چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۳ ـ پاییز ۱۳۹۰
ص‌ص۶۵ - ۴۳

ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای تخصیص بهینه منابع انرژی ایران

عالیه کاظمی*، محمدرضا مهرگان، حامد شکوری گنجوی*****

چکیده

این تحقیق با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، تخصیص بهینه منابع انرژی کشور به بخش‌های مختلف ـ خانگی، تجاری، حمل و نقل، صنایع، کشاورزی، صادرات، تزریق به مخازن نفتی و نیروگاهها به عنوان تولیدکننده انرژی ثانویه ـ را مورد بررسی قرار داده است و در این راستا اهداف سیاسی، اقتصادی و زیست محیطی نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. از داده‌های سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۷ برای پیش‌بینی تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف مصرف و بررسی اعتبار مدل استفاده شده است. همچنین با توجه به اجرا شدن طرح هدفمندکردن یارانه‌ها، تخصیص منابع نفت و گاز به بخش‌های مختلف مصرف طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ بررسی شده است. نتایج این تحقیق، راهکارهای مناسبی را در اختیار برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران قرار می‌دهد تا برنامه‌ریزی مناسب در خصوص تخصیص بهینه منابع انرژی کشور داشته باشند.

کلید واژه‌ها: تخصیص منابع انرژی، پیش‌بینی، برنامه‌ریزی چندهدفه، برنامه‌ریزی خطی، هدفمندکردن یارانه‌ها، گازهای گلخانه‌ای.

تاریخ دریافت مقاله:۸۹/۱۱/۲۰ ، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۰۵/۲۵.

* استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت،دانشگاه تهران،(نویسنده مسؤل)
E-mail:aliyekazemi@ut.ac.ir
** دانشیار گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران.
*** دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی دانشگاه تهران.

مقدمه

انرژی از جمله عواملی است که در اکثر فعالیت‌های اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امنیت ملی اکثر کشورها در گرو دسترسی مطمئن به انرژی است. از این رو، آینده تولید و مصرف حامل‌های انرژی و کاربرد بهینه آنها از اهمیتی خاص برخوردار است. بخش اعظم انرژی مصرفی در ایران، از سوخت‌های فسیلی و نفت و گاز (۹۹/۳٪ در سال ۱۳۸۷) تامین می‌شود. با توجه به محدودیت‌های افزایش تولید نفت‌خام و گازطبیعی، رشد فزاینده مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز، وابستگی اقتصاد و بودجه عمومی به درآمدهای فروش نفت خام و مالکیت نسل‌های آینده بر منابع طبیعی، لزوم بهینه سازی در بخش‌های عرضه و تقاضای نفت و گاز کشور، واقعیتی انکارناپذیر است [۱].

افزایش دمای زمین در دهه‌های اخیر باعث بروز مشکلات پیش‌بینی نشده در زندگی انسان‌ها شده است که از جمله می‌توان به وقوع سیلاب‌ها، طوفان‌های شدید، ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن آب دریاها و اقیانوس‌ها و به دنبال آن، به زیر آب رفتن قسمتی از خشکی‌ها، فرسایش مناطق ساحلی، کوچ اجباری انسان‌ها و حتی تشدید بیماری‌ها اشاره کرد. یکی از مهمترین عوامل گرم شدن زمین، انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو بر اثر فعالیت‌های بشر است. مجموعه مسایل و مشکلات یادشده باعث شده است که مقابله با آثار مخرب فعالیت‌های انسان در محیط زیست، از دغدغه‌های مهم جهانی به شمار آید، به نحوی که یافتن راهکارهایی برای کاهش یا رفع این خسارت‌ها، بخش مهمی از گفت‌وگوهای دولت‌ها را تشکیل می‌دهد. نقطه عطف این گفت‌وگوها، کنوانسیون تغییرات آب و هوا با نام «کنوانسیون ساختاری [سازمان] ملل متحد در باره تغییرات آب و هوا» در سال ۱۹۹۲ بود که به عنوان منشور همکاری جامعه بین‌الملل برای مقابله با تغییرات آب و هوایی، به تصویب قریب به اتفاق کشورهای جهان رسید. در این زمینه، معاهده‌هایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود دارد که از جمله می‌توان به پیمان کیوتو اشاره نمود. این معاهده، کشورهای صنعتی را متعهد می‌نماید که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را تا ۲۰۱۲، در مقایسه با ۱۹۹۰، ۵/۲ درصد کاهش دهند. ایران نیز از سال ۱۹۹۶ به عضویت این کنوانسیون درآمده است [۲].

با توجه به موارد مذکور، تحقیق حاضر با در نظر گرفتن اهداف مختلف به منظور حفظ امنیت سیاسی و امنیت انرژی، حفظ منافع اقتصادی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به طراحی مدل ریاضی مناسب برای تخصیص بهینه نفت و گاز کشور پرداخته است.

تا کنون مدل‌های ریاضی زیادی برای تخصیص بهینه منابع انرژی ارائه شده است. برخی مدل‌های موجود انرژی، مانند مسیج (مدل آلترناتیوهای سیستم‌های عرضه انرژی و اثرات کلی زیست محیطی آنها) و تایمز، به بهینه‌سازی سیستم انرژی می‌پردازند. اکثر این مدل‌ها دارای

فرضیاتی هستند که استفاده از آنها را برای ایران با مشکل مواجه می‌کند. به عنوان مثال، در مدل تایمز در رابطه با همه کالاها فرض بازار رقابتی کامل در نظر گرفته شده است و قیمت، محصول ایجاد تعادل در بازارهای جزئی است. البته در مدل تایمز اشاره شده است در شرایطی که فرض فوق صدق نمی‌کند، با استفاده از محدودیت‌های اضافی می‌توان این مشکل را مرتفع نمود. با توجه به اینکه تقریباً تمام حامل‌های انرژی در ایران را دولت عرضه می کند و فرض بازار تعادلی در مورد آنها صدق نمی‌کند، محدودیت‌های بسیاری را باید به مدل اضافه نمود. بدین ترتیب، محدودیت‌های فوق به قدری زیاد خواهد شد که شاید ساختار مدل را تحت تاثیر قرار دهد. از جمله موارد دیگری که استفاده از این مدل‌ها را در ایران با مشکل مواجه خواهد ساخت، نیاز به ورودی‌های متنوع و فراوان است که متاسفانه داده‌هایی با این جزئیات در ایران وجود ندارد. از این رو، در اغلب موارد به ناچار باید از داده‌های تخمینی استفاده کرد. با توجه به اینکه تعداد این گونه داده‌ها به قدری زیاد است که نهایتاً اعتبار داده‌های ورودی دچار مشکل می شود و نمی‌توان به نتایج مدل اطمینان کافی داشت، به نظر می‌رسد برای استفاده از مدل‌های انرژی باید ابتدا نیازمندی‌های داده‌های مدل تهیه شود، طی چند سال اقدام به جمع‌آوری داده‌های فوق شود و سپس از مدل استفاده شود. بنابراین، استفاده از مدل‌های انرژی، مستلزم داشتن زیرساخت‌هایی نظیر داده‌های آماری است [۱۵].

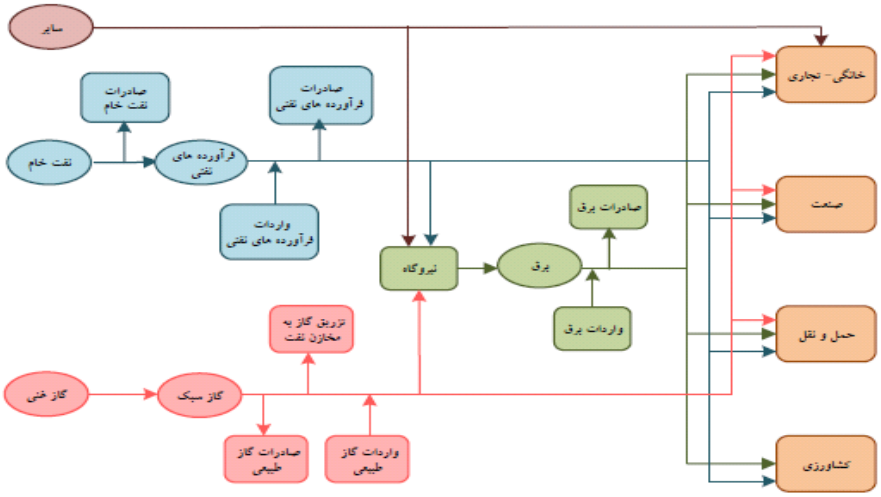
محققین با استفاده از تکنیک‌های تحقیق در عملیات نیز به تخصیص بهینه منابع انرژی در بخش‌های مختلف مصرف پرداخته‌اند. مژر و همکاران (۱۹۹۸) مدل تخصیص منابع انرژی به مصرف‌کنندگان نهایی در بخش خانگی لبنان را با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه توسعه دادند [۲۱]. اگراوال و سینف، (۲۰۰۱) مدل انرژی پخت و پز در خانوارهای هندی را با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه فازی فرمول‌بندی کردند [۲۰]. برگر و آنتونز (۲۰۰۳) مدل برنامه‌ریزی اقتصادی انرژی را با استفاده از تصمیم‌گیری چندهدفه فازی فرمولبندی کردند [۱۱]. صادقی و حسینی (۲۰۰۶) مدل برنامه‌ریزی عرضه انرژی در ایران را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی فازی توسعه دادند [۱۸]. شاه‌حسینی (۱۳۸۸) تخصیص گاز طبیعی به حوزه‌های مختلف مصرف شامل خانگی- تجاری و عمومی، صنعتی، نیروگاهی، صادرات و تزریق گاز به مخازن نفتی را مورد مطالعه قرار داد [۳]. محقر و همکاران (۱۳۸۹) با شناسایی شاخص‌های مهم اولویت‌بندی مصرف گاز و تعیین وزن نسبی آنها و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه تاپسیس[1] به اولویت‌بندی تخصیص گاز به بخش‌های مختلف مصرف پرداختند و سپس با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی آرمانی، سهم بهینه بخش‌های مختلف مصرف را مشخص کردند [۴].

1.Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution

در تحقیق حاضر با استفاده از تکنیک‌های تحقیق در عملیات و با در نظر گرفتن منافع امنیتی، اقتصادی و زیست محیطی، مدل ریاضی تخصیص بهینه نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف طراحی شده است. در بخش ۲، سیستم مرجع انرژی و در بخش ۳، مدل ریاضی تخصیص نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف ارائه شده است. در بخش ۴، مدل ریاضی پیشنهادی حل و نتایج آن تجزیه و تحلیل شده است. در بخش ۵، نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

سیستم مرجع انرژی

شکل ۱ سیستم مرجع انرژی کشور را نشان می‌دهد.



شکل ۱. سیستم مرجع انرژی

همانگونه که ملاحظه می‌شود، انرژی اولیه، شامل نفت خام، گاز طبیعی غنی و سایر موارد (برق آبی و بادی، سوخت‌های سنتی و ...) می‌باشد. انرژی که در داخل کشور به سیستم عرضه دارد می‌شود، پس از تصفیه و فرآورش به حامل‌های انرژی تبدیل می‌گردد تا به انرژی ثانویه یا نهایی تبدیل شود. بخش‌های مصرف‌کننده نهایی، شامل خانگی- تجاری، صنعت، حمل و نقل و کشاورزی می‌باشند. نیروگاهها نیز از حامل‌های انرژی مختلف برای تولید برق استفاده می‌کنند.

نفت خام استخراج شده از مخازن نفتی را می‌توان به صورت خام صادر کرد و یا پس از ارسال به پالایشگاه‌های نفت و تبدیل آن به فرآورده‌های نفتی به بخش‌های مختلف مصرف تخصیص داد. همچنین می‌توان فرآورده‌های نفتی را صادر و یا برای تولید برق به نیروگاههای حرارتی ارسال نمود. در صورت نیاز، واردات فرآورده‌های نفتی نیز انجام می‌شود.

گاز غنی پس از ارسال به پالایشگاههای گاز به گاز سبک تبدیل می‌شود. گاز سبک را می‌توان به بخش‌های مختلف مصرف تخصیص داد. همچنین می‌توان بخشی از گاز سبک را به صادرات تخصیص داد و یا برای ازدیاد برداشت نفت خام، به مخازن نفت تزریق نمود.

سایر انرژی‌ها شامل سوخت‌های سنتی مورد استفاده در روستاها در بخش خانگی- تجاری و انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق در نیروگاهها می‌باشد.

برق تولید شده توسط نیروگاههای حرارتی و تجدیدپذیر را می‌توان به بخش‌های مختلف مصرف تخصیص داد. همچنین می‌توان میزان مشخصی از برق را صادر نمود.

مدل ریاضی تخصیص نفت و گاز طبیعی

در این بخش، با توجه به سیستم مرجع انرژی، مدل ریاضی تخصیص نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف طراحی می‌شود. متغیرها، پارامترها، تابع هدف و محدودیت‌های مدل مذکور به شرح زیر می‌باشند:

متغیرهای مدل

$x_{co}(T)$: میزان نفت خام که در سال T به فرآورده‌های نفتی تبدیل می‌شود. (میلیون بشکه)

$E_c(T)$: میزان صادرات نفت خام در سال T (میلیون بشکه)

$E_o(T)$: میزان صادرات فرآورده‌های نفتی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$E_b(T)$: میزان صادرات بنزین در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$I_o(T)$: میزان واردات فرآورده‌های نفتی (به غیر از بنزین) در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$I_b(T)$: میزان واردات بنزین در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{or}(T)$: میزان فرآورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{oi}(T)$: میزان فرآورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش صنعت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{ot}(T)$: میزان فرآورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{oa}(T)$: میزان فرآورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش کشاورزی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{op}(T)$: میزان فرآورده‌های نفتی تخصیص داده شده به نیروگاهها در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{gn}(T)$: میزان گاز سبک تزریقی به مخازن نفت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$E_g(T)$: میزان صادرات گاز طبیعی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$I_g(T)$: میزان واردات گاز طبیعی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{gr}(T)$: میزان گاز طبیعی تخصیص داده شده به بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{gi}(T)$: میزان گاز طبیعی تخصیص داده شده به بخش صنعت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{gt}(T)$: میزان گاز طبیعی تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{gp}(T)$: میزان گاز طبیعی تخصیص داده شده به نیروگاهها در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$E_e(T)$: میزان صادرات برق در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$I_e(T)$: میزان واردات برق در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{er}(T)$: میزان برق تخصیص داده شده به بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{ei}(T)$: میزان برق تخصیص داده شده به بخش صنعت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{et}(T)$: میزان برق تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$x_{ea}(T)$: میزان برق تخصیص داده شده به بخش کشاورزی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

تعریف اندیس‌ها و حروف

r: بخش خانگی- تجاری	i: بخش صنعت
t: بخش حمل و نقل	a: بخش کشاورزی
p : نیروگاهها	c: نفت خام
o: فرآورده‌های نفتی	b: بنزین
E : صادرات	I : واردات
e : برق	R : گاز غنی
g : گاز سبک	n: تزریق به مخازن نفت

T: زمان (سال) D: تقاضا

h: یارانه s =: سایر انرژی‌ها (برق آبی و بادی، سوختهای سنتی)

P: قیمت U: حد بالا

m: انتشار گازهای گلخانه‌ای f : راندمان

z: هدف w: تلفات

پارامترهای مدل

$c(T)$: میزان تولید نفت خام در سال T (میلیون بشکه)

$o(T)$: میزان تولید فرآورده‌های نفتی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$R(T)$: میزان تولید گاز طبیعی غنی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$g(T)$: میزان تولید گاز طبیعی سبک در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$e_1(T)$: میزان تولید برق در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$e(T)$: میزان برق پس از کسر تلفات انتقال و توزیع در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_r(T)$: میزان تقاضای انرژی بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_i(T)$: میزان تقاضای انرژی بخش صنعت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_t(T)$: میزان تقاضای انرژی بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_a(T)$: میزان تقاضای انرژی بخش کشاورزی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_p(T)$: میزان تقاضای انرژی نیروگاهها در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{or}(T)$: میزان تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{oi}(T)$: میزان تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش صنعت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{ot}(T)$: میزان تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{oa}(T)$: میزان تقاضای فرآورده‌های نفتی بخش کشاورزی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{gr}(T)$: میزان تقاضای گاز طبیعی بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{gi}(T)$: میزان تقاضای گاز طبیعی بخش صنعت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{gt}(T)$: میزان تقاضای گاز طبیعی بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{gp}(T)$: میزان تقاضای گاز طبیعی نیروگاهها در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{er}(T)$: میزان تقاضای برق بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{ei}(T)$: میزان تقاضای برق بخش صنعت در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{et}(T)$: میزان تقاضای برق بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$D_{ea}(T)$: میزان تقاضای برق بخش کشاورزی در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$f_o(T)$: راندمان پالایشگاههای نفت در سال T (درصد)

$f_g(T)$: راندمان پالایشگاههای گاز در سال T (درصد)

$f_p(T)$: راندمان نیروگاهها در سال T (درصد)

$w(T)$: تلفات انتقال و توزیع برق در سال T (درصد)

$h_o(T)$: یارانه فرآورده‌های نفتی در سال T (درصد)

$h_g(T)$: یارانه گاز در سال T (درصد)

$h_e(T)$: یارانه برق در سال T (درصد)

$p_c(T)$: قیمت واقعی نفت خام در سال T (دلار در بشکه)

$p_g(T)$: قیمت واقعی گاز طبیعی در سال T (دلار در بشکه معادل نفت خام)

$p_b(T)$: قیمت واقعی بنزین در سال T (دلار در بشکه معادل نفت خام)

$p_o(T)$: قیمت واقعی سایر فرآورده‌های نفتی در سال T (دلار در بشکه معادل نفت خام)

$p_e(T)$: قیمت واقعی برق در سال T (دلار در بشکه معادل نفت خام)

m_{or}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش خانگی- تجاری (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{gr}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف گاز در بخش خانگی- تجاری (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{sr}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف سوخت‌های سنتی در بخش خانگی- تجاری (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{oi}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{gi}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{ot}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش حمل و نقل (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{gt}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف گاز طبیعی در بخش حمل و نقل (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{oa}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش کشاورزی (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{ga}: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف گاز طبیعی در بخش کشاورزی (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{op}: متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف فرآورده‌های نفتی در نیروگاهها (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

m_{gp}: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف گاز طبیعی در نیروگاهها (میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن به میلیون بشکه معادل نفت خام)

$U_{sr}(T)$: حد بالای مصرف سوخت‌های سنتی در بخش خانگی- تجاری در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$U_{gt}(T)$: حد بالای مصرف گاز طبیعی در بخش حمل و نقل در سال T (میلیون بشکه معادل نفت خام)

$z_b(T)$: ضریب استحصال بنزین از پالایشگاههای نفت کشور در سال T (درصد)

$p_{bt}(T)$: میزان استفاده از بنزین در بخش حمل و نقل در سال T (درصد)

$p_{sp}(T)$: میزان تامین برق با انرژی‌های تجدیدپذیر در سال T (درصد)

توابع هدف

توابع هدف با رویکردهای سیاسی، اقتصادی و زیست محیطی به شرح زیر می‌باشند:

تابع هدف با رویکرد سیاسی

برای حفظ امنیت سیاسی و امنیت انرژی کشور، میزان واردات باید حداقل شود. قابل ذکر است که در مدل پیشنهادی، واردات و صادرات سوآپ، با فرض تساوی واردات و صادرات، لحاظ نشده است. لذا تابع هدف اول، کمینه سازی مجموع واردات فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق را مورد توجه قرار داده است. همچنین با توجه به اینکه بنزین، سوخت اصلی مصرفی در بخش

حمل و نقل است و تقاضای بالایی دارد، با در نظر گرفتن ضریب استحصال آن در پالایشگاههای نفت کشور، جدا از سایر فرآورده‌های نفتی در نظر گرفته شده است.

$$Min \quad z_1(T) = I_o(T) + I_b(T) + I_g(T) + I_e(T) \qquad (۱)$$

تابع هدف با رویکرد اقتصادی

این تابع هدف با توجه به ارزش هر بشکه نفت خام، یارانه تخصیص داده شده به حامل‌های انرژی (نفت، گاز و برق)، صادرات، واردات و مصارف حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف، حداکثر منافع اقتصادی را در نظر می‌گیرد. هدف در اینجا، حداکثرسازی منافع اقتصادی ــ شامل ارزش مجموع صادرات نفت خام، فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق پس از کسر ارزش مجموع واردات فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق و همچنین کسر ارزش یارانه تخصیص داده شده به بخش‌های مختلف است.

(۲)

$$\begin{aligned} Max \quad z_2(T) &= P_c(T) \times \mathrm{E}_c(T) + P_o(T)(E_o(T) - I_o(T) - h_o(T)(x_{or}(T) + x_{ot}(T) \\ &+ x_{oi}(T) + x_{oa}(T) + x_{op}(T)) + P_b(T)(E_b(T) - I_b(T) - h_o(T)(x_{bt}(T)) \\ &+ P_g(T)(E_g(T) - I_g(T) - h_g(T)(x_{gr}(T) + x_{gt}(T) + x_{gi}(T) + x_{gp}(T)) \\ &+ P_e(T)(E_e(T) - I_e(T) - h_e(T)(x_{er}(T) + x_{et}(T) + x_{ei}(T) + x_{ea}(T)) \end{aligned}$$

تابع هدف با رویکرد زیست محیطی

با افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، متوسط دما رو به افزایش است که این امر بر محیط زیست تاثیر خواهد گذاشت، زیرا گازهای گلخانه‌ای، حرارت متصاعد شده از زمین را جذب می‌کنند و اصطلاحاً به تله می‌اندازند. برخی گازهای گلخانه‌ای، نظیر دی‌اکسیدکربن، محصول احتراق سوخت‌های هیدروکربنی و فعالیت جامعه بشری هستند و برخی دیگر، مانند گازهای ترکیبات فلور، منحصراً از فعالیت‌های بشری تولید می‌شوند. متان از دیگر گازهایی است که بر دمای محیط اثر می‌گذارد و در زمره گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌آید. متان در طی فرایند تولید زغال سنگ، نفت و گاز آزاد می‌شود. متان از منابعی نظیر فضولات حیوانی و دورریز کشاورزی نیز منتشر می‌گردد و در اثر پوسیدن زباله‌های ارگانیک نیز در فضا پراکنده می‌گردد. از دیگر گازهای گلخانه‌ای می‌توان به اکسید نیتروژن- که از فعالیت بخش‌های حمل و نقل، کشاورزی و صنعتی آزاد می‌گردد- اشاره کرد [۶]. با مصرف هر یک از حامل‌های انرژی - شامل فرآورده‌های نفتی(ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش‌های مختلف، با توجه به ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف هر فرآورده نفتی و میانگین درصد مصرف آن طی ۵ سال اخیر محاسبه شده است.)، گاز و سوخت‌های سنتی در بخش‌های مختلف

مقدار مشخصی از گازهای گلخانه‌ای (شامل دی‌اکسیدکربن، متان، و اکسید نیتروژن) انتشار می‌یابد. ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای در تابع زیر، معادل دی‌اکسیدکربن است که با در نظر گرفتن مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن و معادل دی‌اکسیدکربن برای متان و اکسید نیتروژن محاسبه شده است. لذا این تابع هدف، کمینه سازی مجموع میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف حامل‌های مختلف انرژی در بخش‌های مختلف را مورد توجه قرار داده است.

(۳)

$$Min \quad z_3(T) = m_{or}x_{or}(T) + m_{gr}x_{gr}(T) + m_{sr}x_{sr}(T) + m_{oi}x_{oi}(T) + m_{gi}x_{gi}(T) + m_{ot}x_{ot}(T) + m_{gt}x_{gt}(T) + m_{oa}x_{oa}(T) + m_{op}x_{op}(T) + m_{gp}x_{gp}(T)$$

محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های مدل به شرح زیر می‌باشد:

محدودیت‌های تعادل

شامل محدودیت‌های تعادل نفت، گاز طبیعی و برق می‌باشد.

محدودیت‌های تعادل نفت

نفت خام تولید شده از مخازن نفتی را می‌توان صادر و یا به فرآورده‌های نفتی تبدیل کرد.

$$c(T) = E_c(T) + x_{co}(T) \qquad (۴)$$

همچنین نفت خام ارسالی به پالایشگاههای نفت کشور، با توجه به راندمان آنها، به مقدار مشخصی از فرآورده‌های نفتی تبدیل می‌شود.

$$o(T) = x_{co}(T) \times f_o(T) \qquad (۵)$$

مجموع فرآورده‌های نفتی تولیدشده در داخل کشور و واردات، برابر با فرآورده‌های نفتی تخصیص داده شده به واردات و به بخش‌های مختلف است.

$$o(T) + I_o(T) + I_b(T) = E_o(T) + x_{or}(T) + x_{oi}(T) + x_{ot}(T) + x_{oa}(T) + x_{op}(T) \qquad (۶)$$

همچنین در بخش حمل و نقل، محدودیت زیر برای استفاده از بنزین مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به ضریب استحصال بنزین در پالایشگاههای نفت کشور و میزان استفاده از بنزین در بخش حمل و نقل در هر سال، در صورت نیاز، واردات بنزین انجام می‌شود. بنابراین، میزان بنزین مصرفی در بخش حمل و نقل ـ که درصدی مشخص از کل انرژی مصرفی در این بخش می‌باشد ـ برابر با مقدار بنزین تولیدشده در پالایشگاههای نفت کشور ـ که درصد مشخصی از کل فرآورده‌های نفتی تولید شده در پالایشگاههای نفت کشور است ـ به اضافه واردات بنزین می‌باشد و در صورت تولید مازاد بر تقاضا، صادارت بنزین انجام می‌شود.

$$x_{ot}(T) \times p_{bt}(T) = o(T) \times z_b(T) + I_b(T) - E_b(T)$$
$$x_{bt}(T) = o(T) \times z_b(T) \quad (۷)$$

محدودیت‌های تعادل گاز طبیعی

گاز غنی تولید شده از مخازن گازی پس از ارسال به پالایشگاههای گاز، با توجه به راندمان آنها، به مقدار مشخصی از گاز سبک تبدیل می‌شود.

$$g(T) = R(T) \times f_g(T) \quad (۸)$$

مجموع گاز سبک تولید شده در داخل کشور و واردات، برابر با گاز طبیعی تخصیص داده شده به صادرات و به بخش‌های مختلف است.

$$g(T) + I_g(T) = E_g(T) + x_{gn}(T) + x_{gr}(T) + x_{gi}(T) + x_{gt}(T) + x_{gp}(T) \quad (۹)$$

محدودیت‌های تعادل برق

میزان حامل‌های انرژی (گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی) ارسالی به نیروگاههای حرارتی کشور، با توجه به راندمان آنها و تلفات انتقال و توزیع، به مقدار مشخصی برق تبدیل می‌شود. برق تولید شده در نیروگاههای حرارتی، بادی و آبی، به بخش‌های مختلف تخصیص می‌یابد. بنابراین، مجموع برق تولید شده در نیروگاههای تجدیدپذیر و نیروگاههای حرارتی، برابر با کل برق موجود برای تخصیص به بخش‌های مختلف می‌باشد.

$$sp(T) + (x_{op}(T) + x_{gp}(T)) \times f_e(T) = e_1(T) \quad (۱۰)$$

با توجه به اینکه بر اساس برنامه‌های استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در نیروگاهها، بخش مشخصی از برق از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تامین می‌شود، محدودیت زیر نیز اعمال شده است.

$$sp(T) = e_1(T) \times P_{sp}(T) \quad (۱۱)$$

برق تولیدشده در نیروگاهها به بخش‌های مختلف مصرف تخصیص داده می‌شود. با توجه به تلفات انتقال و توزیع، محدودیت زیر نیز در نظر گرفته شده است.

$$e(T) = e_1(T) \times w(T) \quad (۱۲)$$

همچنین مجموع برق تولیدشده در داخل کشور (پس از کسر تلفات انتقال و توزیع) و واردات، برابر با میزان برق تخصیص داده شده به صادرات و بخش‌های مختلف است.

$$e(T) + I_e(T) = E_e(T) + x_{er}(T) + x_{ei}(T) + x_{et}(T) + x_{ea}(T) \quad (۱۳)$$

محدودیت‌های تقاضا

محدودیت‌های تقاضا شامل محدودیت مصرف کل انرژی بخش‌های مختلف و همچنین محدودیت تقاضای حامل‌های مختلف انرژی ـ شامل فرآورده‌های نفتی، گاز، برق و سایر انرژی‌ها ـ در بخش‌های مختلف است.

محدودیت‌های تقاضای بخش خانگی- تجاری

مجموع فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق و سوخت‌های سنتی تخصیص داده شده به بخش خانگی- تجاری، بزرگتر یا مساوی با تقاضای کل انرژی در این بخش می‌باشد. همچنین تقاضای این بخش برای فرآورده‌های نفتی، گاز و برق، جداگانه مورد توجه قرار گرفته است.

$$\begin{aligned} & s_r(T) + x_{or}(T) + x_{gr}(T) + x_{er}(T) \geq D_r(T) \\ & x_{or}(T) \geq D_{or}(T) \\ & x_{gr}(T) \geq D_{gr}(T) \\ & x_{er}(T) \geq D_{er}(T) \end{aligned} \quad (۱۴)$$

محدودیت‌های تقاضای بخش صنعت

مشابه با بخش خانگی- تجاری، محدودیت‌های تقاضای بخش صنعت به شرح زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned} & x_{oi}(T) + x_{gi}(T) + x_{er}(T) \geq D_i(T) \\ & x_{oi}(T) \geq D_{oi}(T) \\ & x_{gi}(T) \geq D_{gi}(T) \\ & x_{ei}(T) \geq D_{ei}(T) \end{aligned} \quad (۱۵)$$

محدودیت‌های تقاضای بخش حمل و نقل

مجموع فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل، بزرگتر یا مساوی با تقاضای کل انرژی در این بخش می‌باشد. همچنین تقاضای فرآورده‌های نفتی در این بخش، جداگانه مورد توجه قرار گرفته است. در خصوص تقاضای گاز طبیعی و برق در بخش حمل و نقل، با توجه به محدود بودن توسعه زیرساخت‌های استفاده از گاز طبیعی فشرده شده (سی‌ان‌جی) و برق، محدودیت‌های مربوط به حدود بالا و پایین در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned} & x_{ot}(T) + x_{gt}(T) + x_{et}(T) \geq D_t(T) \\ & x_{ot}(T) \geq D_{ot}(T) \end{aligned} \quad (۱۶)$$

محدودیت‌های تقاضای بخش کشاورزی

مجموع فرآورده‌های نفتی و برق تخصیص داده شده به بخش کشاورزی، بزرگتر یا مساوی با تقاضای کل انرژی در این بخش می‌باشد. همچنین تقاضای فرآورده‌های نفتی و برق در این بخش، جداگانه مورد توجه قرار گرفته است.

$$\begin{aligned} &x_{oa}(T)+x_{ea}(T)\geq D_a(T)\\ &x_{oa}(T)\geq D_{oa}(T)\\ &x_{ea}(T)\geq D_{ea}(T) \end{aligned} \qquad (۱۷)$$

محدودیت‌های تقاضای نیروگاهها

مجموع فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی تخصیص داده شده به نیروگاههای حرارتی، بزرگتر یا مساوی با تقاضای کل انرژی در این بخش می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه در نیروگاه‌های حرارتی، استفاده از گاز طبیعی بر فرآورده‌های نفتی ارجحیت دارد و این دو قابل جایگزینی با یکدیگر هستند، تقاضای گاز در این بخش، جداگانه مورد توجه قرار گرفته است.

$$\begin{aligned} &x_{op}(T)+x_{gp}(T)\geq D_p(T)\\ &x_{gp}(T)\geq D_{gp}(T) \end{aligned} \qquad (۱۸)$$

محدودیت‌های تقاضای گاز برای تزریق به مخازن نفت

با گذشت بیش از صد سال از آغاز فعالیت صنعت نفت در ایران، اغلب میادین نفتی، به خصوص میادین بزرگ در مناطق خشک کشور، در نیمه عمر خود قرار دارند. از این رو، برای حفظ توان تولید، از روش‌های ازدیاد برداشت استفاده می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده در این زمینه، تزریق گاز، مناسب‌ترین روش برای ازدیاد برداشت از مخازن نفت در مناطق خشک ایران تشخیص داده شده است. بنابراین، میزان گاز تخصیص داده شده برای تزریق به مخازن نفت، بزرگتر مساوی با مقدار تقاضای مشخص شده توسط متخصصین می‌باشد.

$$x_{gn}(T)\geq D_{gn}(T) \qquad (۱۹)$$

محدودیت‌های حدود بالا و پایین متغیرها:

محدودیت حدود پایین و بالای استفاده از سی‌ان‌جی و برق در بخش حمل و نقل

همانگونه که اشاره شد، توسعه زیرساخت‌های لازم برای استفاده از سی‌ان‌جی و برق در بخش حمل و نقل، با محدودیت مواجه است و لذا محدودیت‌های زیر در مدل اعمال شده است.

مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل در هر سال، بزرگتر یا مساوی با مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به این بخش در سال پیش از آن و کوچکتر یا مساوی با

حداکثر مقدار ممکن می‌باشد. حداکثر مقدار گاز طبیعی قابل استفاده در این بخش، با توجه به برنامه‌های توسعه جایگاههای سی‌ان‌جی ـ که متولی آن، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت است ـ مشخص می‌شود.

همچنین مقدار برق تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل در هر سال، بزرگتر یا مساوی با مقدار برق تخصیص داده شده به این بخش در سال پیش از آن و کوچکتر یا مساوی با حداکثر مقدار ممکن می‌باشد. حداکثر مقدار برق قابل استفاده، با توجه به برنامه‌های توسعه مترو ـ که متولی آن، شرکت بهره برداری قطارهای شهری تهران و حومه است ـ مشخص می‌شود.

$$x_{gt}(T-1) \le x_{gt}(T) \le U_{gt}(T) \quad (20)$$

$$x_{et}(T-1) \le x_{et}(T) \le U_{et}(T) \quad (21)$$

محدودیت حد بالای استفاده از سوخت‌های سنتی در بخش خانگی- تجاری

روستاییان ساکن در حاشیه جنگل‌ها و مراتع اغلب از هیزم، زغال چوب، بوته، خار و فضولات دامی استفاده می‌نمایند روند استفاده از سوخت‌های سنتی طی سال‌های اخیر با توجه به گسترش گازرسانی به روستاها و توزیع مناسب سوخت‌های مایع، روند استفاده از سوخت‌های سنتی در سال‌های اخیر رو به کاهش بوده است. بدین ترتیب، میزان استفاده از سوخت‌های سنتی در بخش خانگی- تجاری در هر سال کوچکتر یا مساوی با حد بالای آن ـ که باتوجه به میزان کاهش مصرف طی ۵ سال اخیر در نظر گرفته شده است ـ می‌باشد.

$$s_r(T) \le U_{sr}(T) \quad (22)$$

محدودیت حد پایین صادرات

در مدل پیشنهادی، حد پایین صادرات نفت خام و گاز طبیعی در هر سال و میزان صادرات در سال پیش از آن در نظر گرفته شده است. بنابراین، محدودیت‌های زیر به مدل اضافه شد. در سال‌هایی که طبق سند چشم‌انداز تدوین شده توسط وزارت نفت، میزان تولید نفت خام کاهش می‌یابد، اصلاحات لازم در خصوص محدودیت مربوطه اعمال شده است.

$$E_c(T-1) \le E_c(T) \quad (23)$$

$$E_g(T-1) \le E_g(T) \quad (24)$$

محدودیت نا منفی بودن متغیرها

$$All \quad Variables \geq ۰ \qquad (۲۵)$$

حل مدل ریاضی تخصیص نفت و گاز طبیعی به بخشهای مختلف و تجزیه و تحلیل نتایج

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل، به شرح زیر جمع‌آوری و پردازش شد.

- اطلاعات و داده‌های مربوط به میزان تولید نفت خام و گاز طبیعی غنی (پس از کسر گازهای سوزانده شده)، میزان گاز طبیعی مورد نیاز برای تزریق به مخازن نفت کشور و برنامه‌های توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در نیروگاهها در سال‌های آتی از وزارت نفت گرفته شد.
- داده‌های مربوط به قیمت نفت خام، بنزین، سایر فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق در سال‌های آتی از اداره اطلاعات انرژی (EIA) امریکا گرفته شد [۱۷].
- داده‌های مربوط به میزان انتشار گازهای گلخانه ای (دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن) حاصل از مصرف سوخت‌های گوناگون در بخش‌های مختلف مصرف، از وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی جمع‌آوری شد.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به ضریب استحصال بنزین در سال‌های آتی، با توجه به برنامه‌های توسعه و بهبود عملکرد پالایشگاههای نفت کشور، از شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران دریافت شد.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به برنامه‌های بهبود راندمان نیروگاههای کشور در سال‌های آتی، از وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی جمع‌آوری شد.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به برنامه‌های بهبود راندمان پالایشگاههای نفت کشور در سال‌های آتی، از شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران دریافت شد.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به برنامه‌های بهبود راندمان پالایشگاههای گاز کشور در سال‌های آتی، از شرکت ملی گاز ایران دریافت شد.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به حداکثر استفاده از سی‌ان‌جی در بخش حمل و نقل در سال‌های آتی، با توجه به برنامه‌های در دست اجرا برای راه‌اندازی جایگاههای سی‌ان‌جی و اجرای سایر زیرساخت‌های لازم، از سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت جمع‌آوری شد.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به حداکثر استفاده از برق در بخش حمل و نقل در سال‌های آتی، با توجه به برنامه‌های در دست اجرا برای راه‌اندازی خطوط مترو و اجرای سایر زیرساخت‌های لازم، از شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه جمع‌آوری شد.

- داده‌های مربوط به تعداد خانوار (برای پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش خانگی- تجاری) و داده‌های مربوط به تعداد صنایع (برای پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش صنعت) از مرکز آمار ایران جمع‌آوری شد [۱۲].
- داده‌های مربوط به تعداد خودرو (برای پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل) از سازمان بهینه سازی مصرف سوخت جمع‌آوری شد [۱۳].
- داده‌های مربوط به ارزش افزوده بخش صنعت (برای پیش بینی مصرف انرژی بخش در این) و کشاورزی (برای پیش‌بینی مصرف انرژی در این بخش) و داده‌های مربوط به میزان سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان (برای پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش خانگی- تجاری) و ماشین‌آلات (برای پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش صنعت) از موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی جمع‌آوری شد [۱۴].
- سایر داده‌های مورد نیاز ـ شامل جمعیت، تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی در بخش‌های مختلف (برای پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف) و ... ـ از ترازنامه هیدروکربوری کشور (۱۳۸۷) تهیه شده توسط موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی [۶] و وزارت نفت و ترازنامه انرژی کشور (۱۳۸۷) تهیه شده توسط دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو [۷] جمع‌آوری شد.

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از سازمان‌های مربوطه، مفروضات زیر برای حل مدل در نظر گرفته شد.

- در مدت اجرای طرح هدفمندکردن یارانه‌ها، قیمت فرآورده‌های نفتی و برق تا پایان برنامه پنجم توسعه به ۹۰ درصد قیمت جهانی و قیمت گاز طبیعی به ۷۵ درصد قیمت جهانی خواهد رسید. قیمت فرآورده‌های نفتی و برق طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳، به ترتیب، به ۵۰ درصد، ۷۰ درصد، ۸۰ درصد و ۹۰ درصد قیمت جهانی و قیمت گاز طبیعی، به ترتیب، به ۵۰ درصد، ۶۰ درصد، ۷۰ درصد و ۷۵ درصد قیمت جهانی خواهد رسید.
- گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن هستند. در محاسبه میزان انتشار متان و اکسید نیتروژن، معادل دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شده است، زیرا شاخص موثر گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی[1] است و پتانسیل گرمایش جهانی متان و اکسید نیتروژن در افق زمانی ۱۰۰ سال، به ترتیب، ۲۱ و ۳۱۰ برابر پتانسیل گرمایش جهانی دی‌اکسیدکربن است [۱۶]. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف فرآورده‌های نفتی، با توجه به درصد مصرف هر یک از فرآورده‌های نفتی طی ۳ سال اخیر، محاسبه شده است.

1. Global Warming Potentials

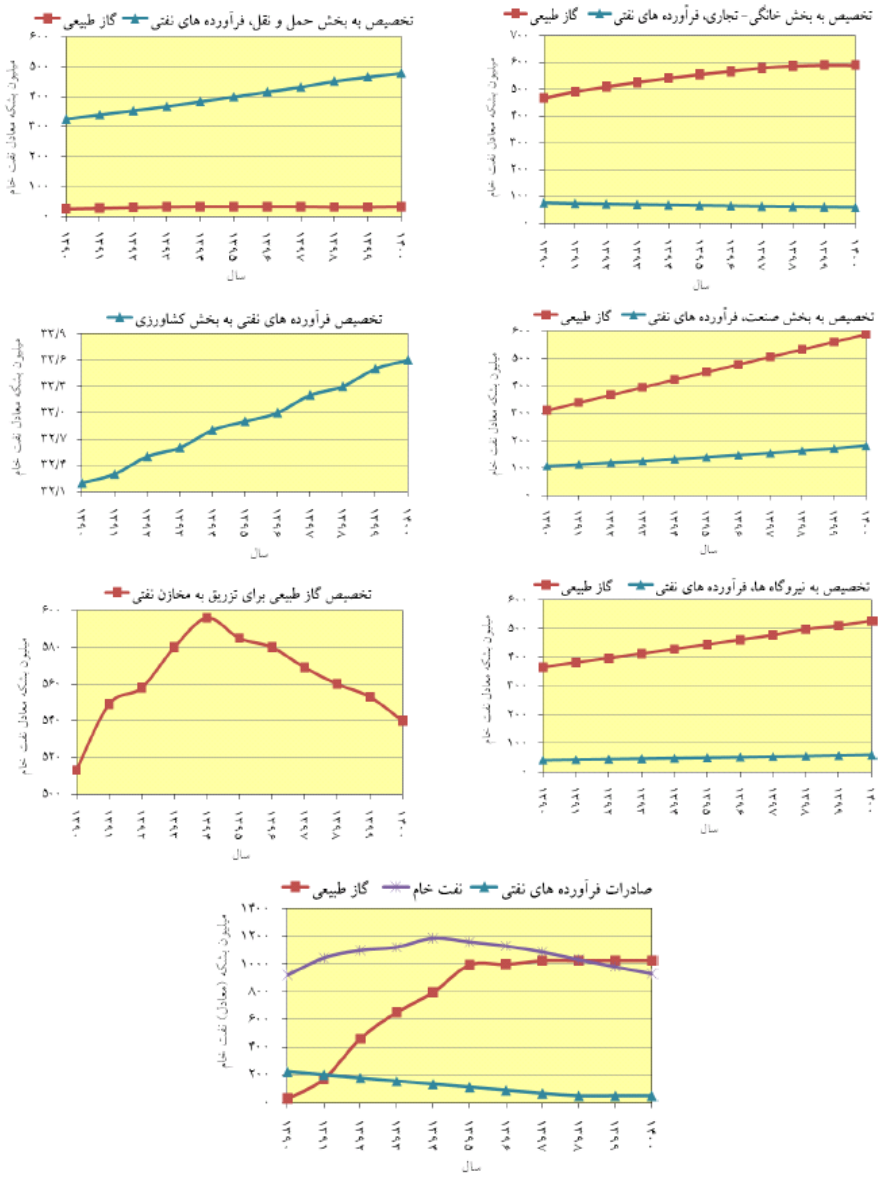
- هر سال حداکثر ۱۸ کیلومتر توسعه خطوط مترو وجود خواهد داشت.
- ضریب استحصال بنزین، هر سال، ۱ درصد بهبود خواهد یافت.
- راندمان نیروگاههای کشور، هر سال، ۱ درصد بهبود خواهد یافت و به حداکثر ۴۵ درصد خواهد رسید.
- راندمان پالایشگاههای نفت کشور تا سال ۱۴۰۰ بهبود ۲ درصد خواهد داشت.
- راندمان پالایشگاههای گاز کشور تا سال ۱۴۰۰ بهبود ۲/۵ درصد خواهد داشت.
- در هر سال، حداقل ۱۰ درصد از انرژی مورد نیاز نیروگاههای حرارتی از فرآورده‌های نفتی تامین خواهد شد. همچنین تا سال ۱۴۰۰، ۱۰ درصد از برق تولیدی کشور با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تامین خواهد شد.
- در هر سال، میزان استفاده از سوخت‌های سنتی در بخش خانگی- تجاری، ۳ درصد کاهش خواهد یافت. این عدد با توجه به اطلاعات مربوط به مصرف نزولی سوخت‌های سنتی در بخش خانگی- تجاری در سال‌های اخیر و نیز با توجه به توسعه گازرسانی و تأمین فرآورده‌های نفتی در روستاها تعیین شده است.
- میزان صادرات نفت خام و گاز طبیعی در هر سال، کمتر از میزان آن در سال پیش از آن نخواهد بود و در سال‌هایی که طبق سند چشم انداز تدوین شده توسط وزارت نفت، میزان تولید نفت خام کاهش خواهد یافت، حداکثر کاهش صادرات نفت خام به میزان ۵ درصد خواهد بود.

تقاضای انرژی، شامل تقاضای کل انرژی و تقاضای فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق در بخش‌های مختلف با استفاده از روش‌های شبکه‌های عصبی سلسله مراتبی [۵،۸،۱۰]، رگرسیون خطی فازی سلسله مراتبی [۹،۱۹] و داده‌های سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۷ پیش‌بینی شد. همچنین با در نظرگرفتن درصد میانگین قدر مطلق خطا، مدل مناسب انتخاب شد و تقاضای انرژی در سال‌های آتی (جدول ۱) پیش‌بینی شد. قابل ذکر است که روش شبکه‌های عصبی، به دلیل خطای کمتر داده‌های آزمون، روش مناسب‌تری برای پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف بوده است.

جدول ۱. پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف (میلیون بشکه معادل نفت خام)

		۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
خانگی - تجاری	انرژی	۵۸۱	۶۱۱	۶۳۶	۶۵۷	۶۷۵	۶۹۲	۷۰۸	۷۲۲	۷۳۷	۷۵۰	۷۶۳	۷۷۶
	گاز طبیعی	۳۳۰	۳۵۳	۳۷۵	۳۹۸	۴۲۰	۴۴۳	۴۷۶	۴۹۱	۵۱۵	۵۴۰	۵۶۵	۵۹۰
	فرآورده‌های نفتی	۷۸	۷۵	۷۳	۷۱	۶۹	۶۷	۶۶	۶۴	۶۳	۶۲	۶۰	۵۹
	برق	۶۰	۶۳	۶۷	۷۱	۷۵	۷۸	۸۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲
حمل و نقل	انرژی	۳۳۴	۳۵۰	۳۶۶	۳۸۲	۳۹۸	۴۱۵	۴۳۱	۴۴۸	۴۶۴	۴۸۰	۴۹۶	۵۱۱
	فرآورده‌های نفتی	۳۱۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۹	۳۴۹	۳۵۸	۳۶۷	۳۷۶	۳۸۵	۳۹۳	۴۰۲	۴۱۰
صنعت	انرژی	۳۹۰	۴۱۲	۴۳۴	۴۵۶	۴۷۸	۵۰۱	۵۲۳	۵۴۶	۵۶۹	۵۹۲	۶۱۶	۶۴۰
	گاز طبیعی	۲۸۲	۳۱۱	۳۳۹	۳۶۷	۳۹۵	۴۲۳	۴۵۱	۴۷۸	۵۰۶	۵۳۳	۵۶۱	۵۸۸
	فرآورده‌های نفتی	۱۰۲	۱۰۷	۱۱۳	۱۱۹	۱۲۵	۱۳۲	۱۳۹	۱۴۷	۱۵۴	۱۶۳	۱۷۱	۱۸۱
	برق	۳۷	۳۹	۴۱	۴۳	۴۵	۴۸	۵۰	۵۱	۵۳	۵۵	۵۷	۵۸
کشاورزی	انرژی	۴۶	۴۷/۸	۴۹/۴	۵۰/۸	۵۲	۵۳/۱	۵۴/۱	۵۵/۱	۵۶/۱	۵۷	۵۷/۹	۵۸/۸
	فرآورده‌های نفتی	۳۱/۸	۳۲/۱	۳۲/۳	۳۲/۵	۳۲/۶	۳۲/۸	۳۲/۹	۳۳	۳۳/۲	۳۳/۳	۳۳/۵	۳۳/۶
	برق	۱۴/۶	۱۵/۶	۱۶/۴	۱۷/۲	۱۷/۸	۱۸/۴	۱۸/۹	۱۹/۳	۱۹/۷	۲۰	۲۰/۳	۲۰/۶
نیروگاها	انرژی	۳۹۵	۴۱۳	۴۳۲	۴۵۱	۴۷۰	۴۹۰	۵۱۰	۵۳۱	۵۵۱	۵۷۲	۵۹۳	۶۱۵
	گاز طبیعی	۲۸۵	۲۷۳	۲۸۷	۳۰۳	۳۱۸	۳۳۴	۳۵۰	۳۶۷	۳۸۳	۴۰۰	۴۱۷	۴۳۴

با استفاده از داده‌ها، اطلاعات و مفروضات مذکور طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، نتایج مدل در شکل ۲ نشان داده شده است. مدل با استفاده از نرم‌افزار LINGO حل شده است.



شکل ۲. تخصیص بهینه نفت و گاز طبیعی طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

همانگونه که ملاحظه می‌شود، در بخش خانگی- تجاری، تخصیص فرآورده‌های نفتی از روندی کاهشی و تخصیص گاز طبیعی از روندی افزایشی برخوردار است که علت آن، توسعه گازرسانی در سطح کشور است. بخش حمل و نقل، یکی از مصرف‌کنندگان اصلی فرآورده‌های نفتی است. مصرف گاز طبیعی در این بخش، به دلیل محدودیت توسعه زیرساخت‌های لازم، از

رشد کمی برخوردار است. در بخش صنعت، مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی، روندی افزایشی دارد. همچنین در بخش کشاورزی، مصرف فرآورده‌های نفتی، روندی افزایشی با شیب کند دارد. مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی در نیروگاهها روندی افزایشی دارد. بخش عمده‌ای از نیاز اولیه نیروگاهها به انرژی را گاز طبیعی مرتفع می‌کند و در نتیجه، گازهای گلخانه‌ای کمتری انتشار می‌یابد. تزریق گاز به مخازن نفت، بخش اعظمی را به خود اختصاص داده است. این مقدار، در ابتدا، روندی افزایشی و سپس کاهشی دارد. بخش زیادی از نفت خام به صادرات تخصیص داده شده است. صادرات نفت خام، در ابتدا، روندی افزایشی و سپس کاهشی دارد که علت آن، پیر شدن مخازن نفت و در نتیجه، برداشت کمتر می‌باشد. صادرات فرآورده‌های نفتی نیز روندی کاهشی دارد. صادرات گاز طبیعی، روندی افزایشی دارد شیب آن و از سال ۱۳۹۶ کاهش می‌یابد.

برای بررسی اعتبار مدل پیشنهادی، نتایج آن با نتایج عملکرد واقعی در سال ۱۳۸۷ مقایسه شد. نتایج، نشاندهنده بهبود میانگین توابع هدف به میزان ۱۲/۳٪ است. بنابراین، مدل پیشنهادی از اعتبار لازم برخوردار است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، تخصیص بهینه منابع انرژی به بخش‌های مختلف مصرف (شامل خانگی–تجاری، حمل و نقل، صنعت، کشاورزی، صادرات، تزریق گاز به مخازن نفت و نیروگاهها در ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ با توجه به اهداف سیاسی، اقتصادی و زیست محیطی و با در نظر گرفتن برنامه‌های آتی دولت مشخص شده است. از یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای مدلسازی استفاده شده است. محدودیت‌های مدل، شامل محدودیت‌های تعادل، تقاضا و حدود بالا و پایین متغیرهاست. نتایج حاصل از این تحقیق، برای تخصیص بهینه نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف و نیز برای برنامه‌ریزی‌های آتی کاربرد دارد.

پیشنهاد می‌شود مدل تخصیص بهینه انرژی در کشور، به صورت فصلی طراحی و اجرا گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود زیرمجموعه‌های بخش‌های مختلف مصرف، به صورت مجزا در نظر گرفته شوند (به عنوان مثال، صنعت به پتروشیمی، فولاد و ... تفکیک شود یا در بخش حمل و نقل، خودروهای سبک و سنگین از یکدیگر تفکیک شوند).

منابع

۱. اسعدی، فریدون (۱۳۸۶)، « اهمیت و ضرورت بهینه سازی و کاهش شدت مصرف انرژی»، مجلس و پژوهش، سال ۱۳، شماره ۵۴.

۲. امیرفخری، سیدجواد،«ضرورت کاهش انتشار متان به عنوان یکی از عمده‌ترین گازهای گلخانه‌ای»، شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران.

۳. علی شاه حسینی (۱۳۸۸)، «طراحی مدل سیاستگذاری انرژی در افق چشم انداز با رویکرد سیستمهای پویا، مورد: حوزه گاز»، پایان نامه دکتری، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

۴. محقر، علی، محمدرضا مهرگان، غلامرضا ابوالحسنی (۱۳۸۹)، «به کارگیری تکنیک‌های تصمیم گیری در اولویت بندی مصرف و تخصیص بهینه گاز طبیعی با رویکرد فازی»، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفتم، شماره ۲۴، صفحات ۹۱ تا ۱۱۹.

۵. منهاج، محمدباقر، عالیه کاظمی، حامد شکوری گنجوی، محمدرضا مهرگان، محمدرضا تقی‌زاده (۱۳۸۹)، «پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل با استفاده از شبکه‌های عصبی: مطالعه موردی در ایران»، فصلنامه علمی و پژوهشی علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس، دوره چهاردهم، شماره دوم (پیاپی ۶۶)، صفحات ۲۰۳ تا ۲۲۰.

۶. موسسه مطالعات بین المللی انرژی (۱۳۸۸)، «ترازنامه هیدروکربوری کشور سال ۱۳۸۷».

۷. وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۸۹) «ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷».

8. A. Kazemi, H. Shakouri G, MB. Menhaj, MR. Mehregan, MR. Taghizadeh, A. Foroughi A. (2009). A Multi-level Artificial Neural Network for Gasoline Demand Forecasting of Iran, *The 2nd International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE)*, Dubai.
9. A. Kazemi, H. Shakouri G, MB. Menhaj, MR. Mehregan, N. Neshat. (2010). A Hierarchical Fuzzy Linear Regression Model for Forecasting Agriculture Energy Demand: A Case Study of Iran, *International Conference on Management Technology and Applications (ICMTA)*, Singapore.
10. A. Kazemi, H. Shakouri G, MB. Menhaj, MR. Mehregan, N. Neshat. (2010). A Multi-level Artificial Neural Network for Residential and Commercial Energy Demand Forecast: Iran Case Study, *International Conference on Management Technology and Applications (ICMTA)*, Singapore.
11. A.R. Borges, C.H. Antunes. (2003). A fuzzy multiple objective decision support model for energy-economy planning, *European Journal of Operational Research*; 145: 304-316.
12. http://amar.sci.org.ir/
13. http://ifco.ir/
14. http://new.iies.org/
15. http://riemp.ut.ac.ir/modeling-tim,mesa,mesage.htm
16. http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php
17. http://www.eia.doe.gov/

18. Mehdi Sadeghi, Hossein Mirshojaeian Hosseini. (2006). Energy supply planning in Iran by using fuzzy linear programming approach (regarding uncertainties of investment costs), *Energy Policy*; 34: 993–1003.
19. MR. Taghizadeh, H. Shakouri G, MB. Menhaj, MR. Mehregan, A. Kazemi. (2009). Design of a Multi-level Fuzzy Linear Regression Model for Forecasting Transport Energy Demand: A Case Study of Iran, *39th International Conference on Computers & Industrial Engineering (CIE39)*, France.
20. R.K. Agrawal, S.P. Singh. (2001). Energy allocation for cooking in UP household (India) A fuzzy multi-objective analysis. *Energy Conversion and Management*; 42: 2139-2154.
21. T. Mezher, R. Chedid, W. Zahabi. (1998). Energy resource allocation using multi-objective goal programming: the case of Lebanon. *Applied Energy*; 61: 175-192.