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 فنّاوری‌های 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 مجموعهٔ نقاط و مسیرها را در یک گراف ترسیم کرد. بر این اساس، هر نقطه یا رأس گراف نشان‌دهندهٔ نقطهٔ هدف یا موردبازدید و هر یال نشان‌دهندهٔ مسیر ارتباطی میان نقاط است. هر یال گراف می‌تواند دارای وزنی باشد که این وزن نشان‌دهندهٔ 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 ـ 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 حوزهٔ گردشگری برای مسیریابی و برنامه‌ریزی تورها استفاده کرد.

واژگان کلیدی: مسیریابی، گردشگری، الگوریتم دیکسترا

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

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مطالعات و برنامه-ریزی اوقات فراغت–مدیریت دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران، hamed.razavi۱۱۰۲@yahoo.com

مقدمه

امروزه به‌واسطهٔ 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 علاوه‌بر 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، هزینهٔ سفر است و یکی از مؤلفه‌های مؤثر در آن، هزینهٔ جابه‌جایی است؛ هزینه‌ای که گردشگر باید، با استفاده از روش‌های گوناگون و در دسترس، برای رسیدن به مقصد یا مقاصد خود پرداخت کند. علاوه‌بر تلاش گردشگران به کاهش هزینهٔ 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، مسئلهٔ مسیریابی تا حدی اهمیت دارد که برخی از پژوهشگران آن را یکی از امیدهای اصلی برای دست‌یابی به توسعهٔ 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 حوزهٔ 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 ـازنظر هزینه، راحتی و مسافتـ 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 به‌وسیلهٔ آن‌ها کمترین هزینه را صرف مسافرت خود کنند بسیار ضروری است، به‌خصوص در مواردی مانند جابه‌جایی که هزینهٔ 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 مسئلهٔ 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 به‌دنبال آنیم که، با به‌کارگیری الگوریتم دیکسترا، کوتاه‌ترین مسیر از یک رأس تا سایر رئوس گراف یا همان نقشهٔ مقاصد گردشگری را پیدا کنیم.

---

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

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 درخصوص طراحی مسیر برای گردشگران، باتوجه‌به مکان و مناطق موردبازدید، یکی از موضوعات مهم و شاخص به‌شمار می‌رود (لانگلین و همکاران[۱]، ۲۰۰۹).

در این راستا، جغرافی‌دانان و پژوهشگران حوزهٔ گردشگری، از میان مسیرهایی که افراد انتخاب می‌کنند، به‌دنبال یافتن بهترین مسیرها هستند و سعی دارند مدل و الگویی از مسیرهای انتخابی آن‌ها به‌دست آورند (اُ 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 ازطریق شبکه‌های حمل‌ونقل و مسیرهایی که این جاذبه‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند، 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).

باتوجه‌به 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 نحوهٔ 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 تداعی‌کنندهٔ گراف‌اند، برای مسیریابی استفاده کرد و بهینه‌ترین مسیر را با بررسی و مطالعهٔ آن به‌دست آورد (یانگ و همکاران[۷]، ۲۰۱۲).

نظریهٔ گراف (Graph Theory)

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

۱. Lunglin et al
۲. O-Coner et al
۳. Carmona
۴. Hyeon et al
۵. Athieson
۶. Wall
۷. Yang et al
۸. West

ـ گراف (Graph)

گراف (G) مجموعه‌ای از زوج‌های مرتب است G = (V, E) که در آن رأس‌ها (V) به‌واسطهٔ یال‌ها (E) به یکدیگر متصل شده‌اند (پراتیک و همکاران[1]، 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[2] (GPS) یا برنامه‌های طرح‌ریزی سفر نیز استفاده می‌شود که به‌وسیلهٔ آن می‌توان هزینه و مدت زمان بهینه را اندازه گرفت.

ـ 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 هرکدام در جای خود کاربردهای بسیاری دارد. برای مثال، اگر صرفاً اتصال دو نقطه مانند اتصال تهران و قم با کمک آزادراه مدّنظر 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.

ـ 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[3]، ۱۹۸۲). در یک گراف از نقشهٔ شهرها، می‌توان هر شهر یا مقصد را یک نقطه یا رأس درنظر گرفت.

[1]. Prathik et al
[2]. Global Positioning System
[3]. Bondy & Murty

ـ وزن گراف

در یک گراف می‌توان به یال‌ها وزن اختصاص داد. این وزن با استفاده از مقادیر عددی برای هر یال تعریف می‌شود (تات[4]، ۲۰۰۱). برای مثال، در یک گراف نقشه، فاصلهٔ بین دو شهر، هزینهٔ مسافرت یا مدت زمان سفر میان دو نقطه را (در مواقع لازم پس‌از به مقیاس بردن) می‌توان میزان کمّی وزن آن یال درنظر 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.

ـ 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[5]

در نظریهٔ گراف، الگوریتم دیکسترا، همانند الگوریتم پریم[6]، یکی از الگوریتم‌های مورداستفاده برای محاسبهٔ 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[7]، در سال ۱۹۵۹ ارائه شد (دیکسترا، ۱۹۵۹؛ فیل[8]، ۲۰۱۰).

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

[4]. Tutte
[5]. Dijkstra's algorithm
[6]. Prime’s algotithm
[7]. Edsger W. Dijkstra
[8]. Phil

بار وزن منفی ندارند) حل می‌کند و درنهایـت، بـا ایجـاد درخت کوتاه‌ترین مسیر، کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ به همهٔ رأس‌های گراف را به‌دست می‌دهد (ملهـورن و سـاندرز [۱]، ۲۰۰۸). همچنین می‌تـوان از ایـن الگـوریتم بـرای پیـدا کردن کوتاه‌ترین مسیر، از مبدأ تا رأس دل‌خواه، بـه ایـن ترتیب بهره برد که درحین اجـرای الگـوریتم، بـه‌محـض پیداشدن کوتاه‌ترین مسیر، الگوریتم متوقف شود (کورمن و همکاران [۲]، ۲۰۰۱).

نحوهٔ کار الگوریتم دیکسترا:

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

الگوریتم دیکسترا به شرح زیر عمل می‌کند:

۱- ابتـدا نقطـهٔ شـروع در گـراف را نقطـهٔ ابتـدایی [۳] می‌نامیم. نقطهٔ ابتدایی علامت‌دار می‌شـود و سـایر نقـاط بدون علامت مشخص می‌شود.

۲- تمـام همسـایگان نقطـهٔ فعلـی درنظـر گرفتـه و سپس فاصلهٔ نقطه تا هرکدام از آن‌ها محاسبه مـی‌شـود. فاصلهٔ اولیهٔ به‌دست‌آمده از نقطهٔ موردنظر تا سـایر نقـاط مقایسه و کوتاه‌ترین مسیر انتخاب می‌شود.

۳- پس‌از انتخاب کوتاه‌ترین مسیر نقطـهٔ کنـونی بـا تمامی همسایگان، نقطه‌ای که کمترین فاصـله را داشـته باشد علامت‌دار مـی‌شـود و از مجموعـهٔ بازدیـدنشـده‌هـا حذف می‌شود. گره‌های بازدیدشده هرگز دوبـاره بررسـی نخواهد شد.

۴- اگر گرهٔ علامت‌دارشده مقصد موردنظر باشـد، یـا کوچـک‌تـرین فاصـلهٔ اولیــه بــین نقـاط، در مجموعـهٔ بازدیدنشده‌ها، بی‌نهایت باشد (زمـانی‌کـه هـیچ ارتبـاطی بین گرهٔ اولیه و گره‌های غیرقابل‌دسـترس وجـود نـدارد) الگوریتم متوقف می‌شود.

۵- در غیر این صورت، گرهٔ علامت‌دارشده بـه‌عنـوان گرهٔ جدید انتخاب و مرحلهٔ ۲ تکرار می‌شود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر به‌شیوهٔ توصیفی ـ تحلیلی است و در جمـع‌آوری داده‌هـای موردنیـاز از مطالعـات اسـنادی ـ کتابخانه‌ای استفاده شده است.

یافته‌ها

ازجمله مهم‌ترین کاربردهـای اسـتفاده از الگـوریتم دیکسترا، مـی‌تـوان بـه محاسـبهٔ کوتـاه‌تـرین فاصـله یـا کمتـرین هزینـهٔ جـابـه‌جـایی میـان نقـاط یـا مقاصـد گردشگری موردبازدید اشاره کرد. بدین منظور، باید نقاط موردنظر در یک نقشه را علامت‌گذاری کرد و با اسـتفاده از مشخصات نقاط (طول، عرض و ارتفاع)، فاصلهٔ دو نقطه را به‌دست آورد. سـپس اطلاعـات را بـر روی یـک گـراف ترسیم کرد.

برای مثال، اگر نقاط گراف نشان‌دهندهٔ شهرها باشـد و یال‌ها هزینه یا زمان یـا مسـافت میـان نقـاط را نشـان دهد، الگوریتم دیکسترا کمک می‌کند تا کمتـرین هزینـهٔ جابه‌جایی، کمترین زمان سفر یا کوتاه‌ترین مسـیر میـان مقاصد گردشگری را محاسبه کرد.

حل مسئلهٔ کوتاه‌ترین مسیر در گراف مقاصـد گردشگری با الگوریتم دیکسترا

به‌منظور حل یـک نمونـه گـراف، شـهرهای تهـران، مشهد، قم، رشت، اصفهان، شیراز و قـزوین ـکـه ازجملـه گردشگرپذیرترین شهرهای ایران نیز هسـتند‌ـ بـه‌عنـوان رأس‌های گراف انتخاب شـدند و فواصـل میـان آن‌هـا در جدول زیر گردآوری شد (تمـامی فواصـل بـا اسـتفاده از نقشهٔ گوگل [۴] محاسبه شد).

---

۱. Mehlhorn & Sanders
۲. Cormen et al
۳. Initial node
٤. Goole Map

جدول ۱: فواصل میان شهرهای انتخاب‌شده برای حل مسئلهٔ کوتاه‌ترین 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	۹۳۸	۱۳۴۴	۷۹۹	۱۱۲۳	۴۸۱		۹۵۶
قزوین	۱۵۰	۱۰۴۲	۲۷۳	۱۷۲	۴۷۲	۹۵۶	

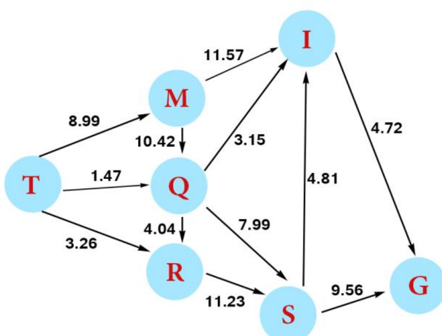
برای هر مقصد، به‌جهت سهولت در محاسبات ریاضی، یک علامت اختصاری تعیین شده است. علائم اختصاری هر شهر را در جدول زیر مشاهده می‌کنیم:

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 این مثال، نقاط T تا G نشان‌دهندهٔ یکی از شهرها یا نقاطی است که قرار است گردشگر از آن‌ها دیدن کند. مسئلهٔ ما در اینجا، یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر از نقطهٔ شروع، یعنی T، تا سایر شهرها (نقاط) است. برای یافتن این مسیر از الگوریتم دیکسترا استفاده می‌کنیم.

برای مقداردهی (وزن‌دهی) به یال‌های گراف، می‌توان هزینهٔ مسافرت، مدت‌زمان یا فاصلهٔ میان نقاط را مورداستفاده قرار داد. (هریک از این اندازه‌ها را می‌توان پس‌از بردن به مقیاسی واحد، به‌عنوان وزن به هر یال مربوط در گراف تخصیص داد). در این مثال، فواصل میان شهرها را وزن گراف درنظر می‌گیریم. تمامی فواصل را به مقیاس ۰/۰۱ می‌بریم و به‌عنوان وزن یال در گراف، همانند شکل زیر، درج می‌کنیم. فرض بر آن است که مسیرهای زیر میان شهرها وجود دارد و مسئلهٔ ما یافتن کوتاه‌ترین مسیر از بین مسیرهای موجود در گراف از یک رأس (نقطهٔ شروع گردشگر) تا تمامی رأس‌های دیگر است.



شکل ۱: گراف شهرها و فواصل بین آن‌ها پس‌از بردن فاصله‌ها به مقیاس ۰/۰۱

در مرحلهٔ نخست، رأس انتخاب شده T است که در مجموعهٔ P قرار می‌گیرد و سایر نقاط در مجموعهٔ بی‌علامت‌ها یا U قرار می‌گیرند.

بر این اساس داریم: (تکرار ۱- مرحله ۱)

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

سپس فاصلهٔ نقطهٔ T تا سایر نقاط سنجیده می‌شود. فاصلهٔ هر رأس تا خودش برابر صفر است و درصورتی‌که از رأسی به رأس دیگر مسیر مستقیمی وجود نداشته باشد، فاصله را بی‌نهایت درنظر می‌گیریم.

$$L(T) = ۰$$

$L'(M) = ۸{,}۹۹,\ L'(Q) = ۱{,}۴۷,\ L'(R) = ۳{,}۲۶,\ L'(I) = \infty,\ L'(S) = \infty,\ L'(G) = \infty$

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

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

$L(T) = ۰,\ L(Q) = L'(Q) = ۱{,}۴۷$

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

$L'(M) = \min\ \{۸{,}۹۹,\ L'(Q) + \infty\}$

$L'(R) = \min\ \{۳{,}۲۶,\ L'(Q) + d\ (Q, R)\}$

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

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

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

تکرار ۲- مرحلهٔ ۱

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

$L(T) = ۰,\ L(Q) = ۱{,}۴۷$

$L'(M) = ۸{,}۹۹,\ L'(R) = ۳{,}۲۶,\ L'(I) = ۴{,}۶۲,\ L'(S) = ۹{,}۴۶,\ L'(G) = \infty$

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

تکرار ۲- مرحلهٔ ۲

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

$L(T) = ۰,\ L(Q) = ۱{,}۴۷,\ L(R) = ۳{,}۲۶$

$L'(M) = \min\ \{۸{,}۹۹,\ L'(R) + \infty\}$

$L'(I) = \min\ \{۴{,}۶۲,\ L'(R) + \infty\}$

$L'(S) = \min\ \{۹{,}۴۶,\ L'(R) + d\ (R, S)\}$

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

تکرار ۳- مرحلهٔ ۱

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

$L(T) = ۰,\ L(Q) = ۱{,}۴۷,\ L(R) = ۳{,}۲۶$

$L'(M) = ۸{,}۹۹,\ L'(I) = ۴{,}۶۲,\ L'(S) = ۹{,}۴۶,\ L'(G) = \infty$

رأس I نشان دائمی می‌یابد.

تکرار ۳- مرحلهٔ ۲

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

$L(T) = ۰,\ L(Q) = ۱{,}۴۷,\ L(R) = ۳{,}۲۶,\ L(I) = ۴{,}۶۲$

$L'(M) = \min\ \{۸{,}۹۹,\ L'(I) + \infty\}$

$L'(S) = \min\ \{۹{,}۴۶,\ L'(I) + \infty\}$

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

تکرار ۴- مرحلهٔ ۱

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

$L(T) = ۰,\ L(Q) = ۱{,}۴۷,\ L(R) = ۳{,}۲۶,\ L(I) = ۴{,}۶۲$

$L'(M) = ۸{,}۹۹,\ L'(S) = ۹{,}۴۶,\ L'(G) = ۹{,}۳۴$

رأس M نشان دائمی می‌یابد.

تکرار ۴- مرحلهٔ ۲

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

$L(T) = ۰,\ L(Q) = ۱{,}۴۷,\ L(R) = ۳{,}۲۶,\ L(I) = ۴{,}۶۲,\ L(M) = ۸{,}۹۹$

$L'(S) = \min\ \{۹{,}۴۶,\ L'(M) + \infty\}$

$L'(G) = \min\ \{۹{,}۳۴,\ L'(M) + \infty\}$

تکرار ۵- مرحلهٔ ۱

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

$L(T) = ۰, L(Q) = ۱٫۴۷, L(R) = ۳٫۲۶, L(I) = ۴٫۶۲, L(M) = ۸٫۹۹$

$L'(S) = ۹٫۴۶, L'(G) = ۹٫۳۴$

رأس G نشان دائمی می‌یابد.

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

$L(T) = ۰, L(Q) = ۱٫۴۷, L(R) = ۳٫۲۶, L(I) = ۴٫۶۲, L(M) = ۸٫۹۹, L(G) = ۹٫۳۴$

$L'(S) = \min\ \{۹٫۴۶, L'(G) + \infty\}$

تکرار ۶- مرحلهٔ ۱

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

$L(T) = ۰, L(Q) = ۱٫۴۷, L(R) = ۳٫۲۶, L(I) = ۴٫۶۲, L(M) = ۸٫۹۹, L(G) = ۹٫۳۴$

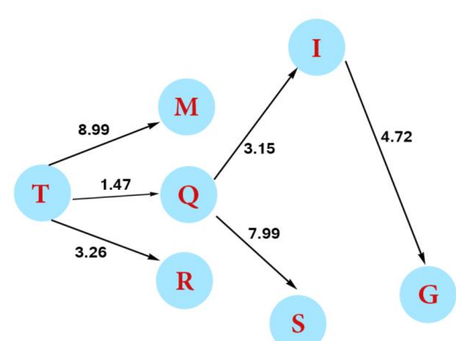
$L'(S) = ۹٫۴۶$

تکرار ۶- مرحلهٔ ۲

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

$L(T) = ۰, L(Q) = ۱٫۴۷, L(R) = ۳٫۲۶, L(I) = ۴٫۶۲, L(M) = ۸٫۹۹, L(G) = ۹٫۳۴, L(S) = ۹٫۴۶$

بنابراین می‌توان گراف نهایی را به شکل زیر ترسیم کرد:



شکل ۲: گراف به‌دست‌آمده پس‌از اعمال الگوریتم دیکسترا برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر

درنتیجه 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 حوزهٔ گردشگری استفاده کرد و در مسیریابی به گردشگران کمک کرد. همچنین می‌توان در برنامه‌ریزی‌های تورگردان‌ها، با استفاده از این الگوریتم، کوتاه‌ترین مسیرها را از نقطهٔ شروع تا سایر مقاصد مشخص کرد تا بهترین حالت هزینه‌ای به‌دست آید.

نتیجه‌گیری

به‌دست‌آوردن بهینه‌ترین مسیر گردشگری برای گردشگران، باتوجه‌به منابع مالی و زمان محدودی که دارند، اهمیت بسیار زیادی دارد. مسئلهٔ بهینه‌ترین مسیر گردشگری را می‌توان در یک گراف وزن‌دار بدون جهت مدل‌سازی کرد. در این گراف، هر رأس نشان‌دهندهٔ یک منطقه یا سایت موردبازدید است و یال‌های گراف نیز نشانگر مسیرهای بین رأس‌هاست. همچنین فاصلهٔ هر رأس تا رأس دیگر را ـدرصورتی‌که بین آن‌ها یالی وجود داشته باشدـ می‌توان با استفاده از وزن هر یال نشان داد.

تمرکز مقالهٔ 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 به‌کار می‌رود. در این مقاله، هفت شهر مقصد گردشگری درنظر گرفته شد و فاصلهٔ واقعی آن‌ها محاسبه شد و درنهایت گرافی وزن‌دار و بدون

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 هریک 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، #C یا سایر زبان‌های کاربردی و شیءگرا[۱]، در سامانه‌های نرم‌افزاری خدمات‌رسان در حوزهٔ گردشگری بهره‌برداری کرد.

پیشنهاد می‌شود از این الگوریتم یا الگوریتم‌های مسیریابی مشابه، مانند پریم، در سامانه‌های نرم‌افزاری خدمات‌رسان در حوزهٔ گردشگری استفاده شود. همچنین از این الگوریتم می‌توان در سامانه‌های برنامه‌ریزی تورگردانان استفاده کرد تا در بسته‌بندی تورهای خود بتوانند بهینه‌ترین مسیر گردشگری را ازلحاظ هزینه و زمان تعیین کنند. علاوه‌برآن، در جهت توسعهٔ دانش این حوزه از پژوهش، پیشنهاد می‌شود در ادامهٔ مبحث مسیریابی در گردشگری، که مبحث 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 ازنظر پیچیدگی زمانی محاسباتی، به‌دست دهد. در پایان لازم است تأکید شود که هم‌گامی صنعت گردشگری با حوزهٔ هوش مصنوعی می‌تواند در ارتقای این صنعت و به‌دنبال آن توسعهٔ جوامع میزبان نقش بسیار مهمی در آینده ایفا کند.

۱. Object Oriented
۲. TSP
۳. Genetic Algorithm

منابع

مرادویسی، هوشمند، مسگری، محمد سعدی، (۱۳۹۴)، «مسیریابی مکان‌های توریستی شهر، با استفاده از الگوریتم زنبور»، نشریهٔ علمی ـ ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دورهٔ ششم، شمارهٔ 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 (نمونهٔ موردی: سنندج)»، محیط شناسی. سال سی‌ونهم، شمارهٔ ۱. صص ۱۰۰-۹۳.

Ahmadi, A., Shojaeean, A., Salari, T. and Izadi, P., (۲۰۱۱). Tourists Optimal Path-finding by GIS (Case Study: Historical Texture of Sanandaj). ۵th *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).* Volume۶, Number ۱۶.

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

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:۱۰,۱۱۴۵/۱۷۸۷۲۳۴,۱۷۸۷۲۴۹.

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:۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۵۴۰-۷۷۹۷۸-۰.

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 ۹۷۸-۰۰-۵۲۱-۷۹۴۸۹-۳, 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.