فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

۹۱-۱۰۴

بهینه‌سازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری قم از لحاظ زیست‌محیطی به کمک الگوریتم ژنتیک و GIS

مرضیه میرزاآقایی[۱]، مهرداد هادی‌پور[۱]* و محسن رحمانی[۲]

[۱] گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

[۲] گروه کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۱۷

میرزا آقایی، م.، م. هادی پور و م. رحمانی. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری قم از لحاظ زیست‌محیطی به کمک الگوریتم ژنتیک و GIS. فصلنامه علوم محیطی ۱۴ (۴): ۹۱-۱۰۴.

سابقه و هدف: امروزه حمل‌ونقل به عنوان یکی از زیرساخت‌های مهم و اثرگذار و به‌صورت همزمان زمینه‌ساز توسعه و اثرپذیر از توسعه بوده و این موضوع سبب توجه مدیران و برنامه‌ریزان به مقوله حمل‌ونقل شده است. اما با توجه به تمرکز برنامه‌ریزان حمل‌ونقل بر دسترسی‌ها و سایر جنبه‌های دینامکی حمل‌ونقل شهری، عوارض زیست‌محیطی آن به‌شدت مورد بی‌توجهی واقع شده است. شهر قم به عنوان یک کلان‌شهر مهم و مذهبی-توریستی مستلزم به‌کارگیری روشی کارا برای ساماندهی و مدیریت حمل‌ونقل است روشی که با سایر بخش‌های توسعه و بخصوص محیط‌زیست در تضاد نباشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق پس از مطالعه منابع، شاخص‌های محیط‌زیستی مرتبط با حمل‌ونقل شناسایی شده و ۵ شاخص مهم تعیین شد سپس این شاخص‌ها به صورت مکان‌مند و با استفاده از نقشه‌های GIS شبکه حمل‌ونقل و کاربری‌های شهر قم و با نظرات کارشناسی امتیازدهی شده است. برای تعیین وضعیت نهایی هر سلول، نتایج حاصل از GIS وارد نرم‌افزار MATLAB شده و با روش الگوریتم ژنتیک نتایج حاصل شده است.

نتایج و بحث: دستیابی به وضعیت بهینه از لحاظ زیست‌محیطی مستلزم ایجاد تغییرات در شبکه راه‌ها و یا تغییر مکان کاربری‌هایی است که به لحاظ آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل حساسیت بالاتری دارند، نتایج این تحقیق نشان داد که ۳۰ درصد سلول‌های شبکه از لحاظ زیست محیطی در وضعیت نامناسب، ۳۰ در صد در وضعیت تناسب میانه و ۴۰ در صد در وضعیت مناسب قرار دارند.

نتیجه‌گیری: نتایجی که از نقشه بهینه شبکه حمل‌ونقل استنباط می‌شود به خوبی نشان می‌دهد که با انتقال بخشی از کاربری‌ها به‌ویژه مناطق مسکونی به نواحی اطراف شهر و با آلودگی کمتر تغییرات محسوسی در وضعیت تناسب سلول‌های شبکه ایجاد می‌شود به‌طوری‌که بیشتر سلول‌های با امتیاز ۳ (نامناسب) به امتیاز ۱ (مناسب) تغییر وضعیت می‌دهند، و فقط ۱۰درصد از سلول‌ها در وضعیت نامناسب از لحاظ زیست‌محیطی قرار می‌گیرند. بنابراین انتقال بخشی از کاربری‌ها از مرکز شهر به نواحی اطراف، راهکار مناسبی برای کاهش تاثیرات

* Corresponding Author. *E-mail Address*: mhadipour50@yahoo.com

آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل، شاخص‌های محیط‌زیستی، الگوریتم ژنتیک، GIS.

مقدمه

حرکت، عامل اصلی پویایی زندگی شهری و تداوم‌بخش کلیه فعالیت های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی در سطح شهرها است. همچنین، حمل‌ونقل و زیرساخت‌های مرتبط با آن، هم به صورت مستقیم و هم با واسطه، بر توسعه کالبدی شهرها اثرگذار هستند .حمل‌ونقل به راستی سازنده و شکننده شهرها است (Clark, 1957). همچنان که گسترش شهرها نیز در روندی متقابل بر شبکه‌ها و سامانه‌های ترابری تاثیر می‌گذارد. پذیرش راهبرد توسعه پایدار در ابعاد جهانی و تمایل به بهره‌گیری از آن در بخش های مختلف لزوم تدوین و طراحی روشی جامع و فراگیر را در دستیابی به این راهبرد تقویت می‌نماید. از سوی دیگر پیچیدگی ذاتی در اندرکنش بین اقتصاد، اجتماع و محیط زیست و تاثیر اساسی آن بر جامعه نیازمند به‌کارگیری روشی کارا در سیستم‌های حمل‌ونقل شهری است. امروزه حمل‌ونقل به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های مهم و اثرگذار و به‌صورت همزمان زمینه ساز توسعه و اثرپذیر از توسعه بوده و این موضوع سبب توجه مدیران و برنامه‌ریزان به مقوله حمل‌ونقل شده است(Jafari *et al*., 2011). اما با توجه به تمرکز برنامه‌ریزان حمل‌ونقل بر دسترسی‌ها و سایر جنبه های دینامیکی حمل‌ونقل شهری، به عوارض زیست‌محیطی آن به‌شدت بی‌توجهی شده است. رشد و توسعه بی‌رویه شهرها عوارضی چون آلودگی هوا، تراکم کاربری‌ها و مصرف منابع را به همراه داشته است. حمل‌ونقل شهری نیز از عوارض این نوع توسعه بی‌نصیب نبوده است (Clos, 2013) ; تأکید یک سویه بر دسترسی به عنوان مهم‌ترین هدف حمل‌ونقل شهری و توسعه بی‌رویه جاده‌های شهری سبب افزایش حجم ترافیک و عوارض زیست‌محیطی به‌ویژه آلودگی هوا شده است.

شهر قم به عنوان یک کلان‌شهر مهم و مذهبی-توریستی نیازمند به‌کارگیری روشی کارا برای سامان‌دهی و مدیریت حمل‌ونقل است، روشی که با سایر بخش‌های توسعه و به‌ویژه محیط زیست در تضاد نباشد. قم از کلان شهرهای ایران است که در ۱۲۵ کیلومتری جنوب تهران، پایتخت ایران، با مختصات ۳۴ درجه و ۶۵ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۸۸ دقیقه شرقی واقع شده است. این شهر در کنار رودخانه قم‌رود و در دشت قم قرار دارد. شهر قم مرکز استان قم و نیز مرکز شهرستان قم است. این شهر در شاهراه ارتباطی و حمل‌ونقل ایران واقع شده و از یک سو رابط بین استان‌های صنعتی ایران با تهران و از سویی دیگر رابط استان‌ها و شهرهای جنوبی ایران با استان‌ها و شهرهای شمالی است. این اهمیت منحصر به زمان حاضر نیست و در گذشته نیز قم به دلیل قرار گرفتن در مسیر راه ابریشم دارای اهمیت ارتباطی بوده است.

بنابراین مقاله حاضر با شبکه‌بندی و ارزش‌گذاری مناطق مختلف شهر بر اساس پارامترهای زیست‌محیطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و به کمک GIS و تطبیق آن با شرایط موجود شبکه راه‌ها سعی در اصلاح و بهینه‌سازی الگوی حمل‌ونقل شهری قم دارد.

مواد و روش‌ها

اساس کار این تحقیق شبکه‌بندی سیستم حمل‌ونقل درون‌شهری منطقه مورد بررسی با توجه به شاخص‌های زیست‌محیطی و به کمک الگوریتم ژنتیک و نهایتا تعیین و انتخاب پیکسل های مناسب و نامناسب درون این شبکه است. روند کار به این صورت

است که ابتدا بررسی‌های کتابخانه‌ای و مرور منابع انجام شده و مناطق حساس زیست‌محیطی شناسایی شده (در محدوده منطقه مورد بررسی منطقه حساس زیست‌محیطی مشاهده نشد) و شاخص‌های زیست‌محیطی مرتبط با حمل‌ونقل (آلودگی هوا، آلودگی صوتی، آلودگی خاک، مصرف انرژی و اثرات کاربری‌ها) از منابع معتبر استخراج شده است، (Pourebrahim and Hadipour, 2013; OECD, 2002; Brontland, 1993; Rodringue, 2014; Schipper *et al*., 2009; Litman, 2003; Nicolett *et al*., 2015; Chen *et al*., 2013) سپس نقشه جی‌آی‌اس منطقه با توجه به وسعت منطقه و دقت بررسی به ۳۱۵ سلول به ابعاد ۱ کیلومتر مربع شبکه‌بندی شد. سپس میزان تولید آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل در هر یک از سلول‌های شبکه جداگانه بررسی می‌شود، به این ترتیب که با توجه به این شاخص‌ها و با اندازه‌گیری فاصله جاده‌های موجود از انواع کاربری‌ها (مناطق مسکونی، مراکز تجاری، مراکز آموزشی، بیمارستان‌ها و ...) از روی نقشه جی‌آی‌اس منطقه و مقایسه اندازه این فاصله‌ها با استانداردهای موجود، به هر یک از پیکسل‌های شبکه امتیازهایی داده می‌شود (شکل ۱). همچنین برای سنجش تاثیرات آلودگی آب و خاک و تاثیرات کاربری اراضی که اندازه‌گیری این دو شاخص با استفاده از میزان فاصله آنها امکان پذیر نیست و برای افزایش صحت و دقت نتایج، از نظرات کارشناسی ۴۰ نفر از کارشناسان ارشد محیط زیست استفاده شده است که در قالب پرسش‌نامه‌هایی متشکل از شاخص‌های محیط زیستی و کاربری‌های موجود میزان تاثیرگذاری آنها به روش ساعتی از ۱ تا ۹ امتیازدهی شده (Saaty, 2009)، سپس امتیازهای داده شده از محیط GIS وارد محیط کامپیوتر شده و با نرم‌افزار MATLAB و روش الگوریتم ژنتیک، برنامه‌نویسی صورت گرفته و میزان مناسب و بهینه بودن جاده‌های موجود که با سه کد ۱، ۲، ۳ که به ترتیب معرف منا سب، تنا سب میانه و نامنا سب بودن موقعیت پیکسل مورد نظر از لحاظ زیست‌محیطی است تعیین می‌شود، در واقع تنها امتیازدهی اولیه شاخص‌ها توسط خبره انسانی انجام شده و نتایج نهایی با روش الگوریتم ژنتیک و با نرم‌افزار MATLAB به‌دست آمده است، سپس نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک را به GIS ارتباط داده و نقشه وضع موجود حاصل از کدها تولید می‌شود. نقشه تولید شده حاصل از نتایج الگوریتم ژنتیک وضعیت موجود شبکه حمل‌ونقل قم را از لحاظ زیست‌محیطی نشان می‌دهد. دستیابی به وضعیت بهینه از لحاظ زیست‌محیطی نیازمند ایجاد تغییرات در شبکه راه‌ها و یا تغییر مکان کاربری‌هایی است که به لحاظ آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل حساسیت بالاتری دارند که این کار انجام شده و نتایج حاصل در بخش یافته‌ها ارائه شده است.

تعیین شاخص‌های زیست‌محیطی

با توجه به مستندات و تحقیقات صورت‌گرفته عوارض زیست‌محیطی، حمل‌ونقل شهری را می‌توان در ۵ بخش ذیل خلاصه کرد (Hadipour and Pourebrahim, 2013; OECD, 2002; Brontland, 1993; Rodringue, 2014; Schipper *et al*., 2009; Shahi and Dousti, 2006; Litman, 2003; Nicolett *et al*., 2015; Chen *et al*., 2013) آلودگی هوا، آلودگی آب و خاک، آلودگی صوتی، مصرف سوخت، کاربری زمین

شبکه‌بندی نقشه راه‌ها و کاربری‌های قم

برای تسهیل و دقت در بررسی عوارض ناشی از حمل‌ونقل بر محیط زیست لازم است که نقشه منطقه مورد بررسی به کمک GIS شبکه‌بندی و سپس شاخص‌های موجود در تک‌تک سلول‌های شبکه به‌صورت مجزا امتیازدهی شود. بنابراین با توجه به وسعت و

مقیاس منطقه و دقت بررسی، نقشه راه‌ها و کاربری‌های موجود به ۳۱۵ سلول به مساحت ۱ کیلومتر مربع شبکه‌بندی شد.

سنجش پارامترهای زیست‌محیطی

سنجش آلودگی هوا

در اکثر شهرها، مهم‌ترین مبحث زیست‌محیطی در مورد حمل‌ونقل شهری، مربوط به آلودگی هوا است. طراحی تامین حرکت در حمل‌ونقل، نیازمند احتراق سوخت‌های فسیلی است، که باعث تولید آلاینده‌های مختلفی شامل مونواکسید کربن، دود، گاز های مختلف، بخار هیدروکربن ها، اکسید گوگرد و نیتروژن، گوگرد (سولفات) و نیترات تفکیک شده، خاکستر و سرب می‌شوند (Rodringue, 2014). برای سنجش آلودگی هوا در حمل‌ونقل مدل ها و محاسبات ریاضی معمولا به ارزیابی شرایط زیست‌محیطی در نزدیکی و مجاورت جاده ها می‌پردازد. این مدل ها تئوری سطوح آلودگی هوا را در چارچوب متغیرهای ریاضی زمانی و فضایی در بستر شرایط و حدسیات مختلف بررسی می‌کند. به‌طور معمول پایه های عمده مدل‌سازی آلودگی هوا در مبحث حمل‌ونقل شهری حجم ترافیک (منبع آلودگی) و تمرکز منوکسید کربن (عنصر اصلی آلودگی حمل‌ونقل) در فواصل مورد نظر است که بر اساس پایداری CO در نظر گرفته می شود. بررسی‌های تفصیلی در این‌باره برای منطقه مورد بررسی با ساخت یک مدل ریاضی انجام شده که به عنوان مبنای آنالیز کمّی آلودگی هوای ناشی از حمل‌ونقل شهری در این بررسی استفاده می‌شود. جدول ۱ حداقل فاصله مجاز مناطق مسکونی از جاده‌های شهری برای مصونیت از آلودگی هوا است Hadipour and Pourebrahim, (2013).

جدول ۱- حداقل فواصل استاندارد جاده‌ها از کاربری‌ها

Table1- The minimum standard distance of the roads from the land uses

نوع جاده		حداقل فاصله
Arterial Roads	شریانی	86.15
Sub_ Arterial Roads	شبه‌شریانی	71.14
Collector Roads	ارتباطی	70.13
Local Roads	محلی	65.10
Highway	بزرگراه	70.13

منبع: (Hadipour and Pourebrahim, 2013)

سنجش آلودگی آب و خاک

در محدوده شهرها (با فرض نبود کارخانه ها) ترافیک اتومبیل‌ها، مهم‌ترین عامل آلودگی خاک به شمار می‌رود. بنابراین راه‌ها و شبکه‌های ارتباطی، مؤثرترین کاربری در ایجاد آلودگی در خاک هستند. تأثیرات اکولوژیکی آن از دست رفتن زمین‌های کشاورزی و اختلالات بیولوژیکی، تغییر در آب‌های سطحی و زهکش‌ها، فرسایش خاک و رسوب‌گذاری، آلودگی آب، تغییرات در منظر و اکوسیستم است. آلودگی خاک ناشی از حمل‌ونقل به علت نفوذ سرب از اگزوز اتومبیل‌ها به خاک جاده‌هاست. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده غلظت سرب با فاصله از جاده و از سطح به عمق کاهش می‌یابد (Alloway, 1990). آلودگی آب حمل‌ونقل جاده‌ای مربوط به شست‌وشوی مواد نفتی و روغنی وسائط نقلیه است و تردد اتومبیل‌ها باعث انتشار موادی چون آزبست و نیترات روی آسفالت خیابان‌ها می‌شود . این مواد در اثر بارندگی و شست‌وشوی خیابان‌ها به راه‌های گوناگون وارد منابع آب های سطحی و زیرزمینی و در نهایت موجب آلودگی آب‌ها می‌شوند (Litman, 2003).

برای سنجش آلودگی آب و خاک در هر سلول شبکه ابتدا بررسی می‌شود که در سلول موجود چه کاربری‌هایی وجود دارد و با توجه به پرسش‌نامه‌ها و نظرات کارشناسی امتیازاتی که به کاربری‌های موجود در آن سلول داده شده، برای آن در نظر می‌گیریم و برآیندی از آن را به عنوان آلودگی آب و خاک منظور می‌کنیم.

سنجش آلودگی صوتی

ترافیک ناشی از حمل‌ونقل شهری یکی از منابع آلودگی صدا در سطح شهرهای بزرگ است. آلوگی صدا بر سلامت، آسایش و آرامش و سایر استانداردهای زندگی جامعه تاثیر سوء گذاشته و انجام اقدامات لازم در زمینه کاهش آلودگی صدا در این مناطق ضروری به نظر می‌رسد. استانداردهای نسبی آستانه آلودگی‌های صوتی در ایران برای کاربری‌های مختلف شهری از ۴۵ تا ۷۵ دسی‌بل است (EPA, 2014). با توجه به اینکه تمامی امتیازهای داده‌شده در تحقیق حاضر بر مبنای میزان فاصله کاربری‌ها از انواع جاده‌های درون‌شهری است، آلودگی صوتی نیز بر اساس استانداردها و فواصل مجاز کاربری‌ها با جاده‌ها بررسی می‌شود (جدول۲). حداقل فاصله ممکن تردد وسایط نقلیه موتوری را تا انواع کاربری‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲- حداقل فاصله مجاز منبع تولید آلودگی صوتی تا کاربری‌ها

Table 2- The minimum allowable distance of source pollution from land uses

نوع وسیله نقلیه	حد مجاز تولید صوت	حداقل فاصله مجاز
خودرو Vehicle	74 دسی بل	7/5متر
موتور سیکلت Motorcycle	77 دسی بل	10 متر

منبع: (EPA, 2014).

سنجش مصرف سوخت

مصرف بهینه سوخت با مبنا قرار دادن مسیرهای بهینه دسترسی به سوخت انجام می‌گیرد. بر اساس بررسی‌های صورت‌گرفته استقرار کاربری‌ها در شعاع ۳۰۰ متری این مسیرها می‌تواند ضامن دسترسی به مسیر و در نتیجه مصرف بهینه سوخت باشد (Hadipour and Pourebrahim, 2012). برای این منظور به کمک حریم‌سازی در نرم‌افزار ArcGIS و با ابزار Buffer نقشه حریم ۳۰۰ متری از مسیرهای بهینه دسترسی به سوخت استفاده می‌شود. به این ترتیب اگر فاصله راه‌ها از کاربری‌ها در هر سلول شبکه بیش از ۳۰۰ متر باشد به لحاظ مصرف انرژی و سوخت نامناسب خواهد بود.

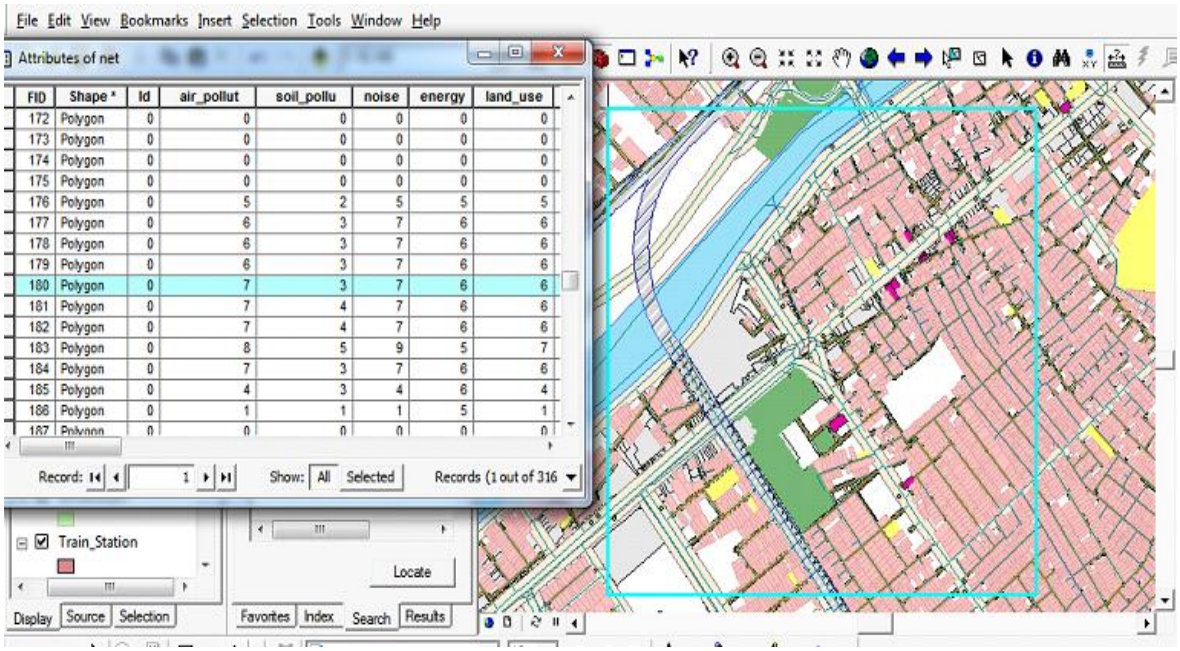
سنجش کاربری زمین

برنامه‌ریزی کاربری زمین و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل تاثیرات متقابل و دوسویه‌ای بر یکدیگر دارند. علاوه بر آن هر یک از این دو، بخشی از یک سیستم پویا به شمار می آیند که تحت تاثیر عوامل بیرونی نیز قرار می‌گیرند. با توجه به این تاثیرات دوسویه به نظر می‌رسد بسیاری از مسائل موجود در شبکهٔ حمل‌ونقل از نقایصی است که در برنامه‌ریزی کاربری زمین ناشی شده است Shahi (and Dousti, 2006). برای سنجش و امتیازدهی به شاخص تاثیرات کاربری حمل‌ونقل بر محیط زیست در هر پیکسل شبکه با توجه به پرسشنامه‌ها و نظرات کارشناسی امتیاز مورد نظر منظور شده و نتایج نهایی، برآیند امتیازهای داده‌شده توسط هر کارشناس است. امتیازدهی در این مورد به این صورت انجام شده که تاثیرات حمل‌ونقل بر هر یک از این کاربری‌ها به چه میزان است. مثلا تاثیر آلودگی هوای حمل‌ونقل بر منطقه مسکونی یا پارک یا هر کاربری دیگر چقدر بوده است که هرچه میزان تاثیرات بیشتر و منفی‌تر باشد امتیاز بالاتری به آن شاخص داده می‌شود.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش یادگیری بر پایه تکامل بیولوژیک است. این روش در سال ۱۹۷۰توسط جان هلند[1] ابداع شد. این روش با نام الگوریتم تکاملی نیز خوانده می شوند. الگوریتم ژنتیک یکی از گسترده‌ترین روش‌های غیرتحلیلی مورد استفاده و روشی تحقیقی برای یافتن راه‌حل‌های بهینه سازی است. این راه‌حل‌ها اغلب به بهینه یا در برخی موارد به راه‌حل‌های بهینه

نزدیک است که یک الگوریتم تکاملی خاص است و از تکنیک های بیولوژیکی مانند وراثت، جهش، انتخاب و تقاطع الهام می‌گیرد و به عنوان روشی اجرا می‌شود که در آن جمعیتی از کروموزوم ها راه حل هایی را ارا ئه می‌دهند که باعث بهبود در ارائه جمعیت بهتر می‌شود (Glover, 1987).



شکل۱- فرایند امتیاز دهی سلول‌های شبکه در محیط GIS

Fig. 1- Scoring process of grid cells in GIS

ارتباط نتایج حاصل از GIS به الگوریتم ژنتیک

پس از تعیین امتیازهای هر سلول در GIS وارد الگوریتم ژنتیک می‌شویم تا وضعیت نهایی سلول‌ها (برآیند تمامی شاخص‌ها) از لحاظ مناسب بودن یا نامنا سب بودن م شخص شود. بدین ترتیب که امتیازات داده‌شده به‌صورت یک فایل اکسل از GIS وارد نرم‌افزار MATLAB شده و با کدنویسی با روش الگوریتم ژنتیک نتایج نهایی به‌دست می‌آید (جدول۳).

روش پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک

استفاده از الگوریتم ژنتیک بدین منظور است که با استفاده از یک سری داده‌های مشخص رابطه‌ای پیدا شود تا بتوان با کمک آن خروجی داده‌های جدید را شناسایی کنیم.

رابطه مورد استفاده :

(۱)

$$y = w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \cdots + w_n \times a_n$$

که در اینجا y خروجی مطلوب است. wها مقادیری هستند که باید طی الگوریتم ژنتیک یافت شوند. و aها مقادیر موجود هستند، مثلا امتیازات داده‌شده در یکی از سلول‌های شبکه ۶، ۶، ۷، ۳، ۷ بودند که نتیجه رابطه مقابل خواهد شد:

$$y = w_1 \times 6 + w_2 \times 6 + w_3 \times 7 + w_4 \times 3 + w_5 \times 7$$

I .ابتدا تعدادی کروموزم به صورت ت صادفی تولید می‌کند. منظور از کروموزوم جواب‌های مسئله است. یعنی باتوجه به امتیازاتی که به هریک از شاخص‌ها (آلودگی هوا، آلودگی آب و خاک، آلودگی صوتی، مصرف انرژی، کاربری زمین) دادیم $[w_1,w_2,\ldots]$ یک کروموزوم

حساب می‌شود. که باید به تعداد ردیف‌هایی که برای آموزش مشخص می‌شود، کروموزوم ایجاد کرد. این امتیازات به‌صورت یک فایل اکسل از attribute لایه شبکه خروجی گرفته شده و وارد رابطه مورد نظر در الگوریتم ژنتیک می‌شود.

II. سپس باید این کروموزوم‌های تصادفی را به تابع هزینه داد تا روی تمام آنها آزمون شود و y به‌دست آید.

III. آنگاه بین وزن‌های به‌دست آمده، آنها را بر اساس کمترین مقداری که برای y به ما داده‌اند مرتب می‌کنیم.

IV. سپس با توجه به عددی که به‌عنوان کمیت ادغام و جهش داده شده جواب‌ها را ادغام می‌کنیم و جهش می‌دهیم.

V. مراحل قبل را آنقدر تکرار می‌کنیم تا یکی از ۲ اتفاق زیر رخ دهد:

الف) تعداد تکرار به پایان برسد. یعنی اگر عدد تکرار ۱۰۰ انتخاب شده مراحل ذکرشده ۱۰ بار تکرار شود.

ب) عددی را به‌عنوان خطا در نظر می‌گیریم و می‌گوییم خطای کمتراز آن (مثلا ۰/۰۰۰۱) را در نظر نگیرد و اگر y به این مقدار رسید دیگر تکرار نکند و وزن‌هایی که y را به ۰/۰۰۰۱ رسیده‌اند به‌عنوان جواب در نظرگرفته شود.

۳. در اینجا توانسته‌ایم وزن‌های خود را به‌دست آوریم. حال با استفاده از این وزن‌ها خروجی مقادیر آزمونی را به‌دست می‌آوریم و با کم کردن مقدار به‌دست آمده از مقداری که باید به‌دست آید خطای آزمون (صحت‌سنجی مورد نظر) و در نهایت جواب مسئله به‌دست می‌آید که خطای حاصل از این آزمون ۱۷٪ است و با توجه به اینکه داده‌ها مربوط به موقعیت‌های مختلف کاربری‌ها در شهر است و نظم خاصی در چگونگی جای‌گیری و مکان‌مندی انواع کاربری‌ها در سطح شهر وجود ندارد این درصد خطا توجیه‌پذیر و قابل قبول است.

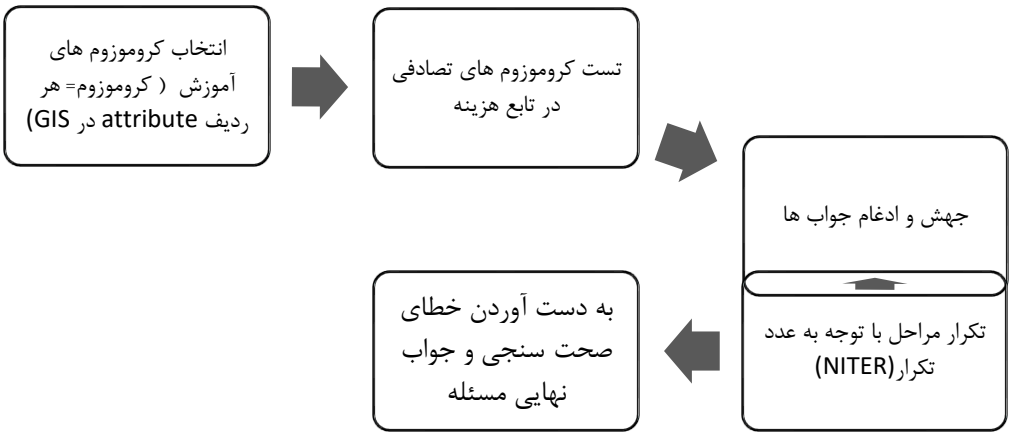
مراحل انجام کار و رسیدن به جواب مطلوب در الگوریتم ژنتیک در شکل۲ نمایش داده شده است.

جدول۳- بخشی از جدول امتیازات نهایی

Table 3- The part of final scores attribute

شماره سلول	آلودگی هوا	آلودگی آب و خاک	آلودگی صوتی	مصرف سوخت	اثرات کاربری	امتیازات نهایی
57	2	1	1	1	0	1.00
70	1	1	1	7	1	2.00
73	1	1	1	5	1	1.00
75	1	1	1	6	1	1.00
76	1	1	1	6	1	1.00
77	1	1	1	6	1	1.00
78	1	1	1	6	1	1.00
79	6	4	6	7	5	3.00
80	5	5	5	7	6	3.00
81	1	1	1	6	1	1.00
82	1	1	1	6	1	1.00
83	1	1	1	6	1	1.00
84	1	1	1	1	1	1.00
85	1	1	1	6	1	1.00
86	1	1	1	6	1	1.00
87	1	1	1	6	1	1.00
88	1	1	1	6	1	1.00
89	1	1	1	6	1	1.00
90	7	5	3	6	5	3.00
91	6	5	4	6	5	2.00
92	5	3	4	5	5	2.00
93	3	2	3	5	2	1.00
94	4	3	4	5	4	1.00
95	4	3	4	5	4	1.00
96	3	2	3	5	4	1.00
97	3	2	3	5	4	1.00
99	5	4	5	6	5	2.00
100	6	4	6	6	5	2.00

منبع: نگارندگان



شکل ۲- مراحل انجام الگوریتم ژنتیک
Fig. 2- Genetic algorithm implementation steps

نتایج و بحث

برای بررسی مکانمند وضعیت موجود شبکه حمل‌ونقل نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک، سه عدد به‌دست آمده ۱ (وضعیت مناسب)، ۲ (تناسب میانه) و ۳ (وضعیت نامناسب) را وارد attribute لایه شبکه در GIS کرده و نتایج را به‌صورت نقشه ارائه می‌کنیم. در اینجا هر کدام از شاخص‌ها شامل آلودگی هوا (شکل۳)، آلودگی آب و خاک (شکل۴)، آلودگی صوتی (شکل۵)، شاخص مصرف سوخت (شکل۶) و تاثیرات کاربری اراضی (شکل۷) به‌صورت جداگانه نقشه‌سازی شده‌اند.

برای درک برآیند نتایج حاصل از تمامی شاخص‌ها، نقشه نهایی حاصل از نتایج الگوریتم ژنتیک، که وضعیت موجود شبکه حمل‌ونقل را از لحاظ زیست‌محیطی نشان می‌دهد، تولید شده است. (شکل۸). آنچه که از نقشه وضعیت موجود استنباط می شود ۳۰ در صد مناطق با آلودگی بالا و دارای امتیاز ۳ در سلول‌های مرکزی شهر قابل مشاهده است و علت اصلی آن تمرکز مراکز تجاری، اداری و دولتی در این مناطق است که لزوم آمدوشد و ترافیک بالا را باعث شده است و انواع آلودگی ها به‌خصوص آلودگی هوا و آلودگی صوتی در این مناطق را ایجاد کرده است، همچنین قسمتی از سلول‌های دارای امتیاز ۳ (آلودگی بالا) در قسمت جنوب غربی متمرکز است که به علت وجود مناطق تفریحی (بوستان غدیر و بوستان علوی) و همچنین استقرار منطقه مسکونی پردیسان تاثیرات آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل به خصوص آلودگی هوا و مصرف سوخت بالا در این نواحی است. همچنین در بخش آلودگی آب و خاک بیشتر آلودگی‌ها در نواحی نزدیک به رودخانه قم (مرکز شهر) مشاهده می‌شود. حدود ۳۰ درصد از سلول‌های شبکه در وضعیت میانه از لحاظ تاثیرات ناشی از حمل‌ونقل قرار دارند. ۴۰ درصد باقی‌مانده نیز در وضعیت مناسب از لحاظ زیست‌محیطی و یا بدون شبکه حمل‌ونقل است.

اما نتایجی که از نقشه بهینه شبکه حمل‌ونقل استنباط می‌شود به خوبی نشان می‌دهد که با انتقال بخشی از مناطق مسکونی به نواحی اطراف شهر و با آلودگی کمتر تغییرات محسوسی در وضعیت تناسب سلول‌های شبکه ایجاد می‌شود به صورتی که سلول‌های با امتیاز ۳ (نامناسب) به امتیاز ۱ (مناسب) تغییر وضعیت می‌دهند، به‌طوری‌که فقط ۱۰در صد از سلول‌ها در وضعیت نامناسب از لحاظ زیست‌محیطی قرار می‌گیرند.

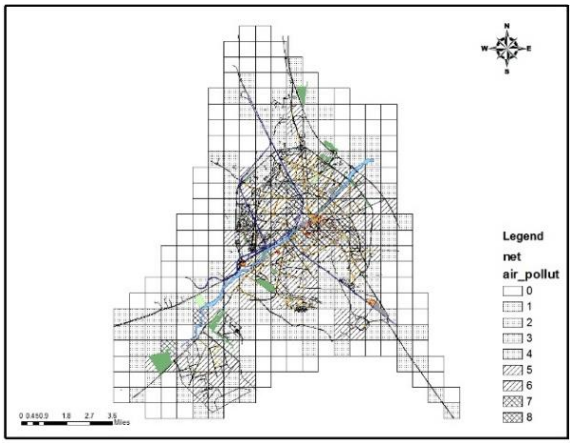
برای آنکه بتوان به وضعیت بهینه از لحاظ زیست‌محیطی دست یافت دو راهکار وجود دارد:

۱- ایجاد تغییرات در شبکه راه‌ها

۲- تغییر مکان کاربری هایی که به لحاظ آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل حساسیت بالاتری دارند.

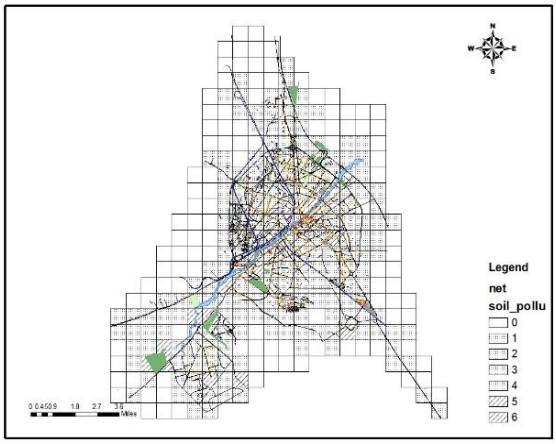
از آنجا که تغییر مسیر شبکه راه‌ها با توجه به طرح‌های توسعه‌ای و عمرانی در حال اجرا در شهر قم امکان‌پذیر نبوده و از لحاظ اقتصادی نیز توجیه پذیر نیست، راهکار دوم یعنی تغییر مکان کاربری‌ها انتخاب شده است، همچنین با توجه به اینکه سنجش آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل عمدتا با تمرکز بر نواحی مسکونی انجام شده تغییر مکان این کاربری در اولویت هدف بهینه‌سازی بوده است.

بنابراین، به کمک GIS تعدادی از سلول‌های شبکه که شرایط نامناسبی از لحاظ زیست‌محیطی دارند را به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای انتخاب کرده و مناطق مسکونی موجود در این سلول‌ها را حذف کرده و به سلول های دارای وضعیت مناسب از لحاظ زیست‌محیطی انتقال می‌دهیم، پس از آن مجددا در سلول‌های انتخاب‌شده امتیازدهی صورت گرفته تا میزان تغییرات در وضعیت آنها نمایان شود. سپس نقشه حاصل از تغییرات که نقشه نهایی وضعیت بهینه شبکه حمل‌ونقل را نشان می‌دهد تولید شده است. (شکل۹)



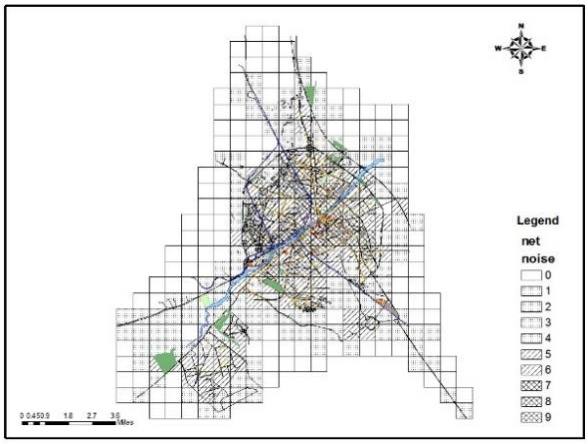
شکل۳-نقشه وضعیت آلودگی هوا

Fig. 3- Map of air pollution condition



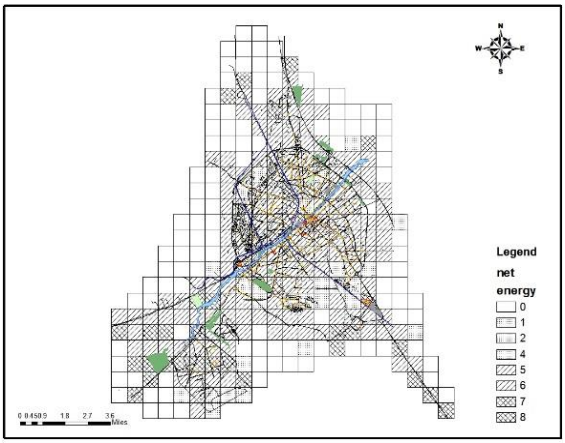
شکل۴- نقشه وضعیت آلودگی آب و خاک

Fig. 4- Map of water & soil pollution condition



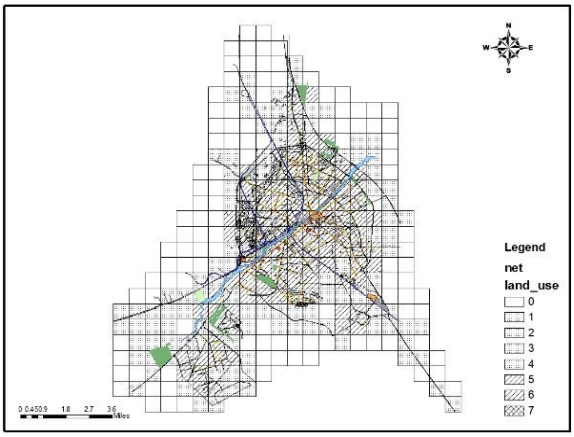
شکل۵- نقشه وضعیت آلودگی صوتی

Fig. 5- Map of noise pollution condition



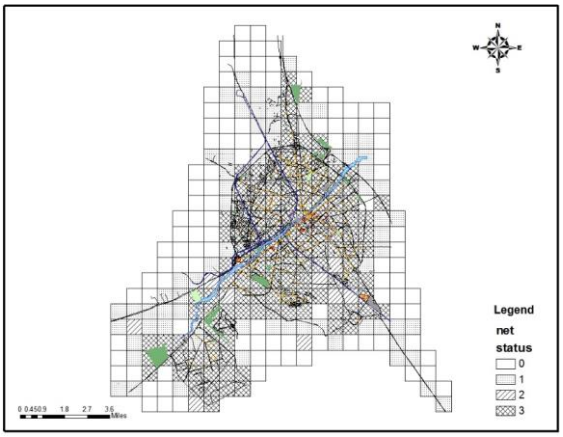
شکل۶- نقشه وضعیت مصرف سوخت

Fig. 6- Map of fuel consumption condition



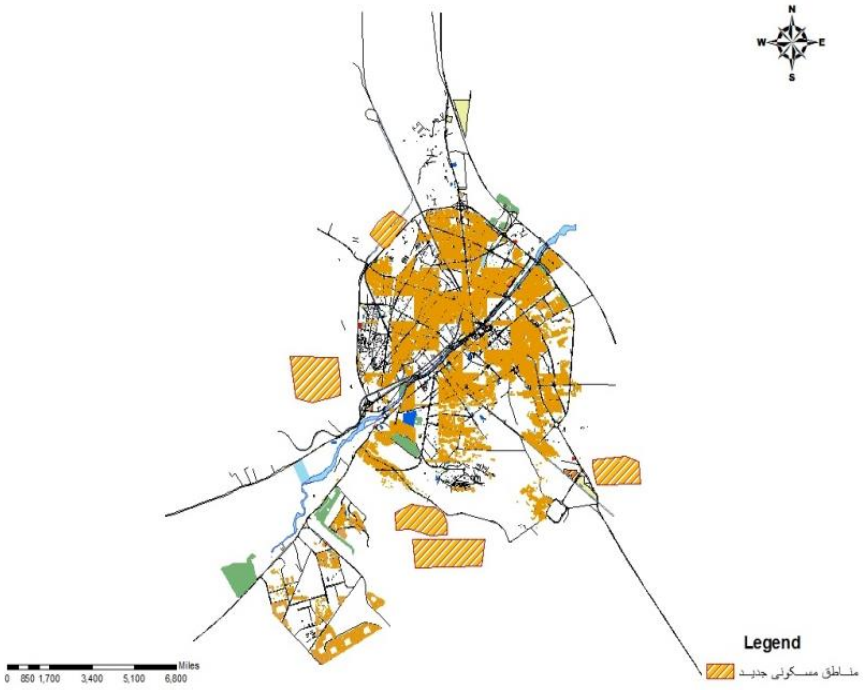
شکل۷- نقشه وضعیت تاثیرات کاربری اراضی

Fig.7- Map of land use effect condition



شکل ۸- نقشه نهایی وضعیت موجود شبکه حمل‌ونقل قم

Fig. 8- final map of status quo of transportation network of Qom



شکل ۹- نقشه نهایی وضعیت بهینه شبکه حمل‌ونقل قم

Fig. 9- Final map of optimum situation of transportation network of Qom

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف شبکه‌بندی سیستم حمل‌ونقل درون شهری قم با توجه به پارامترهای زیست‌محیطی با روش الگوریتم ژنتیک و نهایتا تعیین و انتخاب پیکسل‌های مناسب و نامناسب درون این شبکه و ارتباط این نتایج با GIS است. در تحقیقاتی که تاکنون در رابطه با تاثیرات حمل‌ونقل بر محیط زیست صورت گرفته، هر یک از آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل به‌طور جداگانه و مجزا موضوع مورد بررسی بوده اما در تحقیق حاضر تمامی پارامترهای زیست‌محیطی مرتبط با حمل‌ونقل (آلودگی‌ها) یکجا در نظر گرفته شده و تاثیر هر یک از آنها در شبکه حمل‌ونقل قم با تولید نقشه نمایش داده شده است که برای اولین بار در محدوده مورد بررسی انجام شده است. همچنین در این تحقیق همزمان از

نرم‌افزارهای MATLAB برای استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و Arc GIS برای نقشه سازی استفاده شده که ارتباط این دو با هم کاری نو و دارای قابلیت بالا برای بسط و توسعه در تحقیقات زیست‌محیطی و مرتبط به نظر می‌رسد. به‌طور کلی تاکنون پژوهشی با موضوع بهینه‌سازی و اصلاح شبکه حمل‌ونقل از لحاظ زیست‌محیطی در محدوده مورد بررسی (شهر قم) صورت نگرفته است.

طبق بررسی‌های به عمل آمده انتقال مناطق مسکونی از مرکز شهر به نواحی اطراف، راهکار مناسبی برای کاهش تاثیرات آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل خواهد بود. در این راستا پیشنهادات و راهکارهای ذیل ارائه می‌شود:

- انتقال بخشی از مناطق مسکونی و مراکز تجاری، اداری و دولتی از ناحیه مرکزی شهر به نواحی با ترافیک و آلودگی کمتر

- برنامه‌های عمرانی و توسعه‌ای منطقه در آینده باید به نحوی باشد که مانع تمرکز و ایجاد کاربری‌های مهم و کلیدی در مرکز شهر شود تا باعث کاهش رفت‌وآمد و ترافیک بالا در این مناطق شود.

- استفاده از وسایل نقلیه غیرموتوری مانند دوچرخه در خیابان‌های مناطق مرکزی شهر

- جلوگیری از تردد وسایل نقلیه شخصی در مرکز شهر و جایگزینی آن با وسایل نقلیه عمومی برای کاهش آلودگی هوا و صوت و کاهش مصرف سوخت

- ایجاد منطقه حایل به نحوی که فاصله مناطق مسکونی از راه‌های حمل‌ونقلی زیاد و در حد استاندارد باشد.

- استفاده از گیاهان به عنوان سدهای طبیعی در مقابل صوت که می‌توان با کاشت درختان در کنار خیابان‌ها و بزرگراه‌ها و جاده‌های دسترسی به شهرها، آلودگی ناشی از صدا را کاهش داد.

- ایجاد مسیرهای مخصوص دوچرخه در مناطقی از شهر که دارای آلودگی بالا هستند.

- ممنوعیت توسعه در اطراف رودخانه قم برای کاهش آلودگی آب و خاک ناشی از زیرساخت‌های حمل‌ونقل

پی‌نوشت

[1] John Holand

منابع

Alloway, B. J., 1990. Heavy metals in soils: Lead. Blackie and Glasgow.Ltd.London. UK.

Brondtland, H.G., 1993. Sustainable Development: An overview. Development (Journal of SID). 2(3), 1-11.

Chen, H., Lena, Q., Gao, B., and Cheng, G., 2013 .Influence of Cu and Ca cations on ciprofloxacin transport in saturated porous media. Journal of Hazardous Materials. 262, 805-811.

Clark, C., 1957. Transport: maker and breaker of cities. Town planning review. 28, 237-250.

Clos, J., 2013. Planning and Design for Sustainable Urban Mobility. United Nations Human Settlements Programme.

EPA (Environmental Protection Agency), 2014. The latest report on the situation of noise pollution in the capital.

Glover, D.E., 1987. Genetic Algorithm and Simulated Annealing. Morgan Kaufmann, Los Altos, CA.USA.

Hadipour, M. and Pourebrahim, Sh., 2012. Locating residential areas in urban transport planning using GIS and modeling of air pollution.

Journal of Environmental Studies. 59, 135-148. (In Persian with English abstract).

Hadipour, M. and Pourebrahim, S., 2013. Arak environmental management, urban transport to help reduce fuel consumption in routing the perfect model using GIS. Transportation Engineering. 16, 407-418. (In Persian with English abstract).

Jafari, M., Karamrudy, M., Shiraz Amini, H., 2011. A Model for assessing the benchmark index for measuring sustainable urban transport planning and integrated management. In Proceedings of the first international conference of urban management sustainable development technology research center of Sharif University, Tehran.(In Persian with English abstract).

Litman, T., 2003. Sustainable transportation indicators. Victoria Transport Policy Institute (VTPI). Canada.

Nicolett, G., Arcuri, N., Nicoletti, G. and Bruno, N., 2015. A technical and environmental

comparison between hydrogen and some fossil fuels, EnergyConversion and Management. 89, 205-213.

OECD (Organization for Economic, Cooperation and Development), 2002. Guidelines towards Environmentally Sustainable Transport.

Rodringue, J., 2014. Pollutants Emitted by Transport Systems (Air, Water and Noise). Department of Global Studies & Geography, Hofstra University, New York, USA.

Saaty, T., 2009. The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, RWS publisher, USA.

Schipper, L. Fabian, H. and Leather, J. (2009). “Transport and Carbon Dioxide Emissions: Forecasts, Options Analysis and Evaluation”. ADB Sustainable Development Working Paper Series, No. 9, pp. 1-7.

Shahi, G. and Dousti. S., 2006. Global environmental policy on urban transport and redeploying it in Iran. In Proceedings of second seminar on construction in Tehran University, Iran. (In Persian with English abstract).

Environmental Sciences Vol.14 / No.4 / Winter 2017

91-104

Optimization and modification of urban transportation network of Qom with environmental considerations using genetic algorithms and GIS

Marziyeh Mirzaaghaei[1], Mehrdad Hadipour[2*] and Mohsen Rahmani[3]

[1]MSc in Environment, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Arak
[2]Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Arak
[3]Assistant Professor, Department of Computer, Faculty of Engineering, University of Arak

Received: June 25, 2016 **Accepted:** December 7, 2016

Mirzaaghaei, M., Hadipour, M. and Rahmani, M., 2017. Optimization and modification of urban transportation network of Qom with environmental considerations using genetic algorithms and GIS. Environmental Sciences. 14(4), 91-104.

Introduction: Transportation in cities has always been a matter of interest to people. However, following the Industrial Revolution, the unprecedented increase in urbanization and the emergence of various means of transportation, the importance of transportation is greater than ever before. Today, transportation is one of the most important and influential infrastructures and it allows for the development of society while, at the same time, it is under the influence of development; this is the reason why managers and city planners pay close attention to transportation. Despite the focus of transportation planners on accessibility and other dynamic aspects of urban transportation, however, the side effects on the environment have been severely neglected. Stable transportation has economic, social, and environmental factors and stability is achieved by considering all these factors simultaneously. The city of Qom, as an important city for religion and tourism, needs to organize and manage it in a way that does not conflict with other developments or the environment.

Materials and methods: In order to achieve this, after studying the sources the environmental indicators relating to transportation were found and five important indicators identified. Rating these indicators was done according to location and with GIS mapping of Qom's transportation systems and expert opinions. In order to do this, the map of Qom was entered into a grid and indicators in each grid cell were evaluated separately. The final status of each cell was specified using MATLAB software and a genetic algorithm.

Results and discussion: To be able to achieve an optimal environment requires changes in the road network or changes in user locations that are more sensitive to the pollution caused by transport. The results showed

* Corresponding Author. *E-mail Address*: mhadipour50@yahoo.com

that 30% of grid cells were in a bad condition, 30% in an average condition and 40% in a good condition from the point of view of their environmental situation.

Conclusion: The results for the transport network demonstrated that it can be well optimized and the map shows that transfer of a part of the users, especially in residential areas in the area around the city and with less pollution, resulted in marked changes in the proportion of grid cells. As a consequence, the majority of cells with a score of 3 points (bad) to 1 (good) would change their status so that only 10% of the cells would then be placed in a bad condition in terms of the environment. Thus, transfer of a part of the users from downtown to surrounding areas would be a good strategy for reducing the impacts of pollution from transport.

Keywords: Transportation, Environmental factors, Genetic algorithms, GIS.