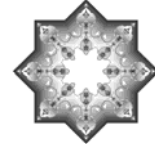




مکان یابی جایگاه های CNG در آزاد راه های برون شهری...

## مکان یابی جایگاه های CNG در آزاد راه های استان تهران با استفاده از مدل ریاضی FRML



عالیه کاظمی<sup>۱</sup>

زهره ساده وند<sup>۲</sup>

از صفحه: ۹ تا ۲۵

تاریخ ارائه: ۹۳/۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۰

### چکیده

انسان در جهت تحمل هزینه کمتر، حصول سود بیشتر و سهولت دسترسی به منابع، مکان فعالیت خود را انتخاب می نماید. یکی از مسائلی که اکثر اوقات در صنعت با آن مواجه هستیم، بهینه کردن مکان مراکز فعالیت است. استفاده از گاز طبیعی فشرده در حمل و نقل به عنوان سوختی پاک در سراسر دنیا در حال افزایش است. با رشد روز افزون وسایل نقلیه در ایران و به دلیل بالا بودن هزینه های احداث جایگاه های CNG، مکان یابی مناسب و بهینه این جایگاه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این تحقیق جایگاه های سوخت CNG در سه آزادراه برون شهری تهران شامل آزادراه های تهران- قزوین، تهران- ساوه و تهران- قم، با استفاده از مدل مکان یابی جریان سوخت گیری، مکان یابی شده است. نتایج نشان داد بهترین مکان برای احداث جایگاه CNG در آزادراه تهران- قزوین واقع در آبیگ با مختصات جغرافیایی (۵۰/۳۶،۵۴/۰۵)، مکان انتخابی در آزادراه تهران- ساوه در پمپ بنزینی واقع در آزاد راه تهران- ساوه با مختصات جغرافیایی (۳۴/۵۰،۹۹۶/۴۲) و بهترین مکان انتخابی در آزادراه تهران- قم در آزاد راه خلیج فارس نرسیده به کمربندی دوم تهران با مختصات جغرافیایی (۳۵/۵۱، ۵۱ /۳۰) می باشد.

**واژگان کلیدی:** رقابت پذیری، مکان یابی تسهیلات، بهینه سازی، مدل مکان یابی جریان سوخت گیری،

گاز طبیعی فشرده.

aliyehkazemi@ut.ac.ir

<sup>۱</sup> استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

z.sadeh@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت پردیس فارابی دانشگاه تهران

## مقدمه

گسترش شهرنشینی و هم‌چنین افزایش جمعیت منجر به ازدیاد خودروها شده است و با گسترش استفاده از خودروها، تامین سوخت مورد نیاز آن‌ها در اولویت فعالیت‌های دولت قرار گرفته است. با توجه به سازگاری سوخت CNG با محیط زیست و ضرورت جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی مایع، مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت CNG نیز به عنوان یک زیرساخت اساسی در این بخش وارد شده است و نیازمند یک برنامه‌ریزی استراتژیک است (Kuby & Lim, 2005, 128). مبنای توسعه و افزایش خودروهای گازسوز، تاسیس جایگاه‌های CNG است. با توجه به کمبود جایگاه‌های عرضه گاز طبیعی فشرده در سطح کشور و به خصوص آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و پرجمعیت و نیز وجود صف‌های طولانی در جایگاه‌های عرضه CNG که حاکی از کمبود جایگاه عرضه گاز طبیعی است و نیز به دلیل بالا بودن هزینه احداث جایگاه CNG، در تحقیق حاضر مساله اصلی، مکان‌یابی جایگاه‌های عرضه CNG است که با استفاده از تکنیک مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری (FRLM<sup>۱</sup>)، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تحقیقات انجام گرفته در مورد مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت اغلب به دو دسته کلی تقسیم می‌شود: مدل‌های سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (GIS<sup>۲</sup>) و مدل‌های تحقیق در عملیات. ایده سیستم اطلاعات جغرافیایی برای اولین بار توسط تام لینسون در سال ۱۹۶۰ مطرح گردید. ملینا روش GIS را که مکان دقیق و اندازه ایستگاه را بر اساس ایده مربوط به متراکم کردن شبکه‌های موجود جایگاه‌های گازوئیل به خوشه‌ها محاسبه 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 (Melina, 2005, 53).

در مدل‌های تحقیق در عملیات، اغلب چند رویکرد برای مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های سوخت‌گیری بکار گرفته می‌شود. یک گروه از تحقیقات، از مدل‌های متنوع میان‌ه‌<sup>۳</sup> استفاده

1 Flow Refueling Location Model  
2 Geographic Information Systems

کرده‌اند، مدل میانه  $p$  برای ایستگاه‌های سوخت، اولین بار توسط گودچایلد و نورون ها در سال ۱۹۸۷ به کار گرفته شد و به عنوان یکی از توابع، در مدل برنامه‌ریزی چند هدفه برای بهینه‌سازی ایستگاه‌ها در شبکه‌های ایستگاه گاز موجود به کار گرفته شد (Melendez et al., 2008, 38). در تحقیقی که توسط نیکلاس و همکاران و نیز توسط نیکلاس و ادن انجام شده است، مدل میانه  $p$  برای سوخت‌های جایگزین، بکار گرفته شده است (Nicholas et al., 2004, 26). لین و همکاران، رویکرد برگشت-سفر سوختی<sup>۱</sup> را مطرح کردند. در این رویکرد تقاضای نقطه  $i$  به جای جمعیت آن نقطه در نظر گرفته شده است و زمان سفر میان نقطه تقاضا  $i$  و مکان تسهیل کاندید  $j$ ، جایگزین فاصله شده است (Lin et al., 2008, 98). دومین رویکرد بکار گرفته شده به منظور مکان‌یابی ایستگاه‌ها در جاده‌هایی با ترافیک سنگین است. علاوه بر تابع هدف میانه  $p$ ، گودچایلد و نورون ها در سال ۱۹۸۷ هدف دومی را که جریان ترافیک در مسیرهایی که از یک ایستگاه می‌گذشت را حداکثر می‌کرد، بیان کردند. ملندز و میلبراندت در سال ۲۰۰۵ جاده‌هایی که روزانه حداقل ۲۰۰۰۰ وسیله نقلیه بر طبق تجزیه و تحلیل‌های GIS مربوط به شبکه ملی جایگاه‌های هیدروژن، از آن‌ها می‌گذشت را بررسی کردند. این رویکرد نشان 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 (Melendez et al., 2008, 34). نیکلاس مدل مربوط به این معیارها تحت عنوان مجموع کیلومتر سفر شده توسط وسیله نقلیه درون منطقه تجمیع شده را اجرا کرد (Nicholas et al., 2010, 35). پینا و همکاران تابع هدفی را معرفی کردند که جمعیت در مسیرهای پوشش داده شده را حداکثر می‌کرد. روش‌های احتساب ترافیک<sup>۲</sup> و یا میزان مایلی که وسیله نقلیه سفر کرده، می‌تواند جایگاه‌ها را در مجاورت مسیرهای مربوط به آزادراه‌های با حجم بالای تردد مکان‌یابی کند (Bapna et al., 2002, 102). سومین رویکرد عمومی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سوخت‌گیری، جریان‌های عبوری را بدون محاسبه کردن مسیر برگشت حداکثر می‌سازد. این رویکرد در ابتدا توسط هودگسون در سال ۱۹۹۰ تحت عنوان مدل مکان‌یابی ذخیره

---

1 p-median model

2 Fuel travel back approach

3 Traffic-count

جریان مطرح شد و بعداً توسط برمن و همکاران در سال ۱۹۹۲ تحت عنوان مدل توقف جریان بیان گردید (Hodgson, 1990, 272). این مدل‌ها تحت عنوان مدل‌های مسیر محور یا جریان تقاضا طبقه‌بندی شده‌اند.

در زمینه مکان‌یابی جایگاه CNG در ایران چندین تحقیق انجام شده است. زارع با استفاده از توابع تحلیلی GIS به مکان‌یابی جایگاه‌های CNG پرداخته است (زارع، ۱۳۷۲، ۴۵). نصیری با استفاده از توابع تحلیلی GIS، مکان بهینه برای احداث جایگاه CNG در شهر قم را شناسایی کرده است (نصیری، ۱۳۸۸، ۸). تحقیق دیگری توسط ذکایی خیرایی با عنوان مکان‌یابی پمپ بنزین‌ها در نواحی درون شهری در دانشگاه صنعتی شریف انجام شده است که با استفاده از یک مدل ریاضی، به انتخاب بهینه چند محل از بین مجموعه نقاط کاندید برای قرارگیری پمپ‌بنزین‌ها می‌پردازد (ذکایی، ۱۳۸۸، ۱۱). اغلب تحقیقات انجام شده در ایران برای مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت، با استفاده از مدل‌های GIS انجام شده است و تعداد معدودی از تحقیقات از مدل‌های تحقیق در عملیات استفاده کرده‌اند. در تحقیق حاضر، مکان‌های کاندید برای احداث جایگاه‌های CNG با استفاده از خروجی‌های مدل‌های GIS تعیین شده‌اند و سپس به عنوان ورودی در مدل ریاضی FRLM استفاده شده است. در ادامه در بخش ۲، مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری معرفی می‌شود. در بخش ۳، مدل پیشنهادی برای یافتن مکان بهینه جهت احداث جایگاه CNG در سه آزادراه برون شهری تهران طراحی و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش ۴، نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

### معرفی مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری FRLM

مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری، جایگاه‌های سوخت را به منظور حداکثرسازی حجم جریان‌ها که با تعداد مشخصی از تسهیلات می‌توان سوخت‌گیری کرد، مکان‌یابی می‌کند. کابی و لیم در سال 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 (FCLM)<sup>۱</sup>، توسعه داده شده است. هر دو مدل از لحاظ

<sup>1</sup>Flow capturing Location model

ساختاری شبیه به مدل حداکثر پوششی هستند که تعداد مشخصی از تسهیلات را به منظور حداکثرسازی حجم جریان ترافیکی که از تسهیلات عبور می کند، مکان یابی می کنند. مفهوم تصرف جریان زیرساختی مناسب را برای مکان یابی ایستگاه های سوخت گیری فراهم می کند، گرچه یک اصلاح اساسی نیاز دارد. برای سوخت گیری مجدد وسایل نقلیه با رنج حرکت محدود، فرض می شود که جریان ممکن است به وسیله تسهیل تکی که در هر جایی در طول مسیر قرار گرفته، ذخیره شود. مسیرهای کوتاه ممکن است به وسیله یک تسهیل قابل سوخت گیری شود اما مسیرهای طولانی تر به ترکیب تسهیلاتی که به طور مناسب در طول کوتاه ترین مسیر قرار گرفته اند نیاز خواهد داشت (Kuby & Lim, 2007, 97). تفاوت اصلی FRLM و FCLM در این است که در FCLM یک جریان ذخیره می شود اگر حداقل یک تسهیل در طول مسیر جریان مکان یابی شده باشد اما در FRLM این امر به طول مسیر و رنج حرکت وسیله نقلیه مفروض بستگی دارد و ممکن است یک یا تعداد بیشتری تسهیلات مورد نیاز باشد تا مسیر قابل سوخت گیری شود. نیاز برای استفاده از ترکیب تسهیلات به منظور پاسخگویی به تقاضا، یک ویژگی منحصر به فرد در میان مدل های مکان یابی تسهیلات است. در FRLM، مجموعه ترکیب هایی که مسیری خاص را قابل سوخت گیری می کند، به طور جداگانه برای هر مسیر بر اساس رنج حرکت وسیله نقلیه و فاصله نقاط در طول مسیر تعیین می شود (Kuby & Lim, 2005, 129).

کابی و لیم مدل برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح را برای FRLM فرمول بندی کردند. اصلی ترین ورودی های FRLM عبارتند از:

- مجموعه مسیرهای میان مبدا و مقصد (O-D)
- حجم جریان میان مبداها و مقصدها
- شبکه جاده ای با سرعت متوسط
- حداکثر رنج حرکت وسیله نقلیه
- تعداد ایستگاه هایی که باید برای هر مسیر (O-D) ساخته شود.

ابتدا باید کوتاه ترین مسیر میان مبدا و مقصد تعیین شود، سپس تمام ترکیبات مربوط به تسهیلاتی که می تواند مسیر سفر را قابل سوخت گیری کند و حجم جریان مربوط به هر ترکیب

محاسبه می‌شود. اساس کار به این صورت است که فرض می‌کنیم هر سفر با نیمی از باک شروع می‌شود مگر این که مبدا 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 مبدا به نقطه بعدی حرکت می‌دهد، در صورتی که الگوریتم به نقطه‌ای با تسهیلات سوخت‌گیری برسد، سوخت باقی‌مانده پر می‌شود و در غیر این صورت نقطه بعدی به گونه‌ای 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 نداشته باشد مسیر قابل سوخت‌گیری نمی‌باشد. زمانی که الگوریتم بتواند از مبدا به مقصد حرکت کند و باز به مبدا برگردد مسیر بدون تمام‌شدن سوخت، توسط مجموعه‌ای از تسهیلات قابل سوخت‌گیری است (Bapna et al., 2002, 267). 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:

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

معادله (۱)

حجم جریان در هر مسیر با استفاده از میزان مسافتی که وسیله نقلیه آن را طی می‌کند محاسبه می‌شود و برای مسیرهای ترکیبی، فاصله هر مسیر محاسبه می‌شود (Church & Revelle, 1973, 106).

الگوریتمی که در ادامه معرفی می‌شود 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 مبدا - مقصد. مسیر مذکور با اندیس  $q$  نشان داده می‌شود و تعداد مسیرهای ممکن با توجه به تعداد نقاط مطابق با فرمول (۱) محاسبه می‌شود.

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 در مسیر  $q$  را قابل سوخت‌گیری کند.

گام ۴: ترکیباتی که مجموعه مادر از سایر ترکیبات باقی مانده هستند در واقع ترکیبات معتبری که یک زیرمجموعه اکید از سایر ترکیبات هستند را حذف می کنیم.

گام ۵: تسهیل  $k$  در هر یک از ترکیبات معتبر  $h$  و همچنین ترکیب معتبر  $h$  برای مسیر  $q$  را ثابت می کنیم. این روابط در دو مجموعه ضرایب ذخیره می شوند. اولی ضریب  $b_{qh}$  است که اگر ترکیب تسهیلات  $h$  بتواند مسیر  $q$  را قابل سوخت گیری کند برابر با ۱ در غیر این صورت ۰ می باشد. دومی ضریب  $a_{hk}$  است که اگر تسهیل  $k$  در ترکیب  $h$  باشد برابر با ۱ در غیر این صورت ۰ می باشد. گام ۶: تکرار گام های ۲ تا ۵ برای همه مسیرهای  $q$  (Bapna et al., 2002, 269).

#### 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 کوتاه ترین مسیر میان O-D در مسیر  $q$

$y_q$  = برابر با ۱ است اگر  $f_q$  تصرف شود در غیر این صورت برابر با ۰ است.

$k$  = مکان تسهیل بالقوه

$K$  = مجموعه مربوط به تمامی مکان های تسهیلات بالقوه

$h$  = شاخص مربوط به ترکیبات تسهیلات

$H$  = مجموعه مربوط به تمامی ترکیبات تسهیلات بالقوه

$b_{qh}$  = برابر با ۱ است اگر ترکیب تسهیلات  $h$  بتواند مسیر  $q$  را قابل سوخت گیری کند در غیر این صورت برابر با ۰ می باشد.

$V_h$  = برابر با ۱ است اگر همه تسهیلات در ترکیب  $h$  باز باشند در غیر این صورت برابر با ۰ می باشد.

$a_{hk}$  = برابر با ۱ است اگر تسهیل  $k$  در ترکیب  $h$  باشد در غیر این صورت برابر با ۰ است.

$X_k$  = برابر با ۱ است اگر تسهیلی در مکان  $k$  قرار گرفته باشد در غیر این صورت برابر با ۰ می باشد.

$P$  = تعداد تسهیلاتی که باید مکان یابی شوند.

مدل FLRM به شرح زیر است:

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

o: Subject to

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

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

$$\sum_{k \in K} x_k = P \quad \text{معادله (۵)}$$

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

$$0 \leq v_h \leq 1 \quad \forall h, \quad \text{معادله (۷)}$$

$$0 \leq y_q \leq 1 \quad \forall q, \quad \text{معادله (۸)}$$

رابطه (۲)، تابع هدف است که حجم کلی جریان‌های 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 گامی که قبلاً ذکر شد، 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 می‌دارد که دقیقاً تعداد  $p$  تسهیل باید ساخته شود. متغیر  $x_k$  به عنوان متغیر ۰ و ۱ در رابطه (۶) بیان شده است. گرچه  $v_h$  و  $y_q$  در تعریف به عنوان متغیرهای ۰ و ۱ بیان شده‌اند، می‌توانند در برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح به عنوان متغیرهای پیوسته با حد بالای ۱ در رابطه (۷) و (۸) کاهش داده شوند (Kuby & Lim, 2004, 28).

### طراحی و اجرای مدل ریاضی FRLM برای آزادراه‌های برون شهری تهران

در این بخش مکان‌های مناسب برای احداث جایگاه‌های CNG در سه آزادراه خروجی استان تهران شامل آزادراه تهران-قم (خلیج فارس)، آزادراه تهران-ساوه و مسیر تهران-قزوین که شامل آزادراه تهران-کرج و آزادراه کرج-قزوین می‌باشد، مشخص شده است. قابل ذکر است، مکان‌یابی



جایگاه‌های برون‌شهری به ترتیبی طراحی گردیده است که پوشش لازم در شبکه جاده‌ای برای وسایل نقلیه حاصل گردد. از آن جا که وسایل نقلیه پس از سوخت‌گیری و با طی یک مسافت معین، نیاز به سوخت‌گیری مجدد دارند، می‌بایست در یک فاصله منطقی امکان دسترسی به جایگاه سوخت‌رسانی را داشته باشند. طبق برنامه پیش‌بینی شده توسط کارشناسان شرکت گاز خودرو برای سال‌های باقی‌مانده افق زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۵ تعداد ۳ جایگاه در ۳ آزادراه مذکور باید احداث شود. در شرایط کنونی کشور و به دلیل تحریم‌های صورت گرفته و مشکل شدن واردات تجهیزات ایستگاه CNG، مکان‌یابی و ساخت این ۳ ایستگاه اهمیت ویژه‌ای دارد.

با توجه به ایجاد پایگاه اطلاعات جغرافیایی جاده‌های کشور، برای شناسایی مکان‌های کاندید، از داده‌های طرح جامع مکان‌یابی شرکت گاز خودرو که توسط GIS انجام شده، استفاده شده است. داده‌های مربوط به جایگاه‌های موجود و در حال ساخت نیز از شرکت گاز خودرو دریافت شده است. فاصله کیلومتری جایگاه‌ها از یکدیگر نیز از سایت Google Maps به دست آمده است.

### تعیین ترکیب تسهیلات قابل سوخت‌گیری در آزادراه تهران- قزوین

نام و مشخصات نقاط موجود و کاندید در آزادراه تهران- قزوین عبارتند از:

- ۱- تهران ابتدا آزاد راه تهران - کرج انتهای اتوبان شیخ فضل‌اله قبل از جناح (مکان کاندید)
  - ۲- ایستگاه گاز ورداورد واقع در کیلومتر ۲۳ آزاد راه تهران-کرج (جایگاه موجود CNG)
  - ۳- ایستگاه گاز حصارک (جایگاه موجود CNG)
  - ۴- آزادراه کرج- قزوین جنب ایستگاه هلال‌احمر محدوده گروه صنعتی ماموت (مکان کاندید)
  - ۵- آبیگ تقاطع آزادراه تهران- قزوین و بلوار امام خمینی آبیگ (مکان کاندید)
  - ۶- انتهای آزاد راه کرج - قزوین تقاطع آزادراه قزوین- زنجان (مکان کاندید)
- تعداد زوج مسیرهای موجود در آزادراه تهران- قزوین با استفاده از رابطه (۱) برابر با ۱۵ زوج مسیر (مبداها و مقصدها) می‌باشد.

مجموعه  $H_1$  که نشان دهنده ترکیب تسهیلات بالقوه‌ای که آزادراه تهران- قزوین را قابل سوخت‌گیری می‌کند، به شرح زیر است.

$$H_1 = \{[A]_{h=1}, [B]_{h=2}, [C]_{h=3}, [D]_{h=4}, [E]_{h=5}, [F]_{h=6}, [A,B]_{h=7}, [A,C]_{h=8}, [A,D]_{h=9}, [A,E]_{h=10}, [A,F]_{h=11}, [B,C]_{h=12}, [B,D]_{h=13}\}$$

$$, [B, E]_{h=14}, [B, F]_{h=15}, [C, D]_{h=16}, [C, E]_{h=17}, [C, F]_{h=18}, [D, E]_{h=19}, [D, F]_{h=20}, [E, F]_{h=21}, [A, B, C]_{h=22}, [A, B, D]_{h=23}, [A, C, D]_{h=24}, [B, C, D]_{h=25}, [A, B, C, D]_{h=26}$$

### تعیین ترکیب تسهیلات قابل سوخت‌گیری در آزادراه تهران - ساوه

نام و مشخصات نقاط موجود و کاندید در آزادراه تهران - ساوه عبارتند از:

- ۱- تقاطع بزرگراه آزادگان با آزادراه تهران - ساوه (مکان کاندید)
  - ۲- کیلومتر ۵ آزادراه تهران - ساوه بعد از عوارضی تهران نرسیده به جاده اسلامشهر (مکان کاندید)
  - ۳- رباط کریم، شرکت مجموعه امداد هفته، واقع در آزادراه ساوه کیلومتر ۱۹ سمت شرق (جایگاه CNG)
  - ۴- پرند، جایگاه کوثر، آزادراه تهران - ساوه بعد از عوارضی دوم سمت راست مقابل دانشگاه آزاد اسلامی (جایگاه CNG)
  - ۵- پمپ‌بنزین واقع در کیلومتر ۶۳ آزادراه تهران - ساوه (مکان کاندید)
  - ۶- جنب پلیس‌راه ساوه مقابل عوارضی ساوه (مکان کاندید)
- تعداد زوج مسیرهای موجود در آزادراه تهران - ساوه برابر با ۱۵ زوج مسیر می‌باشد.
- مجموعه  $H_2$  نشان‌دهنده کلیه ترکیب تسهیلات بالقوه که آزادراه تهران - ساوه را قابل سوخت‌گیری می‌کند، است.

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

### تعیین ترکیب تسهیلات قابل سوخت‌گیری در آزاد راه تهران - قم

نام و مشخصات نقاط موجود و کاندید در آزادراه تهران - قم (آزادراه خلیج فارس) عبارتند از:

- ۱- ابتدای آزادراه خلیج فارس جنب پارک جنگلی افرا (مکان کاندید)
- ۲- آزادراه خلیج فارس نرسیده به بزرگراه کمربندی دوم تهران (مکان کاندید)
- ۳- ایستگاه CNG KIA واقع در فرودگاه امام‌خمينی - جنب تاسیسات آبرسانی (جایگاه CNG)
- ۴- ایستگاه CNG مهتاب واقع در مجتمع رفاهی مهتاب (جایگاه CNG)

۵- ورودی قم جنب مسجد اهل البیت(ع) (مکان کاندید)

تعداد زوج مسیرهای موجود در آزادراه تهران- قم برابر با ۱۰ زوج مسیر (مبدأ- مقصد) می باشد.

مجموعه  $H_3$  نشان دهنده کلیه ترکیب تسهیلات بالقوه که آزادراه تهران- قم را قابل سوخت گیری می کند، است.

$$H_3 = \{ [A]_{h=1}, [B]_{h=2}, [C]_{h=3}, [D]_{h=4}, [E]_{h=5}, [A,B]_{h=6}, [A,C]_{h=7}, [A,D]_{h=8}, [A,E]_{h=9}, [B,C]_{h=10}, [B,D]_{h=11}, [B,E]_{h=12}, [C,D]_{h=13}, [C,E]_{h=14}, [D,E]_{h=15} \}$$

### مدل ریاضی FRLM برای آزادراه تهران- قزوین

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، ۴ نقطه  $\{A, D, E, F\}$  مکان های کاندید و ۲ نقطه  $\{B, C\}$  شامل جایگاه های CNG موجود و در حال ساخت می باشد. از میان این چهار مکان کاندید به دنبال انتخاب یک مکان  $(p=1)$  جهت احداث جایگاه CNG می باشیم. بنابراین مدل FRLM برای تعیین بهترین مکان به شرح زیر است:

$$\text{MAX } Z = 23Y_1 + 49Y_2 + 64Y_3 + 101Y_4 + 160Y_5 + 26Y_6 + 41Y_7 + 78Y_8 + 137Y_9 + 15Y_{10} + 52Y_{11} + 111Y_{12} + 37Y_{13} + 96Y_{14} + 59Y_{15}$$

s.t:

$$V_1 + V_2 + V_7 \geq Y_1$$

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_7 + V_8 + V_{12} \geq Y_2$$

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_7 + V_8 + V_9 + V_{12} + V_{13} \geq Y_3$$

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_8 + V_9 + V_{10} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{16} + V_{17} + V_{19} \geq Y_4$$

$$V_5 + V_6 + V_{10} + V_{11} + V_{14} + V_{15} + V_{17} + V_{18} + V_{19} + V_{20} + V_{21} + V_{22} + V_{23} + V_{24} + V_{25} + V_{26} \geq Y_5$$

$$V_2 + V_3 + V_{12} \geq Y_6$$

$$V_2 + V_3 + V_4 + V_{12} + V_{13} + V_{16} \geq Y_7$$

$$V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{16} + V_{17} + V_{19} \geq Y_8$$

$$V_5 + V_6 + V_{14} + V_{15} + V_{17} + V_{18} + V_{19} + V_{20} + V_{21} + V_{25} \geq Y_9$$

$$V_3 + V_4 + V_{16} \geq Y_{10}$$

$$V_3 + V_4 + V_5 + V_{16} + V_{17} + V_{19} \geq Y_{11}$$

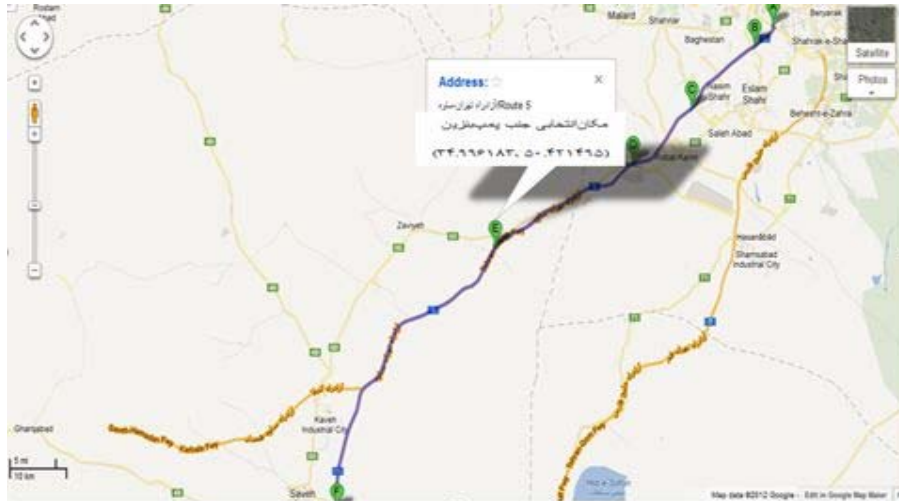
$$V_5 + V_6 + V_{17} + V_{18} + V_{19} + V_{20} + V_{21} \geq Y_{12}$$

$$V_4 + V_5 + V_{19} \geq Y_{13}$$

$$V_5 + V_6 + V_{19} + V_{20} + V_{21} \geq Y_{14}$$

$$\begin{aligned}
 &V_5+V_6+V_{21} \geq Y_{15} \\
 &XA \geq V_1, \quad XB \geq V_2 \\
 &XC \geq V_3, \quad XD \geq V_4 \\
 &XE \geq V_5, \quad XF \geq V_6 \\
 &XA+XB \geq V_7, \quad XA+XC \geq V_8 \\
 &XA+XD \geq V_9, \quad XA+XE \geq V_{10} \\
 &XA+XF \geq V_{11}, \quad XB+XC \geq V_{12} \\
 &XB+XD \geq V_{13}, \quad XB+XE \geq V_{14} \\
 &XB+XF \geq V_{15}, \quad XC+XD \geq V_{16} \\
 &XC+XE \geq V_{17}, \quad XC+XF \geq V_{18} \\
 &XD+XE \geq V_{19}, \quad XD+XF \geq V_{20} \\
 &XE+XF \geq V_{21} \\
 &XA+XB+XC \geq V_{22} \\
 &XA+XB+XD \geq V_{23} \\
 &XA+XC+XD \geq V_{24} \\
 &XB+XC+XD \geq V_{25} \\
 &XA+XB+XC+XD \geq V_{26} \\
 &XB=1 \\
 &XC=1 \\
 &XA+XD+XE+XF=1 \\
 &v_i \leq 1, \quad i=1,2,\dots,26 \\
 &y_j \leq 1, \quad j=1,2,\dots,15 \\
 &XA, XD, XE, XF = 0 \text{ یا } 1
 \end{aligned}$$

پس از حل مدل توسط نرم افزار LINGO، مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در آزادراه تهران- قزوین با مختصات (۵۰/۵۴،۳۶/۰۵) انتخاب شده است. شکل (۱) نشان‌دهنده نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه‌های CNG و مکان‌های کاندید و مکان انتخابی در مسیر تهران- قزوین می باشد.



شکل (۱): نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه های CNG و مکان های کاندید و مکان انتخابی در مسیر تهران- قزوین  
(Maps Google, 2014)

### مدل ریاضی FRLM برای آزادراه تهران- ساوه

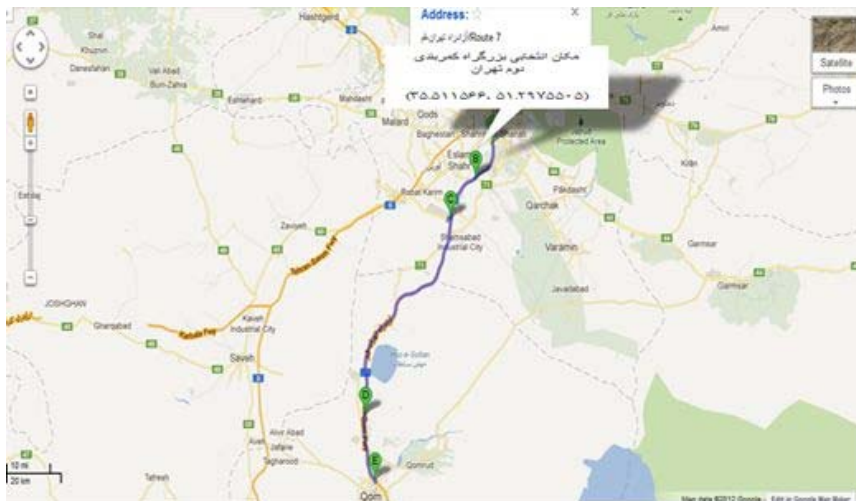
این مسیر دارای ۶ نقطه است که با توجه به مدل ۱۵ مسیر خواهیم داشت. از این ۶ نقطه، ۴ نقطه مکان های کاندید و ۲ نقطه شامل جایگاه های CNG موجود و در حال ساخت می باشد. از میان ۴ مکان کاندید به دنبال انتخاب یک مکان ( $p=1$ ) جهت احداث جایگاه CNG می باشیم. پس از طراحی و اجرای مدل، مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در آزادراه تهران- ساوه با مختصات جغرافیایی (۳۴/۵۰،۹۹۶/۴۲) انتخاب شده است. شکل (۲) نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه های CNG و مکان های کاندید و مکان انتخابی در آزادراه تهران- ساوه را نشان می دهد.



شکل (۲): نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه‌های CNG و مکان‌های کاندید و مکان انتخابی در آزاد راه تهران- ساوه

### مدل ریاضی FRLM برای آزادراه تهران- قم

این مسیر دارای ۵ نقطه است که با توجه به مدل، ۱۰ مسیر خواهیم داشت. از این ۵ نقطه، ۳ نقطه مکان‌های کاندید و ۲ نقطه شامل جایگاه‌های CNG موجود و در حال ساخت می‌باشد. از میان ۳ مکان کاندید به دنبال انتخاب یک مکان ( $p=1$ ) جهت احداث جایگاه CNG می‌باشیم. پس از طراحی و اجرای مدل، مکان مناسب جهت احداث جایگاه CNG در آزاد راه تهران- قم با مختصات (۳۵/۵۱،۵۱/۳۰) انتخاب شده است. شکل (۳) نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه‌های CNG و مکان‌های کاندید و مکان انتخابی در آزادراه تهران- قم را نشان می‌دهد.



شکل (۳): نقشه شماتیک نقاط موجود شامل ایستگاه های CNG و مکان های کاندید و مکان انتخابی در

آزادراه تهران- قم

(Maps Google, 2014)

### نتیجه گیری و پیشنهادها

هدف از این تحقیق، مکان یابی جایگاه های CNG در سه آزادراه برون شهری استان تهران با استفاده از مدل مکان یابی جریان سوخت گیری بود. پس از جمع آوری اطلاعات مربوط به ورودی های مدل شامل ایستگاه های CNG موجود و در حال ساخت در مسیرهای خروجی تهران، مکان های کاندید جهت احداث جایگاه، تعداد جایگاه هایی که باید در هر کدام از سه آزادراه برون شهری تهران طی سال های ۱۳۹۱-۱۳۹۵ احداث شوند، شناسایی خودرو بحرانی طرح و هم چنین تعیین فواصل کیلومتری میان جایگاه های موجود و در حال ساخت و نیز نقاط کاندید، مدل FRLM برای هریک از مسیرها طراحی و اجرا شد. نتایج نشان داد، مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در مسیر تهران- قزوین واقع در آبیگ تقاطع آزادراه تهران- قزوین و بلوار امام خمینی آبیگ با مختصات جغرافیایی (۵۰/۵۴، ۳۶/۰۵)، مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در مسیر تهران- ساوه در پمپ بنزینی واقع در کیلومتر ۶۳ آزادراه تهران- ساوه با مختصات

جغرافیایی (۳۴/۵۰، ۹۹۶/۴۲) و مکان مناسب برای احداث جایگاه CNG در آزادراه تهران- قم در آزادراه خلیج فارس نرسیده به بزرگراه کمربندی دوم تهران با مختصات جغرافیایی (۳۵/۵۱، ۵۱/۳۰) است.

پیشنهاد می‌شود، از این مدل برای تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث جایگاه‌های CNG در سایر جاده‌های کشور به خصوص جاده‌هایی با مسافت طولانی استفاده شود. هم چنین می‌توان از مدل مکان‌یابی جریان سوخت‌گیری برای شناسایی مکان بهینه جهت احداث جایگاه‌های سایر سوخت‌ها مثل بنزین استفاده نمود.

Archive of SID



## منابع

- ۱- زارع، علی اکبر (۱۳۷۲) شناخت چگونگی عملکرد دستگاه های گازرسانی و روش تعمیرات آن ها، قم، شرکت گاز استان قم.
- ۲- ذکایی خیرایی، علی (۱۳۸۸) مکان یابی پمپ بنزین ها در نواحی درون شهری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران.
- ۳- نصیری، علیرضا (۱۳۸۸) تحلیل پراکندگی فضایی و جستجوی عوامل موثر بر مکان یابی بهینه جایگاه های سوخت CNG شهر قم با رویکرد GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده مدیریت پردیس قم.
- 4- Bapna, R., Thakur, LS., Nair SK., 2002, Infrastructure development for conversion to environmentally friendly fuel, *European Journal of Operational Research*, 142(3), 96-480.
- 5- Church, R.L., ReVelle, C., 1973, the maximal covering location problem, *Regional Science*, 32, 101-118.
- 6- Hodgson, MJ. 1990, A flow capturing location allocation model, *Georg Anal*, 270-279.
- 7- Kuby, M.J., Lim, S., 2005, the flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles, *Socio-Economic Planning Sciences*, 39, 125-145.
- 8- Kuby, M.J., Lim, S., 2007, Location of alternative-fuel stations using the Flow-Refueling Location Model and dispersion of candidate sites on arcs, *Netw Spat Econ*, 7(2), 129-52.
- 9- Kuby, M.J., Lim, S., Wang, K., 2004, a model for optimal location of hydrogen refueling stations: an Arizona case study. *Proceedings of the National Hydrogen Association*, Los Angeles, 26-30.
- 10- Lin, Z., Ogden, J., Fan, Y., Chen, C., 2008, the fuel-travel-back approach to hydrogen station sitting, *Int J Hydrogen Energy*, 33(12), 96-101.
- 11- Melina, MW, 2005, Estimating relative station sizes in early hydrogen station networks, *Proceedings of the National Hydrogen Association*, Washington, D.C, 495p.
- 12- Melendez, M., Milbrandt, A., Unnasch, S., Rutherford, D., Hooks, M., 2008, Analysis of the Transition to Hydrogen Fuel Cell Vehicles and the Potential Hydrogen Energy Infrastructure Requirements, ORNL/TM, 530p.
- 13- Nicholas, MA., Handy S., Sperling D., 2004, Hydrogen refueling network analysis using Geographic Information Systems, *Proceedings of the National Hydrogen Association*, Los Angeles, CA, 26-30.
- Nicholas, MA, Handy, SL., Sperling, D., 2010, Using Geographic Information Systems to sitting evaluate and networks of hydrogen stations, *Transp Res Rec*, 126-34.