مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۴۰۱)
دوره‌ی ۱-۳۸، شماره‌ی ۲، ص. ۹۹-۱۰۸، (یادداشت فنی)

Research Note

مسئله‌ی مسیریابی سفر چندهدفه با در نظر گرفتن پنجره زمانی و مطلوبیت گردشگران

محمد شهبازی (دانشجوی دکتری)
دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران
رضا توکلی‌مقدم* (استاد)
بهدین واحدی نوری (دکتری)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران

در این نوشتار، مسئله‌ی طراحی سفر گروهی گردشگران با توجه به اماکن خوشه‌بندی شده و خستگی گردشگران مورد مطالعه قرار می‌گیرد. برای جابه‌جایی بین اماکن، وسایل نقلیه‌ی متفاوتی وجود دارد. هر مکان گردشگری در پنجره‌ی زمانی مشخصی بازدید می‌شود. نوآوری این پژوهش عبارت است از تقسیم فعالیت گردشگران به سه خوشه‌ی: جاذبه‌های گردشگری، فروشگاه‌ها و رستوران‌ها با هدف کاهش خستگی آنان. گردشگران باید دست‌کم یک مکان از هر خوشه را ملاقات کنند. ضرورت پژوهش، ارائه‌ی مدلی ریاضی برای اعمال عنصر خستگی به برنامه‌ی سفر گردشگران است. یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه برای طراحی سفر بهینه‌ی گردشگران ارائه شده که ترکیبی از سلیقه و وضعیت مالی گردشگران را بر اساس اولویتشان، در برنامه‌ی سفر اعمال می‌کند. همچنین برای بررسی تأثیر برخی پارامترها ازجمله هزینه‌ی بازدید از اماکن و پنجره‌ی زمانی، روی هریک از توابع هدف تحلیل حساسیت انجام گرفته است.

واژگان کلیدی: مسئله‌ی مسیریابی گردشگر، خوشه‌های اماکن گردشگری، پنجره‌ی زمانی، خستگی گردشگر، برنامه‌ریزی آرمانی وزنی.

m.shahbazi77@ut.ac.ir
tavakoli@ut.ac.ir
b.vahedi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

در چند دهه‌ی گذشته، گردشگری به یکی از مسائل جذاب و با اهمیت برای پژوهش‌گران بدل شده است؛ چرا که درآمد اصلی برخی از کشورها، از صنعت گردشگری تأمین می‌شود. طبق آمار سازمان گردشگری جهانی، حدود یک و نیم میلیارد گردشگر در سال ۲۰۱۹ در جهان ثبت شده است. هر چند که طبق آمار این سازمان، شیوع ویروس کرونا باعث افت قابل توجه تعداد گردشگران و درآمد حاصل از آن در سال ۲۰۲۰ شد. با توجه به اهمیت گردشگری و تأثیر آن بر مشاغل و درآمد ملی کشورها، بررسی هرچه دقیق‌تر این صنعت مورد توجه قرارگرفته است.

مسئله‌ی طراحی سفرگردشگر نوعی از مسائل مسیریابی است که برای برنامه‌ریزی سفر گردشگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه شرکت‌های گردشگری و حتی نرم‌افزارهای مربوط به اماکن گردشگری، می‌توانند به کمک این مسئله، مسیری پیشنهادی برای گردشگر در یک منطقه ارائه دهند. هدف اصلی مسئله‌ی مسیریابی گردشگر این است که وی بتواند در مسیری که طی می‌کند، اماکنی را بازدید کند تا بیشترین مطلوبیت ممکن از آن مسیر به دست آید. برای اعمال این هدف به مسئله، به هر کدام از جاذبه‌ها که در منطقه‌ی گردشگری وجود دارد، بر اساس شاخص‌های گوناگون ـ نظیر سلایق گردشگر، زمان و هزینه‌ی بازدید از آن مکان ـ امتیازاتی به اماکن تخصیص داده می‌شود. هدف مسئله چنین اجرا می‌شود که در مسیر، بیشترین امتیازات مربوط به اماکن جمع‌آوری شده و در نتیجه، مطلوبیت سفر گردشگر بیشینه شود. محدودیت‌هایی نیز در مسیر ممکن است برای گردشگر وجود داشته باشد که از میان آن‌ها می‌توان به محدودیت‌های مخارج گردشگر، زمان در دسترس برای بازدید از اماکن و بیشترین مسافت قابل طی کردن اشاره کرد.

یکی از عوامل اصلی مطلوبیت سفرگردشگر، عدم احساس خستگی بیش از حد است. گردشگر ممکن است تعداد زیادی از اماکن را بدون هیچ تنوع و استراحتی بازدید کند؛ در این صورت گردشگر خسته شده و مطلوبیت آن کاهش می‌یابد. برای رفع این مشکل می‌توان فعالیت‌های گردشگر را در دسته‌هایی تقسیم‌بندی کرد و برنامه‌ریزی سفرش را بر اساس آن انجام داد. یک گردشگر در طول سفرش می‌تواند به طور کلی سه فعالیت اصلی «بازدید از اماکن دیدنی»، «خرید از فروشگاه‌ها» و «استراحت و صرف وعده‌های غذایی در رستوران‌ها» را داشته باشد. با انجام این تقسیم‌بندی می‌توان به گونه‌یی مسیر گردشگر را طراحی کرد که با توجه به خستگی وی، مطلوبیت سفرگردشگر بیشینه شود. در بازدید از یک منطقه‌ی گردشگری، این

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۱۲/۱۸، اصلاحیه ۱۴۰۰/۹/۲۲، پذیرش ۱۴۰۰/۱۲/۲۳.
DOI:10.24200/J65.2022.57006.2179

نکته را باید مورد توجه قرار داد که ممکن است در سفر، گردشگران زیادی حضور داشته باشند که علایق و ترجیحات مشترکی با یکدیگر ندارند. در این صورت مسئله‌ی مسیریابی گروهی گردشگر مطرح می‌شود به گونه‌یی که لازم است برای هر کدام از این گردشگران، بر اساس ترجیحاتشان، مسیرهای جداگانه‌یی ارائه شود.

هدف از تحقیق پیش‌رو، ارائه‌ی مدلی ریاضی است که سفری برای گردشگران طراحی کند تا مطلوبیت آنان در سفر پیشنهادی افزایش یابد. همچنین کمینه‌سازی هزینه‌ها تا حد امکان مد نظر قرار گیرد؛ به طوری که رفع خستگی و امکان گردشگری گروهی در سفر وجود داشته و محدودیت‌هایی نظیر مخارج، زمان و مسافت در مدل برقرار باشد.

۲. پژوهش‌های پیشین

مسئله‌ی مسیریابی سفر،[۱] یکی از شاخه‌های مسئله‌ی مسیریابی است. تابع هدف اصلی این نوع از مسائل، بیشینه‌سازی امتیاز جمع‌آوری شده از اماکن دیدنی و در نتیجه، بیشینه‌سازی مطلوبیت است. سوفرا و ونستینگون[۱] برای حل مدل، در اختصاص امتیاز به اماکن،[۲] این امکان را برای گردشگران فراهم آوردند که برنامه‌ی سفر متناسب با ترجیحاتشان ارائه شود. برای اعمال ترجیحات گردشگران در مدل، پرشیا و همکاران،[۲] بیان کردند که این ترجیحات را می‌توان از طریق فعالیت‌ها و علایق افراد در اجتماع و حتی فضای مجازی پیدا کرد. اما جنگ و فسنمایر[۳] تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی را درباره‌ی مسائل مختلفی از سفر در نظرگرفته که از میان آن‌ها می‌توان به ترجیحات گردشگر، شرایط، درآمد و خانواده و تعداد نفرات اشاره کرد.

با گذشت زمان، اختصاص امتیازات به اماکن، جنبه‌ی جدید و واقعی‌تری به خود گرفت. گاوالاس و همکاران[۴] معتقد بودند که خستگی گردشگر در طی مسیر نیز بر امتیازات اماکن تأثیر دارد. اما تیوان و همکاران،[۵] عنصر خستگی را به کمک پارامترها و متغیرهایی تعریف کرده و در کنار امتیازات اماکن به تابع هدف مسئله اضافه کردند. رودریگز و همکاران[۶] نیز در پژوهش خود، به طور غیرمستقیم به خستگی گردشگر اشاره و فعالیت‌های او را تقسیم‌بندی کرده‌اند که هر مسیر برخی از فعالیت‌ها را شامل شده است.

یکی از مواردی که رفته رفته نظر پژوهش‌گران را به خود جلب کرد، شخصی یا گروهی بودن سفر است. سوفیا و همکاران[۷] مدلی را برای استفاده در نرم‌افزارهای موبایل طراحی کردند که برای سفر شخصی استفاده می‌شد. اما ژنگ و لیاو[۸] بیان کردند که ممکن است حتی سلیقه‌ی همه‌ی اعضای یک سفر در یک منطقه، کاملاً متفاوت از هم باشد در نتیجه برای هرکدام از سلایق، مسیری جداگانه در همان منطقه‌ی مشترک وجود دارد. سیلیجمانی و همکاران[۹] ضمن تأیید بحث گردشگری گروهی و اختصاص مسیرهای جدا برای گردشگران با سلایق مختلف، تلاش کردند تا به کمک روابط اجتماعی متقابل بین دو فرد در دو مسیر متفاوت، بین آن‌ها ارتباطی را ایجاد کنند.

مسئله‌ی مسیریابی سفر یا مسئله‌ی طراحی سفر گردشگر، مانند دیگر مسائل مشابه در حوزه‌ی تحقیق در عملیات، شاخه‌های متفاوتی دارد که در پژوهش‌های مختلف، هرکدام از این شاخه‌ها یا ترکیبی از چند شاخه مورد بررسی قرار می‌گیرد. پژوهش‌گران بر اساس نیاز یا شکافی که در این دسته‌بندی‌های وجود دارد، به دنبال ارائه‌ی راه حل می‌پردازند. به طور مثال، برخی پژوهش‌گران برای واقعی‌تر کردن نتایج، به بررسی عدم قطعیت موجود در مسئله پرداختند. برخی پژوهش‌گران بر اساس زمان ملاقات اماکن و برخی دیگر نیز بر اساس نزدیک بودن اماکن به گردشگران، به ارائه‌ی راه حل‌هایی برای بهبود سفر گردشگر پرداختند. در ادامه، به بررسی اجمالی این شاخه‌ها می‌پردازیم.

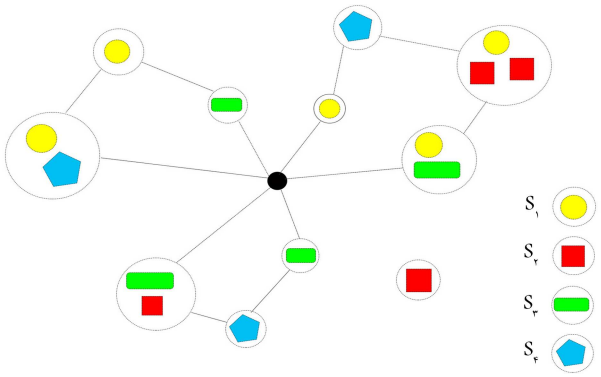
مسیریابی سفر وابسته به زمان:[۳] در مدل‌سازی ریاضی مسیریابی سفر گردشگر، همواره مسئله‌ی زمان انتقال گردشگر بین اماکن و قطعی یا غیرقطعی در نظر گرفتن آن مطرح است. وینسنت و همکاران[۱۰] علاوه بر در نظر گرفتن گروهی مسئله‌ی مسیریابی سفر گردشگران، زمان‌های موجود در مسئله را به‌صورت قطعی در نظر گرفته‌اند. اما جوناوان و همکاران[۱۱] معتقدند که این زمان در واقعیت ثابت نیست و به دلایل مختلفی از جمله ترافیک، می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین در پژوهش خود، امتیازات هر مکان را به‌صورت تابع توزیع احتمال وابسته به زمان در نظر گرفتند و بیان کردند که میانگین زمان‌ها نباید از حد معینی فراتر رود. یو و همکاران[۱۲] نیز اذعان داشتند که امتیاز هر مکان، به‌صورت تابعی غیر خطی از زمان در تابع هدف قرار گیرد.

مسیریابی عمومی سفر:[۴] هر کدام از اماکن گردشگری چندین شاخص دارند و به‌ازای هرکدام از شاخص‌ها، امتیازی به آن‌ها اختصاص داده می‌شود. به طور مثال، یک مکان تاریخی را می‌توان از منظر جذابیت، ساعات کاری، خدمات‌رسانی و دیگر شاخص‌ها بررسی کرد. بنابراین می‌توان به هرکدام از شاخص‌های یک مکان، امتیازی اختصاص داد و در نهایت مجموع امتیازات آن مکان، تابعی غیرخطی از امتیازات مربوط به شاخص‌ها خواهد بود. جوناوان و همکاران[۱۱] در پژوهش خود به امکان در نظرگرفتن چندین شاخص برای تعیین امتیاز اماکن پرداخته‌اند. زامبرانا و همکاران[۱۳] معتقدند که حل مسئله‌یی با ترکیب غیرخطی امتیازات هر شاخص می‌تواند بسیار زمان‌بر باشد، بنابراین تلاش کردند تا با ارائه‌ی راه حلی به کمک الگوریتم‌ابتکاری، پاسخ‌های مطلوب و بهینه محلی را بیابند.

مسیریابی سفر با پنجره‌ی زمانی:[۵] وانستینوگن و همکاران[۱۴] در پژوهش خود بیان داشتند که برنامه‌ی سفر گردشگر باید به‌گونه‌یی باشد که هر جاذبه‌ی گردشگری را در محدوده‌ی زمانی مشخص شده بازدید کند. این فرض می‌تواند مدل ریاضی را به واقعیت نزدیک‌تر کند. ونگ و همکاران[۱۵] تلاش کردند، علاوه بر ساعت بازدید در یک روز، تعداد روزهای بازدید را نیز به عنوان پارامتر به مسئله اضافه کنند. به طور مثال، گردشگر فقط می‌تواند در روزهای یکشنبه و سه‌شنبه از مکانی مشخص بازدید کند. در این صورت سفر را می‌تواند بیش از یک روز نیز باشد.

مسیریابی سفر به‌کمک اماکن خوشه‌بندی شده:[۶] یکی از مفروضات پرطرفداری که پژوهش‌گران در مطالعات خود در نظر می‌گیرند، خوشه‌هایی از اماکن گردشگری بر اساس فاصله از یکدیگر است. انجلِلی و همکاران[۱۶] جاذبه‌های گردشگری یک منطقه را بر اساس فاصله‌ی اماکن، به خوشه‌هایی تقسیم کردند به‌گونه‌یی که گردشگر نیاز دارد تا این خوشه‌ها را بازدید کند و شرط بازدید هر خوشه، بازدید حداقل یک جاذبه‌ی گردشگری از آن خوشه است. در واقع با وجود خوشه‌ها، امتیازات در تابع هدف توسط بازدید از خوشه‌ها جمع‌آوری می‌شوند و دیگر امتیازی به اماکن اختصاص داده نخواهد شد. در شکل ۱ شاهد مثالی هستیم که یاهیاوی و همکاران[۱۷] در پژوهش خود از آن استفاده کرده‌اند. چهار خوشه‌ی S_1, S_2, S_3, S_4 در منطقه و اعضای هرکدام که توسط اشکال هندسی نشان داده شده‌اند، موجود است و به این دلیل که‌خوشه‌ی S^2، همه‌ی اعضایش بازدید نشده‌اند، پس امتیاز آن خوشه جمع‌آوری نمی‌شود.

برای خوشه‌بندی اماکن گردشگری، دو رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا وجود دارد. در رویکرد بالا به پایین، ابتدا تمامی اماکن در یک خوشه فرض شده و سپس تلاش می‌شود تا بر اساس یک یا چند شاخص، اماکن را حتی‌الامکان به خوشه‌های مجزا تقسیم کنند. لئو و همکاران[۱۸] در تعریف شبکه‌ی ترافیک در پژوهش خود، از این مدل خوشه‌بندی استفاده کرده‌اند. اما رویکردی که بیشتر مورد توجه پژوهش‌گران



شکل ۱. نمونه‌یی از اماکن خوشه‌بندی شده در یک منطقه‌ی تفریحی.

قرار می‌گیرد، رویکرد پایین به بالاست که در آن، تمامی اماکن گردشگری به‌صورت مجزا به‌عنوان یک خوشه در نظرگرفته شده و تلاش می‌شود اماکن بر اساس نزدیک بودن شاخص‌های معین در یک خوشه قرار گیرند. نورپریهاتین و همکاران[۱۹] برای خوشه‌بندی اماکن، هر کدام از اماکن را یک خوشه فرض کرده و سپس بر اساس فاصله‌ی بین این اماکن، آن‌ها را به خوشه‌هایی تقسیم کردند که در آن، اماکن نسبت به اماکن دیگر به هم نزدیک‌ترند.

مسیریابی مجموعه‌ی سفر:[۷] در این شاخه، مجموعه‌یی از مفروضات پایه وجود دارد. مطابق با پژوهش ارچتی و همکاران،[۲۰] مفروضات عموماً به این شکل هستند که اماکن گردشگری به خوشه‌هایی تقسیم شده و امتیاز هر خوشه زمانی جمع‌آوری می‌شود که حداقل یک مکان از خوشه بازدید شود و یک وسیله‌ی نقلیه در اختیار گردشگر قرار دارد. هدف این مسئله، یافتن مسیری است که در آن بیشترین امتیاز خوشه‌ها جمع‌آوری شود و مسافت طی شده توسط وسیله‌ی نقلیه در آن از حد معینی فرا نرود. کارابز[۲۱] ضمن در نظرگرفتن مفروضات پیشین، تلاش کرده که در پژوهش خود، از الگوریتم فرابتکاری استفاده کند، چرا که ممکن است تعداد خوشه‌ها به قدری بالا باشد که حل دقیق مسئله زمان‌بر شود. البته فرضی که در پژوهش وی وجود دارد، محدود کردن هزینه‌هاست که در این صورت گردشگران نمی‌توانند تمامی خوشه‌ها را ملاقات کنند.

مسیریابی تیمی در سفر[۸]: این شاخه از مسیریابی به تازگی، کاربرد فراوانی در بحث گردشگری پیدا کرده است. بولی و همکاران[۲۲] این شاخه را چنین مطرح می‌کنند که در سفر، چندین وسیله‌ی نقلیه وجود دارد که هرکدام به طور جداگانه مسیری را طی کرده امتیاز نقاط را جمع‌آوری می‌کنند. هدف اصلی این مسائل، جمع‌آوری بیشترین امتیاز ممکن توسط تیم وسایل نقلیه است.

پس از معرفی برخی شاخه‌ها، لازم به ذکر است که در پژوهش‌های اخیر، برای واقعی‌تر شدن مطالعات، چند شاخه به‌طور هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، گاوالاس و همکاران[۲۳] در پژوهش خود، مسیریابی تیمی با پنجره‌ی زمانی را مورد بررسی قرار داده‌اند. پس از اعمال مفروضات به مسئله، پژوهش‌گران همواره در تلاش بوده‌اند تا مسیری بهینه از مدل‌های خود به دست آورند. اما به دلیل حجم بالای این گونه مسائل گردشگری و وجود مفروضاتی از جمله پنجره‌ی زمانی یا اماکن خوشه‌بندی شده، مسائل NP-hard تشکیل می‌شود. پژوهش‌گران در سال‌های اخیر تلاش کرده‌اند تا با روش‌ها تقریبی، به پاسخی دست یابند که به حالت بهینه نزدیک باشد و در زمان کم‌تری به دست آید. به همین دلیل است که پژوهش‌گرانی همچون وینست و همکاران[۲۴] و سیانسیو و همکاران[۲۵] در پژوهش‌های خود از الگوریتم‌های ابتکاری و مانسینی و استکا[۲۶] از الگوریتم فرابتکاری برای حل مسائل استفاده

جدول ۱. خلاصه مروری بر دسته‌بندی موضوع.

مرجع	پنجره زمانی	خوشه‌بندی اماکن	وابستگی مدل به زمان	مسیریابی عمومی	مسیریابی مجموعه‌یی	مسیریابی تیمی	خستگی گردشگر
[۲]							
[۴]							√
[۵]							√
[۶]							√
[۷]	√						
[۸]	√					√	
[۹]							√
[۱۰]	√		√			√	
[۱۱]			√		√	√	
[۱۲]			√				
[۱۳]				√			
[۱۴]	√					√	
[۱۵]	√						
[۱۶]		√					
[۱۷]		√				√	
[۱۸]		√					
[۱۹]		√					
[۲۰]		√			√		
[۲۱]		√			√		
[۲۲]						√	
[۲۳]	√	√	√			√	
[۲۴]	√					√	
[۲۵]	√						
[۲۸]							√

کرده‌اند. مانسینی و همکاران[۲۷] در یکی از پژوهش‌های خود در کنار حل مسئله به کمک الگوریتم‌های تقریبی، فرض عدم قطعیت را نیز به مسئله اضافه کرده‌اند. آن‌ها اعداد موجود در مسئله را کاملا به‌صورت فازی در نظرگرفته‌اند که در این صورت مدت زمان حل مسئله طولانی‌تر خواهد شد.

در جدول ۱، خلاصه‌یی از ادبیات موضوع بر اساس دسته‌بندی‌های مذکور ارائه شده است. پژوهش‌گران تلاش کرده‌اند تا شاخص‌های گوناگونی را برای بهبود برنامه‌ریزی سفر مورد بررسی قرار دهند. زمان و هزینه‌ی سفر، شاخص‌های جدایی‌ناپذیر پژوهش‌ها هستند. برخی دیگر از پژوهش‌ها به دنبال ارائه‌ی برنامه سفر در حالت شخصی یا گروهی از گردشگران با سلایق متفاوت‌اند. برخی دیگر نیز اماکن را بر اساس یک یا چند شاخص معین خوشه‌بندی کرده و برنامه‌ریزی طوری خواهد بود که گردشگران کم‌تر به بازدید اماکن مشابه بپردازند. در این میان، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های

سفر، رضایت گردشگران از مسیر و فعالیت‌های انجام گرفته در آن است. سون و همکاران[۲۸] در پژوهش خود تصریح می‌کنند که در برنامه‌ریزی‌های سفر، عناصری مانند خستگی در محاسبات در نظر گرفته نشده و موجب نارضایت گردشگر خواهد شد. بنابراین در این پژوهش تلاش شده است تا فعالیت‌های گردشگران در سفر به گونه‌یی دسته‌بندی شود که عوامل رضایت گردشگران از جمله کاهش خستگی، اهمیت هزینه‌ی در سفر، تنوع در مسیر و دیگر عوامل مطلوبیت به اولویت برنامه‌ریزی سفر قرار گیرند.

۳. تشریح مسئله

از آن‌جا که واقعیت گردشگری را نمی‌توان تمام و کمال در مدل ریاضی بیان کرد، بنابراین تلاش می‌شود تا مسئله‌ی گردشگری به طریقی تعریف شود که مدل ریاضی هم به واقعیات نزدیک باشد. گردشگری که برای مقاصد تفریحی وارد منطقه‌یی می‌شود، بازدیدهای خود را از هتل یا اقامتگاه آغاز می‌کند. در نتیجه در این مسائل، نقطه‌ی مبدأ همان هتل در نظر گرفته شده و همه‌ی گردشگران موجود در سفر، گردش خود را از این نقطه شروع کرده و خاتمه می‌دهند. در منطقه‌ی گردشگری، فرض شده است که انواع مختلفی از وسایل نقلیه قرار دارند که برای حمل و نقل گردشگران در یک منطقه‌ی گردشگری پر مخاطب، ظرفیت کافی دارند. در مجموعه‌ی سفر در یک منطقه‌ی گردشگری، ممکن است تعداد زیادی از گردشگران حضور داشته باشند. از آن‌جا که این گردشگران، سلایق متفاوتی دارند، لازم است تا پیش از برنامه‌ریزی سفر، بر اساس پرسش‌نامه و دسته‌بندی سلایق، به گروه‌هایی تقسیم شوند. در هر گروه گردشگری، سلایق افراد نزدیک به هم است. به دلیل ظرفیت کافی انواع وسایل نقلیه، برنامه سفر این گروه‌ها تأثیری بر برنامه سفر دیگر گروه‌های گردشگری نداشته و به صورت جداگانه تعیین می‌شود.

گروه‌های گردشگران می‌توانند هر نوع وسیله‌ی نقلیه‌ی موجود را انتخاب کنند و همه‌ی اعضای هر گروه باید وسیله‌ی نقلیه‌ی مشابهی را استفاده کرده و هم‌زمان بین دو مکان جابه‌جا شوند. در این میان، محدودیت‌های زمان و هزینه نیز وجود دارد. هر گروهی دارای محدودیت زمانی تحویل اقامتگاه رزرو شده است که همان بیشینه زمان در دسترس برای گروه مورد نظر است. البته از زمان حضور در هتل صرف‌نظر می‌شود. همچنین محدودیت مسافتی نیز می‌تواند در انتخاب مسیر تأثیر بگذارد؛ چرا که ممکن است در خانواده‌یی، فردی خردسال، مسن یا معلول حضور داشته باشد و نتواند مسافت طولانی را طی کند. این نکته نیز حائز اهمیت است که گردشگران در طول روز نیاز دارند تا در زمان‌های مشخصی به بازدید از اماکن بپردازند؛ چرا که هر کدام از اماکن دارای پنجره‌ی زمانی بازدید هستند که شامل زمان شروع و اتمام بازدید از آن است و خارج از آن بازه زمانی، امکان بازدید وجود ندارد. برای جلوگیری از هدر رفتن زمان، فرض می‌شود هر مکان حداکثر یک بار قابل بازدید است.

عامل خستگی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر یک سفر مطلوب برای گردشگران است و باید به نحوی آن را به مدل اضافه کرد. برای این‌کار، همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، فعالیت‌های گردشگران را می‌توان به خوشه‌هایی تقسیم کرد. برای این که بتوان فعالیت‌های گردشگران را به دسته‌های مختلف اما با تعداد کنترل شده تقسیم کرد، این فعالیت‌ها در سه دسته کلی تقسیم فرض می‌شوند. هر گردشگر در سفر، سه نوع فعالیت کلی شامل بازدید از جاذبه‌های گردشگری، خرید از فروشگاه‌ها و صرف وعده‌های غذایی در رستوران‌ها و کافه‌ها را انجام می‌دهد. بنابراین می‌توان اماکن و جاذبه‌های گردشگری را بر اساس این سه فعالیت، به سه خوشه تقسیم کرد که هیچ عضو مشترکی با یکدیگر ندارند. فعالیت‌های جانبی را نیز می‌توان به نحوی در این سه فعالیت جای داد؛ به طور مثال، استراحت در پارک‌ها و شهربازی‌های را می‌توان در دسته‌ی سوم قرار داد. برای جلوگیری از خستگی بیش‌از حدِ گردشگران، آن‌ها باید تمام خوشه‌ها را بازدید کنند. بنابراین می‌توان به این روش، علاوه بر بازدید از جاذبه‌های گردشگری، به گردشگران فرصت استراحت و صرف وعده‌های غذایی را داد تا برنامه گردش آن‌ها متنوع شود. هر گروه از گردشگران برای بازدید از هر خوشه، باید حداقل یکی از اماکن موجود در آن را بازدید کنند. همچنین در این مسئله، امتیازات به خود اماکن داده شده و گردشگران با بازدید از هر مکان می‌توانند امتیاز آن را جمع‌آوری کنند.

در این مسئله دو هدف وجود دارد. هدف اول بیشینه‌سازی مطلوبیت مجموعه‌ی سفر برای کل گردشگران است و مطلوبیت نیز با جمع‌آوری امتیازات اماکن حاصل می‌شود. از آن‌جا که گردشگران سلایق متفاوتی دارند، بنابراین ترجیح می‌دهند تا از اماکنی در برنامه گردشگری خود بازدید کنند که منطبق با سلیقه‌شان باشد. در این صورت هر گروه از گردشگران که سلیقه نزدیکی دارند، بر اساس علایق خود، امتیازی به هر کدام از اماکن می‌دهند. بنابراین هر قدر مکان‌های مورد علاقه بیشتری را بازدید کنند، امتیاز بیشتری جمع‌آوری شده و نشانه‌ی افزایش مطلوبیت گردشگر خواهد بود. نحوه‌ی تعیین امتیازاتی که گردشگران به اماکن می‌دهند، از طریق میانگین‌گیری از نظرات افراد موجود در هر گروه بوده که از پرسش‌نامه به دست آمده و به‌عنوان پارامتر به مسئله وارد می‌شود. هدف دوم نیز کمینه‌سازی هزینه‌ی سفر است. در این مدل، هزینه به عنوان محدودیت اعمال نشده است؛ چرا که در واقعیت، گردشگران تلاش می‌کنند تا هزینه‌ها معقول و کم باشد و حاضر نیستند به‌خاطر مبلغ اندکی، برنامه‌ی سفر مناسبی را رد کرده و برنامه‌یی ارزان‌تر انتخاب کنند. اما این نکته را در ذهن دارند که مجموع هزینه‌ها نباید از مقدار بودجه‌ی در دسترس فراتر رود. اگر اولویت اصلی گردشگر هزینه باشد، این امکان در مدل وجود دارد که تابع هزینه را در اولویت قرار دهد تا مخارج سفر برای وی قابل قبول باشد.

۴. مدل ریاضی پیشنهادی مسئله

در راستای حل مسئله‌ی تحقیق، در ادامه یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح مختلط ارائه خواهد شد. دو اندیس i و j برای بیان مکان‌ها یا نقاط ابتدایی و انتهایی هر جابه‌جایی تعریف می‌شوند. این اندیس‌ها می‌توانند اعداد صفر تا n را بگیرند چرا که n نشان‌دهنده‌ی همه‌ی نقاط موجود در سفر است و منظور از «صفر» نیز نقطه‌ی شروع سفر یا اقامتگاه گردشگران است. اندیس‌های m، k و g نیز در مسئله به کار برده می‌شوند که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مسیر، وسیله نقلیه و خوشه‌ی اماکن است.

- **مجموعه‌ها**

N^o: تمامی اماکن موجود در منطقه‌ی گردشگری؛

N^f: تمامی اماکن به‌جز اقامتگاه؛

M: مسیرهای موجود در سفر؛

K: وسایل نقلیه‌ی موجود در سفر؛

G: تمامی خوشه‌های اماکن؛

G_g: اماکن اختصاص یافته به خوشه‌ی gام.

- **پارامترها**

ST_i: زمان آغاز بازدید از مکان iام؛

FT_i: زمان پایان بازدید از مکان jام؛

D_i: زمان معمول لازم برای بازدید از مکان iام؛

CO_i: هزینه‌ی معمول لازم برای بازدید از مکان iام؛

$T_{\max_m}$: بیشینه‌ی زمان در دسترس مسیر mام؛

$L_{\max_m}$: بیشینه‌ی مسافت در دسترس مسیر mام؛

PN_{im}: امتیاز مخصوص برای مکان iام در مسیر mام؛

TT_{ikj}: زمان جابه‌جایی بین اماکن i و jام توسط وسیله نقلیه kام؛

LT_{ij}: مسافت معمول بین اماکن i و jام؛

CT_{ikj}: هزینه‌ی جابه‌جایی بین اماکن i و j ام توسط وسیله نقلیه kام؛

BB_{mk}: امکان استفاده از وسیله نقلیه kام در مسیر mام؛

BM: معرف عددی بسیار بزرگ.

- **متغیرهای تصمیم**

X_{ijkm}: متغیر باینری که اگر گردشگران در مسیر m از مکان i به مکان j توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی k جابه‌جا شوند، مقدار ۱ می‌گیرد؛

Y_{im}: متغیر باینری که اگر گردشگران در مسیر m، مکان i را بازدید کنند، مقدار ۱ می‌گیرد؛

T_{im}: زمان بازدید از مکان i در مسیر m.

مدل ریاضی مسئله به شرح زیر خواهد بود:

$$\text{Max } TP = \sum_{i\in N^o}\sum_{m\in M} PN_{im}\times Y_{im} \quad (۱)$$

$$\text{Min } TCo = \sum_{i,j\in N^o, i\neq j}\sum_{m\in M}\sum_{k\in K} CT_{ikj}\times X_{ijkm} + CO_i \times Y_{im} \quad (۲)$$

$s.t$

$$\sum_{j\in N^o, i\neq j}\sum_{k\in K} X_{ijkm} = Y_{im} \quad \forall i\in N^f, \forall m\in M \quad (۳)$$

$$\sum_{i\in N^o, i\neq j}\sum_{k\in K} X_{ijkm} = \sum_{h\in N^o, i\neq j}\sum_{k\in K} X_{jhkm} \ \forall j\in N^f, \forall m\in M \quad (۴)$$

$$\sum_{i\in N^f}\sum_{k\in K} X_{i\circ km} = ۱ \quad \forall m\in M \quad (۵)$$

$$\sum_{j\in N^f}\sum_{k\in K} X_{\circ jkm} = ۱ \quad \forall m\in M \quad (۶)$$

$$T_{jm} \geq T_{im} + D_i + \sum_{k\in K} TT_{ikj}\times X_{ijkm} - BM\times\left(۱ - \sum_{k\in K} X_{ijkm}\right) \quad \forall i\in N^f, \forall j\in N^o, \forall m\in M, i\neq j \quad (۷)$$

$$T_{jm} \leq T_{im} + D_i + \sum_{k\in K} TT_{ikj}\times X_{ijkm} + BM\times\left(۱ - \sum_{k\in K} X_{ijkm}\right) \quad \forall i\in N^f, \forall j\in N^o, \forall m\in M, i\neq j \quad (۸)$$

$$T_{jm} \geq TT_{\circ kj}\times X_{\circ jkm} \quad \text{j}\in N^f, \forall m\in M, \forall k\in K \quad (۹)$$

$$T_{im} \geq \text{ST}_i \quad \forall i\in N^f, \forall m\in M \quad (۱۰)$$

$$T_{im} \leq \text{FT}_i \quad \forall i\in N^f, \forall m\in M \quad (۱۱)$$

$$T_{im} + D_i + \sum_{k\in K} TT_{ik^\circ}\times X_{i^\circ km} \leq T_{\max_m}\times\sum_{h\in N^o}\sum_{k\in K} X_{h^\circ km} \quad \forall i\in N^f, m\in M \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i\in N^o, i\neq j}\sum_{j\in N^o}\sum_{k\in K} LT_{ij}\times X_{ijkm} \leq L_{\max_m} \ \forall m\in M \quad (۱۳)$$

$$X_{ijkm} \leq BB_{mk} \quad \forall (i,j)\in N^o, \forall k\in K, \forall m\in M \quad (۱۴)$$

$$\sum_{i\in G_g} Y_{im} \geq ۱ \quad \forall m\in M, \forall g\in G \quad (۱۵)$$

$$X_{ijkm}\in\{\circ,۱\} \quad \forall (i,j)\in N^o, \forall k\in K, \forall m\in M \quad (۱۶)$$

$$Y_{im}\in\{\circ,۱\} \quad \forall i\in N^o, \forall m\in M \quad (۱۷)$$

عبارات ۱ و ۲ توابع هدف مسئله هستند و به ترتیب به دنبال بیشینه‌سازی مطلوبیت و کمینه‌سازی هزینه‌هستند. عبارت ۳ تضمین می‌کند که اگر در مسیری مکانی بازدید شود، گردشگران از آن مکان توسط یک وسیله‌ی نقلیه به سمت مکان دیگری حرکت می‌کنند. عبارت ۴ تضمین می‌کند که اگر گردشگری در مسیری، توسط یک وسیله‌ی نقلیه از سایر مکان‌ها به مکانی مشخص غیر از هتل وارد شود، از آن مکان نیز توسط یک وسیله نقلیه به یکی از دیگر اماکن جابه‌جا خواهد شد. عبارات ۵ و ۶ در کنار یکدیگر بیان می‌کنند که گردشگران در هر مسیری، توسط یک وسیله نقلیه فقط یک بار به هتل وارد شده و توسط یک وسیله‌ی نقلیه نیز فقط یک بار از آن خارج می‌شود. به کمک عبارات ۷ و ۸ می‌توان زمان دقیق رسیدن به هر مکان غیر از هتل را در هر مسیر به دست می‌آورد. عبارت ۹ نیز زمان رسیدن به هتل را در پایان هر مسیر به دست می‌آورد. عبارات ۱۰ و ۱۱ بیان‌گر پنجره‌ی زمانی هر بازدید از هر مکان است. عبارت ۱۲ تضمین می‌کند که زمان بازگشت به هتل در انتهای هر مسیر، از بیشینه‌ی زمان در دسترس در آن مسیر فراتر نمی‌رود. عبارت ۱۳ بیشینه‌ی مسافت قابل طی در هر مسیر را به مدل ریاضی اعمال می‌کند. به کمک عبارت ۱۴ می‌توان امکان یا عدم امکان استفاده از انواع وسایل نقلیه در هر مسیر را برای جابه‌جایی بین اماکن اعمال کرد. عبارت ۱۵ تضمین می‌کند که گردشگر در هر مسیر، دست‌کم یک مکان از هر خوشه را بازدید می‌کند. عبارات ۱۶ و ۱۷ نیز نشان‌دهنده‌ی نوع متغیرهای باینری مسئله‌اند.

۵. روش حل برنامه‌ریزی آرمانی وزنی

همان‌طورکه پیش‌تر ذکر شد، مسئله دارای دو تابع هدف است. برای حل این مسئله‌ی دوهدفه، روش برنامه‌ریزی آرمانی وزنی در نظر گرفته شده است. در این روش، مسئله ابتدا توسط هر تابع هدف به طور جداگانه حل شده تا مقادیر مطلوب آن‌ها به دست آید. سپس تابع هدف جدیدی برای مسئله نوشته شده که مجموع وزنی

انحرافات این توابع هدف از مقادیر مطلوبشان است. به این صورت که در توابع هدف، متغیرهایی اضافه می‌شود که نشان‌دهنده‌ی انحرافات مثبت و منفی توابع هدف از مقادیر مطلوبشان است. هرکدام از توابع هدف به‌صورت محدودیت وارد مدل می‌شوند (عبارات ۱۹ و ۲۰). تابع هدف جدید مدل نیز به دنبال کمینه‌سازی مجموع وزنی انحرافات نامطلوب توابع هدف از مقادیر مطلوبشان است (عبارت ۱۸).

$$Max\ TP = \sum_{m\in M} w^{1}{}_{m} \times d^{11}{}_{m} + w^{2}{}_{m} \times d^{22}{}_{m} \qquad (۱۸)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{i\in N^{o}} \sum_{m\in M} PN_{im} \times Y_{im} + d^{11}{}_{m} + d^{12}{}_{m} = Total\,\mathrm{Pr}ofit_{m} \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{i\in N^{o}, i\neq j} \sum_{j\in N^{o}} \sum_{k\in K} CT_{ikj} \times X_{ijkm} + CO_{i} \times Y_{im} + d^{21}{}_{m} + d^{22}{}_{m} = Total\mathrm{Cost}_{m}\ \ \forall m \in M \qquad (۲۰)$$

وزن هرکدام از انحرافات در هرگروه، بر اساس اهمیتی تعیین می‌شود که آن گروه به تابع هدف متناظر می‌دهد. بنابراین این وزن‌ها را می‌توان به کمک سؤالاتی که از گروه‌های گردشگری، حین برنامه‌ریزی سفر پرسیده می‌شود تعیین و به‌عنوان پارامتر به مدل اضافه کرد. لازم به ذکر است که در عبارت ۱۸ متغیرهای انحراف را باید به‌صورت استاندارد شده وارد تابع هدف کرد، چرا که واحدهای مطلوبیت و هزینه با یکدیگر متفاوت‌اند و لازم است تا مجموعشان بدون واحد شود. استانداردسازی متغیرها نیز به کمک مقادیر مطلوب توابع هدف صورت می‌گیرد.

۶. مثال عددی

در راستای بررسی عملکرد مدل ارائه شده، پنج مثال عددی با اعداد مختلف و تصادفی طرح و ارائه شده است. در هر مثال، تمامی پارامترهای مسئله نیز از توزیع یکنواخت پیروی می‌کنند. جدول ۲، توزیع اندیس‌ها و پارامترهای ذکر شده را نشان می‌دهد. علاوه بر پارامترهای جدول فوق، تعداد اماکن با تابع توزیع یکنواخت بین ۹ الی ۴۵، تعداد وسایل نقلیه با تابع توزیع یکنواخت بین ۱ و ۴ و تعداد گروه‌های گردشگری در هر مثال با تابع توزیع یکنواخت بین ۱ و ۵ نیز تغییر می‌کنند. در این صورت می‌توان مدل را با شرایط گوناگون و تصادفی بررسی کرد.

با توجه به مثال‌های عددی مطرح شده و با در نظرگیری مطلوبیت و هزینه به‌عنوان توابع هدف و حل مدل ریاضی در نرم‌افزار GAMS بر اساس هرکدام از توابع هدف به طور جداگانه، می‌توان مقادیر مورد انتظار برای مطلوبیت و هزینه‌ی مربوط به هرگروه را یافت. مقادیر مذکور را می‌توان در جدول ۳ مشاهده کرد. چنان که پیش‌تر نیز بیان شد، برنامه‌ی سفر گروه‌های گردشگری به‌صورت مجزا تعیین شده و تأثیری بر یکدیگر ندارند. اما چون در هر مثال، گروه‌های گردشگری در یک منطقه‌ی گردشگری قرار دارند، بنابراین در جدول ۳، در کنار یکدیگر بیان شده‌اند.

پس از یافتن مقادیر مورد انتظار توابع هدف، می‌توان با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی، به حل مسئله پرداخت. وزن‌های مربوط به هر تابع هدف در هرگروه و مثال، بر اساس سلایق گروه مورد نظر به دست می‌آید. مجموع وزن‌های دو تابع هدف برابر با یک است.

جدول ۲. توزیع پارامترها در مثال‌های عددی.

موارد مورد تغییر	مقادیر
CT_{ikj}	توزیع یکنواخت بین ۱۰ و ۶۰
TT_{ikj}	توزیع یکنواخت بین ۳ و ۷۰
LT_{ij}	توزیع یکنواخت بین ۲ و ۱۵
CO_{i}	توزیع یکنواخت بین ۰ و ۴۰۰
D_{i}	توزیع یکنواخت بین ۵ و ۲۵
ST_{i}	توزیع یکنواخت بین ۰ و ۱۵۰
FT_{i}	توزیع یکنواخت بین ۱۵۰ و ۴۵۰
PN_{im}	توزیع یکنواخت بین ۰ و ۳۰
BB_{mk}	پارامتر باینری ۰ و ۱ (تصادفی)

۷. نتایج حل مثال عددی

پس از طراحی مثال عددی یافتن مقادیر مورد نظر هر تابع هدف، می‌توان نتایج نهایی را با حل به کمک روش برنامه‌ریزی آرمانی وزنی به دست آورد و برنامه‌ی سفر مخصوص به گروه‌های هر مجموعه سفر موجود در مثال‌ها را ارائه داد. برای این بخش نیز از نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده‌ی CPLEX استفاده شده است. جدول ۴، نمایش‌دهنده‌ی برنامه‌ی سفر گردشگران است. مجموع مدت زمان حل به روش دقیق توسط نرم‌افزار ذکر شده، برای محاسبه‌ی مقادیر مورد انتظار هرکدام از توابع هدف مطلوبیت و هزینه و حل برنامه‌ریزی آرمانی، بین ۲۵ الی ۴۰ دقیقه است.

برنامه‌ی نهایی سفر گردشگران در هرگروه را می‌توان از جدول ۴ استخراج کرد. به‌عنوان مثال گروه گردشگری سوم در مثال سوم، سفر خود را از اقامتگاه به سمت مکان ۲۷ آغاز می‌کند. این مکان یک جاذبه‌ی تفریحی از خوشه‌ی سوم است. سپس سفر خود را به سمت جاذبه‌ی گردشگری ۱۹ ادامه داده و پس از آن، از جاذبه‌ی گردشگری ۲ دیدن می‌کند. مسیر بعدی گروه به سمت مرکز خرید ۲۵ است که برای خرید و تنوع به آن سمت می‌روند. سپس از جاذبه‌های گردشگری ۹، ۱۱ و ۱ بازدید کرده و در نهایت به اقامتگاه صفر برمی‌گردند. در طی این مسیر، گروه گردشگری صرفاً

جدول ۳. مقادیر مورد انتظار توابع هدف به تفکیک گروه‌ها و مثال‌ها.

مثال	گروه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵
۱	$TotalProfit^{*}_{m}$	۱۴۰	۱۱۵	۸۶	۱۶۱	۱۲۵
	$\mathrm{TotalCost}^{*}_{\mathrm{m}}$	۶۷۳	۶۸۴	۶۷۳	۶۶۷	۷۱۸
۲	$TotalProfit^{*}_{m}$	۱۱۲				
	$TotalCost^{*}_{m}$	۳۰۶				
۳	$TotalProfit^{*}_{m}$	۱۴۲	۲۵۶	۳۰۳	۲۹۹	
	$TotalCost^{*}_{m}$	۲۰۷	۱۶۲	۴۹۸	۲۸۶	
۴	$TotalProfit^{*}_{m}$	۲۳۸	۳۵۷			
	$TotalCost^{*}_{m}$	۳۸۳	۴۳۰			
۵	$TotalProfit^{*}_{m}$	۸۹	۴۲۲	۱۶۶		
	$TotalCost^{*}_{m}$	۱۲۵	۱۰۴	۱۱۳		

جدول ۴. نتایج مثال‌های عددی و برنامه‌ی سفر گردشگران به تفکیک مجموع سفر و گروه‌ها.

مجموعه سفر	گروه گردشگران	مسیر حرکت (از راست به چپ)	وسایل نقلیه	مطلوبیت	انحراف منفی مطلوبیت	هزینه	انحراف منفی هزینه
۱	۱	۰-۲-۵-۳-۸-۰	۱ تا ۴	۸۶	۵۳	۷۰۳	۳۰
	۲	۰-۷-۹-۲-۶-۸-۰	۱ تا ۴	۹۸	۱۶	۶۵۰	۰
	۳	۰-۱-۹-۲-۸-۰	۱ تا ۴	۹۸	۰	۵۹۳	۰
	۴	۰-۳-۷-۹-۲-۶-۵-۰	۱ تا ۴	۱۱۴	۴۶	۶۵۷	۰
	۵	۰-۳-۷-۹-۸-۴-۰	۱ تا ۴	۷۲	۵۲	۶۴۳	۰
۲	۱	۰-۲-۱۴-۵-۱۲-۰	۱و۲	۵۶	۵۵	۳۲۵	۱۹
۳	۱	۰-۲۵-۷-۲۹-۰	۱و۲	۳۰	۱۱۱	۲۰۴	۰
	۲	۰-۲۵-۲-۲۹-۰	۱و۲	۲۴	۲۳۱	۱۷۹	۱۸
	۳	۰-۱-۱۱-۹-۲۵-۲-۱۹-۲۷-۰	۱و۲	۱۲۵	۱۷۷	۴۸۱	۰
	۴	۰--۲-۲۵-۲۹-۱۴-۱-۰	۱و۲	۹۴	۲۰۴	۲۸۹	۳

از وسایل نقلیه‌ی ۱ و ۲ استفاده کرده‌اند. ستون چهارم جدول ۴، وسایل نقلیه‌یی را نشان می‌دهد که آن گروه گردشگری در مسیر خود استفاده کرده‌اند. ستون‌های پنجم تا هشتم نیز نتایج حل مدل هستند. چنان‌که از ستون‌های ششم و هشتم جدول ۴ مشخص است، گروه‌های گردشگری موجود در مجموعه‌ی سفر اول، اولویت اصلی سفر خود را برکاهش هزینه گذاشته‌اند. بنابراین انحراف از مطلوبیت قابل توجه است. اما گروه‌های موجود در مجموعه‌ی سفر پنجم، اولویت خود را به‌صورت متعادل بین هزینه و مطلوبیت پخش کرده‌اند.

در برنامه‌ی سفر ارائه شده تنوع برای گردشگران وجود دارد که از خستگی بیش از حد آن‌ها جلوگیری می‌کند. البته می‌توان حق انتخاب را برای بازدید از تعداد مختلفی از اماکن هر خوشه به گردشگران داد؛ چرا که آن‌ها می‌توانند نظر خود را درخصوص وزن‌های اعمال شده به تابع هدف مطلوبیت و هزینه و همچنین تعیین امتیاز هر مکان به‌شرکت گردشگری بدهند.

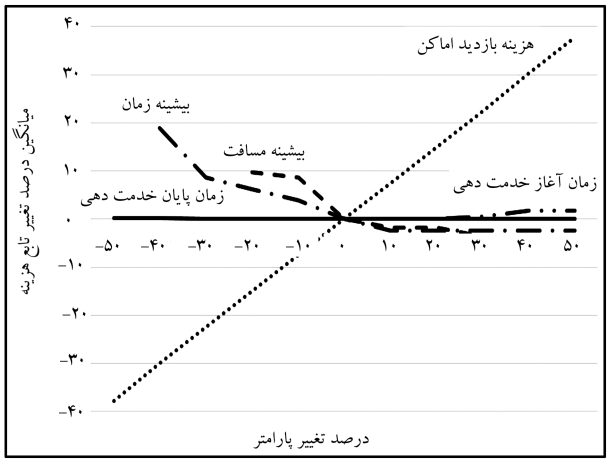
منظور از انحراف منفی، میزان انحراف از مقادیر مورد انتظار توابع هدف است. اگر مقادیر بهینه‌ی این توابع در مثال از مقادیر مورد انتظار نتایج بهتری داشته باشد، انحراف به دست آمده، مثبت بوده و به معنی اولویت بالای آن تابع هدف از نظر گروه گردشگری مورد نظر است. اما چون جریمه یا پاداشی بابت این نوع از انحراف مد نظر نیست، بنابراین معادل با سفر در نظر گرفته شده است. علت وجود انحرافات منفی را می‌توان در روش حل، یعنی برنامه‌ریزی آرمانی وزنی و نحوه‌ی اختصاص وزن‌ها به توابع به تفکیک هر گروه پیدا کرد. در این روش حل، هیچ‌کدام از توابع هدف به طور معمول، ارضا نخواهند شد ولی تابعی که اوزان انحرافات آن بیشتر باشد، به مقدار مطلوب خود نزدیک‌تر است. به‌طور مثال، انحراف مطلوبیت گروه گردشگری سوم در مثال سوم، ۱۷۷ است که مقدار قابل توجهی است که دلیل آن، پایین بودن وزن انحراف هزینه است. این نکته نشان می‌دهد که هزینه‌ی سفر در این گروه بیشتر از مطلوبیت سفر ارزش دارد و این موضوع مؤید سلیقه‌ی گروه مذکور طبق پارامترهایی از جمله امتیاز هر نقطه در این گروه و پارامتر امکان استفاده از وسایل نقلیه است. در واقع این روش وزن‌دهی می‌تواند به گردشگران، حق انتخاب بین مطلوبیت بهتر یا هزینه‌ی بهتر دهد. البته در جدول ۴، انحراف از مطلوبیت مورد انتظار بسیار بیشتر از انحراف از هزینه‌ی مورد انتظار است. دلیل آن هم این است که مطلوبیت مورد انتظار بدون توجه به تابع هدف هزینه محاسبه شده است. از آن‌جا که مدل به دنبال بیشینه‌سازی مطلوبیت است، بنابراین بدون توجه به کاهش هزینه‌ها، بیشترین اماکن گردشگری را در برنامه قرار می‌دهد که در این صورت مطلوبیت مورد انتظار ارقامی قابل توجه به خود می‌گیرند. اما وقتی تابع هزینه به مدل اضافه می‌شود، برنامه‌ی سفر تفاوتی قابل توجه با مطلوبیت مورد انتظار خواهد داشت؛ مگر این که وزن تابع هزینه صفر باشد.

۸. تحلیل حساسیت

در این بخش، حساسیت هر دو تابع هدف مطلوبیت و هزینه براساس برخی پارامترهای مؤثر بررسی می‌شود. برخی از آن‌ها از جمله زمان آغاز و پایان خدمت‌دهی و هزینه‌ی بلیط اماکن می‌توانند پارامترهایی باشند که از طرف مدیرانِ جاذبه‌های گردشگری و مراکز خرید تعیین می‌شود. بنابراین مدیران اماکن می‌توانند به کمک تحلیل حساسیتِ مطلوبیت سفر گردشگران و داده‌هایی که از شرکت‌های گردشگری دریافت می‌کنند، در راستای بهبود خدمات و افزایش بازدید و سودآوری خود تلاش کنند. اما برخی دیگر از پارامترها هستند که طبق نظر گردشگران به مسئله اعمال می‌شوند که قابل مفهوم‌ترین آن‌ها برای گردشگران، حداکثر زمان و مسافتی است که یک گروه گردشگری می‌تواند برای طراحی سفرش در نظر بگیرد. شکل‌های ۲ و ۳ نشان‌دهنده‌ی تحلیل حساسیت پارامترهاست. در این اشکال، تلاش می‌شود تا تأثیر تغییرات هر پارامتر بر توابع مطلوبیت و هزینه‌ی سفر مربوط به هر گروه موجود در مثال اول به دست آمده و سپس از این تغییرات به ازای هر گروه، میانگین ساده گرفته می‌شود تا در نهایت تأثیر تغییر پارامترها بر روی هر کدام از توابع هدف تعیین شود. لازم به ذکر است که تغییر پارامترها تنها در بازه ۵۰- تا ۵۰+ درصد بررسی شده است. همچنین مابقی پارامترها ثابت فرض شده‌اند.

در شکل ۲ تأثیر تغییر پارامترهای انتخاب شده بر تابع مطلوبیت مجموعه در شکل ۲ تأثیر تغییر پارامترهای انتخاب شده بر تابع مطلوبیت مجموعه سفر در مثال اول نشان داده شده است. «حداکثر مسافت سفر» پارامتری است که بیشترین تأثیر را بر مطلوبیت دارد؛ یعنی هرچه گردشگران توانایی طی کردن مسافت بیشتری را داشته باشند، می‌توان انتظار داشت که اماکن بیشتری را بازدید کرده و مطلوبیت سفر

شکل ۲. نمودار تأثیر برخی پارامترها بر تابع مطلوبیت.



شکل ۳. نمودار تأثیر برخی پارامترها بر تابع هزینه.

افزایش قابل توجهی داشته باشد و برعکس. بنابراین مقامات محلی و شرکت‌های گردشگری هنگام تهیه برنامه سفر، باید عواملی که باعث کاهش مسافت قابل طی توسط گردشگران می‌شود را شناسایی کرده و به رفع این موانع بپردازند. به طور مثال، اگر افراد مسن در گروه گردشگری هستند، استفاده از برخی وسایل نقلیه به آن‌ها پیشنهاد شود تا بتوانند مسیر بیشتری را طی کرده و انرژی کم‌تری را برای راه رفتن و جابه‌جایی بین اماکن صرف کنند.

پارامتر تأثیرگذار بعدی، «حداکثر زمان سفر» است. هرچه گردشگران زمان بیشتری داشته باشند، می‌توانند از اماکن بیشتری بازدید کنند و برعکس. در صورتی که گردشگران به دلیل بالا بودن هزینه‌ی رزرو اتاق، زمان سفر را محدود می‌کنند، شرکت‌های گردشگری می‌توانند اقامتگاه‌هایی را به گردشگران معرفی کنند که از لحاظ هزینه مقرون به صرفه‌تر است. پارامتر «زمان پایان خدمت‌دهی اماکن» نیز تأثیر مستقیم بر مطلوبیت دارد. هرچه اماکن گردشگری بتوانند انتهای ساعت کاری خود را افزایش دهند، مطلوبیت گردشگران افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توانند بازدیدکنندگان بیشتری نیز جذب کنند. پارامتر «زمان آغاز خدمت‌دهی اماکن» تأثیر اندکی بر مطلوبیت سفر دارد. هرچه ساعت کار اماکن گردشگری زودتر آغاز شود، مطلوبیت سفر لزوماً افزایش پیدا نمی‌کند؛ چراکه ممکن است برخی گردشگران سفر خود را از میانه‌ی روز آغاز کنند. در مقابل، هرچه ابتدای ساعت کاری خود را دیرتر آغاز کنند، گردشگران به دلیل محدودیت زمانی که دارند، نمی‌توانند از آن اماکن بازدید کنند. بنابراین اماکن گردشگری باید تلاش کنند تا با استفاده از تجربه‌ی پیشین و داده‌های ثبت شده، زمان مناسب برای آغاز خدمت‌دهی را تنظیم کنند. پارامتر «هزینه‌ی بازدید از اماکن» تأثیری بر مطلوبیت سفر ندارد. دلیل این موضوع را می‌توان در امتیازات اماکن گردشگری جست‌وجو کرد که توسط گردشگران تعیین می‌شود. گردشگران امتیازات مربوط به اماکن را بر اساس سلیقه‌ی خود می‌دهند. از آن‌جا که هزینه و مخارج سفر همواره تأثیر خود را به صورت روانی در ترجیحات گردشگران نشان می‌دهد، بنابراین پارامتر هزینه‌ی سفر به‌صورت مجزا و مستقیم تأثیری بر مطلوبیت نخواهد داشت. بلکه تأثیر آن از طریق امتیازات مربوط به اماکن بر روی مطلوبیت اعمال خواهد شد.

شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی تأثیر تغییر پارامترهای انتخاب شده بر تابع هزینه‌ی مجموعه‌ی سفر، در مثال اول است. «هزینه‌ی بازدید اماکن» پارامتری است که بیشترین تأثیر را بر تابع هزینه دارد؛ این پارامتر بر هزینه‌ی سفر تأثیر مستقیم دارد. هرچه این پارامتر بیشتر شود، هزینه‌ی سفر نیز افزایش می‌یابد. بنابراین مسئولین اماکن گردشگری برای کاهش هزینه‌ی گردشگران و جذب بازدید کننده بیشتر، لازم است تا حد امکان، هزینه‌ی بازدید از اماکن را کاهش دهند. هزینه‌ی بازدید از اماکن بر اساس هر خوشه تعیین می‌شود. هزینه‌ی بازدید از اماکن برای جاذبه‌های گردشگری در بلیط آن مکان، برای رستوران‌ها و موارد مشابه در قیمت خوراکی‌ها و برای مراکز خرید در قیمت خرید کالاها خلاصه می‌شود. بنابراین مدیران این اماکن می‌توانند با افزایش یا کاهش هزینه‌ی بازدید از آن مکان، تأثیر مستقیم بر برنامه‌ی سفر گردشگران داشته باشند و بازدیدکنندگان خود را افزایش یا کاهش دهند. دومین پارامتر تأثیرگذار بر هزینه، «حداکثر زمان در دسترس» است. هرچه این زمان محدودتر باشد گردشگران مجبور می‌شوند از وسایل نقلیه‌ی سریع‌تر استفاده کنند و حتی از اماکنی بازدید کنند که ساعت کاری آن‌ها زودتر آغاز می‌شود و احتمالاً هزینه‌ی بازدید بالاتری دارند. در مقابل، هرچه بیشینه‌ی زمان سفر افزایش یابد، هزینه‌ی گردشگران با نرخ کاهنده‌یی کاهش می‌یابد. دلیل این نرخ کاهنده، وجود بیشینه‌ی مسافت برای گردشگران است که باعث محدودیت در انتخاب اماکنی می‌شود که هزینه‌ی بازدید کم‌تری دارند و حتی استفاده از وسایل نقلیه‌ی ارزان‌تر نیز محدودتر می‌شود. افزایش پارامتری بیشینه‌ی مسافت گردشگران تأثیری مشابه با بیشینه‌ی زمان سفر بر تابع هزینه دارد. اما با کاهش بیشینه‌ی مسافت، لزوماً هزینه کاهش یا افزایش نمی‌یابد. از آن‌جا که کاهش بیشینه‌ی مسافت ممکن است باعث شود تا گردشگران نتوانند از هر خوشه یک مکان را بازدید کنند، بنابراین نمی‌توان گفت که کاهش مسافت چه تأثیری بر هزینه‌ی سفر خواهد داشت. دو پارامتر زمان آغاز خدمت‌دهی و زمان پایان خدمت‌دهی تأثیر چندانی بر هزینه‌ی سفر ندارند؛ چرا که در هر خوشه، اماکن گوناگونی هستند که برای جذب بازدیدکننده تلاش می‌کنند. بنابراین اگر ساعت کاری اماکن تغییر کند، گردشگران می‌توانند مکان دیگری را برای بازدید انتخاب کنند. البته این در صورتی است که تعداد کافی مکان وجود داشته باشد و انحصار در کار نباشد.

۹. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح مختلط دوهدفه برای حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی و مسیریابی سفر گردشگران ارائه شد. پس از آن با پنج مثال عددی، مدل ریاضی راستی‌آزمایی شد. مدل در نرم‌افزار GAMS حل و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ‌ها به‌گونه‌یی بود که در مجموعه‌های سفر، مسیرهای مشخصی برای بازدید از اماکن برای گروه‌های گردشگری برنامه‌ریزی شده و هزینه و مطلوبیت آن‌ها محاسبه می‌شود. برنامه‌ی سفر هر گروه چنان طراحی شد که

زمان اتمام سفر هر گروه و رسیدن به اقامتگاه، کم‌تر یا مساوی با بیشینه زمان در دسترس مخصوص آن گروه باشد. محدودیت بیشینه‌ی مسافت قابل طی نیز در طراحی سفر گردشگران نقش مؤثری داشته است. در هر مسیر، گردشگران باید در محدوده‌های زمانی که از قبل مشخص شده‌اند، اماکن را بازدید کنند. اماکن بر اساس فعالیت‌های انجام شده توسط گردشگران، به سه خوشه تقسیم شد که این رویکرد می‌تواند بر روی خستگی گردشگران در طول سفر تأثیر بگذارد. همچنین آن‌ها باید دست‌کم یک مکان از هر خوشه را ملاقات می‌کردند. در نهایت، برنامه‌ی به دست آمده در تعامل با این محدودیت‌ها طراحی شد، چنان که توازنی متناسب با اوزان مشخص شده توسط گردشگران بین مطلوبیت و هزینه‌ی سفر گردشگران ایجاد شود. در نهایت، تحلیل حساسیت بر برخی پارامترهای مهم مسئله انجام شد و تأثیر آن‌ها بر هرکدام از توابع مطلوبیت و هزینه مورد تحلیل قرار گرفت. بیشینه‌ی مسافت قابل طی و بیشینه‌ی زمان در دسترس هرگروه به ترتیب، بیشترین تأثیر را بر تابع مطلوبیت سفر گردشگران دارند. همچنین هزینه‌ی بازدید از اماکن گردشگری، بیشترین تأثیر را بر تابع هزینه‌ی سفر داشته و بیشینه‌ی زمان در دسترس نیز رابطه‌ی غیرمستقیم و کاهنده‌یی با هزینه‌ی سفر دارد. مابقی پارامترها تأثیرات قابل توجهی بر آن ندارند.

برای پژوهش‌های آتی و به‌منظور تطبیق هرچه بیشتر مدل‌های ریاضی با واقعیت‌های گردشگری، می‌توان عدم قطعیت‌ها را به مدل اضافه کرد به‌گونه‌یی که نظر هر دو گروه گردشگران و مدیران اماکن گردشگری در برنامه‌ریزی‌های سفر مورد استفاده قرار گیرد. برای این کار می‌توان از ابزارهای تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی با اعداد فازی استفاده کرد. برای برنامه‌ریزی سفر گردشگران، لازم است تا روش‌های حل ابتکاری یا فراابتکاری در نظر گرفته شود تا بتوان مسئله را با تعداد بالا و با سرعت بیشتری حل کرد. همچنین می‌توان برنامه‌ریزی سفر را با رویکرد مدیریت پروژه در نظر گرفت و پس از انتخاب اماکن گردشگری به کمک ابزارهای تصمیم‌گیری، ترتیب بازدید اماکن را که هرکدام پنجره‌ی زمانی مشخصی دارند، بر اساس ابزارهای مدیریت پروژه تعیین کرد و ریسک‌های موجود در پروژه را مورد ارزیابی قرار داد.

پانوشت‌ها

1. Tourist trip design problem (TTDP)
2. points of interest
3. time-dependent tourist trip design problem
4. generalized orienteering problem
5. tourist trip design problem with time windows
6. stourist trip design problem with clustered POI
7. set orienteering problem
8. team orienteering problem

منابع (References)

1. Souffriau, W. and Pieter V. "Tourist trip planning functionalities: state-of-the-art and future", *International Conference on Web Engineering*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 474- 485 (2010).
2. Persia, F., Pilato, G., Ge, M. and et al. "Improving orienteering-based tourist trip planning with social sensing", *Future Generation Computer Systems*, **110**, pp. 931-945 (2020).
3. Jeng, J. and Fesenmaier, D.R. "Conceptualizing the travel decision-making hierarchy: a review of recent developments", *Touris Manalysis*, **7**(1), pp. 15-32 (2002).
4. Gavalas, D., Kasapakis, V., Konstantopoulos, C. and et al. "Scenic route planning for tourists", *Personal and Ubiquitous Computing*, **21**(1), pp. 137-155 (2017).
5. Ko, T., Qureshi, A.G., Schmocker, J.D. and et al. "Tourist trip design problem considering fatigue", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **13**, pp. 1233-1248 (2019).
6. Rodriguez, B., Molina, J., Pérez, F. and et al. "Interactive design of personalised tourism routes", *Tourism Management*, **33**(4), pp. 926-940 (2012).
7. Souffiau, W., Maervoet, J., Vansteenwegen, P. and et al. "A mobile tourist decision support system for small footprint devices", *In International Work-Conference on Artificial Neural Networks*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1248-1255 (2009).
8. Zheng, W. and Liao, Z. "Using a heuristic approach to design personalized tour routes for heterogeneous tourist groups", *Tourism Management*, **72**, pp. 313-325 (2019).
9. Sylejmani, K., Dorn, J. and Musliu, N. "Planning the trip itinerary for tourist groups", *Information Technology and Tourism*, **17**(3), pp. 275-314 (2017).
10. Vincent, F.Y., Jewpanya, P., Lin, S.W. and et al. "Team orienteering problem with time windows and time-dependent scores", *Computers & Industrial Engineering*, **127**, pp. 213-224 (2019).
11. Gunawan, A., Lau, H.C. and Vansteenwegen, P. "Orienteering problem: a survey of recent variants, solution approaches and applications", *European Journal of Operational Research*, **255**(2), pp. 315-332 (2016).
12. Yu, Q., Fang, K., Zhu, N., and et al. "A matheuristic approach to the orienteering problem with service time dependent profits", *European Journal of Operational Research*, **273**(2), pp. 488-503 (2019).
13. Urrutia Zambrana, A., Tirado, G. and Mateos, A. "Variable neighborhood search to solve the generalized orienteering problem", *International Transactions in Operational Research*, **28**(1), pp 142-167 (2021).
14. Vansteenwegen, P., Souffriau, W., Berghe, G.V., and et al. "Iterated local search for the team orienteering problem with time windows", *Computers and Operations Research*, **36**(12), pp. 3281-3290 (2009).
15. Wang, Y., Wang, L., Chen, G. and et al. "An improved ant colony optimization algorithm to the periodic vehicle routing problem with time window and service choice", *Swarm and Evolutionary Computation*, **55**, 100675 (2020).

16. Angelelli, E., Archetti, C. and Vindigni, M. "The clustered orienteering problem", *European Journal of Operational Research*, **238**(2), pp. 404-414 (2014).
17. Yahiaoui, A.E., Moukrim, A. and Serairi, M. "The clustered team orienteering problem", *Computers and Operations Research*, **111**, pp. 386-399 (2019).
18. Tišljarić, L. and Carić, T. "Clustering of the anomalous spatiotemporal traffic patterns using tensor decomposition method", *In Proceedings of the 3rd Symposium on Management of Future Motorway and Urban Traffic Systems (MFTS)*, pp. 1-4 (2020).
19. Nurprihatin, F. and Montororing, Y.D.R. "Improving vehicle routing decision for subsidized rice distribution using linear programming considering stochastic travel times", *In Journal of Physics: Conference Series*, **1811**(1), p. 012007 (2021).
20. Archetti, C., Carrabs, F. and Cerulli, R. "The set orienteering problem", *European Journal of Operational Research*, **267**(1), pp. 264-272 (2018).
21. Carrabs, F. "A biased random-key genetic algorithm for the set orienteering problem", *European Journal of Operational Research*, **292**(3), pp. 830-854 (2021).
22. Bouly, H., Dang, D.C. and Moukrim, A. "A memetic algorithm for the team orienteering problem", **4or**, **8**(1), pp. 49-70 (2010).
23. Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K. and et al. "Heuristics for the time dependent team orienteering problem: application to tourist route planning", *Computers and Operations Research*, **62**, pp. 36-50 (2015).
24. Vincent, F.Y., Jewpanya, P., Ting, C.J., and et al. "Two-level particle swarm optimization for the multi-modal team orienteering problem with time windows", *Applied Soft Computing*, **61**, pp. 1022-1040 (2017).
25. Ciancio, C., De Maio, A., Laganà, D. and et al. "A genetic algorithm framework for the orienteering problem with time windows", In New Trends in Emerging Complex Real Life Problems, Springer, Cham, pp. 179-188 (2018).
26. Mancini, S. and Stecca, G. "A large neighborhood search based matheuristic for the tourist cruises itinerary planning", *Computers and Industrial Engineering*, **122**, pp. 140-148 (2018).
27. Expósito, A., Mancini, S., Brito, J. et al. "Solving a fuzzy tourist trip design problem with clustered points of interest", In Uncertainty Management with Fuzzy and Rough Sets. Springer, Cham, pp. 31-47 (2019).
28. Sun, J., Zhang, J.H., Zhang, H. and et al. "Development and validation of a tourism fatigue scale", *Tourism Management*, **81**, 104121 (2020).