بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی

برنامه ریزی ظرفیت نیروگاهی با رویکرد توسعه پایدار

نگارنده: سحرامیری

استاد راهنما

دکتر محمد فتاحی

دی۱۳۹۸

شماره: ۱۴۰۹۸۰۶۰۹۱
تاریخ: ۹۸/۱۰/۲۸

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای امیری سحر با شماره دانشجویی ۹۶۰۰۰۶۴رشته مدیریت صنعتی-تولید و عملیات گرایش ..... تحت عنوان برنامه ریزی ظرفیت نیروگاهی با رویکرد توسعه پایدارکه در تاریخ ۹۸-۱۰-۲۴با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: .....عالی.....) ☑ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	فتاحی محمد		
۲- استادراهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	عبدالمجید عبدالهی		
۵- استاد ممتحن اول	دکتر مجتبی غیاثی		
۶-ـ استاد ممتحن دوم	دکتر رضا شیخ		

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم اثر

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم ، مادر مهربانم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی

همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید،

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بی‌کران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش، پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگر دشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید، الهی، ای مهربان تر از ما به ما، از تو می خواهم همه کسانی را که حتی ذره‌ای در انجام این امر مرا یاری نموده‌اند، در سایه لطف و محبت بیکرانت، سلامت، شادکام و موفق بداری.

ابتدا از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد قناحی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال سپاس را دارم بدون مساعدت و نظرات ارزنده ایشان، این پایان نامه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید. هم چنین از تمامی اساتیدی که در دوران تحصیل در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد افتخار شاگردی در محضرشان را داشتم تشکر می‌نمایم. از مهربانترین همراهان زندگیم، پدر، مادر و همسر و خانواده عزیزم که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی‌ریای سخاوت بوده است و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی‌چشمداشت و پشتیبانی محکم برایم بوده‌اند، صمیمانه سپاس گذارم.

در خاتمه از تمامی کارکنان محترم دانشکده صنایع و مدیریت که همکاری صمیمانه‌ای با اینجانب داشته‌اند، قدر دانی و تشکر می‌نمایم

تعهدنامه

اینجانب سحرامیری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد (دکتری) رشته مدیریت صنعتی دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه برنامه‌ریزی ظرفیت نیروگاهی با رویکرد توسعه پایدار تحت راهنمائی دکتر محمد فتاحی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

برنامه ریزی ظرفیت پایدار در بازارهای برق موضوعی چالش برانگیز است که توسط آکادمی ها و سیاست گذاران مورد توجه قرار گرفته است. با در نظر گرفتن فن آوری های جدید که از منابع انرژی تجدید پذیر برای تولید برق استفاده می کنند ، این مطالعه تحقیقاتی با استفاده از رویکرد ARAS اثرات مسئولیت محیطی و اجتماعی فن آوری های مختلف تولید برق را مورد بررسی قرار داده است. علاوه بر این ، یک مدل ریاضی ساده چند منظوره ساده ، با اهداف اجتماعی ، زیست محیطی و اقتصادی ، پیشنهاد می شود تا در مورد میزان ظرفیت نصب هر نوع تولیدکننده انرژی تصمیم گیری کند. سرانجام ، نتایج محاسباتی بر اساس داده های ایران ارائه می شود.

واژه‌های کلیدی: رتبه بندی ، ارزیابی نسبت تجمعی فازی (FARAS) ، انرژی تجدید پذیر ، مدل سازی ، انرژی ، تصمیم گیری چند معیاره

فهرست مطالب

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ طرح تحقیق و بیان مسئله ۳

۱-۳ ضرورت و اهمیت پژوهش ۶

۱-۴ اهداف پژوهش ۸

۱-۵ سوالات پژوهش ۸

۱-۶ روش انجام پژوهش ۹

۱-۶-۱ روش پژوهش ۹

۱-۶-۲ قلمرو پژوهش ۱۱

۱-۷ نوآوری در تحقیق ۱۲

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ عوامل اقتصادی ۱۴

۲-۳ عوامل محیط زیستی ۱۵

۲-۴ عوامل اجتماعی ۱۶

۲-۵ برنامه‌ریزی ظرفیت واحدهای نیروگاهی در شبکه‌ی برق ۱۷

۲-۶برنامه ریزی ظرفیت واحدهای نیروگاهی در شبکه ی برق ۱۹

۲-۷. روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره ۲۲

۲-۷-۱. تقسیم بندی تصمیم گیری‌های چند شاخصه ۲۲

۲-۷-۲ روش وزن دهی به شاخص‌ها ۲۳

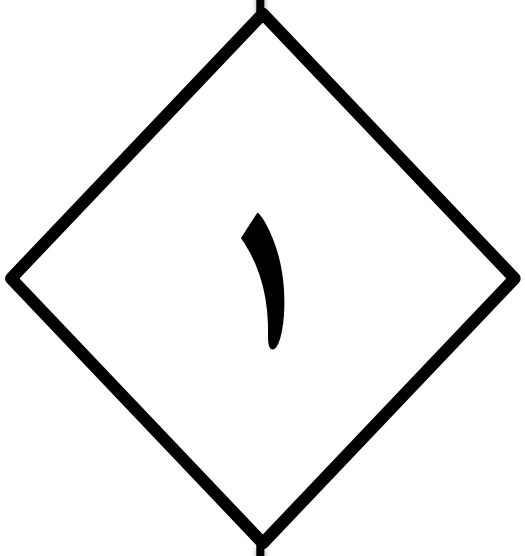
۲-۷-۳ الگوریتم‌های تصمیم گیری ۲۴

۲-۷-۳-۱ وزن دهی و رتبه بندی عوامل ۲۴
۲-۷-۳-۲ رتبه بندی ۲۶
۲-۸. پیشینه پژوهش ۲۸
۲-۸-۱. پژوهش های داخلی ۲۸
۲-۸-۲. پژوهش‌های خارجی ۳۲
۳-۱مقدمه ۳۶
۳-۲. روش پژوهش ۳۶
۳-۳ روش گردآوری اطلاعات ۳۷
۳-۴. تصمیم گیری ۳۷
۳-۴-۱. تصمیم گیری چند معیاره ۳۸
۳-۴-۲ لزوم تصمیم گیری چند معیاره در پژوهش‌ها ۳۹
۳-۴-۳ روش آراس در تصمیم گیری چند معیاره ۳۹
۳-۴-۴ ارزیابی نسبت جمعی ۴۴
۳-۴-۵ روش ارزیابی (ARAS-F) ۴۸
۳-۵ تجزیه و تحلیل داده‌ها ۴۸
۳-۵-۱ معیارها ۴۸
۳-۶ استفاده ازتکنیک تصمیم گیری چند معیاره فازی آراس ۵۱
۳-۶-۱ گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم گیری ۵۱
۳-۶-۲ تبدیل ماتریس کیفی به اعداد فازی بر اساس جدول ۵۱
۳-۶-۳گام سوم: تعیین مقدار بهینه هر معیار ۵۲
۳-۶-۴ گام چهارم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال ۵۳
۳-۶-۵ گام پنجم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار ۵۵

۳-۶-۶ گام ششم: تعیین مقادیر بهینه برای هر گزینه ۵۶
۳-٦-۸ گام هشتم: محاسبه درجه مطلوبیت هر گزینه ۵۷
۳-٦-۹ گام نهم: رتبه بندی گزینه‌ها و یا انتخاب موثرترین آنها ۵۸
۳-۷ استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره آراس ۵۹
٤-۱ مقدمه ۶۴
٤-۲ متغیرهای تصمیم ۶۴
٤-۳ پارامتر های مساله ۶۵
٤-٤. برآورد مدل ۷۰
۴-۵ روش حل مدل ۷۲
۴-۶ تحلیل حساسیت ۷۳
۴-۷ خروجی مدل ۷۷
۵-۱ مقدمه ۸۰
۵-۲ ضرورت توجه ویژه به انرژی تجدید پذیر در ایران ۸۱
۵-۳ خلاصه و جمع بندی ۸۳
۵-۴ محدودیت های پژوهش ۸۴
۵-۵ پیشنهادهای پژوهش ۸۴
منابع ۸۶

فهرست جداول

جدول ۱متغیرهای زبانی ۵۱
جدول ۲ماتریس تصمیم گیری کیفی ۵۱
جدول ۳تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی ۵۲
جدول ۴تبدیل ماتریس کیفی به ماتریس اعداد فازی ۵۲
جدول ۵ ماتریس تصمیم گیری به همراه مقدار بهینه هر معیار ۵۳
جدول ۶ ماتریس تصمیم گیری نرمال ۵۴
جدول ۷ ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن‌دار ۵۵
جدول ۸ ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن داربه همراه مقدار بهینه ۵۶
جدول ۹ ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن داربه همراه مقدار بهینه، بی مقیاس سازی فازی شده ۵۷
جدول ۱۰ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن داربه همراه مقدار بهینه،درجه مطلوبیت ۵۸
جدول ۱۱رتبه بندی ۵۹
جدول ۱۲ ..... ۵۹
جدول ۱۳ ..... ۶۰
جدول ۱۴ ..... ۶۰
جدول ۱۵ ..... ۶۰
جدول ۱۶ ..... ۶۱
جدول ۱۷ ..... ۶۱
جدول ۱۸ هزینه تسطیح شده برق ۶۷
جدول ۱۹ امتیاز اجتماعی ۶۷
جدول ۲۰امتیاز محیط زیستی ۶۸
جدول ۲۱ضریب ظرفیت ۶۸
جدول ۲۲ حداکثر ظرفیت استان های ایران ۶۹



كليات تحقيق

۱-۱ مقدمه

رشد و توسعه جوامع انسانی همواره موازی با تولید و مصرف انرژی بوده است .تامین انرژی به یکی از چالش برانگیزترین مشکلات قرن ۲۱ تبدیل شده است. در سال ۱۹۹۰، حدود ۷۳ درصد از کل جمعیت جهان به انرژی الکتریسیته دسترسی داشتند که در سال ۲۰۱۴ به ۸۵ درصد افزایش پیدا کرد و امروزه ۹۶ درصد از شهرنشینان جهان از انرژی الکتریسیته برخوردارند.از سال ۱۹۹۰ به بعد، ۹۵ تا ۱۰۰ درصد از ساکنان کشورهای پیشرفته به برق دسترسی داشته‌اند، بنابراین افزایش سهم جهانی، عمدتا ناشی از افزایش دسترسی مردم کشورهای فقیر است. در بسیاری از کشورها این روند بسیار قابل توجه بوده، مثلا هند از ۴۵ درصد به ۸۰ درصد و اندونزی از ۶۰ درصد در سال ۱۹۹۰ به دسترسی تقریبا کامل (۹۷ درصد) دست پیدا کرده‌اند. در سال ۲۰۰۰، نرخ دسترسی به برق در افغانستان نزدیک به صفر درصد بود. تا سال ۲۰۱۰، این نرخ به ۳۴ درصد و تا ۲۰۱۴ به حدود ۹۰ درصد افزایش یافت که تا حد زیادی به واسطه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بود. افغانستان، چین و پاکستان به لطف سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی، پیشرفت‌های بسیار خوبی در برق‌رسانی به نواحی روستایی داشته‌اند.بی شک برنامه ریزی ظرفیت‌های نیروگاهی در تولید برق موضوعی کلیدی از بحث برنامه ریزی انرژی به شمار می‌آید. امروزه با پیشرفت فن‌آوری در زندگی عموم، مصرف انرژی الکتریکی نسبت به سایر منابع از جمله گاز و نفت رشد سریعتری را تجربه می‌کند و سهم عمده‌ای در تولید آلودگی دارد. سهم عمده‌ای از مصرف انرژی مربوط به انرژی الکتریکی است و حجم زیادی از سوخت‌های فسیلی برای تولید برق استفاده می‌شود. به عنوان مثال طبق گزارش منتشر شده در سال ۲۰۰۸ در ایالات متحده آمریکا ۴۲ ٪ از

انرژی اولیه مصرفی انرژی الکتریکی است، ۳۴٪ از سوخت های فسیلی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و سهم برق در تولید دی اکسیدکربن در حدود ۴۰ ٪ است.

گذشته از همه موارد فوق، صنعت تأمین انرژی الکتریکی ویژگی‌هایی دارد که آن را نسبت به دیگر صنایع منحصربه فرد می‌سازد. تولید نهایی انرژی الکتریکی باید بلافاصله و به صورت خودکار به دست مصرف کنندگان برسد.

۱-۲ طرح تحقیق و بیان مسئله

انرژی می‌تواند به عنوان توانایی انجام کار تعریف شود و به عنوان یک منبع زندگی برای افراد ارزیابی می‌شود. انرژی می‌تواند از منابع اولیه مانند : زغال سنگ, نفت, گاز طبیعی, اورانیوم, زیست توده, انرژی خورشیدی و باد در طبیعت به دست آید. منابع انرژی به نام نفت, گاز طبیعی, زغال سنگ و انرژی هسته‌ای به عنوان منابع انرژی فسیلی شناخته می‌شوند. از سوی دیگر باد, انرژی خورشیدی, زیست توده, هیدرولیک, زمین گرمایی, موج به عنوان انرژی تجدیدپذیر شناخته می‌شوند. توسعه پایدار فرایندی است که آینده‌ای مطلوب را برای جوامع بشری متصور می‌شود که در آن شرایط زندگی و استفاده از منابع، بدون آسیب رساندن به یکپارچگی، زیبایی و ثبات نظام‌های حیاتی، نیازهای انسان را برطرف می‌سازد.با توجه به نیاز روز افزون استفاده از انرژی برای تامین خواسته‌ها, کشورهایی از جمله ایران باید رویکرد اساسی نسبت به دستیابی انرژی‌های تجدید پذیر در دستور کار خود قرار دهند, چرا که ایران نیز همانند سایر کشورهای در حال توسعه با چالش‌های مهمی در زمینه سیاست‌های انرژی, زیست محیطی و عوامل اجتماعی روبرو می‌باشد. ایران با دارا بودن ۱۰ درصد از منابع نفتی جهان و ۱۵ درصد از گاز جهان به عنوان کشوری غنی از منابع و سوخت‌های فسیلی مطرح است که این منابع باعث شده است تا میزان استفاده از انرژی تجدیدپذیر در کشور کاهش یابد .

شناخت تولید و مصرف انرژی الکتریکی، هدف گذاری کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، برنامه‌ریزی برای متنوع سازی منابع انرژی به ویژه استفاده از فناوری‌های نو انرژی تجدیدپذیر، در نتیجه کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی و در عین حال برقراری تعادل میان تولید و مصرف انرژی الکتریکی، و در انتها، الحاق این مفاهیم به بستر شبکه الکتریکی و رعایت مقررات اقتصادی و فنی آن برای تبادلات انرژی از جمله مراحلی هستند که در چرخه برنامه ریزی انرژی الکتریکی همراه با فناوری‌های نو انرژی تجدیدپذیر قابل تشخیص و تمیز از یکدیگرند. جدا از اینکه نقش سرمایه گذاری و اختصاص هزینه در بخش انرژی تجدیدپذیر به منظور ظهور فناوری‌های نوین در بخش سبد تولید انرژِی الکتریکی تردید ناپذیر است، هدایت این‌ها به عرصه بازار تولید و مصرف انرژی الکتریکی فعالیت بیشتری را طلب می‌کند. فناوری های انرژی‌های تجدیدپذیر، حتی پس از امکان سنجی و اثبات توانمندی‌های فنی، با موانعی از جمله هزینه، نیازمندی‌های زیر ساختی، بازگشت کند سرمایه، ساختار بازار، اطلاعات، و قیود تهیه سرمایه مواجه اند. این‌ها از جمله مواردی هستند که توجه را به سوی احتمالات و امکانات پاسخ از طرف بخش عمومی و راهبر و برنامه ریز سیستم برای غلبه بر این مشکلات جلب می‌کند. رابطه سرمایه گذاری در راستای تحولات فناورانه انرژی‌های تجدیدپذیر با بهبود شاخص های متناظر آن در بخش اقتصاد انرژی از جمله روابط پیچیده‌ای است، که فراتر از بررسی های تک عاملی و مستقیم، قابل ارزیابی و سنجش باشد. پیشرفت فناوری و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک، منجر شده است که مباحث جدیدی در برنامه ریزی انرژی و به طور خاص برنامه‌ریزی ظرفیت‌های نیروگاهی در ایران و سایر کشورهای جهان مورد توجه قرار گیرد. هدف از این پژوهش برنامه‌ریزی ظرفیت‌های نیروگاهی، به عنوان یک بخش اصلی در برنامه‌ریزی انرژی، به‌منظور پاسخ به

تقاضای رو به رشد انرژی الکتریکی در کشور با لحاظ معیارهای توسعه‌ی پایدار می‌باشد و برای رسیدن به این هدف، تکنیک‌های بهینه‌سازی شامل برنامه‌ریزی ریاضی و تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه‌ی برنامه‌ریزی ظرفیت مدنظر می‌باشد. با بروز تنگنایی در مطالعات تحلیلی، ولی در عین حال، وقوع پیشرفت های شگرف در "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی" و "تصمیم گیری های چند معیاره" ، افق های نوینی برای واکاوی فضای پیچیده‌ی صنعت- تجارت های مختلف، از جمله بستر تولید و مصرف انرژی الکتریکی و برنامه‌ریزی انرژی، گشوده است. به کار بستن چنین بستر نوینی، از تکنیک‌های بهینه سازی در کنار فضای تصمیم گیری‌های چندمعیاره، ابزاری توانمند در راستای برنامه ریزی ظرفیت نیروگاهی می‌باشند که هدف از این پژوهش ارائه‌ی این ابزارهای بهینه سازی در ایجاد ظرفیت های نیروگاهی می‌باشد. به کارگیری هوشمند تکنیک‌های بهینه سازی در کنار فنون تصمیم گیری، فعالان عرصه انرژی الکتریکی را قادر خواهد ساخت که فضای تصمیم گیری غیرمتمرکز نامتجانس را واکاوی نمایند. به کمک روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره امکان کمی کردن بسیاری از عوامل کیفی موثر در توسعه‌ی پایدار مانند عوامل مسئولیت پذیری اجتماعی امکان پذیر شده است و لحاظ همزمان اهداف متضاد مانند اهداف اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی میسر می‌شود. به طور خلاصه، مدل‌های بهینه سازی ارائه شده در این پژوهش به منظور گسترش ظرفیت‌های نیروگاهی در شبکه برق ایران تصمیم‌های زیر را برای برنامه‌ریز سیستم با لحاظ اهداف توسعه پایدار و محدودیت‌های مختلف مانند محدودیت های مالی، در دسترس بودن منابع کشور، سیاست‌های دولت، و قیود فنی و تکنولوژیکی شبکه مشخص می کند:

۱. برای تأمین سطحی قابل قبول از قابلیت اطمینان باید چه ظرفیتی احداث گردد؟

۲. تجهیزات جدید کجا نصب شوند؟

۱-۳ ضرورت و اهمیت پژوهش

توجه جدی و گسترده به برنامه ریزی انرژی در جهان را می‌توان به افزایش قیمت نفت در دهه ۱۹۷۰ میلادی نسبت داد. بحران نفتی و وابستگی زیاد کشورها به ویژه کشورهای توسعه یافته به سوخت‌های فسیلی نظیر نفت و گاز طبیعی، توجه به سیاست گذاری و برنامه ریزی انرژی را دوچندان نمود. همچنین توجه به امنیت انرژی کشورها، شکل گیری بازارهای انرژی و تبادلات منطقه ای انرژی، متنوع سازی منابع انرژی به ویژه استفاده از منابع تجدیدپذیر و نو و چالش های جهانی ناشی از انتشار آلاینده‌های زیست محیطی و گازهای گلخانه‌ای در جهان، متخصصین و سیاست‌گذاران حوزه انرژی را به این مهم واداشته است که با دقت و اهمیت بیشتر به مسئله برنامه ریزی انرژی بپردازند. با گذشت زمان و مطرح گردیدن مفاهیم مربوط به توسعه‌ی پایدار، برنامه ریزی انرژی در سطوح ملی و بین المللی، جایگاه و اهداف خود را در راستای توسعه‌ی پایدار یعنی ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و نهادی قرار داده است .برنامه ریزی انرژی فرآیندی مستمر و سیستماتیک به منظور برقراری تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی در یک چارچوب سیاستی مشخص و دستیابی به مجموعه‌ای از راه حل‌های مناسب برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در آینده است. این موضوعات می‌طلبد که توجه بیشتری به امر سیاست گذاری در برنامه ریزی توسعه ظرفیت‌های نیروگاهی سیستم قدرت معطوف گردد و برق به عنوان یک منبع انرژی مستقل در نظر گرفته شود. ظرفیت تولید ناکافی و یا بیش از حد اثرات منفی بر جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی (ابعاد توسعه پایدار) خواهد داشت.

براین اساس برنامه ریزی دقیق برای صنعت برق به منظور ایجاد ظرفیت‌های نیروگاهی

از اهمیت به سزایی برخوردار است زیرا تصمیمات مربوط به توسعه و ساخت منابع و تجهیزات الکتریکی هزینه بر است و از چالش‌های جدی اقتصادی برای بهره برداران انرژی الکتریکی و به صورت کلی برای کشور می باشد. با توجه به تاثیرات فاجعه‌های اخیر, مانند طوفان کاترینا[1] در سال ۲۰۰۵ که باعث نشت نفت شد و زلزله توکیو[2] ۲۰۱۱ که منجر به فاجعه هسته ای شد و هم چنین طوفان سندی[3] در سال۲۰۱۲ که موجب قطع گسترده برق در این منطقه شد ما را در درک بهتر از نتایجی را که چنین شرایطی می تواند باعث شود راهنمایی میکند. متاسفانه بلایای طبیعی در طول دهه گذشته بیشتر شده است. با توجه به پایگاه داده بین المللی فاجعه تاثیر بلایای طبیعی در مقایسه با دهه‌های گذشته افزایش یافته است. بنابراین ما باید برای چنین حوادثی آمادگی داشته باشیم و بر اساس درک ما از تاثیرات بالقوه آن‌ها، تصمیم گیری کنیم. در پاسخ به مسائل مربوط به پایداری در حل مسائل مدیریت سیستم‌های قدرت در حوادث ناگوار ما در نظر داریم رویکرد پایدار جدیدی را برای طراحی و برنامه ریزی شبکه‌های تولید برق معرفی نماییم . در این پژوهش به دنبال ارائه یک مدل برنامه ریزی ریاضی با هدف توسعه پایدار شبکه تولید انرژی الکتریکی در ایران هستیم که نتایج آن مکان، ظرفیت و نوع واحدهای نیروگاهی را در شبکه مشخص می کند:

- کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی نظیر نفت و گاز طبیعی در تولید انرژی الکتریکی
- متنوع سازی منابع انرژی در تولید برق
- توسعه پایدار و کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی و گازهای گلخانه‌ای در

[1] Katrina
[2] Tokyo
[3] Sandy

پاسخ به چالش تغییرات آب و هوایی و اقلیمی در جهان

۱-۴ اهداف پژوهش

هدف از این پـژوهش برنامـه ریـزی ظرفیـت هـای نیروگـاهی، بـه عنـوان یـک بخـش اصـلی در برنامه ریـزی انـرژی، بـه منظـور پاسـخ بـه تقاضـای رو بـه رشـد انـرژی الکتریکـی در کشـور بـا لحاظ معیارهای توسعه‌ی پایـدار مـی‌باشـد و بـرای رسـیدن بـه ایـن هـدف، تکنیـک‌هـای بهینـه سـازی شـامل برنامـه ریـزی ریاضـی و تصـمیم گیـری چنـدمعیاره بـا اسـتفاده از تکنیـک فـازی آراس[۱] در حوزه‌ی برنامه‌ریزی ظرفیت مدنظر می‌باشد.

برنامه‌ریزی و مدل سـازی توسـعه‌ی نیروگـاهی کشـور در افـق هـای کوتـاه مـدت و بلنـد مـدت جزئـی از برنامـه ی کلـان برنامـه ریـزی انـرژی صـنعت بـرق کشـور اسـت. در ایـن پـژوهش بـا ارائه‌ی یک ساختار تصـمیم گیـری مبتنـی بـر بهینـه سـازی و مـدل‌هـای تصـمیم گیـری چنـد معیاره به دنبال ارائـه‌ی یـک ابـزار بهینـه سـازی هسـتیم کـه بـه وسـیله‌ی آن اتخـاذ تصـمیمات افـزایش و ایجـاد ظرفیـت‌هـای نیروگـاهی در شـبکه‌ی موجـود بـرق ایـران بـر مبنـای اهـداف اقتصـادی، تاکیـد بـر اسـتفاده از انـرژی هـای تجدیدپـذیر، کـاهش اسـتفاده از سـوخت‌هـای فسـیلی در جهـت کـاهش آلاینـده‌هـای محـیط زیسـتی، و تاکیـد بـه افـزایش اثـرات مثبـت اجتماعی توسعه‌ی ظرفیت نیروگاه‌ها صورت بگیرد.

۱-۵ سوالات پژوهش

پژوهش حاضر دارای دو سوال اصلی به صورت زیر است :

[۱] Fuzzy Aras

- برای تولید برق با لحاظ اهداف اقتصادی و اجتماعی و محیط زیستی چه واحدهای تولیدی باید احداث شود؟
- واحدهای مورد نظر در کجا باید نصب شود؟

۱-۶ روش انجام پژوهش

۱-۶-۱ روش پژوهش

پژوهش عبارت است از فرایندی منظم و سیستماتیک به منظور حقیقت یابی کردن, تبیین روابط بین متغیرها و به طور کلی کسب شناخت راجع به موقعیت‌های نامعین (سرمدزهره, بازرگان عباس و حجازی اله ۱۳۹۲) پژوهش حاضر از لحاظ هدف, پژوهشی کاربردی است زیرا که از نتایج آن در حل مسایل پیشرو استفاده می‌شود در این پژوهش روش تحقیق به شرح زیر می‌باشد :

- ارائه مدل ریاضی برای توسعه‌ی پایدار ظرفیت‌های نیروگاهی متناسب با اهداف و ساختار سیستم انرژی
- کمی سازی از طریق (MCDM)[۱] و در نظرگرفتن اهداف مختلف برنامه ریزی پایدار ظرفیت‌های نیروگاهی شامل اهداف اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی
- رتبه بندی شاخص‌های بنیادی از تکنیک (FUZZY ARARS)
- روش نظر خبرگان برای وزن دهی شاخص‌ها یا معیارها

[۱] Multiple Criteria Decision Making

روش حدی

روش حدی[1]یکی از روش‌هایی است که بیشتر از روش‌های دیگر به کار برده می‌شود.در این روش یک هدف بهینه می‌شود در حالی که سایر اهداف از یک مقدار مشخص باید بزرگتر باشند. محدود به یک مقدار می‌شوند به نظر می‌رسد که مارجلین[2] ۱۹۶۷ اولین کسی است که این روش را برای حل مسایل چند معیاره بکار برده است.

در روش حدی همه اهداف به جز یکی از آن ها به صورت محدودیت در نظر گرفته شده و آن یک هدف حداکثر یا حداقل می گردد.

در این روش وزن اهداف یا به عبارت دیگر ترجیحات تصمیم گیرنده نسبت به اهداف مختلف (که به صورت محدودیت بیان می‌شود) مجموعه جواب را کوچک کرده و حداکثر یا حداقل کردن یک تابع هدف منجر به دستیابی به یک نقطه موثر می‌شود.

با تغییر حدهایی که برای اهداف در نظر گرفته شده نقاط موثر مختلف برای مساله چندمعیاره به دست می‌آید.

تعریف روش

در این روش برای پیدا کردن جواب‌های موثر برنامه‌ریزی چند هدفه زیر:

$$MaxZ\ (x) = [Z_1\ (x), Z_2\ (x), \dots Z_p\ (x)]$$

S.t.

$$X \in F_d$$

مساله یک هدفه زیر باید حل شود:

$$Max \quad Z_h\ (x)$$

S.t.

$$(x) \in F_d$$

$$Z_K\ (x) \geq L_k \qquad k = 1, 2\dots\ h\text{-}1, h\text{+}1\dots p$$

جواب بهینه برای مساله تک هدفه فوق یک جواب موثر برای مساله چندهدفه بالاست به شرط اینکه :

۱. حد تابع هدف ها یا معیارها به گونه‌ای باشد که مساله تک هدفه جواب قابل قبول داشته

[1] The constraint method

[2] marglin

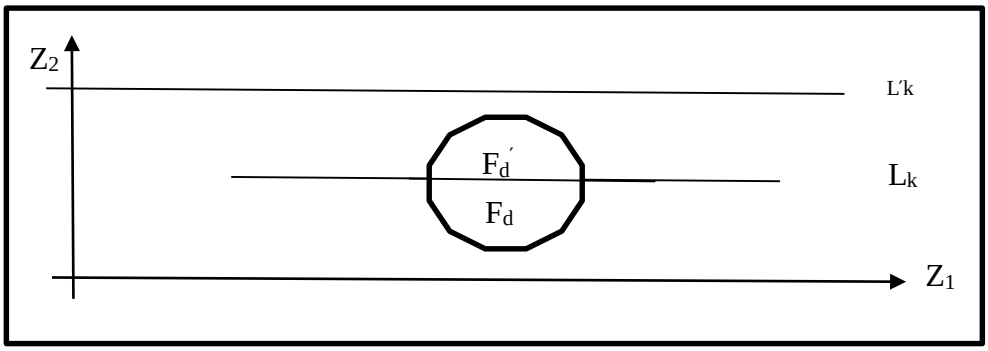
باشد.

۲. در جواب بهینه تک هدفه محدودیت‌ها مربوط به تابع هدف‌ها به صورت کارکردی باشد.(مقدار تابع هدف برابر با حدی باشد که برای در نظر گرفته شده است.)

تشریح شرط اول :

حدود توابع هدف به گونه ای باشند که مساله تک معیاره جواب قابل قبول داشته باشد. به طور مثال اگر $Z_K \geq L_K$ منطقه قابل قبول به صورت F_d' خواهد شد. اما اگر Z_k بزرگتر از L_k' باشد مساله جواب قابل قبول نخواهد داشت.

نمایش جواب های قابل قبول برحسب Lk های مختلف



تشریح شرط دوم:
در جواب بهینه تمام محدودیت‌ها (محدودیت‌هایی که روی توابع هدف (معیارها) در نظر گرفته می‌شوند) به صورت کارکردی می‌آید در غیر این صورت ممکن است جواب غیر موثر باشد.

۱-۶-۲ قلمرو پژوهش

قلمرو موضوعی :

این پژوهش از نظر موضوعی در حوزه‌ی برنامه‌ریزی ظرفیت با رویکرد توسعه پایدار قرار دارد.

قلمرو مکانی :

قلمرو مکانی این پژوهش محدوده ی جغرافیایی کشور ایران می باشد که دارای ۳۲ استان است

جامعه آماری :

یک جامعه آماری عبارت است از مجموعه ای از افراد یا واحدها که دارای حداقل یک صفت مشترک باشند (آذر عادل, مومنی منصور ۱۳۹۱) جامعه آماری این پژوهش استفاده از نظر خبرگان که شامل ۲۰ نفر از مهندسین و مدیران پژوهشگاه نیرو که در حوزه مدیریت انرژی فعالیت می کنند می باشد.

۱-۷ نوآوری در تحقیق

۱) بررسی ۳ هدف اساسی اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی در برنامه‌ریزی ظرفیت نیروگاه‌های برق کشور ایران
۲) استفاده از یک روش تصمیم گیری چند معیار [۱] برای کمی سازی پارامترهای کیفی اجتماعی و محیط زیستی
۳) ارائه‌ی برنامه‌ریزی و مدلسازی توسعه‌ی ظرفیت نیروگاهی

[۱] Multiple-criteria decision-making

۲

پیشینه پژوهش

۲-۱مقدمه

امروزه با توجه به مشکلات ناشی در استفاده از سوخت‌های فسیلی به منظور کاهش این نوع منابع و همچنین ضرورت سالم نگه‌داشتن محیط زیست, کاهش آلودگی هوا, محدودیت‌های برق رسانی و تامین سوخت برای نقاط روستایی دور افتاده ,استفاده از انرژی الکتریکی مانند , انرژی خورشیدی , بادی, آبی, گاز, زمین گرمایی و زغال سنگ در دنیا نقش و جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در مبحث برنامه‌ریزی انرژی و ایجاد ظرفیت‌های نیروگاهی، تعیین عوامل موثر بر پایداری فنآوری‌ها و ارزش‌گزاری کمی این عوامل یکی از چالش‌های موجود است که تحقیقات زیادی در این زمینه در سال‌های اخیر صورت گرفته است. در این بخش مطالعاتی که به بررسی اثرهای محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی واحدهای نیروگاهی پرداخته‌اند را به صورت اجمالی بررسی می کنیم .

۲-۲ عوامل اقتصادی :

عوامل اقتصادی بر روی تحلیل واحدهای نیروگاهی هزینه‌های مختلفی مانند هزینه سرمایه گذاری، هزینه تعمیرات و نگهداری ثابت سالیانه، هزینه بررسی تعمیرات و نگهداری متغیر، هزینه تولید برق، دوره‌ی بازگشت سرمایه، هزینه سوخت و طول عمر مفید است که درمطالعات مختلفی (ایوانز و همکاران,۲۰۰۹)[۱](لند، هنریک. ۲۰۰۷)[۲](سیمز,1994)[۳](کنان وهمکاران,۲۰۰۷)[۴]این هزینه‌ها برای انواع مختلف واحدهای نیروگاهی پرداخته‌اند.

[۱] Evans et al.

[۲] Lund, Henrik.

[۳] Sims REH.

[۴] Kenan et al

۲-۳ عوامل محیط زیستی:

بررسی میزان تولید گازهای گلخانه‌ای توسط انواع مختلف واحدهای نیروگاهی توسط مطالعاتی مانند (کنان‌وهمکاران,۲۰۰۷) (بیلک وهمکاران,۲۰۰۶)[۱](هوندا ,۲۰۰۵)[۲]پرکاربردترین روش‌های آنالیز اثرات محیط زیستی تکنولوژی‌های تولید برق روش تخمین دوره عمر[۳] می باشد که توسط (هوندا,۲۰۰۵) و (وستس,۲۰۰۶)[۴] برای انواع مختلف تکنولوژی‌های تولید انرژی برق به کارگرفته شده است. روش تخمین دوره عمر یک روش بین‌المللی است که این امکان را فراهم می‌کند که تاثیرات محیط زیستی مختلف واحدهای نیروگاهی و به طور کلی هر فرآیند تولیدی یا سرویس رسانی را بررسی کرد. با برنامه ریزی مناسب توسعه ظرفیت‌های نیروگاهی می‌توان سهم آلاینده‌های تزریق شده در محیط زیست را کاهش داده و آن را کنترل کرد. در واقع با افزایش سهم واحدهای تولیدی که کمترین تاثیر را در تولید آلاینده‌ها و آلودگی محیط زیست دارند می‌توان از محیط زیست در برابر آسیب‌های فراوان زیست محیطی صیانت و نگهداری کرد .

مهمترین عوامل تاثیرگذار بر محیط زیست :

۱) انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2، CO ,SO_2، NO_x و ذرات معلق

۲) استفاده از زمین به منظور جایابی واحدهای نیروگاهی

۳) ایجاد آلودگی‌های صوتی می‌باشد (ایوانزو همکاران۲۰۰۹)

مهم‌ترین مطالعاتی که تاثیرات محیط زیستی واحدهای نیروگاهی را بررسی کرده‌اند، شامل (بیلک وهمکاران,۲۰۰۶) (هوندا ,۲۰۰۵)(گاگونون وهمکاران,۲۰۰۲)[۵] (یوچی

---

[۱] Bilek et al

[۲] Hondo H

[۳] Life Cycle Assessment (LCA)

[۴] Vestas Wind Systems

[۵] Gagnon et al

یاما,۲۰۰۷)[۱](وایسر,۲۰۰۷) می باشند.

۲-۴ عوامل اجتماعی :

بعد اجتماعی توسعه‌ی پایدار بعد وسیعی است و خود ویژگی‌های مختلفی را دارد:

۱) پذیرش اجتماعی

۲) فواید اجتماعی مهم‌ترین فاکتورهای مربوط به بعد اجتماعی توسعه‌ی پایدار می باشند .(ایوانز وهمکاران۲۰۰۹)

مطالعات زیادی به منظور کمی سازی این فاکتورها در ادبیات صورت گرفته است (به عنوان مثال(ایوانز وهمکاران۲۰۰۹) و (کروهن,دمبرگ(۱۹۹۹)[۲] که در همه‌ی این مطالعات زیرمعیارهای مختلفی مانند ایجاد شغل و پذیرش اجتماعی وجود دارد و برای این دو فاکتور اصلی بر اساس نظر خبرگان برای واحدهای نیروگاهی متنوع تعریف شده است.که هر یک به طور مستقیم و غیر مستقیم در میزان رضایتمندی و رفاه اجتماعی موثر هستند. یکی از روش‌های مرسوم برای بررسی عوامل اجتماعی روش تخمین دورعمر-اجتماعی [۳]است که توسط (ستاک,۲۰۰۹)[۴] ارائه شده است و تاکنون در حوزه برنامه‌ریزی انرژی به‌کارگرفته نشده است. در حوزه برنامه‌ریزی انرژی روش‌های مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره به طور وسیعی برای توسعه پایدار و لحاظ همزمان عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به کارگرفته شده‌اند. مقالات مروری (پوهکاروهمکاران,۲۰۰۴)[۵](بانوس وهمکاران,۲۰۱۱)[۶](ایوانز وهمکاران,۲۰۰۹) به بررسی این روش‌های به‌کار رفته در ادبیات موضوع مرتبط پرداخته‌اند. برنامه‌ریزی پایدار انرژی به

---

[۱] Uchiyama Y

[۲] Krohn S, Damborg

[۳] SocialLife Cycle Assessment (SLCA)

[۴] UNEP/SETAC

[۵] Pohekar et al

[۶] Banos, Raul, et al

روش تصمیم گیری چندمعیاره برای کشور یونان توسط(تسوتسوس وهمکاران,۲۰۰۹)[۱] انجام شده است.

(لوند,هنریک,۲۰۰۷)[۲] به بررسی تاثیر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق بر روی توسعه پایدار کشور دانمارک پرداخته‌است. علاوه بر عوامل ذکرشده در توسعه پایدار، مطالعات موجود در این حوزه عوامل دیگری شامل بعد نهادی و بعد فنی یا محدودیت‌های تکنولوژیکی واحدهای نیروگاهی نیز لحاظ شده‌اند.(ایوانزوهمکاران۲۰۰۹)

۲-۵ برنامه‌ریزی انرژی و بعد نهادی توسعه‌ی پایدار :

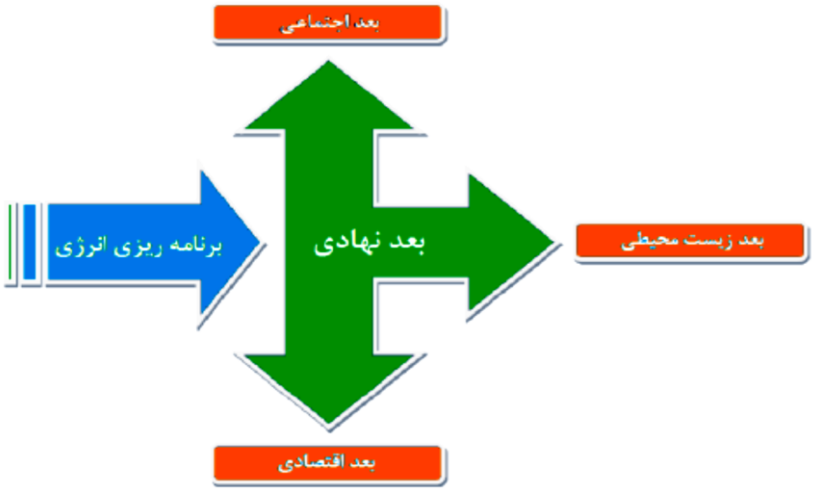
بعد نهادی در توسعه‌ی پایدار به عنوان یک بعد اساسی و قانونی جهت تصمیم گیری، اجرا و پیاده سازی اهداف توسعه‌ی پایدار در راستای رسیدن به ابعاد مختلف پایداری نظیر اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است. بعد نهادی یک بعد تصمیم گیر و تصمیم ساز برای پیاده سازی اهداف و برنامه‌های مختلف است به گونه‌ای که عملی شدن سایر ابعاد توسعه‌ی پایدار نظیر اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی از طریق بعد نهادی امکان پذیر است. در توسعه‌ی پایدار تمامی نهادهایی که زیر مجموعه ی بعد نهادی می‌باشند به گونه ای عمل می‌کنند که پیاده سازی اهداف توسعه‌ی پایدار در بخش‌های مختلف جامعه به خوبی صورت پذیرد و بین سازمان‌های تصمیم گیر و اجرا کننده مختلف، ناهماهنگی وجود نداشته باشد. در توسعه‌ی پایدار هماهنگ بودن تصمیم ها تا اجرایی کردن آن‌ها توسط سازمان‌های درگیر و موثر، امری انکار ناپذیر خواهد بود. بر اساس (راد,۲۰۱۱)[۳]، شکل (1) نشان می‌دهد که برنامه ریزی انرژی راهکارها و برنامه ریزی‌های مناسب در حوزه انرژی را به منظور حرکت در راستای بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی توسعه‌ی پایدار در

[۱] Tsoutsos, et al

[۲] Lund, Henrik.

[۳] F. D. Rad

اختیار بعد نهادی قرار می‌دهد و این بعد با ایجاد هماهنگی‌های لازم با همه سازمان‌ها و نهادهای موثر در آن، به پیاده سازی نتایج بدست آمده در برنامه ریزی انرژی اقدام خواهد کرد .بنابراین زمانی نتایج حاصل از برنامه ریزی انرژی و به طورخاص برنامه‌ریزی ظرفیت واحدهای نیروگاهی می تواند در راستای اهداف درنظر گرفته شده قرار گیرد که بعد نهادی توسعه پایدار بتواند نتایج آن را در سطح جامعه پیاده سازی کند.



شکل(۱): ارتباط بین ابعاد توسعه‌ی پایدار با برنامه‌ریزی انرژی

توسعه‌ی پایدار ظرفیت واحدهای نیروگاهی، علاوه بر عوامل ذکر شده برای برنامه‌ریزی پایدار انرژی، محدودیت‌های مربوط به شبکه‌ی برق و همچنین عدم قطعیت‌های مختلف شامل تقاضا، قیمت سوخت و منابع در دسترس مربوط به شبکه را نیز باید در نظر بگیرد. این پژوهش برای اولین بار به دنبال ترکیب کردن مفاهیم و عوامل موثردر برنامه‌ریزی پایدار انرژی و برنامه‌ریزی توسعه‌ی ظرفیت‌های نیروگاهی می باشد. در این بخش به طور مختصر مطالعات صورت گرفته در برنامه‌ریزی ظرفیت واحدهای نیروگاهی در شبکه‌ی برق می‌پردازیم .برنامه‌ریزی توسعه‌ی ظرفیت‌های نیروگاهی به طور سنتی به دنبال افزایش ظرفیت واحدهای نیروگاهی است که تقاضای برق را با قابلیت اطمینان بالایی با کمترین هزینه شامل هزینه‌های ایجاد و بهره برداری از واحدهای نیروگاهی تامین کند. مطالعات

در این حوزه به مدل‌های بهینه سازی مختلط عدد صحیح با آزادسازی خطی [۱] یا غیرخطی [۲] منجر می‌شوند (صدیقی، امیر حسین و امیر احمدی جاوید,۲۰۱۵)

۲-۵ برنامه‌ریزی ظرفیت واحدهای نیروگاهی در شبکه‌ی برق :

مطالعات زیادی این مسئله را به صورت یک مسئله‌ی بهینه سازی قطعی با هدف حداقل کردن هزینه مدلسازی نموده‌اند که به عنوان نمونه مطالعات (فوکویاما،چیانگ، 1996 [۳])(کانن وهمکاران,۲۰۰۵)[۴](مورگان وهمکاران,۲۰۰۹)[۵] جزو این دسته از مطالعات هستند. همچنین عدم قطعیت مربوط تقاضا و قیمت سوخت در مطالعات (فنگ ورایان,۲۰۱۳)[۶](جین,رایان,واتسون,۲۰۱۱)[۷] لحاظ شده است.

(وانگ وهمکاران,۲۰۰۰۹)[۸] مسئله را در یک محیط رقابتی مورد بررسی قرار داده است و یک مدل مبتنی بر نظریه‌ی بازی‌ها با اطلاعات ناکامل ارائه داده است.

(روح، شهیدپور, ۲۰۰۹)[۹] یک مدل تصادفی برای برنامه‌ریزی همزمان واحدهای نیروگاهی و خطوط انتقال توسعه داده است و علاوه بر عدم قطعیت تقاضا در بلند مدت، عدم قطعیت مربوط به خروج اجباری واحدهای نیروگاهی و خطوط انتقال را در مدل خود لحاظ نموده‌اند .لحاظ فنآوری‌های نوین تولید برق مانند انرژی تجدیدپذیر به ندرت در این مسئله بررسی شده است که حضور واحدهای تولیدی بادی توسط(کمالی نیا

---

[۱] Mixedinteger linear programming
[۲] Mixedinteger nonlinear programming
[۳] Fukuyama, Chiang
[۴] Kannan et al
[۵] Murugan et al
[۶] Feng, Ryan
[۷] Jin, Ryan, Watson,
[۸] Wang et al
[۹] Roh, Shahidehpour

وشـــهیدپور,۲۰۱۰)[۱](بـــارینگو وهمکـــاران,۲۰۱۱)[۲]در برنامـــه ریـــزی ظرفیـــت واحـــدهای نیروگاهی مورد مطالعه قرار گرفتـه اسـت. بـا توجـه بـه ابعـاد توسـعه پایـدار، مطالعـاتی در ایـن زمینه نیز صورت گرفته اسـت کـه عوامـل محـیط زیسـتی را بـر اسـاس میـزان انتشـار گازهـای گلخانه‌ای در مسئله‌ی بهینه‌سـازی ارائـه شـده لحـاظ نمـوده‌انـد کـه ایـن مطالعـات شـامل (مـزه وهمکـــــاران,۲۰۰۷)[۳](ســـــیریکوم وهمکـــــاران,۲۰۰۷)[۴](گیتـــــی زاده وهمکـــــاران,۲۰۱۳) (ربنناک,۲۰۱۴)[۵]می باشند.

ولـی همچنـان در ادبیـات مطالعـاتی کـه کلیـه‌ی ابعـاد مربـوط بـه توسـعه‌ی پایـدار را در برنامه‌ریزی ظرفیت واحـدهای نیروگـاهی لحـاظ کنـد وجـود نـدارد و ایـن برنامـه‌ریـزی یکـی از نیازهای اساسی برای توسعه صنعت برق می‌باشد .

چشم انداز ایـن پـژوهش بـه منظـور پوشـش شـکاف هـای تحقیقـاتی و کـاربردی در ایـن حـوزه ارائـه‌ی ابزارهـای بهینـه‌سـازی اسـت کـه کلیـه‌ی ابعـاد توسـعه پایـدار شـامل عوامـل اقتصـادی، محیط زیسـتی و اجتمـاعی را در مسـئله‌ی برنامـه‌ریـزی ظرفیـت واحـدهای نیروگـاهی در شـبکه ی بـرق لحـاظ کنـد. بـرای رسـیدن بـه ایـن منظـور از ابزارهـای تصـمیم گیـری چنـدمعیاره در مدل‌های بهینه سـازی اسـتفاده خـواهیم نمـود همچنـین، امکـان اسـتفاده از انـواع فنـآوری‌هـای نوین ماننـد انـرژی تجدیدپـذیر (نیروگاههـای بـادی، خورشـیدی، زیسـت تـوده) دربرنامـه ریـزی ظرفیـت واحـدهای نیروگـاهی لحـاظ خواهـد گردیـد و در نهایـت بـه توسـعه‌ی ایـن مـدل‌هـا در حضور انواع مختلف عدم قطعیت در شبکه‌ی برق خواهیم پرداخت.

یکـی از مسـائل بسـیار مهـم تصـمیم گیـری در محـیط هـای ناپایـدار اسـت دراین مـدل‌هـای تصمیم گیـری چنـد معیـاره بـه عنـوان یکـی از ابزارهـای کـارا جهـت اخـذ تصـمیم مناسـب بـه

[۱] Kamalinia, Shahidehpour

[۲] Baringo et al

[۳] Meza, et al

[۴] Sirikum, et al

[۵] Rebennack

نظر می‌رسد. فرایند تصمیم گیری شامل گام‌های زیر است که در پنج مرحله به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

تعریف مساله :

تعیین محدوده مساله از جمله اهداف و هم چنین ابعاد منطقی آن.

راه حل‌های ممکن :

جستجو و تعیین تمام راه حل‌ها یا گزینه های حل مساله اعم از مطلوب و غیر ممکن.

تعیین شاخص‌ها :

تعیین شاخص‌ها (معیارها) ویژگی‌ها یا استانداردهای انتخاب برای راه حل‌های مورد نظر جهت رسیدن به هدف.

بررسی راه حل‌های موجود :

بررسی مطلوبیت راه حل های موجود با استفاده از روش‌هایی همانند ارزیابی هزینه و فایده با در نظر گرفتن معیارهای تعیین شده در گام قبل, موتور اصلی تصمیم سازی چند معیاره در این مرحله وجود دارد.

انتخاب راه حل :

انتخاب بهترین راه حل‌ها از میان راه حل‌های موجود برای رسیدن به هدف (عطایی,۱۳۸۸ و مومنی,۱۳۹۱)

اعمال تصمیم انتخاب شده :

راه حل یا راه حل‌هایی که در فرایند تصمیم سازی انتخاب شده اجرا می‌گردد.

بررسی نتایج :

نتایج حاصل از اعمال تصمیم در گام قبلی بررسی می‌شوند.

۲-۷. روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره[۱](MCDM)

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به دو دسته‌ی عمده مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه (MODM)[۲] و مدل‌های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM)[۳] تقسیم می‌شود. در حالت کلی مدل‌های چند هدفه به منظور طراحی و مدل‌های چند شاخصه به منظور انتخاب گزینه برتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفاوت اصلی مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه با مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه آن است که اولی در فضای تصمیم‌گیری پیوسته و دومی در فضای تصمیم‌گیری گسسته تعریف می‌گردند.(اصغرپور,۱۳۸۹)

۲-۷-۱. تقسیم بندی تصمیم گیری‌های چند شاخصه

مدل‌های غیر جبرانی[۴]

در مدل‌های غیر جبرانی تصمیم گیرنده حاضر به تبادل بین معیارها نمی‌باشد. نقطه ضعف موجود در یک شاخص توسط نقطه قوت موجود در یک شاخص دیگر جبران نمی‌شود.

هر شاخص جدا از سایر شاخص‌ها مبنای ارزیابی گزینه‌های رقیب قرار می‌گیرد.

۱) در این مدل ها شاخص‌های تصمیم, مستقل از همدیگر هستند.

۲) شاخص‌های تصمیم, قابل جمع بندی یا ادغام نبوده و اهمیت خاص خود را دارند.

۳) نقطه ضعف در یک شاخص را نمی توان با نقطه قوت در شاخص دیگر جبران نمود.

---

[۱] Multiple Criteria Decision Making

[۲] Multi Objective Decision Making

[۳] Multiple Attribute Decision making

[۴] Non compensatory models

مدل‌های غیر جبرانی نیز خود به چند دسته تقسیم می‌شوند از جمله روش‌های عام، لکسیکوگرافی، رضایت بخش و روش پرموتاسیون (جایگشت) تقسیم می‌شود.

مدل‌های جبرانی

مدل‌های جبرانی تصمیم گیرنده حاضر به تبادل بین معیارها و شاخص‌ها وجود دارد. تغییر در یک شاخص توسط تغییری مخالف در شاخص یا شاخص‌های دیگر جبران می‌شود.

۱) در این مدل‌ها مبادله و یا جمع بندی وزنی میان شاخص‌ها مجاز است.

۲) می‌توانیم نقطه ضعف در یک شاخص را با نقطه قوت در شاخص دیگر جبران کنیم.

مهم‌ترین روش‌های تصمیم گیری چند شاخصه در گروه مدل‌های جبرانی جای می‌گیرند (اسپینو وهمکاران,۲۰۱۴) شاخص‌ها را می‌توان از سه نظر مقدار (کمی و کیفی), از نظر علامت (مثبت و منفی) و از نظر بعد تقسیم نمود.

۲-۷-۲ روش وزن دهی به شاخص‌ها

وزن دهی به شاخص ها از مراحل مهم در تصمیم گیری چندشاخصه است, بنابراین دانستن میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها مساله‌ای بسیار ضروری است.

رویکردهای کلی در وزن دهی به شاخص‌ها عبارتند از:

۱) نظرات خبرگان : نظرات خبرگان یعنی اینکه پای صحبت افراد بنشینیم و شاخص‌ها را پیش آن‌ها ببریم و آن‌ها تک تک شاخص‌ها را از صفر تا یک نمره دهی نمایند.

۲) استفاده از اطلاعات ماتریس تصمیم : جایی که خبرگان دسترسی نداریم و نیازی نیست که از کسی بپرسیم و یا اطلاعاتی راجه به شاخص‌های خودمان نداریم از خود ماتریس تصمیم استفاده می‌کنیم.

۳) روش‌های تلفیقی : تلفیق روش‌های قبلی است (مقدم و یونسیان,۱۳۹۷)

۲-۷-۳ الگوریتم‌های تصمیم گیری

۲-۷-۳-۱ وزن دهی و رتبه بندی عوامل

در این دسته روش‌هایی که هدف آن‌ها هم وزن دهی به معیارها, زیر معیارها و هم رتبه بندی گزینه ها است قرار می‌گیرند, عمده روش‌های این دسته به مقایسات زوجی معروف هستند. از دسته این روش‌ها می توان به تکنیک‌های زیر اشاره نمود.

روش لینمپ (Linmap):

روش لینمپ از روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره می‌باشد برای تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها و رتبه بندی گزینه‌ها به کار می‌رود. در روش لینمپ تعداد (m) گزینه با (n) شاخص به وسیله (m)نقطه برداری در یک فضای (n -) بعدی نشان داده شده و فرض برآن است که تصمیم گیرنده گزینه‌های با کمترین فاصله به نقطه ایده آل را در این فضا انتخاب خواهد کرد. در این روش با حل یک مدل بهینه سازی ریاضی و تبدیل آن به مدل بهینه سازی خطی به اوزان عوامل پژوهش دست پیدا خواهیم کرد.

فرایند تحلیل سلسه مراتبی[۱](AHP) :

این روش توسط آقای توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ ایجاد گردید. این روش، روشی توانمند و منعطف در دسته روش‌های تصمیم گیری چند معیاره است که بوسیله آن می توان مسائل پیچیده را در سطوح مختلف حل کرد. این روش برای کارهای تئوری و پژوهشی در اکثر رشته‌ها کاربرد دارد. روش (AHP) هر دو ارزیابی عینی و ذهنی را در یک ساختار یکپارچه بر مبنای مقیاس‌هایی با زوج مقایسه ترکیب نموده و به تحلیل گران کمک می‌کند تا جوانب اساسی یک مساله را در یک قالب سلسله مراتبی

[۱] Analytic Hierarchy Process

سازماندهی کنند.

از جمله مزایای این روش می توان به این موارد اشاره نمود:

سنجش سازگاری قضاوت‌های تصمیم گیرندگان، ایجاد مقایسات زوجی در انتخاب راهکار و گزینه بهینه، توان در نظر گرفتن معیارها و زیر معیارها در ارزیابی گزینه ها، ایجاد قابلیت دستیابی به بهترین گزینه از طریق مقایسات زوجی.

فرایند تحلیل شبکه[۱] :

این روش نیز توسط آقای ال ساعتی ایجاد شده است و یکی از روش های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM) است که همانند روش (AHP) می باشد اما در آن معیارها یا زیرمعیارها و یا گزینه ها دارای وابستگی یا رابطه هستند. اگر مسئله ای وجود داشته باشد که در آن معیارها دارای رابطه باهم باشند و یا زیرمعیارها دارای روابط داخلی باشند دیگر این نوع مسئله از طریق روش (AHP) قابل انجام نیست زیرا دیگر مسئله از حالت سلسله مراتبی خارج می شود و یک حالت شبکه‌ای ایجاد می‌کند. در این حالت باید مسئله را از طریق (ANP)حل کرد. در واقع روش (AHP) را یک حالت خاص از روش (ANP) می دانند. فرایند تحلیل شبکه روش جامع و قدرتمندی را برای تصمیم گیری دقیق با استفاده از اطلاعات تجربی و یا قضاوت‌های شخصی هر تصمیم گیرنده در اختیار و با فراهم کردن ساختاری برای سازماندهی معیارهای متفاوت و ارزیابی اهمیت و ارجحیت هر یک از آن ها نسبت به گزینه‌ها، فرایند تصمیم گیری را آسان می‌کند. این روش قابلیت پیاده سازی در اکسل[۲] را دارد.

[۱] **(ANP)** Analysis Network Process

[۲] Excel

۲-۷-۳-۲ رتبه بندی

در این دسته روش‌هایی هستند که هدفشان تنها رتبه بندی گزینه‌های پژوهش است. این روش‌ها به روش‌های کمکی معروف هستند. زیرا اصولا به تنهایی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و به عنوان کمکی و یا ترکیبی با روش‌های دیگر می‌آیند. این روش‌ها برای رتبه بندی گزینه‌های پژوهش نیازمند وزن معیارها هستند که این وزن هم می‌تواند توسط پاسخ دهنده داده شود و هم این‌که توسط روش‌های دیگر محاسبه شود و سپس به عنوان ورودی وارد این روش‌ها شوند. از مهم‌ترین روش‌های کمکی می‌توان به روش‌های زیر اشاره نمود.

تکنیک (TOPSIS)[۱]:

این روش اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ایجاد گردید. در این روش از دو مفهوم (حل ایده آل) و (شباهت به حل ایده آل) استفاده شده است. از این تکنیک می توان برای رتبه بندی و مقایسه گزینه های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه ها و گروه بندی آنها استفاده نمود .از جمله مزیت های این روش آن است که معیارها یا شاخص های به کار رفته برای مقایسه می توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارات دیگر می توان از شاخص های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده نمود .بر اساس این روش، بهترین گزینه یا راه حل، نزدیک ترین راه حل به راه حل یا گزینه ایده آل و دورترین از راه حل غیر ایده آل است. راه حل ایده آل، راه حلی است که بیشترین سود و کمترین هزینه را داشته باشد، در حالی که راه حل غیر ایده آل، راه حلی است که بالاترین هزینه و کمترین سود را داشته باشد. به طور خلاصه، راه حل ایده آل از مجموع

[۱] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

مقادیر حداکثر هر یک از معیارها به دست می آید، در حالی که راه حل غیر ایده آل از مجموع پایین ترین مقادیر هر یک از معیار ها حاصل می گردد.

آراس (ARAS)[1] :

روش آراس یکی از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره است که در سال ۲۰۱۰ توسط آقای زاوادسکاس و ترکسیس [2]معرفی شد بر اساس این نظریه استوار است که پدیده‌های پیچیده جهان می‌تواند با استفاده از مقایسه‌های نسبی ساده فهمیده شود. در این روش مجموع مقادیر وزن‌دار شده و نرمال شده مقادیر معیارها برای هر گزینه که نشان دهنده شرایط یک گزینه است، بر مجموع مقادیر وزن دار شده و نرمال شده بهترین گزینه تقسیم می‌شود این نسبت، درجه بهینه بودن نامیده می شود. بر اساس این درجه بهینه بودن گزینه‌ها، رتبه بندی می شود بهترین گزینه آن است که بیشترین فاصله را از عوامل منفی و کمترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد. (منوچهرفرهنگ,۱۳۷۱) رتبه بندی را آراستن و به ردیف درآوردن معنی نموده است, تصمیم گیری نیز بر انتخاب یک از بین تعدادی گزینه دلالت دارد.

روش آراس فازی[3] را می توان برای تصمیم گیری‌های استراتژیک مورد استفاده قرار داد. روش آراس امکان تعیین سطح عملکرد گزینه‌ها را فراهم می‌کند و نسبت مربوط به هر گزینه را برای تعیین گزینه ایده آل نشان می‌دهد. روش آراس فازی یکی از روش‌های کاربردی و جدید برای انتخاب گزینه برتر می‌باشد. رویکرد فازی به دلیل توانایی کمی سازی عوامل کیفی و همچنین مدل سازی عدم قطعیت در خطاهای برآورد برخی از عوامل کمی انتخاب شده است. مجموعه‌های فازی به وجود آمده است که انعطاف پذیری

[1] Additive Ratio Assessment

[2] Zavadskas & Turskis

[3] Fuzzy Aras

موردنیـاز را بـرای نمـایش عـدم قطعیـت ناشـی از خطـای داده ای یـا ابهـام در قضـاوت‌هـا را فراهم کند.

۲-۸. پیشینه پژوهش

در زمینـه اسـتفاده از انـرژی‌هـای تجدیـد پـذیر مبنـی بـر تولیـد انـرژی الکتریکـی, تـاکنون مطالعات داخلی مبتنی بـر بهینـه سـازی ترکیـب ایـن نـوع از انـرژی انجـام نشـده امـا مطالعـات خـارجی مختلفـی در انـواع کشـورها بـا اسـتفاده از تکنیـک‌هـای برنامـه ریـزی خطـی و برنامـه ریـزی اسـتوار و سلسـله مراتبـی صـورت گرفتـه اسـت کـه مقالـات اصـلی را از دیـدگاه هـای مختلف (نام نویسنده, سال انتشـار, هـدف, قلمـرو زمـانی و مکـانی) مـورد بررسـی قـرار داده‌ایـم. در ایـن بخـش بـه بررسـی مهـم تـرین مطالعـات داخلـی و خـارجی در راسـتای ایـن فصـل از پژوهش پرداخته می‌شود که در زیر آن‌ها را گزارش می‌دهیم.

۲-۸-۱. پژوهش های داخلی

(شـفیع‌اللـه و همکـاران 2012) در مطالعـه خـود بـا عنـوان" چشـم‌انـدازی بـه انـرژی‌هـای تجدیدپذیر"

بـه بررسـی پتانسـیل انـرژی‌هـای تجدیدپـذیر پرداختـه و منـاطقی از اسـترالیا کـه پتانسـیل تولید انـرژی تجدیدپـذیر بخصـوص انـرژی خورشـیدی و بـادی را دارنـد شناسـایی کـرده و یـک مـدل بهینـه ترکیبـی بـرای توسـعه چشـم‌انـدازی از انـرژی بـاد در منطقـه‌ای از اسـترالیا بـا در نظر گرفتن هزینه های تولید، هزینه‌های انرژی، هزینه های کاهش انتشار ارائه کرده‌اند.

(جبـل عـاملی در سـال1376) مـدل توسـعه بهینـه سیسـتم انـرژی بـا زیـربخش‌هـای خـودگردان را ارائـه داده اسـت. ایـن مـدل بـر اسـاس برنامـه ریـزی خطـی و بـر مبنـای روش تجزیه طراحی شده و شامل دو نـوع مـدل اسـت. مـدل ملـی کـه تبـادل انـرژی بـین منـاطق را

منعکس می‌سازد و اطلاعات لازم برای تخصیص منابع در سطح کلان را ارائه می‌کند و مدل‌های منطقه‌ای که ساختار بهینه سیستم انرژی در هر یک از مناطق رامشخص می‌سازد. مدل پایدار توسعه انرژی روستای عبدل آباد توسط وربوراژدری در سال 1381 توسعه داده شده است. هدف حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینه‌های سرمایه گذاری، هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری است و محدودیت‌ها شامل معادلات موازنه انرژی، محدودیت ظرفیت، قیدجریان، ظرفیت، محدودیت دینامیکی جریان، معادلات منابع، معادلات اقتصادی منابع و معادلات آلودگی است.

(فطرس و همکاران,۱۳۹۰) در بررسی تاثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی در دو گروه از کشورهای منتخب عضو و غیر عضو (OECD[1]) با استفاده از آزمون‌های ریشه واحد پانلی, هم انباشتگی پانلی و آزمون حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS[2]) در طی دوره‌ی ۲۰۰۸-۱۹۸۰ نشان دادند که رابطه مثبت و معناداری بین مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و رشد اقتصادی وجود دارد و درکشورهای دارای رشد اقتصادی بالا, بین انرژی‌های تجدید پذیر و رشد اقتصادی رابطه مثبت وجود دارد و میزان تاثیر گذاری مصرف انرژی‌های تجدید پذیر بر رشد اقتصادی در کشورهای عضو (OECO) بیشتر از کشورهای غیر عضو بوده است.

(رستمی,۲۰۰۲) مدل استراتژی‌های انرژی و کنترل انتشار در ایران را توسعه داده است . مفروضات درنظرگرفته شده در این تحقیق با استفاده از مدل آلایندگی در تهران، محدود بودن سرمایه گذاری خارجی، نیاز به واردکردن امکانات و تکنولوژی‌های استخراج و

[1] Organisation for Economic Cooperation and Development

[2] Dynamic Ordinary Least Squares

تبدیل به منظور توسعه بخش انرژی ایران، توزیع ناهماهنگ زیرساخت‌های اقتصادی واجتماعی که منجر به سطوح مختلف مصرف انرژی و در پی آن آلایندگی برای مناطق مختلف میشود. تابع هدف شامل هزینه منابع، هزینه توزیع، هزینه تقاضا، هزینه فرآیندها، هزینه ثابت، هزینه، سرمایه گذاری، هزینه کاهش آلودگی و هزینه اجتماعی به منظور تحلیل اثرات آلایندگی است.

(فیلسوف کاخکی,۱۳۹۶) در بررسی رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر بر رشد اقتصادی در ایران با استفاده از الگوی خود توضیح برداری با وقفه‌های توزیعی (ARDL) در طی دوره ۱۹۸۴-۲۰۱۱ نشان داد که بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر رابطه مثبت و معناداری وجود دارد.

(احمدی و کریمی,۱۳۸۵) مدل عرضه بهینه انرژی الکتریکی در شبکه برق ایران در شرایط فازی بار و هزینه تولید را توسعه داده‌اند.مدل پیشنهادی یک مدل برنامه ریزی خطی فازی است . تابع هدف در این مدل ارزش فعلی هزینه‌های سوخت و عملیاتی متغیر، هزینه‌های خاموشی تقاضای برآورده نشده و ذخیره تأمین نشده و هزینه‌های سرمایه گذاری را در نظر گرفته است. محدودیت های مدل شامل محدودیت های تقاضا، ظرفیت، قابلیت اطمینان، خودکفایی و تعادل است. در این سال، اقلیمی الگوی استراتژی بهینه صادرات انرژی الکتریکی ایران در شرایط تغییرات دینامیکی تقاضا را تدوین کرده است. در این پژوهش ضمن معرفی روش شناسی و ساختار الگوهای بهینه یابی کوتاه‌مدت شبکه‌های برق به هم متصل و الگوی بهینه یابی بلندمدت بازارهای برق منطق‌های، نتایج حاصل از اجرای الگوی کوتاه مدت و بلندمدت درخصوص مبادلات برق

میان ایران و کشور ترکیه گزارش شده است.

(صادقی ,1386) به بررسی بازار عرضه انرژی الکتریکی ایران با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها پرداخته است. در این تحقیق با ارائه ساختار کلان برای تحلیل بازار برق و مدل‌سازی آن به تحلیل و بررسی تاثیرات متقابل برخی ازپارامترهای تاثیرگذار بر عرضه تقاضای انرژی الکتریکی در سه نوع تکنولوژی تولیدی حرارتی، آبی وتجدیدپذیر پرداخته شده است. عوامل مؤثر مد نظر قرار گرفته در این بررسی بر میزان تولید و عرضه دربازار برق عبارتند از:

میزان تقاضا، قیمت بازار برق، پیشرفت تکنولوژی، میزان منابع در دسترس و سودآوری در ایجاد ظرفیت جدید .

(صادقی و همکاران,۱۳۹۶) به بررسی تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست ایران با استفاده از الگوی خود رگرسیون ساختاری(SVAR) در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۲ پرداختند. نتایج نشان داد که بروز شوکی مثبت در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر, منجر به افزایش رشد اقتصادی و انتشار(CO_2) می‌شود. از طرفی تحلیل تجزیه واریانس نیز حاکی از آن است که سهم انرژی تجدید پذیر در توضیح واریانس خطای پیش بینی (GDP) و(CO_2) در سطح پایینی قرار دارد از این رو با توجه به مزیت‌های انرژی‌های تجدید پذیر توصیه می‌شود افزایش سهم این نوع انرژی از کل انرزی تولیدی کشور در افق کار سیاست‌مداران قرار گیرد.

(جناب ,1389) به توسعه مدل سیستم‌های عرضه انرژی الکتریکی پرداخته است. در

این تحقیق با هدف کاهش فشار بـر ظرفیـت‌هـای تولیـد مراکـز تولیـد و بهـره بـرداری مطلـوب از ظرفیـت‌هـای انتقـال و بهینـه سـازی ظرفیـت، مـدل تحلیلـی بـر اسـاس مفروضـات اصـولی طراحی شده است که نتـایج حـل آن تعـداد بهینـه مراکـز تولیـد انـرژی بـرق، ظرفیـت تولیـد و سـاختار اتصـال شـبکه بـا رعایـت محـدودیت هـای اقتصـادی، تکنولـوژیکی و قابلیـت اطمینـان است.

۲-۸-۲. پژوهش‌های خارجی

(اکسیدیس وکرونس,۲۰۱۲)[۱] درمطالعه خود با عنوان روش برنامه‌ریزی خطی به منظور برنامه‌ریزی بهینه سیستم انرژی درآینده باتوجه به پتانسیل تولید انرژی از مواد زائد جامد شهری به علت عدم توازن بین عرضه انرژی و مصرف نهایی، سیستم انرژی یونان را مورد مطالعه قرار دادند . هدف نهایی از این مطالعه، ارائه الگوی بهینه ای به منظور برآورد نیاز انرژی کشور یونان با توجه به منابع انرژی تجدیدپذیر و بالاخص تمرکز در پتانسیل تولید انرژی از مواد زائد جامد شهري (MSW)[۲]در هر منطقه بوده است.

(فریئـرا و همکـاران, ۲۰۱۲)[۳] در مطالعـه‌ای بـا اسـتفاده از رویکـرد بهینـه سـازی اسـتوار بـه طراحـی مـدلی بـرای پاسـخ بـه تقاضـای انـرژی بـرق بـا فـرض همبسـتگی اطلاعـات قیمتـی پرداخته اند.

(پوکـارو راماهانـدان,۲۰۰۴)[۴] در تحقیـق خـود مبتنـی بـر انتخـاب تکنولـوژی تولیـد انـرژی الکتریکـی در کشـورهای در حـال توسـعه بـا اسـتفاده از تکنیـک هـای تصـمیم گیـری چنـد

[۱] Xydis, G. & Koroneos

[۲] Municipal Solid Waste

[۳] Ferreira et al.

[۴] Pohekar & Ramachandran

معیاره(MCDM) در دهه ۱۹۷۰ نشان دادند که در میان انرژی‌های تجدید پذیر, انرژی خورشیدی و بادی در الویت بهتری نسبت به سایر انرژی‌ها قرار دارد, زیرا از یک طرف دارای هزینه کمتری است و از طرف دیگر توان تولیدی بالاتری هم برخوردار است.

(مویس و همکاران,۲۰۱۰)[۱] در مطالعه خود با استفاده از تکنیک برنامه ریزی اعداد صحیح، الگوی بهینه ای را برای تولید برق با هدف کاهش دی اکسیدکربن ارائه داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد به منظور کاهش 50 درصدی انتشار دی اکسیدکربن از سطح فعلی، یک الگوی بهینه از سیکل ترکیبی گاز، سیکل ترکیبی گاز طبیعی، انرژی هسته‌ای و انرژی زیست توده ناشی از دفن زباله انتخاب شده است.

(لین و هانگ, ۲۰۰۹) [۲]در مطالعه خود با استفاده از تکنیک برنامه ریزی پویا مدلی را به منظور مدیریت انتشار گازهای گلخانه ای و توسعه پایدار انرژی های تجدیدپذیر در کانادا ارائه داده اند.

(تسوتسس و همکاران,۲۰۰۹)[۳] در مطالعه برنامه ریزی انرژی پایدار و انرژی های تجدید پذیر با استفاده از نرم افزار تجزیه و تحلیل چند معیاره جزیره کرت در سال۲۰۰۸ دریافتند که انرژی خورشیدی به عنوان بهترین انرژی شناخته می‌شود و نسبت به سایر انرژی ها در جزیره صرفه اقتصادی بهتری دارد .

(شن و همکاران,۲۰۱۵)[۴]با بررسی چهارچوب توسعه پایدار در زمینه صنایع معدنی به منظور تصویب مدیریت سبز زنجیره تامین و تولید انرژی‌های تجدید پذیر در کشور

[۱] Muis et al.
[۲] Lin & Huang
[۳] Tsoutsos et al
[۴] Shen et al

هندوستان با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در سال۲۰۱۴ دریافتند که صنایع معدنی کشور هندوستان باید در مدیریت منابع خود بهتر عمل کند چرا که این کشور از طریق تولید انرژی‌های بادی و خورشیدی بهتر می تواند انرژی مورد نیاز خود را تامین نماید.

(لی و همکاران,۲۰۱۸)[۱] با تجزیه و تحلیل روش های (MCDM) برای رتبه بندی منابع انرژی های تجدید پذیر در تایوان با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) دریافتند که در کشور تایوان انرژی آبی به دلیل هزینه پایین آن بهترین جایگزین به جای سوخت‌های فسیلی است و سپس انرژی خوشیدی, باد, زیست توده و زمین گرمایی به ترتیب در جایگاه بعدی قرار می‌گیرند.

[۱] Lee & et al

۳

روش شناسی پژوهش

۳-۱مقدمه

در هـر پـژوهش بـه دنبـال تعریـف مسـئله و تنظـیم فرضـیه هـا و یـا سـؤالات اساسـی تحقیـق، نوبت به انجام و ارائـه طـرح تحقیـق بـه منظـور آمـاده شـدن بـرای جمـع آوری اطلاعـات و داده ها مـی‌رسـد.به طـور کلـی منظـور از روش پـژوهش, ارایـه مهـارت‌هـا و تجربـه هـایی اسـت کـه دستیابی به اهداف را آسان‌تر و عملی‌تـر مـی‌سـازد یـا بهتـر مـی‌تـوان گفـت مسـیری اسـت کـه پدیده های علمی مختلف را با اعتبـار و پشـتوانه‌هـای علمـی مـورد بررسـی قـرار مـی‌دهـد. یـک طرح تحقیـق قـوی و مناسـب کـه در آن محقـق بـه طـور واضـح جزئیـات را بیـان نمایـد باعـث خواهد شد وی در ادامه‌ی مسیر تحقیـق بـه طـور کاملـاً دقیـق و بـا حـداقل خطـا پـیش بـرود و ازگسسـتگی اقـدامات و افکـار رهـایی یابـد در یـک طـرح تحقیـق مناسـب مـی‌بایسـت روش و نوع تحقیق، جامعه آماری و منـابع کسـب اطلـاع بـه طـور واضـح و شـفاف بیـان شـود، زیـرا هـر پژوهشی فرآینـد ویـژه خـود را مـی‌طلبـد و از سـویی دیگـر دشـواری‌هـای خـاص خـود را دارد . پژوهش‌گر بایـد توجـه داشـته باشـد کـه نتـایج بـه دسـت آمـده بـه شـدت تحـت تـاثیر روشـی است کـه برگزیـده اسـت لـذا اهمیـت ایـن بخـش بـه حـدی بالـا و مهـم ارزیـابی مـی‌شـود کـه بسـیاری از صـاحب نظـران ایـن بخـش را مهـم‌تـرین بخـش در انجـام هـر تحقیـق ارزیـابی می‌نمایند و معتقدند صرف بیشتر وقـت و دقـت در ایـن بخـش منجـر بـه صـرفه‌جـویی در وقـت و اسـتفاده‌ی بهینـه از آن در سـایر مراحـل تحقیـق خواهـد شـد. (صـادقی۱۳۹۲) در ایـن فصـل تلاش مـی‌شـود تـا شـرح کوتـاهی در مـورد روش انجـام پـژوهش, جامعـه آمـاری, شـیوه نمونـه گیری, ابزار گردآوری داده‌ها و نرم افـزار هـای مـورد نیـاز در انجـام پـژوهش مـورد بررسـی قـرار گیرد

۳-۲. روش پژوهش

پـژوهش حاضـر از لحـاظ هـدف, تحلیلـی و کـاربردی اسـت زیـرا تـاثیر رتبـه بنـدی و

شـاخص‌هـای بنیـادی در نیروگـاه را بررسـی کـرده و از نتـایج آن در حـل مسـایل پیشـرو استفاده می‌شود.

۳-۳ روش گردآوری اطلاعات

در پـژوهش حاضـر، بـا مراجعـه بـه کتـب، پایـان نامـه هـا، مقالـات و سـایر منـابع، از روش کتابخانـه‌ای بـرای گـردآوری مطالـب مـورد نیازجهـت تـدوین بخـش‌هـای مربـوط بـه پیشـینه و ادبیـات تحقیـق و همچنـین مبـانی نظـری تحقیـق اسـتفاده شـده اسـت.برای گـردآوری داده هـای مـورد نیـاز بـه منظـور پاسـخ گـویی بـه سـوالات تحقیـق از اسـناد و مـدارک موجـود در نیروگاه های برق ایران و سایت های نیروگاه استفاده شده است.

۳-۴. تصمیم گیری

تصمیم‌گیری به فرایندهای ذهنی (شـناختی) گفتـه مـی‌شـود کـه بـه انتخـاب یـک اقـدام در میان اقـدامات جـایگزین مـی‌انجامنـد و همچنـین شـامل بیـان درسـت اهـداف، تعیـین راه حـل های مختلـف و ممکـن، ارزیـابی امکـان پـذیری آنـان، ارزیـابی عواقـب و نتـایج ناشـی از اجـرای هر یـک از راه حـل‌هـا و بالـاخره انتخـاب و اجـرای آن مـی‌باشـد. کیفیـت مـدیریت اساسـاً تـابع کیفیت تصمیم گیری اسـت زیـرا کیفیـت طـرح و برنامـه هـا، اثربخشـی و کارآمـدی راهبردهـا و کیفیت نتایجی که از اعمـال آن‌هـا بدسـت مـی‌آیـد همگـی تـابع کیفیـت تصـمیماتی اسـت کـه مـدیر اتخـاذ مـی‌نمایـد در اکثـر مـوارد تصـمیم‌گیری‌هـا وقتـی مطلـوب و مـورد رضـایت تصمیم‌گیرنده است که تصـمیم‌گیری براسـاس چنـدین معیـار مـورد بررسـی قـرار گرفتـه باشـد. معیارها ممکـن اسـت کمـی یـا کیفـی باشـند. در روش‌هـای تصـمیم‌گیری چنـد معیـاره کـه در دهه‌های اخیـر مـورد توجـه محقـق قـرار گرفته‌اسـت بـه جـای اسـتفاده از یـک معیـار سـنجش

بهینگی از چند معیار سنجش استفاده می‌شود.

۳-۴-۱. تصمیم گیری چند معیاره

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به دو دسته‌ی عمده مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه (MODM) و مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) تقسیم می‌شود. در حالت کلی مدل‌های چند هدفه به منظور طراحی و مدل‌های چند شاخصه به منظور انتخاب گزینه برتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفاوت اصلی مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه با مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه آن است که اولی در فضای تصمیم‌گیری پیوسته و دومی بر فضای تصمیم‌گیری گسسته تعریف می‌گردند. تصمیم گیری چند معیاره یک چارچوب نوید بخش برای ارزیابی مسائل چند بعدی، متناقض و ناسازگار است. این روش به مجموعه ای از تکنیک های تصمیم گیری که در برگیرنده مجموعه عوامل کمی و کیفی است، اطلاق می‌شود. در این روش نظرات و اهداف مختلف تصمیم گیران متعدد بطور واضح ترکیب شده و به تصمیم گیران اجازه داده می‌شود تا مشاهدات، معیارها و میزان اهمیت هر یک از آنها را رتبه بندی نموده و با وجود نظرات ناسازگار و مخالف، ناسازگاری‌ها را نیز برطرف نماید . این روش در تنوع گوناگونی از شرایط و موقعیت‌ها و همچنین معضلات و مشکلات که هدف‌های مختلفی را دنبال می‌کنند کاربرد داشته است. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقات مختلف، محققین به این نتیجه رسیده‌اند که تک هدفه بودن در انجام فعالیت‌های مختلف هدفی قابل قبول نمی‌باشد. بنابراین محققان امروزه به دنبال مدل های چند معیاره برای تصمیم گیری های پیچیده‌اند.در این تصمیم گیری ها به جای یک معیار برای سنجش از چند معیار استفاده می گردد .

۳-۴-۲ لزوم تصمیم گیری چند معیاره در پژوهش‌ها

تصمیم گیری در مسائل مدیریتی و انتخاب گزینه برتر از بین گزینه‌های پیشنهادی جهت حل مشکلات وتصمیم گیری تنها بر اساس معیارهای اقتصادی نسبت سود به هزینه صورت میگرفت. ولی امروزه با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره، دیگر لازم نیست که تنها از معادل مالی معیارهای اجتماعی واقتصادی در انتخاب گزینه برتر استفاده کرد؛ بلکه میتوان معیارهای مختلف کمی و کیفی را در اولویت بندی و انتخاب گزینه‌های برتر درتصمیم گیری بکار برد. مسائل تصمیم گیری، در اغلب موارد بوسیله تعداد زیادی از گزینه‌ها و نتایج غیرقطعی، شرکت کنندگان مختلف با اهداف متضاد و روابط و تعاملات پیچیده تعریف می‌گردند. در پژوهش حاضر برای تصمیم گیری از یکی از تکنیک‌های جدید تصمیم گیری چند معیاره به نام روش آراس[۱] استفاده خواهد شد که در ادامه شرح و توضیح آن بیان می‌گردد.

۳-۴-۳ روش آراس در تصمیم گیری چند معیاره

نمونه بارزی از مسائل تصمیم گیری چند معیاره مربوط به رتبه بندی تعداد متناهی از گزینه‌های تصمیم گیری است، که هر یک از آنها به وضوح بر حسب ضوابط تصمیم گیری متفاوت که باید به طور همزمان در نظر گرفته شود، توصیف شده است. روش آراس مقدار یک تابع مطلوبیت مجموعه بازده نسبی (کارایی نسبی) یک گزینه ممکن، به طور مستقیم متناسب با اثر نسبی ارزش ها و وزن معیارهای اصلی که در یک پژوهش مطرح شده است را تعیین می‌کند.روش آراس (ARAS) یکی از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره است که در سال ۲۰۱۰ توسط آقای زاوادسکاس و ترکسیس معرفی شد. واژه

[۱] Additive Ratio Assessment (ARAS) Method

ARAS بـــه معنـــی ارزیـــابی نســـبت جمعـــی مـــی باشـــد. روش ARAS هماننـــد روش‌هـــای تاپسـیس یـا ویکـور یـا الکتـره مـی باشـد یعنـی مـاتریس تصـمیم آن بـه صـورت معیـار-گزینـه اسـت. ایـن روش بـرای انجـام نیازمنـد وزن معیارهـا اسـت پـس بایـد ابتـدا توسـط روش‌هـایی نظیـر نظـر خبرگـان و یـا روش AHP وزن معیارهـا را محاسـبه کـرد سـپس توسـط ایـن روش گزینه هـا را رتبـه بنـدی نمـود. روش آراس بـرای حـل مسـائل تصـمیم گیـری مختلـف بـه کـار برده می‌شود. این روش همچنین می‌توانـد بـه شـکل فـازی و خاکسـتری طراحـی شـود. کـه بـه آراس اف –(تورسـکیز و زاوادسـکاز؛ 2010)[1]و آراس جـی (تورسـکیز و زاوادسـکاز؛ 2010) [2]نام‌گذاری شده‌اند.

۳-۴-۳-۱ فرآیند حل مساله با استفاده از روش آراس

فرآیند حل مسئله بـا اسـتفاده از روش آراس مـی‌توانـد بـه طـور خیلـی دقیـق بـا اسـتفاده از گام های زیر شرح داده شود:

گـــام اول : در اولـــین گـــام ایـــن روش بایـــد مـــاتریس تصـــمیم را تشـــکیل داد. مـــاتریس تصـمیم ایـن روش جهـت ارزیـابی گزینـه‌هـای مسـاله مـورد اسـتفاده قـرار مـی‌گیـرد بنـابراین ماتریسـی اسـت کـه سـطرهای آن را گزینـه‌هـا و سـتون‌هـای آن را معیارهـای پـژوهش تشـکیل می‌دهد .

$$X=\begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix};\quad i=\overline{0,\ m};\ j=\overline{1,\ n},$$

[1] ARASF (Fuzzy Additive Ratio Assessment)

[2] ARASG (Grey Additive Ratio Assessment)

گام دوم : تعیین مقدار ایده آل فرضی:

مقدار ایده آل برای معیارهای مثبت برابر بیشترین مقدار و برای معیارهای منفی برابر کمترین مقدار.

اگر مقدار بیشینه (ماکزیمم) برتری داشت:

(۳-۱)

$$x_{0j} = \max_i x_{ij}$$

و چنانچه مقدار کمینه (مینیمم) برتری داشت:

(۳-۲)

$$x_{0j} = \min_i x_{ij}$$

گام سوم : محاسبه ی ماتریس تصمیم نرمال

معمولاً معیارها اهمیت، اندازه و مقیاس های متفاوتی دارند. هدف گام بعدی این است که از معیارهای نسبی به مقادیر ارزش های وزن دهی شده برسد. به منظور جلوگیری از مشکلات ناشی از ابعاد مختلف معیارها، از نسبت(نرخ) ارزش بهینه استفاده شده است. نظریه‌های مختلفی در توصیف نسبت(نرخ) ارزش بهینه وجود دارد. با این حال مقادیر با استفاده از نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری در بازه یا فاصله ی [۱و ۰] یا بازه ی [∞و ۰] ترسیم شده است.

در گام سوم مقادیر اولیه‌ی همه‌ی معیارها نرمال می‌شود، مقادیر که با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه می‌گردد، ماتریس تصمیم گیری $\bar{X}$نرمال شده را معین می‌کند.

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} \overline{x}_{01} & \cdots & \overline{x}_{0j} & \cdots & \overline{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x}_{i1} & \cdots & \overline{x}_{ij} & \cdots & \overline{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x}_{m1} & \cdots & \overline{x}_{mj} & \cdots & \overline{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{0,\ m};\ j = \overline{1,\ n}.$$

معیاری که ارزش مورد نظر (ترجیحی) آن بیشینه است، به شکل زیر نرمال میشود:

$$\overline{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} x_{ij}}. \qquad (۳-۴)$$

معیاری که ارزش ترجیحی آن کمینه است،به صورت زیر نرمال میشود.

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^{*}} \qquad (۳-۵)$$

هنگامی که مقادیر بدون مقیاس (نرمال) هر معیار مشخص شد، در اصل، همه ی معیارهایی که در ابتدا مقیاس های متفاوتی داشتند می‌توانند با یکدیگر مقایسه شوند.

گام چهارم : وزن دار کردن ماتریس تصمیم:

کافیست وزن معیارهایی که از روش آنتروپی یا (AHP) بدست آمده اند در معیارهای نرمال شده ضرب شوند تا ماتریس وزن دار حاصل شود.

گام پنجم : محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه:

کافیست اعداد نرمال شده وزین را به صورت سطری با هم جمع کنیم. بزرگترین مقدار Si بهترین است، و کمترین آن بدترین. با توجه به روند محاسبه شده، تابع بهینگی Si دارای یک رابطه مستقیم و متناسب با مقادیر xij و وزن های wj از معیارهای بررسی شده و تأثیر نسبی آنها بر روی نتیجه ی نهایی است. بنابراین، بیشترین مقدار (ارزش) تابع بهینگی Si اثربخش ترین متغیر است. اولویت‌های گزینه‌ها می‌تواند با توجه به مقدار Si تعیین گردد. در نتیجه استفاده از این روش برای ارزیابی و رتبه بندی گزینه های تصمیم گیری مناسب است.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \qquad (۳-۶)$$

گام ششم : محاسبه مطلوبیت نسبی هر گزینه و رتبه بندی گزینه‌ها:

محاسبه درجه مطلوبیت هر گزینه در مورد ارزیابی گزینه‌ها نه تنها تعیین بهترین رتبه اهمیت دارد بلکه مهم است که کیفیت (مطلوبیت) نسبی هر گزینه مطرح شده نیز مشخص شود. به همین منظور از درجه ی مطلوبیت هر گزینه استفاده می‌گردد.

درجه ی مطلوبیت هر گزینه (آلترناتیو) به وسیله مقایسه متغیر -که تجزیه و تحلیل شده است. با حالت ایده آل یعنی So مشخص می گردد. معادله مورد استفاده برای محاسبه درجه ی مطلوبیت Ki از یک گزینه ai به صورت زیر است:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0};\ i = \overline{0,\ m}, \qquad (۳-۷)$$

گام هفتم : رتبه بندی گزینه ها و یا انتخاب موثرترین آن ها

۳-۴-۴ ارزیابی نسبت جمعی

روش آراس فازی (fuzzy ARAS) را می‌توان برای تصمیم گیری‌های استراتژیک مورد استفاده قرار داد. روش آراس امکان تعیین سطح عملکرد گزینه‌ها را فراهم می‌کند و نسبت مربوط به هر گزینه را برای تعیین گزینه ایده آل نشان می‌دهد. روش های (AHP) فازی، (ANP) فازی زمانی که تعداد گزینه‌ها زیاد می‌شود نمی‌توانند راه حل عملی مناسبی را ارائه دهند، از این رو این روش‌ها توسط محققان مختلف برای حل مشکلات مربوط به انتخاب در زمینه‌های مختلف اصلاح و کاربردی شده است. روش آراس فازی یکی از روش‌های کاربردی و جدید برای انتخاب گزینه برتر می باشد.

رویکرد فازی به دلیل توانایی کمی سازی عوامل کیفی و همچنین مدل سازی عدم قطعیت در خطاهای برآورد برخی از عوامل کمی انتخاب شده است. مجموعه‌های فازی به وجود آمده است که انعطاف پذیری موردنیاز را برای نمایش عدم قطعیت ناشی از خطای داده ای یا ابهام در قضاوت ها را فراهم کند.روش آراس فازی (fuzzy ARAS) در سال ۲۰۱۰ توسط ترکسیس و زاوادسکاس طی مقاله ای ارائه شد. آن ها در این مقاله این روش را با (F-ARAS) نشان دادند.

با در نظر گرفتن شرایط فوق، می توان مراحل محاسبهٔ (FARAS) را به صورت زیر تشریح نمود. (بالزنتیس و همکاران [۱] ۲۰۱۲)

گام‌های روش (ARAS) فازی:

گام اول :

۱- تشکیل ماتریس تصمیم :

در این گام ماتریس تصمیم فازی خبرگان را تشکیل می‌دهیم. ماتریس تصمیم این روش

[۱] Balzentis et al

شامل معیار و گزینه است. همچنین باید وزن معیارها را از روش های گفته شده بدست آورد پس مرحله اول تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی می باشد. در تصمیم گیری چند معیاره از مسئله بهینه سازی گسسته هر مسئله ای که باید حل شود با ماتریس تصمیم گیری به شکل زیر نمایش داده می شود. که برای m گزینه ممکن ارزیابی شده (ردیف) روی n معیار معین (ستون) تنظیم می شود.

که در آن m تعداد گزینه ها، n تعداد معیار معین هر گزینه تصمیم، X_{ij} ارزش فازی که مقدار کارایی گزینه i در شرایط معیار j را بیان می کند، مقدار X0j مقدار بهینه ی معیار j علامت õکه بالای نمادها قرار دارد نشان دهنده مجموعه‌های فازی می‌باشد.

گام دوم:

تعیین مقدار بهینه فرضی:

$$\widetilde{X_{0j}} = \max_i x_{ij3} \,,\ \forall_j \in B \qquad \widetilde{X_{0j}} = \min_i x_{ij1} \,,\ \forall_j \in C \qquad (۳-۸)$$

گام سوم :

نرمال سازی ماتریس تصمیم:

معمولا معیارها ابعاد مختلفی دارند. هدف گام بعدی این است که از معیارهای نسبی به مقادیر ارزش های وزن دهی شده برسد. به منظور جلوگیری از مشکلات ناشی از ابعاد مختلف معیارها، از نسبت (نرخ) ارزش بهینه استفاده شده است. در این گام به منظور نرمال سازی از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\widetilde{X_{ij}} = \frac{\widetilde{x_{ij}}}{\sum_{i=0}^{m} \widetilde{x_{ij}}} \,,\quad \forall_j \in B \qquad \widetilde{X_{ij}} = \frac{\frac{1}{\widetilde{x_{ij}}}}{\sum_{i=0}^{m} \frac{1}{\widetilde{x_{ij}}}} \,,\ \forall_j \in C \qquad (۳-۹)$$

گام چهارم :

وزن دادن به هر یک از درایه های نمالـایز شـده بـه صـورت زیـر کـه در آن $\tilde{WJ}$ وزن یـا درجـه اهمیـت مربـوط بـه هـر یـک از معیارهـا و $\hat{xij}$ مقـدار نرمالـایز شـدۀ وزیـن هـر درایـۀ تصـمیم است.

$$\widetilde{\widetilde{X_{ij}}}=\widetilde{\widetilde{x_{ij}}}\times\widetilde{w_j}\ ,\quad \forall_{j,i} \qquad (۳-۱۰)$$

گام پنجم:

تعیین مقدار تابع بهینگی (Si) :

باید مجموع سطری هر گزینه را محاسبه کرد. و به هر مجموع سطر Si می گویند.

$$\widetilde{S_i}=\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \qquad (۳-۱۱)$$

گام ششم :

بی‌مقیاس سازی فازی:

در این روش مقادیر بی‌مقیاس شده برای شاخص‌های با جنبه مثبت و منفی عبارتند از:

$$n_{ij}=\frac{a_{ij}-Mina_j}{Maxa_j-Mina_j} \qquad \text{برای شاخص های مثبت} \qquad (۳-۱۲)$$

$$n_{ij}=\frac{Maxa_j-a_{ij}}{Maxa_j-Mina_j} \qquad \text{برای شاخص های منفی} \qquad (۳-۱۳)$$

گام هفتم :

محاسبه مقدار(Ki) :

در این گام باید هر Si را تقسیم بر S0 کرد و مقدار Ki ها را محاسبه نمود.

$$k_i = \frac{s_i}{s_o}, \qquad i = 0,1,\ldots,m \tag{۳-۱۴}$$

گام هشتم:

رتبه بندی گزینه ها:

با توجه به مقدار Ki ، هر گزینه که عدد ki آن بزرگتر باشد رتبه اول را دارد.

۳-۴-۵ روش ارزیابی (ARAS-F)

روش (ARAS) بر اساس این استدلال است که پدیده های پیچیده جهان را می‌توان با استفاده از مقایسات نسبی ساده درک نمود. استدلال شده است که نسبت مجموع نرمال و نمرات وزن معیار، که معرف گزینه های تحت نظر هستند، به جمع مقادیر نرمال از وزن معیار، که معرف گزینه بهینه است، درجه ای از بهینگی توسط مقایسه سنجش زیرگزینه‌ها است.

با توجه به روش (ARAS) ، یک مقدار تابع مطلوبیت که کارایی نسبی پیچیده‌ای از گزینه های معقول را که به طور مستقیم متناسب با مقادیر و وزن معیارهای اصلی در یک پژوهش درنظر گرفته شده است، مشخص می‌شود.

۳-۵ تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از تکنیک فازی آراس صورت می‌پذیرد که به شرح ذیل است:

۳-۵-۱ معیارها

ایجاد شغل جدید :

اگر چه ایجاد شغل به شدت با توسعه اقتصادی یک جامعه یا کشور ارتباط دارد، اما به طور کلی به عنوان یک عامل اجتماعی توسعه پایدار طبقه‌بندی می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹).ایجاد شغل یک ارزیابی چرخه عمر را ارایه می‌دهد که تعداد کارمندان درگیر در اجرا و عملکرد یک پژوهش تولید برق را نشان می‌دهد.

پذیرش اجتماعی :

مقیاس آزمون پـذیرش اجتمـاعی توسـط مـارلو و کـراون بـه منظـور سـنجش میـزان پـذیرش اجتمـاعی افـراد سـاخته شـد. مقیـاس پـذیرش اجتمـاعی مـارلو- کـراون یکـی از معتبرتـرین مقیاس‌های سنجش پذیرش اجتماعی است.

CO_2:

کربن دی‌اکسـید یـا گازکربنیـک (بـا فرمـول شـیمیایی $CO_۲$) ، از ترکیـب کـربُن بـا اکسـیژن به دست می‌آید. گاز کربنیک بـر اثـر سـوختن زغـال و مـواد آلـی در مجـاورت اکسـیژن، تخمیـر مایعات، تنفس حیوانات و گیاهان و غیره به دست می‌آید.

NOx:

اکسـیدهای نیتـروژن شـامل (NO) و (NO_2) از مخرب‌تـرین گازهـای خروجـی اگـزوز خودرو هستند. به مجموع این دوگاز اصطلاحاً گاز (NOx) می‌گویند.

SO_2:

گوگرد دی‌اکسید یـک ترکیـب شـیمیایی بـه شـکل گـاز در دمـای اتـاق بـا فرمـول شـیمیایی SO_2 مـی‌باشـد. ایـن مـاده توسـط آتشفشـان‌ها و بسـیاری از فعالیت‌هـای صـنعتی تولیـد می‌شـود. سـوختن نفـت و زغـال سـنگ بـه علـت وجـود ترکیبـات گـوگردی در آن‌هـا بـا تولیـد این گاز همراه است.

ذرات معلق :

ذرات معلق به تمامی اجـزاء ریـز مـایع یـا جامـدی (بـه جـز آب خـالص) گفتـه مـی‌شـود کـه در جو زمـین پراکنـده هسـتند و انـدازه میکروسـکوپی یـا زیرمیکروسـکوپی امـا بزرگتـر از ابعـاد مولکـولی دارنـد. ذرات معلـق در اثـر فراینـدهای مختلـف طبیعـی یـا انسـانی ایجـاد مـی‌شـوند.

منابع مصنوعی ذرات معلق در مناطق شهری شامل صنایع مختلف از قبیل سیمان، زغال سنگ، ذوب آهن، کارخانجات گچپزی و کارگاه های بزرگ تراشکاری می‌باشد.ذرات معلق از مرگبارترین انواع آلودگی هوا محسوب می‌شوند.

استفاده از زمین[۱]:

برنامه ریزی استفاده از زمین، روند تنظیم استفاده از زمین در تلاش برای تبلیغ نتایج مطلوب اجتماعی و محیطی و همچنین بهره وری بیشتر از منابع است. اهداف برنامه ریزی استفاده از زمین ممکن است شامل حفاظت از محیط زیست، مانع از گسترش فضای شهری، به حداقل رساندن هزینه های حمل و نقل، جلوگیری از درگیری های استفاده از زمین و کاهش آلودگی ها باشد. به طور گسترده، استفاده از زمین، فعالیت های اجتماعی و اقتصادی متنوعی را که در یک منطقه خاص رخ می دهد.

ترکیبات آلی فرار غیر متان[۲]:

ترکیبات آلی فرار[۳] به طور خاص، ترکیبات آلی فرار غیر متان نقش مهمی در شیمی جوی دارد ترکیبات آلی فرار غیر متان از طریق واکنش های فتوشیمیایی پیچیده باعث تشکیل اکسیدان های سمی مانند اوزون (tropospheric) و (PAN) که برای سلامتی بسیار مضر هستند می‌شود بعضی از ترکیبات آلی فرار بسیار سمی، موتاژنیک و سرطان زا هستند.

لازم به توضیح است متغیرهای زبانی به شرح جدول زیر مورد استفاده قرار گرفتند:

---

[۱] Land use

[۲] NMVOCs

[۳] (VOCs)

جدول ۱متغیرهای زبانی

خیلی خوب	خوب	نسبتا خوب	متوسط	نسبتا ضعیف	ضعیف	خیلی ضعیف
[9 10]	[6 9]	[5 6]	[4 5]	[3 4]	[1 3]	[0 1]

۳-۶ استفاده ازتکنیک تصمیم گیری چند معیاره فازی آراس

با توجه به معیارهای اجتماعی موجود توسط تکنیک فازی آراس آن‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهیم. بنابراین مطابق با آنچه در فصل سوم بیان گردید گام‌های مورد نظر به شرح ذیل اجراء می‌شود:

۳-۶-۱ گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم گیری

اولین گام در حل هر مساله تصمیم گیری چندمعیاره، تشکیل ماتریس تصمیم گیری است. در تصمیم گیری چندمعیاره هر مساله ای که باید حل شود. که برای m گزینه ممکن ارزیابی شده (ردیف) روی n معیار معین (ستون) تنظیم میشود

۳-۶-۲ تبدیل ماتریس کیفی به اعداد فازی بر اساس جدول

جدول ۲ماتریس تصمیم گیری کیفی

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم دراقتصاد
واحد اندازه	GWH	کیفی	کیفی
جهت بهینه	MAX	MAX	MAX
بادی	0.17	HIGH	LOW
خورشیدی	0.87	HIGH	LOW
گازی	0.11	MEDIUM	LOW
زیست توده	0.21	MEDIUM	LOW

جدول ۳تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی

VL	L	M	H	VH
VERY LOW	LOW	MIDDLE	HIGH	VERY HIGH
0	1	2	3	4
1	2	3	4	5
2	3	4	5	6

جدول ٤تبدیل ماتریس کیفی به ماتریس اعداد فازی

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم دراقتصاد
واحد اندازه	GWH	کیفی	کیفی
جهت بهینه	MAX	MAX	MAX
بادی	0.17	5	3
خورشیدی	0. 87	5	3
گازی	0.11	4	3
زیست توده	0.21	4	3

۳-۶-۳گام سوم: تعیین مقدار بهینه هر معیار

بعد از تشکیل ماتریس تصمیمگیری، گام بعدی در این روش تعیین مقدار بهینه هر معیار میباشد. اگر مقدار بهینه معیار j برای تصمیم گیرندگان مشخص نبود آنگاه :

اگر مقدار بیشینه(ماکزیمم) برتری داشت:

$$\tilde{x}_{0j} = \max_i \tilde{x}_{ij},$$

کـه در آن x_{0j} مقـدار بهینـه گزینـه i در ارتبـاط بـا معیـار j میباشـد.مقادیر بیشـینه بـه معنـی مجموعه‌ای از معیارهـای از نـوع سـود مـی‌باشـد. یعنـی جهـت و سـوی بهینگـی بیشـینه سـازی اسـت و مقـادیر کمینـه بـه معنـی مجموعـه ای از معیارهـای از نـوع هزینـه مـی‌باشـد.معمولـا، مقـادیر عملکـرد کـارایی xij و وزن معیارهـا wj بـه عنـوان ورودی مـاتریس تصـمیم‌گیـری نمـایش داده مـی‌شـود. معیارهـا، همچنـین مقـادیر و وزن‌هـای اولیـه معیارهـا بـه وسـیله کارشناسان و خبرگان تعیین مـی‌شـود. اطلاعـات بـه دسـت آمـده میتواننـد بـه وسـیله اشـخاص ذینفع باتوجه به اهداف و فرصـت‌هـای آنـان تصـحیح شـوند، سـپس تعیـین اولویـت‌هـای گزینـه ها است که در چند مرحله انجام می‌شود

جدول ۵ ماتریس تصمیم گیری به همراه مقدار بهینه هر معیار

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم در اقتصاد
واحد اندازه	GWH	کیفی	کیفی
جهت بهینه	MAX	MAX	MAX
ارزش بهینه	0.87	5	3
بادی	0.17	5	3
خورشیدی	0.87	5	3
گازی	0.11	4	3
زیست توده	0.21	4	3
جمع	2.23	23	15

۳-۶-۴ گام چهارم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال

معمولا معیارها دارای اهمیت، انـدازه و مقیـاس هـای متفـاوتی مـی‌باشـند. هـدف گـام بعـدی ایـن اسـت کـه از معیارهـای نسـبی بـه مقـادیر ارزش‌هـای وزنـدهی شـده برسـد. بـه منظـور

جلـوگیری از مشـکلات ناشـی از ابعـاد مختلـف معیارهـا، از نسـبت ارزش بهینـه اسـتفاده شـده است. نظریه های مختلفی در توصیف نسبت ارزش بهینه وجود دارد.

با این حال مقـادیر بـا اسـتفاده از نرمـال سـازی مـاتریس تصـمیم گیـری در بـازه بـا فاصـله [۱و ۰]یـا بـازه[∞ و ۰] ترسـیم شـده اسـت. در گـام سـوم مقـادیر اولیـه همـه $\bar{x}$ کـه بـا اسـتفاده از فرمـول هـای زیـر محاسـبه مـی‌گـردد، مـاتریس تصـمیم گیـری نرمـال شـده xij معیارها نرمال می‌شود، که مقادیر را معین می‌کند.

$$\bar{\bar{X}} = \begin{bmatrix} \bar{\bar{x}}_{01} & \cdots & \bar{\bar{x}}_{0j} & \cdots & \bar{\bar{x}}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{\bar{x}}_{i1} & \cdots & \bar{\bar{x}}_{ij} & \cdots & \bar{\bar{x}}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{\bar{x}}_{m1} & \cdots & \bar{\bar{x}}_{mj} & \cdots & \bar{\bar{x}}_{mn} \end{bmatrix},$$
$$i = \overline{0, m};\ j = \overline{1, n}.$$

معیاری که ارزش موردنظر (ترجیحی) آن بیشینه است،به شکل زیر نرمال می شود:

$$\bar{\bar{x}}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} \tilde{x}_{ij}}.$$

جدول ٦ ماتریس تصمیم گیری نرمال

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم در اقتصاد
ارزش بهینه	0.39	0.21	0.2
بادی	0.07	0.21	0.2
خورشیدی	0.39	0.21	0.2
گازی	0.04	0.17	0.2
زیست توده	0.09	0.17	0.2

۳-۶-۵ گام پنجم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار

در این گام فقط وزن‌های کاملا سنجیده (به درستی تعیین شده) باید استفاده گردد، زیرا وزن ها همیشه ذهنی هستند و معمولا به وسیله ی روش ارزیابی کارشناس تعیین می گردد. ارزش وزن باید به شکل زیر محدود شوند:

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1 .$$

$$\tilde{\tilde{X}} = \begin{bmatrix} \tilde{\tilde{x}}_{01} & \cdots & \tilde{\tilde{x}}_{0j} & \cdots & \tilde{\tilde{x}}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\tilde{x}}_{i1} & \cdots & \tilde{\tilde{x}}_{ij} & \cdots & \tilde{\tilde{x}}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\tilde{x}}_{m1} & \cdots & \tilde{\tilde{x}}_{mj} & \cdots & \tilde{\tilde{x}}_{mn} \end{bmatrix},$$

$$i = \overline{0, m}; \; j = \overline{1, n} .$$

مقادیر وزن داده شده- نرمال شده‌ی تمام معیارها به شکل زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{\tilde{x}}_{ij} = \tilde{\tilde{x}}_{ij} \tilde{w}_j ; \qquad i = \overline{0, m} ,$$

جدول ۷ ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن‌دار

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم در اقتصاد
وزن	0.3	0.4	0.3
ارزش بهینه	0.11	0.08	0.06
بادی	0.02	0.08	0.06
خورشیدی	0.11	0.08	0.06
گازی	0.01	0.06	0.06
زیست توده	0.02	0.06	0.06

۳-۶-۶ گام ششم: تعیین مقادیر بهینه برای هر گزینه

تعیین مقادیر تابع بهینگی برای هر گزینه می‌تواند به صورت مجموع مقادیر نرمال وزن دار به روش زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij};$$

که در آن SI مقدار بهینه تابع به ازا گزینه i ام می‌باشد.

بزرگترین مقدار بهترین است و کمترین آن بدترین است. با توجه به روند محاسبه شده، تابع بهینگی si دارای یک رابطه مستقیم و متناسب با مقادیر xij و وزن‌های wj از معیارهای بررسی شده و تاثیر نسبی آنها بر روی نتیجه نهایی است. بنابراین، بیشترین مقدار(ارزش) تابع بهینگی si اثربخش ترین متغیر است. اولویت های گزینه ها میتواند با توجه به مقدار si تعیین گردد. درنتیجه استفاده از این روش برای ارزیابی و رتبه بندی گزینه‌های تصمیم گیری مناسب است.

جدول ۸ ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن داربه همراه مقدار بهینه

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم در اقتصاد	S
ارزش بهینه	0.11	0.08	0.06	0.25
بادی	0.02	0.08	0.06	0.16
خورشیدی	0.11	0.08	0.06	0.25
گازی	0.01	0.06	0.06	0.13
زیست توده	0.02	0.06	0.06	0.14

۳-۶-۷ گام هفتم: بی مقیاس سازی فازی (S i)

در این گام با استفاده از روش زیر اعداد فازی S i را بی مقیاس سازی فازی می‌کنیم که در رابطه ذیل مشخص شده است.

$$Nij = \frac{aij - mina\ ij}{maxa\ ij - mina\ ij}$$

جدول ۹ ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن داربه همراه مقدار بهینه، بی مقیاس سازی فازی شده

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم در اقتصاد	S	بی مقیاس سازی فازی
ارزش بهینه	0.11	0.08	0.06	0.25	1
بادی	0.02	0.08	0.06	0.16	0.25
خورشیدی	0.11	0.08	0.06	0.25	1
گازی	0.01	0.06	0.06	0.13	0
زیست توده	0.02	0.06	0.06	0.14	0.08

۳-۶-۸ گام هشتم: محاسبه درجه مطلوبیت هر گزینه

در مورد ارزیابی گزینه ها نه تنها تعیین بهترین رتبه اهمیت دارد بلکه مهم است که کیفیت(مطلوبیت) نسبی هر گزینه مطرح شده نیز مشخص شود. به همین منظور از درجه مطلوبیت هر گزینه استفاده می‌گردد. درجه مطلوبیت هرگزینه (آلترناتیو) به وسیله مقایسه متغیر که تجزیه وتحلیل شده است با حالت ایده آل یعنی (s۰) مشخص می‌گردد. معادله‌ی مورد استفاده برای محاسبه درجه مطلوبیت K_i از یک گزینه ai به صورت زیر است:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; \qquad i = \overline{0, m},$$

کـه در آن s_i و .S بـی مقیـاس سـازی فـازی مقـادیر بهینـه بـه دسـت آمـده از معادلـه قبلـی است.

جدول ۱۰ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن داربه همراه مقدار بهینه،درجه مطلوبیت

	ایجاد شغل	پذیرش اجتماعی	سهم در اقتصاد	S	بی مقیاس سازی فازی	K
ارزش بهینه	0.11	0.08	0.06	0.25	1	1
بادی	0.02	0.08	0.06	0.16	0.25	0.3
خورشیدی	0.11	0.08	0.06	0.25	1	1
گازی	0.01	0.06	0.06	0.13	0	0
زیست توده	0.02	0.06	0.06	0.14	0.08	0.1

۳-۶-۹ گام نهم: رتبه بندی گزینه‌ها و یا انتخاب موثرترین آنها

بـا توجـه بـه مقـدار K_i ، هـر گزینـه کـه عـدد ki آن بزرگتـر باشـد رتبـه اول را دارد. گزینـه های مطرح شده بـا غربـالگری k_i هـا رتبـه بنـدی مـی‌گـردد. بـه عنـوان مثـال گزینـه بـا مقـدار بزرگتـر ki برتـری و رتبـه بیشـتری دارد و گزینـه بـا بزرگتـرین مقـدار ki در بهتـرین مکـان و رتبه قرار دارد.

بنـابراین انتخـاب بهتـرین گزینـه مـی‌توانـد بـا اسـتفاده از فرمـول زیـر صـورت پـذیرد: (اسـتانو کیج،جوانوویچ: ۲۰۱۲)

$$A^* = \{ A_i \mid \max_i k_i \} : i=1,2,...m.$$

Aدپارتمـان مجـازی یـا ایـده آل اسـت. یعنـی دپارتمـانی کـه همـه عوامـل در آن بـه بالـاترین

وجه خود وجود دارند و مابقی دپارتمان‌ها نسبت به آن سنجیده می‌شوند

جدول ۱۱رتبه بندی

S0	ارزش بهینه
رتبه دوم	بادی
رتبه اول	خورشیدی
رتبه چهارم	گازی
رتبه سوم	زیست توده

۳-۷ استفاده ازتکنیک تصمیم گیری چند معیاره آراس

تمامی مراحل بالا برای معیارهای محیط زیستی نیز انجام می شود که جداول ان به شرح ذیل است:

۳-۷-۱ گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم گیری

جدول ۱۲

	زمین	CO2	NOX	SO2	ذرات جامد	VOC
واحد اندازه	MWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH
جهت بهینه	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN
بادی	2.76	17652	32	54	20	0
خورشیدی	0.33	49174	178	257	101	70
گازی	0.31	560000	1477	152	34	118
زیست توده	12.65	58000	1325	76	269	80

۳-۷-۲ گام دوم تعیین مقدار ایده آل فرضی

جدول ۱۳

	زمین	CO2	NOX	SO2	ذرات جامد	VOC
واحد اندازه	MWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH
جهت بهینه	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN
ارزش بهینه	0.31	17652	32	54	20	0
بادی	2.76	17652	32	54	20	0
خورشیدی	0.33	49174	178	257	101	70
گازی	0.31	560000	1477	152	34	118
زیست توده	12.65	58000	1325	76	269	80

۳-۷-۳ گام سوم نرمال کردن ماتریس تصمیم

جدول ١٤

	زمین	Co_2	NO_X	SO_2	ذرات جامد	VOC
ارزش بهینه	0.32	0.38	0.5	0.25	0.38	0
بادی	0.03	0.38	0.5	0.25	0.38	0
خورشیدی	0.3	0.15	0.09	0.09	0.07	0.07
گازی	0.32	0.01	0.01	0.16	0.22	0.06
زیست توده	0.007	0.13	0.01	0.33	0.02	0.09

۳-۷-۴ گام چهارم وزن‌دار کردن ماتریس تصمیم

جدول ۱۵

	زمین	CO2	NOX	SO2	ذرات جامد	VOC
وزن	0.1	0.25	0.2	0.15	۰,۱	۰,۲
ارزش بهینه	0.03	0.09	0.1	0.03	0.03	0
بادی	0.003	0.09	0.1	0.03	0.03	0
خورشیدی	0.03	0.03	0.01	0.01	0.007	0.01
گازی	0.03	0.002	0.002	0.02	0.02	0.01
زیست توده	0.0007	0.03	0.002	0.04	0.002	0.01

۳-۷-۵ گام پنجم محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه

جدول ۱۶

	زمین	CO_2	NO_X	SO_2	ذرات جامد	VOC	S
ارزش بهینه	0.03	0.09	0.1	0.03	0.03	0	0.28
بادی	0.003	0.09	0.1	0.03	0.03	0	0.25
خورشیدی	0.03	0.03	0.01	0.01	0.007	0.01	0.9
گازی	0.03	0.002	0.002	0.02	0.02	0.01	0.08
زیست توده	0.0007	0.03	0.002	0.04	0.002	0.01	0.084

۳-۷-۶ گام ششم محاسبه مطلوبیت نسبی هر گزینه و رتبه بندی گزینه‌ها

جدول ۱۷

	زمین	CO2	NOX	SO2	ذرات جامد	VOC	S	K	رتبه بندی
ارزش بهینه	0.03	0.09	0.1	0.03	0.03	0	0.28	1	
بادی	0.003	0.09	0.1	0.03	0.03	0	0.25	0.9	اول
خورشیدی	0.03	0.03	0.01	0.01	0.007	0.01	0.9	0.34	دوم
گازی	0.03	0.002	0.002	0.02	0.02	0.01	0.08	0.3	چهارم
زیست توده	0.0007	0.03	0.002	0.04	0.002	0.01	0.084	0.3	سوم

۴

مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها

۴-۱ مقدمه

مدل ریاضی، عبارت است از توصیف یک سامانه (سیستم) به کمک زبان ریاضی و قضیه‌ها و نمادهایش. مدل‌سازی یا مدل‌سازی ریاضی، عبارت است از تلاش برای توسعه‌ی یک مدل ریاضی برای یک سامانه مشخص. مدل‌سازی ریاضی، نه تنها در علوم طبیعی مانند فیزیک، زیست‌شناسی، زمین‌شناسی، هواشناسی و علوم مهندسی مانند علوم رایانه، هوش مصنوعی و غیره کاربرد دارد بلکه در علوم اجتماعی مانند علم اقتصاد، روان‌شناسی، جامعه‌شناسی نیز کار برد های گسترده‌ای دارد.

مدل‌سازی به پژوهشگران، کمک می‌کند تا یک سامانه را به صورت سامانه‌شناسی، تحلیل کرده و رفتار آن را پیش‌بینی کنند مدل های ریاضی شامل سه جزء اصلی هستند: متغیرهای تصمیم (مجهولات مسئله)، تابع هدف (که باید آن را بهینه نمود) و محدودیت ها (شرایط محدود کننده مسئله) این اجزاء در این مطلب به طور خلاصه تشریح می شوند.

۴-۲ متغیرهای تصمیم

متغیر تصمیم می تواند میزان تولید یک کالا باشد، می تواند تعداد افراد تخصیص یافته به یک کار باشد و یا هر دو. اینکه متغیر تصمیم چگونه تعریف شود بستگی به نوع مسئله و مجهولات آن دارد. هدف تصمیم گیرنده یافتن مجموعه‌ای از مقادیر برای متغیرهای مجهول مسئله است به طوریکه بتوانند جوابی بهینه برای مسئله مورد نظر ارائه دهند. متغیرهای تصمیم مدل این پژوهش به شرح زیر است:

I : مجموعه‌ای از مکان‌ها می‌باشد $i \in I$

i : مجموعه‌ای از استان‌های کشور ایران است.

N : مجموعه‌ای از واحدها می‌باشد $n \in N$

n : واحدهای مد نظر می باشد که در این تحقیق شامل:

بادی=n_1 خورشیدی=n_2 گازی =n_3 زیست توده=n_4 است.

W_{in}: ظرفیت واحد احداثی n در نقطه ی i می‌باشد.

P_{in}: متوسط تولید واحد n در منطقه i می باشد.

۳-۴ پارامتر های مساله

عامل، مؤلفه یا پارامتردر رشته‌هایی مانند ریاضیات، منطق، زبان‌شناسی، علوم و محیط زیست به‌کار می‌رود. در معنای معمولِ آن، مدت مورد استفاده برای شناسایی ویژگی، یک شیء، یک عامل قابل اندازه‌گیری است که می‌تواند در تعریف یک سیستم خاص کمک کند. این عنصر مهم را با توجه به ارزیابی یا برای درک یک رویداد، یک پژوهش یا هرگونه وضعیتی می‌توان مورد استفاده قرار داد.

هزینه تسطیح شده برق:[۱]

روش‌های متمایز تولید برق می‌تواند هزینه‌های متفاوتی را متحمل شود. جبران این هزینه‌ها را می توان در نقطه اتصال به بار یا شبکه برق انجام داد. هزینه به طور معمول در هر کیلووات ساعت یا مگا وات ساعت داده می‌شود که هزینه های تسطیح شده برق بر حسب $\frac{\text{دلار}}{\text{مگاوات ساعت}}$ است. هزینه های تسطیح شده شامل سرمایه اولیه، نرخ تنزیل و نیز هزینه‌های عملیات مستمر، سوخت و تعمیر و نگهداری می‌شود. این نوع محاسبه به سیاست گذاران، محققان و دیگران کمک می‌کند تا بحث‌ها و تصمیم‌گیری را هدایت کنند . هزینه تسطیح شده برق (lcoe) معیاری برای یک منبع قدرت است که امکان مقایسه روش‌های مختلف تولید برق را بر پایه ثابت فراهم می‌کند. این یک ارزیابی اقتصادی از میانگین هزینه کل برای ساخت و فعالیت یک دارایی تولید برق در طول عمر

[۱] levelized cost of energy

خود است که با کل انرژی کل دارایی در طول عمر تقسیم می‌شود. همچنین می‌تواند به عنوان متوسط حداقل قیمت در نظر گرفته شود . این هزینه تسطیح شده یک ارزیابی اقتصادی مرتبه اول از رقابت هزینه‌ای یک سیستم تولید برق است که تمام هزینه‌ها را در طول عمر خود شامل می‌شود: سرمایه‌گذاری اولیه، عملیات و نگهداری، هزینه سوخت، هزینه سرمایه و... هزینه تسطیح شده برق به طور تقریبی به عنوان ارزش خالص کنونی تمام هزینه‌ها در طول عمر دارایی تقسیم‌بر حاصل‌ضرب کل انرژی الکتریکی دارایی محاسبه شود.

طریقه ی محاسبه هزینه تسطیح شده برق در فرمول ذیل نشان داده شده است:

$$LCOE=\frac{\text{مجموع هزینه ها در طول عمر}}{\text{تولید انرژی الکتریکی تولید شده در طول عمر}}$$

$$LCOE=\frac{\sum_{t=1}^{n}\frac{I_t+m_t+f_t}{(1+r)^t}}{\Sigma_t^n=1\ \frac{Et}{(1+r)^t}}$$

I_t: هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سال t

M_t: هزینه‌های عملیات و نگهداری در سال t

F_t: هزینه‌های سوخت در سال t

E_t: تولید انرژی الکتریکی تولید شده در سال t

r: نرخ تنزیل

n: طول عمر مورد انتظار سیستم یا ایستگاه برق

توجه: هنگام استفاده از فرمول‌ها برای هزینه‌های تسطیح شده باید احتیاط کرد چون آن‌ها اغلب دارای فرضیات نامریی هستند، اثرات نادیده گرفته مانند مالیات را تجسم

مـی‌کننـد و ممکـن اسـت در هزینـه‌های واقعـی و یـا اسـمی مشـخص شـوند. بـه عنـوان مثـال، نسـخه‌های دیگـر فرمـول بالـا جریـان بـرق را تنزیـل نمـی‌دهنـد. بسـیاری از محققـان، "هزینـه تسطیح شده برق" را برای مقایسه منابع تولید جدید توصیف کرده‌اند.

جدول ۱۸ هزینه تسطیح شده برق

بادی	خورشیدی	گازی	زیست توده
۱۲۸,۶۸	۲۰۲,۹۴	۶۰	۷۲

ماخذ: نتایج تحقیق

امتیاز اجتماعی (So_n):

امتیاز بـه‌طور کلـی عبـارت اسـت از برخـوردار شـدن شخصـی خـاص یـا گروهـی از اشـخاص از مزیـت و حقـی کـه عمـوم افـراد از آن بـی بهـره انـد یـا بـه آن دسترسـی ندارنـد امتیـاز اجتماعی به دست آمده که بازه‌ای $0<X<1$ می باشد و امتیازها به شرح زیر است:

جدول ۱۹ امتیاز اجتماعی

بادی	خورشیدی	گازی	زیست توده
۰.۲۵	۱	۰	۰.۰۸

ماخذ: نتایج تحقیق

امتیاز محیط زیستی (IN_n):

محـیط زیسـت عبـارت ترکیبـی از دانش‌هـای متفـاوت در علـم اسـت کـه شـامل مجموعـه‌ای از عوامـل زیسـتی و محیطـی در قالـب محـیط زیسـت و غیـر زیسـتی (فیزیکـی، شـیمیایی) است که بر زندگی یک فرد یا گونه تأثیر می‌گذارد و از آن تأثیر می‌پذیرد.

امـروزه ایـن تعریـف غالبـاً بـه انسـان و فعالیت‌هـای او مـرتبط مـی‌شـود و مـی‌تـوان محـیط

زیســت را مجموعــه‌ای از عوامــل طبیعــی کــره زمــین، همچــون هــوا، آب، اتمســفر، صــخره، گیاهان و غیــره، کــه انســان را احاطــه مــی‌کننــد خلاصــه کــرد. امتیــاز محــیط زیســتی در واقــع میــزان تــاثیرات عوامــل ذکــر شــده بــر محــیط مــی‌باشــد کــه بــازه ی آن $0<X<1$ مــی باشــد و امتیازهای به دست آمده به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۲۰امتیاز محیط زیستی

بادی	خورشیدی	گازی	زیست توده
۰.۹۰	۰.۳۴	۰.۳	۰.۳۰

ماخذ: نتایج تحقیق

ضریب ظرفیت(CF_n):

ضــریب ظرفیــت یــک نیروگــاه، نســبت خروجــی واقعــی آن در یــک بــازه زمــانی بــه خروجــی بالقوه آن، در حالتی‌ست کــه بــه‌طور مــداوم در همــان بــازه زمــانی، بــا ظرفیــت اســمیِ کامــل‌اش فعالیت کند. برای محاســبه‌ی ضــریب ظرفیــت، مــی‌بایســت کــل میــزان انــرژی تولیــدی نیروگــاه در یــک بــازه‌ی زمــانی مشــخص را بــر میــزان انــرژی‌ای کــه بــر اســاس ظرفیــت کامــل اســمی نیروگاه باید تولید شود، تقســیم نمــود. ضــریب ظرفیــت یــک نیروگــاه، به‌شــدت وابســته بــه نــوع سوخت مصرفی و طراحی سیستم آن نیروگاه است.

جدول ۲۱ضریب ظرفیت

بادی	خورشیدی	گازی	زیست توده
٪۴۰	٪۲۰	٪۸۵	٪۴۰

ماخذ: نتایج تحقیق

حداکثر ظرفیت(MC_{in}):

حداکثر ظرفیت که در یک استان مـی تـوان ایجـاد کـرد کـه بـر حسـب مگـاوات سـاعت مـی باشد و همچنین حداکثر ظرفیت برای تمامی استان های کشور ایران ۱۵ می باشد.

جدول ۲۲ حداکثر ظرفیت استان های ایران

زیست توده	خورشیدی	بادی	استان	
۱۲	۹	۷	البرز	۱
۴	۹	۹	اردبیل	۲
۰	۶	۸	بوشهر	۳
۰	۹	۹	چهارمحال بختیاری	۴
۱۰	۸	۸	آذربایجان شرقی	۵
۱۱	۷	۸	فارس	۶
۵	۱۰	۷	گیلان	۷
۴	۷	۷	گلستان	۸
۵	۹	۹	همدان	۹
۴	۱۰	۷	هرمزگان	۱۰
۰	۱۰	۷	ایلام	۱۱
۱۶	۱۱	۸	اصفهان	۱۲
۳	۷	۸	کرمان	۱۳
۲	۹	۷	کرمانشاه	۱۴
۱۲	۹	۷	خوزستان	۱۵
۰	۹	۷	کهکیلویه و بویراحمد	۱۶
۳	۸	۷	کردستان	۱۷
۴	۱۰	۸	لرستان	۱۸

۴	۸	۸	مرکزی	۱۹
۳	۱۰	۷	مازندران	۲۰
۰	۹	۸	خراسان شمالی	۲۱
۴	۹	۸	قزوین	۲۲
۷	۸	۹	قم	۲۳
۱۶	۸	۷	خراسان رضوی	۲۴
۰	۸	۷	سمنان	۲۵
۳	۷	۸	سیستان بلوچستان	۲۶
۰	۱۰	۷	خراسان جنوبی	۲۷
۳۰	۹	۷	تهران	۲۸
۵	۱۰	۷	آذربایجان غربی	۲۹
۲	۸	۶	یزد	۳۰
۳	۸	۷	زنجان	۳۱

ماخذ: نتایج تحقیق

۴-۴. برآورد مدل

تابع هدف : تابع هدف رابطه ای است ریاضی، که برحسب متغیرهای تصمیم نوشته می شود و هدف مسئله را بیان می کند و تصمیم گیرنده به کمک تکنیک‌های شناخته شده مختلف، سعی در حداکثر نمودن (Maximize) و یا حداقل نمودن (Minimize) تابع هدف دارد. برای نمونه حداکثر کردن درآمد و یا حداقل نمودن هزینه تولید محصولی خاص.

برای شکل دهی تابع هدف تشخیص پارامترهایی مانند سود (برای حداکثر کردن) و یا هزینه (برای حداقل کردن) تولید یک کالا پارامترهایی ضروری هستند. پس از تشخیص،

این پارامترها با متغیرهای تصمیم مناسب همبسته می شوند و تابع هدف نهایی ایجاد می شود. به این پارامترها در اصطلاح ضرایب (سود یا هزینه) تابع هدف می‌گویند.

در این مدل تابع هدف از نوع حداقل کردن هزینه‌ها می باشد که در ذیل ذکر شده است:

$$MIN = \sum_{i=1}^{32} \sum_{n=1}^{4} LCOE_n \times P_{in}$$

محدودیت‌ها همانطور که از نامشان پیداست موانع و قیودی هستند که در مسئله وجود دارند. هر محدودیت معمولاً از دو بخش اصلی تشکیل شده است: یک رابطه تابعی و یک عدد ثابت، که بوسیله علامت مساوی و یا نامساوی با هم ارتباط دارند. برای شکل گیری توابع محدودیت به پارامترهایی مانند میزان ماده اولیه مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول نیاز است که این پارامترها را در اصطلاح «ضرایب محدودیت» و یا «ضرایب فنی» می گویند. دقت داشته باشید که اکثر نرم افزارهای بهینه سازی موجود، طبق یک توافق نا نوشته بخش تابعی محدودیت را در سمت چپ عبارت مساوی و یا نامساوی قرار می‌دهند و به همین دلیل به آن (LHS) می‌گویند و مقادیر ثابت محدودیت ها را در سمت راست آن قرار می‌دهند و به آن (RHS) می گویند.

$$\sum_{n=1}^{4} \sum_{i=1}^{32} W_{in} \times S_n \geq \xi_s$$

$$\sum_{n=1}^{4} \sum_{i=1}^{32} W_{in} \times IN_n \geq \xi_{IN}$$

$$\sum_{n=1}^{4}\sum_{i=1}^{32} P_{in} \geq \xi_p$$

$$P_{in} \leq W_{in} \times CF_n \qquad \forall_i \quad \forall_n$$

$$W_{in} \leq MAC_{in} \qquad \forall_i \quad \forall_n$$

$$W_{in} \geq MIC_{in} \qquad \forall_i \quad \forall_n$$

$$W_{in} \geq 0$$

$$P_{in} \geq 0$$

با توجه به مدل بالا و در نظر گرفتن محدودیت ها مشخص می‌شود که در محدودیت اول باید امتیاز اجتماعی به دست آمده از یک حد پایینی بیشتر باشد و هم چنین در محدودیت دوم باید امتیاز محیط زیستی به دست آمده از یک حدی پایینی بیشتر شود و با در نظر گرفتن محدودیت سوم مقدار تولید متوسط ما باید از حد مشخصی که تصمیم گیرنده لحاظ می‌کند بالاتر باشد در محدودیت چهارم میزان تولید متناسب با میزان مشخصی از درصد ظرفیت در یک بازه تولید می باشد هم چنین در محدودیت پنجم و ششم مقدار ظرفیت باید بین یک مقدار مشخص مینیمم و ماکسیمم قرار گیرد .

۴-۵ روش حل مدل

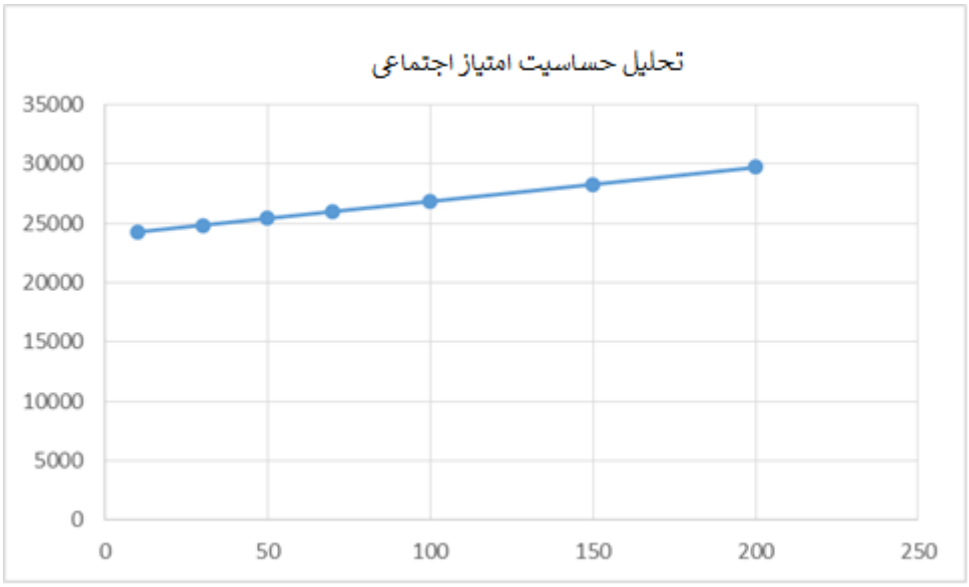
نرم افزار گمز به عنوان یک ابزار قدرتمند و فراگیر برای حل مدل های ریاضی حتی در ابعاد بزرگ روز به روز نقش پررنگ تری در رشته های مهندسی ایفا می کند، یعنی هر جا نیاز به تصمیم گیری بهینه با محدودیت زمان، هزینه و منابع داشته باشیم باید از مدل سازی ریاضی استفاده کرده که گمز از ابزارهای بسیار کارآمد حل این نوع مدل ها است

۶-۴ تحلیل حساسیت

وقتی رفتار یک سیستم را تحلیل می‌کنیم، تحلیل حساسیت به این معنا خواهد بود که محاسبه و برآورد کنیم که رفتاری که برای سیستم پیش بینی کرده‌ایم (خروجی آن سیستم) تا چه حد به مقادیر متغیرهای مستقل (ورودی آن سیستم) حساس است. در تحلیل حساسیت به دنبال آن هستیم تا بدانیم تغییر در متغیرهای مستقل در یک محدوده مشخص چگونه می‌تواند بر روی متغیرهای وابسته تأثیر بگذارد. بسیاری از شرکت‌های مطرح در دنیا از این تکنیک بهره می‌برند تا بتوانند تصمیمات حساب شده تری را اتخاذ کنند و متوجه شوند نتایج یک تصمیم تا چه میزان وابسته به یک متغیر است.

تحلیل حساسیت امتیاز اجتماعی:

IN=50	P=400	S	OBJ
		10	24285.88
		30	24857.64
		50	25429.4
		70	26001.16
		100	26858.8
		150	28288.2
		200	29717.6

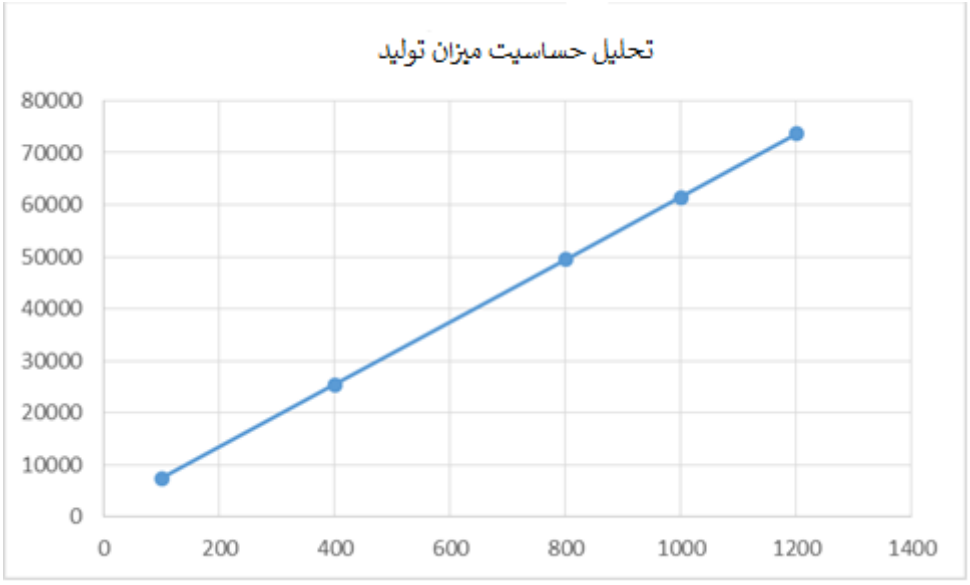


ماخذ: نتایج تحقیق

با توجه به تحلیل انجام شده مشخص می‌گردد که در مقدار ثابتی از محیط زیست که در این تحلیل مقدار آن ۵۰ در نظر گرفته شده است و مقدار ثابتی از تولید که ۴۰۰ در نظر گرفته شده است با توجه به مقادیر متفاوت اجتماعی مشخص میگردد هر چه میزان مقادیر اجتماعی افزایش می یابد مقدار هزینه نیز افزایش می یابد.

تحلیل حساسیت میزان تولید:

IN=50	S=50	P	OBJ
		100	7452.002
		400	25429.4
		800	49429.4
		1000	61429.4
		1200	73565.51

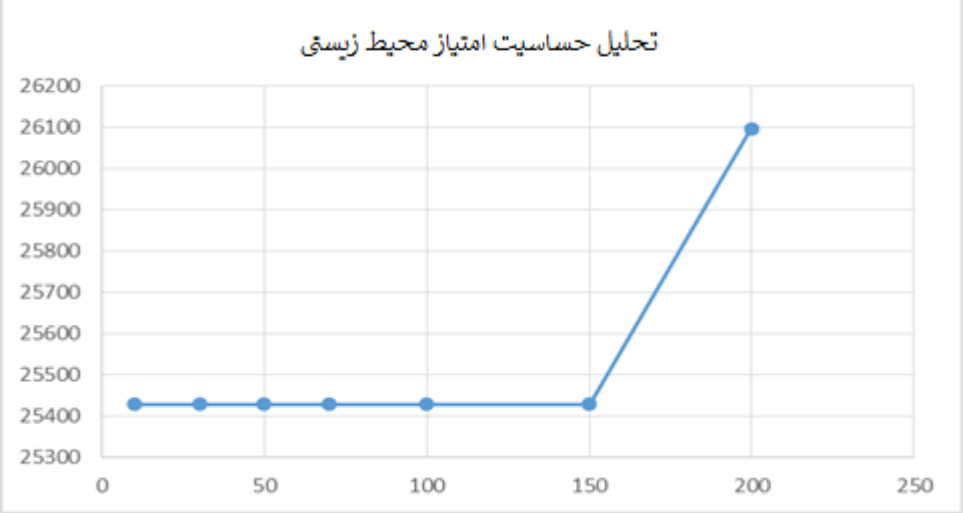


ماخذ: نتایج تحقیق

با توجه به تحلیل حساسیت بالا مشخص می‌گردد در مقدار محیط زیستی ثابت و هم چنین مقدار ثابت اجتماعی هر چقدر میزان تولید افزایش می یابد مقدار هزینه های ما نیز افزایش می یابد ولی حساسیت هزینه به مقدار تولید بیشتر از حساسیت ان به مقادیر اجتماعی و محیط زیستی می باشد.

تحلیل حساسیت امتیاز محیط زیستی:

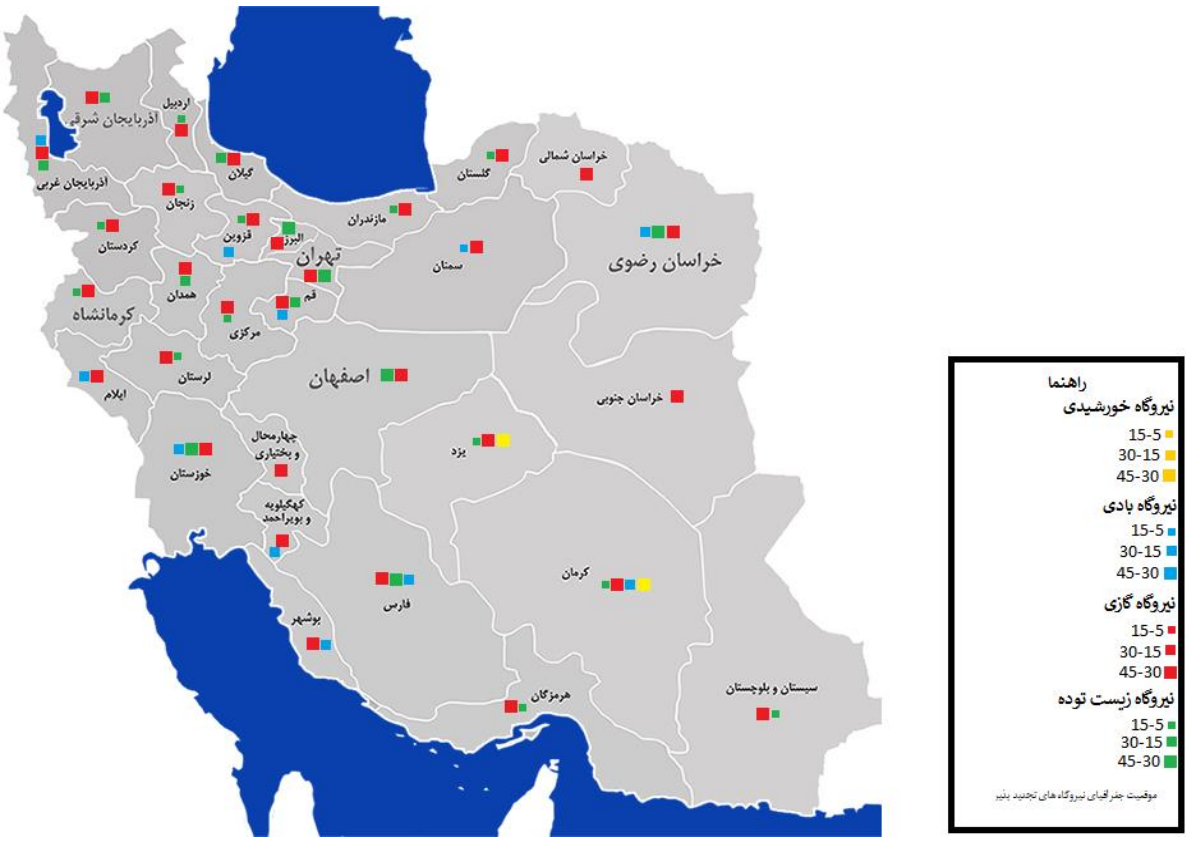
S=50	P=400	IN	OBJ
		10	25429.4
		30	25429.4
		50	25429.4
		70	25429.4
		100	25429.4
		150	25429.4
		200	26096.96



ماخذ: نتایج تحقیق

در تحلیل حساسیت محیط زیستی مشخص می‌گردد در مقادیر ثابت اجتماعی و میزان تولید میزان حساسیت تا مقدار ۱۵۰ به صورت تقریبا ثابت است و چندانی حساسیت وجود ندارد ولی از امتیاز ۱۵۰ به بعد با شدت زیادی حساسیت مشاهده می‌شود.

۴-۷ خروجی مدل



با توجه به خروجی مدل مشخص می شود تمامی استان ها می توانند با بالاترین ظرفیت خود از انرژی گازی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده کنند و در استان هایی مانند قم و کرمانشاه و سمنان و خراسان رضوی و قزوین که با وزش باد شدیدی همراه است میتوانند با ظرفیت قابل قبولی از این انرژی برای تولید برق استفاده کنند

از این رو استفاده از این نوع انرژی در این مناطق هم می‌تواند کمک شایانی نسبت به آینده ایران در جهت صرفه های اقتصادی و اجتماعی و هم چنین کاهش الودگی ناشی از استفاده بیش از حد سوخت های فسیلی را داشته باشد. و هم چنین استان هایی مانند اصفهان و خوزستان و خراسان رضوی و البرز و تهران با بالاترین میزان ظرفیت از زیست توده و در نهایت استان هایی مانند یزد و کرمان از انرژی خورشیدی میتوانند برای تولید برق استفاده کنند.

با توجه به میزان شرایط آب و هوایی مناطق مختلف کشور تعیین کردیم که کدام یک از انواع انرزی ها عملکرد بهتری دارد و پس از مشخص شدن نوع انرژی ها میتوان تعیین کرد که کدام یک از مناطق ایران در استفاده از نوع خاصی از انرزی قابلیت بهره برداری بهتری دارند تا با کمترین هزینه بهترین عملکرد را داشته باشند.

۵

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱مقدمه

به جرأت می توان گفت آنچه در هر پژوهش بیش ازسایر بخش‌ها اهمیت دارد در درجه اول نتایجی است که ازآن حاصل می‌گردد .دردرجه بعد نیز پیشنهاداتی که باتوجه به اجـرای مراحـل مختلـف تحقیق حاصل می‌شود، می‌تواند بسیار حایز اهمیت باشد .درواقع تمام تلاشـی کـه یـک محقـق در طول انجام یک تحقیق یا پژوهش انجام می‌دهد درقسمت مربـوط بـه نتیجـه گیـری وپیشـنهادات خلاصه می‌شود.

بدیهی است چنانچه نتایج تحقیق به خوبی تبیین نگردد، ممکن است بخش بسیار مهمی از تلـاش های صورت گرفته توسط محقق از بین برود و یا فاقد ارزش شود. دستیابی به آنچه به عنوان هدف تحقیق بیان می‌شود نیز بایستی دراین بخش محرزگردد. تمام هزینه و وقتی که صرف انجـام یـک تحقیق شده است بانتایج حاصل ازآن می‌تواند توجیه گردد. به بیان دیگـر از طریـق نتیجـه گیـری حاصل از انجام یک پژوهش است که می‌توان مشکلات و مسایل را شناسایی و حل نمود و یا حداقل راهکاری برای حل آن‌ها در آینده پیشنهاد کرد.

با توجه به روند کلی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان، همچنین به منظـور کـاهش آلـودگی، صرفه اقتصادی و درآمدزایی که از جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر نصیب دولت خواهد شد، همراه با رسیدن به اهداف کلان برنامه‌ریزی شده در افق بلندمدت ۱۴۰۴ و از همه مهم‌تـر مصـرف ۲،۱۲ برابری برق

نسبت به هم‌اکنون در سال ۱۴۰۴ ، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر امری ضروری است. بنـابراین در این مطالعه، الگوی بهینه بلندمدتی برای توسعه این انرژی‌ها در افق ۱۴۰۴ ارائه شده است.

۵-۲ ضرورت توجه ویژه به انرژی تجدیدپذیر در ایران

ایران در مداری کامل از انواع منابع تجدیدپذیر جهان قرار گرفته؛ ظرفیت‌سنجی منابع انرژی خورشیدی، بادی، زیست‌توده، زمین‌گرمایی و آبی همگی حاکی از دسترسی کامل به آینده‌ای پاک در دوران پسانفتی است.

استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و روش‌های سازگار با محیط زیست برای تولید برق یکی از اولویت های امروز کشورهای توسعه یافته به شمار می‌رود؛ امروزه انرژی خورشیدی دارای بزرگ‌ترین قابلیت برای برآوردن نیاز جهان در آینده به عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر است، بطوری که بیش از ۲۲۰ هزار مگاوات برق تولیدی جهان توسط فناوری‌های خورشیدی در دو بخش فناوری های فتوولتاییک و فناوری های حرارتی خورشیدی تامین می شود. ایران به دلیل شرایط خاص جغرافیایی خاص، ظرفیت‌های زیادی برای استفاده از انرژی‌های برق آبی، بادی، خورشیدی، زمین گرمایی و زیست توده دارد و در صورت سرمایه گذاری‌های تازه می توان از این نعمت خدادادی به بهترین شکل بهره‌مند شد. در پاسخ به مهم‌ترین محرک‌های فعلی این صنعت اشاره می‌کنیم:

- کاهش شدت اثرات تغییرات اقلیمی :قطعا اولین دستاورد فناوری‌های پاک، رهایی از بند آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی خواهد بود. سوخت‌های فسیلی از بزرگ‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن محسوب می‌شوند. اثر گلخانه‌ای ناشی از ورود این نوع گازها به اتمسفر باعث محبوس‌شدن گرمای زمین و بروز عواقبی زنجیره‌وار همچون تغییرات اقلیمی در سیاره خواهد شد.
- کاهش آلودگی هوای محلی :مبارزه با آلاینده‌ها سیاستی است که برخی از کشورهای دارای تراکم جمعیتی بالا در کلان‌شهرها، اهمیت ویژه‌ای برای آن قائل هستند. به‌عنوان مثال، چین در سال ۲۰۱۷ اعلام کرد قصد دارد تا سال ۲۰۲۰، ۳۶۰ میلیارد دلار در

صنعت تجدیدپذیر باهدف مبارزه با مشکلات آلـودگی هـوا در کلان‌شـهرها سـرمایه‌گذاری کند. این دیدگاه می‌تواند خود به‌منزله‌ی یک راهکار واقعی برای رفع معضـلات پیچیـده‌ی اجتماعی اقتصادی ناشی از بحران آلودگی در تهران و سایر کلان‌شـهرهای کشـور مـا نیـز محسوب شود

- امنیت انرژی :تهدیدهای موجـود در بخـش انـرژی در دو بخـش انسـانی و طبیعـی قابـل بررسی‌اند. تهدیدهای انسانی معمولا شامل خطرات ناشی از نابودی ساختگاه‌های تولید برق کشور در نتیجه‌ی حملات نظامی کشورهای دیگر یا عملیات خرابکارانه‌ی عمدی می‌شوند. تهدیدهای طبیعی نیز عمدتا شامل بلایای طبیعی و آثار جانبی تغییرات اقلیمـی می‌شـوند که به‌علت ماهیت ناملموس خود، عمدتا نادیده گرفته می‌شوند. دراین‌میان، نگاه برخـی از کشورها نظیر ایالات متحده‌ی آمریکا به صنعت تجدیدپذیر از دیدگاه یک مسئله‌ی امنیـت ملی جالب‌توجه است. کشور ما نیز صرف‌نظر از تهدیدهای نظـامی، بـا تهدیـدهای تـازه‌ای ازسوی تغییرات اقلیمی در مبحث امنیت انرژی مواجه شده است. باتوجه به پیش‌بینی‌های تازه از تشدید موج خشک سالی و گرما در منطقه‌ی خاورمیانـه و وابسـتگی ۱۵ درصـدی منابع انرژی کشور به نیروگاه‌های برق‌آبـی بـزرگ، لـازم اسـت اقـداماتی جـدی در جهـت جایگزینی این منابع در آینده‌ی نزدیک مدنظر قرار داد.
- کاهش هزینه‌ها :رشد فناوری تجدیدپذیرها باعث شده است امروزه در بسیاری از کشورها، این منابع از لحاظ هزینه با منابع فسیلی و نیـز انـرژی هسـته‌ای رقابت‌پـذیر شـوند. ایـن رقابت‌پذیری زمانی اهمیت دوچنـدان می‌یابـد کـه بـدانیم هم‌اکنـون تجدیدپـذیرها تنهـا یک‌چهارم یارانه‌ای را دریافت می‌کنند که برای سـوخت‌های فسـیلی در نظرگرفتـه شـده است و با حذف این یارانه‌های پنهان، به‌زودی صنعت تجدیدپذیر گـوی سـبقت را در ایـن رقابت جهانی خواهد ربود.

- اشتغال‌زایی و ارزش محلی :علی‌رغم رکود در بسیاری از صنایع جهان، صنایع انرژی پاک از جمله کسب‌وکارهایی بوده‌اند که همچنان به رشد و اشتغال‌زایی خود ادامه داده‌اند. تحلیل‌ها نشان می‌دهند کشورهایی که یک چارچوب سیاستی پایدار را در این عرصه اتخاذ کرده‌اند، بیش‌ترین بهره را از ارزش محلی تولیدشده در این بخش برده‌اند.

۵-۳ خلاصه و جمع بندی پژوهش

انرژی های الکتریکی رویکردی می باشد که با استفاده از آن و ایجاد شرایط برای تولید آن در جامعه دیدگاه های نوینی را برای پیشرفت جوامع مطرح میکند دستاورد اصلی این پژوهش برنامه ریزی ظرفیت نیروگاه ها با توجه به رویکرد توسعه پایدار به منظور صرفه جویی در زمینه های اقتصادی و اجتماعی و کاهش آلودگی های محیط زیستی و همچنین تعبیه قوانینی برای استفاده از این نوع انرژی می باشد.

در این تحقیق ابتدا با توجه به نظر خبرگان متغیرهای کیفی اجتماعی به داده های کمی تبدیل شد و سپس بعد از تایید آن با استفاده از روش آراس فازی رتبه بندی هر کدام از شاخص ها را انجام دادیم و منوجه شدیم که از بین همه ی انرزی های الکتریکی انرزی خورشیدی در جایگاه نخست و به عنوان بهترین گزینه مطرح می باشد سپس انرژی بادی و زیست توده و در نهایت گازی می باشد در این نوع زمینه به انرژی خورشیدی و بادی میتوان نگاه ویژه ای داشت زیرا برخی از نقاط ایران مانند ایلام و بوشهر و خراسان با وزش باد شدیدی همراه بوده است از این رو استفاده از انرژی بادی در این مناطق میتواند کمک شایانی به آینده ایران در جهت صرفه های اقتصادی و اجتماعی و همچنین کاهش آلودگی ناشی از استفاده بیش از حد از سوخت های فسیلی را داشته باشد.

در ادامه ی تحقیق مدل مورد نظر با استفاده از نرم افزار گمز حل شده و نتایج مورد

بررسی قرار گرفته و تحلیل حساسیت انجام شده است و خروجی نهایی آن نقشه ایران با توجه به نمایش ظرفیت نیروگاه ها می باشد.

۵-۴ محدودیت های اجرای طرح

از جمله محدودیت های موجود برای این تحقیق به دست آوردن داده های ایران بود که به سختی بعد از تحقیقات فراوان قسمتی از این داده ها از پژوهشگاه نیرو جمع آوری شد .

یکی از دلایلی که منجر به توجیه ناپذیر بودن توسعه این نیروگاه ها در ایران شده، مقرون به صرفه نبودن آن در مقایسه با نیروگاه های فسیلی است. در مورد تولید برق بادی هم پایین بودن قیمت سوخت فسیلی و تحریم ها موانع اصلی توسعه این نوع نیروگاه ها به شمار می رود هم چنین نبود تخصیص اعتبارات کافی، مهمترین محدودیت توسعه انرژی های پاک در کشور می باشد که در ایران طی سال های اخیر ضرورت جای دادن انرژی های پاک در سبد انرژی کشور، مورد توجه قرار گرفته است، اما نبود تخصیص اعتبارات کافی اجازه نداده تا نیروگاه های بزرگی احداث شود و این در حالی است که به اعتقاد صاحب‌نظران این حوزه، تمام نیاز برق ایران از طریق انرژی های تجدید پذیر قابل تامین است.

۵-۵ پیشنهاد های پژوهش

با توجه به بافته ها و نتایج و محدودیت های موجود می‌توان پیشنهادها و جهت گیری های پژوهشی زیر را ارایه نمود که زمینه های پژوهشی جدید است :

- توسعه دادن بهینه سازی به صورت تصادفی به علت عدم قطعیت موجود برای انرژی های خورشیدی و بادی و گازی و زیست توده که بتوان ان ها را لحاظ کرد.
- انجام پژوهش به روش های امکان پذیر MCDM

- محدودیت های دیگری که در بازار برق اهمیت دارند مانند محـدودیت هـای خطـوط و ....را لحاظ کنیم

منابع داخلی

۱) شفیع الله ، امان الله ، شوکت علی ، جارویس ، دی. و گرگ. ۲۰۱۲. "چشم انداز انرژی های تجدید پذیر." یک مطالعه امکان سنجی در استرالیا, ۹۷-۱۸۳.

۲) گیتی زاده. ، کاجی. ، آقایی. ۲۰۱۳. "برنامه ریزی توسعه نسل چند منظوره مبتنی بر ریسک با توجه به منابع انرژی تجدید پذیر." انرژی۵۰, ۷۴-۸۲.

۳) احمدی-جاوید, صدیقی ، امیرحسین و امیر. (۲۰۱۵). "یک روش پایدار در برابر ریسک نسبت به برنامه ریزی تولید برق با ریسک اختلال و ملاحظات مسئولیت اجتماعی." مجله تولید پاک کننده۱۰۵, ۱۱۶-۱۳۳.

۴) آذر عادل, مومنی منصور. ۱۳۹۱. آمار و کاربرد آن در مدیریت. تهران: انتشارات سمت تهران

۵) پور, کمالی نیا، شهیده. ۲۰۱۰. "برنامه ریزی توسعه نسل در سیستم های قدرت حرارتی باد." انتقال توزیع, ۹۴۰-۹۵۱.

۶) اصغرپور م. ۱۳۸۹. تصمیم گیری گروهی و نظریه بازی ها. تهران: انتشارات دانشگاه تهران

۷) سرمدزهره, بازرگان عباس و حجازی اله. ۱۳۹۲. روش های تحقیق در علوم رفتاری. تهران: انتشارات آگاه

۸) شهیدپور, روح،. ۲۰۰۹. "برنامه ریزی تولید و انتقال مبتنی بر بازار با عدم قطعیت." سیستم برق ۲۴, ۱۵۸۷-۱۵۹۸.

۹) عطایی, محمد. ۱۳۸۸ ,. تصمیم گیری چند معیاره ,. شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۰)فرهنگ, منوچهر. ۱۳۷۱. فرهنگ علوم اقتصاد. انتشارات پیکان

۱۱)محمد سعید, جبل عاملی، ۱۳۷۶. مدل توسعه بهینه سیستم انرژی با زیربخش های خودگردان. تهران: پایان نامه دکتری،دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس.

۱۲)مومنی, منصور. ۱۳۹۱. مباحث نوین در تحقیق در عملیات. تهران: انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

۱۳)یونسیان, مقدم و. ۱۳۹۷. "بررسی و ارزیابی روش های تصمیم گیری." سومین کنفرانس ملی در مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات و پردازش داده ها .

منابع خارجی

1) Evans, Annette, Vladimir Strezov, and Tim J. Evans. "Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies." Renewable and sustainable energy reviews 13 (2009): 1082-1088

2) Lund,Henrik."Renewable energy strategies for sustainable development." Energy 32.6 (2007): 912-919.

3) Sims REH. "Electricity-generation from woody biomass fuels compared with other renewable energy options". Renewable Energy 5(1994):852–856

4) Kannan R, Leong KC, Osman R, Ho HK. "Life cycle energy, emissions and cost inventory of power generation technologies in Singapore." Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007):702–715

5) IEA. World energy outlook 2004. International Energy Agency; 2004

6) Bilek M, Lenzen M, Hardy C, Dey C. "Life-cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear power in Australia" The University of Sydney; 2006.

7) Hondo H. “Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case.” Energy 30(2005): 2042–2056

8) Vestas Wind Systems, A.S. Life cycle assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vestas V90-3.0MW turbines; 2006
9) Gagnon L, Belanger C, Uchiyama Y. “Life-cycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001”. Energy Policy 30(2002):1267–1278

10) Uchiyama Y. Life cycle assessment of renewable energy generation technologies. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering 2(2007):44–8

11) Weisser D. “A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies.” Energy 32(2007):1543–1559

12) Krohn S, Damborg S. “On public attitudes towards wind power.” Renewable Energy 16(1999):954–960.

13) UNEP/SETAC. Guidelines for social life cycle assessment of products. Belgium: United Nations Environment Programme and the Society of Environmental Toxicology and Chemistry; 2009
14) Pohekar, S. D., and M. Ramachandran. "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review." Renewable and sustainable energy reviews 8.4 (2004): 365-381

15) Banos, Raul, et al. "Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 15.4 (2011): 1753-1766

16) Tsoutsos, Theocharis, et al. "Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete." Energy Policy 37.5 (2009): 1587-1600

17) F. D. Rad, "on sustainability in local energy planning", Department of Energy Sciences, Lund University, Sweden, May 2011

18) Fukuyama, Y., Chiang, H.-D., “A parallel genetic algorithm for generation expansion planning.” IEEE Trans. Power Syst. 11 (1996): 955-961

19) Kannan, S., Slochanal, S.M.R., Padhy, N.P, “Application and comparison of metaheuristic techniques to generation expansion planning problem.” IEEE Trans. Power Syst. 20 (2005): 466-475.

20) Murugan, P., Kannan, S., Baskar, S., NSGA-II algorithm for multi-objective generation expansion planning problem. Electr. Power Syst. Res. 79 (2009): 622-628

21) Feng, Y., Ryan, S.M., “Scenario construction and reduction applied to stochastic power generation expansion planning.” Comput. Operat. Res. 40 (2013): 9-23

22) Jin, S., Ryan, S.M., Watson, J.-P., Woodruff, D.L. “Modeling and solving a large-scale generation expansion planning problem under uncertainty.” Energy Syst. 2 (2011): 209-242.

23) Wang, J., Shahidehpour, M., Li, Z., Botterud, A. “Strategic generation capacity expansion planning with incomplete information.” IEEE Trans. Power Syst. 24 (2009): 1002-1010

24) Baringo, L., Conejo, A.J. “Wind power investment within a market environment.” Appl. Energy 88 (2011): 3239-3247

25) Meza, J.L.C., Yildirim, M.B., Masud, A.S.M. “A model for the multi-period multi-objective power generation expansion problem.” IEEE Trans. Power Syst. 22 (2007): 871-878.

26) Sirikum, J., Techanitisawad, A., Kachitvichyanukul, V. “A new efficient GA Benders' decomposition method: for power generation expansion planning with emission controls.” IEEE Trans. Power Syst. 22 (2007), 1092-1100

27) Rebennack, S. Generation expansion planning under uncertainty with emissions quotas. Electr. Power Syst. Res. 114(2014): 78-85

28) Xydis, G,& Koroneos, C.(2012) Alinear programming approach for the optimalplanning of a future energy system- potential contribution of energy recoveryfrom municipal solid wastes ; renewable and sustainable energyreviews, VOI.16;369-78.

29) Arnette, A., & Zobel, C. W. (2012). An optimization model for regional renewable energy development. Renewable and sustainable energy reviews, 16(7), 4606-4615.

ABSTRAC

Sustainable capacity planning in power markets is a challenging issue that has been received attentions by academia and practice. By considering the new technologies that use renewable energy sources for the power generation, this research study examines the environmental and social responsibility impacts of various power generation technologies by ARAS approach. Further, a simple multi-objective mathematical model, with social, environmental, and economic objectives, is proposed to decide about the installation capacity amount of each power generator type. Finally, computational results are presented based on Iran data.

Keywords: Ranking, Fuzzy Cumulative Ratio Assessment (FARAS), Renewable Energy, Modeling, Energy, Multi-criteria Decision Making

Shahrood University of
Technology

Faculty of Industrial Engineering and Management

M.Sc. Thesis in Industrial Management

Capacity planning of generating units in the power system with consideration of sustainability dimensions

By: Sahar Amiri

Supervisor:
Dr Mohammad fattahi

Junuary 2020