



دانشگاه گیلان، دانشکده منابع طبیعی گیلان

نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی  
جلد پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۵  
<http://ejang.gau.ac.ir>

## به‌کارگیری اصول زیست‌محیطی در طراحی شبکه جاده‌های جنگلی

علیرضا قمی معترضه<sup>۱</sup>، \* رامین نقدی<sup>۲</sup>، کیومرث محمدی سمانی<sup>۳</sup> و ادريس تقواي سلیمی<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جنگلداری، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا،  
<sup>۲</sup>استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه کردستان، سنندج،<sup>۳</sup>استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا  
تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** امروزه طراحان جاده‌های جنگلی با استفاده از مدل‌های دیجیتالی در محیط GIS برای مناطق کوهستانی و مناطقی که شیب زیادی دارند به راحتی با صرف هزینه و زمان کم‌تری جاده طراحی می‌کنند اما از سوی دیگر روش‌های سنتی به دلیل سرعت و دقت پایین قابلیت به‌کارگیری اطلاعات و داده‌های مکانی زیادی را ندارند، از طرفی استفاده از لایه‌های مختلف اطلاعاتی مستلزم صرف وقت و دقت زیادی است، بنابراین در طراحی سنتی از تعداد گزینه‌ها می‌کاهند تا طراحی و ارزیابی عملی شود. از ویژگی‌های بارز این پژوهش استفاده از نظرات کارشناسان جاده‌سازی در ادارات منابع طبیعی استان‌های شمالی کشور و سعی در استفاده از تمامی اطلاعات و لایه‌های مورد لزوم برای طراحی جاده‌های جنگلی در جنگل‌های شمال کشور می‌باشد. هدف از اجرای این پژوهش به‌کارگیری و معرفی عوامل محیطی و استفاده از معیارهای فنی در ارزیابی جاده‌های جنگلی می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تلاش شد تا با تلفیق GIS و AHP و تأکید بر جنبه‌های فنی و زیست‌محیطی و با تلفیق نظر اساتید دانشگاهی و کارشناسان فعال در امر جاده‌سازی مناسب‌ترین شبکه جاده برای سری ۲ ناو اسالم (حوزه آبخیز شماره ۷) طراحی شود. در این راستا با توجه به شرایط

\* مسئول مکاتبه: [rnaghd@guilan.ac.ir](mailto:rnaghd@guilan.ac.ir)

طبیعی جنگل‌های شمال ایران ۸ عامل شیب، جهت، ارتفاع، تیپ رویشگاه، موجودی سرپا، هیدروگرافی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی برای تهیه نقشه توان جاده‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. عوامل مؤثر در طراحی در قالب نقشه‌های مختلف در محیط GIS استخراج گردید. وزن‌دهی هر یک از پارامترها با استفاده فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام و ضریب اهمیت هر پارامتر با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice به‌دست آمده و سپس با در نظر گرفتن ضریب اهمیت پارامترها و تأثیر آن در لایه‌های اطلاعاتی و روی‌هم‌گذاری آن‌ها در محیط GIS، نقشه توان منطقه برای جاده‌سازی تولید گردید. در مرحله بعد طراحی شبکه جاده با روش گام پرگار بر روی نقشه تلفیقی پیشنهادی صورت گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که جاده‌های موجود به لحاظ تراکم و سطح پوشش و نحوه پراکنش برای منطقه کاملاً نامناسب می‌باشند به‌طوری‌که تنها ۱۶ درصد از کل جاده‌های موجود در مناطق مناسب برای جاده‌سازی بالا عبور کرده‌اند.

**نتیجه‌گیری:** با در نظر گرفتن همه موارد زیست‌محیطی و فنی چنین می‌توان عنوان کرد که جاده طراحی شده شماره ۳ نسبت به جاده‌های موجود و جاده‌های طراحی شده دیگر دارای برتری بوده و به‌عنوان واریانت پیشنهادی این مطالعه مطرح می‌گردد. اما نمی‌توان با اطمینان کامل ادعا کرد که جاده‌های طراحی شده در عمل نیز برای منطقه کاملاً مناسب باشند زیرا در این امر علاوه بر دقتی که طراح باید در طراحی داشته باشد، نقشه‌های ورودی نیز باید از صحت و دقت کامل برخوردار باشند.

**واژه‌های کلیدی:** نقشه پایداری، جاده‌های جنگلی، طراحی جاده، AHP، GIS

## مقدمه

جنگل‌ها فواید زیادی برای انسان‌ها از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارند که هر یک از این فواید می‌توانند به‌عنوان وظیفه جنگل تعریف شود. بسته به فرهنگ و زندگی اجتماعی هر جامعه وظیفه جنگل متفاوت است. در برخی جوامع جنگل به‌عنوان یک مکان تفریحی و در برخی جوامع محلی برای تامین نیازهای اقتصادی مردم جامعه تلقی می‌شود. برای دستیابی به این فواید و مدیریت آن‌ها نیاز به طراحی شبکه جاده جنگلی می‌باشد. طراحی شبکه جاده جنگلی طبق نیازهای ساختاری منطقه، شرایط منطقه، تکنولوژی و مدیریت منطقه تغییر می‌کند به‌طور مثال اهدافی مانند توسعه صنعت توریسم در منطقه، دستیابی به روستاهای داخل جنگل و یا شرایط خاص جغرافیایی در منطقه را می‌توان نمونه‌ای از این موارد عنوان کرد (۷). اگر جاده جنگلی به خوبی طراحی و توزیع شود کم‌ترین تخریب و صدمه به توده بیولوژیکی و رویشگاه را در بر خواهد داشت و جنگل از نقطه‌نظر مدیریت بهینه در مطلوب‌ترین شرایط خود قرار خواهد گرفت (۳). توسعه مدل‌های گوناگون مبتنی بر شبیه‌سازی و ریاضیات در کشورهای در حال توسعه مثل ایران و ترکیه باید مورد توجه قرار گیرد زیرا روش‌های سنتی کم‌کم در عصر حاضر در حال کم‌رنگ شدن است و فلسفه‌های قدیم دیگر برای شرایط جهان کنونی تناسب کم‌تری دارد (۵). روش‌های سنتی به دلیل سرعت و دقت پایین قابلیت به‌کارگیری اطلاعات و داده‌های مکانی زیادی را ندارند، از طرفی استفاده از لایه‌های مختلف اطلاعاتی مستلزم صرف وقت و دقت زیادی است، بنابراین در طراحی سنتی از تعداد گزینه‌ها می‌کاهند تا طراحی و ارزیابی عملی شود (۹). امروزه طراحان جاده‌های جنگلی با استفاده از مدل‌های دیجیتالی در محیط GIS برای مناطق کوهستانی و مناطقی که شیب زیادی دارند به راحتی با صرف هزینه و زمان کم‌تری جاده طراحی می‌کنند (۱۶).

گوموس (۲۰۰۱)، مطالعاتی در خصوص طراحی جاده‌های جنگلی در کشور ترکیه با استفاده از GIS به‌منظور کاهش هزینه‌های جاده‌سازی و تعیین بهترین مسیر ممکن انجام داد. وی با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی مسیرهای جاده جنگلی را به‌صورت سلول‌های با هزینه‌های مشخص شده طراحی نمود و سپس با انتخاب مناسب‌ترین مسیرها توانست مسیرهای با حداقل هزینه جاده‌سازی را طراحی نماید (۸). روجرز و شیس (۲۰۰۱)، در واشینگتن آمریکا فرآیند طراحی مسیر جاده‌های جنگلی به‌وسیله GIS را مورد مطالعه قرار داد و تأثیر عوامل مختلف در تعیین اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از طراحی مسیرها پیش‌بینی گردید تا بتوان بهترین مسیرها را طراحی نموده و در عرصه جنگل پیاده نمود (۱۸). موسی و محمد (۲۰۰۲) با استفاده از اجرای طراحی شبکه جاده‌های جنگلی در مالزی

به صورت سنتی، با استفاده از GIS و تلفیقی از هر دو نشان دادند که تلفیق دو روش سنتی و GIS به صورت تهیه نقشه‌های پایه توسط GIS با توجه به مسائل زیست‌محیطی و طراحی شبکه جاده بر روی این نقشه‌ها به طریق سنتی می‌تواند مناسب‌ترین راه برای طراحی مسیر جاده‌های جنگلی باشد (۱۴). نهدی و باباپور (۲۰۰۹)، طی مطالعه خود در جنگل‌های شفاورد گیلان با استفاده از GIS و AHP به طراحی جاده اقدام کردند آن‌ها در این مطالعه از ۶ نقشه شیب، جهت، ارتفاع، موجودی در هکتار، تیپ گونه‌های درختی و پایداری بهره بردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این روش می‌تواند برای جنگل‌های کوهستانی شمال ایران مفید باشد و نسبت به طراحی جاده به روش سنتی برتری دارد (۱۵). ایروادچه و همکاران (۲۰۱۲)، جنگل‌های رومانی با استفاده از نقشه DEM<sup>۱</sup> و جاده‌های موجود برنامه‌ریزی و دسترسی به جنگل را با حداقل تأثیرات مخرب اکولوژیکی، بررسی نموده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که برنامه‌ریزی برای ایجاد دسترسی در جنگل با حداقل تأثیرات اکولوژیکی باید براساس داده‌های دقیق و واقعی باشند (۱۰). مصطفی و همکاران (۲۰۱۰)، با توجه به اهداف طرح‌های جنگلداری چندمنظوره در منطقه آرمرده بانه اقدام به طراحی شبکه جاده با استفاده از GIS نموده‌اند و پس از شناسایی عوامل مؤثر در شبکه جاده نقشه قابلیت عبور را تهیه نموده و سپس شبکه جاده را با استفاده از برنامه PEGGER طراحی نموده‌اند (۱۳). عبدی و همکاران (۲۰۱۰)، با روی هم‌گذاری نقشه‌های شیب، جهت و نوع خاک منطقه با استفاده از نرم‌افزار GIS و طبقه‌بندی سری نم‌خانه در جنگل خیرودکنار بر اساس هزینه ساخت جاده، بهترین گزینه جاده بر اساس هزینه و عملکرد را به دست آورده است (۱). محمدی‌سمانی و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به وزن‌دهی عوامل ارتفاع، شیب، جهت، خاکشناسی، هیدرولوژی، حجم در هکتار و گونه‌های درختان پرداخت و به این نتیجه رسید که ۴ عامل شیب، هیدرولوژی، زمین و خاکشناسی دارای بالاترین وزن هستند. ایشان در پژوهش‌هایشان در نهایت به این نتیجه رسیدند که استفاده هم‌زمان از GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب در طراحی جاده‌های جنگلی مورد استفاده قرار گیرد (۱۲).

از ویژگی‌های بارز این پژوهش استفاده از نظرات کارشناسان جاده‌سازی در ادارات منابع طبیعی استان‌های شمالی کشور و سعی در استفاده از تمامی اطلاعات و لایه‌های مورد لزوم برای طراحی جاده‌های جنگلی در جنگل‌های شمال کشور می‌باشد. هدف از اجرای این پژوهش به‌کارگیری و معرفی عوامل محیطی و استفاده از معیارهای فنی در ارزیابی جاده‌های جنگلی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** محدوده سری دو قسمتی از جنگل‌های حوزه آبخیز ناو (آبخیز شماره ۷) را شامل می‌شود که تماماً در جنوب رودخانه‌ای به همین نام قرار دارد. جنگل‌های این سری تقریباً در قسمت میانی حوزه واقع شده است. حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۲۱۲۰ متر و حداقل ارتفاع منطقه ۲۸۰ متر است. منطقه مورد مطالعه در عرض شمالی ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه و ۳۱ ثانیه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه و ۳۶ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه و ۵۸ ثانیه واقع است. به‌طور کلی منطقه مورد مطالعه جزو نواحی پرباران کشور بوده و در تقسیم‌بندی‌های اقلیمی، در گستره اقلیم مرطوب ایران قرار می‌گیرد و تقریباً در تمام ماه‌های سال بارندگی دارد که بیش‌ترین میزان بارندگی مربوط به ماه‌های شهریور و مهر است. جاده‌های موجود در این سری به روش کاملاً سنتی و بر اساس عامل شیب طراحی و اجرا شده‌اند. اما در این مطالعه با توجه به شرایط طبیعی جنگل‌های شمال ایران ۸ عامل شیب، جهت، ارتفاع، تیپ رویشگاه، موجودی سرپا، هیدرولوژی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی جزو عوامل تأثیرگذار در امر جاده‌سازی تشخیص داده شد و برای تهیه نقشه توان جاده‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. پس از تعیین عوامل تأثیرگذار، نقشه مربوط به هر یک از عوامل تهیه و در نرم‌افزار GIS تلفیق شد.

**نقشه‌های مورد مطالعه:** برای تهیه نقشه شیب، از خطوط میزان منحنی با فاصله ۲۰ متر در نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محیط ArcGIS 9.2 استفاده شد. نقشه‌های جهات جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا نیز بر اساس خطوط توپوگرافی در نرم‌افزار ArcGIS 9.2 تهیه و ارزش‌گذاری گردید (جدول ۱) نقشه‌های زمین‌شناسی و قابلیت خاک نیز با توجه به خصوصیات سنگ بستر و نوع خاک منطقه به سه کلاسه پایدار، نیمه‌پایدار و ناپایدار طبقه‌بندی گردید (جدول ۱). در طبقه‌بندی لایه زمین‌شناسی واحدهایی که از ترکیب شیل، ماسه‌سنگ، آرژلیت، ذغال و سیلتستون تشکیل شده است در طبقه ناپایدار، واحدهای ترکیب شده از آهک و ماسه‌سنگ جزو طبقه نیمه‌پایدار و در نهایت واحدهای ترکیب شده از گرانیت و میکاشیست در طبقه پایدار قرار گرفت هم‌چنین در طبقه‌بندی لایه قابلیت خاک مناطق دارای نفوذپذیری خوب و شیب مناسب که محدودیت خاصی نیز نداشت در طبقه پایدار، مناطقی که دارای نفوذپذیری خوب ولی فعالیت بیولوژیکی در افق A آن‌ها ضعیف و هم‌چنین ریشه‌ها در سطح خاک و متراکم بود در طبقه نیمه‌پایدار و در نهایت مناطقی که دارای نفوذپذیری خوب ولی شیب زیاد بود در طبقه ناپایدار قرار گرفت. در امر جاده‌سازی توجه به میزان موجودی سر پا مناطقی که جاده از آن‌ها عبور خواهد کرد بسیار ضروری می‌باشد. چرا که وسیله‌ای برای ایجاد

سهولت در امر بهره‌برداری می‌باشد. بنابراین جاده‌ها در صورت مساعد بودن سایر شرایط از مناطقی باید عبور نماید که دارای حجم موجودی سر پای کافی باشد. به‌علت نبود نقشه رقومی شده از موجودی سرپا، اطلاعات موجودی سرپا از روی نقشه کاغذی، با دقت بالا وارد نرم‌افزار شده و به‌صورت نقشه رقومی شده از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 استخراج گردید. بدین ترتیب لایه‌ای از حجم موجودی سرپای منطقه مورد مطالعه در ۳ طبقه تهیه و ارزش‌دهی شد (جدول ۱). یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در امر جاده‌سازی مسائل هیدرولوژیکی می‌باشد. نحوه طراحی شبکه جاده‌های جنگلی باید به شکلی باشد که از مناطق با زهکشی خوب عبور نموده و کم‌ترین عبور از عرض آبراهه‌ها را داشته باشد. نقشه هیدرولوژیکی منطقه نیز بر اساس فاصله از رودخانه به دو منطقه مناسب و نامناسب طبقه‌بندی شد. در پژوهش‌های قبلی اکثراً حداقل فاصله مناسب جاده‌های جنگلی از رودخانه‌ها را ۱۵ متر (۵۰ فوت) در نظر گرفته‌اند (۴، ۲۱). اما در این مطالعه با توجه به شرایط منطقه که به لحاظ لغزش و رانش و فرسایش مستعد بوده و سابقه سیل نیز در منطقه گزارش شده است این فاصله کمی بیش از حداقل اعلام شده یعنی ۵۰ متر در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که مناطقی که فاصله آن‌ها از رودخانه بیش از ۵۰ متر بود مناسب و مناطق با فاصله کم‌تر از ۵۰ متر نامناسب ارزیابی شد (جدول ۱).

جدول ۱- ارزش‌گذاری درونی فاکتورها.

Table 1. Internal valuation of factors.

فاصله از رود (m)	Distance from River (Value)	موجودی سرپا (m <sup>3</sup> /ha)	Stocking Volume (Value)	حاکمشناسی (Value)	حاکمشناسی (Value)	زمین‌شناسی (Value)	Creology (Value)	ارتفاع (متر) (Value)	ارتفاع (متر) (Value)	جهت (Value)	Aspect (Value)	شیب (%) (Value)	شیب (%) (Value)	ارزش (Value)
>50	9	200-350	7	stable	9	stable	9	<750	9	south	9	0-10	9	9
<50	1	100-200	4	metastable	5	metastable	6	750-1250	6	west	7	10-25	8	8
		0-100	1	unstable	2	unstable	1	>1250	1	esat	5	25-60	6	6
										north	3	60-80	4	4
												>80	1	1

تیپ رویشگاه از نقطه‌نظر موقعیت گونه‌های مناسب برای بهره‌برداری و نیز گونه‌هایی که در صدد انقراض هستند و دارای شرایط حساس ژنتیکی هستند دارای اهمیت فراوان می‌باشد. برای تهیه نقشه تیپ رویشگاه، انواع تیپ‌های وارد نقشه شده و به‌صورت لایه اطلاعاتی از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 استخراج شدند (جدول ۲).

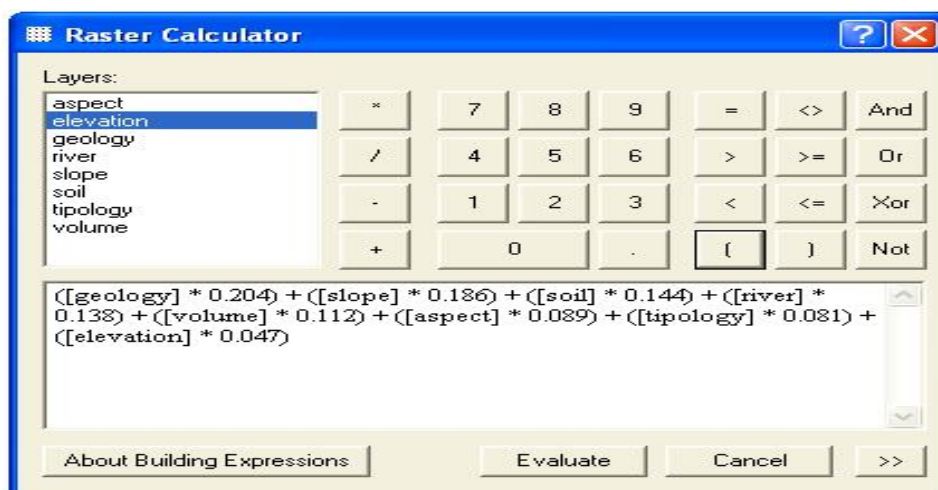
جدول ۲- ارزش‌گذاری درونی تیپ‌های رویشگاه.

**Table 2. Internal valuation of habitat types.**

ارزش برای عبور مسیر جاده Value for crossing road	طبقه‌بندی تیپ‌های رویشگاه Stratification of habitat types
1	باز غیر جنگلی، حفاظتی، حمایتی، مرتع باز non-forestry open space, conservation area, protected area, open grassland
3	جنگلکاری Plantation
4	ممرز خالص، ممرز- بلوط، توسکا، اوری- افرا Pure Carpinus, Quercus-Carpinus, Alnus, Quercus -Acer
6	پهن‌برگ آمیخته، بلوط، بلوط- شیردار Broad-leaved, Quercus, Quercus-Acer Cappadocicum
7	افرا آمیخته Mixed Acer
8	راش- ممرز Fagus-Carpinus
9	راش خالص، راش آمیخته، افرا Pure Fagus, Mixed Fagus, Acer

جهت تهیه نقشه توان منطقه برای جاده‌سازی لازم بود که نقشه‌های تهیه شده در مراحل قبل با یکدیگر ترکیب شوند. برای این کار ابتدا باید عوامل مؤثر ارزش‌گذاری درونی و بیرونی می‌شد. در این کار از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. بنابراین در ابتدا پرسش‌نامه‌ای تهیه گردید و در اختیار ۲۱ نفر از کارشناسان ادارات منابع طبیعی استان گیلان و اساتید جاده‌سازی در دانشگاه‌ها قرار

گرفت و فاکتورها با استفاده از روش مقایسه دو به دو ارزش گذاری شدند سپس محاسبه وزن نسبی معیارهای معرفی شده و تعیین مؤثرترین معیارها در مکان یابی مسیر عبور جاده های جنگلی در محیط نرم افزار Expert choice به روش مقایسه زوجی صورت گرفت و ضریب ناسازگاری هر پرسش نامه محاسبه گردید. ساعتی (۱۹۸۰)، پیشنهاد نمود که اگر ضریب ناسازگاری تصمیم بیش تر از ۰/۱ باشد، بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت های خود تجدیدنظر کند پس از به دست آوردن ضریب اهمیت هر لایه جهت تهیه نقشه توان برای جاده سازی، در نرم افزار ArcGIS 9.2 ابتدا ضریب اهمیت هر لایه در خود لایه ضرب و سپس این لایه ها با هم جمع شدند. از تلفیق این لایه ها با توجه به ارزش آن ها نقشه توان برای جاده سازی در ۵ طبقه به دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱- ضریب اهمیت لایه ها.

Figure 1. Importance factor of layers.

طراحی شبکه جاده به طریقه دستی بر روی نقشه تلفیقی پیشنهادی: این طراحی به شیوه گام پرگار و به صورت دستی بر روی نقشه تلفیقی پیشنهادی صورت گرفت (رابطه ۱). به گونه ای که در طراحی مسیر به این روش، نقشه تلفیقی پیشنهادی یکی از معیارهای اصلی به شمار می رفت اما نقشه شیب و رودخانه ها که دارای اهمیت زیادی می باشند مورد توجه قرار مجدد گرفت. بدین ترتیب به طریقه



دستی، ۳ واریانت جدید جاده طراحی شد. در طراحی جاده‌های درجه یک و دو جنگلی یکی از مهم‌ترین موارد رعایت شیب طولی است که حداقل ۳ و حداکثر ۸ درصد باید باشد. در شرایط استثنایی شیب طولی تا ۱۲ درصد هم در فواصل کوتاه می‌تواند باشد. این شیب نمی‌تواند صفر باشد زیرا باید آب در آن جاری شده و در زمین فرو نرود. در جاده‌های طراحی شده سعی شد تا حد امکان تمام نکات زیست‌محیطی رعایت شود یعنی سعی شد جاده‌ها از مناطق دارای ارزش بهتر عبور کند تا هم به لحاظ زیست‌محیطی و هم به لحاظ اقتصادی بهینه باشد. علاوه بر آن به لحاظ تراکم و درصد پوشش و پراکنش در سطح سری هم مناسب باشد (رابطه ۱).

$$w = \frac{h \times 100}{p} \times scale \quad (1)$$

که در آن،  $w$  گام پرگار به متر،  $h$  اختلاف ارتفاع خطوط میزان منحنی به متر،  $p$  درصد شیب و  $scale$  مقیاس نقشه می‌باشد.

**مقایسه فنی جاده‌های طراحی شده با جاده موجود (سستی):** در این مرحله شبکه جاده موجود و شبکه جاده‌های طراحی شده نظر تراکم، درصد شبکه‌بندی یا میزان مساحت پوشش داده شده در سطح سری، میزان پوشش مشترک جاده‌ها و مناطق مرده یعنی مناطقی که جاده خارج از سری را پوشش داده است با روش بک‌موند مورد مقایسه فنی قرار گرفتند. در نهایت تمام جاده‌ها از نظر عبور از طبقات پنج‌گانه نقشه توان برای جاده‌سازی مورد مقایسه قرار گرفتند. در این روش ابتدا طول کل هر یک از جاده‌ها و مساحت سری از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 استخراج شد و سپس تراکم جاده‌ها، متوسط فاصله افقی بین جاده‌های جنگلی<sup>۱</sup>، مرز ترانسپورت (TA) و سپس سپس سطح حوزه چوبگیر در GIS با روش باک‌موند (۱۹۶۸)، محاسبه گردید. در نهایت مناطقی که جاده در خارج از سری را پوشش داده است نیز محاسبه شد. هرچه جاده‌ها مناطق بیش‌تری از خارج سری را پوشش دهد برای آن جاده امتیاز منفی محسوب می‌شود زیرا باعث تحمیل هزینه اضافی خواهد شد (۱۱).

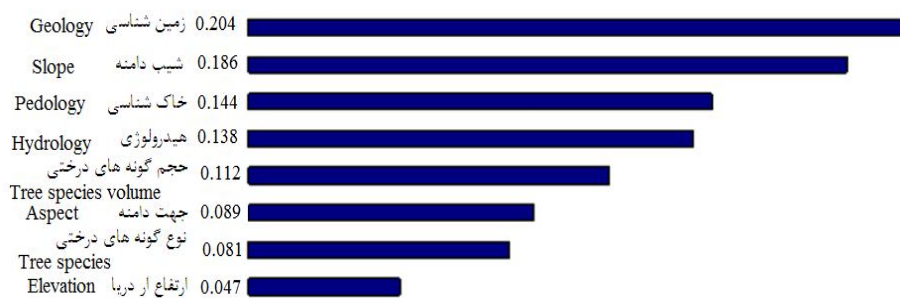
---

1- Road Density  
2- Road Spacing

مقایسه شبکه جاده موجود و طراحی شده از نظر عبور از طبقات پنج گانه نقشه توان برای جاده سازی: به منظور بررسی فاکتورهای زیست محیطی در جاده های پیشنهادی و جاده سنتی، نقشه رستری مسیر هر دام از جاده ها با نقشه توان برای جاده سازی روی هم گذاری شدند و درصد عبور هر جاده از مناطق پنج گانه محاسبه شد. هر جاده ای که درصد عبور آن از طبقات خوب و بسیار خوب، بیشتر باشد به مفهوم آن است که آن جاده مسائل زیست محیطی را بهتر و بیشتر رعایت نموده و کمترین آسیب را به اکوسیستم جنگل رسانده است.

### نتایج

برای تهیه نقشه توان برای جاده سازی ارزش گذاری برون لایه ای در نرم افزار Expert choice انجام شد. نتایج نشان داد که لایه زمین شناسی با ضریب اهمیت ۰/۲۰۴ بیشترین اهمیت را در طراحی جاده های جنگلی باید داشته باشد و پس از آن به ترتیب لایه شیب، قابلیت خاک، هیدرولوژی، حجم در هکتار درختان، جهات جغرافیایی، تپ گونه های درختی و ارتفاع از دریا در رتبه های بعدی اهمیت قرار می گیرند (شکل ۲).



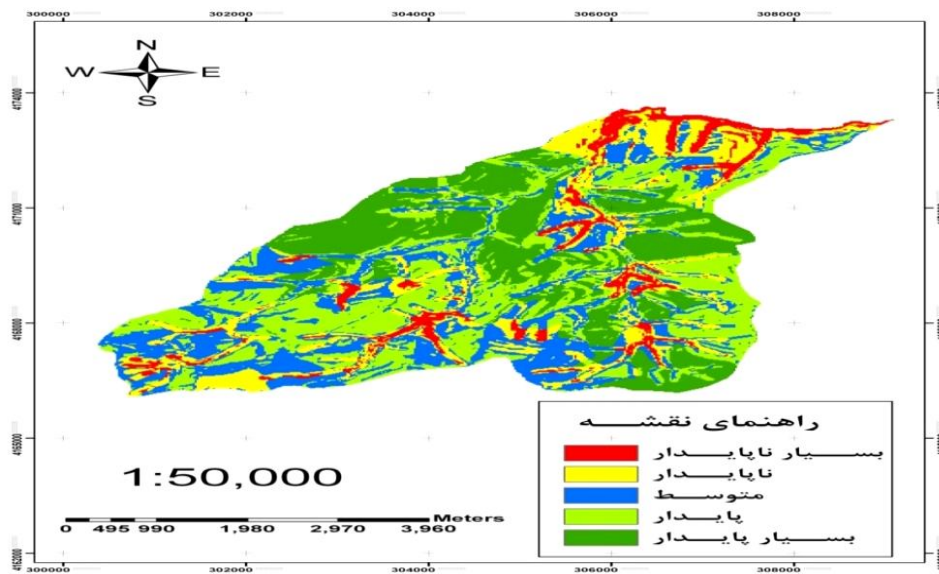
ضریب ناسازگاری = ۰/۰۷

Inconsistency Index = 0.07

شکل ۲- ارزش گذاری برون لایه ای.

Figure 2. External rating of factors.

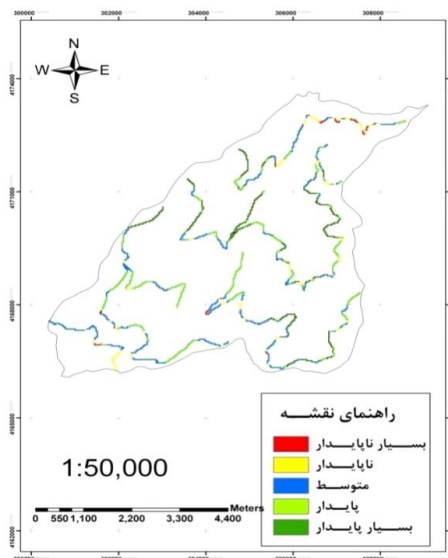
پس از تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از ارزش‌گذاری‌ها در طی فرآیند سلسله‌مراتبی، لایه‌های مورد مطالعه با توجه به ارزش هر کدام، با هم تلفیق شده و نقشه توان برای جاده‌سازی در نرم‌افزار ArcGIS9.2 به دست آمد (شکل ۳).



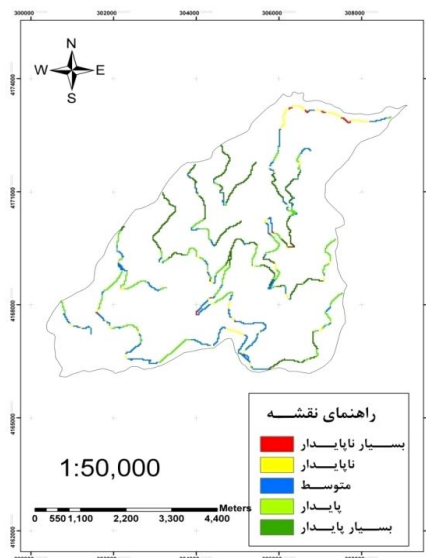
شکل ۳- نقشه توان برای جاده‌سازی.

Figure 3. Potential map of road construction.

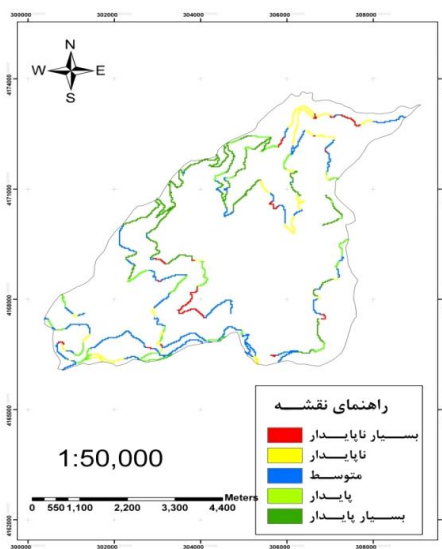
مناطق بسیار مناسب ۲۳ درصد، مناطق مناسب ۲۸ درصد، مناطق تا متوسط ۲۶ درصد، مناطق نامناسب ۱۶ درصد و مناطق بسیار نامناسب ۷ درصد از سطح سری را پوشانده‌اند. برای مقایسه پایداری، نقشه توان با نقشه جاده‌های موجود و طراحی شده تلفیق شد (شکل‌های ۴ تا ۷).



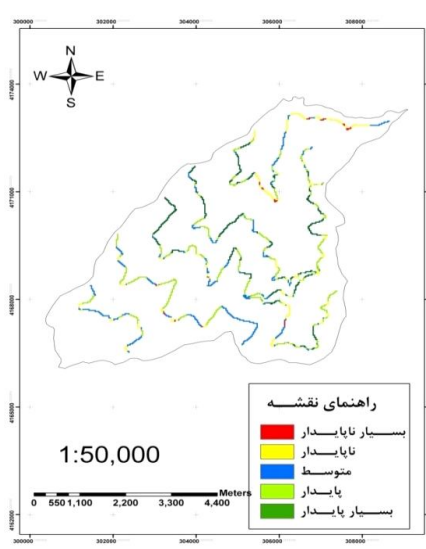
شکل ۵- جاده طراحی شده شماره ۲.  
Figure 5. Designed road NO.2.



شکل ۴- جاده طراحی شده شماره ۱.  
Figure 4. Designed road NO.1.



شکل ۷- جاده‌های موجود.  
Figure 7. Existing roads.

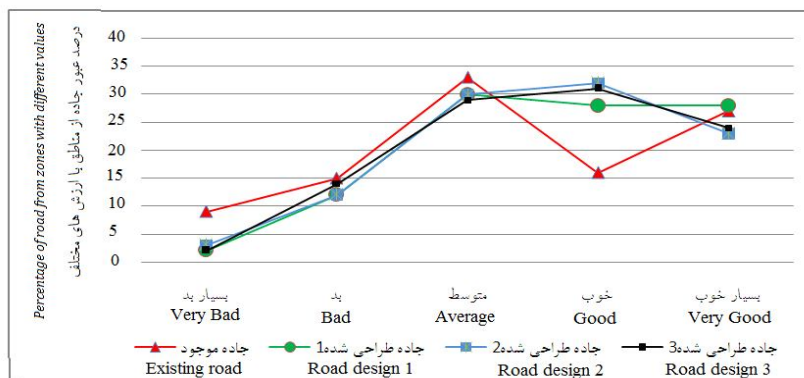


شکل ۶- جاده طراحی شده شماره ۳.  
Figure 6. Designed road NO.3.

در مقایسه جاده‌ها از نظر میزان عبور آن‌ها از قسمت‌های مختلف منطقه با پایداری‌های متفاوت، ملاحظه شد که جاده‌های موجود در عبور از مناطق ناپایداری بسیار ضعیف نسبت به جاده‌های طراحی شده اختلاف به نسبت زیادی داشتند به طوری که ۹ درصد از سطح جاده‌های موجود از مناطق خیلی ضعیف عبور کرده ولی تنها ۲ تا ۳ درصد از جاده‌های طراحی شده از مناطق بسیار ضعیف عبور داده شدند. اما در مناطقی با پایداری خوب یکبار دیگر اختلاف بین جاده‌های طراحی شده و جاده‌های موجود مشاهده شد ولی برعکس حالت قبل ۲۸ تا ۳۲ درصد از جاده‌های طراحی شده از این مناطق عبور داده شدند در حالی که تنها ۱۶ درصد از کل جاده‌های موجود از این منطقه عبور کرده است. در مناطق با پایداری ضعیف و متوسط تقریباً هر چهار جاده با هم اختلاف اندکی دارند. هم‌چنین در عبور از مناطقی با پایداری بسیار خوب نیز تقریباً هر چهار جاده در موقعیت برابر قرار دارند. برای اطمینان از صحت نتایج در عمل نیز این جاده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند، که عملیات ارزیابی در طبیعت تا حدود زیادی صحت طراحی جاده‌ها را تأیید کرد و تنها در برخی موارد محدود باید اصلاحاتی صورت می‌گرفت.

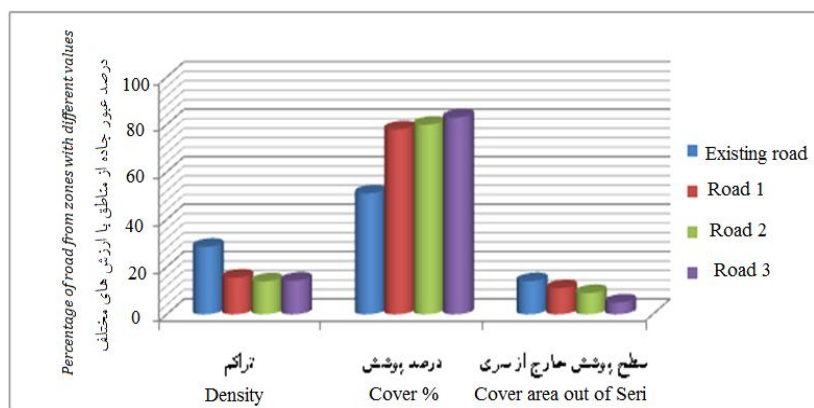
**مقایسه جاده‌های موجود و واریانت‌های طراحی شده:** نتایج حاصله نشان‌دهنده آن است که جاده‌های ۱، ۲ و ۳ به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بیش‌ترین عبور را از مناطق پایدارتر داشته باشند و طبعاً عملکرد بهتری نسبت به جاده‌های موجود خواهند داشت (شکل ۸).

مقایسه فنی جاده‌ها نشان داد (شکل ۹) که به لحاظ درصد پوشش جاده طراحی شده شماره ۳ با ۸۳ درصد بیش‌ترین در پوشش را دارا می‌باشد و سپس جاده‌های شماره ۲ و ۱ به ترتیب با ۸۰ و ۷۸ درصد در رتبه بعد قرار دارند و جاده‌های موجود فقط با ۵۱ درصد کم‌ترین درصد پوشش را به خود اختصاص داده است. به لحاظ تراکم جاده‌های موجود با ۲۸/۵ متر در هکتار بیش‌ترین تراکم را دارا می‌باشند. سپس جاده‌های شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب با ۱۵/۵، ۱۴/۲ و ۱۳/۹ متر بر هکتار در رتبه‌های بعدی قرار دارند و از نظر درصد پوشش در خارج از سری که نکته‌ای منفی در طراحی جاده‌های جنگلی محسوب می‌شود، جاده‌های موجود با ۱۴ درصد بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص داده است و سپس جاده‌های شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب با ۱۱، ۹ و ۵ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۸- موقعیت عبور جاده‌ها از مناطق با ارزش‌های مختلف.

Figure 8. Road position cross from regions with different values.



شکل ۹- مقایسه فنی جاده‌ها.

Figure 9. Technical Compare of roads.

### بحث و نتیجه‌گیری

طراحی شبکه جاده جنگلی به معیارهای گوناگونی وابسته است جاده جنگلی خود یکی از عوامل افزایش هزینه و تخریب طبیعت و رویشگاه می‌باشد. از مطالب گفته شده می‌توان نتیجه گرفت که جاده‌های موجود به لحاظ تراکم و سطح پوشش و نحوه پراکنش برای منطقه کاملاً نامناسب می‌باشد. در طراحی جاده‌های پیشنهادی، سعی بر این بود که این جاده‌ها پراکنش مناسبی در سطح سری داشته باشند و در عین حال از مناطق با ارزش بالاتر عبور نمایند. یکی از نکاتی که در طراحی بسیار مدنظر قرار گرفت شیب طولی مجاز برای جاده‌ها بود. عبور جاده از دامنه‌های کم‌شیب، باعث کاهش خاکبرداری و ایجاد

ترانشه‌های کم‌تر و در نتیجه هزینه‌های کم‌تر را در پی دارد (۶). در این طراحی نیز سعی شد از شیب‌های طولی مجاز برای جنگل‌های شمال ایران استفاده شود. به‌علت این که در قسمت شمال‌شرقی سری ۲ ناو، جاده اصلی اسالم به خلخال که جاده عمومی بین شهری است وارد می‌شود، این نقطه به‌عنوان نقطه اجباری در طراحی جاده در نظر گرفته شد و نقطه مشترک هر سه واریانت پیشنهادی قرار داده شد که این امر موجب عبور مقداری از جاده‌های پیشنهادی از مناطق کم‌ارزش و با شیب زیاد گردید. با مقایسه نتایج حاصل از شکل ۸ می‌توان چنین اظهارنظر کرد که در عبور از مناطق با پایداری بسیار نامناسب جاده‌های طراحی شده شماره ۱ و ۳ با میزان عبور ۲ درصد بهترین عملکرد را داشته‌اند که از لحاظ زیست‌محیطی نسبت به جاده‌های دیگر قابل‌قبول‌تر است (شکل ۷). در عبور از مناطق با پایداری نامناسب، جاده‌های طراحی شده شماره ۱ و ۲ با میزان عبور ۱۲ درصد نسبت به جاده‌های موجود و طراحی شده شماره ۳ عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند (شکل ۷). اما در مناطق با پایداری متوسط نیز جاده‌های شماره ۱ و ۲ با ۱۲ درصد کم‌ترین میزان عبور را داشته‌اند (شکل ۷). در مناطق با پایداری مناسب جاده‌های طراحی شده شماره ۲ و ۳ به‌ترتیب با میزان عبور ۳۲ و ۳۱ درصد بیش‌ترین میزان عبور را به خود اختصاص داده‌اند و در نهایت در عبور از جاده‌های با پایداری بسیار مناسب، جاده طراحی شده شماره ۱ با میزان عبور ۲۸ درصد بهترین عملکرد را در بین جاده‌های دیگر به خود اختصاص می‌دهد.

تراکم طولی یک جاده نمی‌تواند به تنهایی معیار مناسبی جهت تجزیه تحلیل کارایی یک جاده معرفی شود (۷) و فاکتورهایی دیگر مانند هزینه ساخت جاده (۶، ۲۰) مقدار توان پوششی یک جاده و آثار زیست‌محیطی که یک جاده می‌تواند برای محیط جنگلی داشته باشد (۱۷) نیز باید در نظر گرفته شود. با توجه به این که یکی از فاکتورهای مؤثر بر هزینه‌های جاده، همان طول جاده می‌باشد به‌گونه‌ای که هرچه مقدار طول جاده بیش‌تر باشد هزینه‌های ساخت جاده و متعاقباً در سال‌های بعد، هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده نیز بیش‌تر خواهد بود و البته هر ساله به اندازه سطح جاده در کل منطقه رویش از دست رفته خواهیم داشت بنابراین هزینه‌ها نیز بیش‌تر خواهد شد. با این دیدگاه، می‌توان گفت واریانت دوم با تراکم طولی کم‌تر (۱۳/۹) و درصد پوشش ۸۰ درصد عملکرد مناسب‌تری را داشته است.

پس از تجزیه و تحلیل جاده‌های موجود و طراحی شده با روش بکمونند مشخص شد که جاده‌های موجود با ۱۷۸۱ هکتار پوشش یعنی ۵۱ درصد کم‌ترین مقدار سطح پوشش را نسبت به جاده‌های طراحی شده دارد. به‌علاوه ۱۴ درصد نسبت به جاده‌های داخل سری، مناطق بیرون سری را پوشش داده است که این کار باعث افزایش هزینه‌های طرح می‌گردد. اما جاده‌های طراحی شده شماره ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب مساحت تحت پوشش ۲۸۳۵، ۲۷۴۳ و ۲۹۲۰ هکتار یعنی ۷۸، ۸۰ و ۸۳ درصد را دارا

می‌باشند. مساحت پوشش داده شده توسط این جاده‌ها در بیرون از سری نسبت به جاده‌های داخل سری به ترتیب ۱۱، ۹ و ۵ درصد است که نسبت به جاده موجود کم‌تر می‌باشد.

جاده‌های طراحی شده به نسبت برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است زیرا در طراحی این جاده‌ها سعی شده علاوه بر رعایت تراکم و سطح پوشش مناسب دارای پراکنش مناسبی نیز در سطح سری نیز باشد. در عبور از مناطق پایدار نیز جاده‌های طراحی شده برتری دارند. در مقایسه بین جاده‌های طراحی شده نیز جاده شماره ۳ با دارا بودن تراکم مناسب و سطح پوشش بیش‌تر نسبت به جاده‌های شماره ۱ و ۲، همچنین عبور از مناطق پایدارتر، نسبت به دو جاده دیگر دارای برتری می‌باشد. به لحاظ سطح پوشش در خارج از سری نیز سطح کم‌تری را پوشش داده است.

امروزه مدیران جنگل و جنگلداران، باید بیش‌تر از گذشته در مورد طراحی و ساخت جاده‌های جنگلی آگاه باشند و دقت لازم را جهت طراحی شبکه جاده در نظر بگیرند زیرا از یک‌سو ساخت جاده بیش‌ترین سهم هزینه‌های مدیریت جنگل را به خود اختصاص می‌دهد و از سوی دیگر آثار زیست‌محیطی جاده بر اکوسیستم جنگل تا حدود زیادی قابل جبران نمی‌باشد و بنابراین باید در نحوه طراحی جاده و مکان‌یابی جاده‌های جنگلی نهایت دقت را به عمل آورد. برای طراحی مناسب شبکه جاده‌های جنگلی دانستن ویژگی‌ها و خواص خاک، سنگ بستر، عوامل فیزیوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع از دریا)، نوع و اندازه پوشش گیاهی و وضعیت هیدروگرافی منطقه ضروری است. توجه هم‌زمان به تمامی این فاکتورها توسط روش سستی مقدور نیست، در حالی که در طراحی‌های مبتنی بر امکانات GIS می‌توان تعداد نامحدودی از لایه‌های اطلاعاتی را به‌طور هم‌زمان، با صرف وقت و هزینه کم‌تر و با دقت بالاتر مورد تحلیل قرار داد. نقدی و باباپور (۲۰۰۹)، در بررسی در جنگل‌های استان گیلان که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و همچنین نقشه‌های پایداری شبکه جاده جنگلی را مورد بررسی قرار دادند بیان نمودند که لایه‌های شیب و پایداری که خود از دو لایه زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حاصل می‌شود دارای بیش‌ترین اهمیت در ساخت و طراحی جاده‌های جنگلی می‌باشند که بیانگر پژوهش اخیر است. عبدی و همکاران (۲۰۰۹)، نیز عنوان نمودند که لایه‌های شیب، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی اهمیت بیش‌تری را نسبت به لایه‌های ارتفاع، جهت و حجم در هکتار دارند که پژوهش اخیر نیز بیانگر آن می‌باشد. لایه‌های جهت، ارتفاع، تپ گونه‌های جنگلی و موجودی سرپا که کم‌ترین ضریب را به خود اختصاص داده‌اند لایه‌های کم‌اهمیتی در امر جاده‌سازی هستند (۱، ۱۷) و با تلفیق پارامترهای ذکر شده در این پژوهش با توجه به ارزش آن‌ها، در نهایت نقشه توان برای جاده‌سازی تهیه شد که در این نقشه ۲۳ درصد از سطح کل منطقه را مناطق با ارزش بسیار



بالا برای جاده‌سازی، ۲۸ درصد مناطق با ارزش بالا، ۲۶ درصد مناطق با ارزش متوسط، ۱۶ درصد مناطق کم‌ارزش و ۷ درصد مناطق بسیار کم‌ارزش بود.

بنابراین با در نظر گرفتن همه موارد زیست‌محیطی و فنی چنین می‌توان عنوان کرد که جاده طراحی شده شماره ۳ نسبت به جاده‌های موجود و جاده‌های طراحی شده دیگر دارای برتری بوده و به‌عنوان واریانت پیشنهادی این مطالعه مطرح می‌گردد. اما نمی‌توان با اطمینان کامل ادعا کرد که جاده‌های طراحی شده در عمل نیز برای منطقه کاملاً مناسب باشند زیرا در این امر علاوه بر دقتی که طراح باید در طراحی داشته باشد، نقشه‌های ورودی نیز باید از صحت و دقت کامل برخوردار باشند.

### رهیافت ترویجی

پروژه‌های عمرانی که در داخل و حومه شهرها و نیز در مناطق کوهستانی و دشت‌ها که از نظر پوشش گیاهی و جانوری دارای ارزش زیست‌محیطی هستند دارای خطرات بالقوه و بالفعلی هستند که برای مقابله با آن‌ها باید احداث پروژه‌های عمرانی را متوقف کرد که این خود امری محال است به‌خصوص در کشوری در حال توسعه مثل ایران و یا این‌که قبل از احداث پروژه‌های عمرانی با دست‌زدن به یکسری ارزیابی‌های زیست‌محیطی، اثرات سوء آن پروژه را بر محیط زیست بررسی کرده و حداقل امکان نقاطی را برای احداث پروژه انتخاب کرد که کم‌ترین خطر را برای محیط زیست و بیش‌ترین کاربرد را از لحاظ علمی و تکنولوژی داشته باشد.

### منابع

1. Abdi, E., Majnounian, B., Darvishsefat, A., Mashayekhi, Z., and Sessions, J. 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning. *J. For. Sci.* 55: 4. 171-176.
2. Akay, A., Erdas, O., Reis, M., and Yoksel, A. 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. *Building and Environment*. 43: 687-695.
3. Akay, A.E., Karas, I.R., Sessions, J., Yuksel, A., Bozali, N., and Gundogan, R. 2004. Using high-resolution digital elevation model for computer aided forest road design. *Geo-Imagery Bridging Continents XX<sup>th</sup> ISPRS Congress, Istanbul, Turkey Commission*, 7p.
4. Aruga, K. 2005. Forest road design with soil sediment evaluation using a high-resolution DEM. *J. For. Res.* 10: 6. 471-479.
5. Baskent, E.Z., and Keles, S. 2005. Developing Alternative Wood Harvesting Strategies with Linear Programming in Preparing Forest Management Plans. *Turk. J. Agric. Forest.* 30: 67-79.

6. Chung, W., and Sessions, J. 2001. NETWORK 2001. Transportation planning under multiple objectives. In: proceedings of the international mountain logging and 11<sup>th</sup> Pacific Northwest skyline symposium. Dec. 10-12, Seattle, Washington, USA, Pp: 194-200.
7. Gumus, H., Acar, H., and Toksoy, D. 2007. Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. *Environmental Monitoring and Assessment*, 142: 1-3. 109-116.
8. Gumus, S. 2001. Constitution of the forest road evaluation form for Turkish forestry. *Afric. J. Biotechnol.* 8: 20. 5389-5394.
9. Imani, P., Najafi, A., and Ghajar, E. 2012. Planning Forest Road Alignment Using a Shortest Path Algorithm and Geographic Information System. *Iran. J. For. Pop. Res.* 20: 3. 460-471. (In Persian)
10. Iordache, E., Nita, M.D., and Clinciu, I. 2012. Planning Forest Accessibility with a low Ecological Impact. *Croa. J. For. Engin.* 33: 1. 143-148.
11. Mohdhasmadi, M., Kamaruzaman, J., and Muhamad Azizon, J. 2008. Forest road assessment in UluMuda forest reserve, Kedahm Malaysia. *Modern Applied Science*, 2: 4. 100-108.
12. Mohammadi Samani, K., Hosseiny, S.A., Lotfalian, M., and Najafi, A. 2010. Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). *Caspian J. Env. Sci.* 8: 2. 151-162.
13. Mostafa, M., Raafatnia, N., Shataee, Sh., and Ghazanfari, H. 2010. Forest road networks design in a multiple used forestry plan using GIS, Armardah forests of Baneh. *J. Wood For. Sci. Technol.* 17: 1. 129-133. (In Persian)
14. Musa, A.K., and Mohamed, A.N. 2002. Alignment and location forest road network by best path modeling method. *Malaysian Center for Remote Sensing*. 7p.
15. Naghdi, R., and Babapour, R. 2009. Planning evaluating of forest roads network with respect to environmental aspects via GIS application (Case study: Shafaroud forest, Northern Iran). *Proceeding of second international conference on environmental and computer science*. 28-30 December 2009. Dubai, UAE. Pp: 424-427.
16. Newnham, R.M. 1995. Road plan: A tool for designing forest road network. *J. For. Engin.* 6: 2. 17-26.
17. Richards, E.W., and Gunn, E.A. 2000. A Model and Tabu Search Method to Optimize Stand Harvest and Road Construction Schedules. *Forest Science*, 46: 2. 188-203.
18. Rogers, L., and Schiess, P. 2001. PEGGER & ROADVIEW. A new GIS tool to assist engineers in operation planning. *The international mountain logging and 11 the pacific Northwest skyline symposium 2001*. 7p.
19. Saaty, T.L. 1980. *Analytical hierarchy process*. McGraw-Hill Inc. NY. 269p.
20. Stuckelberger, J.A., and Heinimann, H.R. 2006. Modeling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads. *Europ. J. For. Res.* 125: 377-390.
21. Turton, D., Anderson, S., Miller, R., and Hitch, K. 1991. Best management practices for forest road construction and harvesting operations in Oklahoma. 3: 29.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 5 (2), 2016*  
<http://ejang.gau.ac.ir>

## Using environmental parameters for planning forest roads network

**A.R. Ghomi Motazeh<sup>1</sup>, \*R. Naghdi<sup>2</sup>, K. Mohammadi Sammani<sup>3</sup>  
and E. Taghvaye Salimi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Forestry, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Forestry, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Forestry, Kurdistan University, Sanandaj, Iran,

<sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, University of Guilan,  
Sowmeh Sara, Iran

Received: 11/30/2015; Accepted: 07/26/2016

### Abstract

**Background and Objectives:** Nowadays designers are designing forest roads using digital models for mountainous areas in order to save time and cost. On the other hand, using traditional methods due to low precision and speed are decreasing day to day. On the other hand the combining different layers of information require time and high precision. Special features of this research is using of road experts opinions in the northern departments of Natural Resources and using all the information needed to design forest Road in north of the country.

**Materials and Methods:** This research aims to introduce an appropriate method with emphasizing on technical and environmental perspectives for forest road planning using GIS and AHP methods. Therefore, 8 maps layer include slope, aspect, altitude, stock, soils type, hydrographic, geology and pedology were determined for the study area. Factors affecting the design by using GIS Software and were also extracted the constraints in the form of a friction layer. Then was performed weighting each of the parameters using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and was obtained coefficient of importance of each parameter using Expert Choice software and then was produced suitability map for road construction considering the coefficient of importance of parameters and its impact on information layers and overlapping them by GIS Software. Then the road was planned on the incorporated proposed map.

---

\* Corresponding author: [rnaghdi@guilan.ac.ir](mailto:rnaghdi@guilan.ac.ir)

**Results:** The results of this study indicated that the existing roads are not suitable in density and coverage perspectives. Only 16% of existing roads were passed with high stability areas.

**Conclusion:** Taking into account all environmental and technical issues we can state that, third designed road in comparison with existing roads and other designed roads, has superior so it could proposed in this study as the best variant. But it cannot be claimed with absolute certainty that designed roads are fit perfectly in practice for the region, because in this kind of projects in addition to precision that the designer must be done, input maps should also have high accuracy.

**Keywords:** Stability map, Forest roads, Road planning, AHP, GIS