نشـــریه بین المللـــی مهنـدسی صنـایع و مدیـــریت تولیـد پاییـــز ۱۳۸۹- صفحـه ۷۹-۶۸

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۱، پاییـــز ۱۳۸۹

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنایـــع و مدیـــریت تولیـــد

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

IJIE

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

استراتژیهای کوتاهترین مسیر در هدایت پویای وسیله نقلیه مبتنی بر معیار سطح سرویس- رویکرد الگوریتم ژنتیک ترکیبی

علیرضا عیدی

کلمات کلیدی

شبکه حمل و نقل شهری،
هدایت وسیله نقلیه در زمان واقعی،
سطح سرویس،
الگوریتم ژنتیک،
انتخاب بالتزمن

چکیده:

سیستم پویای هدایت مسیر از جمله حوزه های مهم فعالیت سیستمهای هوشمند حمل و نقل می باشد. هسته اصلی این سیستم، محاسبات کوتاهترین مسیر بر اساس شرایط جاری (اطلاعات در زمان واقعی) است. در این تحقیق؛ فرموله نمودن مساله هدایت پویای وسائل نقلیه مبتنی بر ویژگیهای سیستمهای هوشمند حمل و نقل و استفاده از معیار کلی سطح سرویس مشتمل بر متغیرهایی نظیر زمان سفر و مصرف سوخت به منظور لحاظ نمودن واقعیتهای اقتصادی اجتماعی و توصیف کاملتر از شرایط ترافیکی انجام می شود. همچنین با توجه به زمان متغیر بودن شبکه های ترافیکی، الگوریتم های مسیریابی بر مبنای تکنیکهای هوش مصنوعی با تاکید بر یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی به عنوان راه حل مدل ارائه شده مورد مطالعه و توسعه قرار خواهد گرفت. از نتایج مهم این مقاله می توان به توانایی الگوریتم طراحی شده در برنامه ریزی بهتر سفرها، تصمیم گیریهای مسیریابی در شبکه حمل ونقل شهری شامل استراتژیهای موثر انتخاب مسیر؛ در تطبیق با شرایط پویای ترافیکی و کاندیداهای مختلف طی مسیر برای رانندگان وسائل نقلیه با هدف کاهش هزینه های سفر آنان اشاره نمود. نهایتا موجه و معتبر بودن الگوریتم طراحی شده نیز از طریق آزمایشات شبیه سازی نشان داده شده است.

۱. مقدمه

امروزه افزایش تعداد وسائل نقلیه به منظور جابجائی کالاها و مسافرین، موجب تراکم[۲] در شبکه های حمل و نقل شهری بویژه شهرهای بزرگ گردیده است. ساختن خیابانهای جدید و دیگر تسهیلات حمل و نقل شهری شدیدا زمانبر و پر هزینه است. از سوی دیگر در خصوص تسهیلات موجود نیز به دلیل کمبود تجربه یا عدم دقت در پیش بینی شرایط ترافیکی و نیز ناآشنایی برخی از رانندگان وسائل نقلیه(به ویژه وسائل نقلیه شخصی) با آلترناتیوهای مختلف موجود برای طی مسیر، نمی توانند مسیرهای بهینه ممکن را بر مبنای معیارهای مختلف انتخاب نمایند. در نتیجه پیچیدگی سفرها در حال افزایش می باشد. از اینرو از جمله چالشهای اصلی شبکه های ترافیکی، هدایت وسائل نقلیه به مقصدشان در وضعیت پویای ترافیک، با هدف کاهش هزینه های مختلف نظیر زمانهای سفر، مصرف سوخت و استفاده موثرتر از ظرفیتهای موجود شبکه می باشد. با توجه به شرایط ذکر شده، رانندگان به منظور دوری از تراکم و انجام سفرهای راحتر به خدماتی نظیر هدایت ترافیکی نیاز دارند. هدایت ترافیکی در پی توزیع مناسب جریانهای ترافیکی برروی همه مسیرهای شبکه حمل و نقل می باشد[۲،۱] .

در مجموع به منظور حل مسائل بیان شده، سیستم پویای هدایت مسیر[۳] رویکردی موثر به نظر می رسد. سیستم پویای هدایت مسیر که مبتنی بر فناوریهای اطلاعات و ارتباطات است از جمله حوزه

تاریخ وصول: ۸۹/۲/۳۰

تاریخ تصویب: ۸۹/۵/۲۷

دکتر علیرضا عیدی، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان eydi81@yahoo.com

[2] *Congestion*

[3] *Dynamic Route Guidance System (DRGS)*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

های مهم فعالیت سیستمهای هوشمند حمل و نقل[1] می باشد. هسته اصلی سیستم پویای راهنمای مسیر، محاسبات کوتاهترین مسیر در شبکه های پویا می باشد. با استفاده از اطلاعات زمان واقعی[2](آنلاین)، سیستم مورد اشاره قادر است کوتاهترین مسیر از یک گره یا ناحیه مبدا را به گره یا ناحیه مقصد بر اساس شرایط جاری برای استفاده کنندگان یا رانندگان پیدا نموده و به وسائل نقلیه توصیه نماید. بطوریکه ضمن ارتقای مطلوبیت زیرساختهای موجود شبکه حمل و نقل، هزینه سفر برای رانندگان کمینه شود. موثر بودن این کار نیز عمدتا به الگوریتمهای کوتاهترین مسیر وابسته است. این سیستم همچنین قادر به اطلاع رسانی به رانندگان وسائل نقلیه مختلف درباره شرایط شبکه می باشد. این اطلاع رسانی معمولا از طریق تابلوهای پیام متغیر(VMS) یا به وسیله نمایشگرهای داخل وسیله نقلیه انجام می شود[۵،۳،۴].

با توجه به طرح چالش ها و ضرورت های انجام تحقیق، مساله تحقیق را می توان در قالب تعیین استراتژیهای موثر مسیریابی تحت تاثیر تصمیم گیریهای رانندگان مبتنی بر بکارگیری اطلاعات ترافیکی زمان واقعی به منظور هدایت وسائل نقلیه در وضعیت پویای محیط تعریف نمود. از اینرو در این تحقیق به منظور لحاظ نمودن واقعیتهای اقتصادی اجتماعی و توصیف کاملتر از شرایط ترافیکی، فرموله نمودن مساله هدایت پویای وسائل نقلیه مبتنی بر ویژگیهای ITS و با لحاظ نمودن ترجیحات مسیریابی رانندگان وسائل نقلیه از طریق معیارکلی سطح سرویس انجام می شود. همچنین با توجه به زمان متغیر بودن شبکه های ترافیکی و اینکه به دلیل تغییر در شرایط ترافیکی شبکه، مسیر وسائل نقلیه تا رسیدن به مقصد می بایست مرتبا به روز شود، الگوریتم های مسیریابی بر مبنای تکنیکهای هوش مصنوعی با تاکید بر الگوریتم ژنتیک(GA) مورد مطالعه و توسعه قرار خواهد گرفت تا در رویارویی با تغییرات و پویایی های محیط نظیر تغییر شرایط ترافیکی خیابانها، کاندیداهای مختلف طی نمودن مسیر برای رانندگان وسائل نقلیه با هدف کاهش هزینه های سفر آنان فراهم شود. نکته دیگر در انگیزه انتخاب الگوریتمهای ژنتیکی به منظور حل مساله هدایت وسائل نقلیه این است که رفتار این الگوریتمها که از طریق جستجو و با الهام از قوانین تکامل[3] یک ابزار قدرتمند احتمالی برای ایجاد جمعیتی از جوابها می باشند، مشابه یا تقلیدی از رفتار رانندگان در جستجوی چندین مسیر مطلوب برای جابجائی ها در شبکه حمل و نقل است. ضمنا به منظور افزایش قدرت الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده، از ترکیب الگوریتم ژنتیک با دیگر تکنیکها یعنی روشهای ابتکاری در تولید جمعیت اولیه و روش بالتزمن[4] در اجرای فرآیند انتخاب استفاده می شود.

در ادامه ساختار مقاله شامل بخش های زیر می باشد: در بخش ۲ ضمن مرور الگوریتمهای کوتاهترین مسیر پویا در شبکه های حمل و نقل، فرضیات و چگونگی فرموله نمودن هدایت مسیر در وضعیت پویا، مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در بخش های ۳و۴ مقاله؛ متدولوژی تحقیق شامل کاربرد الگوریتمهای ژنتیکی در مسائل کوتاهترین مسیر پویا، کدگذاریهای مساله تحقیق، طراحی الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده و توصیفی از استراتژی مسیریابی مبتنی بر الگوریتمهای ژنتیکی ارائه خواهد گردید. در بخش ۵ نیز اجرای الگوریتم ارائه شده شامل محاسبات و تحلیل ها در مورد یک مثال عددی و نیز یک نقشه مجازی؛ از طریق شبیه سازی کامپیوتری انجام شده است. در بخش ۶ امکان توسعه الگوریتم ارائه شده در شبکه های دارای چراغ راهنمایی بررسی گردیده است. نهایتا در بخش ۷ جمع بندی، طرح نتایج مهم، محدودیتها و برخی از افقهای تحقیقاتی آتی در ارتباط با موضوع تحقیق بیان گردیده است.

۲. فرضیات و مدل پویای هدایت مسیر

پیش از ارائه فرمولاسیون مساله هدایت مسیر در وضعیت پویا، مهمترین فرضیاتی که در این تحقیق لحاظ گردیده است می توان به شرح زیر بیان نمود:

- بررسی مساله تحقیق در محدوده حمل و نقل شهری یا درون شهری مبتنی بر مدل گره- کمان[5] ، که تقاطع ها بعنوان گره ها و خیابانهای بین تقاطع ها بعنوان کمانها با ظرفیت محدود نمایش داده می شود.
- امکان دسترسی به همه خیابانهای شبکه حمل و نقل بطور همگن از سوی رانندگان به منظور جابجائی وسائل نقلیه
- بررسی مساله تحقیق برای وسائل نقلیه شخصی به دلیل قدرت آنها در انتخاب مسیرهای متعدد بین نواحی مبدا و مقصد سفر
- بررسی مساله هدایت مسیر یا مسیریابی از یک مبدا به یک مقصد
- لحاظ نمودن ترجیحات مسیریابی رانندگان وسائل نقلیه
- انجام هدایت مسیر در حین سفر و اتخاذ تصمیمات مربوط به هدایت، قبل از رسیدن وسیله نقلیه به نقاط تقاطعها
- چشم پوشی از خرابی تجهیزات ITS در جمع آوری داده های مورد نیاز یا به عبارتی دیگر صرفنظر نمودن از خطای داده های ترافیکی جمع آوری شده
- با توجه به اینکه در یک سیستم حمل و نقل، هدایت مسیر می تواند در چند سطح مختلف ارائه شود. هدایت مسیر با بهینگی کاربر[6] از دیگر فرضیات تحقیق می باشد. بعبارتی دیگر در این تحقیق راهنمایی مسیر تنها می تواند برای رانندگانی که به منظور

[1] *Intelligent Transportation Systems (ITS)*
[2] *Real-time information*
[3] *Evolution*
[4] *Boltzmann*
[5] *Node-Link Model*
[6] *User Optimal*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

دریافت پیامهای هدایت تجهیز شده اند فراهم شود نه برای همه رانندگان موجود در شبکه.

- انتخاب معیارکلی سطح سرویس مشتمل بر متغیرهای زمان سفر و مصرف سوخت به عنوان مهمترین متغیر تصمیم ساز مساله
- یکی از مقولات اطلاعات زمان سفر مبتنی بر سیستمهای هوشمند حمل و نقل، اطلاعات زمانهای سفر در زمان واقعی[1] می باشد. زمانهای سفر در زمان واقعی، اطلاعات پویای مرتبط با تغییرات در زمانهای سفر در زمان جاری(غیر گذشته) را می تواند ارائه نماید. استفاده از اطلاعات زمان واقعی با بکارگیری سیستمهای ویدئویی یا دوربین ها، حلقه های مغناطیسی، سیستمهای موقعیت یاب جهانی(GPS) و سایر حسگرهای ترافیکی روی مسیرهای شبکه حمل و نقل امکانپذیر می باشد[۶]. مسیریابی پویای وسیله نقلیه که در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت به این دسته از اطلاعات نیاز دارد.

اکنون فرموله نمودن هدایت مسیر در وضعیت پویا بیان می شود. فرض کنید $G(N,A)$ شبکه پویای جهت دار مبتنی بر نقشه شبکه حمل و نقل واقعی است، بطوریکه $N=\{N_1,...,N_n\}$ مجموعه گره ها و $A=\{a_{ij}|N_i,N_j\in N\}$ مجموعه کمانهای جهت دار شبکه می باشد. راهنمایی مسیر وسائل نقلیه برمبنای معیارهای مختلفی قابل انجام می باشد. از اینرو به منظور لحاظ نمودن تمایلات سفر رانندگان وسائل نقلیه می توان از معیار کلی سطح سرویس استفاده نمود. سطح سرویس، توصیف کیفی را از شرایط ترافیکی مسیرها ارائه می نماید. در این تحقیق به منظور لحاظ نمودن ویژگیهای توپولوژیکی شبکه حمل و نقل مبتنی بر قابلیتهای ITS و نیز لحاظ نمودن واقعیتهای اقتصادی اجتماعی، متغیرهای زمان سفر و مصرف سوخت به عنوان مشخصه های مهم در ارزیابی معیار سطح سرویس هر مسیر درنظر گرفته شده است.

در ادامه $S=\{s_{ij}|a_{ij}\in A\}$ مجموعه طول کمانها و $D=\{d_{ij}(t)|a_{ij}\in A\}$ مجموعه زمانهای سفر (وابسته به متغیر زمان t) روی کمانهای شبکه تعریف می شوند. تابع $d_{ij}(t)$ طی بازه های زمانی مختلف دچار تغییر می شود. از اینرو $T=\{t_1,t_2...,t_{n-1}\}$ مجموعه ای از بازه های زمانی عزیمت[2] برای زمانهای سفر کمانها معرفی می شود[۷] . چنانچه سرعت حرکت وسیله نقلیه در امتداد کمان (N_i,N_j) وابسته به پریودهای زمانی t با $v_{ij}(t)$ معرفی گردد. به علت آنکه G مبتنی بر یک شبکه حمل ونقل واقعی است، زمان سفر از گره N_i به گره N_j طی پریود زمانی t، بطور تخمینی از رابطه ۱ تعیین می شود.

$$d_{ij}(t)=s_{ij}/v_{ij}(t) \quad , \quad t\in[t_1,t_{n-1}] \qquad (۱)$$

با توجه به رابطه فوق برای تعیین زمان سفر در امتداد کمان (N_i,N_j) به اطلاعات طول کمان (s_{ij}) و سرعت حرکت در امتداد کمان طی پریود زمانی t یعنی $v_{ij}(t)$ نیاز است. اطلاعات طول کمانها با استفاده از اندازه گیری فاصله بین هر جفت از گره ها یا تقاطع ها بر روی نقشه شبکه، در دسترس می باشد. لیکن از آنجا که بزرگراهها و خیابانهای اصلی اغلب شهرهای بزرگ به حلقه های مغناطیسی مجهز شده اند، برای بدست آوردن اطلاعات سرعت حرکت در امتداد کمانها از خروجی تجهیزات ITS استفاده می شود[۸، ۹]. سپس $d_{N_i'N_j'}(t)$ را متوسط زمان سفر از گره N_i' به گره N_j' تعریف نموده و مجموع زمان سفر هر مسیر از مبدا N_1' به مقصد N_n' با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$f_d=d_{N_1'N_2'}(t_1)+\sum_{i=2}^{n-1}d_{N_i'N_{i+1}'}(t_i)$$
$$where \quad t_i=t_{i-1}+d_{N_{i-1}'N_i'}(t_{i-1}) \ , i=2,...,n-1 \qquad (۲)$$

چنانچه t_1 به عنوان زمان عزیمت از گره شروع N_1' در نظر گرفته شود سایر پریودهای زمانی عزیمت از رابطه فوق بدست می آید. به عنوان مثال $t_2=t_1+d_{N_1'N_2'}(t_1)$ یعنی زمان عزیمت از گره N_2' معادل است با مجموع دو جزء زیر: الف- زمان سفر برروی کمان (N_1',N_2') طی پریود زمانی t_1 ب- زمان عزیمت از گره شروع. در ادامه با معرفی و اندازه گیری فاکتوری تحت عنوان فاکتور مصرف سوخت برای هر خیابان می توان مصرف سوخت را برای کمانهای شبکه حمل و نقل بر طبق رابطه ۳ تخمین زد. لیکن بدلیل متفاوت بودن این فاکتور تحت تاثیر نوع خیابانها، الگوهای رفتاری رانندگان در رانندگی با وسائل نقلیه مختلف و شرایط ترافیکی در ساعات اوج و غیر اوج، از متوسط فاکتور مصرف سوخت استفاده می شود.

$$FC_{ij}=S_{ij}*F_{ij} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق، F_{ij} متوسط فاکتور مصرف سوخت و FC_{ij} مقدار مصرف سوخت در امتداد کمان (N_i,N_j) می باشد. سپس $FC_{N_i'N_j'}$ را مصرف سوخت از گره N_i' به گره N_j' تعریف نموده و مجموع مصرف سوخت هر مسیر از مبدا N_1' به مقصد N_n' با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می شود.

$$f_{FC}=\sum_{i=1}^{n-1}FC_{N_i'N_{i+1}'} \qquad (۴)$$

اکنون پیش از معرفی مدل مسیریابی چندمعیاره، نحوه بدون بعدکردن مشخصه های زمان سفر و مصرف سوخت برمبنای بی مقیاس کردن فازی [۱۰] به شرح رابطه ۵ ارائه می گردد.

[1] *Real-time travel time*
[2] *Departure*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

$$\begin{cases} Norm\ (f_d) = 1 - \dfrac{f_d - \min(f_d)}{\max(f_d) - \min(f_d)}, & 0 \le Norm\ (f_d) \le 1 \\ Norm\ (f_{FC}) = 1 - \dfrac{f_{FC} - \min(f_{FC})}{\max(f_{FC}) - \min(f_{FC})}, & 0 \le Norm\ (f_{FC}) \le 1 \end{cases} \quad (۵)$$

در روابط فوق با توجه به جنبه منفی معیارها، $\min(f_d), \max(f_d)$ به ترتیب بیشینه (یا بدترین) و کمینه(یا بهترین) مقادیر f_d در بین راه‌حل‌های مختلف یا مسیرهای مختلف میان هر جفت مبدا- مقصد می باشند. همچنین $\min(f_{FC})$ ، $\max(f_{FC})$ نیز به ترتیب بیشینه و کمینه مقادیر f_{FC} در بین راه حل های مختلف هستند.

نهایتا اینکه مساله پویای هدایت مسیر وسائل نقلیه با مبدا N_1' و مقصد N_n' در قالب یک مدل تحقیق در عملیات به شرح زیر معرفی می گردد.

$$\max . \quad w_1 * Norm(f_d) + w_2 * Norm(f_{FC}) \quad (۶)$$

$$w_1 + w_2 = 1, \quad w_1, w_2 \ge 0 \quad (۷)$$

$$\begin{cases} (N_1', N_2'), \ldots, (N_{n-1}', N_n') \in A \\ N_i' \in N \quad , i = 1,2,\ldots,n \end{cases} \quad (۸)$$

از جمله فرضیات دیگر که می توان به فرمولاسیون فوق اضافه نمود، این است که تاثیر وضعیت ترافیکی سایر کمانها را بر کمانی که عبور وسائل نقلیه از آن در حال بررسی است در نظر نمی گیریم. در مدل ارائه شده به شکل بالا که یک مدل چند معیاره زمان گسسته است، با توجه به تابع هدف مدل یعنی رابطه ۶ که مبتنی بر بیشینه سازی ارزش مجموع ساده وزین[1] می باشد، به دنبال انتقال وسائل نقلیه از یک مبدا به یک مقصد تعیین شده در امتداد کوتاهترین مسیر در وضعیت پویای شبکه با هدف کمینه نمودن مجموع هزینه های سفر شامل زمانهای سفر و مصرف سوخت می باشد. در رابطه ۷ پارامتر w_1 وزن یا ضریب اهمیت معیار زمان سفر و پارامتر w_2 وزن معیار مصرف سوخت می باشد. این وزنها بر مبنای ترجیحات رانندگان پیشنهاد می گردند. رابطه ۸ نیز محدودیتهای مدل را در قالب ساختار فیزیکی شبکه حمل و نقل بیان می نماید.

۱-۲. الگوریتم های کوتاهترین مسیر پویا(*DSP*[2]) در شبکه‌های حمل و نقل

در شبکه های حمل و نقل شهری که زمان گذر از خیابانها بستگی به حجم ترافیک یا تعداد وسائل نقلیه عبوری از کمانها دارد، زمانهای سفر روی کمانها به متغیر زمان وابسته بوده و نسبت به زمان تغییر می‌کند. بنابراین به دلیل ضعف محاسباتی الگوریتمهای ایستا در شرایط زمان واقعی؛ می‌بایست شرایط شبکه های پویا برای محاسبه کوتاهترین مسیر مورد بررسی قرار گیرد. حل مسائل کوتاهترین مسیر پویا از ایستا مشکل تر بوده و اثبات می شود بخش عمده ای از آنها در دسته مسائل *NP-Hard* قرار دارد [۱۳، ۱۱،۱۲]. همچنین اثبات می شود، الگوریتم های استاندارد کوتاهترین مسیر نظیر دیکسترا [۱۴] نمی تواند در یافتن مسیر با حداقل هزینه مورد انتظار روی شبکه غیرایستا استفاده شود و در اینگونه مسائل انتخاب مسیر بهینه یک مسیر ساده نیست بلکه مشخص نمودن سیاست مسیریابی[3] است. از اینرو در برخی از تحقیقات از قواعد تصمیم گیری انطباقی یعنی توانایی تطبیق با تغییرات در شبکه؛ به منظور تعیین استراتژیهای مسیریابی استفاده شده است[۱۵]. از جمله تکنیکهای کلاسیک برای حل مسائل شبکه های پویا یا زمان- وابسته[4]، استفاده از گراف بسط یافته- زمانی[5] می باشد. شبکه بسط یافته- زمانی با استفاده از کپی برداری از شبکه اصلی برای هر بازه زمانی مجزا ساخته می شود. طبیعتا برای مسائل واقعی، شبکه های بسط یافته خیلی بزرگ می شود[۱۶،۱۷] . در نتیجه؛ به دلیل مشکل بودن محاسبات کوتاهترین مسیر پویا، پیدا کردن شیوه های محاسباتی جایگزین برای الگوریتمهای یافتن مسیر که تخمینهای خوبی از جواب بهینه فراهم نموده و زمان اجرای محاسبات را کاهش دهد، یکی از انگیزه های قوی برای تحقیقات در این زمینه می باشد.

۳. کاربرد الگوریتم های ژنتیکی در مسائل کوتاهترین مسیر پویا

با بررسی ادبیات موضوع در ارتباط با شبکه های زمان- متغیر در بخش پیشین مقاله، می توان دریافت که حل مسائل کوتاهترین مسیر پویا مبتنی بر بکارگیری اطلاعات زمان واقعی از مسائل ایستا مشکل تر می باشد. از اینرو برای غلبه بر این دشواری به تکنیک‌های قوی محاسباتی نظیر الگوریتم های تکاملی نیاز است. الگوریتم های ژنتیک یک دسته از این گونه تکنیکهاست که با الهام از قوانین تحول یک ابزار قدرتمند احتمالی برای جستجو در فضای جوابها و یافتن چندین جواب مطلوب می باشد. آهان و راماکریشنا [۱۸] کاربرد الگوریتمهای ژنتیکی را برای حل مساله کوتاهترین مسیر پیشنهاد نمودند. شبیه سازیهای کامپیوتری توسط آنها نشان داد الگوریتم پیشنهادی از نقطه نظر همگرایی بهتر از دیگر الگوریتم های مرسوم عمل می کند. دیویس و لینگراس [۱۹] مساله

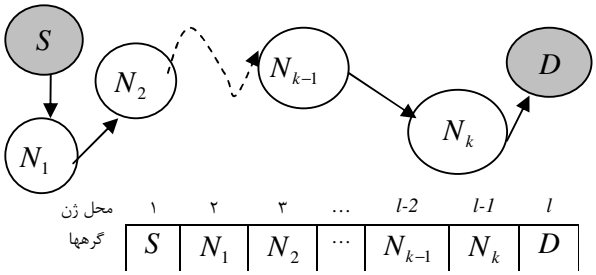
[1] *Simple Additive Weighting(SAW)*
[2] *Dynamic Shortest Path*
[3] *Routing Policy*
[4] *Time-Dependent*
[5] *Time-Expanded*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

کوتاهترین گام[1] در شبکه های زمان- وابسته را با استفاده از الگوریتمهای ژنتیکی تحلیل نمودند. آنها همچنین به برخی از پتانسیل های کاربردی موضوع مورد مطالعه در شبکه های کامپیوتری و شبکه بزرگراه ها برای تحقیقات آتی اشاره نمودند. در پژوهش های ذکر شده، رویه روشن و مشخصی برای حل مساله تعریف شده برای این تحقیق ارائه نشده است. چاکرابورتی و همکاران [۲۰] مساله انتخاب مسیر چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد نمودند لیکن مطالعه آنها مشتمل بر معیارهای غیرپویای مسافت مسیر و حداقل تعداد گردش بوده است. لی آنگ و همکاران [۲۱] نیز به منظور شروع حل مساله پویای هدایت مسیر؛ مبتنی بر کروموزومهای موجه، یک الگوریتم ابتکاری را با بهره گیری از الگوریتم A^* پیشنهاد نمودند. لیکن تنها معیار استفاده شده در این پژوهش نیز معیار زمان سفر معرفی گردیده است. کانو [۲۲] برنامه ریزی پویای مسیر مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را برای سیستمهای هدایت وسیله نقلیه پیشنهاد نمود. هر چند در این تحقیق از معیارهای مختلفی نظیر کلاس یا طبقه خیابان و تعداد خطوط سیر[2] استفاده شده است اما بدست آوردن بهترین نتیجه، بدون لحاظ نمودن مجموعه ای از مسیر انتخاب شده به عنوان ویروس تقریبا مشکل است زیرا در این روش از ویروسها به عنوان حوزه دانش مشخص استفاده می شود. لین و همکاران [۲۳] نیز یک الگوریتم ژنتیک ساده را برای یافتن کوتاهترین زمان رانندگی مبتنی بر ویژگیهای ITS پیشنهاد نمودند. بدین ترتیب در ادامه به منظور کاربرد موضوع در سیستم پویای هدایت مسیر وسائل نقلیه و قابلیت ارائه کاندیداهای مختلف طی مسیر مبتنی بر شرایط زمان واقعی شبکه و ویژگیهای ITS، رویکردی موثر از حل مسائل کوتاهترین مسیر چند معیاره بر مبنای الگوریتم های ژنتیکی و ویژگیهای کروموزومها پیشنهاد می گردد.

۱-۳. کدگذاری[3] های مساله تحقیق

از مهمترین گامها در بکارگیری الگوریتمهای ژنتیکی، شناسایی اجزای آن در ارتباط با مساله مورد بررسی می باشد. در این مقاله، جوابهای بالقوه مساله یعنی هر یک از مسیرهای موجود شبکه را می توان به عنوان یک کروموزوم درنظر گرفت. لیکن کدگذاری کروموزومها یا مسیرها در این تحقیق با مشکلات زیر روبرو می‌باشد:
۱- مسیرهای مختلف شامل گره ها و کمانهای متفاوت است. یعنی طول کروموزومها غیرثابت یا متغیر می‌باشد. ۲- توالی تصادفی کمانها در یک مسیر، به آن مسیر وابسته نیست. برای غلبه بر دشواریهای بیان شده، رویکرد مناسب آن است که تولید هر مسیر با استفاده از روش افزودن متوالی گرهها، با شروع از گره مبدا یا یک گره جاری و خاتمه آن به گره معین مقصد انجام شود. به منظور جلوگیری از تشکیل حلقه در یک مسیر نیز می بایست هر گره فقط یکبار در کروموزوم ظاهر شود. همچنین طول هر کروموزوم نباید از تعداد گره های شبکه بیشتر شود. جزء دیگر در الگوریتم ژنتیک این است که هر کروموزوم به عنوان مجموعه ای از عناصر که ژن نامیده می شوند ساخته می شود. در ادامه می توان از محل یا جایگاه ژنها برای مشخص نمودن الویت[4] گرهها در ساختن مسیر استفاده نمود. به عنوان مثال کدگذاری کروموزوم $P=(S,N_1,N_2,...,N_{k-1},N_K,D)$ در شکل ۱ انجام شده است.



شکل۱. مثالی از کدگذاری یک کروموزوم

در ادامه، جزئیات مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مساله تحقیق توضیح داده می شود.

۲-۳. طراحی الگوریتم ژنتیک

با توجه به نمودار جریان الگوریتم ژنتیک که در شکل۲ نشان داده شده است، مراحل مختلف این الگویتم به شرح زیر می باشد:

مرحله اول: جمعیت اولیه

الگوریتم های ژنتیکی با مجموعه اولیه ای از راه حل های تصادفی و متنوع که جمعیت نام دارد شروع می‌شوند. در این تکنیک، کروموزومها (در اینجا مسیرها) طی دوره های مکرر یا نسل ها تکامل می یابند. در هر دوره، جمعیت تغییر می کند و نسل جدیدی ایجاد می گردد که از نظر نزدیکی به جواب بهینه از جواب قبلی قوی تر است. دو جنبه مهم جمعیت عبارتست از:
الف- تولید جمعیت اولیه: می توان از طریق رویه زیر، جمعیت اولیه را برای هر راننده به شرح زیر تولید نمود:
گام۱: گره مبدا (اولین ژن) را به عنوان گره قبلی یا پیشین کروموزوم قرار دهید.
گام۲ :یک گره بدون برچسب[5] را که به گره قبلی متصل می شود بطور تصادفی انتخاب کنید. (تضمین موجه شدن جوابها یا کروموزومها)
گام۳ : به منظور جلوگیری از رویت مجدد گره جاری در کروموزوم، آن را برچسب گذاری نمایید. (تضمین عدم ایجاد حلقه)
گام۴ : چنانچه گره جاری، گره مقصد نیست به گام ۲ بروید والا ادامه دهید.

[1] *Shortest Walk*
[2] *Lanes*
[3] *Encoding*
[4] *Priority*
[5] *Label*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

گام۵ : چنانچه گره جاری، گره مقصد است فرآیند جستجو خاتمه خواهد یافت و یک کروموزوم از نسل اول تولید می شود.
گام۶ : همه برچسب ها را پاک کنید.
گام۷ : تا وقتی که همه جمعیت کروموزومها تولید نشده اند گام ۱ تا ۵ را تکرار کنید.

ب- اندازه جمعیت (pop_size) : در این مورد نیز، اندازه مناسب جمعیت با لحاظ نمودن کارایی محاسباتی الگوریتم توسط کاربر تعیین می شود و تا آخرین مرحله الگوریتم؛ ثابت می باشد.

مرحله دوم: تابع برازش[1]

در این مرحله؛ برای مشخص نمودن میزان نزدیکی جوابها به جواب بهینه، مقدار تابع هدف برای هر یک از کروموزومها محاسبه و ارزیابی می شود. از اینرو با توجه به مدل ارائه شده در بخش دوم، از رابطه ۹ جهت ارزیابی هر مسیر استفاده می شود:

$$f_k = w_1 * Norm(f_d)_k + w_2 * Norm(f_{FC})_k \qquad (۹)$$

در رابطه۹ ، f_k مقدار برازش kامین کروموزوم یا مسیر را نشان می دهد. هرچه مقدار تابع مذکور برای یک کروموزوم بیشتر باشد، آن مسیر از هزینه سفر کمتری برخوردار بوده و برای انتخاب مناسب تر است.

مرحله سوم: فرآیند انتخاب

در این مرحله به منظور خلق فرزندان برای نسل جدید، انتخاب والدین از جمعیت انجام می شود. در فرآیند انتخاب بر این مساله تاکید می گردد که بر مبنای تابع برازش، از کروموزومهای مناسب تر برای تولید مثل استفاده شود تا فرزندان شایسته تر تولید شود. از اینرو به منظور افزایش قدرت الگوریتم ژنتیک، در الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب بهترین کروموزومها از ترکیب الگوریتم ژنتیک با دیگر تکنیکها نظیر روش انتخاب بالتزمن به شرح زیر استفاده شده است.

گام۱: پارامتر دما (T) را با توجه به رابطه ۱۰ تنظیم کنید (قاعده کاهش دما):

$$T = T_0(1-\alpha)^{1+100*g/G} \quad , \quad \alpha \in [0,1] \qquad (۱۰)$$

که T_0 دمای اولیه، g شماره نسل جاری و G حداکثر تعداد نسل‌ها می باشد.

گام۲: مقدار برازش را برای بهترین کروموزوم نسل جاری یعنی $f_{\max}$ محاسبه کنید.

گام۳: گامهای ۴و۵ را برای همه کروموزومهای باقیمانده اجرا کنید.

گام۴: برای مسیر بعدی یعنی کروموزوم kام، چنانچه $f_{\max} - f_k \geq 0$ سپس کروموزوم kام را برای تولید مثل انتخاب کنید والا به گام ۵ بروید.

گام۵ : عدد تصادفی δ را از بازه $[0,1]$ با استفاده از توزیع یکنواخت تولید نموده و انتخاب کروموزوم kام را بر مبنای تابع توزیع احتمال بالتزمن به شرح رابطه ۱۱ انجام دهید:

$$P_{accept} : \delta \leq \exp[-(f_{\max} - f_k)/T] \qquad (۱۱)$$

مرحله چهارم: اجرای عملگرهای الگوریتم ژنتیک

الف- عملگر تقاطعی یا نوترکیب[2]

در فرآیند ترکیب، یک جفت کروموزوم بر اساس روش بیان شده در مرحله سوم؛ از جمعیت موجود انتخاب و با هم ترکیب می گردند تا کروموزوم جدید یا فرزند خلق شود. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی از روش ترکیب یک نقطه ای استفاده شده است. گامهای این روش به شرح زیر می باشد:

گام۱ : پارامتر اساسی عملگر تقاطعی یعنی نرخ ترکیب (p_c) را تنظیم کنید.

گام۲: چنانچه گره های مشترک (بجز گره های مبدا و مقصد) را بین دو مسیر یا کروموزوم والدین پیدا کردید، به گام ۳ بروید والا عملیات ترکیب بین این دو کروموزوم را لغو کنید.

گام۳: یکی از گره های مشترک را بطور تصادفی برای نقطه ترکیب انتخاب کنید.

گام۴ : محتوی بعد از نقطه ترکیب را مابین دو کروموزوم والدین با یکدیگر معاوضه کنید.

گام۵ : چنانچه در فرزندان تولید شده (مسیرها یا کروموزومهای جدید) حلقه پدیدار شده است، با انجام عملیات اصلاحی[3] از طریق حذف ژنهای مخرب (در اینجا گره های تکراری در یک مسیر) حلقه را حذف کنید.

ب- عملگر جهش[4]

عملگر جهش سبب می شود نقاط بیشتری از فضای جواب جستجو شود تا امکان دستیابی به جوابهای بهتر بیشتر گردد. اعمال این عملگر به منظور خلق کروموزومهای جدید به شرح زیر می‌باشد.

گام۱: پارامتر اساسی عملگر جهش یعنی نرخ جهش (p_m) را تنظیم کنید.

گام ۲: یکی از مسیرها یا کروموزومهای جدید خلق شده (فرزندان) را بطور تصادفی انتخاب کنید.

گام۳ : از کروموزوم انتخاب شده، دو ژن یا گره (بجز گره های مبدا و مقصد) را بطور تصادفی انتخاب کنید.

گام۴ : مابین آن دو گره و با توجه به فرآیند تولید جمعیت اولیه، مسیر جدیدی را جایگزین مسیر قبلی کنید(جهش دو نقطه‌ای).

[1] *Fitness Function*

[2] *Crossover (Recombination)*
[3] *Repair*
[4] *Mutation*

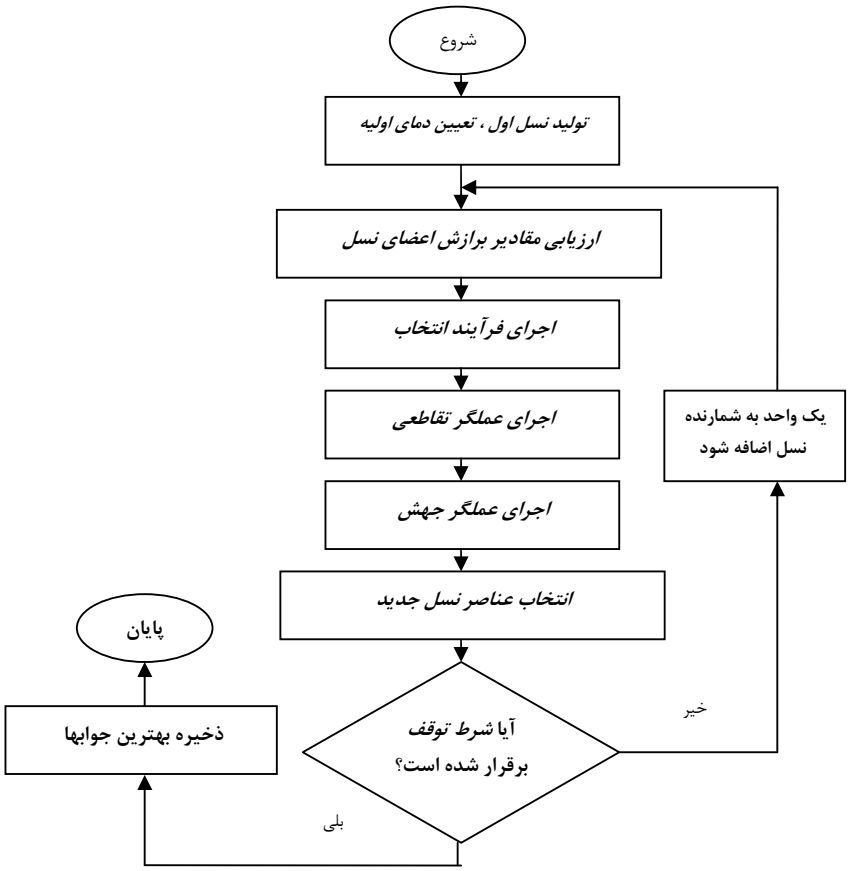
[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

مرحله پنجم: انتخاب عناصر نسل جدید

در این مرحله کروموزومهای جدید خلق شده (فرزندان) را به مجموعه جمعیت قبلی ملحق نمائید. در ادامه از مجموعه کنونی بر مبنای مقادیر تابع برازش، بهترین‌ها به اندازه تعداد جمعیت اولیه انتخاب می گردند و یک نسل جدید تولید می‌شود.

مرحله ششم: خاتمه الگوریتم

شرط توقف به شکل های متفاوتی قابل تعریف می باشد. از جمله اینکه در الگوریتم طراحی شده، تولید نسل های جدید آنقدر ادامه می‌یابد تا تعداد نسل‌ها از حداکثر از پیش تنظیم شده (G) بیشتر نشود.



شکل۲. نمودار جریان الگوریتم ژنتیک طراحی شده

۴. توصیفی از استراتژیهای مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک طراحی شده

در حالت کلی فرض کنید $P_{x,y}(t)=(x,...,N_i,...,N_j,...,N_{n-1},y)$ یک مسیر از گره x به گره y بر مبنای همه اطلاعات در دسترس در زمان t باشد. الگوریتم طراحی شده با یافتن یک مسیر آغازی $P_{o,d}(t_0)=(o,...,N_i,...,N_j,...,N_{n-1},d)$ از مبدا (o) به مقصد (d) که دارای کمترین مجموع هزینه ها در زمان t_0 می باشد شروع می شود. کاربر یا راننده وسیله نقلیه برای انجام سفر خود، از $P_{0,d}(t_0)$ پیروی نموده تا اینکه (در زمان مثلا t_1) به گره یا تقاطع N_i می رسد. به دلیل آنکه در گره مذکور ممکن است تغییرات غیرقابل انتظاری نظیر مسدود شدن برخی از خیابانها بر اثر تصادفات، خرابی وسائل نقلیه، تعمیرات اضطراری و شرایط نامساعد جوی در شبکه حمل ونقل رخ داده باشد، دیگر زیر مسیر $P_{N_i,N_j}(t_0)$ برای ادامه حرکت؛ مطلوب نخواهد بود. در این زمان (یعنی t_1) می توان زیر مسیر مطلوبی نظیر $P_{N_i,N_j}(t_1)$ را یافت که در تصحیح استراتژی اولیه مسیریابی استفاده شود. استراتژی اولیه برنامه ریزی شده از گره جاری N_i به گره مقصد عبارت است از $P_{N_i,d}(t_0)$ که لازم است با توجه به اطلاعات بدست آمده طی بازه زمانی t_1,t_0 با استفاده از عملگرهای ژنتیکی نظیر ترکیب کروموزومها به شرح رابطه ۱۲ به روز شود:

$$P_{N_i,d}(t_1)=P_{N_i,N_j}(t_1)+(N_{j+1},...,N_{n-1},d)=(N_i,N'_{i+1},...,N'_{j-1},N_j,N_{j+1},...,d) \quad (۱۲)$$

دستورالعمل کلی اجرای این استراتژی در شکل ۳ نشان داده شده است.

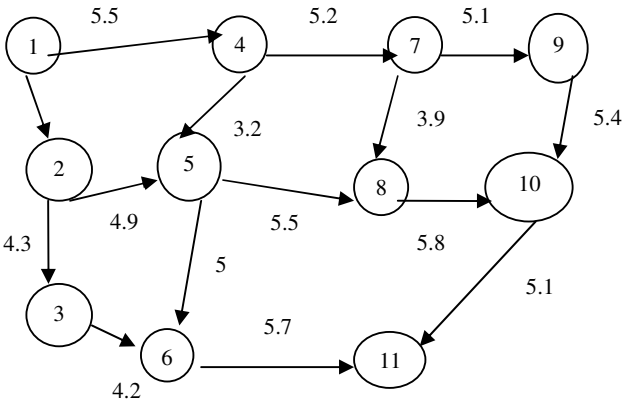
[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

```
input: real road map, origin and destination
output: the best rout path
begin
    select an initial best route path
    driving on the selected route path
    while (not reach destination node) do
        receive ITS data
        if unpredictable condition occurred in path then
            select a best route path by purposed GA
        end
        output: path
 end
```

شکل۳. دستورالعمل اجرای استراتژی پیشنهادی مسیریابی

۵. کاربرد الگوریتم ارائه شده در یک مثال عددی

با توجه به قدمهای اولیه فرآیند برنامه ریزی حمل ونقل شهری، شبکه حمل ونقل شهری را به چند ناحیه جغرافیایی تقسیم نموده، سپس یکی از نواحی محدود (یا غیرگسترده) را که نقشه ترافیکی آن در اختیار می باشد برای اجرای الگوریتم ارائه شده در نظرگرفته و به عنوان یک شبکه جهت دار نمایش داده می‌شود. در این شبکه، گره ها به عنوان تقاطع‌ها و کمانها به عنوان بزرگراه‌ها یا خیابانهای بین تقاطع‌ها در نظرگرفته می‌شوند. همه کمانها و گره‌های واقع در ناحیه مورد بررسی نیز شناسایی می‌شوند و در حقیقت از مدل گره-کمان برای بیان ارتباطات جغرافیایی شبکه خیابانها استفاده می‌شود. اکنون در این قسمت به منظور بررسی رفتار الگوریتم پیشنهادی و درک چگونگی هدایت وسائل نقلیه بر مبنای تحول و تکامل کروموزومها، بخشی از یک شبکه حمل ونقل شهری به عنوان بستر آزمایش[1] انتخاب شده و مطابق با شکل ۴ در نظرگرفته می‌شود.



شکل۴. توپولوژی شبکه انتخاب شده از یک شهر

شبکه ارائه شده دارای ۱۵ کمان جهت دار و ۱۱ گره می باشد که به منظور تشخیص تقاطع ها از یکدیگر، تقاطع ها از ۱ تا ۱۱ شماره گذاری شده است.

همچنین فرض می شود که هر وسیله نقلیه؛ از طریق تقاطع های معرفی شده به شبکه وارد شده یا از آن خارج می شود. زمانهای سفر روی کمانها (برحسب دقیقه) طی پریود زمانی عزیمت t_0 نیز برروی شبکه مشخص شده است. سایر مشخصات شبکه حمل و نقل در جدول ۱ ارائه گردیده است.

در ادامه به منظور ارزیابی[2] الگوریتم پیشنهادی هدایت مسیر می‌توان سناریوهای مختلف ترافیکی را درنظر گرفت از جمله جفت مبدا-مقصد ۱و۱۱ که گره ۱ به عنوان تقاطع شروع حرکت وسائل نقلیه و گره۱۱ به عنوان تقاطع خاتمه سفر درنظر گرفته شده است. نکته دیگر آنکه موفقیت و رسیدن به عملکرد بهینه در الگوریتم ژنتیک به تنظیم دقیق پارامترهای این روش بستگی دارد. در بسیاری از کاربردها، پارامترهای مذکور از طریق تحلیل حساسیت تنظیم می‌شوند.

بدین طریق که ضمن اجراهای متعدد الگوریتم، مقادیر مختلفی برای پارامترها تا رسیدن به مقدار بهینه تابع برازش تست می شود. لیکن در بسیاری از مطالعات پارامتریک پیشنهاد گردیده که از نرخ ترکیب بالا و نرخ جهش خیلی پایین استفاده شود[۲۴].

بنابراین در ادامه با تنظیم پارامترهای اندازه جمعیت $(pop_size = 4)$، دمای اولیه $(T_0 = 5)$ ،حداکثر تعداد نسل‌ها $(G = 20)$، نرخ ترکیب $(p_c = 0.5)$و نرخ جهش $(p_m = 0.05)$ الگوریتم ژنتیک طراحی شده با کد نویسی به زبان C++ اجرا گردید.

کروموزومها و مقادیر برازش آنها برای وزنهای $w_2 = 0.5, w_1 = 0.5$ در جدول۲ نشان داده شده است.

[1] *Test Bed*

[2] *Evaluation*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

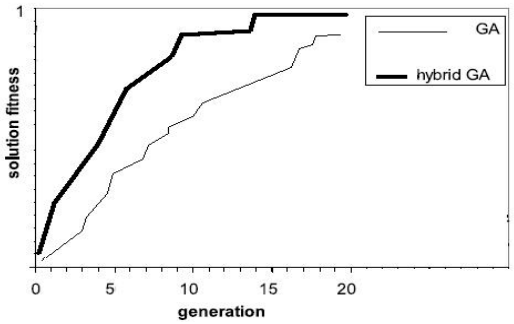
جدول۱. متوسط فاکتور مصرف سوخت(کیلومتر / لیتر) و طول کمانها(کیلومتر) برای مثال مورد بررسی

متوسط فاکتور مصرف سوخت در امتداد کمان جهت دارp-q	طول کمان جهت دارp-q	گره خاتمهq	گره شروعp	متوسط فاکتور مصرف سوخت در امتداد کمان جهت دارq-p	طول کمان جهت دارq-p	گره خاتمهq	گره شروعp
۰.۱۴	۳.۲	۸	۵	۰.۱	۳.۲	۲	**۱**
۰.۱۲	۵.۲	۱۱	۶	۰.۱۴	۵	۴	**۱**
۰.۱	۳.۲	۸	۷	۰.۱۲	۲.۸	۳	**۲**
۰.۱۲	۳.۴	۹	۷	۰.۱۴	۴.۹	۵	**۲**
۰.۱	۵.۳	۱۰	۸	۰.۱۲	۲.۵	۶	**۳**
۰.۱	۴	۱۰	۹	۰.۱	۲.۷	۵	**۴**
۰.۱۲	۲.۹	۱۱	۱۰	۰.۱	۳.۹	۷	**۴**
				۰.۱۲	**۳.۸**	۶	**۵**

جدول۲. کروموزومها و مقادیر برازش آنها (پس از توقف الگوریتم)

شماره مسیر	کروموزوم	مقدار برازش
۱	۱-۴-۷-۹-۱۰-۱۱	**۰.۰۵۷**
۲	۱-۲-۳-۶-۱۱	**۱**
۳	۱-۲-۵-۸-۱۰-۱۱	**۰.۰۱۴**
۴	**۱-۴-۷-۸-۱۰-۱۱**	**۰.۰۸۴**

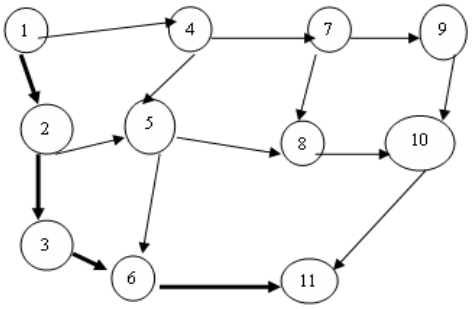
با استفاده از جدول ۲ مشاهده می گردد که مسیر شماره ۲ دارای بیشترین مقدار برازش بوده و از اینرو مسیر ۱۱-۶-۳-۲-۱ دارای کمترین هزینه سفر می باشد. در شکل۵ نیز کارایی الگوریتم ترکیبی پیشنهادی(hybrid GA) که در فرآیند انتخاب آن؛ روش بالتزمن بکارگرفته شده در مقابل الگوریتم استاندارد GA نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می شود، همگرایی الگوریتم ترکیبی نسبت به الگوریتم استاندارد خیلی سریعتر اتفاق می افتد.



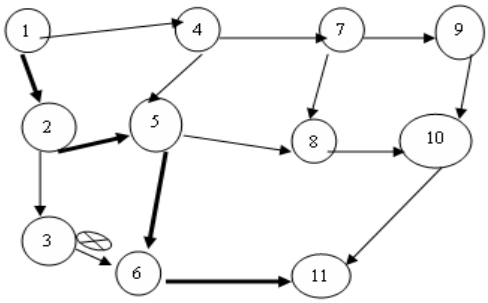
شکل۵. همگرایی نسبی الگوریتم ترکیبی پیشنهادی و الگوریتم استانداردGA

سپس فرض کنید وسیله نقلیه ای با شروع حرکت از گره مبدا، در امتداد مسیر مذکور (بهترین جواب) در حال جابجایی می‌باشد. در شکل۶ بهترین جواب یا مسیر عبور برای شبکه مثال مورد بررسی با خطوط ضخیم تر متمایز گردیده است.

اکنون درنظر بگیرید وسیله نقلیه مورد بررسی در لحظه زمانی t_1 در تقاطع یا گره ۲ باشد. با توجه به اطلاعات ترافیکی فراهم شده در مورد آخرین وضعیت شبکه حمل ونقل مبنی بر انسداد کمان ۶-۳، راننده وسیله نقلیه می بایست مسیر خود را برای ادامه حرکت با شرایط جدید تطبیق نماید. از اینرو الگوریتم ژنتیک پیشنهادی می‌بایست با راه اندازی دوباره فرآیند تکاملی، مسیری با کمترین هزینه را از گره ۲ تا گره مقصد بیابد. بهترین جواب جدید (مسیر ۱۱-۶-۵-۲) در شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل۶. نمایش بهترین جواب برای شبکه مثال مورد بررسی (در زمان t_0)



شکل۷. نمایش بهترین جواب جدید برای شبکه مثال مورد بررسی (در زمان t_1)

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

در جدول ۳ زمان سفر، متوسط مصرف سوخت و زمان محاسبات مسیرهای بدست آمده از اجرای الگوریتم طراحی شده را در زمانهای عزیمت t_1, t_0 نشان می دهد. همچنین در این جدول، مقادیر زمان سفر برای الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم دیکسترا ارائه شده است. همانطوریکه مشاهده می شود در پاسخ به تغییرات شبکه، الگوریتم طراحی شده به دلیل جستجو در میان جمعیتی از جوابها یا مسیرها؛ بهتر از الگوریتم دیکسترا می باشد.

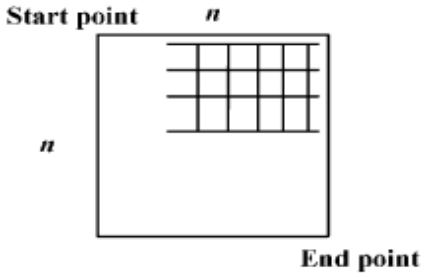
جدول۳. خلاصه نتایج آزمایشات برروی شبکه مثال مورد بررسی

زمان عزیمت	t_0	t_1
زمان سفر(دقیقه)- الگوریتم پیشنهادی	۱۸.۱	**۲۰.۳**
زمان سفر(دقیقه)-الگوریتم دیکسترا	۱۹	**۲۰.۴**
متوسط مصرف سوخت(لیتر)- الگوریتم پیشنهادی	۱.۵۸	**۲.۰۸۶**
زمان محاسبات(ثانیه) - الگوریتم پیشنهادی	**۱.۷**	**۱.۱**

نهایتا با تکرار الگوریتم ارائه شده از طریق شبیه سازی؛ برروی مثال مورد بررسی، می توان تغییرات مسیرهای حرکت وسائل نقلیه را تحت پویایی های محیطی در برشهای مختلف زمانی در جهت تحول و تکامل مشاهده نمود.

در ادامه، الگوریتم پیشنهادی را در یک محیط شبیه سازی مشتمل بر یک نقشه مجازی که به شکل ماتریس مربعی است مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. در این نقشه، جفت مبدا-مقصد را می‌توان با توجه به شکل ۸ بصورت زیر درنظر گرفت. گره مبدا، در گوشه بالایی سمت چپ نقشه و گره مقصد، در گوشه پائینی سمت راست نقشه انتخاب می شود.

ابعاد ماتریس مربعی عبارتند از: ۵×۵، ۱۰×۱۰ و ۲۰×۲۰ . زمان سفر بین هر دو گره مجاور نیز عددی تصادفی از دامنه $(0,6)$ می باشد. جدول ۴ نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی را به ازای تعداد مختلف گره ها و کمانها نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود احتمال رسیدن به بهترین جواب که کیفیت الگوریتم را نشان می دهد از اعداد نسبتا بزرگی برخوردار است.



شکل۸. ساختار ماتریس مربعی شبکه

جدول۴. خلاصه نتایج آزمایشات برروی نقشه مجازی

تعداد گره ها	۲۵	۱۰۰	۴۰۰
زمان محاسبات(ثانیه)	۲.۷	۹.۵	۱۳.۷
احتمال رسیدن به بهترین جواب(درصد)	۹۴	۸۹	۸۴

۶. امکان توسعه الگوریتم ارائه شده در شبکه های دارای چراغ راهنمایی[1]

تا بحال بررسی مساله مسیریابی تطبیقی در مورد شبکه هایی که فاقد چراغ راهنمایی در محل تقاطع ها(یا گرهها) می باشند انجام شد. به عبارتی دیگر جابجائی وسائل نقلیه به دلیل عدم اعمال پنجره های زمانی در تقاطع ها با هیچگونه محدودیتی روبرو نبود. اما در سیستم ترافیکی تجهیز شده به چراغهای راهنمایی؛ می بایست تاخیر به سبب کنترل چراغهای راهنمایی را نیز در محاسبات زمانهای سفر وارد نمود. بنابراین نمی توان از اینگونه تاخیرها یا انتظارها در تصمیمات مسیریابی چشم پوشی شود. تاخیر به سبب کنترل چراغ راهنمایی را می توان بشکل جریمه[2] زمانی مرتبط با تقاطع هایی که جابجائی در آنها انجام می شود، مدل نمود.

در ادامه به منظور پیاده سازی الگوریتم پیشنهاد شده در شبکه های دارای چراغ راهنمایی می توان از کدگذاری زیر استفاده نمود. هر ژن را به عنوان زوج (v_i, w_i) درنظر گرفته که v_i معرف گره i ام شبکه و w_i نیز عددی مثبت معرف زمان انتظار در گره مذکور می باشد. از اینرو هر کروموزوم یا مسیر شبکه دارای چراغهای راهنمایی را که شامل توالی گرهها از یک گره جاری تا گره نهایی (یا مقصد) می‌باشد به فرم $(v_1, w_1, v_2, w_2, ..., v_{n-1}, w_{n-1}, v_n)$ نمایش داده می شود.

۷. جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله؛ فرموله نمودن مساله هدایت پویای وسائل نقلیه مبتنی بر ویژگیهای سیستمهای هوشمند حمل و نقل و استفاده از معیار کلی سطح سرویس مشتمل بر متغیرهایی نظیر زمان سفر و مصرف سوخت به منظور لحاظ نمودن واقعیتهای اقتصادی اجتماعی و توصیف کاملتر از شرایط ترافیکی انجام شد. همچنین با توجه به زمان متغیر بودن شبکه های ترافیکی و اینکه به دلیل تغییر در شرایط ترافیکی شبکه، مسیر وسائل نقلیه تا رسیدن به مقصد می بایست مرتبا به روز شود، الگوریتم های مسیریابی بر مبنای تکنیکهای هوش مصنوعی با تاکید بر یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی مورد مطالعه و توسعه قرار گرفت. در الگوریتم پیشنهاد شده از ترکیب الگوریتم ژنتیک با دیگر تکنیکها یعنی روشهای

[1] *Signalized Networks*
[2] *Penalty*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

ابتکاری در تولید جمعیت اولیه و روش انتخاب بالتزمن، به منظور افزایش قدرت الگوریتم ژنتیک طراحی شده استفاده می شود. بدین منظور شناسایی و کد نمودن اجزای مختلف الگوریتم ژنتیکی در ارتباط با مساله مورد مطالعه، محاسبات هدایت مسیر ترافیکی و یافتن مسیرهایی با کمترین هزینه مبتنی بر عملگرهای ژنتیکی در وضعیت پویای محیط (وقتی که زمانهای سفر برروی سویه ها وابسته به متغیر زمان است) انجام شده است.

از نتایج مهم تحقیق ارائه شده می توان به توانایی الگوریتم ارائه شده در برنامه ریزی بهتر سفرها، تصمیم گیریهای مسیریابی در شبکه حمل ونقل شهری شامل بدست آوردن استراتژیهای موثر انتخاب مسیر؛ در تطبیق با شرایط پویای ترافیکی و کاندیداهای مختلف طی مسیر برای رانندگان وسائل نقلیه با هدف کاهش هزینه های سفر آنان اشاره نمود. امکان توسعه الگوریتم ارائه شده در شبکه های دارای چراغ راهنمایی نیز در قسمت انتهایی مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

حل مساله تحقیق در این مقاله از طریق شبیه سازی برای یک مثال عددی و یک نقشه مجازی ارائه شده است که در ادامه با فراهم نمودن زیرساختهای لازم به منظور جمع آوری اطلاعات زمان واقعی از شبکه ترافیکی به عنوان یکی از شروط امکانپذیری اجرای سیستمهای راهنمایی مسیر، می توان مساله تحقیق را برای شبکه ها با مقیاس واقعی تحلیل نمود. از دیگر محدودیتهای تحقیق نیز اینکه تحول و تکامل کروموزومها با استفاده از مدلهای شبیه سازی می تواند تا حدودی شرایط ترافیکی واقعی را فراهم نماید لیکن کاربردی نمودن مدلهای مذکور در یک سیستم واقعی نیازمند طراحی و تعریف پروتکل ها، تجهیز شدن وسائل نقلیه به برخی از تکنولوژیها می باشد.

سایر تحقیقات آتی می تواند بر روی موضوعاتی نظیر: طراحی الگوریتم حل مساله با لحاظ نمودن زمانهای انتظار در گره ها یا تقاطع های شبکه ترافیکی، در نظر گرفتن مدلهای رفتاری رانندگان در الگوریتم، بررسی مساله تحقیق در تعامل با سیستم اتوبوسهای شهری در مسیرهای مشترک با وسائل نقلیه شخصی و بررسی مکانیزم پرداخت هزینه خدمات هدایت مسیر ارائه شده انجام شود.

مراجع

[1] Sadek, A., Chowdhury, M.A., *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems planning*, Boston, Artech House, 2003.

[2] Levinson, D., *"The Value of Advanced Traveler Information Sstems for Route Choice"*, Transportation Research Part C, Vol.11, No.1, 2003, pp.75-87.

[3] Adler, J.L., Blue, V.J., "*Toward the Design of Intelligent Traveler Information Systems"*, Transportation Research Part C, Vol.6, No.3, 1998, pp.157-172.

[4] Deflorio, F.P., "*Evaluation of a Reactive Dynamic Route Guidance Strategy"*, Transportation Research Part C, Vol.11, No.5, 2003, pp.375-388.

[5] Vandebon, U., Upadhyay, P.K., "*Simulation Modeling of Route Guidance Concept"*, Transportation Research Record 1573, 1997, pp.44-51.

[6] Taniguchi, E., Shimamoto, H., "*Intelligent Transportation System Based Dynamic Vehicle Routing and Scheduling with Variable Travel Times"*, Transportation Research part C, Vol.12, No.3-4, 2004, pp.235-250.

[7] Chabini, I., "*Discrete Dynamic Shortest Path Problems in Transportation Applications: Complexity and Algorithm with Optimal Run Time"*, Transportation Research Record 1645, No.1150, 1998, pp.170-175.

[8] Kim, S., *Optimal Vehicle Routing and Scheduling with Real-Time Traffic Information*, Ph.D. thesis submitted to Michigan university, USA, 2003.

[9] Vanajakshi, L.D., *Estimation and Prediction of Travel Time From Loop Detector Data for ITS Applications*, Ph.D. Thesis submitted to Texas A&M university, USA, 2004.

[10] Kahraman, C., *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making,* New York, Springer, 2008.

[11] Ahuja, R.K., Orlin, J.B., Pallottino, S., Scutella, M.G., "*Dynamic Shortest Paths Minimizing Travel Times and Costs"*, Networks, vol.41, no.4, 2003, pp.197-205.

[12] Dean, B.C., "*Shortest Paths in FIFO Time-Dependent Networks: Theory and Algorithms"*, Technical Report, MIT, Cambridge, 2004.

[13] Kotnyek, B., "*An Annotated Overview of Dynamic Network Flows"*, Technical Report, INRIA, <URL: http://www.inria.fr/rrt>, 2003.

[14] Dijkstra, E.W., "*A Note on Two Problems in Connexion with Graph"*, Numerische Mathematik, vol.1, 1959, pp.269-271.

[15] Fu, L., "*An Adaptive Routing Algorithm for in-Vehicle Route Guidance Systems with Real-TimeI"*, Transportation Research Part B, vol.35, no.8, 2001, pp.749-765.

[16] Berube, J.F., Potvin, J.Y., Vaucher, J., "*Time-Dependent Shortest Paths Through a Fxed Sequence of Nodes: Application to a Travel Planning Problem"*, Computers&Operations Research, Vol.33, No.6, 2006, pp.1838-1856.

[17] Miller-Hooks, E., Stock Patterson, S., "*On Solving Quickest Time Problems in Time-Dependent, Dynamic Networks"*, Journal of Mathematical Modeling and Algorithms, Vol.3, 2004, pp.39-71.

[18] Ahn, C.W., Ramakrishna, R.S., "*A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations"*, IEEE Transaction on evolutionary computation, Vol.6, No.6, 2002, pp.566-579.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]

[19] Davies, C., Lingras, P., "*Genetic Algorithms for Rerouting Shortest Paths in Dynamic and Stochastic Networks"*, European Journal of Operational Research, Vol.144, No.1, 2003, pp.27-38.

[20] Chakrabory, B., Maeda, T., Chakrabory, G., *"Multiobjective Route Selection for Car Navigation System Using Genetic Algorithm"*, IEEE Workshop on soft computing (SMCia/05), 2005, pp.190-195.

[21] Liang, Z., Jianmin, X., Lingxiang, Z., "*Application of Genetic Algorithm in Dynamic Route Guidance System"*, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, Vol.7, No.3, 2007, pp.45-48.

[22] Khanoh, H., *"Dynamic Route Planning for Car Navigation Systems using Virus Genetic Algorithm"*, International Journal of Knowledge Based & Intelligent Engineering Systems, Vol.11, No.1, 2007, pp.65-78.

[23] Lin, C.-H., Yu, J.-L., Liu, J.-C., Lee, C.-J., *"Genetic Algorithm for Shortest Driving Time in ITS"*, International Conference on multimedia and ubiquitous engineering, 2008, pp.402-406.

[24] Sivanandam, S.N., Deepa, S.N., *Introduction to Genetic Algorithms*, Berlin, Springer, 2008.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2025-07-19]