DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107451

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۳، صفحهٔ ٤٧١-٤٦٠، (۱۳۹۱)

طراحی جاده جنگلی با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و سیستم اطلاعات جغرافیایی

پژمان ایمانی[۱]، اکبر نجفی[۲*]، اسماعیل قجر[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران.
پست الکترونیک: imanip88@gmail.com

[۲*]- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۳۵٦-٦٤٤١٤، نور، مازندران.
پست الکترونیک: a.najafi@modares.ac.ir

[۳]- دانشجوی دکترا، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران.
پست الکترونیک: ismael.ghajar@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/٤

چکیده

هدف پژوهش حاضر طراحی جاده جنگلی کم هزینه‌تر از طریق تهیه نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده‌سازی و در نظر گرفتن مهمترین عوامل مؤثر در هزینه جاده‌سازی با کمک AHP و بکارگیری الگوریتم حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر (Shortest Path) می‌باشد. در پژوهش حاضر از بین عوامل مختلفی که در طراحی جاده‌های جنگلی تأثیرگذارند ۵ عامل شیب عرضی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و شیب طولی در نظر گرفته شد. بعد از وزن‌دهی و تلفیق عوامل هزینه جاده‌سازی، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی هزینه در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 گردید. در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر اقدام به طراحی جاده شد. به‌منظور مقایسه الگوریتم با روش رایج، از مسیر طراحی شده توسط یک کارشناس مجرب و آشنا به منطقه استفاده شد و با در نظر گرفتن نقطه شروع و پایان، یک مسیر واقعی توسط کارشناس طراحی گردید. طول و هزینه ساخت مسیر جاده طراحی شده به‌وسیله الگوریتم به‌ترتیب ۵۵ و ٦۵ درصد کمتر از مسیر جاده طراحی شده توسط کارشناس، قبل از اصلاح در طبیعت می‌باشد. طول مسیر طراحی شده به‌وسیله الگوریتم، ۱۹ درصد و هزینه ساخت آن ۲۱ درصد کمتر از مسیر طراحی شده توسط کارشناس، بعد از اصلاح در طبیعت می‌باشد. این اختلاف معادل ۹۱٦۰۰۰۰۰۰ ریال هزینه کمتر برای واریانت ارائه شده به‌وسیله الگوریتم کوتاه ترین مسیر است. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از نقشه پهنه‌بندی هزینه و الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر می‌توان مسیری با طول و هزینه ساخت کمتری نسبت به طراحی دستی توسط کارشناس طراحی کرد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم، کوتاه‌ترین مسیر، جاده جنگلی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، طراحی، هزینه ساخت.

مقدمه

امروزه چالش بزرگ برای مهندسین جنگل این است که شبکه جاده‌ای طراحی کنند که ضمن این که میزان طول جاده را حداقل و آن را در یک حالت فعال نگه می‌دارند، جوابگوی سایر نیازهای جنگل هم باشند (Anderson & Nelson, 2004). طراحی شبکه جاده جنگلی نیاز به در نظر گرفتن عوامل مختلف فیزیوگرافی و رویشگاهی دارد. در روش سنتی برای تلفیق اطلاعات از فن روی‌هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی به‌روش دستی استفاده می‌شود، اما روشهای سنتی به‌دلیل سرعت و دقت پایین، قابلیت بکارگیری لایه‌های اطلاعاتی و داده‌های مکانی زیادی را ندارند و به همین دلیل امکان مقایسه

گزینه‌های مختلف به‌راحتی وجود ندارد. بنابراین در طراحی سنتی الزاماً از تعداد گزینه‌ها می‌کاهند تا طراحی و ارزیابی عملی شود. همچنین ممکن است با روش سنتی مسیر جاده‌ای با طول و هزینه کمتر حاصل نشده و منجر به ایجاد یک شبکه جاده ناکارآمد شود؛ زیرا تنها تعداد اندکی از متغیرها در یک سطح کوچک می‌توانند در نظر گرفته شوند (Chung & Sessions, 2001). وجود این مشکلات و نواقص از یک طرف و تغییر در اهداف مدیریتی جنگل و مطرح شدن معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی از طرف دیگر باعث ایجاد تفکر بکارگیری روشهای نوین با قابلیت و توانایی‌های بالاتر شد که طراحان را به سمت استفاده از کامپیوتر، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و الگوریتم‌های مختلف سوق داد. قابلیت GIS در طراحی جاده جنگلی باعث می‌شود که مسیر طراحی شده با استفاده از ابزار GIS کوتاه‌تر شده و بیشتر از نقاطی که دارای شیب‌های مجاز می‌باشند عبور کند. همچنین استفاده از این ابزار زمان طراحی را به حداقل می‌رساند (Mohd Hasmadi *et al*., 2010). در روشهای نوین طراحی از امکانات برنامه‌نویسی و همچنین سامانه اطلاعات جغرافیایی و فن‌آوری داده‌پردازی استفاده گسترده‌ای می‌شود (Twito *et al*., 1987; Liu & Sessions, 1993; Epstein *et al*., 1999; Sessions & Chung 2003; Epstein *et al*., 2001; Stuckelberger *et al*., 2006).

Yu *et al*. (2003) یک الگوریتم با رویکرد طراحی جاده جنگلی با کمترین هزینه را ارائه دادند که برای داده‌های رستری استفاده می‌شد. آنها برای حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر از الگوریتمی با وزن‌های جریمه برای انواع زمین‌ها و شیب‌های طولی مختلف استفاده کردند. Anderson & Nelson (2004) از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر (Shortest Path) برای طراحی شبکه جاده استفاده کردند. آنها همچنین با انجام آنالیز حساسیت و در نظر گرفتن محدودیت‌ها و جریمه‌هایی شبکه جاده طراحی شده را تا حدی بهبود بخشیدند.

تاکید بیشتر در این مطالعه روی الگوریتم حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر (Shortest Path) است. هدف پژوهش حاضر، طراحی جاده جنگلی کم‌هزینه‌تر از طریق تهیه نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده‌سازی با در نظر گرفتن مهمترین عوامل مؤثر در هزینه جاده‌سازی با کمک فرایند تحلیل سلسله مراتبی(Analytical Hierarchy Process: AHP) و بکارگیری الگوریتم حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر در محیط GIS می‌باشد. برای ارزیابی بکارگیری تکنیک بکار رفته برای پهنه‌بندی و عملکرد الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، این روش در یک مطالعه کاربردی در جنگل آموزشی پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس اجرا و با جاده طراحی شده توسط یک کارشناس خبره مقایسه شد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

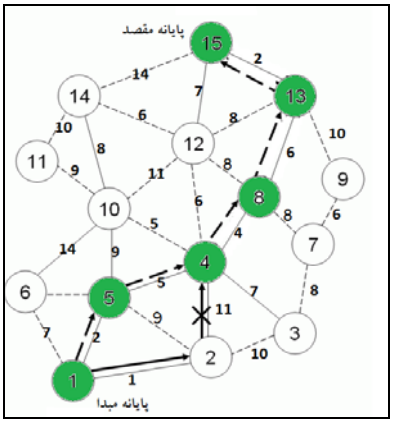
منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲٤۰٦ هکتار در استان مازندران می‌باشد. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی ″۰۵ ′٤۱ °۵۱ تا ″۱۲ ′٤۸ °۵۱ شرقی و عرض‌های ″۱٤ ′۲۹ °۳٦ تا ″۱۸ ′۳۳ °۳٦ شمالی در محدوده‌ای از سری‌های ۳، ٤ و ۵ از جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در حوضه آبخیز ٤٦ واقع می‌باشد.

روش پژوهش

الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر (Shortest Path Algorithm)

یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های حل مسئله، الگوریتم ابتکاری کوتاه‌ترین مسیر است که توسط دانشمند هلندی علوم رایانه (Edsger Dijkstra) در سال ۱۹۵۹ ارایه شد. این الگوریتم مسئله کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ واحد را برای گراف‌های وزن‌داری که یال با وزن منفی ندارند، حل کرده و در نهایت با ایجاد درخت کوتاه‌ترین مسیر، کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ به همه رأس‌های گراف را

بدست می‌دهد. همچنین می‌توان از این الگوریتم برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ تا رأس مقصد به این ترتیب بهره جست که در حین اجرای الگوریتم به محض پیدا شدن کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ به مقصد، الگوریتم را متوقف نمود. شکل۱ نمونه‌ای از کاربرد این الگوریتم را نشان می‌دهد. دو نقطه ۱ و ۱۵ نقاط شروع و پایان و نقاط دیگر مرکز سلول‌های فرضی است که بین این دو نقطه قرار دارند. با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر این دو نقطه به‌گونه‌ای به هم متصل می‌شود که کمترین وزن را داشته باشند. بدین‌ترتیب به وسیله این الگوریتم، مسیر ۱۵–۱۳–۸–٤–۵–۱ با کمترین وزن بین دو نقطه ۱ و ۱۵ ترسیم می‌شود.



شکل۱- چگونگی وصل شدن نقاط بوسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر

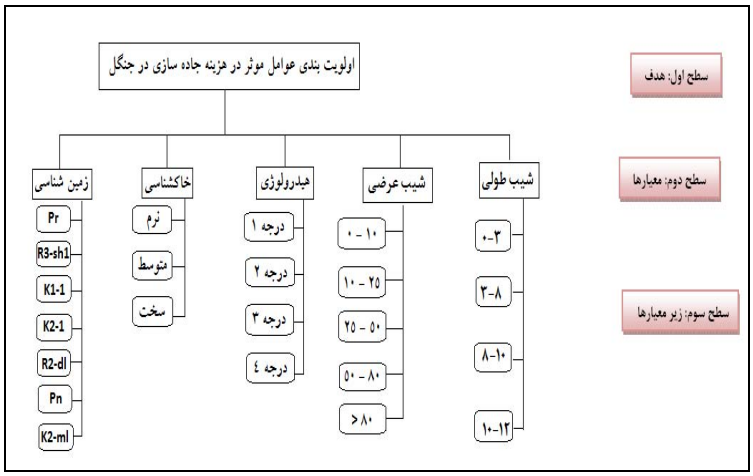
تلفیق لایه‌ها و طراحی مسیر

از بین عوامل مختلفی که در هزینه جاده‌های جنگلی تأثیرگذارند، ۵ عامل شیب عرضی، خاکشناسی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی (Mohammadi Samani *et al.*, 2010) و شیب طولی انتخاب شدند. وزن‌دهی عوامل مؤثر در دو مرحله با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به شرح زیر انجام شد:

۱- ارزش برون‌لایه‌ای: ۵ عامل مورد نظر به وسیله فرایند تحلیل سلسله مراتبی ارزش‌دهی شدند که این ارزش‌دهی، ارزش برون‌لایه‌ای می‌باشد.

۲- ارزش درون‌لایه‌ای: هر کدام از عوامل خود به چند طبقه تقسیم می‌شوند که به هر کدام از آنها با توجه به اثری که بر جاده‌سازی می‌توانند داشته باشند از ۱ تا ۹ ارزش داده شد که این ارزش‌دهی، ارزش درون‌لایه‌ای می‌باشد (شکل۲).

سپس نقشه‌های مربوط به چهار عامل شیب، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و هیدرولوژی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌صورت لایه‌ای رستری تهیه شدند و در مرحله بعد عامل شیب طولی که عاملی مهم در طراحی جاده جنگلی می‌باشد، محاسبه و به عوامل بالا اضافه شد.



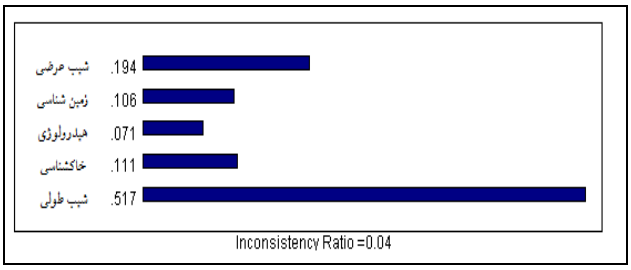
شکل۲- سلسله مراتب معرفی مهم‌ترین عوامل کیفی و کمی اثر گذار در تعیین هزینه جاده‌سازی

در گام بعد ۵ عامل مذکور در محیط GIS با یکدیگر تلفیق و نقشه خروجی که یک لایه رستری پهنه‌بندی هزینه است، بدست آمد. نقشه پهنه‌بندی هزینه دارای سلول‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰ متر بود که در آن سلول‌ها دارای ارزش‌های متفاوتی بودند. در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و نقشه پهنه‌بندی هزینه تهیه شده از مرحله قبل و با در نظر گرفتن نقطه شروع و پایان یک مسیر واقعی، اقدام به طراحی مسیر شد. مسیر نهایی ترکیبی از سلول‌هاست که مجموع ارزش‌های آنها براساس روش جستجوی این الگوریتم، کمترین می‌باشد. در فرایند وصل کردن سلول‌های نقشه پهنه‌بندی هزینه که دارای کمیت‌های متفاوتی می‌باشند، الگوریتم به گونه‌ای سلول‌ها را به هم وصل کند که کمترین هزینه (وزن) را بین دو پیکسل مجاور داشته باشد. حال با داشتن یک نقطه شروع و یک نقطه پایان می‌توان بهترین مسیر را از جهت فاکتورهای مورد استفاده در نقشه‌ها، با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر پیدا کرد. به منظور مقایسه کارایی روش مذکور با روش دستی مسیر دیگری بین دو نقطه شروع و پایان توسط یک کارشناس مجرب که آشنا به منطقه مورد مطالعه می‌باشد، از روی نقشه توپوگرافی طراحی گردید. به منظور محاسبه هزینه ساخت مسیرهای طراحی شده توسط کارشناس و بوسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده سازی با قیمت‌های مناقصات سال ۸۹ که از اداره کل منابع طبیعی نوشهر گرفته شد، به ۳ طبقه‌ی پرهزینه، هزینه متوسط و کم‌هزینه تقسیم گردید. مسیرهای طراحی شده در طبیعت پیمایش و کل مسیرهای طراحی شده به طور دقیق اصلاح گردید و اطلاعات مربوطه در سامانه موقعیت‌یاب جهانی(GPS) (Global Position System) ثبت شد. در نهایت این مسیرها از نظر هزینه ساخت و طول مقایسه شدند.

نتایج

نتایج حاصل از وزن دهی لایه‌ها

نتایج بدست آمده از وزن‌دهی لایه‌ها نشان داد که بالاترین وزن در بین عوامل شیب عرضی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و شیب طولی مربوط به عامل شیب طولی و کمترین وزن مربوط به عامل هیدرولوژی می‌باشد (شکل۳).



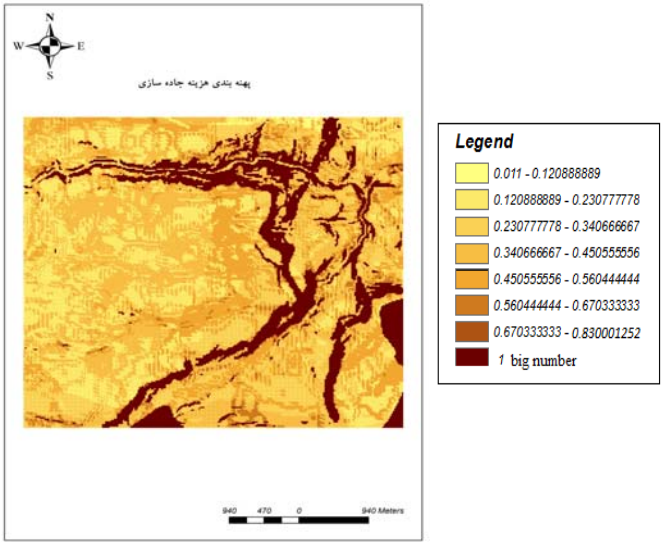
شکل۳- وزن‌دهی نسبی به عوامل هزینه جاده‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice

بعد از آن که ارزش برونی هر کدام از لایه‌ها تعیین شد، ارزش درونی آنها نیز با توجه به اثری که می‌توانند بر روی جاده‌سازی بگذارند، طبقه‌بندی گردید. عوامل شیب طولی، شیب عرضی، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی هر کدام به طبقاتی تقسیم شدند که مقایسه زوجی بین این طبقات نیز صورت گرفت. نتایج حاصل از عامل شیب عرضی حکایت از آن داشت که طبقه ۱۰-۰ بیشترین ارجحیت و طبقه بیش از ۸۰ درصد کمترین

ارجحیت را داشتند. بررسی عامل هیدرولوژی نشان داد که آبراهه درجه ۱ که همان رودخانه اصلی منطقه می‌باشد، داری کمترین وزن و رودخانه درجه ٤ دارای بیشترین وزن می‌باشد. همچنین مقایسه انجام شده بین طبقات عامل زمین‌شناسی حکایت از آن داشت که واحد زمین‌شناسی Pn دارای بیشترین وزن و واحد زمین‌شناسی R2-dl دارای کمترین وزن در بین طبقات می‌باشند. در عامل خاک‌شناسی میزان سنگی و صخره‌ای بودن منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از وزن‌دهی طبقات عامل خاک‌شناسی نشان داد که منطقه نرم دارای بیشترین وزن و منطقه صخره‌ای دارای کمترین وزن موجود می‌باشند. در نهایت عامل شیب طولی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن نشان داد که طبقه ۳تا ۸ درصد بیشترین وزن و طبقه ۱۰ تا ۱۲ درصد شامل کمترین وزن می‌باشد.

نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده‌سازی

نقشه پهنه‌بندی هزینه از تلفیق ۵ عامل شیب عرضی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و شیب طولی منطقه مورد مطالعه که توسط کارشناسان وزن‌دهی شدند، تهیه شد. این نقشه شامل ٦۰۱٦۰ سلول بود و از آنجا که ارزش این سلول‌ها نیز متفاوت بود، همه ارزش‌ها بین صفر و یک نرمال شدند (شکل٤). همان‌طور که در شکل٤ مشاهده می‌شود مناطقی که رنگ روشن‌تری دارند وزن کمتر (هزینه کمتری) را دربردارند.

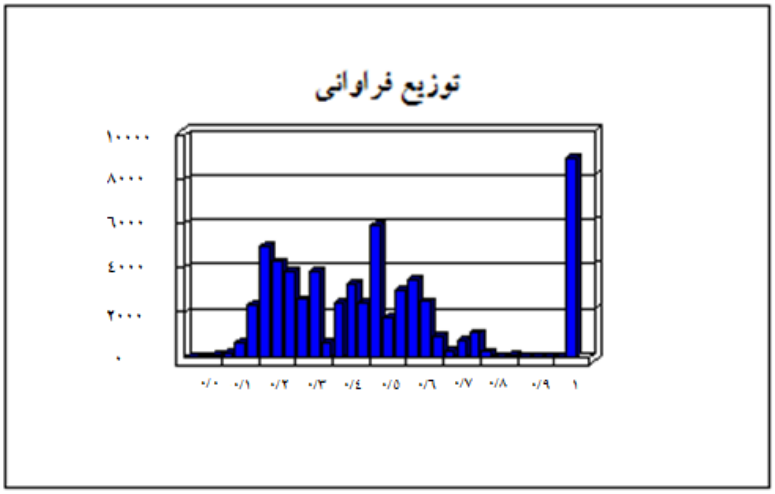


شکل٤- نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده‌سازی

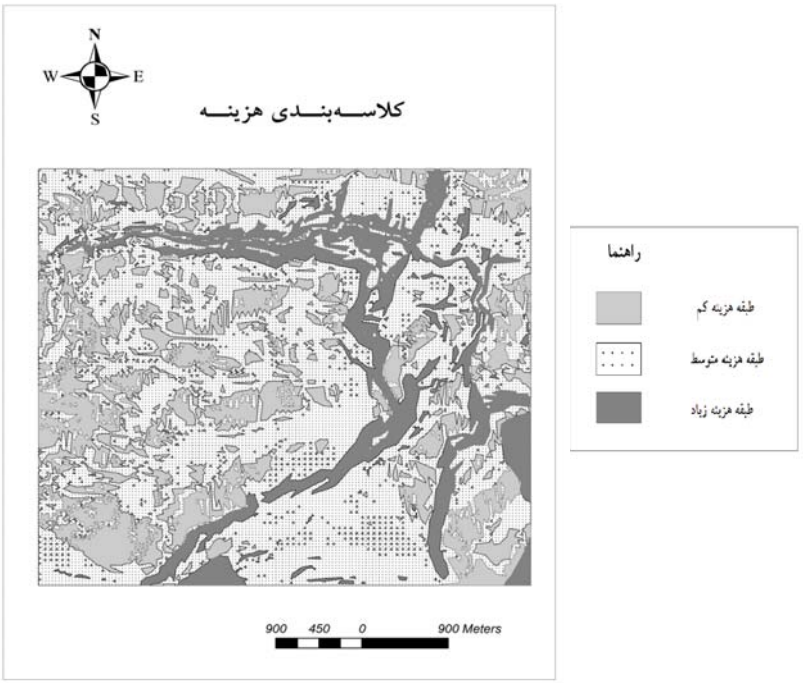
نقشه طبقه‌بندی هزینه جاده سازی

پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی، نموداری ستونی از پراکندگی داده‌های این نقشه تهیه و با توجه به نقاط شکستگی طبیعی که در این نمودار وجود داشت، به سه طبقه تقسیم شد (شکل۵). با توجه به وضعیت منطقه مورد مطالعه از نظر شیب زیاد و صخره‌ای بودن در برخی قسمت‌ها، ۳ قیمت تقریبی هزینه ساخت جاده از مهندسان اداره کل منابع طبیعی نوشهر گرفته شد. بدین‌ترتیب که

هزینه تقریبی برای ساخت جاده با هزینه کم ٤٠ میلیون تومان، هزینه متوسط ٦٠ میلیون تومان و هزینه زیاد ٨٠ میلیون تومان برای ساخت ١ کیلومتر جاده جنگلی برآورد شد. سپس نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده‌سازی براساس قیمت‌های مناقصات سال ٨٩ که از اداره کل منابع طبیعی نوشهر تهیه شد، به ٣ طبقه پرهزینه، هزینه متوسط و کم‌هزینه تقسیم گردید. (شکل٦).



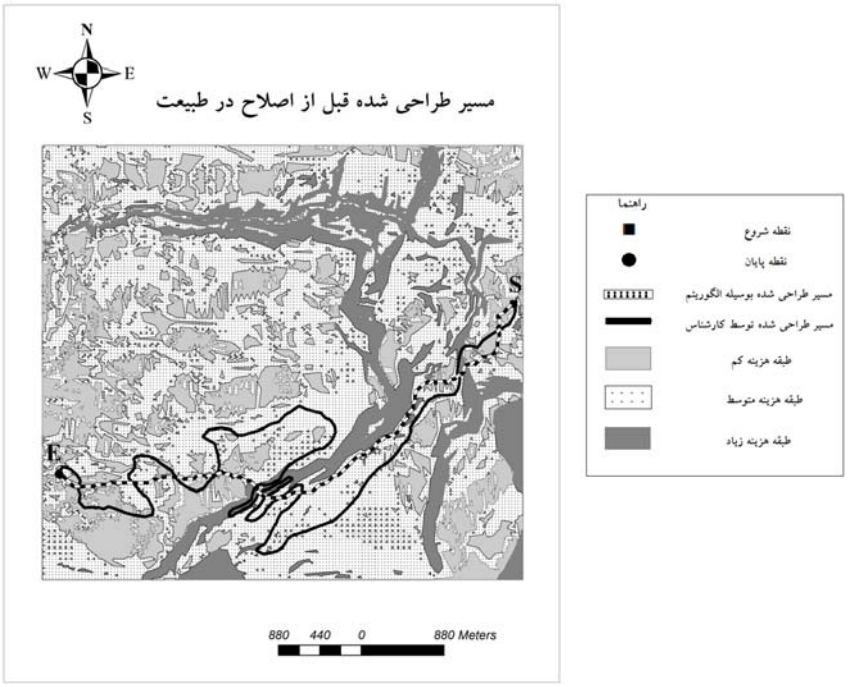
شکل٥- توزیع فراوانی داده‌ها در نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده‌سازی



شکل٦- نقشه طبقه‌بندی هزینه جاده‌سازی

نقشه مسیرهای طراحی شده به‌وسیله الگوریتم و کارشناس قبل از اصلاح در طبیعت

بعد از تهیه نقشه پهنه‌بندی هزینه جاده‌سازی (شکل٤) اقدام به طراحی جاده به‌وسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و نیز یک مسیر با روش سنتی توسط یک کارشناس مجرب شد (شکل۷). سپس طول، هزینه ساخت و درصد عبور از طبقات هزینه مسیرهای طراحی شده (جدول۱) محاسبه گردید. طول و هزینه ساخت مسیر طراحی شده به‌وسیله الگوریتم به‌ترتیب ۵۵ و ٦۵ درصد کمتر از طول و هزینه ساخت جاده طراحی شده توسط کارشناس قبل از اصلاح در طبیعت می‌باشد.



شکل۷- نقشه مسیرهای طراحی شده از نقطه شروع تا نقطه پایان قبل از اصلاح در طبیعت

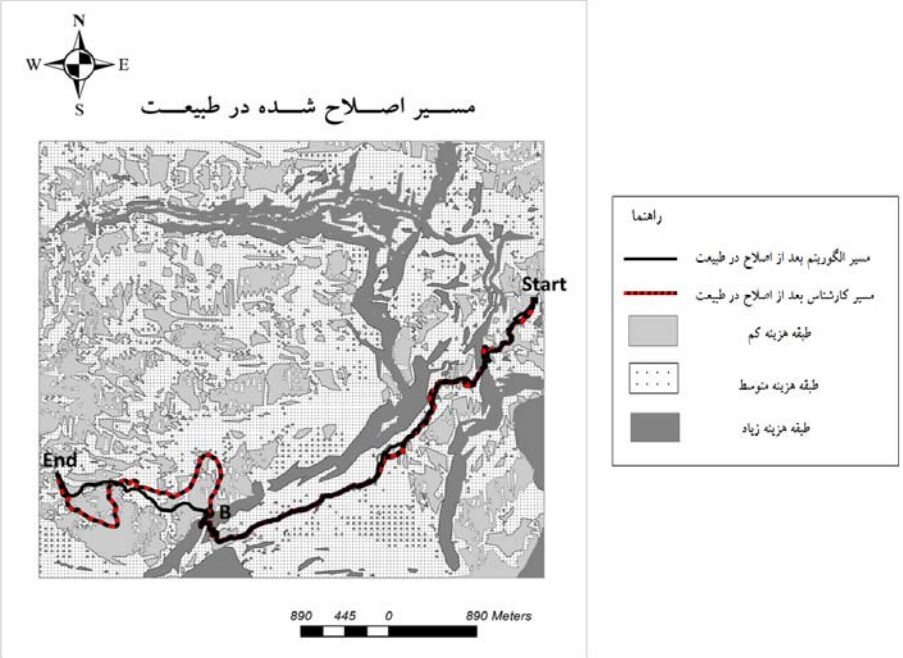
جدول۱- محاسبه طول، هزینه و درصد عبور از طبقات هزینه مسیرهای طراحی شده قبل از اصلاح در طبیعت

	طول جاده (کیلومتر)	هزینه برآورد شده (ریال)	درصد عبور از طبقه هزینه کم	درصد عبور از طبقه هزینه متوسط	درصد عبور از طبقه هزینه زیاد
جاده طراحی شده توسط کارشناس	١٤/٣٣٣	٧٠٤٤٠٠٠٠٠٠	٣٥	٥٠	١٥
جاده طراحی شده بوسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر	٦/٥٤٧	٢٥٠٤٠٠٠٠٠٠	٧٢	٢٨	صفر

نقشه مسیرهای طراحی شده بوسیله الگوریتم و کارشناس بعد از اصلاح در طبیعت

نقشه مسیرهای پیمایش شده و اصلاح شده در طبیعت از نقطه شروع تا نقطه پایان در شکل۸ مشاهده می‌شود. نتایج نشان داد که مسیری که با الگوریتم طراحی شده بود از نظر طول ۱/۷۵۳ کیلومتر و از نظر هزینه ساخت جاده

۹۱٦۰۰۰۰۰۰ ریال نسبت به طراحی کارشناس کمتر برآورد شده است (جدول۲). به عبارت دیگر طول مسیر طراحی شده به‌وسیله الگوریتم از نقطه آغاز تا پایان بعد از اصلاح در طبیعت، ۱۹ درصد و هزینه ساخت آن ۲۱ درصد کمتر از مسیر طراحی شده توسط کارشناس بود. درصد عبور جاده از طبقات هزینه در جدول۲ ارائه شده است.



شکل۸- نقشه مسیرهای طراحی شده از نقطه شروع تا نقطه پایان بعد از اصلاح در طبیعت

جدول۲- محاسبه طول، هزینه و درصد عبور از طبقات هزینه مسیرهای طراحی شده بعد از اصلاح در طبیعت

	طول جاده (کیلومتر)	هزینه برآورد شده (ریال)	درصد عبور از طبقه هزینه کم	درصد عبور از طبقه هزینه متوسط	درصد عبور از طبقه هزینه زیاد
جاده طراحی شده توسط کارشناس	۹/۱۸۱	٤٤٤۲۰۰۰۰۰۰	۳۰	۵۵	۱۵
جاده طراحی شده بوسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر	۷/٤۲۸	۳۵۲٦۰۰۰۰۰۰	٤٤	٤٦	۱۰

بحث

در این مطالعه عوامل شیب عرضی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و شیب طولی مورد بررسی قرار گرفت و چون این عوامل از نظر هزینه ساخت جاده جنگلی دارای اهمیت یکسان نبودند با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند که عامل شیب طولی با وزن ۰/۵۱۷ بیشترین اهمیت را در بین عوامل مورد بررسی داشت بدین معنی که از نظر کارشناسان

جاده‌سازی، این عامل یکی از مهمترین عوامل هزینه ساخت جاده جنگلی بوده است. این نتیجه با یافته‌های Naghdi & Babapour (2009)، Abdi *et al*. (2009) و Mohammai Samani *et al*. (2010) همسو می‌باشد.

نتایج حاصل از وزن‌دهی کارشناسان به عامل شیب عرضی حکایت از آن داشت که طبقه ۱۰-۰ بیشترین وزن و طبقه بیش از ۸۰ درصد کمترین وزن را داشتند. اهمیت بالای طبقه شیب ۱۰-۰ به این دلیل است که شیب کم در طراحی جاده جنگلی به‌عنوان عاملی بسیار مهم و مثبت به‌شمار می‌رود و طراحی جاده در شیب‌های غیرمجاز هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بیشتری را در پی خواهد داشت. طراحی جاده در شیب‌های بالاتر از شیب مجاز می‌تواند به‌شدت، حجم عملیات خاکی را بیشتر کرده و به دنبال آن هزینه ساخت جاده نیز افزایش یابد. طبقات شیب ۵۰ تا ۸۰ و بیشتر از ۸۰ درصد، وزنی نزدیک به هم داشتند، زیرا طراحان جاده تا حد امکان سعی می‌کنند که مسیر جاده را از شیب بالای ۵۰ درصد عبور ندهند. نتایج بدست آمده از عامل هیدرولوژی نشان داد که آبراهه درجه ٤ دارای بیشترین اهمیت و آبراهه درجه ۱ (رودخانه اصلی) دارای کمترین اهمیت در وزن‌دهی طبقات عامل هیدرولوژی می‌باشند. علت اینکه آبراهه درجه ۱ که همان رودخانه اصلی منطقه می‌باشد کمترین اهمیت را در بین طبقات عامل هیدرولوژی داشت این است که نزدیکی جاده به رودخانه اصلی به دلیل دبی بیشتر و حضور گونه‌های مختلف جانوری در آن، هزینه‌های زیست‌محیطی بیشتری را تحمیل می‌نماید. همچنین این امر به‌ویژه در منطقه مورد مطالعه که دامنه‌های پرشیب کناره رودخانه منجر به ثبات کم دامنه‌ها و لغزش در آنها می‌شود، هزینه‌های اقتصادی بیشتری را نیز در پی خواهد داشت. در بررسی عامل زمین‌شناسی، واحد زمین‌شناسی Pn نسبت به دیگر واحدها از وزن بیشتری برخوردار بود. دلیل این امر آن بود که طبق نظر کارشناسان زمین‌شناسی، این واحد از نظر مقاومت و پایداری جاده نسبت به دیگر واحدهای زمین‌شناسی وضعیت بهتری دارد. در بررسی عامل خاک‌شناسی میزان صخره‌ای و سنگی بودن منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از عامل خاک‌شناسی نشان‌دهنده این مطلب بود که طبقه نرم دارای بیشترین وزن و طبقه سخت دارای کمترین وزن بودند. علت این امر را می‌توان چنین بیان کرد که بخش سخت که در آن درصد صخره‌ای و سنگی بودن بیشتر است، هزینه بیشتری برای عبور جاده از این مناطق طلب می‌کند. در نهایت بررسی طبقات عامل شیب طولی نشان داد که طبقه ۳ تا ۸ درصد بیشترین وزن را در بین طبقات دیگر داشته است. از نظر کارشناسان طبقه ۳ تا ۸ درصد بهترین شیب طولی برای طراحی جاده جنگلی می‌باشد.

ارزیابی مسیرهای طراحی شده بوسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و کارشناس قبل از اصلاح در طبیعت

مطابق جدول۱، نتایج نشان داد که جاده طراحی شده توسط کارشناس به‌ترتیب طول و هزینه ساخت آن برابر با ١٤/٣٣٣ کیلومتر و ٧٠٤٤٠٠٠٠٠٠ ریال می‌باشد، در حالی که طول و هزینه ساخت جاده طراحی شده به‌وسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر ٦/٥٤٧ کیلومتر و ٢٥٠٤٠٠٠٠٠٠ ریال برآورد شده است. علت این اختلاف را می‌توان چنین بیان کرد که چون طراحی دستی فقط با توجه به عامل شیب منطقه انجام می‌شود و در طراحی آن نقشه‌های دیگر لحاظ نمی‌گردد، بخش بزرگی از جاده از مناطقی که طبق وزن‌دهی کارشناسان پرهزینه محسوب می‌شود عبور کرده و به این ترتیب هزینه کل ساخت جاده افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال اگر مسیر جاده طراحی شده در حاشیه ۸۰ متری از رودخانه اصلی باشد، جزء مناطق

پرهزینه محسوب می‌شود، زیرا این امر منجر به تثبیت کم دامنه‌ها و لغزش دامنه می‌شود و نیز اثرهای زیست‌محیطی در پی خواهد داشت. بنابراین مسیر طراحی شده توسط کارشناس از این مناطق عبور کرده و به همین دلیل قسمت قابل توجه مسیر طراحی شده توسط کارشناس از مناطق پرهزینه‌تر عبور کرده است.

ارزیابی مسیرهای طراحی شده بوسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و کارشناس بعد از اصلاح در طبیعت

اختلاف مسیر طراحی شده به‌وسیله الگوریتم از نقطه شروع تا نقطه پایان بعد از اصلاح در طبیعت از نظر طول و هزینه ساخت جاده به‌ترتیب برابر ۱/۷۵۳ کیلومتر و ۹۱٦۰۰۰۰۰۰ ریال کمتر از مسیر طراحی شده توسط کارشناس می‌باشد. در پایان می‌توان چنین بیان کرد که طول و هزینه ساخت مسیر طراحی شده به‌وسیله الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر بعد از اصلاح در طبیعت، به‌ترتیب ۱۹ و ۲۱ درصد کمتر از مسیر طراحی شده توسط کارشناس می‌باشد که مؤید این مسئله است که بکارگیری روش حاضر باعث کاهش هزینه‌های ساخت جاده که سنگین‌ترین هزینه برای هر طرح جنگل‌داری است و در نتیجه افزایش بهره‌وری آن می‌شود. در هنگام اصلاح مسیر در طبیعت ناگزیر به عبور مسیر از رودخانه اصلی بودیم و بعد از عبور از رودخانه با توجه به یکسانی شرایط منطقه از نظر شیب و صخره‌ای بودن برای مسیرهای اصلاح شده توسط کارشناس و الگوریتم، حدود ۲/۵ کیلومتر از جاده برای هر دو مسیر مشترک بود. بدین دلیل است که قسمتی از مسیرهای اصلاح شده توسط کارشناس و الگوریتم با هم همپوشانی دارند (شکل۸). قابل ذکر است که در مناطقی که منطقه از نظر طراحی دارای محدودیت می‌باشد، اختلاف طول و هزینه ساخت برای مسیرهای طراحی شده بوسیله الگوریتم و کارشناس ناچیز می‌باشد. چرا که شرایط تحمیلی باعث تشابه نظر کارشناس و مسیریابی الگوریتم می‌شود.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان چنین بیان نمود که با استفاده از الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر برای طراحی جاده جنگلی می‌توان مسیرهایی با طول و هزینه ساخت کمتر طراحی نمود. استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر در طراحی جاده‌های جنگلی در مناطقی که دقت اطلاعات جمع‌آوری شده بالا باشد، می‌تواند به‌طور قطع به طراحی جاده‌های جنگلی با کمترین طول و هزینه ساخت کمک شایانی نماید. نتیجه قابل توجه دیگر این تحقیق آن است که بکارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی و الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر قابلیت اجرا داشته و می‌توان با استفاده از این روش و با توجه به عدم دقت داده‌های موجود در کشور، به‌عنوان یک راهنما برای انتخاب بهترین مسیر بکار گرفته شده و به‌سرعت در طبیعت پیاده شود.

منابع مورد استفاده

- Mohd Hasmadi, I., Pakhriazad, H.Z. and Mohamad, F.S., 2010. Geographic information system-allocation model for forest path: a case study in Ayer Hitman forest reserve, Malaysia. American Journal of Applied Sciences, 7(3): 376-380.
- Naghdi, R. and Babapour, R., 2009. Planning and 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, Dubai, UAE: 424-427.
- Sessions, J. and Chung, W., 2003. NETWORK 2000: A program for optimizing large fixed and variable cost transportation problems. In: Proceedings of the 2000 Systems Analysis Symposium in Forest Resources, Aspen, September 28−30, Volume 7, Managing Forest Ecosystems, Dordrecht, Kluwer Academic Press: 81-86.
- Stuckelberger, J.A., Heinimann, H.R. and Burlet, E.C., 2006. Modeling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads. European Journal of Forest Research, 125(5): 377-390.
- Twito, R.H., Reutebuch, S.E., Stephen, E., McGaughey, R.J. and Mann. C.N., 1987. Preliminary logging analysis system (PLANS): overview. U.S. Department of Agriculture Forest Services, Pacific Northwest Research Station, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-199, 24 p.
- Yu, C., Lee, J. and Munro-Stasiuk, M.J., 2003. Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning. Int. J. Geogr. Sci., 17(4): 361-376.

References

- Abdi, E., Majnounian, B., Darvish Sefat, A., Mashayekhi, Z. and Sessions, J., 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning. Journal of Forest Science, 55(4): 171–176.
- Anderson, A.E. and Nelson, J., 2004. Projecting vector based road networks with shortest path algorithm. Canadian Journal of Forest Research, 34(7): 1444-1457.
- Chung, W. and Sessions, J., 2001. Designing a forest road network using heuristic optimization techniques. Council on Forest Engineering (COFE), Conference Proceedings: Appalachian Hardwoods: Managing Change", Snowshoe: 15-18.
- Epstein, R., Morales, R.J., Seron, J. and Weintraub, A., 1999. Use of OR Systems in the Chilean forest industries. Interfaces, 29(1): 23–34.
- Epstein, R., Sessions, J., Sessions, B., Sapunar, P., Nieto, E., Bustamante, F. and Musante, H., 2001. PLANEX: A system to identify landing locations and access. The International Mountain Logging and 11_{th} Pacific Northwest Skyline Symposium, Seattle, WA: 190-193.
- Liu, K. and Sessions, J., 1993. Preliminary planning of road system using digital terrain model. Journal of Forest Engineering, 4(1): 27-32.
- Mohammadi Samani, K., Hosseiny, S.A., Lotfalian, M. and Njafi, A., 2010. Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process. Caspian Journal of Environmental Sciences, 8(2): 151-162.

Planning Forest Road Alignment Using a Shortest Path Algorithm and Geographic Information System

P. Imani[1], A. Najafi[2*], E. Ghajar[3]

[1]- MSc student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran province, I.R. Iran. Email: imanip88@gmail.com

[2]- Corresponding author, Assistant Professor, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, P.O. Box 64414-356, Noor, Mazandaran province, I.R. Iran. Email: a.najafi@modares.ac.ir.

[3]- PhD student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran province, I.R. Iran. Email: ismael.ghajar@modares.ac.ir

Received: 18.02.2012 Accepted: 25.09.2012

Abstract

The main purpose of the current study was to design less costly forest roads using cost zoning map. For this purpose, the most important effective factors on cost of forest road construction were weighted using the Analytical Hierarchy Process (AHP). Five factors, terrain slope, hydrology, geology formations, soil texture and road slope, were weighted using the AHP. The cost zoning map was developed after weighting the supposed factors and overlay their corresponding map in ESRI Arc GIS 9.3 environment. In Next step, two variants of forest road were planned to connect the start point to the end point, using a 1) Shortest Path (SP) algorithm and 2) a skill expert. The results showed that the length and the cost of the variant planned by SP algorithm were 55% and 65% lower than the path planned by the expert before designing in the field, respectively. The results of the study after designing both planned variants in the field, demonstrated that the length and the cost of the SP-based feasible path were 19% and 21% lower than the expert-based variants, respectively. This means the SP saved 916000000 Rials. The results showed that using the zoning map cost in combination with a shortest path algorithm can lead to a more favorite layout of the forest roads than traditional methods of planning.

Keywords: algorithm, Shortest Path, forest road, Analytical Hierarchy Process, planning, construction cost.