طراحی مدل علت - معلولی مسئله حوادث وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم

مقاله علمی - پژوهشی

سید جمال‌الدین رضوی‌نسب، دانش‌آموخته دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، گیلان، ایران
حمزه امین طهماسبی*، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی شرق، دانشگاه گیلان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amintahmasbi@guilan.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۳/۰۳/۰۹- پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۰۱
صفحه ۱٤٦-۱۳۱

چکیده

مسئله حوادث در سیستم حمل‌ونقل به‌ویژه وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی در زمان سوخت‌گیری یک معضل جدی است. حوادث ناگوار خصوصاً، انفجار مخزن این خودروها موجب نگرانی در سطوح مختلف جامعه گردیده است. با نگاه پویا به مسئله یادشده در ایران و بررسی متغیرهای مهمی مثل؛ تعداد حوادث، تلفات و خسارات سالیانه ناشی از آن می‌توان بیشتر به اهمیت موضوع پی برد. به‌طورکلی مسئله حوادث CNG ابعاد گوناگونی دارد و یک موضوع چندبُعدی یا چندوجهی دارای پیچیدگی‌های خاص خود است. هدف از این مطالعه، طراحی مدل علت - معلولی مسئله حوادث وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی در ایران با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم است. ابتدا پس از بیان مسئله در طول زمان، با توجه به پیشینه و مصاحبه‌های صورت گرفته چهار دسته عامل اصلی به‌عنوان عوامل یا متغیرهای مهم و اثرگذار لحاظ شده و با توجه به عوامل شکل دهنده هر یک از متغیرها، روابط علت- معلولی استخراج می‌شود. در این راستا سیستم موردبررسی به چندین زیرسیستم یا بخش اصلی تقسیم‌شده و برای هر بخش یا زیر بخش نمودار علت - معلولی ارائه شده است. در پایان پژوهش انجام‌شده سیاست‌های راهبردی بهبوددهنده رفتار متغیرهای اصلی سیستم برای کاهش حوادث در این حوزه از سیستم حمل‌ونقل مانند فعال‌سازی یا راه‌اندازی سازمان متولی با نام سازمان راهبر صنعت CNG پیشنهادشده است.

واژه‌های کلیدی: پویایی‌شناسی سیستم، حوادث CNG، وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی، نمودار علت - معلولی

۱-مقدمه

امروزه دانش پیشگیری و مدیریت بحران یک بخش اساسی و مهمی از مدیریت استراتژیک است که برای کمک به سازمان در مقابله با یک رویداد منفی ناگهانی طراحی شده است. بحران می‌تواند نتیجه یک رویداد با پیامدهای غیرقابل‌پیش‌بینی باشد. هم‌زمان با توسعه و پیشرفت در هر جامعه، میزان حوادث و صدمات ناشی از آن نیز افزایش میابد، به‌طوری‌که هرساله سازمان بهداشت جهانی برای آگاهی از میزان صدمات ناشی از حوادث، آمارهایی را منتشر و برای کاهش آن نیز راهکارهایی را توصیه می‌نماید. از طرفی انرژی یکی از موارد مهم و اساسی در راستای تأمین آسایش و رفاه انسان است (موسوی و پروینی، ۲۰۱٦). در بین شکل های مختلف انرژی، نفت و گاز به‌عنوان سوخت‌های کارآمد و باکیفیت، به‌طور گسترده‌ای در تأمین سوخت شهری، صنایع شیمیایی، تأمین برق، حمل‌ونقل و سایر زمینه‌های صنعتی مورداستفاده واقع می‌شوند (Haghnazarloo et al., 2015). همواره با پیشرفت تکنولوژی و فناوری، افزایش تولید و گسترش حمل ونقل، میزان نیاز به مواد شیمیایی بیشتر می‌شود، به طوری‌که امروزه وقوع حوادث ناگواری که ناشی از رهایش و انفجار مواد شیمیایی و سمی در بخش های مختلف

است، باعث ایجاد خطرات زیادی برای افراد جامعه شده است (کمائی و همکاران ۱۳۹۵) مشکلات زیست محیطی آلودگی هوا، هزینه بالای تهیه سوخت، هزینه کمتر تهیه گاز طبیعی نسبت به بنزین و گازوئیل و نیز منابع محدود نفت در کشورهای مختلف باعث شده است که تمایل به استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت خودروها در سیستم حمل‌ونقل افزایش یابد (امین‌طهماسبی و رضوی‌نسب. ۱٤۰۱). دو دهه از طرح جایگزینی گاز طبیعی فشرده[1] (CNG) به جای بنزین و گازوئیل در سوخت وسایل نقلیه و ایجاد زیرساخت های لازم احداث ایستگاه‌های CNG در ایران می‌گذرد و بر اساس اطلاعات شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی و وزارت صنعت، معدن و تجارت، تولید کارخانه‌ای و تبدیل کارگاهی وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی فشرده تاکنون بیش از چهار میلیون و دویست هزار دستگاه و تعداد ۲۵۰۰ باب ایستگاه سوخت رسانی CNG تا پایان سال ۱٤۰۰ احداث و در حال بهره برداری است (رضوی‌نسب، ۱٤۰۱). تعددی از ایستگاه سوخت‌گیری گاز طبیعی در مجاورت با مناطق پرجمعیت، ساختمان های مسکونی و اداری قرارگرفته‌اند و نشان می‌دهد که مطالعات کافی در این زمینه صورت نگرفته و منبع مخاطراتی را ایجاد می‌کنند که ارزیابی آن همچنان یک تحقیق چالش برانگیز است. از سوی دیگر، فقدان مطالعات برای تعریف معیارهای ریسک قابل قبول برای جوامع مختلف به‌وضوح یک کمبود است (Badri et al., 2015). بررسی حوادث ثبت‌شده مرتبط با CNG در سیستم حمل‌ونقل ایران نشان می‌دهد که طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱٤۰۰ تعداد ۲٦٤ مورد حادثه مرتبط با وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی و ایستگاه های سوخت رسانی صورت پذیرفته که منجر به تعداد ۳٦ نفر فوتی، ۱٦۰ نفر مجروح و ایجاد خسارات مالی به خودروها و تجهیزات سوخت رسانی شده است (رضوی‌نسب، ۱٤۰۱). در نگاه اول به موضوع میزان خسارت جانی و مالی صورت گرفته طی ۱۸ سال نشان می‌دهد؛ میانگین خسارات جانی از هر ۳ حادثه ۲ مجروح و از هر ۷ حادثه یک کشته در برداشته است. جدول ۱ مقایسه‌ای بین حوادث در دو حوزه سوخت بنزین و CNG طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱٤۰۰ را نمایش می‌دهد. علیرغم تعداد دو برابری حوادث بنزین در مقابل CNG تلفات فوتی و جرحی کمتری برای حوادث بنزین ثبت‌شده است. درنتیجه بازتاب منفی حوادث وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی فشرده که در ایستگاه‌های CNG به وقوع می‌پیوندد نیز در جامعه به صورت فزاینده توسعه پیدا نموده به صورتی که بین برخی از مردم و حتی صاحب نظران، وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی فشرده را "بمب متحرک" نامیده اند. این موضوع موجب نگرانی‌هایی از سوی اقشار مردم و سیاست‌گذاران و برنامه ریزان کلان برای توسعه و ترویج این صنعت شده به صورتی که یکی از دلایل مهم عدم تمایل مصرف کننده به استفاده از گاز طبیعی به‌عنوان سوخت جایگزین خودروها در ایران تبدیل‌شده است.

جدول ۱. مقایسه تلفات حوادث بین سوخت CNG و بنزین ۱۳۹۵-۱٤۰۰

شرح	بنزین	CNG
تعداد حوادث گزارش‌شده	۲۷۶	۱۳۸
تعداد نفرات فوتی	۱۲	۱۶
تعداد مجروحین	۷۴	۱۰۳

منبع: شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران

به دلیل ماهیت موضوع از سه منظر؛ ۱) خودرو و تجهیزات منصوب جهت استفاده از گاز طبیعی، ۲) ایستگاه و تجهیزات سوخت رسانی به این خودروها و ۳) نیروی انسانی که خود به دودسته، راننده و سرنشینان خودرو و مدیریت، کارکنان و اپراتورها جایگاه سوخت‌رسانی تقسیم می‌شوند، آمار مشخصی از تفکیک این نوع حوادث در گزارش‌های مختلف از سوی نهادها و یا مؤسسات داخلی و بین المللی ارائه نگردیده است. در این پژوهش با اطلاعات موجود و نظر خبرگان به بررسی و رفع مشکل پرداخته خواهد شد. لذا با توجه به روابط پیچیده حاکم بر متغیرهای مسئله در ایران و با عنایت به اینکه این مسئله از جنس مسائل اجتماعی- انسانی- فرهنگی و اقتصادی است، باید نگاه سیستمی (کل نگر) به این موضوع داشت و با رویکرد سیستمی به این موضوع نگریست و روابط غیرخطی (بازخوردها) و پویایی های بین متغیرها را تا حد ممکن شناسایی کرد. تفکر غیرخطی و نگاه پویا به پدیده ها و پیامدها نقطه مغفول تصمیم‌گیری‌های مدیران در کسب‌وکارها و سازمان‌های تجاری و غیرتجاری است. نادیده گرفتن پویاییِ ذاتی پدیده‌ها منجر به اتخاذ تصمیمات ضعیف و بی‌کیفیتی می‌شود که به‌جای حل یک مسئله، مسائل جدیدی را ایجاد می‌کند و به چالش‌های موجود پروبال می‌دهد. خبر بد این است که تعداد این گونه تصمیم‌ها در سطوح مختلف بنگاه‌ها و سازمان‌های ایرانی کم نیست و حتی در زندگی شخصی‌مان نیز از تبعات تفکر خطی و

ایستا رنج می‌بریم؛ اما خبر خوب این است که تفکر سیستمی[۲] یک مهارت است و بنابراین می‌توان این مهارت را کسب کرد و آن را پرورش داد (امین‌طهماسبی و رضوی‌نسب. ۱۳۹۹). با توجه به اینکه این روش مسئله محور است، روش مناسبی برای تحلیل پویای مسئله یادشده می باشد؛ از سویی دیگر رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها[۳]، امکان آزمودن سیاست‌هایی پیشنهادی باهدف بهبود وضعیت مسئله را فراهم می‌کند.

۲-پیشینه تحقیق

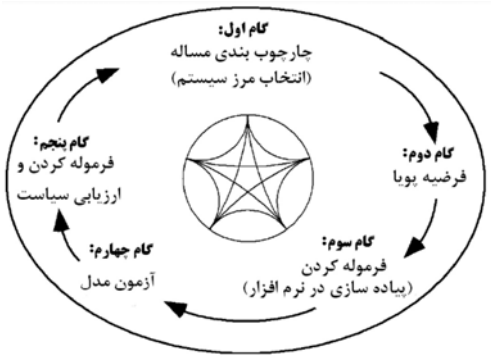
برنامه ریزان و سیاست گذاران حوزه صنعت همواره درصدد کاهش حوادث هستند. وجود اطلاعات‌پایه، اساس برنامه ریزی‌های پیشگیرانه را تشکیل می‌دهد، بنابراین عدم وجود اطلاعات کافی در خصوص علل وقوع حوادث، عاملی بازدارنده برای چنین برنامه ریزی‌هایی است. در این راستا، پایه و اساس کار برای برنامه ریزی حداقل مجموعه داده هایی[۴] (MDS) است که بتوان نیاز سیاست گذاران را برآورده نماید. حداقل مجموعه داده‌ها امکان مقایسه داده‌ها را فراهم آورده و به سازمان اجازه می‌دهد تا مشکل را از سایر مشکلات شناسایی نماید و الزامات دولتی و نیازهای درونی هر سازمان و نهایتاً جامعه را برآورده نماید (عجمی و رضایی، ۱۳۹٤). با توجه به پیچیدگی موضوع و عدم تحقیق با نگرش پژوهش حاضر در ادامه به تحقیقات و گزارش هایی که می‌تواند با موضوع مذکور مرتبط باشد پرداخته شده است. ملابخشی و همکاران (۱۳۸۸) مدل سازی پیامدهای آتش و انفجار در یک ایستگاه سوخت رسانی گاز طبیعی فشرده از نوع سریع را جهت ارزیابی کمی ریسک این واحدها موردبررسی قرار داده است. شیرالی و نعمت‌پور (۱۳۹۷) در بررسی مدل پیامد انتشار گاز متان دریکی از ایستگاه‌های سوخت CNG شهر اهواز، برای جلوگیری از ایجاد حوادث و اقدامات پیشگیرانه و کنترلی جهت کاهش آسیب به انسان و تجهیزات و اموال ضمن استفاده از برنامه های ارزیابی ریسک در این زمینه، ساخت ایستگاه های سوخت‌رسانی درون شهرها را منوط به رعایت دقیق استانداردهای ایمنی دانسته است. صادقی یارندی و کریمی (۱۳۹۷) ارزیابی پیامد حریق و انفجار مخازن گاز متان در یک ایستگاه توزیع CNG را بررسی و چهار سناریوی مختلف را مورد ارزیابی قرار داده و آنها را با استفاده از نرم‌افزار PHAST، مدل‌سازی نموده و پیامدهای محتمل هرکدام را مورد ارزیابی قراردادند. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۸) مدل سازی حریق و انفجار یک دستگاه کمپرسور در ایستگاه سوخت‌رسانی CNG را پس از ارزیابی ریسک به روش Hazop[۵] و تحلیل آن، با استفاده از نرم‌افزار PHAST اجرا نمودند. نتایج نشان داد که متغیرهای رطوبت، فشار و نشت گاز از کمپرسور دلیل بیشترین پیامدها در کمپرسور هستند. اسکندری و همکاران (۱۳۹۸) کاربرد رویکردی جامع و پویا به منظور تحلیل ایمنی ایستگاه های CNG را با استفاده از تکنیک FMEA[۶] شناسایی می‌کند. بر این اساس، نشت گاز توزیع‌کننده به‌عنوان بحرانی‌ترین خطر در ایستگاه شناسایی شد. فرهی آشتیانی و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی نشان می‌دهند فرهنگ ایمنی با سایر متغیرهای موردمطالعه مشتمل بر سن کارکنان، تجربه حادثه در گذشته، سابقه کاری، نوع کار و میزان تحصیلات رابطه معناداری وجود دارد. امین طهماسبی و رضوی‌نسب (۱۳۹۸) راهکارهای بهبود استفاده سوخت CNG در صنعت حمل‌ونقل با در نظر گرفتن افزایش رضایتمندی و رفاه عمومی توسط نگاشت نقشه با رویکرد تحلیل و توسعه گزینه های استراتژیک[۷] (SODA) را ارائه نموده‌اند. راستی‌مهر و همکاران (۱۳۹۹) مدل‌سازی پیامدهای آتش و انفجار در جایگاه سوخت CNG واقع در استان اصفهان با استفاده از نرم افزار ALOHA را انجام دادند و نتیجه گیری نمودند که خطرناک ترین سناریو با توجه به نمودارهای خروجی، حریق فورانی[۸] می‌باشد که علاوه بر جایگاه CNG، منطقه پارکینگ شهرداری را نیز درگیر می‌کند.

پروین و کردرستمی (۲۰۱٤) مدل سازی یکی از حوادث رخ‌داده در آزادشهر استان گلستان در زمستان ۱۳۸۹ را انجام داده و نکات و توصیه‌های مفیدی مانند حداقل فاصله ایمن از مرکز گسیختگی بسته به پیامدهایی مانند فشار بیش ازحد، انواع آتش سوزی، یا انتشار مواد سمی ارائه دادند که می‌تواند افراد را از حوادث ناگوار بازدارد و یا به‌گونه‌ای اتخاذ کرد که از شدت حوادث احتمالی کاسته شود. باریها[۹] و همکاران (۲۰۱٦) یک حادثه مربوط به یک تانکر کامیون گاز مایع[۱۰] (LPG) در کانورکرالا[۱۱] هند را با نرم‌افزارهای موقعیت مکان‌های جوی خطرناک[۱۲] (ALOHA) و تحلیل خطر فرآیند[۱۳] (PHAST) مدل‌سازی و شبیه‌سازی نمودند و سناریوی تصادف نتایج اثرات سناریوی گلوله آتشین در مقایسه با سناریوی آتش جت قابل‌توجه‌تر دانستند. خان[۱٤] و همکاران (۲۰۱٦) تعداد ۵۵ حادثه مربوط به CNG در پاکستان که منجر به بیش از ۲۵۰ تلفات شد را موردبحث قرار نمودند. علل این حوادث را تجزیه‌وتحلیل و

دستورالعمل‌هایی را استخراج کردند که یکی از نتایج آن استفاده از مواد باکیفیت در ساخت مخازن CNG و انجام نگهداشت و تعمیرات لازم است که باید آموزش داده شود. تو[۱۵] و همکاران (۲۰۲۱) خطرات انفجار وسایل نقلیه با سوخت گاز مایع و هیدروژن را با نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی[۱۶] (CFD) شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری نمودند هنگام سرویس‌دهی به وسایل نقلیه با سوخت گاز در تعمیرگاه‌ها، سیستم‌های مهندسی آتش‌نشانی فعال مناسب موردنیاز است. چای[۱۷] و همکاران (۲۰۲۱) یک حادثه ترکیدگی مخزن گاز که در زمان تعمیر و نگهداری اتوبوس گاز طبیعی مایع[۱۸] (LNG) در چین رخ داد را بررسی و تجزیه وتحلیل نمودند. نتایج نشان داد که مخزن نصب‌شده روی اتوبوس تحت‌فشار داخلی بیش‌ازحد قرارگرفته است. هو[۱۹] و همکاران (۲۰۲۲) تجزیه‌وتحلیل‌های ردیابی، بررسی شکست را در مورد نشت و انفجار گاز طبیعی معمولی یک مخزن گاز که در شمال شرقی چین رخ داد و منجر به کشته شدن ۵ و مجروح شدن ۵۲ نفر شد را با روش معادل تی‌ان تی[۲۰] انجام داده و راهنمایی‌های علمی برای بررسی چنین حوادث و ارزیابی اثرات انفجار آن را ارائه نمودند. تروفیمنکو[۲۱] و همکاران (۲۰۲۲) علل بروز شرایط اضطراری، اقدامات پیشگیری از حوادث مربوط به وسایل نقلیه موتوری در حال کار با سوخت CNG و هیدروژن فشرده و الزامات سیستم‌های هوشمند برای نظارت و پیشگیری از حوادث و بلایای ناشی از نشت گازهای قابل‌احتراق این موتورها را از روش ساخت و تجزیه‌وتحلیل درخت خطا[۲۲] (FTA) موردبحث قراردادند. کوتنیوم[۲۳] و همکاران (۲۰۲۲) اتوبوس آتش‌گرفته با سیستم CNG در تایلند را موردبررسی قرار داده و اقدامات پیشنهادی مانند، سرعت کنترل شده باGPS[۲۴]، تعیین مناطق استراحت و معاینه فنی دوره‌ای برای جلوگیری از حوادث ترافیکی اتوبوس‌های گازسوز را ارائه نموده‌اند. نگاهی به پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص حوادث وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی فشرده در داخل و خارج از کشور نشان می‌دهد مدل سازی و تمرکز هر تحقیق غالباً روی یک حادثه به وقوع پیوسته صورت گرفته و راهکارهای هرکدام بررسی و ارائه‌شده است. پژوهش حاضر با نگاهی جامع به کل حوادث و تلفات جانی و مالی به وقوع پیوسته مدل علت – معلولی را طراحی نموده که برای ارتقای بخش پیشگیری، مهم‌ترین سیاست‌های مؤثر راهبردی مدیریت بحران را پیشنهاد نموده است.

۳-روش تحقیق

نوع پژوهش توصیفی آمیخته، بر مبنای پژوهش کیفی و کمّی و از نوع پژوهش‌های قیاسی استقرایی است. این پژوهش ازنظر هدف کاربردی و از حیث گردآوری اطلاعات در گروه پژوهش‌های پیمایشی است. در این تحقیق برای پوشش مباحث نظری پژوهش، کتب تخصصی، عمومی، مقالات و نشریات تخصصی، اسناد و مدارک موجود در سازمان‌ها و همچنین برای جمع‌آوری داده‌های میدانی از مصاحبه و بهره‌گیری از نظرات افراد خبره استفاده شده است. جامعه آماری پژوهش حاضر خبرگان، متشکل از اساتید دانشگاه، مدیران و کارشناسان ارشد متخصص شرکت‌های مرتبط با صنعت CNG در بخش‌های دولتی و خصوصی که بر اساس میزان تجربه بالای ۱۰ سال و تحصیلات فوق لیسانس و بالاتر بودند که با استفاده از روش دلفی[۲۵] و بر اساس اصل کفایت نظری ۲۲ نفر از آنان به عنوان اعضای نمونه انتخاب شدند. ابزار گردآوری اطلاعات در بخش کیفی مصاحبه با خبرگان که تا سر حد اشباع اطلاعات و نیل به‌کفایت نظری بررسی و در بخش کمّی از رویکرد پویایی شناسی سیستم که مبتنی بر تفکر سیستمی است و کاربرد خود را در انواع تحقیقات مرتبط با سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی[۲۶] به‌خوبی نشان داده (Garcia et al., 2020) استفاده‌شده است. مراحل فرایند مدل‌سازی با رویکرد پویایی‌های سیستم بر اساس روش‌شناسی استرمن[۲۷]، شامل بیان مسئله (انتخاب مرز مدل)، ارائه فرضیه پویا یا روابط علت و معلولی متغیرهای کلیدی مدل (مدل عِلّی – معلولی)، فرموله کردن مدل، آزمون مدل و طراحی سیاست به‌صورت شکل ۱ است.



شکل ۱. فرآیند مدل‌سازی پویایی‌های سیستم (استرمن، ۲۰۰۰)

در این پژوهش با توجه به پیچیدگی مسئله موردبررسی (تعداد بالای متغیرها و روابط بین آن‌ها) از میان گام‌های یادشده، به اجرای دو گام اول (بیان مسئله، ارائه حلقه‌های عِلّی و فرضیه های پویا) اکتفا شده و از گام پایانی فقط سیاست های بهبودی پیشنهادی بر اساس نظر خبرگان بیان شده است.

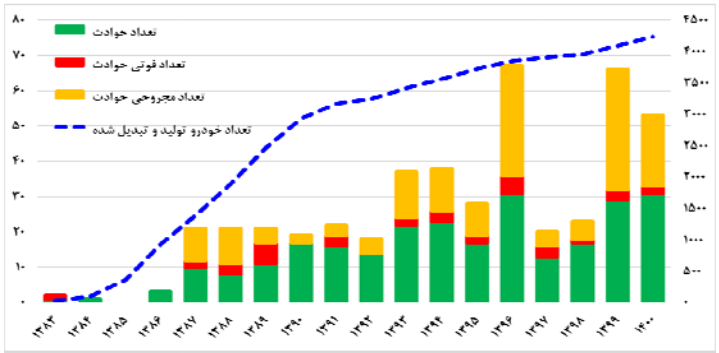
سؤال‌های پژوهش

- مسئله اصلی پویای مطرح در بحث حوادث CNG ایران چیست؟
- چه زیرسیستم های مهمی در سیستم حوادث CNG ایران مطرح هستند؟
- حلقه های علت – معلولی یا نمودار علت و معلولی به وجود آورنده مسئله چه هستند؟ (روابط علت و معلولی بین متغیرهای مدل کدامند؟)
- حلقه‌های علت – معلولی مرتبط با بخش کمیت و کیفیت نیروی انسانی اپراتور جایگاه چه هستند؟
- حلقه های علت – معلولی مرتبط با بخش وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی چه هستند؟
- حلقه‌های علت – معلولی مرتبط با بخش فرهنگ و آموزش چه هستند؟
- حلقه های علت – معلولی مرتبط با بخش سازمان راهبر چه هستند؟
- حلقه‌های علت – معلولی مرتبط با بخش بودجه چه هستند؟ –حلقه های علت – معلولی مرتبط با بخش کمیت و کیفیت تجهیزات جایگاه سوخت چه هستند؟

–راهکارها و سیاست های مدیریتی و راهبردی بهبود وضعیت فعلی مسئله حوادث CNG کدامند؟

نحوه تدوین داده‌ها و مدل‌سازی: ترسیم یا تدوین مدل علت – معلولی در فضای نرم افزار ونسیم و با توجه به مستندات و منطق‌های موجود انجام‌شده است.

بیان مسئله پویا: در این پژوهش مسئله پویای حوادث و سوانح CNG ایران مبتنی بر متغیرهای مهم شامل؛ تعدد حوادث، تعداد وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی فشرده تولید و تبدیل شده، کشته شدگان و مجروحین براثر حوادث به وقوع پیوسته (گزارش‌های شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی ایران) مطرح می شود. برای بیان مسئله به شکل پویا، یک بازه زمانی مناسب ۱۸ ساله (۱۴۰۰–۱۳۸۳) مدنظر قرارگرفته شده است. در شکل ۲، نمودار وضعیت تعداد حوادث و تلفات جانی و جرحی CNG به همراه روند تولید و تبدیل وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی ایران در طول زمان با متغیرهای مهم یادشده را نشان می‌دهد. نمودار ۲، نشان می دهد که با افزایش نسبی وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی فشرده، بر وضعیت تلفات حوادث در ایستگاه‌های سوخت CNG تأثیر مستقیم ندارد. اگرچه شرایط موجود حاصل تلاش افراد و سازمان‌های درگیر در مسئله و اعمال سیاست های بهبوددهنده است؛ اما همچنان نگرش عموم جامعه از جهت نگرانی خطرات این خودروها تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد. لذا همچنان به تلاش بیشتر در اعمال سیاست‌های بهبودی راهبردی نیاز جدی است.



شکل ۲. نمودار تعداد حوادث و تلفات جانی و جرحی CNG (رضوی‌نسب، ۱۴۰۱)

مصاحبه های اولیه باهدف شناسایی عوامل و مداخلات

مرتبط با مسئله: هدف این بخش رسیدن به درک جامع و روشن از موضوع حوادث CNG است. این حوادث ابعاد گوناگونی دارد و یک موضوع چندبعدی است. در این بخش سعی شده است که با بررسی مهم‌ترین متون داخلی و خارجی مرتبط با حوزه حوادث CNG و مصاحبه‌های انجام‌شده، ابعاد آن شناسایی شود. برای انجام مدل‌سازی به کمک تکنیک پویایی‌شناسی سیستم‌ها، رسیدن به این درک و سپری کردن این

مراحل ضروری است. مسئله حوادث CNG در ایران یک معضل جدی است؛ بنابراین باید مشکلات و چالش‌های موجود در کشور که زمینه‌ساز این معضل هستند، شناسایی شوند. در این راستا پژوهشگر اقدام به انجام مصاحبه با تعدادی از صاحب‌نظران و خبرگان این حوزه نمود. همه مصاحبه‌های انجام‌شده در بازه زمانی بهمن ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ۱۴۰۱ صورت گرفت. تعداد مصاحبه شوندگان ۲۲ نفر بود که تعداد ۱۲ نفر از کارشناسان ارشد تبدیل ناوگان، طراحی مهندسی، بهره برداری و تعمیرات، بازرسی فنی، ایمنی و بهداشت شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی، ۵ نفر از پژوهشگران و صاحب نظران حوزه حوادث و از استادان دانشگاه، ۲ نفر از مدیران تبدیل کارگاهی خودروها، ۱ نفر از کارشناسان فنی وزارت صنعت، معدن و تجارت کشور در حوزه حمل‌ونقل خودروهای گازسوز، ۱ نفر از مدیران اسبق صنعت خودرو و ۱ نفر کارشناس فنی از وزارت راه و شهرسازی هستند. ترکیب جنسیتی این مصاحبه شوندگان ۱ نفر زن و ۲۱ نفر مرد بود. جدول ۲ نتایج تحلیل مصاحبه ها به همراه برخی از مهم‌ترین نقل‌قول‌های خبرگان در مورد چالش‌های سیاست‌گذاری کنترل حوادث CNG در سیستم حمل‌ونقل آورده شده است. خلاصه‌ای از مطالب استخراج‌شده و نتایج تحلیل مصاحبه‌ها به همراه برخی از مهم‌ترین نقل‌قول‌های خبرگان در خصوص چالش‌های فنی کنترل حوادث CNG مرتبط با حمل‌ونقل در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲. خلاصه مطالب استخراج‌شده از مصاحبه‌ها در مورد چالش‌های سیاست‌گذاری کنترل حوادث CNG

چالش‌ها	زیر چالش‌ها
ضعف حاکمیتی	نبود یک سازمان راهبر (حاکمیتی)؛ عدم یکپارچگی؛ شفاف نبودن وظایف؛ نبود نقشه راه.
نبود سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد	تصویب قوانین با نگاه غیر کارشناسانه؛ تصمیم‌گیری بدون استفاده نتایج پژوهش‌ها
ضعف رویکرد پیشگیرانه	اقدامات واکنشی و دفعی برای کنترل حوادث؛ توجه نکردن به فرهنگ‌سازی؛ تمرکز بر پیامدها برای کنترل حوادث.
ضعف‌های اطلاعاتی	نبود داده‌های معتبر (برای تصمیم‌گیری)؛ ثبت غیردقیق داده‌ها.

منبع: یافته‌های پژوهش

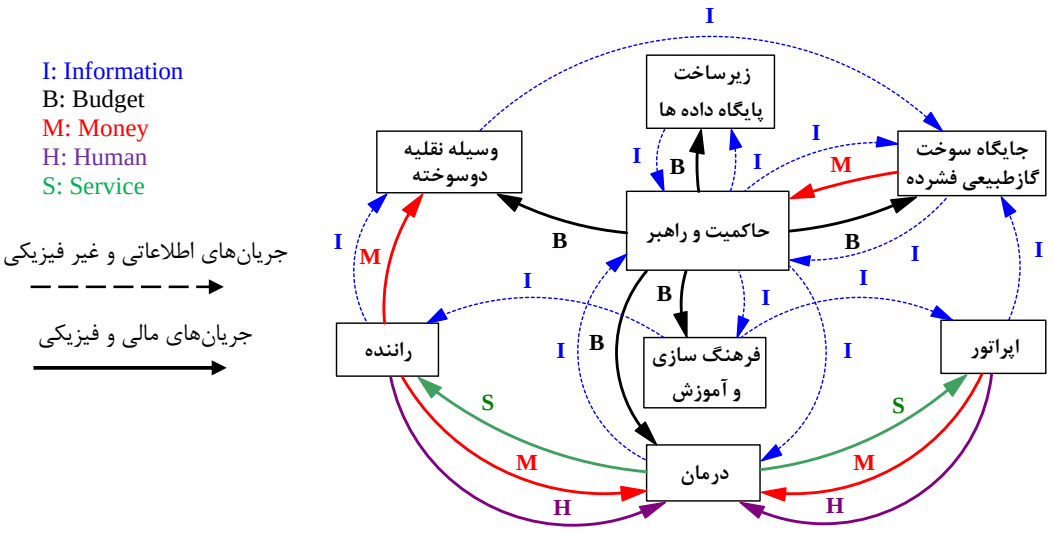
جدول ۳. خلاصه مطالب استخراج‌شده از مصاحبه‌ها در مورد چالش‌های فنی کنترل حوادث

چالش‌ها	زیر چالش‌ها
چالش‌های مربوط به تجهیزات ایستگاه‌ها	اختصاص ندادن بودجه مناسب به تجهیزات فرسوده.
چالش‌های خودرویی	کیفیت پایین و به‌روز نبودن استانداردها؛ خودروهای فرسوده
چالش‌های معاینه فنی خودروها	پوشش ضعیف معاینه فنی؛ استفاده نکردن از کارشناسان فنی متخصص.
چالش اپراتور ایستگاه	عدم آموزش مناسب، عدم رعایت دستورالعمل‌ها.
چالش‌های رانندگان و سرنشینان	سوخت‌گیری غیرمجاز راننده؛ عدم پیاده شدن سرنشینان در زمان سوخت‌گیری

منبع: یافته‌های پژوهش

یکی از نتایج مصاحبه یادشده همراه با بررسی مستندات و پیشینه را می توان در قالب شناسایی متغیرهای اصلی مرتبط با حوادث CNG در ایران ارائه کرد. این متغیرها که برای انجام مدل‌سازی از آنها استفاده خواهد شد در چهار دسته عامل انسانی، عامل وسیله نقلیه، عامل تجهیزات سوخت رسانی جایگاه CNG و عامل مدیریتی سیاستی قرار می گیرند. استخراج روابط علت – معلولی و شناسایی زیرسیستم های مدل در این پژوهش با محوریت این چهار عامل و زیر عامل های آن‌ها (به دلیل تعداد زیاد زیر عامل‌ها از آوردن آن‌ها خودداری شد) است.

ساختار کلی مدل پویایی سیستم طراحی شده (نمودار زیرسیستم) روابط درون بخشی زیرسیستم‌های سیستم حوادث در شکل ۳، آورده شده است.



شکل ۳. روابط درون بخشی زیرسیستم‌های سیستم حوادث CNG (یافته‌های پژوهش)

قلمروی زمانی و مرز سیستم: افق زمانی در نظر گرفته‌شده برای بیان مسئله در این پژوهش، یک دوره‌ی ۱۸ ساله است. در این پژوهش، مرز جغرافیایی سیستم، کشور ایران و نوع حوادث لحاظ شده در ایستگاه‌های سوخت CNG است. بر این اساس، اطلاعات موردنیاز این پژوهش از بررسی مبانی نظری و پیشینه پژوهش، مستندات موجود، مصاحبه‌های صورت گرفته با خبرگان حاصل شده است. جدول ٤، مرز سیستم را نشان می‌دهد.

جدول ٤. مرز مدل (سیستم)

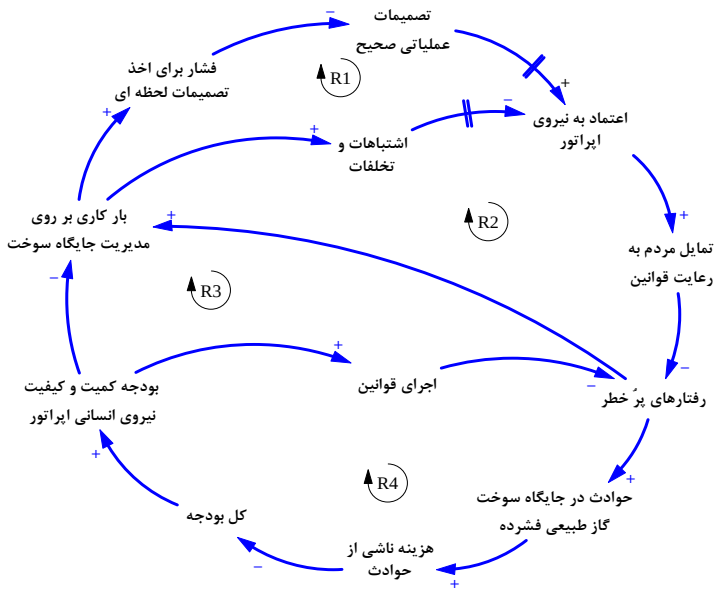
نمونه‌ای از متغیرهای درون‌زا	متغیرهای برون‌زا
احتمال وقوع مرگ‌ومیر، جراحت تعداد حوادث	درآمد دولت
تعداد وسایل نقلیه قدیمی و تعداد وسایل نقلیه جدید	سایر هزینه‌های دولت
وضعیت تجهیزات و میزان کیفیت آن‌ها	بودجه‌ی تخصیص‌یافته به بخش پیشگیری
آگاهی مردم و اتحادیه‌های مربوطه	وضعیت حوادث و کلیه‌ی متغیرهای مرتبط با آن در سایر کشورها
	کیفیت ماشین‌های تولیدی؛
و غیره	کیفیت تجهیزات ایستگاه‌های جدید احداث‌شده؛
	کیفیت بازرسی استاندارد

منبع: یافته‌های پژوهش

٤-یافته‌های پژوهش

نمودارهای علت و معلولی مرتبط با زیرسیستم ها. در این بخش در پاسخ شش سؤال فرعی مربوط به سؤال اصلی دوم، نمودارهای علی- معلولی ارائه می‌شود.

نمودار علت و معلولی بخش کمیت و کیفیت نیروی انسانی کارکنان جایگاه سوخت CNG. در شکل ٤ که مربوط به بخش کمیت و کیفیت نیروی انسانی کارکنان جایگاه سوخت CNG، از زیرسیستم کارکنان است. روابط بین متغیرهای اصلی در قالب چهار حلقه تقویت‌کننده نمایش داده‌شده است.



شکل ٤. نمودار علت و معلولی بخش کمیت و کیفیت نیروی انسانی

حلقه تقویت‌کننده R4 نشان می‌دهد که با افزایش رفتارهای پرخطر، حوادث در ایستگاه های سوخت CNG نیز افزایش خواهد یافت؛ به دنبال افزایش حوادث، هزینه های مربوط به آن نیز افزایش می یابد، افزایش هزینه‌های ناشی از حوادث از بودجه کل کاسته و از این طریق به کاهش بودجه کمیت و کیفیت نیروی انسانی اپراتور منجر خواهد شد. با کاهش این بودجه قوانین به صورت اثربخش اجرا نمی‌شود و عدم اجرای قوانین درنهایت افزایش رفتارهای پرخطر را به دنبال دارد.

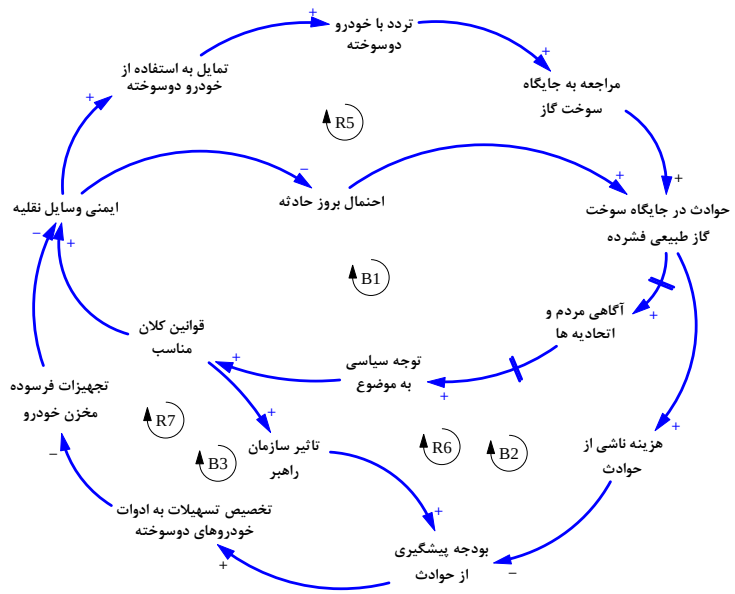
نمودار علت و معلولی بخش وسایل نقلیه (خودرو).

در شکل ٥ که مربوط به بخش خودرو از زیرسیستم وسایل نقلیه است، روابط بین متغیرها نشان داده‌شده است.

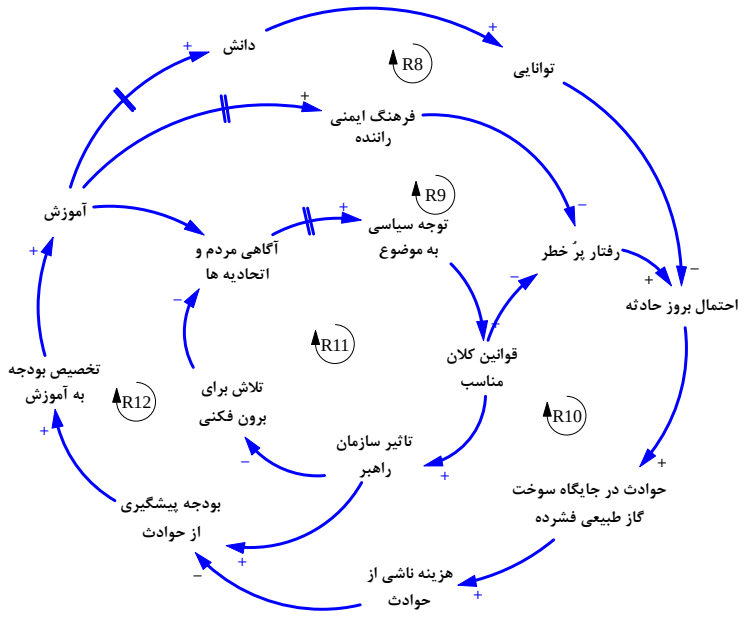
برای نمونه، حلقه متوازن کننده B1 نشان می‌دهد که افزایش تعداد حوادث با مدتی تأخیر باعث افزایش آگاهی مردم و اتحادیه های مربوطه نسبت به این موضوع خواهد شد. افزایش آگاهی مردم و اتحادیه های مربوطه نیز همراه با تأخیر به تدریج باعث شکل‌گیری اعتراض‌ها و در پی آن فشار و افزایش توجه سیاسی به موضوع می‌شود و هرچه توجه سیاسی به موضوع افزایش یابد، تلاش برای وضع قوانین کلان مناسب بیشتر می‌شود. افزایش قوانین کلان مناسب، افزایش ایمنی وسایل نقلیه را در پی دارد که با افزایش ایمنی، احتمال بروز حادثه کاهش می‌یابد و درنهایت با کاهش این احتمال، تعداد حوادث در ایستگاه سوخت نیز کاهش خواهد یافت.

نمودار علت و معلولی بخش فرهنگ و آموزش.

شکل ٦، روابط بین متغیرهای اصلی بخش فرهنگ و آموزش را در سیستم حوادث نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمودار علت و معلولی بخش خودرو

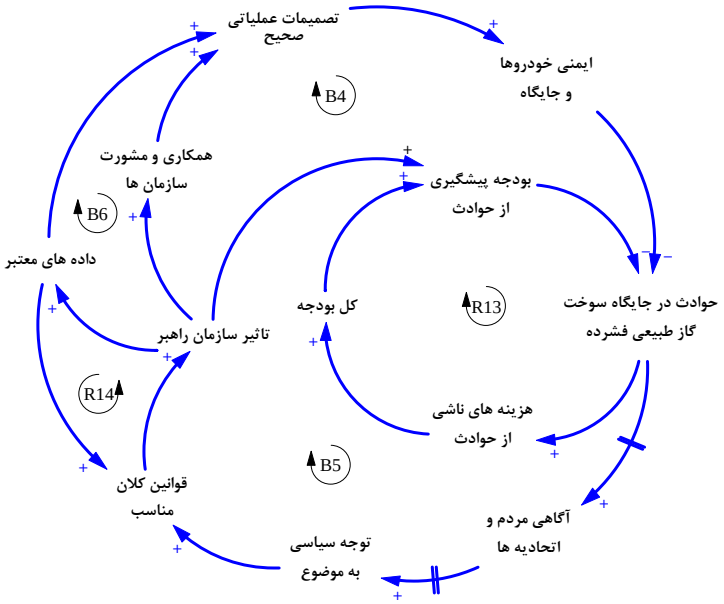


شکل ٦. نمودار علت و معلولی بخش فرهنگ و آموزش

برای نمونه حلقه تقویت‌کننده R11 نشان می‌دهد که افزایش توجه سیاسی به موضوع، باعث افزایش قوانین کلان مناسب شده و به دنبال آن اثرگذاری سازمان راهبر افزایش می یابد، پس از افزایش اثرگذاری این سازمان تلاش برای برون فکنی موضوع کاهش و متعاقباً آگاهی مردم و اتحادیه های مربوطه افزایش می یابد. با افزایش آگاهی مردم اتحادیه های مربوطه پس از مدتی تأخیر توجه سیاسی به موضوع افزایش خواهد یافت. حلقه تقویت کننده R9 نیز نشان می‌دهد، آموزش پس از گذشت

مدت‌زمانی فرهنگ رانندگی را افزایش می‌دهد، به دنبال افـزایش فرهنگ رانندگی رفتارهای پرخطر کاهش می یابد، با کاهش ایـن رفتارها از احتمال بروز تصادف کاسته می‌شود. با کاهش احتمال بروز حوادث تعداد حوادث رانندگی نیز کاهش خواهد یافت که این امر به کاهش هزینه های ناشـی از حـوادث منجـر مـی‌شـود. با کاهش هزینه‌های ناشی از حوادث بودجـه پیشـگیری افـزایش خواهد یافت که این افزایش بودجه به تخصیص سهم بیشتری از بودجه به بخش آموزش منجر می‌شود. در پایان با افزایش بودجه تخصیصی به بخـش آمـوزش، سـطح آمـوزش افـزایش خواهـد یافت.

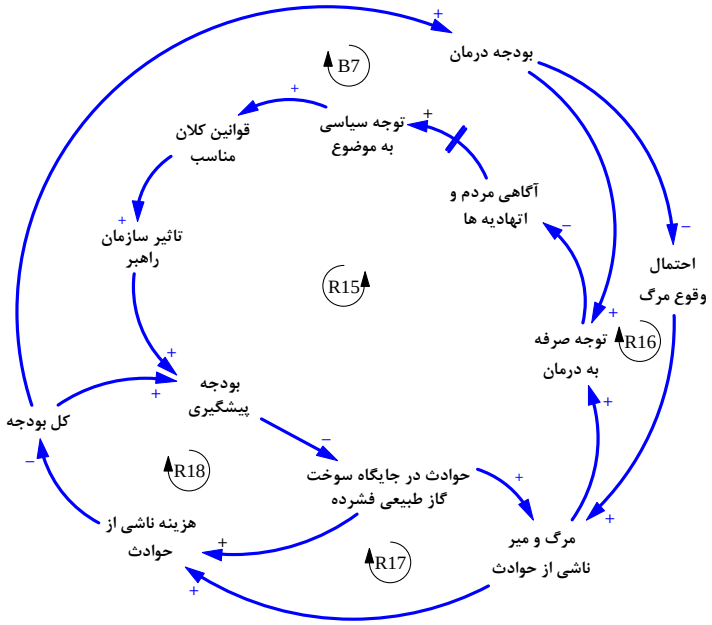
نمودار علت و معلولی بخش سازمان راهبـر. شـکل ۷، روابـط بین متغیرهای اصلی بخش سازمان راهبر را در سیسـتم حـوادث نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمودار علت و معلولی بخش سازمان راهبر

برای نمونه، حلقـه تقویـت‌کننـده R14 نشـان مـی‌دهـد کـه افزایش سطح داده های معتبر باعث افزایش سـطح قـوانین کـلان مناسب می‌شود و متعاقب آن اثرگذاری سـازمان راهبـر افـزایش می یابد. با افزایش تأثیر این سازمان مجدداً سطح داده های معتبـر افزایش خواهد یافت. حلقه متوازن کننده B4 نمایانگر این است که افـزایش تـأثیر سـازمان راهبـر، همکـاری و مشـورت بیشـتر سازمان های مرتبط را به دنبال دارد. به دنبـال افـزایش همکـاری سازمان‌های مرتبط، تصمیمات عملیـاتی صـحیح بیشـتری اتخـاذ خواهد شد که به افزایش ایمنـی خودروهـا و ایسـتگاه‌هـا منجـر می‌شود. با افزایش ایمنی خودروها و ایستگاه ها حوادث کـاهش خواهد یافـت. بـا کـاهش حـوادث پـس از مـدتی از آگـاهی و حساسیت مردم و اتحادیه‌های مربوطه کاسته می‌شود که این امـر به همراه مقداری تأخیر زمانی به کاهش توجه سیاسی به موضوع حوادث منجر خواهد شد. با کاهش توجه سیاسی روند تصـویب قوانین مناسب کـلان کنـد شـده و بـه دنبـال آن از تأثیرگـذاری سازمان راهبر کاسته می‌شود.

نمودار علت و معلولی بخش بودجه. شکل ۸، روابـط بـین متغیرهـای اصـلی بخـش بودجـه را در سیسـتم حـوادث نشـان می‌دهد.



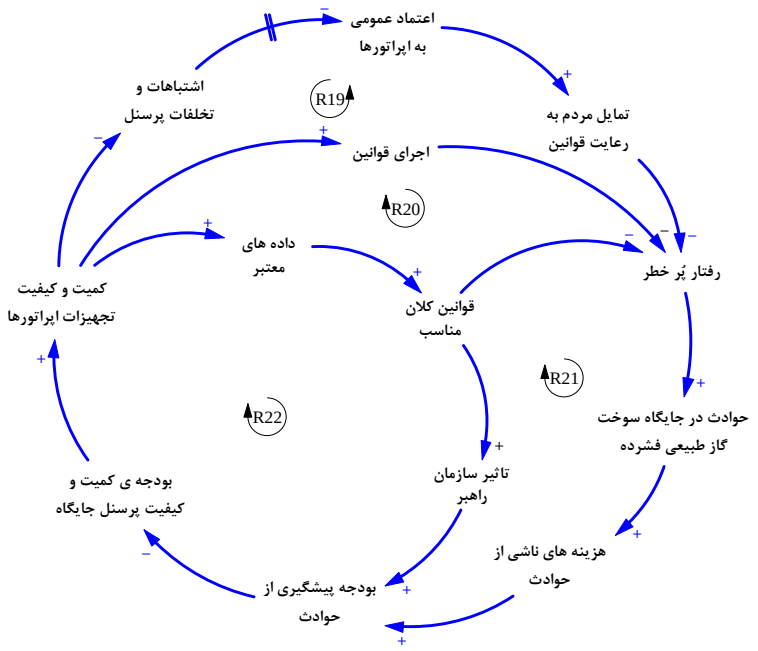
شکل ۸. نمودار علت و معلولی بخش بودجه

برای نمونه، حلقه تقویت کننده R16 نشان می‌دهد که با افزایش هزینه های ناشی از حوادث، توان دولت برای بودجه تخصیص‌یافته به این بخش کاهش می یابد و درنتیجه بودجه این بخش کم می‌شود. به دنبال این امر بودجه درمان کاهش و متعاقباً احتمال وقوع مرگ در حوادث ایستگاه‌های سوخت افزایش و نرخ مرگ‌ومیر ناشی از حوادث افزایش می یابد که درنهایت باعث افزایش هزینه‌های ناشی از حوادث می‌شود.

حلقه تقویت کننده R15 نمایانگر این است که توجه صرف به امر درمان موجب کاهش آگاهی‌های مردم و اتحادیه های مربوطه خواهد شد. به دنبال این کاهش آگاهی پس از مدتی توجه سیاسی به موضوع حوادث کاهش خواهد یافت که کند شدن روند تصویب قوانین کلان مناسب را در پی خواهد داشت. با کاهش روند تصویب قوانین کلان مناسب، تأثیرگذاری سازمان راهبر کاهش می‌یابد و به دنبال این امر بودجه پیشگیری از حوادث کاهش خواهد یافت. با کاهش بودجه پیشگیری از حوادث، حوادث و مرگ‌ومیر ناشی از آن افزایش می یابد که این امر موجب افزایش توجه صرف به بخش درمان خواهد شد.

نمودار علت و معلولی بخش کمیت و کیفیت تجهیزات جایگاه سوخت. در شکل ۹ که مربوط به بخش کمیت و کیفیت تجهیزات جایگاه سوخت از زیرسیستم جایگاه سوخت و جریمه است، روابط بین متغیرهای اصلی در قالب چهار حلقه تقویت کننده آورده شده است. برای نمونه، حلقه تقویت کننده R22 نشان می‌دهد که با افزایش بودجه پیشگیری از حوادث، بودجه تخصیص‌یافته برای ارتقای کمیت و کیفیت تجهیزات جایگاه سوخت افزایش‌یافته و درنتیجه کیفیت و کمیت تجهیزات جایگاه سوخت افزایش می یابد. این افزایش باعث می‌شود اطلاعات و داده‌های دقیق‌تری ثبت شود که به ارتقای تصمیم‌گیری و افزایش سطح قوانین کلان مناسب منجر می‌شود. وضع قوانین کلان مناسب، توجه را به کارآمد بودن سازمان راهبر جلب می‌کند و تأثیر و اهمیت این سازمان را ارتقا می‌بخشد که با توجه به اهمیت بالای بخش پیشگیری، سازمان راهبر بودجه بیشتری به بخش پیشگیری تخصیص می‌دهد.

نمودار علت و معلولی جامع. در شکل ۱۰ ارائه مدل علت – معلولی به‌طور یکجا به تصویر کشیده شده است.



شکل ۹. نمودار علت و معلولی بخش کمیت و کیفیت تجهیزات

سیاست‌های راهبردی پیشنهادی یا حلقه‌های سیاستی. با توجه به فهمی که از این سیستم به‌دست‌آمده، سیاست‌های مؤثر در سیستم حمل‌ونقل، سیاست‌هایی هستند که بیشتر بر پیشگیری تأکیددارند؛ یعنی اقدام های پیشگیرانه ای که تاکنون به دلایل مختلف (ازجمله اهمیت بیشتر بخش درمان، یا وجود اولویت های بالاتر در برنامه دولت برای تخصیص بودجه) در کشور اتفاق نیفتاده یا کمتر موردتوجه قرارگرفته است. برای ارتقای توجه به بخش پیشگیری، مهم ترین سیاست راهبردی پیشنهادی را می توان فعال سازی سازمان راهبر (که به‌عنوان یک زیر سیستم اصلی در مدل آورده شده است) دانست (ربیعیه و همکاران، ۱۳۹۶). با فعال سازی سازمان راهبر می توان شاهد بهبودهای قابل‌توجهی در رفتار مدل بود، زیرا می‌تواند به صورتی جامع نگر بر بخش فرهنگ، نیروهای انسانی (تکنسین و اپراتور ایستگاه)، ارتقای سطح ایمنی خودروها و ایستگاه های سوخت CNG و به طورکلی تخصیص مناسب بودجه، اثرگذار باشد و تصمیمات مناسبی را اتخاذ کند، به طور خلاصه سیاست های متناسب با شش سؤال فرعی و همچنین شش نمودار علت – معلولی را می‌توان به شرح زیر بیان کرد.

-ایجاد و راه‌اندازی یک سازمان راهبر به‌عنوان متولی بحث حوادث CNG در سیستم حمل‌ونقل.

-تخصیص مناسب بودجه جهت تقویت سازمان راهبر باهدف افزایش قابلیت، برنامه‌ریزی و اجرا.

-تفویض اختیار به سازمان راهبر به‌عنوان یک‌نهاد نظارتی از دید کلی و کلان، با بهره‌گیری از اطلاعات بخش‌های مختلف می‌تواند تخصیص بودجه را به‌صورت صحیح در میان نهاده‌ای مختلف انجام دهد.

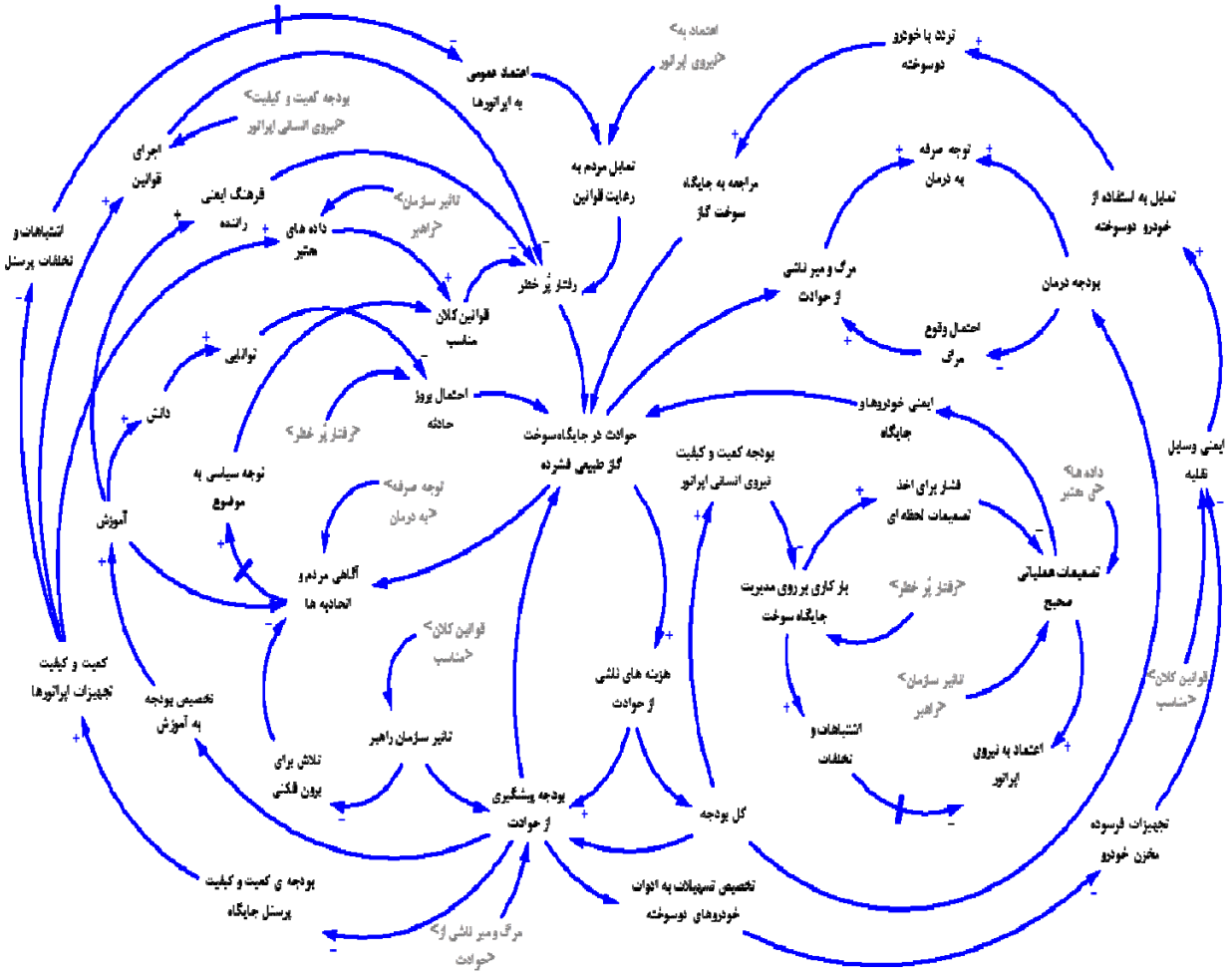
-ایجاد و راه‌اندازی یک بانک اطلاعات حوادث CNG در سازمان راهبر جهت دریافت صحیح اطلاعات حوادث، تجزیه‌وتحلیل موضوعات مربوطه انعکاس به مراجع تصمیم‌گیرنده، برنامه‌ریز و قانون‌گذار.

-همکاری سازمان و شرکت‌های مرتبط (پلیس راهور، معاینه فنی خودروها، استاندارد، خودروسازان، اتحادیه‌ها و ...) با سازمان راهبر.

-تخصیص مناسب بودجه به بخش وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی فشرده برای ارتقای سطح ایمنی خودروها و سطح کیفی آن‌ها به کمک راه‌اندازی و تقویت سازمان راهبر.

-تخصیص مناسب بودجه به بخش فرهنگ و آموزش جهت اصلاح رفتار رانندگان، سرنشینان خودروها و اپراتورهای ایستگاه‌های عرضه سوخت CNG در بلندمدت.

درواقع بسیاری از این سیاست‌ها وابسته به راه‌اندازی و تقویت سازمان راهبر به‌عنوان متولی است.



شکل ۱۰. نمودار علت و معلولی جامع

۵-نتیجه‌گیری

دنیای امروز پیچیده و پویا است. پیچیدگی و پویائی در همه حوزه های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی، فرهنگی و مدیریتی وجود دارد. در همه حوزه ها پویائی حاصل تعامل مفاهیم و متغیرهایی هستند که محدود به یک حوزه نمی باشند. مسائل و چالش‌های امروزی ناشی از درهم تنیدگی و تعامل رشته‌های تخصصی مختلف بوده که باید با جامع‌نگری و نگرشی بین‌رشته‌ای به فهم، کنترل و مدیریت آن‌ها پرداخت. از طرفی اطلاعات، پایه و اساس تصمیم‌گیری است، بهتر است برای کاهش حوادث ترافیکی و پیامدهای ناشی از آن، یک مجموعه حداقل داده‌های حوادث محلی و ملی در هر کشور ایجاد شود تا امکان ریشه‌یابی و طرح و برنامه‌های پیشگیرانه فراهم آید (عجمی و رضایی، ۱۳۹۴). مسئله حوادث وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی در زمان سوخت گیری در ایران یک معضل جدی است. حوادث ناگوار خصوصاً، انفجار مخزن این خودروها موجب نگرانی در سطوح مختلف جامعه گردیده است. با نگاهی پویا به مسئله یادشده در ایران و بررسی متغیرهای مهمی مثل؛ تعداد حوادث، تلفات و خسارات سالیانه ناشی از آن می‌توان بیشتر به اهمیت موضوع پی برد، بنابراین ضرورت امر ایجاب می کند که متغیرها، مشکلات و چالش های موجود زمینه ساز این معضل در کشور و همچنین ارتباطات پیچیده و غیرخطی (روابط علت – معلولی) آن‌ها شناسایی و تحلیل شوند. به طورکلی مسئله حوادث CNG ابعاد گوناگونی دارد و موضوعی چندبعدی یا چندوجهی است. در این پژوهش با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم و طبق گام‌های

مدل سازی آن، در ابتدا پس از ارائه و تحلیل مسئله پویا، با توجه به پیشینه پژوهش و مصاحبه های صورت گرفته، چهار دسته عامل اصلی شامل؛ عامل انسانی، عامل وسیله نقلیه، عامل تجهیزات سوخت‌رسانی (جایگاه CNG) و عامل مدیریتی سیاستی به عنوان مؤلفه یا متغیرهای مهم اثرگذار شناسایی و با عنایت به زیر عوامل هر یک از این مؤلفه‌ها اقدام به استخراج روابط علت – معلولی آنها شد. در این راستا سیستم موردبررسی به شش زیرسیستم یا بخش اصلی تقسیم شده و متناسب با هر بخش یا زیر بخش نمودار علت – معلولی و نمونه هایی از فرضیه‌های پویا ارائه شد، در پایان سیاست‌های راهبردی بهبوددهنده رفتار سازمان متغیرهای اصلی سیستم، مانند ایجاد یا راه اندازی سازمان متولی حل مسئله بانام راهبر پیشنهاد گردید. در این پژوهش با توجه به تعداد بالای متغیرها و روابط بین آن‌ها تنها دو مرحله از فرایند مدل‌سازی رویکرد پویایی‌های سیستم اجرا و درنهایت تنها به ارائه سیاست‌های پیشنهادی اکتفا شد. در این خصوص پیشنهاد می‌شود پژوهشگران آتی به ادامه گام‌های یادشده و توسعه یا بهبود این مدل اقدام نمایند.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Compressed Natural Gas
2.System Thinking
3.System Dynamics
4.Minimum Data Set (MDS)
5.Hazard & Operability
6.Failur Mode & Effects Analysis
7.Strategic Option Development and Analysis
8.Jet fire
9.Bariha
10.Liquefied Petroleum Gas (LPG)
11.Kannur, Kerala
12.Area Locations of Hazardous Atmospheres
13.Process Hazard Analysis Software Tool
14.Khan
15.To
16 Computational fluid dynamics (CFD)
17.Chai
18.Liquefied natural gas
19.Hu
20.TNT equivalent
21.Trofimenko
22.Fault Tree Analysis (FTA)
23. Koetniyom
24.GLobal Positioning System
25.Delphi
26.Socio-economic systems
27. Sterman

۷-مراجع

- اسکندری، طاهره، محمدفام، ایرج و علی آبادی، مصطفی میرزایی (۱۳۹۸). تحلیل ایمنی پویای ایستگاه‌های CNG با استفاده از تکنیک درخت خطا و شبکه بیزین. *بهداشت و ایمنی کار*. ۹ (٤)، ٢٦٤-٢٥٠.

- امین طهماسبی، حمزه و رضوی‌نسب سید جمال‌الدین (۱۳۹۸). بهبود استفاده از سوخت CNG در بخش حمل ونقل با رویکرد تحلیل و توسعه گزینه‌های استراتژیک. *فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی*. ٥ (٢)، ١٦٩-١٤٥.

- امین طهماسبی، حمزه و رضوی‌نسب، سید جمال‌الدین (۱۳۹۹). تحلیل عوامل مؤثر در توسعه استفاده از گاز طبیعی فشرده (CNG) به‌جای بنزین در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ایران با استفاده از مدل سیستم‌ها. *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، ۱۷(۳)، ٥٨-٤٥.

- امین طهماسبی، حمزه و رضوی‌نسب، سید جمال‌الدین (۱٤۰۱). اولویت‌بندی استراتژی‌های تأثیرگذار بر صنعت حمل‌ونقل گازسوز با روش ترکیبی تصمیم‌گیری گروهی فازی. *فصلنامه جاده*، ۳۰ (۱۱۲)، ۱٦۷-۱۸۰.

- راستی‌مهر، مهدیه، بهرامی، مهشید، کریمی، علی و پوربابکی، رضا (۱۳۹۹). مدل‌سازی پیامد انتشار گاز متان دریکی از جایگاه‌های سوخت CNG استان اصفهان. بهداشت‌کار *و ارتقاء سلامت*، ٤ (٤)، ٣٥٠-٣٣٧.

- ربیعه، مسعود، سالاری، هدایت، کرمی، محمد مهدی، ضیایی، مصطفی و یعسوبی، عزیزالله (۱۳۹٦). مدل علّی – معلولی مسئله حوادث رانندگی در ایران: رویکرد پویایی‌شناسی سیستم. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۷ (۱)، ۱٤۳-۱۱٥.

- رضوی‌نسب، سید جمال‌الدین (۱٤۰۱). صنعت CNG در ایران. تهران، *ناشر ارشدان*.

- سلیمانی، زهرا، روشن ضمیر، مائده و امین شرعی، فرهام (۱۳۹۸). مدل‌سازی حریق و انفجار در واحد کمپرسور ایستگاه سوخت رسانی CNG با استفاده از نرم‌افزار PHAST. *ششمین کنگره ملی تحقیقات راهبردی در شیمی و مهندسی شیمی با تأکید بر فناوری‌های بومی ایران.*

- شیرالی، غلام عباس و نعمت‌پور، لیلا (۱۳۹۷). بررسی مدل پیامد انتشار گاز متان دریکی از جایگاه‌های سوخت CNG شهر اهواز. *بهداشت‌کار و ارتقاء سلامت*، ۲ (۲)، ۸۸-۷۷.

- صادقی یارندی، محسن و کریمی، علی (۱۳۹۷). ارزیابی پیامد حریق و انفجار مخازن گاز متان در یک جایگاه توزیع گاز طبیعی فشرده. *مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها*، ٦ (٤)، ۲۳۷-۲٤٦.

- عجمی، سیما و رضایی، مصطفی (۱۳۹٤). نقش حداقل مجموعه داده‌های حوادث ترافیکی. *مدیریت اطلاعات سلامت*، ۱۲ (۲)، ۱۳۸-۱۳۷.

- فرهی آشتیانی، ایمان، جهانگیری، کتایون، جباری، موسی، صفی کیکله، میثم، صفرپور، حمید و وزیری، محمدحسین (۱۳۹۸). ارتقای ایمنی صنعتی مبتنی بر فرهنگ ایمنی کارگران: مطالعه موردی شرکت سایپا. *ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها*، ۷ (۳)، ۱۸۲-۱۷۳.

- کمائی محمد، علیزاده، سید شمس الدین، کشوری عبدالرحمن، خیرخواه، زینب و مشعشعی، پریسا (۱۳۹۵). ارزیابی ریسک و مدل سازی پیامد ناشی از موج انفجار پدیده BLEVE مخزن کروی LPG در یک پالایشگاه. *بهداشت و ایمنی کار*، ٦ (۲)، ۲٤-۱۰.

- ملابخشی، کامران، رشتچیان، داود و عمیدپور، مجید (۱۳۸۸). مدل‌سازی پیامدهای آتش و انفجار در یک ایستگاه سوخت‌رسانی گاز فشرده CNG، *دومین کنفرانس ملی CNG*، تهران.

-Badri, N., Nouraei, F., & Rashtchian, D. (2010). Quantitative risk assessment to site CNG refuelling stations. *Chemical Engineering Transactions*, 19, 255-260.

-Bariha, N., Mishra, I. M., & Srivastava, V. C. (2016). Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): A case study of LPG truck tanker accident in Kannur, Kerala, India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 449-460.

- Chai, J. H., Lv, Z. J., Shen, Z. X., Huan, H. D., Zhang, X. L., Zhang, Z. J., & Xu, B. (2021). Forensic analysis on bursting accident of buffer tank in liquefied natural gas bus. *Journal of Forensic Sciences*, 66(4), 1557-1563.

-García, J. M. (2020). Theory and practical exercises of system dynamics: modeling and simulation with Vensim PLE. *Preface John Sterman.*

- Haghnazarloo, H., Parvini, M., & Lotfollahi, M. N. (2015). Consequence modeling of a real rupture of toluene storage tank. *Journal* of *Loss Prevention* in the *Process Industries*, 37, 11-18.

- Hu, Q., Zhang, Q., Yuan, M., Qian, X., Li, M., Wu, H., & Liang, Y. (2022). Traceability and failure consequences of natural gas explosion accidents based on key investigation technology. *Engineering Failure Analysis*, 106448.

- Khan, M. I., Yasmin, T., & Khan, N. B. (2016). Safety issues associated with the use and operation of natural gas vehicles: learning from accidents in Pakistan. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38(8), 2481-2497.

- Koetniyom, S., Klungboonkrong, P., Kassim, K. A. A., & Mongkonlerdmanee, S. (2022). In-depth intercity bus crash investigation: case study of fire-gutted bus in Thailand. *Engineering and Applied Science Research*, 49(5), 696-706.

- Mousavi, J., & Parvini, M. (2016). Analyzing effective factors on leakage-induced hydrogen fires. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 29-42.

-Parvini, M., & Kordrostami, A. (2014). Consequence modeling of explosion at Azad-Shahr CNG refueling station. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 30, 47-54.

-Sterman, J. (2000). Instructor's manual to accompany business dyanmics: systems thinking and modeling for a complex world. *McGraw-Hill.*

- To, C. W., Chow, W. K., & Cheng, F. M. (2021). Simulation of possible fire and explosion hazards of clean fuel vehicles in garages. *Sustainability*, 13(22), 12537.

-Trofimenko, Y. V., Grigoreva, T. Y., Korobeynikova, K. R., & Chekanov, A. Y. (2022). Requirements for intelligent safety monitoring systems of vehicles and infrastructure using gas motor fuel (natural gas, hydrogen). *In 2022 systems of signals generating and processing in the field of on board communications*, IEEE. 1-5.

Designing a Causal Loop Model - the Causes of Natural Gas Fueled Vehicle Accidents with System Dynamics

Seyed Jamalaldin Razavinasab, Ph.D., Grad., Islamic Azad University, Rasht Branch, Iran.

Hamzeh Amin-Tahmasbi, Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, East of Guilan, University of Guilan, Iran.

E-mail: amintahmasbi@guilan.ac.ir

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT

Accidents in the transportation system, especially vehicles with natural gas fuel during refueling, are a serious problem. Accidents, especially the explosion of the tank of these cars, have caused concern at different levels of society. With a dynamic view of the mentioned issue in Iran and important surveys such as; the number of accidents, deaths and annual damages caused by it can be more understood. In general, CNG incidents have various and a multidimensional or multifaceted issue has its own complexities. The purpose of this study is to design a cause-cause model of natural gas fueled vehicle accidents in Iran with system dynamics. First, after stating the cause of the issue over time, according to the background and interviews conducted, four main categories as factors or important and influential factors are determined based on the factors that form each of the changes, the relationships of the causes. In this regard, the investigated system is divided into subsystems or main parts, and for each part or subsystem, a causal loop is provided. At the end of the research, the strategic policies of improving the main behaviors of the system to reduce accidents in this area of the transportation system are proposed to activate or set up a trustee organization called the CNG industry leader organization.

Keywords: CNG Accidents, Natural Gas Vehicle, System Dynamics, Transportation