Archive of SID

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هفدهم / شماره ۷۰/ پاییز ۱۴۰۰/ صفحات ۱۴۴-۱۱۷

توسعه مدل تصمیم‌سازی سه هدفه اقتصادی، زیست‌محیطی و توسعه پایدار به‌منظور بازیابی گازهای مشعل

زینب حمیدزاده
دانش آموخته دکتری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، zeinabhamidzadeh@gmail.com

سورنا ستاری
استادیار، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، Sattari@sharif.ir

علی وطنی[۱]
استاد، مؤسسه گاز طبیعی مایع شده (I-LNG)، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران، avatani@ut.ac.ir

محمد سلطانیه
استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، msoltanieh@sharif.edu

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳

چکیده

ایران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین سوزانندگان گازهای همراه محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از سوزاندن گاز همراه در مشعل‌ها، در این پژوهش مدل بهینه انتخاب فناوری‌های بازیافت گازهای ارسالی به مشعل به کمک روش‌های تصمیم‌سازی پیشرفته توسعه داده شده است. این مدل دارای سه تابع هدف شامل: زمان بازگشت سرمایه، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و تابع هدف کیفی ترکیبی از معیارهای توسعه پایدار می‌باشد. فناوری‌های بازیافت گازهای مشعل شامل واحد NGL، تزریق گاز به خط لوله، واحدهای LNG، پالایشگاه GTL، تولید هیدرات‌های گازی، تولید گاز طبیعی فشرده، تزریق گاز به مخازن به‌منظور افزایش برداشت، تولید برق با استفاده از توربین گاز، توربین بخار و چرخه ترکیبی و تولید آب شیرین با روش MED درنظرگرفته شده است. مورد مطالعاتی شامل ۵ حلقه چاه نفت با مشخصات متفاوت در یک منطقه نفتی در جنوب ایران در نظر گرفته شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در حالت بهینه، میزان زمان بازگشت سرمایه به‌عنوان تابع هدف اقتصادی، ۱/۱ سال محاسبه شده است و میزان کاهش تولید دی‌اکسید کربن ۸۱۰۷۴۰ تن بر سال است.

طبقه‌بندی JEL: C610

کلیدواژه‌ها: بازیابی گازهای مشعل، مدل تصمیم‌سازی بهینه، توابع هدف سه گانه

---

۱. نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

کشور ایران در سال ۲۰۱۵ با سوزاندن ۱۷/۳ میلیارد مترمکعب گاز همراه، حدود ۱۲ درصد از گازهای مشعل[1] جهان را به‌خود اختصاص داده و هم اکنون در جایگاه سوم کشورهای سوزاننده گاز مشعل قرارداد (پژوهشکده علوم و فناوری انرژی شریف، ۱۳۹۵). محاسبات سرانگشتی هزینه فرصت در اثر فرآیند فلرینگ، بررسی پیامدهای زیست‌محیطی انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای ناشی از فلرینگ و مرور الزامات بین‌المللی کاهش انتشار، اجتناب‌ناپذیری ضرورت تدوین برنامه تصمیم‌گیری در خصوص بازیابی و حذف گازهای مشعل را به‌روشنی بیان می‌کند. وجود فناوری‌های متعدد برای بازیافت گازهای ارسالی به برج مشعل و هم‌چنین دینامیک بودن پارامترهای تصمیم‌گیری مانند قیمت نفت و گاز، قیمت ارز و هم‌چنین شاخص‌های کیفی مرتبط با سیاست‌گذاری فناوری‌های بازیافت گازهای مشعل و بهره‌وری انرژی، منتج به پیچیده شدن انتخاب فناوری‌های بازیابی گازهای ارسالی به برج مشعل می‌شود. انتخاب بهترین فناوری در مسائل برنامه‌ریزی انرژی و بالاخص در بحث بازیابی و حذف ارسال گاز به برج مشعل، نیازمند درنظرگرفتن شاخص‌های کمّی و کیفی -گاهی متعارض با یکدیگر- است. توسعه یک مدل جامع تصمیم‌سازی در مورد فناوری‌های بازیابی گازهای مشعل با در نظر گرفتن تمامی اهداف فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و شاخص‌های کیفی توسعه پایدار، می‌تواند دستیابی به سیاست‌گذاری مؤثر در بازیابی گازهای مشعل را میسر سازد. مدل ارائه شده در این تحقیق، یک مدل بهینه چندهدفه با در نظر گرفتن ابزارهایی مثل الگوریتم ژنتیک و روش‌های تصمیم‌سازی پیشرفته است که در نهایت منجر به دستیابی به بهترین انتخاب و ترکیب فناوری بازیابی گازهای مشعل خواهد شد.

۲- گازهای مشعل و وضعیت ایران

در مخازن نفتی همواره مقداری گاز طبیعی به‌صورت محلول در سیال وجود دارد. این گاز طبیعی را که به‌هنگام استخراج نفت از چاه خارج شده و در حقیقت محصول

1. Flaring

www.SID.ir

Archive of SID

جانبی نفت تولید شده محسوب می‌گردد، گاز همراه نفت[1] یا به‌اختصار گاز همراه می‌نامند. این گازها از جمله منابع هیدروکربوری است که در بسیاری از موارد سوزانده یا به‌اصطلاح فلر می‌شوند (سلطانیه و همکاران، ۲۰۱۶). براساس آخرین آمار بانک جهانی در سال ۲۰۱۸، حدود ۱۴۵ میلیارد مترمکعب گاز از طریق ۱۶ هزار مشعل در سراسر جهان سوزانده شده است. این میزان فلرینگ، باعث انتشار ۳۵۰ میلیون تن CO2 شده است. تنها در قاره آفریقا سالانه بالغ بر ۳۵ میلیارد مترمکعب گاز از طریق فلرینگ به‌هدر می‌رود (بانک جهانی[2]، ۲۰۱۵) که برابر نصف کل میزان مصرف انرژی این قاره است. این میزان فلرینگ گاز، معادل تولید ۷۵۰ میلیارد کیلووات ساعت برق است که این رقم بیش از مصرف سالیانه برق قاره آفریقاست (بانک جهانی، ۲۰۱۵).

در ایران گازهای همراه نفت از جمله منابع گاز غنی می‌باشد. مجموع گازهای همراه نفت ایران تا سال ۱۳۹۳ در حدود ۲۷ میلیون مترمکعب در روز بوده است[3] که بیشترین سهم متعلق به شرکت نفت فلات قاره می‌باشد. ایران در سال ۲۰۱۵ با تولید حدود ۶۳۰ میلیون تن گاز گلخانه‌ای یکی از ۱۰ کشور نخست منتشرکننده گازهای گلخانه‌ای در جهان بوده است. در این بین، حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن گازهای مشعل معادل حدود ۳۰ میلیون تن دی اکسید کربن در سال است که سهمی معادل حدود ۵ درصد از مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود (سازمان محیط‌زیست ایران[4]، ۲۰۱۵).

۳- مرور بر ادبیات نظری بازیابی گازهای مشعل

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه نحوه جمع‌آوری گازهای همراه صورت گرفته و در ذیل آن‌ها راهکارهای کاهش سوزاندن این گازها در مطالعات داخلی و خارجی ارائه شده است. حمیدزاده[5] و همکاران (۲۰۲۰) به توسعه مدل تصمیم‌سازی چندهدفه بر مبنای پارامترهای صرفاً فنی پرداختند. در مدل توسعه داده شده، فناوری‌های بازیافت گازهای

1. Associated Petroleum Gas (APG)
2. World Bank
۳. پژوهشکده علوم و فناوری انرژی شریف، ۱۳۹۵.
4. IRAN DOE
5. Hamidzadeh

www.SID.ir

Archive of SID

مشعل صرفاً با اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌دهنده نقطه بهینه اختصاص ۷۰ درصد از گاز همراه به مبحث ازدیاد برداشت[1]، ۲۶ درصد به نیروگاه چرخه ترکیبی و تولید بخار برای شیرین‌سازی آب و نیز ۴ درصد برای تولید برق در توربین گاز بوده است. لازم به ذکر است نبود پارامترهای کیفی و توابع هدف توسعه پایدار مهم‌ترین کمبود این مطالعه به نظر می‌رسد. سلطانیه[2] و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله خود در سال ۲۰۱۶، مقدار انرژی تلف شده در فلر فرآیندهای نفتی و آلودگی‌های ناشی از آن را در ایران به‌عنوان سومین کشور فلر کننده گاز در دنیا، مورد بررسی قرار داده است. معروف نشاط (۱۳۸۹)، امکان‌سنجی فنی اقتصادی استفاده از گازهای فلر برای تبدیل به متانول را در ایران انجام داده است. در این پژوهش تولید متانول از گازهای فلر مورد ارزیابی اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی قرار گرفته است. بازگشت سرمایه این طرح برای گاز فلر مارون حدود ۶ سال و برای سیری حدود ۴ سال برآورد شده است. جعفریان (۱۳۹۱)، بررسی فنی اقتصادی تولید برق از گاز فلر را در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود انجام داده است. تولید توان از سه روش توربین گاز، توربین بخار و موتور احتراق داخلی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در پژوهش انجام شده توسط مارتین لیفیلد[3](۲۰۱۵)، با موضوع ایجاد ارزش افزوده برای فلر، فناوری‌های بازیافت گازهای ارسالی به فلر شامل میکروال‌ان‌جی[4]، فشرده‌سازی گاز طبیعی و هیدراته کردن گاز طبیعی، در آمریکا بررسی شده است. نتایج حاصل از انجام این مطالعه حاکی از آن است که به‌مرور هزینه نصب فناوری میکروال‌ان‌جی کاهش یافته و منتج به اقتصادی شدن آن برای مقدار گاز ورودی به میزان کمتر از ۱ میلیون استاندارد فوت مکعب در روز شده است. پژوهشی با موضوع یکپارچه‌سازی شبکه فلر با شبکه سوخت در پالایشگاه‌ها، در دانشگاه تهران توسط طهونی[5] و همکاران (۲۰۱۶) انجام شده است. ترکیب شبکه فلر با شبکه سوخت یکی از رهیافت‌های مؤثر در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفظ انرژی است. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن است که ترکیب این دو شبکه می‌تواند منتج به کاهش ۱۲ درصدی مصرف گاز طبیعی

1. EOR, Enhanced Oil Recovery
2. Soltanieh
3. Layfield
4. MicroLNG, Micro Liquified Natural Gas
5. Tahouni

www.SID.ir

Archive of SID

شود. در پژوهش انجام شده توسط حاجی‌زاده[1] و همکاران (۲۰۱۸)، موضوع ارزیابی فی و اقتصادی بازیافت گازهای ارسالی به فلر در یک پالایشگاه بزرگ گاز، مورد بررسی قرار گرفته است. براساس نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی اقتصادی انجام شده، نرخ بازگشت سرمایه روش‌های مایع‌سازی و تولید ال‌پی‌جی بیشتر از ۲۰۰ درصد است و در سناریوهای مختلف این دو روش بهتر از فشرده‌سازی است. در پژوهش انجام شده توسط ذوالفقاری[2] و همکاران (۲۰۱۷)، موضوع ارزیابی فنی-اقتصادی بازیافت گازهای فلر در فرآیندهای مختلف پالایشگاهی، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که تولید برق با استفاده از توربین گاز بهترین روش بازیافت برای گازهای فلر است.

استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی در تعیین ابعاد فناوری‌های تبدیل انرژی در مطالعات زیادی انجام شده است. آرندیان و اردهالی (۱۳۹۷) بهینه‌سازی اندازه، مکان و بهره‌برداری از فناوری‌های مختلف سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت را با کمک الگوریتم هوشمند جهش غورباقه انجام دادند. احمدی آذر و همکاران (۱۳۹۸)، از مدل‌های بهینه‌سازی با هدف بیشینه‌سازی سود سالانه مجتمع‌های پتروشیمی استفاده نموده است. تکلیف و همکاران (۱۳۹۹)، سطح بهینه تولید نفت خام و گاز غنی را با هدف حداکثرسازی ارزش خالص فعلی پروژه‌های نفت و گاز را مطالعه نموده است.

الویج[3] و همکاران (۲۰۱۸) در مرکز اطلاعات محیط‌زیست ایالات‌متحده امریکا، نقش فلرینگ در پتانسیل کاهش انتشار دی اکسید کربن در کشورهای گابن، الجزایر، ونزوئلا، ایران و سودان به ترتیب می‌تواند ۹۴، ۴۸، ۴۷، ۳۴ و ۳۳ درصد ارزیابی شده است. در رساله دکتری انجام شده توسط آنوسیک[4] (۲۰۱۳) در دانشگاه کرنفیلد[5]، موضوع ارزیابی فنی اقتصادی کاهش فلرینگ گاز طبیعی با روش توربین‌های گاز کوچک برای تأمین برق مورد نیاز در تأسیسات میدان استخراج نفت به‌عنوان یکی از راهکارهای مناسب برای بازیافت و کاهش فلرینگ مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش انجام شده

1. Hajizadeh
2. Zolfaghari
3. Elvidge
4. Nnamdi Benedict Anosike
5. Cranfield University

www.SID.ir

Archive of SID

توسط حیدری[1] و همکاران (۲۰۱۶)، موضوع توسعه و تحلیل روش جدید برای تولید برق با استفاده ترکیبی از گازهای ارسالی به فلر و سوخت‌های متعارف از لحاظ فنی و اقتصادی انجام شده و نتایج نشان‌دهنده مطلوبیت طرح برای جریان‌های با نرخ جریان فلر بیشتر از ۰,۸ کیلوگرم بر ثانیه است. در پژوهش انجام شده توسط لاوال[2] و همکاران (۲۰۱۷) در شرکت کاوش و توسعه نفت نیجریه، موضوع ذخیره‌سازی گازهای همراه در مخازن نفت، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش حاکی از این است که براساس شاخص‌های فنی و اقتصادی بررسی شده، ذخیره‌سازی گازهای همراه در مخازن دست‌نخورده بهترین راه حل امکان‌پذیر برای حفظ آن‌ها است.

توجه به شاخص‌های توسعه پایدار در کنار توسعه اقتصادی امروزه در مطالعات مختلفی انجام شده است. خوشنویس و پژویان (۱۳۹۵)، اثر آلودگی محیط‌زیست بر امید به زندگی به‌عنوان مهم‌ترین عامل توسعه در ذیل توسعه پایدار را مورد بررسی قرار دادند. ضرغامی و همکاران (۱۳۹۹)، اجرای بازاریابی دوستدار محیط‌زیست به‌عنوان محرک توسعه پایدار در صنعت نفت را مطالعه نمودند.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، پژوهش‌های زیادی در رابطه با فناوری‌های بازیافت فلرینگ انجام شده و امکان‌سنجی فنی- اقتصادی بازیافت گازهای فلر به‌خوبی صورت پذیرفته است. اما نکته‌ای که به آن توجه نشده است، ترکیب بهینه فناوری‌هاست که مستلزم بررسی مسئله از دیدگاه کلان می‌باشد. همچنین در هیچ یک از این پژوهش‌ها، ارزیابی جامع از پتانسیل جمع‌آوری گازهای فلر در یک منطقه با چندین برج مشعل و نیز توسعه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه جامع برای انتخاب بهترین فناوری یا مکانیسم برای به صفر رساندن حجم گازهای ارسالی به فلر، انجام نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر سعی شده با درنظرگرفتن یک منطقه در جنوب ایران که در آن از پنج چاه نفت مختلف، گازهای ارسالی به فلر وجود دارد، یک بررسی سیستماتیک با مدل‌سازی فناوری‌های موجود با رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه شامل کمترین زمان بازگشت سرمایه (اقتصادی)، حداکثر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن (محیط‌زیستی) و اهداف توسعه پایدار انجام شود.

1. Heidari
2. Kazeem A.Lawal

www.SID.ir

Archive of SID

۴- مدل‌سازی

مدل مفهومی فناوری‌های بازیافت گازهای مشعل

به‌منظور استفاده از فناوری‌های بازیافت گازهای همراه، ابتدا باید زنجیره تولید و دستیابی به محصولات قابل فروش از گازهای همراه توسط هریک از فناوری‌ها مشخص شود. به‌علت وجود ناخالصی‌های گوگردی و مایعات ارزشمند در گازهای همراه، در این پژوهش برای تمام راهکارهای فوق فرض بر این است که ابتدا باید گازهای همراه وارد یک واحد NGL[1] شود تا پیش‌تصفیه و جداسازی مواد ارزشمند از گازهای همراه انجام گردد. به‌منظور بازیابی و کاهش میزان گازهای همراه ارسالی به سامانه فلرینگ، فناوری‌های متفاوتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این فناوری‌ها و مکانیزم‌ها عبارت‌اند از پالایش و شیرین‌سازی گازهای همراه (NGL) و ارسال گاز خشک به خط لوله، تولید گاز طبیعی مایع (ال‌ان‌جی[2])، فناوری تبدیل گاز به مایع (GTL[3])، ازدیاد برداشت از مخازن نفتی (EOR)، تولید برق در محل برداشت از مخزن، تولید برق در نیروگاه، تولید آب شیرین با روش MED[4]، فشرده‌سازی گاز طبیعی و تبدیل گاز طبیعی به هیدرات. از میان روش‌های موجود، برحسب اینکه حجم گازهای مشعل چه میزان است و در چه مکان جغرافیایی در حال سوزانده شدن است، می‌توان با برآورد فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی از فناوری‌ها، یکی یا چند از آن‌ها را انتخاب نمود.

مدل بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری

در بازیابی گازهای مشعل می‌بایست براساس داده‌هایی مانند مشخصات ترمودینامیکی و ترکیب شیمیایی گاز، مشخصات جغرافیایی سایت، نیازمندی‌های انرژی، راهبردهای امنیت انرژی و زیست‌محیطی، شاخص‌های اجتماعی مانند اشتغال‌زایی و... ترکیب فناوری مناسب را انتخاب نمود. لذا در این تحقیق مقرر است، با روش‌هایی مبتنی بر علوم تصمیم‌گیری، مدلی جامع توسعه یابد که بتواند، به‌منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار، به تمامی شاخص‌های فوق بر اساس اهمیت معیارهای تأثیرگذار، وزن مناسب داده و ما را به بهترین تصمیم رهنمون سازد. تعدد پارامترهای

1. NGL, Natural Gas Liquids
2. LNG, Liquified Natural Gas
3. GTL, Gas to Liquid
4. MED, Multi Effect Disalination

www.SID.ir

Archive of SID

تصمیم‌گیری و دینامیک بودن برخی از آنها به پیچیدگی موضوع می‌افزاید؛ بنابراین در پژوهش حاضر از یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه برای تصمیم‌سازی استفاده شده است.

در مدل بهینه‌سازی چندهدفه جواب حاصل از مدل به‌صورت یک جبهه جواب بهینه است که اصطلاحاً جبهه پارتو[1] نامیده می‌شود. به این ترتیب نتایج حاصل از حل مدل، مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه می‌باشد و لازم است که فرآیند تصمیم سازی برای انتخاب جواب بهینه از جواب‌های موجود در جبهه پارتو انجام شود. در بین روش‌های بهینه‌سازی، روش الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت، از تکامل یافته‌ترین روش‌ها با متغیرهای گسسته به‌شمار می‌رود. اصول اولیه این الگوریتم توسط هلند[2] و همکارانش (۱۹۷۵) در دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۶۲ ارائه شد. این الگوریتم به‌طور خاص برای بهینه‌سازی مسائل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته که روش‌های دقیق قادر به یافتن حل آن نیستند، مناسب است (طهماسب زاده[3] و صیادی، ۲۰۱۶). در این پژوهش از الگوریتم ان‌اس‌جی‌ای۲[4] برای بهینه‌سازی چندهدفه استفاده شده است. الگوریتم ان‌اس‌جی‌ای۲ بهبود یافته الگوریتم NSGA است که پیشتر توسط دب[5] و همکارانش (۲۰۰۲) ارائه شده بود.

انتخاب متغیرهای تصمیم و محدودیت متغیرها

با توجه به اینکه گازهای همراه ابتدا باید به واحد NGL فرستاده و پالایش شوند، خروجی‌های متان و اتان واحد NGL که در واقع ورودی فناوری‌های مختلف هستند به‌عنوان متغیرهای تصمیم درنظرگرفته شده‌اند. به این ترتیب تمامی متغیرهای تصمیم در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است، تمام پارامترهای ارائه شده، براساس درصد گاز خروجی از واحد NGL است. به این ترتیب حد بالا و پایین این متغیرها بین ۰ تا ۱۰۰ است.

هم‌چنین محدودیت‌هایی برای برخی متغیرهای تصمیم وجود دارد که در مدل بازیابی گازهای مشعل باید اعمال شود. روابط ارائه شده در معادله‌های (۱) و (۲) به‌عنوان محدودیت برای متغیرها در مدل‌سازی استفاده شده است.

1. Pareto frontier
2. Holland
3. Tahmasebzadehbaie and Sayyaad
4. NSGAII
5. Deb

www.SID.ir

Archive of SID

$$X_{inj} + X_{pp,gt} + X_{pp,sc} + X_{pp,cc} + X_{sb} + X_{GTL} + X_{LNG} + X_{CNG} + X_{NGH} + X_{selling} = 1 \quad (۱)$$

$$0 \leq X_{HRSG,LP} \leq 1 \quad (۲)$$

هم‌چنین بعضی از فناوری‌ها از لحاظ فنی دارایی محدودیت‌هایی هستند که در روابط (۳) و (۴) ارائه شده است (شیرمحمدی[1] و صیادی، ۲۰۰۷).

$$V_{gas} \text{ to LNG plant} = 0 \text{ or} \geq 10000 \ \frac{m^3}{day} \quad (۳)$$

$$V_{gas} \text{ to GTL plant} = 0 \text{ or} \geq 5000 \ \frac{m^3}{day} \quad (۴)$$

با توجه به اینکه محدودیت ظرفیت برای بعضی از فناوری‌ها وجود دارد، در صورت کمبود گازهای مشعل به‌عنوان خوراک مورد نیاز فناوری، از ظرفیت گاز خط لوله برای تأمین تقاضا در سناریوی پایه استفاده شده است.

جدول ۱. متغیرهای تصمیم مربوط به گازهای مشعل هر چاه نفت

پارامتر	توضیح
X_{inj}	سهم گاز برای تزریق به چاه
$X_{pp,gt}$	سهم گاز برای تولید برق در نیروگاه با استفاده از توربین گاز
$X_{pp,sc}$	سهم گاز برای تولید برق در نیروگاه چرخه بخار
$X_{pp,cc}$	سهم گاز برای تولید برق در نیروگاه چرخه ترکیبی
X_{sb}	سهم گاز برای تولید بخار در بویلر
X_{GTL}	سهم گاز به‌عنوان خوراک پالایشگاه GTL
X_{LNG}	سهم گاز به‌عنوان خوراک پالایشگاه LNG
X_{CNG}	سهم گاز برای تولید CNG
X_{NGH}	سهم گاز برای تولید هیدرات گازی
$X_{selling}$	سهم گاز برای تزریق به خط لوله سراسری
$X_{HRSG,\ LP}$	سهم بازیافت حرارت از گازهای احتراق توربین گاز با استفاده از بویلر بازیاب حرارت

منبع: یافته‌های تحقیق

1. Shirmohammadi

www.SID.ir

Archive of SID

توابع هدف کمّی

دو تابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی در مدل توسعه یافته در نظر گرفته شده است. تابع هدف اقتصادی براساس مدت زمان بازگشت سرمایه مطابق مدل‌سازی اقتصادی TRR است که در ادامه در بخش مدل‌سازی و تحلیل اقتصادی ارائه شده است. تابع هدف کمّی دوم نیز به‌صورت مقدار کاهش آلایندگی ناشی از فلرینگ در صورت استفاده از فناوری‌های بازیافت می‌باشد که مطابق مدل زیست‌محیطی ارائه شده در بخش‌های آتی است.

تابع هدف اقتصادی

در این پژوهش مدل اقتصادی به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول مربوط به فناوری‌های بازیافت گازهای فلر و بخش دوم مربوط به پارامترهای خارجی اثرگذار بر فناوری‌های بازیافت می‌باشد. بعضی از محصولاتی که طی فرآیند بازیافت گازهای ارسالی به فلر توسط فناوری‌های مختلف تولید می‌شود، تابع قیمت‌های جهانی نفت و بعضی دیگر تابع قیمت‌های بازار داخلی است. به این ترتیب در پژوهش حاضر، قیمت نفت خام ۵۰ دلار به ازاء هر بشکه و قیمت گاز فلر ۳ سنت به ازاء هر مترمکعب در نظر گرفته شده است (شیرمحمدی و صیادی، ۲۰۰۷). هم‌چنین قیمت درنظرگرفته شده در مدل تصمیم سازی برای سایر محصولات قابل تولید از بازیافت گازهای فلر در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. قیمت در نظر گرفته شده برای حامل‌های انرژی در مدل تصمیم سازی بازیافت گازهای فلر

حامل انرژی	واحد	قیمت
نفت خام	$\frac{\$}{\text{barrel}}$	۵۰
برق	$\frac{\$}{\text{kWh}}$	۰/۰۶
گاز طبیعی (سوخت)	$\frac{\$}{\text{m}^3}$	۰/۰۱۲۵
آب شیرین	$\frac{\$}{\text{m}^3}$	۲/۳۳

www.SID.ir

Archive of SID

حامل انرژی	واحد	قیمت
اتان	$\frac{\$}{m^3}$	۰/۱
ال‌پی‌جی	$\frac{\$}{Ton}$	۳۴۲
بنزین	$\frac{\$}{Ton}$	۴۶۷
نفتا	$\frac{\$}{Ton}$	۴۰۵
میعانات گازی	$\frac{\$}{Ton}$	۴۹۶
ال‌ان‌جی	$\frac{\$}{Ton}$	۴۱۵
هیدرات گازی	$\frac{\$}{Ton}$	۳۰۰
سی‌ان‌جی	$\frac{\$}{Ton}$	۸۰
بخار	$\frac{\$}{Ton}$	۱۵/۰۲
گازهای ارسالی به فلر	$\frac{\$}{Nm^3}$	۰/۰۳

منبع: شیرمحمدی و صیادی، ۲۰۰۷

بازگشت سرمایه به‌عنوان یکی از توابع هدف در مدل‌سازی، براساس سرمایه‌گذاری اولیه و مقدار سوددهی حاصل از فروش هر یکی از محصولات، طبق رابطه (۵) درنظرگرفته شده است (طهماسب زاده و همکاران، ۲۰۱۷).

$$t_{pb} = \frac{\left[\frac{1-k}{k(1-k^{BL})}\right]\left[\sum_{j=1}^{BL}\frac{TRR_j}{(1+i_{eff})^j}\right]}{\text{Annual Profit}} \qquad (۵)$$

پارامترهای استفاده شده در رابطه (۵) عبارتند از:

TRR_j: کل سود لازم در j امین سال بهره‌برداری از فناوری

BL: طول عمر بهره‌برداری از سامانه (که ۱۵ سال درنظرگرفته می‌شود)

t_{pb}: مدت زمان بازگشت سرمایه برحسب سال

i_{eff}: نرخ بهره مؤثر

www.SID.ir

Archive of SID

نرخ بهره مؤثر در رابطه (۵)، از رابطه (۶) به‌دست می‌آید:

$$i_{eff} = e^{i} - 1 \quad (۶)$$

پارامتر i در رابطه (۶)، نرخ بهره پولی است که در این پژوهش برای ایران، ۰/۱ در نظر گرفته شده است. پارامتر k در رابطه (۵)، از رابطه (۷) به‌دست می‌آید:

$$k = \frac{1 + r_i}{1 + i_{eff}} \quad (۷)$$

پارامتر r_i در رابطه (۷)، نرخ تورم است که در این مطالعه برای ایران ۰/۱۶ درنظرگرفته شده است. در رابطه (۵)، کل سود لازم در j امین سال بهره‌برداری از فناوری (TRR_j)، از رابطه (۸) به‌دست می‌آید:

$$TRR_j = \frac{CI_j}{BL} \quad (۸)$$

در رابطه (۸)، پارامتر CI، عبارت است از سرمایه‌گذاری لازم برای فناوری. با مطالعه مقالات مختلف و بررسی داده‌های کتابخانه‌ای، هزینه‌های مرتبط با سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری هریک از فناوری‌های بازیابی گازهای مشعل استخراج شده است که در جدول ۲ شده است.

تابع هدف زیست‌محیطی

به‌طور مشابه با مدل اقتصادی، مدل انتشار نیز متشکل از دو بخش است. بخش اول مرتبط با فناوری‌های بازیافت گاز مشعل و بخش دوم مرتبط با محاسبه مقدار انتشار آلاینده‌های ناشی از فلرینگ است. پارامترهای مهم مربوط به آلایندگی و انتشار برای توسعه مدل تصمیم سازی در رابطه با فناوری‌های بازیافت گازهای ارسالی به فلر که به‌عنوان ورودی به مدل درنظرگرفته شده‌اند، در جدول ۳ ارائه شده است.

www.SID.ir

جدول ۳. پارامترهای فنی و اقتصادی فناوری‌های بازیافت گازهای ارسالی به مشعل

فناوری	مقیاس	مشخصات فنی		مشخصات اقتصادی		
		خوراک	بازده/ضریب تبدیل	هزینه سرمایه‌گذاری	هزینه بهره‌برداری	هزینه‌های متغیر بهره‌برداری
پالایشگاه ان‌جی‌ال	ساحل	گاز همراه	–	۷۴ ($/m³day)	۳/۷ ($/m³day)	–
	فراساحل	گاز همراه	–	۸۳/۶ ($/m³day)	۴/۱۸ ($/m³day)	–
نیروگاه گازی	کمتر از ۳/۵ MW	گاز طبیعی و گاز همراه	۲۴ درصد	۸۱۷۰۰۰ ($/MW)	۹ ($/MW year)	۳/۶ ($/MWh)
	کمتر از ۱۰ MW	گاز طبیعی و گاز همراه	۲۸/۹ درصد	۶۱۸۰۰۰ ($/MW)	۸/۹ ($/MW year)	۳/۱ ($/MWh)
	کمتر از ۲۱ MW	گاز طبیعی و گاز همراه	۳۳/۲۵ درصد	۶۶۳۰۰۰ ($/MW)	۶/۲ ($/MW year)	۳/۱ ($/MWh)
	بیشتر از ۲۱ MW	گاز طبیعی و گاز همراه	۳۵/۹۷ درصد	۵۶۳۰۰۰ ($/MW)	۶/۲ ($/MW year)	۳ ($/MWh)
نیروگاه بخار	–	گاز طبیعی و گاز همراه	۴۸ درصد	۳۷۰۰۰۰۰ ($/MW)	۴ ($/MW year)	۴ ($/MWh)
نیروگاه چرخه ترکیبی	–	گاز طبیعی و گاز همراه	۶۰ درصد	۲۱۰۰۰۰۰ ($/MW)	۵ ($/MW year)	۵ ($/MWh)
جی‌تی‌ال	کمتر از ۱۰۰۰۰ bbl/day	گاز طبیعی	۳۲۲ (m^3 gas / 1 bbl)	۴۰۰۰۰ ($/bbl)	۱۶۰۰ ($/bbl.year)	۶ ($/bbl.year)
	کمتر از ۳۵۰۰۰ bbl/day	گاز طبیعی		۲۵۰۰۰–۴۰۰۰۰ ($/bbl)	۱۰۰۰–۱۶۰۰ ($/bbl.year)	۶ ($/bbl.year)
	بیشتر از ۳۵۰۰۰ bbl/day	گاز طبیعی		۱۹۷۰۰–۲۵۰۰۰ ($/bbl)	۷۸۸–۱۰۰۰ ($/bbl.year)	۶ ($/bbl.year)
ال‌ان‌جی مقیاس کوچک	کمتر از ۰/۴ Mton/year	گاز طبیعی	۰/۴۷ – ۰/۴۲ (ton/m^3)	۴۲۰ ($/ton year)	۹/۸۱ ($/ton year)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری
ال‌ان‌جی مقیاس بزرگ	بیشتر از ۰/۴ Mton/year	گاز طبیعی	۰/۴۷ – ۰/۴۲ (ton/m^3)	۸۸۰ ($/ton year)	۹/۸۱ ($/ton year)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری
کارخانه ان‌جی‌اچ	کمتر از ۰/۴ Mton/year	گاز طبیعی	۰/۹ (ton/m^3water)	۳۲۰ ($/ton year)	۷/۳۶ ($/ton year)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری
	بیشتر از ۰/۴ Mton/year	گاز طبیعی	۰/۹ (ton/m^3water)	۶۸۰ ($/ton year)	۷/۳۶ ($/ton year)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری
سی‌ان‌جی	کمتر از ۱ Mton/year	گاز طبیعی و گاز همراه	۰/۲۵ – ۰/۲۰ (ton/m^3)	۱۰۶ ($/$m^3$day)	۵/۳ ($/$m^3$day)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری
تزریق به چاه	–	گاز طبیعی و گاز همراه	۱۸۹ (m^3 gas / 1 bbl oil)	۱۳/۱۹ ($/$m^3$day)	۵ درصد هزینه سرمایه‌گذاری	
تزریق به خط لوله	–	گاز طبیعی	۱۰۰ درصد	۱۵۰۰۰۰۰ ($/km)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری	
تولید بخار در بویلر	–	گاز طبیعی و گاز همراه	۹۰ درصد	۱۵۰۰۰ ($/ton hours)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری	
بویلر بازیاب حرارت	–	حرارت گازهای داغ	–	۴۵۹۰۰ ($/ton hours)	۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری	
شیرین‌سازی آب	–	بخار	۱۷/۹ (kW/m^3water)	۱۴۰۰ ($/$m^3$day)	۰/۱۴ ($/$m^3$day)	

منبع: (کفرودی و همکاران، ۲۰۱۶) (سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا[۱]، ۲۰۱۴) (هیمل[۱] و لاو، ۲۰۰۹) (کاندا[۱]، ۲۰۰۶) (برتنوسکا[۱]، ۲۰۰۹) (دشپنده[۱]، ۲۰۰۴) (ای‌تی‌اس‌ای‌پی[۱]، ۲۰۱۰) (طهماسب زاده و همکاران، ۲۰۱۷)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. پارامترهای زیست‌محیطی فناوری‌های بازیافت گازهای ارسالی به مشعل

فناوری	مقیاس	مشخصات زیست‌محیطی
		CO_2
پالایشگاه NGL	ساحل	۰/۰۹ ($\frac{kg}{m^3 gas\ refining}$)
	فراساحل	
نیروگاه گازی	کمتر از ۳/۵ MW	۱/۸ ($\frac{kg}{m^3 NG\ consumption}$)
	کمتر از ۱۰ MW	
	کمتر از ۲۱ MW	
	بیشتر از ۲۱ MW	
نیروگاه بخار	-	
نیروگاه چرخه ترکیبی	-	
GTL	کمتر از ۱۰۰۰۰ $\frac{bbl}{day}$	۱۴۱/۳۶ ($\frac{kg}{bbl\ GTL}$)
	کمتر از ۳۵۰۰۰ $\frac{bbl}{day}$	
	بیشتر از ۳۵۰۰۰ $\frac{bbl}{day}$	
LNG	کمتر از ۰/۴ $\frac{Mton}{year}$	۳۷۰ ($\frac{kg}{ton\ LNG}$)
	بیشتر از ۰/۴ $\frac{Mton}{year}$	۳۷۰ ($\frac{kg}{ton\ LNG}$)
کارخانه NGH	کمتر از ۰/۴ $\frac{Mton}{year}$	۷۴۰ ($\frac{kg}{ton\ NGH}$)
	بیشتر از ۰/۴ $\frac{Mton}{year}$	۷۴۰ ($\frac{kg}{ton\ NGH}$)
CNG	کمتر از ۱ $\frac{Mton}{year}$	۱۸۵ ($\frac{kg}{ton\ CNG}$)
تزریق به چاه	-	۱۵ (کیلووات ساعت مصرف برق)
تزریق به خط لوله	-	۰
تولید بخار در بویلر	-	۱/۸ ($\frac{kg}{m^3 NG\ consumption}$)
بویلر بازیاب حرارت	-	۰
شیرین‌سازی آب	-	۰

منبع: (کفرودی و همکاران، ۲۰۱۶) (سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا، ۲۰۱۴) (هیمل و لاو، ۲۰۰۹) (کاندا، ۲۰۰۶) (برتنوسکا، ۲۰۰۹) (دشپنده، ۲۰۰۴) (ای‌تی‌اس‌ای‌پی[1]، ۲۰۱۰) (طهماسب زاده و همکاران، ۲۰۱۷).

1. ENERGY TECHNOLOGY SYSTEM ANALYSIS PROGRAMME (ETSAP)

www.SID.ir

Archive of SID

برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از فلرینگ، چندین پژوهش انجام شده است. این منظور در این پژوهش از رابطه (۹) استفاده شده است (طهماسب‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷).

$$E_i = \sum_{n=1}^{N} \left((Q_n) \times [1 - (f_{H_2O})_n] \times \left(\frac{T_0}{T_n}\right) \times \left(\frac{P_n}{P_0}\right) \times K_{eff} \times \frac{(C_{I,n} \times PMN_{I,n})}{100\,\%} \times \frac{MW_i}{MVC} \times K \right) \quad (۹)$$

پارامترهای ارائه شده در رابطه (۹) عبارتند از:

E_i: میزان انتشار آلاینده i برحسب تن در دوره اندازه‌گیری

N: تعداد دفعات اندازه‌گیری

n: شاخص اندازه‌گیری دوره

Q_n: حجم گاز فلر شده در مدت اندازه‌گیری دوره n^{th}

$(f_{H_2O})_n$: میزان رطوبت گاز خروجی در مدت اندازه‌گیری دوره n^{th}

T_0: دمای استاندارد (528 ° R or 520 ° R)

T_n: دما در شرایط اندازه‌گیری در مدت اندازه‌گیری دوره n^{th} بر حسب (° R)

P_0: میانگین فشار استاندارد (1 atm)

P_n: میانگین فشار اندازه‌گیری شده جریان در مدت اندازه‌گیری دوره n^{th} برحسب (atm)

K_{eff}: ضریب بازده احتراق فلرینگ برای تولید آلاینده‌ها

$C_{i,n}$: غلظت آلاینده i در مدت اندازه‌گیری دوره n^{th} (بر حسب درصد حجم خشک)

$PMN_{i,n}$: نسبت استیوکیومتری یونیزاسیون

MW_i: وزن مولکولی آلاینده i (kg/ kmol)

MVC: ضریب انتقال حجم مولی در شرایط استاندارد (۸۳۶/۶ scf/kmol)

K: ضریب تبدیل (۰/۰۰۱۱۰۲۳ US tones/ kg)

با محاسبه مقدار آلاینده تولید شده در فرآیند فلرینگ، می‌توان مقدار کاهش تولید این آلاینده‌ها را با استفاده از فناوری‌های بازیافت گازهای مشعل، به‌عنوان یکی از اهداف در مدل‌سازی درنظرگرفت.

تابع هدف کیفی و تصمیم‌سازی

تابع هدف کیفی براساس پرسشنامه بررسی فناوری‌های بازیابی گازهای مشعل مبتنی بر اهداف کیفی به کمک نظرات متخصصین امر، صورت می‌گیرد. نحوه کار به این صورت است که بر اساس چندین هدف کیفی که در بررسی و نتیجه‌گیری چگونگی

www.SID.ir

Archive of SID

بازیافت گازهای مشعل مؤثر است، یک تابع هدف کیفی استخراج خواهد شد که در کنار توابع هدف کمّی اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی، ملاک تصمیم‌سازی نهایی در ارزیابی فناوری‌های تبدیل انرژی به‌منظور بازیابی و حذف گازهای مشعل خواهد شد. یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مورد بررسی در تحقیق پیش‌رو، اهداف کیفی و وزن‌دهی به اهداف در قالب روش تصمیم‌سازی سلسله مراتبی است. در واقع باید اهداف کیفی به توابع کمّی در مدل تبدیل شده تا بتوان در قیاس با توابع کمّی اقتصادی و زیست‌محیطی قابل مقایسه باشد. معیارهای کیفی برای بررسی فناوری‌های مورد بررسی و جداول مربوط به امتیازدهی به شرح زیر است:

- مطابقت با قوانین داخلی و اهداف چشم‌اندازهای توسعه کشور
- میزان اشتغال‌زایی ناشی از به‌کارگیری فناوری
- امکان استفاده از فناوری به‌صورت عملی (تأثیر تحریم‌ها بر فناوری‌ها و بومی بودن برخی دیگر از فناوری‌ها)
- امکان بومی‌سازی فناوری و دستیابی به بازارهای جدید در کشور
- دسترسی به بازار هدف محصولات تولیدی ناشی از به‌کارگیری فناوری‌ها
- امکان جذب سرمایه‌ی خارجی در به‌کارگیری فناوری

با امتیازدهی معیارهای کیفی با کمک پرسشنامه و نظرات متخصصین و سپس مقایسه سلسله مراتبی فناوری‌ها در هر یک از معیارها، مدل کمی سازی توابع کیفی حاصل شده و در نرم‌افزار متلب کدنویسی شد. در بخش نتایج نحوه چگونگی تأثیر چنین مدلی در تعیین جواب‌های بهینه توضیح داده شده است. محاسبه میزان ناسازگاری پارامترهای تصمیم‌سازی این پژوهش نشان‌دهنده میزان قابل اتکا بودن نظرات خبرگان و کارشناسانی است که از نظرات آن‌ها در فرآیند تصمیم‌سازی استفاده شده است. در مدل توسعه یافته در این پژوهش از روش‌های تصمیم سازی تاپسیس و سلسله مراتبی[1] استفاده شده است. مدل‌سازی روش‌های تصمیم‌سازی و نحوه افزودن آن به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری در یافتن بهینه‌ترین پاسخ‌ها برای انتخاب فناوری‌های بازیابی گازهای مشعل یکی از مهم‌ترین اجزای مدل در تحقیق پیش‌رو است.

مشخصات میدان‌های نفتی مورد مطالعه

در این پژوهش، فلر گازهای همراه ۵ حلقه چاه نفت نزدیک به هم در یک منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات گازهای همراه ارسالی به فلر در این ۵ حلقه

1. Analytical Hierarchy Process

www.SID.ir

Archive of SID

چاه در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، گازهای همراه مشعل از هر چاه دارای حجم و ترکیبات متفاوت است. به این ترتیب با استفاده از مدل بهینه‌سازی، می‌توان بهترین راه بازیافت گازهای همراه ارسالی به فلر را در یک منطقه با حجم گاز و ترکیبات متفاوت، تعیین کرد.

جدول ۴. مشخصات گازهای همراه ارسالی به فلر در حلقه چاه‌های مورد مطالعه

مشخصات گاز		میدان اول	میدان دوم	میدان سوم	میدان چهارم	میدان پنجم
حجم (MMSCM/D)		۰/۱۹۸	۰/۲۲۷	۰/۴۲۵	۰/۰۵۷	۰/۲۸۳
دما (°C)		۴۰	۴۰	۵۵	۴۵	۴۰
فشار (psig)		۱	۱	۱	۱	۱
C_1	درصد ترکیبات گاز	۸۳/۴۲	۸۰/۹۸	۶۰/۵۲	۶۲/۰۸	۵۸/۲۴
C_2		۹/۳۴	۱۱/۷۵	۱۵/۶۵	۲۱/۱	۲۲/۲۱
C_3		۴	۴/۲۸	۷/۳۸	۱۰/۴	۱۲/۱۸
iC_4		۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۶۳	۱/۱۴	۱/۴۵
nC_4		۰/۸۸	۱/۱	۱/۵۵	۲/۷۷	۳/۵۲
iC_5		۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۵۹	۰/۷۸
nC_5		۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۶	۰/۷۹
nC_6		۰/۱	۰/۲	۱	۰/۱	۰/۱
C_7+		۱	۰/۵	۱۰	۰/۸	۰/۳۸
N_2		۰/۱	۰	۰/۴	۰/۱۳	۰/۱
CO_2		۰/۱	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱
H_2O		۰/۱	۰/۰۵	۲	۰/۰۲	۰/۱
H_2		۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۰۵
H_2S (ppm)		nil	nil	nil	nil	nil
کل		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

منبع: مدیریت سرمایه‌گذاری و کسب و کار شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۷

با فرض تأمین برق مورد نیاز چاه‌های نفت مورد مطالعه توسط فناوری‌های بازیافت گازهای مشعل، مقدار برق مورد نیاز برای تولید هر بشکه نفت در ایران، ۱۵ کیلووات ساعت و میزان شدت فلرینگ (مترمکعب گاز فلر شده به ازاء هر بشکه نفت خام تولید

www.SID.ir

Archive of SID

شده) در ایران ۱۰/۹ مترمکعب به ازاء هر بشکه نفت است (وهاب‌پور[1] و همکاران، ۲۰۱۸). به این ترتیب مقدار برق مورد نیاز برای هر چاه نفت مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است.

به این ترتیب برای تولید برق، در مدل قید ارائه شده در رابطه (۱۰) باید درنظرگرفته شود. با این ترتیب با مشخص شدن متغیرها، قیدها و توابع هدف مدل، پارامترهای مدل‌سازی و رهیافت آن مشخص شده است.

$$\text{electricity production} \geq 1637.6\frac{\text{MWhr}}{\text{day}} * 330\ \text{day} = 540408\frac{\text{MWhr}}{\text{year}} \qquad (۱۰)$$

جدول ۵. برق مورد نیاز در چاه‌های نفت مورد مطالعه

	چاه اول	چاه دوم	چاه سوم	چاه چهارم	چاه پنجم	مجموع
حجم فلر ($MMSCM.day^{-1}$)	۰/۱۹۸	۰/۲۲۷	۰/۴۲۵	۰/۰۵۷	۰/۲۸۳	۱/۱۹
تولید نفت ($bbl.day^{-1}$)	۱۸۱۶۵	۲۰۸۲۵	۳۸۹۹۰	۵۲۲۹	۲۵۹۶۳	۱۰۹۱۷۰
تقاضای برق ($MWhr.day^{-1}$)	۲۷۲/۵	۳۱۲/۴	۵۸۴/۹	۷۸/۴	۳۸۹/۴	۱۶۳۷/۶

منبع: یافته‌های تحقیق

۵- نتایج حاصل از مدل و تحلیل داده‌ها

از آنجا که در تحقیق پیش رو هدف توسعه مدل بهینه چندهدفه به‌منظور ارزیابی فناوری‌های بازیابی گازهای مشعل با روش‌های تصمیم‌سازی پیشرفته است، سعی بر آن بود تا ارزیابی فناوری‌ها با اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و شاخص‌های توسعه پایدار صورت پذیرد؛ بنابراین نوع داده‌های تحقیق، شامل داده‌های کمّی و کیفی است. داده‌های کمّی، اطلاعات استخراج شده از منابع مطالعاتی، مدل‌سازی و نتایج خروجی حاصل از مدل است، اما داده‌های کیفی، مرتبط با امتیازدهی به معیارهای مشخص شده در هدف توسعه پایدار است. نهایتاً، تمام داده‌ها کمّی‌سازی و مقایسه‌پذیر شد تا موفقیت مدل در دستیابی به هریک از اهداف از پیش تعیین شده برآورد گردد.

در این تحقیق ابتدا بررسی‌های مرتبط با هریک از فناوری‌ها به‌صورت جامع صورت پذیرفت و اطلاعات ورودی مدل اعم از اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و شاخص‌های کیفی تعیین‌شده در توسعه پایدار استخراج و به‌عنوان ورودی مدل که تحت نرم‌افزار

1. VAHABPOUR

www.SID.ir

Archive of SID

متلب توسعه داده شده، استفاده گردید. سپس با مدل‌سازی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی هریک از فناوری‌ها در توابع جداگانه، مدل اولیه برای ارزیابی مجزای هریک از فناوری‌ها حاصل شد. نهایتاً با نوشتن کدهای الگوریتم ژنتیک و مدل‌های تصمیم‌سازی در توابع مختص به خود در نرم‌افزار متلب و افزودن آن به مدل اولیه، مدل بهینه چندهدفه موردنظر در تحقیق نهایی‌سازی شد. معیارهای اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی بر اساس آخرین نتایج حاصل شده در مطالعات بین‌المللی استخراج شده است و ملاک اصلی در استفاده از داده‌های موجود، داده‌های عملی و اجرایی بوده است؛ اما در مورد معیارهای کیفی این موضوع بر اساس شرایط کشور و اسناد بالادستی و اهداف سیاست‌گذاری کشور انتخاب شده است. در واقع این معیارها انتخابی است و نحوه امتیازدهی به این معیارها نیز برحسب نظر متخصصین استخراج شده است.

در این بخش تابع هدف کیفی با توضیحات و امتیازدهی بیان شده در بخش‌های قبلی، به‌عنوان تابع هدف سوم به توابع هدف قبلی افزوده شده است. با توجه به ملاک تصمیم‌سازی سلسله مراتبی و محاسبات انجام شده در این روش، نتایج نهایی وزن دهی فناوری‌ها بر اساس معیارهای کیفی محاسبه شده است. جدول ۶ ماتریس وزن معیارهای کیفی و جدول ۷ ماتریس وزن فناوری‌ها به معیارهای کیفی را نشان می‌دهد. در حالتی‌که تنها تابع هدف کیفی مدنظر باشد، امتیاز نهایی هریک از فناوری‌ها با توجه به امتیازدهی متخصصین و بر حسب شرایط کشور ایران، مطابق جدول ۸ است. همان‌طور که از جدول ۸ مشخص است، تولید آب و برق از بازیافت گازهای فلر، در اولویت معیارهای کیفی هستند.

جدول ۶. ماتریس وزن معیارهای کیفی

معیار کیفی	وزن
معیار کیفی ۱: مطابقت با قوانین داخلی و اهداف چشم‌اندازهای توسعه کشور	۰/۰۵۸۴۳
معیار کیفی ۲: میزان اشتغال‌زایی ناشی از به‌کارگیری فناوری	۰/۲۳۲۴۳
معیار کیفی ۳: امکان استفاده از فناوری به‌صورت عملی (تأثیر تحریم‌ها در ورود برخی فناوری‌ها و بومی بودن برخی دیگر از فناوری‌ها)	۰/۱۰۵۶۸
معیار کیفی ۴: امکان بومی‌سازی فناوری و دستیابی به بازارهای جدید در کشور	۰/۱۰۵۶۸
معیار کیفی ۵: دسترسی به بازار هدف محصولات تولیدی ناشی از به‌کارگیری فناوری‌ها	۰/۴۶۱۶۴
معیار کیفی ۶: امکان جذب سرمایه‌ی خارجی در به‌کارگیری فناوری	۰/۰۳۶۱۳

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. ماتریس وزن فناوری‌ها به معیارهای کیفی منتخب

	معیار کیفی ۱	معیار کیفی ۲	معیار کیفی ۳	معیار کیفی ۴	معیار کیفی ۵	معیار کیفی ۶
LNG/FLNG	۰/۲۸۶۱۱	۰/۱۰۵۵۷	۰/۰۳۲۶۱	۰/۳۶۰۵۶	۰/۰۲۵۵۴	۰/۳۱۵۸۹
CNG	۰/۱۶۸۲۰	۰/۰۹۵۷۹	۰/۰۷۹۳۸	۰/۱۲۸۱۷	۰/۰۵۷۲۷	۰/۱۱۹۶۸
NGH	۰/۰۲۰۷۸	۰/۰۷۹۱۳	۰/۰۱۸۵۲	۰/۱۲۱۰۶	۰/۰۱۷۷۶	۰/۱۴۰۸۷
تولید برق توربین گاز و سیکل ترکیبی	۰/۰۵۱۲۱	۰/۲۸۴۶۲	۰/۲۶۹۵۹	۰/۰۲۳۵۰	۰/۲۶۶۱۸	۰/۰۳۹۸۴
تولید آب	۰/۳۰۰۹۵	۰/۲۶۸۴۷	۰/۱۶۶۳۴	۰/۰۵۳۹۵	۰/۲۶۶۱۸	۰/۰۶۰۵۸
تزریق به چاه	۰/۰۷۵۲۹	۰/۰۳۰۴۳	۰/۱۱۵۰۴	۰/۰۴۵۹۵	۰/۰۷۲۶۵	۰/۰۱۸۰۲
GTL	۰/۰۷۳۶۲	۰/۱۰۴۵۵	۰/۰۲۹۳۹	۰/۲۴۴۷۷	۰/۱۱۰۳۳	۰/۲۷۰۱۱
تزریق به خط لوله	۰/۰۲۳۸۴	۰/۰۳۱۴۴	۰/۲۸۹۱۳	۰/۰۲۲۰۴	۰/۱۸۴۰۸	۰/۰۳۵۰۲

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۸. امتیاز نهایی هریک از فناوری‌ها بر حسب تابع هدف کیفی با معیارهای مشخص

فناوری	امتیاز	رتبه
LNG/FLNG	۰/۱۰۶	۵
CNG	۰/۰۸۵	۶
NGH	۰/۰۴۸	۸
تولید برق توربین گاز و سیکل ترکیبی	۰/۲۲۴	۲
تولید آب	۰/۲۲۸	۱
تزریق به چاه	۰/۰۶۳	۷
GTL	۰/۱۱۸	۴
تزریق به خط لوله	۰/۱۲۸	۳
مجموع	۱	-

منبع: یافته‌های تحقیق

به‌دلیل آنکه بررسی فناوری‌ها به‌صورت سه‌هدفه است و ترکیبی از فناوری‌ها انتخاب خواهد شد، بایستی تابعی متشکل از میانگین امتیاز فناوری‌های انتخاب شده، به‌عنوان تابع هدف سوم درنظرگرفته شود. میادین انتخابی در مجموع روزانه ۱/۱۹ میلیون مترمکعب گاز همراه را فلر می‌کنند. با درنظرگرفتن قیمت ۳ سنت به ازاء هر مترمکعب گاز همراه، فلر این گازها، سالانه ۱۱/۷۸ میلیون دلار اتلاف اقتصادی را به همراه دارد. علاوه بر این تلفات اقتصادی، آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از فلرینگ نیز تأثیر قابل

www.SID.ir

Archive of SID

توجه بر محیط‌زیست این مناطق بر جای خواهد گذاشت. نتایج حاصل از مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های ناشی از فلرینگ در چاه‌های نفت مورد مطالعه در جدول ۹ ارائه شد.

با توجه به اینکه اهداف تعریف شده در مدل مبتنی بر انتخاب فناوری با کوتاه‌ترین مدت زمان بازگشت سرمایه و هم‌چنین کاهش بیشترین میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و منطبق‌ترین فناوری‌ها برحسب معیارهای کیفی با بیشترین امتیاز مدنظر است، جبهه پارتوی سه بعدی حاصل می‌شود. هم‌چنین با استفاده از روش‌های تصمیم‌سازی تاپسیس جواب بهینه انتخاب شده است.

جدول ۹. نتایج حاصل از مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های ناشی از فلرینگ در چاه‌های نفت مورد مطالعه

میزان انتشار (تن بر سال)	دی‌اکسید کربن	منوکسید کربن	دی‌اکسید گوگرد	ذرات معلق	دی‌اکسید نیتروژن	وی‌اوسی	ان‌ام‌وی‌اوسی	متان
	۱۱۸۷۷۰۰	۲۱۲۳۹	۸۹۰۳/۸	۱۱۱۳	۶۳۰/۶۸	۷۸۸۴	۱۴۸۴	۶۴۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

مقدار هر یک از متغیرهای مدل در نقطه بهینه تعیین شده توسط روش‌های تصمیم‌سازی تاپسیس، در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰. مقدار هر یک از متغیرهای مدل سه‌هدفه در نقطه بهینه

توضیح	پارامتر	مقدار
سهم گاز برای تزریق به چاه	X_{inj}	۰
سهم گاز برای تولید برق در نیروگاه با استفاده از توربین گاز	$X_{pp,gt}$	۰/۳۷۰۷
سهم گاز برای تولید برق در نیروگاه چرخه بخار	$X_{pp,sc}$	۰/۰۴۳۹
سهم گاز برای تولید برق در نیروگاه چرخه ترکیبی	$X_{pp,cc}$	۰/۰۹۵۱
سهم گاز برای تولید بخار در بویلر	X_{sb}	۰/۰۵۱۷
سهم گاز به‌عنوان خوراک پالایشگاه GTA	X_{GTL}	۰
سهم گاز به‌عنوان خوراک پالایشگاه LNG	X_{LNG}	۰
سهم گاز برای تولید CNG	X_{CNG}	۰
سهم گاز برای تولید هیدرات گازی	X_{NGH}	۰
سهم گاز برای تزریق به خط لوله سراسری	$X_{selling}$	۰/۵۶۱۴
سهم بازیافت حرارت از گازهای احتراق توربین گاز با استفاده از بویلر بازیاب حرارت	$X_{HRSG,\ LP}$	۱

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین نتایج نهایی حاصل از مدل توسعه داده شده در نقطه بهینه تصمیم‌گیری، در جدول ۱۱ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول نتایج مدل در نقطه بهینه ارائه شده است، استفاده از فناوری‌های انتخاب شده براساس مدل منتج به کاهش ۸۱۰۷۴۰ تن دی‌اکسیدکربن در سال در چاه‌های نفت مورد مطالعه می‌شود. هم‌چنین هزینه سرمایه‌گذاری لازم برای اجرای این پروژه ۲۵۳۸ میلیون دلار است و بازگشت سرمایه آن نیز در حدود ۱/۰۹ سال است. با مقایسه توابع هدف در مدل دوهدفه حمیدزاده و همکاران (۲۰۲۰)، میزان تابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی در مدل دوهدفه مطلوب‌تر از مدل سه هدفه با اهداف توسعه پایدار است که دلیل اصلی آن عدم در نظر گرفتن ملاک‌های کیفی است.

جدول ۱۱. نتایج نهایی حاصل از مدل سه‌هدفه توسعه داده شده در نقطه بهینه

	پارامتر	واحد	مقدار
محصولات	میعانات گازی	(تن بر روز)	۲۲۷
	LPG	(تن بر روز)	۲۲۱
	ارسال گاز شیرین به خط لوله	(مترمکعب بر روز)	۴۳۸۰۰۰
	آب شیرین	(مترمکعب بر روز)	۱۶۵۵۶۰۰
	برق	(مگاوات-ساعت بر روز)	۲۰۹۷
	منافع اقتصادی حاصل از فروش محصولات	(میلیون دلار بر سال)	۱۳۸۳/۵
خوراک	گاز فلر	(میلیون مترمکعب بر روز)	۱/۱۹
	قیمت گاز فلر	(میلیون دلار بر سال)	۱۱/۷۸
هزینه‌های سرمایه‌گذاری	هزینه سرمایه‌گذاری	(میلیون دلار)	۲۵۳۸
	هزینه بهره‌برداری	(میلیون دلار بر سال)	۸۹/۳۳۵
توابع هدف	میزان کاهش انتشار دی اکسید کربن	(تن بر سال)	۸۱۰۷۴۰
	مدت زمان بازگشت سرمایه	(سال)	۱/۰۹۶

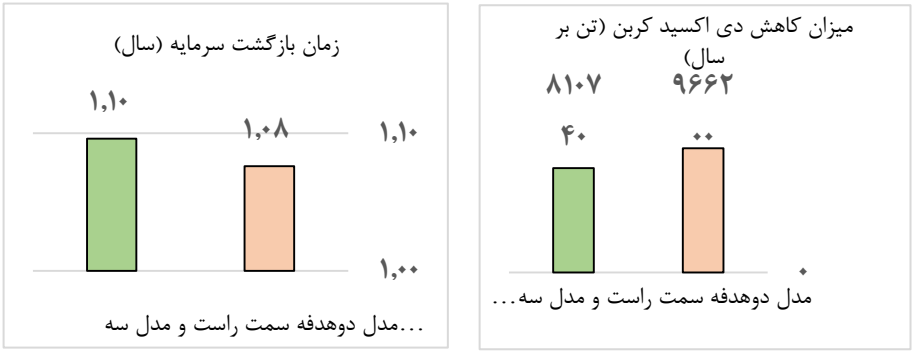
منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۱ مقایسه توابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی در دو مدل دوهدفه (حمیدزاده و همکاران،۲۰۲۰) و سه هدفه کیفی توسعه داده شده را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

میزان زمان بازگشت سرمایه به‌عنوان تابع هدف اقتصادی، در مدل دو هدفه ۱/۰۸ سال است که نسبت به زمان بازگشت سرمایه مدل سه هدفه کیفی که ۱/۱ سال است، میزان برتری ۱/۸۲ درصدی را نشان می‌دهد. هم‌چنین میزان کاهش تولید دی‌اکسید کربن در مدل دو هدفه ۹۶۶۲۰۰ تن بر سال است که نسبت به میزان کاهش تولید دی‌اکسید کربن در مدل سه هدفه کیفی که ۸۱۰۷۴۰ تن بر سال است، میزان برتری ۱۹ درصدی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بررسی توابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی بدون درنظرگرفتن معیارهای کیفی، نتایج مدل دوهدفه برتری کاملاً مشهودی دارد. این موضوع از طرفی رفتار شاخص‌های توسعه پایدار با تغییر میزان انتشار دی‌کسید کربن و تأثیر معکوس آن بر تابع هدف اقتصادی را نشان می‌دهد که در مطالعات خوشنویس و پژویان (۱۳۹۵) نیز مورد مطالعه قرار گرفته بوده است و همخوانی کامل دارد.



منبع: حمیدزاده و همکاران (۲۰۲۰)

شکل ۱. مدت زمان بازگشت سرمایه میزان کاهش دی اکسید کربن در مقایسه با نتایج مدل دوهدفه کمی

۶- جمع‌بندی

در این پژوهش با مدل‌سازی اقتصادی، زیست‌محیطی و توسعه پایدار برای هریک از فناوری‌ها در توابع جداگانه، مدل اولیه برای ارزیابی مجزای هریک از فناوری‌ها حاصل شد. نهایتاً با نوشتن کدهای الگوریتم ژنتیک و مدل‌های تصمیم‌سازی در توابع مختص به خود در نرم‌افزار متلب و افزودن آن به مدل اولیه، مدل بهینه چندهدفه موردنظر در تحقیق نهایی‌سازی شد. در نهایت به‌منظور ارزیابی مدل جامع یکپارچه پیشنهادی، با

www.SID.ir

Archive of SID

درنظرگرفتن تمامی پارامترهای فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و کیفی، مورد مطالعاتی با ۵ حلقه چاه نفت با مشخصات متفاوت در یک منطقه نفتی در جنوب ایران، بررسی شد.

در مدل دوهدفه با استفاده از فناوری‌های انتخاب شده، به‌کارگیری فناوری‌های منتخب در مدل منتج به کاهش ۸۱۰۷۴۰ تن دی‌اکسیدکربن در سال در چاه‌های نفت مورد مطالعه می‌شود. هم‌چنین هزینه سرمایه‌گذاری لازم برای اجرای این پروژه ۲۵۳۸ میلیون دلار است و بازگشت سرمایه آن نیز در حدود ۱/۰۹ سال است. در این سناریو نیز ترکیب فناوری‌های پالایشگاه ان‌جی‌ال (۱۰۰٪ گاز فلر)، توربین گاز (۳۷٪ گاز شیرین)، نیروگاه سیکل ترکیبی (۹/۵٪ گاز شیرین)، نیروگاه بخار (۴/۳٪ گاز شیرین)، بویلرهای تولید بخار به‌منظور تولید آب شیرین (۵/۲٪ گاز شیرین)، تزریق مستقیم گاز شیرین به خط لوله (۵۶٪) و سهم ۱۰۰٪ از بازیافت گازهای داغ خروجی توربین گاز به‌منظور تولید آب شیرین انتخاب شده است.

نتایج مدل‌سازی میزان برتری ۱/۸۲ درصدی در زمان بازگشت سرمایه در حالتی‌که از توابع هدف کیفی استفاده نشده را نشان می‌دهد؛ اما با کاربرد شاخص‌های توسعه پایدار میزان کاهش تولید دی‌اکسید کربن نسبت به مدل دوهدفه، برتری ۱۹ درصدی را نشان می‌دهد. نکته مهم بررسی معیارهای کیفی در مدل توسعه داده شده است؛ بنابراین مدل توسعه داده شده که قابلیت در نظر گرفتن توابع هدف کمّی و کیفی را به‌طور همزمان دارد، ثابت می‌کند که در نظر گرفتن پارامترهای کیفی تصمیم‌سازی در مقیاس برنامه‌ریزی کلان، لزوماً به لحاظ نتایج اقتصادی و زیست‌محیطی به نتایج بهتر منجر نمی‌شود و برای دستیابی به اهداف مطلوب سیاست‌گذاری فناوری و مدیریت بازیافت گازهای مشعل، باید به‌صورت نسبی از مزیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی صرف‌نظر شود.

یکی از عوامل تأثیرگذار در نتایج این مدل، قیمت فروش هر مترمکعب گاز مشعل است که در این مطالعه به‌صورت ثابت در نظر گرفته شده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود مدل تعیین قیمت گازهای مشعل بر حسب حجم، ترکیب درصد، موقعیت جغرافیایی و بازار محصولات تولیدی فناوری‌های قابل استفاده و تأثیر متقابل آن بر

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج خروجی مدل سه هدفه این مطالعه مورد بررسی قرار گیرد. در ادامه جهت ارزیابی تأثیر دیگر عوامل پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

اعمال جرائم زیست‌محیطی و هزینه‌های اجتماعی به‌عنوان پارامترهایی که اقتصاد پروژه‌های بازیابی گازهای مشعل را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در توسعه مدل‌های جدید.

۱) بررسی انواع سناریوهای خرید تضمینی برق تولیدی گازهای فلر در رقابت با برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر.

۲) آینده‌پژوهی و امکان‌سنجی تأمین انرژی فناوری‌های نوین اقتصاد دیجیتال اعم از بلاک‌چین و استخراج رمز ارز به کمک بازیابی گازهای مشعل.

منابع

آرندیان بهداد، محمدی اردهالی مرتضی (۱۳۹۷). بهینه‌سازی اندازه، مکان و بهره‌برداری از فناوری‌های مختلف سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۴ (۵۷): ۱-۳۷.

آزاده معروف مشاط (۱۳۸۹). امکان سنجی فنی اقتصادی استفاده از گازهای فلر برای تبدیل به محصولات دیگر در ایران. کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

احمدی آذر محمود، دری بهروز، عالم تبریز اکبر، کسایی مسعود (۱۳۹۸). ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار چند دوره‌ای برای برنامه‌ریزی یکپارچه تصمیمات زنجیره تأمین محصولات پتروشیمی. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۵ (۶۳): ۱۷۳-۲۰۷.

پژوهشکده علوم و فناوری انرژی شریف (۱۳۹۵). گزارش فنی نقشه راه بازیابی و بهره‌برداری از گازهای مشعل ایران. تهران، پژوهشکده علوم و فناوری انرژی شریف.

تکلیف عاطفه، ارباب حمیدرضا، بویری منجی حسن (۱۳۹۹). استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی تحقیق در عملیات به‌منظور تعیین سطوح بهینه تولید نفت خام و گاز غنی در پروژه‌های صنعت نفت و گاز ایران- مطالعه موردی: پروژه فازهای ۱۷ و ۱۸ میدان گازی پارس جنوبی. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۶ (۶۴): ۱۹-۵۷.

www.SID.ir

Archive of SID

خوشنویس مریم، پژویان جمشید (۱۳۹۵). بررسی مقایسه‌ای اثر آلودگی زیست‌محیطی بر شاخص توسعه انسانی در کشورها با سطوح مختلف توسعه یافتگی. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۲ (۴۸): ۳۳-۶۱.

ضرغامی سید صادق، تبریزیان بیتا، طاهری کیا فریز (۱۳۹۹). نیل به توسعه پایدار در صنعت نفت کشور از طریق فعالیت‌های بازاریابی دوستدار محیطزیست. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۶ (۶۵): ۱۳۷-۱۵۳.

مدیریت سرمایه گذاری و کسب و کار شرکت ملی نفت ایران (۱۳۹۷). اطلاعات و فرم‌های مزایده فروش گازهای مشعل
https://investment.nioc.ir/portal/home/?news/95655/210270/210045

هامون جعفریان (۱۳۹۱). بررسی فنی اقتصادی تولید برق از گاز فلر. کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

Anosike, N. B. (2013). "Technoeconomic evaluation of flared natural gas reduction and energy recovery using gas-to-wire scheme."

Bortnowska, M. (2009). "Development of new technologies for shipping natural gas by sea." Polish Maritime Research 16(3): 70-78.

Deb, K., A. Pratap, S. Agarwal and T. Meyarivan (2002). "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II." IEEE transactions on evolutionary computation 6(2): 182-197.

Deshpande, A. and M. Economides (2004). CNG: A Competitive Technology to LNG for the Transport of Natural Gas, MS thesis, University of Houston, Department of Chemical Engineering ….

"ENERGY TECHNOLOGY SYSTEM ANALYSIS PROGRAMME (ETSAP), I. C. B., " May 2010. [Online]. Available: www.etsap.org.

Elvidge, C. D., M. D. Bazilian, M. Zhizhin, T. Ghosh, K. Baugh and F.-C. Hsu (2018). "The potential role of natural gas flaring in meeting greenhouse gas mitigation targets." Energy strategy reviews 20: 156-162.

Fei, Q., M. T. Guarnieri, L. Tao, L. M. Laurens, N. Dowe and P. T. Pienkos (2014). "Bioconversion of natural gas to liquid fuel: opportunities and challenges." Biotechnology Advances 32(3): 596-614.

Hajizadeh, A., M. Mohamadi-Baghmolaei, R. Azin, S. Osfouri and I. Heydari (2018). "Technical and economic evaluation of flare gas recovery in

www.SID.ir

Archive of SID

a giant gas refinery." Chemical Engineering Research and Design 131: 506-519.

Hamidzadeh, Z., S. Sattari, M. Soltanieh and A. Vatani (2020). "Development of a multi-objective decision-making model to recover flare gases in a multi flare gases zone." Energy 203: 117815.

Heidari, M., A. Ataei and M. H. Rahdar (2016). "Development and analysis of two novel methods for power generation from flare gas." Applied Thermal Engineering 104: 687-696.

Heimel, S. and C. Lowe (2009). "Technology comparison of CO2 capture for a gas-to-liquids plant." Energy Procedia 1(1): 4039-4046.

Holland, J. (1975). "adaptation in natural and artificial systems, university of michigan press, ann arbor,”." Cité page 100.

IRANDOE (2015). Intended Nationally Determined Contribution, UNFCCC. Department of Environment Islamic Republic of Iran.

Kafrudi, I. G., M. Amini and M. Ayazi (2016). Determine the Potential and Estimate the GHG emissions in gas refinery,. Second International Conference in New Research on Chemistry & Chemical engineering. Tehran.

Kanda, H. (2006). Economic study on natural gas transportation with natural gas hydrate (NGH) pellets. 23rd world gas conference, Amsterdam.

Lawal, K. A., M. I. Ovuru, S. I. Eyitayo, S. Matemilola and A. T. Adeniyi (2017). "Underground storage as a solution for stranded associated gas in oil fields." Journal of Petroleum Science and Engineering 150: 366-375.

Layfield, M. (2015). Creating Value from Flared Natural Gas. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Society of Petroleum Engineers.

Pei, P., D. Laudal, J. Nasah, S. Johnson and K. Ling (2015). "Utilization of aquifer storage in flare gas reduction." Journal of Natural Gas Science and Engineering 27: 1100-1108.

Shirmohammadi, M. and H. Sayyaadi (2007). Multi-objective exergetic, economic and environmental optimization of CGAM problem using genetic algorithm. Proceeding of 3rd International Energy, Exergy and environment Symposium, 1e5 July.

Soltanieh, M., A. Zohrabian, M. J. Gholipour and E. Kalnay (2016). "A review of global gas flaring and venting and impact on the environment:

www.SID.ir

Archive of SID

Case study of Iran." International Journal of Greenhouse Gas Control 49: 488-509.

Tahmasebzadehbaie, M. and H. Sayyaadi (2016). "Efficiency enhancement and NOx emission reduction of a turbo-compressor gas engine by mass and heat recirculations of flue gases." Applied Thermal Engineering 99: 661-671.

Tahmasebzadehbaie, M., H. Sayyaadi, A. Sohani and M. Z. Pedram (2017). "Heat and mass recirculations strategies for improving the thermal efficiency and environmental emission of a gas-turbine cycle." Applied Thermal Engineering 125: 118-133.

Tahouni, N., M. Gholami and M. H. Panjeshahi (2016). "Integration of flare gas with fuel gas network in refineries." Energy 111: 82-91.

VAHABPOUR, A., S. M. SHOJAEE, M. TAHMASEBZADEH and F. RASOULI (2018). "A Study on Environmental Effects of Gas Flaring in Iran and its Role for the Country's Commitments in Paris Agreement."

USEnvironmentalProtectionAgency (2014). Catalog of CHP Technologies, Combined Heat and Power Partnership, U.S. Environmental Protection Agency

WorldBank. (2015). ""www.worldbank.org", World Bank, Global Gas Flaring Reduction Program (GGFR). [Online]."

Zolfaghari, M., V. Pirouzfar and H. Sakhaeinia (2017). "Technical characterization and economic evaluation of recovery of flare gas in various gas-processing plants." Energy 124: 481-491.

www.SID.ir

Archive of SID

Development of a Three-Objective Economic, Environmental and Sustainable Development Decision-Making Model for Recovering Flared Gas

Zeinab Hamidzadeh
PhD Student, Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch of Azad University, zeinabhamidzadeh@gmail.com

Sourena Sattari
Assistant professor, Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, Sattari@sharif.ir

Ali Vatani[1]
Professor, Institute of Liquefied Natural Gas (I-LNG), School of Chemical Engineering, University of Tehran, avatani@ut.ac.ir

Mohammad Soltanieh
Professor, Chemical and Petroleum Engineering Department, Sharif University of Technology, msoltanieh@sharif.edu
Received: 2021/05/01 Accepted: 2021/07/03

Abstract

Iran is considered as one of the biggest burners of associated gas. Due to the importance of reducing the emission of pollutants from associated gas in flare systems, in this study we use advanced decision-making methods to select the optimal technologies for recycling associated gases that are currently burnt. The model has three objective functions, including minimum return on investment and maximum reduction in carbon dioxide emissions and qualitative target functions considering a combination of sustainable development criteria. In the developed model, we assess important flared gas recovery technologies including NGL units, gas injection into pipeline, LNG units, GTL refinery units, production of gas hydrates (NGH), CNG units, injection of gas into reservoirs to increase oil production (EOR), electricity generation using gas turbines, steam turbines and combined cycle and fresh water production. Our sample includes five oil wells in an oil region in southern Iran. The results show that in the optimal case, the investment undetakes pays for itself in 1.1 years and produces a reduction of 810740 tons of carbon dioxide per year.

JEL Classification: C610

Keywords: Flare Gas Recovery, Optimal Decision Making Model, Three-Objective Functions

1. Corresponding Author

www.SID.ir