مسيريابي بهينه درون شهري در سيستم‌هاي اطلاعات مكاني بر مبناي استفاده از الگوريتم هاي ژنتيك تعميم يافته

پرهام پهلواني[1] ، محمود رضا دلاور[*2] و فرهاد صمدزادگان[2]

[1]دانش آموخته كارشناسي ارشد گروه مهندسي نقشه‌برداري - قطب علمي نقشه‌برداري و مقابله با سوانح طبيعي
پرديس دانشكده‌هاي فني - دانشگاه تهران

[2]استاديار گروه مهندسي نقشه‌برداري - قطب علمي نقشه‌برداري و مقابله با سوانح طبيعي
پرديس دانشكده‌هاي فني - دانشگاه تهران

(تاريخ دريافت ۸۴/۴/۴، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۵/۷/۱، تاريخ تصويب ۸۵/۸/۲۰)

چكيده

حجم و تنوع داده‌ها و معيارهاي مكاني در زمينه يافتن مسير بهينه در سيستمهاي حمل و نقل، باعث گرديده است تا در سالهاي اخير بكارگيري سيستم اطلاعات مكاني براي تجزيه و تحليل، تلفيق، مدلسازي و مديريت داده‌هاي مكاني و توصيفي در شبكه گسترده حمل و نقل شهري از اهميت خاصي برخوردار گردد. با اين وجود اغلب روشهاي مسيريابي در اين سيستمها از پيچيدگي زماني بالايي برخوردار بوده و در عمل نمي‌توانند بعنوان يك راه‌حل عملي و كارا در شبكه‌هاي بزرگ شهري مطرح گردند. در اين تحقيق با ارائه يك الگوريتم ژنتيك تعميم يافته بر اساس محيط سيستم‌هاي اطلاعات مكاني[1](GIS)، نسبت به طراحي و پياده سازي یک روش كارا در مسيريابي چند هدفه شبه بهينه اقدام گرديده است. نتايج بكارگيري روش فوق در قسمتي از شمال شبكه شهر تهران بيانگر برتري كامل روش پيشنهادي نسبت به ديگر الگوريتمهاي مرسوم مسيريابي است.

واژه‌هاي كليدي: سيستم‌هاي اطلاعات مكاني- مسيريابي بهينه - بهينه‌سازي - الگوريتم ژنتيك

مقدمه

امروزه جابجايي و سفر از مهمترين عوامل تاثير گذار در فعاليت هاي روزمره بسياري از شهروندان شهرهاي بزرگ و كلان شهرها مي باشد [۱،۲،۳]. اين جابجايي مي‌تواند براي تامين نيازهاي مختلفي از يك نقطه شهر به مقصد خاصي انجام پذيرد. در اين خصوص اولين اقدام از سوي راننده، تلاش جهت طراحي و بكارگيري بهترين مسير براي رسيدن به مقصد است.

بي‌شك مسيريابي از زمره مسائل بهينه‌سازي بوده كه هدف در آن يك جستجوي سيستماتيك در شبكه حمل‌ونقل به منظور پيدا نمودن مسيري خاص با معيار(هاي) بهينه است. شناسايي اين معيار(ها) نيازمند تحليل مفهوم بهينه و رفتار و الگوي اتخاذ شده از سوي راننده در قالب هدف از سفر معني مي‌پذيرد. در اين راستا، در سالهاي اخير تحقيقات گسترده‌اي در زمينه تعيين اتوماتیک مسير بهينه در حال انجام بوده و مسيريابي بهينه در شبكه راه‌هاي دسترسي درون شهري به عنوان يكي از توابع اصلي تجزيه و تحليل شبكه در سيستم‌هاي اطلاعات مكاني شناخته شده است[۱،۲،۳].

معيارهاي اصلي در انتخاب يك مسير عموماً عبارت از طول سفر، زمان سفر، تراكم، عوارض، درجه سختي و چشم‌انداز است[٤]. اين ۶ معيار در سطح وسيعي در ارزيابي يك مسير مورد استفاده قرار مي‌گيرند. اين طبقه‌بندي امكان توسعه‌هاي بعدي در يك سيستم مسيرياب هوشمند بر مبناي سيستم‌هاي اطلاعات مكاني را ساده مي‌سازد. در عمل، روش‌هاي ارائه شده به دو نوع "مسيريابي بهينه تك هدفه" و "مسيريابي بهينه چند هدفه" طبقه‌بندي شده‌اند[۱،۳،۴].

مسائل مسيريابي بهينه تك هدفه بعنوان يك موضوع اصلي در بسياري از زمينه‌هاي تحقيقاتي مورد بررسي قرار گرفته و راه‌حل‌هاي متنوعي براي شرايط مختلف از اين دسته از مسائل موجود است[۱،۳]. الگوريتم ديكسترا، A* و BFT[2] را مي‌توان بعنوان نماينده دسته‌اي از الگوريتمهاي مسيريابي بهينه تك هدفه دانست كه ديدهاي مختلفي از بهينه بودن يك مسير را به ترتيب از لحاظ يك هزينه، يك تابع شهودي[3] و تعداد لبه‌هاي پيمايش شده در يك شبكه ارائه مي‌دهند[۱].

* نويسنده مسئول : تلفن : ۶۱۱۱۴۲۵۷ ، فاكس : ۸۸۰۰۸۸۳۷ ، Email: mdelavar@ut.ac.ir

در مقابل، تحقيقات بر روي مسائل مسيريابي بهينه چند هدفه، بدليل امكان حضور چند معيار متضاد كه هدف، بهينه نمودن همزمان آنهاست، همچنان در حال انجام بوده و در حالت كلي رسيدن به بهينه كلي در اين دسته از مسائل جز مسائل NP-complete محسوب شده و معمولاً از الفاظي چون "شبه بهينه" بجاي بهينه استفاده ميشود . [۲]

در اين تحقيق، ابتدا بـه بررسـي معيارهـاي مختلـف يـك مسير و ارزش‌گذاري هر يك از آنها با توجه بـه متـدولوژي انتخابي پرداخته و سـپس مراحـل مختلـف طـي شـده در طراحي يك روش جـامع در مـسيريابي چنـد هدفـه شـبه بهينه درون شهري از الگوريتم ژنتيك عمومي تا الـگوريتم پيشنهادي بر اساس اصول مطرح در سيستمهاي راهنمـاي مسير، در قالب چهـار كـار عملـي ذكـر گرديـده و نتـايج مربوط به هر مرحله از بهبود الگوريتم ارائه و بحث خواهـد شد.

تحقيقات مرتبط

در بررسي مسائل مسيريابي چند هدفه از ديد الگوريتمهاي قطعي، Fernandez و همكاران [۵] و Mandow و همكاران [٦] اقدام به ارائه روشي براي ناوبري ربات‌ها با استفاده از روش “lexicographical goal satisfaction” با در نظر داشتن سه معيار مستقل مي‌نمايند. يكي از مشكلات اين روش آنست كه تنها محدود به سه معيار مستقل است بانضمام آنكه كارايي آن بر روي شبكه‌هاي بزرگ هنوز به اثبات نرسيده است. Skriver و Andersen [٧] با استفاده از يك روش تصحيح بر چسب، اقدام به بررسي مساله كوتاهترين مسير در حالت دو معياره نمودند. الگوريتم آنان تنها مجموعه برچسبها را ذخيره نموده و مسيرهاي بهينه Pareto پس از اتمام برنامه استخراج مي‌شوند. جزئيات ارائه شده نشان مي‌دهد كه الگوريتمهاي برچسب‌گذاري گره‌ها در بدترين حالت داراي پيچيدگي نمايي است. علاوه بر آن، الگوريتم ارائه شده بر روي شبكه‌هاي كوچك تست شده و محدود به دو معيار است.

Martins و همكاران [۸] يك روش درختي به منظور رتبه‌بندي مسيرهاي بهينه در كوتاهترين مسيريابي چند معياره براي دو معيار ارائه نمودند. Martins و dos Santos [۹] يك الگوريتم برچسب‌گذاري براي كوتاهترين مسيريابي چند معياره ارائه دادند. اين روش جستجوي بر چسب‌گذاري، از لحاظ تئوري مناسب بوده اما هزينه حافظه مورد استفاده در اين روش بگونه‌اي است كه مانع از پياده‌سازي آن در عمل مي‌شود. Hallam و همكاران [۱۰] يك الگوريتم تقريبي براي كوتاهترين مسيريابي چند معياره با بهره‌برداري از اطلاعات شهودي (همانند A*) ارائه دادند. مسيرهاي بهينه Pareto بر اساس اندازه تابع هزينه كه شامل اطلاعات شهودي و قيود مي‌باشند انتخاب شد. Nepal و Park [۱۱]، روش برچسب گذاري را با الگوريتمهاي “exhaustive” تركيب نمودند. نياز به تحقيق بيشتر به منظور بالا بردن كارايي عملي الگوريتم ارائه شده براي شبكه‌هاي بزرگتر دنياي واقعي وجود دارد. Roy و همكاران [۱۲]، اقدام به ارائه يك كاربرد واضح و مناسب از الگوريتمهاي تكاملي براي مساله‌اي كه طبق تعريف چند معياره ناميده مي‌شود، نمودند. هدف اوليه از مسيريابي براي كيفيت سرويس‌دهي[۴] (QoS)، توزيع كاراي ذخاير بي‌سيم به منظور ارضاي نيازمنديهاي QoS است. تناقض موجود بين پارامترهاي مطرح در QoS سبب پيچيدگي بيشتر حل اين دسته از مسائل شده است. نويسنده اشاره مي‌كند كه تحقيقات در زمينه مسيريابي مربوط به QoS به صورت شفاف، بيان كننده كارآيي الگوريتمهاي ژنتيك در پيدا نمودن جوابهاي نزديك به بهينه كلي است.

روش پيشنهادي

در ادامه به معرفي روش ارائه شده در اين تحقيق به منظور تعيين معيارهاي اصلي انتخـاب يـك مـسير (طـول سفر، زمان سفر، تراكم، عوارض، درجه سختي و چشم‌انداز) و تعريفي شـفاف از هـر يـك از معيارهـا بانـضمام معرفـي متريـك كيفيـت پيـشنهادي در نحـوه ارزيـابي از طريـق الگوريتم ژنتيك پرداخته مي‌شود.

روش ارائه شده در تعيين معيارهاي انتخاب مسير

بـراي هـر جفـت مبـدا-مقـصد، امكـان پيـشنهاد مسيرهاي متعددي براي يك راننده ميسر است. هر يك از مـسيرهاي پيـشنهادي در ويژگـي‌هـاي اوليـه خـود داراي ارزش‌ها و مقاديري متفاوتند. يك مسير ممكن است داراي ارزش زيادي در يكي از ويژگي‌ها (بعنوان نمونـه مـسير بـا

كوتاهترين طـول) و ارزش كـم در ويژگـي ديگـر (بعنـوان نمونه مسير با تراكم زياد) باشد. اينگونه، راننده مجبـور بـه ارزيابي مقادير مختلف ويژگي‌هـاي مربـوط بـه هـر مـسير پيشنهادي جهت تصميم‌گيري بـراي انتخـاب يـك مـسير خواهد بود. اين در حالي است كـه از يـك سـو، در نتيجـه بزرگ شدن ابعاد فـضاي جـستجو(توابـع هـدف موجـود)، امكان انتخاب يك راه‌حل حتي از ميان مجموعه جوابهـاي بهينه Pareto [۱۳] از سوي رانندگان به آساني قابل انجام نيست و گاهاً ممكن است جواب دلخواه راننده در هيچيك از مجموعه جوابهاي بهينه Pareto موجود نباشد. از سـوي ديگر دخيل نمودن تمايلات راننده در دادن اهميت به هـر يك از توابع هدف (ويژگي‌هاي اوليه يك مسير)بـه معنـاي استفاده از يك روش مستقل از مقيـاس[۵] [۱٤] اسـت كـه بتواند الگوريتم ژنتيك را در همگرا شدن هر چه بيشتر بـه جوابهاي قابل قبول (و نه فقط مجموعـه جوابهـاي بهينـه Pareto) ياري داده و در نهايت راه‌حل ارائه شـده تـضمين كننده نزديكتر شدن به بهتـرين تركيـب سـازگار از توابـع هدف با توجه به ميزان اهميت هر يك باشد. اين به معناي عدم كارايي روشهاي بر پايه Pareto در اين تحقيق است.

با توجه به توضيحات ارائه شده جهت ارزيابي ويژگـي‌هـاي هر مسير كانديد از روش "جمع نمودن نـرخ هـاي وزنهـاي كلي"[۶] (SWGR) [۱٤] استفاده شده است.

هر يك از ويژگي‌ها بگونهاي طراحي شده‌اند كه در نهايت ارزشي بين صفر و يك داشته باشند. از آنجاكه ويژگيهاي "عوارض" و "چشم‌انداز" در مطالعه مسيريابي در شهر تهران بدليل عدم پرداخت عوارض در اتوبانهاي داخل شهر و عدم توجه به مسائل توريستي در اين تحقيق، در اولويت قرار نداشتند، از دخيل نمودن آنها در محاسبات صرفنظر شد. توضيحات را با چگونگي مستقل از مقياس نمودن هر يك از ويژگي‌هاي اوليه با توجه به روش SWGR آغاز مي‌كنيم.

طول سفر

اگر x_1 بيان كننده اين ويژگي بوده(i=1) و مـسير j كوتاهترين طول را در ميان مسيرهاي كانديد از نـسل اول تا نسل جاري دارا باشد، آنگاه $x_1{}^j = 1$ خواهد بـود. بـراي ديگر مسيرهاي موجود در نسل جاري:

$$x_1{}^k = length\_ratio_k = \frac{max(length\_value) - length\_value_k}{max(length\_value) - min(length\_value)}$$

(۱)

$min(length\_value)$: بهترين مقدار طول در كل جمعيتها

$max(length\_value)$: بدترين مقدار طول در كل جمعيتها

زمان سفر

اين ويژگي به طريقي مـشابه بـا "طـول سـفر" قابـل توسعه است. اگر x_2 بيان كننده ايـن ويژگـي بـوده(i=2) و مـسير j مـسيري بـا كمتـرين هزينـه زمـاني در ميـان مـسيرهاي كانديـد از نـسل اول تـا نـسل جـاري باشـد آنگاه، $x_2{}^j = 1$ خواهد بود. براي ديگر مـسيرهاي موجـود در نسل جاري:

$$x_2{}^k = time\_ratio_k = \frac{max(time\_value) - time\_value_k}{max(time\_value) - min(time\_value)}$$

(۲)

$min(time\_value)$: بهترين مقدار زمان در كل جمعيتها

$max(time\_value)$: بدترين مقدار زمان در كل جمعيتها

به منظور محاسبه زمان سفر از هر يك از معابر و تقاطعات، از مدل تابع تاخير زمان سفر-حجم تهيه شده براي هر يك از انواع معابر شهر تهران [۱۵] و نيز مدل مربوط به زمان تاخير هر يك از تقاطعات چراغدار [۱٦] و بدون چراغ [۱۷] استفاده شد.

تراكم

در اين تحقيق با توجه به تعريف انجام شده توسط متخصصين ترافيك مركز كنترل و نظارت ترافيك تهران، كليه خيابانهاي اصلي ما بين دو flag مشخص كننده‌ي ابتدا و انتهاي تراكم، از سوي متخصص آموزش ديده متراكم تشخيص داده خواهد شد. بدين معنا كه با توجه به شدت تراكم مشخص شده توسط متخصص، كليه خيابانهايي كه تماماً ميان دو flag قرار گرفته باشند با توجه به ضرايب هر يك از سطوح (وابسته به شدت تراكم) متراكم تشخيص داده شده و دو خياباني كه بر روي آنها flag زده شده است ميزان تراكمي برابر با ميانگين وزندار (بر حسب طول سطوح سرويس خيابان در دو سمت flag خواهند داشت. فرض بر آن است كه كليه وسايل نقليه قبل از پيوستن و بعد از جدا شدن از صف تراكم داراي حركت روان مي‌باشند. جدول (۱) مقادير مربوط به ضرايب جريمه پيشنهادي استفاده شده در اين تحقيق براي شدتهاي مختلف تراكم را نشان مي‌دهد.

با توجه به عدم وجود شناسگرهاي حلقوي در بزرگراههاي شهر و عدم امكان اخذ خروجي از نرم‌افزار SCATS[۷] (نرافزار كنترل ترافيك شهر تهران)، در حال حاضر، راه‌حل پيشنهادي يك راه‌كار عملي است، بهرحال پشتيبان محاسباتي مسير شبه بهينه غير وابسته به دامنه بزرگي

اعداد مي‌باشد. بدين ترتيب c_p كه همان ميزان تراكم مربوط به خيابان p مي‌باشد، محاسبه مي‌گردد.

جدول ۱: ضرايب جريمه مربوط به سطوح مختلف سرويس.

سطوح مختلف سرويس	ضرايب جريمه
ترافيك بسيار سنگين	1
ترافيك سنگين	0.7
ترافيك سنگين در حال حركت	0.4
حركت روان	0

ميزان درجه سختي

ميزان درجه سختي مربوط به هر خيابان مي‌تواند تابعي از نوع و طبيعت خيابان مورد نظر باشد. اگر d_p بيان كننده ميزان درجه سختي يك خيابان باشد، در اين حالت ارزش صفر بيان كننده شرايط ايده‌آل رانندگي در خيابان مذكور و ارزش ۱ نشان دهنده بالاترين درجه سختي جهت عبور آزاد از خيابانp است.

يك راه مناسب جهت تعيين ميزان درجه سختي يك خيابان، تخصيص مقادير جريمه مختلف براي انواع مختلف آن است. جدول (۲) مقادير مختلف درجه سختي پيشنهادي براي انواع خيابانها با شرايط ذكر شده را نشان مي‌دهد.

جدول ۲: ضرايب جريمه مربوط به درجه سختي هر خيابان.

نوع خيابان	درجه سختي
بزرگراه با شيب منفي	0
بزرگراه بدون شيب	0.1
بزرگراه با شيب مثبت	0.2
شرياني درجه ۱ بيرون محدوده مركزي	0.4
شرياني درجه ۱ داخل محدوده مركزي	0.5
شرياني درجه دو	0.6
جمع‌كننده و پخش‌كننده	0.8
دسترسي محلي	1

تركيب ويژگي‌هاي اوليه

براي هر مسير كانديد، ويژگي‌هاي اوليه طول سفر و زمان سفر، آنگونه كه توضيح داده شد، در محدوده [0,1] مورد محاسبه قرار خواهند گرفت. اگر معابر موجود در يك مسير را يك بخش از آن مسير بدانيم بگونه‌اي كه هر بخش مابين دو تقاطع واقع شده باشد، آنگاه هر بخش دارنده مقادير متفاوت در ويژگيهاي اوليه ميزان تراكم و درجه سختي خواهد بود. از آنجا كه هدف، محاسبه كامل ويژگي‌هاي اوليه براي هر مسير كانديد است، نياز به معرفي يك روش جهت تلفيق ويژگي‌هاي مربوط به هر بخش، جهت رسيدن به يك مقدار براي ويژگي‌هاي تراكم و درجه سختي، از هر مسير كانديد ضروري است.

اگر n تعداد بخشهاي مربوط به مسير پيشنهادي مورد بررسي و l_p و c_p بترتيب نشان دهنده طول و ميزان تراكم مربوطه به بخش p باشد، آنگاه w_p ، وزن مربوط به هر بخش از مسير كانديد بصورت رابطه ۳ محاسبه مي‌شود:

$$w_p = \frac{l_p}{\sum_{p=1}^{n} l_p}$$

(۳)

در اينصورت ميزان تراكم براي كل مسير پيشنهادي بصورت رابطه ۴ محاسبه مي‌شود:

$$congestion\_value_k = \sum_{p=1}^{n} w_p * c_p$$

(۴)

از آنجاكه $\sum_{p=1}^{n} w_p = 1$ و $0 \le c_p \le 1$ مي‌باشد، ميزان تراكم براي مسير كانديد k ام ($congestion\_value_k$)نيز در محدوده [0,1] خواهد بود.

اگر x_3 بيان‌كننده ويژگي اوليه تراكم براي هر مسير باشد، اكنون براي مسيرهاي موجود در نسل جاري خواهيم داشت:

$$x_3^k = congestion\_ratio_k = \frac{\max(congestion\_value) - congestion\_value_k}{\max(congestion\_value) - \min(congestion\_value)}$$

min(congestion_value): بهترين مقدار تراكم در كل جمعيتها

max(congestion_value): بدترين مقدار تراكم در كل جمعيتها

روش ارائه شده بصورت مشابه براي محاسبه ميزان "درجه سختي" (x_4^k) مربوط به هر يك از مسيرهاي كانديد موجود در هر نسل مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

متريك كيفيت پيشنهادي

بيشتر متريكهاي كيفيت، نيازمند آگاهي داشتن به راه‌حل(هاي) بهينه از مساله مورد بررسي، به منظور تشخيص ميزان نزديكي جوابهاي تقريب زده شده به جواب(هاي) بهينه مي‌باشند. از آنجا كه هدف مورد نظر در مسيريابي چند هدفه شبه بهينه درون شهري، ارائه بهترين راه‌حل سازگار[۸] بود، در اين تحقيق، راه حل بهينه از طريق اجراي مستقل الگوريتم ديكسترا براي هر معيار بدست

آمد. در اين صورت مسير ايده‌آل، مسيري خواهد بود كه بردار توصيفي مربوط به آن، كه آن را z_i^* مي‌ناميم از طريق اجراي مستقل الگوريتم ديكسترا براي هر معيار بدست آمده باشد.

از آنجا كه متريك پيشنهادي نمي‌بايست تحت تاثير مقياس اندازه‌گيري از اهداف موجود واقع شود، به منظور اندازه‌گيري ميزان كيفيت بهترين جواب سازگار پيشنهاد شده، اگر بردار توصيفي مربوط به آن مسير را z_i بناميم، از متريك مستقل از مقياس شده وزندار Lp-norm استفاده شد [۱۸] :

$$r(z;p,w) = (\sum_{i=1}^{q} w_i^p \left[\frac{|z_i^* - z_i|}{z_i^*}\right]^p)^{1/p} \quad (۶)$$

بردار وزن $w = (w_1, w_2, ..., w_q)$ بيان كننده ميزان اهميت هر يك از معيارهاي z_i بوده كه توسط راننده معرفي شده است. ارزش p ($p \geq 1$)مشخص كننده درجه تاكيد بر انحرافهاي مابين هر يك از اهداف است. بگونه‌اي كه هر چه اين ارزش بزرگتر باشد تاكيد بيشتري بر بزرگترين انحرافات خواهد بود. از آنجا كه در مساله مورد بررسي همه انحرافها داراي اهميت است از p=1 استفاده شده بگونه‌اي كه:

$$r(z;1,w) = \sum_{i=1}^{4} w_i \left[\frac{|z_i^* - z_i|}{z_i^*}\right] \quad (۷)$$

بدين ترتيب فاصله z_i از z_i^* بدست آمده از رابطه ۷، بيان كننده ميزان دوري هر يك از جوابهاي z_i از جواب ايده‌آل z_i^* متناظرش مي‌باشد به اين معنا كه اگر $z_i^* = z_i$، اين فاصله صفر مي‌شود.

تجزيه و تحليل كارهاي عملي انجام شده در اين تحقيق

پياده‌سازي تمامي طراحي‌هاي پيشرو در نرم‌افزار ArcGIS 8.3 (ArcInfo) از محصولات كمپاني ESRI انجام شده است. معماري طراحي اين نرم‌افزار به گونه‌اي است كه قابليت توسعه آن توسط برنامه‌نويسي COM[9] در هر محيط Visual امكان پذير است. كليه پياده‌سازي‌هاي انجام شده بر روي شبكه‌اي با ۵۱۲۱ لبه و ۴۳۸۹ گره از شمال غرب تهران در مقياس ۱:۲۰۰۰ صورت پذيرفته است.

طراحي و پياده‌سازي‌هاي انجام شده در قالب چهار كار عملي از الگوريتم ژنتيك عمومي (كار عملي ۱) آغاز شده و با بهبود آن از طريق روش تغيير در نسل MGG[10] (كار عملي ۲) اقدام به ارائه روشي بر پايه تئوري ويروس، نفوذ ويروسي (كار عملي ۳) و جستجوي محلي (كار عملي ۴/روش جامع)مي‌نماييم. ذيلاً نتايج بدست آمده از هر يك از كارهاي عملي ارائه و تحليل مي‌شود.

كار عملي ۱: طراحي و پياده‌سازي الگوريتم ژنتيك عمومي

در زير به نحوه طراحي الگوريتم ژنتيك پيشنهادي مي‌پردازيم.

كد كردن و ايجاد جمعيت اوليه

در الگوريتمهاي ژنتيك كلاسيك، عمليات بر روي كروموزومهايي با طول ثابت انجام مي‌پذيرد. در الگوريتم ژنتيك پيشنهادي طول هر كروموزوم متغير است. اين موضوع با رعايت اين شرط مي‌باشد كه طول هر كروموزوم نبايد از ماكزيموم N (تعداد گره‌هاي موجود در شبكه) بيشتر شود. در اينصورت يك كروموزوم توالي از اعداد صحيح مثبت بوده كه به كد منحصر بفرد هر يك از گره‌هايي(تقاطع‌هايي) كه نمايش دهنده يك مسير از گره مبدا به گره مقصد مي‌باشند اشاره مي‌كند. ايجاد يك مسير (كروموزوم) با استفاده از اطلاعات توپولوژيكي ذخيره شده در شبكه مورد نظر است بگونه‌اي كه مسير مورد نظر موجود بوده و در آن حلقه (عبور تكراري از يك گره) وجود نداشته باشد.

جهت ايجاد يك مسير از الگوريتم تغيير يافته ديكسترا[11] كه بر اساس d-Heap's با d=2 با مديريت حافظه براي مواجه با شبكه‌هاي بزرگ پياده‌سازي شده است استفاده شد[۱] . بدين صورت كه هر يك از لبه‌هاي موجود در شبكه بصورت تصادفي با توزيع يكنواخت در هر بار ايجاد يك مسير، وزندار مي‌گردند.

تابع هزينه

با توجه به روش ذكر شده در قبل جهت ارزيابي هر مسير، تابع هزينه بر اساس روش وزن‌دهي به اهداف SWGR مورد محاسبه واقع مي‌شود. اگر R_k ، k امين مسير كانديد در جمعيت باشد، تابع هزينه مربوط به آن

بصورت روابط ۸ و ۹ محاسبه مي‌شود[۱۴] :

$$f(R_k) = w_1 * x_1^k + w_2 * x_2^k + w_3 * x_3^k + w_4 * x_4^k \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{4} w_i = 1 \quad (9)$$

w_i مشخص كننده ميزان اهميت هر يك از توابع هدف از سوي راننده است.

انتخاب[۱۲]

در الگوريتم ژنتيك پيشنهادي از انتخاب تورنمنتي بدون جايگزيني با اندازه ۲ استفاده شده است بگونه‌اي كه دو مسير بصورت تصادفي با مولد اعداد تصادفي با توزيع يكنواخت انتخاب شده و مسيري كه ميزان برازش بيشتري داشته باشد، انتخاب مي‌شود. اين نكته قابل ذكر است كه دو مسير نبايد يكي باشند.

عملگرهاي الگوريتم ژنتيك عمومي

تركيب ضربي[۱۳]

در الگوريتم ژنتيك پيشنهادي از روش تركيب ضربي چند نقطه‌اي[۱۴][۱۹] استفاده شده است. تركيب ضربي پيشنهادي مانند روش مرسوم آن نبوده بگونه‌اي كه در روش پيشنهادي دو مسير انتخاب شده جهت تركيب ضربي مي‌بايد در حداقل يك ژن(گره) بجز گره‌هاي مبدا و مقصد مشترك بوده اما ديگر(مانند روش مرسوم آن) نيازي به يكي بودن جايگاه گره‌هاي مشترك نيست. براي اين منظور ابتدا، گره(هاي) مشترك در هر دو مسير پيدا شده و به تعداد نقاط تقاطع يافت شده(n)، عمل تركيب ضربي چند نقطه‌اي انجام مي‌شود.

جهش[۱۵]

براي اعمال عملگر جهش بر روي مسير مورد نظر دو ژن(گره) بصورت تصادفي با مولد اعداد تصادفي با توزيع يكنواخت انتخاب شده، سپس مابين آندو عمل مسيريابي تصادفي بر اساس الگوريتم ديكسترا تغيير يافته انجام پذيرفته و مسير جديد جانشين مسير قبلي مي‌شود.

تابع ترميم

همانطور كه در قبل نيز ذكر شد در ساختار هر يك از مسيرها عبور تكراري از يك ژن(گره) كه منجر به ايجاد حلقه در مسير مي‌گردد مجاز نمي‌باشد، حال آنكه بعد از اعمال عملگرهاي تركيب ضربي و جهش، امكان ايجاد حلقه در مسير ممكن است. از اينرو ترميم كردن هر يك از مسيرها بعد از عملگرهاي تركيب ضربي و جهش جهت ايجاد يك مسير موجود و بدون حلقه ضروري است.

نخبه‌گرايي[۱۶]

در روش مورد بررسي پس از مرتب سازي صعودي كروموزومها و انتخاب D فرد از بهترين افراد مجموعه والدين، $\rho.D$ فرد (كه ρ عدد تصادفي با مولد تصادفي با توزيع يكنواخت در محدوده [0,1) مي‌باشد) از اين مجموعه به طور مستقيم به نسل آينده انتقال داده خواهند شد. لازم بذكر است كه انتخاب D فرد بر اساس معيار حداقل صلاحيت بوده بگونه‌اي كه افرادي را كه داراي حداقل پنجاه درصد از برازندگي بهترين فرد جمعيت باشند را شامل مي‌شود [۲۰] .

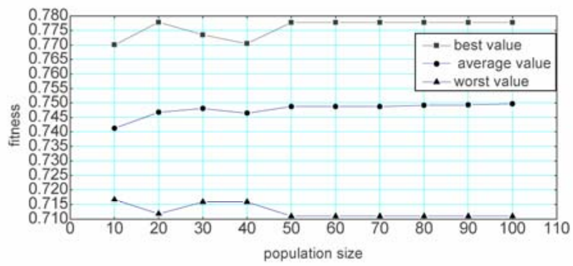
شكل (۱) روند كلي الگوريتم ژنتيك عمومي طراحي شده را نمايش مي‌دهد.

```
input map and map database
initialize importance of each object
input origin and destination
initialize a population of individuals (routes).
Set Generation= 1
for Generation = 1 to Number of Generation  {
      the alternation of generation in random
      calculate fitness values of individuals(Eq. 8)
      elitism
      select two individuals at random
      n-point crossover
      mutation
      repair function}
```

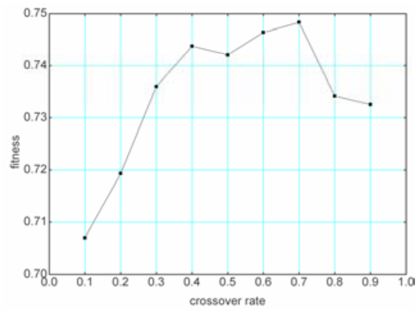
شكل ۱: روند كلي الگوريتم ژنتيك عمومي.

به منظور بررسي ميزان كارايي اندازه جمعيت بر كارايي الگوريتم ژنتيك عمومي پيشنهادي، بيشترين تعداد توليد نسل برابر با ۵۰۰ و نرخ‌هاي تركيب ضربي و جهش ۰/۱ در نظر گرفته شد. با پايين نگهداشتن نرخ تركيب ضربي و جهش، اندازه جمعيت به عنوان يك عامل هدايت كننده بر كارايي الگوريتم ژنتيك عمومي تاثير مي‌گذارد. شكل ۲ بيان كننده بهترين، بدترين و ميانگين تابع هزينه از ۳۰ اجراي مستقل براي اندازه‌هاي مختلف جمعيت است. با توجه به نتايج مشاده مي‌شود زماني كه اندازه جمعيت بيشتر از ۵۰ است، افزايش جمعيت تاثير بارزي را بر كارايي الگوريتم ژنتيك عمومي نگذاشته است. به منظور بدست آوردن بهترين نرخ تركيب ضربي و جهش به دو صورت عمل شد: ۱) نرخ جهش ۰ و تغيير نرخ تركيب

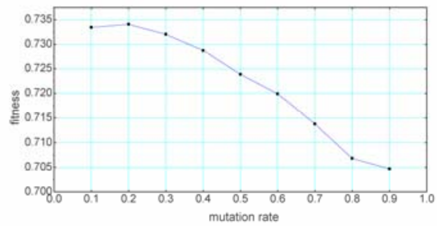
ضربي از ۰/۱ تا ۰/۹، ۲) نرخ ترکيب ضربي ۰ و تغيير نرخ جهش از ۰/۱ تا ۰/۹. در هر دو حالت فوق بيشترين تعداد توليد نسل ۵۰۰ و اندازه جمعيت ۲۰ در نظر گرفته شد. اشکال (۳) و (۴) به‌ترتيب بيان کننده ميانگين برازش[۱۷] از ۳۰ اجراي مستقل براي هر نرخ تغيير است. همانگونه که در اشکال (۳) و (۴) مشاهده مي‌شود بهترين نرخهاي ترکيب ضربي و جهش به ترتيب برابر ۰/۷ و ۰/۲ است. شکل ۵ ميانگين برازندش ۳۰ اجراي مستقل را براي جمعيت‌هاي مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ در ۱۰۰۰ نسل با نرخهاي ترکيب ضربي۰/۷ و جهش ۰/۲ زماني که تمامي معيارها داراي اهميت مساوي‌اند، نشان مي‌دهد. اشکال (۶)، (۷)، (۸) و (۹) چگونگي تغيير در ميانگين برازش و ميانگين بهترين هزينه فرد را طي ۳۰ اجراي مستقل با جمعيتي با اندازه ۵۰ با نرخهاي ترکيب ضربي۰/۷ و جهش ۰/۲ با وزنهاي معرفي شده براي هر معيار، نشان مي‌دهند. جدول (۳) نتايج بدست آمده از الگوريتم ژنتيك عمومي را نشان مي‌دهد.



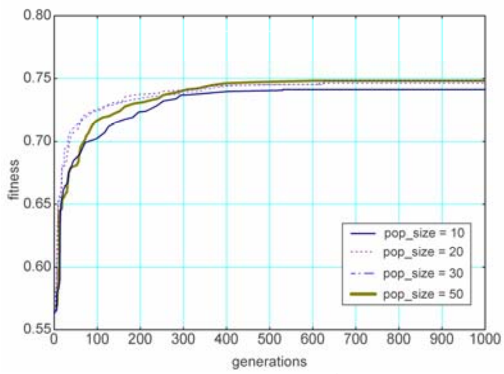
شکل ۲:مقايسه بهترين، بدترين و ميانگين برازش از ۳۰ اجراي مستقل.



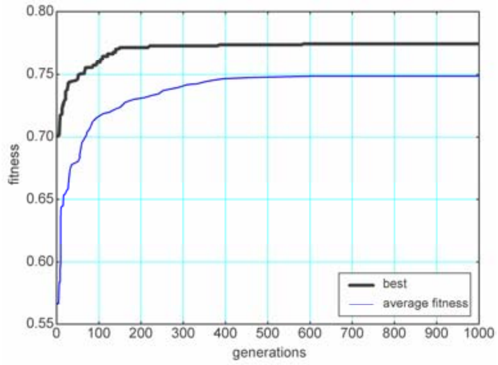
شکل ۳: ميانگين برازش ۳۰ اجراي مستقل در نرخهاي مختلف ترکيب ضربي.



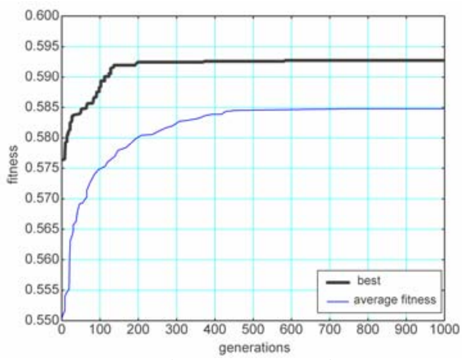
شکل ۴: ميانگين برازش ۳۰ اجراي مستقل در نرخهاي مختلف جهش.



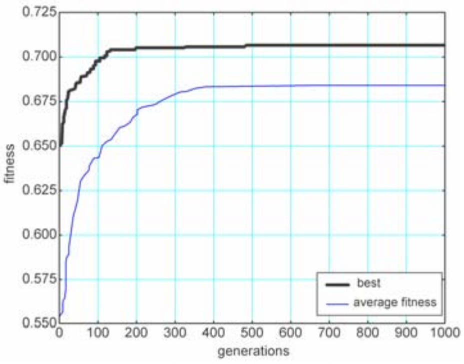
شکل ۵: تغيير ميانگين برازش از ۳۰ اجراي مستقل.



شکل ۶: تغيير ميانگين برازش و ميانگين بهترين فرد از ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۵۰ زماني که $w_1= 0.25$, $w_2=0.25, w_3= 0.25, w_4=0.25$.



شکل ۷: تغيير ميانگين برازش و ميانگين بهترين فرد از ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۵۰ زماني که $w_1= 0.2$, $w_2=0.4, w_3= 0.2, w_4=0.2$.

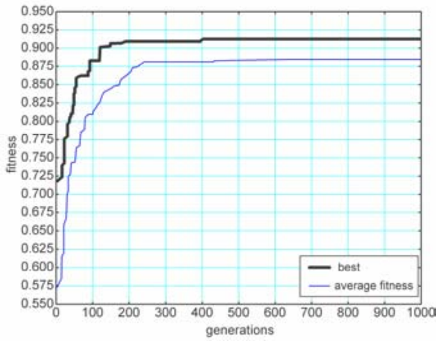


شکل ۸: تغيير ميانگين برازش و ميانگين بهترين فرد از ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۵۰ زماني که $w_1= 0.1$, $w_2=0.7, w_3= 0.1, w_4=0.1$.

جدول ۳: نتايج عددي بدست آمده از اجراي الگوريتم ژنتيك عمومي.

Importance weights				Pop_ size	The No. of runs	Ideal solution z^*_i: (L,T,C,D)	Best compromise solution z_i:(L,T,C,D)	Dist. z_i to z^*_i
w_1	w_2	w_3	w_4					
0.25	0.25	0.25	0.25	50	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7454.44,17.64,0.0118,0.3430)	0.143
0.2	0.4	0.2	0.2	50	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7513.18,17.57,0.1780,0.3865)	0.208
0.1	0.7	0.1	0.1	50	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7789.55,17.05,0.1710,0.2774)	0.199
0	1	0	0	50	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7773.86,15.02,0.1060,0.3802)	0.074

w_1, w_2, w_3, w_4: به ترتيب نشان دهنده درجه اهميت طول، زمان، تراكم و درجه سختي انتخاب شده توسط راننده است. Pop_size: اندازه جمعيت، (L,T,C,D): (درجه سختي(درصد از طول مسير)،تراكم(درصد از طول مسير)،زمان(دقيقه)،طول(متر)). Dist z_i ti z_i^*: فاصله z_i از z_i^* بدست آمده از رابطه ۷. توضيح آنكه اين فاصله بيان كننده ميزان دوري هر يك از جوابهاي z_i از جواب ايده‌آل z_i^* متناظرش مي‌باشد به اين معنا كه اگر $z_i^* = z_i$، اين فاصله صفر مي‌شود. راه حل ايده‌ال z_i^* از طريق اجراي مستقل الگوريتم ديكسترا براي هر معيار بدست آمده است و z_i راه‌حلي است كه كار عملي مورد نظر (در اينجا كار عملي ۱) به آن رسيده است.



شكل ۹: تغيير ميانگين برازش و ميانگين بهترين فرد از ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۵۰ زماني كه $w_1= 0, w_2=1, w_3= 0, w_4=0$.

كار عملي ۲: بهبود كار عملي ۱ با استفاده از MGG

در طراحي و پياده‌سازي كار عملي ۲، از روش MGG [۲۱] براي تغيير در نسل استفاده شد. در اين روش دو مسير در هر تغيير در جمعيت از طريق تركيب ضربي و ارزيابي تابع هزينه و معيار نزديكترين فاصله هر يك از مسيرها بصورت زير جايگزين مي‌شوند: ۱- دو مسير از جمعيت موجود بصورت تصادفي بدون جايگزيني بعنوان والد انتخاب مي‌شود، ۲- تركيب ضربي چند(n) نقطه‌اي(كه n تعداد گره‌هاي مشترك بين دو مسير مي‌باشد) جهت ايجاد دو فرزند از دو والد استفاده مي‌شوند، ۳- ازميان ۲ والد و ۲ فرزند مربوط به آندو، برازنده‌ترين مسير انتخاب شده و فرد ديگر از ميان ۳ فرد باقيمانده (بغير از برازنده‌ترين مسير) از طريق روش انتخاب چرخ دوار رولت[18] [۱۳] انتخاب مي‌شود

نكته قابل توجه آنست كه در سيستم ارائه شده جهت انتخاب براي بقا اگر فرزندي بهتر از هر ۲ والد باشد(تابع هزينه آن كمتر باشد)، فرزند مورد نظر جانشين آن والدي خواهد شد كه به آن نزديكتر است. از آنجا كه متريك پيشنهادي نمي‌بايست تحت تاثير مقياس اندازه‌گيري از اهداف موجود واقع شود، از متريك مستقل از مقياس شده وزندار Lp-norm با p=1 استفاده شد بگونه اي كه:

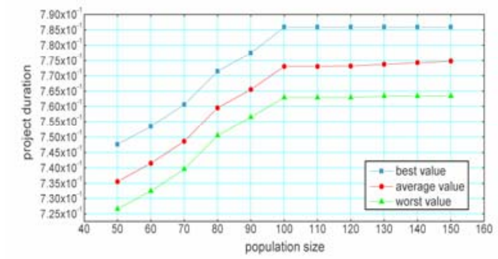
$$r(z;1,w) = \sum_{j=1}^{4} w_j \left[\frac{\left| z_j^{parent} - z_j^{child} \right|}{z_j^{parent}} \right] \quad (۱۰)$$

بردار وزن $w = (w_1, w_2, ..., w_q)$ بيان كننده ميزان اهميت هر يك از اهداف z_j بوده كه توسط راننده معرفي شده است . يكي از خصوصيات MGG آنست كه مقاوم بوده و مي‌تواند تنوع افراد در جمعيت، در حين جستجو، را به نحو بسيار مطلوب حفظ كند. از اينرو عملگر جهش در اين الگوريتم استفاده نمي‌شود. شكل (۱۰) راهكار عملي در استفاده از MGG را ارائه مي‌دهد و شكل (۱۱) ميانگين برازندگي ۳۰ اجراي مستقل براي اندازه‌هاي مختلف زماني كه نرخ تركيب ضربي ۰/۱ در نظر گرفته شده است را نشان مي‌دهد. همانگونه كه در شكل مشاهده مي‌شود با افزايش جمعيت بيشتر از ۱۰۰، تغيير چنداني در ميانگين برازش به چشم نمي‌خورد. خط نقطه چين كوتاه با برچسب MGG، موجود در اشكال (۱۶)، (۱۷)، (۱۸)و (۱۹)، تغييرات ميانگين بهترين فرد طي ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۱۰۰ با وزنهاي معرفي شده براي هر معيار است. جدول (۴) نتايج بدست آمده در نتيجه استفاده از MGG را نشان مي‌دهد. از يك سو همانگونه كه در جدول (۴) مشاهده مي‌شود، فاصله z_i از z_i^* در اين جدول در هر رديف از فاصله z_i از z_i^* رديفهاي متناظر از جدول (۳) كمتر است كه دليلي بر برتري روش اتخاذي در كار عملي ۲ نسبت به روش اتخاذي در كار عملي ۱ مي‌باشند . از سوي ديگر، ميانگين بهترين افراد طي ۳۰ اجراي مستقل در جدول (۹) در ستون مربوط به كار عملي ۲ از ميانگين بهترين افراد در ستون متناظر مربوط به كار عملي ۱ بالاتر است كه دليلي ديگر از برتري روش

اتخاذي در كار عملي ۲ نسبت به روش اتخاذي در كار عملي ۱ است. مسيرهاي مشخص شده با بر چسب MGG در اشكال (۲۰)، (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) بيان كننده نتايج بدست آمده از كار عملي ۲ مي‌باشند.

```
input map and map database
initialize importance of each object
input origin and destination
initialize a population of individuals (routes).
Set evaluation = 1
for evaluation = 1 to Number of evaluation {
    calculate fitness values of individuals(Eq. 8)
    MGG}
```

شكل ۱۰: روند كلي چگونگي استفاده از MGG.



شكل ۱۱: ميانگين برازش ۳۰ اجراي مستقل در اندازه‌هاي مختلف جمعيت.

كار عملي ۳: بهبود كار عملي دوم از طريق تئوري ويروسها

در بررسيهاي انجام شده از عدم كارايي مناسب MGG مي‌توان در زماني ياد كرد كه والدين به خوبي در فضاي جستجو توزيع نشده و نياز به جستجوي فضا باشد. در اين حالت بعضي از مناطق وجود دارند كه امكان توليد فرزندان در آنان با جمعيت اوليه مفروض زماني كه اندازه جمعيت نسبت به ابعاد فضاي جستجو كم مي‌باشد وجود ندارد. در بررسي پيشرو با استفاده از مفاهيم تئوري ويروس در تكامل، اقدام به بهبود نرخ جستجو با جهت دادن به تكامل از طريق تركيب‌ضربي و نفوذ ويروسي نموده‌ايم [۲۴،۲۳،۲۲].

در روش پيشنهادي با در نظرگيري رفتار ترافيكي انواع مختلف معابر شهر، در سفر از هر ناحيه ترافيكي به ناحيه ترافيكي ديگر، بخش و يا بخشهايي از يك بزرگراه، خيابان از نوع شرياني درجه يك و يا شرياني درجه دو بعنوان ويروس در نظر گرفته شده و در پايگاه داده مكاني ذخيره مي‌شود. اينگونه جمعيت ويروسها علاوه بر جمعيت مسيرها براي سفر از هر ناحيه ترافيكي به ناحيه ترافيكي ديگر تشكيل شده است. قيودي كه مي‌توانند جهت انتخاب و تشكيل جمعيت ويروس‌ها از ويروسهاي ذخيره شده در پايگاه داده مكاني مورد استفاده قرار گيرند بصورتهاي زير طبقه‌بندي مي‌شوند:

- قيود ثابت، به ويژگيهاي فيزيكي و ثابت بخش(هاي) مورد نظر اشاره مي‌كنند. بعنوان نمونه با انتخاب كليه بخش‌هايي كه از نوع خيابانهاي بزرگراه و شرياني درجه ۱ بوده و حداقل سه بانده باشند قدرت مانور اتومبيل افزايش داده مي‌شود.
- قيود ديناميك، به ويژگيهاي ديناميك يك بخش اشاره مي‌كنند. بعنوان نمونه مي‌توان به انتخاب كليه بخش‌هايي كه از نوع خيابانهاي بزرگراه و شرياني درجه ۱ بوده و هنوز متراكم نشده‌اند، اشاره نمود.

كد كردن يك ويروس همانند كد كردن يك مسير بوده بدان معنا كه آن توالي از اعداد صحيح مثبت مي‌باشد كه هر يك، به يك تقاطع اشاره مي‌كند. ويروس نبايد شامل گره‌هاي مبدا و مقصد باشد. تنها مسيرهايي كه شامل ويروس باشند بعنوان جمعيت اوليه تشكيل مي‌شوند. اگر دو مسير مشابه در جمعيت بوجود آيد يكي را حذف مي‌كنيم. هر يك از مسيرهاي تشكيل شده بايد موجود بوده و در آن حلقه وجود نداشته باشد.

جدول ۴: نتايج حاصل در استفاده از MGG در تغيير نسل.

Importance weights				Pop_ size	The No. of runs	Ideal solution z^*_i: (L,T,C,D)	Best compromise solution z_i:(L,T,C,D)	Dist. z_i to z^*_i
w_1	w_2	w_3	w_4					
0.25	0.25	0.25	0.25	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7207.81,17.35,0.0122,0.3389)	0.127
0.2	0.4	0.2	0.2	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7408.78,16.98,0.1810,0.3221)	0.176
0.1	0.7	0.1	0.1	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7773.86,15.02,0.1060,0.3802)	0.101
0	1	0	0	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7445.13,14.91,0.0118,0.3513)	0.066

راه حل ايده‌ال z_i^* از طريق اجراي مستقل الگوريتم ديكسترا براي هر معيار بدست آمده است و z_i راه‌حلي است كه كار عملي مورد نظر (در اينجا كار عملي ۲) به آن رسيده است.

جمعيت اوليه

جهت تشكيل جمعيت اوليه، يك ويروس به صورت تصادفي بدون جايگزيني از جمعيت ويروسهاي ذخيره شده براي هر دو ناحيه ترافيكي مربوط به نقاط مبدا و مقصد ذخيره شده در پايگاه داده مكاني انتخاب شده و اگر قيود ثابت و ديناميك را برآورده سازد در ايجاد يك كروموزوم استفاده خواهد شد. بدين صورت كه مسيرها از گره مبدا تا گره ابتداي ويروس(مسير ۱) و از انتهاي ويروس تا نقطه مقصد(مسير۲) از طريق الگوريتم ديكسترا تغيير يافته بصورت تصادفي بدست مي‌آيند. سپس مسير نهايي تركيبي از مسير ۱، ويروس و مسير ۲ است. اين فرايند براي تشكيل جمعيت اوليه الگوريتم ژنتيك ادامه مي‌يابد.

انتخاب و تركيب‌ضربي

جهت تغيير در جمعيت از روش MGG توضيح داده شده در "كار عملي ۲" استفاده مي‌كنيم.

نفوذ ويروسي

براي بالا بردن نرخ جستجود در روش تحت بررسي از نفوذ ويروسي به صورتهاي زير استفاده مي‌كنيم.

نفوذ اصلي[19]

نفوذ اصلي، گره‌هاي يك ويروس را با گره‌هايي از مسير كه با ويروس در دو گره مشترك مي‌باشند جايگزين مي‌كند.

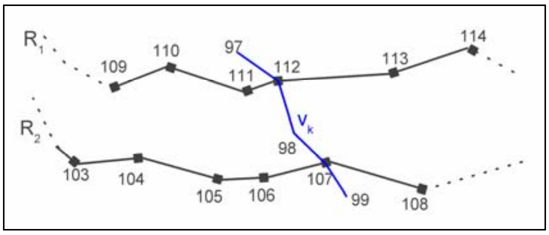
نفوذ از طريق پل زدن[20]

شكل (۱۲) مثالي از اين روش را نشان مي‌دهد. بگونه‌اي كه اگر ويروس v_k با دو مسير R_1 و R_2 داراي گره‌هاي مشترك باشد. در اينصورت دو مسير جديد $R_3 = (...,109,110,111,112,98,107,108,...)$ و $=$ $R_4\ (...,103,104,105,106,107,98,112,113,114,...)$ بوجود خواهد آمد كه از بين چهار مسير R_4, R_3, R_2, R_1 مسير برازنده‌تر انتخاب شده و از ميان مسيرهاي باقيمانده يك مسير توسط چرخ دوار رولت انتخاب خواهد شد.

شكل (۱۳) راهكار عملي روش پيشنهادي را نشان مي‌دهد. جداول (۵) و (۶) بترتيب نشان دهنده وضعيت شبكه مورد استفاده و نتايج بدست آمده در نتيجه استفاده از نفوذ ويروسي است. خط نقطه چين بلند با برچسب Viral Infection، موجود در اشكال (۱۶)، (۱۷)، (۱۸)و (۱۹)، تغييرات ميانگين بهترين فرد طي ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۱۰۰ با وزنهاي معرفي شده براي هر معيار را نشان مي‌دهد. از يك سو همانگونه كه در جدول (۶) مشاهده مي‌شود فاصله z_i از z_i* در اين جدول در هر رديف از فاصله z_i از z_i* رديفهاي متناظر از جدول (۳) و (۴) كمتر است كه دليلي بر برتري روش اتخاذي در كار عملي ۳ نسبت به روشهاي اتخاذي در كارهاي عملي ۱و۲ است.

از سوي ديگر، ميانگين بهترين افراد طي ۳۰ اجراي مستقل در جدول (۹)، در ستون مربوط به كار عملي ۳ از ميانگين بهترين افراد در ستونهاي متناظر مربوط به كار عملي ۱و۲ بالاتر است كه خود دليلي ديگر از برتري روش اتخاذي در كار عملي ۳ نسبت به روشهاي اتخاذي در كارهاي عملي ۱و۲ است.

مسيرهاي مشخص شده با بر چسب VI در اشكال (۲۰)، (۲۱)، (۲۲) و (۲۳)، بيان كننده نتايج بدست آمده از كار عملي ۳ مي‌باشند.



شكل ۱۲: روند كلي چگونگي نفوذ از طريق پل زدن .

```
input map and map database
initialize importance of each object
input origin and destination
initialize a population of viruses
initialize a population of individuals (routes).
Set evaluation = 1
for evaluation = 1 to Number of evaluation {
      calculate fitness values of individuals(Eq. 8)
      MGG
      viral infection}
```

شكل ۱۳: روند كلي چگونگي استفاده از تئوري ويروس.

جدول ۵: وضعيت شبكه و تعداد ويروسها.

	Number of viruses	Number of links	Number of nodes
Map	160	5121	4389

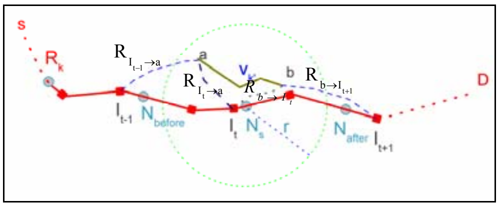
جدول ٦: نتايج بدست آمده در نتيجه استفاده از تئوري ويروسها و viral infection

Importance weights				Pop_ size	The No. of runs	Ideal solution z^*_i: (L,T,C,D)	Best compromise solution z_i:(L,T,C,D)	Dist. z_i to z^*_i
w_1	w_2	w_3	w_4					
0.25	0.25	0.25	0.25	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7258.11,17.15,0.0121,0.3330)	0.124
0.2	0.4	0.2	0.2	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7603.41,15.36,0.0116,0.3570)	0.108
0.1	0.7	0.1	0.1	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7444.85,14.81,0.0119,0.3418)	0.072
0	1	0	0	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7823.85,14.55,0.0113,0.3885)	0.041

راه حل ايده‌ال z_i^* از طريق اجراي مستقل الگوريتم ديكسترا براي هر معيار بدست آمده است و z_i راه‌حلي است كه كار عملي مورد نظر (در اينجا كار عملي ٣) به آن رسيده است.

كار عملي ۴: بهبود كار عملي سوم از طريق جستجوي محلي

بررسي ديگر مربوط به ارائه يك روش مناسب جهت انجام جستجوي محلي بر پايه نفوذ ويروسي است كه آن را نفوذ محلي[۲۱] ناميده‌ايم. در روش پيشنهادي، مسير مورد نظر به تكه‌هايي با طول مساوي(d) تقسيم مي‌شود. اگر $N = \{N_1, N_2, ..., N_n\}$ مجموعه تمام المانهايي باشد كه در فواصل مساوي از يكديگر بر روي مسير R_k قرار گرفته باشند (شكل ۱۴)، در اينصورت از ميان مجموعه N يك N_i بصورت تصادفي انتخاب شده(N_s)و از آن دايره‌اي به شعاع r زده مي‌شود ($r \le d$). اگر $v_{k'}$ ويروسي باشد كه تماماً در دايره واقع شده و به N_s نزديكتر باشد انتخاب مي‌شود. پس از انتخاب $v_{k'}$ (a) اگر I_t، گره‌اي از مسير باشد كه به ابتداي ويروس $v_{k'}$ نزديكتر است و N_{before} و N_{after} از ميان مجموعه N دو گره قبل و بعد از I_t بوده و I_{t-1} و I_{t+1} به ترتيب نزديكترين گره‌ها به N_{before} و N_{after} باشند در اينصورت از I_{t-1} تا گره ابتداي ويروس(a) و ازگره انتهاي ويروس(b) تا I_{t+1}، مسيريابي بر اساس الگوريتم ديكسترا تغيير يافته (بر حسب معيار طول) جهت رسيدن به مسيرهاي $R_{I_{t-1} \to a}$ و $R_{b \to I_{t+1}}$ صورت گرفته و از لحاظ نداشتن حلقه مورد بررسي قرار مي‌گيرند. اكنون از ميان چهار مسير(شكل ۱۴):



شكل ۱۴: مسيرهاي بدست آمده از نفوذ محلي.

1) R_k

2) $R_{s \to I_{t-1}} \to R_{I_{t-1} \to a} \to v_{k'} \to R_{b \to I_{t+1}} \to R_{I_{t+1} \to D}$

3) $R_{s \to I_t} \to R_{I_t \to a} \to v_{k'} \to R_{b \to I_{t+1}} \to R_{I_{t+1} \to D}$

4) $R_{s \to I_{t-1}} \to R_{I_{t-1} \to a} \to v_{k'} \to R_{b \to I_t} \to R_{I_t \to D}$

مسير با برازش بيشتر انتخاب شده و جانشين مسير اوليه مي‌شود. شكل (۱۵) راهكار عملي الگوريتم پيشنهادي را نشان مي‌دهد. جداول (۵) و (۸) بترتيب نشان‌دهنده وضعيت شبكه و نتايج بدست آمده در نتيجه ارائه يك روش جستجوي محلي هستند. خط ممتد با برچسب Local Infection، موجود در اشكال (۱۶)، (۱۷)، (۱۸)و (۱۹)، تغييرات ميانگين بهترين فرد طي ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۱۰۰ با وزنهاي معرفي شده براي هر معيار را نشان مي‌دهد. از يك سو همانگونه كه در جدول ۸ مشاهده مي‌شود فاصله z_i از z_i^* در اين جدول در هر رديف از فاصله z_i از z_i^* رديفهاي متناظر از جدول (۳)، (۴) و (۶) كمتر است كه دليلي بر برتري روش اتخاذي در كار عملي ۴ نسبت به روشهاي اتخاذي در كارهاي عملي۱،۲ و ۳ است. از سوي ديگر، ميانگين بهترين افراد طي ۳۰ اجراي مستقل در جدول (۹)، در ستون مربوط به كار عملي ۴ از ميانگين بهترين افراد در ستونهاي متناظر مربوط به كار عملي ۱،۲ و ۳ بالاتر است كه خود دليلي ديگر از برتري روش اتخاذي در كار عملي ۴ نسبت به روشهاي اتخاذي در كارهاي عملي ۱،۲ و ۳ است. مسيرهاي مشخص شده با بر چسب LI در اشكال (۲۰)، (۲۱)، (۲۲) و (۲۳)، بيان كننده نتايج بدست آمده از كار عملي ۴ مي‌باشند.

```
input map and map database
initialize importance of each object
input origin and destination
initialize a population of viruses
initialize a population of individuals (routes).
Set evaluation = 1
for evaluation = 1 to Number of evaluation {
      calculate fitness values of individuals(Eq. 8)
      MGG
      viral infection
      Local infection}
```

شكل ۱۵: روند كلي الگوريتم پيشنهادي بر اساس تئوري ويروس و جستجوي محلي.

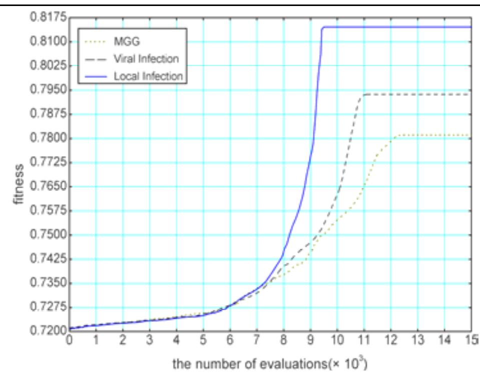
جدول ۸: نتايج بدست آمده در نتيجه استفاده از تئوري ويروسها viral infection و همراه با جستجوي محلي.

Importance weights				Pop_ size	The No. of runs	Ideal solution z^*_i: (L,T,C,D)	Best compromise solution z_i:(L,T,C,D)	Dist. z_i to z^*_i
w_1	w_2	w_3	w_4					
0.25	0.25	0.25	0.25	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7225.55,16.99,0.0122,0.3022)	0.064
0.2	0.4	0.2	0.2	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7505.46,14.21,0,0.3615)	0.071
0.1	0.7	0.1	0.1	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7343.44,14.15,0.0090,0.4065)	0.044
0	1	0	0	100	30	(6839.19,13.98,0,0.1363)	(7039.92,14.08,0.0304,0.3641)	0.007

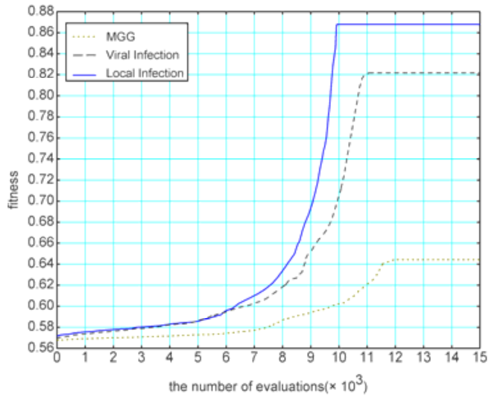
راه حل ايده‌ال z^*_i از طريق اجراي مستقل الگوريتم ديكسترا براي هر معيار بدست آمده است و z_i راه‌حلي است كه كار عملي مورد نظر (در اينجا كار عملي ۴) بـه آن رسيده است.

جدول۹: مقادير عددي مربوط به ميانگين برازندگي بهترين فرد در هر يك از چهار كار عملي انجام شده.

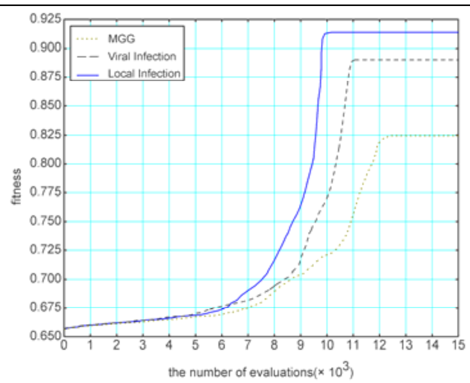
Importance weights				The No. of runs	Fitness Average of best solutions over 30 runs under Pop_size = 50 for Generic GA and Pop_size = 100 for the others			
w_1	w_2	w_3	w_4		Generic GA (Experiment #1)	MGG (Experiment #2)	Viral infection (Experiment #3)	Local infection (Experiment #4)
0.25	0.25	0.25	0.25	30	0.7735	0.7813	0.7937	0.8147
0.2	0.4	0.2	0.2	30	0.5930	0.6433	0.8215	0.8681
0.1	0.7	0.1	0.1	30	0.7067	0.8243	0.8901	0.9136
0	1	0	0	30	0.9126	0.9218	0.9519	0.9895



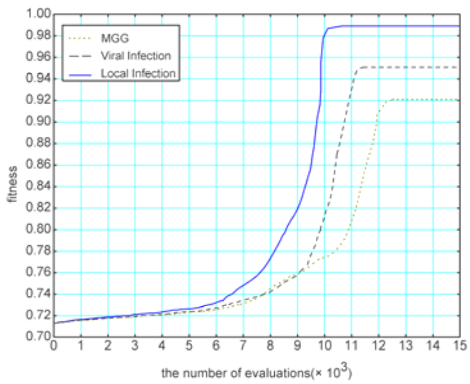
شكل ۱۶: ميانگين بهترين فرد طي ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۱۰۰ زماني كه $w_1= 0.25, w_2=0.25, w_3= 0.25, w_4=0.25$.



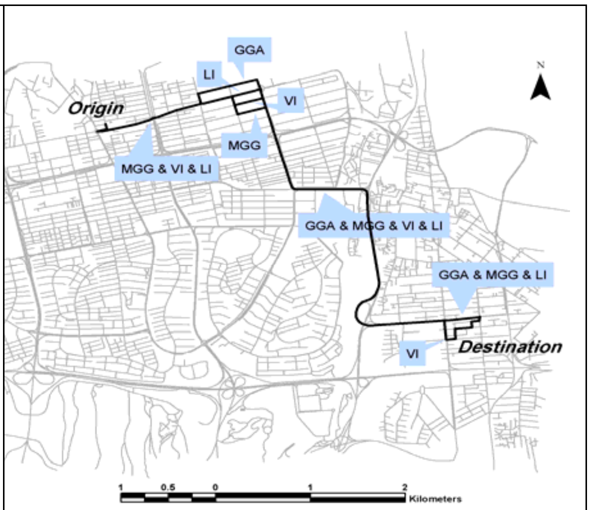
شكل ۱۷: ميانگين بهترين فرد طي ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۱۰۰ زماني كه $w_1= 0.2, w_2=0.4, w_3= 0.2, w_4=0.2$.



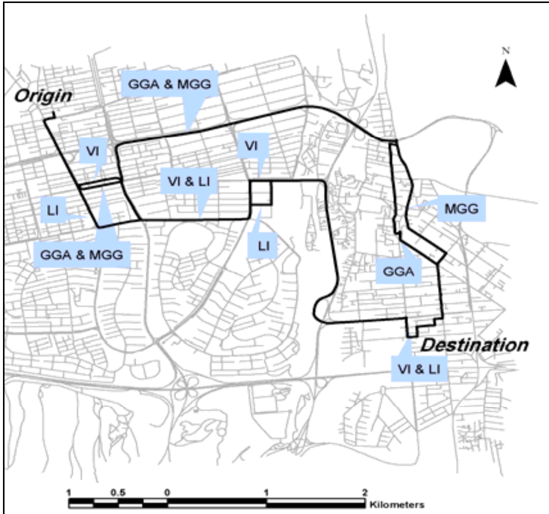
شكل ۱۸: ميانگين بهترين فرد طي ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۱۰۰ زماني كه $w_1= 0.1, w_2=0.7, w_3= 0.1, w_4=0.1$.



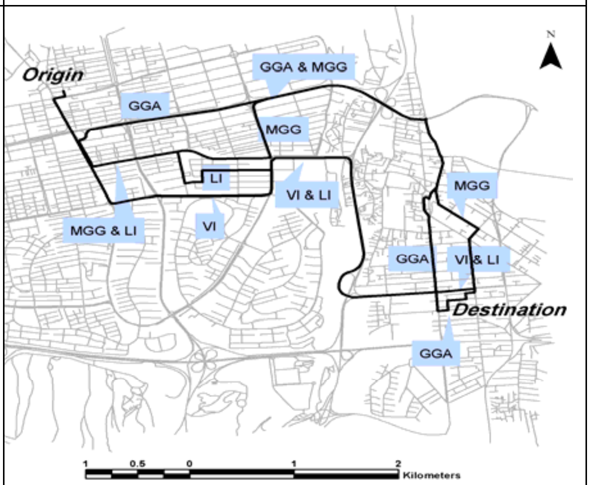
شكل ۱۹ : ميانگين بهترين فرد طي ۳۰ اجراي مستقل با اندازه جمعيت ۱۰۰ زماني كه $w_1= 0, w_2=1, w_3= 0, w_4=0$.



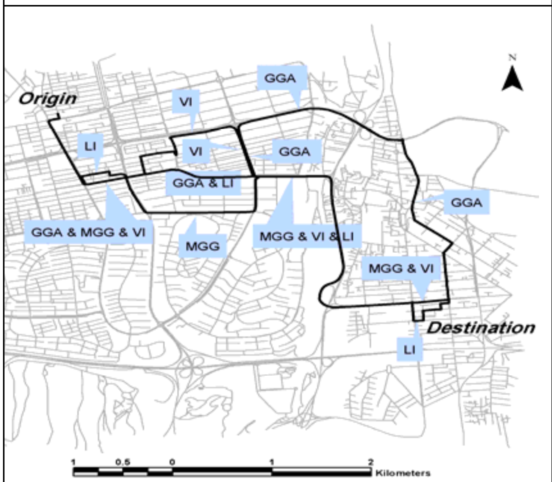
شكل ۲۰:مسير پيشنهادي با w_1=0.25,w_2=0.25,w_3=0.25, w_4=0.25 .



شكل ۲۱: مسير پيشنهادي با w_1= 0.2, w_2=0.4, w_3= 0.2, w_4=0.2 .



شكل ۲۲: مسير پيشنهادي با w_1= 0.1,w_2=0.7,w_3= 0.1,w_4=0.1 .



شكل ۲۳: مسير پيشنهادي با w_1= 0, w_2=1, w_3= 0, w_4=0 .

w_1, w_2, w_3, w_4: به ترتيب نشان دهنده درجه اهميت طول، زمان، تراكم و درجه سختي انتخاب شده توسط راننده است. GGA: بيان كننده نتيجه بدست آمده از كار عملي اول (الگوريتم ژنتيك عمومي) است. MGG: بيان كننده نتيجه بدست آمده از كار عملي دوم (بهبود كار عملي اول) با استفاده از MGG است. VI: بيان كننده نتيجه بدست آمده از كار عملي سوم (بهبود كار عملي دوم) با استفاده از تئوري ويروس و نفوذ ويروسي است. LI: بيان كننده نتيجه بدست آمده از كار عملي چهارم (بهبود كار عملي سوم) با استفاده از نفوذ محلي است.

نتيجه‌گيري

در اين تحقيق با ارائه يك راه‌كار عملي بر اساس اصول مطرح در سيستمهاي راهنماي مسير و تئوري ويروسها، اقدام به ارائه روشي جامع جهت بهبود نرخ جستجو در مسائل مسيريابي شبه بهينه درون شهري با استفاده از نفوذ ويروسي و جستجوي محلي در محيط GIS نموديم.

به منظور اثبات كارايي روش جامع پيشنهادي (كار عملي چهار)، نتايج بدست آمده در هر مرحله از بهبود روش، از الگوريتم ژنتيك عمومي تا روش پيشنهادي در قالب چهار كار عملي، ارائه و بحث شد.

در كليه كارهاي عملي، روش ارزيابي هر يك از مسيرها بگونه‌اي طراحي شد كه غير وابسته به دامنه بزرگي هر يك از معيارهاي مسيريابي بوده و قابليت پذيرش هر تعداد معيار، بانضمام ميزان اهميت هر يك از معيارها از ديد راننده را دارا باشد. همچنين، به منظور ارزيابي كيفيت بهترين راه‌حل سازگار بدست آمده از هر يك از طراحي‌هاي انجام شده در قالب چهار كار عملي ذكر شده در فوق، به ارائه متريك كيفيت پرداخته شد. بدين ترتيب

به اندازه‌گيري ميزان نزديكي بهترين راه‌حل سازگار بدست آمده از هر يك از كارهاي عملي انجام شده، از راه‌حل ايده‌آل پرداخته شد.
نتايج نشان دادند؛ از يك سو، در بهبود روش پيشنهادي از كار عملي اول تا كار عملي چهارم(روش جامع)، بهترين راه‌حل سازگار حاصل از ۳۰ اجراي مستقل با توجه به وزنهاي تنظيم شده از سوي راننده براي هر يك از معيارها، به راه‌حل ايده‌آل نزديكتر شده است بگونه‌اي كه اين ميزان نزديكي در روش پيشنهاد شده در كار عملي چهارم به بيشترين مقدار خود رسيد. از سوي ديگر ميزان برازش بهترين راه‌حل سازگار بدست آمده حاصل از ۳۰ اجراي مستقل با توجه به وزنهاي تنظيم شده از سوي راننده براي هر يك از معيارها، در هر مرحله از بهبود روش، از كار عملي اول تا كار عملي چهارم (روش جامع)، افزايش يافت بگونه‌اي كه اين ميزان در روش پيشنهاد شده در كار عملي چهارم به حداكثر مقدار خود رسيد.

مراجع

1 - Atallah, M. J. (1999). *Algorithms and Theory of Computation Handbook*. CRC Press, LCC, Washington, USA.

2 - Gandibleux, X., Beugnies, F. and Randriamasy, S. (2004). "Martins' algorithm revisited for multi-objective shortest path problems with a max-min cost function." *Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies,* PP.1–16.

3 - Chen, k. and Miles, J. C. (1999). *ITS Handbook 2000*, Recommendations from World Road Associations (PTARC), Artech House, New York.

4 - Ran, B. and Boyce, D. (1996). *Modeling Dynamic Transportation Networks*. Second Revised Edition, Springer.

5 - Fernandez, J., Gonzalez, J., Mandow, L. and Perez-de-la-Cruz, J. (1999). "Mobile robot path planning: A multicriteria approach." *Engineering Applications of Artificial Intelligence.*, Vol. 12, No. 4, PP.543–554.

6 - Mandow, L. and Perez de la Cruz, J. (2001). "A heuristic search algorithm with lexicographic goals." *Engineering Applications of Artificial Intelligence.,* Vol. 14, No. 6, PP.751–762.

7 - Skriver, A. and Andersen, K. (2000). "A label correcting approach for solving bicriterion shortest-path problems." *Computers and Operations Research 27*, PP.507–524.

8 - Martins, E., Pascoal, M. M. B. and Santos, J. L. E. D. (1999). "Deviation algorithms for ranking shortest paths." *International Journal of Foundations of Computer Science.,* Vol. 10, No. 3, PP.247–262.

9 - Martins, E. D. Q. and dos Santos, J. L. E. (1999). *The labelling algorithm for ultiobjective shortest paths*. Technical report, Department of Mathematics, University of Coimbra, Portugal.

10 - Hallam, C., Harrison, K. and Ward, J. (2001). "A multiobjective optimal path algorithm." *Digital Signal Processing.,* Vol. 11, No. 2, PP.133–143.

11 - Nepal, K. and Park, D. (2003). *Routing algorithms for transportation systems and service improvement projects in urban transportation networks*. Tech. Rep., Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology,2-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan, 152-8552.

12 - Roy, A., Banerjee, N. and Das, S. K. (2002). *An efficient multi-objective QoS routing algorithm for real-time wireless multicasting*. Technical Report, Center for Research in Wireless Mobility and Networking, Department of Computer Science, University of Texas at Arlington, TX 76019-0015.

13 - Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison Welsey Publishing Company.

14 - Bently, P. J. (1996). *Generic Evolutionary Design of Solid Objects using a Genetic Algorithm*. Ph.D. Thesis, University of Huddersfield, Heddersfield, UK.

15 - Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Studies (TCTTS), a division of the Municipality of Tehran (1995). *Travel time-volume function studies*, (In Persian), Final technical report. No. 111, Iran.

16 - Mazloomi, A. (2002). *Delay function of intersections with traffic light*. M.Sc. Thesis (In Persian), University of Sharif, Tehran, Iran.

17 - Shahpar, A. (2001). *Delay function of intersections without traffic light*. M.Sc. Thesis (In Persian),, University of Sharif, Tehran, Iran.

18 - Asgharpour, M. J. (1998). *Multi-criteria decision making*. Tehran University Publication, Tehran, Iran.

19 - Spears, W. M. (1998). *The role of mutation and recombination in evolutionary algorithms*. Ph.D. Thesis, University of George Mason, Virginia, USA.

20 - Zitzler, E. (1999). *Evolutinary Algortithms for Multiobjective Optimization Methods and Applications*. Ph. D. Thesis, Swiss Federal Institute if Technology Zurich, Swiss.

21 - Satoh, H., Yamamura, M. and Kobayashi, S. (1996). "Minimal generation gap model for GAs considering both exploration and exploitation." In. *IIZUKA '96.*, PP.494-497.

22 - Kanoh, H., Hasegawa, K., Matsumoto, M. and Nishihara, S. (1996). "Solving constraint satisfaction problems by a genetic algorithm adopting viral infection." *IEEE SMC'96.*, PP.626-631.

23 - Nakahara, H., Sagawa, T. and Fuke, T. *Virus theory of evolution*. Bulletin of Yamanashi Medical College, Vol. 3, PP.14-18.

24 - Anderson, N. G. (1970). "Evolutionary significance of virus infection." *The Journal of Nature.,* PP.1346-1347.

واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Geospatial Information System/Science
2 - Breath First Search
3 - Heuristic function
4 - Quality of Service
5 - Range-independent ranking
6 - Sum of Weighted Global Ratios (SWGR)
7 - Sidney Coordinated Adaptive Traffic System
8 - Best compromise
9 - Component Object Model
10 - Minimal Generation Gap Model
11 - Modified Dijkstra algorithm
12 - Selection
13 - Crossover
14 - n-point crossover
15 - Mutation
16 - Elitism
17 - Average Fitness
18 - Roulette wheel selection
19 - Main infection
20 - Bridge infection
21 - Local infection