بررسی فنی - اقتصادی راهکارهای تأمین انرژی حرارتی مناطق دور از شبکه گاز- مطالعه موردی: استان خراسان رضوی

امیرحسام بانژاد[1]، حمیدرضا افشون[2]، سیدمهدی جباری[3*]

۱. واحد پژوهش و فناوری، شرکت گاز استان خراسان رضوی، صندوق پستی ۳۶۳-۵۳۷۱۹، مشهد، ایران.

۲. واحد پژوهش و فناوری، شرکت گاز استان خراسان رضوی، صندوق پستی ۳۶۳-۵۳۷۱۹، مشهد، ایران.

۳. واحد پژوهش و فناوری، شرکت گاز استان خراسان رضوی، صندوق پستی ۳۶۳-۵۳۷۱۹، مشهد، ایران.

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: smehdi.jabbari@gmail.com

مقاله علمی- ترویجی

۱۲ صفحه، از صفحه ۲۸ تا ۳۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹

چکیده

امروزه، گازرسانی با استفاده از خط لوله، به‌عنوان روش مرسوم تأمین انرژی حرارتی در بیشتر نقاط کشور ایران به شمار می‌رود. هدف از این پژوهش، امکان‌سنجی استفاده از راهکارهای جایگزین این روش، برای تأمین نیاز حرارتی مناطق فاقد شبکه گاز طبیعی است. در ابتدا، سه راهکار شامل گازرسانی به روش خط لوله مجازی، استفاده از انرژی الکتریکی و استفاده از زیست‌گاز در چهار منطقه باجگیران، بردر، امام قلی و شاهرگ بررسی و با روش گازرسانی به روش مرسوم مقایسه شدند. بررسی‌های فنی نشان می‌دهد که استفاده از زیست‌گاز، به‌تنهایی، پاسخگوی نیاز مناطق موردمطالعه نیست. لذا برای دیگر سناریوهای قابل انجام مطالعات اقتصادی انجام‌شده است. نتایج نشان می‌دهد، گازرسانی به روش خط لوله از دیدگاه ارزش فعلی خالص و یارانه تحمیلی بر دولت، در مقایسه با دیگر روش‌ها اولویت دارد.

کلیدواژه‌ها: تأمین انرژی حرارتی، مناطق مسکونی، بررسی فنی و اقتصادی، گاز طبیعی، انرژی الکتریکی.

۱. مقدمه

اهمیت تأمین انرژی حرارتی در همه فصول سال به‌ویژه در فصول سرد، یکی از نیازهای جوامع است. راهکارهای گوناگونی برای نیل به این هدف وجود دارد که استفاده از گاز طبیعی ازجمله متداول‌ترین راه‌های موجود است. بااین‌وجود، مناطق زیادی وجود دارند که بنا بر دلایلی چون هزینه بالای گازرسانی و یا صعب‌العبور بودن راه ارتباطی برای دسترسی به شبکه گاز، فاقد دسترسی به گاز طبیعی می‌باشند. برای این مناطق، از روش‌های گوناگونی برای تأمین نیازهای گرمایی استفاده می‌شود [۱]. در این زمینه می‌توان به استفاده از روش خط لوله مجازی[1] (با استفاده از روش گاز طبیعی متراکم[2] یا گاز طبیعی مایع[3])[۲-۵]، استفاده از گاز مایع[4] [۶-۷]، و ساخت نیروگاه‌های محلی به‌منظور تولید هم‌زمان برق و حرارت[5][۸] اشاره کرد. همچنین در سال‌های اخیر، با توجه به اهمیت روزافزون استفاده از انرژی‌های تجدید

1. Virtual Pipeline
2. Compressed Natural Gas (CNG)
3. Liquefied Natural Gas (LNG)
4. Liquefied Petroleum Gas (LPG)
5. Combined Heat and Power (CHP) plant

پذیر، مناطق خارج از شبکه[1] با استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر مانند خورشید (استفاده از سلول‌های فتوولتاییک[2] برای تأمین الکتریسیته)[۸]، انرژی باد (استفاده از توربین‌های بادی به‌منظور تأمین الکتریسیته) [۹]، انرژی برق‌آبی[3][۱۰]، و انرژی زیستی (زیست‌توده[4] و زیست‌گاز[5]) [۱۱] نیازهای خود را تأمین می‌کنند.

مطالعات جدید انجام‌شده نشان می‌دهد، توجه بسیاری از محققان به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر معطوف گشته است. برای نمونه، هو[6] و همکاران [۱۲] ستفاده از سیستم ترکیبی شامل زیست‌توده، پنل‌های فتوولتاییک و باتری را در روستای اسکندر در کشور مالزی مطالعه کردند. با توجه به بالاتر بودن توان موردنیاز روستا، در مقایسه با ظرفیت تولید نیروگاه زیست‌توده و پنل‌های خورشیدی، استفاده از باتری در این پژوهش ضروری بود. سینگ[7] و همکاران[۱۳] امکان استفاده از انرژی‌های خورشید، باد و زیست‌توده به‌منظور تأمین انرژی روستایی خارج از شبکه در کشور هند را بررسی کردند. بر اساس نتایج آنان، استفاده ترکیبی از انرژی‌های فوق‌الذکر، مطلوب‌ترین گزینه از دیدگاه اقتصادی است. لازم به توضیح است که به علت عدم پیوستگی تأمین انرژی خورشید و باد، برای سیستم موردنظر، استفاده از باتری ضروری است. مطالعات تنها به تأمین انرژی حرارتی برای مناطق مسکونی محدوده نشده است، مندکا[8] و همکاران[۱۴] در پژوهشی استفاده از نیروگاه ترکیبی زیست‌گاز- خورشیدی برای استفاده ساختمان‌های تجاری در کشور آمریکا را بررسی کردند. طرح پیشنهادی آنان می‌تواند به‌طور چشمگیری سبب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی شود.

در ایران نیز روستاها و شهرهایی وجود دارند که فاقد دسترسی به شبکه گازرسانی می‌باشند و برای تأمین انرژی موردنیاز این مناطق راهکارهایی به‌صورت موردی پیشنهاد و بررسی‌شده است. درزمینهی استفاده از خط لوله مجازی، پژوهش‌های انجام‌شده بر بهینه‌سازی عوامل مؤثر در این روش متمرکزشده و به‌عنوان یک راهکار برای تأمین انرژی حرارتی روستاهای فاقد دسترسی به گاز طبیعی کمتر بررسی‌شده است. روشن دل و همکار [۱۵] به بررسی استفاده بهینه از طرح گازرسانی به روش ایستگاه مادر/دختر پرداختند. نتایج کار آنان به‌صورت یک مدل ریاضی جهت استفاده بهینه از تعداد کشنده و مخازن موردنیاز برای این روش ارائه‌شده است. اخیراً، پژوهش‌های داخلی بیشتر بر استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر برای تأمین انرژی مناطق خارج از شبکه متمرکزشده است. برای مثال، سادات علائی پور و همکاران[۱۱] به بررسی فنی-اقتصادی استفاده از منابع تجدید پذیر خورشیدی و زیست‌توده در روستاهای پیج بن، نرملات و دیرینه رود در استان قزوین پرداختند. نتایج آنان نشان می‌دهد با توجه به تعداد پایین خانوارهای روستاهای فوق‌الذکر (درمجموع کمتر از ۱۰۰ خانوار) و تعداد دام‌های موجود، استفاده ترکیبی از سیستم فتوولتاییک و زیست‌گاز، از دیدگاه فنی و اقتصادی مطلوب است.

با توجه به بند (ق) قانون بودجه در سال ۹۳ مبنی بر الزام دولت بر گازرسانی روستاهای با جمعیت بالاتر از ۲۰ خانوار، گازرسانی اکثر روستاهای کشور ضرورت دارد. اما بنا بر دلایلی چون سرانه سرمایه‌گذاری بالاتر از قیمت مصوب، گازرسانی بسیاری از روستاها انجام‌نشده است. در پژوهش حاضر، وضعیت تأمین انرژی حرارتی تعدادی از روستاهای استان خراسان رضوی (با تعداد خانوار بالای ۱۰۰ خانوار) که فاقد دسترسی به شبکه سراسری گازرسانی هستند، بررسی می‌شود. سپس، امکان استفاده از راهکارهایی مانند انرژی زیست‌گاز، خط لوله مجازی و برق برای مناطق انتخابی، از دیدگاه فنی مطالعه و امکان‌سنجی می‌شود. در پایان، از دیدگاه اقتصادی، روش‌های قابل‌استفاده با روش مرسوم (گازرسانی با استفاده از خط لوله) مقایسه می‌شوند.

۲. تعریف مسئله

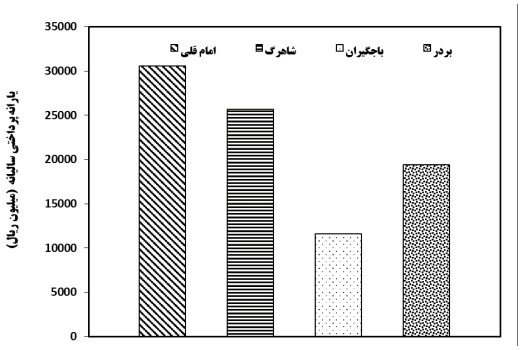
در این پژوهش، سه روستای امام قلی، شاهرگ، بردر و شهر باجگیران در استان خراسان رضوی به‌عنوان مناطق موردبررسی انتخاب شدند. مشخصات این روستاها در (جدول ۱) نشان داده‌شده است.

1. Off-Grid
2. Photovoltaic (PV)Cell
3. Hydropower Energy
4. Biomass
5. Biogas
6. Ho
7. Singh
8. Mandecka

جدول ۱. مشخصات روستاهای انتخابی جهت بررسی

نام روستا	دهستان	بخش	شهرستان	خانوار	طول و عرض جغرافیایی	فاصله از شهر قوچان (km)
امام قلی	دولتخانه	باجگیران	قوچان	۲۱۴	(۳۷,۴۰۵۱۵ و ۵۸,۵۱۷۳۶)	۴۴
شاهرگ	دولتخانه	باجگیران	قوچان	۲۵۰	(۳۷,۴۴۰۸۰ و ۵۸,۴۷۵۵۱)	۵۶
باجگیران	دولتخانه	باجگیران	قوچان	۱۱۸	(۳۷,۶۲۱۴۵ و ۵۸,۴۱۸۷۶)	۸۵
بردر	دولتخانه	باجگیران	قوچان	۱۵۵	(۳۷,۶۳۲۰۱ و ۵۸,۳۵۰۸۹)	۹۳

این مناطق دارای شبکه برق بوده و در حال حاضر انرژی حرارتی مناطق موردنظر به‌وسیله نفت سفید و باقیمت هر لیتر ۱۵۰۰ ریال به خانواده‌ها تأمین می‌شود [۱۶] که یارانه انرژی سالیانه پرداختی توسط دولت برای هر منطقه در (شکل ۱) نشان داده‌شده است.



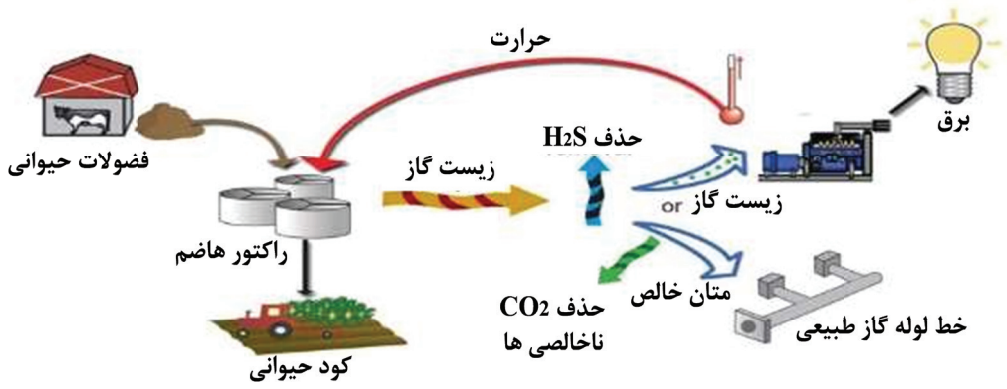
شکل۱. نمودار یارانه سالیانه پرداختی دولت در وضعیت فعلی روستا

علاوه بر تحمیل سالانه یارانه انرژی بر دولت، تأمین انرژی گرمایی موردنیاز خانوارها به این روش دارای مشکلات مختلفی است. برای نمونه، در فصول سرد سال به دلیل بارش شدید برف، باران و لغزندگی معابر و سطح جاده، تأمین نفت سفید با مشکل روبرو می‌شود. به‌منظور رفع مشکلات موجود و همچنین ایجاد یک منبع پایدار برای تأمین انرژی گرمایی موردنیاز، گزینه‌های دیگری مانند استفاده از زیست‌گاز، تأمین گاز طبیعی به روش خط لوله مجازی (ایستگاه مادر/ دختر) و استفاده از برق برای تأمین نیازهای گرمایشی پیشنهاد می‌شود. لازم به ذکر است در این مناطق به دلیل شرایط جغرافیایی، استفاده از روش‌هایی مانند توربین باد، انرژی برق‌آبی و انرژی زمین‌گرمایی امکان‌پذیر نیست.

۳. بررسی سناریوهای تأمین انرژی حرارتی

۳.۱. زیست‌گاز

در این روش، از منابع زیست‌توده حاصل از کودهای دامی، جهت دستیابی به زیست‌گاز استفاده می‌شود. سپس، گاز تولیدی به‌صورت مستقیم جهت تأمین گرمایش منازل، و به‌صورت غیرمستقیم جهت تأمین برق (استفاده در نیروگاه سیکل ترکیبی) قابل‌استفاده است. در (شکل ۲)، طرحواره کلی استفاده از این روش نشان داده‌شده است.

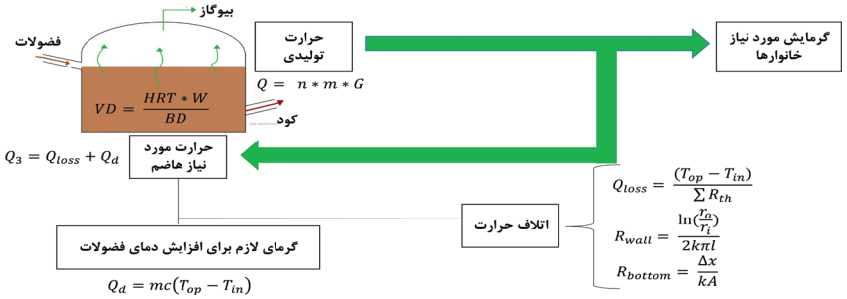


شکل ۲. فرآیند تولید زیست‌گاز [۱۷]

جدول ۲. ترکیبات زیست‌گاز [۱۸]

نام ترکیب	درصد موجود در زیست‌گاز
متان (CH_4)	۵۰ - ۷۰٪
کربن دی‌اکسید (CO_2)	۲۵-۴۵ ٪
آب (H_2O)	۲-۷ ٪
نیتروژن (N_2)	۲-۵ ٪
اکسیژن (O_2)	۰-۲ ٪
هیدروژن (H_2)	کمتر از ۱٪
آمونیاک (NH_3)	۰-۱ ٪
هیدروژن سولفید (H_2S)	۰-۶۰۰۰ PPM

زیست‌گاز، ترکیبی گازی باقابلیت اشتعال است که به علت تخمیر مواد آلی در شرایط فشار، دما و اسیدیته مشخص و به‌وسیله باکتری‌های بی‌هوازی تشکیل می‌شود. ترکیبات عمده زیست‌گاز در (جدول ۲) نشان داده‌شده است. برای تولید بیوگاز، ابتدا می‌بایست ظرفیت روستا از دیدگاه تعداد دام‌های موجود بررسی شود و سپس، به بررسی حجم روزانه زیست‌گاز موردنیاز پرداخته شود. این مشخصات با توجه به مرجع [۱۱] به‌دست‌آمده است. پس از بررسی ظرفیت روستا می‌بایست موارد موردنیاز مصرف زیست‌گاز مشخص شود. در این سناریو، دو منبع عمده استفاده از زیست‌گاز عبارت‌اند از: ۱. استفاده از زیست‌گاز جهت تأمین گاز طبیعی موردنیاز خانوارها، ۲. استفاده از زیست‌گاز جهت تأمین انرژی موردنیاز برای گرمایش هاضم. گرمای موردنیاز هاضم شامل گرمای موردنیاز برای افزایش دمای مواد موجود در هاضم و تأمین گرما به دلیل اتلافات حرارتی است. برای تأمین گرمای موردنیاز هاضم می‌بایست هاضم طراحی‌شده و شرایط بهینه عملکرد آن مشخص شود. طرح‌واره شیوه محاسبات انجام‌شده در (شکل ۳) نشان داده‌شده است. لازم به توضیح است که در این پژوهش، این روش برای استفاده در مناطق روستایی بررسی می‌شود، بنابراین در محاسبات، از شهر باجگیران صرف‌نظر شده است.



شکل ۳. فرآیند تولید زیست‌گاز [۱۹]

در شکل فوق VD، HRT، W، BD، n، m، G به ترتیب عبارت‌اند از حجم هاضم زیست‌گاز، زمان ماند هیدرولیکی، مجموع وزن آب و فضولات دامی، چگالی، تعداد دام، جرم فضولات و گرمای حاصل از احتراق واحد جرم فضولات. همچنین Q نشانگر حرارت تولیدی، Q_d گرمای لازم برای افزایش دمای فضولات، Q_{loss} گرمای اتلافی از هاضم، T_{op} دما موردنظر هاضم (حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد)، T_{in} دمای فضولات ورودی به هاضم، R_{th} مقاومت حرارتی هاضم، R_{wall} مقاومت دیواره، R_{bottom}، مقاومت سقف و کف هاضم، r_i شعاع داخلی هاضم، r_o شعاع خارجی هاضم، l ارتفاع هاضم، A مساحت سقف هاضم و x ضخامت سقف هاضم است. ویژگی‌های هاضم و ابعاد با توجه به مرجع [۲۲-۲۰] انتخاب‌شده است. در ادامه تعداد دام‌های موجود در هریک از سه روستای امام قلی، شاهرگ و بردر مشاهده می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳. مشخصات دام موجود در روستاها [۱۸]

نام روستا	نوع دام	تعداد دام	ظرفیت تولید روزانه هر دام (kg)
امام قلی	گوسفند	۷۵۰۰	۱/۸۱
	گاو	۰	۳۷/۲
شاهرگ	گوسفند	۲۹۰۰	۱/۸۱
	گاو	۱۶۰	۳۷/۲
بردر	گوسفند	۱۰۰۰	۱/۸۱
	گاو	۱۰۰	۳۷/۲

بـا توجه به دام‌های موجـود (جدول ۳) و با توجه به روابط ذکرشـده در (شـکل ۳)، می‌توان ظرفیت تولید زیست‌گاز در روسـتاها را بررسـی کـرد. با در نظـر گرفتن تعـداد خانوار هر روسـتا و مصرف حداکثری روزانـه ۱۴ مترمکعب گاز طبیعی، می‌توان نیاز روستاها را نیز به دست آورد [۱۱]. نتایج بررسی در (جدول ۴) نشان داده‌شده است.

جدول ۴. ظرفیت تولید زیست‌گاز و نیاز گاز طبیعی روستاها

	شاهرگ	امام قلی	بردر
گاز طبیعی موردنیاز خانوارها (m^3/day)	۳۵۰۰	۲۹۹۶	۲۲۵۴
گاز طبیعی موردنیاز هاضم (m^3/day)	۲۰۴	۳۹۵	۸۷
مجموع گاز طبیعی موردنیاز (m^3/day)	۳۷۰۴	۳۳۹۱	۲۳۴۱
ظرفیت تولید گاز طبیعی (m^3/day)	۱۶۸۹	۱۸۷۳	۸۵۳

همچنین، بر اساس (شـکل ۴)، ظرفیت زیست‌گاز موجود در روسـتاها بـرای تأمیـن نیازهای روسـتاییان کافی نیسـت، بنابراین، به‌تنهایی استفاده از این روش پیشنهاد نمی‌شود.

شکل ۴. نیاز و ظرفیت تولید گاز طبیعی روستاییان

۳.۲. خط لوله مجازی (ایستگاه مادر/دختر[1])

در این روش، گاز طبیعی در ایسـتگاه مادر (ایستگاه تولید CNG متصل به شـبکه سراسـری گاز طبیعی) فشرده‌شده و در مخازن مخصوص تحت عنوان تیوب اسـکید[2] ذخیره‌سازی شـده و مخازن به کمک کشنده به روستاهای موردنظر ارسال می‌شـوند. مخازن به ایسـتگاه تقلیل فشـار[3] (ایسـتگاه دختر) رسـیده و در آنجا فشـار گاز فشـرده، کاهش‌یافته و سـپس به شبکه روستایی تحویل داده می‌شود. در این پژوهش، با توجه به وجود پنج ایسـتگاه CNG در شـهر قوچان سـبب می‌شود که برای طراحی، نیاز به در نظر گرفتن ایسـتگاه مادر نباشـد و این سـبب کاهش هزینه‌ها می‌شـود. برای طراحی ایسـتگاه دختر، به دلیل نزدیکی روستاهای شاهرگ و امام قلی می‌توان یک ایسـتگاه دختر مشـترک (ظرفیت تولیـد ۶۰۰ مترمکعب بـر سـاعت) برای آن‌هـا در نظـر گرفت که این موضوع سـبب کاهش هزینه می‌شـود. به‌طور مشابه برای مناطق باجگیران و بردر نیز یک ایستگاه مشترک (ظرفیت تولید ۴۰۰ مترمکعب بر سـاعت) در نظر گرفته می‌شـود. برای زمین ایستگاه دختر ۱۰۰۰ مترمربـع در نظر گرفته می‌شـود. فشـار گاز ورودی به این ایسـتگاه می‌تواند بیـن ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ پوند بـر اینچ مربع متغیر باشـد. فشـار گاز ورودی پس از ورود به ایستگاه و برای توزیع بیـن مصرف‌کنندگان به ۶۰ پوند بـر اینچ مربع کاهش می‌یابـد. گرمایـش گاز در این ایسـتگاه‌ها می‌توانـد به‌صورت گازسـوز یـا برقی انجام شـود. تعـدادی از تجهیـزات موردنیاز ایسـتگاه دختر عبارت‌اند از: تجهیزات تقلیل فشـار (ایسـتگاه تقلیـل فشـار و هیتـر و تجهیـزات تخلیـه گاز)، تجهیـزات مخصوص مانند محفظه آرام‌سـازی، صاعقه گیر، وسـایل اطفا حریق، تابلوها (کنترل، بانک خازنی و ...).

هزینـه لازم بـرای ایـن طـرح شـامل دو قسـمت هزینـه سـرمایه‌گذاری و هزینـه جـاری سـالیانه اسـت. در هزینـه سـرمایه‌گذاری، هزینـه احـداث تقلیل فشـار، خرید کشـنده، کفی، تیوب اسکید در نظر گرفته می‌شود. برای هزینه جاری، اسـتهلاک، سـوخت و تراکم سـازی ازجملـه عمـده هزینه‌ها می‌باشـند. مقادیـر مربوط به ایـن موارد در (جدول ۵) نشـان داده‌شده است.

1. Mother/Daughter Station
2. Tube Skid
3. Pressure Regulating Unit (PRU)

جدول ۵. هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه جاری طرح گازرسانی به روش ایستگاه مادر/دختر [۲۳]

ردیف	عنوان	تعداد	هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون ریال)	درصد تعمیر و نگهداری سالانه	هزینه تعمیر و نگهداری (میلیون ریال)
۱	ایستگاه دختر	۲	۳۱۲۵۰	۴	۱۲۵۰
۲	تیوب اسکید	۷	۱۴۷۰۰۰	۴	۵۸۸۰
۳	کشنده	۲	۵۵۰۰۰	۸	۴۴۰۰
۴	کفی	۷	۳۱۵۰۰	۴	۱۲۶۰
۵	شبکه گاز		۷۳۱۹۰	۴	۲۹۲۷
مجموع			۳۳۷۹۴۰		۱۵۷۱۷

لازم به توضیح است که با توجه به وارداتی بودن تعدادی از کالاهای فوق، هزینه محاسبه‌شده بر اساس نرخ تسعیر هر دلار معادل با ۲۵۰ هزار ریال در نظر گرفته‌شده است. برای محاسبه هزینه جاری، مواردی نظیر هزینه تراکم سازی گاز طبیعی به‌منظور تولید گاز فشرده و هزینه حمل‌ونقل کشنده نیز محاسبه و به هزینه‌های فوق اضافه‌شده است.

۳.۳. استفاده از انرژی الکتریکی برای تأمین انرژی حرارتی

با توجه به اینکه تمام مناطق موردبررسی در این پژوهش دارای دسترسی به شبکه توزیع برق هستند، این انرژی می‌تواند به‌عنوان تأمین نیازهای حرارتی استفاده شود. به‌منظور محاسبه انرژی الکتریکی موردنیاز، ابتدا می‌بایست مقدار گاز مصرفی سالانه هر خانوار روستایی برآورد شود. با توجه به داده‌های موجود هر خانوار روستایی در استان خراسان رضوی به‌طور میانگین، سالیانه ۲۶۰۰ مترمکعب گاز طبیعی مصرف می‌کند. با توجه به اطلاعات بیان‌شده، معادل برق موردنیاز هر خانوار روستایی از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$A * \eta_{th} * 9.81 * \frac{1}{\eta_e} = B \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق A نشانگر مقدار گاز مصرفی سالانه هر خانوار روستایی، ηth بازده حرارتی تجهیزات حرارتی گازی (حدود ۵۰٪)، ηe بازده الکتریکی تجهیزات حرارتی برقی (۹۵٪) و B نشانگر معادل برق موردنیاز سالانه هر خانوار روستایی است. با توجه به تفاوت میزان مصرف گاز در فصل‌های مختلف سال، مصرف سالیانه می‌بایست به تفکیک هر فصل مشخص شود. با توجه به داده‌های مصرف گاز در استان خراسان رضوی، مشخص شد که مصرف خانوارهای روستایی در شش‌ماهه دوم سال (فصل‌های سرد)، تقریباً سه برابر مصرف گاز در شش‌ماهه اول سال (فصل‌های گرم) است. از دیگر کمیت‌های مهم که می‌بایست محاسبه شود، بیشینه بار مصرفی هر خانوار است که از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$A_{max} * \eta_{th} * 9.81 * \frac{1}{\eta_e} = B_{max} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، Amax نشان‌دهنده بیشینه مصرف ساعتی گاز طبیعی برای یک خانوار و Bmax توان الکتریکی بیشینه موردنیاز است. با توجه به معادلات ۱ و ۲، می‌توان برق موردنیاز جایگزین گاز طبیعی برای روستاها را به دست آورد. نتایج حاصل در (جدول ۶) نشان داده‌شده است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، وضعیت فعلی شبکه برق قادر به تأمین برق موردنیاز روستا نیست و نیازمند اعمال یک سری اصلاحات است. هزینه مورد نیاز جهت اعمال اصلاحات در (جدول ۷) نشان داده شده است.

جدول ۶. نیاز شبکه برق در صورت تأمین نیاز حرارتی

نام روستا/شهر	خانوار	پیک مصرف (kW)	مصرف سالیانه (MWh)	مصرف شش‌ماهه اول (MWh)	مصرف شش‌ماهه دوم (MWh)
امام قلی	۲۱۴	۱۴۴۰	۲۹۰۰	۷۲۵	۲۱۷۵
شاهرگ	۲۵۰	۱۶۷۵	۳۳۵۶	۸۳۹	۲۵۱۷
باجگیران	۱۱۸	۷۹۰	۱۵۸۵	۳۹۶,۵	۱۱۸۹
بردر	۱۵۵	۱۰۴۰	۲۰۸۰	۵۲۰	۱۵۶۰
هر خانوار		۶,۷	۱۳,۴۲۵	۳,۳۵۶	۱۰,۰۶۹

جدول ۷. نیاز شبکه برق در صورت تأمین نیاز حرارتی

نام روستا/شهر	هزینه تقریبی اصلاح شبکه (میلیون ریال)	اصلاح شبکه به ازای هر خانوار (میلیون ریال)
امام قلی	۱۲۰۰۰	۵۶,۰۷۵
شاهرگ	۱۳۰۰۰	۵۲
باجگیران	۱۲۰۰۰	۱۰۱,۶۹۵
بردر	۱۱۰۰۰	۷۰,۹۶۸

علاوه بـر هزینه لازم برای اصلاح شـبکه برق، بخش دیگر هزینه خانوارها مربوط به قبض‌های برق اسـت. با اسـتفاده از جدول محاسـبه قبـوض بـرق [۲۴]، می‌توان مبلـغ پرداختی سـالیانه هر خانوار را محاسـبه کـرد. با توجه بـه هزینه بالای پرداختـی هـر خانـوار (مبلـغ ۶۲ میلیون ریـال)، ایـن هزینه می‌بایسـت به‌صـورت یارانـه‌ای تأمیـن شـود. جهـت رفع این مشـکل، سه سـناریو پیشـنهاد و بررسـی می‌شود. سـناریوها عبارت‌اند از:

۱) احداث یک نیروگاه گازسـوز جهـت تأمین برق موردنیاز در فصول سـرد هـر خانـوار و فروش بـرق مازاد بـر نیاز (به‌ویژه فصول گرم سال) به شرکت برق،

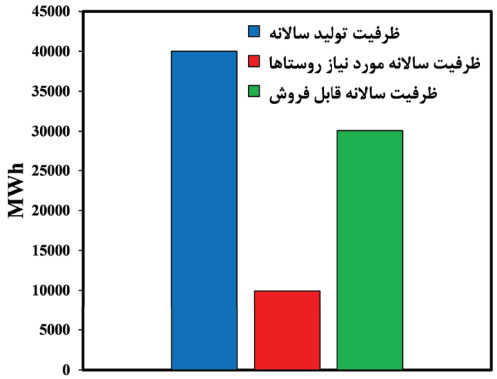
۲) پرداخت هزینه اصلاح شـبکه بـرق و مازاد هزینه قبوض برق مصرفی هر خانوار در فصول سرد،

۳) خرید برق از شـرکت برق به نرخ برق صادراتی در فصول سرد سال و تحویل آن به مصرف‌کنندگان.

در سـناریو اول جهت تأمین نیازهای روستاییان یک واحد ژنراتـور گاز جهـت تولیـد بـرق موردنیـاز روسـتاییان احداث می‌شـود. مشـخصات نیروگاه بـرق پیشـنهادی در (جدول ۸) نشان داده‌شده است.

جدول ۸. نیاز شبکه برق در صورت تأمین نیاز حرارتی

توان تولیدی نیروگاه (MW)	۵
ظرفیت تولید سالانه (MWh)	۴۰۰۰۰
ظرفیت موردنیاز روستاها (MWh)	۹۹۲۱
هزینه نگهداری سالانه ($/MWh)	۱۶,۰۷ [۲۵]



شکل ۵. ظرفیت تولید برق سالانه، ظرفیت سالانه موردنیاز و ظرفیت سالانه قابل‌فروش نیروگاه پیشنهادی

در سـناریوی دوم هزینـه اصـلاح شـبکه و هزینه سـالیانه پرداختـی هـر خانـوار توسـط دولـت تأمیـن می‌شـود و در سـناریوی سوم، برق به قیمت فروش صادراتی، از شرکت برق خریداری‌شده [۲۶] و به مشترکین تحویل داده می‌شود. پس از بررسـی هر سه سـناریو، هزینه‌های جاری و سرمایه‌گذاری سـناریوها می‌بایسـت با یکدیگر مقایسه شـود. در سناریو اول بـرای احـداث یک نیـروگاه به قـدرت ۵ مگاوات، حـدود ۲,۵ میلیون دلار سـرمایه‌گذاری لازم اسـت [۲۵]. در سناریو دوم تنهـا هزینه لحاظ شـده، هزینه لازم جهت اصلاح شـبکه برق اسـت کـه حـدود ۴۸ میلیارد ریال اسـت و در سـناریو سـوم بـا توجـه به این‌کـه هدف، خریـد برق از شـرکت برق اسـت، هیچ‌گونـه هزینه سـرمایه‌گذاری لازم نیسـت؛ امـا هزینه‌های جاری در سـناریو سوم بسیار بیشـتر از دیگر سناریوها است و در این سـناریو برای خرید برق موردنیـاز حدود ۱۰۰ میلیارد ریال لازم اسـت. در سناریو دوم تنها هزینه لحاظ شده؛ هزینه قبوض هر خانوار اسـت که ایـن مقدار حدود ۵۰ میلیارد ریال اسـت. در سـناریو اول با توجه به توانایی درفـروش برق مازاد به شـرکت برق، هزینه جاری سـالانه حدود ۱۰ میلیارد ریال اسـت. برای بررسـی دقیق سـناریوها از ارزش فعلـی خالص[1] استفاده می‌شود.

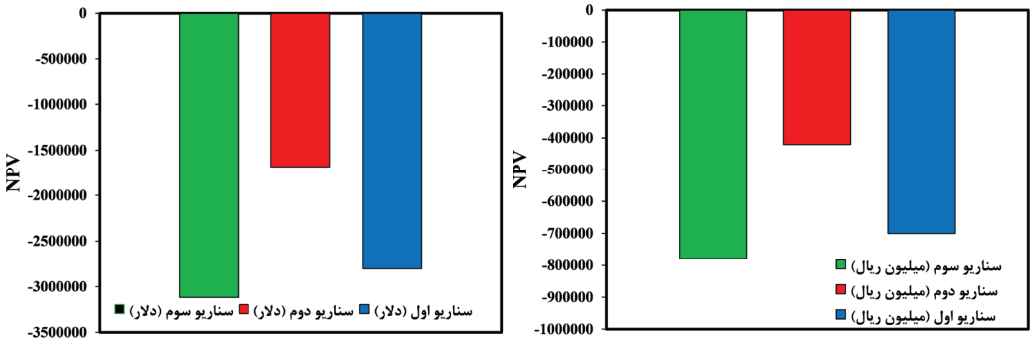
ارزش خالـص فعلـی تفـاوت بیـن ارزش فعلـی جریانات نقدی ورودی و ارزش فعلی جریان نقدی خروجی اسـت. این شـاخص برای بودجه‌بندی سرمایه مورداستفاده قرار می‌گیرد تا احتمال سرمایه‌گذاری محاسبه‌شده یا پروژه را تحلیل کند. در این روش، جریان نقدینگی (درآمدها و هزینه‌ها) بر اساس زمان موردبررسی (درآمد یا هزینه) به نرخ روز تنزیل می‌شود. به همین دلیل در جریـان نقدینگی، ارزش زمان انجام هزینه

1. Net Present Value (NPV)

یا به دست آمدن درآمد نیز محاسبه می‌شود. ارزش فعلی خالص را می‌توان با استفاده از رابطه ۳ محاسبه نمود [۲۷]:

$$NPV = NCF_0 + \frac{NCF_1}{(1+i)^1} + \frac{NCF_2}{(1+i)^2} + \frac{NCF_3}{(1+i)^3} + \cdots + \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (۳)$$

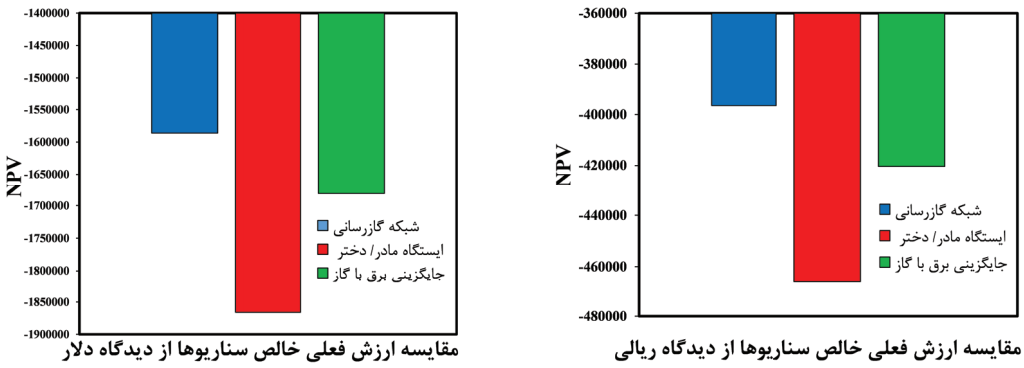
در رابطه فوق NPV، NCF، i و t به ترتیب نشانگر خالص ارزش فعلی، خالص وجوه نقد، نرخ تنزیل و سال است. حال با توجه به NPV می‌توان سناریوها را با یکدیگر مقایسه نمود. برای این پژوهش، دوره محاسبه برای NPV، ۱۵ سال در نظر گرفته‌شده است. همچنین فرض شده است که سالانه ۱۰٪ بر میزان هزینه‌ها افزوده شود. نرخ تنزیل (حاصل‌ضرب نرخ سود، نرخ ریسک و نرخ تورم قابل پیش‌بینی) برابر ۱۸٪ در نظر گرفته‌شده است. با توجه به (شکل ۶)، سناریو دوم از دیدگاه اقتصادی مطلوب‌ترین گزینه است. لازم به ذکر است با توجه به این‌که در حال حاضر شرکت برق با مشکل تأمین برق در زمستان مواجه است این سناریو مطلوب نیست.



شکل ۶. مقایسه ارزش فعلی سناریوهای پیشنهادی برای استفاده از برق به‌عنوان جایگزین گاز طبیعی

۴. بررسی نتایج

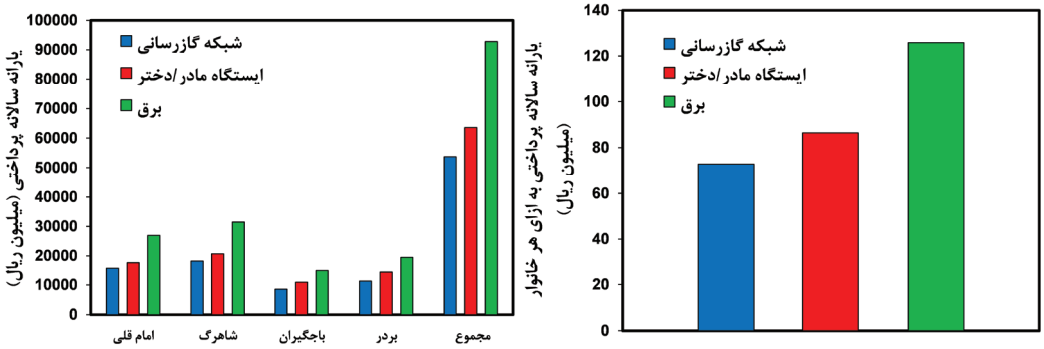
در این بخش، بر اساس ارزش فعلی خالص، روش‌های ارائه‌شده با یکدیگر مقایسه شدند. در ابتدا لازم است اشاره شود که گازرسانی به روش خط لوله به مناطق موردبررسی در این پژوهش حدود ۲۸۰ میلیارد ریال هزینه دارد [۲۸]. با توجه به اینکه تأمین انرژی حرارتی به روش خط لوله به‌عنوان روش مرسوم در کشور ایران محسوب می‌شود این روش با سایر روش‌ها، از دیدگاه ارزش فعلی خالص، مقایسه شده است. همان‌گونه که در (شکل ۷) مشاهده می‌شود. گازرسانی به روش خط لوله در مقایسه با دیگر روش‌ها از دیدگاه اقتصادی دارای اولویت است. با توجه به این‌که دولت در هر یک از روش‌های تأمین انرژی، به ازای هر خانوار یارانه پرداخت می‌کند، ضروری است که مشخص شود در کدام روش دولت یارانه کمتری پرداخت می‌کند (شکل ۸). یارانه پرداختی در سناریوی استفاده از برق، از اختلاف قیمت فروش برق به نرخ برق صادراتی و قیمت مصرف‌کننده به‌دست‌آمده است.



مقایسه ارزش فعلی خالص سناریوها از دیدگاه ریالی

مقایسه ارزش فعلی خالص سناریوها از دیدگاه دلار

شکل ۷. مقایسه ارزش فعلی خالص سناریوها



شکل ۸. مقایسه یارانه پرداختی دولت در هر یک از سناریوها

همان‌طور که از شکل‌های فوق‌الذکر مشخص است، گازرسانی به روش خط لوله در مقایسه با روش‌های موجود مطلوب‌ترین گزینه است. همچنین از دیدگاه یارانه پرداختی، دولت در روش تأمین گاز با خط لوله از وضعیت فعلی (تأمین نفت سفید) یارانه کمتری پرداخت می‌کند. لازم به ذکر است اگرچه گازرسانی با توجه به انتشار کرین دی‌اکسید کمتر به‌عنوان یک سوخت فسیلی پاک شمرده می‌شود و با توجه به نتایج این پژوهش از دیدگاه اقتصادی دارای اولویت است، ولی در گازرسانی علاوه بر موارد فوق می‌بایست در نظر داشت اثر گرمایشی متان در یک بازه بیست‌ساله ۸۶ برابر کربن دی‌اکسید است؛ بنابراین افزایش نشر متان، مزیت کربن دی‌اکسید حداقلی آزادشده براثر سوختن را خنثی می‌نماید [۲۹]. لذا برای بررسی دقیق‌تر می‌بایست ملاحظات زیست‌محیطی و اثرات آن در مقایسه با سایر روش‌ها موردبررسی قرارگرفته شود.

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برخی از راهکارهای تأمین انرژی حرارتی مناطق دور از شبکه گاز در استان خراسان رضوی بررسی شد. روش‌های موردبررسی در این کار زیست‌گاز، خط لوله مجازی و انرژی الکتریسیته می‌باشند. از دیدگاه فنی استفاده از زیست‌گاز به‌تنهایی برای تأمین انرژی حرارتی مناطق موردبررسی مناسب نیست. از دیدگاه اقتصادی روش‌های مختلف با یکدیگر از طریق روابط اقتصاد مهندسی و روش ارزش فعلی خالص مقایسه شده است.

در روش خط لوله مجازی هزینه ایستگاه دختر و شبکه برآورد و با توجه به فرضیات اقتصادی در نظر گرفته‌شده و با توجه به هزینه‌های جاری ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری در سال اول محاسبه‌شده است. در روش تأمین انرژی حرارتی با انرژی الکتریکی، سناریوهای احداث نیروگاه ژنراتور گازی جهت تأمین برق موردنیاز در فصول سرد هر خانوار و فروش مازاد آن (به‌ویژه فصول گرم سال) به شرکت برق، پرداخت هزینه اصلاح شبکه و هزینه قبوض برق فصول سرد هر خانوار، خرید برق از شرکت برق به نرخ برق صادراتی و تحویل آن به مصرف‌کنندگان موردبررسی قرار گرفت. از دیدگاه ارزش فعلی خالص روش اصلاح شبکه و تأمین برق در فصول سرد سال دارای بیشترین توجیه اقتصادی است که با توجه به شرایط اخیر تأمین برق در فصول سرد سال روش مطلوبی نیست.

در پایان روش‌های موردبررسی در این تحقیق از دیدگاه ارزش فعلی خاص سرمایه‌گذاری و یارانه پرداختی توسط دولت مقایسه گردید و مشخص شد گازرسانی به روش خط لوله مطلوب‌ترین گزینه است. همچنین معین گردید در روش گازرسانی با استفاده از خط لوله از وضعیت موجود (تأمین نفت سفید) دولت یارانه کمتری را پرداخت می‌کند. اگرچه نتایج این پژوهش نشان‌دهنده این موضوع است راهکار تأمین انرژی حرارتی با استفاده از گاز طبیعی به روش خط لوله راهکار برگزیده است ولی ضروری است در گازرسانی ملاحظات ایمنی و زیست‌محیطی موردتوجه دولت قرارگرفته شود.

مراجع:

[1]. Md. Mustafizur Rahman, Md. Mohib-Ul-Haque Khan, Mohammad Ahsan Ullah, Xiaolei Zhang, Amit Kumar, "A hybrid renewable energy system for a North American off-grid Community", Energy, 97 (2016) 151-160

[2]. "CNG for commercialization of small

volumes of associated gas" Prepared by TRACTEBEL ENGINEERING S.A. 2015

[3]. "Mobile Fueling at CNG 'Daughter' Stations: Rules and Regulations on Safety and Distances", Clean Fuels consulting.

[۴]. فرزاد رسولی، فاطمه علوی، بهراه علی اکبری، غلامرضا فرزانه، ملکه کارگر، مجید همایونی، کارنامه عملکرد طرح ملی CNG، حنا، تهران، ۱۳۸۶.

[5]. "Economic and GHG Emissions Benefits of LNG for Remote Markets in Canada", Canadian Gas Association, 2016

[6]. "The role of LPG and BioLPG in Europe", world LPG association, 2019

[7]. "Beyond the gas grid An LPG Industry Roadmap", European LPG association, 2011

[8]. Alireza Haghighat Mamaghani, Sebastian Alberto Avella Escandon, Behzad Najafi, Ali Shirazi, Fabio Rinaldi," Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia", Renewable Energy, 97 (2016) 293-305

[9]. Linbin Zeng, Guoliang Li, Ming Li, Zhikang Feng, Lin Yang, "Design and experimental performance of an off-grid ice storage system driven by distributed wind energy", Energy & Buildings (2020).

[10]. "Feasibility Study of Renewable Energy Systems for Off-Grid Islands: A Case Study concerning Cuttyhunk Island", Marvin Alexander Görgen, University of Rhode Island, (2016).

[۱۱]. لیلا صدرآبادی، علی مظاهری، مصطفی مافی،"امکان‌سنجی فنی-اقتصادی استفاده از منابع تجدید پذیر به‌منظور تأمین نیازهای گرمایشی، سرمایشی و الکتریسیته مناطق دورافتاده "، فصلنامه علمی-ترویجی انرژی‌های نو، ۱۳۹۶.

[12]. Ho WS, Hashim H, Lim JS. Integrated biomass and solar town concept for a smart eco-village in Iskandar Malaysia (IM). Renew Energy 2014;69:190–201.

[13]. S. Singh, M. Singh, S.C. Kaushik, Feasibility study of an islanded microgrid in rural area consisting of PV, wind, biomass and battery energy storage system, Energy Conversion and Management, 128 (2016) 178-190.

[14]. B. Mendecka, D.Chiappini, L. Tribioli, R. Cozzolino, "A biogas-solar based hybrid off-grid power plant with multiple storages for United States commercial buildings", Renewable Energy, (2021) 179, Pages 705-722.

[۱۵]. رامین روشن دل، سورنا ستاری،" مدل‌سازی انتقال مخازن CNG برای تأمین نیاز موقت گاز طبیعی "، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۳۸۶.

[16]. www.niopdc.ir

[17]. J. Ahmad, M. Imran, A. Khalid, W. Iqbal, S. R. Ashraf, M. Adnan, S. F. Ali and K. S. Khokhar, Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar, Energy. 148 (2018),

[18]. A. Akbulut, Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdağı case study, Energy. 44 (2012) 381-390.

[19]. J.G. Castellanos, M. Walker, D. Poggio, M. Pourkashanian, W. Nimmo, Modelling an off-grid integrated renewable energy system for rural electrification in India using photovoltaics and anaerobic digestion, Renewable Energy, 74 (2015) 390-398.

[20]. J. Martí-Herrero, R. Alvarez, R. Cespedes, M. Rojas, V. Conde, L. Aliaga, M. Balboa,

S. Danov, Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude, Bioresource technology, 181 (2015) 238-246.

[21]. T.L. Bergman, F.P. Incropera, D.P. DeWitt, A.S. Lavine, Fundamentals of heat and mass transfer, John Wiley & Sons, 2011.

[22]. National Regulations of building, 19th topic, Saving energy, Nashr Tosehe publication, 2011.

[۲۳]. مطالعه موردی و ارزیابی و اقتصادی گازرسانی به روستاهای بقمج، گاش و اندیشش از توابع شهرستان چناران، شرکت ملی گاز ایران، شرکت گاز استان خراسان رضوی، سال ۱۳۹۵،طرح هادی روستاهای استان خراسان رضوی، سازمان مسکن و شهرسازی، استان خراسان رضوی.

[24]. www.barghnews.com

[25]. Feasibility of Gas-Engine-Based Commercial Building Cogeneration in Iran case study: shopping Mall with 6 MW electrical demand in Mashhad, Tadbir Energy Mobtakeran Company, 2016

[26]. www.meedc.ir

[27]. L.G. Acuña, M. Lake, R.V. Padilla, Y.Y. Lim, E.G. Ponzón, Y.C.S. Too, Modelling autonomous hybrid photovoltaic-wind energy systems under a new reliability approach, Energy conversion and management, 172 (2018) 357-369.

[۲۸]. گزارش امکان‌سنجی روستاهای محور باجگیران، امام قلی و کپکان شهرستان‌های قوچان و درگز، مهندسین مشاور پیمایش گستر توس، شرکت ملی گاز استان خراسان رضوی، سال ۱۳۹۸

[۲۹]. محمد سعید خاتمی، حمیدرضا افشون، سید مهدی جباری،" مروری بر روش‌های نوین برآورد موجودی انتشار متان در شبکه توزیع گاز طبیعی "، نشریه مهندسی گاز ایران، شماره ۱۱، تابستان ۱۳۹۹.

Technical and Economic Investigation of Methods to Satisfy Thermal Energy Demands of Off-grid Gas Pipeline Area – Case Study: Khorasan Razavi Province

Amirhesam Banejad[1], Hamid R. Afshoon[2], Mehdi Jabari[3*]

1. Research and Technology department, Khorasan Razavi Gas Company, Mashhad, Iran.

2. Research and Technology department, Khorasan Razavi Gas Company, Mashhad, Iran.

3. Research and Technology department, Khorasan Razavi Gas Company, Mashhad, Iran.

Corresponding Author,Email Address: smehdi.jabbari@gmail.com

Abstract

Nowadays, natural gas pipeline is considered to be the most common way to satisfy heat demands of the Iranian. In this study, to satisfy the heat demands of some off-grid areas including Shahrag, Imam Gholi, Bardar, and Bajgiran, the areas in Khorasan Razavi province, the feasibility of implementing some methods are investigated. In this regard, three approaches consisting of virtual pipeline, substitution of electricity, and biogas are studied and compared to natural gas pipeline. Technical study reveals that the areas do not have a potential to be completely benefited from biogas. Afterward, other methods were financially studied. Moreover, form net present value standpoint, natural gas pipeline appears to be the best option among others.

Keywords: *Thermal energy supply, Residential areas, Technical and economic study, Natural gas, Electricity.*