

## تخصیص بهینه منابع انرژی در ایران با رویکرد هدفمند کردن یارانه‌ها

عالیه کاظمی<sup>۱</sup>، محمدرضا مهرگان<sup>۲</sup>، حامد شکوری گنجوی<sup>۳</sup>

**چکیده:** در این تحقیق با استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات به تخصیص بهینه نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف شامل خانگی- تجاری، حمل‌ونقل، صنایع، کشاورزی، صادرات، تزریق به مخازن نفتی و نیروگاه‌ها به‌عنوان تولیدکننده انرژی ثانویه پرداخته شده است. تخصیص بهینه انرژی به بخش‌های مختلف مصرف طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰، با طراحی یک مدل برنامه‌ریزی خطی و با در نظر گرفتن اجرای طرح هدفمند کردن یارانه‌ها، انجام گرفته است. هدف افزایش درآمد دولت بوده و در این زمینه برنامه‌های آتی دولت در نظر گرفته شده و محدودیت‌هایی همچون تأمین تقاضای انرژی بخش‌های مختلف مصرف و نبود برخی از زیرساخت‌ها نیز مورد توجه قرار گرفته است. نتایج این تحقیق، میزان تخصیص بهینه فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف طی سال‌های آتی را مشخص می‌کند و راهکارهای مناسبی را در اختیار برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران، به منظور برنامه‌ریزی مناسب قرار می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تخصیص، منابع انرژی، هدفمند کردن یارانه‌ها.

۱. استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استاد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۲۷

نویسنده مسئول مقاله: عالیه کاظمی

E-mail: aliyehkazemi@ut.ac.ir

## مقدمه

انرژی از عواملی است که در بیشتر فعالیتهای اقتصادی استفاده می شود. امنیت ملی بیشتر کشورهای جهان نیز در گرو دسترسی مطمئن به انرژی است. از این رو آینده تولید و مصرف حامل های انرژی و کاربرد بهینه آن اهمیتی خاص دارد. عمده انرژی مصرفی در ایران از سوخت های فسیلی و از نفت و گاز است. با توجه به محدودیت های افزایش تولید نفت خام و گاز طبیعی، رشد فزاینده مصرف فراورده های نفتی و گاز، وابستگی اقتصاد و بودجه عمومی به درآمدهای حاصل از فروش نفت خام و مالکیت نسل های آینده بر منابع طبیعی، لزوم بهینه سازی در بخش های عرضه و تقاضای نفت و گاز کشور واقعیتی انکارناپذیر است (اسعدی، ۱۳۸۶).

تاکنون مدل های ریاضی زیادی برای تخصیص بهینه منابع انرژی ارائه شده است. برخی از مدل های موجود انرژی مانند مسیج<sup>۱</sup> (مدل آلترناتیوهای سیستم های عرضه انرژی و آثار کلی زیست محیطی آنها) و تایمز<sup>۲</sup>، به بهینه سازی سیستم انرژی می پردازند. بیشتر این مدل ها فرضیاتی دارند که استفاده از آنها را برای ایران با مشکل مواجه می کند. برای مثال در مدل تایمز در رابطه با همه کالاها فرض بازار رقابتی کامل در نظر گرفته شده است و قیمت از ایجاد تعادل در بازارهای جزئی به دست می آید. البته در مدل تایمز اشاره شده است که برای شرایطی که فرض مذکور صدق نمی کند، می توان از طریق محدودیت های اضافی این مشکل را مرتفع کرد. با توجه به اینکه تقریباً تمام حامل های انرژی در ایران توسط دولت عرضه می شود و فرض بازار تعادلی در مورد آنها صدق نمی کند، باید محدودیت های بسیاری به مدل اضافه کرد. بدین ترتیب محدودیت های مذکور به حدی زیاد خواهد شد که شاید ساختار مدل را تحت تأثیر قرار دهد. از جمله موارد دیگری که استفاده از این مدل ها را در ایران با مشکل مواجه خواهد کرد، نیاز به ورودی های متنوع و فراوان است که متأسفانه در ایران داده هایی با این جزئیات وجود ندارد. از این رو، ناچار در اغلب موارد باید از داده های تخمینی استفاده کرد، با توجه به این نکته که تعداد این گونه داده ها به حدی زیاد است که در نهایت اعتبار داده های ورودی دچار مشکل می شود و نمی توان به نتایج مدل اطمینان کافی داشت. به نظر می رسد برای استفاده از مدل های انرژی ابتدا باید نیازمندی های داده های مدل تهیه و طی چند سال داده های مذکور جمع آوری شود و پس از تهیه داده های مورد نیاز، مدل به کار رود. بنابراین استفاده از مدل های انرژی مستلزم داشتن زیرساخت هایی مانند داده های آماری است.<sup>۳</sup>

1. MESSAGE

2. TIMES

3. <http://riemp.ut.ac.ir/modeling-tim,mesa,message.htm>

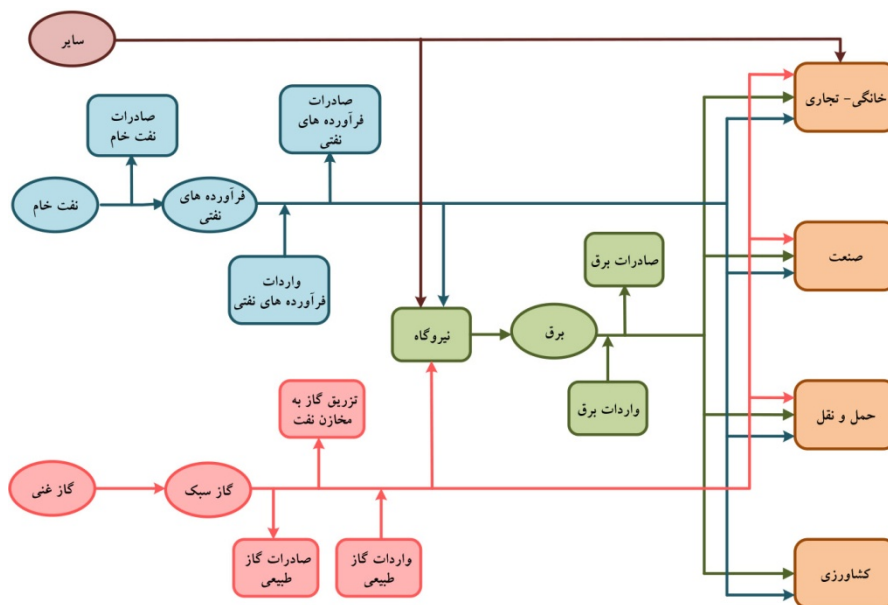
محققان با استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات نیز به تخصیص بهینه منابع مختلف انرژی در بخش‌های مختلف مصرف پرداخته‌اند. کامبو، هاندا و بوس در سال ۹۱-۱۹۹۰، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه خطی را با توجه به مسائل زیست‌محیطی و ساختار اقتصادی برای شهری در هند توسعه دادند و سناریوهای مختلف را بررسی کردند. میزهر، چدید و زهابی (۱۹۹۸)، مدل تخصیص منابع انرژی به مصرف‌کنندگان نهایی بخش خانگی در لبنان را با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه توسعه دادند. اگرآوال و سینگ (۲۰۰۱)، مدل انرژی پخت‌وپز در خانوارهای هند را با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه فازی فرمول‌بندی کردند. در سال ۲۰۰۳، بورخس و آتونیس مدل برنامه‌ریزی اقتصادی انرژی با استفاده از تصمیم‌گیری چندهدفه فازی را فرمول‌بندی کردند. صادقی و میرشجاعیان (۲۰۰۶)، مدل برنامه‌ریزی عرضه انرژی در ایران با استفاده از برنامه‌ریزی خطی فازی را توسعه دادند. در سال ۲۰۰۹، دشموخ و دشموخ برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت انرژی در بخش خانگی در یکی از روستاهای هند را با استفاده از یک مدل چندهدفه ارائه دادند. هیرمت، کومار، بالاچاندرا و راویندرانات (۲۰۱۰)، یک روش پایین به بالا برای برنامه‌ریزی انرژی غیرمتمرکز در یکی از نواحی هند ارائه دادند. در این تحقیق سناریوهای مختلف با رویکردهای اقتصادی، انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه پایدار و ادامه روند فعلی تا سال ۲۰۲۰ بررسی شده‌اند. جیتورکار و دشموخ (۲۰۱۱)، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه ترکیبی عدد صحیح فازی را برای برنامه‌ریزی انرژی پخت‌وپز و گرمایش در شهری در هند توسعه دادند. شفیع، فاکهی و شاه‌محمدی (۱۳۸۵)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای تعیین ترکیب بهینه حامل‌های انرژی در تأمین تقاضای انرژی مفید بخش خانگی استان تهران در بلندمدت ارائه دادند. در سال ۱۳۸۶، جعفری صمیمی و دهقانی با استفاده از روش‌های نوین بهینه‌سازی مارکویتز و تئوری تحلیل ترجیحات، به تخصیص بهینه گاز طبیعی به گزینه‌های مختلف شامل صادرات، پتروشیمی و تزریق به میدان‌های نفتی پرداختند. صفاریان و اردهالی (۱۳۸۷)، مدل برنامه‌ریزی انرژی ایران را با در نظر گرفتن منابع انرژی تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر و محدودیت‌های زیست‌محیطی توسعه دادند. شاه‌حسینی (۱۳۸۸)، در پایان‌نامه دکتری، تخصیص گاز طبیعی در حوزه‌های مختلف مصرف شامل مصارف خانگی- تجاری و عمومی، مصارف صنعتی، مصارف نیروگاهی، صادرات و تزریق گاز به مخازن نفتی را مطالعه کرده است. رنانی، شریفی و خوش‌اخلاق (۱۳۸۸)، با تعریف یک تابع رفاه اجتماعی، تخصیص گاز به مصارف داخل، تزریق، صادرات یا ذخیره و انتقال را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی پویای غیرخطی، مدل‌سازی کرده و اولویت‌های تخصیص گاز و مقدار مصارف گاز در بخش‌های مختلف طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۴۰۵ را تحلیل و بررسی کردند. محقر، مهرگان و ابوالحسنی (۱۳۸۹)، با شناسایی

شاخص‌های مهم در خصوص اولویت بندی مصرف گاز و تعیین وزن نسبی آنها و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه<sup>۱</sup> TOPSIS به اولویت‌بندی تخصیص گاز به بخش‌های مختلف مصرف پرداختند و سپس با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی سهم بهینه بخش‌های مختلف مصرف را مشخص کردند.

در این تحقیق با استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات (برنامه‌ریزی خطی، رگرسیون خطی فازی، شبکه‌های عصبی) و با در نظر گرفتن طرح هدفمند کردن یارانه‌ها، مدل ریاضی تخصیص بهینه نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف طراحی شده است. در بخش ۲، سیستم مرجع انرژی و در بخش ۳، مدل ریاضی تخصیص منابع نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف ارائه شده است. در بخش ۴، مدل ریاضی پیشنهادی، حل و نتایج تجزیه و تحلیل شده و 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 (برق آبی و بادی، سوخت‌های سنتی و ...) است. انرژی‌ای که در داخل کشور وارد سیستم عرضه می‌شود، پس از تصفیه و فراورش به حامل‌های انرژی تبدیل می‌شود تا برای تبدیل به انرژی ثانویه یا نهایی مصرف شود. بخش‌های مصرف‌کننده نهایی شامل خانگی - تجاری (شامل بخش خانگی، بخش تجاری و بخش عمومی)، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی هستند و نیروگاه‌ها نیز از حامل‌های مختلف انرژی برای تولید برق استفاده می‌کنند.

نفت خام استخراج‌شده از مخازن نفتی را می‌توان به صورت خام صادر کرد یا پس از ارسال به پالایشگاه‌های نفت و تبدیل آن به فراورده‌های نفتی به بخش‌های مختلف مصرف شامل خانگی - تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی تخصیص داد. همچنین می‌توان فراورده‌های نفتی را صادر کرد یا به نیروگاه‌های حرارتی برای تولید برق ارسال کرد. در صورت نیاز، واردات فراورده‌های نفتی نیز انجام می‌گیرد.

گاز غنی پس از ارسال به پالایشگاه‌های گاز به گاز سبک تبدیل می‌شود. گاز سبک موجود را می‌توان به بخش‌های مختلف مصرف شامل خانگی - تجاری، صنایع و حمل‌ونقل تخصیص داد. همچنین می‌توان بخشی از گاز سبک را به صادرات تخصیص داد یا برای ازدیاد برداشت نفت خام به مخازن نفت تزریق کرد.

سایر انرژی‌ها شامل سوخت‌های سنتی مورد استفاده در روستاها در بخش خانگی - تجاری و انرژی‌های تجدیدپذیر جهت تولید برق در نیروگاه‌هاست.

برق تولیدشده توسط نیروگاه‌های حرارتی و تجدیدپذیر را می‌توان به بخش‌های مختلف مصرف شامل خانگی - تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی تخصیص داد. همچنین می‌توان میزان مشخصی از برق را صادر کرد.

### مدل ریاضی تخصیص منابع نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف

با توجه به سیستم مرجع انرژی، در این بخش مدل ریاضی تخصیص منابع نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف طراحی شده است. متغیرها، پارامترها، تابع هدف و محدودیت‌های مدل به شرح زیرند:

#### تعریف اندیس‌ها و حروف

i: بخش صنعت	r: بخش خانگی - تجاری
a: بخش کشاورزی	t: بخش حمل‌ونقل
c: نفت خام	p: نیروگاه‌ها

o:	فراورده‌های نفتی	b:	بنزین
E:	صادرات	I:	واردات
e:	برق	R:	گاز غنی
g:	گاز سبک	n:	تزریق به مخازن نفتی
T:	زمان (سال)	s:	سایر انرژی‌ها (برق آبی و بادی، سوخت‌های سنتی)
D:	تقاضا	U:	حد بالا
h:	یارانه	f:	بازده
z:	هدف	w:	تلفات
P:	قیمت		

### متغیرهای مدل

- $x_{co}(T)$ : میزان نفت خام که در سال  $T$  به فراورده‌های نفتی تبدیل می‌شود (میلیون بشکه).
- $E_c(T)$ : میزان صادرات نفت خام در سال  $T$  (میلیون بشکه).
- $E_o(T)$ : میزان صادرات فراورده‌های 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 فراورده‌های 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 فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش خانگی - تجاری در سال  $T$  (میلیون بشکه معادل نفت خام).
- $x_{oi}(T)$ : میزان فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش صنعت در سال  $T$  (میلیون بشکه معادل نفت خام).
- $x_{ot}(T)$ : میزان فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل در سال  $T$  (میلیون بشکه معادل نفت خام).
- $x_{oa}(T)$ : میزان فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش کشاورزی در سال  $T$  (میلیون بشکه معادل نفت خام).
- $x_{op}(T)$ : میزان فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به نیروگاه‌ها در سال  $T$  (میلیون بشکه معادل نفت خام).
- $x_{gn}(T)$ : میزان گاز سبک تزریقی به مخازن نفتی 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).

#### 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 حذف 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).

$f_o(T)$ : بازده پالایشگاه‌های نفت در سال T.

$f_g(T)$ : بازده پالایشگاه‌های گاز در سال T.

$f_p(T)$ : بازده نیروگاه‌ها در سال T.

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



$U_{sr}(T)$ : 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 حمل‌ونقل در سال  $T$  (میلیون بشکه معادل نفت خام).

$h_o(T)$ : درصد یارانه پرداخت شده برای فراورده‌های نفتی از سوی دولت در سال  $T$ .

$h_g(T)$ : درصد یارانه پرداخت شده برای گاز از سوی دولت در سال  $T$ .

$h_e(T)$ : درصد یارانه پرداخت شده برای برق از سوی دولت در سال  $T$ .

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

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

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

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

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

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

$p_{bt}(T)$ : درصد استفاده از بنزین در بخش حمل‌ونقل (از کل انرژی مورد استفاده در این بخش) در سال  $T$ .

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

### تابع هدف

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 مصرف، حداکثر منافع اقتصادی را در نظر می‌گیرد. در اینجا هدف، ماکزیمم کردن منافع اقتصادی شامل ارزش مجموع صادرات نفت خام، فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق پس از کسر ارزش واردات فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق و همچنین کسر ارزش میزان یارانه تخصیص داده شده به فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق برای بخش‌های مختلف مصرف است.

$$\begin{aligned} \text{رابطه ۱)} \quad \text{Max } z(T) = & P_c(T) \times E_c(T) + P_o(T) \times (E_o(T) - I_o(T) - h_o(T) \times \\ & (x_{or}(T) + x_{oi}(T) + x_{oa}(T) + x_{op}(T))) + P_b(T) \times (E_b(T) \\ & - I_b(T) - h_o(T) \times (x_{bt}(T))) + P_g(T) \times (E_g(T) - I_g(T) - h_g(T) \\ & \times (x_{gr}(T) + x_{gt}(T) + x_{gi}(T) + x_{gp}(T))) + P_e(T) \times (E_e(T) - I_e(T) \\ & - h_e(T) \times (x_{er}(T) + x_{et}(T) + x_{ei}(T) + x_{ea}(T))) \end{aligned}$$

### محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های مدل شامل محدودیت‌های تعادل، تقاضا و حدود بالا و پایین متغیرها به شرح زیر است:

### محدودیت‌های تعادل

محدودیت‌های تعادل شامل محدودیت‌های تعادل نفت، گاز طبیعی و برق است.

### محدودیت‌های تعادل نفت

میزان نفت خام تولیدشده از مخازن نفتی را می‌توان صادر یا به فراورده‌های نفتی تبدیل کرد.

$$c(T) = E_c(T) + x_{co}(T) \quad \text{رابطه ۲}$$

همچنین مقدار نفت خام ارسالی به پالایشگاه‌های نفت کشور با توجه به بازده پالایشگاه‌های نفت به مقدار مشخصی فراورده‌های نفتی تبدیل می‌شود.

$$o(T) = x_{co}(T) \times f_o(T) \quad \text{رابطه ۳}$$

مجموع فراورده‌های نفتی تولیدشده در داخل کشور و واردات، برابر با فراورده‌های نفتی تخصیص داده‌شده به صادرات و بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی - تجاری، صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی و نیروگاه‌هاست.

$$o(T) + I_o(T) + I_b(T) = E_o(T) + x_{or}(T) + x_{oi}(T) + x_{ot}(T) + x_{oa}(T) + x_{op}(T) \quad \text{رابطه ۴}$$

با توجه به اهمیت بنزین در بخش حمل‌ونقل و ظرفیت تولید پالایشگاه‌های نفت کشور، محدودیت زیر برای استفاده از بنزین در این بخش مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به ضریب استحصال بنزین در پالایشگاه‌های نفت کشور و میزان استفاده از بنزین در بخش حمل‌ونقل در هر سال در صورت نیاز، واردات بنزین انجام می‌گیرد. بنابراین میزان بنزین مصرفی در بخش حمل‌ونقل که درصدی مشخص از کل انرژی مصرفی در این بخش است، برابر با مقدار بنزین تولیدشده در پالایشگاه‌های نفت کشور که درصد مشخصی از کل فراورده‌های نفتی تولیدشده در پالایشگاه‌های نفت کشور است، به اضافه واردات بنزین است و در صورت تولید مازاد بر تقاضا، صادرات بنزین انجام می‌گیرد.

$$\begin{aligned} x_{ot}(T) \times p_{bt}(T) &= o(T) \times z_b(T) + I_b(T) - E_b(T) && \text{رابطه (۵)} \\ x_{bt}(T) &= o(T) \times z_b(T) \end{aligned}$$

### محدودیت‌های تعادل گاز طبیعی

گاز غنی تولیدشده از مخازن گازی پس از ارسال به پالایشگاه‌های گاز با توجه به بازده پالایشگاه‌های گاز به مقدار مشخصی گاز سبک تبدیل می‌شود.

$$g(T) = R(T) \times f_g(T) \quad \text{رابطه (۶)}$$

مجموع گاز طبیعی سبک تولیدشده در داخل کشور و واردات، برابر با گاز طبیعی تخصیص داده شده به صادرات و بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی - تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و نیروگاه‌هاست.

$$g(T) + I_g(T) = E_g(T) + x_{gn}(T) + x_{gr}(T) + x_{gi}(T) + x_{gt}(T) + x_{gp}(T) \quad \text{رابطه (۷)}$$

### محدودیت‌های تعادل برق

میزان حامل‌های انرژی (گاز طبیعی و فراورده‌های نفتی) ارسالی به نیروگاه‌های حرارتی کشور با توجه به بازده این نیروگاه‌ها به مقدار مشخصی برق تبدیل می‌شود. برق تولیدی توسط نیروگاه‌های حرارتی و همچنین نیروگاه‌های بادی و آبی به بخش‌های مختلف تخصیص می‌یابد. بنابراین مجموع برق تولیدشده در نیروگاه‌های تجدیدپذیر و نیروگاه‌های حرارتی برابر با کل برق موجود به منظور تخصیص به بخش‌های مختلف است.

$$sp(T) + (x_{op}(T) + x_{gp}(T)) \times f_e(T) = e_1(T) \quad \text{رابطه (۸)}$$

با توجه به اینکه براساس برنامه‌های مربوط به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در نیروگاه‌ها، بخش مشخصی از برق از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود، محدودیت زیر نیز اعمال شده است:

$$sp(T) = e_1(T) \times P_{sp}(T) \quad \text{رابطه (۹)}$$

به دلیل تلفات انتقال و توزیع، محدودیت زیر نیز در نظر گرفته شده است.

$$e(T) = e_1(T) \times w(T) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

مجموع برق تولیدشده در داخل کشور (پس از کسر تلفات انتقال و توزیع) و واردات، برابر میزان برق تخصیص داده شده به صادرات و بخش های مختلف مصرف شامل بخش های خانگی - تجاری، صنعت، حمل و نقل و کشاورزی است.

$$e(T) + I_e(T) = E_e(T) + x_{er}(T) + x_{ei}(T) + x_{et}(T) + x_{ea}(T) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

### محدودیت های تقاضا

محدودیت های تقاضا مربوط به محدودیت مصرف کل انرژی بخش های مختلف و همچنین محدودیت تقاضای حامل های مختلف انرژی شامل فرآورده های نفتی، گاز، برق و سایر انرژی ها در بخش های مختلف مصرف است.

### محدودیت های تقاضای بخش خانگی - تجاری

مجموع فرآورده های نفتی، گاز طبیعی، برق و سوخت های سنتی تخصیص داده شده به بخش خانگی - تجاری بزرگ تر مساوی با تقاضای کل انرژی این بخش است. همچنین تقاضای مربوط به فرآورده های نفتی، گاز و برق برای این بخش به صورت جداگانه مورد توجه قرار گرفته است.

$$s_r(T) + x_{or}(T) + x_{gr}(T) + x_{er}(T) \geq D_r(T) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$x_{or}(T) \geq D_{or}(T)$$

$$x_{gr}(T) \geq D_{gr}(T)$$

$$x_{er}(T) \geq D_{er}(T)$$

### محدودیت های تقاضای بخش صنعت

مشابه با بخش خانگی - تجاری محدودیت های تقاضای بخش صنعت به شرح زیر است:

$$x_{oi}(T) + x_{gi}(T) + x_{er}(T) \geq D_i(T) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$x_{oi}(T) \geq D_{oi}(T)$$

$$x_{gi}(T) \geq D_{gi}(T)$$

$$x_{ei}(T) \geq D_{ei}(T)$$

### محدودیت های تقاضای بخش حمل و نقل

مجموع فرآورده های نفتی، گاز طبیعی و برق تخصیص داده شده به بخش حمل و نقل بزرگ تر مساوی با تقاضای کل انرژی این بخش است. همچنین تقاضای مربوط به فرآورده های نفتی در

این بخش جداگانه مورد توجه قرار گرفته است. در خصوص تقاضای گاز طبیعی و برق در بخش حمل‌ونقل با توجه به اینکه توسعه زیرساخت‌های مربوط به استفاده از CNG و برق محدود است، در بخش محدودیت‌های مربوط به حدود بالا و پایین در نظر گرفته شده است.

$$x_{ot}(T) + x_{gt}(T) + x_{et}(T) \geq D_t(T) \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$x_{ot}(T) \geq D_{ot}(T)$$

#### محدودیت‌های تقاضای بخش کشاورزی

مجموع فراورده‌های نفتی و برق تخصیص داده شده به بخش کشاورزی بزرگ‌تر مساوی با تقاضای کل انرژی این بخش است. همچنین تقاضای مربوط به فراورده‌های نفتی و برق برای این بخش جداگانه مورد توجه قرار گرفته است.

$$x_{oa}(T) + x_{ea}(T) \geq D_a(T) \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$x_{oa}(T) \geq D_{oa}(T)$$

$$x_{ea}(T) \geq D_{ea}(T)$$

#### محدودیت‌های تقاضای نیروگاه‌ها

مجموع فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی تخصیص داده شده به نیروگاه‌های حرارتی بزرگ‌تر مساوی با تقاضای کل انرژی این بخش است. همچنین با توجه به اینکه در نیروگاه‌های حرارتی استفاده از گاز طبیعی برای تولید برق به فراورده‌های نفتی ارجحیت دارد و این دو حامل انرژی قابل جایگزینی با یکدیگرند، تقاضای مربوط به گاز در این بخش به صورت جداگانه مورد توجه قرار گرفته است.

$$x_{op}(T) + x_{gp}(T) \geq D_p(T) \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$x_{gp}(T) \geq D_{gp}(T)$$

#### محدودیت‌های تقاضای گاز به منظور تزریق به مخازن نفتی

با گذشت بیش از صد سال از آغاز فعالیت صنعت نفت در ایران، اغلب میادین نفتی به خصوص میادین بزرگ در مناطق خشکی کشور در نیمه عمر خود قرار دارند. از این رو برای حفظ توان تولید از روش‌های ازدیاد برداشت استفاده می‌شود. براساس مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، تزریق گاز مناسب‌ترین روش ازدیاد برداشت از مخازن کربناته مناطق نفتی خشکی ایران به شمار می‌رود. میزان گاز مورد نیاز به منظور تزریق به مخازن نفتی کشور توسط متخصصان این

امر مشخص شده است. بنابراین میزان گاز تخصیص داده شده برای تزریق به مخازن نفتی، بزرگتر مساوی با مقدار مورد نیازی است که توسط متخصصان مشخص شده است.

$$x_{gn}(T) \geq D_{gn}(T) \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

### محدودیت‌های مربوط به حدود بالا و پایین متغیرها

#### محدودیت مربوط به استفاده از CNG و برق در بخش حمل‌ونقل

همان‌گونه که اشاره شد، در بخش حمل‌ونقل توسعه زیرساخت‌های لازم به‌منظور استفاده از CNG و برق با محدودیت مواجه است، بنابراین محدودیت‌های زیر به مدل اعمال شده است. مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به بخش حمل‌ونقل در هر سال بزرگتر مساوی با مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به این بخش در سال قبل و کوچکتر مساوی با حداکثر ممکن است. حداکثر مقدار گاز طبیعی قابل استفاده در این بخش با توجه به برنامه‌های توسعه جایگاه‌های CNG مطابق با برنامه‌های سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت مشخص می‌شود. مقدار برق تخصیص داده شده به بخش حمل‌ونقل در هر سال بزرگتر مساوی با مقدار برق تخصیص داده شده به این بخش در سال قبل و کوچکتر مساوی با حداکثر ممکن است. حداکثر مقدار برق قابل استفاده با توجه به برنامه‌های توسعه مترو مطابق با برنامه‌های شرکت بهره‌برداری قطارهای شهری تهران و حومه می‌شود.

$$x_{gt}(T-1) \leq x_{gt}(T) \leq U_{gt}(T) \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$x_{et}(T-1) \leq x_{et}(T) \leq U_{et}(T) \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

#### محدودیت مربوط به استفاده از سوخت‌های سنتی در بخش خانگی - تجاری

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

$$s_f(T) \leq U_{sr}(T) \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

### محدودیت مربوط به صادرات

در مدل پیشنهادی حد پایین صادرات نفت خام و گاز طبیعی در هر سال، میزان صادرات در سال قبل در نظر گرفته شده است. بنابراین محدودیت‌های زیر به مدل اضافه شده است. شایان ذکر است در سال‌هایی که براساس سند چشم‌انداز تدوین شده توسط وزارت نفت، میزان تولید نفت خام کاهش می‌یابد، اصلاحات لازم در خصوص محدودیت مربوط به اعمال می‌شود.

$$E_c(T-1) \leq E_c(T) \quad \text{رابطه ۲۱}$$

$$E_g(T-1) \leq E_g(T) \quad \text{رابطه ۲۲}$$

### یافته‌های پژوهش

#### حل مدل ریاضی تخصیص منابع نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل از سازمان‌های مختلف به شرح زیر جمع‌آوری و پردازش شده است.

- اطلاعات و داده‌های مربوط به میزان تولید نفت خام و گاز طبیعی غنی (پس از کسر گازهای سوزانده‌شده)، میزان گاز طبیعی مورد نیاز برای تزریق به مخازن نفت کشور و برنامه‌های توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در نیروگاه‌ها طی سال‌های آتی از وزارت نفت جمع‌آوری شده است.
- داده‌های مربوط به قیمت نفت خام، بنزین و سایر فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق در سال‌های آتی از اداره اطلاعات انرژی آمریکا<sup>۱</sup> EIA جمع‌آوری و پردازش شده است.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به ضریب استحصال بنزین طی سال‌های آتی با توجه به برنامه‌های توسعه و بهبود عملکرد پالایشگاه‌های نفت کشور، از شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران دریافت شده است.
- اطلاعات و داده‌های مربوط به برنامه‌های بهبود بازده نیروگاه‌های کشور طی سال‌های آتی، از وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی<sup>۲</sup> جمع‌آوری شده است.
- داده‌های مربوط به برنامه‌های بهبود بازده پالایشگاه‌های نفت کشور طی سال‌های آتی، از شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران دریافت شده است.

1. <http://www.eia.doe.gov/>

2. <http://pep.moe.org.ir/>

- اطلاعات و داده‌های مربوط به برنامه‌های بهبود بازده پالایشگاه‌های گاز کشور طی سال‌های آتی، از شرکت ملی گاز ایران دریافت شده است.
  - اطلاعات و داده‌های مربوط به حداکثر استفاده از CNG در بخش حمل‌ونقل طی سال‌های آتی با توجه به برنامه‌های در دست اجرا در خصوص راه‌اندازی جایگاه‌های سوخت CNG و اجرای سایر زیرساخت‌های لازم، از سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت ایران جمع‌آوری شده است.
  - اطلاعات و داده‌های مربوط به حداکثر استفاده از برق در بخش حمل‌ونقل طی سال‌های آتی با توجه به برنامه‌های در دست اجرا در خصوص راه‌اندازی خطوط مترو و اجرای سایر زیرساخت‌های لازم، از شرکت بهره‌برداری راه آهن شهری تهران و حومه جمع‌آوری شده است.
  - داده‌های مربوط به تعداد خانوار (برای پیش‌بینی انرژی بخش خانگی - تجاری) و همچنین داده‌های مربوط به تعداد صنایع (برای پیش‌بینی انرژی بخش صنعت) از مرکز آمار ایران جمع‌آوری شده است.
  - داده‌های مربوط به تعداد خودرو (برای پیش‌بینی انرژی بخش حمل‌ونقل)، از سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت ایران جمع‌آوری شده است.
  - داده‌های مربوط به ارزش افزوده بخش صنعت (برای پیش‌بینی انرژی بخش صنعت) و کشاورزی (برای پیش‌بینی انرژی بخش کشاورزی) و همچنین داده‌های مربوط به میزان سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان (برای پیش‌بینی انرژی بخش خانگی - تجاری) و ماشین‌آلات (برای پیش‌بینی انرژی بخش صنعت) از مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی جمع‌آوری شده است.
  - سایر داده‌های مورد نیاز شامل جمعیت، تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی بخش‌های مختلف مصرف (برای پیش‌بینی انرژی بخش‌های مختلف) و ... از ترازنامه هیدروکربوری کشور تهیه‌شده توسط مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی و وزارت نفت و ترازنامه انرژی کشور تهیه‌شده توسط دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو جمع‌آوری شده است.
- با توجه به اطلاعات جمع‌آوری‌شده، مفروضات زیر برای حل مدل در نظر گرفته شده‌اند.
- طی اجرای طرح هدفمند کردن یارانه‌ها، قیمت فراورده‌های نفتی و برق تا پایان برنامه پنجم توسعه به ۹۰ درصد قیمت جهانی و قیمت گاز طبیعی به ۷۵ درصد قیمت جهانی برسد. قیمت فراورده‌های نفتی و برق طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ به ترتیب در هر



سال به ۵۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد و قیمت گاز طبیعی به ترتیب در هر سال به ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۷۵ درصد قیمت بین‌المللی برسد.

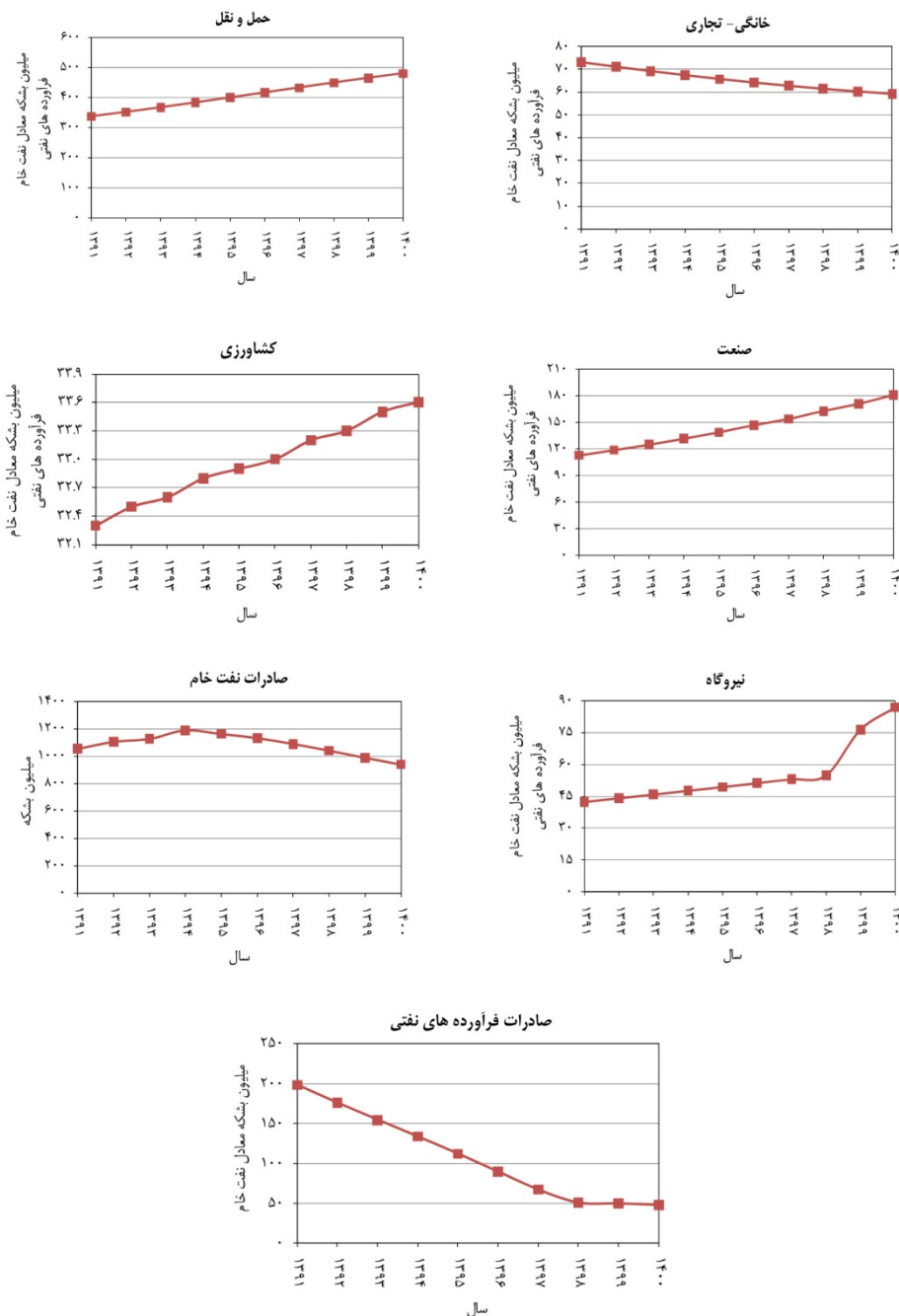
- هر سال به میزان حداکثر ۱۸ کیلومتر توسعه خطوط مترو در نظر گرفته شده است.
  - ضریب استحصال بنزین هر سال به میزان ۱ درصد بهبود یابد.
  - بازده نیروگاه‌های کشور هر سال به میزان ۱ درصد بهبود یابد و به حداکثر ۴۵ درصد برسد.
  - بازده پالایشگاه‌های نفت کشور تا سال ۱۴۰۰ به میزان ۲ درصد بهبود یابد.
  - بازده پالایشگاه‌های گاز کشور تا سال ۱۴۰۰ به میزان ۲/۵ درصد بهبود یابد.
  - در هر سال حداقل ۱۰ درصد از انرژی مورد نیاز نیروگاه‌های حرارتی از فرآورده‌های نفتی تأمین شود. همچنین تا سال ۱۴۰۰، ۱۰ درصد از برق تولیدی در کشور با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود.
  - میزان استفاده از سوخت‌های سنتی در بخش خانگی - تجاری هر سال ۳ درصد کاهش یابد. این مقدار با توجه به اطلاعات مربوط به مصرف سوخت‌های سنتی در بخش خانگی - تجاری طی سال‌های اخیر که روندی کاهشی داشته است و با توجه به توسعه گازرسانی و تأمین فرآورده‌های نفتی در بخش‌های روستایی کشور، در نظر گرفته شده است.
  - مقدار صادرات نفت خام و گاز طبیعی در هر سال کمتر از مقدار صادرات آن در سال قبل نباشد و در سال‌هایی که براساس سند چشم‌انداز تدوین شده توسط وزارت نفت، میزان تولید نفت خام کاهش خواهد یافت، حداکثر کاهش صادرات نفت خام ۵ درصد باشد.
- همچنین تقاضای انرژی شامل تقاضای کل انرژی و تقاضای فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق در بخش‌های مختلف مصرف شامل بخش‌های خانگی - تجاری، حمل‌ونقل، صنعت، کشاورزی و نیروگاه‌ها با استفاده از روش‌های شبکه‌های عصبی سلسله‌مراتبی (کازمی و همکاران، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰) و رگرسیون خطی فازی سلسله‌مراتبی (تقی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹؛ کازمی و همکاران، ۲۰۱۰) و داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ پیش‌بینی شده است. از داده‌های سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ به‌عنوان داده‌های تست استفاده شده و برای بررسی اعتبار مدل‌های پیش‌بینی، شاخص درصد میانگین قدرمطلق خطا محاسبه و بررسی شده است. برای مثال برای پیش‌بینی تقاضای انرژی در بخش حمل‌ونقل، تعداد خودرو، تولید ناخالص داخلی، جمعیت و میزان مصرف انرژی این بخش در سال قبل ورودی‌های مدل و مصرف انرژی در این بخش خروجی مدل در نظر گرفته شده است. هر یک از ورودی‌های مدل شامل تعداد خودرو، تولید ناخالص داخلی و جمعیت نیز پیش‌بینی شده‌اند. پس از انتخاب مدل مناسب، تقاضای انرژی

سال‌های آتی مطابق با جدول ۱ پیش‌بینی شده است. شایان ذکر است روش شبکه‌های عصبی به دلیل خطای کمتر مربوط به داده‌های تست روش مناسب‌تری برای پیش‌بینی انرژی بخش‌های مختلف مصرف بوده است.

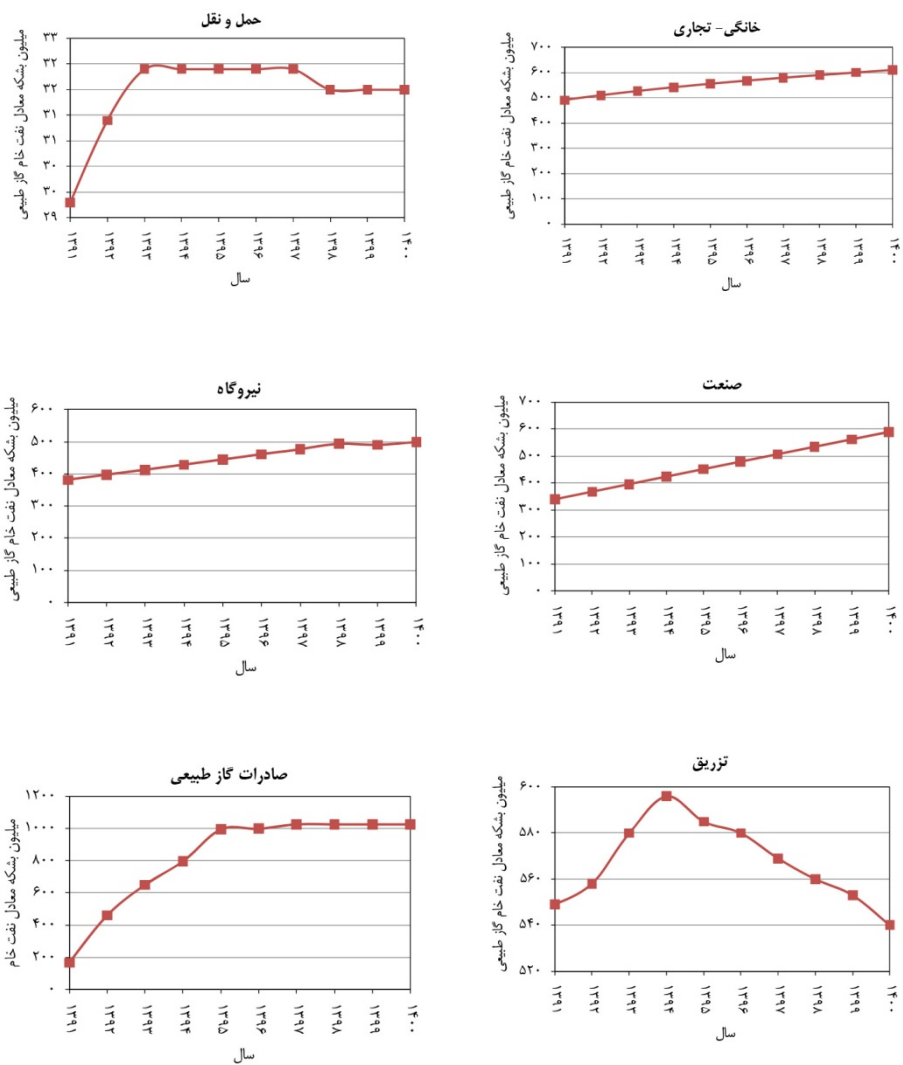
جدول ۱. پیش‌بینی انرژی بخش‌های مختلف مصرف (ارقام به میلیون بشکه معادل نفت خام)

بخش	پیش‌بینی	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۴۰۰	
		میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام
خانگی - تجاری	انرژی	۵۸۱	۶۱۱	۶۳۶	۶۵۷	۶۷۵	۶۹۲	۷۰۸	۷۲۲	۷۳۷	۷۵۰	۷۶۳	۷۷۶
	گاز طبیعی	۳۳۰	۳۵۳	۳۷۵	۳۹۸	۴۲۰	۴۴۳	۴۶۶	۴۹۱	۵۱۵	۵۴۰	۵۶۵	۵۹۰
	فراورده 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
	فراورده 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
	فراورده 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
	فراورده 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
نیروگاه	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

مدل پیشنهادی برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ اجرا شده است. نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از داده‌ها، اطلاعات و مفروضات مذکور طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. مدل مذکور با استفاده از نرم‌افزار LINGO حل شده است.



شکل ۲. تخصیص بهینه نفت خام و فرآورده های نفتی به بخش های مختلف



شکل ۳. تخصیص بهینه گاز طبیعی به بخش‌های مختلف

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با در نظر گرفتن طرح هدفمندسازی یارانه‌ها و برنامه‌های آتی دولت و به‌منظور افزایش درآمد دولت، برای تخصیص بهینه نفت خام، فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی، در بخش خانگی-تجاری، تخصیص فراورده‌های نفتی روندی کاهشی دارد و علت آن توسعه گازرسانی در کشور است. تخصیص گاز طبیعی به این بخش با توجه به توسعه گازرسانی

روندی افزایشی دارد. بخش حمل‌ونقل از مصرف‌کنندگان اصلی فراورده‌های نفتی است. مصرف گاز طبیعی در این بخش به دلیل محدودیت مربوط به توسعه زیرساخت‌های لازم از رشد کمی برخوردار است. در بخش صنعت مصرف فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی روندی افزایشی دارد. همچنین در بخش کشاورزی مصرف فراورده‌های نفتی روندی افزایشی با شیب کند دارد. مصرف فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی در نیروگاه‌ها روندی افزایشی دارد. بخش زیادی از نفت خام به صادرات تخصیص داده شده است. صادرات نفت خام در ابتدا روندی افزایشی و سپس روندی کاهشی دارد که علت آن پیر شدن مخازن نفتی و در نتیجه برداشت کمتر است. همچنین صادرات فراورده‌های نفتی روندی کاهشی دارد. تزریق گاز به مخازن نفتی کشور بخش اعظمی را به خود اختصاص داده است. این مقدار در ابتدا روندی افزایشی و سپس روندی کاهشی دارد. برای بررسی اعتبار مدل پیشنهادی، نتایج حاصل از حل مدل مذکور با نتایج مربوط به عملکرد واقعی در سال ۱۳۸۹ مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده بهبود تابع هدف به میزان ۱۴/۲ درصد است و علت آن تخصیص مناسب حامل‌های مختلف انرژی به بخش‌های مختلف مصرف در داخل کشور و همچنین تزریق و صادرات است.

حساسیت مدل تخصیص بهینه نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف در سال ۱۳۹۱ نسبت به شاخص‌های یارانه‌های پرداختی دولت، بازده نیروگاه‌ها، ضریب استحصال بنزین و میزان تولید برق توسط انرژی‌های تجدیدپذیر بررسی شده است. نتایج تحلیل حساسیت مدل به شرح زیر است:

- در صورت کاهش یارانه‌های انرژی پرداختی از سوی دولت به میزان ۲۰ درصد و بیشتر نسبت به فرضیات فعلی، مقدار فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به نیروگاه‌ها کاهش و مقدار گاز تخصیص داده شده به این بخش افزایش می‌یابد، همچنین مقدار فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به صادرات افزایش و مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به صادرات کاهش می‌یابد.
- در صورت بهبود بازده نیروگاه‌های حرارتی کشور، مقدار فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به نیروگاه‌ها و مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به بخش خانگی - تجاری کاهش و مقدار فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی تخصیص داده شده به صادرات افزایش می‌یابد.
- در صورت افزایش ضریب استحصال بنزین به میزان ۳۰ درصد و بیشتر نسبت به وضعیت فعلی، مقدار فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به بخش حمل‌ونقل افزایش و مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به این بخش کاهش می‌یابد. در صورت افزایش

ضریب استحصال بنزین به میزان ۲۰ درصد و بیشتر نسبت به وضعیت فعلی، مقدار فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به نیروگاه‌ها کاهش، مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به این بخش افزایش و مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به صادرات کاهش می‌یابد.

- در صورت افزایش تولید برق توسط انرژی‌های تجدیدپذیر، مقدار فراورده‌های نفتی تخصیص داده شده به نیروگاه‌ها و مقدار گاز طبیعی تخصیص داده شده به بخش خانگی - تجاری کاهش و مقدار فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی تخصیص داده شده به صادرات افزایش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله تخصیص بهینه منابع انرژی به بخش‌های مختلف مصرف شامل خانگی - تجاری، حمل‌ونقل، صنایع، کشاورزی، صادرات، تزریق به مخازن نفتی و نیروگاه‌ها در ایران طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ با رویکرد هدفمند کردن یارانه‌ها و با در نظر گرفتن برنامه‌های آتی دولت بررسی شد. برای مدل‌سازی از یک مدل برنامه‌ریزی خطی با تابع هدف اقتصادی شامل هزینه‌های مربوط به پرداخت یارانه‌های انرژی، استفاده شد. محدودیت‌های مدل شامل محدودیت‌های تعادل، تقاضا و حدود بالا و پایین متغیرها بود. از نتایج این تحقیق می‌توان در خصوص تخصیص بهینه نفت و گاز طبیعی به بخش‌های مختلف مصرف و به منظور برنامه‌ریزی‌های آتی استفاده کرد. با توجه به نتایج، تخصیص گاز طبیعی به بخش خانگی - تجاری با روندی افزایشی مورد توجه قرار می‌گیرد؛ در بخش حمل‌ونقل توسعه استفاده از CNG مدنظر نیست؛ لازم است تزریق گاز به مخازن نفتی افزایش یابد؛ همچنین تخصیص گاز طبیعی به بخش صنعت که نقش مهمی در توسعه اقتصادی کشور دارد و و به نیروگاه‌ها جهت تولید برق نیز مورد توجه است.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- طراحی و اجرای مدل تخصیص بهینه انرژی کشور به صورت فصلی؛
- در نظر گرفتن زیرمجموعه‌های بخش‌های مختلف مصرف به صورت مجزا (برای مثال تفکیک صنایع به صنایع پتروشیمی، فولاد و ... یا در بخش حمل‌ونقل تفکیک خودروهای سبک و سنگین از یکدیگر)؛
- توجه به عرضه برق هسته‌ای؛
- توسعه مدل ارائه شده با در نظر گرفتن مسائل کیفی همچون تحریم‌ها، تغییرات سیاسی

و ...

## References

- Agrawal, R.K. & Singh, S.P. (2001), Energy allocation for cooking in UP household, India, A fuzzy multi-objective analysis, *Energy Conversion and Management*, 42, 2139-2154.
- Asadi, F., (2007), The importance and necessities of optimization and decrease in the intensity of energy consumption. *Journal of Parliament and Research*, 54, 253-278. (in Persian)
- Borges, A.R. & Antunes, C.H. (2003), A fuzzy multiple objective decision support model for energy-economy planning, *European Journal of Operational Research*, 145, 304-316.
- Deshmukh, S.S. & Deshmukh, M.K. (2009), A new approach to micro-level energy planning-A case of northern parts of Rajasthan, India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 634-642.
- Hiremath, R.B., Kumar, B., Balachandra, P., Ravindranath, N.H. (2010), Bottom-up approach for decentralised energy planning: Case study of Tumkur district in India, *Energy Policy*, 38, 862-874.
- Iran Statistical Yearbook. Statistical Center of Iran. Available at: <http://amar.sci.org.ir/>
- Jafari S., A., Dehghani, T., (2007). An Application of A Dynamic Optimization Model for the Natural Gas for Optimization of Iran Revenues from Natural Gas Reserves. *Iranian Journal of Economic Research*, 30, 165-192. (in Persian)
- Jinturkar, A.M. & Deshmukh, S.S. (2011). A fuzzy mixed integer goal programming approach for cooking and heating energy planning in rural India. *Expert Systems with Applications*, 38, 11377-11381.
- Kambo, N.S, Handa, B.R. & Bose, R.K. (1990/91). A Linear Goal Programming Model for Urban Energy-Economy-Environment Interaction, *Energy and Buildings*, 537-551.
- Kazemi, A., Shakouri G, H, Menhaj, MB., Mehregan, MR., Neshat, N. (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.
- Kazemi, A., Shakouri G, H., Menhaj, MB., Mehregan, MR., Taghizadeh, MR., Foroughi A, 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.
- Kazemi, A., Shakouri G, H., Menhaj, MB., Mehregan, MR., Neshat, N. (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.

- Mezher, T., Chedid, R., Zahabi, W. (1998). Energy resource allocation using multi-objective goal programming: the case of Lebanon, *Applied Energy*, 61, 175-192.
- Mohaghar, A., Mehregan, MR., Abolhasani, GhR. (2010). Use of decision making techniques to prioritize consumption and optimize allocation of natural gas using the fuzzy approach, *Journal of Energy Economics Review*, 24, 91-119. (in Persian)
- Renani, M., Sharifi, AM., Khosh Akhlagh, R., (2009), Determining the Priorities of Iran's Natural Gas Reserves Applications. *The Economic Research*, 3, 151-182. (in Persian)
- Sadeghi, M., Hossein Mirshojaeian, H. (2006), Energy supply planning in Iran by using fuzzy linear programming approach (regarding uncertainties of investment costs), *Energy Policy*, 34, 993-1003.
- Safarian, A., Ardehali, M.M., (2009), Developing a Reference Energy System for Energy Sector and a Model for Planning Electric Energy Sub-Sector in Iran, *Quarterly Energy Economics Review*, 19, 163-202. (in Persian)
- Shafiei, SE., Fakehi, AH., Shahmohammadi, F., (2006), Evaluation of optimal combination of energy carriers residential sector of Tehran using an energy supply model. The 5th Conference on Energy Conservation in Building, Tehran, Iran. (in Persian)
- Shahhosseini, A., (2009), Designing of energy policy making model in Iran's vision horizon regard to system dynamics approach, case: Iran's gas area, PhD dissertation, University of Tehran, Faculty of Management. (in Persian)
- Statistical Data Bank. Institute for International Energy Studies. Available at: <http://new.iies.org>.
- Taghizadeh, MR., Shakouri G, H., Menhaj, MB., Mehregan, MR., Kazemi, A. (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.
- Transportation. Iranian Fuel Conservation Company. Available at: <http://www.ifco.ir>.