

## آموزش رشته‌های نوین مهندسی شیمی (مهندس تبدیل گاز طبیعی)

ظاهره کاغذچی، مرتضی سهرابی، منصوره سلیمانی

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده: با وجود اینکه موضوع کاربرد نفت خام از قرن گذشته اهمیت پیدا کرده است، قرن حاضر را می‌توان عصر گاز طبیعی نامید. گاز طبیعی سوخت برتر امروز و آینده است، زیرا انرژی بالایی دارد، ارزان است و محیط زیست را چندان آلوده نمی‌کند. بنابراین، گاز طبیعی جایگزین مناسبی برای سوخت‌های آلاینده نظیر نفت، بنزین و گازوئیل در بخش‌های حمل و نقل و نیروگاه‌هاست. اهمیت گاز طبیعی تنها به دلیل ارزش سوختی و تمیزی آن نیست و این ماده مهم‌ترین ماده خام اولیه برای صنایع مختلف به‌ویژه پتروشیمی است. ترکیبات مختلفی نظیر متانول، آمونیاک، اوره و... را می‌توان از گاز طبیعی تهیه کرد. ایران با داشتن ۲۳ الی ۲۶ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی یکی از غنی‌ترین کشورهای جهان در این زمینه به‌شمار می‌آید. از نظر ذخایر گاز طبیعی، ایران پس از روسیه در مقام دوم جهان قرار دارد. قسمت اعظم این ذخایر به صورت میدان‌های غیرهم‌بسته است که هنوز توسعه داده نشده‌اند. اهمیت منابع گاز ایران تنها به رفع نیازهای داخلی محدود نمی‌شود و ایران می‌تواند به یکی از بزرگترین کشورهای صادرکننده گاز طبیعی و محصولات آن در جهان تبدیل شود. بنابراین، ضرورت در نظر گرفتن دوره مهندسی تبدیل گاز طبیعی در سطح تحصیلات تکمیلی دانشگاه‌ها به‌خوبی مشهود است. در این طرح، دوره‌های آموزشی و پژوهشی رشته‌های گاز و نفت در دانشگاه‌های متعددی در سراسر جهان بررسی شده و ضمن رعایت ضوابط موجود در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، برنامه‌ای برای دانشجویان این گرایش از مهندسی شیمی در سطح کارشناسی ارشد ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: آموزش عالی، رشته‌های مهندسی، مهندسی شیمی، تبدیل گاز طبیعی.

## ۱. مقدمه

با وجود آنکه موضوع کاربرد نفت خام از قرن گذشته اهمیت پیدا کرده است، موضوع کاربرد گاز طبیعی از اواخر دهه ۱۹۵۰ پیشرفت یافته است. گاز طبیعی سوخت برتر امروز و آینده است، زیرا انرژی بالایی دارد، ارزان است و محیط زیست را چندان آلوده نمی‌کند.

گاز طبیعی از تمیزترین سوخت‌ها با انرژی بالاست و تا زمانی که انرژی‌های سبز مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین و انرژی گرمایی اقتصادی شود، گاز طبیعی می‌تواند نیاز انرژی جهان را تأمین کند. در صنعت، گاز طبیعی به عنوان سوختی با انرژی بالا پذیرفته شده است.

در تبدیل گاز طبیعی به انرژی در اثر احتراق آب و دی‌اکسید کربن تولید می‌شود. این سوخت می‌تواند جانشین سوخت‌های آلوده‌کننده‌ای نظیر بنزین، سوخت دیزل و زغال‌سنگ در حمل و نقل و صنایع مولد نیرو شود. مصرف گاز در خانه برای تولید حرارت و تهیه آب گرم همواره بر سایر منابع انرژی ترجیح داده می‌شود. شایان ذکر است که اهمیت گاز طبیعی تنها به دلیل ارزش سوختی و تمیزی سوخت حاصل از آن نیست، بلکه این ماده مهمترین ماده خام اولیه برای صنایع مختلف شیمیایی به‌ویژه پتروشیمی است. محصولات متفاوتی از گاز طبیعی به دست می‌آید که از نظر صنعتی فوق‌العاده مهم هستند، نظیر متان، اتان، پروپان، بوتان، گازهای نفتی مایع شده (LPG) و بنزین طبیعی. پس از تولید انرژی مهمترین کاربرد گاز طبیعی در تهیه متانول، آمونیاک / اوره و سوخت موتورهای گازی است [۱ و ۲].

## ۲. منشأ گاز طبیعی

تا اندکی پیش، منشأ گاز طبیعی معلوم تصور می‌شد. به این ترتیب که معتقد بودند نفت و گاز در طی میلیون‌ها سال در کره زمین به وجود آمده است. اخیراً با شناخت بیشتر زمین و سیارات مانند آن و اقمار مربوط نظریه دیگری نیز در این مورد ابراز شده است. بر طبق نظریه اول که به پیدایش گاز یا نظریه Shallow موسوم است:

● میلیون‌ها سال قبل در سطح زمین گیاهان آبرزی و حیوانات در زیر خروارها خاک و شن مدفون شدند.

● پس از گذشته سالها، خاک و شن بیشتری بر روی آنها قرار گرفت. هر لایه افزوده شده فشار بیشتری را بر روی گیاهان و حیوانات مدفون شده اعمال کرد. با افزایش تدریجی فشار، دما نیز افزایش یافت.

● تحت فشار و دمای خاصی گیاهان و حیوانات از صورت اولیه خود خارج و به ماده‌ای قیرمانند به نام Kerogen تبدیل شدند.

● در اثر فشار بیشتر Kerogen شکسته و نفت و گاز تولید شد.

بر طبق نظریه دوم که تحت عنوان Doop gas theory توسط پروفیسور Thomas Gould از دانشگاه Cornell ارائه شده، پیدایش نفت و گاز بدین صورت است:

● کره زمین از ماده‌ای کیهکسانی به وجود آمد.

● این ماده شامل اکسیژن، کربن، نیتروژن و مقادیر بسیار ناچیزی از موجودات زنده به نام میکروب بود.

● میکروب‌ها اکسیژن را از سنگ‌ها اخذ و از آن برای تبدیل کربن و اکسیژن به نفت و گاز استفاده کردند.

پروفیسور Gould نظریه خود را به این ترتیب تأیید می‌کند که مواد شیمیایی موجود در کره زمین و به دست آمده در سایر سیارات مشابه است. او محققان را به جستجو برای یافتن میکروبها در هسته مرکزی زمین و نیز سایر سیارات تشویق کرد. یک تأیید نسبی برای تئوری پروفیسور Gould وجود میکروب‌ها در شهاب سنگ‌های سقوط کرده به کره زمین است. اینکه کدام تئوری صحیح است، گذشت زمان نشان خواهد داد.

بر اساس هر دو تئوری، گاز و نفت از اعماق زمین برخاست و به دلیل وجود سنگ‌های متخلخل یا شکافدار موجود در زمین قسمتی از گاز و نفت به سطح زمین رسید و بخشی دیگر از آن به دلیل وجود سنگ‌های غیرمتخلخل و نفوذناپذیر محبوس شد و زیر زمین باقی ماند. به دلیل وجود بعضی از شرایط، گاز طبیعی در پاره‌ای از مواد به ویژه ذغال سنگ به تله افتاد.

تفاوت دو تئوری در مقدار گاز طبیعی و نفت موجود است. بر طبق نظریه Shallow موجودی گاز طبیعی بسیار محدود است. از طرف دیگر، طبق نظریه Deep gas موجودی آن فوق‌العاده زیاد است و بر اساس این نظریه وضع فعلی مخازن موجود در دنیا فقط مثل آن

است که سطح زمین را خراشیده‌ایم [۱].

### ۳. انواع مختلف گاز طبیعی

سه نوع گاز طبیعی متداول عبارتند از:

۱. گاز غیرهم‌بسته<sup>۱</sup>: در مجاورت نفت نیست؛
۲. گاز هم‌بسته<sup>۲</sup>: به صورت لایه فوقانی بر روی مخازن نفتی وجود دارد؛
۳. گاز هم‌بسته محلول در نفت (گاز محلول).

با این حال، ترکیب شیمیایی گاز طبیعی خیلی مهم‌تر از نوع گاز طبیعی است، زیرا شرایط انتقال گاز و فرایندهای مورد نیاز تا حد زیادی به ترکیبات گاز وابسته است. در جدول ۱ دسته‌بندی گازهای طبیعی دنیا بر اساس نوع ترکیب آنها ارائه شده است.

جدول ۱ دسته‌بندی گازهای طبیعی بر اساس نوع ترکیب (ترکیب بر حسب درصد حجمی) [۲]

نوع گاز	۱	۲	۳	۴
اتان و هیدروکربن‌های سنگین‌تر	< ۱۰	< ۱۰	> ۱۰	> ۱۰
سولفید هیدروژن	< ۱	> ۱	< ۱	> ۱
دی‌اکسید کربن	> ۲	> ۲	> ۲	> ۲
نام استاندارد	گاز شیرین خشک (غیرهم‌بسته)	گاز ترش خشک (غیرهم‌بسته)	گاز شیرین مرطوب گاز هم‌بسته یا کندانس شده	گاز ترش مرطوب گاز هم‌بسته یا کندانس شده

تخمین توزیع منابع گاز طبیعی دنیا بر اساس انواع گازها در جدول ۲ آمده است. مطابق این جدول قسمت اعظم گاز طبیعی به صورت گاز شیرین خشک (۴۷٪) است و کمترین منابع مربوط به گاز ترش مربوط حدود ۱۵٪ است.

۱. Non associated

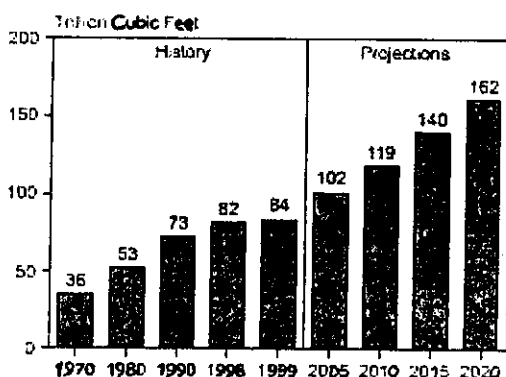
۲. Associated

جدول ۲ تخمین توزیع منابع گاز طبیعی دنیا بر اساس انواع گازها [۲]

نوع گاز	۱	۲	۳	۴
$H_2S > 1\%$	-	۰/۳	-	۱/۳
$CO_2 > 2\%$	-	۵/۶	-	۷/۸
$H_2S > 1\%$ و $CO_2 > 2\%$	-	۹/۶	-	۳/۷
درصد کل دنیا	۴۷	۱۵/۵	۲۳	۱۴/۵

#### ۴. مصرف گاز طبیعی [۲ و ۳]

در حال حاضر، گاز طبیعی به دلایل زیست محیطی و در دسترس بودن منابع آن مهمترین نقش را در تقاضای انرژی در کشورهای آمریکای شمالی، اروپای شرقی و غربی دارد. در کشورهای آسیایی و آفریقایی نیز همزمان با پیشرفت تکنولوژی گاز طبیعی در کاربردهای آن، بازار گاز طبیعی در حال گسترش است. با توجه به کاربردهای مذکور مشخص می شود که مصرف جهانی گاز طبیعی به سرعت در حال افزایش است و به عنوان مثال، پیش بینی می شود که مصرف جهانی گاز طبیعی در سال ۲۰۲۰ به ۱۶۲ میلیارد فوت مکعب برسد که حدود دو برابر مصرف در سال ۱۹۹۸ (۸۲ تریلیون فوت مکعب) است (شکل ۱).



شکل ۱. مصرف جهانی گاز طبیعی در سالهای ۱۹۷۰-۲۰۲۰ [۱]

تاکنون در بیشتر از ۸۰ کشور جهان منابع گاز طبیعی شناخته شده است. منطقه خاورمیانه از نظر داشتن منابع گاز طبیعی پس از اتحاد جماهیر شوروی سابق در رتبه دوم دنیا قرار دارد. میزان گاز طبیعی در این منطقه حدود ۱۷۵۰ تریلیون فوت مکعب تخمین زده شده است. پس از روسیه کشورهای ایران، قطر و امارات متحده عربی به ترتیب دارای بزرگترین منابع گاز طبیعی در دنیا هستند؛ به عبارت دیگر، منطقه خاورمیانه بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده گاز در دنیاست.

### ۵. منابع گاز طبیعی ایران

ایران با داشتن ۲۳ - ۲۶ میلیارد متر مکعب گاز طبیعی یکی از غنی‌ترین کشورهای جهان در زمینه گاز طبیعی به‌شمار می‌آید. ایران از نظر ذخایر گاز طبیعی پس از روسیه در مقام دوم جهان قرار دارد و در بین کشورهای اوپک رتبه اول را داراست. قسمت اعظم این ذخایر به صورت میدان‌های غیرهم‌پسته است که هنوز توسعه داده نشده‌اند. حدود ۴۸٪ این میدان‌ها در خشکی و مابقی در میدان‌های دریایی قرار دارند. اکثر این میدان‌ها در سه منطقه جنوب و جنوب غرب (حوزه‌های پارس جنوبی، کنگان، غسلویه، آغار، دالان، گشوی جنوبی، سلمان، سرخون، گورزین و...) و غرب (حوزه‌های سهند، تنگه بیجار، باباقر، کمانکوه، هالوش و کبیرکوه) متمرکز هستند. تعدادی از این میدان‌ها با کشورهای همسایه مشترک هستند که در جدول ۳ به آنها اشاره شده است [۳ و ۴].

جدول ۳ میدان‌های گازی مشترک گاز طبیعی کشور [۴]

کشور همسایه	میدان
ترکمنستان	گنبدلی
قطر	پارس جنوبی
عمان	هنگام
ابوظبی	سلمان
شارجه	مبارک
عربستان	ب - فارسی

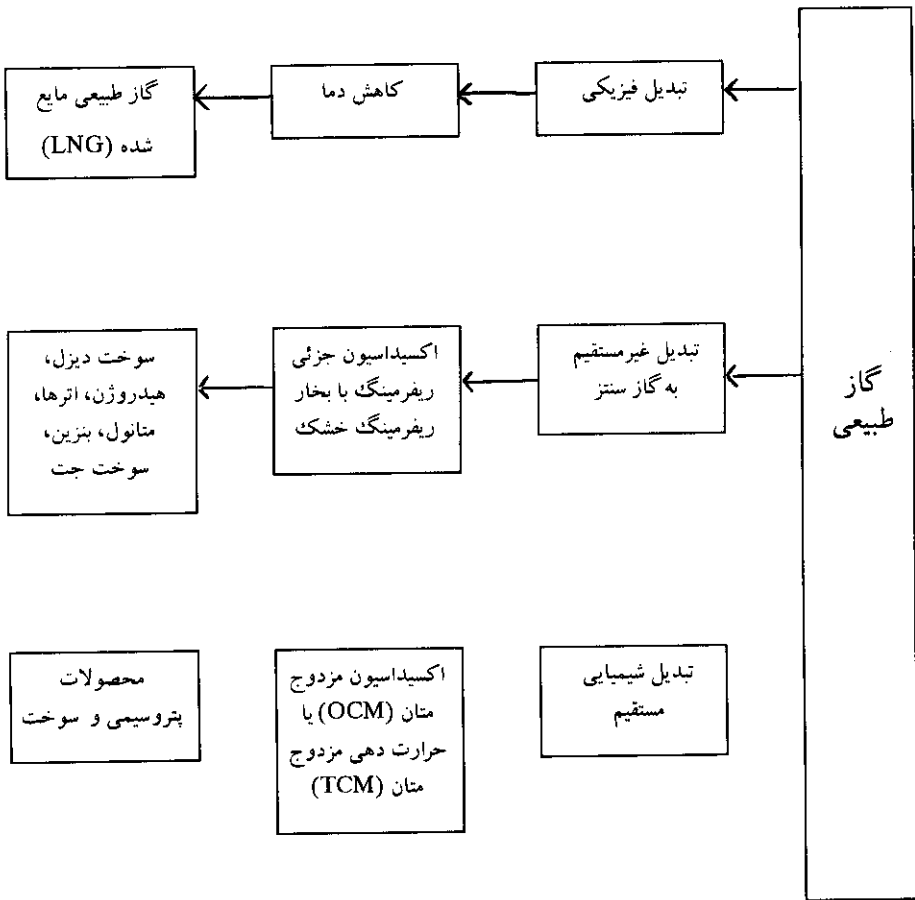
اهمیت منابع گاز ایران تنها به رفع نیازهای داخلی محدود نمی‌شود و ایران می‌تواند بزرگترین کشور صادرکننده گاز طبیعی در دنیا باشد. امکان صادرات گاز ایران به کشورهای ترکیه، هند، پاکستان و کشورهای آسیای جنوب شرقی و مرکزی وجود دارد. شایان ذکر است که به دلیل واقع شدن منابع گاز طبیعی در جنوب کشور به منظور پوشش مصرف داخلی سالیانه مقداری گاز (حدود ۴٪ مصرف داخلی) از ترکمنستان وارد می‌شود [۳].

در دهه اخیر، رشد مصرف گاز طبیعی در ایران حدود ۱۱٪ در سال بوده است و پیش‌بینی می‌شود که این روند در آینده نیز ادامه داشته باشد. در حالی که رشد مصرف نفت در این دوره تنها ۱/۲٪ در سال بوده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در ایران گاز به سرعت جایگزین نفت می‌شود. در حال حاضر، گاز طبیعی حدود ۴۰٪ سبد انرژی مصرفی ایران را تشکیل می‌دهد. قسمت عمده مصرف گاز طبیعی مربوط به نیروگاه‌ها (۳۷٪) و بخش مسکونی و تجاری (۲۹٪) است [۴].

## ۶. فرایندهای گاز طبیعی [۱ و ۲]

در ابتدا گاز طبیعی حاصل از منابع باید تصفیه شود. فرایندهای تصفیه گاز طبیعی شامل جداسازی تعدادی از ترکیبات موجود در جریان حاصل از چاه‌ها نظیر آب، گازهای اسیدی و هیدروکربن‌های سنگین است تا بدین وسیله شرایط لازم برای انتقال یا سایر فرایندهای گازی لام ایجاد شود. نحوه انجام شدن این فرایندها تا حد زیادی وابسته به شرایط اقتصادی است. معمولاً ترجیح می‌دهند که این فرایندها در محل تولید انجام گیرد تا انتقال گاز راحت‌تر صورت پذیرد.

در شکل ۲ فرایندهای اصلی که بر روی گاز طبیعی تصفیه شده انجام می‌شوند نشان داده شده است. مطابق این شکل، پس از تصفیه گاز می‌توان آن را توسط خط لوله یا به صورت گاز مایع (LNG) به بازار مصرف منتقل کرد. همچنین، با استفاده از فرایندهای تبدیل شیمیایی می‌توان گاز طبیعی را به موادی که ارزش بیشتری نسبت به گاز طبیعی خام دارند، تبدیل کرد.



شکل ۲. فرایندهای گاز طبیعی

### ۷. رشته مهندسی تبدیل گاز طبیعی

پس از پی بردن به اهمیت گاز طبیعی و کاربرد آن ضرورت وجود رشته‌ای در زمینه گاز و نفت یا مهندسی تبدیل گاز طبیعی در سطح تحصیلات تکمیلی در ایران به خوبی احساس می‌شود. لذا تصمیم بر آن شد تا اطلاعات مربوط به رشته‌های مهندسی نفت و گاز طبیعی یا رشته‌های نزدیک در نقاط مختلف دنیا بررسی و سپس با توجه به ضوابط موجود در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری برنامه‌ای مناسب برای این گرایش در سطح کارشناسی ارشد ارائه شود.



دانشگاه‌هایی که مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند، عبارت‌اند از:

۱. رشته مهندسی نفت و گاز طبیعی دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا: در حال حاضر به صورت بخشی از دانشکده مهندسی زمین - محیط زیست است (این رشته تا اول ژوئیه سال ۱۹۹۸ بخشی از دانشکده مهندسی معدن بود) [۵].

۲. مدرسه مهندسی دانشگاه اکلاهما: دو رشته فناوری و مدیریت گاز طبیعی و مهندسی نفت در سطح تحصیلات تکمیلی در این مدرسه ارائه می‌شود [۶].

۳. رشته مهندسی نفت و گاز دانشگاه Herrot-Watt انگلستان: بخش نفت این دانشگاه که در سال ۱۹۷۵ تأسیس شده، یکی از پیشگامان این رشته در زمینه نفت بوده است. دوره MEng از سال ۱۹۷۵ و MSc در سال ۱۹۹۳ در این دانشگاه تأسیس شده است. در زمینه مهندسی نفت این دانشگاه، اکتشاف مخازن نفت و گاز تحت‌الارضی مورد نظر بوده است. در این بخش توسعه‌هایی در زمینه آموزش و تحقیق بر حسب نیاز صنعت نفت جهانی صورت گرفته است [۷].

۴. مهندسی نفت انستیتو تکنولوژی نیومکزیکو: این انستیتو دارای رشته کارشناسی ارشد در مهندسی نفت است [۸].

۵. دانشگاه کویت: در این دانشگاه رشته مهندسی نفت در سال ۱۹۸۹ تأسیس شد. هدف از تأسیس این دانشگاه تربیت نیروی متخصص با توان مدیریت تولید ذخایر نفت و گاز کویت بود. همچنین، تربیت نیروهایی که بتوانند با داشتن زیربنای علمی خوب، تحقیق و تحصیل در این رشته را ادامه دهند. بررسی به‌عمل آمده نشان داد که این زمینه تحصیلی در دانشگاه کویت فقط در سطح کارشناسی ارائه می‌شود [۹].

۶. دانشگاه استنفورد آمریکا: این دانشگاه نیز دارای رشته مهندسی نفت در سطح تحصیلات تکمیلی است و به نظر می‌رسد که در زمینه گاز فعالیت‌هایی ندارد [۱۰].

۷. دانشگاه تکزاس A&M: دوره تحصیلات تکمیلی مهندسی نفت در دانشگاه تکزاس A&M از نظر کیفیت عالی تدریس و تحقیق در داخل آمریکا و نیز به صورت بین‌المللی دارای شهرت به‌سزایی است [۱۱].

۸. تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی نفت در Texas Tech: این دانشکده در Lubbeck تکزاس در منطقه شمالی آمریکا واقع شده است که ۷۰ درصد تولید نفت و ۲۵ درصد

تولید گاز طبیعی تکراس را شامل می‌شود. نزدیکی دانشکده با صنعت سبب می‌شود که دانشجویان از نزدیک با مسائل نفت آشنا شوند [۱۲].

۹. دانشگاه Miskolc مجارستان: دوره MS در مهندسی نفت در این دانشگاه به دو صورت ارائه می‌شود: دوره ۵ ساله کارشناسی ارشد ناپيوسته و دوره سه ساله کارشناسی ارشد پیوسته که دو سال آن به آموزش اختصاص دارد و سال آخر به منظور گذراندن پایان‌نامه در نظر گرفته شده است [۱۳].

۱۰. دانشگاه Tulsa اکلاهما: این دانشگاه در زمینه حفاری، تولید و مهندسی مخازن دارای شهرت بسزایی است [۱۴].

#### ۸. برنامه آموزشی رشته مهندسی تبدیل گاز طبیعی

با توجه به مطالب مذکور و عنایت به این موضوع که ایران از نظر داشتن منابع گاز طبیعی دارای رتبه دوم در دنیا است، ضرورت در نظر گرفتن دوره مهندسی تبدیل گاز طبیعی در سطوح تحصیلات تکمیلی در دانشگاه‌های کشور به خوبی مشهود است. با مطالعات انجام شده به نظر می‌رسد که برای دوره کارشناسی ارشد این رشته اکثر دانشگاه‌های سراسر دنیا گذراندن ۲۴ واحد درسی و ۶ واحد پروژه را الزامی کرده‌اند، بجز دانشگاه اکلاهما که گذراندن ۳۳ واحد درسی و ۳ واحد پروژه را برای این دوره پیشنهاد کرده است. بنابراین، دوره کارشناسی ارشد پیشنهادی برای این دوره بر طبق ضوابط موجود در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و دوره‌های مرسوم در دانشگاه‌های سراسر دنیا دو سال است و دانشجویان ملزم به گذراندن ۲۴ واحد درسی و ۶ واحد پایان‌نامه (پروژه) هستند. برنامه زیر برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی این رشته پیشنهاد می‌شود:

- مهندسی گاز طبیعی پیشرفته (۳ واحد): بررسی مقدمات تکنولوژی گاز طبیعی، تولید و ذخیره گاز طبیعی در مخازن، سیستم‌های انتقال و ذخیره‌سازی گاز؛
- مهندسی مخازن پیشرفته (۳ واحد): فرمولاسیون و حل تحلیلی مسائل مربوط به حرکت پایدار یا ناپایدار سیالات در محیط‌های متخلخل، بررسی مسائل پیشرفته مهندسی مخازن نظیر مسائل جریان متقاطع و...؛
- فرایندهای عملیاتی گاز طبیعی یا مهندسی تولید پیشرفته (۳ واحد): طراحی و بهینه‌سازی

انواع gas lift، تکنولوژی فرایندهای گاز طبیعی، ارزیابی و بهینه‌سازی تولید گاز طبیعی، کاربردهای گاز طبیعی، تجهیزات مورد استفاده در فرایندهای گاز طبیعی و مسائل مربوط به جداسازی در فرایندهای گاز طبیعی؛

- شبیه‌سازی پیشرفته (۳ واحد): حل عددی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای مربوط به جریان سیالات و انتقال حرارت در محیط‌های متخلخل و شبیه‌سازی پیشرفته مخازن؛
- ترمودینامیک پیشرفته (۳ واحد): بررسی خواص سیستم‌های چندفازی، ارزیابی خواص گاز طبیعی و رفتار فازی سیالات در مخازن؛
- سیالات پیشرفته یا سیالات چندفازی (۳ واحد): آنالیز حرکت سیالات در مخازن بسته یا باز، دینامیک حرکت سیالات چندفازی در خطوط انتقال افقی و عمودی و بررسی ذخیره‌سازی سیالات در مخازن؛
- اقتصاد مهندسی (۳ واحد): موارد اقتصاد و بازرگانی گاز طبیعی و ارزیابی تولید نفت و گاز؛
- مدیریت گاز طبیعی (۳ واحد): علم مدیریت، سیستم‌های اطلاعاتی مدیریت و مدیریت استراتژیک؛
- مهندسی احتراق (۳ واحد): بررسی اصول احتراق و سیستم‌های احتراق؛
- رآکتورهای صنعتی ویژه (۳ واحد): رآکتورهای کاتالیستی و رآکتورهای چندفازی؛
- مهندسی کنترل آلودگی هوا (۳ واحد)؛
- سمینار (۲ واحد)؛
- پایان‌نامه (۶ واحد).

مطابق برنامه مذکور، گذراندن ۳ درس اول برای دانشجویان اجباری است و دانشجویان می‌توانند از بین ۸ درس باقیمانده ۴ درس را به‌عنوان دروس اختیاری متناسب با نیاز پروژه خود انتخاب کنند. در ضمن، دانشجویان ملزم به گذراندن سمینار و پایان‌نامه تحصیلی بر اساس مسائل مربوط به مهندسی گاز طبیعی و تحت نظر استاد راهنما هستند.

شایان ذکر است که دانشجویان متقاضی ورود به این دوره باید دارای مدرک کارشناسی مهندسی شیمی با یکی از گرایش‌های پتروشیمی، پالایش و فرایند باشند و چنانچه دانشجوی متقاضی دارای مدرک مهندسی در گرایش‌های دیگر باشد، با تأیید استاد راهنما ملزم به

گذراندن دروس جبرانی خواهد بود.

## مراجع

1. D.L. Katz and R.L. Lee, Natural Gas Engineering: Production and Storage, Chapter 1, 1990.
2. A. Rojey et al, Natural Gas: Production, Processing, Transport, Chapter 1-7-8, 1997.
3. International Energy Outlook 2002: Natural Gas, [www.eia.dov](http://www.eia.dov).
۴. ترازنامه انرژی ۱۳۸۰، وزارت نیرو.
5. [www.pnge.psu.edu](http://www.pnge.psu.edu)
6. [www.ou.edu/mewbourn school](http://www.ou.edu/mewbourn school)
7. [www.hw.ac.Uk](http://www.hw.ac.Uk)
8. [www.nmt.edu](http://www.nmt.edu)
9. [www.Kuniv.edu.kw](http://www.Kuniv.edu.kw)
10. [ekofisk.Stansford.edu](http://ekofisk.Stansford.edu)
11. [www.Pumpjack.tamu.edu](http://www.Pumpjack.tamu.edu)
12. [www.Pe.Ttu.edu](http://www.Pe.Ttu.edu)
13. [www.kfgi.uni-miskolc.hu](http://www.kfgi.uni-miskolc.hu)
14. [www.pe.utulas.edu](http://www.pe.utulas.edu)

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۱/۱۲/۱۰)