فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال یازدهم / شماره‌ی ۴۷/ زمستان ۱۳۹۴/ صفحات ۲۵ - ۱

اولویت‌بندی سوخت‌های مرسوم در خودروهای سبک با استفاده از روش رتبه‌بندی مافوقی و مادونی (SIR)

محمد هادی صحت‌پور

کارشناس ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه تهران، mh.sehat@ut.ac.ir

عالیه کاظمی[۱]

استادیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، aliyehkazemi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۲۵

چکیده

امروزه جهان در زمینه‌ی انرژی با دو بحران محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی (فرآورده‌های نفتی و گازی) و آلودگی محیط زیست روبرو است. در این میان بخش حمل و نقل سهم عمده‌ای از مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست را به خود اختصاص داده است. لذا طی سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی برای جایگزینی انواع انرژی در بخش حمل و نقل انجام شده و هم‌چنان ادامه دارد. با وجود پیامدهای نامطلوب مصرف بیش از حد بنزین در کشور، استفاده از این سوخت کاهش محسوسی نداشته است، به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۰بنزین در میان انواع سوخت‌های مصرفی در بخش حمل و نقل، با اختصاص سهم ۴۷ درصدی به خود (۱۲۰/۸میلیون بشکه معادل نفت خام) هم‌چنان پرمصرف‌ترین سوخت در بخش حمل و نقل بوده است. در این تحقیق با تأکید برشاخص‌های هزینه، فناوری، پایداری و امنیت انرژی، اولویت‌بندی سوخت‌های مرسوم خودروهای سبک با در نظر داشتن یک افق میان‌مدت، در قالب روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی SIR تدوین گردیده است. نتایج حاصله حاکی از مناسب بودن سوخت CNG است و سوخت‌های بنزین، گازوئیل، LPG، اتانول، الکتریسیته، بیو دیزل، بیوگاز و هیدروژن در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند. هم‌چنین در میان سوخت‌های با منابع اولیه تجدیدپذیر، اتانول از بالاترین اولویت برخوردار است.

طبقه‌بندی JEL: Q42, O21, D81, C44, A12

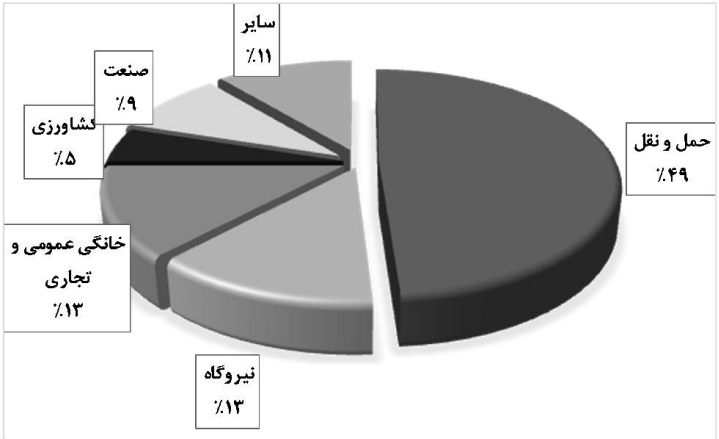
کلیدواژه‌ها: سوخت جایگزین، تصمیم‌گیری چند شاخصه، حمل و نقل، توسعه‌ی پایدار، امنیت انرژی

۱- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

حرکت پر شتاب فرآیند رقابتی عرضهٔ حامل‌های انرژی در دنیا، افزایش وابستگی توسعهٔ اقتصادی کشورها به انرژی و قیمت‌های آن، ملاحظات زیست‌محیطی و جهت‌گیری برنامه‌ریزی دولت‌ها به سمت ایجاد تنوع در منابع انرژی اولیه‌ی کشورهای متبوعشان، به این معنی است که ایران باید به روش‌های نوینی برای رصد و پردازش اطلاعات انرژی دست یابد تا با اتخاذ سیاست‌های مناسب و منطبق با واقعیت، هدایت و راهبری اقتصاد انرژی کشور را به جهت سرآمدی در منطقه، تضمین نماید (ترازنامه انرژی ۱۳۹۰، ۱۳۹۱). ایران دارای منابع انرژی غنی و گسترده است؛ وجود مخازن بزرگ نفتی و معادن عظیم زیرزمینی و پتانسیل بالقوه انرژی موجب شده که ایران از موقعیت مناسب و ممتازی نسبت به بسیاری از کشورهای دیگر، برخوردار باشد. این منابع عظیم در صورتی می‌توانند به‌عنوان عامل مهم توسعه اقتصادی به شمار روند که استفاده بهینه و مناسبی از آن‌ها به‌عمل آید. افزایش جمعیت شهرها، گسترش صنایع خودروسازی و به دنبال آن ازدیاد تعداد وسایل نقلیه موتوری از یک سو و عدم جلوگیری ازحرکت خودروهای فرسوده به ویژه درکشورهای جهان سوم و مسائلی نظیر احتراق ناقص و آلودگی شدید محیط زیست و اثرات زیان‌بار پدیده گازهای گلخانه‌ای، از سوی دیگر حیات موجودات زنده را در روی کره زمین بیش‌تر از گذشته تهدید می‌کند. یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا و افزایش مواد مضر برای جانداران و محیط زیست، استفاده از سوخت‌های فسیلی است که از عمده ترین مصرف کنندگان آن می‌توان به خودروها اشاره نمود. در سال‌های اخیر برای حل معضل انرژی در بخش حمل و نقل، تولید سوخت‌های جدید و جایگزین برای انرژی‌های تجدیدناپذیر در کانون توجه قرار گرفته است. کلمهٔ محیط‌زیست فقط به جهان فیزیکی و محیط طبیعی محدود نمی‌شود، بلکه محیط زیست اقتصاد، فرهنگ و جامعه را نیز دربرمی‌گیرد. بخش انرژی شامل تمامی فعالیت‌هایی است که در مراحل اکتشاف، استخراج، تولید، حمل و نقل، مصرف و صادرات و واردات انجام می‌گیرد. بنابراین رابطهٔ بین انرژی و محیط زیست و یا توسعهٔ پایدار انرژی عبارت است از ساماندهی فعالیت‌های بخش انرژی به نحوی که توسعهٔ انسانی در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت در تمامی ابعاد مختلف تأمین شود. هدف از برنامه‌های انرژی پایدار همان تولید و مصرف منابع انرژی به طریق منطقی است تا در بلندمدت حیات انسان و تعادل اکولوژیکی میسر شود (عبدلی، ۱۳۸۴). امنیت انرژی به مسائل مختلفی بستگی دارد؛ این مسائل شامل ساده بودن و یا پیچیدگی در کشف یک منبع

در کشورهای تولید کننده، بی‌ثباتی و شورش یا آرامش و توسعه در کشور نفت خیز، انتقال به‌وسیله خطوط لوله و یا کشتی، دزدی دریایی و یا حمله‌های تروریستی به زیرساخت‌ها و لوله‌ها، کمبود عرضه و افزایش تقاضا، قیمت‌گذاری نفت خام و ملاحظات فنی و وجود زیر ساخت‌های استفاده از انرژی در یک کشور می‌باشد. این موارد در مبحث امنیت انرژی هم قابل بحث و توجه هستند (ملکی، ۱۳۹۰). رابطه‌ی بین امنیت انرژی و ملاحظات زیست محیطی با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تعریف و تقویت می‌شود. بنابراین استفاده‌ی بیش‌تر از انرژی‌های تجدیدپذیر در راستای نیل به دو مبحث پایداری و امنیت انرژی توصیه می‌شود (آمار بین‌المللی نفت، گاز، زغال سنگ و الکتریسیته[1]، ۲۰۱۱). در ایران خودروهای سواری بنزینی که عمدتاً دارای مالکیت شخصی هستند، یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در بخش حمل و نقل جاده‌ای می‌باشند. امروزه با توجه به تحقیقات به عمل آمده، سوخت‌های بسیاری می‌توانند جایگزین سوخت‌های رایج کنونی این نمونه از خودروها شوند که البته باید آن‌ها را با معیارهای بنیادی و جامعی سنجید. در ادامه با نگاهی اجمالی به آمار و اطلاعاتی از مصارف انرژی و سوخت در بخش‌های مربوطه طی چند سال پیاپی به سادگی می‌توان به بحرانی بودن موقعیت خودروهای سبک پی برد (ترازنامه انرژی ۱۳۹۰،۱۳۹۱).

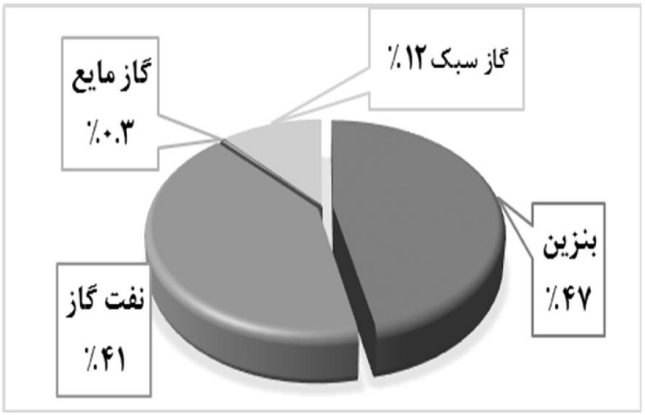


ترازنامه انرژی ۱۳۹۰، ۱۳۹۱

شکل ۱- سهم هریک از بخش‌ها از مصرف کل فرآورده‌های نفتی در سال ۱۳۹۰

1- Oil, Gas, Coal and Electricity Quarterly Statistics.

همان‌گونه که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود کل مصرف فرآورده‌های نفتی در سال ۱۳۹۰، حدود ۴۲۱/۱ میلیون بشکه معادل نفت خام و سهم بخش حمل و نقل ۴۹ درصد از آن بوده است.



شکل۲- سهم هریک از فرآورده‌های نفتی و گاز سبک در بخش حمل و نقل جاده‌ای در سال۱۳۹۰ (ترازنامه انرژی۱۳۹۰، ۱۳۹۱)

کل مصرف نهایی انرژی در سال ۱۳۹۰ معادل ۱۰۶۸/۴ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده که بخش حمل و نقل ۲۸/۱ درصد (معادل ۳۰۰/۱۱ میلیون بشکه معادل نفت‌خام) آن را به خود اختصاص داده است. همان‌گونه که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود، در سال ۱۳۹۰بنزین، با اختصاص سهم ۴۷ درصدی به خود، (۱۲۰/۸ میلیون بشکه معادل نفت خام) هم‌چنان پرمصرف‌ترین سوخت در بخش حمل و نقل است (ترازنامه انرژی۱۳۹۰، ۱۳۹۱). مقایسه آمار مربوطه با دیگر کشورهای دارای منابع نفتی، حاکی از مصرف بیش از حد و غیربهینه بنزین در بخش حمل و نقل و تبعاً پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی و استراتژیک بوده که ضرورت تحقیق در مورد سوخت‌های جایگزین را دوچندان می‌کند. هم اکنون گروه‌های زیادی در حال تحقیق بر روی سوخت‌های مختلف می‌باشند که این موضوع به شناخت و کشف مزایای انواع حامل‌های انرژی کمک شایانی خواهد نمود. با در نظر داشتن مقدار معین انرژی گرمایی، احتراق CNG و LPG به ترتیب ۳۰ و ۱۹درصد دی‌اکسیدکربن کم‌تری نسبت به بنزین تولید می‌نماید. در خانواده‌ی سوخت‌های الکلی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن چاه تا چرخ اتانول با توجه به تهیه این سوخت از بیوماس، در مقایسه با بنزین و گازوئیل پایین‌تر

است. بیوگاز نوع دیگری از سوخت گازی تجدیدپذیر است (ارسلان و همکاران[1]، ۲۰۱۰). تکنولوژی بیوگاز از نقطه نظر اقتصادی قابل قبول بوده و بر اساس یک روند طبیعی، تولید می‌گردد. این گاز فاقد آلودگی زیست محیطی بوده و بدون دود و بو می‌سوزد. استفاده از منابع زیست توده در ظرفیت‌های بزرگ و در زمان‌های کاری زیاد مقرون به صرفه می‌باشد و علاوه بر تأمین بخشی از انرژی موردنیاز کشور، می‌توان گامی مؤثر در زمینه‌ی بحران عظیم ناشی از زباله‌های شهری و کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی برداشت که این امر نیز دارای اثرات اقتصادی و اجتماعی چشم‌گیری خواهد بود. بیودیزل نیز سوختی تجدیدپذیر است که استفاده از آن موجب کاهش آلودگی‌ها به‌واسطه‌ی عدم وجود سولفور و مقدار کم‌تر هیدروکربن‌های نسوخته خواهد شد. وجود منابع متعدد جهت تولید و عدم نیاز به تغییر زیاد در ساختار موتورهایی که از این سوخت‌ها استفاده می‌کنند نیز از مزایای دیگر این سوخت است. هیدروژن سوختی با حالت گاز است و تقریباً از تمام مواد اولیه حاوی هیدروژن قابل استحصال است. استفاده از هیدروژن به صورت چشمگیری در حال پیشرفت است. در هنگام استفاده از هیدروژن به‌عنوان سوخت، انتشار آلاینده‌ها در خودرو، به جز اکسیدهای نیتروژن، از موتورهای درون‌سوز قابل چشم‌پوشی است. موتورهای هیدروژنی، بازده حرارتی بهتری نسبت به همتاهای بنزینی خود دارند (تسیتا و پیلاواکی[2]، ۲۰۱۲).

تحقیق در عملیات به‌عنوان ابزاری مناسب در جهت مدیریت سیستم‌ها، فرآیند تصمیم‌گیری و ارایه راهکارهای مناسب در جهت برنامه‌ریزی بخش‌های مختلف انرژی، به‌کار گرفته می‌شود (بری و همکاران[3]، ۲۰۰۷). در این تحقیق به دلیل جامعیت بالای روش تصمیم‌گیری رتبه‌بندی برتری و مادونی (SIR[4])، با بهره‌گیری از این روش و با توجه به طیف گسترده‌ای از معیارهای هزینه، فنی، پایداری و امنیت انرژی، به اولویت‌بندی سوخت‌های متنوع مطرح پرداخته می‌شود.

در ادامه در بخش دوم، مبانی نظری تحقیق بررسی و در بخش سوم فرآیند SIR معرفی شده است. در بخش چهارم، مراحل حل مدل با استفاده از داده‌ها، تشریح و نتایج به دست آمده ارائه شده است. بخش پنجم، به بررسی نتایج حاصله می‌پردازد و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

1- Arsalan et al.
2- Tsita and Pilavachi
3- Brey et al.
4- Superiority and inferiority ranking.

۲- مبانی نظری

با توجه به اهمیت موضوع، تحقیقات گسترده‌ای پیرامون انواع سوخت‌ها و فناوری استفاده از آن‌ها در سرتاسر جهان صورت گرفته است. در این قسمت تحقیقات انجام شده مربوط به بخش‌های حمل و نقل، خانگی- تجاری و نیروگاهی بررسی شده است. وجه اشتراک اکثر این پژوهش‌ها، بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور اولویت‌بندی گزینه‌های متفاوت سوخت و منابع انرژی تجدیدپذیر است.

کلمه ارائه حذف و کلمه بررسی نوشته شود.

در بخش حمل و نقل، تسیتا و پیلاواکی (۲۰۱۲)، با بهره‌گیری از تکنیک AHP[1] چند نوع خودرو با سوخت متفاوت را در حمل نقل جاده‌ای یونان بررسی کردند. در این تحقیق با استفاده از شاخص‌های هزینه، محیط زیست، امنیت انرژی و رفاه اجتماعی چهار مدل از انواع خودروهای هیبریدی، الکتریکی و پیل سوختی مورد بررسی قرار گرفتند و خودروهای هیبرید بیودیزل و الکتریسیته به‌عنوان بهترین گزینه معرفی گردیدند. ارسلان و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی سوخت‌های جایگزین و پتانسیل‌های کشور ترکیه در این رابطه پرداختند و سوخت‌های LPG[2]، CNG و بیودیزل را معرفی کردند. هم‌چنین هیدروژن، اتانول، متانول و بیوگاز را به‌عنوان سوخت‌هایی که هنوز به‌کارگرفته نشده ارائه کرده و پتانسیل‌های بومی استفاده از این سوخت‌ها را مورد بررسی قرار دادند. حوری‌جعفری و براتی ملایری[3] (۲۰۰۸)، به بررسی مصرف بنزین در بخش حمل و نقل ایران پرداختند، در این پژوهش بخش حمل و نقل به زیر شاخه‌های متعدد تقسیم و میزان مصرف هر یک به طور مجزا بررسی شده است؛ هم‌چنین دلایل افزایش مصرف نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بری و همکاران (۲۰۰۷)، با بهره‌گیری از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[4])، کارایی خودروهای با موتور احتراق داخلی، هیبریدی و پیل سوختی را با در نظر گرفتن متغیرهای اقتصادی و محیط زیستی، ارزیابی کردند. در این تحقیق با افزایش وزن معیارهای زیست‌محیطی، تکنولوژی‌های جدید مانند پیل سوختی از کارایی بهتری برخوردار شده و با افزایش وزن شاخص‌های اقتصادی، موتورهای مرسوم با سوخت فسیلی در اولویت قرار گرفتند. تزنگ و همکاران[5]

1- Analytic Hierarchy Process.
2- Liquid Petroleum Gas.
3- Houri Jafari and Baratimalayeri
4- Data Envelopment Analysis.
5- Tzeng et al.

(۲۰۰۵)، به بررسی اتوبوس‌هایی با سوخت‌های جایگزین از قبیل گازوئیل، گاز طبیعی، پروپان، الکتریسته، پیل سوختی، هیبرید گازوئیل و الکتریسته با معیارهای مالی، فنی، محیط زیستی و اقتصادی-اجتماعی پرداخته و این گزینه‌ها را با مدل‌های TOPSIS[1] و VIKOR[2] رتبه‌بندی کردند. خاکسار و خاکسار (۱۳۹۰)، به بررسی انواع سوخت‌های جایگزین رایج در ایران پرداختند و سوخت پیشنهادی خود را CNG اعلام کردند. نگهداری (۱۳۹۱)، به معرفی انواع سوخت‌های تولید شده جایگزین این دو سوخت مرسوم پرداخت.

در بخش خانگی تجاری نیز در اکثر تحقیقات، انرژی‌های تجدیدپذیر رقیبی جدی برای انرژی‌های فسیلی به حساب می‌آیند. در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

رن و همکاران[3] (۲۰۰۹)، با استفاده از روش‌های AHP و PROMETHEE به بررسی سیستم‌های انرژی بخش خانگی در شهری در ژاپن پرداختند. آن‌ها به انتخاب مناسب‌ترین سیستم انرژی با در نظرگرفتن انرژی‌های رایج و تجدیدپذیر و با توجه به شاخص‌های اقتصاد انرژی و محیطی پرداختند. براون و همکاران[4] (۲۰۱۰)، با در نظرگرفتن شاخص‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به بررسی سناریوهای مختلف برای توسعه انرژی‌های جایگزین در بخش خانگی برای تولید برق شهری در ایرلند پرداختند. گاندور و همکاران[5] (۲۰۰۹)، به بررسی میزان مصرف گذشته و آینده بخش خانگی در اردن پرداخته و هم‌چنین راه‌های کاهش مصرف و تأثیر بر محیط را بررسی کرده‌اند.

در بخش نیروگاهی تحقیقات گسترده‌تری خصوصاً در کشورهای ترکیه و چین انجام گرفته است. انرژی‌های تجدیدپذیر در اغلب تحقیقات جایگاه ویژه‌ای داشته و در اکثر پژوهش‌ها در اولویت‌های اول قرار می‌گیرند؛ به‌عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های انجام گرفته زیر اشاره کرد.

مهرگان و سلامی (۲۰۰۹)، با استفاده از مدل ANP و شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی، فنی و تکنولوژیکی به رتبه‌بندی نیروگاه‌های تولید برق برای تعیین ترکیب

1- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution.
2- Vlse Kriterijumska optimizacija.
3- Ren et al.
4- Browne et al.
5- Ghandoor et al.

مناسب تولید برق در برنامه پنج ساله ایران پرداختند. در این تحقیق نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، برق‌آبی و تجدیدپذیر به ترتیب در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفتند.آتماکا و بصر[1] (۲۰۱۳)، با بهره‌گیری از مدل ANP و شاخص‌های اقتصادی اجتماعی و کیفیت، فنی و تکنولوژیکی به ارزیابی ۶ نیروگاه آبی، زمین‌گرمایی، هسته‌ای، سیکل گازی، بادی و زغال‌سنگی پرداختند. استین[2](۲۰۱۳)، از روشAHP برای انتخاب تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر تولید برق استفاده کرد. مدل پیشنهادی، نیروگاه‌های بادی، خورشیدی، زمین‌گرمایی، بیوماس، آبی و هم‌چنین نیروگاه‌های هسته‌ای، نفتی، گازی و زغال‌سنگی را با درنظرگرفتن شاخص‌های مالی، فنی، محیطی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی رتبه‌بندی می‌کند. قهرمان و کایا[3] (۲۰۱۰)، با به‌کارگیری مدل AHP در محیط فازی به بررسی منابع مختلف انرژی از قبیل زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی، انرژی باد، آب، زمین‌گرمایی، زیست‌توده و هسته‌ای پرداخته و این گزینه‌ها را با استفاده از معیارهای فنی، محیط زیستی، اجتماعی- سیاسی و اقتصادی با یکدیگر مقایسه می‌کنند. کریستوبال[4] (۲۰۱۱)، با استفاده از روش VIKOR و با در نظرگرفتن شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی، فنی و محیطی، مناسب‌ترین پروژه انرژی تجدیدپذیر از بین گزینه‌های بادی، زمین‌گرمایی، فتوولتانیک، بیوماس، بیوگاز، سوخت‌های زیستی، خورشیدی و آبی در اسپانیا را انتخاب کرد. مورموریس و پوتولیاس[5](۲۰۱۳)، با استفاده از روش رتبه‌بندی نهایی[6](REGIME) و با در نظرگرفتن شاخص‌های اقتصادی، محیطی، اجتماعی و فنی به بررسی منابع انرژی تجدیدپذیر شامل منابع باد، خورشیدی، بیوماس، زمین‌گرمایی و آبی برای ایجاد حرارت و برق در جزیره‌ای در یونان پرداختند. افغان و همکاران[7](۲۰۰۷)، با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP، به ارزیابی منابع گاز طبیعی پرداختند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود شاخص‌های منابع، اقتصادی و اجتماعی را در اولویت قرار داده و نیروگاه‌های سیکل ترکیبی را به‌عنوان بهترین گزینه معرفی گردند. ونگ و همکاران[8] (۲۰۱۰)، با استفاده از مدل AHP و شاخص‌های اقتصادی، محیط‌زیستی، اجتماعی و فنی به ارزیابی انواع منابع انرژی مانند هسته‌ای،

1- Atmaca and Basar.
2- Stein.
3- Kahraman and Kaya.
4- Crystobal.
5- Mourmouris and potolias.
6- Final ranking method.
7- Afgan et al.
8- Wang et al.

فسیلی و تجدیدپذیر پرداختند. در این تحقیق هر یک از گزینه‌ها به زیرشاخه‌های ویژه تقسیم و با معیارهای ذکر شده بررسی شده‌اند. کئون و بوک[1] (۲۰۰۷)، با بهره‌گیری از تکنیک ANP و BOCR[2] به بررسی بهترین منبع برای تولید برق پرداختند. در این تحقیق منابع شامل گاز طبیعی، زغال‌سنگ، منابع آبی، نفت، زیست توده و زمین گرمایی، بادی، خورشیدی و هسته‌ای بوده که با معیارهایی شامل هزینه، ملاحظات محیط زیست، تکنولوژی و امنیت انرژی سنجیده می‌شوند.

تحقیق حاضر پژوهشی کاربردی است که با نگاهی به جدیدترین داده‌ها از سال ۱۳۸۳ به بعد و با بهره‌گیری از نظرات خبرگان، محققان و کارشناسان سازمان‌های زیرمجموعه وزارت نفت (سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی و مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط‌زیست) در قالب روش دلفی به ارزیابی سوخت‌های مرسوم خودروهای سبک با استفاده از تکنیک رتبه‌بندی مافوقی مادونی (SIR) پرداخته است. قابل ذکر است اکثر خبرگان دارای تجربه بیش از ۱۰ سال در حوزه انرژی و حمل ونقل بوده‌اند.

۳- رتبه‌بندی مافوقی و مادونی (SIR)

در این تکنیک دو نوع رتبه‌بندی انجام می‌شود؛ یکی بر اساس برتری گزینه‌ها و دیگری بر اساس رتبه‌بندی مادونی (یک گزینه چه‌قدر در مقایسه با سایر گزینه‌ها در رتبه پایین‌تر قرار دارد). در سال ۱۹۹۳ ربای تئوری فازی را در قالب رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره ارایه نمود که در آن بحث امتیاز برتری و مادونی گزینه‌ها برای اولین بار مطرح شد. این امتیازات بر اساس مقایسه عملکرد ماتریس تصمیم تعیین می‌گردید. امتیازدهی از این طریق بدون در نظر گرفتن این‌که مقایسه امتیازها ترتیبی است یا کاردینال و مطابق تعریف حقیقی صورت می‌پذیرد. تعریف معیار حقیقی براساس معادله (۱) می‌باشد (کرامتی و وکیلی، ۱۳۸۹).

$$d = g(A) - g(A') \ , \quad f(d) = \begin{cases} 1 & , d > 0 \\ 0 & , d \leq 0 \end{cases} \qquad (۱)$$

که در آن d اختلاف ضرایب عملکرد دو گزینه A و A' متناظر با یک معیار g می‌باشد. روابط (۲) و (۳)

ساختار ارجحیت بر اساس معیار تعریف شده در رابطه (۱) را نشان می‌دهند.

1- Kone and Buke
2- Analysis of benefits, opportunities, costs, and risks

$$APA'\left(\text{A بر A' ارجحیت دارد}\right) \text{ if } \quad g(A) > g(A') \qquad (۲)$$

$$APA'\left(\text{A و A' ارجحیتی بر هم ندارند}\right) \text{ if } \quad g(A) = g(A') \qquad (۳)$$

در معادله‌های زیر f_j یکی از شش معیار تعمیم یافته جدول (۱) که متناسب با j امین معیار $j = 1,2,\ldots,n$ است، می‌باشد. برای هر دو گزینه A_i و A_k رابطه $P_j(A_i, A_k) = f_i\left(g_j(A_i) - g_j(A_k)\right)$ نشان‌دهنده شدت ارجحیت یا برتری گزینه A_i و A_k با توجه به معیار j ام است. برای هر گزینه A_i، $S_j(A_i)$ به‌عنوان شاخص برتری و $I_j(A_i)$ به‌عنوان شاخص مادونی متناظر با معیار jام تعریف می‌شود.

$$S_j(A_i) = \sum_{k=1}^{m} p_j(A_i, A_k) = \sum_{k=1}^{m} f_j\left(g_j(A_i) - g_j(A_k)\right) \qquad (۴)$$

$$I_j(A_i) = \sum_{k=1}^{m} p_j(A_k, A_i) = \sum_{k=1}^{m} f_j\left(g_j(A_k) - g_j(A_i)\right) \qquad (۵)$$

حال ماتریس‌های برتری S و مادونی I در رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود.

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} S_1(A_1) & \ldots & S_j(A_1) & \ldots & S_n(A_1) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ S_1(A_i) & \ldots & S_j(A_i) & \ldots & S_n(A_i) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ S_1(A_m) & \ldots & S_j(A_m) & \ldots & S_n(A_m) \end{bmatrix} \qquad (۶)$$

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1(A_1) & \ldots & I_j(A_1) & \ldots & I_n(A_1) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ I_1(A_i) & \ldots & I_j(A_i) & \ldots & I_n(A_i) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ I_1(A_m) & \ldots & I_j(A_m) & \ldots & I_n(A_m) \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

جدول (۱) معیارهای تعمیم یافته

تابع نوع اول: معیارهای حقیقی	تابع نوع دوم: شبه معیار	تابع نوع سوم: معیار با ترجیح خطی
$f(d) = \begin{cases} 1, & d > 0 \\ 0, & d \le 0 \end{cases}$	$f(d) = \begin{cases} 1, & d > q \\ 0, & d \le q \end{cases}$	$f(d) = \begin{cases} 1, & d > q \\ d/p & 0 < d \le p \\ 0, & d \le q \end{cases}$
تابع نوع چهارم: معیارهای پله‌ای	تابع نوع پنجم: معیار با ترجیح خطی و منطقه بی‌تفاوتی	تابع نوع ششم: معیار گوسین
$f(d) = \begin{cases} 1, & d > q \\ 1/2 & q < d \le p \\ 0, & d \le q \end{cases}$	$f(d) = \begin{cases} 1, & \&d > q \\ (d-q)/(p-q) & q < d \le p \\ 0, & d \le q \end{cases}$	$f(d) = \begin{cases} 1 - \exp(-d^2/2\sigma^2, & d > 0 \\ 0, & d \le 0 \end{cases}$

منبع: (زیاوژان[1]، ۲۰۰۱)

1- Xiaozhan.

تعیین مقادیر برتری و مادونی

رابطه‌های (۸) و (۹) مقادیر روند برتری گزینه A_i یعنی $\varphi^{>}(A_i)$ و روند مادونی یعنی $\varphi^{<}(A_i)$ را با استفاده از روش SAW[1] نشان می‌دهد. این مقادیر را با استفاده از روش TOPSIS نیز می‌توان محاسبه کرد که در اینجا از ذکر روابط آن صرف نظر می‌شود.

$$\varphi^{>}(A_i) = \sum_{j=1}^{n} W_j \, S_j(A_i) \qquad (۸)$$

$$\varphi^{<}(A_i) = \sum_{j=1}^{n} W_j \, I_j(A_i) \qquad (۹)$$

روند برتری و مادونی خالص و نسبی

روند برتری خالص و نسبی مطابق روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌گردد.

$$\varphi_n(A_i) = \varphi^{>}(A_i) - \varphi^{<}(A_i) \qquad (۱۰)$$

$$\varphi_r(A_i) = \frac{\varphi^{>}(A_i)}{\varphi^{>}(A_i)+\varphi^{<}(A_i)} \qquad (۱۱)$$

رتبه بندی برتری و مادونی

مقادیر بیش‌تر $\varphi^{>}(A_i)$ و میزان کم‌تر $\varphi^{<}(A_i)$ منجر به ارجحیت بیش‌تر A_i بر سایر گزینه‌ها می‌شود. روابط بعدی به ترتیب رتبه برتری $R>$ و رتبه مادونی $R<$ را نشان می‌دهند.

رتبه‌بندی نهایی

به طور کلی رتبه‌بندی برتری $R>$ و مادونی $R<$ دو رتبه بندی متفاوت می‌باشند که باید با ترکیب آن‌ها $R>\cap R<$، به رتبه‌بندی نهایی رسید (زیاوژان[2]، ۲۰۰۱).

مدل رتبه‌بندی کامل مدل SIR در شکل (۳) آمده است.

شکل۳- مراحل کامل رتبه‌بندی

1- Simple Additive Weighting
2- Xiaozhan.

۴- مدل رتبه‌بندی مافوقی و مادونی برای اولویت‌بندی سوخت‌های رایج در خودروهای سبک

تعیین شاخص ها و گزینه های تصمیم (سوخت ها)

برای اولویت‌بندی سوخت‌های رایج در خودروهای سبک، ابتدا باید گزینه‌های تصمیم و شاخص‌های ارزیابی گزینه‌ها مشخص شوند. با توجه به نقش تعیین‌کننده ملاحظات فنی و هزینه‌ای در بررسی سوخت‌ها، لحاظ کردن معیارهایی جامع با این ماهیت‌ها کاملاً ضروری است (تسیتا و پیلاواکی، ۲۰۱۲). هم‌چنین با نگاهی کوتاه به تحقیقات انجام شده در زمینه انرژی می‌توان به اهمیت ویژه‌ی بحث امنیت انرژی پی‌برد (آژانس بین‌المللی انرژی[1]، ۲۰۱۳). از طرف دیگر با مطرح‌شدن مبحث توسعه پایدار، جهت‌گیری محققان حوزه انرژی به سمت این رکن اساسی با سه معیار اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی مشهود می‌باشد. لذا توجه صرف امنیت انرژی، جامعیت معیارهای سنجش را مخدوش می‌کند. در این تحقیق با نگاهی به اهمیت روزافزون این حوزه در ادبیات انرژی، پس از مطالعه کتب، مقالات و گزارش‌های مرتبط و هم‌چنین کسب نظر از خبرگان در قالب روش دلفی، معیارهای مورد بررسی برای اولویت‌بندی انواع سوخت‌ها در قالب چهار معیار عمده هزینه، ملاحظات فنی، توسعه پایدار و امنیت انرژی در نظر گرفته شد که این معیارها در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

جدول ۲- شاخص‌ها

معیارها	زیرمعیارها (شاخص‌ها)
هزینه	میزان ارجحیت سوخت از منظر هزینه‌های استخراج، پالایش و تولید سوخت
	میزان ارجحیت سوخت از منظر هزینه‌ی انتقال و توزیع سوخت
	میزان ارجحیت سوخت از منظر هزینه‌های سرمایه‌ای استفاده سوخت
تکنولوژیک	محتوی انرژی سوخت تکنولوژیک
	قابلیت استفاده سوخت در کنار سوخت مرسوم اتومبیل به‌عنوان سوخت ثانویه
	قابلیت ذخیره‌سازی سوخت
	میزان دسترسی به تکنولوژی تولید، توزیع و مصرف
	سهولت به‌کارگیری سوخت

1- International Energy Agency.

معیارها		زیرمعیارها (شاخص‌ها)
امنیت انرژی		میزان منابع بومی
		کاهش وابستگی به واردات
		کاهش وابستگی به نفت
توسعه پایدار	اجتماعی	میزان پذیرش مصرف کننده
	زیست محیطی	پاکی سوخت از منظر میزان انتشارآلاینده‌های زیست محیطی در مرحله استخراج، پالایش و تولید
		پاکی سوخت از منظر میزان انتشارآلاینده‌های زیست محیطی درمرحله انتقال
		پاکی سوخت از منظر میزان آلایندگی گازهای خروجی اگزوز
		پاکی سوخت از منظر میزان سمیت ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده آن
		حداکثرمصرف از انرژی‌های تجدیدپذیر
	اقتصادی	میزان بلوغ بازار
		کاهش احتمال قاچاق سوخت
		تناسب قیمت نهایی سوخت مصرفی با درآمد سرانه

منبع: (تسیتا و پیلاواکی، ۲۰۱۲)، (ارسلان و همکاران، ۲۰۱۰)، (حوری جعفری و براتی ملایری، ۲۰۰۸)، (بری و همکاران، ۲۰۰۷)، (تزنگ و همکاران، ۲۰۰۵)، (آژانس بین‌المللی انرژی،۲۰۱۳)، (یعقوبی و بخش، ۱۳۹۱)، (ملکی، ۱۳۹۰) و(عبدلی، ۱۳۸۹).

گزینه‌های مدل سوخت‌های مرسوم و جایگزین در خودروهای سبک می‌باشند که با در نظرگرفتن افق میان‌مدت و هم‌چنین ملاحظات مقیاسی خودروها، بعد از انجام مطالعات و بررسی‌های لازم و هم‌چنین رایزنی با کارشناسان مربوطه در قالب روش دلفی[1]، سوخت‌های بنزین[2]، نفت‌گاز (گازوئیل)[3]، گاز مایع نفتی، گاز طبیعی، اتانول[4]، بیودیزل[5]، بیوگاز[6]، هیدروژن[7] و برق[8] به‌عنوان گزینه‌های اولویت‌بندی انتخاب شدند. (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۳)، (ارسلان و همکاران، ۲۰۱۰) و (خاکسار و خاکسار، ۱۳۹۰).

1- Delphi method
2- Gasoline
3- Gasoil
4- Ethanol
5- Biodiesel
6- Biogas
7- Hydrogen.
8- Electricity.

تعیین وزن شاخص‌ها

در این تحقیق با بهره‌گیری از روش وزن‌دهی فازی، وزن شاخص‌ها محاسبه شده است، بدین صورت که معیارها در قالب پرسشنامه‌ای مجزا در میان خبرگان توزیع شد و به منظور جلوگیری از پیچیدگی، پیوستاری هفت گزینه‌ای شامل الف) فوق‌العاده مهم، ب) خیلی مهم، ج) مهم، د) اهمیت متوسط، ه) کم اهمیت، و) خیلی کم اهمیت، ز) بی‌اهمیت، در مقابل هر معیار قرار گرفت. در ادامه با جمع‌آوری این پرسشنامه‌ها، توزیع اهمیت هر یک از معیارها به دست آمد. از طرفی به منظور تبدیل اعداد کیفی[1] به‌دست آمده از پرسشنامه، به اعداد کمی قطعی[2]، به هر یک از آنها یک عدد مثلثی فازی مطابق جدول (۳) تخصیص داده شد. در ادامه، با استفاده از مفاهیم منطق فازی و فرمول تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی (فرمول مینکووسکی $x = m + \frac{\beta-\alpha}{4}$[3])، اعداد فازی مزبور به اعداد قطعی تبدیل شد (کرامتی و وکیلی، ۱۳۸۹). سپس با ضرب تعداد پاسخ‌های به‌دست آمده هر شاخص در اعداد قطعی و تقسیم نتیجه بر تعداد پاسخ دهندگان، وزن هر شاخص به دست آمده و با تقسیم وزن هر شاخص بر مجموع وزن شاخص‌ها، وزن نرمال شده حاصل شده است. سایر محاسبات انجام شده و وزن‌های به‌دست آمده در جدول (۴) مشخص شده‌اند.

جدول ۳- تبدیل اعداد فازی مثلثی به اعداد قطعی

گزینه	عدد کیفی	عدد فازی مثلثی	عدد فازی قطعی شده
الف	فوق العاده مهم	(۰، ۰/۱، ۱)	۰/۹۷۵
ب	خیلی مهم	(۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۸۵)	۰/۸۵
ج	مهم	(۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۶۵)	۰/۶۵
د	اهمیت متوسط	(۰/۲، ۰/۲، ۰/۵)	۰/۵
ه	کم اهمیت	(۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۳۵)	۰/۳۵
و	خیلی کم اهمیت	(۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۱۵)	۰/۱۵
ز	بی‌اهمیت	(۰ ،۰ ،۰/۱)	۰/۰۲۵

منبع: کرامتی و وکیلی، ۱۳۸۹

1- Qualitative Number
2- Deterministic Number
3- Minkowsky

جدول ۴- وزن نهایی شاخص‌ها

معیارها		زیر معیارها		میزان اهمیت	وزن نرمال شده
هزینه		۱	میزان ارجحیت سوخت از منظر هزینه‌های استخراج، پالایش و تولید	۱/۰۹۵	۰/۰۵۰
		۲	میزان ارجحیت سوخت از منظر هزینه انتقال و توزیع سوخت	۱/۰۵۲	۰/۰۴۸
		۳	میزان ارجحیت سوخت از منظر هزینه‌های سرمایه‌ای استفاده سوخت	۱/۰۷۵	۰/۰۴۹
تکنولوژی		۴	محتوای انرژی سوخت	۰۰/۹۴	۰/۰۴۳
		۵	قابلیت استفاده سوخت در کنار سوخت مرسوم اتومبیل به‌عنوان سوخت ثانویه	۰/۹۸۲	۰/۰۴۴
		۶	قابلیت ذخیره سازی سوخت	۱/۲۲۵	۰/۰۵۵
		۷	میزان دسترسی به تکنولوژی تولید، توزیع و مصرف	۱/۰۸۰	۰/۰۴۹
		۸	سهولت به‌کارگیری سوخت	۱/۰۶۰	۰/۰۴۸
امنیت انرژی		۹	میزان منابع بومی	۱/۲۵۲	۰/۰۵۷
		۱۰	کاهش وابستگی به واردات	۱/۲۳۲	۰/۰۵۶
		۱۱	کاهش وابستگی به نفت	۱/۰۷۰	۰/۰۴۸
توسعه پایدار	اجتماعی	۱۲	میزان پذیرش مصرف کننده	۱/۱۶۷	۰/۰۵۳
	زیست محیطی	۱۳	پاکی سوخت از منظر میزان انتشارآلاینده‌های زیست محیطی در مرحله استخراج، پالایش و تولید	۱/۱۴۵	۰/۰۵۲
		۱۴	پاکی سوخت از منظر میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در مرحله انتقال	۱/۹۶۰	۰/۰۴۳
		۱۵	پاکی سوخت از منظر میزان آلایندگی گازهای خروجی اگزوز	۱/۳۶۵	۰/۰۶۲
		۱۶	پاکی سوخت از منتظر میزان سمیت ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده آن	۱/۱۶۷	۰/۰۵۳
		۱۷	حداکثر مصرف از انرژی‌های تجدیدپذیر	۱/۰۹۵	۰/۰۵۰
	اقتصادی	۱۸	میزان بلوغ بازار	۱/۰۵۵	۰/۰۴۸
		۱۹	کاهش احتمال قاچاق سوخت	۰/۹۴۰	۰/۰۴۲
		۲۰	تناسب قیمت نهایی سوخت مصرفی با درآمد سرانه	۱/۱۳۵	۰/۰۵۱
جمع				۲۲/۰۹۲	۱/۰۰۰

منبع: یافته های تحقیق

تجزیه و تحلیل داده‌ها و اولویت‌بندی سوخت‌ها با استفاده از روش SIR

در این بخش با استفاده از نرم افزار Excel تمامی مراحل رتبه‌بندی روش SIR مدل شده و با در دست بودن ماتریس تصمیم و وزن داده‌ها، به‌عنوان ورودی مدل، به تجزیه و تحلیل داده‌ها و رتبه‌بندی گزینه‌ها پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که به منظور جامعیت تحقیق و هم‌چنین استفاده مراکز آموزشی و تحقیقاتی و مؤسسات فعال در زمینه انرژی خصوصاً بخش حمل و نقل، سوخت مرسوم بنزین نیز در بین گزینه‌ها گنجانده شده تا با در نظر گرفتن معیارهای جامع سنجش، جایگاه این سوخت پرسابقه نیز در میان انواع سوخت، سنجیده شده و هم‌چنین خروجی کار با در بر داشتن انواع سوخت‌ها شامل بنزین و دیگر سوخت‌های جایگزین بنزین، در دسترس طیف وسیعی از فعالان و تصمیم‌گیرندگان حوزه‌های مربوطه قرار گیرد.

ماتریس تصمیم

ماتریس نشان داده شده در جدول (۵) ماتریس تصمیم است که به‌عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۵- ماتریس تصمیم

معیارها	سوخت زیرمعیارها (شاخص‌ها)	بنزین	گازوئیل	LPG	گاز طبیعی	بیو دیزل	بیوگاز	هیدروژن	اتانول	برق
هزینه	C_1	۶/۸	۶/۹	۶/۴	۸	۴/۶	۴/۹	۲/۳	۵/۲	۵/۸
	C_2	۷/۵	۷/۶	۶/۶	۷/۱	۶/۲	۵/۷	۲	۵/۴	۶/۹
	C_3	۷/۸	۷/۲	۶/۷	۷/۳	۶/۵	۵/۶	۲/۴	۶/۳	۵/۵
تکنولوژیک	C_4	۷/۳	۹	۵/۵	۳/۹	۸/۳	۳/۶	۴/۲	۴/۹	۲/۵
	C_5	۷/۲	۲/۷	۵/۶	۸	۳/۸	۵/۵	۳/۴	۶/۷	۵/۲
	C_6	۸/۷	۸/۴	۷/۲	۶/۴	۶/۷	۵/۸	۲/۵	۶/۷	۴/۱
	C_7	۸/۲	۸	۷/۹	۷/۷	۴/۹	۴/۵	۲	۵/۹	۶/۵
	C_8	۸/۳	۸/۱	۷/۶	۷/۵	۷/۱	۶/۳	۳	۵/۸	۶/۶
امنیت انرژی	C_{10}	۷/۵	۷/۵	۷/۲	۸/۸	۴/۳	۵/۸	۴/۲	۴/۵	۷/۱
	C_{10}	۵/۳	۵/۹	۵/۴	۷/۵	۵/۱	۶/۱	۴/۷	۴/۵	۵/۲
	C_{11}	۱/۲	۱/۵	۱/۳	۶/۳	۷/۱	۷/۶	۷/۸	۸/۳	۵/۳

معیارها		سوخت زیرمعیارها (شاخص‌ها)	بنزین	گازوئیل	LPG	گاز طبیعی	بیو دیزل	بیوگاز	هیدروژن	اتانول	برق
توسعه پایدار	اجتماعی	$C_{۱۲}$	۹	۸	۷/۱	۷/۲	۶/۲	۵/۳	۳/۵	۵/۶	۵/۵
	زیست محیطی	$C_{۱۳}$	۳/۹	۴	۴/۶	۵/۸	۶/۸	۷/۲	۷/۵	۷/۷	۶/۱
		$C_{۱۴}$	۴/۶	۵	۵/۴	۷/۱	۶/۷	۶/۶	۷	۷/۱	۸/۴
		$C_{۱۵}$	۳/۲	۳/۳	۵/۶	۵/۹	۷	۶/۸	۸/۸	۷/۳	۸/۹
		$C_{۱۶}$	۴	۴/۱	۵/۵	۶/۲	۶/۵	۷/۱	۸/۱	۷/۵	۸/۷
		$C_{۱۷}$	۱/۳	۱/۳	۳/۲	۳/۵	۸/۱	۸/۲	۶/۳	۸/۲	۶/۴
	اقتصادی	$C_{۱۸}$	۸/۹	۷	۶/۹	۷/۶	۴/۲	۳/۸	۱/۹	۴	۴
		$C_{۱۹}$	۱/۷	۱/۵	۴/۷	۷/۷	۵/۶	۷/۴	۷/۹	۶/۳	۸/۱
		$C_{۲۰}$	۵/۶	۶/۴	۶/۷	۸/۱	۴/۶	¼	۲/۱	۴/۸	۵/۳

منبع: یافته های تحقیق

تخصیص توابع ترجیح

با توجه به ماهیت شاخص‌ها، توابع ترجیح مناسب به ترتیب جدول (۶) به آنها تخصیص داده شد. هم چنین آستانه بی‌تفاوتی (q) نیز به دلیل نزدیکی زیاد ارجحیت هر سوخت با توجه به بسیاری از معیارها، در تعداد زیادی از گزینه‌ها، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان، صفر در نظر گرفته شد و آستانه ارجحیت کامل (p) نیز از همان طریق، ۳ واحد اتخاذ گردید (رنو همکاران، ۲۰۰۹).

جدول۶- مختصات توابع ترجیحی هر معیار

معیارها / مختصات	اقتصادی و هزینه	تکنولوژیک	زیست محیطی	اجتماعی
نوع تابع	۵	۳	۱	۱
آستانه ارجحیت کامل (p)	۳	۳	-	-
آستانه بی تفاوتی(q)	۰	-	-	-

منبع: یافته های تحقیق

مقایسه گزینه‌ها

در ادامه، خروجی تابع ارجحیت تخصیصی، برای همه گزینه‌ها با توجه به هر معیار در قالب ماتریسی ۹×۹ به دست آمده است. در این پژوهش، با توجه به تعداد معیارها و

گزینه‌ها، ۲۰ ماتریس ۹×۹ تشکیل شده است. یک نمونه از این ماتریس‌ها در جدول (۷) آمده است.

جدول۷- مقایسه گزینه‌ها با توجه به معیار اول (میزان ارجحیت سوخت از منظر هزینه‌های استخراج، پالایش و تولید)

C_1	بنزین	گازوئیل	LPG	گازطبیعی	بیودیزل	بیوگاز	هیدروژن	اتانول	برق
بنزین	۰	۰	۰/۱۳۳	۰	۰/۷۳۳	۰/۶۳۳	۱	۰/۵۳۳	۰/۳۳۳
گازوئیل	۰/۰۳۳	۰	۰/۱۶۷	۰	۰/۷۶۷	۰/۶۶۷	۱	۰/۵۶۷	۰/۳۶۷
LPG	۰	۰	۰	۰	۰/۶۰۰	۰/۵۰۰	۱	۰/۴۰۰	۰/۲۰۰
گاز طبیعی	۰/۴۰۰	۰/۳۶۷	۰/۵۳۳	۰	۱	۱	۱	۰/۹۳۳	۰/۷۳۳
بیو دیزل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۷۶۷	۰	۰
بیوگاز	۰	۰	۰	۰	۰/۱۰۰	۰	۰/۸۶۷	۰	۰
هیدروژن	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اتانول	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۶۷	۰	۰
برق	۰	۰	۰	۰	۰/۴۰۰	۰/۳۰۰	۱	۰/۲۰۰	۰

منبع: یافته های تحقیق

ماتریس‌های برتری S و مادونی I و تعیین مقادیر برتری و مادونی

در این مرحله، ماتریس‌های برتری S و مادونی I با استفاده از روابط (۴) و (۵) محاسبه شده‌اند. هم‌چنین مقادیر این روندها برای هرگزینه در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول ۸- مقادیر برتری و مادونی

سوخت روند	بنزین	گازوئیل	LPG	گاز طبیعی	بیو دیزل	بیوگاز	هیدروژن	اتانول	برق
$\varphi+$	۴/۸۱۲	۴/۶۱۲	۴/۲۶۳	۵/۰۹۷	۳/۵۸۸	۳/۴۷۳	۲/۹۵۲	۳/۵۵۷	۳/۶۲۹
$\varphi-$	۳/۲۷۸	۳/۴۴۱	۳/۴۷۶	۳/۹۱۳	۴/۳۱۶	۴/۳۳۰	۶/۴۱۷	۴/۰۶۸	۴/۲۳۷

منبع: یافته های تحقیق

تعیین مقادیر برتری و مادونی خالص و نسبی و رتبه‌بندی نهایی

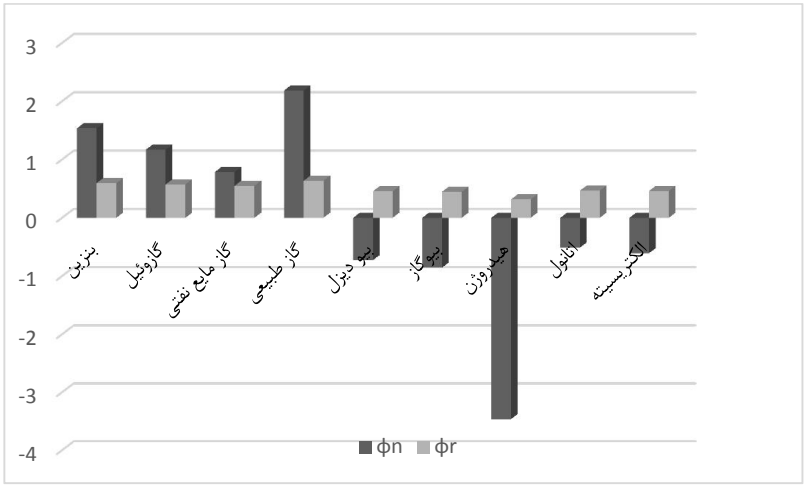
روند برتری خالص و نسبی مطابق با روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه شده است. رتبه‌بندی برتری $R_>$ و مادونی $R_<$ دو رتبه‌بندی متفاوت می‌باشند که باید با ترکیب آنها $R_> \cap R_<$ به رتبه‌بندی نهایی رسید. در جدول (۹) مقادیر روند برتری خالص و نسبی و هم‌چنین رتبه بندی بر اساس این دو روند دیده می‌شود.

جدول ۹- مقادیر برتری و مادونیخالص و نسبی و رتبه‌بندی نهایی

سوخت / روند	بنزین	گازوئیل	LPG	گاز طبیعی	بیو دیزل	بیوگاز	هیدروژن	اتانول	برق
φ_n	۱/۵۳۴	۱/۱۷۰	۰/۷۸۷	۲/۱۸۳	-۰/۷۲۹	-۰/۸۵۷	-۳/۴۶۵	-۰/۵۱۱	-۰/۶۰۸
φ_r	۰/۵۹۵	۰/۵۷۳	۰/۵۵۱	۰/۶۳۶	۰/۵۴۰	۰/۴۴۵	۰/۳۱۵	۰/۴۶۷	۰/۴۶۱
R_n	۲	۳	۴	۱	۷	۸	۹	۵	۶
R_r	۲	۳	۴	۱	۷	۸	۹	۵	۶

منبع: یافته های تحقیق

همان‌طور که در جدول (۹) دیده می‌شود، هر دو نوع رتبه بندی کاملاً یکسان بوده و تبعاً ترکیب آن دو نیز نتیجه یکسانی خواهد داشت. در شکل (۴) روند خالص و نسبی روش SIR به صورت شماتیک ارائه شده است.



شکل ۴- روند خالص و نسبی روش SIR

۵- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل حاکی از جذابیت بالای سوخت CNG است و این سوخت اولویت اول، حتی بالاتر از بنزین را از آن خود نموده و سوخت‌های بنزین، گازوئیل، LPG، اتانول، برق، بیودیزل، بیوگاز و هیدروژن در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند. هم‌چنین در میان سوخت‌های با منابع اولیه تجدیدپذیر، اتانول از بالاترین اولویت برخوردار است، نتایج حاصل از این تحقیق با توجه به وضعیت سوخت‌های مورد بررسی در کشور از اعتبار مناسبی برخوردار است. در همین رابطه خاکسار و خاکسار (۱۳۹۰)، در تحقیقی به بررسی سوخت‌های جایگزین بنزین پرداخته و سوخت پیشنهادی را گاز طبیعی معرفی کرده است. هم‌چنین اکبری و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی به بررسی سبد سوخت کشور پرداخته و مشکلات استفاده از گاز طبیعی با روندی تند را معرفی کردند. در این تحقیق به گازوییل به‌عنوان سوختی اقتصادی و پاک‌تر از بنزین نگاهی ویژه شده است. در تحقیقات خارجی نیز، وینبریک و کریسوسیک[1] (۲۰۰۳)، در پژوهشی با سناریوهای مختلف، گاز طبیعی را به‌عنوان گزینه‌ای مناسب معرفی کردند. همین‌طور ارسلان و همکاران (۲۰۱۰)، سوخت‌های جایگزین در ترکیه را بررسی و گاز طبیعی و LPG را به‌عنوان سوخت‌هایی با قابلیت جانشینی مناسب معرفی کردند.

پیشنهادها

در این تحقیق با تأکید بر معیارهای‌هزینه، فناوری، پایداری و امنیت انرژی، اولویت‌بندی سوخت خودروهای سبک شامل بنزین، نفت‌گاز (گازوئیل)، LPG، گاز طبیعی، اتانول، بیودیزل، بیوگاز، هیدروژن و برق با در نظر داشتن یک افق میان‌مدت، در قالب روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی SIR انجام گردید.

در حال حاضر سبد تدوین شده در بخش حمل و نقل شامل ۷۰ درصد بنزین و گازوئیل، ۲۵ درصد CNG و LPG و ۵ درصد هیبرید و برق و سایر سوخت‌ها می‌باشد (اکبری، ۱۳۸۹). با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت جایگزین کردن سوخت‌های جدید در خودروهای سبک امری چالش برانگیز خواهد بود. سوخت‌های فسیلی با وجود تمامی مشکلاتی که در چرخه زیست محیطی ایجاد کرده‌اند، هنوز از جذابیت زیادی برخوردارند. دلیل عمده این موضوع را می‌توان در مباحثی مانند وجود

1- Winebrake and CresWick.

زیرساخت‌های لازم برای استفاده، قیمت مناسب، آشنایی و عادت مصرف کننده و مقاومت در برابر تغییر در سیستم رایج حمل و نقل، میزان منابع بومی قابل توجه و تکنولوژی تولید و توزیع و پخش، یافت. با توجه به اولویت سوخت CNG در این تحقیق و هم‌چنین سابقه مناسب این سوخت در بخش حمل و نقل و با توجه به افق زمانی مورد نظر، افزایش سهم آن نسبت به بقیه سوخت‌های جایگزین در سبد مزبور توجیه بیش‌تری خواهد داشت. این مهم نیازمند افزایش جایگاه‌های عرضه CNG، انجام تحقیقات مؤثر در راستای تولیدات داخلی خودروهای گازسوز با کیفیت مناسب‌تر و تبدیل بازار خودرو به بازاری رقابتی و هم‌چنین دسترسی هرچه بیش‌تر به ایستگاه‌های تعمیرات و خدمات جانبی از قبیل در دسترس بودن قطعات یدکی می‌باشد. در کنار این سوخت و با توجه به اولویت مناسب LPG، حضور پررنگ‌تر این سوخت با پتانسیل بالا در سبد سوخت نیز مناسب ارزیابی می‌شود. علاوه بر این، ثبات تصمیم‌گیری در رابطه با ورود تدریجی این سوخت به سبد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین می‌توان با افزایش مجموع سهم این دو نوع سوخت تا حدی سهم بنزین و گازوئیل را کاهش داد. در رابطه با گازوئیل نیز افزایش بیش‌تر سهم این سوخت در سبد سوخت‌های مصرفی بخش حمل و نقل چندان در راستای نیل به هدف مورد بحث بوده و بر اساس تحقیقات به عمل آمده به نظر می‌رسد ترکیب این سوخت و استفاده در خودروها به صورت هیبرید دیزل- الکتریسیته می‌تواند استفاده از این سوخت (هم‌چنین الکتریسیته) را بهینه کند (تسیتا و پیلاواکی، ۲۰۱۲ و آژانس بین‌المللی انرژی،۲۰۱۳). به منظور دست‌یابی به هدف پاک‌سازی محیط زیست و هم‌چنین متنوع کردن سبد سوخت، باید سهم ۵ درصدی خودروهای هیبریدی و دیگر سوخت‌ها را به تدریج افزایش داد. این تغییر مستلزم آماده‌سازی زیرساخت‌ها و هم‌چنین بومی‌سازی دانش و تکنولوژی تولید است. در رابطه با سوخت‌هایی هم‌چون اتانول و بیودیزل لازم است بودجه مطالعات و فراهم‌سازی مواد اولیه و فرآیند تولید افزایش یابد تا در افق زمانی مورد نظر، سهم این سوخت‌های پاک در سبد بخش حمل و نقل افزایش یابد. لازم به یاد آوری است که اتانول در رتبه‌بندی، بالاترین اولویت در سوخت‌های پاک را به خود اختصاص داده است. یکی از مشکلات اساسی در رابطه با اتانول و بیودیزل، تولید این سوخت‌هامی‌باشد. خصوصاً در رابطه با بیودیزل که مواد اولیه آن، گیاهان روغنی است که متأسفانه، امروزه در بخش کشاورزی، توجه چندانی به پرورش این نوع گیاهان معطوف نشده، هم‌چنین از لحاظ منابع بومی نیز قادر به رقابت با سوخت‌های فسیلی نمی‌باشد. بیوگاز و هیدروژن

نیز پس از سوخت‌های دیگر در رده‌های بعد قرار دارند. هم‌چنین افزایش خودروهای مناسب هیبریدی نیز در حال حاضر نیازمند منطقی شدن تعرفه واردات این نوع خودروها و تشویق سرمایه‌گذاری در این بخش خواهد بود و باید با تقویت زیرساخت‌های صنعت خودروسازی، به مقوله بومی‌سازی تکنولوژی این نوع خودروها روی آورد. استفاده مستقیم از هیدروژن در خودرو نه تنها در کشور، بلکه در سطح جهان نیز در مقیاس کلان، هنوز با توفیق چندانی همراه نبوده است. البته این نوع سوخت در حال حاضر، بیش‌تر به‌عنوان خوراک برای خودروهای با تکنولوژی پیل سوختی مرسوم می‌باشد که از استقبال مناسبی هم برخوردار بوده است. پارامتر بسیار مهمی که در حال حاضر به‌صورت مشخص موجب عدم توجه به بحران سوخت کشور شده و به‌طور مستقیم صنعت خودروسازی داخلی را نیز تحت‌الشعاع قرار داده قیمت پایین سوخت در کشور است که با در پیش گرفتن سیاست حذف تدریجی یارانه‌ها، به مرور بار منفی این پارامتر تا حدود زیادی تعدیل خواهد شد. نتایج حاصل از این تحقیق با توجه به وضعیت سوخت‌های مورد بررسی در کشور از اعتبار مناسبی برخوردار است. با بررسی وضعیت موجود و نتایج تحقیق حاضر می‌توان به جذابیت زیاد سوخت‌های فسیلی پی برد. این سوخت‌ها به دلیل وجود منابع عظیم و تبعاً قیمت بسیار مناسب، قابلیت رقابت را از بقیه سوخت‌ها گرفته و حتی در افق میان‌مدت نیز با وجود معضلات بی‌شمار ناشی از مصرف زیاد آن‌ها، اولویت‌های مناسبی را از آن خود کرده‌اند. با توجه به اهمیت روزافزون مقوله سوخت‌های جایگزین، پیشنهادهای تحقیق برای انجام هر چه بهتر پژوهش‌های آتی در زمینه مرتبط به شرح زیر است:

۱- مقایسه تطبیقی نتایج حاصل از پژوهش‌های مرتبط داخلی و خارجی به منظور اجماع و ترکیب یافته‌ها

۲- مقایسه نتایج حاصل از پژوهش‌های مشابه در یک کشور واردکننده حامل‌های انرژی همانند ترکیه با نتایج پژوهش‌های داخلی

۳- تحلیل حساسیت به منظور یافتن اثرات بعدهای مختلف معیارهای تحقیق حاضر

۴- بررسی و اولویت‌بندی تکنولوژی‌های نو در خودروهای سبک

تقدیرو تشکر

در این بخش با ذکر این مورد که تحقیق حاضر تحت حمایت شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت بوده است، مؤلفین از کارشناسان مربوطه در بخش حمل و نقل این

سازمان، هم‌چنین کارشناسان مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست و مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی که با همکاری و مشاوره بی‌دریغ، انجام مراحل پژوهش راتسهیل نمودند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

فهرست منابع

اکبری، محمدرضا؛ عامری، محمدجواد؛ میراحمدی، سیدمحسن (۱۳۸۹)، *بررسی سبد سوخت کشور در حوزه حمل و نقل و راهکارهای بهبود آن، کنفرانس بهینه سازی مصرف انرژی.*

ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، (۱۳۹۱)، بخش اول، تهران، وزارت نیرو.

نگهداری، سعید (۱۳۸۶)، *سوخت‌های جایگزین بنزین و گازوییل، کنفرانس سراسری بهینه‌سازی مصرف انرژی.*

عبدلی، محمدعلی (۱۳۸۴)، توسعه پایدار انرژی، انتشـــــارات دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

کرامتی، محمدعلی؛ وکیلی، مهدی (۱۳۸۹)، *استفاده از* تکنیک SIR در *راستای بررسی معیارها و روش‌های انتخاب پیمان‌کاران*، ششمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه.

ملکی، عباس (۱۳۹۰)،سیاست‌گذاری انرژی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.

یعقوبی، اسماعیل؛ بخش، رحیم‌اله (۱۳۹۰)، *بررسی عوامل* قاچاق سوخت *و راهبردهای پیش‌گیری از آن در شهرهای مرزی استان سیستان و بلوچستان*، همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش‌ها و رهیافت‌ها.

Afgan, NH., Pilavachi, PA., Carvalho, MG. (2007), Multi-criteria evaluation of gas resources. Energy Policy 35, 704-413.

Al-Ghandoor, A., Jaber, J.O., Al-Hinti, I., Mansour,I.M. (2009), Residential past and future energy consumption: Potential savings and environmental impact, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 1262–1274.

Alanne, K., Salo, A., Saari, A., Gustafsson, S. (2007), Multi-criteria evaluation of residential energy supply systems. Energy and Buildings; 39(12), 1218-1226.

Arslan, R., Ulusoy, Y, Tekin, Y., Surmen, A. (2010), An evaluation of the alternative transport fuel policies for Turkey,Energy Policy 48, 677–686.

Atmaca, E., Basar, H.B. (2012), Evaluation of power plants in Turkey using Analytic Network Process (ANP), Energy 44, 555-563.

Brey, J.J., Contreras, I., Carazo, A.F., Brey, R., Hernandez-Dıaz, A.G., Castro,A. (2007), Evaluation of automobiles with alternative fuels utilizing multi criteria techniques, Journal of Power Sources 169, 213–219.

Browne, D., O'Regan, B., Moles, R. (2010), Use of multi-criteria decision analysis to explore alternative domestic energy and electricity policy scenarios in an Irish city-region, Energy 35, 518-528.

Crystobal, J.R.S, (2011), Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in spain: The Vikor method, Renewable Energy, 36, 498-502.

Houri Jafari, H., Baratimalayeri, A. (2008), the crisis of gasoline consumption in the Iran's transportation sector, Energy Policy 36, 2536–2543.

Kahraman, C., Kaya, I., Cebi, S. (2009) comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process", Energy 34, 1603-1616.

Katerina G., *T., Pilavachi*, P. (2012),Evaluation of alternative fuels for theGreek road transport sector using the analytic hierarchy process, Energy Policy 48, 677-686.

Mehregan, MR., Salami, Hadi., Khajeh, M. (2013), sensitivity analysis of prioritizing amongst power plants using analytical network process, quarterly energy economics review; winter 2013; 9(35), 169-198.

Mohsen, MS., Akash, BA. (1997), Evaluation of domestic solar water heating system in Jordanusing analytical hierarchy process. Energy Conversion and Management 38(18), 1815–1822.

Mourmouris, J.C., Potolias, C., (2013), A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece, Energy Policy 52, 522-530.

OECD/IEA, (2006), Oil, Gas, Coal and Electricity Quarterly Statistics. Organization for Economic Co-operation and Development/International Energy Agency, Paris.

Ramanathan, R., Ganesh, LS. (1995), Energy alternatives for lighting in households: an evaluationusing an integrated goal programming-AHP model. Energy 20(1), 63–72.

Ren, H., Gao, W., Zhou, W., Nakagami, K., (2009), Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan, Energy Policy, 37, 5484-5493.

Stein, E.W. (2013), a comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 640-654.

Tzeng, GH., Lin, CW., Opricovic, S. (2005) Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. Energ Policy 33(11), 1373–1383.

Wang, B., Kocaoglu, DF., Daim, T.,Yang, J. (2010), A decision model for energy resource selection in China, Energy Policy 38, 7130–7141.

Winebrake, J.J., Creswick, B.P. (2003), The future of hydrogen fueling systems for transportation: an application of perspective-based scenario analysis using the analytic hierarchy process. Technological Forecasting and Social Change 70 (2), 359–384.

Xiaozhan X., (2001), The SIR method : A superiority and inferiority ranking method for multiple criteria decision making, European journal of operational research 131, 587-602.

Evaluation of Conventional Fuels for Light Duty Vehicles Using Superiority and Inferiority Ranking Method (SIR)

M.Hadi Sehatpour
MA in Industrial Management, University of Tehran

Aliyeh Kazemi[1]
Assistant Professor, Faculty of Management, University of Tehran

Received: 2014/10/15 Accepted: 2015/07/16

Abstract

The world currently faces a dual crisis in energy relating to limited resources of fossil fuels (oil and gas products) and environmental pollution. The transportation sector plays a major role in this crisis due to its responsibility for a significant share of environmental pollution and energy consumption. In recent years, there have been many attempts to develop alternative fuels in the sector. Despite the adverse consequences of excessive consumption of gasoline in Iran, its consumption has not been reduced significantly. As of 2011, among all types of fuels used in the transportation sector, gasoline has the most dominant share, accounting for 47٪ (120.8 million barrels of oil equivalents) of all fuel use. In this study we develop a multi criteria framework to rank alternatives for the medium term. We compare nine different alternative fuels for light duty vehicles against a wide range of criteria including cost and technological considerations and sustainability and security of energy, using a MADM method named superiority and inferiority ranking (SIR). We conclude that the most suitable fuel for light duty vehicles in Iran is CNG followed by gasoline, gasoil, LPG, electricity, biodiesel, biogas and hydrogen respectively. Moreover, Ethanol has the highest priority amongst conventional renewable fuels.

JEL classification: A12, C44, D81, O21, Q42

Keywords: Alternative Fuels, MADM, Transportation Sector, Sustainable Development, Energy Security

1- Corresponding Author