



مطالعه و رهیافت اقتصادی بر توسعه فرآورش سوخت در پیل سوختی غشاء پلیمری با بکارگیری فناوری نانو

کیوان صادق زاده^۱، محمد باقر صالحی^۲

دانشگاه صنعتی شریف

sadeghzadeh@alum.sharif.edu

k.sadeghzadeh@hampaco.org

چکیده

با توجه به اهمیت فرآیند توسعه تکنولوژیهای پیل سوختی کاربردی در صنایع مختلف، بررسی و مطالعه رهیافتهای اقتصادی این فناوریها امری راهگشا و اثر بخش در بهره وری صنعتی می باشد همچنین با نگرشی جامع به اهمیت پیل سوختی به عنوان مولد های انرژی آینده، تحقیق در زمینه این مولد ها لازم به نظر می رسد و کار و سرمایه گذاری در این حوزه علاوه بر دستاوردهای اقتصادی، کشور را به عنوان یک نمونه ی پیشتاز در زمینه تکنولوژی پیل سوختی مطرح می کند. در این مقاله تلاش بر این است تا با معرفی مختصر پیل سوختی غشاء پلیمری به عنوان پیل سوختی کاربردی و راهبردی و نیز شناسایی و بررسی تکنولوژیهای منتخب بر اساس منطقه بندیهای انجام شده جهت ارزیابی آن، رهیافتهای توسعه زیر سیستم فرآورش سوخت این مولد انرژی با بکار گیری فناوری نانو مشخص گردند. در این کار با انتخاب روش نظر سنجی از کارشناسان با توجه به شرایط و محدودیتهای مساله، توانمندیهای کشور ارزیابی شده و میزان جذابیت این فناوریها مشخص شده است و بر پایه این اطلاعات و بر اساس تحلیل عددی رویکرد تصمیم گیری چند معیاره، میزان تمرکز و توجه بر روی عوامل انسانی، دانش و زیر ساختها رتبه بندی شده و در نهایت با بکارگیری تکنیک افزایش فرضی وزن اثرگذار و تحلیل حساسیت، نقش فناوری نانو در تکنولوژی ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از کربن نانو تیوب به عنوان تکنولوژی منتخب حوزه فناوری نانو، الویتهای سرمایه گذاری راهبردی مشخص می شوند.

واژه های کلیدی: پیل سوختی غشاء پلیمری، فرآورش سوخت، فناوری نانو، رهیافت اقتصادی، کربن نانو تیوب

۱- مقدمه

پیل سوختی وسیله ای است که انرژی شیمیایی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می کند اولین بار توسط ویلیام گروو در سال ۱۸۳۹ کشف شد. اولین نمونه های پیل سوختی نزدیک به یک قرن است که تولید شده اند ولی هیچ زمان تا به حال به اهمیت و ارزش واقعی این مولدها پی برده نشده بود. از یک طرف با افزایش مشکلات زیست محیطی و انواع آلودگی ها از قبیل آلودگی هوا، آب و دریاها به علت استفاده از سوخته های فسیلی و هسته ای و از طرف دیگر نیاز مبرم و شدید دنیای امروز به حجم بالایی از انرژی، لزوم استفاده از یک مولد انرژی با عدم آلایندهی جهت رفع نیاز دنیای مدرن امروز را گوشزد می کند.

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



پیل سوختی به لحاظ اینکه راندمان بالایی دارد و میزان تولید آلاینده های آن در حد صفر است و نیز به لحاظ اینکه قطعات متحرک در آن وجود ندارد مورد توجه قرار گرفته است.

سیستم پیل سوختی از چهار خرده سیستم یعنی فرآورش سوخت، مجموعه پیل سوختی، سیستم های جانبی (BOP) و Power Conditioning تشکیل شده است. در زیر سیستم فرآورش سوخت، عملیات تولید، تصفیه و ذخیره سوخت (H_2) انجام می شود. مجموعه پیل سوختی شامل چندین تک پیل به انضمام اجزایی است که این تک پیل ها را به طرز صحیحی در کنار هم جهت تولید برق نگه می دارد، منظور از سیستم های جانبی، مجموعه مدیریت هوا، سیستم کنترل، مدیریت سوخت و مدیریت آب در پیل سوختی است که لازمه عملکرد بهینه پیل سوختی می باشند. در زیرسیستم Power Conditioning برق تولید شده در مجموعه پیل به برق مورد نیاز مشتری تبدیل می شود (DC به AC یا DC به DC).

۲- پیل سوختی غشاء پلیمری (PEFC)¹

در پیل سوختی غشاء پلیمری، الکترولیت مورد استفاده، یک غشاء پلیمری می باشد. این نوع پیلها را با نامهای مختلف $SPEFC^2$, $PEMFC^3$ می شناسد. در این قسمت پس از مروری مختصر بر ویژگی قسمتهای مختلف این نوع پیل سوختی، به روشهای توسعه آن و رهیافت اقتصادی نوین در این زمینه پرداخته می شود. به طور مشابه با سایر پیلها، در این پیل نیز الکترودهای آند و کاتد در دو طرف الکترولیت قرار می گیرند.

غشاء مورد استفاده در اکثر پیلهای سوختی غشاء پلیمری، ماده ای به نام Nafion می باشد. در حالیکه این نوع پیل ها دارای مزایای بسیار زیادی می باشند، مساله کنترل آب و مدیریت هوا در پیل از جمله مواردی است که می تواند برای شرایط بهینه عملیاتی این نوع پیلها، بسیار مهم باشد. یکی از کاربردهای پیل سوختی غشاء پلیمری تولید توان الکتریکی مورد نیاز در مصارف خانگی می باشد. از ویژگی های این پیل سوختی دمای عملیاتی پایین و پاسخ سریع آن به نوسانات ایجاد شده در ورودی آن است که این فاکتور باعث تسهیل استفاده از آن در مصارف خانگی می شود.

مهمترین مواردی که از لحاظ توسعه فنی برای این پیل وجود دارد عبارتند از:

- مسمومیت الکترود کاتالیست به وسیله محصولات جانبی حاصل از واکنش تهیه سوخت مانند مونوکسید کربن
- محدودیت دمای عملیاتی غشاء و مدیریت آب
- هزینه BOP سیستم و غشاء (شامل سیستم های مدیریت آب، هوا، رطوبت و سیستم کنترل پیل سوختی)
- طول عمر پیل

راندمان الکتریکی این پیل سوختی در حدود ۵۵٪ است و برای تولید نیرو مناسب می باشد. از دیگر ویژگی های این پیل می توان به وزن کم و دانسیته توان بالا اشاره نمود.

در پیلهای سوختی الکترولیت پلیمری یا غشاء پلیمری، از یک غشاء تبادل یونی به عنوان الکترولیت استفاده شده که دارای مزایای زیر است:

- الکترولیت مورد استفاده در این پیلها به صورت جامد است و تغییر نکرده، متحرک نبوده و تبخیر نمی شود.
- تنها مایع موجود در این نوع پیل آب است که باعث به حداقل رسیدن خوردگی می گردد.
- پیل سوختی غشاء پلیمری به آسانی در دماهای پائین تر از $100^{\circ}C$ کار می کند.
- به علت بالا بودن دانسیته توان، ابعاد آن کوچکتر شده و به راحتی مجتمع می شود.
- به علت ساختمان ساده در مقایسه با سایر پیل های سوختی، تعمیر و نگهداری آنها ساده تر می باشد.

1 Polymer Electrolyte Fuel cell
2 Solid Polymer Fuel cell
3 Proton Exchange Membrane Fuel cell



۷ و ۷ آبان ۱۳۸۸
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3rd Fuel Cell Seminar of Iran



• مجموعه پیل سوختی در برابر شوک و ارتعاشات مقاوم می باشد.

این پیل ها با وجود مزایای فوق، دارای معایب و مشکلاتی نیز می باشند. یکی از این مشکلات حساس بودن این پیل ها به غلظت گاز CO در سوخت ورودی است که باید کمتر از ۱۰ ppm باشد، زیرا مقدار کم آن می تواند عملکرد پیل را به مقدار زیادی کاهش دهد. دمای عملیاتی پایین، دانسیته توان بالا، توان ویژه، طول عمر، تداوم پذیری بالا و توانایی تنظیم سریع تغییرات در مصرف توان از مشخصات و ویژگیهای بارز پیل PEMFC به شمار می آیند.

۳- شناسایی و انتخاب ابعاد مطالعه و رهیافت اقتصادی بر توسعه فرآورش سوخت

به دلیل تمایز ضعف ناشی از عوامل تکنولوژیک و عوامل غیر تکنولوژیک و به منظور ارزیابی دقیق تر عوامل تکنولوژیک، هر تکنولوژی از بعد مولفه های تکنولوژیکی تشکیل دهنده آن مورد ارزیابی قرار می گیرد. این مولفه ها عبارتند از:

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

جذابیت یک تکنولوژی غالباً توسط عواملی تعیین می شود که خارج از کنترل محیط درونی (سازمان/ صنعت/ کشور) بوده و معمولاً به مشخصات ذاتی تکنولوژی مربوط می شوند. جذابیت تکنولوژی نسبی است و در مقایسه با تکنولوژی های رقیب، معنی پیدا می کند. برای ارزیابی جذابیت تکنولوژی ها، سه دسته معیار به شرح ذیل در نظر گرفته می شود:

هرچه اثر یک تکنولوژی بر عملکرد پیل سوختی بیشتر باشد، جذابیت آن بالاتر است. اما باید توجه داشت که گاهی یک تکنولوژی با اثر نسبتاً کم ولی گسترده خود، می تواند تأثیر به مراتب بیشتری در عملکرد کل سیستم داشته باشد. در نتیجه، این دسته از معیارها شامل دو زیر بخش به شرح ذیل است:

- معیارهای ارزیابی میزان اثر تکنولوژی بر عملکرد پیل سوختی
- معیارهای ارزیابی میزان گستردگی تکنولوژی در انواع پیل سوختی

علاوه بر دو بخش فوق، زیربخش سومی از معیارها وجود دارند که به ارزیابی اثرگذاری بر و یا اثرپذیری تکنولوژی از دیگر تکنولوژی ها مربوط می شود. گاهی دستیابی به یک تکنولوژی مستلزم دستیابی به تکنولوژی های دیگری است که به آن وابسته اند. بدیهی است هرچه تسلط به یک تکنولوژی، امکان تسلط به تکنولوژی های بیشتری را فراهم سازد (و یا به عبارتی دیگر، تعداد بیشتری از تکنولوژی ها به این تکنولوژی وابسته باشند)، جذابیت تکنولوژی مورد نظر بالاتر است. در مقابل، هرچه دستیابی به یک تکنولوژی، مستلزم تسلط قبلی به تکنولوژی های دیگر باشد، از جذابیت آن کاسته می شود.

بطور کلی معیارهای زیر برای ارزیابی اثر تکنولوژی بر عملکرد پیل سوختی در نظر گرفته می شود:

- سهم تکنولوژی مورد نظر در بهبود عملکرد پیل سوختی
- گستردگی کاربرد تکنولوژی در انواع پیل سوختی
- امکان استفاده از تکنولوژی در صنایع دیگر
- سهم تکنولوژی مورد نظر در فراهم کردن زمینه دستیابی به تکنولوژی های دیگر (تکنولوژی های جدید)
- وابستگی تکنولوژی به تکنولوژی های دیگر (تکنولوژی های زیربنایی)



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3rd Fuel Cell Seminar of Iran



۴- انتخاب روش مناسب ارزیابی

با توجه به ماهیت اطلاعات مورد نیاز در مرحله ارزیابی توانمندی و جذابیت تکنولوژیهای حوزه پیل سوختی از یکسو و در دسترس نبودن اطلاعات کافی بصورت مکتوب یا الکترونیکی، بین حوزه ای بودن و تعدد تکنولوژیهای منتخب جهت ارزیابی، عدم پیشینه تکنولوژی در کشور و ماهیت کیفی اطلاعات موردنیاز، نظرسنجی کارشناسان برای ارزیابی توانمندی و جذابیت تکنولوژیها در مقایسه با روشهای دیگر جمع آوری اطلاعات انتخاب گردیده است. در ادامه با ذکر روشهای مختلف استفاده از نظر کارشناسان خبره، روش بکارگرفته شده به اختصار تشریح می شود.

مهمترین تعریف نظرسنجی کارشناسی عبارت است از بیان یک نتیجه برپایه یک مجموعه شواهد یا انتظارات از آینده که از اطلاعات و منطق افراد آشنا با موضوع مورد نظر حاصل می شود. برداشت و قضاوت شخصی، همه تحلیلها را تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین نظرسنجی کارشناسی در تحلیل موارد بسیار پیچیده و نامطمئن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. استفاده از روش نظرسنجی کارشناسی مسلماً به تحلیلهای استراتژیک محدود نمی شود. این روشها عمومی و مستقل از زمینه مورد مطالعه هستند و قابل بکارگیری در هر موضوعی می باشند. در ادامه، روشهای نظرسنجی کارشناسی مورد اشاره قرار می گیرند.

(۱) مصاحبه

مصاحبه، روش شناخته شده ای است که کاربرد متداولی برای گردآوری اطلاعات دارد. منظور از مصاحبه، به دست آوردن نظریه متخصصان یا کارشناسان در مورد موضوع مورد مطالعه بطور کامل، دقیق و عمیق می باشد. مصاحبه معمولاً فراتر از مرز نظریه های کارشناسی است که در قالب نوشته های رسمی بازیابی شده از تحقیقهای کتابخانه ای بدست می آید. اگر باور بر این است که مصاحبه با یک نفر کافی است یا فقط یک نفر در زمینه موضوع شناسایی شده باشد، یک مصاحبه کافی است. در غیر اینصورت با توجه به محدود شدن دانش فرد و تعصیبهایی که ممکن است داشته باشد نیاز به مصاحبه های متعددی است.

(۲) پرسشنامه

پرسشنامه، عملاً مصاحبه ای است که بصورت نوشته تهیه می شود و بدون حضور مصاحبه کننده تکمیل می گردد. این یک روش غیر حضوری و چند نفره برای گردآوری نظریه کارشناسی است. یک برتری این روش اینست که امکان دسترسی به تعداد بیشتری متخصص و کارشناس نسبت به روش مصاحبه وجود دارد. یک عیب بزرگ پرسشنامه این است که سوالها و جوابها، فرد پاسخگو را از گفتن آنچه که فکر می کند باز می دارند که البته با اختصاص فضایی در پرسشنامهها برای ابراز نظر کارشناسان، می توان این ضعف را برطرف نمود.

(۳) دینامیک گروهی

به جای مصاحبه و پرسشنامه، می توان عده ای از متخصصین و کارشناسان را جمع کرد تا بصورت گروهی، نظر خود را ابراز کنند. در اغلب موارد وقتی کارشناسان و متخصصان با هم کار می کنند یک تحرک فکری بوجود می آید که هنگامی که به تنهایی اظهار نظر می کنند (مانند وقتی که مصاحبه می شوند یا پرسشنامه پر می کنند در این حال نمی دانند بقیه کارشناسان چگونه به همان سوال پاسخ می دهند) ظاهر نمی شود. در عین حال، مدیریت گروهها می تواند خیلی مشکل باشد و یک روش سازمان یافته لازم است تا موفقیت حاصل شود. روشهای دینامیک گروهی بعنوان روشهایی تعریف می شود که برای رسیدن به هدف خاصی، از طریق بدست آوردن نظر عده ای از متخصصان و کارشناسان است که در جلسه گردهم آمده اند. در اینجا سه روش دینامیک گروهی صرفاً نام برده می شود و از توضیح آنها در این مقاله صرف نظر می شود. این روشها عبارتند از روش دلفی، روش طوفان فکری، روش گروه اسمی

با در نظر گرفتن شرایط، از روش نظرسنجی کارشناسی برای دستیابی به اطلاعات مورد نیاز استفاده شده است و از بین روشهای موجود نیز روش پرسشنامه از ارجحیت بیشتری در مقایسه با سایر روشها برخوردار بوده است.



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3rd Fuel Cell Seminar of Iran



۵- مطالعه و تحلیل عددی

۵-۱- روشهای مناسب ارزیابی فاکتورهای موثر

به جهت ارزیابی فاکتورهای موثر و تاثیرگذار، ۱۰ تکنولوژی منتخب پیل سوختی غشاء پلیمری در حوزه فراورش سوخت و خرده سیستم بر اساس نگاشت تکنولوژیها و از میان کدهای 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 ۱- رفرمینگ بخار (Steam Reforming) در کاربرد خودرو
- ۲) کد ۲- تولید و ذخیره سازی هیدروژن مایع
- ۳) کد ۳- ذخیره سازی هیدروژن در فشار بالا
- ۴) کد ۵- تولید هیدروژن به وسیله الکترولایزر
- ۵) کد ۷- ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از کربن فعال
- ۶) کد ۸- ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از کربن نانو تیوب
- ۷) کد ۱۲- ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از هیدرید فلزی
- ۸) کد ۱۳- ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از هیدرید شیمیایی
- ۹) کد ۱۵- مبدل کاتالیستی (Catalytic partial Oxidation Reactor) POX
- ۱۰) کد ۳۷- سیستمهای جانبی پیل سوختی (BOP) در خودرو

از میان این تکنولوژیها که به منظور توسعه پیل سوختی غشاء پلیمری در حوزه فراورش سوخت و خرده سیستم شناسایی شده اند، کد ۸ یعنی تکنولوژی ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از کربن نانو تیوب در حوزه فناوری نانو تعریف شده است که در ادامه علاوه بر تحلیل تکنولوژی های ۱۰ گانه، بصورت مجزا تحلیل حساسیت بر افزایش توانمندی این تکنولوژی انجام شده و رهیافتی اقتصادی بر سرمایه گذاری در این تکنولوژی نتیجه خواهد شد.

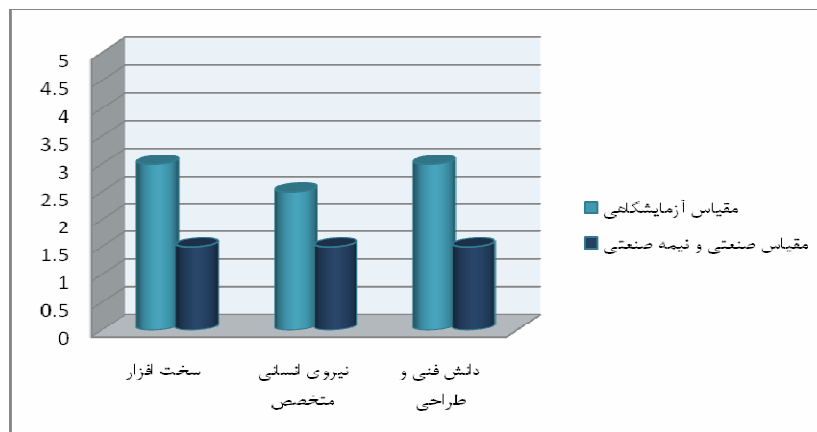
۵-۲- تکنولوژی ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از کربن نانوتیوب

نانو تکنولوژی به عنوان یک تکنولوژی جدید تقریباً در تمام حوزههای علم وارد شده است. در پیل سوختی نیز در چند قسمت از جمله ذخیره سازی هیدروژن، ساخت الکتروکاتالیستها و ... از این تکنولوژی استفاده می شود. کربن نانو تیوبها با دارا بودن مساحت سطح ویژه زیاد گزینه ای برای ذخیره هیدروژن به شمار می آیند.

میزان جذابیت این تکنولوژی برای ذخیره سوخت پیل سوختی با توجه به نظر کارشناسان متوسط ضعیف (۲/۹ از ۵) ارزیابی می شود. دلیل این امر را می توان در عوامل زیر جستجو کرد.

- این تکنولوژی از گزینه های ذخیره سوخت برای خودرو پیل سوختی است و چون یک نوع پیل در این کاربرد استفاده شده است، از این حیث دارای گستردگی کاربرد زیاد نمی باشد.
- به نظر کارشناسان این تکنولوژی از مزیت رقابتی قابل توجهی برخوردار است (۴/۳ از ۵)، این تکنولوژی تنها برای ذخیره هیدروژن استفاده نمی شود و چون جزء Hi-Tech است و در آینده ای نزدیک تکنولوژی نانو در جهان کاربردهای زیادی خواهد داشت لذا پرداختن به آن برای کشور بسیار حائز اهمیت است. از طرفی می توان به این مطلب اشاره کرد که تکنولوژی مورد نظر تنها یکی از گزینه های موجود برای تامین سوخت خودروی پیل سوختی به روش ذخیره سازی هیدروژن خالص می باشد.

- پاسخ کارشناسان به ضرورت سرمایه‌گذاری متوسط است (۳ از ۵). به نظر می‌رسد از آنجا که زیربنای این تکنولوژی یعنی کربن نانوتیوب در صنایع مختلفی کاربرد دارد جذابیت پرداختن به آن از این نظر وجود دارد. گرچه کربن نانوتیوب هنوز مراحل اولیه تحقیقاتی خود را می‌گذراند و وارد مرحله صنعتی یا تولید انبوه نشده است، بنابراین توجه به آن حتی بدون در نظر گرفتن پیل سوختی متوسط ارزیابی می‌شود. البته به لحاظ اهمیت نانوتکنولوژی که در حوزه این پروژه نمی‌گنجد از اهمیت خاصی برخوردار است که در پروژه‌های جداگانه ای می‌بایست بررسی شود
 - با توجه به نظر کارشناسان مزیت رقابتی در دسترسی به این تکنولوژی بالا ارزیابی شده است (۳/۴ از ۵). به نظر می‌رسد دسترسی به دانش فنی و کاربرد در صنایع دیگر این مزیت را ایجاد کرده است.
 - کارشناسان توانمندی کشور در این تکنولوژی را ضعیف ارزیابی کرده‌اند (۱/۵ از ۵). از دلایل عمده ضعف در تسلط به تکنولوژی نیز به عواملی چون ناآشنا بودن تکنولوژی برای کشور، کمبود نیروی انسانی متخصص و کارآمد و کمبود تجهیزات سخت‌افزاری اشاره کرده‌اند.
 - به نظر کارشناسان توانمندی در مقیاس آزمایشگاهی در حد متوسط می‌باشد. این توانمندی به صورت بالقوه است به طوری که وضعیت سخت‌افزار (۳ از ۵) و وضعیت دانش فنی و طراحی (۲/۸ از ۵) و وضعیت نیروی انسانی متخصص (۲/۵ از ۵) ارزیابی می‌شود، در حالیکه توانمندی در مقیاس صنعتی ضعیف است به طوریکه وضعیت سخت‌افزار (۱/۵ از ۵)، وضعیت دانش فنی و طراحی (۱/۵ از ۵) و وضعیت نیروی انسانی (۱/۵ از ۵) ارزیابی شده است.
- در شکل ۱ وضعیت سخت‌افزار، دانش فنی و نیروی انسانی متخصص در دو مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی نشان داده شده است:



شکل ۱- وضعیت سخت‌افزار، دانش فنی و نیروی انسانی متخصص در دو مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی در مقایسه با وضعیت مطلوب (۵)

۵-۳- رتبه بندی گزینه های توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۱۰ گانه فراورش سوخت و خرده سیستم با وزن "جذابیت" بر اساس روش MCDM منتخب

بر اساس ۱۰ تکنولوژی منتخب فراورش سوخت و خرده سیستم و به جهت شناسایی اولویتهای توسعه صنعت در این حوزه، روش TOPSIS با وزن توسعه درونزا حاصل از نظرات کارشناسان (حالت ۱) انجام شده که حاصل به شرح ذیل است:



جدول ۱- گزینه های توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۱۰ گانه توده پیل سوختی

تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی	تکنولوژی
۳۷	۱۵	۱۳	۱۲	۸	۷	۵	۳	۲	۱	
1.58824	2.33333	2.33333	2.28571	1.54545	1.81818	3.81818	3.92308	1.27273	3.46667	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
2.23529	2.88889	2.66667	2.71429	2.45455	3	4.27273	4.27273	2	3.33333	وضعیت نیروی انسانی متخصص در مقیاس آزمایشگاهی
2.29412	2.88889	3.33333	1.85714	1.54545	1.36364	4.27273	3.09091	1.36364	2.33333	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
2.88235	3.66667	4	2.71429	2.81818	2.54545	4.72727	4.18182	2.18182	2.53333	وضعیت دانش فنی و طراحی در مقیاس آزمایشگاهی
1.82353	2.88889	3	2	1.54545	1.81818	4.09091	4.09091	1.45455	2.66667	وضعیت سخت افزار در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی
2.88235	3.22222	3.66667	2.85714	3	3.54545	4.81818	4.63636	2.27273	2.53333	وضعیت سخت افزار در مقیاس آزمایشگاهی

جدول ۱ اساس تحلیل بر مبنای میانگینهای وزنی نظرات کارشناسان در ۱۰ تکنولوژی مد نظر است که مبنای محاسبات در ادامه مقاله و در سایر مراحل است و در هر قسمت، تغییرات ماتریسهای وزنی بر روی این جدول بر پایه روش تصمیم گیری بکار رفته، رهیافت اقتصادی مورد نظر را حاصل خواهد کرد.

جدول ۲- ماتریس وزن تکنولوژیهای ۱۰ گانه بر اساس وزن جذابیت (حالت ۱)

وزن	میانگین میزان جذابیت	عنوان
0.132019572	3.345833333	تکنولوژی ۱
0.141563156	2.943181818	تکنولوژی ۲
0.127777979	3.361997378	تکنولوژی ۳
0.128698985	3.337662338	تکنولوژی ۵
0.103135999	3.233766234	تکنولوژی ۷
0.118949012	3.322077922	تکنولوژی ۸
1.118949012	2.539285714	تکنولوژی ۱۲
2.118949012	2.5625	تکنولوژی ۱۳
3.118949012	3.402777778	تکنولوژی ۱۵
4.118949012	3.402777778	تکنولوژی ۳۷
1	31.45186029	جمع

۴-۵- رتبه بندی گزینه های توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۱۰ گانه فراورش سوخت و خرده سیستم با وزن "توسعه درونزا" بر اساس روش MCDM منتخب

بر اساس ۱۰ تکنولوژی منتخب فراورش سوخت و خرده سیستم 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 ۳- ماتریس وزن تکنولوژیهای ۱۰ گانه بر اساس وزن توسعه درونزا (حالت ۲)

وزن	میانگین توسعه درونزا	عنوان
0.132019572	2	تکنولوژی ۱
0.141563156	3	تکنولوژی ۲
0.127777979	5	تکنولوژی ۳
0.128698985	3	تکنولوژی ۵
0.103135999	2	تکنولوژی ۷
0.118949012	1	تکنولوژی ۸
1.118949012	3	تکنولوژی ۱۲
2.118949012	1	تکنولوژی ۱۳
3.118949012	3	تکنولوژی ۱۵
4.118949012	3	تکنولوژی ۳۷
1	26	جمع

۶- تحلیل حساسیت

۶-۱- تحلیل حساسیت توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۱۰ گانه فراورش سوخت و خرده سیستم با وزن "جذابیت" بر اساس روش MCDM منتخب

با تمرکز بر توسعه در حوزه فناوری نانو، تحلیل حساسیت بر تکنولوژی ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از کربن نانو تیوب) و افزایش وزن آن در حالت اول انجام می شود. در این مرحله با ضرب وزن میزان جذابیت این تکنولوژی در عدد ۱۰، تغییرات حاصل و تحلیل حساسیت نتایج رهیافت اقتصادی جهت سرمایه گذاری در حوزه فناوری نانو در توسعه فراورش سوخت پیل غشاء پلیمری حاصل می شود.



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار بین‌المللی سوختی ایران

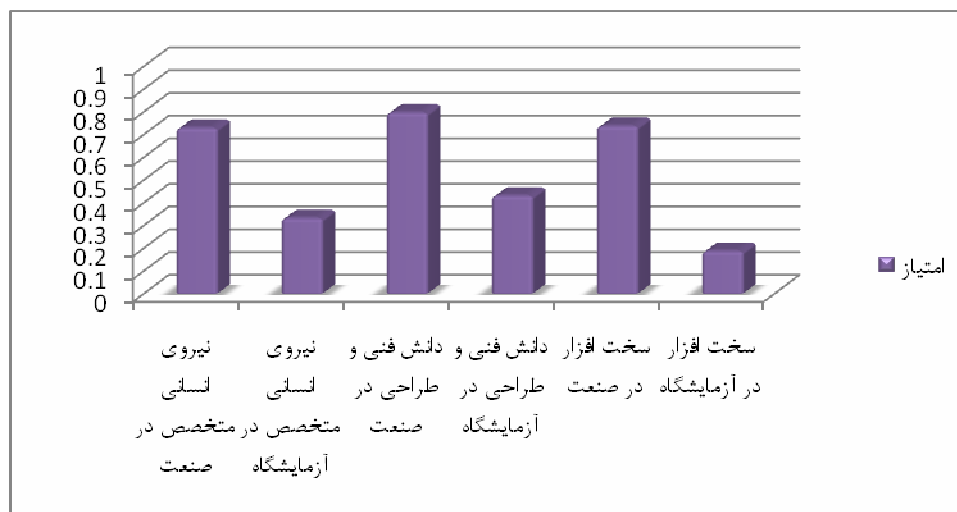


3rd Fuel Cell Seminar of Iran



جدول ۴- ماتریس وزن تکنولوژیهای ۱۰ گانه بر اساس وزن میزان جذابیت (حالت ۱) و بر اساس وزن توسعه درونزا (حالت ۲)
تحلیل حساسیت فناوری نانو

عنوان	میانگین میزان جذابیت	وزن میزان جذابیت	میانگین توسعه درونزا	وزن توسعه درونزا
تکنولوژی ۱	3.345833333	0.132019572	2	0.132019572
تکنولوژی ۲	2.943181818	0.141563156	3	0.141563156
تکنولوژی ۳	3.361997378	0.127777979	5	0.127777979
تکنولوژی ۵	3.337662338	0.128698985	3	0.128698985
تکنولوژی ۷	3.233766234	0.103135999	2	0.103135999
تکنولوژی ۸	33.22077922	0.118949012	10	0.118949012
تکنولوژی ۱۲	2.539285714	1.118949012	3	1.118949012
تکنولوژی ۱۳	2.5625	2.118949012	1	2.118949012
تکنولوژی ۱۵	3.402777778	3.118949012	3	3.118949012
تکنولوژی ۳۷	3.402777778	4.118949012	3	4.118949012
جمع	61.35056159	1	35	1



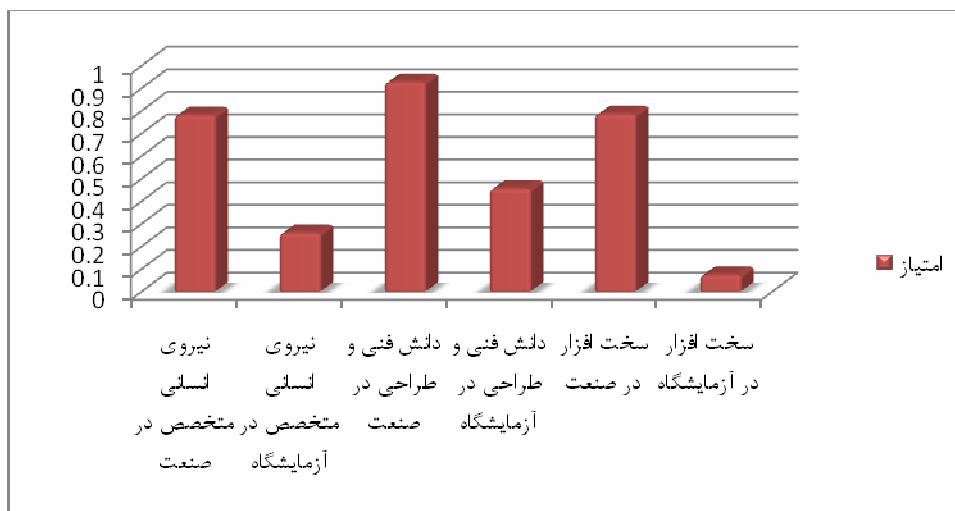
شکل ۲- امتیازات گزینه ها پس از تحلیل ریاضی به روش TOPSIS (حالت ۱) - تحلیل حساسیت فناوری نانو

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

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

۶-۲- تحلیل حساسیت توسعه بر اساس تکنولوژیهای ۱۰ گانه فراورش سوخت و خرده سیستم با وزن "توسعه درونزا" بر اساس روش MCDM منتخب

مشابه بند ۶-۱، با نمركز بر توسعه در حوزه فناوری نانو، تحلیل حساسیت بر تکنولوژی کد ۸ و افزایش وزن آن در حالت دوم انجام می شود. در این مرحله نیز با ضرب وزن توسعه درونزا در عدد ۱۰ مطابق با آنچه در جدول ۴ ذکر شده، تغییرات حاصل و تحلیل حساسیت نتایج رهیافت اقتصادی جهت سرمایه گذاری در این حوزه (فناوری نانو) در توسعه فراورش سوخت پیل غشاء پلیمری حاصل می شود.



شکل ۳- امتیازات گزینه ها پس از تحلیل ریاضی به روش Topsis (حالت ۲) - تحلیل حساسیت فناوری نانو

نتایج این تحلیل حساسیت نیز که با وزن توسعه درونزا و با اعمال ضریب در تکنولوژی ذخیره سازی هیدروژن با استفاده از کربن نانوتیوب به منظور توسعه فراورش سوخت پیل غشاء پلیمری انجام شده با تحلیل حساسیت مشابه قبلی که با وزن جذابیت انجام شده بود (۶-۱) یکسان است که مطابق رتبه بندی جدول ۷ می باشد. این تشابه، نتیجه گیری و جمع بندی نهایی را ساده کرده و بدون اعمال حالت سومی، گروه بندی اولویت های راهبردی سرمایه گذاری در حوزه فناوری نانو را نتیجه می دهد.

جدول ۷- رتبه بندی نهایی گزینه ها به منظور سرمایه گذاری (حالت ۲) - تحلیل حساسیت فناوری نانو

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

۷- نتیجه گیری

با در نظر گرفتن نتایج حاصل از دو مرحله (حالت) تحلیل حساسیت با تمرکز بر توسعه در حوزه فناوری نانو شامل وزن دهیها بر مبنای جذابیت و توسعه درونزا، اولویت نهایی جهت سرمایه گذاری به منظور توسعه فرآورش سوخت در پیل سوختی غشاء پلیمری با بکارگیری فناوری نانو به عنوان راهبردی نوین و کاربردی، در قالب دو گروه به شرح ذیل استخراج می گردد:

گروه اولویت (۱)

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

گروه اولویت (۲)

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

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 ۸۶.
- 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 ۸۷.
- 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.