Archive of SID

دریافت مقاله: ۸۷/۲/۹
پذیرش مقاله: ۸۷/۷/۱۷

بهینه‌یابی انتقال گاز و برق (هم‌افزایی گاز و برق)

علی‌اصغر اسماعیل نیا[۱] ـ مریم زاهدی سرشت[۲]

چکیده

در این مقاله، انتقال دو حامل انرژی یعنی برق و گاز از نظر اقتصادی جهت تأمین نیاز مصرف برق شهر تهران(مطالعه موردی) توسط نیروگاه گازی با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به این که مرکز اصلی تولید گاز ایران در منطقه عسلویه واقع شده و تهران یکی از مراکز عمده مصرف انرژی است، تامین برق مورد نیاز شهر تهران مستلزم احداث نیروگاه می‌باشد. سوخت مورد نیاز نیروگاه برق، گازطبیعی است که سوال اصلی در این بررسی آن است که نیروگاه مورد نظر برای تامین برق شهر تهران درکدام نقطه از فاصله میان مرکز تولید گاز و محل مصرف برق احداث شود تا به لحاظ اقتصادی هزینه کمتری به کشور تحمیل کند؟ به عبارت دیگر انتقال برق منافع کشور را بیشتر تامین می‌کند یا انتقال گاز؟ در این مقاله گزینه‌های مختلفی جهت انتقال گاز و برق انتخاب شده‌اند و نیروگاه مورد نظر از نزدیک‌ترین نقطه به منطقه تولید گاز تا نزدیک‌ترین نقطه به محل مصرف برق شهر تهران جانمایی شده است. ظرفیت تولید نیروگاه فرضی مورد بررسی ۱۰۰۰ مگاوات، حداکثر فاصله انتقال گاز طبیعی ۱۲۰۰ کیلومتر تا نقطه مصرف است، امّا شبکه‌های موجود برق و گاز کشور در نظر گرفته نشده است و فرض بر این است که ظرفیت خالی برای استفاده از خطوط انتقال گاز و برق وجود نداشته باشد. براساس بررسی گزینه‌های مختلف انتقال برق به کمک خطوط انتقال ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت تک‌مدار و دومدار و حالت‌های

۱. استادیار گروه اقتصاد انرژی، دانشکده اقتصاد و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی
a_esmailnia@yahoo.com
۲. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، maryamzahedi_s@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

گوناگونی انتقال گاز به کمک خطوط لوله ۵۶،۴۸،۳۰،۲۴ اینچ و ملاحظه تلفات انتقال برق در نظر گرفته شده است. بهترین گزینه برای حداقل کردن هزینه تأمین برق مصرف کنندگان به لحاظ اقتصاد ملی، احداث نیروگاه در کنار محل تولید گاز و انتقال برق تا نقطه مصرف می‌باشد.

انتقال برق، انتقال گاز، هم‌افزایی، هزینه انتقال برق، هزینه انتقال گاز.

JEL: Q43, Q48, P46, O14, O13, L11, L95

۱. مقدمه

به طور کلی توسعه اقتصادی به عنوان رکن اساسی در مجموعه سیاستها و خط مشی‌های هر کشور مد نظر قرار دارد. انرژی در جریان توسعه اقتصادی به عنوان موتور و مولد رشد و توسعه به شمار می‌رود و هیچ فعالیتی بدون صرف انرژی امکان پذیر نمی‌باشد. لذا بخش انرژی به عنوان یکی از بخشهای اقتصادی- اجتماعی تأثیر بسزایی بر سایر بخشها دارد(خادم وطنی ۱۳۷۹). از جمله حامل‌های انرژی که در زندگی امروزی تاثیر بسیار زیادی دارد و تامین مطمئن آن برای ادامه فعالیت‌های اقتصادی بسیار حیاتی است، برق می‌باشد.

این حامل انرژی به عنوان یک انرژی نهایی اگر چه می‌تواند از طرق مختلف ایجاد شود اما تولید برق با استفاده از نیروگاههای حرارتی آن‌هم با سوخت گازطبیعی نکته مورد توجه در این مطالعه می‌باشد. ضمن آنکه گازطبیعی در کشور تامین‌کننده بیش از ۷۰ درصد انرژی مورد نیاز نیروگاههای حرارتی است. لذا در این مطالعه نیروگاههای با سوخت گازطبیعی برای تولید انرژی برق مورد توجه قرار گرفته است.

سوخت مصرفی نیروگاهها از طریق خطوط انتقال به محل نیروگاه منتقل شده و در نیروگاه که نقش تبدیل کننده انرژی را دارد با در نظر گرفتن راندمان به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. سپس انرژی الکتریکی تولیدی با صرف درصدی تلفات از طریق شبکه انتقال و توزیع به مراکز مصرف برق منتقل شده و در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد(فرمد و همکاران ۱۳۸۴). بنابراین تامین برق برای مصرف‌کنندگان مستلزم رساندن گاز به نیروگاهها و تبدیل گاز به برق و انتقال آن از طریق شبکه انتقال و توزیع می باشد. لذا تامین برق نیازمند انتقال دو حامل انرژی است، ابتدا انتقال گازطبیعی از محل تولید

www.SID.ir

Archive of SID

گازطبیعی تا محل نیروگاه و سپس انتقال برق از محل نیروگاه تا محل مصرف و از این رو بهینه‌یابی انتقال این دو حامل و اینکه در حالت بهینه و به لحاظ اقتصادی بهتر است هر کدام از حامل‌ها به چه میزان منتقل شود، سوال اساسی خواهد بود که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود. به‌عبارت دیگر از نظر اقتصادی بهتر است محل احداث نیروگاه به محل تولید گازطبیعی نزدیکتر باشد یا بهتر است به محل مصرف برق نزدیکتر باشد.

اگر چه برنامه‌ریزی گاز و برق در نقاط مختلف دنیا جداگانه انجام می‌شود ولی به‌دلیل ارتباط این حامل‌ها با یکدیگر لازم است برنامه‌ریزی‌ها کاملا مرتبط با هم و یکپارچه انجام گیرد.

منطقه عسلویه با توجه به داشتن منابع گازی فراوان، بسیار مورد توجه است و شاید بتوان به جرأت ادعا کرد که یکی از قطب های اساسی تأمین انرژی در جهان محسوب می‌شود که مورد توجه صنعت برق نیز می‌باشد[1].

به همین علت عسلویه به عنوان نقطه اصلی تولید گاز و شهر تهران نیز به عنوان یکی از مراکز مصرف در نظر گرفته شده است. در این مقاله احداث نیروگاه در عسلویه و انتقال انرژی تولیدی نیروگاه از طریق خط انتقال برق به مرکز مصرف (تهران) با احداث نیروگاه در کنار تهران و انتقال گاز مورد نیاز نیروگاه از طریق خط انتقال گاز و همچنین احداث نیروگاه بین این دو محل، با یکدیگر مقایسه شده تا مشخص شود کدام گزینه محل احداث نیروگاه (انتقال برق یا انتقال گاز) به لحاظ اقتصادی برای کشور به صرفه‌تر است.

در بخش ۲ مبانی نظری پژوهش، بخش ۳ مروری بر مطالعات تجربی، بخش ۴ اطلاعات فنی و مفروضات تحقیق، بخش ۵ تحلیل حساسیت و بخش ۶ و ۷ نتیجه گیری و پیشنهادات مقاله را در بر خواهد داشت.

۲. مبانی نظری پژوهش

انرژی گروه‌ها شگفت‌انگیز است. جمع دو یا چند انسان که برای رسیدن به هدفی مشترک، یکدیگَر را یاری می‌دهند، همواره کارکردی بیش‌از مجموع کارکرد تک‌تک آنهاست. انرژی نهفته در اتحاد، عاملی است که کارها را در پروژه به پیش می‌برد.

گروه‌های‌موسیقی نمونه‌ی جالبی برای هم‌افزایی هستند. صدای مجموعه‌ی سازها،

۱. پیک توسعه برق ـ شهریور ۸۵

www.SID.ir

Archive of SID

که هماهنگ با یکدیگر می‌نوازند، احساس خاصی را در ذهن شنونده به‌وجود می‌آورد که صدای تک‌تک آلات موسیقی، به‌تنهایی، آن را ایجاد نمی‌کند. در مقابل اگر حتی یکی از اعضای گروه، نتواند خود را با سایرین هماهنگ سازد، نه تنها کارخود را از بین می‌برد بلکه کار کل گروه را نیز بی‌ارزش می‌سازد.

راز هم‌افزایی در انرژی نهفته در پیوندهای درونی سیستم است. ارتباطات بین اجزای سیستم‌ها، چنانچه به‌خوبی تعریف و پیاده‌سازی شوند می‌توانند سبب افزایش کارکرد کل سیستم شوند.

به‌طور کلی هم‌افزایی[1] در معانی امروزی و علم روانشناسی کاربردی به معنای تعاون و همکاری آمده است که این معنا به سایر علوم طبیعی و حتی فنی تسری یافته که عمده ترین کاربردهای آنها در علوم فیزیک،کامپیوتر و الکترونیک است[2]. امروزه وجود ذخایر عظیم گاز در سراسر جهان ، استفاده گسترده از این منبع انرژی را در دهه‌های آینده توسعه بیشتری خواهد بخشید. نیروگاههای سیکل ترکیبی با توربین گازی ، با برخورداری از کارآمدی بالا همراه با سرمایه‌گذاری مناسب، بازار تولید برق را تسخیر کرده‌اند. مضافاً آنکه روند فزآینده تولید برق به صورت غیرمتمرکز (حرارت و برق) که بازده سرمایه‌گذاری آن زیاد است مشوق تحول تکنولوژیهای جدید مانند میکروتوربین‌ها و پیل سوختی گردیده است.

از طرف دیگر برق به علت مصارف گسترده، مختلف و آسان، منبع مهم انرژی برای مصرف‌کنندگان نهایی است. میزان مصرف برق کماکان در سطح جهان در حال افزایش است و رشد اقتصادی نوین جهان به‌شدت نیازمند انرژی برق می‌باشد. تمام سیستمهای مبتنی بر ارتباطات تلفنی برای ایجاد انتقال و فرآیند سیگنالهای دیجیتالی و اطلاعات در کامپیوترها و دستگاه‌هایی از این قبیل به برق نیاز دارند. لذا رشد مصرف برق علیرغم دستاوردهای ایجاد شده در ارتباط با کارایی تجهیزات برقی همچنان قابل توجه است.

در چنین وضعیتی بررسی هم‌افزایی بین انتقال گاز و برق برای تمام دست اندرکاران: سرمایه‌گذاران ، دولتها، بازیگران بازار گاز و بازار برق و تمام جامعه از اهمیت زیادی برخوردار است.

جهت بهبود عملکرد دو بخش گاز و برق، ارتقاء دانش و تکنولوژی مربوط به این

1. Synergy

۲. محمد مرادیان، ۱۳۸۶.

www.SID.ir

Archive of SID

بخش‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. برای مثال آگاهی در مورد مبانی فرآیندهای تولید و انتقال گاز و برق، هم‌افزایی بین این دو بخش را روشن‌تر می‌نماید(کلریک و همکاران ۲۰۰۱)[1].

فرضیه‌های این تحقیق عبارتند از:

الف. احداث نیروگاه در محل نزدیک به مرکز تولید گاز منافع اقتصادی بیشتری برای کشور به دنبال خواهد داشت.

ب. هزینه‌های انتقال برق در مقایسه با هزینه‌های انتقال گاز پایین‌تر است.

۳. مروری بر مطالعات تجربی

در این مقاله سعی شده است با استفاده از منابع موجود دیدگاه‌های مختلف صاحبنظران در این رابطه عنوان شود و در صورتی‌که دیدگاه متضادی وجود داشته باشد نظریات آنها نیز بیان گردد. در این راستا ابتدا مطالعات داخلی و سپس مطالعات انجام شده در خارج از کشور مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۱. مطالعات داخلی

«**مقایسه فنی و اقتصادی انتقال برق و گاز در کشور**» در این رابطه، پژوهشی توسط معاونت برنامه‌ریزی شرکت توانیر و دفتر مطالعات زیربنایی (معاونت آموزشی) تهیه گردیده است که در آن دو حامل انرژی یعنی شبکه انتقال برق و شبکه انتقال گاز از نظر فنی و اقتصادی جهت تأمین نیاز مصرف‌کنندگان نهایی برق با یکدیگر مقایسه شده است. حجم انرژی مورد نظر برای انتقال در سه گزینه معادل۱۵۰۰۰،۱۰۰۰۰،۵۰۰۰ مگاوات با ضریب بار ۰/۶ معادل ۴/۵، ۳، ۱/۵ میلیون مترمکعب در ساعت گازطبیعی و فاصله انتقال ۱۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. شبکه‌های موجود برق و گاز کشور در نظر گرفته نشده و براساس مطالعات شبکه‌های شعاعی، گزینه‌های مختلفی برای انتقال برق به روش AC و DC همراه با حالات گوناگونی برای انتقال گاز مطرح شده است و نهایتاً هزینه تأمین برق مصرف‌کنندگان شامل تولید برق در نیروگاه، انتقال گاز، انتقال برق و جبران تلفات آن در هر حالت محاسبه شده است. ضمناً با توجه به شرایط اقلیمی و قیمت گاز، آنالیز حساسیتی نیز بر روی این دو پارامتر صورت گرفته است و نهایتاً بهترین گزینه برای حداقل نمودن هزینه تأمین مصرف‌کننده که همانا انتقال گاز تا نزدیک محل مصرف برق و

1. Cleric et al

www.SID.ir

Archive of SID

احداث نیروگاه در آن محل است، معرفی و تعیین شده است. با توجه به مقایسه گزینه‌های مختلف انتقال انرژی و با در نظر گرفتن هزینه‌های مطرح شده در این مقاله اقتصادی‌ترین حالت، انتقال گاز مورد نیاز از محل تولید گاز به نیروگاه و احداث نیروگاه در کنار مراکز مصرف برق است. لذا انتقال گاز به محل مصرف برق ارزان‌تر از تولید برق در کنار مخازن گاز و انتقال آن از طریق شبکه های انتقال برق است (فرمد و همکاران ۱۳۸۴).

«**مقایسه مقدماتی انتقال گاز و برق (ویرایش چهارم)**» این مطالعه توسط معاونت برنامه‌ریزی تولید شرکت توانیر در خرداد ۱۳۸۲ به‌منظور مقایسه انتقال گاز و برق جهت تأمین نیاز مصرف انجام شده است. با توجه به این که مرکز اصلی تولید گاز ایران در عسلویه قرار دارد و تهران یکی از مراکز عمده مصرف انرژی است احداث نیروگاه در عسلویه و انتقال برق تولیدی آن به تهران از طریق شبکه انتقال برق؛ با انتقال گاز به تهران و احداث نیروگاه در تهران مقایسه شده است. نظر به اینکه در این گزارش نوع و خصوصیات شبکه انتقال برق تعیین نشده است، هزینه انتقال نیز برحسب دلار به کیلووات به‌عنوان پارامتر مجهول در نظر گرفته شده که با انجام آنالیز حساسیت حد مجاز آن جهت سر به سر شدن هزینه تولید برق در عسلویه و تهران به‌دست آمده است که این هزینه به هزینه احداث نیروگاه در عسلویه افزوده شده است.

نتایج مطالعه نشان می‌دهد که با ملاحظه هزینه سرمایه‌گذاری تقویت شبکه انتقال و تلفات شبکه، احداث نیروگاه در تهران نسبت به احداث نیروگاه در عسلویه و انتقال انرژی آن به تهران مناسب‌تر است. اما اگر در تهران حتی یک ماه نیز محدودیت در تأمین گاز وجود داشته باشد مناسب‌تر است نیروگاه در عسلویه احداث شود. لازم به ذکر است که ظرفیت بررسی شده در این مطالعه حداکثر ۲۰۰۰ مگاوات است[1].

«**بررسی فنی و اقتصادی سیستمهای انتقال گاز جهت گازرسانی به نیروگاهها**» این مطالعه توسط مدیریت برنامه‌ریزی شرکت ملی گاز ایران به منظور ارزیابی اقتصادی گازرسانی به نیروگاهها انجام شده است. در این مطالعه با توجه به سهم نیروگاهها از هزینه سیستمهای انتقال گاز سراسری و همچنین در نظر گرفتن سایر خطوط و ایستگاههای جدید مورد نیاز گازرسانی برای نیروگاهها و براساس میزان و مدت مصرف گازطبیعی توسط نیروگاهها در طول سال ، به لحاظ اقتصادی گازرسانی به نیروگاهها و مطالعه اثرات

۱. دفتر برنامه‌ریزی تولید ـ ویرایش چهارم ۱۳۸۲ .

www.SID.ir

Archive of SID

جایگزینی گازطبیعی بررسی گردیده است. در محاسبات ارزیابی اقتصادی جهت برآورد سهم هزینه انتقال گاز نیروگاهها از خطوط سراسری انتقال گاز، برمبنای شاخص هزینه یک رشته خط لوله ۵۶ اینچ و با توجه به فواصل هر یک از نیروگاهها از مبدأ عسلویه تا محل احداث خطوط و ایستگاههای اعلام شده ، میانگین فاصله نیروگاههایی که از خطوط سراسری سهم دارند، براساس میانگین وزنی مصارف روزانه آنها، معادل ۱۰۷۰ کیلومتر برآورد شده است. در برآورد میانگین فاصله نیروگاهها از مبدأ عسلویه ، نیروگاههای واقع در خط سراسری هشتم انتقال گاز در نظر گرفته نشده اند.

براساس نتایج بررسی اقتصادی احداث خطوط انتقال گاز، طرح گازرسانی نیروگاهها با حدود ۹ میلیارد دلار ارزش فعلی خالص منافع با نرخ بازگشت ۲۰٪ دارای دوره بازگشت سرمایه حدود ۴ سال و نرخ بازده داخلی ۵۵٪ دارای توجیه اقتصادی نسبتاً خوبی است و همچنین قیمت سربه سر گازطبیعی و نفت گاز در طرح گازرسانی نیروگاهها به ترتیب ۲۴ سنت به ازای هر متر مکعب و ۲۷ دلار به ازای هر بشکه برآورد می‌گردد. بنابراین در قیمتهای بیش از ۲۴ سنت به ازای هر مترمکعب گاز یا کمتر از ۲۷ دلار به ازای هر بشکه نفت گاز، طرح فاقد توجیه اقتصادی خواهد بود [۱] .

۳-۲. مطالعات خارجی

«**هم‌افزایی بین انتقال گاز و انرژی برق**» نتایج این بررسی در هجدهمین کنگره شورای جهانی انرژی در آرژانتین در اکتبر سال ۲۰۰۱ توسط کلریک[۲] ارائه گردیده، در این بررسی فرض شده است که عرضه برق مورد نظر با هدف تامین افزایش در تقاضایی صورت گیرد که این افزایش تقاضا برای نیروی برق مربوط به مناطق دور از سیستم و شبکه انتقال برق است. در این مطالعه گزینه‌های زیر مورد تجزیه، تحلیل و مقایسه قرار گرفته‌اند:

- تامین تقاضای اضافی از طریق احداث نیروگاه برق محلی با سوختهای مایع
- استقرار نیروگاه برق در مرکز جمعیتی بزرگتر و سپس انتقال برق از طریق خطوط انتقال زیردریایی.
- در این تحلیل فرض براین است که افزایش تقاضای برق بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ مگاوات است و متوسط ضریب بهره‌برداری ۵۵۰۰ ساعت در سال است.

۱. مدیریت برنامه‌ریزی امور مطالعات و بررسیهای اقتصادی - خرداد ۱۳۸۵

2. A.CLERIC

www.SID.ir

Archive of SID

– در مورد تولید برق محلی دو گزینه فنی مورد توجه قرار بوده و برای محاسبه مفرضات زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

نیروگاه توربین بخار با سوخت نفت با اندازه واحد بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ مگاوات، انتخاب سیکل ترکیبی با سوخت گازوئیل با اندازه واحد بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ مگاوات و در مورد نیروگاه واقع در مرکز جمعیتی بزرگتر نیروگاه ۴۰۰ مگاواتی سیکل ترکیبی با سوخت گاز در نظر گرفته شده است. هزینه سوخت بر مبنای سطح قیمت سال ۲۰۰۱، نفت‌خام ۲۷ دلار برای هر بشکه ، گازوئیل ۲۱۰ دلار برای هر تن و گازطبیعی ۵ دلار برای هر میلیون بی‌تی‌یو در بازار مد نظر واقع شده است.

در این تحلیل طول خط زیر دریایی بین ۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر است. با توجه به مسافت مناسب‌ترین فناوری بین AC و DC انتخاب خواهد شد. هزینه تعمیر و نگهداری برابر یک درصد مبلغ سرمایه‌گذاری سالانه فرض شده است. علاوه بر ضریب بهره‌برداری پارامترهای زیر نیز به منظور مقایسه اقتصادی بین گزینه‌ها منظور شده‌اند.

بین هزینه برق تولید شده محلی و هزینه مرکب (تولید در نقطه دور به‌اضافه انتقال) برق انتقال یافته گرفته است. نتایج مطالعات و محاسبات نشان می‌دهد که در مواردی چون تأمین برق سکوهای نفتی در دریا، نقاط جمعیتی که توسط دریا از هم جدا شده‌اند و نقاط دور افتاده و پراکنده ، انتقال برق حتی به صورت زیردریایی از یک مرکز جمعیتی بزرگتر در مقایسه با تولید برق محلی اقتصادی‌تر است. به ویژه تولید برق در نزدیکی میادین گازی و انتقال آن از طریق یک سیستم مناسب حتی انتقال به مناطقی که فاصله زیادی با میادین گازی دارند مقرون به صرفه است(کلریک و همکاران ۲۰۰۱)[1].

۴. اطلاعات فنی و مفروضات تحقیق

جهت بررسی و مقایسه اقتصادی انتقال برق و گاز با توجه به مکان نیروگاه، لازم است هزینه‌های احداث خطوط لوله گاز و شبکه انتقال برق معین شود و سپس مقایسه لازم برای تعیین محل مناسب احداث نیروگاه ارائه گردد. با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۸٪ و برای دوره مطالعه ۲۵ ساله، ضریب سالواره برابر ۰/۰۹ به‌دست می‌آید، لازم به ذکر است که در این مقاله هر دلار برابر با ۹۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

در این مقایسه لازم است تا ابتدا مفروضات مرتبط با خطوط انتقال برق و گاز معین شود بدین منظور فرض بر آن است که برق تولیدی توسط نیروگاه با خطوط ۴۰۰ و ۲۳۰

1.Cleric et al

www.SID.ir

Archive of SID

کیلو ولت تک مدار و دو مدار و همچنین پستهای ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت مورد نیاز منتقل شود که هزینه‌های احداث مربوط به این خطوط و پست‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین جدول ۲ بیان‌کننده هزینه‌های احداث خط لوله انتقال گاز در اقطار متفاوت ۲۴، ۳۰، ۴۸ و ۵۶ اینچ و ایستگاههای تقویت فشار ارائه شده است . معمولا فاصله بین ۱۲۵ تا ۱۵۰ کیلومتر یک ایستگاه تقویت فشار نیاز دارد و در اوج مصرف گاز ایستگاههای تقویت فشار ۱،۷٪ تا ۲٪ از حجم گاز انتقالی از خط را مصرف می‌نماید. برای آنکه بتوان مقیاس یکسانی از هزینه‌ها داشت و بتوان میزان جابجایی را معین کرد هزینه‌های ارائه شده در جداول برای خطوط و شبکه به طول ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت که بایستی نزدیک به محل مصرف حرارت باشند و بازده بالایی دارند از حوزه این مطالعه مستثنی هستند.

جدول ۱. هزینه احداث خطوط انتقال برق و پست‌ها و هزینه انتقال برق در ۱۰۰ کیلومتر

ردیف	شرح		طول (کیلومتر)	هزینه احداث خط (میلیون ریال در هر کیلو متر)	کل هزینه احداث خط (میلیون ریال)	هزینه احداث پست (میلیون ریال)	کل هزینه احداث خط و پست (میلیون ریال)	هزینه انتقال برق هر کیلووات ساعت در ۱۰۰ کیلومتر(ریال)	درصد تلفات در ۱۰۰ کیلومتر (کیلو وات ساعت)	هزینه تلفات برق ۱ کیلو وات ساعت هر ۱۰۰ کیلومتر (ریال)
۱	خط ۴۰۰ کیلوولت	تک مدار								
۲	خط ۴۰۰ کیلوولت	دومدار		۲۵۰۰	۲۵۰۰۰	۱۷۰۰۰۰	۴۲۰۰۰۰			
۳	خط ۲۳۰ کیلوولت	تک مدار								
۴	خط ۲۳۰ کیلوولت	دو مدار								

منبع: دفتر برنامه‌ریزی تولید توانیر،[1] محاسبات محقق

۱. معاونت برنامه‌ریزی شرکت توانیر، آذر ۱۳۸۵.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. برآورد ظرفیت و هزینه احداث خطوط انتقال و ایستگاههای تقویت فشار در ۱۰۰ کیلومتر

ردیف	خطلوله		ایستگاههای تقویت فشار مورد نیاز در ۱۰۰ کیلومتر	ظرفیت انتقال گاز روزانه	هزینه احداث خطلوله	هزینه احداث ایستگاه تقویت فشار	کل هزینه خط و ایستگاه به ازای ۱۰۰ کیلومتر	هزینه سالانه	کل گاز منتقل شده بطور سالانه	متوسط هزینه انتقال در ۱۰۰ کیلومتر	
	قطر (اینچ)	طول (کیلومتر)	تعداد	میلیون مترمکعب	هزار دلار به ازای هر کیلومتر	میلیون دلار به ازای هر کیلومتر ایستگاه	هزار دلار	هزار دلار	هزار مترمکعب	سنت دلار بر مترمکعب	ریال

منبع : دفتر مدیریت برنامه ریزی شرکت ملی گاز ایران [1]- محاسبات محقق

با توجه به اینکه یکی از پارامترهای مهم در به دست آوردن نقطه بهینه مکان نیروگاه، فاصله نیروگاه از نقطه تولید گاز و احداث خطوط انتقال برق تا نقطه مصرف می باشد، لازم است با در نظرگرفتن نیروگاههای فرضی در فواصل متفاوت از نقطه تولید گاز و مرکز مصرف برق و بررسی هزینه‌های انتقال گاز و برق نقطه بهینه محل استقرار نیروگاه به دست آید. بدین منظور فرض می‌شود که نیروگاه گازی به ظرفیت ۱۰۰۰مگاوات جهت تامین برق شهر تهران باید احداث شود، اما سوال اصلی این است که این نیروگاه در چه فاصله‌ای از مرکز تولید گاز (عسلویه) و محل مصرف برق(تهران) احداث شود که به لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر باشد؟ بدین منظور نقاطی در حد فاصل محل تولید گاز و محل مصرف برق که شامل شهرهای جهرم، فارس، اصفهان، کاشان در نظر گرفته شده اند تا با بررسی و مقایسه قیمت برق در محل مصرف، نقطه بهینه احداث نیروگاه تعیین شود.

۴-۱. انتقال انرژی از طریق شبکه برق

همانطور که گفته شد با توجه به چهار نقطه در نظر گرفته شده برای احداث نیروگاه،

۱. مدیریت برنامه‌ریزی امور مطالعات و بررسیهای اقتصادی، خرداد ۱۳۸۵.

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه‌های احداث خطوط انتقال و پست‌های لازم در حالت‌های مختلف خطوط انتقال در جدول ۳ ارائه شده است.

براساس اطلاعات جدول ۳، هزینه کل تأسیسات خط انتقال بدلیل نزدیکی کاشان به محل مصرف نسبت به سایر نقاط کمتر است.

بنابراین بر اساس هزینه‌های فوق هزینه انتقال برق به تفکیک هزینه خطوط انتقال و هزینه تلفات برای گزینه‌های جهرم به فاصله ۹۵۰ کیلومتری، فارس ۸۴۰ کیلومتری، اصفهان ۴۰۰ کیلومتری و کاشان ۲۵۰ کیلومتری از نقطه مصرف برق به صورت خلاصه در جدول۴ ارائه شده است.

جدول ۳. روشهای مختلف انتقال برق

گزینه	ظرفیت نیروگاه (مگاوات)	ولتاژ انتقال	هزینه کل تأسیسات خط انتقال (میلیون ریال)
جهرم	۱۰۰۰	۴۰۰ کیلوولت تک مدار	۴۳۰۶۶۶۶/۷
		۴۰۰ کیلوولت – دومدار	۳۳۹۵۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت تک مدار	۹۱۶۵۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت – دومدار	۴۸۰۵۰۰۰
فارس	۱۰۰۰	۴۰۰ کیلوولت تک مدار	۳۸۰۸۰۰۰
		۴۰۰ کیلوولت – دومدار	۲۹۵۰۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت تک مدار	۸۱۱۲۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت – دومدار	۴۲۵۰۰۰۰
اصفهان	۱۰۰۰	۴۰۰ کیلوولت تک مدار	۱۸۱۳۳۳۳/۳
		۴۰۰ کیلوولت – دومدار	۱۵۱۰۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت تک مدار	۳۹۰۰۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت – دومدار	۲۰۳۰۰۰۰
کاشان	۱۰۰۰	۴۰۰ کیلوولت تک مدار	۱۱۰۵۰۰۰
		۴۰۰ کیلوولت – دومدار	۹۶۵۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت تک مدار	۲۴۰۵۰۰۰
		۲۳۰ کیلوولت – دومدار	۱۲۸۵۰۰۰

مأخذ : محاسبات محقق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. هزینه‌های انتقال برق در گزینه‌های مختلف

مکان احداث نیروگاه	خطوط انتقال		فاصله تا مرکز مصرف برق	هزینه انتقال برق در ۱۰۰ کیلومتر(ریال)	هزینه انتقال برق تا مرکز مصرف (ریال)	هزینه تلفات هر کیلووات ساعت برق تا نقطه مصرف (ریال)	جمع هزینه انتقال و تلفات به ازای هر کیلووات ساعت (ریال)
کاشان	خط ۴۰۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۴۰۰ کیلوولت	دومدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	دومدار					
اصفهان	خط ۴۰۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۴۰۰ کیلوولت	دومدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	دومدار					
فارس	خط ۴۰۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۴۰۰ کیلوولت	دومدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	دومدار					
جهرم	خط ۴۰۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۴۰۰ کیلوولت	دومدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	تک مدار					
	خط ۲۳۰ کیلوولت	دومدار					

مأخذ : محاسبات محقق

۴-۲. انتقال انرژی از طریق شبکه گاز

چنانچه نقاط ارائه شده به عنوان محل تولید برق در نظر گرفته شود، لازم است گاز مورد نیاز از طریق شبکه انتقال به نیروگاه رسانده شود. بدین منظور فرض می‌شود که گاز مورد

www.SID.ir

Archive of SID

نیاز از طریق شبکه‌های انتقال گاز ۲۴، ۳۰، ۴۸ و ۵۶ اینچ به نیروگاه رسانده شود. هزینه کل احداث خطوط انتقال گاز و ایستگاههای تقویت فشار در حالت‌های متفاوت در جدول۵ ارائه شده است.

جدول ۵. روشهای مختلف انتقال گاز

گزینه	ظرفیت نیروگاه (مگاوات)	قطر لوله (اینچ)	جمع کل هزینه خط و ایستگاه تقویت فشار (هزار دلار)	جمع کل هزینه (هزار ریال)
جهرم	۱۰۰۰			
فارس	۱۰۰۰			
اصفهان	۱۰۰۰			
کاشان	۱۰۰۰			

مأخذ : محاسبات محقق

براساس اطلاعات جدول فوق هزینه کل تأسیسات خط انتقال گاز برای جهرم به عنوان نزدیک‌ترین نقطه به مرکز تولید گاز به مراتب کمتر از کاشان است.

بدین ترتیب هزینه انتقال گاز برای گزینه‌های جهرم، فارس، اصفهان و کاشان به صورت خلاصه در جدول۶ ارائه شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۶ مجموع هزینه انتقال گاز تا نیروگاه کاشان به فاصله ۹۵۰ کیلومتری از نقطه تولید گاز به مراتب بیشتر از نیروگاه جهرم به فاصله ۲۵۰ کیلومتری می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. هزینه‌های انتقال گاز در گزینه‌های مختلف

مکان احداث نیروگاه	خط انتقال	فاصله تا محل تولید گاز عسلویه	هزینه انتقال گاز در ۱۰۰ کیلومتر(ریال)	هزینه انتقال گاز تا نیروگاه (ریال)
کاشان				
اصفهان				
فارس				
جهرم				

مأخذ : محاسبات محقق

۴-۳. مقایسه گزینه‌های مختلف انتقال انرژی برق و گاز

در بخش‌های قبلی چهار گزینه برای انتقال برق و انتقال گاز در نظر گرفته شد. لذا در این بخش با در نظر گرفتن هزینه‌های گفته شده برای انتقال برق تا محل مصرف و انتقال گاز تا محل نیروگاه، مقایسه کلیه حالات در جدول ۷ ارائه شده است.

با توجه به جدول۷ مشخص می‌شود که در هر یک از حالات، انتقال انرژی توسط خط انتقال ۴۰۰ کیلوولت تک مدار با قطر لوله ۵۶ اینچ صورت گرفته و اقتصادی‌ترین حالت، انتقال برق مورد نیاز از محل تولید به محل مصرف برق و احداث نیروگاه در کنار محل تولید گاز است.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اقتصادی بودن نزدیکی محل احداث نیروگاه به مرکز تولید گاز و منافع حاصل از آن برای اقتصاد کشور، در این بررسی محل احداث جدیدی که با عسلویه فاصله‌ای نداشته باشد به عنوان مکان پنجم مورد نظر در جدول ۷ ارائه شده است تا بتوان مقایسه بهتری از مکان بهینه نیروگاه انجام داد.

با توجه به اقتصادی بودن نزدیکی محل احداث نیروگاه به مرکز تولید گاز و منافع حاصل از آن برای اقتصاد کشور، در این بررسی محل احداث جدیدی که با عسلویه فاصله‌ای نداشته باشد به عنوان مکان پنجم مورد نظر در جدول ۷ ارائه شده است تا بتوان مقایسه بهتری از مکان بهینه نیروگاه انجام داد.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که بهترین حالت برای اقتصاد ملی احداث نیروگاه در نزدیکی مرکز تولید گاز بوده و انتقال برق در مقایسه با گاز اقتصادی‌تر می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه گزینه‌های مختلف انتقال انرژی

قیمت برق	قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)			
خطوط انتقال	۴۰۰ کیلوولت – تک‌مدار				۴۰۰کیلوولت – دومدار				۲۳۰کیلوولت – تک‌مدار				۲۳۰کیلوولت – دومدار			
کاشان																
اصفهان																
فارس																
جهرم																
عسلویه																

مأخذ : محاسبات محقق

www.SID.ir

Archive of SID

۵. تحلیل حساسیت

در این بخش چهار پارامتر هزینه انتقال گاز، هزینه انتقال برق، درصد تلفات برق و قیمت برق مورد توجه قرار گرفته است که نتایج حاصل از آن به شرح زیر است:

در صورتی که شرایط مبدأ انتقال گاز را منبع اصلی گاز کشور (عسلویه) در نظر بگیریم و تهران را به‌عنوان مقصد انتخاب کنیم، با افزایش ۱۰٪ پارامترهای هزینه انتقال برق، هزینه انتقال گاز و قیمت برق ، $\pm$ % تلفات برق، کمترین هزینه تأمین برق مصرف‌کننده با استفاده از خط انتقال گاز و خط انتقال برق به شرح جداول ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ خواهد بود.

جدول ۸. ده درصد افزایش هزینه‌های انتقال برق

قیمت برق	قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)			
خطوط انتقال	کیلوولت – تک مدار ۴۰۰				کیلوولت – دو مدار ۴۰۰				کیلوولت – تک مدار ۲۳۰				کیلوولت – دو مدار ۲۳۰			
کاشان	/					/			/		/	/	/	/	/	/
اصفهان																/
فارس																
جهرم																
عسلویه																

مأخذ : محاسبات محقق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹. ده درصد افزایش قیمت برق

قیمت برق	قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)			
	کیلوولت - تک مدار ۴۰۰				کیلوولت - تک مدار ۲۳۰				کیلوولت - دو مدار ۴۰۰				کیلوولت - دو مدار ۲۳۰			
خطوط																
انتقال																
اصفهان																
فارس																
جهرم																
عسلویه																

مأخذ : محاسبات محقق

جدول ۱۰. افزایش ۱۰٪ در تلفات برق

قیمت برق	قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)			
خطوط	کیلوولت - تک مدار ۴۰۰				کیلوولت - تک مدار ۲۳۰				کیلوولت - دو مدار ۴۰۰				کیلوولت - دو مدار ۲۳۰			
انتقال																
کاشان																
اصفهان																
فارس																
جهرم																
عسلویه																

مأخذ : محاسبات محقق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱. کاهش ۱۰درصد در تلفات برق

قیمت برق	قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال/ کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف‌کننده (ریال / کیلووات ساعت)			
خطوط انتقال	کیلوولت- تک‌مدار ۴۰۰				کیلوولت- دومدار ۴۰۰				کیلوولت- تک‌مدار ۲۳۰				کیلوولت- دومدار ۲۳۰			
کاشان																
اصفهان																
فارس																
جهرم																
عسلویه																

مأخذ : محاسبات محقق

جدول ۱۲. ده درصد افزایش هزینه‌های انتقال گاز

قیمت برق	قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)				قیمت برق برای مصرف کننده (ریال / کیلووات ساعت)			
خطوط انتقال	کیلوولت - تک مدار ۴۰۰				کیلوولت - دو مدار ۴۰۰				کیلوولت - تک مدار ۲۳۰				کیلوولت - دو مدار ۲۳۰			
کاشان																
اصفهان																
فارس																
جهرم																
عسلویه																

مأخذ : محاسبات محقق

۶. نتیجه‌گیری

دو انرژی برق و گاز از جمله انرژی‌هایی هستند که در دهه‌های آینده، عمدتاً به دلیل نیاز اقتصاد نوین جهان به نیروی برق و استفاده هر چه بیشتر از سوخت گاز به عنوان سوخت

www.SID.ir

Archive of SID

تمیزتر، رشد تقاضای فزاینده ای خواهند داشت. امروزه این دو انرژی نه به عنوان رقیب بلکه به عنوان مکمل، در تأمین نیازهای انرژی مورد توجه برنامه‌ریزان و سرمایه‌گذاران قرار گرفته است و به همین دلیل بررسی هم‌افزایی بین انتقال گاز و انرژی برق از اهمیت زیادی برخوردار شده است.

هدف اصلی این مطالعه انتخاب بهترین گزینه برای حداقل رساندن هزینه تأمین برق مصرف کنندگان است. بر این اساس، انتقال برق به محل مصرف احداث نیروگاه در کنار مراکز تولید گاز، ارزان‌تر از تولید برق در کنار محل مصرف و انتقال گاز از طریق خطوط انتقال گاز است.

- احداث نیروگاه در محل نزدیک به مرکز تولید گاز و انتقال برق به نقطه مصرف، باعث کاهش هزینه تولید برق می‌گردد. بدین ترتیب فرضیه اول تحقیق یعنی احداث نیروگاه در محل نزدیک به مرکز تولید گاز منافع اقتصادی بیشتری برای کشور به دنبال دارد، و مورد تأیید است.
- با توجه به کاهش هزینه‌های تولید برق در صورت نزدیکی نیروگاه به محل تولید گاز، فرضیه دوم تحقیق مبنی بر اینکه هزینه‌های انتقال برق در مقایسه با هزینه‌های انتقال گاز پایین‌تر است، مورد تأیید می‌باشد.

به ویژه تولید برق در نزدیکی میادین گازی و انتقال آن از طریق یک سیستم مناسب حتی انتقال به مناطقی که فاصله زیادی با میادین گازی دارند مقرون به صرفه است.

۷. پیشنهادها

هر چند که در حال حاضر برنامه‌ریزی گاز و برق در نقاط مختلف دنیا جداگانه انجام می‌شوند ولی در آینده بازار به سمت یکپارچه شدن پیش خواهد رفت. نظر به اینکه گاز می‌تواند به‌آسانی به برق تبدیل شود و در مواردی منابع و مصارف گاز و برق از نظر جغرافیایی فاصله قابل ملاحظه‌ای دارند، برنامه‌ریزی توأم گاز و برق مورد توجه قرار گرفته است(کلینگ ۲۰۰۱)[1]. مطالعات متعددی که در گذشته انجام شده نشان می‌دهد که انتقال گاز در فواصل طولانی از انتقال برق مقرون به صرفه‌تر است.

این موضوع عمدتاً به دلیل آن است که احداث خطوط گاز پرفشار، امکان انتقال گاز در حجم بالا را ممکن می‌سازد. با توجه به اینکه امروز موضوع هم‌افزایی از جمله

1. Kling

www.SID.ir

Archive of SID

مباحث جدید و مهم اقتصاد انرژی محسوب می‌شود، جواب این سوال که در سبد انرژی خانوار چه حاملی با چه سهمی قرار می‌گیرد برای اقتصاد کشور بهتر است، موضوعی قابل توجهی است. یکی از مسائل مرتبط با این موضوع، انتقال برق یا انتقال گاز است. در این راستا بهترین گزینه برای به حداقل رساندن هزینه تأمین برق مصرف کننده همانا احداث نیروگاه در کنار محل تولید گاز و انتقال برق تا نقطه مصرف می‌باشد.

فهرست منابع

۱. اطلاعات فنی و اقتصادی نیروگاههای کشور، آذر ۱۳۸۵، معاونت برنامه‌ریزی شرکت توانیر.

۲. اطلاعات اعلام شده از طرف شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۸۶.

۳. اطلاعات اعلام شده از طرف وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

۴. بررسی فنی و اقتصادی سیستمهای انتقال گاز جهت گازرسانی نیروگاهها، مدیریت برنامه‌ریزی امور مطالعات و بررسیهای اقتصادی، خرداد ۱۳۸۵.

۵. خادم‌وطنی، عسگر، بررسی سیستم تولید برق و مقایسه تطبیقی کارایی اقتصادی نیروگاههای مرسوم حرارتی در کشور، ۱۳۷۹، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۶. فرمد، مجید، نری میسا، پرستو، راعی، ساعد، دی ۱۳۸۴، مقایسه فنی و اقتصادی انتقال برق و گاز در کشور، معاونت برنامه‌ریزی شرکت توانیر.

۷. مقایسه مقدماتی انتقال گاز و برق، ۱۳۸۲، دفتر برنامه‌ریزی تولید، ویرایش چهارم.

۸. مرادیان، محمد، ۱۳۸۶، بررسی مفهوم هم‌افزایی و هم نیروزایی، مجله *فصل نو*.

۹. نیروگاهی در خلیج فارس، شهریور ۱۳۸۵، *پیک توسعه برق* .

10. Asplund G, Eriksson K et a1 , " DC Transmission based on voltage source converters " , Cigare 1998 Session , Paris , France.

11. Carlsson, L. and Persson A, " New technologies in HVDC converter design " , IEE 6 th International Conference AC & DC Transmission , London , UK , 29 April – 3 May 1996.

12.Clerici A , Longhi , A and Chami, M., October 2001, Synergy electrical energy and gas transmission, 18th World Energy Council Congress/ Argentina.

13. Clerici A , Longhi , A and Tellini B , " Long Distance Transmission : the

www.SID.ir

Archive of SID

DC challenge " , IEE 6 th International Conference AC & DC Transmission , London , UK , 29 April – 3 May 1999.

14. Clerici , A and Longhi , A , " Competitive electricity transmission systems as an alternative to pipcline gas transport for electricity delivery " World Energy Conference 1998 , Houston , Texas , USA.

15. Correa F.S , Pangilinam M , et , a1 , " Leyte – I , uzon HVDC power transmission System : Commissioning Highlights , Performance Measurements and Operating Experience " Cigre 2000 Session , Paris France .

16. Donati , E , Tiberio , U , Gallipoli , M and Ercolani , D , " Future Mediterranean Platforms for natural gas production , gathering and export to Western Europe " 20 th WORLD GAS CONFERENCE , Copenhagen , Denmark , 10-13 june 1997.

17. Kling ,w., December 2001, "Special Report for Subject C (Gas and Electrical Networks : inter relations at the planning stage)", Cigre ,Iguacu Symposium ,3-6.

www.SID.ir