استفاده بیشتر از گاز طبیعی: چالش چند نظمی[1]

عبدالرضا کرباسی

کمیته ملی انرژی

چکیده

منابع عظیم و رشد بازار، دو عامل بارز در استفاده از گاز طبیعی در دهه‌های آتی به شمار می آیند. اگر هزینه‌های تولید گاز از طریق تحقیقات علمی و پژوهشی کاسته شود اثر واقعی گاز در بازار جهانی انرژی نمود خواهد یافت. مدلسازی، مکانیک سیالات و شیمی فیزیک واکنشها اصول پایه در درک فرآیند تکنولوژیهای گاز به شمار می آیند.

واژه‌های کلیدی: مخازن گاز طبیعی، نفوذ در بازار، موارد علمی در تولید گاز،تقلیل هزینه های تکنیکی

۱- **ترجمهٔ مقالهٔ زیر است:**

[1] More Natural Gas: A Multidisciplinary Challenge

P. Leprince, M. Valais

Energy Sources, V. 15, pp.95-104, 1993

مقدمه

آیا گاز به عنوان انرژی برتر پس از اتمام دورهٔ نفت، محسوب خواهد شد؟ آمار و اطلاعات نشان می دهند که رشد ذخایر قطعی گاز ۱/۵ برابر سریع‌تر از مصرف انرژی بوده است در حالی که ذخایر جدید نفت در سالهای ۱۹۷۵ لغایت ۱۹۸۸ فقط مصرف سالانه را جبران نموده است. تکنولوژیهای جدید اکتشاف در سالهای اخیر موجب کشف میادین جدید

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

گاز و نفت شده است. به هر حال طول عمر ٤٤ سال و ٦٣ سال به ترتیب برای نفت و گاز فراتر نرفته است. پراکنش میادین نفتی بیشتر در خاور میانه بوده و در خصوص گاز، شوروی و ایران از وضعیت مطلوبتری برخوردار هستند. آمریکا به دلیل کاهش ذخایر نفتی خود در آینده بزرگ‌ترین وارد کننده نفت پس از اروپای غربی خواهد بود.

تقاضا برای گاز طبیعی رو به افزایش است. گاز یک سوخت پاکیزه است که عاری از گوگود توزیع می‌گردد وکمتر از هر سوخت فسیلی دیگر،موجب افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بازار فعلی این سوخت، عمدتاً به بخشهای صنایع و گرمایش خانگی اختصاص دارد و به صورت جزئی به عنوان ماده خام در صنایع پتروشیمی جهت تولید کود و متانول مورد استفاده قرار می گیرد. اما از گاز می توان به عنوان ماده اصلی در صنایع پتروشیمی و همچنین سوخت اصلی، پس از توسعه تکنولوژیهای جدید ابقاء بهره گرفت.

میادین جهانی گاز طبیعی: مکان و مشکلات تولید

دو سوم میادین گاز که در ۲۰ سال گذشته کشف شده‌اند در نواحی سرد، محیطهای دریایی عمیق و یا در فواصل بسیار دور از مصرف کننده قرار دارند. این نکته بخصوص در مورد سیبری و محیطهای دریایی، بیشتر صادق است. بدین ترتیب سهم میادین گاز که در نواحی فوق قرار گرفته اند از ۳۱٪ در سال ۱۹۷۰ به ۵۳٪ در سال ۱۹۹۰، افزایش یافته است (جدول ۱).

جدول ۱- موقعیت میادین و میزان گاز طبیعی (برحسب $۱۰^{۱۲}$ مترمکعب)

موقعیت	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۹۰
نواحلی ساحلی قابل دسترس	۱۵/۸	۲۷/۵	٦۰
نواحلی ساحلی	۱/٦	٤/۵	۲۵
سیبری و قطب شمال	۰/۱	۷/۵	٤۲
دیگر نواحی ساحلی‌غیرقابل دسترس	--	۰/۵	۲
جهان	۱۷/۵	٤۰	۱۲۹
سهم نواحی دشوار (٪)	۱۰	۳۱	۵۳

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

تغییراتی نیز در حجم میادین کشف شده گاز ، مشاهده گردیده است. امروزه حدود ۲۶ هزار میدان گاز وجود دارد (جدول ۲) که قسمت اعظم آنها (حدود ۲۰ هزار میدان) در آمریکای شمالی واقع شده‌اند. از بین ۲۶ هزار میدان گازی کشف شده فقط ۲۴ عدد آنها عظیم بوده که حجم گاز در هر یک از آنها بیش از ۱۰۰۰ میلیارد متر مکعب است و در مجموع ۳۶٪ از کل ذخایر گاز دنیا را شامل می شوند. تعداد ۱۱ عدد از ۲۴ میدان عظیم گازی در شوروی و ۹ عدد در خاورمیانه واقع شده است. در دیگر نواحی، حجم میادین گاز حداکثر بین ۱۰ الی ۱۰۰ میلیارد مترمکعب است که در اغلب موارد این حجم کمتر از ۱۰ میلیارد متر مکعب می باشد. استخراج گاز به شدت تابع نزدیک بودن میدان گاز به مصرف کننده و همچنین شرایط ساده یا سخت بودن ناحیه مورد نظر است.

جدول ۲- تعداد میادین و حجم گاز طبیعی (ژانویه ۱۹۹۲)

اندازه یا حجم میدان گاز (10^9 مترمکعب)	کوچک (۱۰)	متوسط (۱۰-۱۰۰)	بزرگ (۱۰۰-۱۰۰۰)	عظیم (۱۰۰۰)	جمع
آمریکای شمالی	۵۰۰،۱۹	۳۲۵	۲۵	۱	۱۹،۸۵۰
آمریکای لاتین	۱،۲۶۰	۷۰	۷	--	۱۳۴۰
اروپای غربی	۱۴۵۰	۱۵۰	۱۲	۲	۱۶۱۰
شوروی و اروپای شرقی	۹۴۰	۲۱۰	۵۰	۱۱	۱۲۱۰
آفریقا	۵۸۰	۹۰	۷	۱	۶۸۰
خاورمیانه	۱۸۰	۶۰	۵۱	۹	۳۰۰
آسیا و اقیانوسیه	۹۸۵	۹۰	۱۵	--	۱۰۹۰
جمع جهانی	۲۴،۹۰۰	۹۹۵	۱۶۷	۲۴	۲۶،۱۰۰
درصد نسبت به کل جهان	۲۷/۵	۱۵/۵	۲۱	۳۶	۱۰۰

برای به دست آوردن تصویری بهتر از موقعیت میادین گاز طبیعی، دو ناحیه ساحلی دریای شمال و خلیج مکزیک که به دلیل نزدیک بودن آنها به نواحی مصرف کننده مورد توجه هستند تحت بررسی قرار می گیرند (جدول ۳). در این دو ناحیه علاوه بر منابع بزرگ و متوسط گاز (که استخراج آنها در برگیرنده مشکلات

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

تکنیکی و اقتصادی نمی‌باشد) می‌توان مخازن بسیار کوچک (۱ تا ۱۰ بیلیون مترمکعب) و حتی مخازن کوچکتر از یک میلیون مترمکعب را یافت. تکنیکهای مرسوم در امر تولید معمولاً برای این دسته از مخازن به دلایل اقتصادی، قابل بکارگیری نیستند. از این نوع مخازن گاز تعداد ۱۷٤ حلقه در دریای شمال و بیش از ٦۰۰۰ حلقه در خلیج مکزیک وجود دارند که در واقع ٦٥٪ از کل ذخایر را تشکیل می دهند.

جدول ۳- پراکنش میادین گاز در دو ناحیه دریایی شناخته شده (10^9 مترمکعب)

حجم مخزن	دریای شمال		خلیج مکزیک	
	تعداد	مخازن	تعداد	مخازن
مخازن عظیم (۱۰۰۰)	۱	۱۲٦۰	--	--
مخازن بزرگ (۱۰۰۰-۱۰۰)	۱۲	۱٤۹۰	--	--
مخازن متوسط (۱۰۰-۱۰)	۱۱۰	۲۷٤٥	۳٥	٥۰۰
مخازن کوچک (۱۰-۱)	۱٦٤	٥۲۰	٦٦۰	۱۰۰۰
مخازن جزیی (۱)	۱۷٤	۸۰	٦۳٤۰	۱٦۰۰
جمع	**۴۶۱**	**۶۰۹۵**	**۷۰۳۵**	**۳۱۰۰**

برای میدانهای گاز، مرحله سرمایه گذاری لازم تا پردازش فیزیکی گاز خام قبل از فرستادن به محلهای مصرف و شرایط اقتصادی تولید، ارتباط بسیار زیادی با یکدیگر دارند (جدول ٤).

جدول ۴- توزیع مخازن قطعی گاز طبیعی در جهان (٪)

نوع گاز	خشک	مرطوب	کل
تخمیر (پاک)	٥۰	۲۰	۷۰
اسیدی	۱٥	۱٥	۳۰
کل	**۶۵**	**۳۵**	**۱۰۰**

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

۵۰٪ از این مخازن شامل گازهای خشک و پاک هستند که پردازش آنها بسیار ساده بوده (آب زدایی / فشرده کردن) و ۲۰٪ شامل گازهای مرطوب و پاک می باشند که در پردازش آنها باید هیدروکربنهای C_{2+} قبل از حمل و نقل، جداسازی گردند.۳۰٪ از مخازن شامل گازهای اسیدی خشک یا تر هستند که فرآیند آنها مستلزم تعدادی واحدهای پردازش میدانی (field process units) است که بسیار پرهزینه می باشند بخصوص اگر این مخازن کوچک و امکانات حمل و نقل گاز محدود باشد (مانند فاصله، محل دور از ساحل) و همین امر باعث تأخیر در بهره برداری از این مخازن شده است. صرفنظر از تمام ویژگیهای هر میدان، هزینه بهره برداری (تولید، پردازش و حمل و نقل) را می توان بر اساس تکنیکهای موجود و توان بالقوه بازار برآورد کرد. با در نظر گرفتن عامل هزینهٔ عملیاتی می توان مخازن گاز جهان را به ٤ دسته تقسیم نمود (جدول ٥). امروزه تنها از میادینی که مشخصات دو ستون اول جدول ٥ در مورد آنها صدق می‌کند می توان بدون مشکلات اقتصادی، گاز تولید نمود.

جدول ۵- طبقه بندی ذخایر گاز طبیعی برحسب میزان هزینه های فنی

هزینه های فنی	برای سهم ذخایر جهان (٪)			
	۵	۱۰	٤٥	٤٠
$/Mbtu	۳/۵ تا ۵/۲	۳/۵تا۲/۱	۲/۱تا۰/۷	۰/۷
$/boe	۲۰ تا ۳۰	۱۲ تا ۲۰	٤ تا ۱۲	٤

گاز طبیعی در اروپا: به سوی تولید با ثبات

اروپای غربی بعد از آمریکا و شوروی با مصرف ۱۳/۵٪ از کل مصرف دنیا در مقام سوم قرار دارد. این در حالی است که منطقه مذکور، تنها ٤/۲٪ از مخازن جهان را دارا می باشد. تولید گاز در این منطقه از جهان (حدود ۲۰۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۹۸۹) تنها ۷۰/۵٪ از نیاز گاز منطقه را تأمین می‌کند و مابقی از طریق واردات از شوروی (۱۹/۱٪) ، الجزایر (۹/۷٪) و لیبی (٦/ .٪) یا از طریق لوله یا از طریق کشتی تأمین می‌گردد.

در اروپای غربی، ٦٤/٦ بیلیون مترمکعب گاز از طریق دو کشور نروژ و هلند صادر می شود. انگلستان، که دومین تولید کننده بزرگ گاز (٤٥ میلیارد متر مکعب) در اروپای غربی است باید

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

$۱۰^{۹}$ × ۱۰/۵۳ مترمکعب گاز را از منطقه دریای شمال نروژ وارد نماید. لازم به ذکر است که تولید در مناطق دور از ساحل (off-shore) ۵۸٪ از کل تولید اروپای غربی را تشکیل می دهد.

البته در چشم انداز تولید گاز در آینده هیچ گونه ناپیوستگی نباید مشاهده گردد و میزان تولید باید در سطح نزدیک به ۲۰۰ میلیون مترمکعب ثابت بماند. کاهش (تنزل) تولید گاز در تعدادی از کشورهای تولید کننده از جمله هلند، باید با توسعه میادین گاز Troll و Sleipner نروژ جبران گردد.

توسعه بازارهای جدید گاز طبیعی در اروپا

در اوایل دهه ۱۹۷۰، گاز طبیعی سهم مهمی از بازار انرژی اروپا را در اختیار داشت (حدود ۱۰٪) . در سالهای پس از بحران (انرژی) همراه با انرژی هسته ای، گاز طبیعی در امر جایگزینی با سایر منابع تأمین انرژی ، گوی رقابت را ربود. سهم این منبع گاز در سال ۱۹۸۵ ، ۵ /۱۵٪ بود. از آن زمان به بعد مصرف گاز طبیعی، رشد آرامی داشت به طوری که در پایان قرن حاضر سهم این سوخت در میان سایر منابع تأمین‌کننده انرژی به ۱۷٪ می رسد. این در حالی است که در سایر کشورها همچون انگلستان، شوروی و هلند سهم گاز طبیعی به ۲۵ تا ٤۵٪ بالغ می گردد.

این تکامل به خاطر مجموعه‌ای از عوامل است. نخست آن که، گاز طبیعی برای اروپا یک نوع انرژی تازه محسوب می گردد. حدود سی سال پیش مصرف سالانهٔ گاز ده میلیارد متر مکعب بود (یعنی ۲۰ برابر کمتر از امروز) و به عبارت دیگر گاز فقط چند درصد از کل انرژی مصرفی را تأمین می کرد. دوم این که در مقام رقابت با سایر منابع تأمین کننده انرژی، گاز طبیعی در بازار گرمایش منازل و محلهای کار وارد شده است. به طوری که اروپا به صورت پیشاهنگ بکارگیری گاز طبیعی برای گرمایش فضای مسکونی و تجاری می‌باشد. در بکارگیری گاز در سایر بخشهای اقتصادی، اروپا هنوز پیشرفت زیادی نکرده ست و تنها ۱۲/۵٪ از گاز طبیعی برای تولید برق مصرف می‌گردد و این در حالی است که متوسط جهانی این رقم ، ۲٤٪ و در ژاپن ۷۳٪ است.

به نظر می رسد موقعیت کنونی به آرامی دگرگون شود زیرا گاز طبیعی در واقع یک سوخت ایده‌آل برای حفاظت از محیط زیست است. این سوخت فاقد گوگرد است و آلاینده‌های آن شامل Nox و ذرات جامد معلق کمتری می‌باشد. گازهای گلخانه‌ای این سوخت نیز در مقایسه با سایر سوختها بسیار کمتر است (نصف ذغال سنگ و ۰/۷ نفت برحسب واحد برق تولیدی) لازم به یادآوری است که کارآیی توربینهای گازی که به طور دائم در حال ارتقاء هستند و نیروگاههای سیکل (چرخه) ترکیبی که در حال تحول می‌باشند به ٦۰٪ برسد که در واقع این کارآیی بسیار بیشتر از نیروگاههای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

مرسوم و متعارف است. در تولید مشترک (Cogeneration) کل کارآیی انرژی به ۸۰٪ بالغ می‌گردد. همچنین باید متذکر گردید که در بلند مدت، نسل جدید سلولهای سوختی(fuel cells) می‌توانند به راندمان (کارآیی) بسیار بالایی برسند و در ضمن به هیچ وجه NO, CO و هیدروکربن تولید نکنند. در جمع بندی می توان اظهار داشت که بازار در بخش تولید برق (خصوصاً جایگزینی سوخت فسیلی) برای گاز در اروپا باز است.

موانع ورود (نفوذ) گاز طبیعی

چندین مانع و تنگنا برای نفوذ بیشتر گاز طبیعی در بازار جهانی انرژی وجود دارد. حتی اگر فرض را بر توسعه و گسترش میادین گازی موجود و کشف میادین گازی جدید گذارد، در ۲۰ سال آینده احتمالاً جهان شاهد کاهش مخازن گاز اروپای غربی خواهد بود. در سال ۲۰۱۰ تنها نروژ و هلند هستند که دارای مخازن گاز می باشند (جدول ٦).

جدول ۶- ذخایر گاز طبیعی کشورهای اروپای (سالهای تولید)

برای مقایسه			
فرانسه	۷	الجزایر	٥٤
ایتالیا	۱۹	شوروی	٦٣
نروژ	٦٨/٥	نیجریه	۱۱۲
هلند	٢٤	ایران	٦٦٤
آلمان	۱۱	انگلیس	۱۱/٥

منابع گاز طبیعی در دسترس بازار اروپا بسیار دور و نیازمند سرمایه گذاری هستند. انتظار می رود ٤ کشور، منابع انرژی (گاز) لازم را تأمین نمایند که عبارتند از: الجزایر، شوروی، نیجریه و ایران. این کشورها دارای منابع بزرگ گاز هستند اما برای اکثر آنها فواصل (بین تولید و مصرف) آن چنان زیاد است که سرمایه گذاری برای ایجاد یک زنجیره کامل (عمل آوری / حمل و نقل) با توجه به مقدار انرژی بسیار گزاف می‌باشد (۲/٥ تا ٥ برابر هزینه نفت).

زمان میان کشف و تولید یک میدان گاز ممکن است بیش از ۱۰ سال و حتی ۱۵ سال به طول انجامد. این امر به دلیل مذاکرات طولانی برای عقد قرارداد میان شرکاء است که باید جهت تصمیم‌گیریهای فنی و تجاری در طی یک دوره زمانی دست کم ۲۰ ساله، متعهد باشند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

زنجیره های تکنولوژی گاز

بخش زنجیرهٔ تکنولوژیهای بالادستی گاز، مرکب از چند مرحلهٔ مهم زیر است:

۱- تولید

۲- عمل آوری (پردازش) که نیازمند انتقال گازطبیعی است و برحسب استفاده کننده نهایی و روش حمل به مراکز مصرف، متفاوت است.

۳- جریان چند فازی در خروجیهای چاه (گاز، هیدروکربنهای مایع، آب) میان چاه و محل انجام فرآیند های گاز (processing plant)

٤- مکانیزم تشکیل هیدرات که در لوله‌های انتقال گاز نامطلوب است.

٥- استخراج حلال (solvent) از ترکیبات (H_2S, CO_2).

٦- تبادل حرارتی در دمای پایین برای مایع کردن گاز طبیعی

موارد فوق که هر یک در برگیرندهٔ روشهای پیچیدهٔ علمی هستنند در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- عملیات بارز در پروسه نمودن گاز طبیعی

عملیات	هدف	نیازهای آماری
تزریق متانول یا گلیکول	کنترل تشکیل هیدراتها	تعادل جامد – مایع و سینتیک تبدیل به بلور شدن
استخراج حلال	جداسازی CO_2 و H_2S	انحلال پذیری گازها
تقطیر	استخراج[۲] LPG, NGL	تعادل مایع / گاز
جذب	خشک کردن – جداسازی ذرات آب و همچنین گازهای اسیدی	ضرایب جذب و جذب سطحی
مایع سازی	تولید LNG برای حمل و نقلهای طولانی	تعادل مایع و بخار معادله حالت ضریب انتقال حرارت

[2] NGL: LPG و مایعات گازی از قبیل اتان

پیشرفتهای فنی و تکنولوژیکی: اهداف و روشها

همانطور که نشان داده شد، تکنیکهای گاز، پیچیده هستند و سرمایه لازم برای آنها بسیار بیشتر از تکنیکهای نفت است. این موقعیت بخصوص برای میدانهای دور از ساحل و میدانهای کوچک، نامساعد و نامطلوب است. در این زمینه تحول و توسعه تکنیکهای جدید برای کاهش هزینه‌های تولید و حمل و نقل به تقویت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

حجم مخازن قابل بهره برداری کمک می‌کند و به طور همزمان با کاستن از هزینه‌های بهره برداری، سبب توسعه و گسترش بازارهای تقاضا می‌شود. جدول ۸ به تشریح اهدافی می پردازد که باید بر حسب روش و تکنیکهای اجرایی به آنها دست یافت.

جدول ۸- تقلیل هزینه های تکنیکی – اهداف و توسعه های تکنیکی

اجراء	اهداف	تکنیکها و روشها
اکتشاف / استخراج	افزایش بازیافت درتشکیلات بسته	شکافتن هیدرولیکی
فرآیندهای میدانی	میادین دریایی: تقلیل وزن و قیمت سکوها ، افزایش بازیافت NGL	- ساده سازی و بهینه سازی - جداسازی غشاء(membrane)
زنجیره LNG	تقلیل سرمایه‌گذاری در تأسیسات و مخازن متان	- طراحی جدید مبدلهای حرارتی - کمپرسورهای محوری - سازه های به اندازه - عایق کاری بهتر
لوله گذاری	تقلیل زمان ساخت / سرمایه‌گذاری و هزینه ها (حفظ و نگهداری)	- بهینه سازی و خودکار کردن - بهبود استیل و کیفیت جوشکاری
استفاده به عنوان سوخت حمل و نقل	ارتقاء عملکرد سیلندرهای ذخیره گاز تبدیل شیمیایی به سوخت مایع، بازدهی بیشتر، مخارج کمتر	- مواد و وسایل جدید - ارتقاء مراکز بارگیری - ذخیره سازی چگال تر انرژی - تحقیقات بیشتر در خصوص تبدیل متان به سوخت و مواد پتروشیمی
کاربردهای انرژی	بازدهی بیشتر، ایمنی بیشتر و انعطاف پذیری بیشتر سرمایه گذاری کمتر	- بهینه سازی تکنولوژیهای مورد خاص مصرف - انتقال مستقیم حرارت - بازیافت حرارت از دست رفته - خودکار کردن کنترلهای ایمنی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]

نیاز به اقدامات چند نظمی در سطوح علمی

آشکار است که یک برنامه توسعه گاز طبیعی باید زمینه های علمی بسیاری را ایجاد و تشویق نماید. مدلسازی در تمام سطوح زنجیره گاز به وقوع می پیوندد و در زمینه تولید نیز بسیار مهم است.
تکنولوژیهای جدید با خصوصیات نوین توان ارتقاء عملیات اکتشاف، استخراج و حمل گاز میادین دور از ساحل را میسر می سازد (خصوصاً ذخیره‌سازی). ارتقاء توان فوق می تواند خصوصاً در بخش حمل و نقل مؤثر واقع شود.

نتایج

آیا گاز در واقع جایگزین نفت خواهد شد؟ مسلماً هنوز تا رسیدن به " عصر بعد از نفت" راه زیادی در پیش است زیرا کشف میادین جدید و روشهای نوین تولید به یقین سبب می‌گردد عصر نفت تا نیمه قرن آینده ادامه یابد.

رخداد بحران خلیج فارس، آشکار ساخت که گاز طبیعی به علت این که در مناطق مختلف جهان تولید می‌شود می‌تواند به عنوان یک استراتژی برای جایگزینی با نفت مطرح گردد. این موضوعی است که در صورت تداوم ناپایداری و بی ثباتی خاور میانه می‌تواند به عنوان یک عامل اساسی مطرح و مدنظر قرار گیرد.

میدانهای جدید گاز که اخیراً کشف شده‌اند، اکنون آماده تولید هستند. تنگناهای زیست‌محیطی که بر سوختهای فسیلی تحمیل شده (مانند اثر گلخانه‌ای، انتشار گوگرد) سبب می‌گردند تا استفاده از گاز طبیعی بیشتر مدنظر قرار گیرد. با این وجود برای توسعه استفاده از گازطبیعی، موانعی همچون هزینه پردازش، سرمایه‌گذاری زیاد برای زنجیره‌های کلی طبیعی (از محل تولید به محل مصرف) مطرح است.

برای حل و فصل این چالشها، تحرک بخشیدن به علم و دانش و منابع تکنولوژیکی لازم طی دهه های آینده از اولویت بسیار بالایی برخوردار خواهد شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-09]