استفاده از مدل تفکیک شده پالایشگاه نفت خام برای تعیین الگوی بهینه پالایش در شبکه انرژی کشور

سیدمحمد صادق‌زاده[1]، مهدی زارع[2]

۱ـ دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی،

۲ـ تحصیلات تکمیلی مهندسی سیستم‌های انرژی ـ دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

چکیده

مقاله حاضر به مدل‌سازی پالایشگاه‌های نفت کشور به صورت تفکیک شده در سطح فرآیندهای پالایشگاه در مجموعه شبکه انرژی کشور می‌پردازد. هدف از تهیه این مدل تعیین الگوی بهینه پالایش نفت خام در کشور از دید کلان و برای افق زمانی ۱۳۸۳ لغایت ۱۴۰۸ شمسی است. بهینه‌سازی برای سناریوهای مختلف از متغیرهای برونزا شامل بازارهای جهانی انرژی، تقاضای داخلی و شاخص‌های اقتصاد کلان تکرار شده است. نتایج حاصل از بهینه‌سازی غالب سناریوها مؤید این نکته هستند که با توجه به پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های موجود، صادرات نفت خام بایستی به حداقل ممکن کاهش یافته و در مقابل با افزایش ظرفیت‌های پالایشگاهی، کشور به سمت صادرات سبک و میان تقطیر روی آورد. توسعه ظرفیت واحدهای تبدیل فرآورده‌های سنگین به سبک بخصوص واحدهای کراکینگ کاتالیستی از دیگر نتایج مهم این مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: *شبکه انرژی، پالایشگاه نفت، الگوی پالایشی*

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

مقدمه

پس از بحران‌های نفتی دهه هفتاد میلادی، برنامه‌ریزی‌های جامع انرژی در سطح ملی به ویژه در کشورهای صنعتی مورد توجه خاص قرار گرفت. هدف عمده برنامه‌ها آن بود که برای یک افق زمانی معین، مناسب‌ترین و بهینه‌ترین سیاست‌های انرژی تعیین گردند. با این احوال استفاده از مدل در برنامه‌ریزی‌های کلان اقتصادی سابقه طولانی در کشور ما ندارد؛ بطوری که اولین الگوی اقتصادسنجی کلان ایران توسط آنکتاد تهیه و در برنامه چهارم اجرائی کشور در سال ۱۳٤۷ از آن استفاده شد. تا سال تدوین برنامه ٥ ساله دوم، شانزده مدل در برنامه‌ریزی و تحلیل‌های کلان اقتصادی و یازده الگو در پایان‌نامه‌های دانشجویان برای اقتصاد ایران طراحی گردید؛ ولی در هیچ یک از این مدل‌ها، انرژی نه در مرحله طراحی معادلات و نه در تحلیل ابزارهای سیاست‌گذاری‌های کلان وارد نمی‌شود[۱].

رشد شدید مصرف انرژی ناشی از ظرفیت‌سازی در بخش‌های تولید و مصرف کشور و عوامل دیگری نظیر عدم کارائی مطلوب در تولید و مصرف انرژی، همچنین موقعیت راهبردی جمهوری اسلامی ایران در منطقه و جهان به دلیل صادرات مقادیر معتنابه حامل‌های انرژی، ضرورت توجه جدی برنامه‌ریزان کشور را به توسعه مدل‌های مناسب جهت برنامه‌ریزی‌های میان و بلندمدت گوشزد می‌کند. تدوین برنامه ۲٥ ساله توسعه بهینه عرضه انرژی در کشور در معاونت امور انرژی وزارت نیرو، گامی رو به جلو در این راستا به شمار می‌آید. هدف اصلی این برنامه تهیه الگوی بلندمدت بهینه عرضه و تقاضای انرژی در کشور است.

کشور ایران با داشتن ۸/٦ درصد از کل ذخایر کشف شده نفت خام جهان دارای پتانسیل مناسبی جهت فرآوری نفت خام و صادرات فرآورده می‌باشد. متأسفانه طی سالیان اخیر حتی با بهره‌گیری از ۹ پالایشگاه کشور با ظرفیت حدود ۱/٥ میلیون بشکه در روز، نه تنها صادرات فرآورده کشور قابل توجه نبوده، بلکه برای بعضی فرآورده‌ها همچون بنزین مقادیر معتنابهی واردات نیز صورت گرفته است. برنامه‌ریزی بلندمدت و یکپارچه جهت بهره‌گیری از پالایشگاه‌هایی با الگوی پالایشی بهینه، می‌تواند به رفع نقیصه فوق و استفاده از توان بالقوه کشور کمک شایانی کند.

مبانی تئوری و روش انجام مطالعه

اطلاعات مورد نیاز برای شناسائی شبکه انرژی مجموعه‌ای از داده‌های فنی ـ اقتصادی و تاریخی هر فرآیند شامل طول عمر تجهیزات، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، میزان تقاضا، بازده، و... هستند که باید محاسبه، تعیین و یا جمع‌آوری شده و به صورت برونزا به مدل داده شوند.

متدولوژی ریاضی بکار رفته برای بهینه‌سازی شبکه انرژی، برنامه‌ریزی خطی است. تابع هدف این مساله تابع هزینه است که به بصورت زیر تعریف شده و بایستی حداقل شود[۲]:

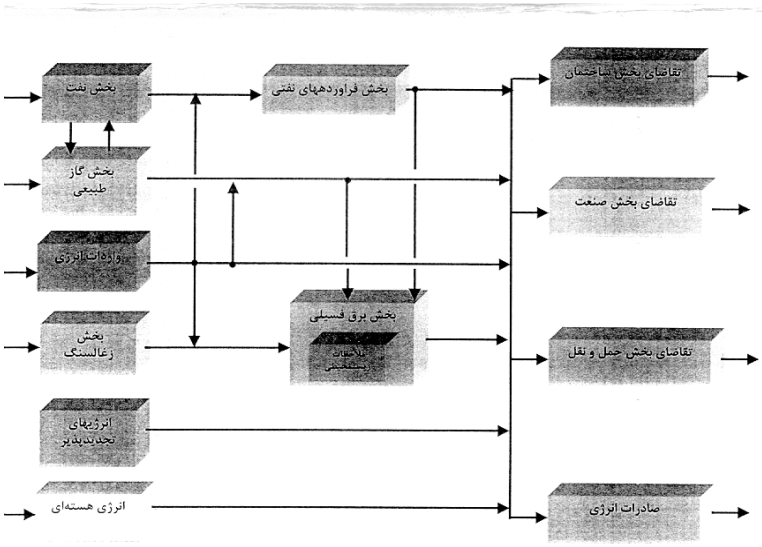
$$COST = \sum_{t=T_0+1}^{T_P} \left[PWF_t \sum_{i=1}^{N} \left(CV_{it}\, E_{it} + CF_{it}\, X_{it} + CI_{it}\, X_{it} \right) \right] \quad (۱)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

اولین مؤلفه هزینه در تابع فوق، هزینه متغیر (متناسب با جریان انرژی در آن فرآیند یعنی E_{it}) است. مؤلفه‌های دوم و سوم به ترتیب هزینه‌های ثابت و سرمایه‌گذاری (متناسب با ظرفیت آن فرآیند یعنی X_{it}) هستند. این هزینه‌ها برای کلیه فرآیندهای شبکه انرژی تعیین شده و با استفاده از ضریب ارزش حال (PWF_t) به قیمت‌های سال پایه تنزیل داده می‌شوند سپس حاصل جمع آنها برای دوره برنامه‌ریزی محاسبه و حداقل می‌شود.

شبیه‌سازی فرآیندهای پالایشی در شبکه ایران طی دو مرحله انجام شده است. نخست یک الگوی پالایشی عام، به فرآیندهای درون پالایشگاه تفکیک و بطور مستقل از شبکه انرژی ایران شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شده است. در مرحله بعد این شبکه به شبکه یکپارچه انرژی کشور متصل شده و شبکه حاصل بهینه‌سازی خواهد شد. در شکل‌های (۱) و (۲) شبکه یکپارچه انرژی کشور و شبکه انرژی پالایشگاه به‌طور خلاصه نمایش داده شده‌اند.

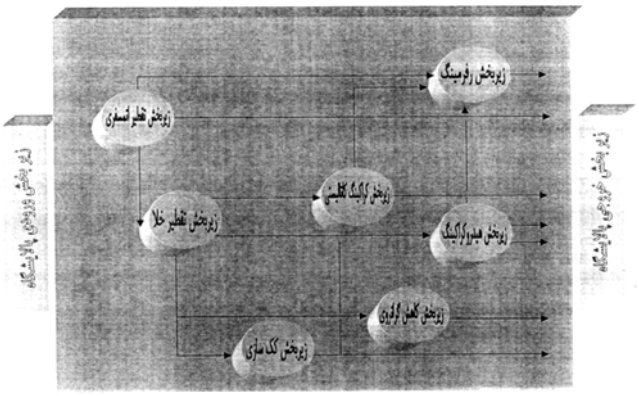
در مدل تفکیک شده، بیش از ۱۵۰ عملیات فرآیندی و غیر فرآیندی درون پالایشگاه در قالب ۹ زیرسیستم شبیه‌سازی شده و برای بیش از ۵۰ عملیات پارامترهای فنی ـ اقتصادی و تاریخی شامل هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه متغیر، هزینه ثابت، ظرفیت موجود، ظرفیت‌های دردست ساخت، بازده، ضریب دسترسی، طول عمر و... محاسبه، تعیین و یا جمع‌آوری شده‌اند. زیرسیستم‌های تفکیک شده پالایشگاه و ارتباط بین آنها و نیز جریان‌های اصلی هر کدام در شکل‌های ۳ تا ۱۱ ملاحظه می‌شوند.



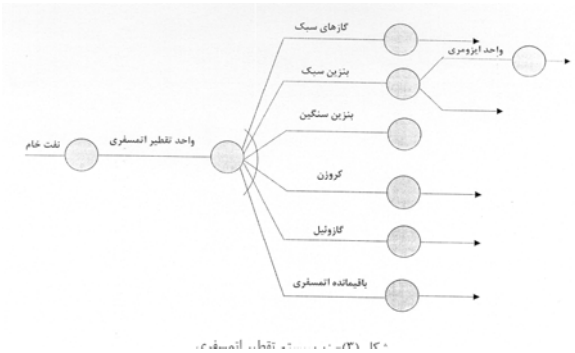
شکل (۱)- اجزاء اصلی شبکه انرژی کشور

شکل ۱ـ اجزاء اصلی شبکه انرژی کشور

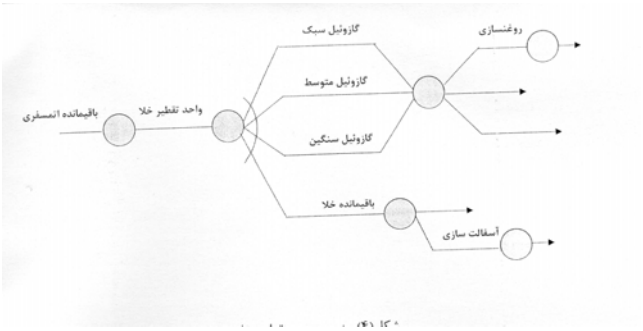
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]



شکل ۲ـ نمایش خلاصه شبکه انرژی پالایشگاه



شکل ۳ـ زیر سیستم تقطیر اتمسفری



شکل ۴ـ زیر سیستم تقطیر خلا

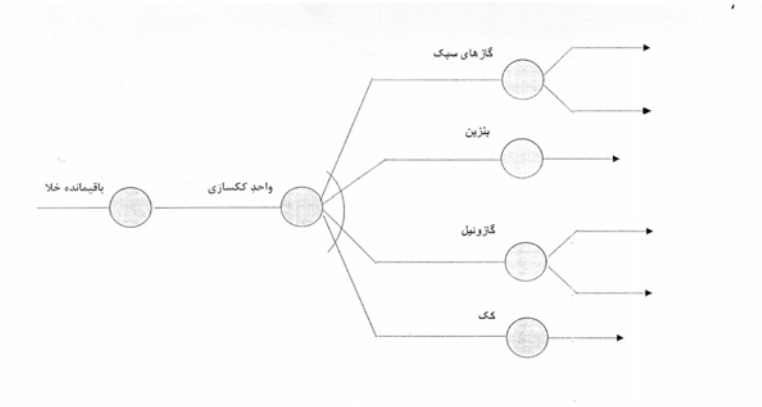
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

شکل ۵ـ زیر سیستم رفرمینگ کاتالیستی

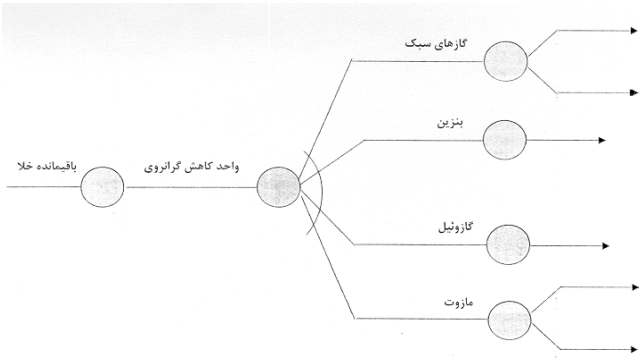
شکل ۶ـ زیر سیستم کراکینگ کاتالیستی

شکل ۷ـ زیر سیستم هیدروکراکینگ

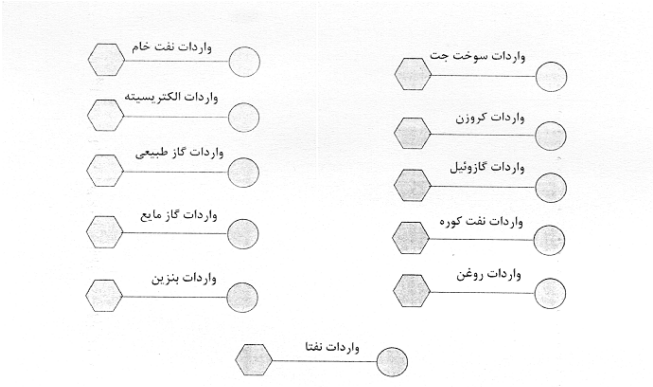
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]



شکل ۸ـ زیر سیستم ککینگ

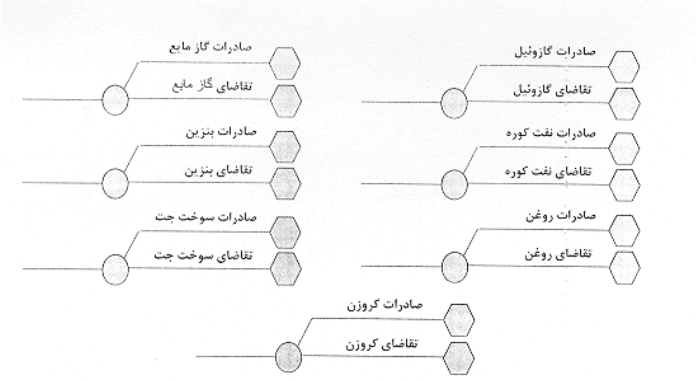


شکل ۹ـ زیر سیستم کاهش گرانروی



شکل ۱۰ـ زیر سیستم ورودی پالایشگاه

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]



شکل ۱۱ـ زیر سیستم خروجی پالایشگاه

مفروضات بهینه‌سازی

به منظور تحلیل حساسیت جواب‌ها، بهینه‌سازی با سه سناریو قیمتی مطابق جداول ۱ تا ٦ پیوست برای طول دوره برنامه‌ریزی در قالب زیر درنظر گرفته شده است:

- سناریو ادامه روند موجود در قیمت حامل‌های انرژی
- سناریو افزایش قیمت حامل‌های انرژی
- سناریو کاهش قیمت حامل‌های انرژی

برای در نظر گرفتن کلیه حالت‌های ممکن، بهینه‌سازی شبکه انرژی علاوه با سناریوهای فوق با چهار سناریو تقاضای داخلی فرآورده و دو سناریو نرخ تنزیل نیز انجام شده است. نتایج بهینه‌سازی حاکی از آنند که تغییر تقاضای داخلی فرآورده و نرخ تنزیل تأثیر کمی بر الگوی پالایشی بهینه دارند و این در حالیست که قیمت فرآورده‌ها بطور مؤثری بر الگو تأثیرگذار هستند. به منظور جلوگیری از اطاله کلام تقاضای داخلی با فرض ادامه روند موجود (که محتمل‌ترین سناریو تقاضا بوده) در نظر گرفته شده است. پیش‌بینی میزان مصرف داخلی فرآورده، با فرض ادامه روند موجود، در جدول (۷) ملاحظه می‌شود. نرخ تبدیل هر دلار ۸۰۰۰ ریال و نرخ تنزیل ۱۲ درصد لحاظ شده است. در نمودارهای بعدی چهار فرآورده: بنزین (فرآورده سبک)، نفت سفید و گازوئیل (فرآورده میان تقطیر) و مازوت (فرآورده سنگین) به عنوان فرآورده‌های عمده که بخش قابل توجهی از خروجی پالایشگاه را تشکیل می‌دهند آورده شده‌اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

نتایج مدلسازی شبکه پالایشگاه در مدل یکپارچه انرژی

ـ سناریو ادامه روند موجود قیمت‌ها

شبکه یکپارچه انرژی کشور شامل کلیه بخش‌های انرژی اعم از نفت، گاز، زغالسنگ، الکتریسیته، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و... می‌باشد (شکل ۱). نتایج بهینه‌سازی الگوی پالایشگاه‌ها در چنین شبکه‌ای، با توجه به حضور کلیه بخش‌های مؤثر در آن و دیده شدن برهمکنش بین آنها، لزوما با روند فعلی همخوانی نداشته و بعضاً کاملا متفاوتند.

یکی از مباحثی که امروزه در بخش انرژی کشور مطرح است، استفاده از فن‌آوری GTL، به منظور تولید فرآورده‌های مطلوب و پاک از یک سو و استفاده از منابع سرشار گاز کشور از سوی دیگر می‌باشد. جهت مقایسه این فن‌آوری با پالایشگاه‌های نفت و تحلیل قدرت رقابت آنها با یکدیگر، برخی از نتایج زیر بخش گاز مدل نیز در نمودارها آورده شده است.

در شبکه یکپارچه انرژی کشور با توجه به اینکه نفت خام خوراک پالایشگاه از منابع داخلی (و نه از بازار) تأمین می‌شود، پالایشگر نفت خام را با هزینه‌های بسیار پائین‌تری نسبت به بازار تهیه می‌کند (٤٧٨ ریال بر لیتر). بنابراین می‌توان حدس زد که اختلاف قابل توجهی بین هزینه تمام شده محصولات پالایشگاه‌های داخل کشور و قیمت بین‌المللی آنها وجود دارد (شکل (۱۲)). هزینه متوسط پالایش هر لیتر گاز مایع ١٤٠/٨٨ ریال، بنزین۱۲۵/۷ریال، نفت سفید ۵۵/۳ ریال، نفت گاز ۱۱۹ ریال و نفت کوره ۸۵ ریال محاسبه شده است. با احتساب هزینه استخراج و انتقال نفت خام، هزینه متوسط تولید یک لیتر از فرآورده‌های فوق به ترتیب ٦١٨/٨، ٦٠٣/٧، ٥٣٣/٣، ٥٩٧/٢ و ٥٦٣/٥ ریال به‌دست می‌آید. باید توجه داشت که این هزینه‌ها بدون در نظر گرفتن ارزش ذاتی نفت خام محتوای فرآورده است که در صورت لزوم می‌تواند به هزینه‌های فوق اضافه شود. همچنین از آنجا که این هزینه‌ها، هزینه بهینه تولید هستند با روند فعلی کشور متفاوت می‌باشند. در بخش صادرات فرآورده اولویت به ترتیب با صادرات بنزین، نفت سفید و گازوئیل است که در طول دوره مطالعه روند افزایشی دارند (شکل (۱۳)). این میزان صادرات بخش عمده‌ای از تولید پالایشگاه‌های کشور را تشکیل می‌دهد (شکل (١٤)).

هزینه متوسط فرآوری محصولات از تکنولوژی GTL به مراتب بیشتر از پالایشگاه‌های نفت است (با احتساب هزینه‌های استخراج و انتقال و بدون درنظر گرفتن ارزش ذاتی گاز طبیعی حدودا ١٠٤٦/٥ ریال بر لیتر خواهد شد)، (شکل (۱۲)). به همین جهت چنانچه فقط مقایسه پالایشگاه نفت خام و فن‌آوری GTL مد نظر باشد، با وجود پتانسیل‌های بسیار گاز در کشور، فناوری GTL توانائی رقابت با پالایشگاه‌های نفت را ندارد.

به منظور تحقق اهداف فوق، سیستم بهینه انرژی بطور گسترده‌ای مبادرت به سرمایه‌گذاری و ایجاد ظرفیت‌های جدید در پالایشگاه‌ها می‌کند (شکل‌های (۱۵) و (١٦)). همانگونه که از این نمودارها ملاحظه می‌شود، پیشنهاد مدل به افزایش ظرفیت پالایشگاه‌های کشور از ۷۳ MTOY فعلی به حدود ۳۰۰ MTOY و حفظ این سقف ظرفیت در طول دوره مطالعه است. در واقع این

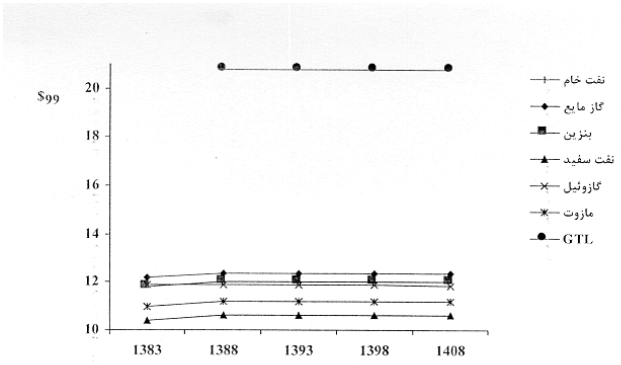
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

میزان ظرفیت پالایشی، برابر کل توان تولید نفت خام در کشور می‌باشد و این بدان معنی است که همه نفت خام تولید کشور بایستی پالایش شود و صادرات نفت خام توجیهی ندارد.

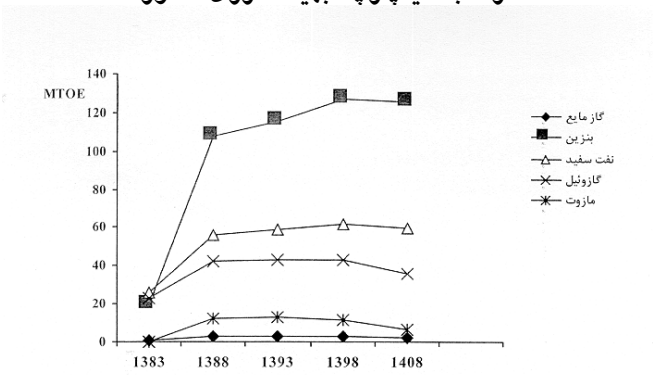
همچنین نتایج نشان می‌دهند ترکیب بهینه سوخت مورد نیاز پالایشگاه‌های کشور در کلیه سال‌ها عمدتاً گاز طبیعی و اندکی گازهای تولیدی خود پالایشگاه است. همانگونه که در نمودار (۷) ملاحظه می‌شود، در دوره اول برنامه‌ریزی به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های مناسب، پالایشگاه‌ها بالاجبار از سوخت‌های دیگر نیز استفاده می‌کنند.

سناریوهای افزایش و کاهش قیمت‌ها

نتایج بهینه‌سازی با سناریوهای افزایش قیمت‌ها و کاهش قیمت‌ها نیز روند مشابهی را طی می‌کند. در این دو سناریو تأکید مدل همچنان بر ساخت پالایشگاه‌های جدید و استفاده از حداکثر پتانسیل استخراج نفت خام برای تأمین خوراک پالایشگاه‌های جدیدالتأسیس است.

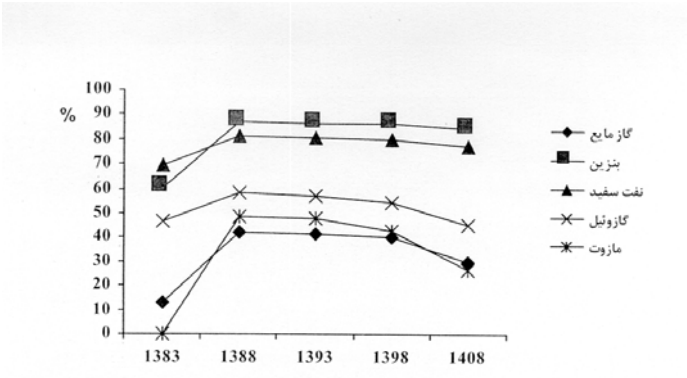


شکل ۱۲ـ هزینه متوسط هر بشکه فرآورده‌های عمده نفتی پالایشی در شبکه یکپارچه بهینه انرژی کشور

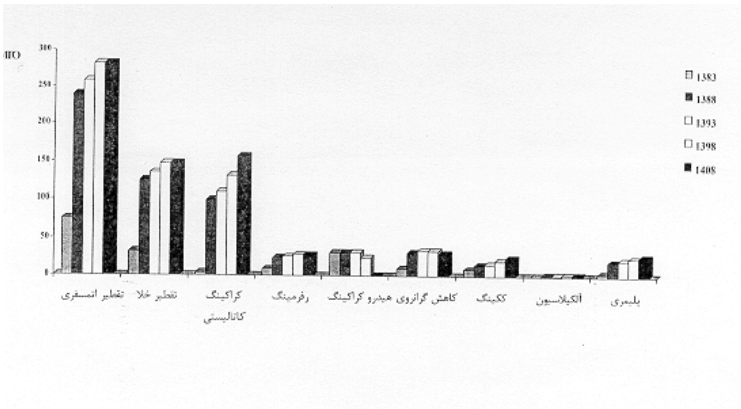


شکل ۱۳ـ برنامه بهینه صادرات فرآورده‌های عمده نفتی در بشکه یکپارچه انرژی کشور

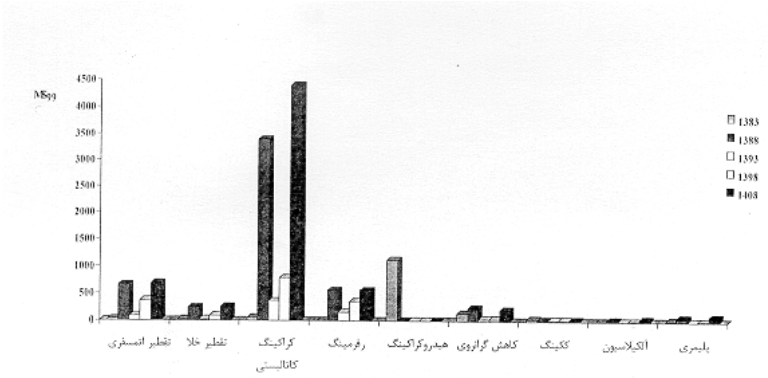
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]



شکل ۱۴ـ درصد صادرات فرآورده از کل تولید در شبکه بهینه یکپارچه انرژی کشور

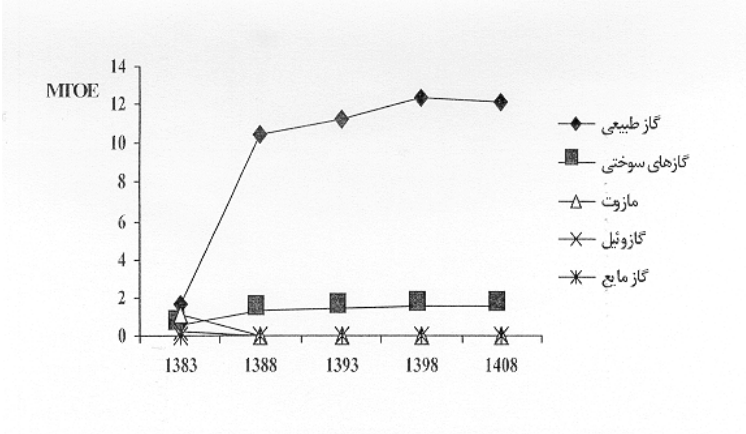


شکل ۱۵ـ الگوی بهینه پالایشی در شبکه یکپارچه انرژی کشور



شکل ۱۶ـ سرمایه گذاری در الگوی بهینه پالایشی شبکه یکپارچه انرژی کشور

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]



شکل ۱۷ـ ترکیب بهینه سوخت پالایشگاه‌ها در شبکه بهینه یکپارچه انرژی کشور

مقایسه جواب‌های بهینه‌سازی با الگوهای موجود [۵]

در جداول (الف) و (ب) مقایسه‌ای بین نتایج بهینه‌سازی مدل تفکیک‌شده پالایشگاه‌های نفت در شبکه یکپارچه انرژی با الگوی پالایشی فعلی کشور و نیز الگوهای روز دنیا انجام شده است [۳ و ٤]. علت ناکارائی الگوی فعلی پالایش کشور از این دو جدول به وضوح مشخص است. در حالیکه در کشورهای اروپائی و آمریکا سهم عمده‌ای از ظرفیت‌های پالایشی به واحدهای تبدیل فرآورده سنگین به سبک[۱] اختصاص دارد (در آمریکا حدود ۵۵ درصد)، این سهم در ایران اندک است (حدود ١٤ درصد). چنین الگوی نامناسبی حتی در کشورهای همسایه ما نیز وجود ندارد (کویت با ۳۵ درصد و بحرین با ٤٤ درصد). کمبود چنین واحدهایی در پالایشگاه‌های کشور باعث افزایش ناخواسته فرآورده‌هایی چون مازوت شده و متوسط تولید این فرآورده در داخل را تا ۸ برابر متوسط تولید آن در آمریکا افزایش داده است. همچنین ظرفیت واحدهای تولیدکننده بنزین مرغوب[۲] در الگوی پالایشی فعلی بسیار ناچیز است. این امر از جمله عواملی است که باعث می‌شود پالایشگر برای بهبود خواص بنزین مقادیر بیشتری از افزودنی‌هایی چون تتراتیل سرب و MTBE به بنزین تولید شده در واحدهای دیگر اضافه کند که این موضوع تبعات زیست‌محیطی بعدی را به دنبال خواهد داشت. این نقائص در شبکه بهینه پیشنهادی تا حد امکان مرتفع شده‌اند.

ممکن است این سوال پیش بیاید که اصولا آیا داشتن چنین الگوئی از واحدهای پالایشی و تولید فراورده در یک پالایشگاه امکان دارد؟ پاسخ مثبت است. از آنجا که در مرحله تدوین شبکه انرژی تفکیک شده پالایشگاه، محدودیت‌های هر واحد پالایشی در نوع و میزان خوراک و فراورده‌ها به صورت پارامتری درنظر گرفته شده است، الگوی پالایشی پیشنهادی مدل که تلفیقی از کلیه واحدهاست الزاما بایستی امکان‌پذیر باشد. صحت این ادعا را از جداول (الف) و (ب) می‌توان تایید

۱ ـ شامل واحدهای ککینگ، عملیات حرارتی، کراکینگ کاتالیستی و هیدروکراکینگ

۲ـ شامل واحدهای آلکیلاسیون، پلیمری و ایزومری

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

کرد. همانگونه که از این جداول پیداست، کلیه جوابهای بهینه‌سازی، تقریبا در محدوده‌های مورد قبول پالایشگاه‌های جهان هستند.

جدول (الف)ـ مقایسه الگوی واحدهای پالایشی پلایشگاه در کشورهای مختلف (درصد از خوراک)

	ایران	کویت	بحرین	فرانسه	آلمان	مکزیک	آمریکا	شبکه بهینه ایران
تقطیر اتمسفری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تقطیر خلاء	۳۹/۳	٤٦/٤	۷٦/۲٥	٤۰/٥	٤۲	٤۹/٦	٤٥/۱٥	٥۱
ککینگ	۰	۸/۹	۰	۰	۰	۲/٦۸	۱۲/۷	٥/۹
عملیات حرارتی	/٥٦ ۱۰	۰	۷/۹٥	۸/۱	۹/٦۳	٦/٥٥	۰/۳۸	۳۱/۱
کراکینگ کاتالیستی	۲	٥/٤	۱٦/٦	۱۹/٥۷	۱٥/۲	۲٤/۱۳	۳۳/۷۸	٤۰
رفرمینگ کاتالیستی	۱۰/۸	۱/۷٦	٦/۱٤	۱۳/۸۸	۱٦/۹٥	۱٤/۸	۲۱/٥۲	۱۰
هیدروکراکینگ	۱/۳۳	۲۱	۱۹/٥۲	۰/۸	۷/۳	۱/۲	۸/۷	۱۱/۲
آلکیلاسیون	۰	۰/۷	۰	۰/۹۷	۱/۲	۰	۷	۰/٥۳
پلیمری	۰	۰	۱/۲۳	۰/۳۲	۰/۳۹	۰	۰/٤۱	۸/۲۷
ایزومری	۰	۰	۰	۳/٦٦	۳/۱	۰	۳/۷	۰

جدول (ب)ـ مقایسه الگوی تولید فرآورده (درصد حجمی از نفت خام خوراک)

	ایران	محدوده متغیر در آمریکا	متوسط آمریکا	شبکه بهینه ایران
بنزین	۲۲/۹	۲۲/۹–٥۷/۲	٤۲/٤	٥٤
نفت سفید و گازوئیل	٤۹	۱۹/٤–٥۰/۷	۳۱/۷	۳۳/٥
مازوت	۲۱/۷٥	۰/٤–۷/۳	٥/٥	۸

بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که در بهینه‌سازی شبکه یکپارچه انرژی کشور کلیه بخش‌های مؤثر دیده شده‌اند، نتایج این بهینه‌سازی می‌تواند بعنوان سیاست‌های کلان توسعه بلندمدت بخش انرژی مورد استناد قرار گیرد. هدف این مقاله تعیین این راهبردها در بخش پالایش نفت خام کشور بوده است. بر این اساس سیاست‌های پیشنهادی در این بخش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱ـ در هر سه سناریو قیمت حامل‌های انرژی، احداث پالایشگاه‌های جدید کاملا مقرون به صرفه بوده و صادرات نفت خام توجیه اقتصادی ندارد.

۲ـ استفاده از حداکثر پتانسیل استخراج نفت خام کشور جهت تأمین خوراک پالایشگاه‌های جدیدالتأسیس.

۳ـ صادرات فرآورده‌های سبک و میان‌تقطیر دارای صرفه اقتصادی بیشتری است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

٤ـ جهت نیل به اهداف بند (۳)، بایستی سرمایه‌گذاری گسترده‌ای در واحدهای تبدیل فرآورده‌های سنگین به سبک بویژه کراکینگ کاتالیستی صورت گیرد.

٥ـ با توجه به فراوانی، دسترسی و هزینه تمام شده گاز طبیعی، سوخت پالایشگاه‌ها عمدتاً از این فرآورده تأمین خواهد شد.

٦ـ اگرچه هزینه متوسط تولید فرآورده از تکنولوژی GTL نسبت به فرآورده‌های پالایشگاه بالاتر است، ولی در مقایسه با قیمت‌های بین‌المللی در حد قابل توجهی پائین است. لذا مدل همچنان به توسعه ظرفیت این فناوری تأکید دارد. این در حالیست که تکنولوژی GTL رقیب ضعیفی برای پالایشگاه‌ها خواهد بود و عمده تولید فرآورده‌های نفتی از محل پالایشگاه‌هاست.

۷ـ الگوی پالایشی فعلی پالایشگاه‌های کشور نسبت به وضعیت بهینه و نیز الگوی روز دنیا فاصله زیادی دارد.

ضمائم

جدول ۱ـ پیش‌بینی بازار جهانی گاز مایع ($99/TOE)

	۱۳۸۳	۱۳۸۸	۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱٤۰۸
سناریو ۱	۲۳۲/۱	۲۳۲/۱	۲٤۳/۸	۲٤۳/۸	۲٥٥/۲
سناریو ۲	۳۲٥	۳۲٥	۳۳٦/٦	۳۳٦/٦	۳٤۸/۲
سناریو ۳	۱٥۰/۹	۱٥۰/۹	۱٥۰/۹	۱٥۰/۹	۱٥۰/۹

جدول ۲ـ پیش‌بینی بازار جهانی بنزین ($99/TOE)

	۱۳۸۳	۱۳۸۸	۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱٤۰۸
سناریو ۱	۲۰۲/٥	۲۰۲/٥	۲۱۲/٦	۲۱۲/٦	۲۲۲/۷
سناریو ۲	۲۸۳/٥	۲۸۳/٥	۲۹۳/٦	۲۹۳/٦	۳۰۳/۷
سناریو ۳	۱۳۱/٦	۱۳۱/٦	۱۳۱/٦	۱۳۱/٦	۱۳۱/٦

جدول ۳ـ پیش‌بینی بازار جهانی نفت سفید ($99/TOE)

	۱۳۸۳	۱۳۸۸	۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱٤۰۸
سناریو ۱	۱۷۹/۳	۱۷۹/۳	۱۸۸/۲	۱۸۸/۲	۱۹۷/۲
سناریو ۲	۲٥۱	۲٥۱	۲٥۹/۹	۲٥۹/۹	۲٦۸/۹
سناریو ۳	۱۱٦/٥	۱۱٦/٥	۱۱٦/٥	۱۱٦/٥	۱۱٦/٥

جدول ۴ـ پیش‌بینی بازار جهانی گازوئیل ($99/TOE)

	۱۳۸۳	۱۳۸۸	۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱٤۰۸
سناریو ۱	۱٥۱/۷	۱٥۱/۷	۱٥۹/۳	۱٥۹/۳	۱٦٦/۹
سناریو ۲	۲۱۲/٤	۲۱۲/٤	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۷/٦
سناریو ۳	۹۸/٦	۹۸/٦	۹۸/٦	۹۸/٦	۹۸/٦

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

جدول ۵ـ پیش‌بینی بازار جهانی مازوت ($99/TOE)

	۱۳۸۳	۱۳۸۸	۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱۴۰۸
سناریو ۱	۱۰۶/۱	۱۰۶/۱	۱۱۱/۴	۱۱۱/۴	۱۱۶/۷
سناریو ۲	۱۴۸/۵	۱۴۸/۵	۱۵۳/۸	۱۵۳/۸	۱۵۹/۱
سناریو ۳	۶۹	۶۹	۶۹	۶۹	۶۹

جدول ۶ـ پیش‌بینی بازار جهانی نفت خام ($99/TOE)

	۱۳۸۳	۱۳۸۸	۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱۴۰۸
سناریو ۱	۱۴۳/۸	۱۴۳/۸	۱۵۱	۱۵۱	۱۵۸/۲
سناریو ۲	۲۰۱/۳	۲۰۱/۳	۲۰۸/۵	۲۰۸/۵	۲۱۵/۷
سناریو ۳	۹۲/۵	۹۲/۵	۹۲/۵	۹۲/۵	۹۲/۵

جدول ۷ـ پیش‌بینی مصرف فرآورده‌های عمده نفتی (میلیون تن معادل نفت خام)

	۱۳۸۳	۱۳۸۸	۱۳۹۳	۱۳۹۸	۱۴۰۸
بنزین	۱۲/۳۶	۱۳/۷۶	۱۵/۵	۱۷/۲۵	۲۰/۶۷
نفت سفید	۱۰/۶۳	۱۱/۵۳	۱۲/۶۸	۱۳/۸۲	۱۶/۱۲
گازوئیل	۲۴/۹۴	۲۷/۵۶	۳۰/۸۵	۳۴/۱۵	۴۰/۷۳
مازوت	۱۱/۱۹	۱۲/۱۵	۱۳/۳۱	۱۴/۵۹	۱۷/۰۳

علائم اختصاری

E_{it} جریان انرژی/ ماده فرایند i در سال t

X_{it} تجهیزات جدید سرمایه‌گذاری شده در فرایند i در سال t ام مطالعه

N تعداد فرایندهای شبکه انرژی

T_0 سال شروع برنامه‌ریزی

T_p سال افق برنامه‌ریزی

CV_{it} هزینه متغیر انرژی/ ماده جاری در فرایند i در سال t ام مطالعه

CF_{it} هزینه ثابت تجهیزات سرمایه‌گذاری شده در فرایند i در سال t ام مطالعه

CI_{it} هزینه سرمایه‌گذاری تجهیزات موجود در فرایند i در سال t ام مطالعه

$PWF_t = \frac{1}{(1+r)^{t-T_0+1}}$ ضریب ارزش حال در سال t ام مطالعه

r نرخ تنزیل

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]

منابع

۱ـ پورسینا. بهروز؛ مطالعات موردی پیرامون سیاست‌گذاری انرژی در مدل‌های بزرگ مقیاس اقتصادی؛ نشریه انرژی ایران؛ شماره پنجم؛ بهمن ۱۳۷۷.

2- Energy Environment Planning in Developing Countries; EFOM-ENV; Methodological Guide; Asian Institute of Technology; 1995.

۳ـ ترازنامه انرژی؛ دفتر برنامه‌ریزی انرژی وزارت نیرو؛ ۱۳۷۸.

4- Energy Information Administration; Petroleum supply monthly; February 2003.

۵ـ زارع. مهدی: پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ استفاده از مدل تفکیک شده پالایشگاه نفت جهت بهینه‌سازی شبکه انرژی؛ دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی؛ ۱۳۸۱.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-07]