دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی اتصال شبکه‌ای جاده‌های حوزه‌های آبخیز کوهستانی با استفاده از تئوری گراف در حوزه چهل‌چای استان گلستان

محسن مصطفی[۱]، شعبان شتایی جویباری[۲]، مجید لطفعیان[۳] و امیر سعدالدین[۲]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسوول: mohsemmstf@gmail.com)
۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۴

چکیده

طراحی، ساخت و ارزیابی شبکه جاده جزء مطالعات امور زیربنایی در حوزه آبخیز می‌باشد.این مطالعه به منظور ارزیابی وضعیت اتصالات شبکه جاده‌های موجود درحوزه آبخیز چهل چای استان گلستان، با استفاده از شاخص‌های آلفا (α)، بتا (β)، اتا (η)، گاما (γ)، تراکم شبکه و تغییر مسیر بر مبنای تئوری گراف انجام گرفته است. ابتدا نقشه شبکه جاده‌های موجود با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای و برداشت زمینی با GPS تهیه شد. در مرحله بعد مقدار هر کدام از شاخص‌هابرای شبکه جاده موجود در کاربری‌های جنگل، غیرجنگل و کل منطقه محاسبه و سپس با یکدیگر و حالت استاندارد مورد مقایسه قرار گرفتند. در کاربری جنگل، غیرجنگل و کل منطقه مقادیر شاخص آلفا به ترتیب برابر ۰/۷۹، ۰/۱٤ و ۰/۲۱-، شاخص بتا برابر ۰/٤، ۰/۷۸ و ۰/٥٦، شاخص اتا برابر با ۱/۲، ۰/٦٤. و ۱/۳۲، شاخص گاما برابر با ۰/۳۷، ۰/۲۳ و ۰/۱۹، شاخص تراکم شبکه برابر با٦/۱۲، ۲۷/٥۳ و ۱۳/۱۲ متر در هکتار و شاخص تغییر مسیر برابر با ۰/٦۱، ۰/۸۱ و ۰/۷۷ به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه شاخص‌ها نشان داد که شبکه جاده در منطقه جنگلی دارای اتصال مناسب بوده، در حالی که در مناطق غیرجنگلی دارای اتصال نامناسب و در کل منطقه دارای اتصال خیلی ضعیف می‌باشد. همچنین تراکم شبکه جاده در مناطق جنگلی ناکافی بوده و در مناطق غیرجنگلی با وجود افزایش تراکم، مقدار اتصالات کاهش یافته و در کل منطقه سرعت شبکه به دلیل وضعیت توپوگرافی ناهموار، مقدار توسعه شبکه پایین می‌باشد. نتایج کلی این تحقیق نشان داد با وجود زیاد بودن طول (مقدار) جاده‌ها و صرف هزینه‌ها و وارد آمدن خسارت‌های زیست محیطی،شبکه جاده‌های موجود نتوانسته کارایی لازم را جهت ارتباط بین کاربری‌های موجود برقرار نماید. لازم است در مطالعات آتیبا در نظر گرفتن اصل ارتباط شبکه، ملاحظات اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی و همچنین برآورد نیاز آبخیز نشینان اصلاحات مفید در خصوص بهبود شبکه جاده موجود انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: قطعات جاده، شاخص اتصالی، شبکه‌جاده، کاربری جنگل و غیر جنگل، واحد مدیریت

مقدمه

جاده به عنوان نخستین و طبیعی‌ترین وسیله ارتباط انسان و به منزله شریان‌های حیاتی یک سرزمین و عنصر اصلی توسعه اقتصادی است،بدون وجود شبکه حمل و نقل امکان جابجایی کالاو مسافر وجود ندارد و یک منطقه نمی‌تواند توسعه اقتصادی داشته باشد (۴،۱۳). طراحی و ساخت شبکه جاده با استفاده از دو فرآیند ستادی (برنامه‌ریزی از بالا) و منطقه‌ای (برنامه‌ریزی از پایین) انجام صورت می‌گیرد. در فرآیند ستادی طراحی شبکه جاده توسط دولت و یا ارگان‌های شبه دولتی انجام می‌شود و اهداف آن بیشتر رسیدن به اهداف برنامه‌ریزی‌های کلان مانند حداکثر سرعت حمل و نقل در شبکه، حداقل هزینه تمام شده و ارتقای دسترسی می‌باشد. در فرآیند منطقه‌ای، طراحی و ساخت جاده‌ها بر اساس نیازهای ضروری منطقه و به صورت غیرمتمرکز انجام می‌شود. در فرآیند جاده سازی مدرن هرکدام از این دوفرآیند نمی‌توانند به تنهایی جواب‌گوی نیازها باشد. همکاری بین سازمان‌ها (معمولا در شکل شرکت‌های خصوصی) ساخت مقدار بیشتر شبکه جاده را ممکن می‌سازد (به طور معمول تابع مقررات دولتی و برنامه و توسعه سرمایه‌ای می‌باشد) و جاده ساخته شده توسط سازمان‌های محلی به مراتب بیشتر از مقدار ساخته شده توسط دولت مرکزی است (۹).

حوزه‌های آبخیز امروزه در بسیاری از زمینه‌های مدیریتی به ویژه در محیط‌های طبیعی به عنوان واحد برنامه ریزی مورد پذیرش و استفاده قرارگرفته است. در مدیریت حوزه‌های آبخیز پس از طراحی مراحل مختلف برنامه‌ریزی، انتخاب بهترین طرح از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۲). حوزه آبخیز اکوسیستمی پیچیده و پویا است و به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی و مدیریت تلقی میشود. باید تمام ابعاد فنی، اجتماعی، اقتصادی، فیزیکی، اکولوژیکی و سازمانی را در فرآیند برنامهریزی و مدیریت حوزه لحاظ نمود (۲۰). برنامه‌ریزی برای طراحی و ساخت شبکه جاده جزء مطالعات امور زیربنایی در حوزه آبخیز می‌باشد.

عملکرد شبکه جاده ایجاد ارتباط مکانی بین دو نقطه جدا از هم جهت انتقال کالا، خدمات و مسافر می‌باشد (۲۵). افزایش ارتباط (اتصال) شبکه جاده باعث کاهش زمان و فاصله نقل و انتقال در شبکه جاده می‌شود (۶). به منظور درک طبیعت پیچیده شبکه‌ها و ارزیابی عملکرد آنها، شاخص‌هایی جهت اندازه‌گیری ساختار و شکل آنها معرفی و استفاده شده‌اند. درصورت بروز حادثه، شبکه‌ای که نتواند دسترسی به فعالیت‌های مختلف رافراهم کند، آسیب‌پذیر خواهد بود. بنابراین، بسته به سطح انتظار از شبکه جاده و مقدار وگسترش این فعالیت‌ها، معیارهای مؤثر بر عملکرد شبکه نیز، متنوع خواهند بود (۹).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]

برای ارزیابی شبکه جاده در سطوح منطقه‌ای و محلی معیارهای متعددی از جمله معیارهای اقتصادی، زیست محیطی، خدماتی، اهمیت جایگزینی، امنیتی- دفاعی، امدادرسانی و فنی وجود دارد. تئوری گراف یکی از معیارهای فنی می‌باشد که اتصالات شبکه جاده با استفاده از آن تجزیه و تحلیل می‌شود. این معیار دارای شاخص‌های متعددی از جمله آلفا (α)، بتا (β)، گاما (γ)، پی (π)، تتا (θ)، اتا (η)، قطر[1]، تراکم[2] (d) و تغییر مسیر (di)[3] می‌باشد که با توجه سطح پیچیدگی وسعت شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

وزیری و مستقیمی (۲۳)، ارزیابی شبکهٔ جاده‌ای بزرگراه‌های آسیا و اقیانوسیه را با استفاده از معیارهای آلفا، بتا و گاما تجزیه و تحلیل نموده و نتیجه‌گیری نمودندکه حذف بسیاری از کمان‌های شبکه تاثیر چندانی در کارایی شبکه نخواهد داشت. پاتراسوک (۱۶)، با استفاده از شاخص‌های آلفا، بتا و گاما، شبکه جاده‌های موجود در استان Lop Buri تایلند را در فواصل زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۹ و ۲۰۰۶- ۱۹۹۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و به این نتیجه رسید که با وجود افزایش مقدار طول جاده در این دوره زمانی مقدار شاخص‌ها کاهش یافته و این حاکی از عدم اتصال صحیح شبکه‌بندی بوده است. علیشاه و شهزاد (۲)، با استفاده از تئوری گراف شبکه جاده‌های منطقه Sindh را در پاکستان مورد بررسی قرار داده‌اند در نتیجه استفاده از شاخص های تئوری گراف به برای ارزیابی شبکه جاده را پیشنهاد نموده‌اند. یوسویی و آسامیم (۲۲)، شبکه جاده منطقه Bunkyo ژاپن را با توجه به کارایی آن جهت اطفای حریق با استفاده از تئوری گراف مورد تجزیه و تحلیل قراردادند. اولاویل و آدسینا (۱۴)، رابطه بین اتصال شبکه جاده و آمار توریست‌های منطقه Lokoja در نیجریه را با استفاده از تئوری گراف مورد مطالعه قرار داده‌اند نتیجه گرفتند با توجه گره‌های موجود در شبکه اتصال کافی بین آنها وجود ندارد و نیاز است که قطعات جاده جدیدی به شبکه افزوده شود. لوینسون و هوانگ (۹) تئوری مثبت اتصال شبکه جاده را به صورت مروری مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که بدون دخالت دولت‌های مرکزی شبکه‌های جاده می‌توانند تکامل یابند و خود را سازمان‌دهی نمودهو به صورت محلی کنترل شوند. همچنین در تحقیقات دیگرآپریت و لورانت (۳)، آسیب‌پذیری شبکه جاده‌های منطقه مونپلیه فرانسه، کوفین (۵)، شبکه جاده حوزه آبخیز Santa Fe فلوریدای آمریکا، کوفی (۸)، ساختار شبکه جاده استانبول ترکیه، آدرامو و مگاجی (۱)، شبکه حمل و نقل روستایی و پراکنش مکانی خدمات عمومی ایالت Kwara نیجریه وتاکنت و همکاران (۲۱)، اهمیت شبکه جاده منطقه کوهستانی Maurienne Valley را توجه به مخاطرات طبیعی، با استفاده از تئوری گراف مورد بررسی قرار داده‌اند. منطقه مورد مطالعه یک حوزه کوهستانی می‌باشد و شبکه جاده تنها و سیله ارتباطی مردم با خارج حوزه بوده، لذا توسعه و پیشرفت منطقه به وضعیت جاده‌ها وابسته می‌باشد این موضوع مطالعه و ارزیابی شبکه جاده را ضروری می‌نماید، همچنین در داخل کشور در زمینه بررسی شبکه جاده در مقیاس حوزه آبخیز تحقیقی انجام نشده است، لذا این مطالعه به منظور: ۱- بررسی وضعیت اتصال شبکه‌ای[4] جاده مناطق جنگلی، غیرجنگلی و کل حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان با استفاده از شاخص (آلفا ((α)، بتا (β)، اتا (η)، گاما (γ)، تراکم شبکه و تغییر مسیر و ۲- شناسایی مشکلات شبکه جاده موجود (درصورت وجود) و ارائه راهکار برای بهبود وضعیت آن، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

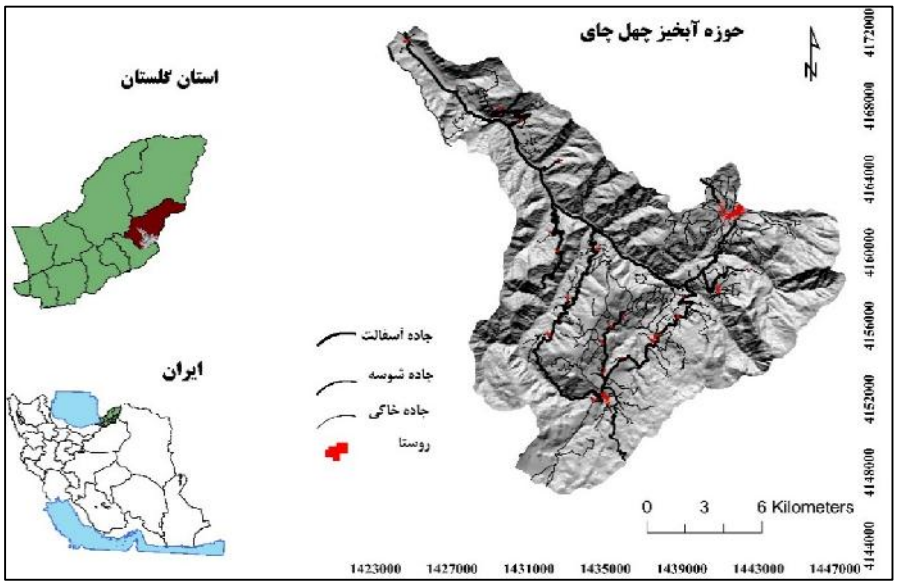
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چهل‌چای یکی از حوزه‌های کوهستانی کشور با وسعت ۲۵۶۸۰ هکتار در موقعیت جغرافیایی ″۳۰،′۵۷، °۳۶ تا ″۰۰،′۱۵، °۳۷ عرض شمالی و ″۳۰،′۲۲، °۵۵ تا ″۳۰،′۳۷، °۵۵ طول شرقی و بر مبنای سیستم مختصات UTM[5] در زون ۴۰ شمالی، در استان گلستان، شهرستان مینودشت واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا بین ۱۹۰ تا۲۵۶۷ متر می‌باشد. پوشش گیاهی غالب حوزه در بخش شمالی، جنگل و در بخش جنوب به پوشش مرتعی تغییر می-یابد. این حوزه در برگیرنده ۳۰ روستا، با جمعیت ۱۴۰۶۸ نفر می‌باشد. که کم جمعیت‌ترین آن، روستای ناعلاج با ۳۲ نفر و پرجمعیت‌ترین آن روستای دوزین با جمعیت ۵۱۹۷ نفر می‌باشد. ساختار اقتصادی حوزه مورد مطالعه زراعت و دامداری می‌باشد. در این منطقه کشت محصولات دیم بیشتر از آبی بوده و کشت گندم، جو، توتون، برنج و کلزا به ترتیب بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص داده‌اند. شکل ۱ نقشه موقعیت مکانی و شبکه جاده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1- Diameter
2- Network density
3- Detour index
4- Network Connectivity
5- Universal Transverse Mercator

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]



شکل ۱- نقشه حوزه آبخیز چهل چای و جاده‌های موجود
Figure 1. Mape of the Chehel-chay Watershed and existing road

روش تحقیق

تعیین شاخص‌های برای ارزیابی شبکه جاده

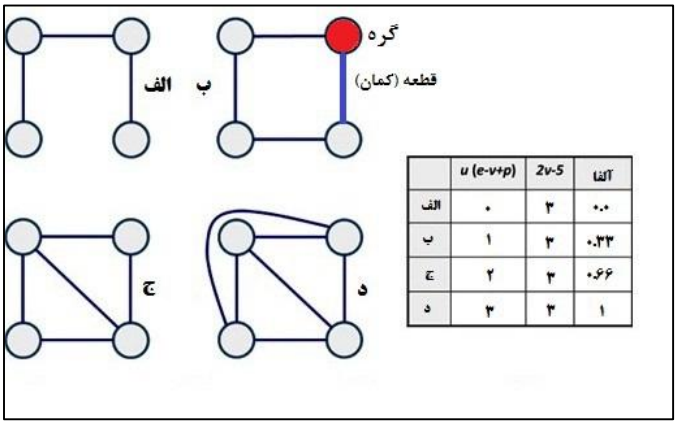
تئوری گراف دارای شاخص‌های متعددی می‌باشد که استفاده از آنها بستگی به سطح منطقه مورد مطالعه و سطح پیچیدگی شبکه جاده دارد. لذا با توجه به ویژگی شاخص‌ها، مشخصات شبکه جاده و منطقه مورد مطالعه، شاخص‌های که مناسب شبکه جاده ساده سطح محلی بودند، انتخاب شدند. که این شاخص‌ها شامل شاخص‌های آلفا، بتا، اتا، گاما، تراکم شبکه و تغییر مسیر می‌باشند.

شاخص آلفا (α): شاخص α نسبت بین تعداد جریان‌های مشاهده شده e-v+1 به حداکثر جریان 2v-5 می‌باشد. برای شبکه‌های کاملا متصل شاخص برابر یک و با کاهش ارتباط مقدار آن به صفر نزدیک می‌شود (۱،۸،۱۹،۲۳،۲۴). در شبکه‌های ساده مقدار α صفر می‌باشد. در بعضی موارد شاخص آلفا منفی می‌باشد و این نشان‌دهنده اتصال ضعیف در شبکه حمل و نقل منطقه مورد بررسی است.شاخص آلفا با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید و شکل ۲ شکل شماتیک آن را نشان می‌دهد.

$$\alpha = \frac{e-v+1}{2v-5}$$

رابطه (۱)

e= تعداد قطعات، v=تعداد گره‌ها



	u (e-v+p)	2v-5	آلفا
الف	۰	۳	۰.۰
ب	۱	۳	۰.۳۳
ج	۲	۳	۰.۶۶
د	۳	۳	۱

شکل ۲- حالت شماتیک شاخص آلفا
Figure 2. The schematic mode of Alpha index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]

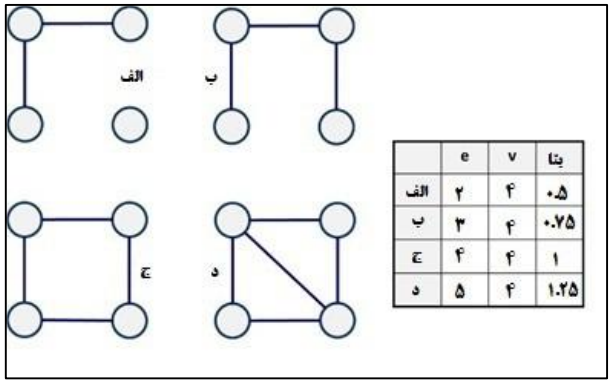
شاخص بتا (β): شاخص بتا نسبت قطعات به گره و معیار کامل بودن شبکه می‌باشد. این شاخص سطح اتصالات شبکه جاده را اندازه‌گیری می‌نماید (۱، ۱۰، ۲۱، ۲۴، ۲۵). شاخص بتا با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$\beta = \frac{e}{v}$$

رابطه (۲)

e= تعداد قطعات، v=تعداد گره‌ها

زمانی که مقدار شاخص بتا برابر صفر باشد نشان‌دهنده این است که هیچ ارتباطی بین گره‌ها وجود ندارد، اگر این مقدار یک یا بیشتر از یک باشد به معنی وجود اتصال مناسب بین گره‌های شبکه است (۸،۱). مقدار این شاخص در شبکه‌های جاده ساده کمتر از یک می‌باشد، همچنین در شبکه‌هایی که دارای یک اتصال (چرخش) است شاخص بتا برابر یک می‌باشد. در شبکه‌های جاده با پیچیدگی بیشتر و چند اتصال مقدار این شاخص بیشتر از یک می‌باشد. شاخص بتا در شبکه‌های ساده که قطعات زیاد درگیر نیستند مفید می‌باشد (۸). شبکه‌های کامل دارای نسبت دو و نیم می‌باشند. برای انجام فرآیند برنامه‌ریزی شبکه در نظر گرفتن نسبت یک و چهار (نیمه راه حداکثر کردن ارزش باشد) برای شاخص بتا مناسب می‌باشد (۹،۶). شاخص بتا مقدار طول قطعات را نشان نمی‌دهد. شکل ۳ حالت شماتیک این شاخص را نشان می‌دهد. در شاخص آلفا تعداد گره‌ها و اتصال آنها از اهمیت بیشتری برخوردار است و این ویژگی باعث استفاده بیشتر آن در شبکه‌های شهری که(دارای تعداد گره بیشتری هستند) شده است در حالی شاخص بتا بیشتر برای شبکه‌های ساده قابل استفاده است چون حداقل اتصال گره‌ها قابل قبول است.



	e	v	بتا
الف	۲	۴	۰.۵
ب	۳	۴	۰.۷۵
ج	۴	۴	۱
د	۵	۴	۱.۲۵

شکل ۳- حالت شماتیک شاخص بتا
Figure 3. The schematic mode of Beta index

شاخص اتا (η): شاخص اتا میانگین طول قطعات را در شبکه اندازه‌گیری نموده و سرعت ترافیک در شبکه را محاسبه نموده و از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود (۸). شکل ۴ حالت شماتیک این شاخص را نشان می‌دهد.

$$\eta = \frac{L(G)}{e}$$

رابطه (۳)

e= تعداد قطعات، L= طول جاده‌ها

شاخص گاما (γ): شاخص گاما عبارت است از نسبت تعداد واقعی قطعات به حداکثر تعداد قطعاتی که در گراف می‌تواند وجود داشته باشد. این شاخص حداکثر اتصال شبکه را به صورت تئوری بیان می‌کند (۸،۱). محاسبه شاخص گاما از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$\gamma = \frac{e}{3(v-2)}$$

رابطه (۴)

e= تعداد قطعات، v=تعداد گره‌ها

مقدار به دست آمده برای این شاخص بین صفر و یک می‌باشد. ($0<\gamma<1$). زمانی که مقدار شاخص یک باشد نشان‌دهنده اتصال کامل در شبکه می‌باشد و مقدار صفر به معنی اتصال ضعیف می‌باشد.

شاخص تغییر مسیر: اندازه‌گیری کارایی شبکه حمل ونقل و چگونگی غلبه بر فاصله و مسئله فاصله‌ای را بیان می‌کند. مقدار این شاخص از نسبت فاصله افقی به فاصله روی شبکه (فاصله واقعی) به دست می‌آید، که از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود (۸).

$$DI = \frac{d}{L}$$

رابطه (۵)

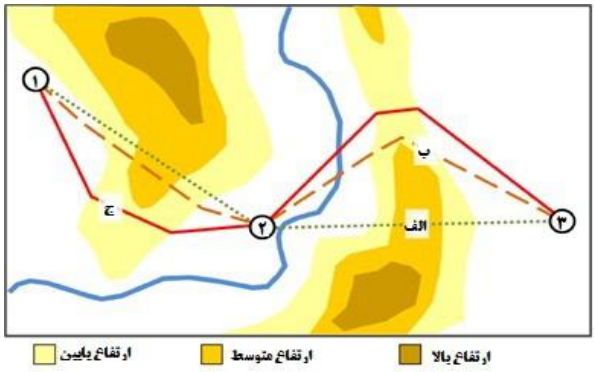
DI= شاخص تغییر مسیر، d= فاصله افقی (مستقیم) (کیلومتر)

L= فاصله شبکه (کیلومتر)

هرچه مقدار شاخص به یک نزدیک باشد نشان‌دهنده کارایی مکانی بهتر شبکه می‌باشد. اگر چه به ندرت اتفاق می‌افتد که مقدار این شاخص به یک نزدیک باشد. این شاخص بدون واحد است و ارزش آن از صفر تا یک می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]



شکل ۳- مسیر مستقیم و انحرافی بین مسیرهای الف، ب و ج.
Figure 4. The deviation between the straight line paths A, B and C

تراکم شبکه: تراکم شبکه جاده نسبت طول شبکه جاده به کیلومتر به سطح به کیلومتر مربع. تراکم شبکه جاده توسعه شبکه را به توجه سطح مورد نظر تجزیه و تحلیل می‌کند. رابطه ۶ روش محاسبه تراکم شبکه را نشان می‌دهد (۸).

رابطه (۶) $$ND = \frac{L}{A}$$

ND= تراکم جاده، A= مساحت منطقه مورد مطالعه (کیلومتر مربع) L= طول کل جاده‌ها (کیلومتر)

واحد تراکم براساس کیلومتر بر کیلومتر مربع و یا هکتار می‌باشد.

تهیه نقشه شبکه جاده موجود

نقشه شبکه جاده موجود با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری و تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. همچنین مسیرهایی که در این دو منبع وجود نداشت با استفاده از GPS برداشت شد. همچنین با بازدید زمینی و شناسایی نوع جاده‌ها، درجه‌بندی آنها بر اساس استاندارد جاده‌های روستایی انجام گرفت و به سه نوع، درجه یک (آسفالت)، درجه دو (شوسه) و درجه سه (خاکی) تقسیم‌بندی شدند.

تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره و نقشه‌های موجود تهیه شد، در مرحله بعد پس از جانمایی نقشه تهیه شده، مواردی که نیاز به اصلاح داشت، اصلاح گردید و مکان‌های که نیاز به نقشه برداری داشت با استفاده از GPS برداشت و در نقشه تهیه شده اضافه گردیدشد. با توجه به اینکه حدود ۶۵ درصد منطقه مورد مطالعه جنگل (جنگل تولید و حفاظتی) بوده و شبکه جاده در خدمات رسانی به این کاربری حائز اهمیت می‌باشد، لذا نقشه کاربری به دو کلاسه جنگل و غیرجنگل طبقه‌بندی شد.

تعیین گره و قطعات (کمان) های شبکه جاده

گره‌های مورد نظر در منطقه مورد مطالعه شامل مناطق مسکونی، دامداری، مرغداری، شیلات، اراضی کشاورزی، پارسل‌های طرح جنگلداری، مناطق تفرجی، نقاط اتصالی با حوزه‌های مجاور، قبرستان‌ها و امامزاده‌ها، چشمه‌ها، بودند و مسیرهایی که این نقاط را بهم وصل می‌کردند به عنوان قطعات جاده (کمان) مد نظر قرار گرفتند. گره‌ها و کمان‌ها به تفکیک برای کاربری جنگل و غیرجنگل و کل منطقه مورد مطالعه مشخص شد. برای تعیین تعداد گره‌ها و کمان‌ها جهت استفاده درشاخص‌های تئوری گراف از تابع آنالیز شبکه[1] در نرم‌افزار Arc GIS 10.1 استفاده گردید.

محاسبه شاخص‌ها

شاخص‌های آلفا (α)، بتا (β)، اتا (η)، گاما (γ)، تراکم شبکه و تغییر مسیربرای کاربری جنگل، غیرجنگل و کل منطقه مورد مطالعه محاسبه شد، سپس مقدار این شاخص‌ها با مقدار، استاندارد مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

طول و تراکم کل جاده‌های موجود

در منطقه مورد مطالعه ۳۳۷/۰۷ کیلومتر جاده وجود در سطح ۲۵۶۸۰ هکتار وجود دارد که بیشتر جاده‌های آن خاکی می‌باشد و جهت دسترسی به اراضی کشاورزی و دامداری‌های سنتی، چشمه‌ها احداث شده‌اند و جاده‌های شوسه و آسفالته ارتباط بین مراکز جمعیتی را فراهم می‌نمایند. جدول ۱ طول و تراکم جاده، شکل ۲ شبکه جاده واقعی و گره‌ها شکل ۳ شکل شبکه جاده حوزه آبخیز چهل‌های بر اساس تئوری گراف را که با استفاده از برنامه آنالیز شبکه در نرم‌افزار Arc GIS 10.1 نشان می‌دهد.

1- Network Analyst Tools

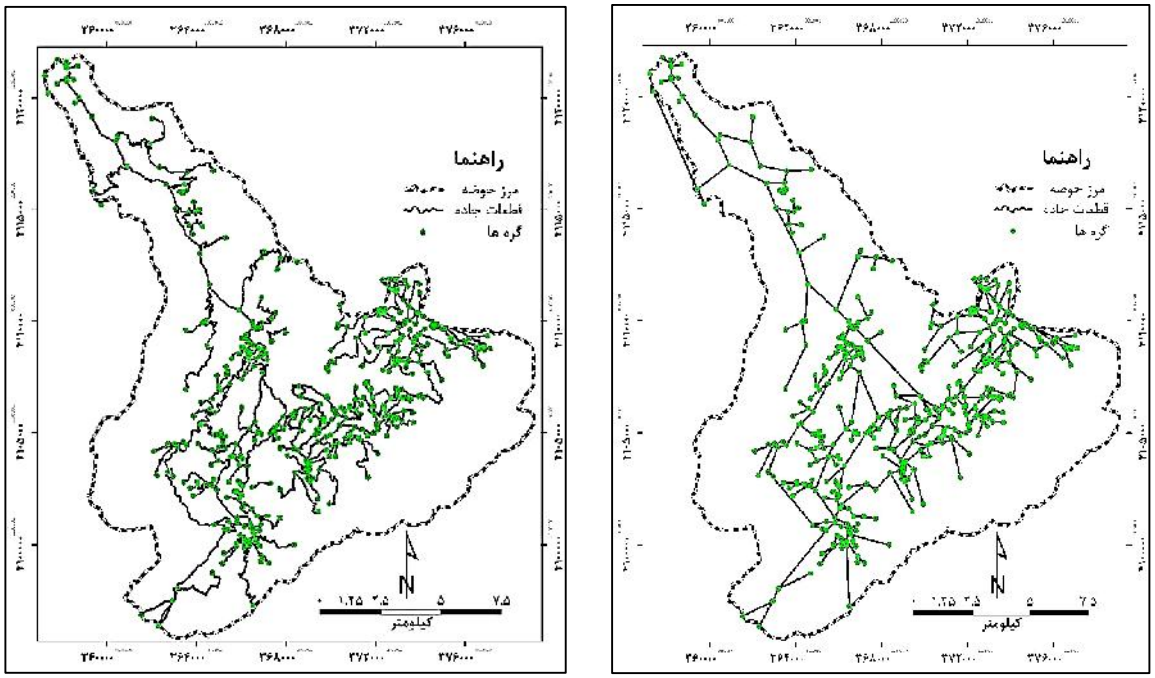
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]

جدول ۱- طول و تراکم جاده موجود در حوزه آبخیز چهل‌چای

Table 1. Road network length and density of the Chehel-chay Watershed

نوع جاده	طول (کیلومتر)	تراکم (متر/ هکتار)
آسفالت	۸۲/۸۷	۳/۲۳
شوسه	۱۰/۶۶	۰/۴۲
خاکی	۲۴۳/۵۴	۹/۴۷
کل	۳۳۷/۰۷	۱۳/۱۲



شکل ۲- الف) نقشه واقعی شبکه جاده و گره‌ها موجود حوزه آبخیز چهل چای ب) شبکه جاده بر اساس تئوری گراف و گره‌های موجود حوزه آبخیز چهل‌چای

Figure 2. Existing road network (A), edges and vertices of existing road network of the Chehel-chay Watershed (B)

تجزیه و تحلیل جاده‌های موجود در کاربری جنگل

نتایج نشان داد که مقدار شاخص آلفا برای مناطق جنگلی برابر ۰/۷۹ می‌باشد و این مقدار حاکی از ارتباط مناسب در مناطق جنگلی می‌باشد چون مقدار آن نزدیک به ۱ می‌باشد (۲۴،۲۳،۱۹،۸،۱). مقدار شاخص بتا برابر ۰/۴ می‌باشد و کمتر بودن مقدار آن از یک نشان‌دهنده کامل نبودن اتصالات شبکه جاده در این قسمت می‌باشد (۸،۱). مقدار شاخص گاما برابر ۰/۳۷ می‌باشد و با توجه به کمتر بودن از یک نشان‌دهنده اتصال ضعیف در شبکه جاده در این کاربری می‌باشد (۸،۶). مقدار شاخص اتا برابر ۱/۲ می‌باشد و نشان‌دهنده پایین بودن میزان سرعت ترافیک در جاده‌های قرار گرفته می‌باشد و این مقدار برای مناطق جنگلی امری طبیعی می‌باشد، زیرا در مناطق جنگلی هدف دسترسی به تمام سطح جنگل در صورت امکان می‌باشد (۱۵،۱۰). تراکم جاده قرار گرفته در کاربری جنگل برابر ۶/۱۷ متر در هکتار می‌باشد و این مقدار کمتر از میزان پیشنهاد شده (۱۵-۲۰ متر درهکتار) توسط لطفعلیان و پارساخو (۱۱) می‌باشد. مقدار شاخص تغییر مسیر در مناطق جنگلی برابر ۰/۶۸ می‌باشد وکمتر بودن آن از یک نشان‌دهنده وضعیت توپوگرافی ناهموار و شیب‌دار بودن منطقه جنگلی می‌باشد. جدول ۲ مقدار شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای کاربری جنگل را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل جاده‌های کاربری غیرجنگل

تراکم جاده‌های موجود در این کاربری با مقدار ۲۷/۵۳ متر در هکتار و مقدار شاخص آلفای ۰/۱۴ نشان‌دهنده ساخت جاده‌های اضافی می‌باشد، چون با وجود ساخت جاده‌های بیشتر، مقدار آلفا کمتر از ۱ بوده و می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت ارتباط در مناطق غیرجنگلی نامناسب می‌باشد (۸،۱، ۱۹). کمتر بودن شاخص آلفا با مقدار۰/۷۸ حاکی از نامناسب بودن اتصال بین گره‌های موجود در شبکه می‌باشد (۱). مقدار شاخص اتا در بخشی از حوزه آبخیز برابر ۰/۶۴ می‌باشد و این به معنی کمتر بودن سرعت ترافیک می‌باشد (۸). هم‌چنین مقدارشاخص گاما با مقدار ۰/۲۳ نیز اتصال ضعیف در شبکه جاده موجود در کاربری غیرجنگل را نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه، کوهستانی و ناهموار می‌باشد و مقدار ۰/۸۱ شاخص تغییر مسیر در ناحیه امری معقول به نظر می‌رسد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]

جدول ۳ وضعیت شاخص‌های اندازه‌گیری شده در کاربری غیرجنگل را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل جاده‌های قرار گرفته در کل منطقه

مقدار کل جاده‌های موجود در حوزه آبخیز جنگلی ۳۳۷ کیلومتر و تراکم آن ۱۳/۱۲ متر در هکتار می‌باشد. اما مقدار آلفای ۰/۲۱- حاکی از ارتباط بسیار ضعیف در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و مقدار منفی آلفا نشان از ناکارامد بودن شبکه جاده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین شاخص‌های بتا و گاما با مقدار ۰/۵۶و ۰/۱۹ وضعیت اتصال ضعیف بین گره‌های موجود در شبکه جاده موجود در حوزه آبخیز چهل چای می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص تغییر مسیر ۰/۷۷ و شاخص اتا ۱/۳۲ کوهستانی بودن منطقه و پایین بودن سرعت ترافیک را نشان می‌دهد و این در مناطق کوهستانی امری عادی می‌باشد (۱۹،۹،۱). جدول ۲ مقدار شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای کل منطقه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقدار شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای کاربری جنگل، غیرجنگل و کل حوزه آبخیز چهل‌چای

Table 2. The measured indicesof forest, non-forest land use and total of the Chehel-chay Watershed

نوع کاربری	شاخص آلفا	شاخص بتا	شاخص اتا	شاخص گاما	تراکم شبکه (متر /هکتار)	شاخص تغییر مسیر
جنگل	۰/۷۹	۰/۴	۱/۲	۰/۳۷	۶/۱۷	۰/۶۸
غیر جنگل	۰/۱۴	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۲۳	۲۷/۵۳	۰/۸۱
کل منطقه	-۰/۲۱	۰/۵۶	۱/۳۲	۰/۱۹	۱۳/۱۲	۰/۷۷

نتایج حاصل از اندازه شاخص‌های مورد اندازه‌گیری در این مطالعه نشانداده که شبکه جاده موجود به‌طور مناسب نتوانسته است ارتباط بین کاربری موجود در منطقه را برقرار سازد و از سوی دیگر به طور مناسب در داخل حوزه آبخیز پراکنش ندارد. مقدار شاخص آلفا برای مناطقی جنگلی، غیرجنگلی و کل منطقه به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۱۴ و ۰/۲۱- می‌باشد در حالی مقدار تراکم در این سه بخش به ترتیب ۶/۱۲، ۲۷/۵۳ و ۱۳/۱۲ متر در هکتار می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده توزیع مناسب شبکه با افزایش تراکم بوده است،چون تراکم شبکه جاده بیانگرسطح توسعه شبکه جاده بوده و افزایش مقدار آن زمانی می‌تواند مفید واقع شود که بتواند در داخل حوزه مدیریتی ارتباط مناسب را ایجاد نماید (۱۹،۱). همچنین شاخص‌های بتا، گاما و اتا در منطقه مورد مطالعه ارتباط ضعیف بین گره‌های موجود درشبکه جاده را نشان می‌دهد. مقدار شاخص تغییر مسیر در مناطقی جنگلی، غیرجنگلی و کل منطقه به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۸۱ و ۰/۷۷ می‌باشد، این شاخص وضعیت توپوگرافی را در منطقه نشان می‌دهد، این شاخص نشان داد که در مناطق جنگلی برای اتصال دو نقطه بهم محدودیت‌های توپوگرافی بیشتر می‌باشد و این موضوع در طراحی شبکه جاده‌های جنگلی که هدف پوشش سطحی، دسترسی به تمام سطح جنگل، شبکه می‌باشد اهمیت ندارد، اما زمانی هدف ارتباط نقاط مسکونی با یکدیگر و یا سایر اهداف باشد ارتقای این شاخص باعث کوتاه‌تر شدن مسیرها و به تبع آن کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی ناشی از احداث شبکه جاده می‌باشد. نتایج کلی این تحقیق نشان داده با وجود بالا بودن طول جاده‌های موجود و صرف هزینه‌های زیاد و همچنین و وارد آمدن خسارت‌های زیست محیطی به منطقه‌ای که به فرسایش، لغزش و رانش حساسیت بالایی دارد.شبکه جاده موجود نتواسته کارایی لازم را جهت ارتباط بین کاربری‌های موجود برقرار نماید. با توجه به اینکه جاده‌های موجود نیز باعث تغییر کاربری قابل توجهی در منطقه شده‌اند، زیرا تغییر کاربری اراضی یکی از چالش‌های عمده در قرن بیست و یکم می‌باشد (۱۸). لازم است درمطالعات آتی با بررسی شبکه جاده موجود مسیرهای نامناسب اصلاح و یا از شبکه جاده خارج و با انجام تمهیدات لازم از قبیل جنگل‌کاری و کاشت گیاهان مرتعی دوباره به طبیعت برگرانده شوند، همچنین مسیرهای جدید با در نظر گرفتن اصل ارتباط شبکه (Network Connectivity)، ملاحظات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی و همچنین برآورد نیاز آبخیز نشینان طراحی شود.

احداث شبکه راه‌ها در طول زمان برای هر منطقه لازمه توسعه اقتصادی، اجتماعی و از همه مهم‌تر ارتباط انسان‌ها به عنوان یک موجود اجتماعی با یکدیگر بوده و در آینده نیز خواهد بود. برای اتصال دو نقطه مردم همیشه به دنبال آسانترین و کوتاه‌ترین مسیر بوده و مسیرهای کوتاه به دلیل صرفه‌جویی در پول و انرژی ارجح بوده است. در مناطق مسطح کوتاه‌ترین مسیر انتخاب می‌شود و در مناطق با شیب متوسط از خطوط منحنی میزان پیروی می‌شود و درمناطق پر شیب مسیرهای پر پیچ و خمانتخاب می‌شوند. این تفاوت در وضعیت طبیعی منطقه و همچنین تعداد و نحوه پراکنش نقاط هدف (گره‌ها) باعث به وجود آمدن انواع شبکه جاده با کارایی متفاوت شده است. احداث شبکه جاده مانند سایر پروژهای عمرانی همیشه با محدودیت سرمایه (زمین و پول) روبرو بوده و از سوی دیگر آسیب‌های زیست‌محیطی را به همراه داشته است، لذا به دلیل موارد ذکر شده، استفاده از معیارها و شاخص‌های متفاوت، برای ارزیابی شبکه راهدر مناطق مختلف جهت بهینه کردن احداث جاده‌ها و همچنین اتصال گره‌ها ضرروی است. در این تحقیق شبکه جاده موجود در واحد مدیریتی طبیعی و حیاتی حوزه آبخیز برای اولین بار در کشور با استفاده از تئوری گراف تجزیه و تحلیل شده است. امید است با توجه به نتایج این تحقیق در طراحی و برنامه‌ریزی شبکه جاده به عنوان یکی از امور زیربنایی به اهمیت محدوده مدیریت حوزه آبخیز توجه شود، و از سوی دیگر شبکه جاده‌های سایر حوزه‌ها به منظور شناسایی نواقص آنها با کمک روش استفاده شده در این تحقیق و سایر روش‌ها مورد بررسی قرار گیرد و گام‌های لازم جهت رفع نواقص شبکه جاده برداشته شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]

منابع

1. Aderamo, A.J. and S.A. Magaji. 2010. Rural Transportation and the Distribution of Public Facilities in Nigeria, A Case of Edu Local Government Area of Kwara State. Journal of Human Ecology, 29: 171-179.
2. Ali Shah, M.A. and F. Shehzad. 2009. Evaluation of Shortest Paths in Road Network. Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences, 3: 67-79.
3. Appert, M. and C. Laurent. 2007. Measuring urban road network vulnerability using graph theory: the case of Montpellier's road network. 23 pp.
4. Black, W.R. 2003. Transportation: A Geographical Analysis. New York: Guilford Press, 375 pp.
5. Coffin, A.W. 2009. Road network development and landscape dynamics in the Santa Fe River Watershed, North-central Florida, a dissertation presented to the graduate school of the university of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, University of Florida, 175 pp.
6. Dill, J. 2004. Measuring Network Connectivity for Bicycling and Walking. Join Congress of ACSP-AESOP, Leuven, Belgium, 17 May, 20 pp.
7. Falahtabar, N. 2001. Geographic factorsimpacton the country's road network. Journal of Geographical Research, 38: 47-55 (In Persian).
8. Kofi, G.E. 2010. Network based indicators for prioritsing the location of a new urban transport connection, Case study Istanbul, Turkey, Thesis submitted to International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Specialization, (Urban planning and Management). 101 pp.
9. Levinson, D. and A. Huang. 2012. A positive theory of network connectivity. Environment and Planning B: Planning and Design, 39: 308-325.
10. Lotfalian, M. 2011. Wood Transportation. Aeezh press, 342 pp (In Persian).
11. Lotfalian, M. and A. Parsakhoo. 2012. Forest road Network Planning. Aeezh press, 155p. (In Persian).
12. Naderi, N., M. Mohseni Saravi, A. Mlakian and D. Ghasemian. 2011. AHP is a technique for decision making in Watershed. Journal of Environment and Development, 2: 41-50 (In Persian).
13. Narimani, G. 2007. Geometric Design of Highways. University of Tehran press, 584p. (In Persian).
14. Olawale, T.N. and K.I. Adesina. 2011. An Assessment of the Relationship between Road Network Connectivity and Tourists' Patronage in Lokoja Metropolis, KogiState. Journal of Natural Sciences Research, 3: 1-11.
15. Parsakhoo, A. 2015. Forest road construction and maintenance, 243 pp (In Persian).
16. Patarasuk, P. 2013. Road network connectivity and land-cover dynamics in Lop Buri Province, Thailand. Journal of Transport Geography, 28: 111-123.
17. Puu, T. 2003. Mathematical Location and Land Use Theory: An Introduction. Berlin: Springer, 344pp.
18. Rahmani, N., K. Shahedi, K. Soleimani and M. Miryaghoubzadeh. 2016. Evaluation of the Land use Change Impact on Hydrologic Characteristics (Case Study: Kasilian Watershed). Journal of watershed management research.7: 23-33 (In Persian).
19. Rodrigue, J., C. Comtois and B. Slack. 2009. The Geography of Transport Systems, New York: Routledge, 276 pp.
20. Sadoddin, A., E. Alvandi and V.B. Sheikh. 2015. Developing a Decision Support System for Participatory and Integrated Management of the Chel-Chai Watershed, Golestan Province, Journal of Watershed Management Research, 6: 124-134 (In Persian).
21. Tacnet, J.M., E. Mermet and S. Maneerat. 2012. Analysis of importance of road networks exposed to natural hazards. Multidisciplinary Research on Geographical Information in Europe and Beyond, Proceedings of the AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science, Avignon, April, 24-27.
22. Usui, H. and Y. Asamim. 2015. An Evaluation of Road Network Patterns Based on the Criteria for Fire-Fighting, European Journal of Geography, 542: 1-22.
23. Vaziri, M. and S. Mostaghimi. 2005. Evaluation of road network of high ways Asia and the Pacific. 2End National Congress on Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, 2005-05-13, Tehran, pp: 1-6 (In Persian).
24. Xie, F. and D. Levinson. 2007. Measuring the Structure of Road Networks. Geographical Analysis, 39: 336-356.
25. Zhang, Z., J. Bigham, Z. Li and D. Ragland. 2012. Associations between Road Network Connectivity and Pedestrian-Bicyclist Accidents. Transportation Research Board (TRB) 91st Annual Meeting, January 22-26 Washington, D.C.18 pp.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]

Assessment of Road Network Connectivity using Graph Theory in the Chehel-Chai Watershed, Golestan Province

Mohsen Mostafa[1], Shaban Shataee Jouibary[2], Majid Lotfalian[3] and Amir Sadoddin[2]

1- PhD Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
(Corresponding Author: mohsemmstf@gmail.com)
2- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Associate Professor, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: December 13, 2015 Accepted: April 12, 2016

Abstract

Planning, construction and assessment of road network are among the investigations for infrastructure development at watershed scales. The main aim of this study is assessing the road network connectivity in the Chehel-Chay Watershed, located in Golestan Province using Alpha (α), Beta (β), Gamma (γ), Eta (η), network density and detour indices in graph theory. The available road network map was extracted on 1:25,000 scale, satellite imagery and mapping by GPS. Then the values of indices were calculated for road network that located in forest and non-forest land uses as well as for the whole of the study area. Then, the calculated indices were compared with each other and also with standard index values correspondingly. In forest land use, non-forest land use and whole of the study area the value of calculated indices are: for Alpha index 0.79, 0.14, -.021, for Beta index 0.4, 0.78, 0.56, for Eta index 1.2, 0.64, 1.32, for Gamma index 0.37, 0.23, 0.19, for network density index 6.12, 27.53, 13.12, and for detour index 0.61, 0.81, 0.77, respectively. The results showed that the network connectivity in forest area is suitable but in non- forest area despite of an increase in network density, the network connectivity is inappropriate and for the whole of the study area the network connectivity is considered to be too weak. The network density in forest area is inadequate and in non-forest area network connectivity has been decreased despite of an increase in network density. However, for the whole of the study area the amount t network speed is low due to topographic status and inadequate level of network development. The analysis indicates that the available road network despite of high length of roads constructed in the area and the associated high costs and environmental impacts has not have essential efficiency to connect various land uses in the study area. It is necessary to improve road network based on principles of network connectivity, economic, social and environmental considerations as well as inhabitants' needs in future researches.

Keywords: Forest and non- forest land use, Management unite, Network connectivity, Road network, Road segment

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.259]