

## طراحی شبکه جاده جنگلی با رعایت مسائل زیست‌محیطی، فنی و اقتصادی با استفاده از GIS و AHP (مطالعه موردی: بخش بهاربن جنگل خیرود)

نیره شاهسوند بغدادی<sup>۱</sup>، مهتاب پیرباوقار<sup>۲\*</sup> و هوشنگ سبحانی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج.

۲- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج. پست الکترونیک: mahtab\_bavaghar@yahoo.com

۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۴

### چکیده

هدف از این پژوهش ارائه روشی است به منظور بهینه‌سازی طراحی شبکه جاده‌های جنگلی با در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی، فنی و اقتصادی و بهره‌گیری از قابلیت‌های GIS و AHP، به نحوی که بتوان تعداد بیشتری از این معیارها را در فرایند طراحی وارد نمود. در این تحقیق که در بخش بهاربن جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود نوشهر انجام شد، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مشخصه‌های زیست‌محیطی مؤثر در طراحی شبکه جاده جنگلی، ۶ گزینه شبکه جاده براساس اصول فنی با استفاده از نرم‌افزار ضمیمه Pegger طراحی گردید. پس از طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری طبقات داخلی نقشه‌ها، به منظور ارزیابی زیست‌محیطی گزینه‌ها از روش مقایسه دو به دو در فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. برای تلفیق مشخصه‌ها و محدودیت‌ها با توجه به اهمیت آنها از روش ارزیابی چندمعیاری (MCE) استفاده گردید. سپس همه گزینه‌ها در محیط GIS به روشهای بک‌موند (Backmond) و زگ‌بادن (Segebaden) مورد ارزیابی فنی قرار گرفتند، به طوری که شبکه جاده موجود در منطقه مورد مطالعه نیز به عنوان گزینه هفتم مورد ارزیابی قرار گرفت. به این ترتیب با توجه به محاسبات حاصل از ارزیابی‌های به عمل آمده (زیست‌محیطی، بک‌موند و زگ‌بادن)، گزینه ۶ که به طور نسبی علاوه بر مطلوبیت زیست‌محیطی از نظر فنی نیز دارای مطلوبیت بود، به عنوان گزینه نهایی انتخاب و پس از انجام ارزیابی اقتصادی، در نهایت قابلیت پیاده نمودن آن در عرصه نیز بررسی و تأیید گردید. حجم زیاد اطلاعات در بهینه‌سازی طراحی شبکه جاده‌های جنگلی با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی، استفاده از قابلیت‌های GIS و AHP را در راستای بهبود روشهای طراحی شبکه جاده‌های جنگلی، اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: جاده جنگلی، ملاحظات زیست‌محیطی، فنی و اقتصادی، ارزیابی چندمعیاری، سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل سلسله مراتبی.

### مقدمه

به عبارت دیگر در طراحی شبکه جاده و اقدامات به عمل آمده در طبیعت باید به گونه‌ای عمل نمود که ضمن تأمین نیازمندی‌های ضروری، ویژگی‌های اکولوژیک سرزمین و اراضی نیز مورد توجه قرار گیرند (سجادی، ۱۳۸۰). از طرف دیگر اهمیت جنگل در امر آموزش، پژوهش، تفرج

برای برنامه‌ریزی اصولی و منطقی و استفاده بهینه از هر عرصه‌ای به‌ویژه عرصه‌های منابع طبیعی، مناسبترین روش این است که ابتدا استعدادها و قابلیت‌های اراضی طبق بررسی‌های علمی و فنی تعیین و مشخص گردند.

مسیرهای اولیه توسعه دادند. احمدی (۱۳۸۱) به مسیریابی جاده پارچین براساس اصول زیست‌محیطی با استفاده از GIS پرداخت. در این مطالعه پس از شناسایی عوامل تأثیرگذار بر مسیریابی، با در نظر گرفتن فرضیه‌های مختلف وزندهی و براساس مبداهای متفاوت، ۵ گزینه مسیر طراحی و به‌منظور مقایسه این گزینه‌ها با یکدیگر و با جاده پارچین و تعیین گزینه مسیر بهینه از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد.

حسینی (۱۳۸۲) به بررسی کارایی GIS در افزایش دقت و کیفیت برنامه‌ریزی شبکه جاده جنگلی پرداخت. در ابتدا نقشه‌های معیارها و توان رویشگاه و نقشه پایداری و ناپایداری نسبی منطقه بدست آمد. با وجود گزینه‌های شبکه جاده طراحی شده و شبکه جاده موجود در منطقه، پوشش و درصد عبور از نقاط پایدار و مناسب با آزمون مربع کای مورد مقایسه قرار گرفتند. در نهایت در این منطقه یک طرح جدید شبکه جاده جنگلی پیشنهاد شد و با استفاده از روش تن- کیلومتر، گزینه‌ها مقایسه شدند. سپهوند (۱۳۸۲) به بررسی قابلیت‌های افتتاحی گزینه‌های مختلف به‌منظور تکمیل شبکه جاده بخش پاتم جنگل خیرود در یک جنگل‌داری چندمنظوره پرداخت. وی ابتدا مناطق مناسب را برای تفرج متمرکز با استفاده از GIS شناسایی و سپس جاده‌های لازم را برای افتتاح پهنه تفرجی طراحی نمود. علیزاده (۱۳۸۵) نیز به مطالعه طراحی و ارزیابی گزینه‌های مختلف شبکه جاده با استفاده از GIS و مطالعات میدانی پرداخت. ۱۸ گزینه شبکه جاده براساس اصول فنی و نیازهای جنگل‌داری طراحی و سپس گزینه‌ها به‌صورت رقومی در محیط GIS به روشهای بکمونند (Backmond) و زگبادن (Segebaden) از نظر حجم عملیات خاکی ارزیابی شدند. گزینه‌ای که با توجه به معیار ارزیابی بکمونند و نیازهای مدیریتی به‌عنوان بهترین انتخاب شد، در جنگل شیب‌سنجی شده (با شیب‌سنج و متر نواری) و تغییرات لازم بر روی آن اعمال گردید.

و بهره‌برداری از محصولات چوبی در صورتی قابل اجراست که ارتباط بین بخش‌های مختلف آن از طریق شبکه جاده برقرار باشد. بنابراین متوقف کردن طراحی و ساخت جاده امری ناممکن است. در طراحی جاده لازم است تا علاوه بر مسائل فنی، مسائل زیست‌محیطی نیز به‌دقت مدنظر قرار داده شوند. دخالت دادن جنبه‌های زیست‌محیطی از قبیل زمین‌شناسی و فرسایش‌پذیری خاک سبب افزایش دقت در طراحی شبکه جاده و کاهش خسارتهای احتمالی می‌شود (سپهوند، ۱۳۸۲). این امر به معنی حداکثر استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر طراحی جاده است که با استفاده از فناوری GIS امکان‌پذیر می‌باشد. روشهای نوین طراحی با استفاده از GIS، قابلیت تحلیل حجم زیادی از اطلاعات را به‌صورت لایه‌های مختلف رقومی با سرعت و دقت زیادی فراهم می‌نماید و در نتیجه می‌تواند کیفیت، سرعت، هزینه و دقت طراحی را بهبود بخشد (عبدی، ۱۳۸۴). از سوی دیگر در کنار بهره‌گیری از محیط GIS، استفاده از روش AHP به‌دلیل امکان واردسازی نظرات متخصصان در روند تصمیم‌گیری و ارزیابی و همچنین توانایی آن برای استفاده در مواردی که امکان کمی نمودن اطلاعات دشوار است، می‌تواند در بهینه‌سازی طراحی شبکه جاده‌های جنگلی تأثیر فراوانی داشته باشد که مطالعات متعددی نیز در این رابطه انجام شده است. Shiba (1998) با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، اثر حضور جاده در نواحی کوهستانی Mie ژاپن را بررسی نموده است. (Spinelli & Marchi (1998) در مطالعه خود بیان می‌کنند که به‌طور کلی طراحی جاده باید به‌نحوی صورت گیرد که بیشترین سطح پوشش را با حداقل طول ممکن داشته باشد.

Akay *et al.* (2004) به بررسی مدل رقومی ارتفاع با توان تفکیک زیاد و کاربرد آن در طراحی جاده‌های جنگلی پرداختند. (Akay & Session (2005) مدل سه بُعدی مسیریابی جاده‌های جنگلی را با عنوان TRACER برای ارزیابی سریع گزینه‌های مختلف جاده در طراحی

با در نظر گرفتن تمام لایه‌های تهیه شده طراحی شدند. طراحی موجود نیز به‌عنوان گزینه هفتم (هر چند این گزینه هنوز توسط طراحان نهایی نشده) در نظر گرفته شد. سپس به ارزیابی‌های زیست‌محیطی و فنی گزینه‌های طراحی شده، پرداخته شد و پس از انتخاب گزینه برتر ارزیابی اقتصادی آن نیز انجام گردید.

### ارزیابی زیست‌محیطی شبکه‌ها به روش MCE

پس از طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری طبقات داخلی نقشه‌ها، به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی گزینه‌ها از روش مقایسه دو به دو در فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به‌منظور وزن‌دهی و اولویت‌بندی لایه‌ها استفاده شد. بدین منظور پس از طراحی پرسشنامه از نظرات متخصصان برای ارزش‌گذاری لایه‌ها استفاده گردید. سپس به‌منظور تلفیق مشخصه‌ها و محدودیت‌ها با توجه به اهمیت آنها از روش ارزیابی چندمعیاری MCE استفاده و نقشه شایستگی تهیه شد. در مرحله بعد با استفاده از تابع Extract در نرم‌افزار IDRISI از نقشه شایستگی، مجموع ارزشهای هر واریانت استخراج گردید. سپس ارزش هر واریانت به طول آن تقسیم و ارزش واحد طول هر گزینه محاسبه شد. با توجه به این که ارزش‌گذاری داخلی نقشه‌ها براساس مطلوبیت صورت گرفت، بنابراین در نقشه شایستگی ارزش کمتر مطلوبیت بیشتری دارد. بدین ترتیب با بهره‌گیری از قابلیت‌های GIS، واریانتی که کمترین ارزش واحد طول را داشت، به‌عنوان واریانتی که کمترین آسیب زیست‌محیطی را وارد می‌کند، تعیین شد.

### ارزیابی فنی شبکه‌ها به روش بکمونند

برای محاسبه رقم بکمونند برای هر گزینه از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. به این منظور در محیط ArcView طول هر شبکه جاده و مساحت کل منطقه محاسبه و از تقسیم طول کل جاده‌ها به

هدف کلی این پژوهش، طراحی شبکه جاده جنگلی با رعایت معیارهای زیست‌محیطی با بهره‌گیری از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی است. از اهداف دیگر تحقیق حاضر، ارزیابی‌های زیست‌محیطی و فنی گزینه‌های مختلف از طریق مطالعه گزینه‌ها و انتخاب بهترین گزینه به‌لحاظ اصول زیست‌محیطی و در نهایت انجام ارزیابی اقتصادی آن است.

## مواد و روشها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود واقع در ۷ کیلومتری شرق نوشهر در استان مازندران بین  $36^{\circ} 27'$  تا  $36^{\circ} 40'$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 32'$  تا  $51^{\circ} 43'$  طول شرقی می‌باشد. این جنگل شامل ۷ بخش است که منطقه مورد مطالعه، بخش بهارن، ششمین بخش از این مجموعه است که مساحتی حدود ۱۴۰۰ هکتار را به‌خود اختصاص داده است. کمترین و بیشترین ارتفاع در این بخش به‌ترتیب حدود ۹۰۰ و ۲۲۶۰ متر بالاتر از سطح دریاست. قسمت‌های جنگلی بخش بهارن فاقد جاده ماشین‌رو بوده و فقط حاشیه باختری بخش اصلی جنگل دارای راه‌های مالرویی محدودی است.

### روش تحقیق

در راستای اهداف پروژه و پس از بررسی منابع متعدد و با توجه به بازدهی‌های مقدماتی از منطقه مورد مطالعه، معیارهای زیست‌محیطی تأثیرگذار در طراحی مسیر جاده جنگلی شناسایی و سپس نسبت به جمع‌آوری و تهیه داده‌های مربوط به این معیارها اقدام گردید. داده‌های متعددی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند که از آنها لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز استخراج گردید، سپس با استفاده از نرم‌افزار ضمیمه Pegger، ۶ گزینه شبکه جاده

برآورد فاصله عملی چوبکشی معرفی و در تعیین رابطه متوسط فاصله چوبکشی عملی بکار برد. مجموع ضریب‌های T و V، ضریب تصحیح کامل است که بر حسب شرایط منطقه متفاوت است. ضریب تصحیح کامل که FAO به منظور ارزیابی پیشنهاد کرده در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

برای ارزیابی فنی با استفاده از روش زگبادن مراحل زیر در محیط نرم‌افزار IDRISI 15 انجام شد:

- ۱- محاسبه ضریب تصحیح مناسب برای منطقه
  - ۲- تعیین فواصل هر سلول از شبکه جاده با استفاده از تابع Distance
  - ۳- رویهم‌گذاری نقشه‌های مرحله اول و دوم به منظور بدست آوردن فاصله واقعی
  - ۴- استخراج فواصل کل سلول‌ها با استفاده از تابع Extract به منظور مقایسه گزینه‌ها
- در مورد این روش از شاخص مجموع فواصل  $\times$  طول جاده استفاده می‌گردد که کوچکتر بودن این شاخص از لحاظ ارزیابی فنی مطلوبترین است.

مساحت منطقه، تراکم جاده (متر در هکتار) محاسبه شد. سپس برای محاسبه درصد پوشش از تابع بافر استفاده شد و در هر طرف جاده‌ها عرضی برابر حداکثر فاصله چوبکشی، مشخص گردید. با تعیین مساحت کل منطقه بافر که تحت پوشش جاده‌ها قرار می‌گیرند، درصد پوشش از رابطه ۱ بدست آمد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad op\% = \frac{s}{S} \times 100$$

$op\%$ : درصد پوشش،  $s$ : مساحت مناطق تحت پوشش (هکتار) و  $S$ : مساحت کل منطقه (هکتار)  
با تقسیم تراکم جاده به درصد پوشش، رقم بکمونند برای ارزیابی فنی تمامی واریانت‌ها بدست آمد.

### ارزیابی فنی شبکه‌ها به روش زگبادن

زگبادن دو ضریب تصحیح شبکه (V-corrector) و ضریب تصحیح خروج چوب (T-corrector) را به منظور

جدول ۱- ضریب‌های تصحیح پیشنهادی FAO (FAO, 1974)

شرایط توپوگرافی	Total Corr (T+V)
سطح	۱/۶-۲
کوهستانی متوسط	۲-۲/۸
کوهستانی پُرشیب	۲/۸-۳/۶
کوهستانی خیلی پُرشیب	۳/۶<

### تهیه لایه‌های اطلاعاتی

#### نقشه طبقات ارتفاعی و شیب منطقه

برای تهیه نقشه مدل رقومی زمین از خطوط میزان نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد. با طبقه‌بندی مدل رقومی ارتفاع به کلاس‌های ۳۰۰ متری، نقشه طبقات ارتفاعی حاصل گردید. نقشه شیب با استفاده از مدل

پس از تعیین گزینه بهینه، ارزیابی اقتصادی این گزینه براساس روش ذکر شده در دستورالعمل تعیین محل‌های دپو و شبکه‌بندی مسیرهای چوبکشی (بی‌نام، ۱۳۸۴) انجام شد.

### نقشه تراکم تاج پوشش

با توجه به این که نقشه تراکم تاج پوشش منطقه تهیه نشده بود، براساس مشاهدات جنگل‌گردشی، درصد تراکم تاج پوشش تمامی تیپ‌های موجود در منطقه بیش از ۸۰ درصد تعیین شد.

### نقشه سنگ بستر و حساسیت به فرسایش

این لایه از نقشه‌های رقومی زمین‌شناسی دو شیت کجور و حمزه‌ده که بخش بهارین در آنها قرار می‌گیرد تهیه و از نظر حساسیت به فرسایش به ۴ طبقه تقسیم شد (شکل ۱، د).

### نقشه بافت خاک

با توجه به این که نقشه رقومی خاک‌شناسی بخش بهارین تهیه نشده بود، از نقشه کاغذی خاک‌شناسی جنگل خیرود استفاده شد (سرمدیان و جعفری، ۱۳۸۰). این نقشه در محیط GIS رقومی و پس از اضافه کردن اطلاعات موردنظر به جدول توصیفی، نقشه خاک در محیط ArcView به صورت یک لایه اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت. این لایه نیز در پنج طبقه ارزش‌گذاری شد (شکل ۱، و).

### نقشه فرسایش‌پذیری خاک

پس از رقومی کردن نقشه کاغذی خاک‌شناسی، با توجه به اطلاعات موجود در طرح مطالعاتی "بررسی خاک‌های جنگلی ایستگاه تحقیقاتی آموزشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران"، فرسایش‌پذیری منطقه در دو طبقه، طبقه‌بندی شد (سرمدیان و جعفری، ۱۳۸۰) (شکل ۱، ه).

### نقشه چشم‌انداز

با توجه به این که نقشه چشم‌انداز منطقه تهیه نشده بود، براساس جنگل‌گردشی‌های به عمل آمده و مذاکرات

رقومی ارتفاع تهیه شد. سپس با توجه به شرایط شیب منطقه، طبقه‌بندی در پنج طبقه ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۵، ۳۵-۵۰ و بیشتر از ۵۰ درصد انجام شد.

### نقشه گسل

این منطقه در زون البرز مرکزی قرار دارد که گسل الگوی ساختاری چیره آن از نوع راندگی و معکوس است (آقاناتی، ۱۳۸۳). تعداد معدودی گسل اصلی و فرعی در بخش بهارین وجود دارد که گسل‌های اصلی از نقشه رقومی زمین‌شناسی استخراج و به صورت یک لایه اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱، الف). پس از بررسی منابع موجود (سجادی، ۱۳۸۰) و مذاکرات شفاهی با متخصصان جاده‌سازی در جنگل و زمین‌شناسی، در نهایت فاصله کمتر از ۲۰۰ متر از گسل به عنوان محدودیت در نظر گرفته شد.

### نقشه آبراهه‌ها

نقشه آبراهه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استخراج و آبراهه‌های اصلی به عنوان یک لایه اطلاعاتی وارد محیط GIS گردید (شکل ۱، ب) و مقرر شد که با توجه به شرایط جنگلهای شمال و به دلیل ملاحظات زیست‌محیطی نباید تا فاصله ۲۵ متری از آبراهه‌ها درخت قطع شود. با توجه به پراکنش آبراهه‌ها در سطح بخش بهارین و لزوم طراحی و ساخت جاده که ناگزیر از عبور از آبراهه‌ها و لوله‌گذاری می‌باشد؛ به ناچار فاصله ۲۵ متری از آبراهه در بدترین حالت ممکن در نظر گرفته شد. افزایش فاصله از آبراهه علاوه بر کاهش مضرات زیست‌محیطی از قبیل آلودگی آبها، رودخانه‌ها و فرسایش خاک، کاهش هزینه ابنیه فنی را نیز بدنبال دارد.

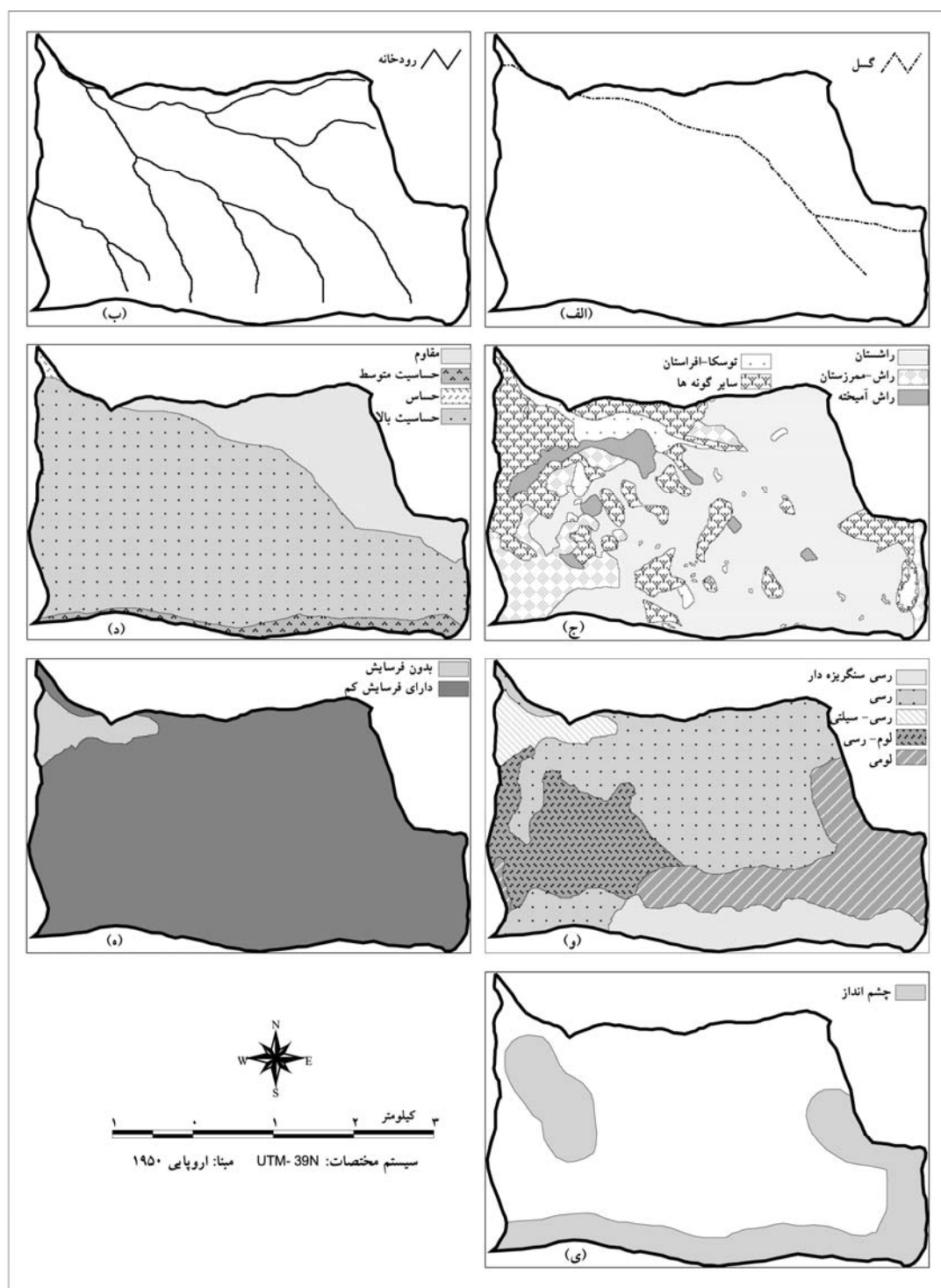
### نقشه تیپ و پوشش گیاهی

تیپ‌های غالب از روی نقشه تیپ منطقه تعیین و به ۵ کلاسه طبقه‌بندی شدند (شکل ۱، ج).

نقشه‌های توپوگرافی که نقشه‌های آبراهه‌ها و خطوط توپوگرافی به‌منظور تهیه نقشه شیب و ارتفاع از آن استخراج شدند و همچنین نقشه خاک‌شناسی، دارای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ بودند. نقشه‌های چشم‌انداز، تیپ و پوشش گیاهی نیز بر مبنای همین مقیاس بدست آمدند. نقشه زمین‌شناسی و گسل نیز دارای مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بودند.

شفاهی با استادان ذی‌ربط و کاملاً آشنا به منطقه، سه قسمت (یال جنوبی، یال شرقی و بخشی از قسمت غربی جنگل بهارین که دارای تنوع گیاهی زیادی بود) به‌عنوان مناظر چشم‌انداز در نظر گرفته شد. فاصله ۱۰۰ متری از این مناظر براساس مطلوبیت عبور جاده در طبقه یک قرار گرفت و به‌صورت یک لایه اطلاعاتی وارد محیط GIS شد (شکل ۱، ی).

به‌دلیل این که لایه‌های اطلاعاتی از منابع مختلفی تهیه شدند، صحت نقشه‌ها متفاوت است؛ به‌عنوان مثال



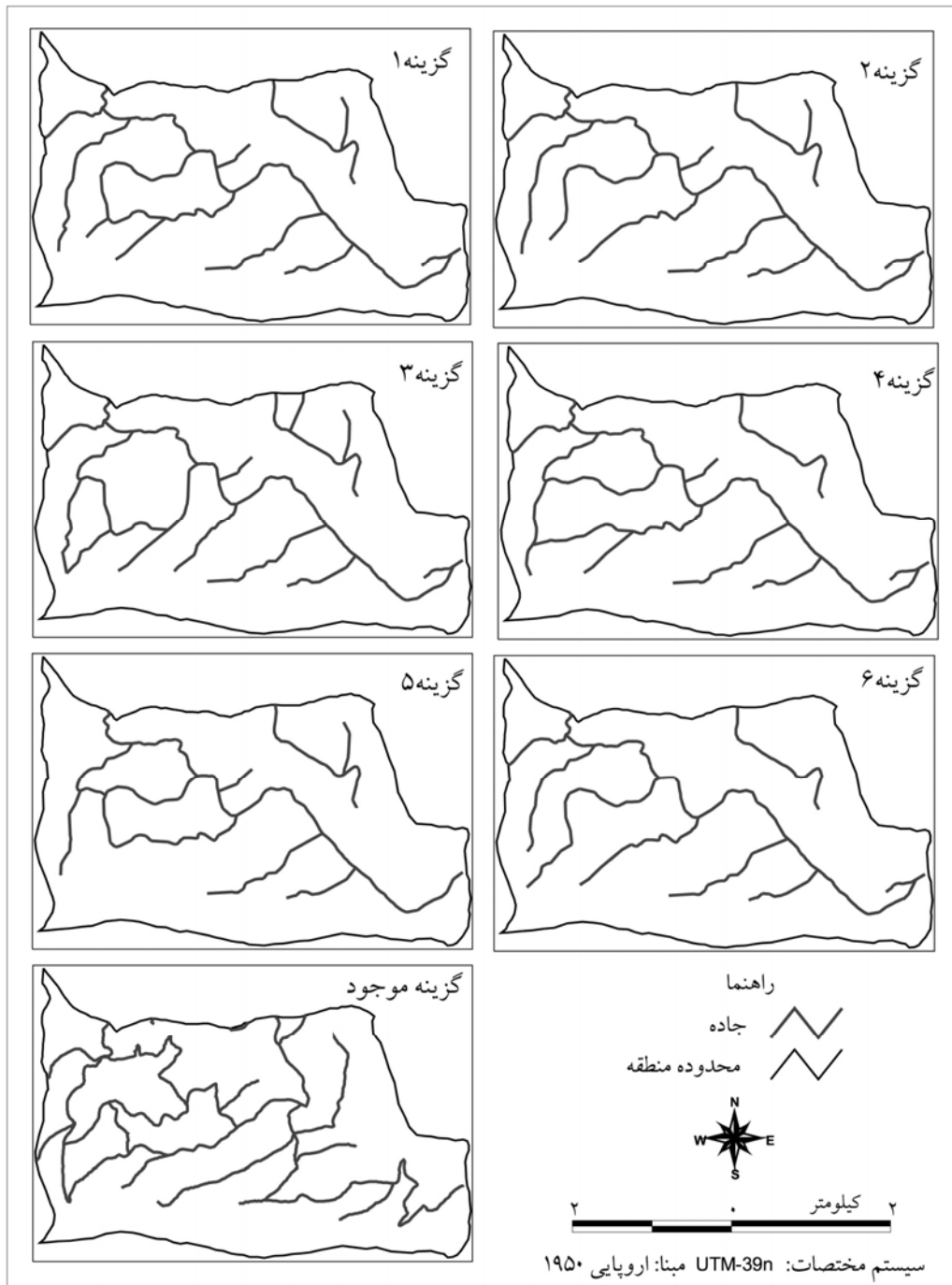
شکل ۱- نقشه‌های برخی از معیارهای مورد استفاده در طراحی جاده (الف- نقشه گسل، ب- نقشه آبراه‌های اصلی، ج- نقشه تیپ گیاهی، د- نقشه حساسیت به فرسایش سنگ بستر، و- نقشه بافت خاک، ه- نقشه فرسایش‌پذیری خاک و ی- نقشه چشم‌انداز)

**نتایج**

**طراحی شبکه جاده**

با استفاده از نرم افزار ضمیمه Pegger، ۶ گزینه شبکه جاده با در نظر گرفتن تمام لایه های تهیه

شده، طراحی و مورد ارزیابی های زیست محیطی و فنی قرار گرفت. گزینه های طراحی شده در شکل ۲ دیده می شوند.



شکل ۲- نقشه ۶ گزینه شبکه جاده های طراحی شده و موجود



## ارزیابی زیست‌محیطی به روش MCE

نتایج محاسبه وزن معیارهای زیست‌محیطی براساس نظر متخصصان در جدول ۲ آورده شده است. قابل ذکر

است که در این تحقیق از ۱۲ پرسشنامه استفاده شد. در مجموع میزان ناسازگاری کلی ۰/۰۷ بود که نشان از سازگاری قابل قبول نظرات در هر پرسشنامه دارد.

جدول ۲- وزن نهایی معیارهای زیست‌محیطی

معیارها	شیب	آبراهه	سنگ بستر	بافت خاک	فرسایش‌پذیری خاک	گسل	تیپ و پوشش گیاهی	تراکم پوشش	چشم‌انداز	ارتفاع
وزن	۰/۳۲۶۷	۰/۱۸۴۴	۰/۱۳۹۰	۰/۰۹۷۶	۰/۰۷۹۷	۰/۰۷۹۱	۰/۰۷۶۸	۰/۰۷۰۵	۰/۰۴۰۷	۰/۰۲۱۷

با توجه جدول ۲، ملاحظه می‌گردد که شیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و سپس به ترتیب آبراهه، سنگ بستر، بافت خاک، گسل، فرسایش‌پذیری خاک، تیپ

و پوشش گیاهی، تراکم پوشش، چشم‌انداز و ارتفاع وزن‌های بعدی را به خود اختصاص می‌دهند. نتایج حاصل از ارزیابی چندمعیاری در جدول ۳ مشاهده می‌گردد.

جدول ۳- نتایج ارزیابی زیست‌محیطی گزینه‌ها با استفاده از روش MCE

گزینه	ارزش استخراج شده	طول جاده (کیلومتر)	ارزش واحد طول	رتبه
۱	۴۵۷۵	۲۲/۲۷۹	۲۰۵/۳۵	۵
۲	۴۳۸۵	۲۱/۵۷۳	۲۰۳/۲۶	۴
۳	۵۱۰۴	۲۳/۶۳۴	۲۱۵/۹۶	۷
۴	۴۱۲۴	۲۱/۵۰۹	۱۹۱/۷۳	۳
۵	۴۱۰۵	۱۹/۶۶۴	۲۰۹/۰۵	۶
۶	۴۱۲۷	۲۲/۶۳۶	۱۸۲/۳۲	۱
طراحی موجود	۶۳۵۵	۳۴/۴۷۲	۱۸۴/۳۵	۲

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌گردد که گزینه ۶ با حداقل ارزش واحد طول بیشترین مطلوبیت و گزینه ۳ با حداکثر ارزش واحد طول، کمترین مطلوبیت را دارد.

## ارزیابی فنی به روش بکمونند

حداقل درصد پوشش مربوط به گزینه ۳ با ۷۴/۸۴ درصد و حداکثر آن مربوط به گزینه ۲ با ۷۷/۴۴ درصد می‌باشد. کوچکتر بودن رقم بکمونند از لحاظ فنی مطلوبتر است که کمترین مقدار آن مربوط به گزینه ۵ می‌باشد، یعنی نسبت به بقیه گزینه‌ها با طول کمتری پوشش بیشتری را در بر گرفته است (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج حاصل از ارزیابی فنی گزینه‌ها به روش بکمونند

رتبه	رقم بکمونند	درصد پوشش	سطح پوشش (هکتار)	حداکثر فاصله چوبکشی (متر)	فاصله بین جاده‌ها (متر)	تراکم (متر/هکتار)	طول جاده (متر)	گزینه
۴	۰/۲۰۸۳	۷۶/۳۲	۱۰۶۸/۹۶۶۰	۳۱۴	۶۲۸	۱۵/۹۰	۲۲۲۷۹	۱
۲	۰/۱۹۸۹	۷۷/۴۴	۱۰۸۴/۶۸۵۴	۳۲۴	۶۴۹	۱۵/۴۰	۲۱۵۷۳	۲
۵	۰/۲۲۵۴	۷۴/۸۴	۱۰۴۸/۳۱۱۷	۲۹۶	۵۹۲	۱۶/۸۷	۲۳۶۳۴	۳
۳	۰/۲۰۲۶	۷۵/۷۵	۱۰۶۰/۹۹۲۶	۳۲۵	۶۵۱	۱۵/۳۵	۲۱۵۰۹	۴
۱	۰/۱۸۳۰	۷۶/۷۰	۱۰۴۸/۳۴۱۷	۳۵۶	۷۱۲	۱۴/۰۴	۱۹۶۶۴	۵
۶	۰/۲۴۶۷	۶۵/۵۰	۹۷۳/۹۸۱۶	۳۰۴	۶۰۹	۱۶/۱۶	۲۲۶۳۶	۶
۷	۰/۲۴۷۶	۹۹/۴۳	۱۳۹۲/۷۰۹۳	۲۰۳	۴۰۶	۲۴/۶۲	۳۴۴۷۲	طراحی موجود

## ارزیابی فنی به روش زگبادن

ارزیابی فنی، مطلوبترین است. بنابراین گزینه ۵ مطلوبترین گزینه می‌باشد (جدول ۵).

در این روش از شاخص مجموع فواصل  $\times$  طول جاده استفاده می‌گردد که کوچکتر بودن این شاخص از لحاظ

جدول ۵- نتایج حاصل از ارزیابی فنی گزینه‌ها به روش زگبادن

رتبه	مجموع فواصل $\times$ طول جاده	طول جاده (کیلومتر)	مجموع فواصل چوبکشی (کیلومتر)	گزینه
۳	۸۴۴۷۹۷/۵۵۷	۲۲/۲۷۹	۳۷۹۱۹/۰۰۷	۱
۲	۸۰۵۷۵۱/۷۷۶	۲۱/۵۷۳	۳۷۳۵۰/۰۱۰	۲
۴	۸۶۶۹۶۱/۲۴۸	۲۳/۶۳۴	۳۶۶۸۲/۷۹۸	۳
۵	۸۷۰۱۱۲/۰۷۳	۲۱/۵۰۹	۴۰۴۵۳/۳۹۵	۴
۱	۷۹۰۶۹۶/۳۲۲	۱۹/۶۶۴	۴۰۲۱۰/۳۵۰	۵
۶	۸۹۸۲۸۰/۶۸۴	۲۲/۶۳۶	۳۹۶۸۳/۷۲۰	۶
۷	۱۱۵۷۷۷۶/۴۲	۳۴/۴۷۲	۳۳۵۸۵/۹۹۵	طراحی موجود

## انتخاب گزینه نهایی

بررسی شدند و رتبه نهایی در مجموع براساس معیارهای زیست‌محیطی و فنی تعیین شد.

نتایج حاصل از ارزیابی بکمونند نشان می‌دهد که رقم بکمونند در گزینه ۴، ۶ و ۷ به ترتیب ۰/۲۰۲۶، ۰/۲۴۶۷ و ۰/۲۴۷۶ است. در بین این سه گزینه، گزینه ۴ کوچکترین رقم بکمونند و کمترین طول را نسبت به دو گزینه دیگر داراست. بنابراین در این روش، گزینه ۴ به عنوان گزینه

باتوجه به نتایج ارزیابی زیست‌محیطی که در این مطالعه به عنوان شاخص مورد توجه قرار گرفته و با استفاده از روش MCE انجام شده، گزینه‌های ۶، ۷ (طراحی موجود) و ۴ رتبه اول تا سوم را کسب کرده‌اند که کمترین آسیب زیست‌محیطی را بدنبال دارند. از آن جا که در طراحی جاده‌های جنگلی باید اصول و نکات فنی را نیز در نظر گرفت، مشخصات فنی این گزینه‌ها نیز

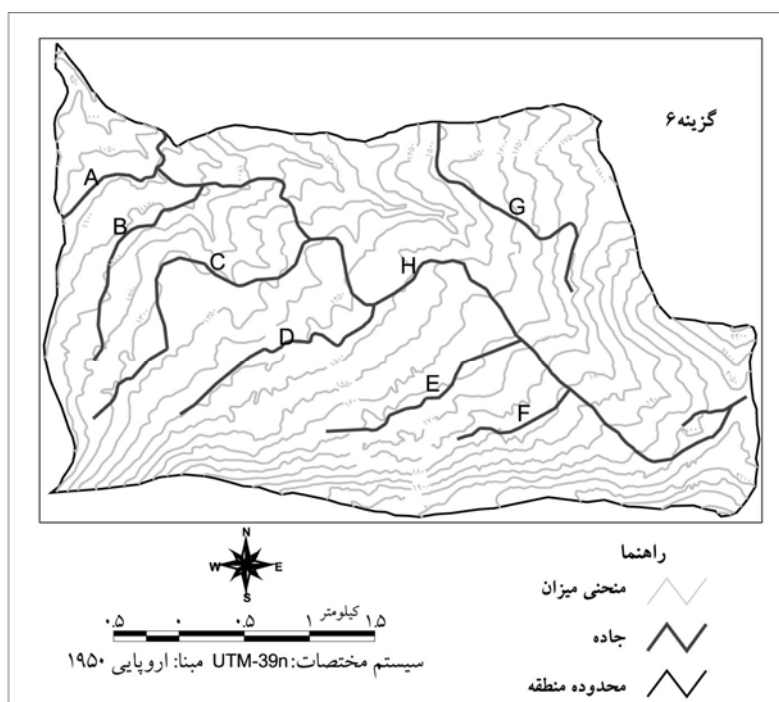
جدول ۶- رتبه سه گزینه نهایی در ارزیابی‌های مختلف

گزینه	روش MCE	روش بکموند	روش زگبدان
۶	۱	۲	۲
۷	۲	۳	۳
۴	۳	۱	۱

به این ترتیب با توجه به محاسبات حاصل از ارزیابی‌های به‌عمل آمده (زیست‌محیطی، بکموند و زگبدان) و با توجه به هدف پژوهش، از بین این سه گزینه، گزینه ۶ را که به‌طور نسبی علاوه بر مطلوبیت زیست‌محیطی از نظر فنی نیز دارای مطلوبیت است، به‌عنوان گزینه نهایی انتخاب و پس از انجام ارزیابی اقتصادی، در نهایت قابلیت پیاده نمودن آن در عرصه بررسی گردید (شکل ۳).

بهینه انتخاب و دو گزینه ۶ و ۷ به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

در روش زگبدان که مجموع حاصل‌ضرب فواصل چوبکشی و طول شبکه جاده در هر گزینه، شاخص ارزیابی قرار گرفته، رقم موردنظر در مورد گزینه‌های ۴، ۶ و ۷ به‌ترتیب ۸۷۰۱۱۲/۰۷۳، ۸۹۸۲۸۰/۶۸۴ و ۱۱۵۷۷۷۶/۴۲ می‌باشد. در این روش، بین این سه گزینه، گزینه ۴ به‌لحاظ داشتن کوچکترین شاخص، بهترین گزینه است. در جدول ۶ رتبه این سه گزینه در ارزیابی‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۳- شبکه جاده منتخب

## ارزیابی اقتصادی گزینه نهایی

بر اساس دستورالعمل تعیین محل‌های دپو و شبکه‌بندی مسیرهای چوبکشی برای انجام ارزیابی اقتصادی، به تعیین هزینه جاده‌سازی و هزینه چوبکشی هر مترمکعب چوب قابل خروج نیاز است. متوسط هزینه ساخت یک کیلومتر جاده برابر پانصد میلیون ریال می‌باشد که از تقسیم این

هزینه به حجم چوبی که بر روی آن حمل خواهد شد، هزینه جاده‌سازی برای هر مترمکعب چوب بدست می‌آید. این حجم چوب از حاصل ضرب میزان برداشت در هکتار منطقه مورد مطالعه در مساحتی که تحت پوشش یک کیلومتر جاده قرار می‌گیرد بدست می‌آید (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج ارزیابی اقتصادی گزینه بهینه منتخب

مجموع هزینه چوبکشی و جاده‌سازی (ریال)	هزینه چوبکشی (ریال)	هزینه جاده‌سازی به‌ازای هر مترمکعب چوب (ریال)	سطح پوشش به‌وسیله یک کیلومتر جاده (هکتار)	حداکثر فاصله چوبکشی		فاصله بین دو جاده (متر)	حجم چوب قابل خروج به‌وسیله یک کیلومتر جاده	مسیرها
				۲:۳ به سمت پایین	۱:۳ به سمت بالا			
۹۴۱۵۰	۲۲۰۰۰	۷۲۱۵۰	۴۴	۲۹۳/۳	۱۴۶/۶۶	۴۴۰	۶۹۳۰	A,B
۸۳۰۶۵	۲۹۸۰۰	۵۳۲۶۵	۵۹/۶	۳۹۷/۳۳	۱۹۸/۶۶	۵۹۶	۹۳۸۷	B,C
۷۹۹۶۰	۳۶۶۵۰	۴۳۳۱۰	۷۳/۳	۴۸۸/۶۶	۲۴۴/۳۳	۷۳۳	۱۱۵۴۵	C,D
۸۰۱۵۰	۳۵۷۵۰	۴۴۴۰۰	۷۱/۵	۳۵۷/۵	۳۵۷/۵	۷۱۵	۱۱۲۶۱	D,E
۹۵۴۷۹	۲۲۳۰۰	۷۱۱۷۹	۴۴/۶	۲۲۳	۲۲۳	۴۴۶	۷۰۲۴/۵	E,F
۸۱۲۴۲	۳۳۳۵۰	۴۶۸۹۲	۶۷/۷	۳۳۸/۵	۳۳۸/۵	۶۷۷	۱۰۶۶۳	G,H
۸۲۴۸۴	۵۱۹۰۰	۳۰۵۸۴	۱۰۳/۸	۶۹۲	۳۴۶	۱۰۳۸	۱۶۱۴۸/۵	A,C
۹۴۳۲۴	۷۲۴۰۰	۲۱۹۲۴	۱۴۴/۸	۹۶۵/۳۳	۴۸۲/۶۶	۱۴۴۸	۲۲۸۰۶	E,C
۸۵۲۳۶	۵۷۷۵۰	۲۷۴۸۶	۱۱۵/۵	۷۷۰	۳۸۵	۱۱۵۵	۱۸۱۹۱	F,D

## نتایج بررسی قابلیت پیاده نمودن گزینه بهینه

برای کنترل قابلیت پیاده نمودن گزینه بهینه، از عرصه بازدید به‌عمل آمد و مسیر D از شبکه مذکور به‌طول ۲۲۷۶ متر به‌صورت تصادفی انتخاب و با دستگاه GPS مکان‌یابی و مورد پیمایش قرار گرفت. وضعیت کلی این مسیر از نظر شیب منطقه، ساختار و ترکیب گونه‌های موجود، وضعیت لغزشی زمین و آبروها مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن بدین شرح است:

۱- شیب منطقه در این مسیر کمتر از ۳۵ درصد است که با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی قابلیت اجرایی

در مورد گزینه بهینه، کمترین مجموع هزینه‌های جاده‌سازی و چوبکشی مربوط به فاصله بین دو مسیر C,D است (شکل ۳) که برابر ۷۳۳ متر می‌باشد. با توجه به این که میانگین فاصله جاده‌ها در شبکه جاده منتخب برابر ۶۰۹ متر می‌باشد و طراحی انجام شده بر اساس شرایط توپوگرافی منطقه صورت گرفته، ارزیابی اقتصادی نیز گزینه منتخب را تأیید می‌نماید.

شناسایی و برای وزن‌دهی به معیارها از روش مقایسه دو به دو در فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از این روش دستاورد مطلوبی را ارائه خواهد داد. همچنین در سایر مطالعات (عبدی، ۱۳۸۴؛ احمدی، ۱۳۸۱؛ Shiba, 1998) نیز روش مقایسه دو به دو برای وزن‌دهی به معیارها در پژوهش‌های طراحی جاده روشی مناسب و مؤثر ذکر شده است.

استفاده از روند ارزیابی چندمعیاری MCE در GIS، امکان ترکیب و تلفیق معیارهای زیست‌محیطی مختلف با ضریب‌های اهمیت متفاوت را فراهم می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه شبکه حاصل از این روش کوتاهترین شبکه نمی‌باشد، اما می‌تواند بهترین حالت ممکن را با رعایت مسائل زیست‌محیطی دارا باشد. در واقع با دخالت دادن شاخص‌های زیست‌محیطی، طراحی بهینه امکان‌پذیر است. نتایج حاصل با نتایج بدست آمده از مطالعات کمابیش مشابه که در بخش مقدمه و هدف به آنها اشاره شد همسو و در یک جهت است.

با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد که در روش بکموند با افزایش تراکم، حداکثر فاصله چوبکشی کاهش می‌یابد. در نتیجه درصد پوشش در ۶ گزینه، تغییرات چندانی ندارد. در مدل بکموند، رقم بکموند که ملاک قضاوت در مورد ارزیابی شبکه‌های جاده جنگلی است، با افزایش تراکم، افزایش می‌یابد. بنابراین در این روش پنجمین گزینه که کمترین تراکم را دارد، کمترین رقم بکموند را به‌خود اختصاص داده و به‌عنوان گزینه بهینه انتخاب می‌شود و گزینه‌های ۲، ۴، ۱، ۳، ۶ و ۷ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

در روش زگبادن، محاسبات انجام شده و نتایج بدست آمده نسبت به روش بکموند به واقعیت نزدیکتر می‌شود. در این روش گزینه‌های ۵، ۲ و ۱ به ترتیب بالاترین رتبه را از لحاظ مطلوبیت کسب نموده و گزینه‌های ۳، ۴، ۶ و ۷ در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

برای ساخت جاده را دارد. در مجموع، ۸۵ درصد از کل مسیر گزینه ۶ در کلاسه‌های شیب کمتر از ۳۵ درصد قرار گرفته است.

۲- ساختار و ترکیب گونه‌های موجود در مسیر عبارتند از راشستان و راش - ممرزستان که از نظر اولویت عبور جاده در این منطقه در سطوح ۱ و ۲ قرار دارند.

۳- وضعیت زمین از نظر لغزشی و رانشی؛ جایی که نشانگر لغزشی و رانشی بودن زمین بود، مشاهده نشد.

۴- از نظر آبروها در این مسیر، ۴ آبراهه تک‌شاخه و دو آبراهه دوشاخه ملاحظه شد که با توجه به نظر استادان ذی‌ربط در شرایط جنگلهای شمال، براساس بررسیهای مشاهداتی چنانچه در ساخت جاده هر ۱۵۰ متر یک لوله‌گذاری در تقاطع آبراهه و جاده (Live stream culvert) انجام گردد از نظر ملاحظات زیست‌محیطی مناسب به نظر می‌آید. به این ترتیب با وجود ۸ آبراهه در طول مسیر ۲۲۷۶ متری D، به‌طور متوسط در هر ۲۸۵ متر از مسیر یک لوله‌گذاری در تقاطع آبراهه و جاده نیاز است که از نظر ملاحظات زیست‌محیطی مناسب است. علاوه بر آن، به‌منظور تخلیه آب جوی کناری، لوله‌گذاری دیگری در فواصل ۷۰ تا ۱۲۰ متری (Direct relief culvert) مورد نیاز می‌باشد.

۵- مسیر از چشم‌انداز نسبتاً زیبایی برخوردار است. با توجه به موارد فوق، به‌طور کلی امکانات مسیر بیانگر احداث جاده مناسب در مسیر ذکر شده است.

## بحث

نتایج این پژوهش مانند سایر مطالعاتی که در این رابطه انجام شده (احمدی، ۱۳۸۱؛ عبدی، ۱۳۸۴؛ Akay & Session, 2005)، این فرضیه را به اثبات می‌رساند که GIS و AHP قابلیت‌های زیادی در طراحی جاده براساس اصول زیست‌محیطی دارند.

در این تحقیق در راستای رسیدن به اهداف مطالعه، معیارهای زیست‌محیطی تأثیرگذار بر روند طراحی جاده

قابل ذکر است که طراحی موجود که در این تحقیق به عنوان گزینه هفتم در نظر گرفته شده، تاکنون نهایی نشده و امکان حذف برخی از مسیرهای آن وجود دارد، شاید یکی از علل عدم انتخاب آن به عنوان بهترین گزینه به این دلیل باشد که لازم است پس از نهایی شدن توسط طراحان مجدداً مورد بررسی قرار گیرد.

صحت نتایج بدست آمده در این گونه مطالعات کاملاً به صحت اطلاعات لایه‌های ورودی بستگی دارد و هرچه صحت اطلاعات لایه‌های ورودی بیشتر باشد، نتایج حاصل قابل اعتمادتر خواهد بود (عبدی، ۱۳۸۴؛ Murray 1998؛ Dean, 1997). حالت بهینه آن است که تمامی نقشه‌های مورد استفاده هم مقیاس باشند، ولی به دلیل این که این نقشه‌ها از منابع مختلف تهیه می‌شوند، صحت آنها یکسان نیست. بنابراین بهتر است که نتایج با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند و یا به عنوان مطالعه فاز صفر در نظر گرفته شوند و پس از کنترل و برداشت‌های وسیع زمینی مورد استفاده قرار گیرند.

### منابع مورد استفاده

- احمدی، ه.، ۱۳۸۱. مسیریابی براساس اصول زیست‌محیطی با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۹۸ صفحه.
- آقائاتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۵ صفحه.
- بی‌نام، ۱۳۸۴. دستورالعمل تعیین محل‌های دپو و شبکه‌بندی مسیرهای چوبکشی. دفتر صنایع چوب و بهره‌برداری، نشریه شماره ۲۲۱، ۳۵ صفحه.
- حسینی، س.ع.، ۱۳۸۲. برنامه‌ریزی شبکه راه‌های جنگلی با استفاده از فن‌آوری سامانه اطلاعات جغرافیایی در جنگل خیرودکنار نوشهر. رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۷ صفحه.
- سپهوند، ا.، ۱۳۸۲. بررسی قابلیت‌های افتتاحی گزینه‌های مختلف به منظور تکمیل شبکه جاده‌های سری پاتم در

استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به منظور وزن‌دهی، امکان استفاده از ورود معیارهای مختلف کمی و کیفی در مطالعه و استفاده از نظرات متخصصان ذی‌ربط سبب افزایش دقت مطالعه و کسب نتایج صحیح‌تری می‌شود. علاوه بر این استفاده از روش MCE، امکان تلفیق و ترکیب مشخصه‌های مختلف با ضریب‌های اهمیت متفاوت را فراهم می‌کند که این امر خود صحت و دقت مطالعه را افزایش می‌دهد. در این روش گزینه‌های ۶، ۷ و ۴ به ترتیب بالاترین رتبه را به خود اختصاص دادند و گزینه‌های ۲، ۱، ۳ و ۵ به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند.

با توجه به نتایج محاسبات حاصل از ارزیابی‌های زیست‌محیطی، بکمونند و زگبدان و همچنین با توجه به هدف پژوهش از بین این گزینه‌ها، گزینه ۶ که به طور نسبی علاوه بر مطلوبیت زیست‌محیطی از نظر فنی نیز دارای مطلوبیت است، به عنوان گزینه نهایی انتخاب و پس از انجام ارزیابی اقتصادی، در نهایت قابلیت پیاده نمودن آن در عرصه بررسی گردید.

در محاسبات به عمل آمده در ارزیابی اقتصادی، کمترین مجموع هزینه‌های جاده‌سازی و چوبکشی مربوط به فاصله بین دو مسیر C,D است که برابر ۷۳۳ متر می‌باشد. با توجه به این که میانگین فاصله جاده‌ها در شبکه جاده منتخب برابر ۶۰۹ متر می‌باشد و طراحی انجام شده براساس شرایط توپوگرافی منطقه صورت گرفته، ارزیابی اقتصادی نیز گزینه منتخب را تأیید می‌کند. البته در هنگام پیاده نمودن شبکه جاده منتخب تا جایی که شرایط توپوگرافی و رویشگاهی اجازه دهد می‌توان میانگین فاصله جاده‌ها را به فاصله بهینه نزدیک یا برابر کرد. بنابراین با توجه به نتایج ارزیابی اقتصادی، گزینه ۶ به عنوان گزینه بهینه انتخاب می‌شود. کنترل مسیر گزینه بهینه با بازدید از عرصه از نظر شیب منطقه، ساختار و ترکیب گونه‌های موجود، وضعیت لغزشی زمین و آبروها بیانگر مناسب بودن منطقه برای پیاده نمودن جاده است.

- 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, Istanbul, Turkey, The International Society for Photogrammetry and Remote sensing*, 6 p.
  - Akay, A.E. and Session, J., 2005. Apply the decision support system, TRACER, to forest road design. *Society of American forestry, Journal of Applied Forestry*, 20: 18-191.
  - Dean, D.J., 1997. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques. *Can. J. For. Res.*, 27: 11-22.
  - FAO, 1974. Logging and log transport in mountain forests in developing countries. Rome, 90 p.
  - Murray, A.T., 1998. Route planning for harvest site access. *Can. J. For. Res.*, 28: 1084-1087.
  - Shiba, M., 1998. Analytic Hierarchy Process (AHP) based on multi-attribute benefit structure analysis of road network systems in mountainous rural areas of Japan. *Forest Engineering*, 70: 41-50 p.
  - Spinelli, R. and Marchi, E., 1998. A literature review of the environmental impacts of forest road construction. *Proceedings of the seminar on environmentally sound forest roads and wood transport*: 261-275 p.
- یک جنگل‌داری چندمنظوره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۴۲ صفحه.
- سجادی، س.، ۱۳۸۰. ارزیابی اثرات راه‌سازی بر محیط زیست جنگل خیرودکنار با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۲۳ صفحه.
- سرمیدیان، م. و جعفری، م.، ۱۳۸۰. بررسی خاکهای جنگلی ایستگاه تحقیقاتی آموزشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (خیرودکنار نوشهر). *مجله منابع طبیعی*، ویژه‌نامه ۱۳۸۰، ۱۱۲ صفحه.
- عبدی، ا.، ۱۳۸۴. طراحی شبکه جاده جنگلی با حداقل هزینه ساخت با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۸۴ صفحه.
- علیزاده، م.، ۱۳۸۵. طراحی و ارزیابی گزینه‌های مختلف شبکه جاده با استفاده از GIS و مطالعات میدانی (مطالعه موردی: سری چلیبر- جنگل خیرود). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۸۸ صفحه.

## Forest road network planning based on environmental, technical and economical considerations using GIS and AHP (Case study: Baharbon district in Kheyroud forest)

N. Shamsavand Baghdadi <sup>1</sup>, M. Pir Bavaghar <sup>2\*</sup> and H. Sobhani <sup>3</sup>

1- M.Sc. of forest management, Faculty of Natural Resources, University of Kordistan, Sanandaj, Iran.

2\* - Corresponding author, Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Kordistan, Sanandaj, Iran.

E-mail: mahtab\_bavaghar@yahoo.com

3- Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karadj, Iran.

Received: 14.09.2010 Accepted: 24.01.2011

### Abstract

The goal of this study is presenting a proper method to improve the planning of forest roads network based on environmental, technical and economical considerations using GIS (Geographical Information System) and AHP (Analytical Hierarchy Process). Six different variants regarding to technical principles of roads network were designed using Pegger (an extension of ArcView software). Inner levels of layers were evaluated and ranked to get a proper environmental evaluation. The parameters were compared in pair-wise comparison in the context of AHP to develop map layers weights. Then weights, factors and constraints were entered to multi criteria evaluation (MCE) module to create final suitability map. All variants were evaluated from a technical stand of view in GIS using Backmond and Segebaden methods. In addition to six variants, in every 3 evaluation, we evaluate exiting plan in the study area as seventh variant. With review the result of environmental and technical evaluations of 7 variants, the variant with lowest total value in MCE with regard to technical principals was determined. This variant was evaluated economically, and then was checked by field reconnaissance. The obtained results showed that using GIS and AHP will improve planning methods.

**Key words:** Forest road, environmental, technical and economical considerations, MCE, GIS, AHP.