

# مدل سازی یکپارچه شبکه گاز و برق ایران

(به کمک مفهوم هاب انرژی)

مهدی ظریف

دانشکده فنی و مهندسی  
دانشگاه آزاد اسلامی مشهد  
مشهد، ایران  
zarif.mahdi@ieee.org

امین حجازی، نوید بشیان

دانشکده مهندسی  
دانشگاه فردوسی مشهد  
مشهد، ایران  
Aminhejazifum@yahoo.com  
navidbashian@yahoo.com

محمدحسین جاویدی دشت بیاض

آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار  
دانشگاه فردوسی مشهد  
مشهد، ایران  
h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

## ۱. مقدمه

تجارت در صنعت برق به دلیل خصوصیات ذاتی این کالا نسبت به دیگر بازارهای اقتصادی کمتر توسعه یافته است. این مورد در بازار گاز طبیعی نیز کم و بیش دیده می شود. یکی از راهکارهای اصلاح و توسعه این دو حامل انرژی، در نظر گرفتن آن ها به صورت یک بسته واحد انرژی است. تا با استفاده از خصوصیات هر کدام از این دو (برق: تلفات کم - سرعت انتقال بالا / گاز: قیمت ارزان - توانایی ذخیره سازی) محیطی مناسب برای سرمایه گذاری و پیشرفت شرایط اقتصادی در این دو زیرساخت انرژی فراهم شود. مفهوم هاب انرژی<sup>۱</sup> می تواند یک چارچوب مناسب برای مدل سازی شبکه گاز و برق به صورت واحد برای انجام محاسبات پخش بار یکپارچه فراهم کند.

از سوی دیگر تکامل زیرساخت های انرژی، افزایش پیوسته تقاضای انرژی، وابستگی به سوخت های فسیلی، تجدید ساختار در صنایع قدرت و تمایل به استفاده از انرژی های پایدار و دوستدار محیط زیست، نیاز به یک سیستم انرژی توسعه یافته و متفاوت با سیستم امروزی را ایجاد می کند. کلید اصلی در این تغییر استفاده از مفهوم هاب انرژی است.

چکیده — با گسترش روزافزون تقاضای انرژی (به خصوص الکتریسیته) در بخش های مختلف، توسعه شبکه سراسری قدرت امری اجتناب ناپذیر گردیده است. یکی از اصلی ترین پیامدهای گسترش شبکه، ایجاد اختلال در امر کنترل، بهره برداری و مدیریت شبکه است. راه حل های اعمالی کنونی به طور مقطعی پاسخ گوی نیازهاست، اما یکپارچه سازی حامل های انرژی تحت مفهوم هاب انرژی راهبردی نو برای چشم انداز بلند است. از سوی دیگر اتخاذ سیاست های جدید در زمینه تجارت الکتریسیته ضروری به نظر می رسد تا باعث جبران عقب ماندگی بازار این کالا نسبت به کالاهای دیگر شود.

این مقاله با تقسیم کشور به شش هاب انرژی مدلی مناسب برای بهره برداری یکپارچه از سیستم گاز و برق معرفی می کند. با استفاده از نتایج پخش بار یکپارچه آن تأثیر این رویکرد بر هزینه شبکه و تبادل انرژی در کشور مورد بررسی قرار می گیرد.

واژه های کلیدی — هاب انرژی، بهره برداری یکپارچه، مدل سازی شبکه برق، سیستم انرژی چند برداری

<sup>1</sup> Energy Hub

که در آن  $C_{\alpha\omega}$  نشان‌دهنده رابطه بین حامل ورودی  $P$  و حامل خروجی  $L$  است. از آنجایی که هیچ توانی در عمل تبدیل تولید نمی‌شود، در رابطه (۲) داریم:

$$0 \leq C_{\alpha\omega} \leq 1 \quad \forall \alpha, \omega \in (\text{Energy Carrier}) \quad (2)$$

در صورت وجود ذخیره کننده درون سیستم، ماتریس تزویج ذخیره کننده<sup>۴</sup> ( $S$ ) تعریف می‌شود. بردار  $E$  کمیت ورودی به ذخیره کننده و  $\dot{E}$  نشان‌دهنده تغییرات در ذخیره کننده است. معادله (۳) پخش بار درون هاب با وجود عنصر ذخیره کننده را نشان می‌دهد [۳].

$$L = (C \quad S) \cdot \begin{pmatrix} P \\ E \end{pmatrix} \quad (3)$$

### ۳. توسعه هاب انرژی برای مدل‌سازی شبکه

برای استفاده از مفهوم هاب در یک شبکه، از مدل ارائه شده در مرجع [۳] استفاده شده است، شکل (۲). در این سطح از کار تنها دو حامل الکتریسیته و گاز طبیعی در نظر گرفته شده است. در این مدل داریم:

$T$ : بردار انرژی خروجی از هر هاب، که توسط آن با شبکه مبادله انرژی انجام می‌دهد (مقدار این بردار همواره بزرگ‌تر از صفر است).

$F_i$ : بردار انرژی عبوری از گره  $i$  (نقطه اتصال هاب به شبکه) به هاب  $i$ .

$$F_i = P_i - T_i \quad (14)$$

با توجه به مشخصات هر هاب داریم:

$$\underline{F}_i \leq F_i \leq \overline{F}_i \quad (5)$$

با توجه به تعاریف بالا معادله پخش بار درون هاب به صورت (۶) درمی‌آید.

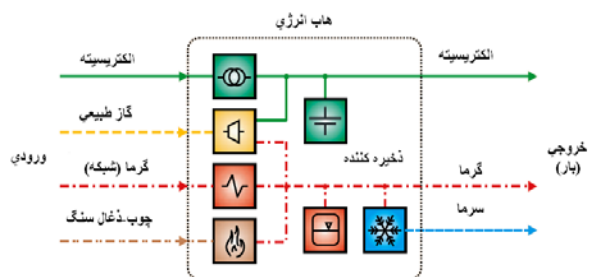
$$(L+T)=CP \quad (6)$$

موفقیت در این دیدگاه رابطه تنگاتنگی با پیشرفت فناوری در زمینه اندازه‌گیری، ارسال و پردازش اطلاعات فنی (نظیر: اندازه و فاز ولتاژ و جریان، مقدار توان اکتیو و راکتیو انتقالی، فشار گاز، دبی گاز در لوله انتقال و...) دارد. همچنین طراحی و تولید اینترکانکتورهای<sup>۲</sup> مجتمع برای انتقال گاز و برق، از دیگر نیازها لازم برای عملی شدن این ایده است.

هدف این مقاله مدل‌سازی شبکه گاز و برق ایران بر اساس مفهوم هاب انرژی است. بخش (۲) به معرفی مختصری از هاب انرژی و معادلات حاکم بر آن، بخش (۳) نحوه توسعه مدل هاب انرژی، بخش (۴) نحوه مدل‌سازی شبکه گاز و برق ایران و بخش (۵) فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی، نتایج شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری نیز در بخش‌های (۶) و (۷) آمده است.

### ۲. مفهوم هاب انرژی

هاب انرژی واسطی بین حامل‌های مختلف انرژی است. که این حامل‌ها می‌توانند در قالب آن تبدیل، حالت‌دهی و ذخیره گردند [۱]. شکل (۱) یک نمونه از هاب انرژی را نشان می‌دهد. کارخانه‌ها و کارگاه‌های صنعتی، سیستم‌های انرژی مجزا (قطار، کشتی، هواپیما)، ساختمان‌های بزرگ (بیمارستان، فرودگاه، مراکز خرید،...)، ناحیه‌های شهری و روستایی می‌توانند نمونه‌هایی از هاب انرژی باشند.



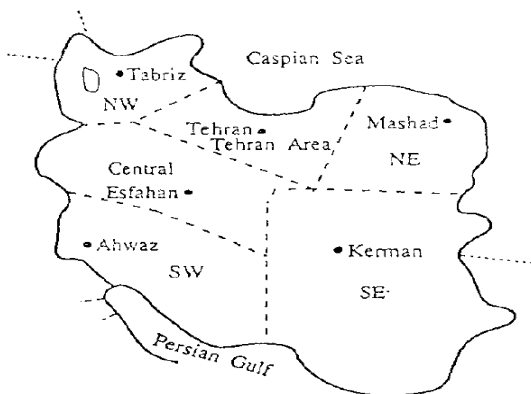
شکل (۱) - یک نمونه هاب انرژی

رابطه بین ورودی‌ها ( $P$ ) و خروجی‌های ( $L$ ) هاب انرژی توسط ماتریس تزویج<sup>۳</sup> ( $C$ )، بیان می‌شود (۱).

$$\begin{pmatrix} L_{\alpha} \\ \vdots \\ L_{\omega} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{\alpha\alpha} & \dots & C_{\omega\alpha} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{\alpha\omega} & \dots & C_{\omega\omega} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{\alpha} \\ \vdots \\ P_{\omega} \end{pmatrix} \quad (1)$$

<sup>4</sup> Storage Coupling matrix

<sup>2</sup> Interconnector  
<sup>3</sup> Coupling matrix



شکل (۳) ساختار مراکز دیسپاچینگ

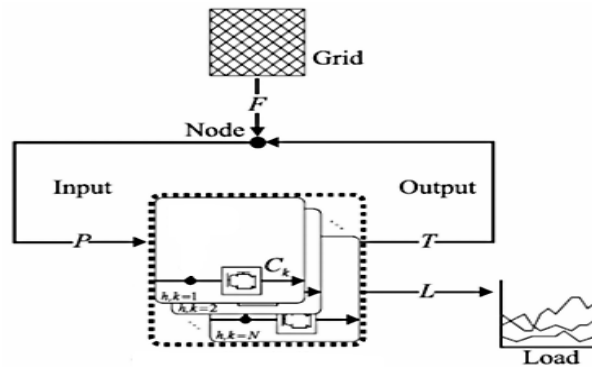
در شکل (۴) نحوه این تقسیم‌بندی نشان داده شده است. همچنین مقدار بار الکتریکی و گاز طبیعی هر هاب در پیوست جدول (۱) آمده است. اطلاعات مربوط از مراجع [۵] و [۶] و محاسبات نویسنده استخراج شده است.



شکل (۴) مناطق تحت پوشش هر هاب انرژی

بر مبنای اطلاعات [۵] و محاسبه نویسنده، در جدول (۲) پیوست پالایشگاه‌های گاز طبیعی موجود در هر هاب و درصد تولید سالیانه آن‌ها آورده شده است (هاب‌های NW و NC فاقد پالایشگاه).

در شکل (۵) گراف شبکه هاب کشور آورده شده است. برق شبکه به منبع خارجی متصل نیست و تمام برق مورد نیاز از طریق خروجی هاب‌ها تأمین می‌شود؛ اما گاز شبکه از طریق پالایشگاه‌های متصل به گره‌های (۱-۲-۳-۴-۶) تأمین می‌شود.



شکل (۲) مدل هاب انرژی مورد استفاده

در مدل در نظر گرفته شده هر هاب به گره متناظر با خودش متصل شده است و کلیه فرآیند انتقال انرژی از گره‌ها انجام می‌پذیرد (خروجی یک هاب مستقیماً به ورودی هاب دیگر متصل نیست). بنابراین برای انجام معادلات پخش بار در شبکه دو بردار زیر تعریف می‌شوند:

$F_{ij}$ : بردار نشان‌دهنده انرژی انتقالی در شبکه بین دو گره  $i$  و  $j$ . در این مدل خطوط انتقال گاز و برق بین دو هاب با یک اتصال نشان داده می‌شوند. در بردار  $F_{ij}$  همواره  $i < j$  (جریان انرژی از گره با شماره پایین‌تر به سمت گره با شماره بزرگ‌تر) است. مقدار  $F_{ij}$  می‌تواند مثبت یا منفی باشد و در صورت نبود خط انتقال هر یک از حامل‌های انرژی، درایه مربوط به آن در بردار  $F_{ij}$  صفر است. با توجه به مشخصات هر اینترکانکتور داریم:

$$\underline{F}_{ij} \leq F_{ij} \leq \overline{F}_{ij} \quad (7)$$

$F_{Nm}$ : بردار نشان‌دهنده انرژی انتقالی از سمت گره‌های خارج از شبکه به سمت شبکه است. جهت این بردار از سمت گره خارجی ( $m$ ) به سمت گره داخلی متناظر است

#### ۴. مدل‌سازی شبکه گاز و برق ایران

از آنجایی که ساختار جغرافیایی مراکز دیسپاچینگ ایران عضوی از یک مجموعه شامل ۶ مرکز محلی و یک مرکز اصلی است [۴]؛ در این مقاله نیز کشور بر مبنای همین ساختار به شش هاب انرژی تقسیم شد تا در صورت عملیاتی شدن طرح، نیاز به ایجاد مراکز جداگانه و یا تغییر در ساختار دیسپاچینگ برای نظارت فنی بر شبکه نباشد. در شکل (۳) ساختار جغرافیایی مراکز دیسپاچینگ نشان داده شده است.

قیود مساوی:

$$L_i + T_i = C_i P_i \quad \forall i \in H \quad (11)$$

$$\sum_1^6 F_{i\text{electrical}} = 0 \quad (12)$$

$$F_{i\text{electrical}} + \sum_1^6 F_{ij\text{electrical}} = 0 \quad (13)$$

$$F_{i\text{gas}} + \sum_{j=3,5} F_{ij\text{gas}} = 0 \quad (14)$$

قیود نامساوی:

$$|F_i| \leq \bar{F}_i, \quad \forall i \in H \quad (15)$$

$$|F_{ij}| \leq \bar{F}_{ij}, \quad \forall i, j \in H \quad (16)$$

$$\sum_1^6 F_{i\text{gas}} \leq \text{MGPC}^v \quad (17)$$

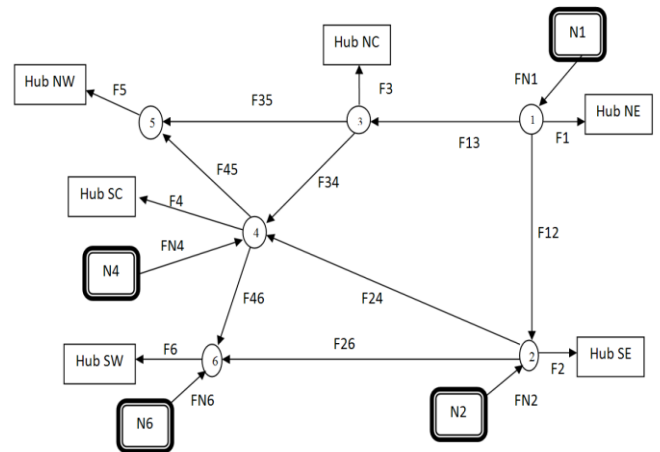
$$F_{i\text{gas}} + \sum_{j=1,2,4,6} F_{ij\text{gas}} = \text{MGPC}_i \quad (18)$$

تابع هدف اول (رابطه ۹) کمینه کردن هزینه تأمین گاز و برق کل شبکه ( $TSC^A$ ) است. در این مقاله تابع هزینه ورودی و خروجی خطی در نظر گرفته شده است.  $\Lambda$  و  $\Psi$  هر هاب نیز بر اساس اطلاعات ماتریس Price به دست می‌آیند. تابع هدف دوم (رابطه ۱۰) کمینه کردن تلفات خطوط انتقال شبکه با توجه به ضرایب ماتریس Loss است.

معادله (۱۱) پخش بار درون هر هاب است؛ طبق رابطه (۱۲) مجموع برق ورودی به هابها از طریق شبکه باید صفر گردد. اما در مورد گاز این رابطه به صورت نامعادله (۱۷) در می‌آید.

روابط (۱۳) و (۱۴) یادآور رابطه آشنا KCL، برای حامل‌های انرژی در هر گره است. البته در گره‌های دارای پالایشگاه گاز طبیعی ( $N1-N2-N4-N6$ ) به صورت نامعادله (۱۸) در می‌آید.

مسئله تعریف‌شده از نوع بهینه‌سازی چند هدفه<sup>۹</sup> همراه با قیود مساوی و نامساوی خطی است. در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه، مجموعه‌ای از جواب‌ها وجود دارند که هر کدام از دیدگاهی می‌توانند بهینه باشند. این مجموعه از جواب‌ها در حوزه بهینه‌سازی چند هدفه، به جبهه پرتو<sup>۱۰</sup>



شکل (۵) گراف سیستم انرژی ایران

برای تکمیل فرآیند مدل‌سازی دو ماتریس Price و loss تعریف می‌شوند:

Price: ماتریس قیمت ورودی و خروجی حامل‌های انرژی مختلف است. اطلاعات این ماتریس به دو روش قابل محاسبه است:

(۱) با داشتن ماتریس Price<sup>0</sup> که شامل قیمت ورودی حامل‌ها است و توسط (۸) ماتریس Price به دست می‌آید [۱]. که در آن  $\Psi^0$  قیمت حاشیه‌ای حامل‌ها در سمت ورودی و  $\Lambda^0$  قیمت حاشیه‌ای حامل‌ها در سمت خروجی هاب است.

$$\Lambda = \Psi \cdot C \quad (8)$$

(۲) با اجرای بازار منطقه‌ای هر حامل در هاب  $i$  و به دست آوردن قیمت خروجی آن با توجه به اطلاعات بازار (روش مورد استفاده در مقاله).

Loss: ماتریس ضرایب تلفات اینترکانکتورها تلفات حامل گاز با مجذور توان انتقالی و تلفات الکتریسیته با توان انتقالی رابطه دارد (مقادیر این ضرایب از مرجع [۷] به دست آمده است).

## ۵. مسئله بهینه‌سازی

ساختار مسئله مورد نظر به صورت زیر بیان می‌شود:

کمینه کردن:

$$f_1 = TSC = \sum \psi_i \cdot P_i - \Lambda_i \cdot T_i, \quad \forall i \in H \quad (9)$$

$$f_2 (F_{ij}) = \sum \text{Loss}_{ij} \cdot |F_{ij}| \quad (10)$$

<sup>7</sup> Maximum Gas Production Capacity

<sup>8</sup> Total System Cost

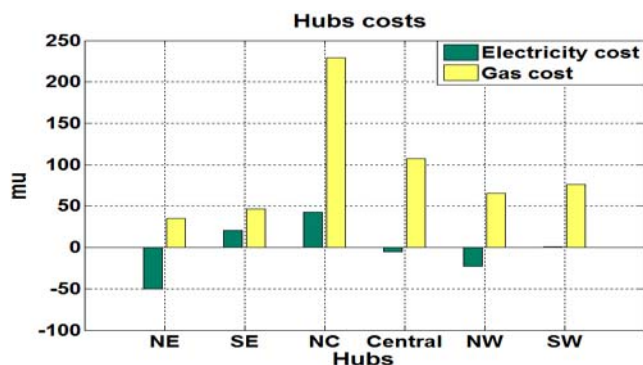
<sup>9</sup> Multi-Objective Optimization

<sup>10</sup> Pareto Front

<sup>5</sup> Marginal costs at the input side

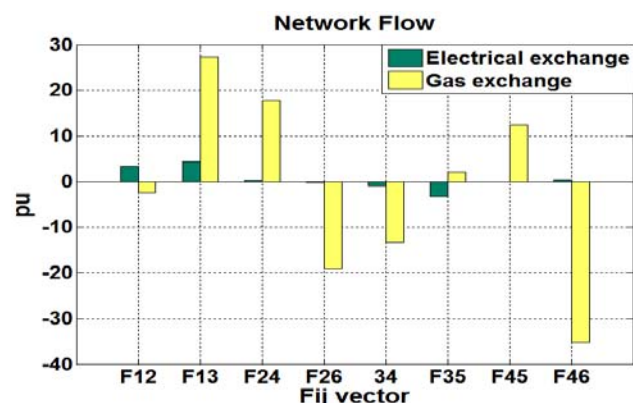
<sup>6</sup> Marginal costs at the output side

شکل (۹) هزینه هر هاب در بخش گاز و الکتریسیته را بیان می‌کند. کل هزینه الکتریسیته شبکه  $14.46 \text{ mu}$  - است. که از طریق فروش برق ( $F_{\text{electrical}} < 0$ ) هاب‌های NE، Central، SE و NW ایجاد شده است. از کل هزینه گاز  $559.71 \text{ mu}$  سهم هاب NC حدود ۴۵٪ است. که به دلیل مصرف بالا گاز و برق و همچنین دور بودن از پالایشگاه‌های گاز است. کل هزینه شبکه  $545.256 \text{ mu}$  است.



شکل (۹) مقدار هزینه هر هاب در دو بخش گاز و الکتریسیته

شکل (۱۰) انرژی انتقالی هر اینترکانکتور را نمایش می‌دهد. هاب SW نقش عمده در تأمین گاز شبکه را بر عهده دارد. همچنین هاب‌های SE و Central نقش واسط گاز را برای هاب‌های NE، NC، NW ایفا می‌کنند.



شکل (۱۰) مقادیر توان انتقالی اینترکانکتورها

## ۷. نتیجه‌گیری

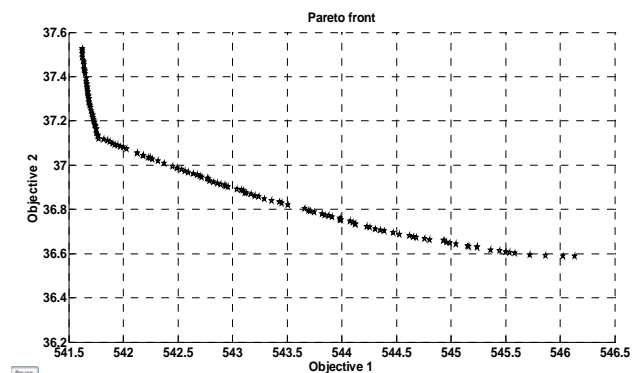
در این مقاله چارچوب جدیدی مبتنی بر مفهوم هاب انرژی با تمرکز به نحوه مدل‌سازی و تأمین بار هر هاب با توجه به محدودیت‌های شبکه معرفی شد. به استناد نتایج شبیه‌سازی، این دو خواسته در سطح مطلوبی برآورده شده‌اند و یک دید عمومی از وضعیت این دو حامل در کشور به دست آمد.

معروف هستند. لذا الگوریتم‌های خاصی برای برخورد با این‌گونه مسائل طراحی شده‌اند. در این مقاله جواب‌های مناسب به وسیله الگوریتم ژنتیک تولید شده است.

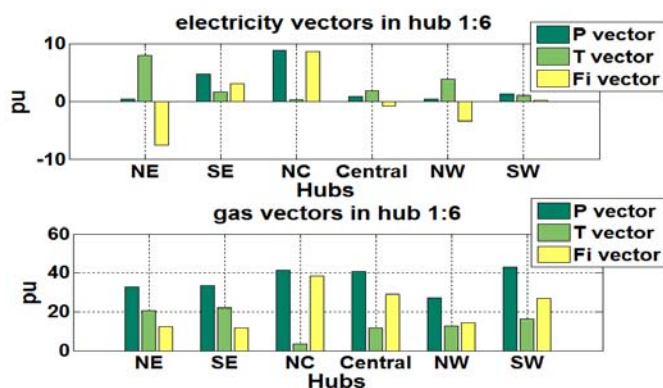
اطلاعات مربوط به محدودیت‌ها و بار مسئله، مشخصات هر هاب، قیمت ورودی حامل‌های انرژی و ضرایب Loss در جداول (۳)، (۴)، (۵) و (۶) پیوست موجود است.

## ۶. نتایج شبیه‌سازی

در شکل (۷) جبهه پرتو تولیدی توسط الگوریتم ژنتیک آورده شده است. جبهه نحوه همبستگی بین توابع هدف مسئله را نشان می‌دهد. محور افقی هزینه کل شبکه و محور عمودی میزان تلفات اینترکانکتورها است.



شکل (۷) جبهه پرتو: نشان‌دهنده نحوه همبستگی بین توابع هدف مسئله در شکل (۸) برای هر هاب مقادیر بردارهای انرژی ورودی (P)، انرژی خروجی (T) و بردار انرژی عبوری از سمت شبکه به طرف هاب (F) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هاب‌های NE، Central و NW دارای خروجی الکتریسیته‌اند.



شکل (۸) مقادیر بردارهای P، T و Fi برای هر هاب

## پیوست

جدول (۱) استان‌های تحت پوشش هر هاب انرژی-درصد بار الکتریکی و گاز

هاب	استان‌های تحت پوشش	درصد بار الکتریکی	درصد بار گاز
شمال شرق (NE)	خراسان شمالی، خراسان رضوی خراسان جنوبی	۸۵.۸٪	۹٪
جنوب شرق (SE)	سیستان و بلوچستان، کرمان یزد، هرمزگان	۱۴.۴۱٪	۶.۵٪
شمال-مرکز (NC)	تهران، البرز، قزوین، سمنان گلستان، مازندران، گیلان	۲۸.۴۳٪	۳۰.۱٪
مرکزی (Central)	اصفهان، مرکزی، قم، لرستان همدان، کردستان، کرمانشاه ایلام، چهارمحال و بختیاری	۱۹.۳۴٪	۲۲.۸٪
شمال غرب (NW)	اردبیل، آذربایجان شرقی آذربایجان غربی، زنجان	۷.۴۳٪	۹٪
جنوب غرب (SW)	خوزستان، فارس، بوشهر کهگیلویه و بویراحمد	۲۱.۵۴٪	۲۲.۶٪

جدول (۲) پالایشگاه‌های گاز طبیعی هر هاب و درصد تولید سالیانه

هاب	پالایشگاه‌های موجود	درصد تولید گاز
شمال شرق (NE)	خانگیران (شهید هاشمی نژاد)	۹.۳۵٪
جنوب شرق (SE)	سرخون و قشم	۳.۶۳٪
مرکزی (Central)	میمک ایلام	۰.۵۴٪
جنوب غرب (SW)	فجر، بید بلند، پارسیان، پارس جنوبی، مسجدسلیمان	۸۶.۴۶٪

جدول (۳) اطلاعات کلی مسئله

مجموع بار گاز طبیعی	مجموع بار الکتریکی	MPGC	$F_{ij \max}$		$F_{i \max}$	
			گاز	برق	گاز	برق
۱۰۰ Pu	۱۰۰ Pu	۴۰۰ Pu	۴۰ Pu	۱۰ Pu	۴۰ Pu	۱۰ Pu

با استفاده از مدل ارائه شده، حامل‌های دیگر انرژی (گازوئیل، نفت کوره، مازوت...) را نیز می‌توان به شبیه‌سازی اضافه کرد. همچنین می‌توان نقاط مناسب برای احداث اینترکانکتورهای جدید و مبدل‌های جدید (برای بهبود ضرایب ماتریس اتصال) را شناسایی کرد.

در مطالعات بعدی می‌توان با اجرای بازار منطقه‌ای در هر هاب اطلاعات دقیق‌تری از قیمت حامل‌ها در اختیار داشت. همچنین در صورت وجود اطلاعات کامل‌تری از نیروگاه‌های شبکه و خطوط انتقال گاز و برق جواب‌ها تولید شده از دقت بالاتری برخوردار خواهند بود.

## منابع

- [1] M. Geidl and G. Andersson, "Optimal power flow of multiple energy carriers", IEEE Transactions on Power Systems, VOL. 22, NO. 1, pp.145-155, 2007.
- [2] F.Kienzle, P.Ahčin, and G.Andersson, "Valuing Investments in Multi-Energy Conversion, Storage, and Demand-Side Management Systems under Uncertainty", IEEE Transactions on Sustainable Energy, VOL. 2, NO. 2, pp.194-202 2011.
- [3] M. Schulze, L. Friedrich and M. Gautschi, "Modeling and Optimization of Renewables: Applying the Energy Hub Approach", IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, Singapore, November 2008.
- [4] حسن صادقی‌پور، «بهره برداری از سیستم قدرت-آشنایی با مراکز دیسپاچینگ» دیسپاچینگ منطقه ای شمال شرق ۱۳۷۹.
- [5] معاونت امور برق و انرژی، «ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹»، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، زمستان ۱۳۹۰. ص ۱۷۲-۱۷۴
- [6] شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران، «آمارنامه مصرف فرآورده های انرژی زا -۱۳۸۸»، فصل ۱۲، ص ۹۸-۱۰۰
- [7] M. Geidl and G. Andersson, "A Modeling and Optimization Approach for Multiple Energy Carrier Power Flow", Power Tech Conference, IEEE, Russia, 2005

مدل‌سازی یکپارچه شبکه گاز و برق ایران به کمک مفهوم هاب انرژی

نخستین کنفرانس ملی انجمن انرژی ایران - ۱۳۹۲ تهران

جدول (۴) مشخصات هر هاب

هاب	ماتریس توزیع	بار الکتریکی (Pu)	بار گاز طبیعی (Pu)	MPGC (Pu)
NE	$\begin{pmatrix} 0.9 & 0.5 \\ 0 & 0.9 \end{pmatrix}$	۸۸۵	۹	۳۷.۴
SE	$\begin{pmatrix} 0.9 & 0.35 \\ 0 & 0.85 \end{pmatrix}$	۱۴.۴۱	۶.۵	۱۴.۵۲
NC	$\begin{pmatrix} 0.9 & 0.5 \\ 0 & 0.8 \end{pmatrix}$	۲۸.۴۳	۳۰.۱	۰
Central	$\begin{pmatrix} 0.9 & 0.5 \\ 0 & 0.85 \end{pmatrix}$	۱۹.۳۴	۲۲.۸	۲.۱۴
NW	$\begin{pmatrix} 0.9 & 0.4 \\ 0 & 0.8 \end{pmatrix}$	۷.۴۳	۹	۰
SW	$\begin{pmatrix} 0.9 & 0.5 \\ 0 & 0.9 \end{pmatrix}$	۲۱.۵۴	۲۲.۶	۳۴۵.۸۴

جدول (۵) قیمت ورودی حامل‌های انرژی

هاب						قیمت برق mu/Pu
SW	NW	Central	NC	SE	NE	
۵	۶	۵	۵	۷	۶	ورودی
۵.۵	۶.۶	۵.۵	۵.۵	۷.۷	۶.۶	خروجی
						قیمت گاز mu/Pu
۳	۵	۴	۶	۵	۴	
۳.۳	۵.۵	۴.۷	۶.۴	۵.۵	۴.۷	خروجی

جدول (۶) ضرایب ماتریس Loss

F46	F45	F12	35	F26	F24	F13	F12	
۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۱۵	۰.۳	۰.۳	برق Pu <sup>-1</sup>
۰.۱۵	۰.۲	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۲	۰.۳۶	۰.۳۶	گاز Pu <sup>-1</sup>
۰.۰۱۳	۰.۰۱۵	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲۵	۰.۰۱۵	۰.۰۲۳	۰.۰۲۳	گاز Pu <sup>-2</sup>