فصل‌نامهٔ مطالعات اقتصاد انرژی/ سال پنجم / شمارهٔ ۱۸/ پاییز ۱۳۸۷/ صفحات ۱۶۰ - ۱۲۳

تعیین ترکیب بهینهٔ منابع انرژی ایران، با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

سمیه رحیمی

کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی دانشگاه صنعتی شریف
srahimi@nri.ac.ir

کوروش عشقی

استاد دانشکدهٔ مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف eshghi@ie.sharif.edu

تاریخ دریافت:۸۷/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش:۸۸/۶/۲

چکیده

امروزه به دلیل بحران های سیاسی، اقتصادی، محدودیت ذخایر فسیلی، نگرانی های زیست محیطی، رشد اقتصادی، ضریب مصرف و بسیاری از عوامل دیگر، آن دسته از منابع انرژی که تجدیدپذیر، پاکیزه و کم هزینه اند، ترجیح داده می‌شوند. متاسفانه هیچ یک از منابع انرژی به تنهایی نمی توانند همهٔ این خواسته‌ها را برآورده کنند و ما مجبوریم که از منابع مختلف انرژی استفاده کنیم، اما این‌که از کدام منبع، چگونه و به چه میزان استفاده کنیم، مسئله دشواری است. از این رو، مسئلهٔ تعیین ترکیب بهینهٔ منابع انرژی، یکی از مهم‌ترین مسائلی است که هر کشوری با آن مواجه است. مسائل مربوط به انرژی عموما" اهداف چندگانهٔ متضادی نظیر عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را دربرمی گیرند. به همین علت به روش‌هایی نیاز است که بتوانند این معیارهای درگیر با یکدیگر را هم زمان لحاظ کنند. فرآیند تحلیل شبکه‌ای یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که تعاملات و بازخوردهای میان معیارها و آلترناتیوها را به خوبی منعکس می‌کند. در این تحقیق از روش ANP برای تعیین سهم مناسب حامل‌های انرژی ایران استفاده و این نتایج، حاصل شده است که: گاز طبیعی بیش‌ترین اولویت و بنزین و انرژی خورشیدی کم‌ترین اولویت دارند، هم‌چنین سهم انرژی‌های تجدید پذیر در سیستم انرژی ایران باید افزایش یابد.

طبقه بندی JEL : A12,C44, D85,O21,Q42

کلید واژه: برنامه‌ریزی انرژی، تعیین سهم منابع انرژی، روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

انرژی به‌عنوان عاملی کلیدی در ایجاد توسعهٔ پایدار در جوامع مختلف محسوب می‌شود که در کشورهای فقیر به‌صورت سنتی و در کشورهای توسعه یافته‌تر به شکل انرژی‌های نوین و با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرد. توسعهٔ پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای نسل حاضر را بدون این‌که توانایی برآوردن نیازهای نسل‌های آینده را به مخاطره بیندازد، برآورده کند (کمیتهٔ جهانی توسعه و محیط زیست، ۱۹۸۷) (کوآدوس[1]، ۲۰۰۱). این نوع توسعه دارای سه بعد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است. نقش انرژی در توسعهٔ پایدار، فراهم کردن خدماتی است که ضمن رعایت این سه بعد، توسعه را ممکن می‌کند. در حال حاضر چالش سیاست انرژی، کاهش هزینه‌های زیست محیطی تولید و مصرف انرژی و در عین حال گسترش دست‌یابی به منابع انرژی اولیه و تأمین انرژی است.

جمهوری اسلامی ایران با توجه به دارا بودن مقادیر قابل توجهی از ذخایر نفت وگاز، یکی از صادرکنندگان انرژی اولیه در دنیا محسوب می‌شود. هر چند که در سه دههٔ اخیر، به‌دلیل فرآیند رو به رشد توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی، بهره‌گیری از منابع انرژی کشور جهت صادرات به دو علت اجتناب ناپذیر زیر کاهش یافته است: از یک سو، بهبود استانداردهای زندگی و پشتیبانی از طرح‌های تقویت تولید ناخالص داخلی (GDP)[2]، منجر به افزایش شدید تقاضای انرژی در بخش‌های داخلی شده است و از سوی دیگر، اقتصاد کشور به شدت به درآمدهای نفتی حاصل از صادرات وابسته است. بنابراین تحت چنین شرایطی، باید با دست‌یابی به سیاست انرژی بلندمدت و پایدار برای کشور روند کنونی بهره‌گیری از انرژی‌های پایان پذیر، تعدیل شود. علاوه بر این، ارزش واقعی سوخت‌های فسیلی بسیار فراتر از آن است که فقط آن‌ها را به‌دلیل ارزش حرارتی شان بسوزانیم و هم‌چنین به‌دلیل محدود بودن عمر این ذخایر، سهم نسل‌های آینده نیز باید در نظر گرفته شود، شاید آن‌ها راه حل های بهتری برای به‌کارگیری این گنج ها داشته باشند (قرشی[3]، ۲۰۰۷). البته هنوز افرادی هستند که سئوال می‌کنند که با توجه به ذخائر نفت و گاز ایران آیا باز هم ما به منابع انرژی دیگر نظیر انرژی‌های تجدید پذیر یا انرژی هسته‌ای نیاز داریم یا خیر؟ پاسخ صحیح به این سئوال مستلزم مطالعهٔ دقیق

1- Quaddus.
2 - Gross Domestic Product.
3- Ghorashi.

Archive of SID

www.SID.ir

علمی است. از این‌رو این موضوع تحت عنوان‌ترکیب منابع انرژی یا انرژی میکس، در مجامع علمی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. از لحاظ استراتژیک هیچ کشوری انرژی مورد نیازش را فقط از یک منبع تأمین نمی‌کند حتی اگر در آن کشور به فراوانی یافت شود. مثلا" اگر در کشوری منابع آبی زیاد است، به این سمت نمی‌رود که برق مورد نیازش را فقط از آب تأمین کند. اما این که چه سهمی به انرژی میکس اختصاص داده شود، نیاز به محاسباتی دارد که باید انجام شود. به همین علت و به‌دلیل اهمیتی که این موضوع برای کشوری چون ایران دارد در این تحقیق تلاش شده است که با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، به‌نام فرآیند تحلیل شبکه‌ای، سهم هریک از منابع انرژی ایران را تعیین شود.

در بخش ۲، مروری بر ادبیات موضوع خواهیم داشت، در بخش ۳، درباره فرآیند تحلیل شبکه‌ای توضیحاتی را به اختصار ارائه می‌کنیم. در بخش ۴، به مدل‌سازی مسئلهٔ تعیین ترکیب بهینهٔ منابع انرژی ایران با استفاده از روش ANP، می‌پردازیم. در بخش ۵، داده‌های مسئله به اختصار بیان می‌شوند. در بخش ۶، به اجرای مدل و ارایهٔ نتایج پرداخته می‌شود، در بخش ۷، تحلیل حساسیت موضوع و سرانجام در بخش ۸، نتیجهٔ تحقیق ارائه شده است.

۲- مروری بر مطالعات تجربی

مسئلهٔ تعیین ترکیب بهینهٔ منابع انرژی، از معیارهای متعددی نظیر عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست محیطی و ...، تأثیر می پذیرد و البته نتایج حاصل از این مسئله نیز بر معیارهای فوق اثرگذار است. بنابراین برای این‌که بتوانیم این مسئله را حل کنیم، به روش تصمیم‌گیری قدرتمندی نیاز داریم، که همهٔ معیارها و اثرات متقابل آن‌ها روی یکدیگر را در نظر بگیرد و به‌گونه‌ای صحیح آن‌ها را کنترل کند.

AHP[1] یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[2] است که کاربرد بسیار زیادی در حل مسائل برنامه‌ریزی داشته است. علت این امر آن است که می‌توان برای یک مسئلهٔ پیچیده، سلسله مراتبی ساده و انعطاف پذیر تشکیل داد و معیارهای کمّی و کیفی را با هم در مسئله به‌کار برد.AHP، از ساختار رده‌ای از بالا به پایین برخوردار است، که در

1 - Analytic Hierarchy Process.
2- Multi Criteria Decision Making (MCDM).

Archive of SID

www.SID.ir

آن عناصر سطوح بالایی از عناصر سطوح پایینی مستقلند، هم‌چنین عناصری که در یک سطح قرار دارند نیز از هم مستقل هستند (زو[1] ، ۲۰۰۶). روش فوق برای حل مسائل برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر (محسن[2]، ۱۹۹۷، چدید[3]، ۲۰۰۲ و الکارنی[4]، ۱۹۹۸)، ارزیابی و تخصیص منابع انرژی (هابز[5]، ۱۹۹۷ و راماناتان[6] ، a ۱۹۹۵ وb ۱۹۹۵)، برنامه‌ریزی حمل و نقل (یلدا[7] ، ۲۰۰۳ و پوه[8] ، ۱۹۹۹ و تی زنگ[9]، ۲۰۰۵)، تحلیل هزینه‌های زیست محیطی (هوآنگ[10]، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷) و بسیاری از موضوعات دیگر در انرژی، به کار رفته است.

روش ANP[11] ، که تعمیم AHP است، اولین بار توسط ساعتی در سال۱۹۹۷ میلادی مطرح شد. در مواردی‌که سطوح پایینی روی سطوح بالایی اثر گذارند و یا عناصری که در یک سطح قرار دارند مستقل از هم نیستند، دیگر نمی‌توان از روشAHP استفاده کرد. به همین دلیل، ساعتی، روشANP را مطرح کرد .ANP، شکل کلی‌تری از AHP است، اما به ساختار سلسله مراتبی آن نیاز ندارد و در نتیجه روابط پیچیده‌تر بین سطوح مختلف تصمیم را به‌صورت شبکه‌ای نمایش می دهد و تعاملات و بازخوردهای میان معیارها و آلترناتیوها را در نظر می‌گیرد. این روش نسبتاً جدید است، به همین دلیل ادبیات موضوع گسترده‌ای ندارد. اما کاربرد آن در زمینه‌های مختلف به سرعت در حال گسترش است.

اولین بار ساعتی وغلام نژاد[12](۱۹۸۲)، از روش AHP برای تعیین ترکیب مناسب منابع انرژی کشور آمریکا و اولویت بندی آن‌ها استفاده کردند. فاکتورهای مهمی که روی عرضه و تقاضای آینده انرژی در آمریکا اثرگذارند و در این مقاله در نظر گرفته شده‌اند شامل در دسترس بودن (موجود بودن) منابع انرژی، مواد و تکنولوژی‌های مورد نیاز برای تولید و بهره‌برداری از آن‌ها، اثرات اجتماعی، اثرات سلامتی، امنیت و زیست

1- Zhou.
2- Mohsen.
3- Chedid.
4- Elkarni.
5- Hobbs.
6- Ramanathan.
7- Yelda.
8- Poh.
9- Tzeng.
10- Huang.
11- Analytic Network Process(ANP) .
12- Saaty & Gholamnezhad.

Archive of SID

www.SID.ir

محیطی، امنیت ملی و هزینه‌ها هستند. آلترناتیوهای مسئله نیز شامل: زغال سنگ، انرژی هسته‌ای، نفت، گاز طبیعی، انرژی خورشیدی، منابع دیگر انرژی نظیر انرژی زمین گرمایی، سنگ‌های رستی نفتی و نفت‌های سنگین و حفاظت و صرفه‌جویی انرژی‌اند. با توجه به نتایج این تحقیق، نویسندگان پیشنهاد داده بودند که سهم هریک از منابع انرژی آمریکا در سال ۲۰۰۰ باید به‌گونهٔ زیر باشد تا با توجه به معیارهای مذکور بیش‌ترین بهره‌وری حاصل شود: زغال سنگ ۳۱٪، هسته‌ای ۹٪، خورشیدی ۳۰/۵٪، نفت ۸/۱٪، گاز طبیعی ۱۳/۵٪ و منابع دیگر ۷/۹٪.

پس از آن افراد مختلفی در زمینه‌های متعدد برنامه‌ریزی انرژی آن را به‌کاربردند. در سال ۲۰۰۵، اولوتاس[1]، از روش ANP جهت تعیین سیاست انرژی مناسب برای کشور ترکیه استفاده کرد. در این تحقیق، منافع، فرصت‌ها، هزینه‌ها و ریسک، به‌عنوان معیارهای کنترلی در نظر گرفته شده‌اند و برای هریک از آن‌ها شبکهٔ جداگانه‌ای طراحی شده است. خوشه‌ها و عناصری که برای هریک از شبکه‌ها در نظر گرفته شده، بدین شرح است:

شبکهٔ منافع: خوشهٔ فنی، عنصر فنی؛ خوشهٔ آموزشی، عنصر آموزش؛ خوشهٔ افراد و گروه‌های مرتبط، عنصر دانشگاه‌ها و انجمن‌ها. شبکهٔ فرصت‌ها: خوشهٔ افراد و گروه‌های مرتبط و عناصر آن عبارتند از شرکت‌های خصوصی، دولت و سازمان‌های تحقیقاتی. شبکهٔ هزینه‌ها: خوشهٔ هزینهٔ آماده سازی با عناصر هزینهٔ سرمایه‌گذاری و هزینهٔ ذخیره و نگهداری و خوشهٔ هزینهٔ اجرایی با عناصر هزینهٔ نهایی، هزینهٔ ریسک، هزینهٔ استفادهٔ ناصحیح و هزینهٔ انتقال. شبکهٔ ریسک: خوشهٔ شرکا با عناصر کشورهای دیگر، دولت، ملت و اتحادیه‌ها، خوشهٔ مالیات با عنصر مالیات، خوشهٔ مشخصات منبع انرژی با عناصر امنیت، در دسترس بودن، استفاده شایع و تجدیدپذیر بودن، خوشهٔ زیست محیطی با عناصر باران‌های اسیدی، تغییرات اقلیمی، اثرات گلخانه‌ای و فرسایش. نتایج نهایی مسئلهٔ سیاست‌گذاری انرژی ترکیه بدین شرح است: زیست توده ۱۹/۵٪، گازطبیعی ۶/۵٪، خورشیدی ۸/۱٪، برق‌آبی ۹/۸٪، زمین گرمایی ۱۴/۷٪، زغال سنگ ۱۴/۶٪، هسته‌ای ۶/۴٪، نفت ۷/۹٪ و بادی ۱۲/۵٪. لازم به ذکر است که در این تحقیق از فرمول جمعی برای ترکیب نتایج حاصل از شبکه‌های مختلف استفاده و وزن هریک از شبکه‌های BOCR، ۰.۲۵ فرض شده است.

1- Ulutas.

Archive of SID

www.SID.ir

کان و باک[1](۲۰۰۷)، با استفاده از روش ANP به ارزیابی سوخت‌های جایگزین نیروگاه‌های تولید برق ترکیه پرداختند. مشابه تحقیق قبلی، منافع، فرصت‌ها، هزینه‌ها و ریسک، به‌عنوان معیارهای کنترلی و اهمیت هر چهار شبکه نیز یکسان در نظر گرفته شد. شبکهٔ منافع شامل معیارهای زیست محیطی، تأمین انرژی و تکنولوژیکی است. شبکهٔ هزینه فقط دارای یک خوشهٔ هزینهٔ کل است. خوشه‌های شبکهٔ فرصت مشابه شبکهٔ منافع است و در نهایت شبکهٔ ریسک دارای خوشه‌های زیست محیطی، تأمین انرژی و خطرات جانی است. آلترناتیوهای مسئله نیز عبارتند از: گاز طبیعی، برق‌آبی، زغال سنگ، نفت، هسته‌ای، زیست توده، زمین گرمایی، بادی و خورشیدی. در این تحقیق وزن نهایی آلترناتیوها از فرمول جمعی معکوس و بر اساس دو سناریوی زیر، تعیین شده است:

سناریوی ۱: در این سناریو، اهمیت اثرات زیست محیطی سوخت‌ها بیش‌تر از معیار تأمین انرژی در نظر گرفته شده است.

سناریوی ۲: در این سناریو، وزن معیار تأمین انرژی بیش از اثرات زیست محیطی آن در نظر گرفته شده است.

در نهایت نتایج زیر به‌دست آمده است:

جدول ۱ - وزن نهایی آلترناتیوها با توجه به سناریوی ۱ و ۲ و مقایسهٔ آن‌ها با داده‌های واقعی سال ۲۰۰۵

آلترناتيو	سهم آلترناتيوها در سال ۲۰۰۵	سناريو ۱	سناريو ۲
گاز طبيعي	۳٦/۵۷	۱٤/۵	۱۳/۷٦
برق آبي	۳۳/۲۵	۲۱/۱٤	۲۲/۳۹
زغال سنگ	۲۳/٤۹	۱۳/۸۸	۲۱/۷٤
نفت	٦/۵۱	٤/٦۱	٤/۱
هسته‌اي	-	۱۰/۲۱	۹/۱٦
زيست توده	۰/۰۷	۱۱/۲۷	۸/٦۵
زمين گرمايي	۰/۰٦	۱۱/۲۷	۸/۲۸
بادي	۰/۰۵	۷/٦۸	۷/۲۵
خورشيدي	-	۵/٤٤	٤/٦۷

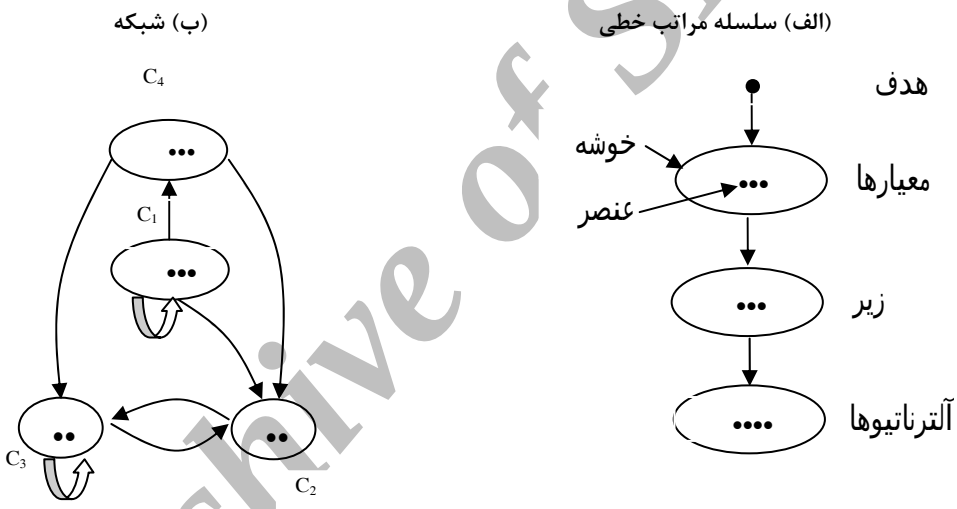
1- Kon & Buke.

Archive of SID

www.SID.ir

۳- فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

در روش AHP، وابستگی‌ها باید به‌صورت خطی، از بالا به پایین و یا بالعکس، باشد. چنان‌چه وابستگی دو طرفه بوده، یعنی وزن معیارها به وزن گزینه‌ها و وزن گزینه‌ها نیز به وزن معیارها وابسته باشد، مسئله از حالت سلسله مراتبی خارج شده و تشکیل یک شبکه یا سیستم غیرخطی یا سیستم با بازخور را می‌دهد، که در این‌صورت برای محاسبهٔ وزن عناصر نمی‌توان از قوانین و فرمول‌های سلسله مراتبی استفاده کرد. در این‌حالت برای محاسبهٔ وزن عناصر باید از تئوری شبکه‌ها استفاده کرد. شکل ۱، تفاوت بین سلسله مراتب و شبکه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تفاوت سلسله مراتب و شبکه

ساده‌ترین شبکه، از تعدادی خوشه به همراه عناصر درون آن‌ها ساخته می‌شود. در مواردی که عناصر یک خوشه روی همه یا برخی عناصر خوشهٔ دیگر اثر می‌گذارند (یا از آن‌ها اثر می‌پذیرند)، ارتباطی بین دو خوشه ایجاد می‌شود که آن را وابستگی بیرونی می‌نامیم. اگر عناصر یک خوشه روی برخی یا همهٔ عناصر خوشهٔ خودشان اثر گذار باشند، این ارتباط را وابستگی درونی می‌نامیم.

Archive of SID

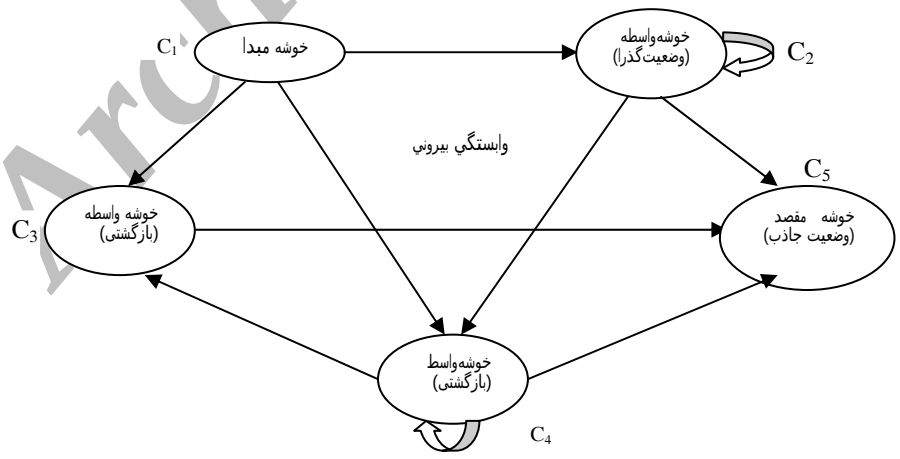
www.SID.ir

۳-۱- سوپرماتریس یک سیستم غیرخطی

فرض کنید سیستمی داریم که از N خوشه یا N جز تشکیل شده است و عناصری که در هر خوشه هستند، از همه یا برخی از عناصر خوشه‌های دیگر اثر می‌پذیرند و یا روی آن‌ها اثر می‌گذارند. البته این اثرپذیری یا اثرگذاری باید با توجه به ویژگی خاصی که تعاملات کل سیستم را کنترل می‌کند (معیارهای کنترل)، مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۲).

سه نوع خوشه در شکل ۲ نشان داده شده است: خوشهٔ مبدأ، مقصد و واسطه. در شکل فوق، C_1 بیانگر خوشهٔ مبدأ، C_5 بیانگر خوشهٔ مقصد و C_2، C_3 و C_4، خوشه های واسطه اند.

C_2 و C_4، دارای حلقه‌هایی هستند که آن‌ها را به خودشان مرتبط می‌کند. این حلقه‌ها بیانگر وابستگی درونی هستند. سایر ارتباطات (یال‌ها) بیانگر وابستگی بیرونی اند. فرض کنید خوشهٔ h که آن را با C_h ، $h=1,2,\ldots,N$، نمایش می‌دهیم، n_h عنصر داشته باشد که آن‌ها را با $e_{h1},e_{h2},\ldots,e_{hn}$ نشان می دهیم. تأثیرات مجموعه‌ای از عناصر یک خوشه روی سایر عناصر سیستم، از طریق بردار اولویت نشان داده می‌شود، که بردار اولویت فوق همان بردار ویژهٔ مربوط به ماتریس مقایسات زوجی متداول در AHP است. نحوه به‌دست آوردن بردارهای اولویت فوق وگروه بندی و سازماندهی آن‌ها در یک ماتریس خاص که آن را سوپرماتریس می‌نامیم، انجام می‌گیرد. سوپرماتریس برای نمایش جریان تأثیر از یک خوشه به خوشه‌های دیگر (با توجه به ارتباطات بیرونی) و یا به عناصر درون خودش (با توجه به ارتباطات درونی) به‌کار می‌رود.



شکل ۲ - انواع خوشه‌ها در شبکه

Archive of SID

www.SID.ir

تأثیر مجموعه‌ای از عناصر شبکه روی سایر عناصر را، در سوپرماتریسی به صورت شکل ۳ می‌توان نمایش داد. درایهٔ W_{ij} در سوپرماتریس را بلوک می‌نامیم. بلوک W_{ij} نیز در شکل ۳ نمایش داده شده است.

هر ستون بلوک W_{ij} بردار ویژهٔ اصلی تأثیر (اهمیت) عناصر خوشهٔ i ام شبکه با توجه به هر یک از عناصر خوشهٔ j ام است. البته اگر عنصری از خوشهٔ j، روی عناصر خوشهٔ i اثر گذار نباشد، ستون مربوطه در بلوک فوق صفر خواهد بود. تعاملات درون سیستم ممکن است با توجه به معیارهای متعددی سنجیده و بررسی شوند، که باید برای نمایش معیارهای فوق از ساختار سلسله مراتبی جداگانه‌ای استفاده کنیم. برای هر یک از معیارهای کنترل، سوپر ماتریس جداگانه‌ای تشکیل می‌شود و با توجه به معیار فوق، روابط و تأثیرات بین خوشه‌ها سنجیده می‌شوند (ساعتی ۱۹۹۶).

$$\overbrace{e_{21}e_{22}\cdots e_{2n_2}}^{C_2}\ \overbrace{e_{11}e_{12}\cdots e_{1n_1}}^{C_1}\ \cdots\ \overbrace{e_{N1}e_{N2}\cdots e_{Nn_N}}^{C_N}$$

$$W=\begin{array}{c} C_1\{e_{11},e_{12},\vdots,e_{1n_1} \\ C_2\{e_{21},e_{22},\vdots,e_{2n_2} \\ \vdots \\ C_N\{e_{N1},e_{N2},\vdots,e_{Nn_N}\end{array}\begin{pmatrix} W_{1N} & \cdots & W_{12} & W_{11} \\ W_{2N} & & \cdots\ W_{22} & W_{21} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \cdots & W_{NN} & W_{N2} & W_{N1}\end{pmatrix}$$

$$W_{ij}=\begin{bmatrix} W_{i_1}^{(j_1)} & W_{i_1}^{(j_2)} & \cdots & W_{i_1}^{(j_{n_j})} \\ W_{i_2}^{(j_1)} & W_{i_2}^{(j_2)} & \cdots & W_{i_2}^{(j_{n_j})} \\ \vdots & & & \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \cdots & W_{in_i}^{(j_{n_j})}\end{bmatrix}$$

شکل ۳ - سوپرماتریس یک شبکه با N خوشه و بلوک‌های سازندهٔ آن‌ها

۳-۲- تبدیل سوپرماتریس به ماتریس حدی

در بخش قبل دربارهٔ سوپرماتریس و نحوهٔ به‌دست آوردن آن صحبت کردیم. از سوپر ماتریس برای محاسبهٔ اولویت حدی تأثیرات استفاده می‌کنیم. اما قبل از محاسبهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

ماتریس حدی، ابتدا باید سوپر ماتریس را به ماتریس تصادفی تبدیل کنیم. در ماتریس تصادفی یا ماتریس ستونی تصادفی، مجموع درایه‌های هر ستون ماتریس برابر با یک است.

حال سوالی که در این‌جا مطرح می‌شود، این است که "چگونه یک سوپر ماتریس را به ماتریسی تصادفی تبدیل کنیم؟". اولویت یک عنصر خاص در خوشهٔ مربوطه‌اش، بیانگر اولویت آن در مجموعهٔ کل خوشه‌ها نیست. دلیل این امر نیز واضح است، زیرا هر خوشه دارای عنصری با بالاترین اولویت است و در نتیجه همهٔ این عناصر نمی‌توانند در سیستم دارای بالاترین رتبه باشند. بنابراین باید تأثیرات خوشه‌ها روی یکدیگر نیز با توجه به معیارهای کنترلی بررسی و خوشه‌ها با یکدیگر مقایسه شوند. در این مرحله، با توجه به هر معیار کنترل، تأثیرات هر خوشه روی خوشه‌های دیگر بررسی و در نتیجه برای هر خوشه یک ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می‌شود، سپس بردار ویژهٔ اصلی آن محاسبه می‌شود و این بردارهای ویژه، ستون‌های ماتریس وزن خوشه‌ها را به شکل زیر می‌سازند:

$$\begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_N \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & & C_N \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{N1} & w_{N2} & \cdots & w_{NN} \end{bmatrix} \end{array}$$

حال از ماتریس فوق برای وزن دهی به بلوک‌های سوپر ماتریس استفاده می‌شود. مثلاً w_{ij} که وزن خوشهٔ i نسبت به خوشهٔ j است، در تمامی درایه‌های بلوک W_{ij} از سوپر ماتریس، ضرب می‌شود. به این ترتیب تمامی بلوک‌های سوپرماتریس وزن دهی می‌شوند. نتیجهٔ حاصل را سوپرماتریس وزن‌دار می‌نامیم، که البته ماتریس حاصل، تصادفی نیز هست. با استفاده از ماتریس تصادفی به‌دست آمده، می‌توان ماتریس حدی را محاسبه کرد و اولویت‌های نهایی هر گزینه را به‌دست آورد.

برای محاسبهٔ سوپر ماتریس حدی، کافی است سوپر ماتریس تصادفی را به توان بی‌نهایت (یا عدد خیلی بزرگی) رساند. علت این امر، این است که ما می‌خواهیم تمامی تأثیرات را در امتداد همهٔ مسیرهای سوپر ماتریس در نظر بگیریم. درایه‌های سوپر ماتریس وزن‌دار (تصادفی)، بیانگر تأثیر مستقیم هر عنصر روی سایر عناصر سیستم‌اند.

Archive of SID

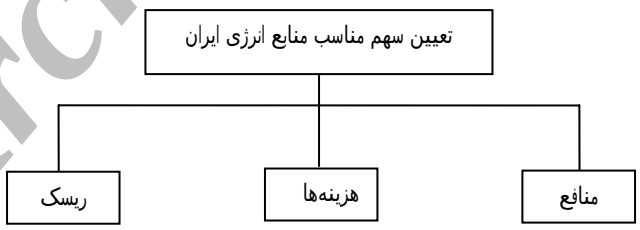
www.SID.ir

اما یک عنصر می‌تواند به‌طور غیرمستقیم روی عنصر دوم اثرگذار باشد، مثلاً ممکن است عنصر اول روی عنصر سوم و سپس آن عنصر روی عنصر دوم اثرگذار باشد و البته ممکن است تعداد زیادی از این عناصر سوم وجود داشته باشند، در نتیجه باید تمامی آن‌ها در نظر گرفته شوند. با محاسبهٔ ماتریس حدی، وزن نهایی تمامی معیارها و آلترناتیوها با توجه به هر معیار کنترلی تعیین می‌شود. بنابراین به تعداد معیارهای کنترلی، ماتریس حدی وجود دارد، حال با توجه به ساختار سلسله مراتبی ای که برای معیارهای کنترلی در نظر گرفته بودیم، وزن نهایی آلترناتیوها تعیین می‌شود (ساعتی ۲۰۰۴، *ANP* تک شبکه‌ای و *ANP* چند شبکه‌ای).

۴- مدل *ANP* پیشنهادی برای تعیین ترکیب بهینهٔ منابع انرژی ایران

در این قسمت، به تشریح مدل *ANP* پیشنهادی که برای حل مسئلهٔ تعیین ترکیب بهینهٔ منابع انرژی ایران به‌کار رفته می‌پردازیم. در بخش اول، سلسله مراتب کنترل و در بخش دوم، شبکهٔ تأثیرات میان معیارها و آلترناتیوها نشان داده می‌شوند. در مسئلهٔ مطرح شده، این شبکه از سه زیر شبکهٔ منافع، هزینه‌ها و ریسک تشکیل می‌شود. جنبه‌های مطلوب و قطعی مسئله منافعی هستند که نصیب کشور می‌شوند. جنبه‌های نامطلوب و قطعی، هزینه‌هایی هستند که دولت و یا مردم باید بپردازند و ریسک جنبه‌های نامطلوب و احتمالی، مرتبط با مسئله است.

سلسله مراتب کنترل که اولین بخش مدل را تشکیل می‌دهد، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- سلسله مراتب کنترل

بخش دوم از سه زیر شبکهٔ منافع، هزینه‌ها و ریسک تشکیل می‌شود. در هریک از سه زیر شبکهٔ فوق، ارتباطات میان معیارها و آلترناتیوها و اثرات متقابل آن‌ها بررسی

Archive of SID

www.SID.ir

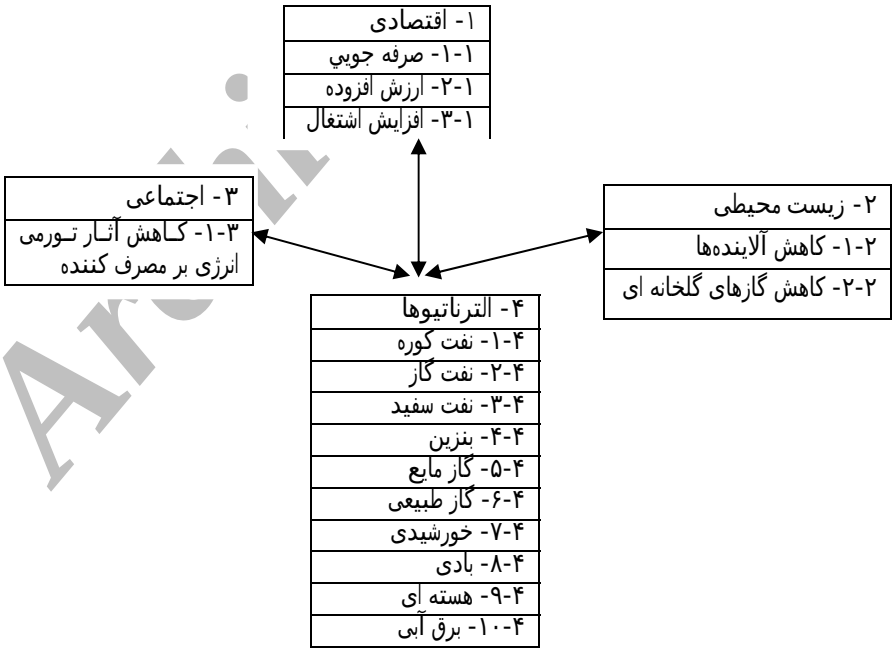
می‌شود. این سه زیر شبکه در شکل ۵، ۶ و۷ نمایش داده می‌شوند. حال به معرفی هر یک از پارامترهای مطرح شده در شبکه‌ها می‌پردازیم.

۴-۱- هدف : تعیین سهم بهینهٔ حامل‌های انرژی

در سطح اول، سلسله مراتب کنترل، هدف مسئله قرار می‌گیرد.کشور ایران به‌دلایل مختلفی از جمله غنی بودن منابع مختلف انرژی، استقرار در منطقهٔ ویژهٔ ژئوپولیتیکی، اتخاذ سیاست‌های فرهنگی و استقلال طلبانه و تأثیرگذار در سیاست‌های جهانی و وابستگی زیاد آن‌ها به درآمدهای نفتی، نمی‌تواند بدون یک برنامهٔ مدون انرژی به توسعهٔ خود همت گمارد، بنابراین، در راستای نیل به توسعهٔ پایدار، باید برنامهٔ دقیقی در زمینهٔ میزان استفاده از هر یک از منابع و حامل‌های مختلف انرژی داشته باشد.

۴-۲- منافع

هر استراتژی‌ای که از جنبهٔ اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی سود و منفعتی نصیب کشور کند، جز منافع مسئلهٔ تصمیم‌گیری مورد نظر ماست.



شکل ۵ - شبکهٔ منافع

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲-۱- منافع اقتصادی

منابع انرژی، به‌عنوان محور مرکزی بعد اقتصادی توسعهٔ پایدار مطرح اند و نقش آن‌ها به عنوان موتور محرکهٔ اقتصاد جهانی قابل توجه است. این منابع انرژی هستند که وجود آن‌ها برای تبدیل کالا و مواد خام و اولیه به محصولات و فرآورده‌های کاربردی و مفید نهایی کاملاً ضروری است و از این نظر نقش آن‌ها به عنوان نیروی محرکهٔ اقتصاد جوامع در حال توسعه و نیز توسعه یافته کاملاً قابل درک و بررسی است. بنابراین، وجود رابطه‌ای مستقیم بین میزان رشد یافتگی اقتصادی کشورها و وجود منابع انرژی در آن کشورها، دور از انتظار نخواهد بود (نیکویی، ۱۳۸۵). در این قسمت منافع اقتصادی حاصل از یک برنامه‌ریزی انرژی خوب را بیان می‌کنیم:

- **صرفه‌جویی**

اگر یک حامل انرژی را که دارای ارزش بین‌المللی بالایی است و به میزان زیادی در کشورمان مصرف می‌شود را صادر کنیم و به‌جای آن حامل انرژی دیگری را جایگزین کنیم که از ارزش بین‌المللی کم‌تری برخوردار است، در این صورت به اختلاف ارزش حامل جایگزین و جایگزین شده، صرفه‌جویی گفته می‌شود. در این‌جا با این دید به مسئله نگاه کردیم که اگر هر یک از حامل‌های انرژی جانشین فرآورده‌های نفتی شوند، چه مقدار صرفه‌جویی حاصل می‌شود.

- **ارزش افزوده**

یکی از روش‌های مقایسهٔ حامل‌های انرژی مختلف، قیاس از طریق ارزش افزوده است.

- **افزایش اشتغال**

یکی از شاخه‌های توسعهٔ پایدار در هر کشور، میزان اشتغال افراد آن جامعه است. هر چقدر درصد اشتغال افراد در کشور بیش‌تر باشد، میزان فقر در آن جامعه کم‌تر است و در نتیجه، کشور مورد نظر از سطح توسعه یافتگی بالاتری برخوردار است.

۴-۲-۲- منافع زیست محیطی

از همان نخستین روزهای پیدایش علم مهندسی محیط زیست، استفاده بیش از حد از منابع انرژی فسیلی، به عنوان یک نگرانی جدی همواره مطرح و از سوی بزرگان این علم در بسیاری از کشورها مورد اعتراض جدی واقع شده است هم‌چنین اصطلاح انرژی

Archive of SID

www.SID.ir

پایدار به آن دسته انرژی‌هایی اطلاق شده است، که کم‌ترین تأثیر را بـر محـیط زیسـت دارند.

بسیاری از این دیدگاه به انرژی ناشی از سوخت‌های فسیلی می‌نگریستند که استفاده و مصرف روز افزون این دست انرژی‌ها، اثرات تخریبی بسیار شدیدی بـر محـیط زیسـت دارد. امروزه این دیدگاه تا حد زیادی تعدیل شده است. با این وجود، هم‌چنـان نیـاز بـه دست‌یابی به انرژی‌های نوین که تأثیرات کم‌تری در محیط زیست باقی گذارند، به شدت احساس می‌شود و یک دغدغهٔ جهانی است (نیکویی, ۱۳۸۵).

بنابراین باید در تصمیم‌گیری مورد نظر, سهم حامل‌های مختلف انـرژی بـه گونـه‌ای تعیین شود که از دیدگاه زیست محیطی کم‌ترین آسیب را به کشـور وارد کنـد. در ایـن تحقیق، کاهش آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای، به عنوان منافع زیست محیطی حاصـل از این مسئله در نظر گرفته شده اند.

• *کاهش آلاینده ها*

انواع متفاوتی از آلاینده‌های هوا وجود دارند کـه اثـرات مضـری بـر سـلامت انسـان، گیاهـان و جـانوران داشـته و محـیط زیسـت طبیعـی را تحـت تـأثیر قـرار مـی‌دهنـد. آلاینده‌هـایی کـه سـبب بـروز مشـکلات مـی‌شـوند عبارتنـد از: دود ناشـی از احتـراق، آلاینده‌های مضر از قبیل SOx و ذرات معلق مانند غبار، هیدروکربن‌های تولید شـده در اثر احتراق نفت، مواد مضر نشر یافته از فرآیندهای شیمیایی متفاوت، فلزات سنگین بـه همراه فلزات پالایش شده و بوهای نامطبوع متصاعد شده از فرآیندهای متفاوت (ترازنامهٔ انرژی, ۱۳۸۳). بنابراین باید سهم حامل‌های مختلف انرژی به گونه‌ای تعیـین شـود کـه میزان تولید آلاینده‌ها به حداقل مقدار خود برسد.

• *کاهش گازهای گلخانه‌ای*

تغییرات جهانی آب و هوا که در اثر تجمع بی‌رویـهٔ گازهـای گلخانـه‌ای ایجـاد شـده است، مهم‌ترین مسألهٔ زیست محیطی در رابطه با بخـش انـرژی اسـت. در حـال حاضـر گازهایی نظیر دی اکسید کـربن (Co_2)، متـان (CH_4)، بخـار آب، دی نیتـروژن اکسـید (N_2O)، ازن (O_3) و کلروفلوئورو کربن‌ها (CFCS)، در ردهٔ گازهای گلخانه‌ای طبقه‌بنـدی شده‌اند. دی اکسید کربن، مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای حاصل از به‌کارگیری انـرژی اسـت در حالی‌که متـان و کلروفلوئـوروکربن‌هـای انتشـار یافتـه از فعالیـت‌هـای بشـر، کـم‌تـر بـا به‌کارگیری انرژی مرتبطند. مونوکسـید کـربن (CO) و اکسـیدهای نیتـروژن (NOX) از

Archive of SID

www.SID.ir

پیش ماده‌های تشکیل ازن هستند و CO نیز بر روی غلظت متان در اتمسفر تأثیر می‌گذارد، بنابراین در زمرهٔ گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌آیند (ترازنامهٔ انرژی، ۱۳۸۳). در برنامه‌ریزی انرژی‌ای که انجام می‌گیرد، باید کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اهداف تصمیم‌گیرندگان گنجانده شود.

۴-۲-۳- منافع اجتماعی

هنگامی که محقق بخواهد ارتباط بین منابع انرژی و بعد اجتماعی توسعهٔ پایدار را نیز در معادلات توسعهٔ پایدار در نظر بگیرد، مسئله به مراتب پیچیده‌تر خواهد شد. این مسئلهٔ به ویژه زمانی که نقش انرژی در برآوردن نیازهای اساسی انسانی مدنظر قرار می‌گیرد، پررنگ‌تر می‌شود. نقش انرژی در تهیهٔ خوراک، آب آشامیدنی، انجام مراقبت‌های بهداشتی و بسیاری از نیازهای اولیهٔ انسانی می‌تواند مدنظر قرار گیرد. مسئلهٔ فقر انرژی در این منظر، به فقر در بهداشت و سطح نامطلوب زندگی اجتماعی و فردی خواهد انجامید، حداقل تغییر در شاخص قیمت مصرف کننده، تنها عنصر خوشهٔ اجتماعی در نظر گرفته شده است.

- **حداقل تغییر در شاخص قیمت مصرف کننده**

بخشی از هزینه‌های هر خانواده در سال، هزینه‌هایی است که بابت تأمین انرژی مورد نیاز خود می‌پردازند. بنابراین سیاستی که دولت برای تنظیم قیمت‌ها در نظر می‌گیرد، بر هزینه‌های خانوار و سطح رفاه اجتماعی آنان اثر گذار است. افزایش قیمت حامل‌های انرژی به دو شکل، سبب افزایش شاخص قیمت مصرف کننده خواهد شد:

- حامل‌های انرژی بخشی از سبد مصرف خانوار را تشکیل می‌دهند، بنابراین افزایش قیمت حامل‌های انرژی در این حالت، سبب افزایش تورم به‌صورت مستقیم می‌شود (اثر تورمی مستقیم انرژی).
- افزایش قیمت حامل‌های انرژی سبب افزایش هزینه‌های تولید و در نتیجه افزایش قیمت محصولات بخش‌های تولیدی می‌شود. با توجه به این‌که بخش دیگری از سبد مصرف خانوار در برگیرندهٔ محصولات تولیدی بخش‌های غیرانرژی است، لذا افزایش قیمت این محصولات نیز سبب تورم می‌شود (اثر تورمی غیرمستقیم انرژی) (ترازنامهٔ انرژی,۱۳۸۳).

Archive of SID

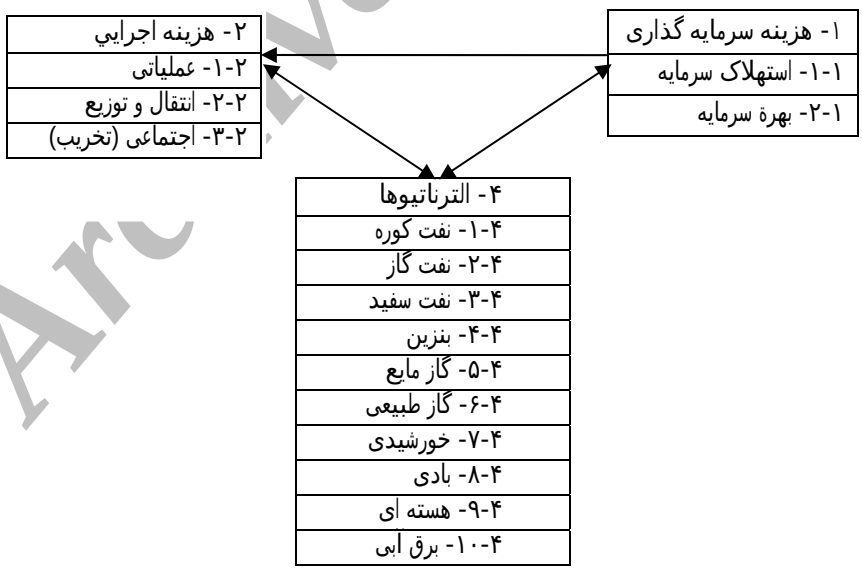
www.SID.ir

بنابراین در برنامه‌ریزی انرژی‌ای که انجام می‌گیرد، باید هدف دولت و نهادهای اثرگذار بر بخش انرژی، کاهش هزینه‌های خانوار (در بخش انرژی) و ارتقای سطح رفاهی جامعه باشد.

۴-۳- هزینه‌ها

هر هزینه‌ای که کشور (شامل دولت، شرکت‌های خصوصی سرمایه‌گذار، تمامی سازمان‌ها و شرکت‌های مرتبط با بخش انرژی و مردم) برای بهره‌برداری و استفادهٔ مناسب از منابع انرژی می‌پردازد، در این شبکه قرار می‌گیرد. هزینه‌هایی که در بخش انرژی صرف می‌شوند بسیار متنوع و گسترده هستند، لذا در نظر گرفتن همهٔ آن‌ها، در قالب این پروژه نمی‌گنجد و بنابراین مهم‌ترین آن‌ها، یعنی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های اجرایی را در نظر گرفته‌ایم.

هزینه، فاکتوری با جنبه منفی است، به‌همین دلیل در همه فرمول‌هایی که نتایج نهایی چهار شبکه (منافع، هزینه‌ها، فرصت‌ها و ریسک) را با هم ترکیب می‌کنند، هزینه یا به‌صورت ضریب منفی و یا به شکل معکوس وارد رابطه می‌شود. شبکهٔ هزینه در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶ - شبکه هزینه‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۳-۱- هزینهٔ سرمایه‌گذاری

هزینهٔ سرمایه‌گذاری به آن بخش از هزینه‌هایی اتلاق می‌شود که از زمان ایجاد تا اجرا و حصول بهره‌برداری تجاری مصرف می‌شود. از آن‌جا که عمر ایجاد تا حصول بهره‌برداری از یک نیروگاه، به مدت بیش از یک‌سال نیاز خواهد داشت، لذا ارزش سرمایه‌گذاری انجام شده در سال‌های مختلف با توجه به نرخ بهره و تورم و هزینهٔ صرف شده در سال اجرا، متفاوت است.

- **هزینهٔ استهلاک سرمایه**

هر سرمایه‌ای باید از محل درآمدهای پروژه در طی مدت زمان عمر مجموعه، سرمایهٔ آن مستهلک شود. استهلاک سرمایه به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد. عملی‌ترین راه برای استهلاک سرمایه، فروش محصول تولیدی در طی دورهٔ عمر سرمایه‌گذاری به‌صورت یکنواخت بوده و آن را استهلاک خطی یکنواخت می‌نامند.

- **بهرهٔ سرمایه**

هر سرمایه‌گذاری با هدف کسب سود منطقی انجام می‌شود. با توجه به محصول تولیدی، سود سرمایه‌گذاری متناسب با نرخ عرضهٔ کالا متفاوت خواهد بود. چنان‌چه عرضه و تقاضا از تناسب منطقی برخوردار باشند، سود سرمایه نرخ متوسطی خواهدداشت. چنان‌چه زمینهٔ تولید، کم و تقاضا افزون بر عرضه باشد، نرخ سود حاصل از سرمایه‌گذاری افزایش خواهد یافت، به‌عبارت دیگر، نرخ سود سرمایه‌گذاری با روابط عرضه و تقاضا تعیین می‌شود.

۴-۳-۲- هزینهٔ اجرایی

در این تحقیق همهٔ هزینه‌هایی که از زمان بهره‌برداری به بعد به پروژه تحمیل می‌شود را جز هزینه‌های اجرایی در نظر گرفته‌ایم. هزینهٔ اجرایی شامل هزینهٔ عملیاتی، هزینهٔ انتقال و توزیع و هزینهٔ اجتماعی است.

- **هزینهٔ عملیاتی**

هزینهٔ عملیاتی شامل هزینه‌ای نظیر خوراک (که بیش‌تر در پالایشگاه‌ها مطرح است)، نیروی انسانی، سوخت، یونیلیتی (آب، برق، بخار و...) تعمیرات و قطعات تعویضی، کاتالیست، مواد شیمیایی، بیمه، بهرهٔ پول، مالیات، عوارض و ... است (مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی،۱۳۷۴).

Archive of SID

www.SID.ir

• ***هزینهٔ انتقال و توزیع***

مهم‌ترین عوامل در نقل و انتقال حامل‌های انرژی، از جمله گاز طبیعی، نفت خام و فرآورده‌های مشتق نفت خام، هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری، مخازن و انبارها در مبدأ و مقصد، خط لوله از محل تولید تا محل مصرف، تلمبه ها، کمپرسورها و ساختمان‌های مربوط در مسیر خط لوله است. به این هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های مربوط به عملیات تأسیسات یاد شده باید اضافه شود. در مورد فرآورده‌هایی که با تانکر، سیلندر و مخزن تحت فشار از محل تولید به محل مصرف و یا برای مصرف‌کننده برده می‌شوند، هزینه‌های انتقال، پرکردن تانکر، سیلندر و یا مخزن، در محل تولید و انتقال آن‌ها با وسایل نقلیهٔ جاده‌ای یا راه آهن به محل مصرف یا توزیع را دربرمی‌گیرد. برای حامل‌های انرژی نظیر خورشیدی، بادی، هسته‌ای و برق آبی، هزینهٔ انتقال, شامل هزینهٔ سرمایه‌گذاری و عملیاتی خطوط انتقال برق است. (مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۷۴).

• ***هزینهٔ اجتماعی***

منظور از هزینه‌های اجتماعی در این بخش، هزینه‌های تخریب است. هزینه‌ای که به علت اثرات زیست محیطی مستقیم (مانند انتشار آلاینده ها)، نظیر تخریب اکوسیستم‌ها، آسیب به ساختارها (اعم از ساختمان‌ها، پل‌ها و ...) و اثرات بهداشتی در افراد ایجاد می‌شود، هزینهٔ تخریب نامیده می‌شود. به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده را جبران کند، هزینهٔ تخریب یا هزینه‌های خارجی گفته می‌شود (ترازنامهٔ انرژی,۱۳۸۳).

۴-۴- ریسک

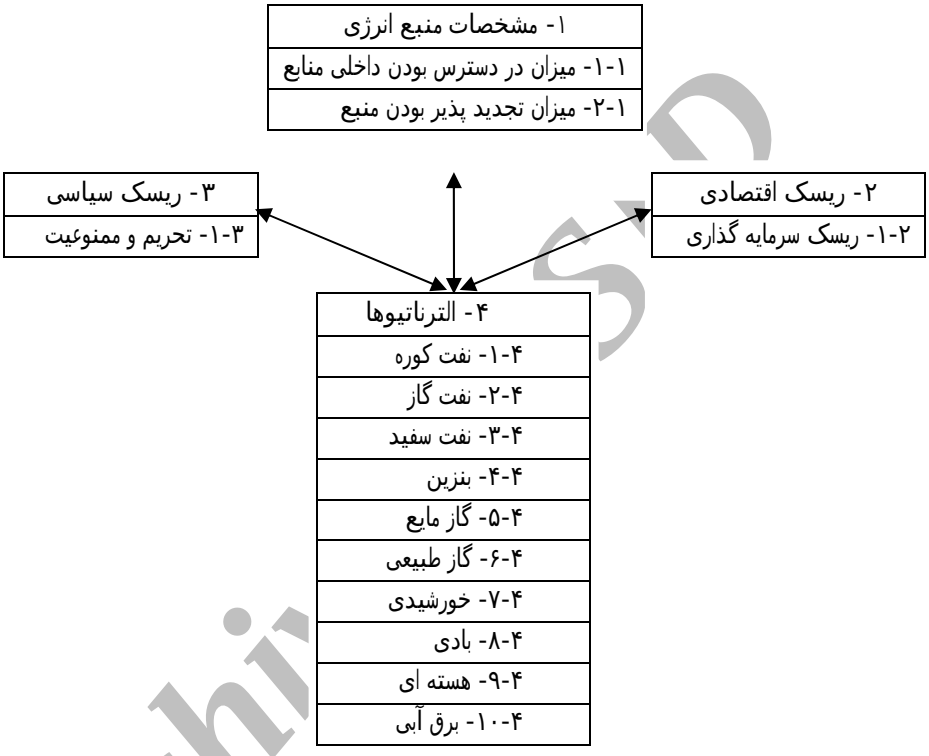
تردید (عدم قطعیت) دربارهٔ یک موقعیت، می‌تواند بر ریسک (بیم) دلالت کند که احتمال ضرر و زیان، خسارت و آسیب و یا هر واقعهٔ نامطلوب دیگر است. اصولاً ریسک به موقعیت‌هایی اشاره می‌کند که پیشامدها (آن‌چه به وقوع خواهد پیوست) با قطعیت شناخته شده اند و اطلاعات احتمالی خوبی دربارهٔ آن‌ها وجود دارد (مغوئی نژاد، ۱۳۸۰).

در مسئلهٔ مورد نظر ما، ریسک هر ضرر و زیان احتمالی است که در صورت تخصیص نامناسب منابع انرژی و سیاست گذاری غلط، به کشور تحمیل می‌شود. ریسک نیز مانند

Archive of SID

www.SID.ir

هزینه، فاکتوری با جنبه منفی است، بهمین دلیل در همهٔ فرمول‌هایی که نتایج نهایی شبکه‌ها را با هم ترکیب می‌کنند، ریسک یا به‌صورت ضریب منفی و یا به شکل معکوس، وارد رابطه می‌شود. شبکهٔ ریسک در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷ - شبکه ریسک

۴-۴-۱- مشخصات منبع انرژی

زمانی که بحث جایگزینی منابع انرژی مطرح می‌گردد، مشخصات منبع نظیر میزان در دسترس بودنش در داخل کشور، درجهٔ تجدید پذیر بودن، امنیت و استفاده شایع و گسترده از آن و مواردی از این دست، مورد توجه قرار می‌گیرند. زیرا حاملی که جایگزین منبع مورد استفاده کنونی می‌گردد باید از لحاظ مشخصات مطرح شده (یا حداقل از لحاظ برخی از مشخصات فوق) برتر از حامل جایگزین شونده باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

• ***میزان در دسترس بودن داخلی منابع***

هر چقدر منبعی در داخل کشور بیش‌تر موجود باشد و تکنولوژی‌های بهره‌برداری از آن نیز بیش‌تر در داخل کشور تولید شوند، ریسک تأمین تقاضا با توجه به منبع مورد نظر کم‌تر است. البته بررسی جنبه فوق از لحاظ فنی و تکنولوژیکی تا حدی پیچیده است و مستقیماً در مسئله لحاظ نشده، اما به‌طور غیرمستقیم اثر تکنولوژی را روی موجود بودن منابع در نظر گرفتیم.

• ***میزان تجدید پذیر بودن منبع***

مشکلی که در حال حاضر برای منابع انرژی تجدید پذیر وجود دارد اینست که هزینهٔ تولید انرژی توسط آن‌ها در مقایسه با انرژی‌های فسیلی نسبتا" بالاتر است و یا ممکن است تکنولوژی آن در برخی از کشورها موجود نباشد. در صورت حل مشکلات فوق، به‌دلیل وجود همیشگی این منابع ریسک تأمین تقاضا کاهش می‌یابد.

۴-۴-۲- ریسک اقتصادی

• **ریسک سرمایه‌گذاری**

هم اکنون نگرانی قابل ملاحظه‌ای در مورد توانایی بسیاری از کشورها در یافتن منابع سرمایه‌ای به منظور تأمین کل نیازهای مالی توسعهٔ خود در دهه‌های آتی وجود دارد. این مشکل به ویژه در کشورهای در حال توسعهٔ شدیدتر است. بخش خصوصی باید نقش به مراتب بزرگ‌تری را در تأمین مالی توسعهٔ انرژی به عهده گیرد و تا حد امکان باید منابع سرمایه‌ای خصوصی به وجود آمده و توسعه پیدا کنند (امان آبادی، ۱۳۸۵).

۴-۴-۳- ریسک سیاسی

• ***تحریم و ممنوعیت***

گاهی اوقات انرژی می‌تواند به عنوان وسیله‌ای برای تحریم کشورها به‌کار رود. مثل وضعیتی که امروزه در جهان برای انرژی هسته‌ای به‌وجود آمده است.

۵- تبیین داده های مدل

در بخش قبل مسئله تعیین سهم بهینهٔ حامل‌های انرژی با استفاده از روش ANP مدل‌سازی شد. حال در این بخش با توجه به روابطی که میان عناصر و در نتیجه خوشه‌های متناظرشان وجود دارد، داده‌های مسئله را بیان می‌کنیم. البته به‌دلیل حجم

Archive of SID

www.SID.ir

بالای اطلاعات و جداول در این قسمت فقط به ذکر داده های برخی از جداول شبکهٔ منافع اکتفا می‌کنیم تا خواننده با نحوه کار و ارتباطاتی که در ANP برقرار است بیش‌تر آشنا شود. البته یکی از وجوه تمایز این تحقیق با سایر مدل‌هایANP در این مطلب است که در اکثر روش‌های AHP و ANP از نظر تصمیم‌گیرنده (یا افراد خبره) برای مقایسه عناصر و خوشه‌ها استفاده می‌شود. یعنی با توجه به یک عنصر (یا خوشه) خاص سایر عناصر طبق نظر افراد خبره (و با تخصیص مقیاس بنیادین ساعتی) به‌طور زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. ولی در این تحقیق سعی کرده‌ایم برای انطباق هر چه بیش‌تر این نتایج با نتایج واقعی، از آمار و اطلاعات موجود استفاده کنیم. سپس به دلیل هم واحد نبودن این اطلاعات باید با استفاده از تبدیلات ممکن، مقیاس واحدی برای داده‌های یک جدول به دست آید و در نهایت نتایج نرمال شوند. نرم افزار Super Decisions برای حل مسایل ANP به‌کار می‌رود و گزینه‌ای در آن تعبیه شده که می‌توان داده‌های نرمال شده را از طریق آن وارد نرم افزار کرد.

۵-۱- داده های شبکه منافع

با توجه به شکل ۵ همه خوشه‌ها روی خوشهٔ آلترناتیوها اثرگذارند، زیرا می‌توان از جنبهٔ اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آلترناتیوها را با یکدیگر مقایسه کرد.

۵-۱-۱- تأثیر خوشهٔ اقتصادی روی خوشهٔ آلترناتیوها

آلترناتیوها را می‌توان با توجه به میزان صرفه‌جویی، ارزش افزوده و میزان اشتغال با یکدیگر مقایسه کرد. بنابراین همه عناصر خوشهٔ اقتصادی و در نتیجه خود خوشهٔ اقتصادی روی آلترناتیوها اثرگذارند.

- مقایسه آلترناتیوها با توجه به میزان صرفه‌جویی حاصل از جایگزینی حامل ها

نکته مهمی که باید در این‌جا متذکرشویم اینست که در محاسبات مربوطه فقط جایگزینی حامل انرژی مورد نظر با فرآورده‌های نفتی (نفت کوره، نفت گاز، نفت سفید، بنزین و گاز مایع) درنظر گرفته شده است و جایگزینی همه حامل‌ها با یکدیگر به دلیل عدم وجود اطلاعات میسر نشده است. داده‌های جدول ۲ بیانگر میزان صرفه‌جویی حاصل از جایگزینی هر یک از حامل‌های انرژی با فرآورده‌های نفتی می‌باشد.

به حامل‌هایی که جایگزینی آن‌ها از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست، عدد صفر را تخصیص می‌دهیم و به حامل‌هایی که اصولاً قابلیت جایگزینی ندارند عدد منفی بزرگی

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت می‌دهیم. سپس همه اعداد را با منفی‌ترین عدد جمع و بر بزرگ‌ترین عدد جدول تقسیم می‌کنیم و در نهایت همه اعداد را نرمال می‌کنیم. نتایج نرمال شده در جدول ۲ نشان داده شده اند.

با توجه به نتایج جدول ۲ انرژی برق آبی بیش‌ترین پتانسیل صرفه‌جویی را دارد. معیار پتانسیل صرفه‌جویی شاخصی مثبت است، زیرا هر چه میزان صرفه‌جویی بیش‌تر باشد حامل مورد نظر منبع انرژی مطلوب‌تری است.

جدول ۲ - صرفه‌جویی حاصل از جایگزینی حامل‌ها با فرآورده های نفتی و نتایج نرمال شده (مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی،۱۳۷۴)

حامل انرژی	پتانسيل صرفه‌جويي سالانه (ميليون دلار)	*Normal*
استفاده از نفت کوره به جاي ساير فرآورده‌هاي نفتي	به صرفه نيست	۰/۱۰۷
استفاده از نفت گاز به جاي ساير فرآورده‌هاي نفتي	به صرفه نيست	۰/۱۰۷
استفاده از نفت سفيد به جاي ساير فرآورده‌هاي نفتي[1]	نمي تواند جايگزين شود	۰
استفاده از بنزين به جاي ساير فرآورده‌هاي نفتي[2]	نمي تواند جايگزين شود	۰
استفاده از گاز مايع به جاي ساير فرآورده‌هاي نفتي	۱۵۴/۷۲	۰/۱۱۶
استفاده از گاز طبيعي به جاي فرآورده‌هاي نفتي	۴۰۷/۷۸	۰/۱۳۱
استفاده از انرژي خورشيدي به جاي فرآورده‌هاي نفتي	۹/۶۵	۰/۱۰۸
استفاده از انرژي بادي به جاي فرآورده‌هاي نفتي	۸/۰۴	۰/۱۰۸
استفاده از انرژي هسته‌اي به جاي فرآورده‌هاي نفتي	به صرفه نيست	۰/۱۰۷
استفاده از انرژي آبي به جاي فرآورده‌هاي نفتي	۱۸۲۹	۰/۲۱۵

- ***مقایسهٔ آلترناتیوها با توجه به ارزش افزودهٔ حامل‌های انرژی***

در این تحقیق ارزش افزودهٔ حامل‌ها، با توجه به قیمت‌های بین‌المللی و هزینه‌های داخلی، توسط نگارندگان محاسبه شده است. هم‌چنین به دلیل متفاوت بودن واحدها (بشکه برای فرآورده‌های نفتی، مترمکعب برای گاز طبیعی و کیلووات ساعت برای برق)،

۱- نفت سفید به طور عادی نمی تواند جایگزین سایر حامل‌های انرژی شود، بنابراین صرفه جویی حاصل از آن منتفی است.

۲- بنزین به علت ماهیت خاص خود نمی تواند جانشین سایر فرآورده‌ها شود. بنابراین صرفه جویی حاصل از آن منتفی است.

Archive of SID

www.SID.ir

ضروری است که برای قابل قیاس شدن، همهٔ واحدها یکسان شوند، از این رو حامل‌های انرژی را بر حسب ارزش حرارتی شان (یک گیگاژول[۱]) با هم مقایسه می‌کنیم.

در جدول ۳، قیمت بین‌المللی فرآورده‌های نفتی درسال ۲۰۰۶، بر اساس قیمت‌های فوب سنگاپور و در جدول ۴، میانگین هزینهٔ پالایش و ساخت فرآورده‌های نفتی در پالایشگاه‌های ایران نشان داده شده است.

جدول ۳- قیمت فوب فرآورده‌های نفتی در سال ۲۰۰۶ (EIA,2006)

فرآوردهٔ نفتي/ قیمت	سنت بر گالن
نفت کوره	۱۲۷/۰۹
نفت گاز	۱۸۲/۸۸
نفت سفید	۱۹۱/۷۳
بنزین	۱۷۴/۹۷
گاز مایع	۱۲۰

جدول ۴- میانگین هزینهٔ پالایش و ساخت فرآورده های نفتی در پالایشگاه‌های ایران (سایت آفتاب)

فرآوردهٔ نفتي/ قیمت	ریال/ لیتر
نفت کوره	۱۶۰
نفت گاز	۱۶۰
نفت سفید	۱۳۰
بنزین	۴۰۰
گاز مایع	۴۰

ارزش افزودهٔ یک گیگاژول از حامل‌های انرژی و نتایج نرمال شده را در جدول ۵ نمایش داده‌ایم. معیار ارزش افزوده شاخصی مثبت است، زیرا هر چه ارزش افزوده بیش‌تر باشد، حامل موردنظر منبع انرژی مطلوب‌تری است.

۳- یک گیگاژول معادل $۱۰^۹$ ژول می باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵ - ارزش افزودهٔ یک گیگاژول از حامل‌های انرژی

حامل انرژی/ ارزش افزوده	دلار بر گیگاژول	*Normal*
نفت کوره	۰/۳۹	۰/۱۰۹
نفت گاز	۰/۸	۰/۱۳۵
نفت سفید	۰/۹۷	۰/۱۴۶
بنزین	۰/۰۷	۰/۰۹
گاز مایع	۱	۰/۱۴۸
گاز طبیعي	۰/۱۹	۰/۰۹۶
انرژي خورشیدي	-۱/۳	۰
انرژي بادي	-۰/۳۸	۰/۰۶
انرژي هسته‌اي	-۰/۰۶	۰/۰۹
انرژي برق آبي	۰/۸	۰/۱۲۶

۵-۱-۲- *تأثیر خوشهٔ زیست محیطی روی خوشهٔ آلترناتیوها*

گزینه‌ها را می‌توان با توجه به سهمی که در انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای دارند، با یکدیگر مقایسه کرد، بنابراین همهٔ عناصر خوشهٔ زیست محیطی روی آلترناتیوها اثرگذارند.

- ***مقایسهٔ آلترناتیوها با توجه به میزان انتشار آلاینده‌ها***

هر چقدر منبعی آلایندگی کم‌تری داشته باشد، حامل انرژی مطلوب تری خواهد بود. بنابراین میزان آلایندگی، شاخصی منفی است و چون در شبکهٔ منافع قرار گرفته است باید به شاخصی مثبت تبدیل شود. برای تبدیل شاخص منفی به شاخص مثبت، پس از مرحله‌ای که همهٔ عناصر جدول را به بزرگ‌ترین عدد تقسیم کردیم، تفاضل همهٔ اعداد از عدد یک را محاسبه می‌کنیم. در جدول ۶، میزان آلایندگی یک تن از هر یک از منابع انرژی و نتایج نرمال شده ملاحظه می شود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶ - میزان آلایندگی یک تن از هر یک از حامل‌های انرژی (تن) (ترازنامهٔ انرژی، ۱۳۸۳ [البته پس از انجام محاسبات انجام گرفته])

حامل انرژي	SO_2	SO_3	CH	SPM	میزان کلی آلاینده‌ها (تن)	تبدیل به شاخص مثبت	NORMAL
نفت کوره	۰/۰۱۶۷	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۸۴۸	۰/۷۹۲	۰/۰۹۶
نفت گاز	۰/۰۱۸۹	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰۵	۰/۰۴۶۶۲	۰/۴۷۶	۰/۰۵۸
نفت سفید	۰/۰۰۳	۰	۰	۰	۰/۰۰۳	۰/۹۶۶	۰/۱۱۷
بنزین	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۸۵۱	۰/۰۰۱۸	۰/۰۸۸۹	۰	۰
گاز مایع	۰	۰	۰/۰۰۰۴	۰	۰/۰۰۰۴	۰/۹۹۶	۰/۱۲۱
گاز طبیعي	۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹۷	۰/۱۲۱
انرژي خورشیدي	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۲۲
انرژي بادي	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۲۲
انرژي هسته‌اي	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۲۲
انرژي برق آبي	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۲۲

- ***مقایسهٔ آلترناتیوها با توجه به میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای***

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز همانند آلایندگی، شاخصی منفی است و به‌دلیل قرار گرفتن در شبکهٔ منافع، باید به شاخصی مثبت تبدیل شود. در جدول ۷، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای یک تن از هر یک از منابع انرژی و نتایج نرمال شده ارائه شده است.

جدول ۷- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای یک تن از هر یک از حامل‌های انرژی (تن) و نتایج نرمال شده (ترازنامهٔ انرژی،۱۳۸۳)

حامل انرژي	NO_x	CO_2	CO	*میزان کلي گازهاي گلخانه‌اي (تن)*	*تبدیل به شاخص مثبت*	Normal
نفت کوره	۰/۰۰۸۴	۳/۱۷۱	۰	۳/۱۷۹۴	۰/۱۲۴	۰/۰۲۴
نفت گاز	۰/۰۲۲۷	۳/۰۴۳	۰/۰۰۵۶	۳/۰۷۱۳	۰/۱۵۳	۰/۰۲۹
نفت سفید	۰/۰۰۰۶	۲/۹۹۶۲	۰/۰۰۰۹۷	۲/۹۹۷۷۷	۰/۱۷۴	۰/۰۳۳
بنزین	۰/۰۱۸۲	۳/۱۳۷	۰/۴۷۲۶	۳/۶۲۷۸	۰	۰
گاز مایع	۰/۰۰۰۷	۲/۵۴۸	۰/۰۰۵۷	۲/۵۵۴۴	۰/۲۹۶	۰/۰۵۷
گاز طبیعي	۰/۰۰۲۴	۱/۹۰۸	۰/۰۰۰۱۲	۱/۹۱۰۵۲	۰/۴۷۳	۰/۰۹۱
خورشیدي	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۹۲
بادي	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۹۲
هسته‌اي	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۹۲
برق آبي	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۱۹۲

Archive of SID

www.SID.ir

۶- نتایج حاصل از اجرای مدل ANP

برای اجرای مدل از نرم افـزار Super Decisions V.1.6 اسـتفاده شـده اسـت. ایـن نرم‌افزار برای حل مسایل ANP (البتـه بـرای حـل مسـایل AHP نیـز) بـه‌کـار مـی‌رود. کافیست ماتریس‌های مقایسات زوجـی مسـئله را بـه نـرم افـزار، وارد و نتـایج نهـایی را دریافت کنید. اما در مواردی که به‌جای استفاده از ماتریس مقایسات زوجی از داده های واقعی استفاده می‌شود، گزینه‌ای به‌نام Direct Data Entry، بـرای وارد کـردن مسـتقیم داده‌ها به نرم افزار فوق وجود دارد. نتایج نرمال شده، جداولی که مشـابه جـداول بخـش قبل به‌دست آمده اند، با استفاده از گزینهٔ فوق وارد نرم افزار می‌شوند. برای هـر یـک از شبکه‌های C,B و R، اطلاعات وارد نرم افزار می‌شود و نتیجهٔ جداگانه‌ای نیـز بـرای هـر یک به دست می‌آید. سپس با انتخاب یکی از فرمول‌های جمعی یا ضربی، نتایج حاصـل از شبکه‌های متعدد با یکدیگر ترکیب و جواب نهایی حاصل می شود. در جـواب نهـایی، گزینه‌ها هم رتبه بندی می‌شوند و هم وزن شان تعیین می‌شـود. سـپس بـا اسـتفاده از تحلیل حساسیت، مسئله با دقت بیش‌تری تحلیل و آنالیز می‌شود.

تحلیل ANP که در ادامهٔ این بخش انجام می‌گیرد، شامل ۳ گام اساسی زیر است:

۱- در بیش‌تر مسایل به‌ویژه در مسئلهٔ موردنظر ما، مطمئناً وزن شبکه‌هـای منـافع، هزینه‌ها و ریسک (BCR) با یکدیگر برابر نیست. به همین علت از معیارهایی به‌نام معیار اسـتراتژیک بـرای وزن دهـی بـه C,B وR اسـتفاده مـی‌شـود. معیارهـای اسـتراتژیک، معیارهای بنیادینی هستند که افراد یا گروه‌ها در بیش‌تر مسایل تصمیم‌گیـری آن‌هـا را به‌کار می‌برند. معیارهای فوق و اولویت بندی آن‌ها به مسـئلهٔ خاصـی وابسـته نیسـت و فقط به هدف مسئله و ترجیحات افراد یا گروه‌های تصـمیم‌گیرنـده بسـتگی دارد. البتـه تشخیص معیارهای استراتژیک و رتبه بندی آن‌ها باید با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده (یـا تصمیم‌گیرندگان) انجام گیرد، بنابراین در این تحقیق از این معیارهـا صـرف نظـر شـده است. اما باید وزن شبکه‌های BCR به گونه‌ای تعیین شود. در این تحقیق با دو رویکـرد متفاوت که در گام سوم بیان می‌شوند، به تحلیل نتایج می‌پردازیم.

۲- در این گام وزن حـدی معیارهـا و آلترناتیوهـا در هـر یـک از سـه شـبکهٔ BCR محاسبه می‌شود. در جدول ۸، وزن نهایی (حدی) معیارها در هر یک از شبکه‌هـای C,B و R، ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸- وزن نهایی معیارها در B، C و R

شبکه	خوشه (معیار)	عنصر (زیر معیار)	وزن حدی	وزن نرمال شده با توجه به هر خوشه
منافع	اقتصادی	صرفه‌جویی	۰/۰۷۷	۰/۳۰۷
		افزایش ارزش افزوده	۰/۰۹۱	۰/۳۶۴
		افزایش اشتغال	۰/۰۸۲	۰/۳۲۹
	زیست محیطی	کاهش آلاینده ها	۰/۰۸۷	۰/۵
		کاهش گازهای گلخانه‌ای	۰/۰۸۷	۰/۵
	اجتماعی	کاهش آثار تورمی انرژی بر مصرف‌کننده	۰/۰۷۵	۱
هزینه	سرمایه‌گذاری	استهلاک سرمایه	۰/۱۳۴	۰/۵
		بهرهٔ سرمایه	۰/۱۳۴	۰/۵
	اجرایی	عملیاتی	۰/۱۰۶	۰/۴۲۸
		انتقال و توزیع	۰/۰۷۸	۰/۳۱۳
		اجتماعی (تخریب)	۰/۰۶۴	۰/۲۶
ریسک	مشخصات منبع انرژی	میزان در دسترس بودن داخلی	۰/۱۳۸	۰/۵۵
		درجهٔ تجدید پذیری	۰/۱۱۲	۰/۴۵
	اقتصادی	ریسک سرمایه‌گذاری	۰/۲	۱
	سیاسی	تحریم و ممنوعیت	۰/۰۵	۱

۳- در گام سوم باید نتایج نسبی حاصل از هر یک از شبکه‌ها با هم ترکیب و اولویت نهایی آلترناتیوها تعیین شود. برای ترکیب نتایج شبکه‌ها از دو رویکرد متفاوت ضربی و جمعی (فرمول باقیمانده احتمالات) استفاده می‌کنیم. در بخش ۶-۱، به تحلیل نتایج با استفاده از فرمول ضربی و در بخش ۶-۲، به تحلیل نتایج با استفاده از فرمول جمعی می‌پردازیم.

۶-۱- تحلیل نتایج با استفاده از فرمول ضربی $(\frac{B}{C.R})$

رویکرد اولی که برای تحلیل نتایج در نظر می‌گیریم، استفاده از فرمول ضربی است. اگر از فرمول فوق برای ترکیب نتایج حاصل از شبکه‌های BCR استفاده کنیم، نیازی به

Archive of SID

www.SID.ir

وزن‌های c,b وr که از طریق معیارهای استراتژیک تعیین می‌شوند، نداریم، اگر وزن‌های b، c و r را در فرمول ضربی $\frac{B}{C.R}$ به‌کار بریم، هیچ تأثیری در نتایج نخواهد داشت، زیرا با انجام این کار وزن همهٔ آلترناتیوها در عدد ثابتی ضرب می‌شود و تغییری در نتیجهٔ نهایی حاصل نمی‌شود. بنابراین وزن نهایی آلترناتیوها نسبت به وزن شبکه‌های BCR حساس نیست. در نتیجه اگر از رویکرد ضربی استفاده کنیم، نیازی به تحلیل حساسیت (البته با توجه به معیارهای کنترلی منافع، هزینه و ریسک)، نداریم.

در شرایطی که تصمیم‌گیرنده اهمیت خاصی برای وزن شبکه‌های C,B و R قائل نیست (یعنی از فرمول ضربی استفاده می‌کند)، تصمیم‌گیری می‌تواند در سه حالت مختلف اتفاق بیفتد:

۱- تصمیم‌گیری در شرایط استاندارد $(\frac{B}{C})$: در این حالت فقط شبکهٔ منافع و هزینه در تصمیم‌گیری اثر گذارند و تصمیم‌گیرنده، شرایط توام با ریسک را در نظر نمی‌گیرد.

۲- تصمیم‌گیری بدبینانه $(\frac{B}{C.R})$: در این حالت سه شبکهٔ منافع، هزینه و ریسک در تصمیم‌گیری اثر گذارند.

۳- تصمیم‌گیری واقع بینانه $(\frac{B.O}{C.R})$: در این حالت تصمیم‌گیرنده همهٔ جوانب قطعی و احتمالی با نتایج مثبت و منفی را در نظر می‌گیرد. اما چون در این تحقیق شبکهٔ فرصت‌ها (به‌دلیل وابستگی به نظرات خبره) را در نظر نگرفتیم، نمی‌توانیم تصمیم‌گیری واقع بینانه‌ای داشته باشیم.

در جدول ۹، وزن آلترناتیوها در سه شبکهٔ R،C،B و نتایج نهایی حاصل از ترکیب آن‌ها در شرایط استاندارد و بدبینانه ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول ۹ ملاحظه می‌کنید، اگر تصمیم‌گیرنده بدبینانه به مسئله نگاه و ریسک را هم وارد مسئله کند (بدون این‌که فرصت‌های پیش رو را در نظر بگیرد)، در این حالت وزن فرآورده‌های نفتی در مقایسه با شرایط استاندارد به میزان زیادی کاهش می‌یابد و علت این امر نوسانات زیاد قیمت آن‌ها در بازار جهانی و هم‌چنین تجدیدناپذیر بودن آن‌هاست. البته نکتهٔ مهمی که باید در این‌جا به آن اشاره شود این است که قیمت فرآورده‌های نفتی و گاز براساس قیمت‌های جهانی است، ولی قیمت برق

Archive of SID

www.SID.ir

(برای منابع خورشیدی، بادی، هسته‌ای و برق آبی) با توجه به شرایط خاصی که در ایران وجود دارد و کاملا" دولتی است، در نظر گرفته شده است. شاید اگر بازار برق ایران نیز همانند بسیاری از کشورهای دیگر به بازاری رقابتی تبدیل و قیمت برق با توجه به عرضه و تقاضا تعیین شود، نتایج مدل ما را به میزان زیادی تغییر دهد.

نتیجهٔ مهمی که از حل مسئله برداشت می‌شود، این است که با توجه به شرایط کنونی ایران (و با توجه به داده‌های ورودی مسئله که بیش‌تر آن‌ها متعلق به سال ۱۳۸۳ هستند)، حتی در بدبینانه‌ترین حالت نیز باید سهم هر یک از منابع انرژی در جهت تأمین تقاضا به شرح زیر باشد:

نفت ۳۹/۷ درصد، گاز طبیعی ۳۱/۳ درصد، خورشیدی ۴/۷ درصد، بادی ۷/۸ درصد، هسته‌ای ۴/۸ درصد، برق آبی ۱۱/۳ درصد. در حالی‌که در سال ۱۳۸۳ سهم هر یک از منابع انرژی در عرضهٔ انرژی اولیه به شرح زیر بوده است:

نفت ۷۱/۶ درصد، گاز طبیعی ۲۷/۲۶ درصد، زغال سنگ ۰/۲۸ درصد، سوخت‌های غیر تجاری (زیست توده) ۰/۰۷ درصد، خورشیدی و بادی بسیار ناچیز، هسته‌ای صفر و برق آبی ۰/۷۸ درصد.

جدول ۹ - تعیین وزن و اولویت نهایی آلترناتیوها در سلسله مراتب کنترل BCR با استفاده از فرمول ضربی

منبع انرژی	منافع (B)	هزینهٔ (C)	ریسک (R)	استاندارد (B/C)		بدبینانه (B/C.R)	
				وزن	رتبه	وزن	رتبه
نفت کوره	۰/۱۰۲	۰/۰۷۲	۰/۰۶۸	۰/۱۳	۴	۰/۱۴۳	۲
نفت گاز	۰/۱	۰/۰۸۷	۰/۱۳۷	۰/۱۰۶	۵	۰/۰۵۸	۷
نفت سفید	۰/۰۹۸	۰/۰۶۵	۰/۰۹۹	۰/۱۳۸	۳	۰/۱	۴
بنزین	۰/۰۳۱	۰/۰۸۷	۰/۲۰۷	۰/۰۳۳	۱۰	۰/۰۱۲	۱۰
گاز مایع	۰/۱۱۷	۰/۰۷۷	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۲	۰/۰۸۴	۵
گاز طبیعی	۰/۱۶	۰/۰۹۱	۰/۰۳۹	۰/۱۶۲	۱	۰/۳۱۳	۱
خورشیدی	۰/۰۷۳	۰/۱۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۴۱	۹	۰/۰۴۷	۹
بادی	۰/۰۸۴	۰/۱۲۵	۰/۰۵۹	۰/۰۶۱	۸	۰/۰۷۸	۶
هسته‌ای	۰/۱۱۹	۰/۱۲۸	۰/۱۳۳	۰/۰۸۵	۷	۰/۰۴۸	۸
برق آبی	۰/۱۱۷	۰/۱۰۲	۰/۰۷	۰/۱۰۵	۶	۰/۱۱۳	۳

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسهٔ نتایج حاصل از مدل، با آمار و ارقام واقعی بیانگر این مطلب است که اگرچه منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند سهمی هرچند اندک در تأمین تقاضای انرژی داشته باشند، ولی در ایران با اقبال مواجه نشده اند.

۶-۲- تحلیل نتایج با استفاده از فرمول جمعی باقی‌ماندهٔ احتمالات

رویکرد دومی که برای تحلیل نتایج در نظر می‌گیریم، استفاده از فرمول جمعی باقی ماندهٔ احتمالات $bB+c(1-C)+r(1-R)$ است. در صورتی می‌توان از فرمول فوق استفاده کرد که یا وزن شبکه‌های BCR با استفاده از معیارهای استراتژیک, تعیین شده باشد و یا تصمیم‌گیرنده وزن خاصی را به آن‌ها تخصیص دهد. رویکردی که در این قسمت در نظر گرفتیم، این است که در ابتدا وزن هر سه شبکه را یکسان در نظر می‌گیریم و سپس با استفاده از تحلیل حساسیت، اولویت و وزن‌های نهایی آلترناتیوها را با توجه به وزن‌های مختلف BCR، به‌دست می‌آوریم.

قبلاً در جدول ۸، وزن نهایی معیارها در BCR و در جدول ۹، وزن نهایی آلترناتیوها در هر یک از شبکه‌ها مطرح شد. حال در این قسمت با استفاده از فرمول جمعی و با تخصیص وزن یکسان به شبکه‌های C،B و R $(b=c=r=۰/۳۳)$، نتایج حاصل از این سه شبکه با هم ترکیب می‌شوند (جدول ۱۰) .

همان طور که در جداول ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، در هر دو حالت، چه زمانی که از فرمول ضربی و چه زمانی‌که از فرمول جمعی، برای ترکیب نتایج استفاده کردیم رتبهٔ یکسانی برای آلترناتیوها به‌دست آمد، اگرچه وزن‌های به‌دست آمده متفاوتند. در این‌حالت سهم هر یک از منابع انرژی در جهت تأمین تقاضا به شرح زیر است:

نفت ۴۸ درصد، گاز طبیعی ۱۴/۷ درصد، خورشیدی ۷/۴ درصد، بادی ۹/۶ درصد، هسته‌ای ۸/۶ درصد و برق آبی ۱۱/۶ درصد.

با توجه به جدول ۱۱، نتایج حاصل از فرمول ضربی در مورد گاز طبیعی و خورشیدی و بادی و هسته‌ای به آمار واقعی نزدیک تر و در مورد نفت از واقعیت دورتر است، در حالی که در فرمول جمعی نتیجه معکوس است.

همان‌طور که قبلاً بیان شد، در این بخش ابتدا با فرض یکسان بودن وزن هر سه شبکهٔ C,B و R، وزن نهایی آلترناتیوها را به‌دست آوردیم. حال می‌خواهیم حساسیت آلترناتیوها را نسبت به وزن معیارهای سلسله مراتب کنترل بسنجیم، تا تصمیم‌گیرنده با

Archive of SID

www.SID.ir

توجه به وزنی که به سه شبکه تخصیص می‌دهد، بتواند وزن نهایی آلترناتیوها را محاسبه و براساس آن تصمیم مناسب را اتخاذ کند.

جدول ۱۰- تعیین وزن و اولویت نهایی آلترناتیوها در سلسله مراتب کنترل BCR ، با استفاده از فرمول جمعی

منبع انرژي	$bB+ c(1-C) +r (1-R)$ $b = c= r = 0.33$	
	وزن	رتبه
نفت کوره	۰/۱۲۲	۲
نفت گاز	۰/۰۹۴	۷
نفت سفید	۰/۱۱۳	۴
بنزین	۰/۰۴۳	۱۰
گاز مایع	۰/۱۰۸	۵
گاز طبیعي	۰/۱۴۷	۱
خورشیدي	۰/۰۷۴	۹
بادي	۰/۰۹۶	۶
هسته‌اي	۰/۰۸۶	۸
برق آبي	۰/۱۱۶	۳

جدول ۱۱- تعیین سهم منابع انرژی با استفاده از دو روش ضربی و جمعی و مقایسه با آمار واقعی

منبع انرژي	$\frac{B}{C.R}$ (درصد)	$bB+ c(1-C) +r (1-R)$ $b = c= r = 0.33$ درصد	سهم منبع در عرضهٔ انرژي اولیه سال ۱۳۸۳ (آمار واقعي) (درصد)
نفت کوره	۱۴/۳	۱۲/۲	مجموعاً ۷۱/۶
نفت گاز	۵/۸	۹/۴	
نفت سفید	۱۰	۱۱/۳	
بنزین	۱/۲	۴/۳	
گاز مایع	۸/۴	۱۰/۸	
گاز طبیعي	۳۱/۳	۱۴/۷	۲۷/۲۶
خورشیدي	۴/۷	۷/۴	بسیار ناچیز
بادي	۷/۸	۹/۶	بسیار ناچیز
هسته‌اي	۴/۸	۸/۶	۰
برق آبي	۱۱/۳	۱۱/۶	۰/۷۸

Archive of SID

www.SID.ir

۷- تحلیل حساسیت

در این قسمت به تحلیل حساسیت نتایج مدل نسبت به معیارهای کنترلی منافع، هزینه‌ها و ریسک می‌پردازیم. تحلیل حساسیت به این علت انجام می‌گیرد که نشان دهیم نتایج نهایی ارائه شده در جدول ۱۰ چه مقدار نسبت به داده های مدل حساس است و به ازای چه مقادیر از c،b وr، رتبهٔ آلترناتیوها تغییر می‌کند .

۷-۱- *تحلیل حساسیت نسبت به وزن شبکهٔ منافع*

تحلیل حساسیت مدل نسبت به وزن شبکهٔ منافع که در شکل ۸ نشان داده شده، بیانگر این مطلب است که همواره بیش‌ترین منافع از گازطبیعی و کم‌ترین منافع از بنزین حاصل می‌شود، ولی رتبهٔ سایر آلترناتیوها با توجه به وزنی که به شبکهٔ منافع داده می‌شود، تغییر می‌کند.

به‌طور مثال، اگر به معیار کنترلی منافع وزن ۰ تا ۰/۰۶ تخصیص داده شود، ترتیب آلترناتیوها به این صورت است : گاز طبیعی، نفت کوره، نفت سفید، برق آبی، بادی، گاز مایع، نفت گاز، خورشیدی، هسته‌ای و بنزین، ولی در اولین نقطهٔ تلاقی و با تخصیص وزن ۰/۰۶ به منافع، جای انرژی بادی با گاز مایع عوض می‌شود و گاز مایع از این نقطه به بعد (البته تا قبل از نقطه تلاقی بعدی) منافع بیش‌تری در مقایسه با انرژی بادی خواهد داشت. بقیهٔ نقاط تلاقی نیز به همین ترتیب بررسی و تحلیل می‌شوند.

۷-۲- *تحلیل حساسیت نسبت به وزن شبکه هزینه‌ها*

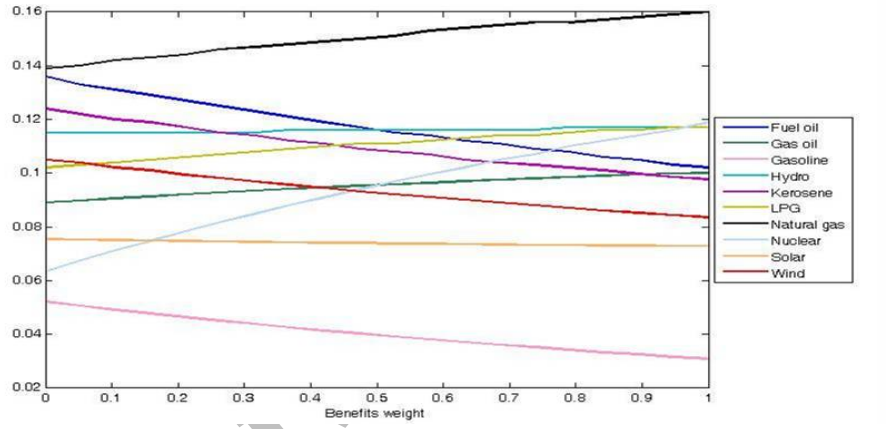
تحلیل حساسیت مدل نسبت به وزن شبکهٔ هزینه‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است. با تخصیص وزن کم‌تر از۰/۵ به هزینه‌ها، بنزین پر هزینه‌ترین حامل و گاز طبیعی کم هزینه‌ترین آن خواهد بود. اما اگر وزن بیش‌تر از ۰/۵ به هزینه‌ها نسبت داده شود، به‌جای بنزین انرژی خورشیدی پر هزینه‌ترین خواهد بود. در صورتی که اهمیت هزینه‌ها از نظر تصمیم‌گیرنده زیاد باشد، مثلا" عددی بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، دیگر گاز طبیعی کم هزینه‌ترین حامل نخواهد بود. به‌عبارت بهتر، اگر تصمیم‌گیرنده فقط بخواهد در جهت حداقل کردن هزینه‌ها گام بردارد (وزن یک را به شبکه هزینه‌ها نسبت دهد و منافع و ریسک را در نظر نگیرد)، در این‌صورت اولویت منابع به‌ترتیب زیر خواهد بود: فرآورده های نفتی، گاز طبیعی، برق آبی، بادی، هسته‌ای و خورشیدی.

Archive of SID

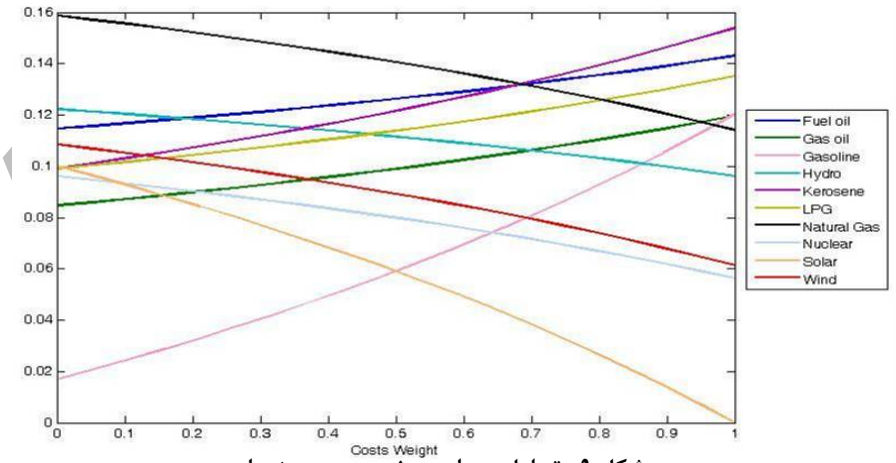
www.SID.ir

۷-۳- تحلیل حساسیت نسبت به وزن شبکهٔ ریسک

تحلیل حساسیت مدل نسبت به وزن شبکهٔ ریسک در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در صورتی‌که وزن کم‌تر از ۰/۱۴ به ریسک نسبت داده شود، انرژی خورشیدی پرریسک‌ترین حامل خواهد بود. اما همان‌طور که در شکل پیداست، هر چه‌قدر اهمیت بیش‌تری برای ریسک قائل شویم، ریسک انرژی خورشیدی و بادی نیز به‌شدت کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که اگر برای تصمیم‌گیرنده فقط ریسک مهم باشد، بعد از گاز طبیعی، انرژی خورشیدی و بادی کم ریسک‌ترین منابع خواهند بود. اما همواره و با تخصیص هر وزنی به ریسک، گاز طبیعی بهترین حامل خواهد بود.

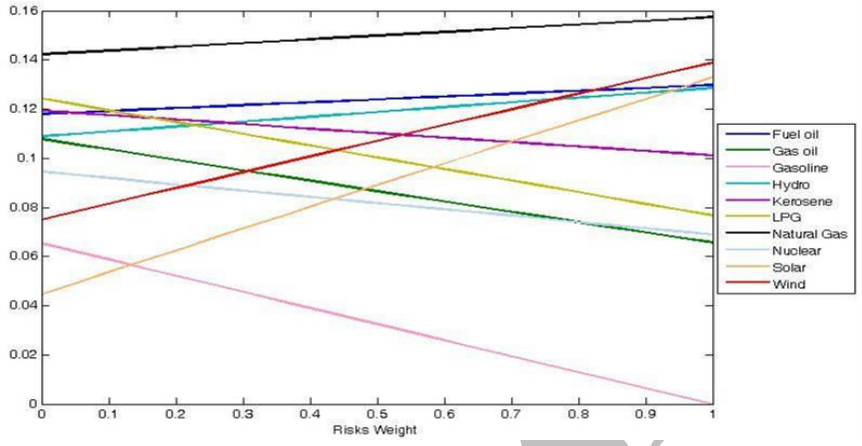


شکل ۸ - تحلیل حساسیت نسبت به منافع



شکل ۹- تحلیل حساسیت نسبت به هزینه‌ها

www.SID.ir



شکل ۱۰- تحلیل حساسیت نسبت به ریسک

۸- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی وضعیت منابع انرژی کشور و تعیین منابعی است که بالقوه هستند و در صورت سیاست گذاری‌های مناسب می‌توان آن‌ها را بالفعل کرد و به این ترتیب، هم سیستم عرضه متنوع خواهد شد و هم این‌که وابستگی کشور به منبع یا منابع خاص کاهش می‌یابد. تمرکز این تحقیق بیش‌تر بر روی خود مسئله و پیاده سازی ANP بر روی آن است، نه جنبه‌های ریاضیاتی آن.

در مسائل مرتبط با انرژی که سیاست، اقتصاد و تکنولوژی بر آن بسیار اثر گذارند، دیگر روش‌های سنتی و قدیمی پیش بینی و برنامه‌ریزی بلندمدت کافی به نظر نمی‌رسد. این زمینهٔ فعالیت پیچیده، به روش‌های ابتکاری و انعطاف پذیری نیاز دارد؛ به‌طوری‌که بتوان فاکتورهای کیفی را نیز وارد مسئله کرد. کاربردهای متعدد AHP وANP کارآیی آن‌ها را برای حل مسائل پیچیده اثبات کرده است. جنبه‌های اساسی این روش که به حل مسائل پیچیده کمک می‌کنند عبارتند از:

۱- انعطاف پذیری در به‌کارگیری تعداد زیادی از فاکتورها با ماهیت های متفاوت

۲- امکان مشارکت توأم داده‌های واقعی و قضاوت افراد خبره

۳- امکان مدل‌سازی و آنالیز مسائل پیچیده با سرعت و سادگی بیش‌تر

۴- امکان بازنگری و تصحیح معیارها، داده ها، قضاوت افراد و روابط میان خوشه‌ها و گره‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

۵- امکان اجرای مسئله بدون تحمل هزینه‌های گزاف و امکانات پیشرفته

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل آن است که علاوه بر نمایش چگونگی اثرگذاری معیارها بر روی آلترناتیوها، به‌طور هم‌زمان نشان می‌دهد که برای هر آلترناتیو کدام معیار از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. وزن معیارهای BCR در جدول ۸ نمایش داده شده است. با بررسی بیش‌تر این جدول نتایج زیر حاصل می‌شود:

مهم‌ترین معیار در شبکهٔ منافع، منفعت اقتصادی و مهم‌ترین عنصر آن افزایش ارزش افزوده است. مهم‌ترین معیار در شبکهٔ هزینه‌ها، هزینهٔ سرمایه‌گذاری است. مهم‌ترین معیار در شبکهٔ ریسک، مشخصات منبع انرژی و مهم‌ترین عنصر آن میزان در دسترس بودن داخلی منابع است. وزن و اولویت نهایی آلترناتیوها با توجه به دو رویکرد متفاوت ضربی و جمعی در جدول ۱۰ ارائه شده است. با بررسی نتایج مشاهده می‌کنیم که در صورت استفاده از فرمول ضربی، گاز طبیعی بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد. علاوه بر آن، با بررسی نتایج حاصل از فرمول جمعی نیز دوباره گاز طبیعی به عنوان بهترین آلترناتیو انتخاب می‌شود. البته درصد به‌دست آمده در دو رویکرد فوق متفاوت است و در تصمیم‌گیری نهایی باید فرض‌هایی که در مسئله مطرح شده است، لحاظ شود.

ایران علاوه بر ذخایر فراوان سوخت‌های فسیلی، از منابع فراوان انرژی‌های تجدیدپذیر، نظیر انرژی خورشیدی و بادی برخوردار است و بهره‌گیری از این منابع می‌تواند سبب کاهش وابستگی کشور به سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های ناشی از آن شود. اثرات زیست محیطی تکنولوژی‌های تجدید پذیر که گازهای گلخانه‌ای و زباله‌های سمی تولید نمی کنند، بسیار کم‌تر از نیروگاه های سوخت فسیلی و هسته‌ای است. هم‌چنین هزینهٔ تولید الکتریسیته از منابع انرژی تجدید پذیر تقریبا" قابل رقابت با بسیاری از تکنولوژی‌های قدیمی و سنتی است و مرتبا" در حال کاهش است. نکتهٔ دیگر این‌که انرژی‌های تجدید پذیر هزینهٔ سوخت ندارند و واقعا" هم پایان ناپذیرند، اما در حال حاضر به سرمایه‌گذاری بیش‌تری نیاز دارند. نتایج حاصل از مدل نیز بر به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر تاکید دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

فهرست منابع

امان آبادی، مرضیه؛ مقصودی، احسان؛ روند به‌کارگیری و توسعهٔ انرژی بادی و خورشیدی در ایران و سایر نقاط جهان، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی، تهران، ایران، ۱۳۸۵.

ترازنامهٔ انرژی، دفتر برنامه‌ریزی انرژی، معاونت امور انرژی،۱۳۸۳.

سایت آفتاب؛ WWW.AFTAB.IR

طرح بهره‌گیری و کاربرد بهینهٔ انرژی؛ پتانسیل‌های جایگزینی حامل‌های انرژی «تجربه‌های جهانی و جنبه‌های فنی- اقتصادی»، مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۷۴.

مغوئی نژاد، مجید؛ مدل ارزیابی ریسک سرمایه‌گذاری دربخش انرژی، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰.

نیکویی، احسان؛ خردمند، سعیده؛ ارزیابی منابع انرژی در راستای نیل به توسعهٔ پایدار، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی، تهران، ایران، ۱۳۸۵.

Chedid R., Policy development for solar water heaters: the case of Lebanon. Energy conversion and management,2002;43:77-86.

Elkarni F., Mustafa I., Increasing the utilization of solar energy technologies (SET) in Jordon. Energy policy,1998;21:978-984.

Erdogmus S., Aras H., Koc E., Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using Analytic Network Process (ANP) with group decision making. Renewable and sustainable energy reviews,2006; 10:269-279.

Energy information administration-EIA-official statistics from the U.S Government. www.eia.doe.gov

Ghorashi A.H., Prospects of nuclear power plants for sustainable energy development in Islamic republic of Iran. Energy Policy,2007; 35: 1643-1647.

Gholamnezhad A.H., Saaty T.L., A desired energy mix for the United States in the year 2000: An Analytic Hierarchy Approach. International journal of policy analysis and information systems,1982; 6:47-64.

Archive of SID

www.SID.ir

Hobbs B.F., Horn G.T.F., Building public confidence in energy planning: a multi-method MCDM approach to demand side planning at gas. Energy policy,1997;25(3):357-375.

Huang J.P., Gng B.W., Poh K.L., Synthesizing environmental externality costs, a statistical multi- attribute analysis approach. Energy and environment,1996;7:253-66.

Huang J.P., Gng B.W., Poh K.L., Synthesizing values of statistical life for Energy environmental policy analysis. Energy and environment,1997;8:199-90.

Kon A.C., Buke T., An Analytical Network process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey. Energy policy,2007;37:5220-5228.

Mohsen M.S., Akash B.A., Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using AHP. Energy conversion and management,1997;38: 1815-1822.

Pohekar S.D., Ramachandran M., Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – A review. Renewable and sustainable energy reviews,2004;8:365-381.

Poh K.L., Ang B.W., Transportation fuels and policy for Singapore: an AHP planning approach. Computers and industrial engineering,1999;37:507-525.

Quaddus M.A., Siddique M.A.B., Modeling sustainable development planning: A multicriteria decision conferencing approach. Environment International, 2001; 27: 89-95.

Ramanathan R., Ganesh L.S., Energy alternatives for lighting in households: an evaluation using an integrated goal programming-AHP model. Energy,1995 a;20:63-72.

Ramanathan R., Ganesh L.S., Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: an integrated model using goal programming and AHP. Socio- Economic planning science,1995 b;29:197-218.

Saaty T.L., Decision making with dependence and feedback. RWS publications, 1996.

Saaty T.L., Fundamentals of the analytic network process- dependence and feedback in decision making with a single network. Journal of system science and systems engineering, 2004; 13(1):1-35.

Archive of SID

www.SID.ir

Saaty T.L., Fundamentals of the analytic network process – multiple networks with Benefits, Costs, Opportunities and risks. Journal of system science and systems engineering, 2004;13(3):348-379.

Tzeng J.P., Ang B.W., opricovic S., Multi-criteria analysis of alternative fuel buses for public transportation. Energy policy,2005;33:1373-83.

Ulutas B.H., Determination of the appropriate energy policy for Turkey. Energy, 2005;30:1146-61.

Yedla S., Shreshta R.M., Multicriteria approach for selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Dehli. Transportation research Part A, 2003;37:717-729.

Zhou P., Ang B.W., Poh K.L., Decision analysis in energy and environmental modeling: An update. Energy 2006;3:2604-2622.

Archive of SID

www.SID.ir