



## تحلیل ریاضی راهکارهای توسعه تکنولوژیهای استراتژیک پیل سوختی در صنعت خودرو با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS

کیوان صادق زاده<sup>۱</sup>، محمد باقر صالحی<sup>۲</sup>

دانشگاه صنعتی شریف

[sadeghzadeh@alum.sharif.edu](mailto:sadeghzadeh@alum.sharif.edu)

[k.sadeghzadeh@hampaco.org](mailto:k.sadeghzadeh@hampaco.org)

### چکیده

نظر به افزایش مشکلات زیست محیطی، انواع آلودگیها و کاهش منابع انرژی فسیلی در جهان، نیاز به یک مولد انرژی پاک در جهت ارضاء محدودیتهای مذکور امری ضروری به نظر می رسد. در این مقاله سعی شده است تا با اشاره رهیافتهای منتج به تکنولوژیهای استراتژیک پیل سوختی به عنوان مبدلی نا آلاینده در صنعت خودرو، با توجه به رویکرد ریاضی تصمیم گیری چند معیاره، در نظر گرفتن توانمندیها و جذابیت های تکنولوژیهای استراتژیک و افزایش جذابیت و اهمیت توده پیل سوختی به عنوان یک زیر سیستم، میزان تمرکز و توجه به حوزه های دانش فنی، نیروی انسانی متخصص و تجهیزات در دو مقیاس صنعتی و آزمایشگاهی را در راستای تحقق این مهم رتبه بندی کرد. فنون ریاضی تصمیم گیری یکی از ارزش ترین دست آوردهای فعالیت پژوهشگران می باشد که غالباً تحت عناوین تحقیق در عملیات، پژوهش عملیاتی و یا روشهای کمی تصمیم گیری در محافل علمی مطرح می شوند. در نگرش فرآیندی به تصمیم گیری، محور تأکید و کاربرد این فنون به ایجاد مدل از مسأله تصمیم، ارزیابی راه حل های ممکن و گزینش بهترین یا رضایتبخش ترین راه حل مربوط می شود و در گذر زمان همراه با افزایش درجه پیچیدگی و تنوع مسائل تصمیم گیری، روش های تصمیم گیری نیز متنوع و از توانمندیهای بیشتری برخوردار گردیده اند. همچنین نتایج گزارش شده از کاربرد این روشها به خوبی دلالت بر استفاده گسترده از آنها در حوزه های مختلف تصمیم گیری دارد. نتایج حاصل در این مقاله، راهکارهای اساسی توسعه تکنولوژی پیل سوختی به عنوان نیروی محرکه خودرو در قالب اولویتهای تخصیص نیرو و سرمایه گذاری تکنولوژیهای حوزه یا زیر سیستم توده پیل سوختی به منظور توسعه تکنولوژیک پیل سوختی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره را ارائه می دهد.

**واژه های کلیدی:** پیل سوختی، تکنولوژی استراتژیک، راهکارهای توسعه، صنعت خودرو، روش تصمیم گیری چند معیاره

### ۱- مقدمه

موقفیت هیدروژن به عنوان سوخت در بخش حمل و نقل، به توسعه و تجاری سازی خودروهای پیل سوختی رقابتی وابسته است. تلاش در این زمینه شامل توسعه سیستمهای پیل سوختی متحرک، سبک و فشرده، با توان بالا، مطمئن برای

۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، محقق دانشگاه صنعتی شریف، مدیر کیفیت و تعالی شرکت مهندسی همپا

۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، شرکت بلند طبقه، [mbs\\_salehi@yahoo.com](mailto:mbs_salehi@yahoo.com)



عملکرد طی ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ساعت یا بیشتر در شرایط گرما و سرما، پاسخگوی سریع به تقاضاهای موقت برق (معمولاً توسط هیبرید شدن با یک باتری یا برای ذخیره الکتریکی در خودرو) و با قابلیت مصرف هیدروژن با درجه خلوص متفاوت، می باشد. از مهم ترین مسائل مربوط به خودروی پیل سوختی، راندمان سوختی، راندمان سوختی، مصرف کمتر سوخت ولی داشتن راندمان بالاتر، هزینه کمتر سوختی را در پی خواهد داشت که در پی آن حداقل تأثیرات زیست محیطی مطرح می شود. به طور کلی استفاده از سیستمهای پیل سوختی موجب افزایش قابلیتهای کنترلی در خودروهای گوناگون می گردد. خودروهای پیل سوختی جایگزین جذابی برای خودروهای با موتور احتراق داخلی محسوب میشوند، چرا که قادرند عملکردی مشابه با خودروهای رایج به انضمام مزایای افزون متعدد، نظیر عملکرد بهتر زیست محیطی، می باشند و با حذف زیرسیستمهای مکانیکی و هیدرولیکی، طرحهای متنوع بیشتری را ایجاد می کنند.

## ۲- تکنولوژیهای استراتژیک

امروزه هیچ تردیدی در مورد نقش اساسی تکنولوژی در زندگی بشر و اثر روزافزون آن در تحولات آینده جوامع بشری وجود ندارد. دولت‌ها، سازمان‌های بزرگ ملی و بین‌المللی و بنگاه‌های کوچک و بزرگ اقتصادی برای موفقیت خود نیاز به تکنولوژی دارند. بشر در حالی وارد قرن بیست و یکم شده است که پیشرفت‌های تکنولوژی او را محاصره کرده و جوامع بشری وابستگی عمیقی به تکنولوژی پیدا کرده‌اند. علیرغم نقش کلیدی که تکنولوژی در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کند و در آینده نیز ایفا خواهد کرد، هنوز تصور واحدی از این مفهوم در ادیان وجود ندارد. لذا ارائه یک تعریف نسبتاً دقیق و شفاف از تکنولوژی در ابتدای گزارش ضروری است. این تعریف منظور ما را از واژه‌ای که به کرات در طول این گزارش بکار برده شده است، روشن خواهد نمود. تعریف تکنولوژی همچنین کمک خواهد کرد تا راه برای بیان و تشریح مفاهیمی همچون برنامه‌ریزی تکنولوژی و استراتژی تکنولوژی هموار شود. واژه تکنولوژی ریشه یونانی دارد و از ترکیب دو کلمه زیر حاصل شده است:

Techno به معنای فن و هنری که قبلاً وجود نداشته و به دست بشر ایجاد شده است.

Logia به معنای شناخت، تعقل و تدبیر اندیشی است.

تعریفی که از تکنولوژی در این مقاله کاربرد دارد، عبارت است از:

تکنولوژی کاربرد علم، تجربه و مهارت‌های انسانی در جهت مرتفع کردن نیازهای اجتماعی است. تکنولوژی در مجموعه ای از ابزار<sup>۱</sup>، مهارتها<sup>۲</sup> و دانش و اطلاعات<sup>۳</sup> جلوه می‌کند که به اجزاء تکنولوژی معروف هستند. نه تنها عدم حضور یکی از این اجزاء، بلکه عدم هماهنگی میان آنها در کارایی و اثر بخشی تکنولوژی موثر است.

برای مفهوم استراتژی نیز همچون تکنولوژی تعاریف و تدابیر مختلفی در ادبیات مدیریت وجود دارد. بنظر می‌رسد محققین بر این نکته اتفاق نظر دارند که استراتژی یک مفهوم چند بعدی است که تمام فعالیت‌های اصلی و مهم یک سازمان را در برمی‌گیرد و از یک طرف سعی در همسو کردن فعالیت‌ها با اهداف بلند مدت (استراتژیک) سازمان دارد و از طرف دیگر سازگاری این فعالیت‌ها را با تغییرات و تحولات محیطی جستجو می‌کند.

در حال حاضر تحقیقات وسیعی در کشورهای مختلف جهان در زمینه توسعه تکنولوژیهای حوزه پیل سوختی در حال انجام می‌باشد و این تکنولوژی را با سایر تکنولوژی‌های جدید در زمینه تولید انرژی مورد مقایسه و امکان‌سنجی فنی و اقتصادی قرار داده و به منظور دستیابی به گزینه‌های منتخب خود استراتژی‌های مورد نظر را تدوین نموده‌اند. از مهمترین دلایل فعالیتهای فوق‌الذکر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- کاهش آلودگی هوا که عموماً ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و سایر آلاینده‌های هوا می‌باشد

1 Technoware/Hardware  
2 Humanware/Brainware  
3 Infoware/Software



۷ و ۴ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



- کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی که برای کشورهایی که به منابع سوخت دسترسی کمی دارند از اهمیت بسزایی برخوردار است و حتی برای برخی از کشورها جنبه حیاتی پیدا کرده است
- افزایش راندمان انرژی با توجه به توسعه تکنولوژی و نیاز بیشتر به مولدهای انرژی با راندمان بالا، یافتن گزینه‌های جدید یکی دیگر از دلایل روی آوردن به مولد های پیل سوختی می‌باشد.

## ۱-۲- معیارهای اولویت بندی پیل‌های سوختی در کاربرد خودرو

امروزه میلیون‌ها نفر در دنیا از خودرو به عنوان عامل اصلی حمل و نقل استفاده می‌کنند و اکثر خودروها از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند. در ضمن با مصرف بنزین در موتورهای احتراق داخلی آلاینده‌های محیط‌زیست نظیر  $CO_2$ ،  $NO_2$ ،  $CO$ ، هیدروکربن‌های سوخته نشده و ذرات جامد تولید می‌شود. این مواد شیمیایی موجب آلودگی هوا، ایجاد باران اسیدی، تجمع گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و تخریب لایه ازن می‌شوند. به علاوه بنزین یک منبع انرژی محدود بوده و نیاز به یک منبع انرژی جایگزین مناسب و ارزان می‌باشد. لذا بحران انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی توسط خودرو موجب گردیده تا اغلب کشورهای پیشرفته جهان در زمینه بکارگیری سوخت‌های جایگزین و پاک و تکنولوژی‌های جدید تولید انرژی، سرمایه‌گذاری‌های زیادی نمایند. خودرو های پیل سوختی از جمله تکنولوژی‌های بسیار پیشرفته‌ای است که اغلب خودروسازان بزرگ جهان و شرکت‌های نفتی به تحقیق و توسعه در این زمینه مشغولند. اختصاراً معیارهای اولویت بندی استفاده از پیل‌های سوختی در کاربرد خودرو عبارتند از:

- ۱) دانسیته توان
- ۲) راندمان سیستم پیل سوختی
- ۳) نوع سوخت
- ۴) طول عمر و نگهداری پیل سوختی
- ۵) دمای عملیاتی، زمان راه‌اندازی، زمان عکس‌العمل و پاسخ سیستم پیل سوختی
- ۶) ایمنی و اطمینان

## ۲-۲- اولویت بندی پیل‌های سوختی در کاربرد خودرو

برای استفاده از پیل سوختی در خودرو، سیستم پیل سوختی جایگزین موتور احتراق داخلی شده و نیروی محرکه خودرو را تامین می‌کند. با توجه به شرایط کاربرد، سوخت در دسترس و ولتاژ مورد نیاز، شرایط عملکردی و نوع پیل سوختی مورد استفاده متفاوت می‌باشد. لذا در انتخاب نوع پیل شرایط محیطی و دینامیکی (شهر، اتوبان، کوهستان و ...) و زمان پاسخ و عکس‌العمل سریع مورد نظر می‌باشد. برای انتخاب یک تکنولوژی مناسب برای خودروهای پیل سوختی پارامترهای زیادی مانند زیر ساخت سوخت، هزینه سوخت، هزینه واحد انرژی تولیدی در خودرو، نوع سوخت لازم، ایمنی خودرو، برد خودرو (فاصله زمانی بین دو سوختگیری)، شکل خودرو (از لحاظ توپولوژی و فضای داخلی) محل نصب مخزن و نوع توده پیل وجود دارد. لازم به ذکر است که بعضی از معیارهای ذکر شده در این قسمت برای انتخاب نوع پیل سوختی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در قسمتهای قبل به آنها پرداخته شد و بقیه آنها به انتخاب تکنولوژی‌های مورد استفاده در پیل منتخب مربوط می‌باشد. در بین انواع تکنولوژی پیل سوختی، پیل سوختی غشاء پلیمری دارای مزایای مشخصی برای کاربرد در خودرو می‌باشند.

### ۳- ارزیابی توانمندی و جذابیت تکنولوژیهای استراتژیک

در فرآیند تدوین استراتژی توسعه تکنولوژی، پس از شناسایی تکنولوژیهای استراتژیک به ارزیابی این تکنولوژیها از دو بعد توانمندی و جذابیت پرداخته شده است. گرچه تکنولوژیهای منتخب متعلق به خرده سیستمهای کلیدی پیل سوختی بوده (آنچه در بند ۳-۲ به آن اشاره خواهد شد) و از این جهت مهم و استراتژیک هستند ولی این تکنولوژیها دارای ارزش یکسانی نبوده و انتخاب مهمترین آنها نیاز به بررسی دقیق دارد. بعلاوه تصمیم‌گیری در مورد نحوه اکتساب تکنولوژیها نیز مستلزم ارزیابی دقیقتر از توان صنعت و اهمیت (جذابیت) تکنولوژی است. بطور کلی در ارزیابی توانمندی، به بررسی نقاط ضعف و قوت کشور در تکنولوژی مورد ارزیابی با استناد به نظر کارشناسان پرداخته شده و در ارزیابی جذابیت، فرصتها و تهدیدهایی که تکنولوژی برای کشور ایجاد می‌نماید، مورد ارزیابی قرار گرفته شده که شرح این ارزیابیها خارج از موضوع این مقاله است و صرفاً نتایج حاصل از آنها در تحلیل ریاضی بکار برده شده اند.

#### ۳-۱- علل و عوامل ضعف کشور

دسته ای از معیارها که در زمره معیارهای ارزیابی توانمندی قرار می‌گیرند، مربوط به ارزیابی عواملی می‌شود که به نحوی در ضعف کشور موثرند. چنانچه ارزیابی اولیه حکایت از ضعف کشور در یک تکنولوژی خاص داشته باشند، بررسی عوامل پدید آمدن این ضعف برای برطرف کردن آن ضروری است. این عوامل عموماً عبارتند از:

- عدم وجود یا کمبود منابع مالی برای توسعه تکنولوژی
- نوظهور بودن تکنولوژی و عدم آگاهی کافی نسبت به آن
- ضعف در نیروی انسانی متخصص مورد نیاز برای تکنولوژی
- ضعف در دانش فنی و اطلاعات مورد نیاز برای تکنولوژی
- ضعف در سخت افزار مورد نیاز برای تکنولوژی
- ضعف در هماهنگی میان اجزاء تکنولوژی (مشکلات سازماندهی و مدیریت)

#### ۳-۲- ابعاد مختلف توان تکنولوژیکی کشور

به صورت کلی، توانمندی کشور در تکنولوژیها، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد اما به دلیل تمایز ضعف ناشی از عوامل تکنولوژیک و عوامل غیر تکنولوژیک و به منظور ارزیابی دقیقتر عوامل تکنولوژیک، هر تکنولوژی از بعد مولفه‌های تکنولوژیکی تشکیل دهنده آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مولفه‌ها عبارتند از:

- سخت افزار موجود در کشور در دو سطح آزمایشگاهی و صنعتی
- دانش فنی، اطلاعات و نرم‌افزارهای موجود در کشور در دو سطح آزمایشگاهی و صنعتی
- نیروی انسانی متخصص در دو سطح آزمایشگاهی و صنعتی

از جمع بندی نتایج حاصل، توانمندی کشور در زمینه آن تکنولوژی مشخص می‌شود.

لازم به ذکر است که معیارهای ارائه شده تنها معیارهای موجود برای ارزیابی توانمندی نیستند بلکه معیارهایی هستند که به نظر می‌رسد امکان سنجش تکنولوژیها به کمک آنها (یا امکان جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی) در کشور وجود دارد.



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



دانشگاه تربیت مدرس

### ۳-۳- روشهای مناسب ارزیابی فاکتورهای موثر

سیستم پیل سوختی از چهار خرده سیستم یعنی فرآورش سوخت، مجموعه پیل سوختی، سیستم‌های جانبی (BOP) و Power Conditioning تشکیل شده است. در زیر سیستم فرآورش سوخت، عملیات تولید، تصفیه و ذخیره سوخت ( $H_2$ ) انجام می‌شود. مجموعه پیل سوختی شامل چندین تک پیل به انضمام اجزایی است که این تک پیل‌ها را به طرز صحیحی در کنار هم جهت تولید برق نگه می‌دارد، منظور از سیستم‌های جانبی، مجموعه مدیریت هوا، سیستم کنترل، مدیریت سوخت و مدیریت آب در پیل سوختی است که لازمه عملکرد بهینه پیل سوختی می‌باشند. تکنولوژی‌هایی شناسائی شده در چرخه خرده سیستم مذکور در چندین مرحله پالایش شده و از زوایای مختلف دسته بندی گردیده اند و در مجموع ۳۸ تکنولوژی به عنوان تکنولوژی‌های استراتژیک معرفی شده اند. از این میان ۱۸ تکنولوژی در حوزه و کاربرد صنعت حمل و نقل قرار می‌گیرند. به جهت ارزیابی فاکتورهای موثر و تاثیرگذار، ۸ تکنولوژی منتخب سیستم محرکه خودرو در حوزه توده پیل سوختی بر اساس نگاهت تکنولوژیها و از میان کد های نهایی منتخب، تقسیم و بر مبنای میانگینهای وزنی نظرات کارشناسان در سه مقوله جذابیت، توانمندی و راههای توسعه به روش TOPSIS رتبه بندی شده اند. این تکنولوژیها عبارتند از:

- ۱) کد ۱۸- ساخت پودر کاتالیست پلاتین- کربن (پودر Pt/C)
- ۲) کد ۱۹- نشانیدن کاتالیست بر روی پایه کربنی
- ۳) کد ۲۰- ساخت لایه نفوذ گازی (GDL)
- ۴) کد ۲۱- ساخت غشاء پلیمری تبادل یونی
- ۵) کد ۲۳- ساخت مجموعه غشاء- الکتروود دما پایین (MEA)
- ۶) کد ۳۲- صفحات میدان جریان (صفحات دو قطبی)
- ۷) کد ۳۴- تکنولوژی آب بندی استک پیل سوختی دما پایین (کمتر از  $210^{\circ}C$ )
- ۸) کد ۳۵- تکنولوژی طراحی مهندسی مجموعه (Stack) پیل سوختی

### ۳-۴- گزینه های ارزیابی راهکارهای توسعه

به منظور تحلیل ریاضی و فنی- اقتصادی راهکارهای توسعه پیل سوختی به عنوان نیروی محرکه خودرو، ۶ گزینه منتخب جهت بررسی و اولویت بندی سرمایه گذاری آینده در کشور انتخاب و تحلیل شده اند که شرح این ارزیابی در ادامه ارائه شده است. این گزینه های توسعه عبارتند از:

- وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
- وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاهی
- وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
- وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاهی
- وضعیت سخت افزار در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
- وضعیت سخت افزار در مقیاس آزمایشگاهی



#### ۴- تکنیک ریاضی مورد استفاده

##### ۴-۱- روشهای مناسب ارزیابی معیارها و گزینه‌ها براساس تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۱</sup>

مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دو دسته مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تقسیم می‌شوند. در مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفی، چندین هدف بطور همزمان جهت بهینه‌شدن مدنظر قرار می‌گیرند. مقیاس سنجش برای هر هدف ممکن است با مقیاس سنجش برای سایر اهداف متفاوت باشد. بطور مثال، یک هدف می‌تواند حداکثر نمودن سود باشد که بر حسب واحد پول سنجیده می‌شود و هدف دیگر حداقل استفاده از ساعات نیروی کار باشد. از طرفی این اهداف در برخی موارد در تضاد با یکدیگر هستند و در یک جهت حرکت نمی‌کنند. در این زمینه کاراترین روش تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی آرمانی است. در ادامه به دلیل اهمیت مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و کاربرد آن در این مقاله، توضیحاتی ارائه می‌شود.

تصمیم‌گیری چندمعیاره به دسته‌ای از فنون و روش‌های تصمیم‌گیری اطلاق می‌شود که به منظور اولویت‌بندی و یا انتخاب مناسبترین گزینه از بین  $m$  گزینه موجود براساس  $n$  معیار تصمیم‌گیری به کار می‌روند. این نوع مسائل معمولاً به صورت جدول ۱ فرموله می‌شوند.

جدول ۱- ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره

X1	X2	.....	Xn	معیار
				گزینه
r11	r12	.....		A1
r1n				A2
r21	r22	.....		⋮
r2n				Am
⋮	⋮		⋮	
rm1	rm2	.....		
rmn				

به طوری که  $A$  بیانگر گزینه  $j$  ام و  $r_{ij}$  نشان‌دهنده ارزیابی گزینه  $i$  ام بر مبنای معیار  $j$  ام می‌باشد. در این بین، گزینه‌ای بهتر خواهد بود که ایده‌آل هر معیار را تأمین نماید ولی این امر در اغلب مواقع غیر ممکن می‌باشد. به هر حال از لحاظ ریاضی، بهترین گزینه در یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره یک گزینه ذهنی  $A^*$  خواهد بود که ارجحترین ارزش یا مطلوبیت را از هر معیار کسب نماید. مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره متنوع هستند اما تمام مسائل در ویژگیهای زیر مشترک هستند:

- گزینه‌ها: در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره تعداد محدودی گزینه جهت اولویت، انتخاب و یا دسته‌بندی مورد بررسی قرار می‌گیرند. معمولاً واژه گزینه مترادف است با واژه‌های انتخاب، خط‌مشی، اقدام و یا کاندید.
- معیارهای چندگانه: هر مسأله از نوع تصمیم‌گیری چند معیاره دارای معیارهای چندگانه می‌باشد. این معیارها توسط تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شوند و بر مبنای آن گزینه‌ها ارزیابی شده و سرانجام گزینه برتر انتخاب یا اولویت‌بندی می‌گردد. تعداد معیارها به ماهیت مسأله بستگی دارد. برای مثال، شخصی ممکن است از معیارهای قیمت، میزان سوخت مصرفی، ایمنی دوره ضمانت و کیفیت ساخت جهت ارزیابی در خرید اتومبیل استفاده کند؛ در حالی که شخص دیگری ممکن است بیش از ۱۰۰ معیار را برای انتخاب مکان یک کارخانه مدنظر قرار دهد.



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



- واحدهای بی‌مقیاس: هر معیار نسبت به معیار دیگر دارای مقیاس اندازه‌گیری متفاوتی است. لذا به دلیل بامعنی بودن محاسبات و نتایج از طریق روشهای علمی، اقدام به بی‌مقیاس کردن داده‌ها می‌شود به گونه‌ای که اهمیت نسبی داده‌ها حفظ شود.
- وزن معیار: تمام روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مستلزم وجود اطلاعاتی است که براساس اهمیت نسبی هر معیار بدست آمده باشند. این اطلاعات معمولاً دارای مقیاس ترتیبی یا اصلی هستند. وزنه‌های مربوط به معیارها می‌تواند مستقیماً توسط تصمیم‌گیرنده و یا به وسیله روشهای علمی به معیارها تخصیص داده شود. در واقع وزن‌ها میزان اهمیت نسبی هر معیار را در تصمیم‌گیری مربوطه بیان می‌کند.

#### ۴-۲- شرح روش تصمیم‌گیری مورد استفاده (TOPSIS<sup>1</sup>)

- به اختصار در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه از نقطه ایدآل، فاصله آن از نقطه ایده آل منفی هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده آل بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی باشد.
- واقعیات اساسی این روش بدین قرار است:
- مطلوبیت هر شاخص باید به طور یکنواخت افزایشی (یا کاهش) باشد (هر چه  $r_{ij}$  بیشتر، مطلوبیت بیشتر و یا برعکس) که بدان صورت بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشان دهنده ایده آل آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن مشخص کننده ایده آل - منفی برای آن خواهد بود.
  - فاصله یک گزینه از ایده آل (یا از ایده آل منفی) ممکن است بصورت فاصله اقلیدسی (از توان دوم) و یا به صورت مجموع قدر مطلق از فواصل خطی (معروف به فواصل بلوکی) محاسبه گردد، که این امر بستگی به نرخ تبادل و جایگزینی در بین شاخص‌ها دارد.

#### ۴-۲-۱- الگوریتم روش TOPSIS

مرحله ۱) تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به یک ماتریس بی‌مقیاس شده با استفاده از فرمول:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}}$$

مرحله ۲) ایجاد ماتریس بی‌مقیاس وزین با مفروض بودن بردار وزن به عنوان ورودی به الگوریتم

مرحله ۳) مشخص نمودن راه حل ایده آل و راه حل ایده آل منفی

مرحله ۴) محاسبه اندازه جدائی (فاصله)

مرحله ۵) محاسبه نزدیک نسبی به راه حل ایده آل

مرحله ۶) رتبه بندی گزینه‌ها بر اساس ترتیب نزولی

#### ۵- تحلیل ریاضی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره

۵-۱- حالت اول) رتبه بندی گزینه‌های توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۸ گانه توده پیل سوختی با وزن "جذابیت"

بر اساس روش TOPSIS

1 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution



۷ و ۷ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



جدول ۲ اساس تحلیل بر مبنای میانگینهای وزنی نظرات کارشناسان در ۸ تکنولوژی مد نظر است که مبنای محاسبات در ادامه مقاله و در سایر مراحل است و تغییرات ماتریسهای وزنی طی دو مرحله بر روی این جدول بر پایه روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS، نتایج مورد نظر را حاصل خواهد کرد. بر اساس ۸ تکنولوژی منتخب توده پیل سوختی و به جهت شناسایی اولویتهای توسعه صنعت در این حوزه، روش TOPSIS با وزن جذابیتهای حاصل از نظرات کارشناسان (حالت ۱) انجام شده که حاصل به شرح ذیل است:

جدول ۲- گزینه های توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۸ گانه توده پیل سوختی

تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	
۳۵	۳۴	۳۲	۲۳	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	
1.88235	3.44444	2	1.8125	2.58824	2.53333	1.8	2.33333	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
2.47059	3.77778	1.91304	2.38095	2.58824	3	2.4	2.88889	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاهی
2.47059	3.66667	2.86957	2.75	1.88235	3.06667	2.4	2.88889	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
3.17647	3.88889	3.13043	3.47619	2.41176	3.6	2.8	3.66667	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاهی
2.76471	3.55556	2.73913	2.5625	1.88235	3.4	2.2	2.88889	وضعیت سخت افزار در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
3.11765	3.77778	3.08696	3.66667	2.76471	3.6	3	3.22222	وضعیت سخت افزار در مقیاس آزمایشگاهی

جدول ۳- ماتریس وزن تکنولوژیهای ۸ گانه بر اساس وزن میزان جذابیت (حالت ۱)

وزن	میانگین میزان جذابیت	عنوان
0.132019572	3.63125	تکنولوژی ۱۸
0.141563156	3.89375	تکنولوژی ۱۹
0.127777979	3.514583333	تکنولوژی ۲۰
0.128698985	3.539915966	تکنولوژی ۲۱
0.103135999	2.836796016	تکنولوژی ۲۳
0.118949012	3.27173913	تکنولوژی ۳۲
0.112402206	3.091666667	تکنولوژی ۳۴
0.135453091	3.725690276	تکنولوژی ۳۵
1	27.50539139	جمع



جدول ۴- امتیازات گزینه ها پس از تحلیل ریاضی به روش TOPSIS (حالت ۱)

امتیاز	گزینه توسعه
0.183436482	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
0.384992718	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاهی
0.504027788	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
0.870066487	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاهی
0.493999916	وضعیت سخت افزار در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
0.96223155	وضعیت سخت افزار در مقیاس آزمایشگاهی

جدول ۵- رتبه بندی نهایی گزینه ها به منظور سرمایه گذاری (حالت ۱)

رتبه	عنوان
۱	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاهی
۲	وضعیت سخت افزار در مقیاس آزمایشگاهی
۳	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
۴	وضعیت سخت افزار در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
۵	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاهی
۶	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی

۵-۲- حالت دوم) رتبه بندی گزینه های توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۸ گانه توده پیل سوختی با وزن "توسعه درونزا" بر اساس روش TOPSIS

بر اساس ۸ تکنولوژی منتخب توده پیل سوختی و به جهت شناسایی اولویتهای توسعه صنعت در این حوزه، روش TOPSIS با وزن توسعه درونزا حاصل از نظرات کارشناسان (حالت ۲) انجام شده که حاصل به شرح ذیل است:

جدول ۶- ماتریس وزن تکنولوژیهای ۸ گانه بر اساس وزن توسعه درونزا (حالت ۲)

عنوان	میانگین توسعه درونزا	وزن
تکنولوژی ۱۸	3	0.132019572
تکنولوژی ۱۹	2	0.141563156
تکنولوژی ۲۰	1	0.127777979
تکنولوژی ۲۱	3	0.128698985
تکنولوژی ۲۳	3	0.103135999
تکنولوژی ۳۲	2	0.118949012
تکنولوژی ۳۴	5	0.112402206
تکنولوژی ۳۵	3	0.135453091
جمع	22	1



۷ و ۷ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



جدول ۷- امتیازات گزینه ها پس از تحلیل ریاضی به روش TOPSIS (حالت ۲)

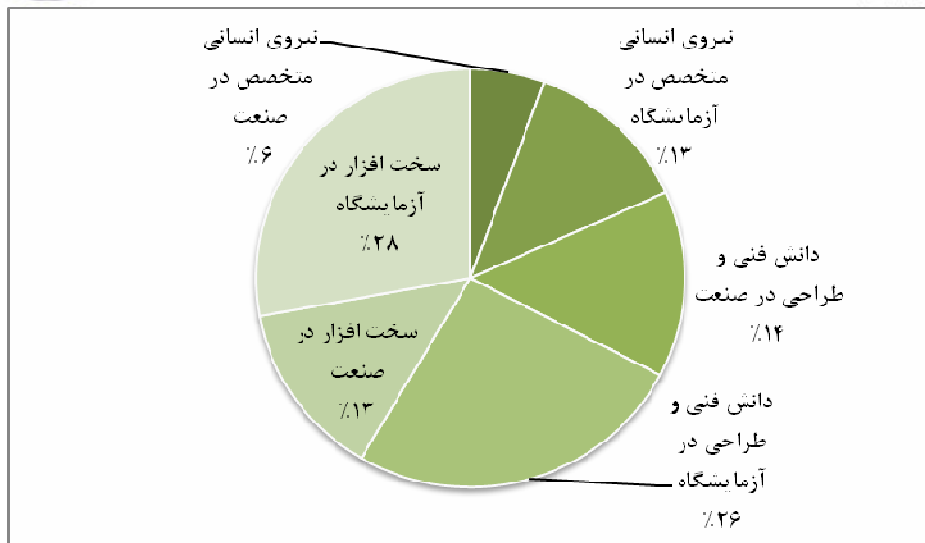
امتیاز	گزینه توسعه
0.190496367	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
0.456594811	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاهی
0.453464418	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
0.846195808	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاهی
0.410062665	وضعیت سخت افزار در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
0.893299124	وضعیت سخت افزار در مقیاس آزمایشگاهی

جدول ۸- رتبه بندی نهایی گزینه ها به منظور سرمایه گذاری (حالت ۲)

رتبه	عنوان
۱	وضعیت سخت افزار در مقیاس آزمایشگاهی
۲	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاهی
۳	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاهی
۴	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
۵	وضعیت سخت افزار در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
۶	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی

## ۶- نتیجه گیری

با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مراحل تحلیل ریاضی راهکارهای توسعه تکنولوژیهای استراتژیک پیل سوختی در صنعت خودرو با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS شامل وزن دهیها بر مبنای جذابیت و توسعه درونزا، اولویت نهایی جهت سرمایه گذاری به منظور توسعه تکنولوژیهای پیل سوختی در حوزه (زیر سیستم) توده پیل سوختی که اولویت کاربری صنعت خودرو می باشد استخراج می گردد. شکل ۱ به عنوان جمع بندی نهایی، نتایج تجمعی تحلیل ریاضی در دو مرحله بر مبنای درصد تخصیص امتیازات گزینه ها را نشان می دهد.



شکل ۱- نتایج تجمعی درصد تخصیص امتیازات گزینه ها پس از تحلیل ریاضی به روش TOPSIS در دو حالت ۱ و ۲

به این ترتیب اولویتهای تخصیص نیرو و سرمایه به منظور توسعه تکنولوژیک پیل سوختی در صنعت خودرو عبارتند از:

- ۱) سخت افزار در مقیاس آزمایشگاه
- ۲) دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاه
- ۳) دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعت
- ۴) نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاه
- ۵) سخت افزار در مقیاس صنعت
- ۵) نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعت

## مراجع

- ۱- صادق زاده، ک.، نیک زینت متین، ح. و صالحی، م.، " تحلیل اقتصادی و ارزیابی پیل سوختی و گزینه های موجود در سیستم محرکه خودرو "، دانشگاه صنعتی شریف، بهمن ۱۳۸۶.
- ۲- صادق زاده، ک. و نیک زینت متین، ح.، " راهکارهای اجرایی جهت توجیه پذیری پیل سوختی به عنوان سیستم محرکه خودرو "، دانشگاه صنعتی شریف، تیر ۱۳۸۷.
- ۳- صادق زاده، ک.، " نقش فناوری نانو در توسعه تکنولوژی پیل های سوختی "، دانشگاه صنعتی شریف، اسفند ۱۳۸۷.
- ۴- اصغرپور، محمدجواد، " تصمیم گیری های چند معیاره "، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۵.
- ۵- صالحی، م.، " تحلیل فنی- اقتصادی توسعه راهکارهای بکارگیری پیل سوختی به عنوان نیروی محرکه خودرو "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، چاپ چهارم، مرداد ۱۳۸۸.
- ۶- دیوید فرد آر، " مدیریت استراتژیک "، ترجمه علی پارسائیان و سید محمد اعرابی، دفتر پژوهشهای فرهنگی، تهران، چاپ هفتم، ۱۳۷۹.