فصلنامه پژوهش‌های مدیریت
ویژه‌نامه شماره ۹۶ / پاییز ۱۳۹۱

مدل برنامه‌ریزی تصادفی جهت تخصیص منابع گاز در ایران با رویکرد هزینه امنیت انرژی

رضا علیخانی
دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مدیریت صنعتی، (مسئول مکاتبات)
Reza.Alikhani@srbiau.ac.ir

عادل آذر
استاد تمام، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران
azara@modares.ac.ir

علیرضا رشیدی کمیجان
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران
rashidi@azad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۰/۰ **تاریخ پذیرش:** ۹۰/۰/۰

چکیده

هدف از این تحقیق، ارائه مدلی جهت تخصیص منابع گاز طبیعی به زیربخش‌های مصرفی در ایران می‌باشد که با استفاده از برنامه ریزی غیر خطی صورت گرفته است. رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی به منظور حصول ترکیب سیستمی بهینه، بکار گرفته شده تا تقاضای گاز بخش‌های مختلف مصرف را بر اساس گاز تولید شده در دسترس، برآورده سازد. مدل به بررسی تهدیداتی که امکان رخداد آنها در عرضه گاز طبیعی محتمل و ممکن است، می‌پردازد. خروجی مدل مبیّن مقادیر تخصیص گاز به هر یک از بخش‌ها بر اساس تهدیدات ممکن در سطح کلان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد، سهم قابل توجه گاز به ترتیب باید به بخش‌های خانگی-تجاری، نیروگاه‌ها، صنعت، تزریق گاز سبک، صادرات، پتروشیمی، تزریق گاز غنی، حمل و نقل و کشاورزی اختصاص یابد. نوآوری این تحقیق، توانمندی آن در کمّی کردن تهدیدات محتمل الوقوع با استفاده از برنامه ریزی تصادفی و مفهوم هزینه امنیت انرژی است، در حالیکه یک دیدگاه کل‌نگر از عوامل امنیت انرژی که بر تخصیص گاز در ایران تأثیرگذار هستند، ایجاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تصادفی، امنیت انرژی، گاز، تخصیص.

۱- مقدمه

ایران یکی از مهم‌ترین کشورهای صاحب ذخایر هیدروکربوری دنیا محسوب می‌شود که مقام دوم ذخایر گازی و رتبه چهارم ذخایر نفت در جهان را داراست. حجم ذخایر اثبات شده گاز ایران در سال ۱۳۸۴ حدود ۲۸ تریلیون متر مکعب برآورد شده است که حدود ۱۶ درصد از منابع اثبات شده گاز در جهان است [British Petroleum, 2011]. با روند رشد سریع انواع مصارف گاز در ایران و ثابت ماندن یا کاهش تولید نفت، صنعت گاز نقشی مهمتر از صنعت نفت در اقتصاد ایران در سال‌های آینده بر عهده خواهد داشت. به روایت سازمان اطلاعات انرژی آمریکا (EIA, 2010)، رفاه و رونق اقتصادی کشورها به طور قابل توجهی به رشد اقتصادی آن‌ها وابسته بوده و رشد اقتصادی پایدار نیز به امنیت تأمین انرژی در آینده وابسته است. آسیا نیز از این امر مستثنی نیست. طی ده سال آینده، میزان رشد مصرف انرژی در آسیا به اندازه‌ای خواهد بود که به سطح مصرف در آمریکای شمالی خواهد رسید. رشد سریع اقتصادی کشورهای آسیایی ودر نتیجه نیاز آنها به تأمین انرژی به ویژه نفت و گاز، همواره یکی از چالشهای عمده این کشورهاست. منابع گازی در شرق آسیا محدود است، همین امر مصرف کنندگان گاز طبیعی درآسیا را به اندازه مصرف‌کنندگان گاز در غرب، به منابع گازی خاور میانه وابسته می‌نماید.

قرن بیست و یکم از نظر حامل‌های انرژی «قرن گاز» نام گرفته است، چرا که الگوهای مصرف انرژی از نفت به سمت گاز در حال تغییر می‌باشند. در میان منابع انرژی موجود، گاز طبیعی از نقطه نظر زیست‌محیطی، قابلیت تبدیل به دیگر مواد شیمیای، ارزانی و فراوانی، نه تنها یک ثروت اقتصادی است بلکه یک کالای استراتژیک برای ایران می‌باشد. با در نظر گرفتن اهمیت گاز طبیعی و مزیت‌های پرشمار آن برای کشور آنچه بیش از هر مقوله دیگری در مورد صنعت گاز کشور خودنمایی می کند، پرداختن به برنامه ریزی در مورد منابع گاز کشور، با به شمار آوردن جنبه‌های گوناگون است. از اینرو، هدف این پژوهش توسعه مدلی برای تخصیص گاز در ایران به زیربخش‌های مختلف مصرفی، با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در هزینه امنیت انرژی می‌باشد.

این تحقیق بدین صورت ارائه خواهد شد. در ادامه به بررسی تحقیقات پیشین انجام گرفته مربوط به تحقیق در حوزه انرژی پرداخته می‌شود و سپس در بخش بعد به روش تحقیق، تشریح تهدیدات محتمل الوقوع و نحوه بکار گیری برنامه ریزی تصادفی جهت تخصیص منابع گاز با رویکرد هزینه امنیت انرژی و همچنین مدلسازی تحقیق پرداخته خواهد شد. آنگاه بحث و تحلیل نتایج حاصل از حل مدل ارائه می‌گردد و در نهایت به نتیجه گیری خواهیم پرداخت.

در سالهای اخیر تحقیقات زیادی در باب برنامه ریزی انرژی در شرایط عدم قطعیت در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته که از روشهای و رویکردهای متنوع و گوناگونی بهره جسته اند، اما بنا به اقتضای عنوان این پژوهش تمرکز بررسی ادبیات پیشین بیشتر بر روی مقالات و تحقیقاتی بوده که از برنامه ریزی تصادفی به صورت ویژه استفاده نموده اند که در زیر به مختصری از آنها اشاره می‌شود.

شمار زیادی از تکنیک‌های تصمیم گیری و مدل‌های برنامه ریزی، مخصوصا کاربرد برنامه ریزی تصادفی در زمینه‌های مختلف انرژی که از طریق محققین و مدیران زیادی انجام گرفته، توسط اسکات و دیگران (Scott & et al, 2012) و وانگ و دیگران(Wang & et al, 2009) ارائه گردیده است. مدل برنامه ریزی پویای تصادفی غیر دقیق جهت برنامه ریزی سیستم انرژی در منطقه شهری پکن توسط لین و هوانگ ارائه شد (Lin & Huang,2009). نتایج حاصل تحقیق ایشان نشان می‌دهد بکارگیری برنامه ریزی تصادفی می‌تواند در پیچیدگی عدم اطمینان‌های چندگانه، پویایی و تعاملات سیستم‌های مدیریت انرژی شهری مفید واقع شود. شای و دیگران (Xie & et al., 2010) با تبدیل یک مدل برنامه ریزی تصادفی ترکیبی که در شرایط عدم اطمینان توسعه یافته بود به مدل برنامه ریزی عدد صحیح، به حل نااطمینانی‌ها برای مباحث انرژی پرداختند به گونه ای که تصمیم گیری برای توسعه ظرفیت انرژی را برای یک افق برنامه ریزی مشخص تسهیل می‌کند. نتایج حاصل از تحقیق در مقایسه با آنچه به صورت واقعی اتفاق می‌افتد، منطقی به نظر می‌رسد. برالدی و دیگران (Beraldi & et al., 2008)

یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح تصادفی دو مرحله‌ای برای تولید برق ارائه دادند که در آن یک تابع هدف میانگین وزنی برای مدیریت ریسک محاسبه شده بود. یک مدل برنامه ریزی انرژی تصادفی فازی دو مرحله‌ای غیر دقیق تحت شرایط عدم اطمینان چندگانه برای سیستم‌های انرژی و زیست- محیطی توسط لی و دیگران (Li et al., 2010) توسعه داده شد. نتایج حاصل از تحقیق ایشان تطابق بین الگوهای تخصیص منابع انرژی و خدمات ، فرموله کردن سیاست‌های محلی با توجه به مصرف انرژی و تحلیل توازن بین هزینه‌های سیستمی، درجه رضایت و ملزومات زیست-محیطی تحت شرایط چندگانه عدم اطمینان می‌باشد. استویان و دیسوکی (Stoyan & Dessouky, 2011) یک مدل برنامه ریزی تصادفی عدد صحیح برای مسئله مدیریت تکنولوژی‌های انرژی ارائه دادند که هزینه و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تولید انرژی را کمینه کرده، در حالی که تقاضای انرژی بخش داده شده برآورده شده است. مدل تصادفی برای سیستم های انرژی با قیمت‌های غیر مشخص توسط میرخانی و صبوحی (Mirkhani & Saboohi, 2012) ارائه شد. نتایج حاصل از بکارگیری مدل تصادفی ایشان قادر به دربرگیری تمام عدم قطعیت‌ها بصورت یکجا و زمانبندی بهینه گسترش ظرفیت می‌باشد. لی و هوانگ (Li & Huang, 2012) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی چند مرحله‌ای برای مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای و سیستم‌های تولید الکتریسیته در شرایط عدم اطمینان ارائه دادند. مدل مذکور می‌تواند به رویه تولید الکتریسیته و برنامه تولید ظرفیت در حالت‌های مختلف کاهش گازهای گلخانه‌ای و همچنین سطوح تقاضای الکتریسیته کمک کند. جان و دیگران (Jun & et al, 2009) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل هزینه امنیت برای منابع مختلف انرژی، پس از تعریف مسئله، هزینه امنیت را در بازار تولید برق بدست آوردند. علت تمرکز آنها بر بازار برق قابلیت دستیابی به داده‌هایی برای کمّی سازی و تحلیل‌های تجربی بوده است. در این مقاله هزینه امنیت از مجموع دو هزینه امنیت تامین انرژی و هزینه امنیت اقتصادی بدست آمده است. نتایج این تحقیق نشان داد که هر چه سهم هریک از حاملها در تولید برق بیشتر باشد و یا شرایط عدم اطمینان برای بدست آوردن هر یک از حاملها بیشتر باشد، هزینه امنیت تأمین انرژی نیز بیشتر خواهد بود .ژو و دیگران (Zhu & et al, 2011) با بکارگیری برنامه ریزی نامحدود، برنامه ریزی عدد صحیح و برنامه ریزی پارامتری مدلی برای سیستم انرژی ارائه دادند که مقادیر قطعی عدم اطمینان را تعیین می‌کرد. یک مدل برنامه ریزی سیستم‌های انرژی که قادر به تسهیل پیچیدگی‌های تأثیر گذار بر برنامه ریزی مانند تعادل بین کاهش آلودگی های زیست‌محیطی و همچین کاهش هزینه‌ها که بر مبنای یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندسطحی بود توسط اکبری و دیگران (Akbari & et al, 2011) ارائه داده شد. رنانی و دیگران (۱۳۸۸) به تعیین اولویت‌های کاربرد ذخایر گازی در ایران پرداختند. در این تحقیق ایشان به مبانی نظری مدل‌سازی تخصیص منابع گاز ایران به بخش‌های مختلف پرداخته، یعنی با تعریف یک تابع رفاه اجتماعی ، مسئله تخصیص گاز به مصرف داخل، تزریق و صادرات در قالب یک مدل پویای غیرخطی، مدل‌سازی شده و اولویت‌های تخصیص گاز و مقدار مصارف گاز در بخش‌های مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار داده شده است.

در سال‌های گذشته روش‌های مختلفی برای تخصیص منابع انرژی به مصرف کنندگان نهایی مورد استفاده قرار گرفته، که پیش‌تر به آنها اشاره شد. به طور کلی، فرض بر این است که تنها یک بهترین یا بدترین روش برای حل یک مسئله وجود ندارد، اما بعضی از روش‌ها بهتر از روش‌های دیگر می‌توانند برای حل یک مسئله خاص مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه با استفاده از یک مدل برنامه ریزی تصادفی به تخصیص گاز به هر یک از زیر بخش‌ها با استفاده از سیاست‌های انرژی در برنامه پنجم توسعه و در نظر گرفتن تهدیدات ممکن در عرضه گاز طبیعی، پرداخته می‌شود.

روش تحقیق

با بررسی پیشینه تحقیق، مشخص گردید که شمار زیادی از روش‌های بهینه سازی برای غلبه بر شرایط عدم اطمینان، مانند برنامه ریزی فازی، برنامه ریزی تصادفی و روشهای برنامه ریزی فاصله‌ای مورد استفاده قرار گرفته

انـد. نتـایج تحقیقـات پیشـین نشـان مـی‌دهـد در میـان رویکردهای موجود، برنامه ریزی تصـادفی در مواجهـه بـا شرایط عدم اطمینان از قابلیت بـالاتری برخـوردار بـوده و بهتر می‌تواند منعکس کننده شرایط عـدم قطعیـت باشـد. لـذا اسـتفاده از برنامـه ریـزی تصـادفی بـرای مدلسـازی تخصیص منابع گاز در افـق‌هـای زمـانی پـیش رو کـه در شرایط ابهام و نامشخص می‌باشد، بدیهی و منطقی به نظر می‌رسد.

برنامه ریزی تصادفی

در مواقعی از برنامه ریزی تصادفی یا احتمالی استفاده می گردد که تمام یا برخی از متغیرهای مدل برنامه ریزی ریاضی به جای کمیت هـای معـین، بصـورت متغیرهـای تصادفی تعریف مـی شـوند و مقـادیر احتمـالی پیـدا مـی کنند؛ این وضعیت در شرایطی رخ می دهد کـه موقعیـت تصمیم گیری بصورت احتمالی است (پورزرنـدی، ۱۳۹۱). با مروری بر انـواع شـرایط تصـمیم گیـری کـه در نظریـه تصمیم مطرح می باشد، این شرایط را می توان به صورت زیر طبقه بندی کرد (آذر و مومنی، ۱۳۸۵):

۱- تصمیم گیری در شرایط اطمینان
۲- تصمیم گیری در شرایط احتمالی
۳- تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان

بسـیاری از مسـائل تصـمیم گیـری در محـیط هـا و شرایطی اتخاذ می شـوند کـه اهـداف، متغیـری تصـادفی است. وجود ایـن شـرایط، لـزوم بهـره گیـری از مـدلهای تصادفی و احتمالی را ایجاب می کند. از آنجائیکه شـرایط و مفروضات مسائل تصمیم گیری واقعی بصورت تصـادفی مطرح می شوند و تحت شرایط عـدم اطمینـان و ریسـک هستند. مدلسازی آنها نیز متفاوت خواهد بود. ایده اصـلی در مدلهای برنامه ریزی تصادفی، تبدیل مسائل با ماهیـت احتمالی، به شرایط قطعی و معین متناظر است. در چنین شرایطی روشهای مناسبی برای حل اینگونه مسـائل قابـل ارائه خواهد بود. در ضمیمه تبدیل پارامترهای تصادفی به قطعی ارائه گردیده است.

رویدادهای مؤثر در اختلال امنیت عرضه و مصرف گاز

امنیت انرژی، به شکل‌های مختلف توسط کشـورهایی که در در شرایط گوناگون مخصوص به خود با انرژی سرو کار دارند تعریـف شـده اسـت (Shukla & Dhar, 2009). کشورهای وارد کننده انـرژی اغلـب امنیـت انـرژی را بـه عنـوان امنیـت عرضـه انـرژی مـی‌پندارنـد در حالیکـه کشورهای صادر کننده انرژی ترجیح می‌دهند که از آن به عنـوان امنیـت تقاضـای انـرژی یـاد کننـد. همچنـین کشورهای پیشرفته معمولا مقصود از امنیـت انـرژی را در دسترس بودن عرضه کافی انرژی، در قیمت‌هـای مناسـب می دانند (Yergin, 2006). قابل ذکر است امنیـت انـرژی یکی از مهمترین موضوعات برای تصمیم گیـران از لحـاظ عرضه انرژی می‌باشد، چرا که به شدت در تعیـین قیمـت منابع انرژی و همچنین پایداری روابط سیاسـی کشـورها مؤثر است (Daim et al, 2010).

هزینه امنیت انرژی روشی برای کمّی سازی و انـدازه-گیری امنیت انرژی می‌باشد. این شاخص می‌تواند هزینه-هایی را که موجب افزایش امنیت می‌شود را نشـان دهـد. این هزینه‌ها می‌تواند چنـدین شـکل بـه خـود بگیـرد، از قبیل افزایش هزینـه‌هـای سـوخت حاصـل از منبعـی بـا عرضه مطمئن و ایمن و منبعی تامطمئن و ناامن، هزینـه-های زیر ساختی ناشی از ایجاد سیستم‌هـا و فراینـدهای ایمن و جدید و هزینه‌های ایمـن و جدیـد و هزینـه‌هـای سیاسی ایمن سازی و ذخیره سازی منابع انـرژی. بـر ایـن اساس در یک کشور سیاسـت‌هـای انـرژی کـه بـه دنبـال انرژی ایمن هستند، ترکیبی از انرژی ارائه مـی‌دهنـد کـه متفاوت از سیاست‌های است که به دنبال انـرژی ارزان‌تـر هستند و طبعاً از بُعد هزینه با هم متفـاوت خواهنـد بـود (قمصری، ۱۳۸۹).

رویدادها و تهدیداتی که انتقال و مصرف گاز را در هر یک از زیر بخش‌ها به مخاطره مـی‌انـدازد در هفـت گـروه کلی قابل دسته‌بندی است:

تهدیدات سرمایه گذاری: این تهدید از جمله تهدیدات فیزیکی محسوب می‌شود که بر ماهیت بیرونی یا فیزیکـی انتقال گاز تاثیر می‌گذارد. تأخیر یا عدم سرمایه‌گـذاری از نگاه کلان می‌تواند از نگـاه بروکراسـی اداری و پیچیـدگی سـاختار کشـور در جـذب سـرمایه داخلـی و خـارجی، محدودیت‌های قانونی در جذب برخی سرمایه‌ها و اعمـال و تحریم‌های بین المللی نشأت گرفتـه و از نگـاه خـرد، از نااطمینانی نسبت به سرنوشت سرمایه‌گـذاری، بـالا بـودن

ریسک سرمایه گذاری در یک پروژه خاص و عدم بازگشت سرمایه ناشی شود.

تهدیدات فنی: این تهدید نیز از ناحیه فیزیکی، می‌تواند مصرف گاز را مختل نماید. تهدیدات فنی در دو زمان تولید گاز و در مسیر انتقال گاز می‌تواند در روند مصرف گاز تأثیر گذارد. اگر مشکلات فنی در زمان تولید گاز بوجود آید می‌تواند موجب هدر رفتن یا سوخت گاز و یا عدم استخراج گاز گردد، اما اگر مشکلات فنی در مسیر انتقال گاز اتفاق بیافتد، چند سناریو می‌توان برای آن طراحی کرد. اگر قبل از شیرین سازی یا تصفیه گاز غنی به سبک مشکلی پدید آید، احتمال آن وجود دارد که بتوان گاز را برای تزریق و یا ذخیره سازی جابجا نمود، اما پس از شیرین سازی گاز، در هنگام وقوع مشکلات فنی، اگر گاز هدر نرود، تنها می‌توان آن را برای مصارف مولد و غیره استفاده نمود.

تهدیدات مدیریت تقاضا و رشد مصرف: این تهدید نیز از جمله تهدیدات فیزیکی به شمار می‌رود که شامل دو بخش توزیع و رشد مصرف می‌باشد. در بخش مدیریت تقاضا اگر تأمین کننده گاز فاقد ذخایر استراتژیک ذخیره سازی گاز طبیعی باشد، این تهدید می‌تواند موجب شود که تأمین کننده نتواند نوسانات تقاضا را کنترل نماید و تخصیص مناسب گاز ذخیره شده و بخش‌های مصرفی صورت نگیرد. بخش دوم، مسئله رشد مصرف نیز که از عوامل مختلفی از جمله تغییرات آب و هوایی تأثیر پذیرفته و می‌تواند، برنامه ریزی هر کشوری را بر هم زده و در زمانی که ظرفیت سازی مناسبی وجود ندارد بر روند مصرف تأثیر منفی گذارد.

سایر تهدیدات فیزیکی: زلزله، انفجار خطوط لوله، آسیب دیدن خطوط انتقال بر اثر تصادم‌های مختلف و حملات تروریستی از جمله این تهدیدات است که احتمال برخی از آنها در کشور ایران بسیار ضعیف بوده و احتمال برخی دیگر مانند زلزله، مخصوصاً در نواحی زلزله خیز بیشتر است.

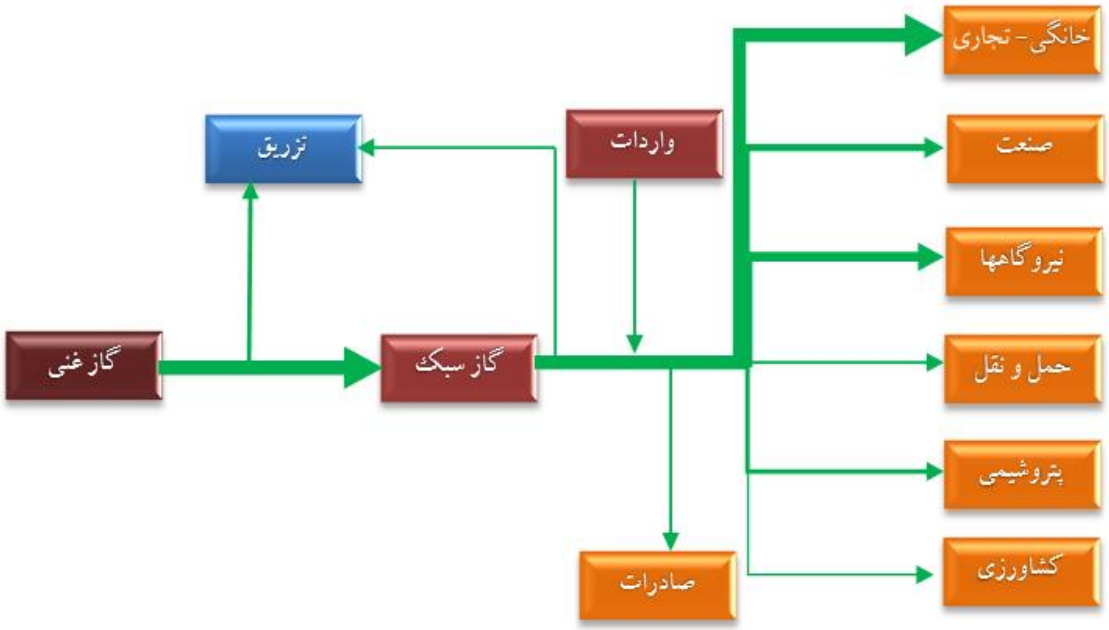
تهدیدات قیمتی و بازاریابی: این تهدیدات از نظر اقتصادی امنیت صادرات گاز را به خطر می‌اندازد و لذا ممکن است در زمان وقوع این رویداد، روند صادرات نیز با وقفه مواجه نشده باشد. این تهدیدات در دو زمان می‌تواند امنیت طرح‌های گاز را به مخاطره بیاندازد. بخش اول، زمانی است که قرارداد نهایی نشده و تأخیر در توافقات قیمت گذاری، زمان مناسب برای انجام تعاملات(مانند صادرات گاز) را به تأخیر می‌اندازد. بخش دوم، زمانی است که قرارداد نهایی شده و پس از امضای آن، نوسانات شدید قیمت بازار و محدودیت نوسان قیمت قرارداد از یک سو امنیت انرژی و از سوی دیگر هزینه‌هایی را به هریک از دو طرف تأمین کننده و متقاضی تحمیل می‌کند. مسئله دیگر در این حوزه مسائل مربوط به بازاریابی و فروش گاز می‌باشد که شفاف نبودن مسیر ورود خریدار و کاهش اختیارات مدیران می‌تواند موجب شود، تمایلی برای بازاریابی گاز طبیعی وجود نداشته و به دلیل مبهم بودن استراتژی مشخص کشور در تخصیص گاز به مصارف مختلف، تمایلی برای بازاریابی گاز بوجود نیاید و فرصت را در اختیار رقبا برای ورود به بازار، قرار دهند.

تهدیدات مدیریتی و سیاسی داخلی: این تهدیدات از جمله تهدیدات سیاسی و ژئوپلتیکی به حساب می‌آید، که در صورت عدم وجود تهدیدات مستقیم اقتصادی و فیزیکی، می‌تواند امنیت عرضه گاز به طور غیرمستقیم از ناحیه اختلال فیزیکی و اقتصادی را به مخاطره بیاندازد. این تهدیدات می‌تواند به دلیل منافع کوتاه مدت گروهی خاص، دلایل انتخاباتی و یا دلایل ملی روی دهد.

تهدیدات سیاسی خارجی و بین المللی: این تهدید نیز از جمله تهدیدات سیاسی و ژئوپلتیکی است که می‌تواند تاثیر خود را به صورت فیزیکی ویا اقتصادی بر امنیت صادرات گاز بگذارد. برخی از این تهدیدات به مسائل سیاسی داخلی کشورها طرف قرارداد ایران باز می‌گردد. برخی تهدیدات خارجی مربوط به تحریم های بین المللی و فشار سایر کشورها بر طرف قرارداد ایران می‌باشد که ممکن است آن کشور را از ادامه مذاکرات و یا دریافت گاز از ایران منصرف کند.

بیان مسئله و مدلسازی تحقیق

شکل (۱) نشان دهنده فرآیند جریان گاز به زیر بخش‌های مصرف می‌باشد:



شکل۱. فرآیند جریان گاز طبیعی برگرفته از سیستم مرجع انرژی

همانطور که مشاهده می‌شود، گاز غنی پس از استحصال و استخراج از میادین مستقل گازی و گازهای همراه نفت خام، سهمی از آن جهت تزریق به چاه‌های نفت و سهم عمده آن جهت پالایش و تبدیل به پالایشگاههای گاز انتقال داده می‌شود تا پس از تصفیه و فرآورش به گاز طبیعی قابل استفاده به عنوان انرژی مصرفی نهایی یا انرژی ثانویه تبدیل گردد. بخش‌های مصرف کننده نهایی گاز طبیعی شامل خانگی- تجاری (شامل بخش خانگی، بخش تجاری و بخش عمومی)، صنعت، نیروگاهها، حمل و نقل، پتروشیمی و کشاورزی می‌باشد. مقداری از گاز طبیعی جهت تزریق به چاه‌های نفتی انتقال داده می‌شود و همچنین هر ساله مقداری گاز طبیعی به عنوان واردات و صادرات در نظر گرفته می‌شود.

هدف از این تحقیق که تحقیقی کاربردی- توسعه‌ای است، طراحی مدل تخصیص گاز به زیربخش‌های مصرفی بر اساس سیاست‌های انرژی در برنامه پنج ساله توسعه با رویکرد هزینه امنیت عرضه و مصرف گاز طبیعی می‌باشد.

تابع هدف

در این تحقیق تابع با رویکرد هزینه امنیت انرژی در نظر گرفته شده است. هزینه امنیت انرژی بعنوان هزینه‌های ناشی از تهدیدات ممکن، که در بخش (۳) به تفصیل در مورد آنها توضیح داده شد، در نظر گرفته شده است. تخصیص مقدار X_i (i=1,2,…,11) بررسی خواهد شد، که X یک متغیر تصمیم می‌باشد که نشان دهنده مقدار گازی است که باید به زیر بخش i، تخصیص یابد و i به ترتیب نشان دهنده واردات، صادرات، تزریق گاز غنی، تزریق گاز سبک، خانگی‌تجاری، صنعت، نیروگاهها، حمل و نقل، پتروشیمی، کشاورزی و گاز غنی انتقال داده شده به پالایشگاهها می‌باشد. قابل ذکر است اگر چه X_{11} به عنوان یک متغیر تصمیم در مدل بررسی می‌شود اما بصورت یک ذیربخش مجزا قابل بررسی نیست. تابع هدف به شکل زیر نشان داده شده است:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{10} c_i X_i$$

که در آن c_i ضریب هزینه امنیت انرژی به دلیل یکی یا چند از تهدیدات مذکور می‌باشد.

محدودیت‌ها

محدودیت‌های مدل شامل محدودیت عرضه، محدودیت تقاضا و محدودیت تعادل عرضه و تقاضا می‌شوند. همه محدودیت‌ها دارای حدود بالای(U_i) بر اساس پیش‌بینی سیاست‌های انرژی برنامه پنج ساله پنجم کشور می‌باشد.

۱- محدودیت عرضه

بر اساس نظر خبرگان و کارشناسان، ۸۵٪ گاز استخراج شده جهت تزریق و همچنین پالایش به پالایشگاه‌های گاز انتقال می‌یابد (۱۵٪ باقی مانده شامل گازهای همراه می‌باشد). این محدودیت به شکل زیر نشان داده شده است:

$$X_{11} + X_3 \geq .85G_r$$
$$X_{11} + X_3 \leq .85U_r$$

که در آن G_r، مقدار گاز پیش‌بینی شده قابل استخراج و U_r، محدودیت بالای تولید گاز بر اساس برنامه پنج ساله پنجم می‌باشد.

۲- محدودیت تعادل عرضه و تقاضای گاز طبیعی

مقدار گاز وارد شده به خطوط لوله برابر است با مقدار گاز خارج شده از خطوط لوله. به بیانی دیگر، کل گاز تولید شده بعلاوه واردات گاز برابر است با، گاز انتقال یافته برای تزریق، صادرات، خانگی‌تجاری، صنعت، نیروگاه‌ها، حمل و نقل، پتروشیمی و کشاورزی.

$$\sum_{i=4}^{10} X_i + X_2 \geq X_{11} + X_1$$
$$\sum_{i=4}^{10} X_i + X_2 \leq U_{11} + U_1$$

۳- محدودیت تقاضا

محدودیت تقاضا یا حدود پایین (D_i) بر مبنای حداقل گاز مورد نیاز بیش بینی شده بر اساس سال‌های گذشته می‌باشد.

$$X_i \geq D_i \quad i=1, 2\ldots 11$$
$$X_i \leq U_i \quad i=1, 2\ldots 11$$

مدل برنامه ریزی تصادفی تخصیص گاز

حال با توجه به توضیحات ارائه شده در مبحث امنیت انرژی، برای کمّی سازی آن TR بعنوان درآمدی است که در صورت وجود امنیت در تداوم عرضه و تقاضای گاز به هر یک از زیربخش‌ها، امکان تحقق دارد و Tr حداقل درآمدی است که به علت وقوع اختلال در روند عرضه و تقاضای گاز به هر یک از زیربخش‌ها در دوره خاص بدست می‌آید. π_i احتمال اختلال در تداوم عرضه گاز به علت تهدید یکی یا مجموعی از تهدیدات ذکر شده به هر یک از زیر بخش‌ها، می‌باشد.

می‌دانیم درآمد برابر است با قیمت(P) ضربدر مقدار(X). بنابراین در TR، به مقدار X مصرف خواهد شد و در Tr، مقدار x. بدیهی است که مقدار X همیشه بزرگتر یا مساوی مقدار x است. چنانچه مابه التفاوت درآمد حاصل از وجود امنیت و عدم وجود امنیت به عنوان هزینه امنیت انرژی در نظر گرفته شود، با توجه به مطالب گفته شده داریم:

$$X_i \geq x_i$$
$$x_i = \alpha_i X_i \quad , \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1$$
$$TR_i = P_i \,.\, X_i$$
$$Tr_i = P_i \,.\, x_i$$
$$TR_i - Tr_i = (P_i \times X_i) - (P_i \times x_i) = P_i\,(X_i - x_i) = P_i\,(X_i - \alpha_i X_i) = P_i\,((1-\alpha_i)X_i)$$
$$c_i = \pi_i\,(P_i\,(1-\alpha_i))$$

حال چنانچه مقادیر تصادفی c_i، D_i، U_i، G_r و G_n به صورت مستقل و باتوزیع نرمال باشند خواهیم داشت:

$$f(x) = w_1 \sum_{i=1}^{10} c_i\, x_i + w_2 \sqrt{\sum_{i=1}^{10} \mathrm{var}(c_i) x_i^2}$$

subject to:

$$X_{11} + X_3 \geq E(G_r) + z_{ar}\sqrt{\mathrm{var}(G_r)}$$
$$X_{11} + X_3 \leq E(U_r) + z_{ar}\sqrt{\mathrm{var}(U_r)}$$
$$\sum_{i=4}^{10} X_i + X_2 - X_1 \geq E(D_{11}) + z_{a11}\sqrt{\mathrm{var}(D_{11})}$$
$$\sum_{i=4}^{10} X_i + X_2 - X_1 \leq E(U_{11}) + z_{a11}\sqrt{\mathrm{var}(U_{11})}$$
$$X_i \geq E(D_i) + z_{ai}\sqrt{\mathrm{var}(D_i)} \qquad i= 1, 2,\ldots, 11$$
$$X_i \leq E(U_i) + z_{ai}\sqrt{\mathrm{var}(U_i)} \qquad i= 1, 2,\ldots, 11$$

بحث و تحلیل نتایج

داده های مورد نیاز جهت حل مدل از شرکت ملی گاز ایران، شرکت ملی نفت و مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی جمع آوری شده است. احتمال وقوع هریک از تهدیدات مورد بحث در اختلال امنیت گاز بر اساس تکرار وقوع در سال‌های گذشته و همچنین نظر کارشناسان می‌باشد که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مقادیر احتمال وقوع هر یک از تهدیدات ممکن

تهدیدات محتمل الوقوع	واردات	صادرات	تزریق گاز غنی	تزریق گاز سبک	خانگی- تجاری	صنعت	نیروگاه‌ها	حمل و نقل	پتروشیمی	کشاورزی
تهدیدات سرمایه گذاری	-	٪۱	٪۳	٪۳	٪۱	٪۱	-	٪۱	٪۱	-
تهدیدات فنی	٪۲	٪۲	٪۱	٪۱	٪۱	٪۱	٪۲	٪۱	٪۱	-
تهدیدات مدیریت تقاضا و رشد مصرف	٪۱	٪۱	-	-	٪۱	٪۱	-	٪۱	٪۵	٪۱
سایر تهدیدات فیزیکی	٪۲	٪۳	-	-	٪۳	٪۱	٪۱	٪۵	٪۵	٪۱
تهدیدات قیمتی و بازاریابی	٪۱	٪۱	-	-	٪۳	٪۵	-	٪۵	٪۲	٪۵
تهدیدات مدیریتی و سیاسی داخلی	-	٪۱	٪۶	٪۶	٪۴	٪۱,۵	٪۲	٪۱	٪۲	٪۵
تهدیدات سیاسی خارجی و بین المللی	٪۲	٪۱	-	-	-	-	-	-	-	-
مجموع	٪۸	٪۱۰	٪۱	٪۱	٪۴	٪۶	٪۵	٪۵	٪۷	٪۳

جدول ۲ نشان دهنده حداقل مصارف هر یک از بخش‌ها و همچنین قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی در هر یک از بخش-های مختلف مصرف می‌باشد.

جدول ۲- حداقل مصارف هر یک از زیر بخش‌ها

	واردات	صادرات	تزریق گاز غنی	تزریق گاز سبک	خانگی- تجاری	صنعت	نیروگاه‌ها	حمل و نقل	پتروشیمی	کشاورزی
پیش بینی مصرف طبق برنامه پنج ساله (میلیون متر مکعب)	۷۹۹۳,۵	۱۲۷۶۴۰,۵	۳۷۷۱۳,۹۹	۷۳۲۰۹,۵۱	۸۲۲۷۱	۶۵۰۰۰	۷۳۲۱۹	۲۸۶۸۹	۵۳۳۲۶,۵	۱۴۳۰
پیش بینی حداقل مصرف گاز(میلیون متر مکعب)	۱۴۶۰۰	۲۴۴۵۵	۱۲۱۷۵	۸۳۹۵	۵۸۴۹۲,۷۴	۴۰۴۰۴,۷۵	۵۵۷۵۸,۲۷	۱۰۴۶۲,۴۱	۱۳۹۳۱,۷۸	۸۵۶,۰۶
هزینه امنیت هر متر مکعب گاز طبیعی(ریال)	۶۱۶	۷۷۰	۵۰	۵۰	۳۲	۴۲	۴۰	۱۵۰	۴۹	۱۸

حال چنانچه M میانه و R دامنه تغییرات توزیع نرمال باشد، حدود بالا و پایین به ترتیب ٪۱۰ میانه بر اساس نظر خبرگان موضوع در نظر گرفته شده است. بنابراین R=.2 M و همچنین σ=R/4 و Z_α برابر با $Z_{.95}$ که برابر با ۱,۶۴۵ می‌باشد.

با توجه به توضیحات ارائه شده و یکسان بودن اهمیت نسبی میانگین و انحراف معیار می‌توان مدل عددی تخصیص گاز به زیربخش‌های مصرف را با رویکرد هزینه امنیت انرژی به صورت زیر نوشت:

$$\text{Min } Z = .5(616X_1+770\ X_2+50\ X_3+50X_4+\ 32X_5+\ 42X_6+\ 40X_7+\ 150X_8+\ 49X_9+\ 18X_{10})+\ .5(948.64X_1^2+\ 1482.25X_2^2+\ 6.25X_3^2+\ 6.25X_4^2+\ 2.56X_5^2+4.41\ X_6^2+4\ X_7^2+\ 56.25X_8^2+\ 6.0026X_9^2+\ .81X_{10}^2)^{.5}$$

Subject to:

$X_{11} + X_3 \geq 261470+1.645(13073.5)$

$X_{11} + X_3 \leq 531403.5+1.645(26570.175)$

$X_2+ X_4+ X_5+ X_6+ X_7+ X_8+ X_9+ X_{10} - X_1 \geq 249295+1.645(12464.75)$

$X_2+ X_4+ X_5+ X_6+ X_7+ X_8+ X_9+ X_{10} - X_1 \leq 493689.5+1.645(24684.475)$

$X_1 \geq 7993.5 +1.645(399.675)$

$X_2 \geq 24455+1.645(1222.75)$

$X_3 \geq 12175+1.645(608.75)$

$X_4 \geq 8395+1.645(419.75)$

$X_5 \geq 58492.74+1.645(2924.637)$

$X_6 \geq 40404.75+1.645(2020.2375)$

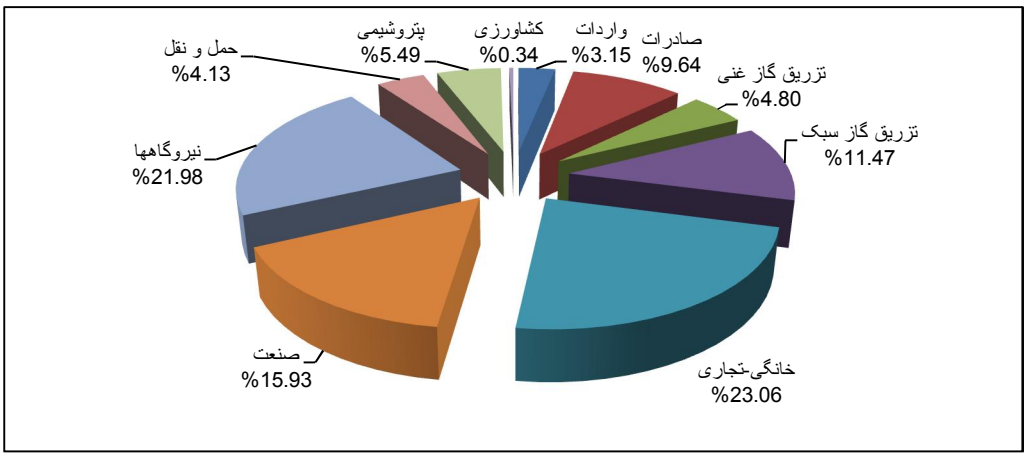
$X_7 \geq 55758.27+1.645(2787.9135)$

$X_8 \geq 10462.41+1.645(523.1205)$

$X_9 \geq 13931.78+1.645(696.589)$
$X_{10} \geq 856.064+1.645(42.8032)$
$X_{11} \geq 249295+1.645(12464.75)$
$X_1 \leq 14600+1.645(730)$
$X_2 \leq 127640.5+1.645(6382.025)$
$X_3 \leq 37713.99+1.645(1885.6995)$
$X_4 \leq 73209.51+1.645(3660.4755)$
$X_5 \leq 82271+1.645(4113.55)$
$X_6 \leq 65000+1.645(3250)$
$X_7 \leq 73219+1.645(3660.95)$
$X_8 \leq 28689+1.645(1434.45)$
$X_9 \leq 53326.5+1.645(2666.325)$
$X_{10} \leq 1430+1.645(71.5)$
$X_{11} \leq 493689.5+1.645(24684.475)$

جدول ۳. مقادیر تخصیص گاز به هر یک از زیر بخش‌ها با رویکرد هزینه امنیت انرژی(ارقام به میلیون متر مکعب)

واردات	صادرات	تزریق گاز غنی	تزریق گاز سبک	خانگی-تجاری	صنعت	نیروگاهها	حمل و نقل	پتروشیمی	کشاورزی
				۶۳۳۰۳,۷۷	۴۳۷۲۸,۰۴	۶۰۳۴۴,۳۹	۱۱۳۲۲,۹۴	۱۵۰۷۷,۶۷	۹۲۶,۴۷۵۳



شکل ۲. درصد تخصیص گاز به هر یک از زیربخش‌ها با رویکرد هزینه امنیت انرژی

مدل مذکور با استفاده از نرم افزار Lingo 11.0 حل گردید و مقادیر و درصد تخصیص هر یک از بخش‌ها طبق جدول ۳ و نمودار ۲ می‌باشد.

نتایج به دست آمده از حل مدل نشان می‌دهد بر اساس رویکرد هزینه امنیت انرژی بیشترین مقدار تخصیص باید به ترتیب به بخش‌های خانگی-تجاری، نیروگاهها، صنعت، تزریق گاز سبک، صادرات، پتروشیمی، تزریق گاز غنی، حمل و نقل، واردات و کشاورزی اختصاص یابد.

یافته‌های برآمده از پژوهش برای مدیران ذی ربط قابل ملاحظه می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که بخشهایی که در سال‌های اخیر با بیشترین تهدیدات مواجه بوده و هزینه‌های هنگفتی نیز متحمل شده‌اند به حدود پایین مقادیر خود رسیده و یا نزدیک شده‌اند و همچنین بخشهایی که با کمترین تهدیدات مواجه بوده‌اند به حدود بالای خود رسیده و یا نزدیک شده‌اند. بخش صادرات یکی از بخش‌هایی است که علی رغم مزیت‌های پرشماری که برای کشور دارد (مزایای مانند ایجاد روابط چند جانبه بین کشورهای وارد کننده گاز از ایران، مزایای اقتصادی و غیره) به کمترین حد خود رسیده است، از اینرو برنامه ریزی برای از بین بردن تهدیدات ممکن و یا

به حداقل رساندن آنها در این بخش ضروری به نظر می‌رسد.

مدل تصادفی بکار گرفته شده در این تحقیق به صورت شایسته و مناسبی قابلیت انعکاس پیچیدگی‌ها، عدم اطمینان، کمبود بصیرت و آگاهی در مورد آینده با رویکرد هزینه امنیت انرژی را داشته و می‌تواند بر مشکلات مذکور فائق آید. مدل به صورت کارا ارتباط بین منابع گاز موجود، تقاضای گاز هر یک از زیربخشها و رویکرد بکارگرفته شده در پژوهش را درک کرده و راه حل بهینه را ارائه می‌نماید.

پژوهش حاضر به منظور تعیین مقادیر تخصیص گاز مصرفی هر یک از زیربخشهای مصرفی با رویکرد هزینه امنیت انرژی صورت گرفته است. لذا قابل تأمل است که تخصیص گاز به زیربخشهای مصرف نیازمند بررسی دیگر رویکردها همانند امنیت ملی، ارزش افزوده، هزینه‌های اقتصادی، اشتغال، زیست محیطی و غیره می‌باشد که باید به آن به صورت جامع و کلی نگریسته شود که در پژوهش‌های آتی به آن پرداخته خواهد شد. اما تحقیق پیش رو به صورت کامل تمامی عواملی که ممکن است امنیت گاز گشور را تحت تأثیر قرار دهند بررسی کرده و مقادیر بهینه گاز بخشهای مختلف را با رویکرد مذکور مشخص نمود.

نتیجه گیری

در این تحقیق، یک مدل برنامه ریزی تصادفی که ضرایب تابع هدف و مقادیر سمت راست محدودیت‌ها بصورت احتمالی بودند، جهت تخصیص گاز طبیعی به زیربخش‌های مختلف مصرف در ایران توسعه داده شد. تابع هدف در این تحقیق با تحلیل عوامل مؤثر در هزینه امنیت انرژی بعنوان هزینه‌های ناشی از تهدیدات ممکن مانند تهدیدات سرمایه‌ای، تهدیدات فنّی، تهدیدات مربوط به رشد مصرف یا تقاضا، تهدیدات فیزیکی(مانند زمین زلزله، انفجار در خطوط لوله، تعمیرات و نگهداری نامناسب و حمله‌های تروریستی) و تهدیدات سیاسی در امنیت گاز طبیعی و محدودیت های عرضه، تقاضا و تعادل عرضه و تقاضا بر اساس سیاست‌های انرژی در برنامه پنج ساله انرژی در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین مقدار تخصیص باید به ترتیب به بخش‌های خانگی-تجاری، نیروگاه‌ها، صنعت، تزریق گاز سبک، صادرات، پتروشیمی، تزریق گاز غنی، حمل و نقل، واردات و کشاورزی اختصاص یابد.

ضمیمه

مدل برنامه ریزی تصادفی با در نظر گرفتن پارامترهای تصادفی به صورت زیر خواهد بود (پور زرندی، ۱۳۹۱):

تصادفی بودن b_i :

در این حالت، مقادیر سمت راست محدودیتها، یعنی امکانات، منابع، بودجه، موجودیها و ... بصورت احتمالی هستند.

در این وضعیت فقط پارامتر b_i با میانگین$\mathrm{E}(b_i)$ و واریانس$\mathrm{var}(b_i)$ بصورت نرمال توزیع شده است. تحلیل این حالت بصورت زیر است:

$$\mathrm{P}\left[\ b_i \geq \sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j)\ \right] \geq (a_i)$$

$$\mathrm{p}\left\{\frac{b_i - E(b_i)}{\sqrt{\mathrm{var}(b_i)}} \geq \frac{\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j) - E(b_i)}{\sqrt{\mathrm{var}(b_i)}}\right\} \geq\ a_i$$

این رابطه زمانی برقرار خواهد بود که:

$$\frac{\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j) - E(b_i)}{\sqrt{\mathrm{var}(b_i)}}\ \leq\ z_{ai}$$

بنابراین از محدودیت تصادفی متناظر با محدودیت خطی معین، معادله زیر بدست می آید:

$$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j)\ \leq\ E(b_i) + z_{ai}\sqrt{\mathrm{var}(b_i)}$$

این رابطه، همان حد بالائی برآورد فاصله ای(یک دامنه ای) b در استنباط های آماری است که بصورت زیر مطرح می شود:

$$\bar{x}_b + z_{ai}\, S_{\bar{x}\ \mathrm{b}}$$

به همین جهت در این حالت، مدل با محدودیت احتمالی را می توان بصورت یک مدل برنامه ریزی خطی متناظر نوشت.

تصادفی بودن c_j

این وضعیت نشانگر آن است که ضرایب متغیرها در تابع هدف، از قبیل سود، بهره وری، هزینه ها، قیمت ها و... احتمالی هستند.

در چنین حالتی فقط پارامتر c_j با میانگین $= E(F)$ $\sum \bar{c}_j x_j$ و واریانس $\text{var}(f) = x^T dx$ دارای توزیع نرمال است. در این رابطه مقدار $\bar{c}_j$ میانگین c_j و ماتریس d ماتریس واریانس- کوواریانس c_j است.

تابع هدف حداقل کردن قطعی جدید چنین است:

$$F(x) = w_1 E(f) + w_2 \sqrt{\text{var}(f)}$$

w_1 و w_2 اهمیت نسبی مقدار مورد انتظار f هستند.

۱) اگر $w_1 = w_2$ باشد، حداقل سازی میانگین و انحراف معیار f، اهمیت یکسانی دارد.

۲) اگر $w_1 = 0$ باشد، یعنی حداقل سازی f، حول مقدار انحراف معیار بدون توجه به مقدار میانگین f، انجام می شود.

۳) اگر $w_2 = 0$ باشد به این معناست که مقدار مورد انتظار f باید بدون توجه به انحراف معیار f حداقل شود.

بنابراین پاسخ مسئله غیر خطی تصادفی را می توان با حل مسئله زیر بدست آورد، که مساله ی برنامه ریزی غیر خطی متناظر با آن است.

حداقل کردن تابع هدف

$$F(x) = w_1 \sum \bar{C}_j x_j + \sqrt{x^T dx}$$

s.t:

$$\sum a_{ij} x_j - \bar{b}_i \le 0 \qquad i = 1,2,\dots,m$$
$$x_j \ge 0 \qquad j = 1,2,\dots,n$$

در صورت مستقل بودن همه مقادیر تصادفی C_j ، تابع هدف فوق بصورت زیر نوشته می شود.

$$f(x) = w_1 \sum \bar{C}_j x_j + w_2 \sqrt{\sum \text{var}(c_j) x_j^2}$$

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت شرکت ملی گاز ایران انجام گرفته است.

فهرست منابع

۱) آذر، عادل. مومنی، منصور. آمار و کاربرد آن در مدیریت، جلد دوم. انتشارات سمت، چاپ دهم، تهران، ۱۳۸۵.

۲) پور زرندی، محمد ابراهیم. برنامه ریزی غیر خطی. انتشارات سمت، تهران، ۱۳۹۱.

۳) رنانی، محسن. شریفی، علیمراد. خوش اخلاق، رحمان، دین محمدی، مصطفی. تعیین اولویت‌های کاربرد ذخایر گازی ایران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۸۲-۱۵۱.

۴) قمصری، محمدمهدی. برآورد هزینه امنیت صادرات گاز ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.

5) Akabari, T., Rahimian, A., Kazemi, A. (2011). A multi-stage stochastic transmission expansion planning method. Energy Conversion Management. 52, 2844-53.

6) Beraldi, P., Dominco, C., Antonio, V. (2008). A two-stage stochastic programming model for electric energy producers. Computer & Operations Research. 35, 3360-3370.

7) Daim, T.U., Schweinfort, W., Kayakutlu G., Third N. (2010). Identification of energy policy priorities from existing energy portfolios using hierarchical decision model and goal programming .Case of Germany and France, International Journal of Energy Sector Management. 4 24-43.

8) Energy Information Administration (EIA). (2010). Annual Energy outlook 2010 with projection to 2035, DOE/EIA- 03038, Washangton, DC, USA.

9) Jun, E., Kim, W., Chang, S.H. (2008). The analysis of security cost for different energy sources, Applied Energy. 1894-1901.

10) Li, Y.F., Li, Y.P., Huang, G.H., Chen, X. (2010). Energy and environmental system planning under uncertainty- An inexact fuzzy-stochastic programming approach. Applied Energy. 87, 3189-3211.

11) Li, Y.P., Huang, G.H. (2012). Electric- power system planning and greenhouse-gas emission management under uncertainty. Energy Conversion and Management. 57, 173-182.

12) Lin, Q.G., Huang, G.H. (2009). Planning of energy system management and GHG-emission control in the Municipality of Beijing- An inexact dynamic programming model. Energy Policy. 37, 4463-4473.

13) Mirkhani, Sh., Saboohi, Y. (2012). Stochastic modeling of energy supply system with uncertain fuel price- A case of emerging technologies for distributed power generation. 93, 668-674.

14) Scott, J.A., Ho, W., Dey, P.K. (2012). A review of multi-criteria decision-making method for bioenergy systems. Energy. doi:10.1016/j.energy.2012.03.074

15) Shukla, P.R., Dhar S. (2009). Regional cooperation towards trans-country natural gas

market. An economic assessment for India, International Journal of Energy Sector Management. 3 ,251-274.

16) Stoyan, S.J., Dessouky, M.M. (2011). A stochastic mixed-integer programming approach to energy-technology management problem. doi: 10.1016/j.cie.2011.07.012
17) Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., Zhao, J.H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2263-2278.
18) Xie, Y.L., Li, Y.P., Huang, G.H., Li, Y.F. (2010). An interval fixed-mix stochastic programming method for greenhouse gas mitigation in energy system under uncertainty. Energy. 35, 4627-4644.
19) Yergin, D. (2006). Ensuring energy security. Foreign Affairs. 85, 69-82.
20) Zhu, Y., Huang, G.H., Li, Y.P., He, L., Zhang, X.X. (2011). An interval full-infinite mixed-integer programming method for planning municipal energy systems – A case study of Beijing. Applied Energy, 88, 2846-2862