



یافتن بهینه‌ترین مسیر گردشگری با استفاده از الگوریتم دیکسترا

منوچهر جهانیان^۱، سید حامد رضوی^۲

چکیده

صنعت گردشگری، همانند هر صنعت دیگری، به‌منظور توسعه باید از آخرین و مدرن‌ترین فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی روز بهره‌مند باشد. رشد اقتصادی و زیرساختی جوامع در دنیای امروز موجب شده افراد زمان فراغت بیشتری برای مسافرت داشته باشند. اما، مسئله‌ای که در اینجا مطرح می‌شود هزینه‌های مسافرت است. به‌خصوص زمانی که متصدیان خدمات تور، در بسته‌های تور خود، قصد برنامه‌ریزی برای تعیین مسیر گردشگران دارند. اگر مکان‌های موردبازدید گردشگر را به‌صورت نقاطی در نقشه مشخص و مسیر ارتباطی بین این نقاط رسم شود، می‌توان مجموعه‌ی نقاط و مسیرها را در یک گراف ترسیم کرد. بر این اساس، هر نقطه یا رأس گراف نشان‌دهنده‌ی نقطه‌ی هدف یا موردبازدید و هر یال نشان‌دهنده‌ی مسیر ارتباطی میان نقاط است. هر یال گراف می‌تواند دارای وزنی باشد که این وزن نشان‌دهنده‌ی هزینه، مدت زمان موردنیاز یا سایر شاخص‌های سفر خواهد بود. در اینجا مسئله، پیدا کردن کوتاه‌ترین، کم‌هزینه‌ترین یا سریع‌ترین مسیر میان یک رأس تا سایر رئوس گراف است. بدین منظور، در این پژوهش استفاده از الگوریتم دیکسترا، به‌عنوان راه حلی برای یافتن این مسیر، پیشنهاد می‌شود. روش این پژوهش توصیفی - تحلیلی است. درنهایت، مسئله با استفاده از این الگوریتم حل و بهینه‌ترین مسیر، از یک رأس تا سایر رئوس گراف، مشخص می‌شود. از این الگوریتم می‌توان در برنامه‌های نرم‌افزاری خدمات‌رسان در حوزه گردشگری برای مسیریابی و برنامه‌ریزی تورها استفاده کرد.

واژگان کلیدی: مسیریابی، گردشگری، الگوریتم دیکسترا

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

^۱ عضو هیات علمی دانشکده علوم گردشگری، دانشگاه علم و فرهنگ، jahanian@usc.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مطالعات و برنامه‌ریزی اوقات فراغت - مدیریت دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران، hamed.razavi1102@yahoo.com

مقدمه

امروزه به واسطه رشد اقتصادی و توسعهٔ زیرساخت‌ها، گردشگری تبدیل به یکی از مهم‌ترین انتخاب‌های افراد برای گذران اوقات فراغت شده است. آنچه در طول سفر برای گردشگر اهمیت بسیار زیادی دارد، این است که بتواند بهترین مسیر مسافرت را انتخاب کند تا علاوه بر به حداقل رساندن هزینه، بیشترین استفاده را از مسافرت خود ببرد. (یان هان و همکاران، ۱، ۲۰۱۴).

بنابر آنچه گفته شد، یکی از مسائل بسیار مهمی که در گردشگری مطرح است و همواره بر رضایت خاطر گردشگران تأثیر مستقیمی دارد، هزینه سفر است و یکی از مؤلفه‌های مؤثر در آن، هزینه جابه‌جایی است؛ هزینه‌ای که گردشگر باید، با استفاده از روش‌های گوناگون و در دسترس، برای رسیدن به مقصد یا مقاصد خود پرداخت کند. علاوه بر تلاش گردشگران به کاهش هزینه مسافرت، جلب رضایت گردشگر نیز تا حدود زیادی به مسیری بستگی دارد که طی می‌کند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین، طراحی مسیر گردشگری یا، به بیان دیگر، مسیریابی برای گردشگران اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند.

در حقیقت، مسئله مسیریابی تا حدی اهمیت دارد که برخی از پژوهشگران آن را یکی از امیدهای اصلی برای دستیابی به توسعه پایدار در گردشگری و سفر محسوب می‌کنند (لورنز، ۲، ۲۰۰۷). اما آنچه در فرایند مسیریابی اهمیت زیادی دارد، طراحی مسیر سفر بهینه برای گردشگران است (جنسن و گوتین، ۳، ۲۰۱۱؛ های و ولوسو، ۴، ۲۰۰۵). به عبارتی دیگر، مسئله فقط مسیریابی یا طراحی مسیر نیست بلکه، فراتر از آن، یافتن بهینه‌ترین و بهترین مسیر برای

گردشگران است. مسیری که گردشگر خود می‌تواند پیدا کند یا متولیان خدمات‌رسانی در حوزه گردشگری در بسته‌های تور خود طراحی می‌کنند.

مسئله‌ای که همواره برای برخی از گردشگران و نیز تورگردانان وجود دارد این است که انتخاب مناسب‌ترین مسیر از نظر هزینه، راحتی و مسافت، کمی زمان‌بر و دشوار است، به‌خصوص برای آن‌هایی که برای اولین بار به مسافرت می‌روند. (عباسپور، صمدزادگان، ۲۰۱۱). یکی از مهم‌ترین دلایل این دشواری این است که انتخاب مسیر، برای گردشگر، تحت تأثیر محدودکننده‌های زیادی مانند مسائل مالی و زمانی است (یان و همکاران، ۲۰۱۴).

بنابراین، استفاده از بهینه‌ترین روش‌هایی که گردشگران بتوانند به وسیله آن‌ها کمترین هزینه را صرف مسافرت خود کنند بسیار ضروری است، به‌خصوص در مواردی مانند جابه‌جایی که هزینه نسبتاً زیادی برای گردشگران خواهد داشت. در اینجا، هدف از طراحی و انتخاب بهینه‌ترین مسیرها این است که بتوان حداقل زمان و هزینه را برای گردشگرانی که قصد بازدید از اهداف گردشگری دارند تعیین کرد (ژان و نون^۵، ۱۹۹۸).

به‌کارگیری نظریهٔ گراف در ریاضیات، یکی از روش‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان مسئله طراحی بهینه‌ترین مسیر در گردشگری را حل کرد. بر این اساس، می‌توان از انواع الگوریتم‌های مسیریابی استفاده و پس از پیمایش گراف، بهترین مسیر را انتخاب کرد. در این مقاله به دنبال آنیم که، با به‌کارگیری الگوریتم دیکسترا، کوتاه‌ترین مسیر از یک رأس تا سایر رئوس گراف یا همان نقشهٔ مقاصد گردشگری را پیدا کنیم.

۵. Zhan & Noon

۱. Yan Han et al
۲. Lourens
۳. Jensen & Gutin
۴. Haigh & Veloso

مبانی نظری

مسیریابی در گردشگری

مسیریابی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های گردشگری است که به‌طور مستقیم بر هزینه‌های سفر تأثیرگذار است. انتخاب بهترین مسیر همواره یکی از مسائل تورگردانان و گردشگران است. به عبارتی دیگر، در بحث مدیریت گردشگری، مطالعه در خصوص طراحی مسیر برای گردشگران، باتوجه به مکان و مناطق موردبازدید، یکی از موضوعات مهم و شاخص به‌شمار می‌رود (لانگلین و همکاران^۱، ۲۰۰۹).

در این راستا، جغرافی دانان و پژوهشگران حوزه گردشگری، از میان مسیرهایی که افراد انتخاب می‌کنند، به دنبال یافتن بهترین مسیرها هستند و سعی دارند مدل و الگویی از مسیرهای انتخابی آن‌ها به‌دست آورند (ا کونر و همکاران^۲، ۲۰۰۵). استفاده از این مدل‌ها و الگوهای جابه‌جایی گردشگران از مبدأ تا مقاصد موردنظر را می‌توان به‌صورت گرافیکی نشان داد (موحد و احمدی، ۱۳۹۲).

به عبارتی دیگر، چگونگی ارتباط میان جاذبه‌های گردشگری از طریق شبکه‌های حمل‌ونقل و مسیرهایی که این جاذبه‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند، اطلاعاتی به‌دست می‌دهد که می‌توان با استفاده از آن مدل گرافیکی آن‌ها را تحلیل کرد و براساس آن، الگویی بهینه برای گردشگران ارائه داد (کارمونا^۳، ۲۰۰۳).

باتوجه به اینکه در مسیر گردشگری، شهر (یا هر مکان و مقصد گردشگری) به‌عنوان یک واحد جغرافیایی، نقش مهمی دارد (هیون و همکاران^۴، ۲۰۰۶)، می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین اطلاعات موردنیاز گردشگران، اطلاع‌یابی از نحوه دسترسی به مکان‌های توریستی در

شهر و خارج از نقاط شهری است؛ اطلاعاتی که می‌توان در نقشه آن‌ها را نشان داد (آتیسون^۵ و وال^۶، ۱۹۸۲).

بنابراین می‌توان در هر مقیاسی، نقشه‌ای از مسیر حرکت گردشگران از یک نقطه به مقصد بعدی گردشگری طراحی کرد. طرح استخراج‌شده، همانند یک گراف، اطلاعاتی از موقعیت و راه‌های ارتباطی میان نقاط را نشان خواهد داد. درواقع، نقشه‌ای که از مقاصد شهری یا غیرشهری گردشگری می‌توان به‌دست آورد، قابلیت آن را دارد که همانند یک گراف ترسیم شود. در فرایندهای برنامه‌ریزی تور، می‌توان از این‌گونه نقشه‌ها، که تداعی‌کننده گراف‌اند، برای مسیریابی استفاده کرد و بهینه‌ترین مسیر را با بررسی و مطالعه آن به‌دست آورد (یانگ و همکاران^۷، ۲۰۱۲).

نظریه گراف (Graph Theory)

نظریه گراف شاخه‌ای از ریاضیات است که درباره گراف‌ها بحث می‌کند. این میحث در واقع زیرمجموعه‌ای از توپولوژی است که با جبر و نظریه ماتریس‌ها پیوند مستحکم و تنگاتنگی دارد. پیشرفت‌های اخیر در ریاضیات، به‌ویژه در کاربردهای آن، موجب گسترش چشم‌گیر نظریه گراف شده است، به‌گونه‌ای که هم‌اکنون این نظریه ابزار بسیار مناسبی برای تحقیق در زمینه‌های گوناگون مانند نظریه کدگذاری، تحقیق در عملیات، آمار، شبکه‌های الکتریکی، علوم رایانه، شیمی، زیست‌شناسی، علوم اجتماعی و سایر زمینه‌ها شده است (وست^۸، ۲۰۰۵).

۵. Athieson
۶. Wall
۷. Yang et al
۸. West

۱. Lunglin et al
۲. O-Coner et al
۳. Carmona
۴. Hyeon et al

- گراف (Graph)

گراف (G) مجموعه‌ای از زوج‌های مرتب است $G = (V, E)$ که در آن رأس‌ها (V) به‌واسطه یال‌ها (E) به یکدیگر متصل شده‌اند (پراتیک و همکاران^۱، ۲۰۱۶). از گراف می‌توان برای مدل‌سازی در زمینه‌های گوناگونی مانند فیزیک، زیست‌شناسی، علوم اجتماعی و سیستم‌های اطلاعاتی استفاده کرد (مسحقی، ۲۰۰۴). از گراف‌ها در سامانه‌های موقعیت‌یابی جهانی^۲ (GPS) یا برنامه‌های طرح‌ریزی سفر نیز استفاده می‌شود که به‌وسیله آن می‌توان هزینه و مدت زمان بهینه را اندازه گرفت.

- یال‌ها (Edges)

یال در گراف خط یا مسیری است که دو نقطه از گراف را به یکدیگر متصل می‌کند (وحیدی، ۱۳۸۷). یال‌ها بر دو نوع ساده و جهت‌دارند که هر کدام در جای خود کاربردهای بسیاری دارد. برای مثال، اگر صرفاً اتصال دو نقطه مانند اتصال تهران و قم با کمک آزادراه مدنظر باشد، کافی است آن دو شهر را با دو نقطه و اتوبان مزبور را با یالی ساده نمایش داد. به‌منظور نمایش تصویری گراف‌ها، معمولاً از نقطه یا دایره برای کشیدن رأس‌ها و از کمان یا خط راست برای کشیدن یال بین رأس‌ها استفاده می‌شود.

- رأس (Vertex)

رأس‌ها در گراف، نقاط یا نقاط پایانی هر یال محسوب می‌شوند. ممکن است در گراف رأسی وجود داشته باشد که به هیچ یالی تعلق نداشته باشد (باندی و مورتی^۳، ۱۹۸۲). در یک گراف از نقشه شهرها، می‌توان هر شهر یا مقصد را یک نقطه یا رأس در نظر گرفت.

- وزن گراف

در یک گراف می‌توان به یال‌ها وزن اختصاص داد. این وزن با استفاده از مقادیر عددی برای هر یال تعریف می‌شود (تات^۴، ۲۰۰۱). برای مثال، در یک گراف نقشه، فاصله بین دو شهر، هزینه مسافرت یا مدت زمان سفر میان دو نقطه را (در مواقع لازم پس از به مقیاس بردن) می‌توان میزان کمی وزن آن یال در نظر گرفت. بر این اساس، می‌توان برای نشان دادن هزینه یا مسافت میان دو شهر از گراف وزن‌دار استفاده کرد و میزان عددی آن را بر روی هر یال تنظیم کرد.

- جهت در گراف

در گراف، هر یال که میان دو رأس وجود دارد می‌تواند دارای جهت باشد که در این صورت، پیمایش در گراف براساس جهت یال‌ها انجام‌پذیر خواهد بود (باندی و مورتی، ۱۹۸۲). مثلاً اگر بین دو شهر جاده‌ای یک‌طرفه وجود داشته باشد، آن‌گاه لازم است با قرار دادن یالی جهت‌دار مسیر حرکت را در آن جاده مشخص کرد.

الگوریتم دیکسترا^۵

در نظریه گراف، الگوریتم دیکسترا، همانند الگوریتم پریم^۶، یکی از الگوریتم‌های مورد استفاده برای محاسبه کوتاه‌ترین مسیر در گراف است. با استفاده از این الگوریتم، می‌توان در گراف پیمایش و کوتاه‌ترین مسیر میان یک رأس گراف تا سایر رأس‌ها را به‌دست آورد. این الگوریتم برای نخستین بار توسط دانشمند هلندی، ادسخر دیکسترا^۷، در سال ۱۹۵۹ ارائه شد (دیکسترا، ۱۹۵۹؛ فیل^۸، ۲۰۱۰).

درواقع، این الگوریتم مسئله یافتن کوتاه‌ترین مسیر از نقطه مبدأ تا سایر نقاط را برای گراف‌های وزن‌دار (که

۴. Tutte
۵. Dijkstra's algorithm
۶. Prime's algorithm
۷. Edsger W. Dijkstra
۸. Phil

۱. Prathik et al
۲. Global Positioning System
۳. Bondy & Murty

۵- در غیر این صورت، گره علامت‌دار شده به‌عنوان گره جدید انتخاب و مرحله ۲ تکرار می‌شود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر به‌شیوه توصیفی - تحلیلی است و در جمع‌آوری داده‌های موردنیاز از مطالعات اسنادی - کتابخانه‌ای استفاده شده است.

یافته‌ها

از جمله مهم‌ترین کاربردهای استفاده از الگوریتم دیکسترا، می‌توان به محاسبه کوتاه‌ترین فاصله یا کمترین هزینه جابه‌جایی میان نقاط یا مقاصد گردشگری موردبازدید اشاره کرد. بدین منظور، باید نقاط موردنظر در یک نقشه را علامت‌گذاری کرد و با استفاده از مشخصات نقاط (طول، عرض و ارتفاع)، فاصله دو نقطه را به‌دست آورد. سپس اطلاعات را بر روی یک گراف ترسیم کرد.

برای مثال، اگر نقاط گراف نشان‌دهنده شهرها باشد و یال‌ها هزینه یا زمان یا مسافت میان نقاط را نشان دهد، الگوریتم دیکسترا کمک می‌کند تا کمترین هزینه جابه‌جایی، کمترین زمان سفر یا کوتاه‌ترین مسیر میان مقاصد گردشگری را محاسبه کرد.

حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر در گراف مقاصد

گردشگری با الگوریتم دیکسترا

به‌منظور حل یک نمونه گراف، شهرهای تهران، مشهد، قم، رشت، اصفهان، شیراز و قزوین - که از جمله گردشگرپذیرترین شهرهای ایران نیز هستند - به‌عنوان رأس‌های گراف انتخاب شدند و فواصل میان آن‌ها در جدول زیر گردآوری شد (تمامی فواصل با استفاده از نقشه گوگل^۴ محاسبه شد).

بار وزن منفی ندارند) حل می‌کند و درنهایت، با ایجاد درخت کوتاه‌ترین مسیر، کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ به همه رأس‌های گراف را به‌دست می‌دهد (ملهورن و ساندرز^۱، ۲۰۰۸). همچنین می‌توان از این الگوریتم برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر، از مبدأ تا رأس دل‌خواه، به این ترتیب بهره برد که درحین اجرای الگوریتم، به‌محض پیداشدن کوتاه‌ترین مسیر، الگوریتم متوقف شود (کورمن و همکاران^۲، ۲۰۰۱).

نحوه کار الگوریتم دیکسترا:

در نقطه‌ای از گراف که منبع درنظر گرفته می‌شود، این الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر را از آن نقطه تا سایر نقاط گراف پیدا می‌کند. (ملهورن و ساندرز، ۲۰۰۸).

الگوریتم دیکسترا به شرح زیر عمل می‌کند:

۱- ابتدا نقطه شروع در گراف را نقطه ابتدایی^۳ می‌نامیم. نقطه ابتدایی علامت‌دار می‌شود و سایر نقاط بدون علامت مشخص می‌شود.

۲- تمام همسایگان نقطه فعلی درنظر گرفته و سپس فاصله نقطه تا هر کدام از آن‌ها محاسبه می‌شود. فاصله اولیه به‌دست‌آمده از نقطه موردنظر تا سایر نقاط مقایسه و کوتاه‌ترین مسیر انتخاب می‌شود.

۳- پس از انتخاب کوتاه‌ترین مسیر نقطه کنونی با تمامی همسایگان، نقطه‌ای که کمترین فاصله را داشته باشد علامت‌دار می‌شود و از مجموعه بازدیدنشده‌ها حذف می‌شود. گره‌های بازدیدشده هرگز دوباره بررسی نخواهد شد.

۴- اگر گره علامت‌دار شده مقصد موردنظر باشد، یا کوچک‌ترین فاصله اولیه بین نقاط، در مجموعه بازدیدنشده‌ها، بی‌نهایت باشد (زمانی که هیچ ارتباطی بین گره اولیه و گره‌های غیرقابل‌دسترس وجود ندارد) الگوریتم متوقف می‌شود.

۱. Mehlhorn & Sanders

۲. Cormen et al

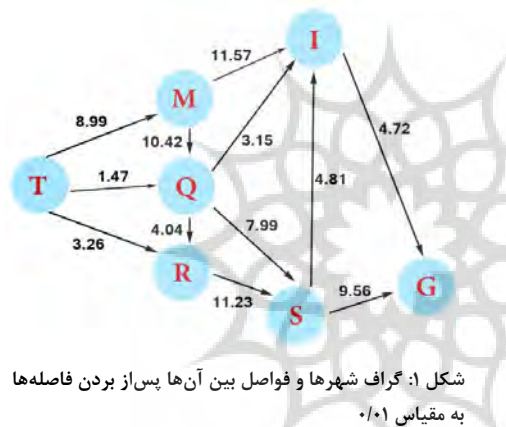
۳. Initial node

۴. Google Map

جدول ۱: فواصل میان شهرهای انتخاب شده برای حل مسئله کوتاه ترین مسیر گراف

تهران	مشهد	قم	رشت	اصفهان	شیراز	قزوین
تهران	۸۹۹	۱۴۷	۳۲۶	۷۲۶	۹۳۸	۱۵۰
مشهد	۸۹۹	۹۵۲	۱۲۱۹	۱۱۵۷	۱۳۴۴	۱۰۴۲
قم	۱۴۷	۹۵۲	۴۰۴	۳۱۵	۷۹۹	۲۷۳
رشت	۳۲۶	۱۲۱۹	۴۰۴	۶۳۹	۱۱۲۳	۱۷۲
اصفهان	۷۲۶	۱۱۵۷	۳۱۵	۶۳۹	۴۸۱	۴۷۲
شیراز	۱۳۴۴	۷۹۹	۱۱۲۳	۴۸۱	۹۵۶	۹۵۶
قزوین	۱۰۴۲	۲۷۳	۱۷۲	۴۷۲	۹۵۶	۹۵۶

میان شهرها را وزن گراف در نظر می گیریم. تمامی فواصل را به مقیاس ۰/۰۱ می بریم و به عنوان وزن یال در گراف، همانند شکل زیر، درج می کنیم. فرض بر آن است که مسیرهای زیر میان شهرها وجود دارد و مسئله ما یافتن کوتاه ترین مسیر از بین مسیرهای موجود در گراف از یک رأس (نقطه شروع گردشگر) تا تمامی رأس های دیگر است.



شکل ۱: گراف شهرها و فواصل بین آن ها پس از بردن فاصله ها به مقیاس ۰/۰۱

برای هر مقصد، به جهت سهولت در محاسبات ریاضی، یک علامت اختصاری تعیین شده است. علائم اختصاری هر شهر را در جدول زیر مشاهده می کنیم:

جدول ۲: علائم اختصاری هر شهر جهت استفاده در گراف

نام شهر	علامت اختصاری
تهران	T
مشهد	M
قم	Q
رشت	R
اصفهان	I
شیراز	S
قزوین	G

در مرحله نخست، رأس انتخاب شده T است که در مجموعه P قرار می گیرد و سایر نقاط در مجموعه بی علامت ها یا U قرار می گیرند.

$$P = \{T\}, U = \{M, Q, R, I, S, G\}$$

سپس فاصله نقطه T تا سایر نقاط سنجیده می شود. فاصله هر رأس تا خودش برابر صفر است و در صورتی که از رأسی به رأس دیگر مسیر مستقیمی وجود نداشته باشد، فاصله را بی نهایت در نظر می گیریم.

$$L(T) = 0$$

در این مثال، نقاط T تا G نشان دهنده یکی از شهرها یا نقاطی است که قرار است گردشگر از آن ها دیدن کند. مسئله ما در اینجا، یافتن کم هزینه ترین مسیر از نقطه شروع، یعنی T، تا سایر شهرها (نقاط) است. برای یافتن این مسیر از الگوریتم دیکسترا استفاده می کنیم.

برای مقداردهی (وزن دهی) به یال های گراف، می توان هزینه مسافت، مدت زمان یا فاصله میان نقاط را مورد استفاده قرار داد. (هر یک از این اندازه ها را می توان پس از بردن به مقیاسی واحد، به عنوان وزن به هر یال مربوط در گراف تخصیص داد). در این مثال، فواصل



$$L'(S) = \min \{9,46, L'(R) + d(R, S)\}$$

$$L'(G) = \min \{\infty, L'(R) + \infty\}$$

تکرار ۳- مرحله ۱

$$P = \{T, Q, R\}, U = \{M, I, S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26$$

$$L'(M) = 8,99, L'(I) = 4,62, L'(S) = 9,46, L'(G) = \infty$$

رأس I نشان دائمی می‌یابد.

تکرار ۳- مرحله ۲

$$P = \{T, Q, R, I\}, U = \{M, S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26,$$

$$L(I) = 4,62$$

$$L'(M) = \min \{8,99, L'(I) + \infty\}$$

$$L'(S) = \min \{9,46, L'(I) + \infty\}$$

$$L'(G) = \min \{\infty, L'(I) + d(I, G)\}$$

تکرار ۴- مرحله ۱

$$P = \{T, Q, R, I\}, U = \{M, S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26,$$

$$L(I) = 4,62$$

$$L'(M) = 8,99, L'(S) = 9,46, L'(G) = 9,34$$

رأس M نشان دائمی می‌یابد.

تکرار ۴- مرحله ۲

$$P = \{T, Q, R, I, M\}, U = \{S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26,$$

$$L(I) = 4,62, L(M) = 8,99$$

$$L'(S) = \min \{9,46, L'(M) + \infty\}$$

$$L'(G) = \min \{9,34, L'(M) + \infty\}$$

$$L'(M) = 8,99, L'(Q) = 1,47, L'(R) = 3,26,$$

$$L'(I) = \infty, L'(S) = \infty, L'(G) = \infty$$

باتوجه به اینکه $L'(Q)$ کمترین مقدار را در میان رئوس دارد، انتخاب و به‌عنوان رأسی دائمی وارد مجموعه P می‌شود. بنابراین داریم: (تکرار ۱- مرحله ۲)

$$P = \{T, Q\}, U = \{M, R, I, S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = L'(Q) = 1,47$$

در این مرحله، فاصله نقطه T تا سایر نقاط با عبور از نقطه Q، که در مرحله قبل به‌عنوان کوتاه‌ترین مسیر از T تا سایر نقاط انتخاب شده بود، بررسی می‌شود.

$$L'(M) = \min \{8,99, L'(Q) + \infty\}$$

$$L'(R) = \min \{3,26, L'(Q) + d(Q, R)\}$$

$$L'(I) = \min \{\infty, L'(Q) + d(Q, I)\}$$

$$L'(S) = \min \{\infty, L'(Q) + d(Q, S)\}$$

$$L'(G) = \min \{\infty, L'(Q) + \infty\}$$

تکرار ۲- مرحله ۱

$$P = \{T, Q\}, U = \{M, R, I, S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47$$

$$L'(M) = 8,99, L'(R) = 3,26, L'(I) = 4,62,$$

$$L'(S) = 9,46, L'(G) = \infty$$

باتوجه به اینکه در بین رئوس با نشان موقتی، رأس سوم کمترین نشان موقتی را دارد، این رأس نشان دائمی می‌یابد.

تکرار ۲- مرحله ۲

$$P = \{T, Q, R\}, U = \{M, I, S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26$$

$$L'(M) = \min \{8,99, L'(R) + \infty\}$$

$$L'(I) = \min \{4,62, L'(R) + \infty\}$$

تکرار ۵- مرحله ۱

$$P = \{T, Q, R, I, M\}, U = \{S, G\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26,$$

$$L(I) = 4,62, L(M) = 8,99$$

$$L'(S) = 9,46, L'(G) = 9,34$$

رأس G نشان دائمی می‌یابد.

$$P = \{T, Q, R, I, M, G\}, U = \{S\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26,$$

$$L(I) = 4,62, L(M) = 8,99, L(G) = 9,34$$

$$L'(S) = \min \{9,46, L'(G) + \infty\}$$

تکرار ۶- مرحله ۱

$$P = \{T, Q, R, I, M, G\}, U = \{S\}$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26,$$

$$L(I) = 4,62, L(M) = 8,99, L(G) = 9,34$$

$$L'(S) = 9,46$$

تکرار ۶- مرحله ۲

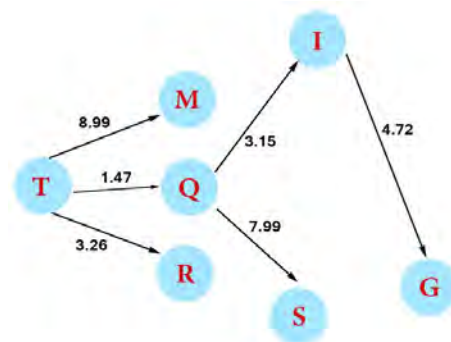
$$P = \{T, Q, R, I, M, G, S\}, U = \emptyset$$

$$L(T) = 0, L(Q) = 1,47, L(R) = 3,26,$$

$$L(I) = 4,62, L(M) = 8,99, L(G) = 9,34,$$

$$L(S) = 9,46$$

بنابراین می‌توان گراف نهایی را به شکل زیر ترسیم کرد:



شکل ۲: گراف به دست آمده پس از اعمال الگوریتم دیکسترا برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر

در نتیجه این الگوریتم، کوتاه‌ترین مسیر گردشگری از یک رأس (که می‌تواند شهر یا سایت بازدید باشد) تا هر رأس دیگر گراف محاسبه شده است. از این الگوریتم می‌توان در انواع سامانه‌های نرم‌افزاری خدمات‌رسان در حوزه گردشگری استفاده کرد و در مسیریابی به گردشگران کمک کرد. همچنین می‌توان در برنامه‌ریزی‌های تورگردان‌ها، با استفاده از این الگوریتم، کوتاه‌ترین مسیرها را از نقطه شروع تا سایر مقاصد مشخص کرد تا بهترین حالت هزینه‌ای به دست آید.

نتیجه‌گیری

به دست آوردن بهینه‌ترین مسیر گردشگری برای گردشگران، باتوجه به منابع مالی و زمان محدودی که دارند، اهمیت بسیار زیادی دارد. مسئله بهینه‌ترین مسیر گردشگری را می‌توان در یک گراف وزن‌دار بدون جهت مدل‌سازی کرد. در این گراف، هر رأس نشان‌دهنده یک منطقه یا سایت موردبازدید است و یال‌های گراف نیز نشانگر مسیرهای بین رأس‌هاست. همچنین فاصله هر رأس تا رأس دیگر را بدین صورتی که بین آن‌ها یالی وجود داشته باشد می‌توان با استفاده از وزن هر یال نشان داد. تمرکز مقاله حاضر بر این بوده که، با استفاده از الگوریتم دیکسترا، بهینه‌ترین مسیر پیمایش گردشگران میان مقاصد موردبازدید مشخص شود. الگوریتم دیکسترا یکی از الگوریتم‌هایی است که برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر پیمایش در گراف به کار می‌رود. در این مقاله، هفت شهر مقصد گردشگری در نظر گرفته شد و فاصله واقعی آن‌ها محاسبه شد و در نهایت گرافی وزن‌دار و بدون

می‌تواند در ارتقای این صنعت و به‌دنبال آن توسعه جوامع میزبان نقش بسیار مهمی در آینده ایفا کند.

منابع

مرادویسی، هوشمند، مسگری، محمد سعدی، (۱۳۹۴)، «مسیریابی مکان‌های توریستی شهر، با استفاده از الگوریتم زنبور»، *نشریه علمی - ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی*، دوره ششم، شماره ۳، وحیدی، جواد (۱۳۸۷)، *ساختمان‌های گسسته*، انتشارات علوم رایانه.

موحد، علی و احمدی، عاطفه (۱۳۹۲)، «مسیریابی گردشگران در بافت‌های تاریخی با رویکرد حفاظت و احیای این بافت‌ها با استفاده از GIS (نمونه موردی: سنندج)»، *محیط شناسی*، سال سی‌ونهم، شماره ۱، صص ۹۳-۱۰۰.

Ahmadi, A., Shojaeean, A., Salari, T. and Izadi, P., (۲۰۱۱). *Tourists Optimal Path-finding by GIS (Case Study: Historical Texture of Sanandaj)*. 4th *Symposium on Advances in Science & Technology*. Mashhad.

Han, Y., Guan, H., and Duan, J., (۲۰۱۴). *Tour Route Multiobjective Optimization Design Based on the Tourist Satisfaction*. *Key laboratory of Traffic Engineering*, Article ID ۶۰۳۴۹۴, ۸ Pages. Beijing University of Technology, China.

Yang, Y., Dim, J., Wang, J and Li, F., (۲۰۱۲). *Optimized Traveling Route Scheme based on Improved Prim Algorithm*. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications (JDCTA)*. Volume ۶, Number ۱۶.

Lourens, M. (۲۰۰۷). *The Underpinnings for Successful Route Tourism Development in South Africa*.

جهت براساس شهرها و فواصل میان آن‌ها مدل‌سازی شد.

درنهایت، با استفاده از الگوریتم دیکسترا، کوتاه‌ترین مسیر از یک رأس تا سایر رأس‌ها محاسبه و نتایج در شکل ۲ ارائه شد. این الگوریتم را می‌توان برای هر یک از رأس‌های گراف به‌کار برد و الگوریتم را تا جایی ادامه داد که به رأس موردنظر رسید و سپس آن را متوقف کرد. استفاده از این الگوریتم، در عین سادگی، سرعت اجرای قابل‌قبولی نیز دارد و می‌توان این الگوریتم را پس‌از پیاده‌سازی، با استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی مانند C، C++، یا سایر زبان‌های کاربردی و شیء‌گرا^۱، در سامانه‌های نرم‌افزاری خدمات‌رسان در حوزه گردشگری بهره‌برداری کرد.

پیشنهاد می‌شود از این الگوریتم یا الگوریتم‌های مسیریابی مشابه، مانند پریم، در سامانه‌های نرم‌افزاری خدمات‌رسان در حوزه گردشگری استفاده شود. همچنین از این الگوریتم می‌توان در سامانه‌های برنامه‌ریزی تورگردانان استفاده کرد تا در بسته‌بندی تورهای خود بتوانند بهینه‌ترین مسیر گردشگری را از لحاظ هزینه و زمان تعیین کنند. علاوه‌برآن، در جهت توسعه دانش این حوزه از پژوهش، پیشنهاد می‌شود در ادامهٔ محبت مسیریابی در گردشگری، که محبت بسیار مهمی نیز هست، به سمت استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی هوشمند حرکت شود و پژوهش‌های آتی در این حوزه متمرکز شوند. همچنین حل مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد^۲ با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۳ نیز، می‌تواند راهکاری بهینه برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر ارائه دهد. استفاده از الگوریتم‌های هوشمند می‌تواند نتایج بسیار بهینه‌تری را در اجرا و پیاده‌سازی، به‌خصوص از نظر پیچیدگی زمانی محاسباتی، به‌دست دهد. در پایان لازم است تأکید شود که هم‌گامی صنعت گردشگری با حوزهٔ هوش مصنوعی

۱. Object Oriented

۲. TSP

۳. Genetic Algorithm

Prathik, A., Uma, k. and Anuradha, J. (۲۰۱۶). An Overview of application of Graph theory. *International Journal of ChemTech Research*. ISSN: ۰۹۷۴-۴۲۹۰. Vol.۹, No.۰۲ pp ۲۴۲-۲۴۸.

Mashaghi, A. et al. (۲۰۰۴). Investigation of a Protein Complex Network. *European Physical Journal B*. ۴۱ (۱): ۱۱۳-۱۲۱.

Dijkstra, E. W. (۱۹۵۹). A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik*.

Phil, F. (۲۰۱۰). An Interview with Edsger W. Dijkstra. *Communications of the ACM*. ۵۳ (۸): ۴۱-۴۷. doi:۱۰.۱۱۴۵/۱۱۷۸۷۲۳۴.۱۱۷۸۷۲۳۴۹.

Kurt, M. and Sanders, P. (۲۰۰۸). Chapter ۱۰. Shortest Paths. Algorithms and Data Structures: The Basic Toolbox. *Springer*. ISBN ۹۷۸-۳-۵۴۰-۷۷۹۷۷-۳. doi:۱۰.۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۵۴۰-۷۷۹۷۸-۰۰.

Carmon, M., Heath, T., Oc, T. and Tiesdell, S. (۲۰۰۳). Public Places Urban Spaces: The Dimensions of Urban Design. Architectural Press. Boston. MA.

O-conor, A., Zeger, A. and Itami, B. (۲۰۰۵). Geo-temporal Tracking and Analysis of Tourist Movement, Mathematics and Computer in Simulation.

Tutte, W.T. (۲۰۰۱), Graph Theory, Cambridge University Press, p. ۳۰, ISBN ۹۷۸-۰-۵۲۱-۷۹۴۸۹-۳, retrieved ۲۰۱۶-۰۳-۱۴.

Bondy, J. A. and Murty, U. S. R. (۱۹۸۲). *Graph Theory with Applications*. Department of Combination and Optimization. University of Waterloo. Ontario. Canada.

University of the Witwatersrand, *School of Geography, Archaeology and Environmental Studies in fulfilment of the requirements for the degree of Masters of Tourism*. Johannesburg.

Zaheer, K. (۲۰۰۱). Artificial Intelligence Search Algorithms in Travel Planning. *Department of Computer sciences and Electronics*. Mälardalen University Västerås. Sweden.

Bang-Jensen, J. and Gutin, G. (۲۰۱۱). Digraphs: Theory Algorithms and Applications. Springer.

Haigh K. Z. and Veloso, M. (۲۰۰۵). Route Planning by Analogy. In Case-Based Reasoning Research and Development. Proceedings of ICCBR-۲۰۰۵, pp. ۱۶۹-۱۸۰.

Abbaspour, R. A. and Samadzadegan, F. (۲۰۱۱). Time-dependent Personal Tour Planning and Scheduling in Metropolises. *Expert Systems with Applications*. vol. ۳۸, no. ۱۰, pp. ۱۲۴۳۹-۱۲۴۵۲.

Yan, H. and Hongzhi, G. (۲۰۱۰). Study on Models of Commuter Mode Choice Beyond Fuel Prices Based on Rrdered Logit Models. *Journal of American Science*, vol. ۶, no. ۸, pp. ۲۳۰-۲۳۵.

Zhan, F. B. and Noon, C. E. (۱۹۹۸). Shortest Path Algorithms: An Evaluation Using Real Road Networks. *Transportation Science*, ۳۲ (۱): ۶۵-۷۳.

Athieson, A. and Wall, G. (۱۹۸۲). Tourism, Economic, Physical and Social Impacts. Longman.

West, D. B. (۲۰۰۵). Introduction to Graph Theory (Second Edition). Mathematical Department. University of Illinois.