

استفاده از GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در طراحی و اولویت‌بندی شبکه جاده جنگلی

معصومه سلملیان^۱، سید رستم موسوی میرکلا^{۲*}، مهدی عرفانیان^۳، امید حسین زاده^۴ و هادی بیگی حیدرلو^۵

۱- دانش آموخته ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه (Email: aftabshomal@gmail.com)

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۴- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۵- دانشجوی دوره دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

چکیده

جاده‌های جنگلی به دلیل ایجاد امکان دسترسی دائمی به جنگل، یکی از ارکان اساسی به منظور خروج چوب از جنگل و حمل و نقل محسوب می‌شود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری است، که معیارهای کمی و کیفی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. طبق نتایج حاصل از پرسشنامه ۹ معیار تاثیرگذار در طراحی که شامل شیب دامنه، موجودی در هکتار، تراس‌های طبیعی، فاصله از گسل، بافت خاک، زمین‌شناسی، تیپ پوشش گیاهی، جهت دامنه و فاصله از آبراهه می‌باشند. پس از تهیه نقشه مطلوبیت سه گزینه جاده بر روی آن با توجه به خطوط توپوگرافی و روش گام پرگار طراحی گردید. نتایج حاصل از قضاوت کارشناسان، اولویت معیار شیب دامنه را نسبت به سایر معیارها نشان داد. نتایج حاصل از بکارگیری تراکم طولی و درصد شبکه‌بندی و میزان درصد عبور جاده از نقشه مطلوبیت و عبور جاده براساس شبکه سیستماتیک نشان داده شد که از بین گزینه‌های طراحی شده، میزان عبور گزینه دوم از مناطق مطلوب نقشه مطلوبیت ۸۳/۴۱ درصد بوده که این مقدار برای جاده موجود ۷۸/۰۱ درصد می‌باشد، همچنین با توجه به روش نزدیکترین مسیر شبکه سیستماتیک متوسط فاصله گزینه دوم ۱۸۷/۷۳ متر می‌باشند. بنابراین با ارزیابی گزینه‌ها براساس موارد ذکر شده، گزینه دو به عنوان بهترین گزینه انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: جاده جنگلی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش باکموند، روش نزدیک‌ترین مسیر

مقدمه

جاده‌های جنگلی از جمله ساختارهای پیچیده مهندسی هستند و به دلیل ایجاد امکان دسترسی دائمی به جنگل، یکی از ارکان اساسی به منظور خروج چوب از جنگل و حمل و نقل محسوب می‌شود. جاده‌های جنگلی برای فعالیت‌های مختلف از جمله مدیریت منابع چوبی، حفظ حیات وحش، تفریح و تفرج، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و مقابله با آتش‌سوزی ضروری می‌باشند (Narimani, 2004). طراحی و احداث جاده‌های جنگلی برای مدیریت و بهره‌برداری از جنگل ضروری می‌باشند. مدیریتی که هم اکنون بر بیشتر مناطق جنگلی شمال کشور حاکم است مبتنی بر بهره‌برداری از چوب است. بنابراین لازم است که شبکه جاده‌های جنگلی طوری طراحی گردد که حداکثر سود را برای مدیریت جنگل داشته باشد (Majnonian et al., 2010). در مناطق کوهستانی، جاده‌های جنگلی نقش مهمی را در مدیریت، حفاظت و احیاء جنگل‌ها ایفا می‌نمایند. در واقع مدیریت جنگل بدون لحاظ نمودن شبکه‌ای از جاده‌های جنگلی مناسب، مدیریت علمی و اقتصادی خوبی نخواهد بود. بنابراین بهره‌برداری پر بازده از جنگل، به شبکه‌ای از جاده‌های جنگلی مناسب بستگی دارد (Najafi and Ezzati, 2009). از آن‌جا که طراحی شبکه با استفاده از روش‌های سنتی وقت‌گیر و پرهزینه است روش‌های نوین طراحی قابلیت حجم بالایی از اطلاعات

را با سرعت و دقت بالایی داشته و در نتیجه می‌تواند کیفیت، سرعت و دقت طراحی را بهبود بخشد (Moradmand Jalali and Hoseini, 2009). بنابراین با طراحی مناسب شبکه جاده می‌توان کارایی شبکه جاده را افزایش و هزینه ساخت و نگهداری را کاهش داد. برای رسیدن به این هدف، باید گزینه‌های مختلف در یک منطقه به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه بر مبنای هزینه و عملکرد مطالعه گردد (Abdi, 2005). لذا می‌توان تعداد بی شماری از گزینه‌های جاده طراحی کرد، اما انتخاب مناسب‌ترین گزینه شبکه جاده در جنگل براساس حداکثر پوشش با حداقل طول جاده باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و تولید بیولوژیکی جنگل و همچنین پایداری طرح را تضمین می‌کند. جنگل محیطی ناهمگن است، بنابراین این موضوع حجم داده‌های مورد نیاز برای طراحی را افزایش می‌دهد. در نتیجه بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تحلیل منطقه را از جنبه‌های مختلف با سرعت و دقت بهینه امکان‌پذیر می‌کند، که با روش‌های سنتی به راحتی امکان پذیر نیست (Alizadeh et al., 2009).

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری است. روش AHP همچنین منافع زیادی از نظر استفاده‌های چندمنظوره و برنامه‌ریزی مشارکتی دارد. با استفاده از AHP اطلاعات دقیق، دانش متخصصان و ترجیحات موضوعی با هم تلفیق گشته و مورد بررسی قرار می‌گیرند و معیارهای کیفی همانند معیارهای کمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Saaty, 1977). این تکنیک امکان فرموله کردن مساله را بصورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید و همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است که این اصول عبارتند از: شرط معکوسی، اصل همگنی، اصل وابستگی و شرط انتظارات (Ghodsi Puor, 2009). هدف از این مطالعه اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف شبکه جاده و انتخاب مناسب‌ترین گزینه جاده براساس نقشه مطلوبیت، درصد شبکه‌بندی و شبکه سیستماتیک نقاط تصادفی و مقایسه آن با جاده موجود است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه تحت عنوان جنگل لاکوبین در سری ۵ واقع در حوزه آبخیز ۳۸ بنام حوزه سرد آبرود در استان مازندران - عباس‌آباد می‌باشد. جنگل‌های ناحیه طرح بر مبنای سیستم تصویر UTM این منطقه در زون ۳۹ شمالی قرار دارد و از نظر موقعیت جغرافیایی بین عرض جغرافیایی "۴۰' ۳۸' ۳۶" تا "۳۱' ۳۹' ۳۶" و طول جغرافیایی "۵۰' ۱۴' ۵۱" تا "۵۴' ۱۸' ۵۱" واقع شده و حداقل ارتفاع از سطح دریا ۵۰ متر و حداکثر ارتفاع ۱۱۰۰ متر است. براساس سطح یابی جدید مساحت منطقه حدود ۲۱۲۴/۵ هکتار است.

روش تحقیق

مرحله اول

در این پژوهش برای انتخاب معیارهای تاثیرگذار در طراحی جاده‌های جنگلی ابتدا پرسشنامه تهیه و برای متخصصین ارسال شد تا آن‌ها معیارهایی که در طراحی جاده تاثیرگذار بوده و برای کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش دقت طراحی از لحاظ فنی مهم هستند را به صورت لیستی ارائه دهند. کارشناسان معیارهای متعددی را ارائه دادند که از بین آنها معیارهایی شامل

شیب دامنه، جهت دامنه، بافت خاک، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تپ پوشش گیاهی، موجودی در هکتار، ترانس‌های طبیعی که تاثیر بیشتری در جاده‌سازی داشته را به عنوان مهم‌ترین معیار انتخاب کردند.

مرحله دوم

پس از اتمام مرحله اول، پرسشنامه مرحله دوم دلفی براساس معیارهای پیشنهادی کارشناسان تهیه شد و برای مقایسه معیارها و گزینه‌ها مجدداً به پاسخ‌دهندگان مرحله اول ارسال شد. در این مرحله، کارشناسان معیارهای جمع‌بندی شده در مرحله اول را براساس اهمیتی که در طراحی داشتند به صورت زوجی مقایسه کردند، یعنی بین اعداد ۱ تا ۹ امتیاز دهی کردند.

جدول ۱- درجه اهمیت و ارجحیت مقایسه‌های زوجی (Ghodsi Puor, 2009)

ارزش ترجیحی	نسبت به اوضاعیت مقایسه	
۹	Extremely preferred	کاملاً ارجح
۷	Very strongly preferred	ارجحیت خیلی قوی
۵	Strongly preferred	ارجحیت قوی
۳	Moderately preferred	ارجحیت کم
۱	Equally preferred	ارجحیت یکسان
۸ و ۶ و ۴ و ۲		ارجحیت بینابینی

با توجه به قضاوت افراد میزان اهمیت هر سطر نسبت به هر ستون سنجیده می‌شود. لذا در صورت ارجحیت عوامل سطر از عدد صحیح و در صورت ارجحیت عامل ستون به صورت کسری از ۱ بیان می‌شود. به عنوان مثال در صورت ارجحیت کامل معیار سطر نسبت به معیار ستون، از عدد ۴ و در صورت ارجحیت کامل معیار ستون نسبت به معیار سطر، به صورت کسری از ۱/۴ نوشته می‌شود. به دلیل نظرات متفاوت کارشناسان در مورد اعضای ماتریس‌ها، با استفاده از میانگین هندسی، نظرات آنها ادغام و وزن معیارها تعیین شد.

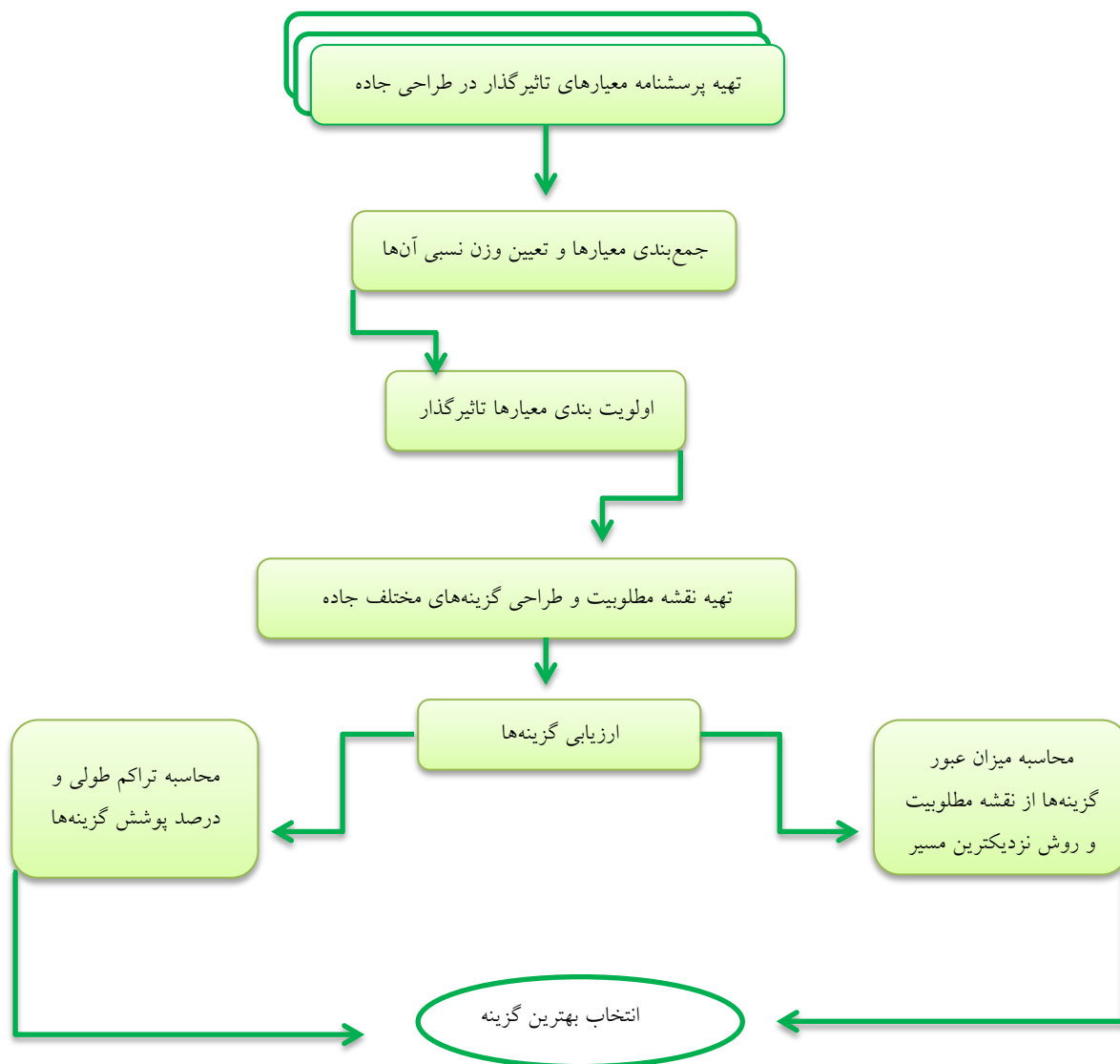
ارزیابی جاده‌های طراحی شده و جاده موجود

بعد از طراحی انجام شده اقدام به بررسی و تجزیه تحلیل واریانت پیشنهادی بر پایه نقشه قابلیت عبور و روش باکموند (تراکم طولی و درصد شبکه‌بندی) و روش نزدیکترین مسیر گردید. بررسی انجام شده توسط نقشه قابلیت عبور به‌طراح کمک می‌کند تا طراحی خود را بیشتر از مناطق با قابلیت عبور قوی انجام دهد و در مقابل از طراحی در مناطق قابل عبور ضعیف بکاهد. بعد از بررسی لازم جاده طراحی شده بر روی نقشه قابلیت عبور اقدام به برآورد طراحی مورد نظر با استفاده از روش باکموند گردید تا از لحاظ استانداردهای مورد نظر نیز تطابق داشته باشد. لذا مسائلی چون تراکم جاده طراحی شده و درصد پوشش جاده طراحی شده، محاسبه گردید.

$Rd = L/S$	رابطه (۱)
$E\% = s/S \times 100$	رابطه (۲)
$Rs \times Rd = 10000$	رابطه (۳)
$Rd / E\%$	رابطه (۴)

Rd : تراکم طولی جاده بر حسب متر در هکتار Rs : فاصله جاده S : مساحت کل منطقه (هکتار)

L : طول کل جاده (متر) S : مساحت پوشش داده شده توسط جاده $E\%$: درصد پوشش جاده



شکل ۱- چارچوب روند انتخاب مناسب‌ترین گزینه شبکه جاده در این مطالعه

نتایج

در مرحله اول به منظور تعیین سهم نسبی هر یک از معیارها در تعیین بهترین گزینه جاده، وزن نسبی معیارها مشخص شد (جدول ۲). نتایج قضاوت کارشناسی گروه تصمیم گیرنده نشان داد که معیار شیب دامنه با وزن نسبی ۰/۴۳۵ به عنوان مهم‌ترین معیار می‌باشد و با بیشترین وزن در اولویت اول قرار دارد و معیار معیار فاصله از آبراهه با وزن ۰/۰۲۳ یعنی کمترین مقدار وزن در اولویت آخر قرار دارد، سایر نتایج به دست آمده وزن معیارها در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. وزن نسبی معیارهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین گزینه

معیارها	وزن معیارها
شیب دامنه	۰/۴۳۵
موجودی در هکتار	۰/۱۸۵
تراس‌های طبیعی	۰/۰۹۸

۰/۰۷۵	فاصله از غسل
۰/۰۵۹	بافت خاک
۰/۰۵۵	زمین‌شناسی
۰/۰۳۹	تیپ پوشش گیاهی
۰/۰۲۸	جهت
۰/۰۲۳	فاصله از آبراهه

مقایسه جاده طراحی شده و جاده موجود با روش باکموند

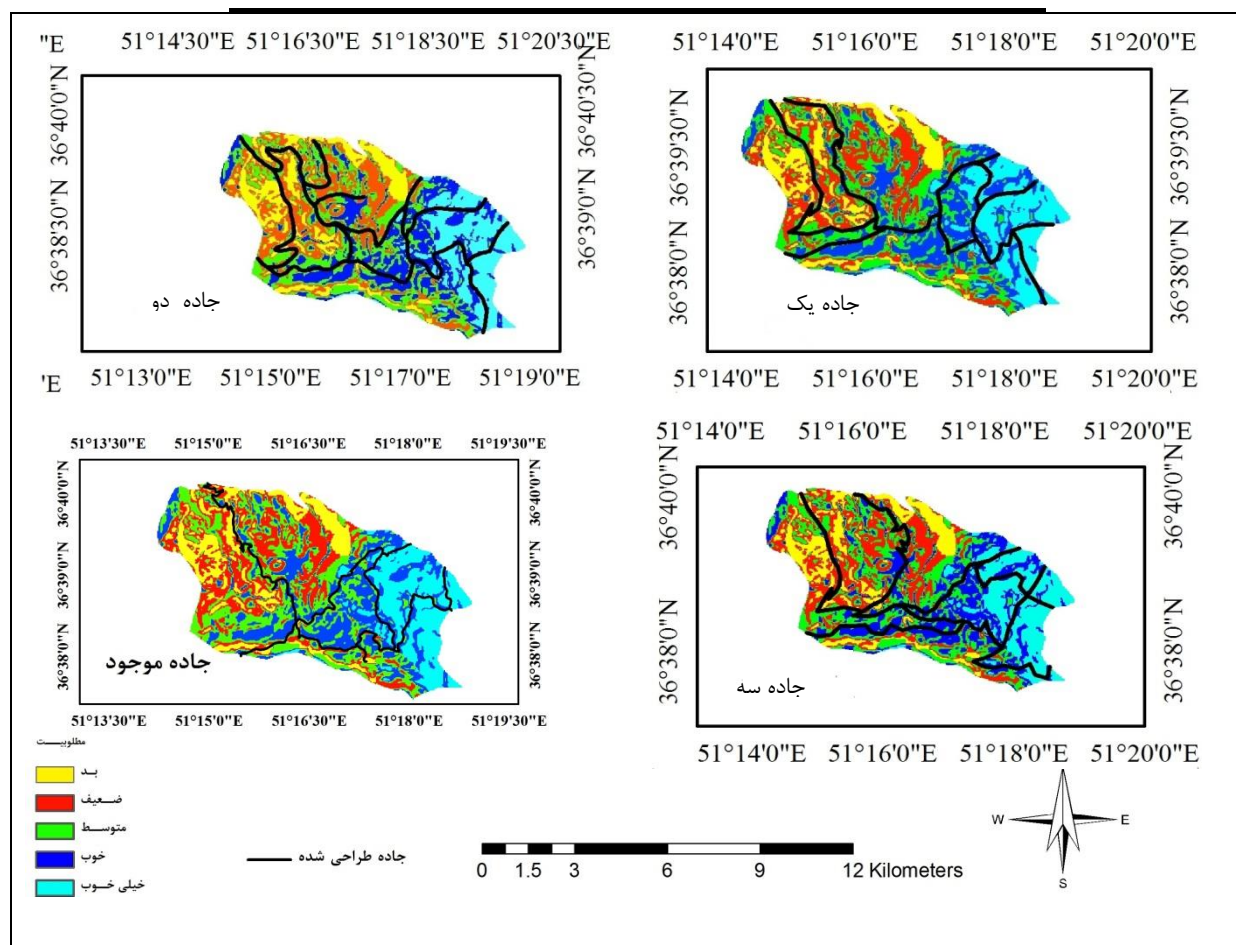
نتایج به دست آمده از بررسی جاده موجود و جاده طراحی شده با توجه به میزان عبور جاده‌ها از طبقات مختلف مطلوبیت، میزان تراکم و درصد پوشش نشان داده شد، با توجه به اینکه باکموند بر این عقیده است که میزان پوشش به همراه میزان تراکم آن مسیر می‌تواند نشان دهنده طراحی مناسب یک جاده باشد. بنابراین میزان تراکم جاده موجود و جاده‌های طراحی شده یک، دو و سه با توجه به جدول (۳) به ترتیب ۱۱/۱۰، ۱۴/۴۷، ۱۴/۰۱ و ۱۴/۲۴ همچنین میزان درصد پوشش نیز به ترتیب ۲۰/۳۲، ۲۵/۱۷، ۲۹/۱۹ و ۲۸/۴۴ می‌باشد. همچنین میزان عبور جاده موجود و جاده طراحی شده از طبقات مختلف مطلوبیت نشان می‌دهد که میزان درصد پوشش جاده و منطقه در طبقات ۳، ۴ و ۵ بیشترین مقدار را دارد، و این بیانگر این است که درصد بیشتری از جاده از این مناطق عبور کرده و از لحاظ سطح پوشش نیز درصد بیشتری در این طبقات قرار گرفته است. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده از بین گزینه‌های طراحی شده جاده دو به عنوان بهترین گزینه بوده و نسبت به دیگر گزینه‌ها ارجحیت دارد (شکل ۲).

جدول ۳- میزان تراکم و درصد پوشش جاده موجود و طراحی شده

نوع جاده	طول جاده	تراکم	درصد پوشش
جاده موجود	۲۳/۵۹	۱۱/۱۰	۲۰/۳۲
گزینه یک	۳۰/۷۴	۱۴/۴۷	۲۵/۱۷
گزینه دو	۲۹/۷۶	۱۴/۰۱	۲۹/۱۹
گزینه سه	۳۰/۲۴	۱۴/۲۴	۲۸/۴۴

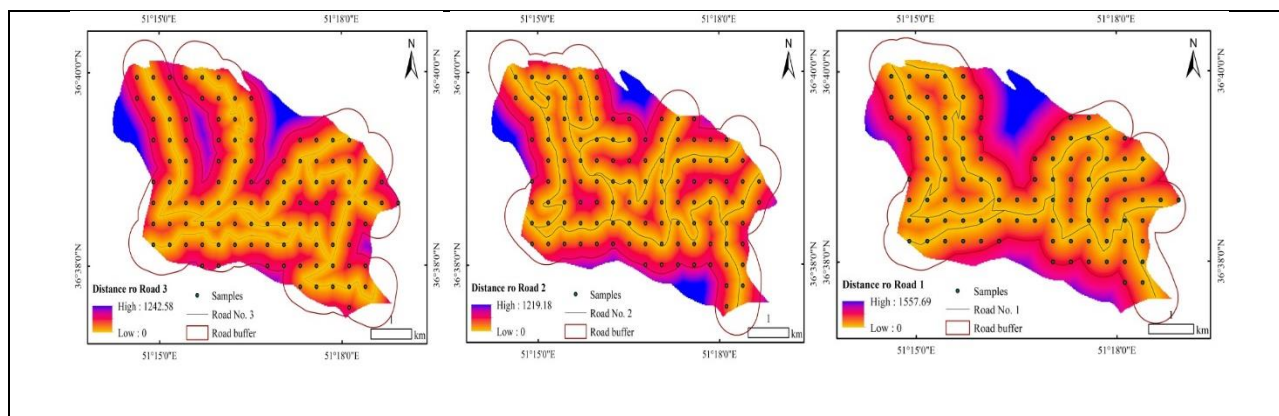
جدول ۴- میزان درصد عبور جاده از نقشه مطلوبیت

رتبه منطقه	قابلیت عبور جاده از منطقه	جاده موجود	گزینه یک	گزینه دو	گزینه سه
۱	بد	۷/۲۰	۲/۷۷	۲/۱۸	۳/۸۱
۲	ضعیف	۱۴/۷۰	۱۵/۹۷	۱۴/۸۹	۲۳/۷۲
۳	متوسط	۲۷/۸۸	۳۱/۱۰	۳۰/۷۴	۲۳/۴۲
۴	خوب	۳۳/۲۹	۳۲/۴۱	۳۴/۰۷	۳۱/۸۷
۵	خیلی خوب	۱۶/۹۳	۱۷/۷۵	۱۸/۶۰	۱۷/۱۸



شکل ۲- گزینه‌های طراحی شده و جاده موجود

مقایسه گزینه‌های مختلف با استفاده از روش نزدیکترین مسیر شبکه نقاط سیستماتیک در این روش هدف تعیین گزینه مناسب شبکه جاده جنگلی با بهترین توزیع سطحی مدنظر است. برای این کار مجموع نزدیکترین فاصله نقاط تا جاده محاسبه شده است. اگر عدد به دست آمده بر تعداد نقاط تقسیم شود، فاصله متوسط هر نقطه تا جاده به دست می‌آید. متوسط فاصله گزینه اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۹۹/۲۹، ۱۸۷/۷۳ و ۱۹۰/۱۳ متر می‌باشند. بنابراین گزینه دوم به علت اینکه متوسط فاصله هر نقطه تا جاده آن کمتر است و بهترین توزیع را در سطح سری داشته نسبت به بقیه گزینه‌ها به عنوان مناسبترین جاده انتخاب گردید (شکل ۳).



شکل ۳- گزینه‌های طراحی شده براساس شبکه نقاط تصادفی سیستماتیک

بحث و نتیجه‌گیری

انتخاب بهترین گزینه شبکه جاده که با حداقل هزینه و دقت زیاد بیشترین کارایی را داشته باشد در جنگل بسیار مهم است. بنابراین در این پژوهش یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مطلوب برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تشریح شده است. از آنجایی که با افزایش تعداد معیارها کارایی فرایند تحلیل سلسله مراتبی کاهش می‌یابد، بنابراین با استفاده از روش میانگین‌گیری پرسشنامه‌ای به غربال‌سازی معیارها پرداخته شد. با غربال‌سازی معیارها ۹ معیار اصلی و مهم در انتخاب بهترین گزینه شبکه جاده شناسایی گردید.

(Yang and Ghangfa, 2003) برای انتخاب بهترین مسیر برای طراحی جاده در نواحی کوهستانی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از AHP روش مناسبی در اولویت‌بندی طرح‌ها می‌باشد. طبق نتایج حاصل از اولویت‌بندی معیارهای مورد استفاده در این پژوهش فاکتورهای شیب دامنه، موجودی در هکتار فاصله از گسل بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. که با بررسی‌های انجام شده در مناطق مختلف، از بین این عوامل تاثیرگذار در طراحی جاده‌های جنگلی شیب دامنه به عنوان مهم‌ترین معیار بیشترین وزن را دارا بوده و در اولویت اول قرار دارد که در طراحی و احداث جاده‌های جنگلی باید با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد. پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه نمایانگر کارایی مناسب این روش است که (Naghdhi and Babapour, 2009)، (Hayati, 2013) و (Ghajar, 2005) با استفاده از روش AHP از بین معیارهای مورد نظر معیار شیب دامنه را به عنوان مهم‌ترین معیار در نظر گرفتند که با نتایج بدست آمده مطابقت دارد. نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد که درصد عبور جاده موجود از مناطق با مطلوبیت بیشتر (مناطق ۳، ۴ و ۵) ۷۸/۰۱ درصد است. همچنین (Moghaddasi et al., 2013) و (Javanmard, 2015) برای ارزیابی گزینه‌ها از تراکم طولی، درصد پوشش و نقشه مطلوبیت استفاده کردند که با نتایج به دست آمده هم‌خوانی دارد.

در این مطالعه سعی شده است که انتخاب مهم‌ترین معیارهای تاثیرگذار در طراحی جاده و انتخاب بهترین گزینه شبکه جاده با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردد. بنابراین با بررسی‌های انجام شده در این مطالعه مشخص شد که با در نظر گرفتن مهم‌ترین معیارهای تاثیرگذار و با محاسبه تراکم طولی، درصد شبکه‌بندی، درصد عبور جاده از مناطق مطلوب و روش نزدیکترین مسیر با شبکه سیستماتیک نشان داده شد که گزینه ۲ در اولویت اول قرار گرفته و به عنوان بهترین گزینه برای منطقه مورد نظر انتخاب شده است.

منابع

- Alizadeh, S. M. Majnounian, B. & A.A. Darvishsefat, 2009. 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)
- Ezzati, S. & A. Najafi, 2009. Compilation of GIS and environmental techniques in primary forest road locating, GIS conference , Vol 8, Number2, pp. 151-162. (In Persian)
- Ghajar, E., 2005. Investigating and providing the Suitable road network for optimal forestry management in the Janbesara Forest, MSc thesis, Collage of Forest Resources, Gilan University, 130p. (In Persian)
- Ghodsi Pour, H., 2009. Analytical Hierarchy Process (AHP), Amirkabir University Publications, Tehran. (In Persian).
- Hayati, A., 2012. Forest road network planning using GIS and Multi Criteria Evaluation (MCE). MSc. Thesis. Collage of Forest Resources, Tehran University, 82pp. (In Persian).
- Javanmard, M. 2015. Forest road network planning using Artificial Neural Networks and GIS. MSc. Thesis. Collage of Forest Resources, Tehran University, 81pp. (In Persian)
- Majnounian, B. A.A. Darvish Safat, & E. Abdi, 2010. Evaluating of estimation of cut and fill Operations using GIS and field measurement, (Case study: Kheiroud forest, Chelir District), *Watershed Management Research Journal*, 87: 64-69. (In Persian)
- Moghaddasi, P. S.A. Hosseini, & A. Fallah, 2013. The use of ANP (ANP) in the design of forest road network based on multi-functional forestry, *Jurnal of the forest and wood products, natural resources Iranian Journal*, 2(68): 383-394. (In Persian)
- Moradmam Jalali, A. & S.A. Hosseini, 2011. Application of GIS in the design of forest roads. *Environmental Science and Technology*. 11 (1): 274-263. (In Persian)
- Naghdi, R. & R. Babapour, 2009. Planning evaluating of forest roads network with respect environmental aspects via GIS application, (case study: shafaroud forest, northern Iran), *Proceeding of second international conference on environmental and computer science Dubai, UAE*. PP. 424-427. (In Persian)
- Narimani, G., 2004. Geometric design of highways, Tehran University press, 552PP.
- Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* , 15, 231-281.
- Yang, I.& G. Changfa, 2003. The method of AHP for choosing the best plan of forest-region highway Route. *Journal Northeast Forestry*, 31(1) : 51-52.