مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند نوین»
سال پنجم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳؛ ص ۵۹-۴۹

توسعه یک ابزار حامی تصمیم‌گیری مکانی به منظور تعیین راه‌های استراتژیک

سید مرسل قوامی[۱]، محمد طالعی[۲*]، محسن جعفری[۳]، رضا آقا طاهر[۳]

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۲- استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،
۳- مدیر تحلیل داده‌های مکانی و مسئول اداره GIS سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح

(دریافت: ۹۲/۰۶/۰۴، پذیرش: ۹۳/۰۲/۲۲)

چکیده

زیر ساخت‌های حیاتی هر کشوری از جمله زیر ساخت حمل و نقل، نقش اساسی را در هنگام وقوع بحران ایفا می‌کند. ولی این زیرساخت‌ها همواره از سوی حوادث طبیعی از جمله سیل، زلزله و غیره و همچنین حوادث غیرطبیعی از جمله جنگ، حوادث تروریستی و غیره مورد تهدید هستند. بنابراین شناسایی، حفظ، استحکام بخشی و توسعه این زیرساخت‌ها امری مهم برای مقابله با بحران می‌باشد. در این تحقیق یک ابزار حامی تصمیم‌گیری مکانی با عنوان ISRT طراحی و توسعه داده شد. با استفاده از این ابزار راه‌های منطقه مورد مطالعه براساس چهار معیار ظرفیت عبوری راه، دسترسی به مکان‌های نظامی، میزان آسیب‌پذیری راه و همچنین اهمیت راه در شبکه هندسی راه‌ها، مورد سنجش قرار می‌گیرند. سپس با ارائه یک مفهوم کلی با عنوان راه‌های استراتژیک راه‌های مورد مطالعه رتبه‌بندی می‌شوند. این ابزار قادر خواهد بود تا در تعامل با تصمیم‌گیر، اولویت‌های او را اخذ نموده و اولویت‌های او را دررتبه‌بندی راه‌ها تأثیر داده و نتایج حاصل را به صورت نقشه نمایش دهد. نتایج حاصل از ابزار نشان می‌دهد که ۸ درصد از مجموع راه‌های مورد مطالعه استراتژیک می‌باشند.

کلید واژه‌ها: مدیریت بحران، راه استراتژیک، ظرفیت عبوری، دسترسی، آسیب‌پذیری، اهمیت راه.

Development of a Spatial Decision Support System Tool for Identifying Strategic Roads

S. M. Ghavami, M. Talaei[*], M. Jafari, R. Aghataher
K. N. Toosi University of Technology
(Received: 26/08/2013; Accepted: 12/05/2014)

Abstract

Any country's vital infrastructure, including transportation, plays a major role in a disaster situation. As transportation networks are threatened by different events such as natural disasters (e.g., earthquakes) and also man-made disasters (e.g., terrorism).Therefore, the identification, protection, stability, and development of transportation infrastructure is a vital issue during a disaster. In this paper, a spatial decision support tool, termed ISRT, is proposed. By using this tool, the road transportation network performance is evaluated based on four criteria, i.e., capacity of the roads, accessibility of the roads to military locations, vulnerability of the roads and the importance of the roads in the geometric structure of the network. By proposing the concept of strategic roads, the road networks, studied in this paper, are ranked. The tool is able to interact with decision-makers, receive their priorities and show the results on a map. The results indicate that eight percent of the roads under study are strategic.

Keywords: Disaster Management, Strategic Roads, Road Capacity, Accessibility, Vulnerability, Road importance.

[*] Corresponding Author E-mail: taleai@kntu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

هدف کلی این مقاله ارائه روشی برای تعیین راه‌های استراتژیک می‌باشد. تعاریف زیادی برای راه‌های استراتژیک تاکنون ارائه شده و در اکثر تحقیق‌ها از مفهومی به نام «آسیب پذیری» برای تعیین راه‌های استراتژیک استفاده شده است. ولی تاکنون تعریف واحدی از مفهوم آسیب‌پذیری مورد پذیرش محققین قرار نگرفته است. هولمگرن [۱] آسیب‌پذیری شبکه را «میزان حساسیت شبکه به تهدیدات و خطرات» تعریف می‌کند و در آن تأکید بیشتر بر روی پدیده‌های منفی است که کارکرد سیستم را کاهش می‌دهند. سایر نویسندگان بر وقوع پدیده‌های نادر یا بر وقوع پدیده‌های غیرقابل پیش بینی و ناگهانی تأکید دارند [۲-۳]. آبراهامسون [۴] یادآوری می‌کند که مفهوم آسیب‌پذیری به صورت ضمنی حاوی این مطلب است که «حملات کوچک دارای نتایج بزرگی هستند»، به عبارت دیگر اگر یک اتفاق یا پدیده کوچکی در یک مکان یا زمان نامطلوب (بحرانی) رخ دهد، موجب ایجاد تخریب زیاد یا خرابی و ناکارآمدی کل سیستم به صورت زنجیره‌وار می‌شود. بردریکا [۵] آسیب‌پذیری را «آسیب‌پذیری به اتفاقات می‌داند که می‌تواند منجر به کاهشی محسوس در سرویس‌دهی شبکه راه‌ها شود». هاسدال [۶]«آسیب‌پذیری را ناکارآمدی شبکه تحت یک شرایط معین تعریف می‌کند». دی استه و تیلور [۷] اظهار داشتند که «گره‌ای آسیب‌پذیر است اگر کاهش و یا فقدان تعدادی از پیوندها و ارتباطات موجب حذف دسترسی به یک گره گردد.». دولت فدرال استرالیا زیرساخت‌های استراتژیک را این چنین تعریف می‌نماید: «زیرساخت استراتژیک، زیرساختی که اگر آسیب ببیند یا مختل شود و برای مدتی قابل استفاده نباشد، منجر به ایجاد تأثیری محسوس در سایر بخش‌ها از جمله بخش‌های اقتصادی- اجتماعی یا بخش‌های مربوط به امنیت ملی یا دفاعی کشور شود»[۸].

براساس تعاریف و دیدگاه‌های مختلف نسبت به راه‌های استراتژیک، تاکنون مطالعات زیادی در زمینه راه‌های استراتژیک انجام پذیرفته است. یکی از مطالعات مربوط به کوئیم و هاکیو [۹] برای تعیین راه‌های استراتژیک کشور بنگلادش است. هدف مطالعه آن‌ها ارزیابی قابلیت اعتماد و کامل بودن سیستم شبکه راه‌های بنگلادش می‌باشد. اینکه شبکه راه‌های کشور بنگلادش تا چه میزان کامل بوده و دارای هم‌پوشانی کافی در زمان وقوع بحران می‌باشند. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های اتصالی مانند شاخص‌های آلفا و گاما و با استفاده از تئوری گراف ویژگی‌های هندسی (نظیر کامل بودن) شبکه راه‌های بنگلادش اندازه‌گیری شده است. تیلور و همکاران [۱۰] گزارشی را تهیه کردند که در آن چگونگی تهیه نقشه راه‌های استراتژیک استرالیا تشریح شده است. آن‌ها از شاخص اهمیت و روش‌های پیمایش شبکه برای مطالعه و تعیین گره‌ها و یال‌های استراتژیک و مهم در شبکه راه‌ها استفاده کرده‌اند. ژیانگ و ناگورنی [۱۱] در ابتدا به معرفی معیار ارائه شده توسط لاتورا و مارچیوری [۱۲] برای اندازه‌گیری عملکرد یک شبکه وزن‌دار بحث کرده‌اند، سپس آن‌ها بیان کردند که اگرچه سایر محققین از شاخص‌های مختلفی برای اندازه‌گیری عملکرد شبکه و تعیین یال‌ها و گره‌های آسیب‌پذیر استفاده کرده‌اند ولی وجه تمایز کار آن‌ها استفاده از یک شاخص یکپارچه برای برآورد اهمیت گره‌ها، یال‌ها و یا هر دو در مواقع تقاضا می‌باشد. جنلیوس و همکاران [۱۳] به ارزیابی راه‌های کشور سوئد پرداختند. آن‌ها دو مفهوم اهمیت و معرضیت برای تعیین یال‌های بحرانی و آسیب‌پذیر ارائه دادند. در مطالعه‌ای که موسوی [۱۴] بر روی شبکه راه‌های استان بوشهر انجام داد، دو معیار وضعیت شبکه راه‌ها برای انتقال تجهیزات نظامی و وضعیت طبیعی منطقه مورد مطالعه، برای ارزیابی شبکه راه‌های استان انتخاب شده‌اند. او بیان داشت که راه و شبکه حمل و نقل در عملیات‌های نظامی باید پاسخگوی نیازهای جابه‌جایی‌های مانوری و پشتیبانی خدمات رزمی نیروها باشد. مقدم و امینی [۱۵] شبکه راه‌های ارتباطی استان آذربایجان شرقی را از دیدگاه نظامی مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها یادآور شدند که انجام مانور بهینه بستگی به خطوط ارتباطی مناسب در منطقه عملیات و طرح‌های مانور و شناخت و اطلاع از این خطوط ارتباطی دارد. توانایی حرکت نیروها، تجهیزات رسمی و پشتیبانی و سایر وسایل مورد نیاز در هر عملیاتی از نقطه‌ای به نقطه دیگر که اغلب به عنوان عامل قطعی در کسب پیروزی در عملیات رزمی شناخته می‌شود، به راه‌های ارتباطی مناسب بستگی دارد.

با توجه به سوابق تحقیقی، می‌توان دریافت که تاکنون راهکار مشخص و تدوین شده‌ای برای تعیین راه‌های استراتژیک ارائه نشده است. در تحقیق حاضر، براساس مطالعات صورت گرفته یک شاخص کلی برای راه‌های استراتژیک معرفی می‌شود. بر این اساس در بخش ۲، راه استراتژیک تعریف می‌گردد و معیارهای لازم برای تهیه راه استراتژیک معرفی می‌شود. در بخش ۳ فرایندپیاده‌سازی ابزار حامی تصمیم‌گیری مکانی مورد تشریح قرار می‌گیرد. ارزیابی نتایج در بخش ۴ مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از تحقیق در بخش ۵ بیان می‌گردد.

۲. متدولوژی و روش کار

در این مطالعه تعریف جامعی با تکیه بر اهمیت مؤلفه امنیتی دفاعی برای راه استراتژیک ارائه می‌شود. «راه استراتژیک به راه‌هایی اطلاق می‌شود که ظرفیت عبور وسایل و تجهیزات نظامی سنگین را فراهم نموده و دسترسی لازم را به مکان‌های امنیتی- دفاعی داشته باشد، همچنین به وجود آمدن کم‌ترین اختلال در این راه‌ها، موجب بروز مشکلات زیادی از لحاظ امنیتی- دفاعی گردد.»

با توجه به تعریف ارائه شده می‌توان دریافت که چهار معیار مهم برای تعیین راه‌های استراتژیک می‌بایست مورد توجه قرار گیرد:

الف- توانایی و ظرفیت راه‌ها برای عبور وسایط نقلیه عبوری.

ب- دسترسی راه‌ها به مکان‌های نظامی برای انجام عملیات پشتیبانی و آفندی.

ج- سطح آسیب‌پذیری: وجود پل‌ها، تونل‌ها و مکان‌های حیاتی دیگر

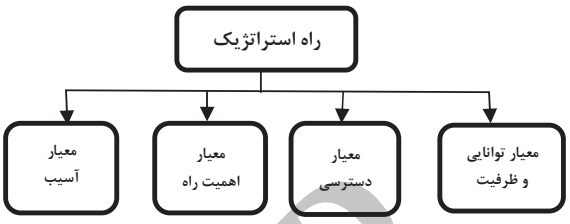
Archive of SID

www.SID.ir

که موجب می‌شود راه بیش از پیش آسیب‌پذیرتر شود.

د- نقش و اهمیت راه در شبکه راه‌ها: در صورت مسدود شدن راه مورد نظر، در زمان رفت و آمدهای شبکه راه‌ها چه تأثیری خواهد گذاشت.

بنابراین به صورت خلاصه می‌توان راه استراتژیک را براساس شکل (۱) تعریف کرد.



شکل ۱. زیرمعیارهای راه استراتژیک

هر یک از این معیارها رابطه مستقیم با تعیین راه‌های استراتژیک دارند. بنابراین می‌توان چنین رابطه کلی را برای تعیین راه های استراتژیک ارائه نمود:

$$Strategic\ Road = \sum_{k=1}^{4} W_k P_k \qquad (۱\text{- الف})$$

$$\sum_{i=1}^{4} W_i = 1 \qquad (۱\text{- ب})$$

اگر رابطه (۱- الف) بسط داده شود رابطه (۲) به دست خواهد آمد.

$$\text{Strategic Road}=W_C P_C+W_A P_A+W_V P_V+W_i P_i \qquad (۲)$$

رابطه (۲) به این معناست که راه‌های استراتژیک، مجموعه‌ای از مقادیر مربوط به یکسری پارامتر (P) همراه با وزن است و اهمیت این پارامترها در محاسبه راه استراتژیک (W) می‌باشد. در رابطه (۲)، W_C، W_A، W_V و W_I به ترتیب نشان دهنده وزن‌های مربوط به معیارهای ظرفیت[1]، دسترسی[2]، آسیب پذیری[3] و اهمیت[4] می‌باشند. در بخش‌های آتی هر یک از این معیارها معرفی می‌شود.

۲-۱. معیار ظرفیت عبور

از آنجا که قابلیت تحرک نیروی نظامی در صحنه عملیات رزمی و پشتیبانی، به توانایی جابه‌جایی وسایل و تجهیزات نقلیه نظامی آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر وابسته است، می‌بایست قبل از انجام هرگونه عملیات نظامی، در طرح‌ریزی آن ظرفیت شبکه‌های ارتباطی در مناطق مرزی و عملیاتی بر اساس ویژگی‌های جغرافیایی و وضعیت زمین آن منطقه مورد محاسبه و تجزیه و تحلیل علمی قرار گیرد. در پژوهش حاضر برای محاسبه ظرفیت و قابلیت تحرک شبکه راه‌های کشور از جدول (۱) استفاده می‌شود.

برای مثال برای راه‌هایی که نوع روسازی آن آسفالت درجه ۲ است و در ناحیه غیرمرزی است، می‌توان از جدول (۱) دریافت که تناژ روزانه این راه ۴۵۰۰۰ تن می‌باشد. اگر این راه در منطقه‌ای کوهستانی قرار گرفته باشد ۶۰ درصد از ظرفیت آن کم می‌شود، یعنی ظرفیت آن ۱۸۰۰۰ تن و اگر این راه دارای شرایط بد جوی باشد ۳۰ درصد از ظرفیت آن کاهش می‌یابد، یعنی ظرفیت نهایی آن ۱۲۶۰۰ تن می‌شود.

فرایند تهیه این معیار برای راه‌های کشور در شکل (۲) نمایش داده شده است.

۲-۲. معیار دسترسی

یکی از مهم‌ترین مسائل در قبل، حین و بعد از بحران، مسئله مربوط به آماد و پشتیبانی نیروها و انتقال تجهیزات می‌باشد، بنابراین دسترسی به پادگان‌ها، انبارهای نظامی، ستادهای پشتیبانی، مناطق مرزی و غیره می‌تواند یکی از نقش‌های اصلی یک راه از دیدگاه امنیتی- دفاعی باشد. بنابراین این‌گونه از راه‌ها باید در هنگام حوادث تا حد امکان ایمن نگه‌داشته شوند. در این تحقیق بر اساس مطالعه معیارهای ارائه شده توسط سایر محققین، اقدام به ارائه معیاری ساده و ویرایش یافته می‌شود. معیار دسترسی ارائه شده توسط محقق در رابطه (۳) بیان شده است.

$$P_A = \sum_{i=1}^{n} (w_i \bar{d}_i) \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، w_i بیانگر وزن هر یک از مکان‌های نظامی از جمله زاغه مهمات، پادگان، ستاد مقاومت، پادگان آموزشی و سایر مکان‌های نظامی از دیدگاه تصمیم‌گیر می‌باشد. $\bar{d}_i$ بیانگر فاصله نرمال شده هر مکان نظامی تا راه‌ها می‌باشد. برای تهیه این معیار، پس از تهیه لایه اطلاعاتی مربوط به راه‌ها و مکان‌های نظامی، بافری حول راه‌ها به شعاع ۳ کیلومتری اجرا شده (این شعاع براساس نظر کارشناسان نظامی تعیین شده است)، لایه حاصل از تحلیل بافر با لایه اطلاعاتی مکان‌های نظامی هم پوشانی شده و فاصله هر یک از مکان‌های نظامی داخل حریم تا راه‌ها محاسبه شده و با استفاده از شکل (۳) و رابطه (۴)، به میزان دوری و نزدیکی این مکان‌ها وزنی منتسب می‌شود.

$$s(u;\alpha,\beta,\gamma)=\begin{cases} 1 & \rightarrow \quad u\le\alpha \\ 1-2\left[\dfrac{(u-\gamma)}{(\gamma-\alpha)}\right]^2 & \rightarrow \quad \alpha<u\le\beta \\ 2\left[\dfrac{(u-\alpha)}{(\gamma-\alpha)}\right]^2 & \rightarrow \quad \beta<u\le\gamma \\ 0 & \rightarrow \quad u>\gamma \end{cases} \qquad (۴)$$

رابطه (۴) نشان دهنده رابطه ریاضی شکل (۳) می‌باشد. با توجه به شکل (۳) و رابطه (۴)، مقادیر مربوط به $\alpha = 0$، $\gamma = 3000$ و $\beta = 1500$ به ترتیب برابر با ۱، ۰/۵ و ۰ می‌باشد. در واقع هدف از نرمال کردن فاصله، دخیل کردن پارامتر فاصله به عنوان وزن می‌باشد. بنابراین هرچه فاصله یک مکان نظامی از یک راه کم‌تر باشد، آن راه دارای اهمیت بیشتری می‌باشد.

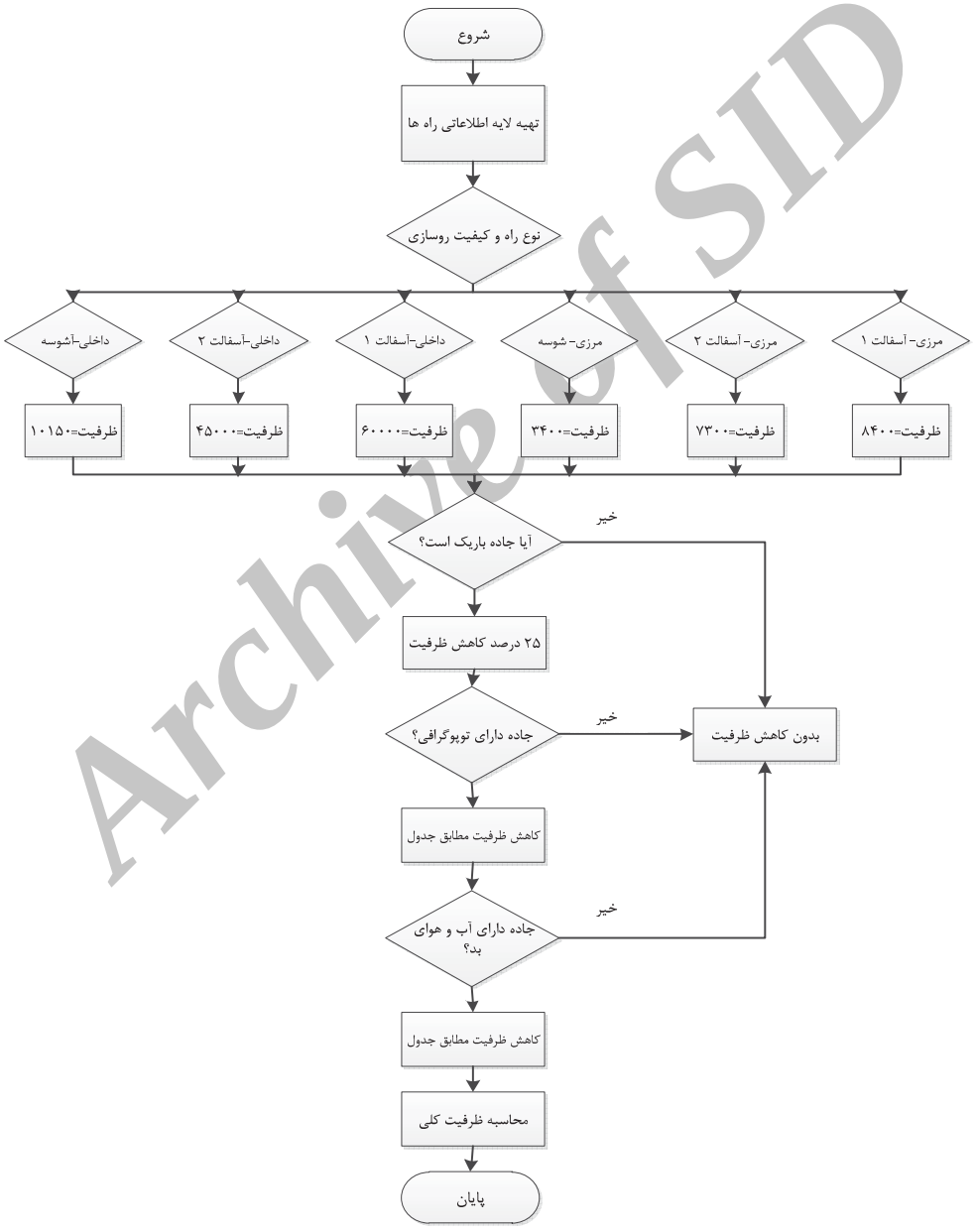
[1] Capacity
[2] Accessibility
[3] Vulnerability
[4] Importance

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. محاسبه تناژ روزانه برای جاده‌های مختلف [۱۶]

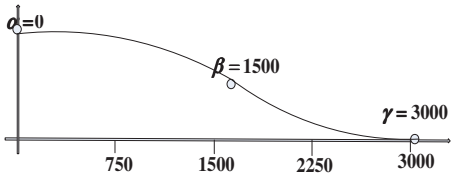
ردیف	نوع جاده	تناژ روزانه			محدودیت های موجود در حالات مختلف (کاهش دهنده ظرفیت)				
		جاده های ناحیه داخلی	جاده های آمادی ناحیه مواصلاتی	جاده های آمادی ناحیه رزم	باریکی جاده (درصد)	دست انداز جاده (درصد)	جاده های مناطق تپه ای	جاده های کوهستانی	شرایط جوی بد
۱	آسفالت درجه ۱	۶۰۰۰۰	۳۶۰۰۰	۸۴۰۰	۲۵	۱۰	۳۰	۶۰	۲۰
۲	آسفالت درجه ۲	۴۵۰۰۰	۲۷۰۰۰	۷۳۰۰	۲۵	۱۰	۳۰	۶۰	۳۰
۳	آسفالت سرد	۳۰۰۰۰	۱۸۰۰۰	۵۸۰۰	۲۵	۲۰	۴۰	۶۵	۲۰
۴	شوسه (شنی)	۱۰۱۵۰	۶۰۹۰	۳۴۰۰	۲۵	۲۰	۵۰	۷۰	۶۰
۵	خاکی	۴۹۰۰	۲۹۴۰	۱۶۰۰	۲۵	۲۵	۶۰	۸۰	۹۰



شکل ۲. دیاگرام الگوریتم یک روند کلی محاسبه معیار ظرفیت عبور وسایط

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. اهمیت فاصله مکان های نظامی

استفاده از شکل (۳) و رابطه (۴) به جای روابط ساده خطی یا توابع پله‌ای، به این دلیل است که با استفاده از رابطه منحنی مذکور تا یک محدوده مشخص، برای مثال ۷۵۰ متری همه مکان‌های نظامی دارای وزن یکسانی هستند، یعنی این امکان فراهم شده است که محدوده (همچون تحلیل بافر) برای مکان‌های نظامی تعریف شود (بر خلاف توابع ساده خطی)، همچنین تغییرات در این رابطه منحنی شکل به صورت پیوسته است و در آن تغییرات آنی وجود ندارد که این امر با مسائل واقعی موجود تطابق بیشتری دارد و وزن‌های ارائه شده در مکان‌های نزدیک به هم، مقادیری شبیه به هم دارند (برخلاف توابع پله‌ای).

۲-۳. معیار آسیب پذیری

در حملات تروریستی و تخریب کارانه یا حتی در مواقع جنگ، حمله به زیرساخت‌های حمل و نقل بخش عمده‌ای از حملات را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین شناسایی، توجه، حفظ و مراقبت از این زیرساخت‌ها می‌تواند بسیار کارگشا باشد و در مواقع بحران میزان آسیب‌ها را کاهش دهد. بنابراین راهی که دارای زیرساخت‌های حمل و نقل بیشتری نظیر پل، تونل و غیره باشد، بیش‌تر در معرض آسیب و حمله قرار دارد. بنابراین رتبه‌بندی راه‌ها از این نقطه نظر نیز می‌تواند در تعیین راه‌های استراتژیک کمک کند. برای تعیین راه‌ها از دیدگاه معیار آسیب‌پذیری، یک معیار آسیب‌پذیری نسبی ارائه شد. این معیار در رابطه (۵) بیان شده است.

$$P_A = w_b v_b + w_t v_t \qquad (۵)$$

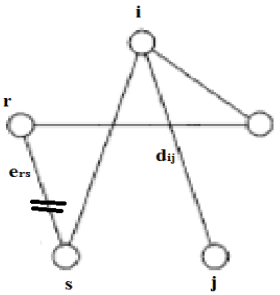
در رابطه (۵)، v_b و v_t به ترتیب تعداد پل‌ها یا تونل‌های موجود در یک راه است. همچنین w_b و w_t به ترتیب بیانگر وزن نسبی هر یک از زیرساخت‌های تونل و پل می‌باشد. بنابراین رابطه (۵) از طرفی امکان دخیل نمودن میزان اهمیت زیر ساخت تونل یا پل را فراهم می‌کند. از طرفی دیگر رابطه (۵) بیانگر این است که هر چه تعداد زیرساخت‌های بیشتری نظیر پل و تونل باشد، بیشتر در معرض آسیب و حمله قرار دارد.

۲-۴. معیار اهمیت راه در شبکه راه‌ها

تغییرات در هزینه کلی سفر مابین مبدأ و مقصد در صورتی که یال (راه) موردنظر در شبکه از دست برود را می‌توان به عنوان یک معیار اهمیت راه استفاده کرد. هزینه کلی می‌تواند مسافت، زمان و یا هزینه باشد. فرض کنید که d_{ij} بیانگر هزینه کلی برای حرکت از مبدأ i به مقصد j باشد و d_{ijrs} بیانگر هزینه کلی برای حرکت از مبدأ i به مقصد j باشد در صورت فقدان یال e_{rs} باشد (e_{rs} یالی در شبکه است که گره r را به گره s متصل می‌کند). بنابراین افزایش هزینه کلی در صورت فقدان یال e_{rs} را می‌توان به صورت رابطه (۶) نوشت.

$$C_I = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{i} d_{ij} - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{i} d_{ijrs} \qquad (۶)$$

نمایش این مسئله به صورت شماتیک در شکل (۴) بیان شده است:



شکل ۴. شبکه راه‌ها و تأثیر فقدان یک راه در سایر راه‌ها

برای این منظور مکان‌هایی (شهرهایی) به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود و تأثیر فقدان هر یال روی کوتاه‌ترین فاصله دو به دوی این مسیرها اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۴) گره‌های i و j بیانگر مکان‌های مرجع که تأثیر فقدان یالی مانند ers بر روی کوتاه‌ترین فاصله مابین این دو اندازه‌گیری می‌شود.

۳. طراحی و پیاده سازی

برای تهیه و تدوین نقشه جامع راه‌های استراتژیک کشور، ابزاری با عنوان IRST[1] تهیه شد. این ابزار با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C#.Net در محیط نرم‌افزاری Microsoft Visual Studio 2008 توسعه داده شده است. همچنین برای توسعه بخش‌های مربوط به نقشه و تحلیل‌های مکانی از ArcObject9.3 استفاده شده است. تصویری از صفحه اصلی این ابزار در شکل (۵) نمایش داده شده است.

صفحه اصلی ابزار IRST از ۵ بخش تشکیل شده است.

- بخش اول: نوار ابزار می‌باشد که امکاناتی از قبیل افزودن لایه‌برداری یا رستری جدید، ذخیره‌سازی نمایش جاری در قالب فایل MXD، پرسش و پاسخ (مشخصه‌گیری)، دید کلی، بزرگ نمایی، کوچک نمائی و حرکت روی نقشه را فراهم می‌نماید. نمونه‌ای از جدول توصیفی مربوط به راه‌های مورد مطالعه در شکل (۶) نمایش داده شده است.

- بخش دوم: نمایش‌گر نقشه می‌باشد که امکان نمایش لایه‌های برداری و رستری را فراهم می‌سازد.

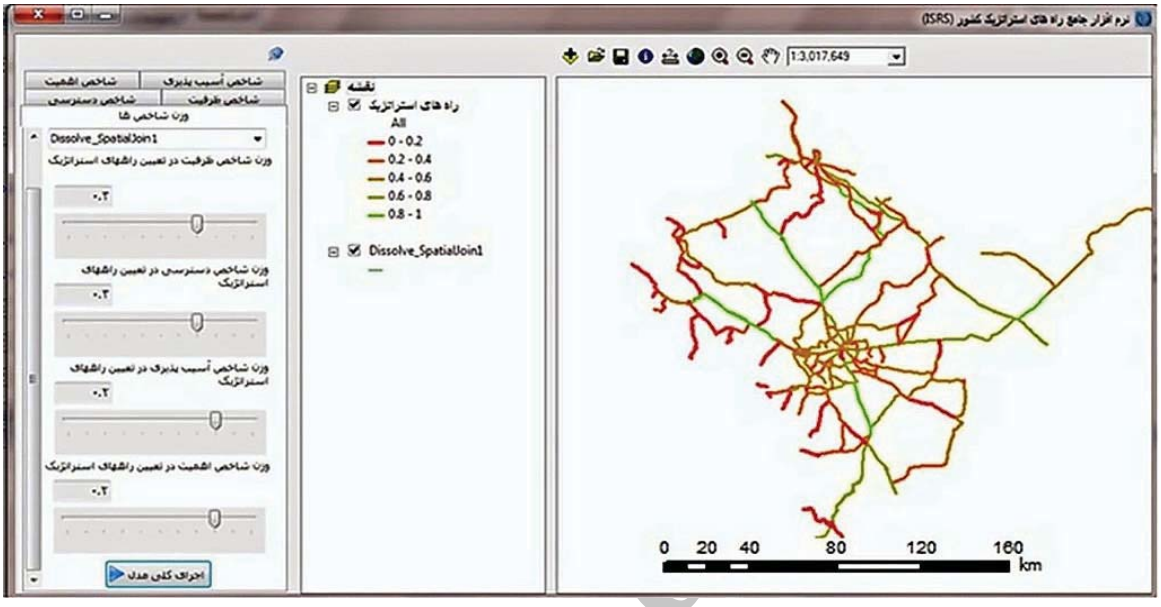
[1] Iranian Strategic Roads Tool

Archive of SID

www.SID.ir

- بخش سوم: راهنمای نقشه می‌باشد که وضعیت لایه‌های فعال و غیرفعال موجود را مشخص می‌کند.
- بخش چهارم: اجرای مدل می‌باشد که به صورت کشویی تعبیه شده و قابل جابه‌جایی[1] است و امکان تنظیم پارامترهای مربوط به راه استراتژیک را فراهم می‌نماید که در بخش آتی به تفصیل به آن پرداخته می‌شود.
- بخش پنجم: راهنمای استفاده از ابزار است.

برای معرفی بهتر امکانات این ابزار، در بخش آتی تنظیمات مربوط به معیار دسترسی تشریح می‌شود.



شکل ۵. تصویری از ابزارIRST پیاده سازی شده با استفاده از ArcObject

Table

Roads

FID	Shape	INDEXKEY	FIRST_FCOD	ROADTYPE	CORNER_ROA	WEATH_CON	TOPO_CON	ET_ID	ET_FNODE	ET_TNODE	ShapeLen	CapacityCr
12	Polyline	211602202	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	12	27	28	12.96	0.74482
13	Polyline	211603102	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	13	29	30	11.46	0.74482
14	Polyline	211603204	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	14	31	32	8.129477	0.74482
15	Polyline	211604002	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	15	33	34	22.95	0.74482
16	Polyline	211604802	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	16	35	36	6.384453	0.74482
17	Polyline	211605202	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	17	37	38	17.08	0.74482
18	Polyline	211605502	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	18	39	40	11.76	0.74482
19	Polyline	211605701	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	19	41	42	4.650572	0.74482
20	Polyline	211605802	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	20	43	44	14.62	0.74482
21	Polyline	211606202	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	21	45	46	16.75	0.74482
22	Polyline	211606402	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	22	47	48	1.620838	0.74482
23	Polyline	211606502	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	3	23	49	50	17.45	0.515158
24	Polyline	211607201	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	24	51	52	4.91898	0.74482
25	Polyline	211607604	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	25	53	54	5.125095	0.74482
26	Polyline	211609302	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	26	56	57	10.04	0.74482
27	Polyline	211609304	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	27	58	59	5.967843	0.74482
28	Polyline	211609902	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	28	60	61	4.027544	0.74482
29	Polyline	211610001	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	29	31	62	6.032565	0.74482
30	Polyline	211610102	WRDOR250	2	نیست	معمولی	1	30	63	64	3.177664	0.74482
31	Polyline	211616201	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	31	65	66	5.002545	0.74482
32	Polyline	211616301	HIGH_2502R	2	نیست	معمولی	1	32	67	28	6.384253	0.74482
33	Polyline	221600102	NRDOR250	2	نیست	برف گیر	1	33	44	70	10.31	0.515158
34	Polyline	311601702	WRDOR250	3	نیست	معمولی	1	34	71	72	3.13874	0.48964

شکل ۶. نمونه‌ای از جدول توصیفی راه‌ها

۳-۱. تنظیمات مربوط به معیار دسترسی

زبانه دوم معرف معیار دسترسی راه‌ها به مکان‌های نظامی می‌باشد. این معیار همان‌گونه که در شکل (۷) نمایش داده شده است، شامل تنظیمات زیر می‌باشد:

- وزن مربوط به هر یک از مکان‌های نظامی: میزان اهمیت دسترسی به هر مکان نظامی متفاوت از دیگر مکان‌هاست. برای مثال میزان اهمیت دسترسی به زاغه مهمات متفاوت از دسترسی به پادگان‌های

[1] Dockable

www.SID.ir

آموزشی می‌باشد. بنابراین در این تحقیق مکان‌های نظامی به پنج گروه تقسیم‌بندی شد:

- زاغه مهمات
- پادگان
- ستاد مقاومت
- پادگان آموزشی
- سایر مکان های نظامی

مقادیر پیش فرضی با مشورت کارشناسان نظامی (۲ نفر نظامی، ۲ نفر با تخصص پدافند غیرعامل) و با استفاده از روش AHP[1] به عنوان وزن به هر یک از این مکان‌ها نسبت داده شد. روش مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی یکی از شناخته شده‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه شد و بر سه اصل استوار است: تجزیه، قضاوت مقایسه‌ای و ترکیب اولویت‌ها [۱۷]. ماتریس مقایسه دو به دو معیارها برای روش AHP در جدول (۲) بیان شده است.

در جدول (۲)، اعداد ۹-۱ به ترتیب بیانگر افزایش میزان ترجیح مابین معیارهاست. یک زوج المان در یک سطح سلسله مراتب با توجه به سطح بالاتر با یکدیگر مقایسه می‌شوند. برای مثال زیرمعیارهای ستاد مقاومت، زاغه مهمات و پادگان با توجه به معیار دسترسی با یکدیگر به صورت دو به دو مقایسه می‌شوند. پس از انجام مقایسات دو به دو مابین همه معیارها و زیر معیارها، نتایج نهایی حاصل وزن‌ها در جدول (۳) بیان شده است. نسبت سازگاری[2] برای مقایسات دو به دو در روش AHP برابر با ٪ ۰/۰۹ است.

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی معیارها

معیار	ظرفیت	دسترسی	آسیب‌پذیری	اهمیت
ظرفیت	۱	۳	۵	۵
دسترسی	۱/۳	۱	۳	۳
آسیب‌پذیری	۱/۵	۱/۳	۱	۱
اهمیت	۱/۵	۱/۳	۱	۱

جدول ۳. وزن حاصل از AHP برای معیارها و زیر معیارها

معیار	زیر معیار	وزن زیرمعیار	وزن معیار
ظرفیت			۰/۵۵
دسترسی	ستاد مقاومت	۰/۲۲	۰/۲۴
	زاغه مهمات	۰/۳۷	
	پادگان آموزشی	۰/۲۳	
	سایر مکان‌ها	۰/۱۸	
آسیب‌پذیری	تونل	۰/۶۶	۰/۱۰
	پل	۰/۳۴	
اهمیت			۰/۱۱

برای تعامل هر چه بیشتر با کاربر امکاناتی همچون نوار حرکتی یا ورود عدد در سیستم قرار داده شده است تا کاربر بتواند اهمیت نسبی هر یک از این مکان‌ها را خود تعیین نماید. همچنین کاربر می‌تواند تعامل‌های زیر را با ابزار انجام دهد:

در شکل (۶)، ستون با نام FIRST_FCOD بیانگر نوع راه (آزادراه، بزرگراه، اصلی و غیره)، ROADTYPE بیانگر نوع روسازی راه (۱: آسفالت گرم، ۲: آسفالت سرد و غیره)، CORNER_ROA بیانگر اینکه آیا راه جاده مرزی است یا خیر، WEATH_CON بیانگر نوع وضعیت آب و هوایی راه، TOPO_CON بیانگر وضعیت توپوگرافی راه‌هاست (از پنج بخش ۵-۱ که بیانگر وضعیت مختلف توپوگرافی است، ۱: خیلی کوهستانی، ۵: خیلی مسطح)، ET_ID: بیانگر شناسه راه به عنوان یک یال در شبکه گرافی راه‌هاست، ET_FNODE و ET_TNODE به ترتیب بیانگر گره ابتدائی و انتهایی است که یال (راه مورد نظر) از آن‌ها تشکیل شده است.

- انتخاب لایه اطلاعاتی: لایه اطلاعاتی مربوط به راه‌هایی که معیار دسترسی بر روی آن‌ها اعمال می‌شود و همچنین لایه اطلاعاتی مربوط به مکان‌های نظامی و شعاع اهمیتی مکان‌های نظامی را کاربر می‌تواند تعیین کند.

با فشردن دکمه اجرامی‌توان نتایج حاصل از اجرای این معیار را مشاهده کرد. درشکل (۸) نتایج حاصل از اجرای ابزار برای معیارهای مختلف نمایش داده شده است.

همان‌گونه که ذکر شد راه‌های استراتژیک بر اساس چهار معیار ارزیابی می‌شود: معیارهای ظرفیت، آسیب‌پذیری، دسترسی و اهمیت. مقادیر پیش فرضی با مشورت کارشناسان نظامی به عنوان وزن به هر یک از این معیارها نسبت داده شده است، ولی برای تعامل هر چه بیشتر با کاربر، امکاناتی برای تغییر وزن معیارها در سیستم قرار داده شده است تا کاربر بتواند اهمیت نسبی هر یک از این معیارها را خود تعیین نماید. با اجرای دکمه "اجرای کلی"، راه‌ها براساس چهار معیار مذکور طبقه‌بندی می‌شوند. نتایج حاصل از اجرای این معیارها برای راه‌های منطقه مورد مطالعه در شکل (۵) نمایش داده شده است.

۴. نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از اجرای ابزار به صورت کلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از اجرای ابزار برای معیارهای مختلف در شکل (۷) و (۸) نمایش داده شده است. شکل (۸) وضعیت راه‌های منطقه مورد مطالعه (۳۱۳ قطعه راه مورد مطالعه) را برای معیارهای مختلف به صورت هیستوگرام نمایش می‌دهد. در این هیستوگرام‌ها، محور افقی بیانگر شماره (نام) راه و محور عمودی بیانگر مقادیر مربوط به آن راه، برای معیار مورد نظر می‌باشد. لازم به ذکر است که به منظور تلفیق لایه‌های اطلاعاتی حاصل از اجرای معیارهای مختلف و وزن‌دهی نسبی هر یک از این معیارها، مقادیر نهایی هر یک از معیارها نرمال شده است. مقادیر نهایی معیارها براساس کمترین و بیشترین مقدار

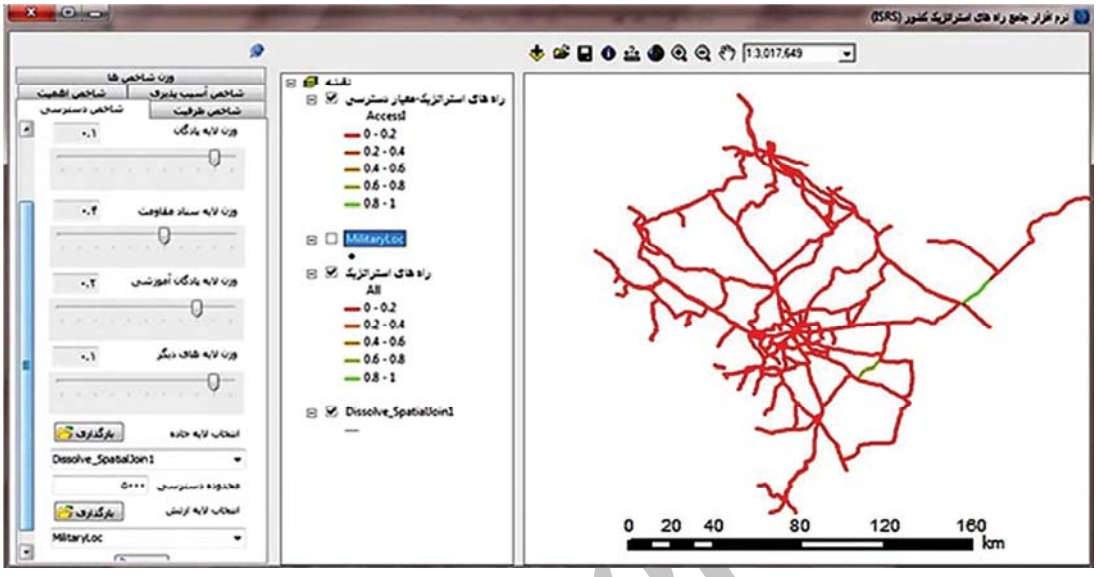
[1] Analytical Hierarchy Process
[2] Consistency ratio = CR

Archive of SID

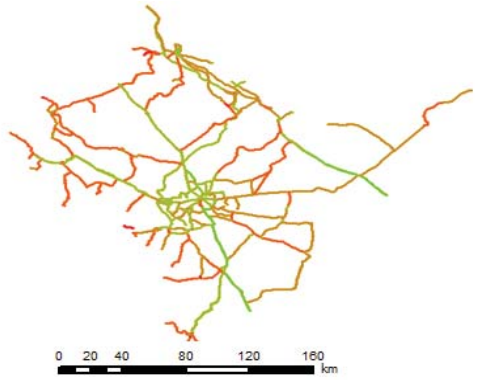
www.SID.ir

با یک تبدیل خطی به فاصله [۱و۰] انتقال یافته است.

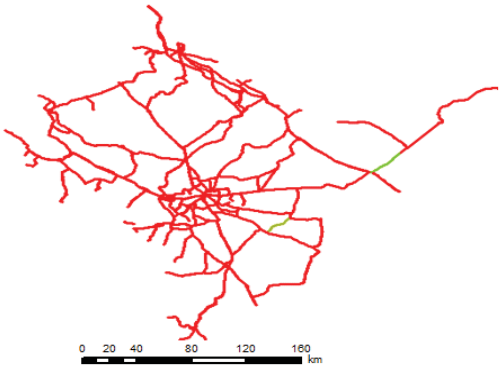
شکل‌های (۸ و ۹) نشان می‌دهند که نتـایج حاصـل از اجـرای ابـزار برای معیارهای ظرفیت و آسیب‌پذیری دارای تنوع رنگی بیشتر (شکل ۸) و همچنین دارای افت و خیز بیشتر در نمودارهای این معیارها (شـکل ۹) می‌باشد. در حالی که عکس این موضوع بـرای معیارهـای دسترسـی و اهمیت صادق است. علت این ناهمگونی را می‌تـوان در دو عامـل نحـوه محاسبه شاخص‌های مختلف و همچنین وضعیت داده‌هـای موجـود در منطقه مورد مطالعه جستجو کرد.



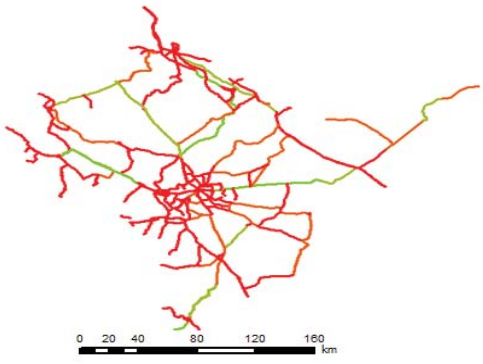
شکل ۷. تصویری از تنظیمات مربوط به معیار دسترسی



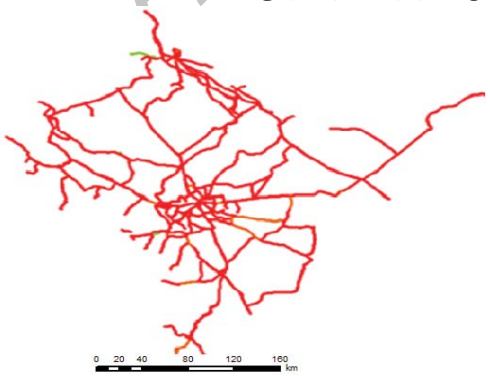
الف. نتایج حاصل برای معیار ظرفیت



ب. نتایج حاصل برای معیار دسترسی



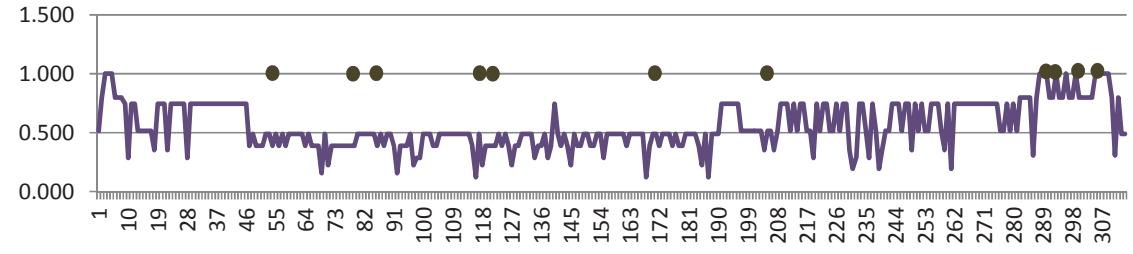
ج. نتایج حاصل برای معیار آسیب‌پذیری



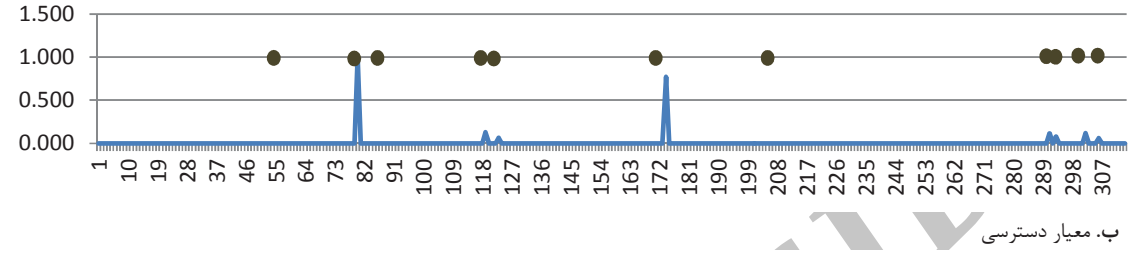
د. نتایج حاصل برای معیار اهمیت

شکل ۸. نتایج حاصل از اجرای ابزار برای معیارهای مختلف

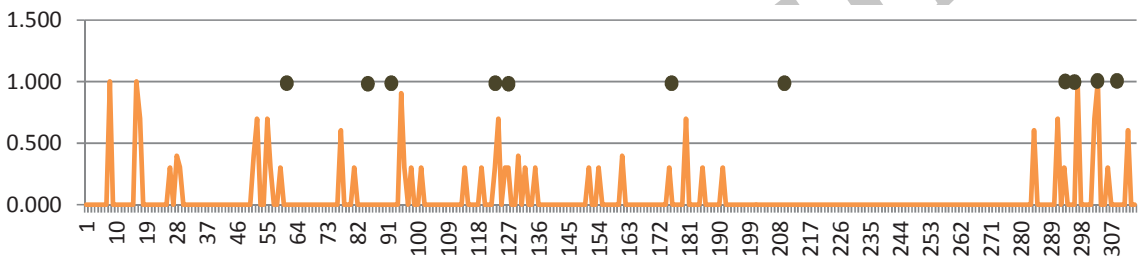
www.SID.ir



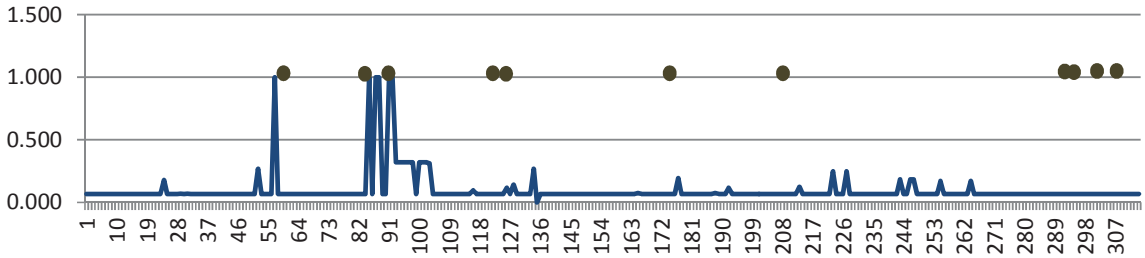
الف. معیار ظرفیت



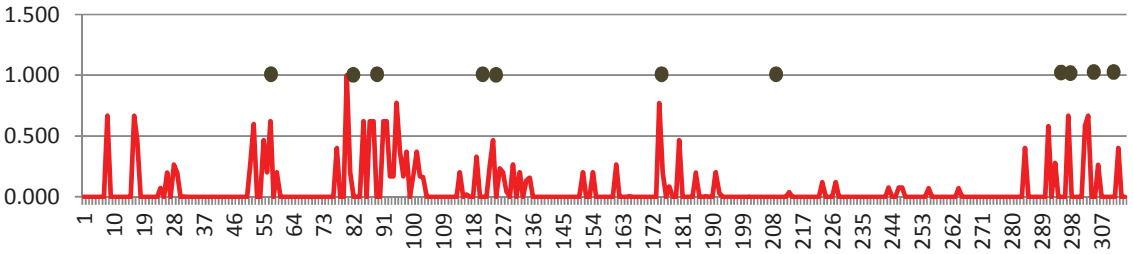
ب. معیار دسترسی



ج. معیار آسیب‌پذیری



د. معیار اهمیت



و. راه استراتژیک

شکل ۹. هیستوگرام شماره راه- مقدار معیار مربوط (نقاط توپر قهوه‌ای رنگ نمایش دهنده مکان تقریبی مناطق نظامی پیرامون هر قطعه راه است)

www.SID.ir

برای نمونه، معیار ظرفیت بر اساس جدول (۱) محاسبه شده است. این جدول دارای مقادیر ثابت و از پیش تعیین شده‌ای برای یک راه با ویژگی‌های توصیفی مشخص می‌باشد. یعنی مقادیر بیشینه و کمینه مشخص برای همه راه‌ها وجود دارد، در حالی که برای محاسبه معیار دسترسی، که در آن دسترسی یک راه به مکان‌های نظامی که در یک شعاع مشخص از راه قرار گرفته‌اند، مورد سنجش قرار می‌گیرد. ممکن است حول یک راه مکان‌های نظامی زیادی قرار گرفته باشد و حول راه‌های دیگر مکان نظامی کمتری قرار گرفته باشد. این امر موجب می‌شود که در روند نرمال‌سازی،ناهمگونی زیادی برای داده‌های مختلف ایجاد شود. همین امر در مورد محاسبه معیار اهمیت نیز صادق می‌باشد. همچنین با توجه به روند محاسبه معیارهای مختلف، وجود مکان‌های نظامی، پل‌ها و تونل‌های بیشتر در منطقه مورد مطالعه موجب افزایش مقادیر مربوط به معیارهایی همچون آسیب‌پذیری و دسترسی در مقایسه با سایر معیارها می‌شود.

همچنین با مشاهده در شکل (۹) می‌توان دریافت که هیچ یک از راه‌ها دارای بیشترین یا کمترین مقادیر در همه چهار معیار به صورت هم‌زمان نمی‌باشند و هر یک از راه‌ها در یک معیار دارای مقدار بیشینه و در معیار دیگر دارای مقدار کمینه می‌باشد. دارا بودن چنین ویژگی‌ای موجب می‌شود که برای ارزیابی جامع به صورت تلفیقی از معیارها، تعیین وزن نسبی مربوط به هر یک از معیارها برای تعیین راه‌های استراتژیک حائز اهمیت باشد. بنابراین دقت در تعیین وزن‌های نسبی معیارها، تأثیر به سزایی در دقت و کیفیت خروجی‌ها دارد.

با در نظرگرفتن مقادیر پیش فرض ۰/۳، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۲ به ترتیب برای معیارهای ظرفیت، دسترسی، آسیب‌پذیری و اهمیت به عنوان وزن، نتایج حاصل نشان می‌دهند که حدود ۸ درصد راه‌ها استراتژیک می‌باشند و راه‌های شماره ۷۹، ۹۴ و ۱۷۳ استراتژیک‌ترین راه‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. می‌توان وضعیت راه‌ها را از لحاظ استراتژیک در شکل (۵) و همچنین شکل (۹- و) مشاهده نمود.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه پس از مرور فعالیت‌های انجام شده در سایر کشورها و انجام مطالعات تطبیقی مشخص شد که تاکنون معیار واحدی برای ارزیابی زیر ساخت‌های حمل و نقل ارائه نشده است و هر محقق از یک دیدگاه مشخص زیر ساخت حمل و نقل را مورد بررسی قرار داده است. با این وجود، براساس مطالعات و نظر کارشناسان نظامی و پدافند غیرعامل تعریف جدیدی برای راه‌های استراتژیک ارائه شد و بر اساس این تعریف، ابزار حامی تصمیم‌گیری مکانی به نام IRST تهیه شد که این ابزار چهار معیار ظرفیت عبوری راه، آسیب‌پذیری، دسترسی و اهمیت را در ارزیابی راه‌های استراتژیک مورد لحاظ قرار می‌دهد. ابزار حامی تصمیم‌گیری این حسن را دارد که در تمامی مراحل تصمیم‌گیری اعم از: تعریف مسئله، تعیین گزینه‌های تصمیم‌گیری، انتخاب بهترین گزینه و ارزیابی گزینه منتخب در راستای حل مسئله امکاناتی را در اختیار تصمیم‌گیر قرار می‌دهد تا تصمیم‌گیر انتخاب بهتری داشته باشد.

استفاده از ابزار حامی تصمیم‌گیری مکانی تهیه شده IRST می‌تواند به ارزیابی مناسب‌تر، شناسایی نقاط قوت و ضعف، بازسازی و تقویت شبکه حمل و نقل کمک کند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که برای مثال تصمیم‌گیر مدیریت بحران با در اختیار داشتن یک بودجه مشخص، می‌تواند به کمک این ابزار به اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری بپردازد. برای تخصیص بهینه منابع و بازدهی بیشتر، با سرمایه‌گذاری در یال‌های دارای طول کمتر و مقدار آسیب‌پذیری بیشتر، می‌تواند یال‌های ارتباطی شبکه را اولویت‌بندی کند. همچنین او می‌تواند با استفاده از این ابزار، راه‌هایی که به لحاظ هندسی نقش اساسی در شبکه راه‌ها دارند را شناسایی نموده و نسبت به رفع کمبود هندسی در شبکه اقدام کند و ساخت راه‌هایی جایگزین و مکمل را برنامه‌ریزی نماید.

روند محاسبه معیار، روندی زمان‌بر است و موجب طولانی شدن اجرای برنامه و در نتیجه عدم کارایی ابزار برای یک منطقه بزرگ‌تر و دارای داده‌های حجیم‌تر می‌شود. بنابراین یکی از فعالیت‌های آتی این تحقیق، بهبود روند محاسبه معیار اهمیت می‌باشد.

۶. تقدیر و تشکر

این تحقیق در قالب یک طرح پژوهشی با عنوان "طراحی و تدوین نقشه جامع راه‌های استراتژیک کشور" با پشتیبانی و حمایت سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح انجام پذیرفته است. بنابراین بر خود لازم می‌دانیم تا از ریاست محترم سازمان جغرافیایی دکتر مدیری و کارمندان محترم آن سازمان کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشیم.

۷. مراجع

[1] Holmgren, A. "Vulnerability Analysis of Electrical Power Delivery Networks"; MSc. Thesis, KTH Univ., Stockholm, 2004.

[2] Berdica, K. "An Introduction to Road Vulnerability: What Has Been Done, is Done and Should Be Done"; Transport Policy 2002, 9, 117-127.

[3] Swedish Department of Defence "Preparedness Against Extreme Peacetime Strains on Society"; 1998.

[4] Abrahamsson, T. "Characterization of Vulnerability in the Road Transport System"; Stockholm Working Report TRITA-IP AR, 97-53, 1997.

[5] Berdica, K. "Vulnerability: A Model-Based Case Study of the Road Network in Stockholm"; Ph.D Thesis, Department of Infrastructure, KTH University, Stockholm, 2002.

[6] Husdal, J. "Reliability and Vulnerability Versus Cost and Benefits"; In Proc. of the Second Int. Symposiumon Transportation Network Reliability (INSTR), Christchurch, New Zealand, 2004, 182-188.

Archive of SID

www.SID.ir

[7] D'Este, G. M.; Taylor, M. A. P. "Network Vulnerability: An Approach to Reliability Analysis at the Level of National Strategic Transport Networks"; In the Network Reliability of Transport. Proc. of the 1st Int. Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), Pergamon, Oxford, England 2003, 23-44.

[8] Attorney-General's Department "Trusted Information Sharing Network for Critical Infrastructure Protection"; Canberra, 2003.

[9] Quium A. S.; Hoque S. A. "The Completeness and Vulnerability of Road Network in Bangladesh"; Eng. Concerns of Flood 1997, 59-76.

[10] Taylor, M. "Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks"; Networks and Spatial Economics 2006, 6, 267-291.

[11] Qiang, Q.; Nagurney, A. "A Unified Network Performance Measure with Importance Identification and the Ranking of Network Components"; Optimization Letters 2008, 2, 127-142

[12] Latora,V.; Marchiori, M. "How the Science of Complex Networks Can Help Developing Strategies Against Terrorism"; Chaos, Solitons and Fractals 2004, 20, 69-75.

[13] Jenelius, E. "Importance and Exposure in Road Network Vulnerability Analysis"; Transportation Research Part A, 2006, 40, 537-560.

[14] Mousavi, S. M. "Investigating Role of the Road Transportation Networks on Miltary Actions Perormance by Using of GIS"; In Proc. of the 1th National Symposiumon Logestic and Supply Chain Management, 2004 (In Persian).

[15] Chokhachizade, M. B; Amini, D. "The Military Aspect Imortance of the East Azarbayjan Boundary Roads"; Natural Geography Researches 2009, 68, 85-104 (In Persian).

[16] Ebrahimi, H. "The Military Equipment Transportation"; Faramad J. 2000, 5, 47-63 (In Persian).

[17] Malczewski, J. "GIS and Multicriteria Decision Analysis"; John Wiley & Sons, New York , 1999.

Archive of SID

www.SID.ir