نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی
جلد چهارم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://ejang.gau.ac.ir

بررسی روش‌های ارزیابی شبکه جاده‌های جنگلی با توجه به تئوری گراف

*محسن مصطفی[۱]، شعبان شتایی جویباری[۲]، مجید لطفعلیان[۳] و امیر سعدالدین[۴]

[۱]دانشجوی دکتری علوم جنگل و جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،
[۲]دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،
[۳]دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،
[٤]دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۲/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰٤/۱٤

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی و معرفی معیارهای فنی، اقتصادی و خدماتی شبکه جاده در سطح منطقه‌ای و حوزه آبخیز جنگلی انجام گرفته است. ابتدا اجزای شبکه جاده در قالب تئوری گراف (گره، کمان، زیر مجموعه و حلقه)، شبکه جاده (مستوی و غیر مستوی)، مشخصات ساختاری کمان (پیوستگی، زنجیره، طول کمان، گردش، جریان، دسته و خوشه)، ویژگی‌های ساختاری شبکه (قابلیت اتصال، شبکه‌های مکمل، شبکه‌های درختی، ریشه و گره مفصلی) مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد معیارهای اقتصادی (هزینه فایده تورکر و هزینه ارزش)، معیارهای خدماتی اهمیت (جایگزینی، امنیتی- دفاعی، اجتماعی، امدادرسانی، رفاهی و تفریحی- زیارتی) و فنی (شاخص‌های آلفا، بتا و گاما، تغییر مسیر، تراکم، پی، آتا، قطر و تعداد سیکل) شناسایی گردید. نتیجه نشان داد که با توجه به ویژگی‌های مشترک شبکه جاده‌های جنگلی با جاده‌های عمومی، تمامی معیارهای اقتصادی و خدماتی و برخی معیارهای فنی شامل شاخص‌های آلفا و بتا، قطر، و تراکم شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی جامع شبکه جاده‌های جنگلی می‌باشند.

کلمات کلیدی: شبکه جاده‌های جنگلی، معیار فنی، اقتصادی و خدماتی، تئوری گراف

*مسئول مکاتبه: mohsemmstf@gmail.com

مقدمه

جاده نخستین وسیله ارتباط انسان‌ها و شریان حیاتی یک سرزمین می‌باشد. هنگامی اقتصاد یک کشور پابرجا و در حال پیشرفت خواهد بود که انسان‌ها و انواع کالاها و مواد تولیدی در آن تحت شرایط و برنامه‌ریزی صحیح بین نقاط، مختلف در داخل و یا خارج کشور، جابجا شوند و این امر جز با احداث شبکه جاده‌ای مناسب میسر نخواهد بود (نریمانی، ۱۳۸٤). شبکه از مجموعه‌ای گره که نشان‌دهنده موقعیت فضایی مکان‌ها و مجموعه‌ای خطوط که نشان‌دهنده اتصالات بین این گره‌ها می‌باشد تشکیل شده است. گره‌ها نشان‌دهنده پایانه، نقاط خدماتی، نقاط مبدا و مقصد و محل تقاطع خطوط می‌باشد (اکسی و همکاران، ۲۰۰۷). خط نیز می‌تواند قطعه‌ای از جاده یا مسیرهای لوله‌ها (پدیده خطی دیگر) باشد (لوپین، ۱۹۸۷؛ هاسدال، ۲۰۰۰ و صادقی نیاراکی و همکاران، ۲۰۱۱). این مجموعه به‌صورت توپولوژیک و هندسی نمایش داده می‌شود و دارای ویژگی‌های ساختاری متفاوت می‌باشد. اصطلاح شبکه به چهار چوب موقعیت راه‌ها و گره‌های درون یک سیستم اشاره می‌نماید. شبکه می‌تواند به‌عنوان یک چیدمان خطوط متقاطع تعریف شود. خطوط جاده (یا اتصال‌ها) دارای ویژگی‌های منحصربه فردی مانند طول، تعداد خطوط، جهت، ظرفیت و سرعت مجاز می‌باشند. یک شبکه جاده، پدیده خطی پیوسته است که در طول آن حمل و نقل انجام می‌گیرد و یا ارتباط بین نقاط حاصل می‌شود، به‌عبارت دیگر یک شبکه از خط (یا کمان) و گره‌ها تشکیل شده است. که گره می‌تواند محل تقاطع‌ها باشد.

به‌منظور درک طبیعت پیچیده شبکه‌ها شاخص‌هایی جهت اندازه‌گیری ساختار و فرم آن‌ها معرفی و استفاده شده‌اند (کوفی، ۲۰۱۰). در صورت بروز حادثه، شبکه‌ای که نتواند دسترسی به فعالیت‌های مختلف را فراهم کند، آسیب‌پذیر خواهد بود. بنابراین، بسته به سطح انتظار از شبکه و مقدار و گسترش این فعالیت‌ها، معیارهای مؤثر بر عملکرد شبکه نیز، متنوع خواهند بود. این پژوهش به معرفی و بررسی انواع معیارهای ممکن می‌پردازد. یکی از تئوری‌های کاربردی برای شناسایی اجزای شبکه تئوری گراف می‌باشد.

جاده‌های جنگلی که برای رسیدن به اهداف طرح‌های جنگل‌داری احداث می‌شوند، همواره توسط یک سری از معیارها از قبیل درصد پوشش و تراکم مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، لذا معیارهای ارائه شده در این مطالعه در جاده‌های عمومی استفاده شده‌اند و برای ارزیابی شبکه‌جاده‌های جنگلی تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، لذا در این مطالعه مروی ابتدا مشخصات شبکه در قالب تئوری گراف بیان

و سپس معیارهای موجود برای ارزیابی شبکه جاده‌های عمومی معرفی شده است. هدف این تحقیق شناسایی این معیارها به‌منظور استفاده از آن‌ها در ارزیابی شبکه جاده‌های جنگلی می‌باشد.

مشخصات تئوری گراف: یک گراف نمایش سمبلیک شبکه و اتصالات آن می‌باشد. نظریه گراف شاخه‌ای از علم ریاضیات در مورد چگونگی کدگذاری شبکه و اندازه‌گیری مشخصات آن می‌باشد که در دهه‌های اخیر به‌دلیل روند رو به رشد مطالعات اجتماعی و شبکه‌های پیچیده توسعه داده شده است.

مؤلفه‌های تئوری گراف: G مجموعه‌ای از گره‌ها (V) که توسط خطوط (e) بهم متصل می‌شوند (رابطه ١).

$$G= (v, e)$$ رابطه (١)

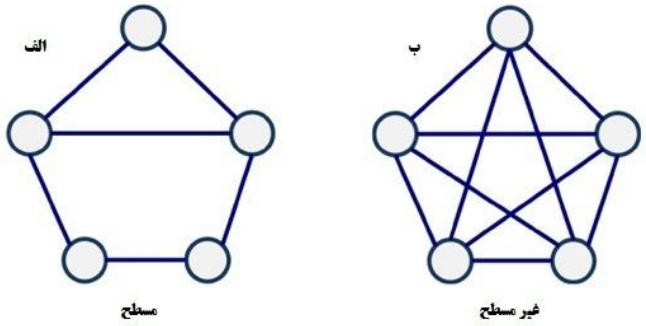
گره[1]: گره نقاط پایانه یا محل تقاطع در گراف می‌باشد. که می‌تواند نشان‌دهنده شهرها در محل‌های مسکونی، تقاطع جاده‌ها و یا پایانه‌های حمل و نقل (ایستگاه، پایانه، مراکز و فرودگاه) باشد، در شبکه‌جاده‌های جنگلی محل دپوها، یاردها، کمپ‌های کارگری و روستاهای جنگی می‌تواند به‌عنوان گره‌ها محسوب شوند.

کمان (خطوط)[2]: کمان، خط بین دو گره می‌باشد. خطی که بین دو گره امکان حرکت را فراهم می‌کند و دارای جهت است و به‌طور معمول به‌صورت یک پیکان (یک طرفه) و یا بدون پیکان (دو طرفه) نمایش داده می‌شود. در جاده‌های جنگلی مسیر بین محل دپو تا یارد و یا محل دپوها تا محل قطع درختان می‌تواند به‌عنوان کمان محسوب شود.

زیرگراف (زیر مجموعه)[3]: زیر گراف، زیر مجموعه‌ای از گراف G می‌باشد. به‌عنوان مثال $G' = (v', e')$ می‌تواند یک زیر مجموعه باشد. هر شبکه حمل و نقل منطقه‌ای در تئوری گراف می‌تواند زیر مجموعه دیگری می‌باشد. به‌عنوان مثال شبکه حمل و نقل جاده‌ای شهری زیر مجموعه‌ای از شبکه حمل و نقل منطقه‌ای و این هم زیر مجموعه‌ای از شبکه حمل و نقل ملی می‌باشد. شبکه جاده‌های جنگلی از آن‌جا که شبکه جاده‌های عمومی انشعاب می‌گیرد و به‌این جاده‌ها متصل می‌باشد، می‌تواند زیرمجموعه‌ای از شبکه حمل نقل منطقه‌ای باشد.

1- Node, Vertex
2- Link, Edge
3- Sub-Graph

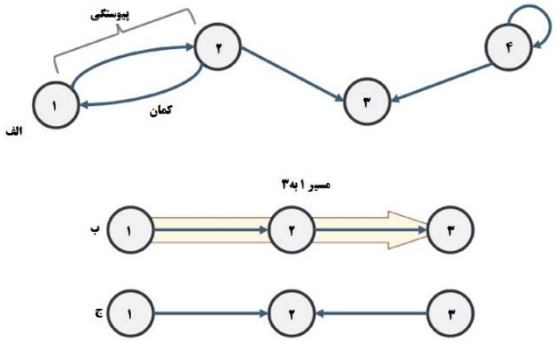
گراف مستوی (شبکه مسطح)[1]: تمام تقاطع‌های دو طرف کمان گره‌ها می‌باشند. این گراف‌ها مسطح می‌باشند. از نظر توپولوژی دو بعدی می‌باشند. شبکه‌های جاده و راه‌آهن از جمله این شبکه‌ها می‌باشند.
گراف نامستوی (شبکه غیر هم‌سطح)[2]: شبکه‌هایی که در آن گره‌ها همیشه در دو طرف کمان نیستند. و این شبکه‌ها از نظر توپولوژی سه بعدی هستند. شکل (۱) دو گراف مسطح و غیر مسطح را نشان می‌دهد. در شکل (۱- الف) بین خطوط هیچ نوع تداخلی وجود ندارد. شکل (۱- ب) شبکه غیر مسطح است و خطوط با هم همپوشانی دارند.



شکل ۱- شبکه‌های مسطح (الف) و شبکه‌های غیر هم سطح (ب) (رودریگو و همکاران، ۲۰۰۹).

کمان‌ها و ساختار آن‌ها: شبکه‌های حمل و نقل توانایی جابجا نمودن، مسافر، بار و اطلاعات که در مسیر کمان‌ها قرار می‌گیرند را دارند. شبکه جاده‌های جنگلی امکان حمل نقل چوب، محصولات فرعی و همچنین نیروی انسانی را برای انجام عملیات مختلف به جنگل فراهم می‌کند.
پیوستگی (اتصال)[3]: مجموعه‌ای از گره‌هایی که هر گره به دیگر گره‌ها متصل می‌باشد. پیوستگی امکان پیدا نمودن مسیر دسترسی به یک گره از سایر گره‌ها را در شبکه فراهم می‌نماید.
مسیر[4]: یک (سلسله) صف از کمان‌هایی است که در یک جهت حرکت می‌کنند. برای مسیری که بین دو گره وجود دارد باید حرکت (سفر) بدون جهت کمان‌ها وجود داشته باشد. پیدا نمودن تمام مسیرهای ممکن در شبکه از مشخصات پایه در اندازه‌گیری پیوستگی و جریان ترافیک می‌باشد. شکل (۲) پیوستگی و مسیر را در شبکه نشان می‌دهد.

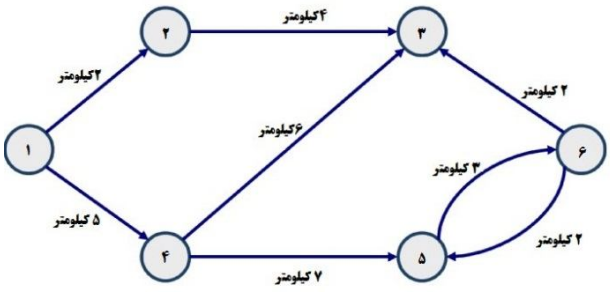
1- Planar Graph
2- Non Planar Graph
3- Connectivity
4- Path



شکل ۲- الف) ۵ کمان [(۱،۲)، (۲،۱)، (۳،۲)، (٤،۳)، (٤،٤)] و ۳ اتصال [(۲-۱)، (۳-۲)، (٤-۳)]، ب) مسیر بین ۱ و ۳ وجود دارد و ج) اما در ۲ بین ۱ و ۳ مسیر وجود ندارد. (رودریگو و همکاران، ۲۰۰۹).

زنجیره (سلسله)[1]: یک مجموعه از کمان‌ها که به همدیگر متصل هستند و در بین آن‌ها تبادل کالا مسافر صورت می‌گیرد، به‌عنوان مثال اتصال یاردهای طرح‌های جنگل‌داری به کارخانه‌های صنایع چوب می‌تواند یکه زنجیره باشد.

ارزش ارتباطی کمان: ارزش ارتباطی کمان بستگی به نوع خط، مسیر و یا اتصال دارد. پارامتراهایی مانند فاصله، ترافیک و ظرفیت حمل و نقل بار و مسافر می‌توانند برای بیان ارزش کمان به‌کار روند. به‌عنوان مثال در شکل (۳) از پارامتر فاصله برای بیان ارزش کمان‌ها استفاده شده است.

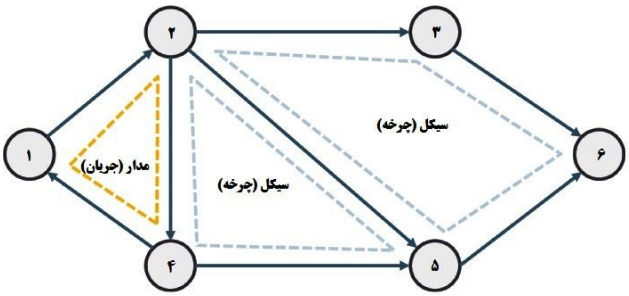


شکل ۳- طول خط (۲، ۳) ٤ کیلومتر، طول مسیر ۱ تا ٦ (۱-٤-۵-٦؛ ۳ قطعه) ۱۵ کیلومتر.

1- Chain

گردش (سیکل)[1]: زنجیره‌هایی که در ابتدا و انتها مشابه هستند و نمی‌توان بیشتر از یک بار در گردش از خطوط مشابه استفاده نمود.

جریان (مدار)[2]: مسیری که گره‌های ابتدایی و انتهایی با هم ارتباط دارند. سیکلی که جهت حرکت تمام مسیرها مشابه می‌باشد. جریان (مدار) در حمل و نقل خیلی با اهمیت است زیرا تعدادی از سیستم‌های پراکنش از جریان (مدار) جهت پوشش قلمرو (عرصه) در صورتی که فقط در یک مسیر امکان‌پذیر باشد، استفاده می‌نمایند شکل (٤).



شکل ٤- مسیرهای ۲-۳-٦-۵-۲ دارای سیکل و بدون جریان، مسیر ۱-۲-٤-۱ دارای سیکل و جریان.

دسته (گروه)[3]: زیر مجموعه‌ای کامل که تمام گره‌ها با هم متصل می‌باشند.

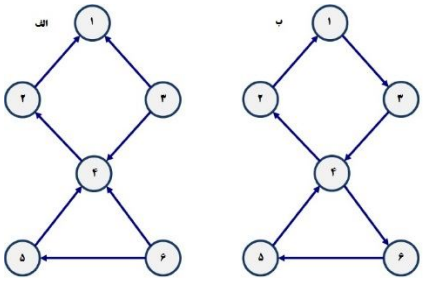
خوشه[4]: گروهی از گره‌ها که دارای رابطه بیشتری با یکدیگر نسبت به سایر گره‌های موجود در شبکه می‌باشند.

مشخصات ساختاری اصلی شبکه

کامل بودن[5]: شبکه‌ای کامل می‌باشد، که دو گره حداقل در یک گره باهم متصل باشند. شبکه کامل، زیر مجموعه ندارد و تمام گره‌ها باهم مرتبط می‌باشند در شکل ٦ شبکه ب و ج شبکه‌های ناقص و شبکه الف شبکه کامل محسوب می‌شود.

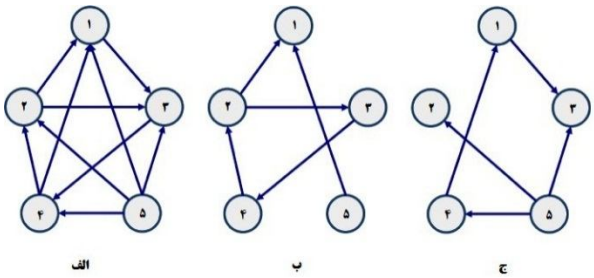
1- Cycle
2- Circuit
3- Clique
4- Cluster
5- Completeness

قابلیت اتصال[1]: شبکه کامل زمانی متصل تعریف می‌شود که تمام گره‌های جداگانه به‌صورت زنجیروار به هم وصل شده باشند. جهت برای اتصال گراف مهم نمی‌باشد، اما ممکن است فاکتوری برای سطح قابلیت اتصال باشد. اگر $p>1$ شبکه به‌طور کامل متصل نمی‌باشد زیرا بیشتر از یک زیرمجموعه (مؤلفه) دارد. سطوح مختلفی از اتصال با توجه به درجه هر جفت از گره‌های متصل شده وجود دارد شکل (٥).



شکل ٥- شبکه ب دارای دو مدار می‌باشد و قابلیت اتصال بیشتری نسبت به شبکه الف دارد.

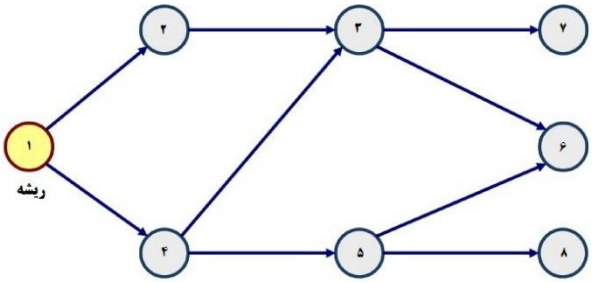
شبکه‌های مکمل[2]: دو زیر شبکه اگر باهم، ادغام شوند و یک شبکه کامل را تشکیل دهند، مکمل نامیده می‌شوند. در شبکه‌های حمل و نقل زمانی که هر زیر شبکه منفعتی برای دیگر زیر مجموعه‌ها داشته باشد، مکمل محسوب می‌شوند. شکل (٦)



شکل ٦- شبکه الف ساخته شده از شبکه ب، شبکه ج مکمل شبکه الف، ادغام شبکه ج و تشکیل شبکه ٦ الف.

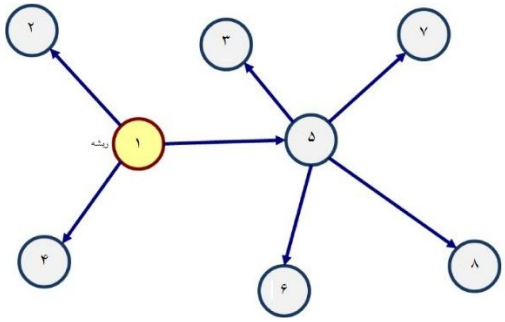
1- Connectivity
2- Complementarity

ریشه (اساس)[1]: گرهی که منشاء تمام مسیرهای شبکه باشد، ریشه نامیده می‌شود. در تعیین گره ریشه جهت دارای اهمیت می‌باشد. ریشه معمولاً نقطه شروع پراکنش شبکه است، یک کارخانه یا یک انبار می‌تواند یک ریشه باشد (شکل ۷).



شکل ۷- گره ۱ ریشه شبکه.

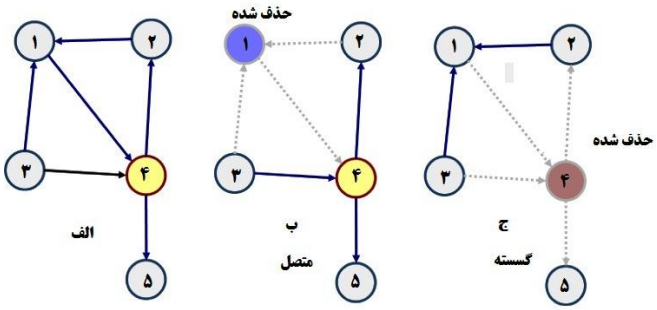
درختی[2]: شبکه‌ای که هیچ‌گونه سیکلی ندارد، درختی نامیده می‌شود. تعداد گره‌های شبکه درختی، یک عدد از تعداد کمان‌ها بیشتر می‌باشد **(e = v-1)**. اگر یک کمان حذف شود ارتباط شبکه قطع می‌شود. اگر یک کمان جدید بین دو گره ایجاد شود یک سیکل تشکیل می‌شود. انشعاب‌های ریشه زمانی درختی محسوب می‌شوند که یک کمان بیشتر از یک بار به یک گره وصل نشود. انشعاب رودخانه‌ها از نوع درختی محسوب می‌شود، انشعابات مسیر چوبکشی از جاده‌جنگلی نیز می‌تواند یک شبکه درختی باشد. شکل ۸ شبکه درختی را نشان می‌دهد.



شکل ۸- شبکه درختی.

1- Root
2- Tree

گره مفصلی[1]: گرهی که با حذف آن اتصال کل شبکه از بین برود گره مفصلی محسوب می‌شود. این مسئله در شبکه‌های با بیشتر از یک زیر مجموعه وجود دارد. گره‌های مفصلی به طور کلی قسمتی از یک فرودگاه یا مرکز مهم در سیستم حمل و نقل می‌باشد، که مانند یک گلوگاه عمل می‌نماید، که اغلب گره پل نامیده می‌شود. در شکل ٨ با حذف گره ١ در شبکه الف، شبکه ب به‌دست می‌آید، گره ١، گره مفصلی نمی‌باشد. اگر گره ٤ در شبکه الف حذف شود شبکه گسسته ج به‌دست می‌آید، گره ٤ گره مفصلی محسوب می‌شود.

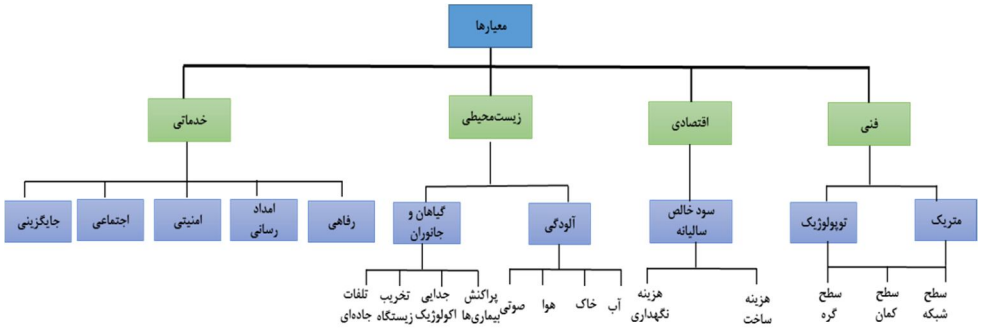


شکل ٨- چگونگی تأثیرگذاری گره مفصلی.

معیارهای شبکه جاده: میزان اهمیت کمان‌های ارتباطی، براساس معیارهای اثرگذار برعملکرد شبکه تعیین می‌شود. در صورت بروز حادثه، شبکه‌ای که نتواند دسترسی به فعالیت‌های مختلف را فراهم کند، آسیب‌پذیر خواهد بود. بنابراین، بسته به سطح انتظار از شبکه و مقدار وگسترش این فعالیت‌ها، معیارهای مؤثر بر عملکرد شبکه نیز، متنوع خواهند بود.

شبکه جاده در سطح کلان دارای معیارهایی مانند ناهمگنی[2]، قابلیت اتصال[3]، دسترسی[4]، توپولوژیک و متریک می‌باشد. کارایی شبکه جاده با این معیاهار بررسی می‌شود شکل ٩ معیارهای ارزیابی شبکه جاده را نشان می‌دهد.

1- Articulation Node
2- Heterogeneity
3- Connectivity
4- Accessibility



شکل ۹- معیارهای ارزیابی شبکه جاده.

معیار ارزش اقتصادی: ارزش اقتصادی بستگی از درآمد حاصل از جابجایی کالا و مسافر در کمان موردنظر منهای هزینه نگهداری سالیانه آن کمان، به‌دست می‌آید، به‌عنوان مثال با استفاده از معیار هزینه فایده تورکر رابطه ۲ ابتدا نقشه طبقه‌بندی شده یک واحد مدیریتی بر اساس معیار هزینه فایده تهیه می‌شود و سپس به کمک این نقشه، مناطقی که عبور جاده از آن‌ها از نظر اقتصادی منفعت بالاتری دارد مشخص می‌شود.

$$B/C = \frac{\sum_{K=M+1}^{n} \frac{G_K}{(1+i)^K} + \frac{H}{(1+i)^K}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{I^j}{(1+i)^j}}$$ رابطه (۲)

B، فایده یا سود، C، هزینه، G_K، هزینه استهلاک سرمایه، I، هزینه سرمایه‌ای سالانه، H، قیمت اسقاطی، K، عمر اقتصادی، j، سال‌های هزینه، i، نرخ بهره واقعی، m، کل سرمایه‌گذاری (لطفعلیان و پارساخو، ۲۰۱۲).

هزینه ارزش[1]: نشان‌دهنده طول کل شبکه در فاصله واقعی می‌باشد رابطه (۳)، که در آن aij، وجود (۱) یا عدم وجود (۰) کمان بین i و j می‌باشد و lij طول کمان می‌باشد. این معیار اغلب می‌تواند بر اساس دو بعد دیگر شبکه انجام شود که محاسبه آن بر اساس شعاع حداقل درخت[2] و حداکثر اتصال شبکه[3] مسطح صورت می‌گیرد رابطه (٤). شعاع حداقل درخت نشان‌دهنده کوتاه‌ترین و کم هزینه‌ترین زیر درخت شبکه می‌باشد و می‌تواند با استفاده از الگوریتم[4]، که کم هزینه‌ترین مسیر را بین گره‌های شبکه پیدا می‌کند، به‌دست آید. (رودریگو و همکاران، ۲۰۰۹ و کوفی، ۲۰۱۰).

1- Cost
2- Minimum Spanning Tree (MST)
3- Greedy Triangulation (GT)
4- Kruskal

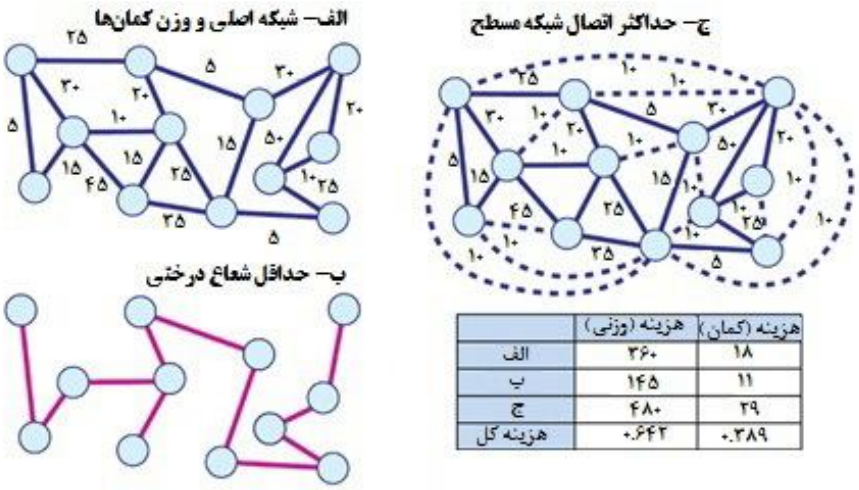
رابطه (٣) $Cost= \sum a_{ij} l_{ij}$

Aij، وجود (١) یا عدم وجود (٠) کمان بین i و j، lij= طول کمان

رابطه (٤) $Cost=\frac{Cost-Cost^{MST}}{COST^{GT}-COST^{MST}}$

MST، کوتاه‌ترین و کم هزینه‌ترین زیر درخت شبکه، GT، حداکثر اتصال شبکه مسطح با حفظ همان تعداد گره‌ها از شبکه اصلی اما با اضافه کردن کمان‌هایی بدون از بین بردن مسطح بودن آن.

استخراج هزینه بهینه مسیر از یک شبکه توسط الگوریتم کروسکال انجام می‌شود، که با تعیین یک خط که تمام گره‌ها را با کمترین هزینه (حداقل شعاع درختی) به هم وصل می‌کند، صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال در شکل (١٠) هزینه شبکه از لحاظ وزنی ٠/٦٤٢ و مطلوب‌تر از حالت کمانی ٠/٣٨٩ می‌باشد (رودریگو و همکاران، ٢٠٠٩ و کوفی، ٢٠١٠).



	هزینه (وزنی)	هزینه (کمان)
الف	٣٦٠	١٨
ب	١٤٥	١١
ج	٤٨٠	٢٩
هزینه کل	٠.٦٤٢	٠.٣٨٩

شکل ١٠- انواع شبکه و هزینه‌های آن.

معیار اهمیت جایگزینی: در شرایط اضطراری، راه‌هایی که مسیر جایگزین مناسب ندارند، اهمیت بیشتری می‌یابند، زیرا انسداد آن‌ها، منجربه افزایش زمان‌های سفر در شبکه می‌شود و از این‌رو بایستی مورد توجه قرار گیرند. اهمیت جایگزینی برای کمان به‌صورت میزان تأثیر عدم وجود آن کمان در شبکه بر مجموع زمان افزایش یافته کلیه مبدأ- مقصدها به نسبت حالت وجود آن کمان در شبکه

تعریف شده است رابطه ۵ معیار اهمیت جایگزینی را نشان می‌دهد (شریعت مهیمنی و کاظمی، ۲۰۱۰).

$$I_K = \left(\frac{T_K^0 - T^0}{T^0}\right)$$ رابطه (۵)

I_K، معیار اهمیت جایگزنی کمان K، T^0، مجموع زمان‌های طی‌شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه در حالت وجود کمان k، T^0_K، مجموع زمان‌های طی شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه در حالت بدون وجود کمان.

معیار اهمیت امنیتی- دفاعی: اهمیت امنیتی- دفاعی با زیرمعیارهای پاسگاه انتظامی، تأسیسات امنیتی- دفاعی، پادگان نظامی و منطقه مرزی تعریف شده است. نحوه محاسبه اهمیت جزئی کمان‌ها، برمبنای نزدیکی این زیرمعیارها به کمان‌های شبکه در نظر گرفته می‌شود. به این‌صورت که نسبت عکس فاصله شعاعی هر یک از این زیر معیارها تا وسط کمان موردنظر، به مجموع عکس فواصل شعاعی هریک از زیر معیارها تا وسط هر یک از کمان‌های شبکه، به‌عنوان اهمیت جزئی آن کمان برای آن زیر معیار، منظور می‌شود. لازم به ذکراست که دلیل انتخاب فاصله شعاعی، امکان ارزیابی نسبی در تمام گستره شبکه است. این معیار با استفاده از رابطه ٦ به‌دست می‌آید (شریعت مهیمنی و کاظمی، ۲۰۱۰).

$$S_K = \frac{\sum_i \frac{1}{r_{ik}}}{\sum_{i,k} \frac{1}{r_{ik}}}$$ رابطه (٦)

S_K، معیار اهمیت امنیتی- دفاعی کمان K، r_K، فاصله شعاعی هر زیرمعیار اهمیت امنیتی- دفاعی کمان i تا وسط کمان K

معیار اهمیت اجتماعی: راه‌هایی که از نظر اجتماعی، اهمیت بیشتری دارند، در صورت آسیب دیدن، خسارات بیشتری در پی خواهند داشت. این اهمیت می‌تواند بر اساس تقاضای عبور از مسیر، تعداد ساکنین مناطق حوزه نفوذ مسیر مورد مطالعه و یا اهمیت نقاط مبدأ و مقصد از نظر سیاسی تعیین شود. برای محاسبه اهمیت جزئی کمان‌ها برمبنای زیرمعیارهای تعریف شده، ابتدا مقادیر وزن‌های نسبی گره‌های اصلی شبکه از نظر هریک از این زیرمعیارها تعیین می‌شود. سپس به تفکیک هر زیر معیار، برای هر زوج مبدأ- مقصد، میانگین وزن مربوط به گره مبدأ و گره مقصد محاسبه می‌شود و این مقدار میانگین به‌عنوان نمره مسیر ارتباطی میان آن زوج مبدأ- مقصد در نظر گرفته می‌شود.

معیار اهمیت امدادرسانی: قابلیت دسترسی به مراکز امدادرسانی با توجه به اهمیت وجود آن‌ها در شرایط اضطراری، بسیار حیاتی است اهمیت امداد رسانی با زیرمعیارهای پاسگاه پلیس‌راه، راهدارخانه، مرکز درمانی، فوریت‌های پزشکی و پایگاه هلال احمرتعریف شده است. نحوه محاسبه این معیار نیز مشابه روش استفاده شده در معیار اهمیت امنیتی- دفاعی برمبنای میزان نزدیکی زیرمعیارها به کمان‌های شبکه است.

معیاراهمیت خدماتی رفاهی: باتوجه به نیاز مردم به آب، برق، سوخت و ارتباطات، تأمین دسترسی مسیرهایی که تأسیسات زیربنایی و اماکن خدماتی در آن‌ها وجود دارد، از اهمیت فراوانی برخوردار است اهمیت خدماتی- رفاهی با زیرمعیارهای مناطق شهری و روستایی، اماکن خدماتی و مجتمع‌های رفاهی بین راهی تعریف شده است. نحوه محاسبه این معیار نیز مشابه روش‌های پیشین است.

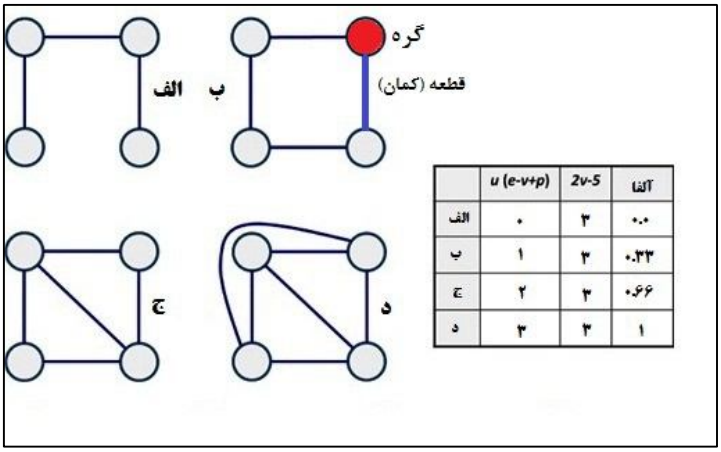
معیار اهمیت تفریحی- زیارتی: شناسایی مکان‌های تفریحی و زیارتی و مسیرهای منتهی به این نقاط دارای اهمیت بوده و مسیرهایی که اماکن مذهبی و تاریخی و همچنین جاذبه‌های تفریحی و گردشگری بیشتری داشته باشند، از نظر معیار اهمیت تفریحی- زیارتی از اهمیت بیشتری برخور دارند.

معیارهای فنی

شاخص آلفا (α): شاخص آلفا از مفهوم مدار محدود، ابتدا و انتهای مسیر بسته در محل یک گره استفاده می‌نماید (دیل، ٢٠٠٤). شاخص α نسبت بین تعداد جریان‌های مشاهده شده و حداکثر جریان با توجه به گراف است. برای شبکه‌های کاملاً متصل شاخص برابر یک و با کاهش ارتباط مقدار آن به صفر نزدیک می‌شود (وزیری و مستقیمی، ٢٠٠٥؛ اکسی و لوینسون، ٢٠٠٧؛ رودریگو و همکاران، ٢٠٠٩؛ آدرامو و مگاجی، ٢٠١٠ و کوفی، ٢٠١٠). 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 ٧ به‌دست می‌آید و شکل ١١ شکل شماتیک آن را نشان می‌دهد.

رابطه (٧) $$\alpha = \frac{e-v+1}{2v-5}$$

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 ۱۱- حالت شماتیک شاخص آلفا.

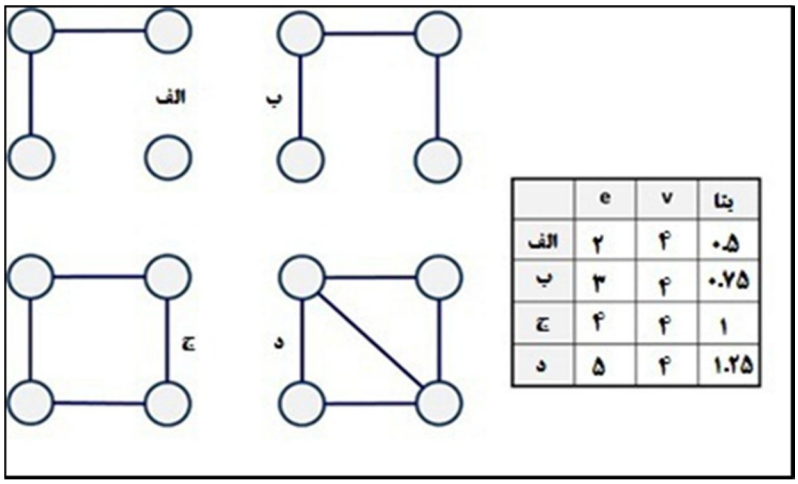
شاخص بتا (β)*:* شاخص بتا نسبت قطعات به گره می‌باشد، و معیار کامل بودن شبکه می‌باشد. این شاخص سطح اتصالات شبکه جاده را اندازه‌گیری می‌نماید (منوچهری و مستقیمی، ۲۰۰۵؛ اکسی و لوینسون، ۲۰۰۷؛ آدرامو و مگاجی، ۲۰۱۰ و کوفی، ۲۰۱۰). شاخص بتا با استفاده از رابطه ۸ به‌دست می‌آید.

رابطه (۸) $$\beta = \frac{e}{v}$$

e، تعداد قطعات، v، تعداد گره‌ها

زمانی‌که 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 (آدرامو و مگاجی، ۲۰۱۰ و کوفی، ۲۰۱۰). مقدار این شاخص در شبکه‌های ساده کمتر از یک می‌باشد، همچنین در شبکه‌هایی که دارای یک اتصال (چرخش) است شاخص بتا برابر یک می‌باشد. در شبکه‌های 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 (کوفی، ۲۰۱۰). شبکه‌های کامل دارای نسبت ۲/۵ می‌باشند. برای انجام فرایند برنامه‌ریزی شبکه در نظر گرفتن نسبت ۱/٤ (نیمه راه حداکثر کردن ارزش باشد) برای شاخص بتا مناسب می‌باشد (دیل، ۲۰۰٤ و کوفی، ۲۰۱۰). این شاخص مقدار

طول قطعات را نشان نمی‌دهد. شکل ۱۲ حالت شماتیک شاخص بتا 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 ۱۲- حالت شماتیک شاخص بتا.

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 به‌صورت تئوری بیان می‌کند (آدرامو و مگاجی، ۲۰۱۰ و کوفی، ۲۰۱۰). محاسبه شاخص گاما از طریق رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

رابطه (۹) $$\gamma = \frac{e}{3(v-2)}$$

e، تعداد قطعات، v، تعداد گره‌ها

مقدار به‌دست آمده برای این شاخص بین صفر و یک می‌باشد. ($1>\gamma>0$). زمانی‌که مقدار شاخص یک باشد نشان‌دهنده اتصال کامل در شبکه می‌باشد و مقدار صفر به معنی اتصال ضعیف می‌باشد.

شاخص تغییر مسیر[1]: اندازه‌گیری کارایی شبکه حمل و نقل و چگونگی غلبه بر فاصله و مسئله فاصله‌ای را بیان می‌کند. مقدار این شاخص از تقسیم فاصله افقی بر فاصله روی شبکه (فاصله واقعی) به‌دست می‌آید، که از طریق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود (کوفی، ۲۰۱۰).

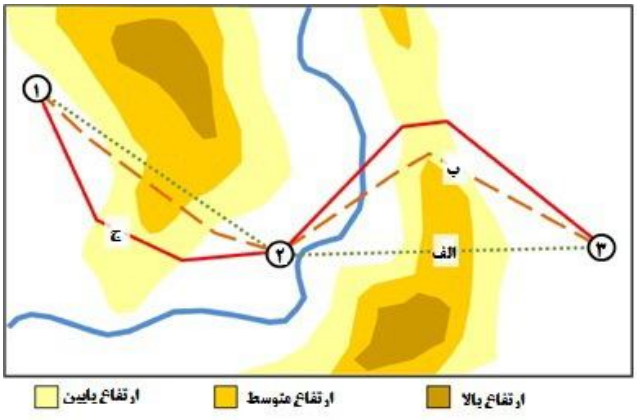
رابطه (۱۰) $$DI = \frac{d}{L}$$

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

هر چه 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 بعد است و ارزش‌های آن از صفر تا یک می‌باشد. به‌عنوان مثال فاصله مستقیم بین دونقطه ٤٠ کیلومتر است، و فاصله واقعی ۵۰ کیلومتر می‌باشد، پس مقدار این شاخص برابر ۰/۸ می‌باشد. پیچیدگی توپوگرافی شاخص خوبی برای سطح انحراف می‌باشد.

تأثیر توپوگرافی بر انتخاب مسیر: مشخصات فیزیکی فضایی، مانند توپوگرافی به‌طور واضح بر فرایند انتخاب مسیر تأثیر می‌گذارد. مسیر بین نقطه ۱ و ۳ و نقطه میانی ۲ ممکن است از مستقیم‌ترین راه استفاده شود. شاخص انحراف مسیر در جدول نشان (۱) و شکل ۱۳ نشان داده شده است. مسیر الف نزدیکترین است اما از لحاظ هزینه ساخت گرانترین است. مسیر ب جهت کاهش هزینه یک مقدار منحرف شده است، مسیر ج منطقی‌ترین مسیر است. زیرا بین هزینه ساخت و میزان انحراف رابطه منطقی می‌باشد.

1- Detour index



شکل ۱۳- مسیر مستقیم و انحرافی بین مسیرهای الف، ب و ج.

جدول ۱- طول مسیر مستقیم و انحرافی بین مسیرهای الف، ب و ج.

شاخص تغییر مسیر	طول مسیر انحرافی (۲۰ کیلومتر)	طول مسیر مستقیم (۲۰ کیلومتر)	مسیر
۱	۲۰	۲۰	الف
۰/۸	۲۵	۲۰	ب
۰/٦٦٦	۳۰	۲۰	ج

تراکم شبکه[1]: تراکم شبکه جاده نسبت طول شبکه جاده به کیلومتر به سطح به کیلومتر مربع. تراکم شبکه جاده توسعه شبکه را به توجه سطح موردنظر تجزیه و تحلیل می‌کند. رابطه ۱۱ روش محاسبه تراکم شبکه را نشان می‌دهد (کوفی، ۲۰۱۰).

رابطه (۱۱) $$ND = \frac{L}{A}$$

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

واحد تراکم براساس کیلومتر/ کیلومتر مربع و یا براساس مقیاس منطقه می‌باشد. در سطوح بزرگ واحد آن، متر/ هکتار و در سطوح کوچکتر، متر/ مترمربع می‌باشد.

1- Network density

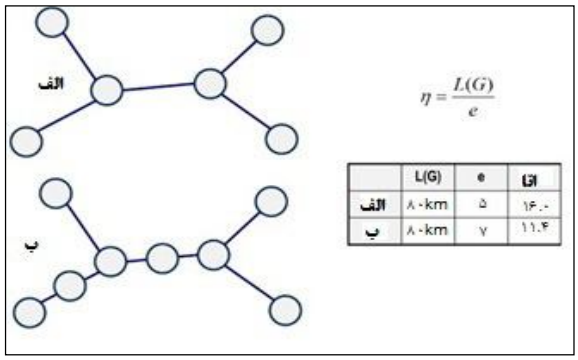
شاخص پی (π): این شاخص ارتباط بین محیط و قطر شبکه را نشان می‌دهد، محیط طولانی‌ترین فاصله بین دورترین گره‌ها را نشان می‌دهد. رابطه ۱۲ محاسبه شاخص پی را نشان می‌دهد.

رابطه (۱۲) $$\pi = \frac{L(G)}{D(d)}$$

π، شاخص پی، L، محیط، D، قطر شبکه

شاخص ا تا (η): این شاخص میانگین طول قطعات را در شبکه اندازه‌گیری نموده و سرعت ترافیک شبکه را محاسبه می‌نماید و از طریق رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود (کوفی، ۲۰۱۰). شکل ١٤ حالت شماتیک این شاخص را نشان می‌دهد.

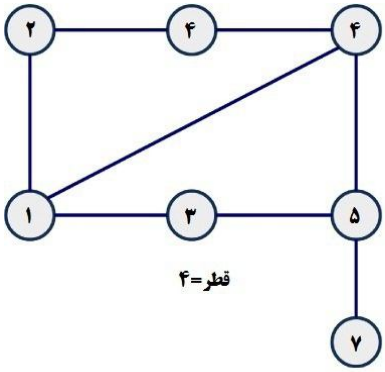
رابطه (۱۳) $$\eta = \frac{L(G)}{e}$$



شکل ١٤- حالت شماتیک شاخص پی.

قطر[1]: کوتاه‌ترین فاصله بین دورترین گره‌های شبکه قطر نامیده می‌شود. قطر میزان وسعت شبکه و طول توپولوژیکی بین دو گره را محاسبه می‌کند. در شکل ۱۵ تعداد کمان‌های بین دورترین گره‌های (۲ و ۷) ٤ می‌باشد. که متعاقباً قطر آن ٤ می‌باشد. بیشترین میزان فاصله توپولوژیکی ماتریس فوق ٤ می‌باشد (رودریگو و همکاران، ۲۰۰۹ و کوفی، ۲۰۱۰).

1- Diameter (d)



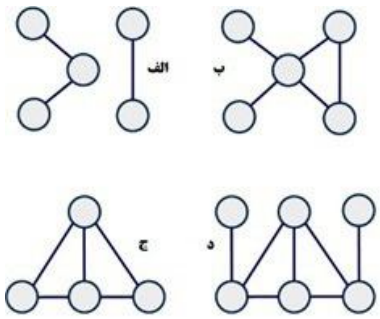
فاصله نمایشی							
۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۰	۱	۱	۲	۲	۱	۳
۲	۱	۰	۲	۱	۳	۲	۴
۳	۱	۲	۰	۳	۱	۲	۲
۴	۲	۱	۳	۰	۲	۱	۳
۵	۲	۳	۱	۲	۰	۱	۱
۶	۱	۲	۲	۱	۱	۰	۲
۷	۳	۴	۲	۳	۱	۲	۰

شکل ١٥- قطرگراف.

شاخص تعداد سیکل‌ها[1]: این شاخص حداکثر تعداد سیکل‌های مستقل در شبکه را نشان می‌دهد. شبکه‌های درختی و شبکه‌های ساده فاقد سیکل می‌باشند. شبکه‌های پیچیده دارای مقدار u می‌باشد، و u می‌تواند شاخصی برای توسعه پیچیدگی شبکه حمل و نقل به‌کار رود. روش محاسبه تعداد سیکل‌ها در رابطه ١٤ و شکل ١٦ نشان داده است (رودریگو و همکاران، ٢٠٠٩ و کوفی، ٢٠١٠).

رابطه (١٤) $u=e-v+p$

u، تعداد سیکل، e، تعداد کمان، p، تعداد زیر شبکه



	e	v	p	u
الف	۳	۵	۲	۰
ب	۵	۵	۱	۱
ج	۵	۴	۱	۲
د	۷	۶	۱	۲

شکل ١٦- تعداد سیکل.

1- Number of Cycles

بحث و نتیجه‌گیری

معیارهای بررسی شده در این مطالعه به‌طوری کلی برای شبکه جاده‌های عمومی در سطح منطقه‌ای استفاده شده است و در جاده‌های جنگلی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند اما این به منزله استفاد نکردن از آن‌ها در جاده‌های جنگلی نمی‌باشد. چون معیارهای استفاده شده در جاده‌های جنگلی بیشتر سطحی بوده و به مواد چون درصد پوشش و تراکم پرداخته‌اند. اما معیارهای توپولوژیک و متریک به‌طور تخصصی تمام اجزای شبکه را در مقیاس‌های متفاوت مورد بررسی قرار داده و در برنامه‌ریزی منطقه‌ای و همچنین توسعه شبکه می‌تواند مفید باشد و همچنین استفاده از آن در محیط GIS امکان‌پذیر است (منوچهری و مستقیمی، ۲۰۰۵؛ رودریگو و همکاران، ۲۰۰۹ و کوفی، ۲۰۱۰) و از سوی دیگر به‌صورت گسترده در سطح جهان استفاده شده است و منابع برای استفاده از موجود می‌باشد. از معیارهای آلفا، بتا، هزینه و قطر در برنامه‌ریزی شبکه جاده‌های جنگلی و همچنین برنامه‌ریزی شبکه جاده در سطح حوضه آبخیز می‌توان استفاده نمود، نیاز تخصص بالا در زمینه علوم ریاضی، هندسه، جغرافیا و مهندسی حمل و نقل دارد از نقاط ضعف معیارهای فنی می‌باشد.

معیارهای اقتصادی بیشتر رابطه بین هزینه ساخت و درآمدها ناشی از جریان ترافیک را می‌نماید و استفاده از این معیارها در هر مقیاس مکانی حتی در سطح یک کمان انجام می‌شود (رودریگو و همکاران، ۲۰۰۹ و کوفی، ۲۰۱۰). همچنین استفاده از آن در جاده‌های جنگلی و همچنین جاده موجود در سطح حوزه، آبخیز امکانپذیر است. این معیارها هزینه نگهداری و تأثیرات اقتصادی در مقیاس زمانی طولانی را کمتر مورد توجه قرار داده‌اند و استفاده از این معیارها بیشتر توسط مهندسین انجام شده و کمبود کارشناسان اقتصادی در استفاده از آن مشاهده می‌شود.

هدف اصلی ساخت جاده حمل و نقل کالا و دسترسی به یک مکان می‌باشد. در معیارهای خدماتی بین مقدار خدمات ارائه شده و تراکم جاده رابطه ایجاد گردد. استفاده از نتایج آن هشداری برای مسئوالان برای توسعه شبکه جاده است چون با استفاده از این معیارهاست که می‌توان میزان انتظار از شبکه جاده در را خدمات‌رسانی به کاربری‌های مختلف مورد ارزیابی قرار داد. (شریعت مهیمنی و کاظمی، ۲۰۱۰). این معیارها در تمام مقیاس‌های مکانی شبکه (حتی سطح یک کمان) و مدیریتی (طرح جنگلداری، حوضه آبخیز) قابل استفاده هستند، از آن‌جا که متخصصین مهندسی جنگل بیشتر ارزیابی و طراحی شبکه جاده‌های جنگلی را در سطح شبکه انجام می‌دهند، انتظار که استفاده از این معیارها در ارزیابی شبکه جاده‌های جنگلی می‌تواند مفید واقع شود. بیشتر معیارها به‌صورت فرمول ریاضی

می‌باشد و استفاده از آن برای کاربران مشکل می‌باشد همچنین استفاده از این معیارها نیاز به افراد متخصص در زمینه علوم اجتماعی، اقتصاد، کشاورزی و منابع طبیعی، جغرافیا و علوم مهندسی و غیره دارد.

رهیافت‌های ترویجی

این مطالعه که به شناسایی و معرفی معیارهای فنی، اقتصادی و خدماتی شبکه پرداخته است که بیشتر در جاده‌های عمومی استفاده شده است، این بررسی می‌تواند گزینه‌های دیگر را برای ارزیابی شبکه جاده‌ها در واحدهای مدیریتی جنگل و حوزه آبخیز در اختیار محققان این زمینه قرار دهد. در صورت استفاده از این معیارها برای ارزیابی شبکه جاده‌های جنگلی پیشنهاد می‌شود با توجه به شرایط اقلیمی، فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه معیارها و شاخص‌های بومی ارائه گردد و معیارهای مناسب از میان گزینه‌های ارائه شده معرفی شوند. همچنین از متخصصان مرتبط با هر کدام از معیارها نظر خواهی شود، و به مسئله ارزیابی جاده‌ها در هر مقیاسی و در هر مطالعه‌ای به صورت یک مسئله بین رشته‌ای پرداخته شود.

منابع

1. Aderamo, A.J., and Magaji, S.A. 2010. Rural transportation and the distribution of public facilities in Nigeria, A Case Local Government Areas in Kwara State. Journal of Human Ecology, 29(3): 171-179.
2. Dill, J. 2004. Measuring network connectivity for bicycling and walking. Join Congress of ACSP- AESOP, Leuven, Belgium, 17 May, 20p.
3. Husdal, J. 2000. Network analysis– Network versus vector– A comparison study. Unpublished course paper for the MSc in GIS. University of Leicester, UK. 13p.
4. Kofi, G.E. 2010. Network based indicators for prorating the location of a new urban transport connection, Case study: Istanbul, Turkey. phd Thesis submitted to International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Specialization, (Urban planning and Management). 101p.
5. Lotfalian, M., and Parsakhoo, A. 2012. Forest road network planning. Aeezh press, 155p. (In Persian)
6. Lupien, E., Moorl, H., and Dagermond, W. 1987. Network analysis in geographicinformation systems. Photogrametric Engineering and Remote Sensing, 53(10): 1417–1421.

7. Narimani, G. 2007. Geometric design of highways. University of Tehran press, 584p. (In Persian)
8. Rodrigue, J., Comtois, C., and Slack, B. 2009. The Geography of transport systems, *New* York: Routledge, 276p.
9. Sadeghi- Niaraki, A., Varshosaz, M., Kim, K., and Jung, J. 2011. Real world representation of a road network for route planning in GIS. Expert Systems with Applications, 38: 11999–12008.
10. Shariat Mohaymany, A., and Kazemi, A.A. 2010. Implementation of risk index based on accessibility measure for increasing the reliability of Kurdistan province roadway network, Journal of Transportation, 7(3): 227-245. (In Persian)
11. Vaziri, M., and Mostaghimi, S. 2005. Evaluation of road network of high ways Asia and the Pacific. [2]End National Congress on Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, 13 May 2005, Tehran. Pp: 1-6. (In Persian)
12. Xie, F., and Levinson, D. 2007. Measuring the structure of road networks. Geographical Analysis, 39: 336–356.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 4 (2), 2015
http://ejang.gau.ac.ir

Investigation methods evaluation of forest road network according to graph theory

***M. Mostafa[1], Sh. Shataee Jouibary[2], M. Lotfalian[3] and A. Sadoddin[4]**
[1]Ph.D. Student of Forest Sciences and Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, [2]Associate Professor, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, [3]Associate Professor, Department of Forestry, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, [4]Associate Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 2015/05/14 ; Accepted: 2015/07/05

Abstract

This research has been done in order to review and introduce the technical, economic and services criteria in regional and watershed level. First, the road network components in form of graph theory (node, link, sub-graph, and buckle), road network (planar and non-planar graphs), link structural characteristics (connectivity, chain, length of link, cycle, circuit, clique and cluster), network structural characteristics (connectivity, complementarity, tree networks, root and articulation node) were investigated. Then economic criteria (Turker cost-benefit, value cost), services criteria of importance (replacement, security-defensive, social, rescue, welfare and recreational-pilgrimage) and technical (α, β,γ indices, detour Index, network density, π, η, diameter and number of cycles) were identified. Result showed that regarding the common characteristics between forest road networks and public roads all of the economic and services criteria and some of the technical criteria such as α and β indices, diameter and network density are suitable criteria for comprehensive evaluation of forest road networks.

Keywords: Forest road networking, Technical, Economic and services criteria, Ggraph theory

*Corresponding author: mohsenmstf@gmail.com