تصمیم گیری چندمعیاره مبتنی بر سناریو برای برنامه ریزی بلندمدت تولید برق در ایران

صالح رازینی[۱و*]، سید مسعود مقدس تفرشی[۲]، سیدمحمدتقی بطحایی[۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۸۹/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۰/۳/۱۵

چکیده:

با توجه به اهمیت تصمیم گیری های علمی در برنامه ریزی ها، این مقاله به ارائه یک چارچوب نظام مند برای تصمیم گیری در برنامه ریزی بلندمدت تولید برق می پردازد. بر این اساس سناریوهایی برای ۲۰ سال آینده تولید برق در ایران توسط نرم افزار LEAP، طراحی گردیده و برای انتخاب سناریو برتر از روش تحلیل سلسله مراتبی گروهی (AHP) که مبتنی بر نظرات متخصصین می باشد، استفاده شده است. از آنجا که منابع انرژی برای تولید برق در ایران به سه دسته کلی فسیلی، هسته ای و تجدیدپذیر قابل تقسیم هستند، سه سناریو که هرکدام مبتنی بر یکی از منابع یاد شده می باشد، طراحی شده است. برای مقایسه سناریوها معیارهای متنوعی از مقالات متعدد گردآوری شدند و برای در نظر گرفتن شرایط بومی در تصمیم گیری، چشم اندازها، سیاستها و قوانین کشور بررسی و معیارهای بومی تصمیم گیری استخراج گردیدند. در نهایت با جمع آوری نظرات گروهی از متخصصین حوزه های گوناگون انرژی الکتریکی، به کمک نرم افزارExpert Choice سناریوها رتبه بندی گردیدند.

نتایج به دست آمده بیانگر برتری سناریو فسیلی نسبت به دو سناریو دیگر در شرایط فعلی می باشد و سناریو تجدیدپذیر اولویت دوم را داراست. طبق این بررسی در ایران مسائل زیست محیطی همچنان کم اهمیت ترین معیار تصمیم گیری است. درحالیکه معیارهای فنی و اقتصادی موثرترین عوامل تصمیم گیری هستند.

کلمات کلیدی:

تصمیم گیری چندمعیاره، سناریو سازی، برنامه ریزی تولید برق، تحلیل سلسله مراتبی

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد برق- قدرت، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۲) استادیار گروه قدرت، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۳) دانشیار گروه قدرت، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
* نویسنده مسئول

مقدمه

یکی از عوامل مهم در توسعه اجتماعی و اقتصادی هر کشور موضوع انرژی است. تا دهه ۷۰ میلادی تلاش های زیادی در مورد برنامه ریزی منابع انرژی انجام نشده بود. بحران نفت در سال ۱۹۷۳ بشر را به فکر محافظت از منابع انرژی انداخت[۲۸]. رشد آگاهی ها و نگرانی ها در مورد محیط زیست در دهه ۸۰ نیز چارچوب های تصمیم گیری را به تدریج اصلاح کرد و نیاز به ترکیب ملاحظات سیاسی، زیست محیطی و . . . با مسائل فنی و اقتصادی، باعث فراگیری استفاده از تصمیم گیری چند معیاره در موضوعات انرژی گردید[۱۵].

تصمیم گیری چندمعیاره اصطلاح کلی برای تمامی روش هایی است که به تصمیم گیران در موضوعاتی که بیش از یک معیار وجود دارد، بر اساس تمایلات و اولویت های آنها کمک می کند[۱۵]. این روش ها امروزه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. "پوکار" و "راماچاندران" به مرور بیش از ۹۰ مقاله [۲۸]، "ژو" و همکاران به بررسی ۲۵۲ مقاله[۲۵] و بهزادیان و همکارانش نیز به مرور ۲۱۷ مقاله پرداخته اند[۲۳] که موضوع همه ی این مقالات تصمیم گیری چند معیاره در حوزه انرژی بوده است."کوالسکی" و سایرین برای منابع تجدیدپذیر اتریش تا سال ۲۰۲۰ سناریوها و معیارهایی در سطح ملی و منطقه ای طراحی و با روش های چندمعیاره سناریوها را ارزیابی کرده اند[۲۱]. در کانادا نیز یک مطالعه ی چندمعیاره روی منابع تجدید پذیر انجام شده و پنج منبع تجدید پذیر و شش معیار برای انتخاب بهترین منبع از بین گزینه ها، پیشنهاد گردیده است[۲۰].

برای طراحی گزینه های تصمیم در تصمیم گیری های چندمعیاره، برنامه ریزی مبتنی بر سناریو روشی مناسب می باشد. چراکه به کمک این روش، ایجاد مجموعه ای از حالات ممکن که وابسته به مسیرهای سیاستی و فنی گوناگونی می باشند، میسر گشته تا عدم قطعیت های موجود در مسائل انرژی، اقتصادی و زیست محیطی به طور موثری لحاظ گردند[۳۲]. برنامه ریزی مبتنی بر سناریو در حوزه انرژی در نقاط مختلف دنیا مورد توجه می باشد. در کالیفرنیا برای برنامه ریزی انرژی تا سال ۲۰۳۵، چهار سناریو طراحی و تحلیل شده است[۲۷]. در چین نیز با هدف درک بهتر مسیرهای ممکن برای توسعه برق برحسب منابع سوخت و میزان انتشار گازهای گلخانه ای از این روش استفاده شده است[۲۶]. برای تامین تقاضای آینده برق در اندونزی نیز طی مطالعه ای از برنامه ریزی مبتنی بر سناریو استفاده شده است[۱۳].

با توجه به مقدمات فوق، این مقاله با ارائه چارچوبی نظام مند برای تصمیم گیری در صنعت تولید برق، به طراحی و مقایسه گزینه هایی برای آینده تولید برق در ایران و انتخاب مناسب ترین گزینه می پردازد. به این منظور سه سناریو با استفاده از نرم افزار LEAP[1] طراحی شده و با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) و به کمک نرم افزار Expert Choice سناریوها ارزیابی و اولویت بندی می شوند. ابتدا در بخش دوم مفهوم تصمیم گیری چندمعیاره بیان شده و سپس در بخش های سوم تا ششم مولفه های تصمیم گیری چند معیاره در این موضوع بررسی می گردد. در بخش هفتم نتایج تحلیل شده و در بخش آخر جمع بندی صورت می گیرد.

[1] Long-range Energy Alternative Planning
[2] Analytical Hierarchy Process

تصمیم گیری چندمعیاره

تصمیم گیری، مطالعه برای تشخیص و انتخاب گزینه هایی برای یافتن بهترین راه حل بر پایه عوامل مختلف با در نظر گرفتن انتظارات و تمایلات افراد سهیم در تصمیم است[۲۰]. روش های تصمیم گیری چندمعیاره MCDM[1] از جمله روشهای مفید تصمیم گیری هستند که در آنها تصمیمات بر پایه مصالحه و توافق بین معیارهایی صورت می گیرد که حتی ممکن است گاهی اوقات با یکدیگر در تقابل باشند. این دسته از روشها این امکان را به تصمیم گیران می دهد تا گزینه ها را براساس چند معیار ارزیابی و آنها را انتخاب و یا رتبه بندی کنند[۲۵]. مدل تصمیم گیری چندمعیاره شامل ۵ مؤلفه اصلی است که عبارتند از گزینه ها، معیارها، وزن معیارها، امتیاز هرگزینه در هر معیار و نظام انتخاب جواب[۱]. بر این اساس، در بخش های بعدی مولفه های پنجگانه فوق جهت تصمیم گیری برای آینده صنعت تولید برق کشور بررسی می شود.

نظام انتخاب جواب؛ تحلیل سلسله مراتبی

برای ارزیابی گزینه ها در این مقاله از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که یکی از کاربردی ترین فنون تصمیم گیری چندمعیاره می باشد، استفاده شده است. AHP علاوه بر معیارهای کمی از معیارهای کیفی نیز استفاده می کند و افراد را قادر می سازد ورودی های تخصصی غیر عینی، تجارب شخصی و نظرات تخصصی شهودی خود را در مساله وارد کنند[۲۰]. در این روش استراتژی تصمیم در یک درخت تصویر می شود. سطح بالایی درخت بیانگر هدف، سطوح میانی نشانگر معیارها و آخرین سطح نشان دهنده گزینه ها می باشد. سپس یک سری مقایسات توسط فرد یا گروه متخصص بر اساس دانش فنی، قوه شهودی، تجارب گذشته و درک موقعیت فعلی متخصصین صورت می پذیرد. برای این منظور عناصر هر سطح به صورت دوبه دو باتوجه به تک تک عناصر سطح بالاتر با یکدیگر مقایسه می شوند و به میزان مطلوبیت نسبی آنها امتیازی به آنها تعلق می گیرد. برآیند امتیازات در سطوح مختلف امتیاز هر گزینه را در کل تعیین خواهد کرد.

گزینه ها؛ سناریوسازی برای تولید برق

در این بخش با مطالعه وضعیت فعلی عرضه و تقاضای انرژی الکتریکی در ایران، سه گزینه برای روندهای محتمل برای آینده تولید برق در کشور بررسی می گردد. برای این منظور منابع اولیه انرژی کشور به سه دسته انرژی های فسیلی، هسته ای و تجدیدپذیر تقسیم شده و بر این مبنا سه سناریو به کمک نرم افزار برنامه ریزی بلند مدت گزینه های انرژی LEAP برای آینده صنعت تولید برق کشور طراحی می شود که در هر سناریو بر یکی از منابع فوق تاکید بیشتری شده است. می توان گفت هر سناریو بیانگر اثرات یک سیاست انرژی برای اولویت دهی به منابع اولیه انرژی خواهد بود.

هر چند نرم افزار LEAP قادر به مدلسازی سیستم انرژی به طور کامل شامل حجم ذخایر انرژی های اولیه، مراحل استخراج و تبدیل انرژی، انتقال، توزیع و در نهایت بخش مصرف کنندگان می باشد ولی با توجه به حجم وسیع منابع فسیلی در کشور فرض شده پیش نیازهای لازم برای توسعه متوازن و تحقق برنامه به طور موازی در طول زمان اجرای برنامه ایجاد گردد. به عنوان نمونه ظرفیت های لازم برای استخراج و پالایش نفت و گاز تا ۲۰ سال آینده به تدریج ایجاد شود.

[1] Multi Criteria Decision Making

داده ها و فرضیات

از آنجا که در هنگام انجام این مطالعه ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۸ منتشر نشده است، به منظور هماهنگی بین داده ها، تمامی اطلاعات استفاده شده از ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷[۵] استخراج گردیده است. تا پایان سال ۱۳۸۷ظرفیت نصب شده نیروگاهی کشور نزدیک به ۵۳ هزار مگاوات بوده است که این نیروگاه ها مجموعاً در این سال بیش از ۲۱۴ میلیارد کیلووات ساعت انرژی الکتریکی تولید کرده اند. علاوه بر این به میزان ۱۶۸۴/۲میلیون کیلووات ساعت برق از کشورهای همسایه خریداری شده و در مقابل ۳۸۷۵/۳ میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی صادر گردیده است.

حداکثر بار تولیدی شبکه سراسری در سال ۱۳۸۷، ۳۴۱۶۹ مگاوات و ضریب بار شبکه برق کشور در این سال معادل ۷۱/۲٪ بوده است. متوسط بازدهی نیروگاه های وزارت نیرو در سال ۸۷ به ۳۶/۲٪ رسید در حالی که متوسط بازدهی نیروگاه های بخش خصوصی و صنایع بزرگ به ترتیب ۳۳/۱٪ و ۲۹/۵٪ بوده است [۵]. خلاصه اطلاعات بخش تولید برق کشور در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: وضعیت تولید برق ایران در سال ۱۳۸۷

نیروگاه	بخاری	گازی	سیکل ترکیبی	دیزلی	آبی	بادی	خورشیدی
ظرفیت(MW)	۱۵۵۹۸	۱۸۰۷۶/۷	۱۱۱۱۶/۵	۴۱۸	۷۶۷۲/۵	۸۹/۸	۰/۰۷۳
تولید(GWh)	۹۵۹۱۷/۵	۵۶۱۹۴	۵۷۰۱۵/۲	۲۰۳/۹	۵۰۰۳/۴	۱۹۶/۳۱	۰/۰۷۵
بازده	٪۳۶/۶	٪۲۸/۹	٪۴۴/۵	٪۳۴/۴	–	–	–

طبق برنامه های وزارت نیرو با مشارکت بخش خصوصی تا پایان سال ۱۳۹۳ بیش از ۵۴ هزار مگاوات ظرفیت جدید به نیروگاه های کشور اضافه خواهد شد[۵]. برنامه بهره برداری از این نیروگاه ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: برنامه بهره برداری از نیروگاه های جدید (مگاوات)

سال	بخاری	زغال سوز	گازی	سیکل ترکیبی	آبی	اتمی	موتوپایه گازسوز	تجدید پذیر
۱۳۸۸	۰	۰	۲۵۰	۲۵۷۱	۴۱۷	۰	۸۰	۵۰
۱۳۸۹	۰	۰	۰	۴۶۸۲	۷۹۹	۵۰۰	۲۲۰	۲۶۲
۱۳۹۰	۰	۰	۰	۱۰۸۵۴	۱۲۵۳	۵۰۰	۴۰۰	۳۱۲
۱۳۹۱	۳۱۵	۰	۰	۱۲۲۴۰	۱۲۳۰	۰	۴۰۰	۳۳۰
۱۳۹۲	۱۲۹۰	۶۵۰	۰	۸۰۷۲	۳۱۱	۰	۴۰۰	۳۴۵
۱۳۹۳	۱۹۵۰	۰	۰	۱۷۶۴	۸۶۷	۰	۴۸۰	۶۶۰

به علت فرسوده شدن نیروگاه های کشور با عبور آنها از عمر مفید اقتصادیشان، فرض می شود طی مرور زمان نیروگاه های موجود به تدریج از رده خارج شوند البته به دلیل عمر زیاد و هزینه ی جاری کم در نیروگاه های آبی، این نیروگاه ها مستثنی شده اند. عمر مفید نیروگاه های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی در این مطالعه ۳۰ سال در نظر گرفته شد، لذا فرض می گردد نیروگاه های بخاری و گازی فعلی تا ۳۰ سال آینده به طور کامل از رده خارج شوند. ولی به دلیل جوان بودن نیروگاه های سیکل ترکیبی کشور فرض می شود از رده خارج شدن این نیروگاه ها از ۵ سال آینده شروع شده و این روند تا ۳۵ سال آینده پایان یابد.

با اجرای سیاست چند تعرفه شدن قیمت برق و همچنین صنعتی تر شدن کشور انتظار می رود منحنی تداوم بار سالیانه در سال های آتی بهبود یابد، از اینرو فرض می شود ضریب بار سالیانه کشور تا ۲۰ سال آینده به تدریج افزایش یافته و به مقدار ۷۵٪ برسد. همچنین حاشیه رزرو مطلوب برای ظرفیت تولید برق کشور ۲۵٪ در نظر گرفته شده است.

بازدهی نیروگاه های فعلی برای سال های بعد بدون تغییر فرض می شود ولی با توجه به استفاده از فناوری های جدید در آینده، بازدهی نیروگاه های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی که بعد از این سال ساخته خواهند شد به ترتیب ۴۳٪ ، ۳۴٪ و ۵۵٪ در نظر گرفته می شود.

فرض می شود صادرات برق به تدریج افزایش یافته و در ۲۰ سال آینده معادل ۵٪ تقاضای داخل، برق به کشورهای دیگر صادر گردد. همچنین برای بهبود منحنی بار و افزایش ضریب بار سالیانه فرض می شود واردات برق از ۱٪ تقاضای داخل در سال۱۳۸۷ به ۱/۵٪ در سال ۱۴۰۹ برسد.

در سال ۸۷ حدود ۴۶ میلیارد کیلووات ساعت انرژی صرف مصرف داخلی نیروگاه ها و تلفات شبکه های انتقال و توزیع برق گردید. از این میزان سهم مصرف داخلی نیروگاه ها از تولید ناویژه آنها ۳/۹٪ و سهم تلفات شبکه انتقال و تلفات شبکه توزیع از تولید برق به ترتیب ۴/۴٪ و ۱۷/۵ ٪ بوده است. با توجه به سیاست های وزارت نیرو برای کاهش تلفات، فرض می شود مجموع تلفات شبکه های توزیع و انتقال از ۲۱/۹٪ در سال ۱۳۸۷ به تدریج کاهش یافته و در سال ۱۴۰۹ به ۱۵٪ برسد. از طرف دیگر به دلیل استفاده از فناوری های جدید در نیروگاه های آینده و همچنین بهبود عملکرد نیروگاه های فعلی، فرض می شود میانگین مصرف داخلی نیروگاه های کشور تا سال ۱۴۰۹ به ۳٪ تولید ناویژه برق برسد.

تقاضای کل برق در بخش های مختلف مصرفی در سال ۱۳۸۷ برابر ۱۶۵/۸ تراوات ساعت بوده است. با توجه به پیش بینی دفتربرنامه ریزی و نظارت بر توسعه شبکه ی شرکت مدیریت شبکه برق ایران نیاز مصرف در شبکه سراسری تا سال ۱۳۹۵ سالانه حدود ۸٪ رشد خواهد داشت[۲]. ولی انتظار می رود به دلیل کنترل جمعیت، اعمال مدیریت مصرف انرژی، اصلاح الگوی مصرف، افزایش بازدهی وسایل مصرفی، واقعی شدن قیمت برق و تکمیل پروژه های برق رسانی به مناطق بدون برق، به تدریج از شدت رشد مصرف برق در کشور کاسته شود. به همین دلیل رشد مصرف برق در کشور تا ۲۰ سال آینده مطابق جدول (۳) فرض می شود. مطابق با این میزان رشد، تقاضا در سال ۱۴۰۹ به ۶۳۶/۷ تراوات ساعت خواهد رسید.

جدول ۳: رشد سالیانه تقاضا طی ۲۰ سال آینده

دوره زمانی	۱۳۸۸-۱۳۹۵	۱۳۹۶-۱۳۹۸	۱۳۹۹-۱۴۰۱	۱۴۰۲-۱۴۰۵	۱۴۰۶-۱۴۰۹
درصد رشد تقاضا	٪۸	٪۷	٪۶	٪۵	٪۴

با توجه به اینکه مساله پیش بینی قیمت ها و روند تغییرات آنها، خود یک مساله پیچیده است که نیاز به مطالعات جداگانه ای دارد در اینجا هزینه ها بر اساس قیمت موجود در بانک اطلاعاتی داخل نرم افزار (با اصلاحات جزئی) مطابق جدول (۴) استخراج شده است. محاسبات انتشار آلاینده ها نیز بر اساس همین بانک اطلاعاتی مطابق با استاندارد IPCC[1] انجام شده است. این داده ها فقط مربوط به آلودگی هایی است که به طور مستقیم در فرآیند تبدیل انرژی منتشر می شود.

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change

جدول ٤: هزینه نیروگاه های مختلف، استخراج شده از بانک اطلاعاتی نرم افزار LEAP

Power plant	Steam	Gas turbine	Combined cycle	Hydro	Nuclear	Geo-thermal	Wind	Solar	Fuel cell	Coal	Bio-mass	Diesel
Capital Cost ($/kW)	1004	310	445	2356	1570	1831	776	2903	1458	1093	1448	1697
Fixed O&M Cost ($/kW)	30.7	0	15.35	0	56.29	85.9	25.92	9.82	14.74	23.03	44	0
Variable O&M Cost (cent/kWh)	0.05	0.05	0.05	0	0.04	0	0	0	0.2	0.33	0.53	0.05

سناریو اول: توسعه نیروگاه های فسیلی

با توجه به حجم وسیع منابع فسیلی در ایران و زیرساخت های فراوان موجود در کشور، در این سناریو رویکرد «ادامه روند موجود» (Business as usual) مورد بررسی قرار می گیرد. در این سناریو نیروگاه های بخاری برای تامین بار پایه، سیکل ترکیبی برای تامین بار میانه و گازی برای تامین بار پیک در اولویت نخست در نظر گرفته می شود. همچنین فرض می شود فقط پروژه های نیروگاه آبی که هم اکنون در دست اجرا هستند به بهره برداری برسند و پروژه های آبی در دست مطالعه اجرایی نگردند. همچنین با وجود برنامه وزارت نیرو برای ساخت ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای، فرض می شود تا ۲۰ سال آینده فقط ۶هزار مگاوات نیروگاه هسته ای به بهره برداری برسد. سایر نیروگاه ها نیز در اولویت های بعدی در نظر گرفته می شوند.

سناریو دوم: توسعه نیروگاه های هسته ای

با توجه به تدوین سند ملی توسعه نیروگاه های هسته ای، در سناریو دوم فرض می شود برنامه وزارت نیرو برای گسترش نیروگاه هسته ای به طور کامل محقق گردد. در این سناریو فرض می شود طبق برنامه ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای طی ۲۰ سال آینده در کشور ساخته شده و به بهره برداری برسد. برای تامین بار پایه نیروگاه هسته ای در اولویت بالاتری نسبت به نیروگاه بخاری در نظر گرفته می شود. به علت واقع شدن ایران در اقلیم گرم و خشک امکان بهره برداری دائمی از نیروگاه های آبی میسر نمی باشد، از این رو این نیروگاه ها به همراه نیروگاه های سیکل ترکیبی برای تامین بار میانه در اولویت ساخت فرض شده و برای تامین بار پیک، نیروگاه های گازی در اولویت قرار می گیرد. در مورد انرژی برق آبی فرض می گردد، علاوه بر پروژه های در حال اجرا، پروژه های در دست مطالعه و آماده اجرا نیز به تدریج به بهره برداری برسند. سایر نیروگاه ها نیز در اولویت های بعدی در نظر گرفته می شوند.

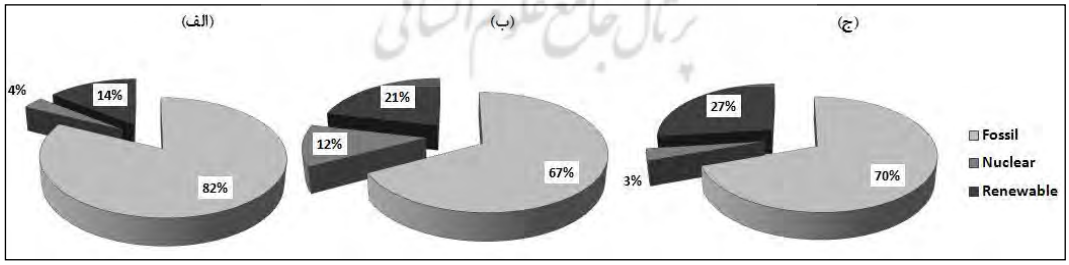
سناریو سوم: توسعه نیروگاه های تجدیدپذیر

در سناریو سوم اولویت اول توسعه نیروگاهی به بهره برداری از منابع تجدیدپذیر اختصاص می یابد. در این سناریو فرض می شود از همه پتانسیل های برق آبی شناسایی شده در کشور استفاده گردد. یعنی علاوه بر طرح های در حال اجرا و طرح های در حال مطالعه و آماده اجرا، پروژه های در مرحله شناخت نیز تا ۲۰ سال آینده به بهره برداری برسند. ظرفیت نیروگاه های هسته ای نیز همانند سناریو اول ۶ هزار مگاوات در نظر گرفته می شود. برای تامین بار پایه نیروگاه های بادی، خورشیدی و زمین گرمایی نسبت به سناریوهای دیگر بیشتر مورد توجه قرار می گیرند و برای تامین بار میانه نیروگاه های آبی و زیست توده و سپس سیکل ترکیبی و برای تامین بار پیک نیروگاه گازی و پیل سوختی در اولویت ساخت قرار داده می شود.

نتایج سناریوها

طبق مدلسازی صورت گرفته در این مطالعه و فرضیات در نظر گرفته شده، با توجه به خروجی های نرم افزار حداکثر تقاضای توان از حدود ۳۴ هزارمگاوات در سال ۱۳۸۷ به حدود ۱۲۱ هزار مگاوات در سال ۱۴۰۹ خواهد رسید. با توجه به ظرفیت رزرو مورد نیاز و میزان دسترسی متفاوت به منابع، ظرفیت نیروگاهی کشور در ۲۰ سال آینده در سناریوهای فسیلی، هسته ای و تجدید پذیر، باید به ترتیب به ۱۷۷/۸۶، ۱۷۶/۶۴، ۱۷۹/۰۵ گیگاوات برسد. وجود حجم گسترده منابع آبی در کنار سایر انرژیهای تجدیدپذیر که امکان تولید دائمی برق در آنها وجود ندارد باعث گردیده تا در سناریوی سوم برای تامین تقاضا نیاز به نصب ظرفیت بیشتری باشد. در حالیکه در سناریو دوم با وجود ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای با قابلیت دسترسی بالا کمترین نیاز برای نصب ظرفیت جدید وجود خواهد داشت.

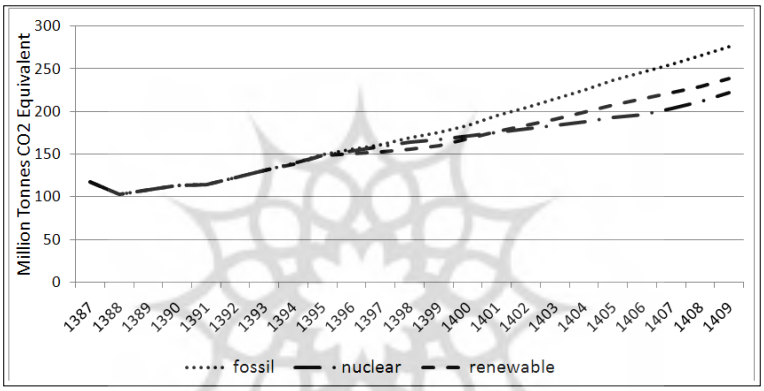
برای مقایسه تاثیر اجرای سناریوهای مختلف، در نمودار ۱ نسبت ظرفیت نیروگاه های کشور در سناریوهای مختلف بر حسب نوع سوخت مورد استفاده در سال ۱۴۰۹ با یکدیگر مقایسه شده است. در سناریو اول با فرض اتخاذ سیاست ادامه روند موجود ۸۲٪ از نیروگاه های کشور در ۲۰ سال آینده به نیروگاه های فسیلی اختصاص خواهد یافت. در سناریو دوم با فرض بهره برداری از ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای تا سال ۱۴۰۹ سهم این نیروگاه ها به ۱۲٪ از ظرفیت نیروگاهی کشور خواهد رسید. در سناریو سوم با سیاست توسعه انرژیهای تجدیدپذیر ۲۷٪ از نیروگاه های کشور در سال پایان این برنامه را نیروگاه های تجدیدپذیر تشکیل خواهند داد.



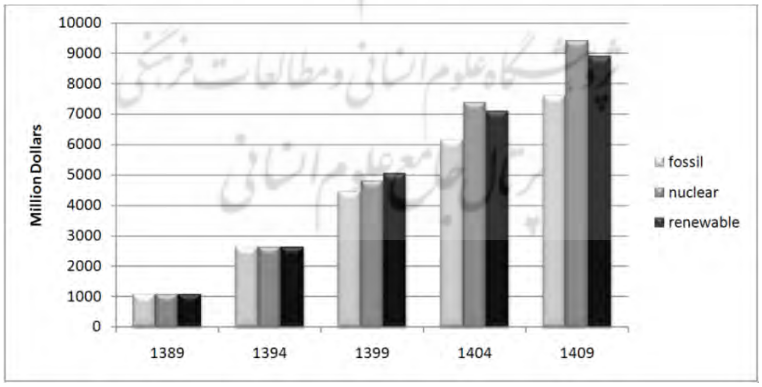
نمودار۱: سهم منابع انرژی در ظرفیت نیروگاهی کشور در سال ۱۴۰۹
الف) سناریوی فسیلی ب) سناریوی هسته ای ج) سناریوی تجدیدپذیر

آنچه در نتایج به دست آمده قابل ملاحظه بوده سهم چشمگیر منابع فسیلی در هر سه سناریو است که بخشی از آن متاثر از برنامه ۵ ساله وزارت نیرو برای بهره برداری از ۴۰هزار مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی می باشد.

در نمودارهـای ۲ و ۳ رونـد انتشـار دی اکسـید کـربن و هزینـه کـل در سـناریوهای مختلـف قابـل مشـاهده اسـت. از آنجـا که برنامه وزارت نیرو تا سـال ۱۳۹۳ بـرای هـر سـه سـناریو یکسـان در نظـر گرفتـه شـده، میـزان انتشـار آلاینـده هـا و هزینـه هـا نیز تا این سال در هـر سـه سـناریو مشـابه خواهـد بـود. امـا بـا فاصـله گرفتـه از ایـن سـال اثـرات اجـرای هـر سـناریو بـه تـدریج مشخص می شود. از آنجا کـه سـهم نیروگـاه هـای فسـیلی در هـر سـه سـناریو بسـیار چشـمگیر اسـت، در مـورد انتشـار آلـودگی و هزینه کل هر سناریو، منابع فسیلی تاثیرگـذاری بیشـتری دارنـد و بـا توجـه آلـودگی بیشـتر و هزینـه نسـبتا کمتـر ایـن نیروگـاه هـا، سناریو فسیلی نسبت بـه دو سـناریو دیگـر از نظـر اقتصـادی بـه صـرفه تـر و از نظـر زیسـت محیطـی نـامطلوب تـر مـی باشـد. در طرف مقابل سناریو هسته ای با کمترین سهم منابع فسیلی بیشترین هزینه و کمترین آلودگی را در پی خواهد داشت.



نمودار ۲: روند افزایش انتشار دی اکسید کربن در سناریوهای مختلف



نمودار ۳: مقایسه بین هزینه های سناریوهای مختلف

معیارهای تصمیم گیری

سومین مولفه مدل تصمیم گیری چندمعیاره، معیارها می باشند. در مسائل برنامه ریزی انرژی، معیارها را می توان به دو بخش تفکیک کرد: معیارهایی که وابسته به مناطق جغرافیایی و یا شرایط خاص اقلیمی و اجتماعی نمی باشد و معیارهایی که با توجه به شرایط خاص هر کشور در آنجا از اهمیت بیشتری برخوردارند و به اصطلاح معیارهای بومی آن کشور می باشند.

معیارهای عمومی

در مقالات مختلف[۱۲، ۱۴، ۱۶-۲۲، ۲۴، ۲۹-۳۱] از معیارهای متعددی که جنبه عمومی دارند در برنامه ریزی منابع انرژی استفاده شده است. این معیارها در جدول ۵ در چهار بخش زیست محیطی، اقتصادی، سیاسی-اجتماعی و فنی دسته بندی شده است.

جدول ۵: معیارهای عمومی برای ارزیابی گزینه های تولید برق

	معیارها	زیر معیارها	مراجع	فراوانی
۱	معیارهای اقتصادی	هزینه (سرمایه گذاری، نگهداری و عملکرد، سوخت، جریمه آلودگی، هزینه معادل سالانه)	[۱۴، ۱۶-۲۱، ۲۴، ۲۹، ۳۱]	۱۰
		زمان بازگشت سرمایه	[۱۸-۲۰، ۲۹]	۴
		قیمت برق تولیدی	[۱۹, ۲۹]	۲
		هماهنگی با بازار تجدید ساختاریافته	[۲۴]	۱
		علاقه مندی بخش خصوصی برای سرمایه گذاری	[۲۴]	۱
۲	معیارهای زیست محیطی	تغییرات آب و هوا و انتشار مواد آلاینده هوا (CO_2، CO، NO_x، SO_2، ذرات ریز، NMVOC)	[۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸-۲۲، ۲۴، ۲۹]	۱۰
		کیفیت و یا مصرف آب	[۱۴، ۱۶، ۲۰-۲۱]	۴
		کیفیت خاک و چرخه مواد غذایی در آن	[۱۴، ۲۰]	۲
		استفاده از زمین	[۱۹-۲۰, ۲۹]	۳
		آلودگی محیط زیست و انتشار پسماند (ضایعات جامد، پسماندهای سمی و یا رادیو اکتیو)	[۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۴، ۳۰-۳۱]	۶
		تاثیر بر اکوسیستم و گونه های گیاهی و جانوری	[۱۴، ۲۰]	۲
		تاثیر بر سلامتی انسان (بیماری ها، آلودگی صوتی، آلودگی دیداری یا کیفیت منظره ای)	[۲۴، ۳۱]	۷
۳	معیارهای سیاسی- اجتماعی	مسائل شغلی (اشتغال زایی، امنیت شغلی، حوادث شغلی)	[۱۹-۲۱، ۲۴، ۲۹-۳۰]	۸
		مسائل اجتماعی (پذیرش و پشتیبانی عمومی، تصمیم گیری منطقه ای، عدالت اجتماعی، ایجاد مزایای اجتماعی، تاثیر بر مخارج عمومی)	[۱۷، ۱۹، ۲۴، ۲۹]	۸
		عدم وابستگی به واردات	[۱۴، ۲۱-۲۲]	۳
		اثرپذیری از مسائل سیاسی و غیرقابل کنترل	[۳۱]	۱
		توسعه اقتصادی و بازرگانی منطقه	[۲۰، ۳۰]	۲
		خطر تروریسم	[۲۴]	۱
٤	معیارهای فنی	مسائل مربوط به تکنولوژی (بازدهی، طول عمر تجهیزات، رشد و تکامل فناوری، قابلیت های ویژه، تنوع، بومی بودن، کنترل پذیری، امکان تولید همزمان برق و حرارت، امکان صادرات فناوری)	[۱۲، ۱۴، ۱۷، ۱۹، ۲۲، ۲۴، ۲۹]	۱۱
		قابلیت اعتماد (ایمنی، قابلیت اطمینان، میزان عدم قطعیت ها)	[۱۴، ۱۸-۱۹، ۲۹]	۵
		مسائل مربوط به منابع (حجم منابع، تنوع منابع، امنیت منابع و حفاظت از آنها، دسترسی دائمی، سهم منابع تجدیدپذیر)	[۱۲، ۱۴، ۱۷، ۲۲]	۹

معیارهای بومی

در نظر گرفتن شرایط بومی کشور و سیاست های کلان حاکم بر آن در برنامه ریزی منابع انرژی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به این منظور معیارهایی از متن قوانین و لوایح مختلف استخراج شده است. مراجعی که برای استخراج معیارهای بومی مطالعه شده اند عبارتند از: سند چشم انداز بیست ساله[۱۱]، پیش نویس الزامات تحقق اهداف چشم انداز[۴]، چشم انداز وزارت نیرو[۶]، بیانیه مأموریت و بیانیه چشم انداز بخش برق و انرژی وزارت نیرو[۶]، سیاست های کلان انرژی[۷]، لایحه برنامه پنجم توسعه[۱۰]، آرمان صنعت برق[۳]، سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف[۸] و قانون اساسی[۹]. معیارهای بومی به تفکیک منبع استخراج آنها در جدول (۶) آمده است.

جدول ٦: معیارهای بومی برای ارزیابی گزینه های تولید برق

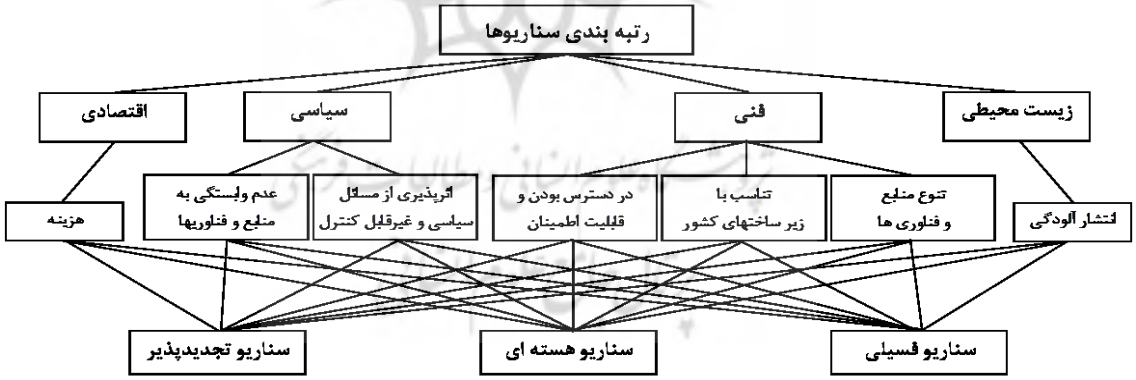
	مرجع	معیارها
۱	سند چشم انداز بیست ساله	توسعه یافتگی، پیشرفت اقتصادی، علمی و فناوری، عدالت اجتماعی، بهره مند از محیط زیست مطلوب
۲	پیش‌نویس الزامات تحقق اهداف چشم انداز	تقویت فضای رقابت و انحصارزدایی از اقتصاد و تسهیل شرایط ورود به بازار و خروج از آن
۳	چشم انداز وزارت نیرو	خود اتکایی، امکان دسترسی عادلانه همگان، اطمینان و پایایی برق
٤	بیانیه مأموریت بخش برق و انرژی وزارت نیرو	کیفیت تولید، امنیت عرضه انرژی، استفاده از فناوریهای نوین، سازگاری با محیط زیست، توسعه کاربرد انرژی های تجدید پذیر، عدالت، خوداتکایی، تناسب با زیرساخت های کشور
٥	بیانیه چشم‌انداز بخش برق و انرژی وزارت نیرو	تنوع منابع، در دسترس بودن منابع انرژی، اطمینان و پایایی برق، کیفیت برق، رقابتی و آزاد بودن بازار.
٦	سیاستهای کلان انرژی	تنوع منابع انرژی، حفظ محیط زیست، گسترش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر با اولویت انرژی آبی، کسب دانش هسته ای و استفاده از این فناوری، کسب و استفاده از دانش و فناوریهای پیشرفته و بروز
۷	لایحه برنامه پنجم توسعه	تنوع، بازدهی، تولید همزمان برق و حرارت، افزایش تولید پراکنده، استفاده از انرژیهای پاک و نو، حمایت از بخش خصوصی و حفاظت از محیط زیست
۸	آرمان صنعت برق	توسعه مشارکت عمومی، تامین برق مطمئن و اقتصادی و ارتقا رضایت همگانی
۹	سیاستهای کلی اصلاح الگوی مصرف	گسترش تولید از نیروگاههای تولید پراکنده، کوچک مقیاس و پربازده، تولید همزمان برق و حرارت
۱۰	اصل پنجاهم قانون اساسی	حفاظت از محیط زیست

انتخاب معیارها

جیانگ جیانگ ونگ برای انتخاب معیارهای اصلی از بین کلیه معیارها ۵ اصل پیشنهاد کرده که عبارتند از: اصل سیستمی، اصل سازگاری، اصل استقلال، اصل قابلیت اندازه گیری، اصل مقایسه پذیری[۱۹]. با توجه به این اصول از چهار دسته معیارهای جمع آوری شده، ۷ زیرمعیار برای مساله تصمیم گیری در این مطالعه انتخاب شده اند. هزینه کل، انتشار دی اکسید کربن، عدم وابستگی به منابع و فناوری های خارجی، اثرپذیری از مسائل سیاسی و غیرقابل کنترل، تنوع منابع و فناوری ها، در دسترس بودن و قابلیت اطمینان، تناسب با زیرساخت های کشور، معیارهای منتخب می باشند.

امتیازدهی به گزینه ها و معیارها

برای ارزیابی گزینه های تولید برق بر اساس معیارهای منتخب به وسیله روش AHP گروهی، ابتدا درخت سلسله مراتبی چهار سطحی این مساله مطابق نمودار (۴) رسم شده است. سپس ارزیابی گزینه ها توسط گروهی از متخصصین و خبرگان در مساله مورد نظر انجام می پذیرد. برای این منظور در این مطالعه از نظرات ۱۵ نفر از متخصصین حوزه های مختلف انرژی از سازمان ها و مراکز مختلف با پراکندگی و تنوع کافی هم از لحاظ رشته تخصصی و هم از لحاظ حوزه فعالیت، استفاده گردیده است. متخصصین رشته های مهندسی برق، مهندسی انرژی، مهندسی هسته ای، مهندسی صنایع، مهندسی مکانیک، اقتصاد و مدیریت که از اساتید دانشگاه، کارشناسان وزارت نیرو و سازمان انرژی های نو ایران و متخصصین شاغل در بخش های صنعتی و پژوهشی می باشند، افرادی هستند که در این مطالعه شرکت کرده اند. برای جمع آوری نظرات گروه متخصصین، پرسشنامه ای براساس ساختار روش سلسله مراتبی تنظیم گردید. در این پرسشنامه که حاوی ۳۱ سوال مقایسه ای می باشد، از مصاحبه شونده خواسته شد تا در هر سوال با مقایسه بین گزینه های مطرح شده، گزینه برتر را انتخاب کرده و به آن امتیازی متناسب با میزان مطلوبیت آن گزینه دهد. امتیازات در قالب ۱۰ ماتریس وارد نرم افزار Expert Choice می شود و نرم افزار نظرات همه افراد را با یکدیگر تلفیق نموده و با تعیین امتیاز کل هر یک از سناریوها، آنها را رتبه بندی می کند. با انجام این کار نتایج مقایسات مطابق با جدول ۷ به دست آمده است. در این جدول وزن هریک از معیارها و زیرمعیارها و همچنین امتیاز هر سناریو در هر زیرمعیار قابل مشاهده است. امتیاز کل هر سناریو در نمودار (۵) آمده است که با توجه به آن سناریو فسیلی با کسب امتیاز ۰/۴۹۴ مناسب ترین سناریو از نظر گروه شناخته شده و سناریوهای تجدیدپذیر و هسته ای نیز به ترتیب امتیازهای۰/۳۰۶ و ۰/۲۰۰ را به خود اختصاص داده اند.

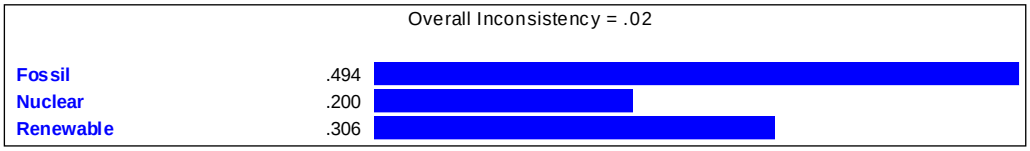


نمودار ٤: درخت سلسله مراتبی چهار سطحی مساله و نحوه انجام مقایسات

جدول ۷: عناصر درخت سلسله مراتبی در سطح های مختلف و امتیاز هر عنصر با توجه به عنصر سطح بالاتر

سطح اول: هدف	سطح دوم: معیارها	سطح سوم: زیرمعیارها	سطح چهارم: گزینه ها
انتخاب سناریو برتر برای تولید برق در آینده کشور	زیست محیطی (۰/۱۴۹)	انتشار CO_2 (۱/۰)	سناریو فسیلی (۰/۱۰۴)
			سناریو هسته ای (۰/۵۵۵)
			سناریو تجدیدپذیر (۰/۳۴۱)
	فنی (۰/۳۳۷)	تنوع منابع و فناوری ها (۰/۲۸۳)	سناریو فسیلی (۰/۲۶۱)
			سناریو هسته ای (۰/۱۶۸)
			سناریو تجدیدپذیر (۰/۵۷۱)
		تناسب با زیرساخت های کشور (۰/۲۷۰)	سناریو فسیلی (۰/۵۵۳)
			سناریو هسته ای (۰/۱۱۹)
			سناریو تجدیدپذیر (۰/۳۲۸)
		میزان دسترسی و قابلیت اطمینان (۰/۴۴۷)	سناریو فسیلی (۰/۵۹۹)
			سناریو هسته ای (۰/۱۳۸)
			سناریو تجدیدپذیر (۰/۲۶۴)
	سیاسی (۰/۲۳۰)	اثرپذیری از مسائل سیاسی و غیرقابل کنترل (۰/۳۶۸)	سناریو فسیلی (۰/۴۴۰)
			سناریو هسته ای (۰/۱۸۷)
			سناریو تجدیدپذیر (۰/۳۷۳)
		عدم وابستگی به منابع و فناوری های خارجی (۰/۶۳۲)	سناریو فسیلی (۰/۶۵۶)
			سناریو هسته ای (۰/۱۲۳)
			سناریو تجدیدپذیر (۰/۲۲۱)
	اقتصادی (۰/۲۸۴)	هزینه (۱/۰)	سناریو فسیلی (۰/۶۳۶)
			سناریو هسته ای (۰/۱۲۵)
			سناریو تجدیدپذیر (۰/۲۳۹)

روش سلسله مراتبی قادر است میزان سازگاری مقایسات را با محاسبه شاخص سازگاری بیان نماید. در صورتی که این شاخص کمتر از ۰/۱ باشد مقایسات با هم سازگار می باشند[۱]. ضریب ناسازگاری کل در این مطالعه ۰/۰۲ به دست آمده است که گویای هماهنگی و سازگاری قابل قبولی در نظرات متخصصین می باشد.



نمودار ۵: رتبه بندی سناریوها توسط نرم افزار Expert Choice

تحلیل نتایج

با توجه به نظرات متخصصین، تداوم روند موجود تا ۲۰ سال آینده، نسبت به سناریوهای دیگر برای کشور مناسب تر می باشد. متناسب بودن منابع فسیلی با زیرساخت های کشور، دسترسی ساده و ارزان به این منابع، قابلیت تولید مطمئن، اثر پذیری کم از مسائل سیاسی و بومی شدن نسبی فناوری های فسیلی، معیارهایی هستند که سناریو فسیلی در آنها بیشترین امتیاز را کسب کرده است. سناریو تجدیدپذیر از نظر تنوع منابع مناسب ترین سناریو تشخیص داده شده ولی در سایر معیارها رتبه دوم را کسب کرده است. سناریو هسته ای نیز تنها از نظر انتشار دی اکسید کربن بهترین سناریو می باشد و از نظر سایر معیارها در اولویت آخر قرار دارد. از جمله مهمترین مشکلات پیش روی این سناریو، می توان به متنوع نبودن فناوری آن، عدم وجود زیرساخت های مناسب، متاثر بودن از مسائل سیاسی و عدم وجود ذخایر کافی در کشور اشاره نمود. البته این مساله به معنی حذف بهره برداری از چنین منبعی نمی باشد ولی در برنامه ریزی های بلند مدت، سهم آن برای تولید برق باید با دقت بیشتری بررسی گردد.

با مروری بر وزن معیارها به روشنی می توان دریافت از نظر متخصصین همچنان در ایران مسائل زیست محیطی کم اهمیت ترین مساله در تصمیم گیری ها و برنامه ریزی ها است. در طرف مقابل مسائل فنی و بعد از آن مسائل اقتصادی و کاهش هزینه، موثرترین عوامل تصمیم گیری هستند.

نتیجه گیری

در این مقاله سناریوهایی برای تولید برق در ایران طراحی و با روش AHP گروهی ارزیابی گردیدند. طبق این بررسی سناریو ادامه روند موجود (سناریو فسیلی) همچنان مناسب ترین سناریو برای آینده است و سناریوهای تجدیدپذیر و هسته ای در اولویت های بعدی می باشند.

در نظر گرفتن تجارب شخصی و درک شهودی تصمیم گیران، استفاده از معیارهای کیفی وکمّی در یک چارچوب و عدم درگیری تصمیم گیران با واحدهای اندازه گیری متفاوت، از مهمترین مزایای روش AHP است. اما در هنگام استفاده از این روش باید توجه داشت که نتایج این روش همواره تابع نظر یک گروه از متخصصین و همچنین وابسته به انتخاب معیارها می باشد. در این مطالعه برای رفع این دو نقیصه و افزایش اعتبار نتایج، اولاً جامعه متخصصینی که به آنها مراجعه شد، از تنوع مناسبی چه از لحاظ رشته تخصصی و چه از لحاظ حوزه فعالیت برخوردار بودند که باعث می گردد تا از زاویه ها و دیدگاه های مختلفی مساله بررسی شود. ثانیاً جمع آوری طیف وسیعی از معیارها و رویکرد بومی برای انتخاب معیارها، تا حدودی مشکل دوم را نیز مرتفع می نماید. ضریب سازگاری به دست آمده نیز بیانگر اعتبار مقایسات انجام شده می باشد.

برای ادامه کار می توان مدل سیستم انرژی را توسعه داده که شامل مراحل استخراج و فرآوری انرژی های اولیه نیز گردد و حجم مورد نیاز انرژی های اولیه برای تولید برق در هر سناریو و همچنین انتشار آلودگی در ضمن مراحل استخراج و تبدیل انرژی اولیه را محاسبه کرده تا ملزومات هر سناریو به طور دقیق تری مشخص گردد. همچنین با آینده پژوهی در روند های محتمل برای پیشرفت های فنی و اقتصادی و روند تغییرات هزینه ها و در نظر گرفتن مسائل نوظهور در صنعت برق مانند بازار برق، تولید پراکنده، تولید همزمان برق و گرما CHP، هدفمند سازی یارانه ها و واقعی شدن قیمت حامل های سوخت، اثر آنها را در نتایج سناریوها بررسی نمود.

در پایان باید به این مساله دقت نمود که تصمیم گیری در این مطالعه برای افق ۲۰ ساله و به کمک داده های فعلی انجام داده شده است. طبیعی است با مرور زمان و تغییر در شرایط می بایست این مطالعات پیوسته بروز رسانی شده تا بتوان برای رویارویی با آینده همواره آماده بود.

منابع

[۱] آذر، عادل، رجب زاده، علی، (۱۳۸۱)، تصمیم گیری کاربردی MADM، تهران، نشر دانش.

[۲] سلیمی بنی، آرمان، (۱۳۸۵)، پیش بینی نیاز مصرف شبکه سراسری تا سال ۱۳۹۵، شرکت مدیریت شبکه برق ایران، معاونت برنامه ریزی و نظارت بر امنیت شبکه، دفتربرنامه ریزی و نظارت بر توسعه شبکه.

[۳] آرمان صنعت برق (خرداد۱۳۸۴)، ویرایش دوم، شرکت مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران توانیر.

[۴] الزامات تحقق چشم‌انداز بیست‌ساله:

http://www.jamejamonline.ir/newstext.aspx?newsnum=100941725434

[۵] ترازنامه انرژی، (۱۳۸۷)، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو.

[۶] چشم انداز وزارت نیرو:

http://www.moe.org.ir/HomePage.aspx?TabID=10009&Site=douranportal&Lang=fa-IR

[۷] سیاستهای کلان انرژی کشور:

http://www.moe.org.ir/HomePage.aspx?TabID=6897&Site=douranportal&Lang=fa-IR

[۸] سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف:

http://www.dolat.ir/Nsite/FullStory/?Id=190708

[۹] قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران.

[۱۰] لایحه برنامه پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۸۸)، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، معاونت توسعه مدیریت، فناوری و پشتیبانی، مرکز داده ورزی و اطلاع رسانی.

[۱۱] متن سند نهایی چشم انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران.

[12] Andreas Kemmler, Daniel Spreng., (2007), Energy indicators for tracking sustainability in developing countries, Energy Policy, vol. 35, pp. 2466-2480.

[13] C. Rachmatullah, Lu Aye, R.J. Fuller., (2007), Scenario planning for the electricity generation in Indonesia, Energy Policy, vol. 35, pp. 2352-2359.

[14] Dalia Streimikiene, Remigijus Ciegis, Dainora Grundey., (2007), Energy indicators for sustainable development in Baltic States, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 11, pp. 877-893.

[15]Espen Loken., (2007), Use of Multi-Criteria Decision Analysis Methods for Energy Planning problems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 11, pp. 1584-1595.

[16] G. Heinrich, L. Basson, B. Cohen, M. Howells, J. Petrie., (2007), Ranking and Selection of Power Expansion Alternatives for Multiple Objectives under Uncertainty, Energy, vol. 32, pp. 2350-2369.

[17] Ilhan Talinli , Emel Topuz , Mehmet Uygar Akbay., (2010), Comparative Analysis for Energy Production Processes (EPPs): Sustainable Energy Futures for Turkey, Energy Policy, vol. 38, pp. 4479-4488.

[18] Jiang-Jiang Wang , You-Yin Jing, Chun-Fa Zhang, Guo-Hua Shi, Xu-Tao Zhang., (2008), A fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Model for Trigeneration System, Energy Policy, vol. 36, pp. 3823-3832.

[19] Jiang-Jiang Wang , You-Yin Jing, Chun-Fa Zhang, Jun-Hong Zhao., (2009), Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, pp. 2263-2278.

[20] K. Nigim, N. Munier, J. Green, (2004), Pre-feasibility MCDM Tools to Aid Communities in Prioritizing Local Viable Renewable Energy Sources," Renewable Energy vol. 29, pp. 1775–1791.

[21] Katharina Kowalski, Sigrid Stagl, Reinhard Madlener, Ines Omann., (2009), Sustainable Energy Futures: Methodological Challenges in Combining Scenarios and Participatory Multi-CriteriaAnalysis, European Journal of Operational Research vol. 197, pp. 1063–1074.

[22] Konstantinos D. Patlitzianas, Haris Doukas, Argyris G. Kagiannas, John Psarras., (2008), Sustainable Energy Policy Indicators: Review and Recommendations, Renewable Energy, vol. 33 pp. 966-973.

[23] Majid Behzadian , R.B. Kazemzadeh , A. Albadvi , M. Aghdasi., (2010), PROMETHEE: A Comprehensive Literature Review on Methodologies and Applications, European Journal of Operational Research, vol. 200, pp. 198-215.

[24] P. D. Lund., (2007), The Link between Political Decision-Making and Energy Options: Assessing future role of Renewable Energy and Energy Efficiency in Finland, Energy, vol. 32, pp. 2271-2281.

[25] P. Zhou, B.W. Ang, K.L. Poh., (2006), Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling: An update, Energy, vol. 31, pp. 2604-2622.

[26] Paul A. Steenhof, Whitman Fulton., (2007), Scenario Development in China's Electricity Sector," Technological Forecasting & Social Change vol. 74, pp. 779-797.

[27]Rebecca Ghanadan, Jonathan G. Koomey., (2005), Using Energy Scenarios to Explore Alternative Energy Pathways in California, Energy Policy, vol. 33, pp. 1117-1142.

[28] S.D. Pohekar , M. Ramachandran., (2004), Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning - a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 8, pp. 365-381.

[29] Tolga Kaya , Cengiz Kahraman., (2010), Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul, Energy, vol. 35, pp. 2517-2527.

[30] Thomas Buchholz, Ewald Rametsteiner, Timothy A.Volk, Valerie A.Luzadis., (2009), Multi Criteria Analysis for Bio Energy Systems Assessments, Energy Policy, vol. 37, pp. 484-495.

[31] Y.I. Topcu , F. Ulengin., (2004), Energy for the future: An Integrated Decision Aid for the Case of Turkey," Energy vol. 29 pp. 137–154.

[32] Yacob Mulugetta, Nathinee Mantajit, Tim Jackson., (2007), Power Sector Scenarios for Thailand: An exploratory analysis 2002–2022, Energy Policy, vol. 35, pp. 3256-3269.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی