

مکان‌یابی جایگاه‌های CNG در مسیرهای تهران - فیروزکوه و تهران - سمنان با استفاده از مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری

عالیه کاظمی

استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

aliyekazemi@ut.ac.ir

زهرا ساده‌وند

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت پردیس فارابی دانشگاه تهران

z.sadeh@yahoo.com

استفاده از گاز طبیعی فشرده به عنوان سوختی پاک در سراسر دنیا در حال افزایش است. با رشد روزافزون وسایل نقلیه در ایران و به دلیل بالا بودن هزینه‌های احداث جایگاه‌های CNG، مکان‌یابی مناسب و بهینه این جایگاه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری یکی از مدل‌هایی است که اخیراً به منظور مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت مطرح شده است. در این تحقیق جایگاه‌های سوخت CNG در دو مسیر برون‌شهری تهران شامل مسیر تهران- فیروزکوه و تهران- سمنان با استفاده از تلفیق نتایج مدل GIS و مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری، مکان‌یابی شده است. نتایج نشان داد بهترین مکان برای احداث جایگاه CNG در مسیر تهران- فیروزکوه واقع در انتهای آزادراه تهران-پردیس ورودی جاده دماوند قبل از آتش‌نشانی بومهن با مختصات جغرافیایی (۳۵/۵۱،۷۴/۸۵) و مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در بزرگراه تهران- سمنان واقع در پمپ‌بنزین ایوانکه در کمربندی ایوانکه با مختصات جغرافیایی (۳۵/۵۲،۳۵/۰۵) است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، گاز طبیعی فشرده، مکان‌یابی تسهیلات، مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری

۱. مقدمه

سازگاری سوخت CNG با محیط زیست و ضرورت جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی مایع و همچنین وجود منابع گازی مناسب و شبکه عظیم خط لوله گاز طبیعی در کشور که باعث شده گاز در همه جا در دسترس و هزینه حمل و نقل آن نیز به شدت کاهش یابد، این سوخت را به عنوان سوخت جایگزین بنزین مطرح کرده است. اخیراً در بین خدمات شهری، دسترسی به جایگاه‌های CNG نیز از اولویت خاصی برخوردار شده است و مدیران شهری و متولیان امر استانداردها و معیارهای لازم برای این ایستگاه‌ها و مخصوصاً مکان‌یابی آنها را مورد توجه بیشتری قرار داده‌اند.

باتوجه به کمبود جایگاه‌های عرضه گاز طبیعی فشرده در سطح کشور و به خصوص آلودگی هوا در کلان‌شهرها، وجود صف‌های طولانی در جایگاه‌های عرضه CNG و به دلیل بالا بودن هزینه احداث جایگاه CNG، در تحقیق حاضر مسأله اصلی، مکان‌یابی جایگاه‌های عرضه CNG است که با استفاده از تکنیک مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری^۱ (FRLM) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این تحقیق مکان‌های کاندید از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) به دست آمده و به عنوان ورودی‌های مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری استفاده شده است. نوآوری این تحقیق استفاده از هر دو روش FRLM و GIS برای مکان‌یابی جایگاه‌های CNG به منظور افزایش دقت و رفع کاستی‌های هر دو روش می‌باشد.

در ادامه پس از مرور ادبیات تحقیق در بخش ۲، مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری در بخش ۳ معرفی شده است، در بخش ۴، طراحی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مدل پیشنهادی برای یافتن مکان بهینه جهت احداث جایگاه CNG در آزادراه‌های برون شهری تهران و نهایتاً در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

1. Flow Refueling Location Model (FRLM)
2. Geographic Information System

۲. مرور ادبیات تحقیق

به طور کلی مطالعات مکان‌یابی از دهه ۱۹۱۰ آغاز شد، ولی ورود مدل‌های کمی به عرصه مکان‌یابی تسهیلات شهری در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰ در ایالات متحده با مطرح شدن رویکرد سیستمی در برنامه‌ریزی شهری اتفاق افتاد. در سال ۱۹۶۳ مدل لاری که روی سه مشخصه مرتبط شهری یعنی اشتغال، جمعیت و حمل‌ونقل متمرکز می‌شد مطرح گردید. روش شبیه‌سازی کامپیوتر در سال ۱۹۷۳ توسط مارکلند ارائه گشت و در سال ۱۹۸۶، فردی به نام جان کرسین، مدل لاری را پویا نمود و عامل زمان را نیز در تحلیل‌های مدل وارد کرد. تلاش‌هایی که برای یکپارچه‌سازی مدل‌های کمی صورت گرفت؛ در ابتدای دهه ۹۰ به ثمر نشست و GIS پا به عرصه نهاد در واقع سامانه اطلاعات مکانی GIS یکی از سامانه‌هایی است که به واسطه فن‌آوری اطلاعات امروزه ظهور پیدا کرده است که علاوه بر ایجاد، مدیریت، تجزیه و تحلیل و نمایش داده‌های مکانی و توصیفی، می‌تواند به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری^۱ (DSS) نیز در نظر گرفته شود. (باقری، ۱۳۸۷)

پس از GIS در اواخر دهه ۹۰ مدل‌های شبیه‌سازی وارد میدان شدند. در سال ۱۹۹۹ لیانگ و لانگ پیشنهاد یک الگوریتم برای مکان‌یابی با استفاده از مفاهیم تئوری فازی را دادند. هجوم محققان به تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بیشتر در ۲۰ سال اخیر به چشم می‌خورد، تکنیک‌هایی چون TOPSIS، AHP و دیگر مدل‌های ترکیبی و هیبریدی را نویسندگان مقالات بسیاری جهت شناسایی و انتخاب مکان بهینه استفاده نموده‌اند. (طالبی، ۱۳۸۸)

تحقیقات انجام گرفته در مورد مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت اغلب شامل دو دسته کلی است: مدل‌های سیستم اطلاعاتی جغرافیایی و مدل‌های تحقیق در عملیات. از مدل‌های سیستم اطلاعاتی جغرافیایی می‌توان به تحقیق ملاینا اشاره کرد. وی روش GIS را که مکان دقیق و اندازه ایستگاه را بر اساس ایده مربوط به تراکم کردن شبکه‌های موجود جایگاه‌های گازوئیل به خوشه‌ها محاسبه

1. Decision Support System

می‌کند را مطرح کرد. او و همکارانش از GIS به منظور توسعه شبکه ملی جایگاه‌های سوخت برای انجام سفرهایی با مسافت طولانی در بزرگراه‌های درون ایالتی استفاده کردند. آنها تحقیق خود را به راه‌های درون ایالتی که در آن بیش از ۲۰۰۰۰ وسیله نقلیه در روز عبور می‌کرد محدود کردند و با استفاده از سایر لایه‌های اطلاعاتی GIS مثل کارخانه‌های تولید هیدروژن، سایر جایگاه‌های سوخت جایگزین، جمعیت و تقاطعات بزرگراهی آمریکا، جایگاه‌های سوخت را مکان‌یابی کردند.

در مدل‌های تحقیق در عملیات اغلب چند رویکرد برای مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های سوخت گیری به کار گرفته شده است. یک گروه از تحقیقات از مدل‌های متنوع میانه p^1 استفاده کرده‌اند، بیشترین مدلی که در این زمینه استفاده شده نیز با استفاده از مدل میانه p بوده است. میانه p مدل مکان‌یابی - تخصیص^۲ است که تعداد p تسهیل را مکان‌یابی می‌کند و تقاضای نقاط i به تسهیل j با هدف حداقل سازی کل مسافت طی شده توسط مصرف کننده به تسهیلات را تخصیص می‌دهد. مدل میانه p برای مکان‌یابی ایستگاه‌هایی نزدیک به محل زندگی افراد مناسب است. مطالعات مختلفی به طور تجربی نشان داده‌اند که مصرف کنندگان عموماً ترجیح می‌دهند که سوخت گیری را نزدیک منزلشان انجام دهند.

مدل میانه p اولین بار برای ایستگاه‌های سوخت توسط گودچایلد و نورونها در سال ۱۹۸۷ بکار گرفته شد، آنها این مدل را به عنوان یکی از توابع در مدل برنامه‌ریزی چند هدفه برای بهینه‌سازی ایستگاه‌ها در شبکه‌های ایستگاه گاز موجود به کار گرفتند. (طالبی، ۱۳۸۸)

در تحقیقی که توسط نیکلاس، هندی و اسپرلینگ^۳ (۲۰۰۴)، و نیز توسط نیکلاس (۲۰۰۶)، انجام شد، مدل میانه p برای سوخت‌های جایگزین، به کار گرفته شد. این مدل برای تحقیقات اساسی متعددی در رابطه با حمل و نقل با هیدروژن نیز به کار گرفته شده است. (نیکلاس، هندی و اسپرلینگ، ۲۰۱۰)

-
1. p-median model
 2. location-allocation model
 3. Nicholas, MA.; Handy, S. and D. Sperling

لین و همکاران^۱ (۲۰۰۸)، رویکرد سوخت-سفر-برگشت^۲ را مطرح کردند که از لحاظ ساختاری شبیه مدل میانه p است، اما نقاطی که وزن داده شده‌اند بر اساس میزان مصرف سوخت در بخش‌هایی که حاکی از تقاضا نقطه i (به جای جمعیت) بودند و با زمان سفر میان نقطه تقاضا i و مکان تسهیل‌کنانید ز جایگزین فاصله شده است. این مدل از داده‌های میزان مایلی که وسیله نقلیه سفر کرده است، به منظور حداقل‌سازی کل زمان سفر برای سفر به مکان‌هایی که برای رفتن به آنجا و بازگشت به نزدیک‌ترین ایستگاه تمام سوخت را مصرف می‌کند، استفاده می‌کند. مدل‌های میانه p اغلب به اطلاعات ساده‌ای نیاز دارند، داده‌های شبکه جاده‌ای و داده‌های جمعیتی که بطور گسترده‌ای در پایگاه‌های GIS و منابع متعدد دیگری وجود دارند.

دومین رویکرد بکار گرفته شده به منظور مکان‌یابی ایستگاه‌ها در جاده‌هایی با ترافیک سنگین می‌باشد. علاوه بر تابع هدف میانه p، گودچایلد و نورونها در سال ۱۹۸۷ هدف دومی را که جریان ترافیک در مسیرهایی که از یک ایستگاه می‌گذشت را حداکثر می‌کرد، بیان کردند. (طالی، ۱۳۸۸) ملندز و میلبراندت^۳ (۲۰۰۵)، فقط جاده‌هایی که حداقل ۲۰۰۰۰ وسیله نقلیه بر طبق تجزیه و تحلیل‌های GIS مربوط به شبکه ملی جایگاه‌های هیدروژن، در روز از آنها می‌گذشت را بررسی کردند. این رویکرد تشخیص داد که بسیاری از رانندگان در مسیر حرکتشان به سمت نقاط دیگر سوخت‌گیری را انجام می‌دهند و تلاش می‌کنند تا عبور از ترافیک را حداکثر کنند. نیکلاس (۲۰۱۰)، مدل مربوط به این معیارها را تحت عنوان مجموع کیلومتر سفر شده توسط وسیله نقلیه درون منطقه تجمع شده را عملیاتی کرد.

سومین رویکرد عمومی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سوخت‌گیری، جریان‌های عبوری را بدون محاسبه کردن برگشت حداکثر می‌سازد. این رویکرد در ابتدا توسط هودگسون^۴ (۱۹۹۰)، تحت

1. Lin, Z.; Ogden, J.; Fan, Y. and C. Chen
2. Fuel-travel-back
3. Melendez, M. and A. Milbrandt
4. Hodgson, MJ

عنوان مدل مکان‌یابی ذخیره جریان^۱ (FCLM) و بعداً توسط برمن و همکاران (۱۹۹۲)، تحت عنوان مدل توقف جریان^۲ (FILM) بیان شد. (آپچارچ، کابی و لیم، ۲۰۱۰)

این مدل‌ها تحت عنوان مدل‌های مسیر محور یا جریان تقاضا طبقه‌بندی شده‌اند. واحد اصلی تقاضا در این مدل‌ها نقاط است که نشان‌دهنده محلی که افراد زندگی می‌کنند یا شبکه مواصلاتی نمی‌باشند، بلکه جریان در مسیرهای میان یک شبکه نشان‌دهنده جاده‌هایی که افراد سفر می‌کنند است. هدف اصلی مدل FILM مکان‌یابی p تسهیلات به منظور حداکثرسازی تعداد سفرهای میان‌راهی می‌باشد. یک تقاضا ذخیره یا متوقف می‌شود اگر یک تسهیل در هر کجا در طول مسیر وجود داشته باشد.

مشابه FILM، مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری نیز به منظور حداکثرسازی تعداد سفرهایی که به‌طور بالقوه می‌توانند به وسیله p جایگاه سوخت‌گیری شوند، طراحی شده است. FRLM برای هر دو مقیاس شهری و ایالتی در فلوریدا توسط کابی و همکاران^۳ (۲۰۰۴ و ۲۰۰۹)، به کار گرفته شده است. این مدل برای جایگاه‌هایی با ظرفیت معین توسط آپچارچ، کابی و لیم^۴ (۲۰۰۹)، توسعه داده شد. از مدل FRLM کابی و لیم (۲۰۰۷)، برای مکان‌یابی در طول کمان و همچنین کابی و همکاران^۵ (۲۰۰۹)، به منظور حداکثرسازی میزان مایل سفر شده به جای تعداد سفرها، استفاده کردند.

در ایران نیز در زمینه مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت با GIS تحقیقات مختلفی انجام شده است. زارعی (۱۳۸۵)، به مکان‌یابی جایگاه‌های CNG با استفاده از توابع تحلیلی GIS پرداخت. مورد مطالعه این تحقیق منطقه ۱۷ تهران بوده است. نصیری (۱۳۸۸)، از توابع تحلیلی GIS برای تعیین مکان بهینه جهت احداث جایگاه CNG در شهر قم استفاده کرده است. ذکایی خیرایی (۱۳۸۸)، به مکان‌یابی پمپ‌بنزین‌ها در نواحی درون شهری مشهد پرداخته و با استفاده از مدل ریاضی با هدف

1. Flow Capturing Locating Model
2. Flow Intercepting Location Model
3. Kuby, M.J.; Lim, S. and K. Wang
4. Upchurch, C.; Kuby, M.J. and S. Lim
5. Kuby, M.; Lines, L.; Schultz, R.; Xie, Z.; Kim, J.G. and S. Lim

انتخاب بهینه چند محل از بین مجموعه نقاط کاندید برای قرارگیری پمپ‌بنزین‌ها مدل مکان‌یابی را برای دو حالت در نظرگیری و عدم در نظرگیری ظرفیت برای تعداد مراجعین ارائه داده است. محمدی، پورقیمی و قنبری (۱۳۹۵)، به مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت‌گیری در شهر کازرون پرداختند. این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار GIS و به کمک مدل‌های AHP و تحلیل شبکه انجام شده است.

۳. معرفی مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری FRLM

مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری، جایگاه‌های سوخت را به منظور حداکثرسازی حجم جریانی که با تعداد مشخصی از تسهیلات می‌توان سوخت‌گیری کرد، مکان‌یابی می‌کند. کابی و لیم (۲۰۰۵)، مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری به منظور یافتن مکان بهینه در شبکه مربوط به ایستگاه‌های سوخت‌گیری برای وسایل نقلیه با سوخت جایگزین را مطرح کردند. FRLM بر اساس مدل مکان‌یابی تصرف جریان توسعه داده شده است. از لحاظ ساختاری هر دو مدل شبیه مدل حداکثر پوششی هستند که تعداد مشخصی از تسهیلات را به منظور حداکثرسازی حجم جریان ترافیکی که از تسهیلات عبور می‌کند، مکان‌یابی می‌کنند و بر خلاف اغلب رویکردهای سنتی که بر اساس فاصله میان نقاط مورد تقاضا و تسهیلات است؛ این دو مدل مکان‌های تسهیلات بر اساس جریان میان مبدأ و مقصد را بهینه می‌کند. در واقع تقاضا وابسته به مسیرهای میان مبدأ و مقصد است و به جای نقاط، مسیرها باید پوشش داده شود. FRLM با FCLM در دو مورد اساسی تفاوت دارد:

- اگر مسیر به اندازه کافی طولانی باشد برای اینکه یک جریان تصرف شود، ممکن است چندین تسهیلات (جایگاه سوخت‌گیری) نیاز باشد تا وسیله نقلیه بیش از یک بار سوخت‌گیری کند و سوختش تمام نشود.

- اگر تنها یک ایستگاه سوخت‌گیری در طول یک مسیر نیاز شود، جایگاه باید درون رنج مربوط به مبدأ و مقصد باشد و اگر مسیر نیازمند چند جایگاه باشد نه تنها جایگاه‌ها باید درون رنج مربوط به مبدأ و مقصد قرار گیرد، بلکه فاصله ایستگاه‌ها نیز نباید بیشتر از رنج حداکثری وسیله نقلیه باشد.

این عوامل FRLM را به طور قابل توجهی پیچیده‌تر از FCLM می‌سازد. در واقع FRLM مدل مکان‌یابی تسهیلات است که مکان‌های بهینه برای جایگاه سوخت با توجه به رنج حرکت وسیله نقلیه و حجم جریان در شبکه انتخاب می‌کند.

مفهوم تصرف جریان زیرساختی مناسب را برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سوخت‌گیری فراهم می‌کند، گرچه یک اصلاح اساسی نیاز دارد. برای سوخت‌گیری مجدد وسایل نقلیه با دامنه حرکت محدود، فرض می‌شود که جریان ممکن است به وسیله تسهیل‌کنی که در هر جایی در طول مسیر قرار گرفته، ذخیره شود. مسیرهای کوتاه ممکن است به وسیله یک تسهیل قابل سوخت‌گیری شود اما مسیرهای طولانی‌تر به ترکیب تسهیلاتی که به طور مناسب در طول کوتاه‌ترین مسیر قرار گرفته‌اند نیاز دارند.

کابی و لیم مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح (MILP^۱) را برای FRLM فرمول‌نویسی کردند. اصلی‌ترین ورودی‌های FRLM عبارتند از:

- مجموعه مسیرهای میان مبدأ و مقصد (O-D)
- حجم جریان میان مبدأها و مقصدها
- شبکه جاده‌ای با سرعت متوسط
- حداکثر رنج حرکت وسیله نقلیه
- تعداد ایستگاه‌هایی که باید ساخته شود

برای هر مسیر (O-D)، ابتدا باید کوتاه‌ترین مسیر میان مبدأ و مقصد تعیین شود، سپس تمام ترکیبات مربوط به تسهیلات که می‌تواند مسیر سفر را قابل سوخت‌گیری کند و حجم جریان مربوط به هر ترکیب محاسبه می‌شود. نیکلاس، هندی و اسپرلینگ (۲۰۱۰)، بیان می‌کنند که اساس کار به این صورت است که فرض می‌کنیم هر سفر با نیمی از باک شروع می‌شود مگر اینکه مبدأ دارای تسهیلات سوخت‌گیری باشد که در این صورت باک پر می‌شود، سپس چنانچه سوخت کافی برای حرکت به سمت نقطه مذکور وجود داشته باشد الگوریتم وسیله نقلیه را از مبدأ به نقطه بعدی حرکت

1. Mixed-Integer Liner Program

می‌دهد، در صورتی که الگوریتم به نقطه‌ای با تسهیلات سوخت‌گیری برسد، سوخت باقی‌مانده پر می‌شود و در غیراین صورت نقطه بعدی طوری باید انتخاب شود که بتواند مسافت تا رسیدن به آن نقطه را با سوختی که دارد طی کند و اگر سوخت کافی برای حرکت به نقطه بعدی وجود نداشته‌باشد مسیر قابل سوخت‌گیری نمی‌باشد. زمانی که الگوریتم از مبدأ به مقصد حرکت کند و باز به مبدأ برگردد مسیر بدون تمام شدن سوخت، قابل سوخت‌گیری توسط مجموعه‌ای از تسهیلات است.

چارچ و ریول^۱ (۱۹۷۳)، درباره مسأله مکان‌یابی پوششی حداکثری بیان می‌کنند که چنانچه n شامل جایگاه‌های ساخته شده و در حال ساخت CNG و کلیه مکان‌های کاندید باشد برای محاسبه تعداد زوج مسیرهای q از معادله (۱) استفاده می‌شود:

$$q = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

حجم جریان در هر مسیر با استفاده از میزان مسافتی که وسیله نقلیه طی می‌کند محاسبه می‌شود و برای مسیرهای ترکیبی، فاصله هر مسیر محاسبه می‌شود.

کابی و لیم (۲۰۰۵)، الگوریتمی معرفی کردند که می‌تواند تمام ترکیب‌های ممکن h که می‌تواند مسیر q را سوخت‌رسانی کند محاسبه نماید. برای تعیین ترکیب نقاطی که می‌تواند یک مسیر را قابل سوخت‌گیری کند الگوریتم زیر با ۶ گام اساسی تعریف شده است:

گام ۱: ایجاد کوتاه‌ترین مسیر برای تمامی زوج‌های (O-D) یا همان مبدأ - مقصد. مسیر مذکور با اندیس q نشان داده می‌شود و محاسبه تعداد مسیرهای ممکن با توجه به تعداد نقاط که در فرمول (۱) محاسبه آن بیان شده است انجام می‌گیرد.

گام ۲: انتخاب یک مسیر و ایجاد یک لیست اصلی خالی از تمامی ترکیبات h برای نقاط موجود در مسیرهای q .

گام ۳: حذف ترکیب تسهیلاتی که نمی‌تواند یک وسیله نقلیه با رنج مشخص را در مسیر q قابل سوخت‌گیری کند.

- گام ۱-۳: شروع از نقطه مبدأ مسیر q می‌باشد، اگر تسهیلی در مبدأ وجود دارد مجموع سوخت باقی‌مانده برابر با ظرفیت باک وسیله نقلیه می‌شود، در واقع فرض می‌شود که باک وسیله نقلیه در آنجا پر می‌شود در غیراین صورت در مبدأ مجموع سوخت باقی‌مانده مساوی با نیمی از ظرفیت باک وسیله است.
- گام ۲-۳: به سمت نقطه بعدی در مسیر سفر حرکت، میزان فاصله سفر شده را از مقدار سوخت باقی‌مانده کم و شروط زیر را بررسی می‌کنیم:
- اگر سوخت باقی‌مانده کمتر از صفر بود، قبل از اینکه به نقطه مربوطه برسیم سوخت تمام می‌شود، بنابراین این ترکیب تسهیلات را از لیست مربوط به ترکیبات ممکن برای مسیر q حذف می‌کنیم و به ابتدای گام ۳ برای بررسی ترکیب بعدی، برمی‌گردیم.
 - اگر نقطه مقصد است دو حالت وجود خواهد داشت، حالت اول: اگر نقطه مقصد ایستگاه سوخت‌گیری دارد در این صورت ترکیب مذکور می‌تواند مسیر را قابل سوخت‌گیری کند و آن را در لیست ترکیبات مربوط به مسیر q نگه می‌داریم و به ابتدای گام ۳ می‌رویم و ترکیب بعدی را بررسی می‌کنیم. حالت دوم: اگر نقطه مقصد ایستگاه سوخت‌گیری نداشت، باید مسیر برگشت وسیله نقلیه به سمت مبدأ را بررسی و برای بررسی آن به ابتدای گام ۳-۲ برمی‌گردیم.
 - اگر نقطه مبدأ است، وسیله نقلیه بدون تمام‌شدن سوخت باید برگردد، این ترکیب را در لیست ترکیبات برای مسیر q نگه داشته و به گام ۳ برای بررسی ترکیب بعدی می‌رویم.
 - اگر نقطه ایستگاه سوخت‌گیری دارد، مجموع سوخت باقی‌مانده برابر با ظرفیت باک وسیله نقلیه می‌شود و به ابتدای گام ۳-۲ می‌رویم.
 - در صورتی که هیچ کدام از ۴ حالت فوق برقرار نباشد به ابتدای گام ۳-۲ می‌رویم.
 - گام ۳-۳: چنانچه همه ترکیبات ممکن برای مسیر q بررسی شد به گام ۴ می‌رویم.
 - گام ۴: ترکیباتی که مجموعه مادر از سایر ترکیبات باقی‌مانده هستند در واقع ترکیبات معتبری که یک زیرمجموعه اکید از سایر ترکیبات هستند را حذف می‌کنیم.

گام ۴-۱: ترکیبات را بر اساس شماره نقاط در ترکیبات به صورت نزولی مرتب می‌کنیم، بدین صورت که ترکیباتی با نقاط بیشتر در بالای ترکیبات با نقاط کمتر قرار می‌گیرند.

گام ۴-۲: با اولین ترکیب شروع می‌کنیم، اگر یک مجموعه مادر از سایر ترکیبات بعدی خودش است آن را از لیست ترکیبات مربوط به مسیر q حذف می‌کنیم.

گام ۴-۳: بررسی ترکیب بعدی و تکرار فرایند تا آخرین ترکیب مربوط به مسیر q .

گام ۵: تسهیل k در هر یک از ترکیبات معتبر h و همچنین ترکیب معتبر h برای مسیر q را ثبت می‌کنیم. این روابط در دو مجموعه ضرایب ذخیره می‌شوند. اولی ضریب b_{qh} است که اگر ترکیب تسهیلات h بتواند مسیر q را قابل سوخت‌گیری کند برابر با یک در غیر این صورت صفر است. دومی ضریب a_{hk} است که اگر تسهیل k در ترکیب h باشد برابر با یک در غیر این صورت صفر است. برای تمامی ترکیبات باقی‌مانده در لیست مربوط به مسیر q ، اگر ترکیب از قبل در لیست اصلی مربوط به ترکیبات موجود بود، از مقدار h موجود و مجموع $b_{qh}=1$ استفاده می‌کنیم.

گام ۶: تکرار گام‌های ۲ تا ۵ برای همه مسیرهای q .

۳-۱. مفروضات مدل

- خودروها از نظر سوختی، گستره حرکتی محدودی دارند.
- نرخ مصرف سوخت در هر مایل برای همه مسیرها ثابت است و همه وسایل نقلیه نرخ مصرف و اندازه مخزن یکسانی دارند.
- فرض ۲ باعث می‌شود که میزان سوخت را نه با واحد لیتر بلکه با واحد مسافت اندازه‌گیری نماییم. برای مثال: بگوییم X مایل سوخت در مخزن خودرو موجود است به جای اینکه بگوییم X لیتر سوخت در مخزن خودرو موجود است.
- به دلیل فرض ۲، این مدل برای مسیرهایی مناسب است که پستی و بلندی و سایر عوامل جوی یکسانی دارند تا بتوان نرخ مصرف سوخت را ثابت فرض کرد.

۲.۳. تعریف متغیرها و پارامترهای مدل

q = شاخص مربوط به زوج مسیرهای O-D (کوتاهترین مسیر برای هر زوج)

Q = مجموعه تمام زوج مسیرهای O-D

f_q = حجم جریان در کوتاه‌ترین مسیر میان O-D در مسیر q

y_q = برابر با یک است اگر f_q تصرف شود در غیر این صورت برابر با ۰ است.

k = مکان تسهیل بالقوه

K = مجموعه مربوط به تمامی مکان‌های تسهیلات بالقوه

h = شاخص مربوط به ترکیبات تسهیلات

H = مجموعه مربوط به تمامی ترکیبات تسهیلات بالقوه

b_{qh} = برابر با یک است اگر ترکیب تسهیلات h بتواند مسیر q را قابل سوخت‌گیری کند،

در غیر این صورت برابر با صفر است.

V_h = برابر با یک است اگر همه تسهیلات در ترکیب h باز باشند در غیر این صورت برابر با صفر است.

a_{hk} = برابر با یک است اگر تسهیل k در ترکیب h باشد در غیر این صورت برابر با صفر است.

X_k = برابر با یک است اگر تسهیلی در مکان k قرار گرفته باشد در غیر این صورت برابر با صفر است.

P = تعداد تسهیلاتی که باید مکان‌یابی شوند.

کابی و لیم (۲۰۰۴)، مدل ریاضی FLRM را به شرح زیر بیان کردند:

$$\text{MAX } Z = \sum_{q \in Q} f_q y_q \quad (۲)$$

Subject to:

$$\sum_{h \in H} b_{qh} v_h \geq y_q \quad \forall q \in Q \quad (۳)$$

$$A_{hk} x_k \geq v_h \quad \forall h \in H; k \in K \quad (۴)$$

$$\sum_{k \in K} X_k = P \quad (۵)$$

$$X_k \in \{0,1\} \quad \forall k, h, q \quad (۶)$$

$$0 \leq v_h \leq 1 \quad \forall h \quad (۷)$$

$$0 \leq y_q \leq 1 \quad \forall q \quad (۸)$$

رابطه (۲) مربوط به تابع هدف است که حجم کلی جریان‌ی که می‌تواند سوخت‌گیری شود را حداکثر می‌کند. حجم جریان در هر مسیر (f_q) در هر سفر بر اساس میزان کیلومتری که وسیله نقلیه پیموده است محاسبه می‌شود. محدودیت (۳) الزام می‌دارد که حداقل یک ترکیب تسهیل h معتبر باز باشد تا مسیر q قابل سوخت‌گیری شود. ترکیبات معتبر برای هر مسیر طبق ۶ گام مورد اشاره تعیین می‌شود. ممکن است تنها یک، دو یا تعداد بیشتری ترکیب بتواند کل مسیر را قابل سوخت‌گیری کند. محدودیت (۴)، v_h را صفر نگه می‌دارد مگر اینکه تمامی k تسهیلات در ترکیب h باز باشند. محدودیت (۵)، الزام می‌کند که دقیقاً تعداد p تسهیل باید ساخته شود. متغیر x_k به عنوان متغیر صفر و یک در رابطه (۶) بیان شده است.

گرچه v_h و y_q به عنوان متغیرهای صفر و یک بیان شده‌اند، اما می‌توانند در برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح به عنوان متغیرهای پیوسته با حد بالایی یک در رابطه‌های (۷) و (۸) کاهش داده شوند.

۴. طراحی و اجرای مدل FRLM برای دو مسیر برون شهری تهران

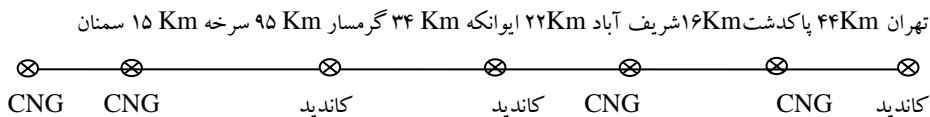
در این بخش مکان‌های مناسب برای احداث جایگاه‌های CNG در دو مسیر خروجی تهران - فیروزکوه و تهران - سمنان مشخص شده است. قابل ذکر است، مکان‌یابی جایگاه‌های برون شهری به ترتیبی طراحی شده است که پوشش لازم در شبکه جاده‌ای برای وسایل نقلیه حاصل گردد. بر اساس اطلاعات شرکت گاز خودرو ایران (۱۳۸۴)، میزان پوشش هر جایگاه در شبکه جاده‌ای، با در نظر گرفتن مسافت پیمایش خودروی طرح یعنی پراید کارخانه‌ای که بحرانی‌ترین وضعیت به لحاظ میزان پیمایش و حجم باک را در میان خودروها دارد، به عنوان خودروی مبنا انتخاب گردید. مطابق مطالعات شرکت گاز خودرو پراید کارخانه‌ای با نرخ مصرف سوخت برون شهری ۶/۱ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر و ظرفیت مخزن ۴۸ لیتر معادل ۱۲ مترمکعب، میزان پیمایش آن حدود ۱۵۰ کیلومتر می‌باشد. طبق برنامه پیش‌بینی شرکت گاز خودرو تعداد ۵ جایگاه باید احداث شود که با شرایط تحریم و مشکل واردات تجهیزات ایستگاه CNG مکان‌یابی و ساخت این ۵ ایستگاه اهمیت ویژه‌ای

دارد این ۵ ایستگاه باید طبق نظر کارشناسان شرکت گاز خودرو در ۵ مسیر اصلی برون شهری استان تهران احداث شود و در هر مسیر نیازمند مکان‌یابی یک ایستگاه هستیم.

۴-۱. تعیین ترکیب تسهیلات قابل سوخت‌گیری در مسیر تهران-سمنان

نام و مشخصات نقاط موجود و کاندید در بزرگراه تهران-سمنان:

۱. تهران ابتدا بزرگراه امام رضا(ع) جنب بانک شهر (مکان کاندید) نقطه A.
۲. جایگاه CNG پاکدشت بزرگراه امام‌رضا ورودی پاکدشت (جایگاه CNG) نقطه B.
۳. جایگاه CNG ولیعصر شریف‌آباد واقع در کیلومتر ۶۰ بزرگراه امام رضا (جایگاه CNG) نقطه C.
۴. پمپ بنزین ایوانکه واقع در کمربندی ایوانکه (مکان کاندید) نقطه D.
۵. گرمسار ورودی گرمسار تقاطع بزرگراه امام رضا و جاده قم - گرمسار (جایگاه CNG) نقطه E.
۶. سرخه واقع در کمربندی سرخه کیلومتر ۲۰۹ بزرگراه امام رضا (جایگاه CNG) نقطه F.
۷. جایگاه CNG سمنان تقاطع بزرگراه امام رضا و جاده خرمشهر (جایگاه CNG) نقطه G.



شکل ۱: نمودار نواری جایگاه‌های CNG موجود و کاندید بزرگراه تهران-سمنان

تعداد زوج مسیرهای موجود در بزرگراه تهران - سمنان (بزرگراه امام رضا(ع)) از رابطه (۱) محاسبه می‌شود که برابر با ۲۱ زوج مسیر می‌باشد. در این مدل باید کوتاه‌ترین مسیر میان دو نقطه در نظر گرفته شود. مجموعه H_1 نشان‌دهنده کلیه ترکیب تسهیلات بالقوه این بزرگراه را که قابل سوخت‌گیری می‌کند، است.

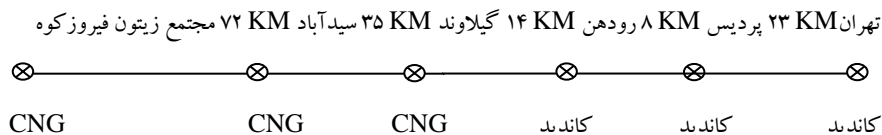
$$H1 = \{ [A]h=1, [B]h=2, [C]h=3, [D]h=4, [E]h=5, [F]h=6, [G]h=7, [A,B]h=8, [A,C]h=9, [A,D]h=10, [A,E]h=11, [B,C]h=12, [B,D]h=13, [B,E]h=14, [C,D]h=15, [C,E]h=16, [D,E]h=17, [D,F]h=18, [D,G]h=19, [E,F]h=20, [E,G]h=21, [F,G]h=22, [B,D,F]h=23, [B,D,G]h=24, [B,E,F]h=25, [B,E,G]h=26, [C,D,F]h=27, [C,D,G]h=28, [A,D,F]h=29, [A,E,F]h=30, [A,D,G]h=31, [A,E,G]h=32, [C,E,F]h=33, [C,E,G]h=34, [C,D,E,F]h=35, [C,D,E,G]h=36, [C,,F,G]h=37, [A,B,D,F]h=38, [A,C,D,F]h=39, [A,D,E,F]h=40, [B,C,D,F]h=41, [B,C,E,F]h=42, [B,D,E,F]h=43, [B,D,E,G]h=44, [A,E,F,G]h=45, [A,D,E,G]h=46, [A,B,D,G]h=47, [B,C,D,G]h=48, [B,C,E,G]h=49, [A,C,D,G]h=50, [A,B,E,G]h=51, [A,B,D,G]h=52, [B,C,D,E,F]h=53, [A,C,D,E,F]h=54, [A,B,C,D,E]h=55, [A,B,C,E,F]h=56, [A,B,C,D,G]h=57, [A,B,C,E,G]h=58, [B,C,D,E,G]h=59, [A,D,E,F,G]h=60, [A,B,C,D,F]h=61, [C,D,E,F,G]h=62, [A,B,C,D,E,F]h=63, [A,C,D,E,G]h=64, [A,B,C,D,E,G]h=65, [A,B,C,D,E,F,G]h=66, [A,B,C,E,F,G]h=67, [A,C,E,F]h=68, [A,C,D,F]h=69, [A,B,D,F]h=70, [A,B,E,F]h=71, [A,B,D,E,F]h=72, [A,C,E,G]h=73, [A,B,D,E,G]h=74, [B,C,D,F,G]h=75, [B,C,E,F,G]h=76, [B,C,D,E,F,G]h=77 \}$$

(۹)

۴-۲. تعیین ترکیب تسهیلات قابل سوخت‌گیری در مسیر تهران - فیروزکوه

نام و مشخصات نقاط موجود و کاندید در مسیر تهران - فیروزکوه عبارتند از:

۱. ابتدای آزادراه تهران پردیس تقاطع آزادراه با جاده دماوند (مکان کاندید) نقطه A.
۲. انتهای آزادراه تهران پردیس ورودی جاده دماوند قبل از آتش‌نشانی بومهن (مکان کاندید) نقطه B.
۳. جاده دماوند نرسیده به دانشگاه آزاد رودهن (مکان کاندید) نقطه C.
۴. جایگاه CNG گیلوند (جایگاه CNG) نقطه D.
۵. ۸۰ کیلومتر جاده فیروزکوه منطقه سیدآباد (جایگاه CNG) نقطه E.
۶. مجتمع زیتون کیلومتر ۱۱۹ جاده فیروزکوه (جایگاه CNG) نقطه F.



شکل ۲: نمودار نواری جایگاه‌های CNG موجود و کاندید در مسیر تهران - فیروزکوه

تعداد زوج مسیرهای موجود در مسیر تهران - فیروزکوه از رابطه (۱) برابر با ۱۵ زوج مسیر می‌باشد. از آنجایی که آزادراه تهران - پردیس سپس جاده دماوند و در نهایت آزادراه فیروزکوه مسیر اصلی می‌باشد، در این مدل باید کوتاه‌ترین مسیر میان دو نقطه در نظر گرفته شود. سایر مسیرها نسبت این مسیر که برای حرکت از تهران به فیروزکوه در نظر گرفته‌ایم، طولانی‌تر هستند. مجموعه H2 نشان‌دهنده کلیه ترکیب تسهیلات بالقوه که مسیر تهران- فیروزکوه را قابل سوخت‌گیری می‌کند، عبارت است از:

$$H_2 = \{ [A]_{h=1}, [B]_{h=2}, [C]_{h=3}, [D]_{h=4}, [E]_{h=5}, [F]_{h=6}, [A,B]_{h=7}, [A,C]_{h=8}, [A,D]_{h=9}, [A,E]_{h=10}, [A,F]_{h=11}, [B,C]_{h=12}, [B,D]_{h=13}, [B,E]_{h=14}, [B,F]_{h=15}, [C,D]_{h=16}, [C,E]_{h=17}, [C,F]_{h=18}, [D,E]_{h=19}, [D,F]_{h=20}, [E,F]_{h=21} \} \quad (10)$$

۳-۴. مدل جریان سوخت‌گیری (FRLM) برای بزرگراه تهران - سمنان

این مسیر دارای ۷ نقطه $\{A, B, C, D, E, F, G\}$ است که با توجه به مدل، ۲۱ مسیر خواهیم داشت. از این ۷ نقطه، ۳ نقطه $\{A, D, E\}$ مکان‌های کاندید و ۴ نقطه $\{B, C, F, G\}$ جایگاه‌های CNG موجود و در- حال ساخت می‌باشند. از میان این ۳ مکان کاندید به دنبال انتخاب یک مکان ($p=1$) جهت احداث جایگاه CNG می‌باشیم. مدل جریان سوخت‌گیری برای بزرگراه تهران - سمنان به شرح زیر می‌باشد:

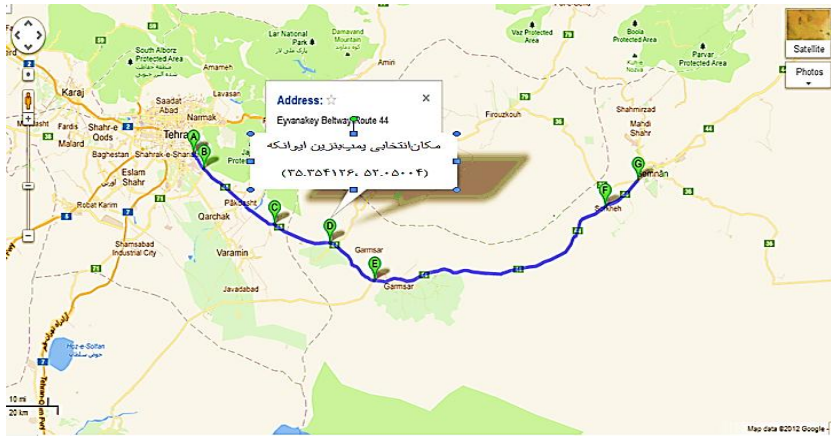
$$\begin{aligned} \text{Max} &= 44*y_1 + 60*y_2 + 82*y_3 + 116*y_4 + 211*y_5 + 226*y_6 + 16*y_7 + 38*y_8 + 72*y_9 + 167*y_{10} \\ &+ 182*y_{11} + 22*y_{12} + 56*y_{13} + 101*y_{14} + 166*y_{15} + 34*y_{16} + 139*y_{17} + 154*y_{18} + 95*y_{19} \\ &+ 110*y_{20} + 15*y_{21}; \\ \text{s.t:} \\ v_1 + v_2 + v_8 &\geq y_1; \\ v_1 + v_2 + v_3 + v_8 + v_9 + v_{12} &\geq y_2; \\ v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{12} + v_{13} + v_{15} &\geq y_3; \\ v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + v_8 + v_9 + v_{10} + v_{11} + v_{12} + v_{13} + v_{14} + v_{15} + v_{16} + v_{17} &\geq y_4; \\ v_4 + v_5 + v_{10} + v_{11} + v_{13} + v_{14} + v_{15} + v_{16} + v_{17} + v_{18} + v_{23} + v_{25} + v_{27} + v_{29} + v_{30} + v_{33} + v_{35} + v_{38} + v_{39} + v_{40} + v_{41} + v_{42} + v_{43} + v_{51} + v_{53} + v_{54} + v_{56} + v_{61} + v_{63} + v_6 + v_{68} + v_{69} + v_{70} + v_{71} + v_{72} &\geq y_5; \\ v_4 + v_5 + v_{10} + v_{11} + v_{13} + v_{14} + v_{15} + v_{16} + v_{17} + v_{18} + v_{19} + v_{20} + v_{21} + v_{23} + v_{24} + v_{25} + v_{26} + v_{27} + v_{28} + v_{30} + v_{31} + v_{32} + v_{33} + v_{34} + v_{35} + v_{36} + v_{38} + v_{40} + v_{41} + v_{42} + v_{43} + v_{44} + v_{45} + v_{46} &\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&v47+v45+v46+v47+v48+ \\
&v49+v50+v51+v52+v53+v54+v56+v57+v58+v60+v61+v62+v63+v64+v65+v66+v67 \\
&+v68+v71+v73+v74+v75+v76+v77 \geq y6; \\
&v2+v3+v12 \geq y7; \\
&v2+v3+v4+v12+v13+v15 \geq y8; \\
&v2+v3+v4+v5+v12+v13+v14+v15+v16+v17 \geq y9; \\
&v4+v5+v13+v14+v15+v16+v17+v18+v20+v23+v25+v27+v33 \geq \\
&y10; \\
&v4+v13+v14+v15+v16+v17+v18+v19+v20+v21+v23+v24+v25+v26+v27+v28+v33+ \\
&v34+ \\
&v41+v42+v43+v48+v49+v53+v59+v75+v76+v77 \geq y11; \\
&v3+v4+v15 \geq y12; \\
&v3+v4+v5+v15+v16+v17 \geq y13; \\
&v4+v5+v15+v16+v17+v18+v27+v33 \geq y14; \\
&v4+v5+v15+v16+v17+v18+v19+v27+v28+v33+v34+v35+v36+v37+v62 \geq y15; \\
&v4+v5+v17 \geq y16; \\
&v4+v5+v17+v18+v20 \geq y17; \\
&v4+v5+v17+v18+v19+v20+v21 \geq y18; \\
&v5+v20 \geq y19; \\
&v5+v20+v21 \geq y20; \\
&v6+v7+v22 \geq y21; \\
&x_A \geq v1; & x_A+x_E+x_G \geq v32; \\
&x_B \geq v2; & x_C+x_E+x_F \geq v33; \\
&x_C \geq v3; & x_C+x_E+x_G \geq v34; \\
&x_D \geq v4; & x_C+x_D+x_E+x_F \geq v35; \\
&x_E \geq v5; & x_C+x_D+x_E+x_G \geq v36; \\
&x_F \geq v6; & x_C+x_D+x_F+x_G \geq v37; \\
&x_G \geq v7; & x_A+x_C+x_D+x_E+x_G \geq v64; \\
&x_A+x_B \geq v8; & x_A+x_B+x_C+x_D+x_E+x_G \geq v65; \\
&x_A+x_C \geq v9; & x_A+x_B+x_C+x_D+x_E+x_F+x_G \\
&x_A+x_D \geq v10; & \geq v66; \\
&x_A+x_E \geq v11; & x_A+x_B+x_C+x_D+x_F+x_G \geq v6; \\
&x_B+x_C \geq v12; & x_A+x_C+x_D+x_F \geq v69; \\
&x_B+x_D \geq v13; & x_A+x_B+x_D+x_F \geq v70; \\
&x_B+x_E \geq v14; & x_A+x_B+x_D+x_F \geq v38; \\
&x_C+x_D \geq v15; & x_A+x_C+x_D+x_F \geq v39; \\
&x_C+x_E \geq v16; & x_A+x_D+x_E+x_F \geq v40; \\
&x_D+x_E \geq v17; & x_B+x_C+x_D+x_F \geq v41; \\
&x_D+x_F \geq v18; & x_B+x_C+x_E+x_F \geq v42; \\
&x_A+x_B+x_C+x_D+x_G \geq v57; & x_B+x_D+x_E+x_F \geq v43;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &x_A+x_B+x_C+x_E+x_G \geq v_{58}; & x_B+x_D+x_E+x_G \geq v_{44}; \\
 &x_A+x_C+x_D+x_E+x_G \geq v_{59}; & x_A+x_E+x_F+x_G \geq v_{45}; \\
 &x_A+x_D+x_E+x_F+x_G \geq v_{60}; & x_A+x_D+x_E+x_G \geq v_{46}; \\
 &x_A+x_B+x_C+x_D+x_F \geq v_{61}; & x_A+x_B+x_D+x_G \geq v_{47}; \\
 &x_C+x_D+x_E+x_F+x_G \geq v_{62}; & x_B+x_C+x_D+x_G \geq v_{48}; \\
 &x_A+x_B+x_C+x_D+x_E+x_F \geq v_{63}; & x_B+x_C+x_E+x_G \geq v_{49}; \\
 &x_A+x_C+x_E+x_F \geq v_{68}; & x_A+x_C+x_D+x_G \geq v_{50}; \\
 &x_D+x_E \geq v_{19}; & x_A+x_B+x_E+x_G \geq v_{51}; \\
 &x_D+x_F \geq v_{20}; & x_A+x_B+x_D+x_G \geq v_{52}; \\
 &x_E+x_G \geq v_{21}; & x_B+x_C+x_D+x_E+x_F \geq v_{53}; \\
 &x_F+x_G \geq v_{22}; & x_A+x_C+x_D+x_E+x_F \geq v_{54}; \\
 &x_B+x_D+x_F \geq v_{23}; & x_A+x_B+x_C+x_D+x_E \geq v_{55}; \\
 &x_B+x_D+x_G \geq v_{24}; & x_A+x_B+x_C+x_D+x_F \geq v_{56}; \\
 &x_B+x_E+x_F \geq v_{25}; & x_A+x_B+x_E+x_F \geq v_{71}; \\
 &x_B+x_E+x_G \geq v_{26}; & x_A+x_B+x_D+x_E+x_F \geq v_{72}; \\
 &x_C+x_D+x_F \geq v_{27}; & x_A+x_C+x_E+x_G \geq v_{73}; \\
 &x_C+x_D+x_G \geq v_{28}; & x_A+x_B+x_D+x_E+x_G \geq v_{74}; \\
 &x_A+x_D+x_F \geq v_{29}; & x_B+x_C+x_D+x_F+x_G \geq v_{75}; \\
 &x_A+x_E+x_F \geq v_{30}; & x_B+x_C+x_E+x_F+x_G \geq v_{76}; \\
 &x_A+x_D+x_G \geq v_{31}; & x_B+x_C+x_D+x_E+x_F+XG \\
 &x_B+x_C+x_D+x_E+x_F+XG=1; & \geq v_{77}; \\
 &v_i \leq 1, \quad i=1,2,\dots,77 & \\
 &x_A, x_D, x_E = 0 \text{ یا } 1 & y_j \leq 1, \quad j=1,2,\dots,21
 \end{aligned}$$

(۱۱)

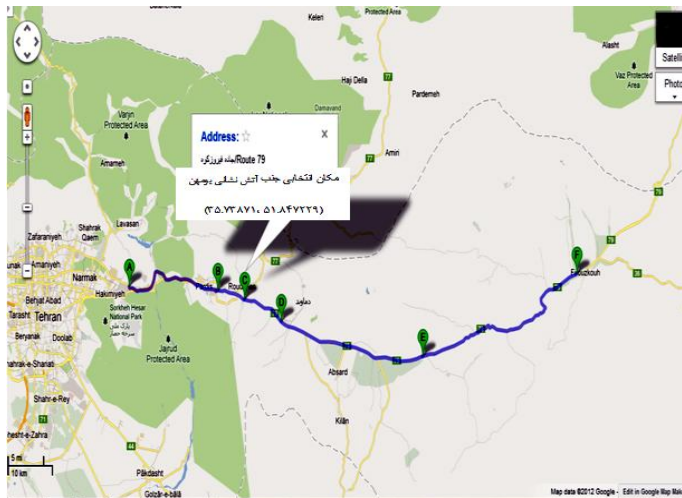
پس از حل مدل توسط نرم‌افزار LINGO، مکان مناسب جهت احداث جایگاه CNG در بزرگراه تهران- سمنان نقطه D با مختصات (۳۵/۵۲، ۳۵/۰۵) می‌باشد. شکل (۳) نشان دهنده نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه‌های CNG و مکان‌های کاندید و مکان انتخابی در بزرگراه تهران- سمنان می‌باشد.



شکل ۳. نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه‌های CNG و مکان‌های کاندید و مکان انتخابی در مسیر تهران - سمنان

۴-۴. مدل جریان سوخت‌گیری (FRLM) برای مسیر تهران-فیروزکوه

این مسیر دارای ۶ نقطه $\{A, B, C, D, E, F\}$ است که با توجه به مدل ۱۵ مسیر خواهیم داشت. از این ۶ نقطه، ۳ نقطه $\{A, B, C\}$ مکان‌های کاندید و ۳ نقطه $\{D, E, F\}$ شامل جایگاه‌های CNG موجود و در حال ساخت می‌باشد. از میان این ۳ مکان کاندید به دنبال انتخاب یک مکان $(p=1)$ برای احداث جایگاه CNG می‌باشیم. پس از طراحی و حل مدل توسط نرم‌افزار LINGO، مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در مسیر تهران- فیروزکوه نقطه B با مختصات $(35/51, 74/85)$ می‌باشد. (شکل ۴) ایستگاه‌های CNG و مکان‌های کاندید و مکان انتخابی در مسیر تهران- فیروزکوه را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه‌های CNG و مکان‌های کاندید و مکان انتخابی در مسیر تهران-فیروزکوه

۵. نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق، مکان‌یابی جایگاه‌های CNG در دو مسیر برون‌شهری شامل مسیر تهران- فیروزکوه و مسیر تهران سمنان با استفاده از مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری بود. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ورودی‌های مدل شامل ایستگاه‌های CNG موجود و در حال ساخت در مسیرهای خروجی تهران، مکان‌های کاندید جهت احداث جایگاه، تعداد جایگاه‌هایی که باید در هر کدام از دو مسیر برون‌شهری تهران احداث شوند، شناسایی خودرو بحرانی طرح و همچنین تعیین فواصل کیلومتری میان جایگاه‌های موجود و در حال ساخت و همچنین نقاط کاندید، مدل FRLM برای هریک از مسیرها طراحی و اجرا شد. نتایج نشان داد مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در مسیر تهران- فیروزکوه واقع در انتهای آزادراه تهران-پردیس ورودی جاده دماوند قبل از آتش‌نشانی بومهن با مختصات جغرافیایی (۳۵/۵۱،۷۴/۸۵) و مکان مناسب برای احداث جایگاه

CNG در بزرگراه تهران - سمنان واقع در پمپ‌بنزین ایوانکه در کمربندی ایوانکه با مختصات جغرافیایی (۳۵/۵۲،۳۵/۰۵) می‌باشد.

با توجه به هزینه بالای احداث جایگاه‌های CNG پیشنهاد می‌گردد از مدل‌های مکان‌یابی برای شناسایی مکان بهینه جهت احداث جایگاه‌ها استفاده شود. مدل پیشنهادی در این تحقیق برای تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث جایگاه‌های CNG در سایر جاده‌های کشور بخصوص جاده‌هایی با مسافت طولانی مناسب است. همچنین می‌توان از مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری برای شناسایی مکان بهینه جهت احداث جایگاه‌های سایر سوخت‌ها مثل بنزین و گازوئیل استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود از مدل جدید^۱ DFRLM که به رانندگان اجازه می‌دهد به منظور سوخت‌گیری از کوتاه‌ترین مسیر منحرف شوند نیز استفاده کرد که این مدل محدودیت حرکت رانندگان الزاماً در کوتاه‌ترین مسیر شناسایی شده را از بین می‌برد.

1. Deviation-Flow Refueling Location Model

منابع

- ذکایی خیرایی، علی (۱۳۸۸)، "مکان‌یابی پمپ بنزین‌ها در نواحی درون شهری"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران.
- باقری، یوسف (۱۳۸۷)، "مکان‌یابی با روش ترکیبی از الگوریتم مورچگان و جستجوی ممنوعه"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده مدیریت.
- زارعی، ابراهیم (۱۳۸۵)، "مکان‌یابی جایگاه‌های عرضه سوخت با استفاده از GIS مطالعه موردی منطقه ۱۷ شهرداری تهران"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
- شرکت گاز خودرو ایران (۱۳۸۴)، طرح جامع مکان‌یابی جایگاه‌های CNG و کارگاه‌های تبدیل در سطح کشور.
- طالبی، جلال (۱۳۸۸)، "مکان‌یابی تسهیلات صنعتی خودروسازی گروه بهمن با استفاده از روش TOPSIS فازی"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده مدیریت.
- محمدی، جمال؛ پورقیومی، حسین و محمد قنبری (۱۳۹۵)، "تحلیل فضایی و مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت‌گیری شهر کازرونک، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۷، شماره ۲۴، صص ۱۰۵-۱۲۰.
- نصیری، علیرضا (۱۳۸۸)، "تحلیل پراکنندگی فضایی و جستجوی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های سوخت CNG شهر قم با رویکرد GIS"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده مدیریت پردیس قم.

Church, R.L. and C. ReVelle (1973), "The maximal Covering location Problem", *Regional Science*, No. 32, pp. 101-118.

Hodgson, M. J. (1990). "A Flow Capturing Location Allocation Model", *Geogr Anal*, Vol.22, pp. 270-279.

Kuby, M. and S. Lim (2005), "The Flow-Refueling Location Problem for Alternative-Fuel Vehicles", *Socio-Economic Planning Sciences*, No. 39, pp. 125-145.

Kuby, M. and S. Lim (2007), "Location of Alternative-Fuel Stations Using the Flow-Refueling Location Model and Dispersion of Candidate Sites on Arcs", *Networks and Spatial Economics*, Vol. 7, No. 2, PP. 129-152.

Kuby, M.; Lines, L.; Schultz, R.; Xie, Z.; Kim, J.G. and S. Lim (2009). "Optimization of Hydrogen Stations in Florida Using the Flow-Refueling Location Model", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 42, PP. 122-139.

Kuby, M.J.; Lim, S. and K. Wang (2004), "A Model For Optimal Location of Hydrogen Refueling Stations: an Arizona Case Study", *Proceedings of the National Hydrogen Association*, 7(2), pp 129–152.

Lin, Z.; Ogden, J.; Fan, Y. and C. Chen (2008), "The Fuel-Travel-Back Approach to Hydrogen Station Siting", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 33, No. 12, PP. 3096–3101.

Melendez, M. and A. Milbrandt (2005), "Analysis of The Hydrogen Infrastructure Needed to Enable Commercial Introduction of Hydrogen-Fueled Vehicles", *National Renewable Energy Laboratory*, Report No. CP-540-37903.

Nicholas, MA.; Handy, S. and D. Sperling (2004), "Hydrogen Refueling Network Analysis Using Geographic Information Systems", *Proceedings of the National Hydrogen Association*, PP. 26–30.

Nicholas, MA.; Handy, SL. And D. Sperling (2010), "Using Geographic Information Systems to Siting Evaluate and Networks of Hydrogen Stations". *Transportation research record*, PP. 126–134.

Upchurch, C.; Kuby, M.J. and S. Lim (2009), "A Capacitated Model for Location of Alternative-Fuel Stations", *Geographical Analysis*, Vol. 41, PP. 85–106.