳ | ۸/۹۱ |

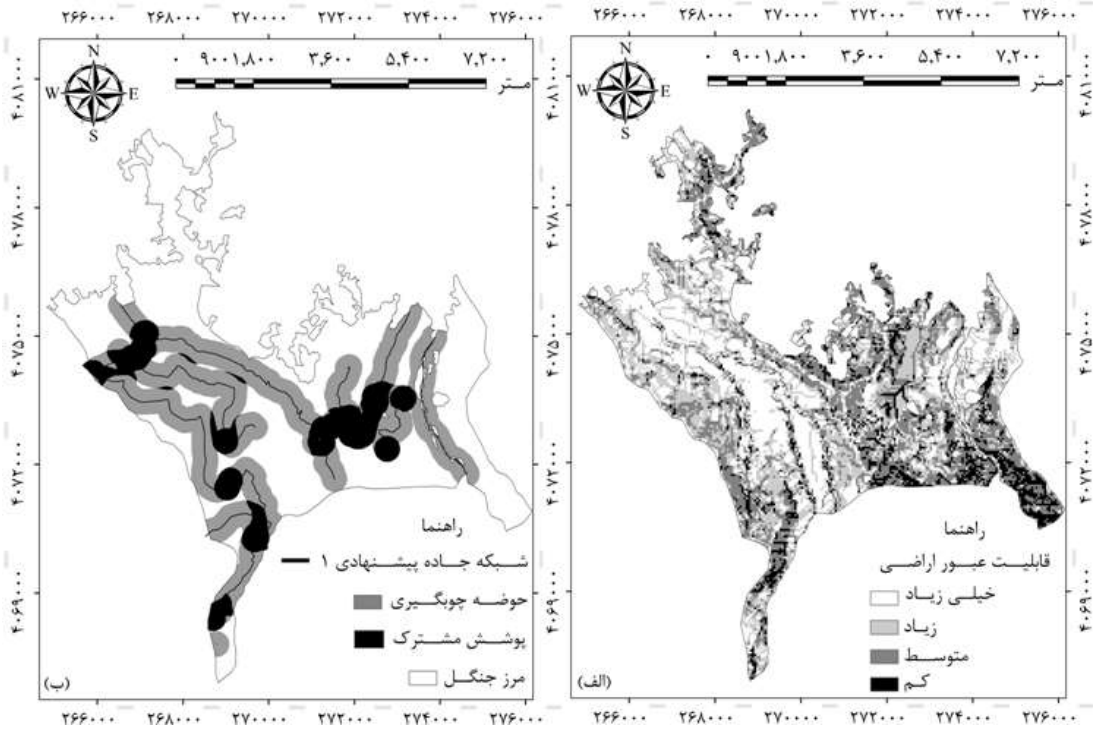
**درصد شبکه‌بندی مسیرهای پیشنهادی:** نقشه قابلیت عبور اراضی (شکل ۱-الف) و مناطق زیر پوشش چوب‌کشی اسکیدر چرخ‌لاستیکی برای جاده پیشنهادی ۱ (شکل ۱-ب)، جاده پیشنهادی ۲ (شکل ۱-ج) و جاده موجود (شکل ۱-د) در شکل ۱ به نمایش درآمده است. بیش‌ترین درصد شبکه‌بندی توسط گزینه پیشنهادی اول (۸۲ درصد) و کم‌ترین آن توسط گزینه پیشنهادی دوم (۷۴ درصد) حاصل شد (جدول ۲). ثابت شده است که چنان‌چه میزان پوشش معادل ۷۰ تا ۸۵ درصد باشد، این شبکه از نظر پوشش سطحی عالی است (۲۴).

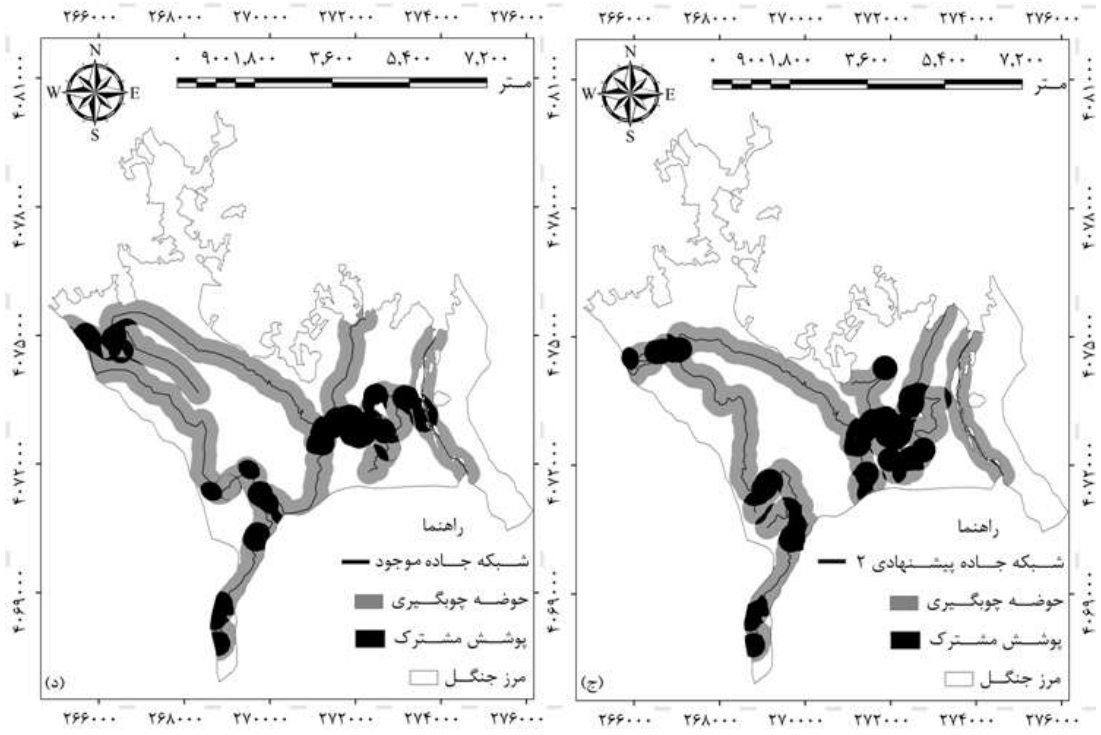
**جدول ۲- مشخصات فنی گزینه‌های پیشنهادی و موجود شبکه جاده‌های جنگلی در طرح سعدآباد-ناهارخوران.**

Table 2.Technical properties of road variants and existing road in Saad abad-Naharkhoran plan.

| مشخصات فنی / گزینه شبکه جاده | تراکم طولی (متر در هکتار) | مرز چوب‌کشی (متر) | حوضه چوب‌گیر (هکتار) | پوشش مشترک (هکتار) | درصد شبکه‌بندی |
|---|---|---|---|---|---|
| شبکه جاده پیشنهادی ۱ | ۱۶/۶ | ۳۰۰/۴ | ۲۰۶۹/۳ | ۲۱/۰ | ۸۲/۳ |
| شبکه جاده پیشنهادی ۲ | ۱۷/۶ | ۲۸۴/۳ | ۱۸۵۰/۲ | ۲۲/۴ | ۷۳/۶ |
| شبکه جاده موجود | ۱۷/۱ | ۲۹۲/۵ | ۱۹۵۶/۳ | ۲۰/۴ | ۷۷/۸ |

**توزیع سطحی و تن‌کیلومتر مسیرهای پیشنهادی:** نتایج حاصل از اندازه‌گیری فاصله مراکز هندسی پارسل‌ها تا جاده نشان داد که جاده موجود دارای بهترین توزیع بوده و کم‌ترین فاصله را تا مراکز پارسل‌ها داشت. شبکه موجود از نظر تن-کیلومتر نیز در مقایسه با گزینه‌های دیگر از وضعیت مناسب‌تری برخوردار بود. تن‌کیلومتر گزینه اول ۱۵۶ بدست آمد که نشان می‌دهد هر کیلومتر جاده برای خروج تمام چوب‌ها از پارسل‌ها تا ۱۵۶ تن وزن را باید تحمل نماید. در حالی‌که هر کیلومتر جاده موجود برای خروج تمام چوب‌ها از پارسل‌ها باید تا ۱۵۰ تن وزن را تحمل نماید که در مقایسه با سایر جاده‌ها مقدار کم-تری بوده و در نتیجه آسیب کم‌تری نیز به جاده وارد خواهد شد (جدول ۳).






**شکل ۱- نقشه قابلیت عبور اراضی (الف) و حوضه چوب‌گیر اسکیدر برای گزینه‌های پیشنهادی ۱(ب)، ۲ (ج) و جاده موجود (د).**

Figure 2. Map of land suitability for passage (A), skidding buffer of variants 1 (B), 2 (C) and existing (D).

**جدول ۳- متوسط فاصله عمود مراکز هندسی پارسل‌ها تا هر یک از جاده‌های پیشنهادی و موجود.**

Table 3. Mean distance from geometric centers to each recommended and existing road.

| شبکه پیشنهادی | شبکه جاده پیشنهادی ۱ | شبکه جاده پیشنهادی ۲ | شبکه جاده موجود |
|---|---|---|---|
| متوسط فاصله هر نقطه تا جاده ($Y$) | ۴۷۶/۹۸ | ۴۸۰/۳۱ | ۴۲۸/۸۵ |
| متوسط تن‌کیلومتر($TK$) | ۱۵۶/۱۶ | ۱۵۴/۰۰ | ۱۴۹/۹۶ |

**انتخاب بهترین مسیر به‌کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی**: بر اساس نظر متخصصین و مقایسات زوجی به عمل آمده میزان اهمیت معیارهای درصد شبکه‌بندی، تن‌کیلومتر، قابلیت عبور از طبقات اراضی، پوشش مشترک و توزیع سطحی برای ارزیابی شبکه جاده‌های جنگلی به‌ترتیب ۰/۲۴۵، ۰/۲۲۵، ۰/۲۲۳، ۰/۲۰۷ و ۰/۱۰۰ بود. نتایج نشان داد که جاده موجود از لحاظ پوشش مشترک، توزیع سطحی و تن‌کیلومتر مناسب‌تر از سایر گزینه‌ها بوده و از وزن یا اولویت بیش‌تری برای ساخت برخوردار است (جدول ۴). محمدی‌سمانی و همکاران (۲۰۱۰) پس از ارزیابی جاده‌های پیشنهادی از نظر قابلیت عبور از اراضی پایدار، درصد پوشش و پوشش مشترک جاده‌ها (روش باکموند) مشخص نمودند که واریانت طراحی‌شده با PEGGER از وضعیت مناسب‌تری برخوردار بود (۱۶). در حالی‌که در تحقیق حاضر شبکه جاده موجود که در گذشته به‌روش سنتی طراحی شده بود از وضعیت مناسب‌تری برخوردار بود.

**جدول ۴- رتبه‌ها و وزن‌های تخصیص‌یافته به معیارهای ارزیابی و گزینه‌های مختلف جاده‌های جنگلی**

Table 4- Assigned rates and weights to evaluation criteria and different alternatives of forest roads.

| معیار | گزینه | ارزش | معیار | گزینه | ارزش | معیار | گزینه | ارزش |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| قابلیت عبور از طبقات اراضی(۰/۲۲۳) | ۱ | ۲ | درصد شبکه-بندی (۰/۲۴۵) | ۱ | ۳ | پوشش مشترک (۰/۲۰۷) | ۱ | ۲ |
| | ۲ | ۱ | | ۲ | ۱ | | ۲ | ۱ |
| | موجود | ۳ | | موجود | ۲ | | موجود | ۳ |
| توزیع سطحی(۰/۱۰۰) | ۱ | ۲ | تن‌کیلومتر (۰/۲۲۵) | ۱ | ۱ | وزن نهایی | ۱ | ۰/۳۸۰ |
| | ۲ | ۱ | | ۲ | ۲ | | ۲ | ۰/۲۲۴ |
| | موجود | ۳ | | موجود | ۳ | | موجود | ۰/۳۹۶ |

**نتیجه‌گیری کلی**

نتیجه کاربردی این تحقیق آن است که در طراحی شبکه جاده-های جنگلی باید ارزیابی قابلیت عبور اراضی و مسایل فنی به-صورت توام در نظر گرفته شود تا ضمن عبور جاده از اراضی پایدار و غنی از چوب، معیارها و استانداردهای فنی آن نیز به-طور دقیق رعایت گردد. نتایج نشان داد که شبکه جاده موجود در مقایسه با سایر گزینه‌ها از وزن یا اولویت بیش‌تری برای ساخت برخوردار بود که این موضوع دقت، تجربه و مهارت زیاد طراحان و متخصصین وقت در عملیات ردیابی مسیر هادی را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بین گزینه پیشنهادی اول و شبکه جاده موجود از نظر وزن و ارزش کل تفاوت محسوسی مشاهده نشد. در بخش اجرا پیشنهاد می‌گردد نخست لایه اطلاعاتی مربوط به قابلیت عبور اراضی از منظر اقتصادی و زیست‌محیطی تهیه و سپس مسیرهای پیشنهادی روی این نقشه طراحی شود. در گام بعدی برای تحلیل و بررسی گزینه‌های متعدد شبکه جاده جنگلی تمامی معیارهای ارزیابی فنی اعم از باکموند و تن-کیلومتر تصحیح شده، تئوری گراف، الگوریتم‌های نزدیک‌ترین مسیر و سایر تحلیل‌های هزینه/فایده به‌کار بسته شود تا به‌کمک مدل‌های تصمیم‌سازی چندمعیاره برترین گزینه انتخاب گردد. در بخش پژوهش لازم است تا برخی از معیارهای قدیمی مانند تن‌کیلومتر، باکموند و سگبادن بازنگری و حتی‌الامکان اصلاح و به‌روزرسانی شوند.

**Reference**


1. Hayati, E., Abdi, E., Majnounian, B. 2013. Application of Sensitivity Analysis in Forest Road Networks Planning and Assessment. Journal of Agricultural Sciences and Technology, 15: 781-792.
2. Havimo, M., Mönkönen, P., Lopatin, E., Dahlin, B. 2017. Optimizing forest road planning to maximse the mobilization of wood biomass resources in Northwest Russia. Journal of Biofuels, 8(4): 501-514.
3. Hosseini, S.A., Mazrae, M.R., Lotfalian, M., Parsakhoo, A. 2012. Designing an optimal forest road network by consideration of environmental impacts in GIS. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 20: 58-66.
4. Abdi, E., Majnounian, B., Darvishsefat, A., Mashayekhi, Z., Sessions, J. 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning. Journal of Forest Science, 55 (4): 171-176.
5. Mostafa, M., Raafatnia, N., Shataee, S., Ghazanfari, H. 2010. Forest road networks design in a multiple used forestry plan using GIS, Armardah forests of Baneh. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 17(1): 129-133. (In Persian)
6. Moradmand Jalali, A., Hosseini, S.A. 2009. Application of GIS in planning

of forest road. Journal of Environmnetal Science and Technology, 22(1): 173-263.

7. Najafi, A., Sobhani, H., Saeed, A., Makhdum, M., Mohajer, M.M. 2008. Planning and assessment of alternative forest road and skidding networks. Croatian Journal of Forest Engineering, 29: 63-73.
8. Puya, K., Majnounian, B., Feghhi, J., Lotfalian, M., Abdi E. 2009. The efficiency of Backmund method for evaluation of forest road networks with regard to capabilities of wheeled skidders in ground skidding method. Iranian Journal of Forest, 1(1): 35-42. (In Persian)
9. Parsakhoo, A. 2016. Metric measurements for optimization of forest road network alternatives in GIS-based programs. Forest Science and Technology, 12(3): 153-161.
10. Acar, H. 1997. Preparation of forest transport plans in mountainous regions Turkish. Journal of Agriculture and Forestry, 21: 201- 206.
11. Puya, K., Majnounian, B., Feghhi, J., Lotfalian, M., Abdi E. 2009. The efficiency of Backmund method for evaluation of forest road networks with regard to capabilities of wheeled skidders in ground skidding method. Iranian Journal of Forest, 1(1): 35-42. (In Persian)
12. Jourgholami, M., Abdi, E., Chung, W. 2013. Decision making in forest road planning considering both skidding and road costs: a case study in the Hyrcanian Forest in Iran. iForest, 6:59-64.
13. Parinejad, H. 2014. Study of forest roads density in Hyrcanian forest (case study: Neka forest, Mazandaran province). Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 3: 151-155.
14. Alizadeh, S.M., Majnounian, B., Darvishsefat, A.A. 2011. Possibility of designing and evaluation of forest road network variants using GIS and field investigations (Case study: Kheiroud Forest - Chelir District). Journal of Forest and Wood Products, 63(4): 399-408. (In Persian)
15. Babapour, R., Naghdi, R., Salehi, A. 2014. A decision support system for allocation of mountain forest roads based on ground stability. Arabian Journal for Science and Engineering, 39(1): 199-205.
16. Mohammadi Samani, K., Hosseini, S.A., Lotfalian, M., Najafi, A. 2010. Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). Caspian Journal of Environmental Science, 8: 151-162.
17. Gumus, S. 2001. Constitution of the forest road evaluation form for Turkish forestry. African Journal of Biotechnology, 8(20): 5389-5394.
18. Majnounian, B, Abdi, E., and Darvishsefat, A.A. 2007. Planning and technical evaluating of forest road networks from accessibility point of view using GIS (Case study: Namkhane district, Kheyroud forest). Journal of the Iranian Natural Resources, 60(3): 907-919. (In Persian)
19. Majnounian, B., Chegeni, M., Sobhani, H., Abdi, E. 2009. Determination of correction factor for skidding distances in mountainous forests of northern Iran (Case study: Patom District of Kheyroud Forest).

Journal of Forest and Wood Products, 62(3): 313-323. (In Persian)

20. Gumus, S.H., Acar, H., Tuksoy, D. 2007. Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. Environment Assessment, 142: 109-116.
21. Hadipour, M., Pour Ebrahim, S. 2013. Environmental management of urban transportation using modeling of fuel minimization in suitable routing by GIS. Journal of Transportation Engineering, 4(4): 407-418.
22. Handbook of Forestry Management Plan. 2005. SaadAbad–Naharkhoran forestry plan. Technical group in general office of the natural resources of Golestan, 200p.
23. Imani, P., Najafi, A., Ghajar, E. 2012. Planning forest road alignment using a shortest path algorithm and geographic information system. Journal of Forest & Poplar Research, 20: 460-471. (In Persian)
24. Lotfalian, M., Parsakhoo, A. 2012. Planning of forest road network. Ayiizh, 155p.
25. Firouzan, A.H., Naghdi, R., Babapour, R., Hakimi Aubed, M. 2009. The importance of GIS in planning forest road network (Case study: Shafaroud). Biological Sciences Journal, 3(3): 57-63.
26. Hasmadi, M.I., Pakhriazad, H.Z., Mohamed, F.S. 2010. Geographic information system-allocation model for forest path: A case study in Ayer Hitam forest reserve, Malaysia. American Journal of applied sciences, 7(3):376-380.